

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Εκτίμηση απόδοσης κύριας μηχανής πλοίου και σύγχρονες μέθοδοι πρόληψης αστοχιών»

“Performance assessment for the main engine of the vessel and modern methods of failure prevention”

Φοιτητής : Κόρμπος Γεώργιος , Α.Μ.: 18392076

Επιβλέπων : Δρ. Ράπτης Κωνστανίνος

Μάρτιος 2024

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Όνοματεπώνυμο	Υπογραφή
Ράπτης Κων/νος	
Τσολάκης Αντώνιος	
Θεοδωρακάκος Ανδρέας	

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κόρμπος Γεώργιος του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 18392076 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Κόρμπος Γεώργιος

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, στόχος είναι να παρουσιαστεί μια μέθοδος αξιολόγησης λειτουργίας της κύριας μηχανής ενός πλοίου, καθώς και να προταθούν σύγχρονες μέθοδοι πρόληψης αστοχιών.

Αρχικά, θα πραγματοποιηθεί μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των μηχανών των πλοίων έως και σήμερα. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η σχέση των μηχανών εσωτερικής καύσης με τα καράβια, καθώς και οι βασικές αρχές λειτουργίας των κύριων μηχανών ενός πλοίου. Έπειτα θα αιτιολογηθεί η επιλογή της δίχρονης μηχανής στα καράβια, ενώ θα αναλυθούν και όλα τα βασικά μέρη της μηχανής με σκοπό την λειτουργία της (μετάδοση κίνησης, απόδοση, συντήρηση, πνευματικό σύστημα).

Το κυρίως θέμα της εργασίας αυτής αφορά την αξιολόγηση της κύριας μηχανής ενός πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, θα αναφερθούν οι τρόποι με τους οποίους λαμβάνονται τα δεδομένα που αφορούν τη λειτουργία της μηχανής. Κατόπιν της επεξήγησής τους, θα παρουσιαστούν πραγματικά δεδομένα από ένα καράβι που βρίσκεται εν πλω, ώστε να αξιολογηθεί και έμπρακτα η απόδοση του κινητήρα. Τα δεδομένα αυτά θα αξιολογηθούν και θα πραγματοποιηθεί εκτίμηση της απόδοσης της μηχανής. Αφού γίνει αυτό, θα αναφερθούν πιθανά αίτια, τα οποία είναι υπεύθυνα για πιθανές δυσλειτουργίες που εμποδίζουν την επιθυμητή απόδοση του κινητήρα.

Τέλος, θα γίνουν προτάσεις ενεργειών για την βελτιστοποίηση λειτουργίας του κινητήρα, ενώ θα πραγματοποιηθεί και μια συσχέτιση των νέων δεδομένων με τα προηγούμενα. Ακόμα θα προταθεί μια σύγχρονη μέθοδος, η οποία έχει στόχο την πρόβλεψη και την αποφυγή αστοχιών του κινητήρα.

INTRODUCTION

In this thesis, the aim is to present a method for evaluating the operation of a ship's main engine and to propose modern methods of failure prevention.

Firstly, a historical review of the evolution of ship engines up to the present day will be carried out. Then the relationship between internal combustion engines and ships will be presented, as well as the basic principles of operation of a ship's main engines. The choice of the two-stroke engine in ships will then be justified, and all the main parts of the engine will be analysed in order to explain its operation (transmission, performance, maintenance, pneumatic system).

The main subject of this paper is the evaluation of the main engine of a ship. In particular, the ways in which data concerning the operation of the engine are obtained will be discussed. After explaining them, real data from a ship at sea will be presented in order to evaluate the engine performance in practice. This data will be evaluated and an estimate of the engine performance will be made. Once this has been done, possible causes responsible for possible malfunctions that prevent the desired engine performance will be identified.

Finally, recommendations will be made for actions to optimize engine operation and a correlation of the new data with the previous data will be performed. A modern method will be proposed, which aims at predicting and avoiding engine failures.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Ιστορική αναδρομή - εξέλιξη	10
2. Αρχές λειτουργίας μηχανής diesel	14
2.1 Τύποι ναυτικών κινητήρων.....	18
2.2 Κριτήρια επιλογής δίχρονης από τετράχρονη μηχανή	18
2.3 Γιατί προτιμούνται οι δίχρονες μηχανές στα καράβια;	19
3. Περιγραφή Δίχρονης Μηχανής Πλοίου	21
3.1 Μέρη και εξαρτήματα μηχανής	21
3.1.1 Κορμός Μηχανής.....	21
3.1.2 Βάση μηχανής.....	21
3.1.3 Πλαίσιο	22
3.1.4 Μπλοκ κυλίνδρων	23
3.1.5 Χιτώνιο	23
3.1.6 Διωστήρας – Μπιέλα	24
3.1.7 Ζύγωμα	25
3.1.8 Έμβολο	25
3.1.9 Διαγραμμίσεις κυλίνδρου	26
3.1.10 Κυλινδροκεφαλή	27
3.1.11 Βαλβίδα εξάτμισης	28
3.1.12 Στροβίλοσυμπιεστής.....	29
3.1.13 Στροφαλοφόρος άξονας.....	30
3.1.14 Εκκεντροφόρος άξονας	31
3.2 Καύσιμα	32
3.2.1 Καύσιμα ναυτιλίας	32
3.2.2 Πετρέλαιο Diesel	32
3.2.3 Καύσιμα ναυτιλίας κατά CIMAC.....	34
3.2.4 Βασικά Χαρακτηριστικά Ποιότητας Καυσίμων Ναυτιλίας	35
3.2.5 Μαζούτ	41
3.3 Λιπαντικά.....	43
3.3.1 Λίπανση πετρελαιομηχανών.....	43
3.3.2 Χαρακτηριστικά Λιπαντικών	44
3.3.3 Διαχείριση και αποθήκευση λιπαντικών	46
3.3.4 Συντήρηση και καθαρισμός λιπαντικού	46

3.3.5	Αντικατάσταση λιπαντικών.....	46
3.3.6	Καθαρισμός συστήματος λίπανσης.....	47
4.	Συντήρηση κύριας μηχανής.....	48
4.1	Χρονοδιαγράμματα ελέγχου και συντήρησης.....	48
4.2	Μέτρα ασφαλείας πριν τη συντήρηση.....	50
4.3	Προγραμματισμένη συντήρηση.....	51
4.4	Συντήρηση βάσει συνθηκών.....	51
4.5	Ενδείξεις αστοχιών των εξαρτημάτων.....	52
5.	Πνευματικό σύστημα πλοίου.....	53
5.1	Σύστημα εκκίνησης με συμπιεσμένο αέρα.....	53
5.2	Αεροσυμπιεστές δύο σταδίων εκκίνησης με ενδιάμεσους ψύκτες.....	53
5.3	Δέκτες αέρα.....	53
5.4	Κύρια βαλβίδα εκκίνησης.....	54
5.5	Το κλείδωμα του μηχανισμού περιστροφής.....	55
5.6	Διανομέας αέρα εκκίνησης.....	55
5.7	Βαλβίδα εκκίνησης αέρα.....	56
5.8	Δίσκος διάρρηξης.....	56
6.	Δεδομένα για την αξιολόγηση της απόδοσης της κύριας μηχανής.....	58
6.1	Τρόποι συλλογής δεδομένων για την λειτουργία της μηχανής.....	58
6.1.1	Λογισμικό κύριας μηχανής.....	58
6.1.2	Δείκτης μηχανικής ισχύος.....	59
6.2	Δεδομένα συλλογής πλοίου.....	61
6.2.1	Δεδομένα από γέφυρα.....	61
6.2.2	Ανάλυση πετρελαίου από εργαστήριο.....	62
6.2.3	Δεδομένα από μηχανοστάσιο.....	62
6.3	Πιθανά προβλήματα σε μια αξιολόγηση απόδοσης κινητήρα.....	65
7.	Διαγράμματα - Αξιολόγηση δεδομένων.....	67
7.1	Διαγράμματα.....	67
7.2	Αξιολόγηση.....	68
8.	Σχόλια - Συμπεράσματα.....	71
9.	Προτάσεις βελτιστοποίησης.....	73
10.	Μέθοδος πρόληψης αστοχιών.....	76
10.1	Προληπτικός έλεγχος και συντήρηση.....	76
11.	Βιβλιογραφία.....	77

<i>Εικόνα 1: Καράβι με προωστήριο μέσο ιστία και μηχανή. [1]</i>	11
<i>Εικόνα 2: Ο πρώτος κινητήρας που σχεδιάστηκε από τον R.C. Karl Diesel και λειτούργησε επιτυχώς το 1897 [11]</i>	11
<i>Εικόνα 3: Τομή σύγχρονου κινητήρα οχημάτων εσωτερικής κάυσεως (δεκαετία '90) [11]</i>	12
<i>Εικόνα 4: Αδιαβατική συμπίεση</i>	14
<i>Εικόνα 5: Ισοβαρής θέρμανση</i>	15
<i>Εικόνα 6: Αδιαβατική Εκτόνωση</i>	15
<i>Εικόνα 7: Ισόχωρη αποβολή θερμότητας</i>	15
<i>Εικόνα 8: Τετράχρονος κινητήρας</i>	16
<i>Εικόνα 9: Αργόστροφη Δίχρονη πετρελαιομηχανή [11]</i>	17
<i>Εικόνα 10: Βάση μηχανής</i>	21
<i>Εικόνα 11: Σκελετός – Πλαίσιο</i>	22
<i>Εικόνα 12: Διάταξη κυλίνδρων εν σειρά</i>	22
<i>Εικόνα 13: Διάταξη τύπου V</i>	23
<i>Εικόνα 14: Μπλοκ κυλίνδρων</i>	23
<i>Εικόνα 15: Χιτόνιο</i>	24
<i>Εικόνα 16: Διωστήρας-Μπιέλα</i>	24
<i>Εικόνα 17: Ζύγωμα</i>	25
<i>Εικόνα 18: Έμβολο</i>	26
<i>Εικόνα 19: Διαγραμμίσεις κυλίνδρου</i>	26
<i>Εικόνα 20: Κυλινδροκεφαλές κινητήρα</i>	27
<i>Εικόνα 21: Βαλβίδα εξάτμισης</i>	28
<i>Εικόνα 22: Στροβιλοσυμπιεστής</i>	29
<i>Εικόνα 23: Συναρμολόγηση στροφαλοφόρου άξονα</i>	30
<i>Εικόνα 24: Στροφαλοφόρος άξονας μεγάλης αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής</i>	31
<i>Εικόνα 25: Εκκεντροφόρος άξονας κινητήρα Diesel</i>	31
<i>Εικόνα 26: Προδιαγραφές πετρελαίου diesel [14]</i>	32
<i>Εικόνα 27: Η παραγωγή του MGO</i>	33
<i>Εικόνα 28: Κατηγορίες IFO</i>	34
<i>Εικόνα 29: Η παραγωγή των Bunkers</i>	34
<i>Εικόνα 30: Τυποποίηση καυσίμων ναυτιλίας [12]</i>	35
<i>Εικόνα 31: Μεταβολή κινηματικού ιξώδους με τη θερμοκρασία [12]</i>	36
<i>Εικόνα 32: Σύστημα αποθείωσης καυσαερίων πλοίου [15]</i>	41
<i>Εικόνα 33: Τυπική σύσταση ασφατενίων [12]</i>	43
<i>Εικόνα 34: Ελληνικές προδιαγραφές μαζούτ [14]</i>	43
<i>Εικόνα 35: Έλαια κυλίνδρων</i>	45
<i>Εικόνα 36: Έλαια εδράνων</i>	45
<i>Εικόνα 37: Πρόγραμμα ελέγχου και συντήρησης</i>	49
<i>Εικόνα 38: Σχετική τοποθεσία βαλβίδων στην μηχανή</i>	50
<i>Εικόνα 39: Αεροσυμπιεστές δύο σταδίων εκκίνησης με ενδιάμεσους ψύκτες</i>	53

Εικόνα 40: Δέκτες αέρα.....	54
Εικόνα 41: Η βαλβίδα αυτή ανήκει σε αργόστροφο δίχρονο κινητήρα MAN B&W	54
Εικόνα 42: Κλείδωμα μηχανισμού περιστροφής	55
Εικόνα 43: Διανομέας αέρα εκκίνησης	55
Εικόνα 44: Βαλβίδα εκκίνησης αέρα κινητήρα MAN B&W.....	56
Εικόνα 45: Βαλβίδα εκκίνησης αέρα	56
Εικόνα 46: «Παγίδα φλόγας».....	56
Εικόνα 47: Δίσκος διάρρηξης	57
Εικόνα 48: Σύστημα ρύθμισης παραμέτρων.....	58
Εικόνα 49: Δείκτης	59
Εικόνα 50: Διάγραμμα πιέσεων συμπίεσης και εκτόνωσης – γωνία στροφάλου κυλίνδρου.....	60
Εικόνα 51: Διάγραμμα πιέσεων συμπίεσης και εκτόνωσης – γωνία στροφάλου κυλίνδρου, με υψηλή πίεση εκτόνωσης	60
Εικόνα 52: Φορτηγό πλοίο.....	61
Εικόνα 53: Διάγραμμα πίεσης εκτόνωση, πίεσης συμπίεσης – απόδοση κινητήρα	67
Εικόνα 54: Διάγραμμα κατασκευαστή Ειδικής κατανάλωσης (SFOC) – Απόδοσης Κινητήρα.....	68
Εικόνα 55: Πέντε βήματα προληπτικού ελέγχου και συντήρησης.....	76

1. Ιστορική αναδρομή - εξέλιξη

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η εξέλιξη των ναυτικών κινητήρων συναρτήσει της εξέλιξης των πλοίων μέχρι σήμερα, καθώς και θα αναφερθούν οι παράγοντες που οδήγησαν να πραγματοποιηθούν. Κάθε πλωτή κατασκευή με προωστήριο μέσο οφείλει να είναι ικανή να πλέει με ασφάλεια στο θαλασσινό νερό δίχως να ανατραπεί, ακόμα και σε δύσκολες καιρικές συνθήκες με βλάβη ή χωρίς. Ο ναυτικός κινητήρας είναι ένα σύστημα πρόωσης που λαμβάνει χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Το σύστημα αυτό αναφέρεται στην τεχνολογία που ωθεί οποιοδήποτε καράβι στο νερό. Όλα τα συστήματα θαλάσσιας πρόωσης λειτουργούν με βάση τον τρίτο νόμο κίνησης του Νεύτωνα, σύμφωνα με τον οποίο οποιαδήποτε δύναμη ασκείται από ένα αντικείμενο σε ένα άλλο έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή ίσης δύναμης αντίδρασης στο πρώτο. Στην περίπτωση της θαλάσσιας πρόωσης, ασκείται δύναμη είτε προς το νερό είτε στον αέρα για να δημιουργηθεί δύναμη αντίδρασης στο πλοίο και να το ωθήσει προς την απαιτούμενη κατεύθυνση. Αυτό αποδεικνύεται στην περίπτωση των ελίκων της προπέλας. Η μεταβολή της ενεργειακής κατάστασης ενός κινητήρα εξαρτάται από την μετάδοση της θερμότητας στο εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή μηχανικού έργου. Ένα μέρος της ποσότητας που προσδίδεται, αποδίδεται ως μηχανικό έργο, ενώ η υπόλοιπη αποβάλλεται στο περιβάλλον (απώλειες). [7]

Από πολλά χρόνια πριν έως και σήμερα, η κατασκευή ενός πλοίου πραγματοποιούνταν για εμπορικούς ή πολεμικούς σκοπούς, οι οποίοι εκπλήρωναν τις συγκεκριμένες ανάγκες των ανθρώπων. Πιο συγκεκριμένα, κάθε καράβι πριν κατασκευαστεί, έπρεπε να ληφθεί υπόψιν ο σκοπός που θα είχε και τι είδους ανάγκες θα μπορούσε να εκπληρώσει. Για παράδειγμα, ένα καράβι το οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει ως μεταφορικό μέσο για ανθρώπους ή για εμπορεύματα, έπρεπε να ήταν σχεδιασμένο κατάλληλα ώστε να είναι ικανό να το πραγματοποιήσει με τη μέγιστη ασφάλεια, ταχύτητα και ικανότητα. Με το σκεπτικό αυτό και με το πέρασμα των ετών, οι απαιτήσεις και οι ανάγκες των ανθρώπων αυξάνονταν με αποτέλεσμα να απαιτούνται περισσότερα πλοία με μεγαλύτερες ικανότητες και διαστάσεις ώστε να καταφέρουν να τις καλύψουν. Το πιο βασικό κομμάτι για να πραγματοποιηθεί αυτό εκτός από τη γεωμετρία του πλοίου, ήταν το μέσο το οποίο θα μπορούσε να δώσει την κίνηση σε όλη αυτήν την κατασκευή. [6]

Τα πρώτα χρόνια το προωστήριο μέσο που χρησιμοποιούνταν στις εκάστοτε κατασκευές ήταν κουπιά ή ιστία (πανιά). Με την πάροδο του χρόνου, όταν οι απαιτήσεις ήταν πιο υψηλές και απαιτούνταν πολύ μεγαλύτερα φορτία ή και ταχύτητες, έπρεπε να βρεθεί μία εναλλακτική. Για τους λόγους αυτούς εφευρέθηκαν οι ατμομηχανές οι οποίες ήταν οι πρώτες μηχανές που λειτούργησαν ως προωστήριο μέσο στα καράβια μέσω της καύσης του κάρβουνου. Η παραγόμενη θερμότητα από την καύση εντός του λέβητα μετέτρεπε το νερό σε ατμό, ο οποίος χρησίμευε στην μετακίνηση του εμβόλου για την παραγωγή ωφέλιμου έργου. [8]



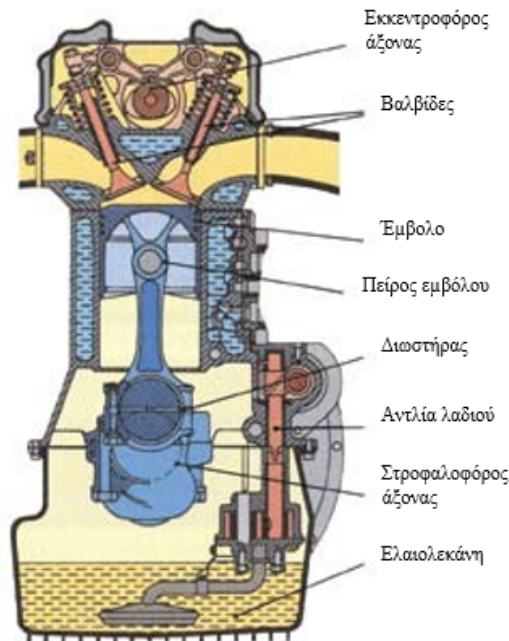
Εικόνα 1: Καράβι με προωστήριο μέσο ιστία και μηχανή. [1]

Με το πέρασμα των χρόνων και της εξέλιξης της τεχνολογίας εδραιώθηκαν στην παγκόσμια ναυτιλία οι μηχανές εσωτερικής καύσης. Λόγω της υψηλότερης ανάγκης για πιο ισχυρούς, απλούς και αποδοτικούς κινητήρες δημιούργησαν αυτές τις μηχανές. Οι μελέτες βασίστηκαν κυρίως στις μεθόδους ανάφλεξης του μείγματος καυσίμου και αέρα μέσα στον κύλινδρο. Ανακαλύφθηκε ότι μέσω της συμπίεσης του μείγματος επιτυγχανόταν πολύ υψηλή θερμοκρασία και πίεση και λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας του αέρα πραγματοποιούνταν αυτόματα η καύση. Έτσι από την εκτόνωση των καυσαερίων απελευθερώνονταν υψηλή ποσότητα ενέργειας. Έπειτα οι έρευνες συνεχίστηκαν και κατέληξαν στους πετρελαιοκινητήρες διότι το καύσιμο ήταν πιο οικονομικό και ταυτόχρονα πιο αποδοτικό. Αργότερα κυρίως για περιβαντολογικούς και οικονομικούς λόγους εφευρέθηκαν συστήματα μέσω των οποίων μπορούσε να πραγματοποιηθεί η καύση πιο ακατέργαστων καυσίμων. [6]



Εικόνα 2: Ο πρώτος κινητήρας που σχεδιάστηκε από τον R.C. Karl Diesel και λειτουργήσε επιτυχώς το 1897 [11]

Ταυτόχρονα λόγω των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και τη μόλυνση του περιβάλλοντος από τα καυσαέρια πραγματοποιούνται προσπάθειες για την εφαρμογή των ηλεκτρικών κινητήρων στα καράβια. Η ηλεκτροπρόωση εμφανίζεται πολλά είδη μεταφορών ακόμα και με υψηλά φορτία με την εγκατάσταση ειδικών συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης. Φυσικά η χρήση του πετρελαίου εξακολουθεί να είναι απαραίτητη και στις γεννήτριες κατά κύριο λόγο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. [4]



Εικόνα 3: Τομή σύγχρονου κινητήρα οχημάτων εσωτερικής κάυσεως (δεκαετία '90) [11]

Παρακάτω παραθέτονται με χρονολογική σειρά οι σταθμοί στην εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσης.

- 1794 → Robert Street: πρόταση για εισαγωγή της μετακίνησης εμβόλου από την παραγωγή έργου
- 1833 → W.L. Wright: Η κατασκευή της πρώτης MEK
- 1860 → J.J. Etienne Lenoir: Η πρώτη MEK με καύσιμο το φωταέριο
- 1876 → N.A Otto: Κατασκευή πρώτου τετράχρονου βενζινοκινητήρα
- 1894 → R.C. Karl Diesel: Λειτουργία κινητήρα με τη χρήση πετρελαίου
- 1903 → Ρωσικό Wandal: Η πρώτη εφαρμογή πετρελαιοκινητήρα σε πλοίο
- 1927 → Robert Bosch → Κατασκευή εξαρτημάτων και μηχανισμών ψεκασμού για πετρελαιοκινητήρες
- 1936 → Mercedes-Benz: Παραγωγή επιβατικού πετρελαιοκινήτου οχήματος
- 1910 → Πρώτο πλοίο με εγκατάσταση κινητήρα Diesel
- 1912 → Burmeister & Wain: Πρώτη εγκατάσταση κινητήρα πετρελαίου σε ωκεανοπόρο πλοίο
- 1920 → Αρχή εφαρμογής υπερπλήρωσης στις τετράχρονες μηχανές
- 1925 → Πρώτο επιβατηγό πλοίο με κινητήρα Diesel

- 1927 → MAN: Κατασκευή ναυτικής μηχανής με χρήση στροβιλοϋπερπληρωτή, με σύστημα υπερπλήρωσης σταθερής πίεσης.
- 1950 → Στα μέσα το 1950 ξεκίνησε η χρήση βαρέως πετρελαίου στις ναυτικές μηχανές χρησιμοποιώντας και τα κατάλληλα λιπαντικά. [11]

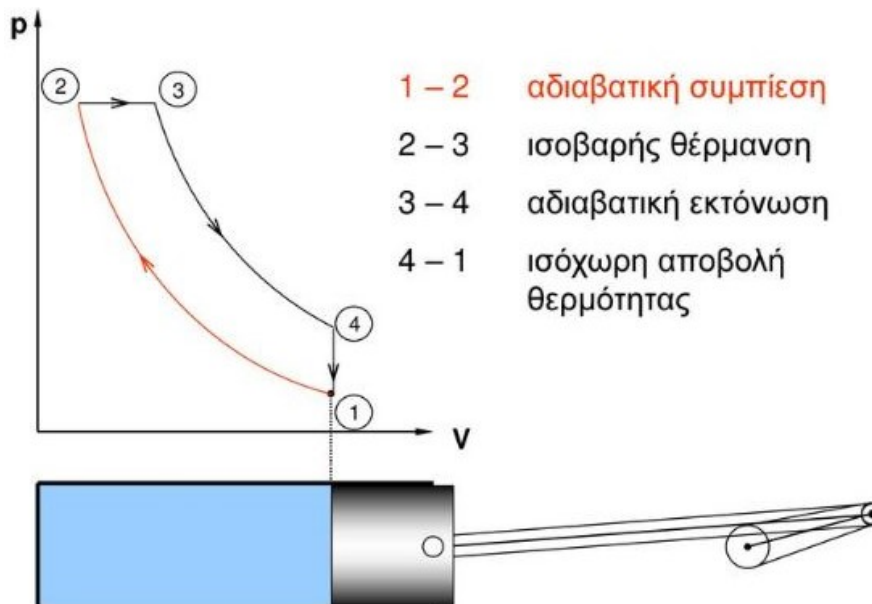
2. Αρχές λειτουργίας μηχανής diesel

Η αρχή λειτουργίας ενός κινητήρα diesel αποτελείται από 4 φάσεις οι οποίες διαμορφώνουν έναν κύκλο λειτουργίας που αναπτύχθηκε για να προσεγγίζει τη συμπεριφορά του κινητήρα.

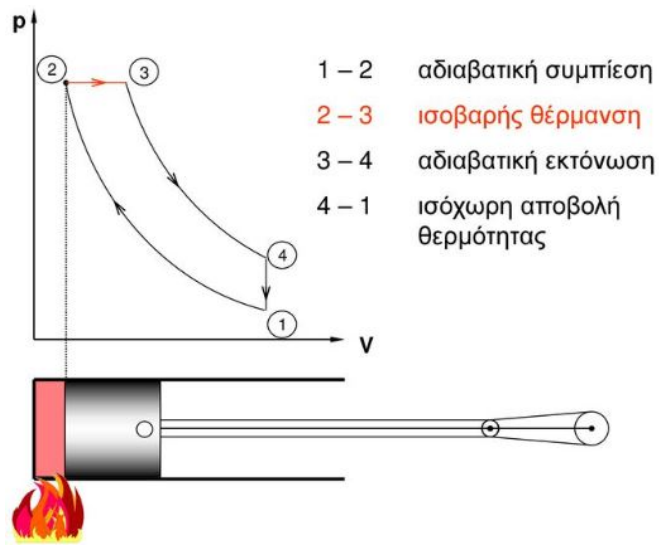
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι φάσεις, στις οποίες απεικονίζεται η αντίστοιχη κίνηση του εμβόλου :

- 1-2: Η αδιαβατική συμπίεση πραγματοποιείται όταν το έμβολο κατευθύνεται προς το άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ) του κυλίνδρου και συμπιέζει τον αέρα.
- 2-3: Η ισοβαρής θέρμανση, η οποία ξεκινάει λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, δηλαδή τη χρονική στιγμή που ξεκινάει η καύση.
- 3-4: Η αδιαβατική εκτόνωση δημιουργείται λόγω της έκρηξης που πραγματοποιείται λόγω της υψηλής πίεσης μεταξύ αέρα και καυσίμου και εκτοπίζεται το έμβολο προς το κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ) περιστρέφοντας την στροφαλοφόρο άτρακτο.
- 4-1: Η ισόχωρη αποβολή θερμότητας είναι η φάση στην οποία πραγματοποιείται η εξαγωγή των αερίων από τον κύλινδρο μέσω της εισαγωγής του καθαρού αέρα. [2]

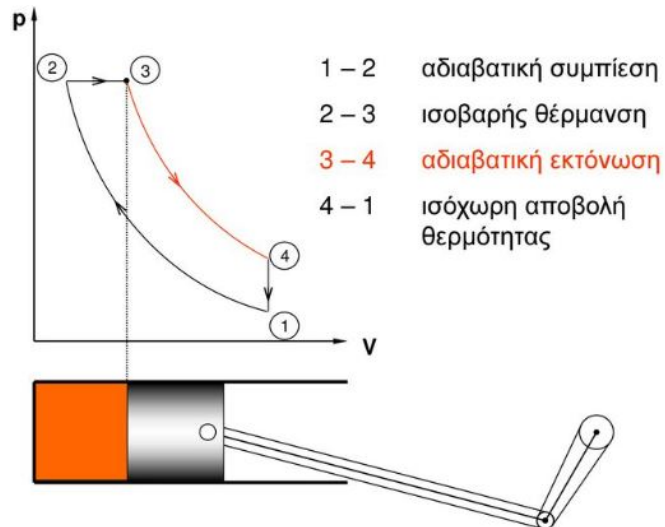
Κύκλος Diesel



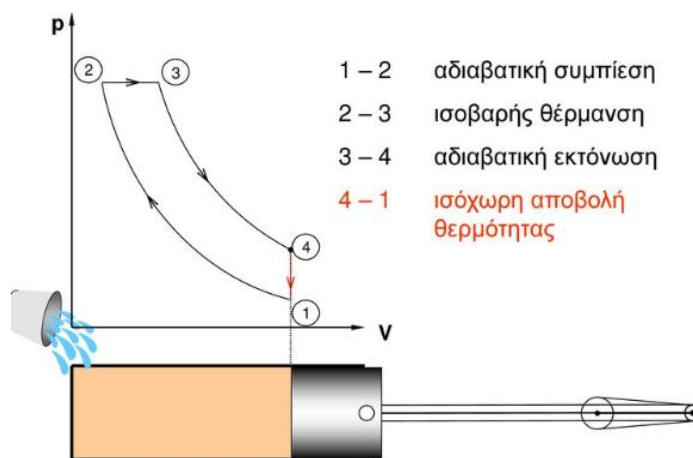
Εικόνα 4: Αδιαβατική συμπίεση



Εικόνα 5: Ισοβαρής θέρμανση



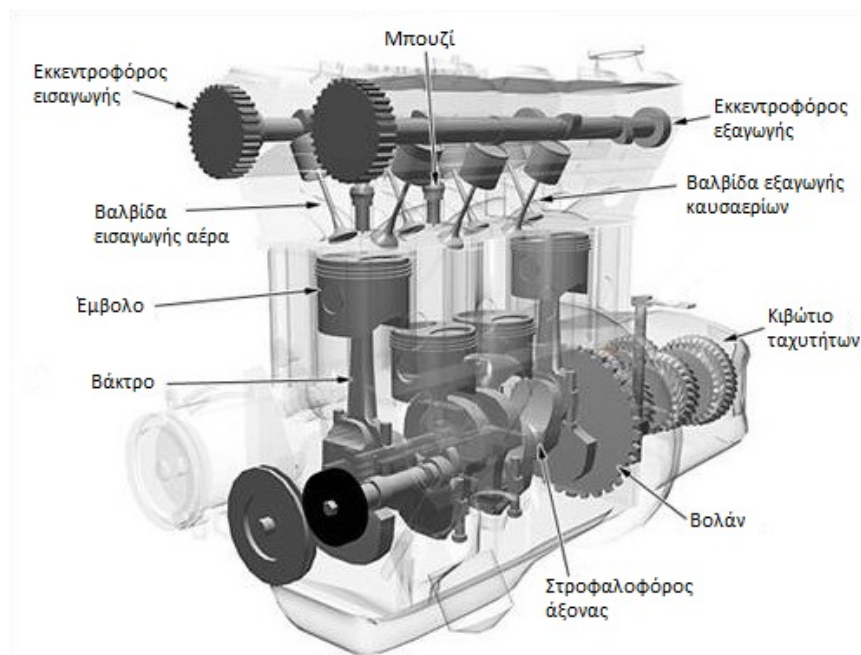
Εικόνα 6: Αδιαβατική Εκτόνωση



Εικόνα 7: Ισόχωρη αποβολή θερμότητας

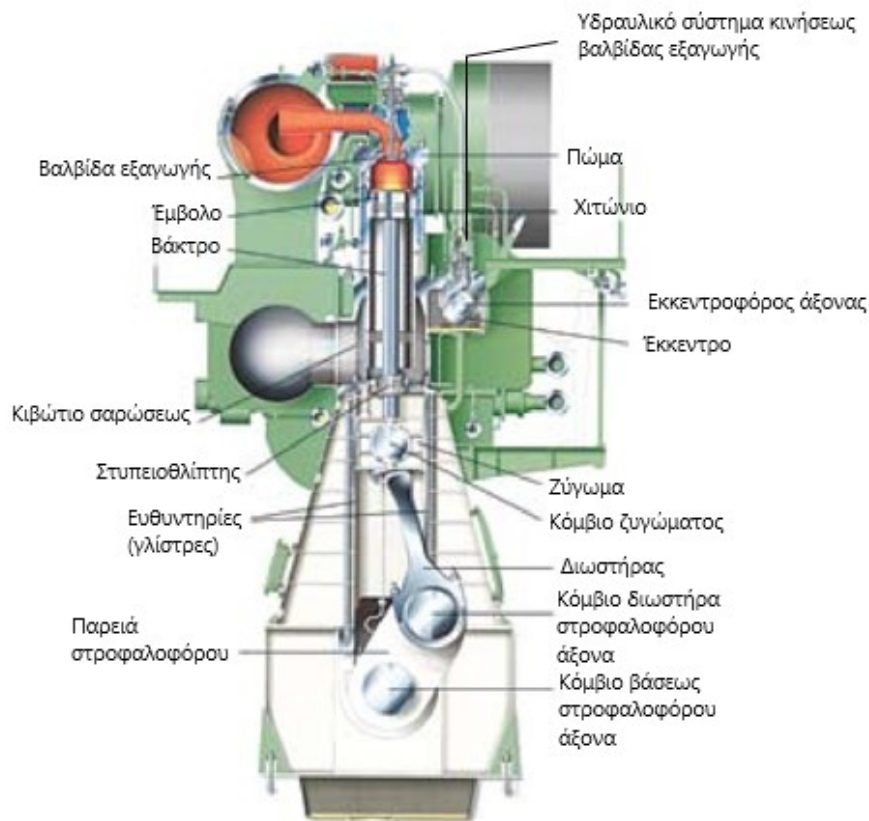
Οι κινητήρες κατατάσσονται σε τετράχρονους και δίχρονους κινητήρες οι οποίοι πραγματοποιούν την καύση σε διαφορετικούς χρόνους.

- Τετράχρονος κινητήρας:** Αποτελείται από τέσσερις χρόνους για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της καύσης στον κύλινδρο. Ο πρώτος χρόνος πραγματοποιείται τη στιγμή που το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ και ξεκινάει την κίνηση προς το ΚΝΣ λόγω της εισαγωγής αέρα από τη βαλβίδα. Έπειτα έρχεται η δεύτερη φάση, η φάση της συμπίεσεως, που στεγανοποιείται ο κύλινδρος αφού κλείνουν οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα και έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου του κυλίνδρου, συνεπώς την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του. Στη συνέχεια παίρνει σειρά ο τρίτος χρόνος όπου βρίσκεται το έμβολο στο ΑΝΣ την ώρα που ψεκάζονται σταγόνες καυσίμου μέσω ενός εγχυτήρα και έτσι αφού αναμειχθεί με τον αέρα πραγματοποιείται αυτανάφλεξη λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που επικρατεί και με τον τρόπο αυτό παράγονται υψηλά ποσά θερμότητας και πίεσης ωθώντας το έμβολο προς το ΚΝΣ. Ο τελευταίος χρόνος βρίσκεται το έμβολο στο ΚΝΣ με τις βαλβίδες εξαγωγής αερίων να ανοίγουν και το έμβολο να κατευθύνεται προς το ΑΝΣ, τα καυσαέρια εξέρχονται από τον κύλινδρο λόγω της υψηλής πίεσης που προκαλεί η κίνηση του εμβόλου, μια κίνηση που προκαλείται από τη μηχανική ενέργεια που έχει αντλήσει από τον σφύνδυλο. [2],[3],[11]



Εικόνα 8: Τετράχρονος κινητήρας

- Δίχρονος κινητήρας:** Για να πραγματοποιηθεί η καύση σε ένα δίχρονο κινητήρα απαιτούνται 2 χρόνοι. Ο πρώτος χρόνος ξεκινάει όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, την ώρα που ψεκάζεται το καύσιμο μέσω του εγχυτήρα πραγματοποιείται η καύση λόγω της υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατεί από την συμπίεση που έχει προκαλέσει το έμβολο. Με τον τρόπο αυτό η πίεση που δημιουργούν τα καυσαέρια προκαλούν την κίνηση του εμβόλου προς το ΚΝΣ μεταδίδοντάς τη στον διωστήρα και ταυτόχρονα ο διωστήρας στον στρόφαλο. Κατά την κάθοδο του εμβόλου προς το ΚΝΣ ανοίγουν πρώτα η δίοδος εξαγωγής των καυσαερίων και στη συνέχεια οι δίοδοι εισαγωγής καθαρού αέρα, όπου ωθούνται τα καυσαέρια προς την έξοδο από τον κύλινδρο. Η φάση αυτή καλείται φάση εκτόνωσης και από αυτήν η μηχανή παράγει έργο. Έπειτα ξεκινάει ο δεύτερος χρόνος με το έμβολο να βρίσκεται στο ΚΝΣ και να ξεκινάει την κίνησή του προς το ΑΝΣ καλύπτοντας πρώτα τις θυρίδες εισαγωγής και έπειτα κλείνει θυρίδα εξαγωγής όπου συμπιέζεται και πάλι ο νέος καθαρός αέρας που έχει εισέλθει στον κύλινδρο. [2],[3],[11]



Εικόνα 9: Αργόστροφη Δίχρονη πετρελαιομηχανή [11]

2.1 Τύποι ναυτικών κινητήρων

Με βάση τη διάμετρο

1. Αργόστροφος: Διάμετρος μεγαλύτερη από 500mm
2. Μεσόστροφος: Διάμετρος 250 έως 500mm
3. Ταχύστροφος: Διάμετρος έως 250mm

Με βάση τις στροφές

1. Αργόστροφος: Ταχύτητα περιστροφής έως 350 RPM
2. Μεσόστροφος: Στρέφονται με ταχύτητα έως 1500 RPM
3. Ταχύστροφος: Με στροφές άνω των 5000 RPM

Με βάση τη φορά περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα

1. Δεξιόστροφες μηχανές
2. Αριστερόστροφες μηχανές
3. Αναστρεφόμενες ή μη αναστρέψιμες μηχανές

Κριτήρια εκλογής κύριας μηχανής πλοίου

- Είδος φορτίου , άρα και τύπος πλοίου
- Απαιτήσεις ισχύος
- Διαστάσεις – Προορισμοί
- Βάρος εγκατάστασης
- Κόστος λειτουργίας-συντήρησης
- Αξιοπιστία

[2],[11],[10]

2.2 Κριτήρια επιλογής δίχρονης από τετράχρονη μηχανή

1. Μια δίχρονη μηχανή προσδίδει περίπου 1,7 έως 1,8 φορές μεγαλύτερο ωφέλιμο έργο από ότι μια τετράχρονη μηχανή ίδιων διαστάσεων. Ο λόγος για τον οποίο προκύπτει αυτό είναι γιατί μία δίχρονη μηχανή παράγει έργο κάθε 2 διαδρομές του εμβόλου (κάθε μια περιστροφή του στροφάλου) σε αντίθεση με μια τετράχρονη που απαιτεί 4 φάσεις για να παράξει ωφέλιμο έργο (κάθε 2 περιστροφές του στροφάλου).
2. Ο λόγος της απλούστερης κατασκευής που διαθέτει μια δίχρονη μηχανή σε σύγκριση με μια τετράχρονη παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, πράγμα που κάνει τις δίχρονες πιο αξιόπιστες. Δεν απαιτούνται βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής πράγμα που αποτελεί πολυπλοκότητα σε μια τετράχρονη μηχανή.

3. Ο δίχρονος κινητήρας έχει μεγαλύτερη θερμική απόδοση και μηχανικό έργο καθώς η μετάδοση θερμότητας προς το σύστημα ψύξεως είναι μεγαλύτερη σε έναν τετράχρονο από ότι σε έναν δίχρονο. Γι' αυτό το λόγο έχει μεγαλύτερη απόδοση ο κινητήρας της δίχρονης μηχανής.
4. Οι τετράχρονες μηχανές απαιτούν περισσότερη και πιο χρονοβόρα συντήρηση.

	Δίχρονη	Τετράχρονη
Απόδοση κινητήρα	ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ	ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ
Εκκίνηση	ΑΡΓΗ	ΓΡΗΓΟΡΗ
Αναστροφή	ΑΡΓΗ	ΓΡΗΓΟΡΗ
Συντήρηση	ΑΠΛΟΥΣΤΕΡΗ	ΠΕΡΙΠΛΟΚΗ
	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΕΡΗ	ΑΚΡΙΒΟΤΕΡΗ

[9],[2],[11]

2.3 Γιατί προτιμούνται οι δίχρονες μηχανές στα καράβια;

Επιλογή καυσίμου

Στους δίχρονους κινητήρες συνήθως χρησιμοποιείται ως καύσιμο το βαρύ πετρέλαιο ή λιγότερο επεξεργασμένα καύσιμα, σε συνδυασμό με λιπαντικά χαμηλής ποιότητας, τα οποία είναι πιο οικονομικά από τα πιο επεξεργασμένα καύσιμα (ποιοτικότερα) που χρησιμοποιούνται στους τετράχρονους κινητήρες. Συνεπώς ένας δίχρονος κινητήρας μπορεί να μειώσει το κόστος λειτουργίας ενός πλοίου.

Απόδοση

Η θερμική απόδοση και η απόδοση ενός δίχρονου κινητήρα είναι πολύ καλύτερη από αυτή ενός τετράχρονου κινητήρα.

Ισχύς

Οι περισσότεροι από τους δίχρονους κινητήρες είναι πλέον μεγάλοι κινητήρες και παράγουν μεγαλύτερη ισχύ. Ως εκ τούτου, διαθέτουν υψηλή αναλογία ισχύος προς το βάρος τους σε σύγκριση με τους τετράχρονους κινητήρες.

Φορτίο

Το πλοίο μπορεί να μεταφέρει περισσότερο φορτίο με μια δίχρονη μηχανή λόγω της υψηλής αναλογίας της ισχύος προς το βάρος της.

Αξιοπιστία

Οι δίχρονοι κινητήρες είναι πιο αξιόπιστοι στη λειτουργία τους σε σύγκριση με τους τετράχρονους κινητήρες.

Συντήρηση

Η απατήσεις για συντήρηση σε ένα δίχρονο κινητήρα είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με έναν τετράχρονο.

Εξαρτήματα μείωσης ταχύτητας

Λόγω ότι οι δίχρονοι κινητήρες είναι κινητήρες χαμηλής ταχύτητας, δεν απαιτείται κάποια διάταξη μείωσης ταχύτητας όπως στους τετράχρονους.

Ωστόσο, η ευκολία ελιγμών ενός δίχρονου κινητήρα είναι μικρότερη από εκείνη ενός τετράχρονου και το αρχικό κόστος εγκατάστασης μιας μονάδας δίχρονης πρόωσης απαιτεί υψηλότερο κόστος από το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενός τετράχρονου.

Παρολαυτά, στους δίχρονους κινητήρες, η ποσότητα που εξοικονομείται σε καύσιμο υψηλής ποιότητας μπορεί να αντισταθμίσει όλα τα μειονεκτήματα, μειώνοντας και το συνολικό κόστος λειτουργίας ενός πλοίου.

[2],[9],[10]

3. Περιγραφή Δίχρονης Μηχανής Πλοίου

Η ονομασία της μηχανής προέρχεται από τη χρονική περίοδο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η καύση, η οποία πραγματοποιείται σε 2 χρόνους. Η καύση λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό κάθε κυλίνδρου και προκύπτει από την έγχυση του καυσίμου στον συμπιεσμένο αέρα, ο οποίος προκαλείται από την ανοδική κίνηση του εμβόλου. Μέσω αυτής δημιουργούνται καυσαέρια από τις εκρήξεις λόγω της υψηλής πίεσης στο ΑΝΣ και προκαλείται η εξαναγκασμένη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα λόγω παραγωγής έργου.

3.1 Μέρη και εξαρτήματα μηχανής

3.1.1 Κορμός Μηχανής

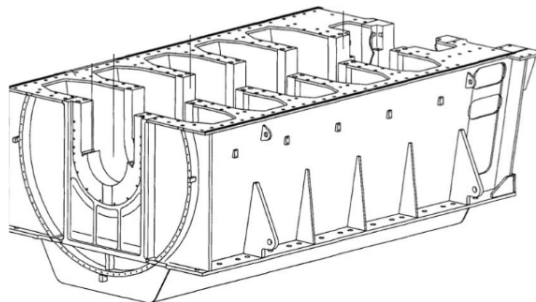
Ο κορμός της μηχανής αποτελείται από τη βάση της μηχανής, το πλαίσιο και το μπλοκ κυλίνδρων. Η συγκεκριμένη κατασκευή με τα 3 διαφορετικά τμήματα επιτυγχάνει την μεγαλύτερη αντοχή ενάντια στις θερμικές διαστολές, καθώς και τη μείωση του όγκου. Τα τμήματα αυτά είναι κατασκευασμένα από ελάσματα χαλύβων.

3.1.2 Βάση μηχανής

Η βάση της μηχανής αποτελεί το κατώτερο μέρος του κινητήρα και στηρίζει όλο το βάρος του. Επίσης πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή και εύκαμπτη ώστε να αντέχει τους κραδασμούς του πλοίου κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα ενώνοντας δύο διαμήκεις δοκούς μέσω πολλαπλών εγκάρσιων δοκών. Σε αυτές τις εγκάρσιες δοκούς υπάρχουν ημικυκλικές κοιλότητες για τη στήριξη του στροφαλοφόρου άξονα.

Λειτουργίες βάσης μηχανής

- Στήριξη βάρους κινητήρα
- Στήριξη του φορτίου των εξαρτημάτων
- Συλλογή λιπαντικού
- Ευθυγράμμιση στροφαλοφόρου άξονα



Εικόνα 10: Βάση μηχανής

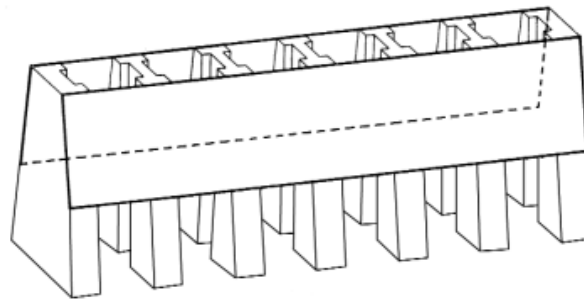
3.1.3 Πλαίσιο

Το πλαίσιο της μηχανής αποτελεί το βασικότερο μέρος του κινητήρα, καθώς πάνω του συνδέονται όλα τα εξαρτήματα της κύριας μηχανής. Στο κάτω μέρος του συνδέεται με τη βάση της μηχανής, ενώ στο πάνω μέρος με το σώμα των κυλίνδρων. Στα πλαϊνά μέρη του φέρει ανοίγματα, τα οποία λειτουργούν ως ανθρωποθυρίδες και βαλβίδες ασφαλείας. Το πλαίσιο και η βάση της μηχανής σχηματίζουν ένα κλειστό χώρο και απομονώνουν κάθε μονάδα του κινητήρα. Ο χώρος αυτός σχηματίζει τον στροφαλοθάλαμο του κινητήρα.

Στο εσωτερικό το πλαίσιο εντοπίζεται το ζύγωμα και οι οδηγοί ζυγώματος. Οι οδηγοί κατασκευάζονται στη θέση τους και δε μπορούν να ρυθμιστούν.

Λειτουργίες πλαισίου:

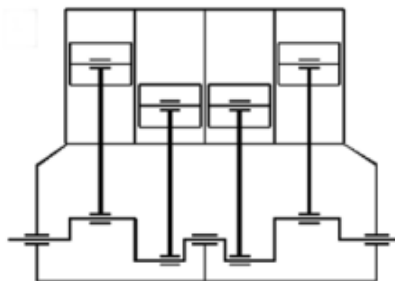
- Σχηματίζει το χώρο του στροφαλοθαλάμου
- Στηρίζει το σώμα των κυλίνδρων
- Μέσα σε αυτό υπάρχουν το ζύγωμα και οι οδηγοί ζυγώματος
- Κρατάει σε ευθυγράμμιση τον στροφαλοφόρο άξονα



Εικόνα 11: Σκελετός – Πλαίσιο

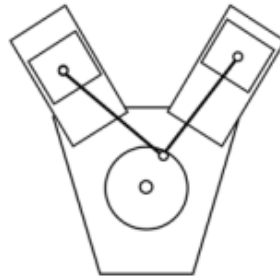
Οι ναυτικές μηχανές διακρίνονται σε δύο τύπους, οι οποίοι διαφέρουν στη διάταξη των κυλίνδρων. Οι τύποι μηχανών που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής δύο:

- **Διάταξη εν σειρά:** Η διάταξη των κυλίνδρων είναι κατακόρυφη.



Εικόνα 12: Διάταξη κυλίνδρων εν σειρά

- **Διάταξη τύπου V:** Η διάταξη των κυλίνδρων δημιουργεί μία γωνία και ο σκελετός αποκτά τη μορφή του γράμματος “V”.



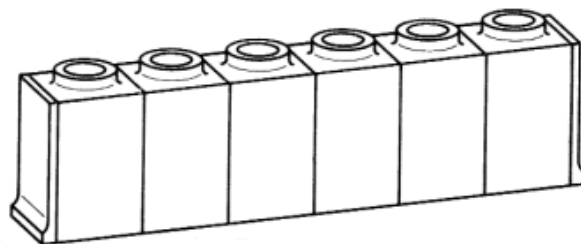
Εικόνα 13: Διάταξη τύπου V

3.1.4 Μπλοκ κυλίνδρων

Το μπλοκ κυλίνδρων στηρίζεται στην κορυφή του πλαισίου και σχηματίζονται μέρη του κινητήρα, όπως οι χώροι καθαρισμού, η κυλινδρική κοιλότητα. Η δομή του είναι αρκετά ισχυρή ώστε να αντιστέκεται στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται. Ακόμα τοποθετούνται τα χιτώνια, τα οποία αποτελούν τους κυλίνδρους της μηχανής και εντοπίζονται οι αγωγοί του συστήματος ψύξεως (νερό) και λίπανσης.

Λειτουργίες του μπλοκ των κυλίνδρων

- Στέγαση χώρων καθαρισμού και κυλίνδρων.
- Στηρίζει το χιτώνιο, την κυλινδροκεφαλή, τη βαλβίδα εξαγωγής των αερίων και άλλα εξαρτήματα.
- Τοποθέτηση χιτωνίων στο εσωτερικό του, όπου πραγματοποιείται η καύση.



Εικόνα 14: Μπλοκ κυλίνδρων

3.1.5 Χιτώνιο

Το χιτώνιο είναι ένα εξάρτημα κυλινδρικής διατομής που εισάγεται στο σώμα του κυλίνδρου και είναι το σημείο όπου το έμβολο παλινδρομεί. Η κατασκευή του από κράματα φαιού χυτοσιδήρου προσφέρει την αντοχή σε υψηλή πίεση και στη λιγότερη φθορά. Στο άνω τμήμα του παρατηρούνται οπές, ώστε να εισέρχεται το κυλινδρέλαιο και να συμβάλλει στη μείωση τριβών με τα ελατήρια του εμβόλου, της ψύξης αλλά και της στεγανοποίησής του. Στο κάτω τμήμα υπάρχουν επίσης θυρίδες, από τις οποίες εισέρχεται αέρας στο χιτώνιο για την επίτευξη της καύσεως. Δεδομένου ότι το

ψυκτικό ρέει απευθείας μέσω των επενδύσεων των κινητήρων υψηλής ισχύος, αναφέρονται ως υγρά χιτώνια.



Εικόνα 15: Χιτώνιο

3.1.6 Διωστήρας – Μπιέλα

Διωστήρας ή μπιέλα είναι μία ράβδος που συνδέεται με τον στροφαλοφόρο άξονα στο ένα άκρο, ενώ στο άλλο με το ζύγωμα. Καθώς το έμβολο κινείται κατακόρυφα, η ράβδος κινεί μαζί της το ζύγωμα, το οποίο με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση αυτή στην μπιέλα. Χρησιμοποιώντας αυτήν την κίνηση, η μπιέλα κινεί τον πείρο του στροφάλου (και επομένως τον στροφαλοφόρο άξονα) κάνοντας κυκλική κίνηση. Η πλευρά του εμβόλου είναι γνωστή ως το μικρό άκρο και η πλευρά του πείρου του στροφάλου ως το μεγάλο άκρο. Διαθέτει επίσης ρουλεμάν και στα δύο άκρα για ομαλή και χωρίς φθορές λειτουργία. Η μπιέλα, όπως και ο στροφαλοφόρος άξονας, βρίσκεται υπό συνεχή κυκλική φόρτιση και αυτό την καθιστά ευάλωτη σε αστοχία κόπωσης. Τα σημεία επαφής είναι επενδυμένα με λευκό μέταλλο για την μεγαλύτερη αντοχή στις τριβές. Ακόμα, εσωτερικά ο αγωγός του διωστήρα μεταφέρει το λιπαντικό επίσης για την καταπολέμηση των τριβών. Τα μέρη του διωστήρα είναι τα εξής:

- Κεφαλή: Είναι το άνω μέρος που συνδέεται με το ζύγωμα.
- Πόδι: Ονομάζεται το περίβλημα του κομβίου του στροφάλου, αυτό δηλαδή που σχηματίζει το έδρανο ολίσθησης του διωστήρα.
- Στέλεχος: Είναι η δοκός που συνδέει το πόδι με την κεφαλή.



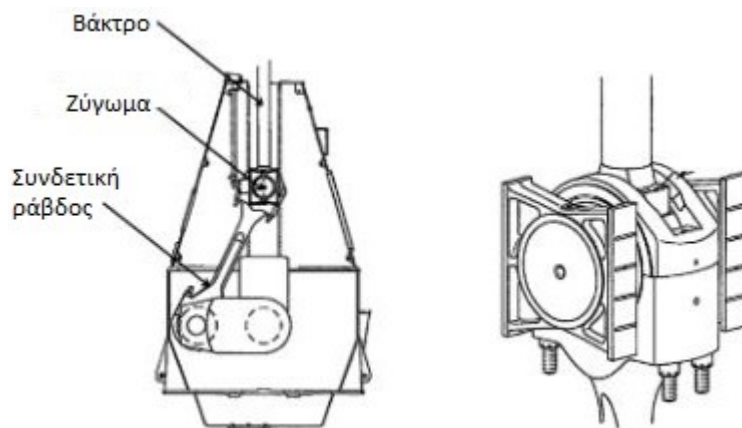
Εικόνα 16: Διωστήρας-Μπιέλα

Λειτουργίες μπιέλας

- Μετατροπή παλινδρομικής κίνησης του ζυγώματος σε περιστροφική κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα
- Τροφοδοσία ελαίων από το ζύγωμα στον πείρο του άξονα μέσω οπών ψύξεως και λίπανσης

3.1.7 Ζύγωμα

Το ζύγωμα είναι ένα ορθογώνιο τμήμα που λειτουργεί ως σύνδεσμος μεταξύ του εμβόλου και της μπιέλας.



Εικόνα 17: Ζύγωμα

Διαθέτει έναν κυκλικό πείρο στο κέντρο που είναι γνωστό ως κόμβιο ζυγώματος. Το άκρο αυτού της μπιέλας προσαρμόζεται σε αυτόν τον πείρο.

Το λάδι λίπανσης για το ρουλεμάν πείρου του ζυγώματος παρέχεται μέσω τηλεσκοπικού σωλήνα. Μέσω διάτρητων οπών, το λάδι ταξιδεύει περαιτέρω στο έμβολο, καθώς και στον πείρο του στροφάλου για λίπανση.

Λειτουργία ζυγώματος

- Επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση της μπιέλας έξω από τον κύλινδρο
- Τροφοδότηση λιπαντικού στο ρουλεμάν πείρου του στροφάλου και στο έμβολο

3.1.8 Έμβολο

Το έμβολο είναι ένα σύνθετο εξάρτημα που μετατρέπει τις δυνάμεις των αερίων που προκύπτουν από την καύση σε μηχανικές δυνάμεις για τον κινητήρα. Είναι τοποθετημένο στον κύλινδρο του κινητήρα και μεταδίδει τη μηχανική δύναμη στο βάκτρο.



Εικόνα 18: Έμβολο

Τα δύο ξεχωριστά μέρη του εμβόλου είναι η κεφαλή του εμβόλου και η ποδιά. Μεταξύ τους συνδέονται με 16 ή περισσότερους κοχλίες στην κάτω πλευρά της ποδιάς. Επίσης, το έμβολο υπόκειται σε μεγάλες ποσότητες θερμικής και κρουστικής φόρτισης.

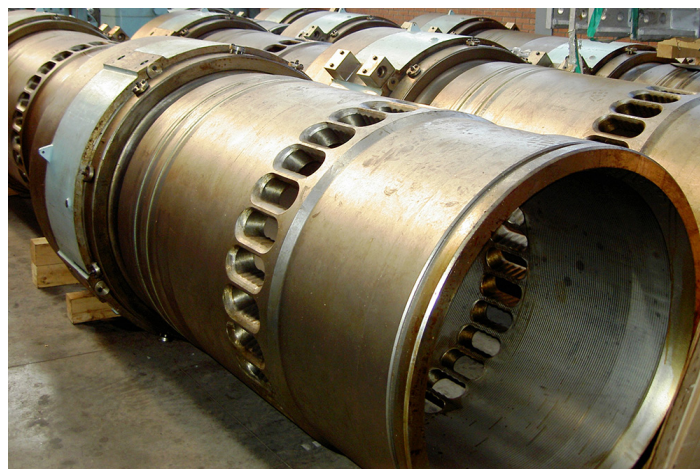
Το βάκτρο στερεώνεται στο εσωτερικό της κεφαλής μέσω πολλών κοχλιών.

Λειτουργία εμβόλου

- Μεταφορά ισχύος από τον κύλινδρο στον στροφαλοφόρο άξονα μέσω της μπιέλας
- Συμπίεση μείγματος καυσίμου-αέρα
- Σφράγιση θαλάμου καύσης και αποτροπή διάχυσης καυτών αερίων

3.1.9 Διαγραμμίσεις κυλίνδρου

Περιβάλλουν τον κύλινδρο του κινητήρα και λειτουργούν ως θάλαμος καύσης για τον κινητήρα. Εκτίθεται απευθείας στο μείγμα συμπιεσμένου αέρα – καυσίμου κατά τη διάρκεια της διαδρομής του εμβόλου προς το άνω νεκρό σημείο και στην πίεση καύσης κατά τη διάρκεια της διαδρομής προς το κάτω νεκρό σημείο.



Εικόνα 19: Διαγραμμίσεις κυλίνδρου

Σε γενικά πλαίσια, η φθορά τους είναι φυσιολογική έως 0,1mm για 1000 ώρες, το οποίο εξαρτάται ανάλογα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και τον τύπο της μηχανής, με κατά μέσο όρο αντικατάστασης όταν φτάσει το 0,6-0,8% του όγκου της οπής.

Λειτουργίες διαγραμμίσεων κυλίνδρου

- Απαγωγή θερμότητας στη διαδικασία της καύσης
- Σχηματισμός επιφάνειας ολίσθησης για την ομαλή κίνηση του εμβόλου
- Εξασφαλίζει ότι ο θάλαμος καύσης είναι αεροστεγής. Η ικανότητα στεγανοποίησης μειώνει την διάβρωση και αυξάνεται το διάκενο μεταξύ των δακτυλίων του εμβόλου και του οδηγού

3.1.10 Κυλινδροκεφαλή

Η κυλινδροκεφαλή είναι το ανώτατο μέρος της δομής του κινητήρα και διαθέτει διάφορα συστήματα, όπως τους εγχυτήρες ψεκασμού καυσίμου, τη βαλβίδα εξαγωγής αερίων κ.α. Επίσης παρέχονται χώροι για την κυκλοφορία του νερού ψύξης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κυλινδροκεφαλή ολοκληρώνει τη διάταξη στεγανοποίησης του θαλάμου καύσης και σφραγίζεται χρησιμοποιώντας έναν δακτύλιο από μαλακό χάλυβα (με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα).

Αποτελεί μέρος του συστήματος νερού ψύξης του χιτωνίου και λαμβάνει νερό από την έξοδο των ευθυντηριών του κυλίνδρου.



Εικόνα 20: Κυλινδροκεφαλές κινητήρα

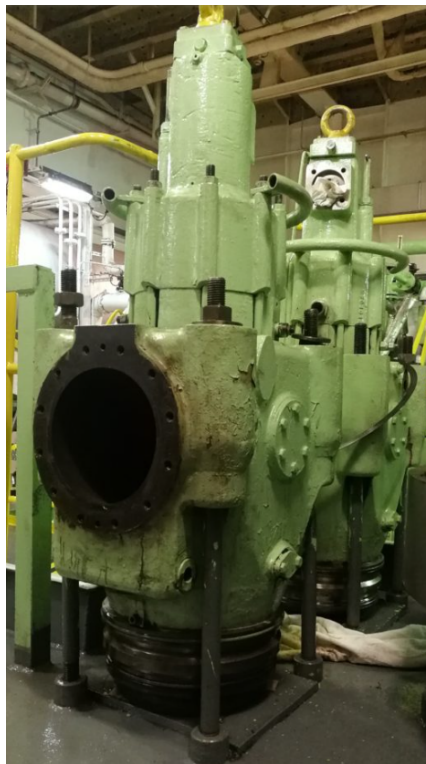
Λειτουργίες κυλινδροκεφαλής

- Σφράγιση θαλάμου καύσης
- Μεταφορά δυνάμεων καύσης στη δομή του κινητήρα
- Παροχή λειτουργίας για την ανάπτυξη αέρα εκκίνησης και ψεκασμού καυσίμου στον κύλινδρο

- Παροχή διέλευσης του νερού ψύξης από τις ευθυντηρίες στη βαλβίδα εξαγωγής

3.1.11 Βαλβίδα εξάτμισης

Κάθε μονάδα κινητήρα έχει τη δική της βαλβίδα εξαγωγής αερίων που είναι τοποθετημένη στην κεντρική οπή της κυλινδροκεφαλής. Μόλις ολοκληρωθεί η καύση, η βαλβίδα ανοίγει και εξάγει τα καυσαέρια από το θάλαμο καύσης. Από τις βαλβίδες εξαγωγής τα αέρια μεταφέρονται στο χώρο σάρωσης και έπειτα σε συστήματα ανάκτησης θερμότητας (υπερσυμπιεστής, συστήματα εξοικονόμησης), ενώ μια ποσότητα απελευθερώνεται από το φουγάρο.



Εικόνα 21: Βαλβίδα εξάτμισης

Μια υδραυλική αντλία λαδιού ελέγχει το χρονισμό της βαλβίδας και ο εκκεντροφόρος άξονας είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία της υδραυλικής αντλίας λαδιού για να ανοίγει τη βαλβίδα εξαγωγής. Η υδραυλική πίεση μπορεί να φτάσει έως και 220 bar για το άνοιγμα της βαλβίδας. Η μετακίνηση της υδραυλικής αντλίας από τον εκκεντροφόρο, ευθύνεται για την αποσυμπίεση στην υδραυλική γραμμή.

Ο αέρας του ελατηρίου σπρώχνει το έμβολο προς τα πάνω και κλείνει τη βαλβίδα. Η πίεση αέρα του ελατηρίου είναι περίπου 7 bar.

Τα καυσαέρια συνήθως κυμαίνονται από 350 έως 400 °C και ως εκ τούτου, η ψύξη παρέχεται μέσω του χιτωνίου νερού για απαγωγή θερμότητας.

Λειτουργία βαλβίδας εξαγωγής

- Εξαγωγή καυσαερίων την κατάλληλη στιγμή για καθορισμένη διάρκεια

- Διατήρηση αποτελεσματικής στεγανοποίησης όταν είναι κλειστή για την αποτροπή διαρροής αέρα συμπίεσης των καυσαερίων
- Μεταφορά αερίων στο χώρο σάρωσης για την περαιτέρω χρήση

3.1.12 Στροβιλοσυμπιεστής

Ο κύριος στροβιλοσυμπιεστής κινητήρα είναι μια συσκευή εξαναγκασμένης επαγωγής που αποτελείται από έναν στρόβιλο και έναν συμπιεστή και είναι διατεταγμένοι με κατάλληλο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η παροχή καθαρού αέρα υπό πίεση από το θάλαμο καύσης. Ο σκοπός του στροβιλοσυμπιεστή είναι να παρέχεται μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου μέσω του αέρα για να αυξηθεί η ισχύς εξόδου του κινητήρα.

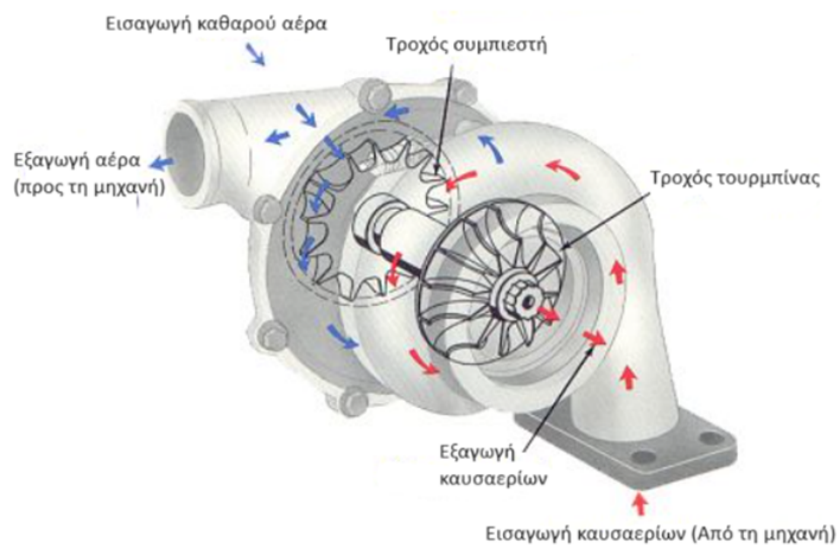
Στους μεγάλους κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα καράβια υπάρχουν δύο στροβιλοσυμπιεστές. Ακόμα τα καυσαέρια από κάθε μονάδα συλλέγονται στο χώρο σάρωσης και μια ποσότητα τροφοδοτείται στον στροβιλοσυμπιεστή και τα κινούμενα σωματίδια στα καυσαέρια κινούν το πτερύγιο του στροβίλου.

Ο άξονας του στροβίλου μέσω κατάλληλων διατάξεων στεγανοποίησης συνδέεται με την πτερωτή ενός ειδικού συμπιεστή. Ο συμπιεστής αντλεί ατμοσφαιρικό αέρα και τον συμπιέζει. Η συμπίεση αυτή είναι υπεύθυνη για την αύξηση της ισχύος εξόδου.

Καθώς αυξάνεται η μάζα του αέρα εισαγωγής υπάρχει η δυνατότητα της αύξησης του καυσίμου αναλογικά για την παραγωγή μεγαλύτερης ισχύος.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία του αέρα έως και πάνω από 120 °C.

Ο αέρας περνά από ένα ψύκτη αέρα και έτσι μειώνεται η θερμοκρασία του στα καθορισμένα επίπεδα.



Εικόνα 22: Στροβιλοσυμπιεστής

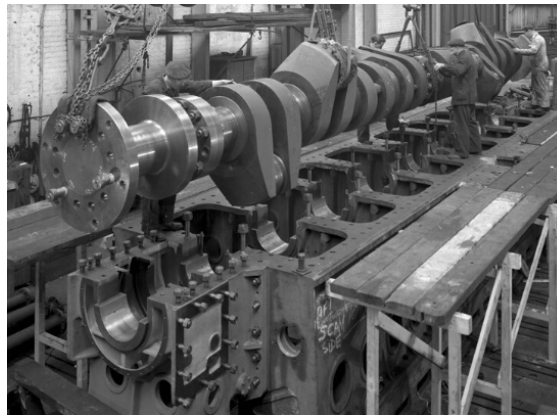
Λειτουργίες στροβιλοσυμπιεστή

- Αύξηση μάζας καθαρού αέρα για την καύση
- Χρήση υπολειπόμενης ενέργειας των καυσαερίων για βελτιωμένη απόδοση του κινητήρα

3.1.13 Στροφαλοφόρος άξονας

Ο στροφαλοφόρος άξονας είναι ένα από τα πιο σημαντικά εξαρτήματα του κινητήρα. Αυτό το τμήμα μαζί με τον διωστήρα είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης των εμβόλων του κινητήρα σε περιστροφική της προπέλας. Η προπέλα μετατρέπει τη ροπή σε αξονική ώθηση και κινεί το πλοίο.

Ο στροφαλοφόρος άξονας υπόκειται σε μια σειρά απο ποικίλα φορτία από το έμβολο, την καύση, την προπέλα και τον σφόνδυλο. Επομένως ο σχεδιασμός του έχει πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψιν όλα αυτά τα φορτία.



Εικόνα 23: Συναρμολόγηση στροφαλοφόρου άξονα

Ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελείται από:

- Τα κόμβια βάσεως
- Τα κόμβια διωστήρων
- Δύο βραχίονες που αποτελούν τον λεγόμενο αγκώνα (στρόφαλος). Όσοι είναι οι κύλινδροι, τόσοι είναι και οι αγκώνες. Επίσης οι βραχίονες φέρουν και αντίβαρα για τη ζυγοστάθμιση του άξονα.

Λειτουργίες στροφαλοφόρου άξονα

- Συλλογή ισχύος από μονάδες παραγωγής ενέργειας, όπως τους κυλίνδρους, και τη μετάδοση της στην προπέλα, στη γεννήτρια άξονα, στο σφόνδυλό και στις μονάδες στη διαδρομή αναρρόφησης.
- Μετατροπή της γραμμικής κίνησης σε περιστροφική
- Κατανομή αξονικών και περιστροφικών δυνάμεων που δημιουργούνται κατά την κίνηση του πλοίου στο κύτος του πλοίου μέσω αξονικών και περιστροφικών ρουλεμάν.



Εικόνα 24: Στροφαλοφόρος άξονας μεγάλης αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής

3.1.14 Εκκεντροφόρος άξονας

Ο εκκεντροφόρος άξονας είναι ένα περιστρεφόμενο τμήμα με πολλά σταθερά έκκεντρα σε διάφορες γωνίες. Ο εκκεντροφόρος αντλεί ισχύ μέσω του στροφαλοφόρου άξονα του κινητήρα μέσω αλυσίδων ή γραναζιών.



Εικόνα 25: Εκκεντροφόρος άξονας κινητήρα Diesel

Η ταχύτητα του εκκεντροφόρου είναι η ίδια με την ταχύτητα του στροφαλοφόρου σε έναν δίχρονο κινητήρα, ενώ τη μισή από την ταχύτητα του στροφαλοφόρου έχει σε ένα τετράχρονο.

Ο αριθμός των εκκεντροφόρων σε έναν κινητήρα εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα. Οι εν σειρά κινητήρες έχουν έναν εκκεντροφόρο άξονα, σε αντίθεση με τους κινητήρες σχήματος V που έχουν δύο.

Οι κύλινδροι σε αυτά τα έκκεντρα έχουν ένα μόνο βαθμό ελευθερίας και μπορούν να ανέβουν μόνο προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Χάρει σε αυτή την κίνηση, οι κύλινδροι λειτουργούν διάφορα μηχανήματα.

Λειτουργίες εκκεντροφόρου άξονα:

- Μετατροπή περιστροφικής κίνησης του στροφαλοφόρου σε παλινδρομική κίνηση
- Λειτουργία βαλβίδων εξαγωγής για δίχρονο κινητήρα ή βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής για τετράχρονο
- Λειτουργία αντλιών ψεκασμού καυσίμου στον διανομέα αέρα εκκίνησης

[10],[11],[9],[3],[13]

3.2 Καύσιμα

3.2.1 Καύσιμα ναυτιλίας

Πολλοί τύποι πετρελαίου δημιουργούνται από το συνδυασμό διαφορετικών προϊόντων, από τις φάσεις επεξεργασίας του αργού πετρελαίου που θα χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο πλοίων. Η πυκνότητα, το ιξώδες και η συμβατότητα είναι οι τρεις παράγοντες ανάμειξης που χρησιμοποιούνται για το συνδυασμό αποσταγμάτων και υπολειμμάτων. Οργανισμοί όπως ο I.S.O. (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης) ταξινομεί αυτά τα καύσιμα με βάση τα χαρακτηριστικά και την ποιότητά τους. Ενώ διάφορα έθνη έχουν κανόνες σχετικά με τους τύπους καυσίμου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, οι παραγωγοί των μηχανών συμβουλεύουν τη χρήση συγκεκριμένου τύπου καυσίμου για να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση. Οι κατηγορίες του πετρελαίου είναι οι εξής:

- 1,2,3,4,5: Ελαφρό (Bunker A)
- 5: Βαρύ (Bunker B)
- 6 (Bunker C)

Όσο αυξάνεται ο αριθμός, τόσο μεγαλώνει η διαφορά της ποιότητας.

3.2.2 Πετρέλαιο Diesel

Το πετρέλαιο diesel ή αλλιώς «Gasoil», στην πραγματικότητα είναι ένα λάδι, το οποίο παράγει αέριο κατά την εξαερίωσή του. Αναλυτικότερα, πρόκειται για προϊόν αποστάγματος φυσικού πετρελαίου και λόγω αυτού αποτελεί ένα από τα ποιοτικότερα και ακριβότερα καύσιμα μηχανών εσωτερικής καύσης. Τη σημερινή εποχή χρησιμοποιείται σε ταχύστροφες μηχανές με σχετικά μικρή ισχύ, καθώς σε μεγαλύτερης ισχύος μηχανές χρησιμοποιούνται πιο βαριά καύσιμα.

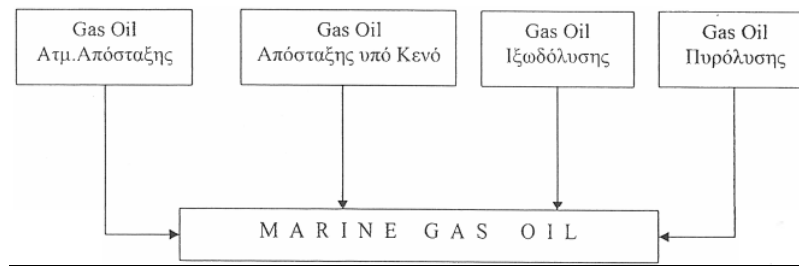
Κύρια χαρακτηριστικά	Όρια τιμών
1. Σημείο αναφλέξεως, °C	55 ελαχ.
2. Ανθρακούχο υπόλειμμα (επί 10% υπολ.)%	0,30 μεγ.
3. Τέφρα, %	0,01 μεγ.
4. Νερό, mg/kg	500 μεγ.
5. Διάβρωση ελάσματος χαλκού (3 ώρες, σε 50°C)	1 μεγ.
6. Θείον %	0,2 μεγ.
7. Αριθμός κετανίου,	49 ελαχ.
8. Πυκνότητα σε 15°C kg/m ³	820-860
9. Ιξώδες, σε 40°C, cSt	2-4,5
10. Απόσταξη	
– Συμπύκνωμα 10%, °C	αναφέρεται
– Συμπύκνωμα 50%, °C	αναφέρεται
– Συμπύκνωμα 65%, °C	250 ελαχ.
– Συμπύκνωμα 85%, °C	350 μεγ.
– Συμπύκνωμα 95%, °C	370 μεγ.

Εικόνα 26: Προδιαγραφές πετρελαίου diesel [14]

Αποτελεί την καλύτερη ποιότητα του καυσίμου για τις πετρελαιομηχανές και χρησιμοποιείται στις ναυτικές μηχανές όταν απαιτείται π.χ. σε γρήγορη αύξηση ή μείωση της ισχύος της μηχανής.

Ποιότητα καυσίμων

- **MGO (Marine Gas Oil):** Υψηλής ποιότητας καύσιμο που αναμειγνύεται με βαρύ πετρέλαιο για την παραγωγή ενδιάμεσων καυσίμων και χρησιμοποιείται σε πολύστροφες και στις μεσόστροφες μηχανές. Το ιξώδες του στους 50 °C κυμαίνεται από 1,3 έως 4,2 cSt και στους 40°C 1,5 έως 5,5 cSt. Στην Ελλάδα χρωματίζεται με κόκκινο ή κίτρινο για αναγνωσιμότητα και αποτελείται από υδρογονάνθρακες με μικρή ποσότητα οξυγόνου, θείου και αζώτου. Η ρύπανσή του με υπολείμματα καυσίμων ή λιπαντικό αναγνωρίζεται με γυμνό μάτι, καθώς μετατρέπεται σε μαύρο χρώμα.



Εικόνα 27: Η παραγωγή του MGO

- **MDO (Marine Diesel Oil)**

Χαρακτηρίζεται ως ναυτιλιακό diesel και ανήκει στην κατηγορία 5 του πετρελαίου. Η χρήση του πραγματοποιείται σε μηχανές πολύστροφες και μεσόστροφες, καθώς και για την εκκίνηση των μηχανών με βαρύ πετρέλαιο. Το ιξώδες κυμαίνεται στους 40°C από 2,5 έως 14 cSt.

- **HFO (Heavy Fuel Oil)**

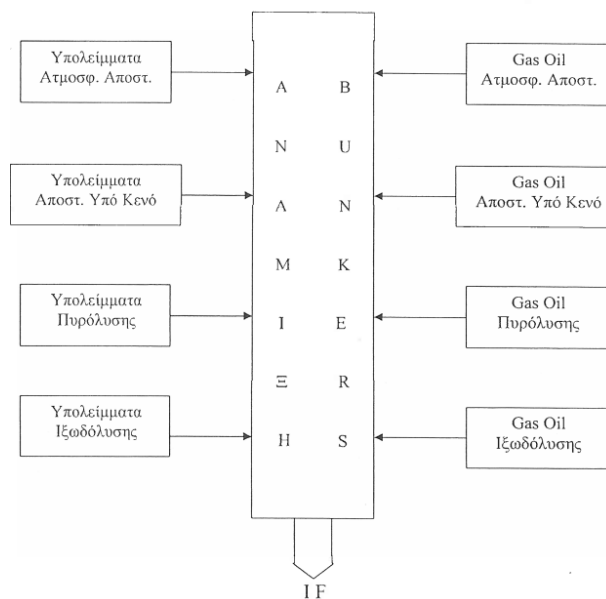
Χαρακτηρίζεται ως το βαρύ και παχύρευστο καύσιμο με μεγάλη πυκνότητα και χρησιμοποιείται για την ανάμειξη με MGO ή MDO, καθώς και σε αργόστροφες μηχανές ως καύσιμο. Πριν τη χρήση του απαιτείται προθέρμανση και το ιξώδες του στους 50°C φτάνει έως 1000 cSt.

- **IFO (Intermediate Fuel Oil)**

Διακρίνεται σε κατηγορίες ανάλογα με την τιμή που έχει το ιξώδες στους 50°C και αποτελεί προϊόν ανάμειξης HFO με MGO που απαιτείται προθέρμανση.

IF	ΙΞΩΔΕΣ cSt, 50 °C	ΙΞΩΔΕΣ Redwood, 100 °F
30	30	100
40	40	178
60	60	439
80	80	610
100	100	780
120	120	950
150	150	1250
180	180	1500
240	240	2100
280	280	2500
320	320	2900
380	380	3500

Εικόνα 28: Κατηγορίες IFO



Εικόνα 29: Η παραγωγή των Bunkers

3.2.3 Καύσιμα ναυτιλίας κατά CIMAC

Η CIMAC, Conseil International des Machines à Combustion, είναι μια ένωση που εκπροσωπεί τα παγκόσμια συμφέροντα της βιομηχανίας μεγάλων κινητήρων και οι προδιαγραφές της αναφέρονται σε καύσιμα πετρελαίου, τα οποία προορίζονται για χρήση σε ναυτικούς κινητήρες diesel. Οι τύποι είναι οι εξής:

Ναυτιλιακά Diesel

- **DX:** Απόσταγμα κατάλληλο για χρήση σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος έως -16°C, δίχως την απαραίτητη προθέρμανση. Η χρήση του είναι περιορισμένη καθώς έχει χαμηλό σημείο ανάφλεξης.
- **DA:** Απόσταγμα υψηλής ποιότητας και αναφέρεται ως ναυτιλιακό gasoil (MGO)
- **DB:** Αναφέρεται ως MDO και είναι καύσιμο που έχει γενική χρήση, ενώ μπορεί να περιέχει μικρή ποσότητα υπολείμματος μαζούτ.

- **DC:** Αναφέρεται ως αναμειγμένο ναυτιλιακό diesel (Blended MDO) και περιέχει μεγάλη ποσότητα μαζούτ. Η χρήση του είναι κατάλληλη σε εγκαταστάσεις όπου υπάρχουν συστήματα κατεργασίας μαζούτ.

Ναυτιλιακά Μαζούτ

- **A 30:** Μαζούτ που χρησιμοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος σε εγκαταστάσεις δίχως προθέρμανση της δεξαμενής που αποθηκεύεται, εφόσον το μέγιστο σημείο ροής του είναι 0°C.
- **B 30:** Μαζούτ που απαιτείται προθέρμανση της δεξαμενής που είναι αποθηκευμένο, καθώς μπορεί να μην είναι ρευστό σε θερμοκρασίες κάτω των 24°C.
- **D 80 – H 700:** Μαζούτ που απαιτείται κατεργασία για να πραγματοποιηθεί περιορισμός ανεπιθύμητων ουσιών. Η χρήση γίνεται ανάλογα με το ιξώδες και την δυνατότητα προθέρμανσης.
- **K 380, K 700:** Μαζούτ που χρησιμοποιούνται μόνο σε εγκαταστάσεις με φυγοκεντρικούς διαχωριστές, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν με καύσιμα μεγάλης πυκνότητας. (πάνω από 0,991 g/cm³)

Περιγραφή		CIMAC A 10	CIMAC B 10	CIMAC C 10	CIMAC D 15	CIMAC E 25	CIMAC F 25	CIMAC G 35	CIMAC H 35	CIMAC K 35	CIMAC H 45	CIMAC K 45	CIMAC H 55	CIMAC K 55
Σχετικό με το ISO8217 (87):	F-	RMA 10	RMB 10	RMC 10	RMD 15	RME 25	RMF 25	RMG 35	RMH 35	RMK 35	RMH 45	RMK 45	RMH 55	—
Χαρακτηριστικό	Διαστ.	Όρο												
Πυκνότητα στους 15° C	Kg/m ³	μεγ.	950	975	980	991		991		1010	991	1010	991	1010
Κινηματικό ιξώδες στους 100° C	cSt ^a	μεγ.	10		15	25		35			45			55
	ελαχ. ^a	6				15								
Σημείο ανάφλεξης	° C	ελαχ.	60		60	60		60			60			60
Σημείο ροής	° C	μεγ.	0 5 ^b	24	30		30		30			30		
Κατάλοιπο άνθρακα	%(m/m)	μεγ.	12		14	14	15	20	18	22		22		22
Τέφρα	%(m/m)	μεγ.	0.10		0.10	0.10	0.15		0.15		0.15			0.15
Συνολικό υπόλοιπο μετά το «γρήρασιμό»	%(m/m)	μεγ.	0.10		0.10		0.10		0.10		0.10			0.10
Νερό	%(V/V)	μεγ.	0.50		0.80		1.0		1.10		1.0			1.0
Θείο	%(m/m)	μεγ.	3.5		4.0		5.0		5.0		5.0			5.0
Βανάδιο	mg/kg	μεγ.	150	300	350	200	500	300	600		600			600
Αλειψίνα και πυρίτιο	mg/kg	μεγ.	80		80		80		80		80			80

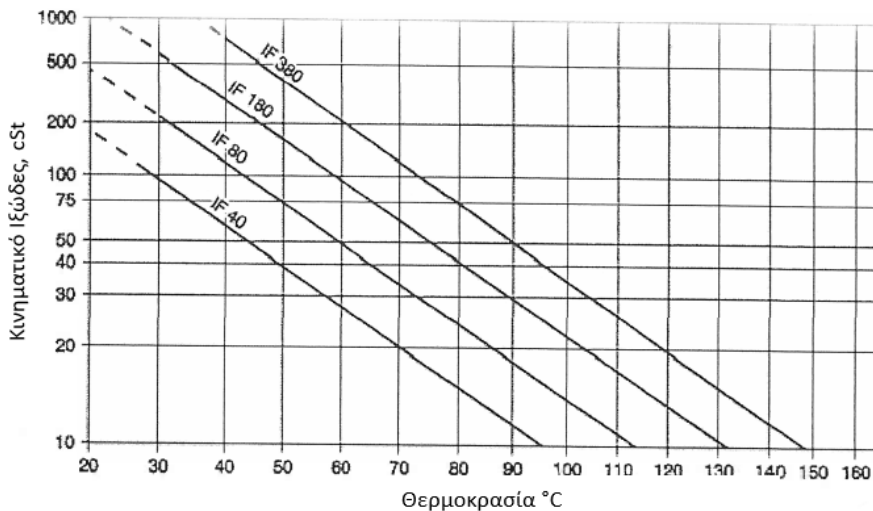
Εικόνα 30: Τυποποίηση καυσίμων ναυτιλίας [12]

3.2.4 Βασικά Χαρακτηριστικά Ποιότητας Καυσίμων Ναυτιλίας

- **Πυκνότητα:** Αφορά την σχέση της μάζας και του όγκου σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και χρησιμεύει στην εκτίμηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των καυσίμων. Συγκεκριμένα μέσω αυτής εκλέγονται πληροφορίες για την χρήση,

την καύση, την ανάφλεξη και τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου.

- **Ιξώδες:** Αποτυπώνει την αντίσταση ενός ρευστού στη ροή και μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τη θερμοκρασία. Η απαραίτητη προθέρμανση για τη μείωση του ιξώδους εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου και επιλέγεται από διαγράμματα ιξώδους – θερμοκρασίας.



Εικόνα 31: Μεταβολή κινηματικού ιξώδους με τη θερμοκρασία [12]

Όταν όμως δεν επιτυγχάνεται το σωστό ιξώδες παρουσιάζονται προβλήματα στην έγχυση το καυσίμου αλλά και στην άντληση.

- **Στην έγχυση:** Όταν το ιξώδες είναι πιο χαμηλό από το κανονικό, δεν πραγματοποιείται καλή διείσδυση στο θάλαμο καύσης που τη στιγμή της έγχυσης του καυσίμου εντοπίζονται υψηλές πιέσεις. Λόγω αυτού δεν πραγματοποιείται καλή ανάμειξη με τον αέρα και συνεπώς η καύση είναι ατελής με αποτέλεσμα την ρύπανση των κυλίνδρων από κατάλοιπα άνθρακα λόγω του καπνού και προφανώς προκαλείται η μείωση της απόδοσης.
- **Στην άντληση:** Όταν το ιξώδες είναι υψηλότερο από το κανονικό, η άντληση και η μεταφορά του πετρελαίου είναι πιο δύσκολη. Ακόμα λόγω του μειωμένου διασκορπισμού του καυσίμου οδηγεί σε πιο χοντρά σταγονίδια και επηρεάζεται η ανάμειξη του με τον αέρα, συνεπώς η καύση είναι ατελής. Ακόμα προκαλείται μετάκαυση από την επαφή του πετρελαίου με την επιφάνεια του χιτωνίου.

Η διατήρηση της σταθερής τιμής ιξώδους επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ιξωδομέτρων στο δίκτυο του καυσίμου που λειτουργούν ως ρυθμιστές ιξώδους.

- **Σημείο Ανάφλεξης:** Αφορά την ελάχιστη θερμοκρασία ανάφλεξης των ατμών του καυσίμου, κατά την εφαρμογή μια φλόγας υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Ο καθορισμός αυτού, ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες πυρκαγιάς τη στιγμή που αποθηκεύεται ή χρησιμοποιείται. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης του καυσίμου, τόσο μικρότερη είναι η ασφάλεια του καυσίμου.

Στις δεξαμενές αποθήκευσης, η θέρμανση του καυσίμου πρέπει να είναι κατά 10°C μικρότερη από την θερμοκρασία ανάφλεξης του καυσίμου. Στο μηχανοστάσιο το ελάχιστο σημείο ανάφλεξης για τα καύσιμα ενός εμπορικού σκάφους είναι 60°C , ενώ για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται εκτός μηχανοστασίου πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 43°C .

- **Σημείο Ροής:** Κατά την πτώση της θερμοκρασίας, μερικά συστατικά του καυσίμου, όπως η παραφίνη, παρουσιάζουν πήξη και το ιξώδες του καυσίμου μεγαλώνει, ενώ μόλις φτάσει σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία διακόπτεται η ροή του. Από το σημείο ροής δίνεται η θερμοκρασία στην οποία ο διαχωρισμός της παραφίνης είναι τόσο μεγάλος που αποτρέπει τη ρευστότητα του καυσίμου κατά την ψύξη του υπό ειδικές συνθήκες. Συνεπώς προκύπτει πρόβλημα στην άντλησή του, ενώ η παραφίνη έχει συγκεντρωθεί στον πυθμένα της δεξαμενής και στις σπείρες θέρμανσης. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα προτείνεται η προθέρμανση κατά 10°C πάνω από το σημείο ροής του καυσίμου ή ακόμα και να κριθεί απαραίτητος ο καθαρισμός της δεξαμενής.
- **Εξανθράκωμα:** Αποτελεί τον προσδιορισμό της τάσης του καυσίμου για τη δημιουργία ανθρακούχων ενώσεων, οι οποίες προέρχονται από συστατικά που περιέχει το καύσιμο κατά τη διάρκεια της καύσης. Τα συστατικά αυτά δεν καίγονται πλήρως και σχηματίζουν ένα είδος ανθρακούχου κοιτάσματος. Οι διαδικασίες καθαρισμού παίζουν σημαντικό ρόλο στην τιμή του εξανθρακώματος, οι οποίες πραγματοποιούνται κατά την παραγωγή του καυσίμου. Στα καύσιμα ναυτιλίας η τιμή φτάνει έως και 10-16% β/β, ενώ δεν πρέπει να ξεπερνάει το 20% β/β. Ο καλός καθαρισμός του πετρελαίου και η χρήση λιπαντικών στα εξαρτήματα είναι δύο σημαντικοί παράγοντες για να αντιμετωπιστεί το εξανθράκωμα.

Προβλήματα:

- Τα μεγάλα εξανθρακώματα προκαλούν μείωση απόδοσης του κινητήρα και την αύξηση της φθοράς του (χιτώνια, βαλβίδες, θυρίδες σάρωσης)
- **Τέφρα:** Αποτελείται από υπολείμματα καυσίμου και λιπαντικών που δεν έχουν υποστεί καύση. Αυτά τα υπολείμματα προέρχονται από μεταλλικά συστατικά (συμπεριλαμβανομένου του βαναδίου, του νατρίου και του αλουμινίου) καθώς και από σκουριά, άμμο και ρύπους που έχουν παραμείνει στο φυσικό πετρέλαιο όσο και στα απόβλητα απόσταξης. Τέφρα μπορεί επίσης να παραχθεί από υψηλή ποσότητα λιπαντικού στο καύσιμο ή ακόμα και από το θαλασσινό νερό. Τα χημικά πρόσθετα προτείνονται ως λύση στα προβλήματα που αναπτύσσονται γιατί ευαισθητοποιούν την τέφρα και διευκολύνουν την απομάκρυνσή της.

Προβλήματα:

- Στο σύστημα ψεκασμού
 - Διάβρωση σε εξαρτήματα (έμβολο, χιτώνια)
 - Αύξηση θερμικής καταπόνησης
 - Δυσχέρεια μεταφοράς θερμότητας
- **Περιεκτικότητα σε νερό:** Η διαρροή του νερού μπορεί να συμβεί από πολλές πηγές στο καύσιμο όπως από διαρροή στις δεξαμενές αποθήκευσης, του δικτύου μεταφοράς ή ακόμα και από σκόπιμη νόθευση. Ο εντοπισμός του νερού μπορεί να γίνει με ειδική συσκευή προσδιορισμού νερού, η οποία προσδιορίζει την ποσότητα του νερού από την ποσότητα του υδρογόνου που απελευθερώνεται κατά την διάσπασή του με χρήση κατάλληλου χημικού αντιδραστηρίου. Όταν εντοπιστεί νερό στα καύσιμα προκαλούνται προβλήματα στην καύση και στο χειρισμό. Τα καύσιμα ναυτιλίας μπορούν να περιέχουν νερό έως 1,0% β/ο, ενώ το MGO φτάνει έως και 0,3% β/ο.

Προβλήματα:

- Στην καύση
 - Στον χειρισμό
 - Διάβρωση στη μηχανή και στους εγχυτήρες καυσίμου, κυρίως όταν το νερό είναι θαλασσινό αφού περιέχει νάτριο και βανάδιο.
 - Υψηλό κόστος αποβολής νερού από το καύσιμο
- **Περιεκτικότητα σε θείο:** Το αργό πετρέλαιο περιέχει θείο, το οποίο συγκεντρώνεται στα υπολείμματα ατμοσφαιρικής απόσταξης. Εξαιτίας αυτού, η ποσότητα του θείου στο καύσιμο εξαρτάται από την πηγή του αργού πετρελαίου και για τα υπολείμματα καυσίμων παγκοσμίως είναι 2 έως 4% β/β. Η ποσότητα του θείου έχει μικρή επίδραση στην θερμαντική αξία.

Προβλήματα:

- Διάβρωση όταν το θείο σε αέρια μορφή συμπυκνωθεί και μετατραπεί σε υγρή μορφή.
- Φθορά σε εξαρτήματα μηχανής, καθώς κατά την καύση γίνεται μετατροπή σε διοξείδιο του θείου και μετά σε τριοξείδιο του θείου.
- Δημιουργία θειικού οξέος, το οποίο είναι πολύ διαβρωτικό και επιδρά στα εξαρτήματα καύσης που έχουν μικρότερη θερμοκρασία από το σημείο δρόσου του θειικού οξέος. Η θερμοκρασία αυτή εξαρτάται από την πίεση και αυξάνεται με την αύξησή της.
- Μηχανικές φθορές

- Όταν η περιεκτικότητα του θείου στο καύσιμο είναι 0,5% β/β, δημιουργείται φλόγα που καίει τα έλαια το κυλίνδρου και επηρεάζει το χιτώνιο
- Ρύπανση περιβάλλοντος

Αντιμετώπιση:

- Εξουδετέρωση των οξέων με χρήση κυλινδρελαίου και μηχανέλαιου. Τα βελτιωτικά καύσης σε συνδυασμό με αυτά περιορίζουν την οξείδωση σε θειικό οξύ. Η αλκαλικότητα που έχουν τα λιπαντικά είναι ανάλογη της ποσότητας του θείου στο καύσιμο και πρέπει να επικρατεί η κατάλληλη αντιστοιχία.
 - Για να αποφευχθεί η συμπύκνωση των ατμών και ο σχηματισμός θειικού οξέος πρέπει να διατηρηθεί το νερό ψύξης σε κατάλληλες θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου του θειικού οξέος πρέπει να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία νερού ψύξεως ώστε να μην υπερψυχθούν των εξαρτήματα.
 - Επιχρωμίωση των χιτωνίων για την καλύτερη συγκράτηση του λιπαντικού
- **Περιεκτικότητα σε βανάδιο και νάτριο:** Τα δύο αυτά μέταλλα εντοπίζονται σε όλα τα ακατέργαστα πετρέλαια και εξαρτώνται από την πηγή του ακατέργαστου πετρελαίου και από τις διαδικασίες που γίνονται για την παραγωγή υπολειμμάτων. Η ποσότητα του βαναδίου συνήθως στα υπολείμματα είναι 150 mg/kg, ενώ σε μερικά μπορεί να είναι και μεγαλύτερο από 400 mg/kg, ενώ το νάτριο είναι κάτω από 50 mg/kg εκτός αν εντοπίζεται και θαλασσινό νερό που το αυξάνει. Τα μέταλλα αυτά λειτουργούν ως καταλύτες στην καύση.

Προβλήματα:

- Το νάτριο σε υψηλό επίπεδο μπορεί να προκαλέσει αποθέσεις στον στροβιλοσυμπιεστή.
 - Το νάτριο και το βανάδιο σε υψηλά επίπεδα υπό συγκεκριμένες συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στη μηχανή.
 - Διάβρωση στα εξαρτήματα στο χώρο της καύσης
- **Σταθερότητα συμβατότητα**
- Σταθερότητα: Εκφράζει την παραμονή των ασφατενίων σε κολλοειδή μορφή στο καύσιμο δίχως να υπάρχει η τάση να διαχωριστούν. Όσο μεγαλύτερη είναι η αστάθεια του καυσίμου, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατακρήμνιση των ασφατενίων.
 - Συμβατότητα: Η δυνατότητα ανάμειξης δύο διαφορετικών καυσίμων, χωρίς να παρατηρηθεί σχηματισμός ιζήματος. Ο σχηματισμός ιζήματος

είναι μεγαλύτερος όσο πιο βαρύ είναι το καύσιμο, αφού η ανάμειξη επιτείνει την αστάθεια των καυσίμων.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν πληροφορίες για τη συμβατότητα και την σταθερότητα του καυσίμου θα πρέπει να:

- Να γίνει αποφυγή της ανάμειξης στην ίδια δεξαμενή με άλλα καύσιμα
- Αν γίνει ανάμειξη, να περιοριστεί η ποσότητα ενός καυσίμου λιγότερο από 25%
- Να γίνει αποφυγή ανάμειξης διαφορετικών προϊόντων διαφορετικής πυκνότητας

Αντιμετώπιση

- Χρήση χημικών προσθέτων στις δεξαμενές πετρελαίου για να εμποδιστεί ο σχηματισμός λάσπης ή ασφαλικών καταλοίπων.
- **Ποιότητα ανάφλεξης:** Ο αριθμός κετανίου εκφράζει την ικανότητα ανάφλεξης του καυσίμου την στιγμή του ψεκασμού στον κινητήρα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός κετανίου, τόσο πιο εύκολα γίνεται η ανάφλεξη του καυσίμου. Με την επιβράδυνση της ανάφλεξης συγκεντρώνεται ποσότητα του καυσίμου και την στιγμή που αναφλέγεται δημιουργούνται δονήσεις και κραδασμοί που μειώνουν την απόδοση της μηχανής. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος επιβράδυνσης, τόσο πιο κακή είναι η ποιότητα ανάφλεξης του καυσίμου. Ο αριθμός κετανίου αφορά σημαντικά το πετρέλαιο Diesel που χρησιμοποιείται στις ταχύστροφες πετρελαιομηχανές, ενώ στις αργόστροφες ο αριθμός κετανίου είναι χαμηλός και δεν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις (CN=20). Ο προσδιορισμός της ποιότητας ανάφλεξης επιτυγχάνεται με την παράμετρο που ονομάζεται «Δείκτης Αρωματικού Άνθρακα κατά Υπολογισμό» και συσχετίζει την ποιότητα ανάφλεξης με την περιεκτικότητα των αρωματικών υδρογονανθράκων. Αν το καύσιμο περιέχει χαμηλή περιεκτικότητα αρωματικών υδρογονανθράκων, τότε παρουσιάζει καλύτερη ανάφλεξη. Λόγω της θερμικής σταθερότητας που παρουσιάζουν οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες στην αέρια φάση καθυστερούν περισσότερο την ανάφλεξη και καθιστά απρόβλεπτη την μεταβολή της πίεσης. Ο δείκτης CCAI προσδιορίζει τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες στο καύσιμο. Η υψηλή πυκνότητα με μικρό ιξώδες αυξάνει το δείκτη CCAI στα καύσιμα. Με βάση το δείκτη CCAI κατατάσσονται τα καύσιμα ναυτιλίας ως εξής:

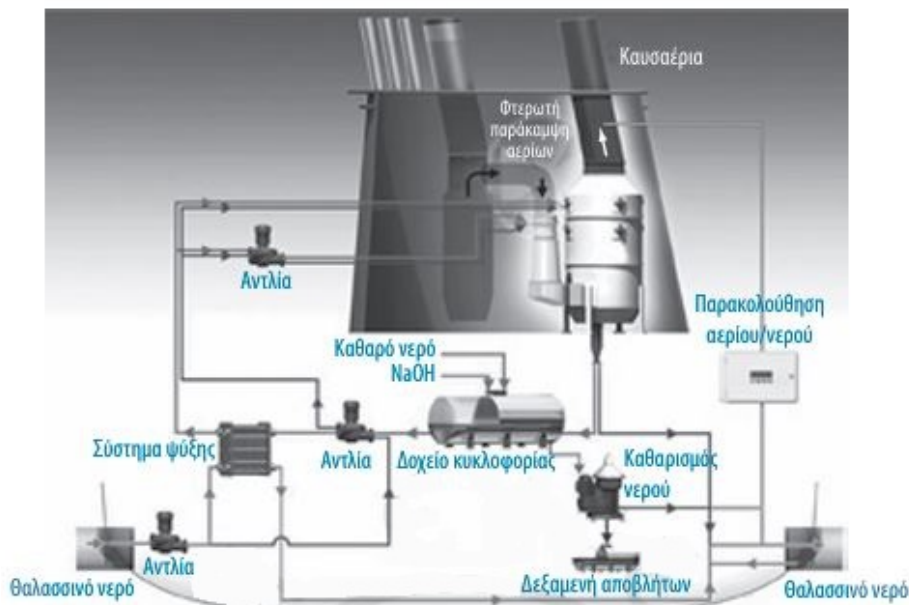
Τιμή CCAI	Ποιότητα Ανάφλεξης
790-830	Πολύ καλή μέχρι καλή
830-850	Καλή μέχρι ικανοποιητική
850-870	Μέτρια μέχρι κακή
870-950	Κακή μέχρι μη αποδεκτή

Προβλήματα:

•Όταν υπερβεί η τιμή το 850-950 πιθανό να δημιουργηθούν υψηλή πίεση, θορυβώδης λειτουργία, μείωση ισχύος κ.α.

- **Θερμογόνος δύναμη:** Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση του καυσίμου και μέσω αυτής υπολογίζεται η θερμική απόδοση. Χαρακτηρίζεται ως ανώτερη ή κατώτερη αναλόγως με την φυσική κατάσταση των υδρατμών που δημιουργούνται κατά την καύση, ενώ πρακτικά είναι σύνηθες να λαμβάνεται η κατώτερη. Διαφοροποιούνται από την περιεκτικότητά τους σε υδρογόνο, καθώς ένα ποσοστό νερού δεν αποδίδει θερμότητα, ενώ για την μετατροπή του σε υδρατμούς απορροφάται ένα ποσό θερμότητας των 600 kcal/kg.

Στα καύσιμα ναυτιλίας η περιεκτικότητα σε θείο, το νερό και η τέφρα αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τη θερμογόνο δύναμη. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται ειδικά διαγράμματα και σχέσεις.



Εικόνα 32: Σύστημα αποθείωσης καυσαερίων πλοίου [15]

3.2.5 Μαζούτ

Το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης ή αλλιώς μαζούτ αφορά υπολείμματα της απόσταξης του αργού πετρελαίου. Το μαζούτ είναι ένα παχύρευστο καύσιμο και διατίθεται στην Ελλάδα σε δύο τύπους, στον Νο.1 και στον Νο.3, οι οποίοι διαφέρουν στη ρευστότητά τους. Πιο συγκεκριμένα, το Νο.1 έχει χαμηλό ιξώδες και το Νο.3 υψηλό, ενώ η περιεκτικότητά τους σε θείο μπορεί να είναι είτε υψηλή είτε χαμηλή.

Ιδιότητες μαζούτ

- **Πυκνότητα:** Αποτελεί σημαντική ιδιότητα, καθώς σχετίζεται με τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου και με τη ρύθμιση του καυστήρα στον οποίο

θα χρησιμοποιηθεί το μαζούτ. Επίσης αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία και οι περιοχές που κυμαίνεται στον τύπο No.1 είναι 991-770 kg/m³, ενώ στο No.3 880-995 kg/m³.

- **Ιξώδες:** Επηρεάζει τη διάσπαση του μαζούτ σε μικρά σταγονίδια κατά την έγχυση του καυσίμου, γι αυτό και πραγματοποιείται προθέρμανση ώστε να μειωθεί.
- **Περιεκτικότητα:** Εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου από το οποίο προήλθε και αποτελεί πρόβλημα καθώς κατά την καύση του εκλύεται διοξείδιο του θείου που είναι όξινο και διαβρωτικό.
- **Θερμογόνος δύναμη:** Ελευθερώνεται κατά την καύση του καυσίμου και αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης. Αναφέρεται ως ανώτερη ή κατώτερη ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών που δημιουργούνται από την καύση και διαφέρουν από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο. Ακόμα επηρεάζεται από την περιεκτικότητα σε θείο, νερό και τέφρα.
- **Σημείο ανάφλεξης:** 66 °C
- **Τέφρα:** Στο μαζούτ είναι πιθανό να εντοπιστούν ποσότητες υλικών, οι οποίες δημιουργούν προβλήματα και φθορές στα συστήματα, όπως στο σύστημα ψεκασμού.
- **Εξανθράκωμα:** Κατά την καύση μια μικρή ποσότητα βαρέων συστατικών που εντοπίζονται στο καύσιμο είναι πιθανό να μην οξειδωθούν πλήρως και να σχηματίσουν ένα είδος ανθρακούχου κοιτάσματος με αποτέλεσμα να προκαλείται η ρύπανση των κυλίνδρων, εγχυτήρων κλπ.
- **Νερό και υπόστημα (πχ. Σκουριά, σωματίδια μετάλλων):** Μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα διάβρωσης και φθοράς του συστήματος ψεκασμού.
- **Ασφαλτένια:** Αποτελούν ένα μείγμα από άνθρακα, υδρογόνο, θείο, άζωτο, οξυγόνο και σε μικρότερη ποσότητα βαριά μέταλλα , όπως νικέλιο, σίδηρο και βανάδιο. Όλα αυτά δημιουργούν ένα λασπώδες προϊόν που μοιάζει με πίσσα και συνήθως βρίσκεται στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Ακολουθεί η σύσταση των ασφαλτενίων:

Νικέλιο	190 ppm
Βανάδιο	695 ppm
Θείο	10 % β/β
Άζωτο-Οξυγόνο	2,25% β/β
Άνθρακας	79,6% β/β
Υδρογόνο	7,65% β/β
Υδρογονάνθρακες	10,4% β/β

Εικόνα 33: Τυπική σύσταση ασφαλτενίων [12]

Χαρακτηριστικά μαζούτ ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε θείο:

Κύρια χαρακτηριστικά	Μαζούτ χαμηλού θείου		Μαζούτ υψηλού θείου	
	No1	No3	No1	No3
1. Πυκνότητα, σε 15°C, kg/m ³ , μεγ.	970	980	991	995
2. Σημείο αναφλέξεως, °C, ελαχ.	66	66	66	66
3. Σημείο ροής, °C, μεγ.				
α) Χειμερινή περίοδος (1/10 ως 15/5)	10	—	10	30
β) Θερινή περίοδος (10/5 ως 30/9)	15	—	15	30
4. Ιξώδες, σε 50°C, cSt, ελαχ.	—	181	—	181
Ιξώδες, σε 50°C, cSt, μεγ.	180	380	180	380
5. Ανθρακούχο υπόλειμμα, %, μεγ.	15	15	15	17
6. Νερό, %, μεγ.	0,5	0,5	0,5	0,5
7. Τέφρα, %, μεγ.	0,10	0,10	0,10	0,15
8. Θείον, %, μεγ.	0,7	0,7	3,5	3,5
9. Βανάδιο, PPM., μεγ.	120	150	220	250
10. Νάτριο, PPM., μεγ.	100	100	100	150
11. Ολικό ιζημα, %, μεγ.	0,15	0,15	0,15	0,15

Εικόνα 34: Ελληνικές προδιαγραφές μαζούτ [14]

[9],[12],[14],[15]

3.3 Λιπαντικά

3.3.1 Λίπανση πετρελαιομηχανών

- **Ταχύστροφες & Μεσόστροφες Δίχρονες Πετρελαιομηχανές:** Το δίκτυο λίπανσης είναι κοινό για τους κυλίνδρους και το στροφαλοθάλαμο.

Μέσω του κεντρικού συστήματος αντλίας, επιτυγχάνεται η λίπανση των μηχανών. Η αντλία λαδιού, η οποία κινείται από τον στροφαλοφόρο άξονα, είναι συνήθως γραναζωτή. Αναρροφά λάδι από την δεξαμενή και το μεταφέρει στο ψυγείο λαδιού. Μέσω του κεντρικού αγωγού διανομής, ο οποίος βρίσκεται κατά μήκος του κινητήρα και αποτελεί τη βάση όλων των σωληνώσεων μεταφέρεται σε όλα τα σημεία της μηχανής. Η διαδικασία είναι η εξής:

Διακλάδωση 1:

- ❖ Περνά από τους τριβείς των εδράνων και λιπαίνονται τα κόμβιά τους
- ❖ Εισρέει στον διάτρητο στροφαλοφόρο άξονα
- ❖ Φτάνει στους τριβείς κεφαλών των διωστήρων
- ❖ Διαπερνά τους διάτρητους διωστήρες
- ❖ Φτάνει στους πείρους των εμβόλων, ενώ ταυτόχρονα λιπαίνεται το εσωτερικό των κυλίνδρων και τα έκκεντρα
- ❖ Επιστροφή λαδιού στην δεξαμενή

Διακλάδωση 2:

- ❖ Λιπαίνονται οι τριβείς του εκεντροφόρου άξονα, οι αγκωνωτοί μοχλοί των βαλβίδων και οι οδοντωτοί τροχοί
- ❖ Επιστροφή λαδιού στην δεξαμενή

- **Αργόστροφες Δίχρονες Πετρελαιομηχανές:** Το σύστημα λίπανσης είναι διαφορετικό από τα άλλα είδη πετρελαιομηχανών, λόγω ότι ο στροφαλοθάλαμος διαχωρίζεται με ένα διάφραγμα από το χώρο της καύσης.

Λίπανση εδράνων:

- ❖ Κατάθλιψη λαδιού σε δύο έως οκτώ σημεία στην περιφέρεια των κυλίνδρων μέσω ειδικών αντλιών η κίνησή τους λαμβάνεται από τον εκκεντροφόρο άξονα.
- ❖ Διαφορετικό σύστημα για την καύση του λιπαντικού, ανεξάρτητο από το κεντρικό σύστημα λίπανσης εδράνων και στροφαλοφόρου άξονα
- ❖ Χρήση διαφορετικών ελαίων σε κάθε σύστημα χωρίς κάποια ανάμειξη λόγω του διαγράμματος
- ❖ Σε κάθε σημείο λίπανσης βρίσκεται μια αντλία, όπου τροφοδοτείται λιπαντικό από το κεντρικό σύστημα
- ❖ Διαφέρει σε κάθε μηχανή η παροχή του λιπαντικού και ρυθμίζεται ανάλογα
- ❖ Συνηθισμένη παροχή: 0,5-1,1 g/kWh ή 1,1-1,5 g/kWh
- ❖ Ανεπαρκής παροχή: Επαφή μεταξύ μετάλλων και δημιουργία μηχανικής και διαβρωτικής τριβής
- ❖ Υπερβολική ποσότητα παροχής: Δημιουργία μεγαλύτερης ποσότητας υπολειμμάτων καύσης λιπαντικών.

3.3.2 Χαρακτηριστικά Λιπαντικών

Λόγω της επικράτησης ειδικών συνθηκών στις μηχανές εσωτερικής καύσης (υψηλές θερμοκρασίες-πιέσεις, συγκεκριμένο ιξώδες σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες κ.α.), πραγματοποιείται χρήση ελαίων με επιπλέον πρόσθετα.

- **Ταχύστροφες & Μεσόστροφες Δίχρονες Πετρελαιομηχανές:** Ειδικά πρόσθετα που προσθέτονται στα έλαια:
 - ❖ Αντιοξειδωτικά λόγω των υψηλών θερμοκρασιών ($\theta > 1600^{\circ}\text{C}$), οξειδώνουν το λάδι
 - ❖ Απορρυπαντικά, διασκορπιστικά για την αποφυγή σχηματισμού λάσπης
 - ❖ Πρόσθετα που αντέχουν σε υψηλές πιέσεις για να διατηρηθεί η λιπαντική μεμβράνη
 - ❖ Πρόσθετα που εμποδίζουν τη δημιουργία αφρού εξαιτίας του ανακατέματος λαδιού

- ❖ Πρόσθετα που βελτιώνουν το δείκτη ιξώδους ώστε να διατηρηθεί η ρευστότητα του λαδιού σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες
- ❖ Χρήση ανάλογης ποσότητας αλκαλικών ώστε να καταστραφούν θειικά οξέα που σχηματίζονται μέσω της αντίδρασης του νερού με το θείο που περιέχει το καύσιμο.
- **Αργόστροφες Δίχρονες Πετρελαιομηχανές:** Ειδικά πρόσθετα που προσθέτονται στα έλαια:
 - ❖ Αντιοξειδωτικά
 - ❖ Πρόσθετα που εμποδίζουν τη δημιουργία αφρού
 - ❖ Χρήση ανάλογης ποσότητας αλκαλικών
 - ❖ Για τη λίπανση των κυλίνδρων χρησιμοποιούνται απορρυπαντικά, διασκορπιστικά και αλκαλικά πρόσθετα για την έχουν θερμική και χημική σταθερότητα

ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ

Είδος Λαδιών	TBN (mgKOH/ /gr)	Στάχτη (%)	SAE	Χρήση	Καύσιμο
Κανονικής αλκαλικότητας	10	1,5	30	Ταχύστροφες πετρελαιομηχ.	Πετρέλαιο με S<1%
Μέσης αλκαλικότητας	30	3,8	30 40	Ταχύστροφες πετρελαιομηχ.	Βαρύ πετρέλαιο με S από 1 μέχρι 3%
Υψηλής αλκαλικότητας	40	5	50	Πετρελαιομηχ. μεσαίων στροφών	IFO με S<4%

Εικόνα 35: Έλαια κυλίνδρων

ΕΔΡΑΝΑ

Υψηλής αλκαλικότητας	70	8,5	50	Αργόστροφες πετρελαιομηχ.	IFO με S<4%
Χωρίς πρόσθετα	0	0	30	Πετρελαιομηχ. με βάκτρο και ψύξη εμβόλων με νερό	
Με πρόσθετα	0	0,8	30	Πετρελαιομηχ. με βάκτρο και ψύξη εμβόλων	

Εικόνα 36: Έλαια εδράνων

3.3.3 Διαχείριση και αποθήκευση λιπαντικών

Διαχείριση:

- Υποχρεωτική προστασία σημείου πλήρωσης από καιρικές συνθήκες
- Υποχρεωτική προστασία από το θαλασσινό νερό
- Υποχρεωτική διαφορετική γραμμή πλήρωσης για κάθε λιπαντικό
- Υποχρεωτικά καλός εξαερισμός δεξαμενών, ώστε να μην προκύψει πρόβλημα μόλυνσης από την ατμόσφαιρα

Αποθήκευση:

- Τα δοχεία πρέπει να προστατεύονται σε κλειστό χώρο ή κάτω από ειδικό κάλυμμα
- Η τοποθέτηση των δοχείων, τα οποία περιέχουν τα λιπαντικά θα πρέπει να είναι οριζόντια ώστε να μην υπάρξει διαρροή από νερό στα πώματα

3.3.4 Συντήρηση και καθαρισμός λιπαντικού

Η συντήρηση των λιπαντικών είναι απαραίτητη, καθώς είναι πολύ κοστοβόρα η συχνή αλλαγή τους. Για να πραγματοποιηθεί αυτό πρέπει να πραγματοποιείται συνεχής καθαρισμός όταν χρησιμοποιούνται για να παρατείνει η χρήση τους. Αυτό γίνεται με τα εξής μέσα:

- **Χρήση φυγοκεντρικών καθαριστών:** Διαχωρίζουν το νερό και τις άλλες ύλες που περιέχει το λιπαντικό μέσω του βάρους των υλών και του λαδιού. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με υποχρεωτική θερμοκρασία στους 80 έως 90 °C.
- **Χρήση φίλτρων:** Διαχωρίζουν τα λιπαντικά από τα πρόσθετα διασκορπισμού και μπορεί να είναι μεταλλικά, απορροφητικά, μαγνητικά κ.α.

3.3.5 Αντικατάσταση λιπαντικών

Με το πέρασ του χρόνου, ο οποίος είναι γνωστός από τον κατασκευαστή, τα λιπαντικά μολύνονται και πρέπει να αντικατασταθούν. Οι παράγοντες αντικατάστασής τους είναι:

- Η μεταβολή του ιξώδους του λιπαντικού
- Η κατάσταση του κινητήρα
- Η λειτουργία με βαρύ πετρέλαιο
- Η φυγοκέντριση
- Το είδος του λιπαντικού
- Συχνότητα συμπλήρωσης

3.3.6 Καθαρισμός συστήματος λίπανσης

Ο καθαρισμός επιτυγχάνεται με τη χρήση διαλύματος οξέος, αλκαλικού υγρού, ελαίου και λειτουργία φυγοκεντρικών καθαριστών. Πραγματοποιείται κατή τη διαδικασία της επισκευής της μηχανής τη στιγμή της στραγγίσεως του λαδιού ή κατά την αντικατάσταση του λιπαντικού.

[9],[12],[14],[15]

4. Συντήρηση κύριας μηχανής

4.1 Χρονοδιαγράμματα ελέγχου και συντήρησης

Τα χρονοδιαγράμματα ελέγχου και συντήρησης υποδεικνύουν τα διαστήματα, στα οποία κρίνεται σκόπιμο να γίνει επιθεώρηση στα επιμέρους εξαρτήματα του κινητήρα και να πραγματοποιηθούν γενικές επισκευές, εάν κριθεί απαραίτητο με βάση την κατάσταση του κινητήρα ή τα κριτήρια χρόνου.

Τα χρονοδιαγράμματα ελέγχου και συντήρησης προορίζονται για χρήση με πολλούς τύπους κινητήρων. Επομένως τα χρονοδιαγράμματα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν εξαρτήματα που δεν είναι εγκατεστημένα σε συγκεκριμένη εγκατάσταση.

Οι αναφερόμενοι τακτικού έλεγχου ή οι ώρες εξυπηρέτησης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως οδηγός, καθώς οι πραγματικές συνθήκες επισκευής, η ποιότητα του μαζούτ ή του λιπαντικού, η επεξεργασία του νερού ψύξης κ.λπ. θα επηρεάσουν τα αποτελέσματα της επισκευής και συνεπώς τα διαστήματα μεταξύ της αναγκαίας αναμόρφωσης.

Οι τροποποιήσεις του σχεδιασμού ενδέχεται να απαιτούν αναθεώρηση των οδηγιών, οπότε οι αναθεωρημένες οδηγίες και τα τροποποιημένα διαστήματα γενικής επισκευής, εάν υπάρχουν, θα ισχύουν και θα αντικαθιστούν εκείνα που εκδόθηκαν αρχικά.

Εκτός από τα διαστήματα ελέγχου γενικής επισκευής που αναφέρονται σε αυτό το πρόγραμμα, οι απαιτήσεις περιοδικής έρευνας του νηογνώμονα ενδέχεται να απαιτούν πρόσθετους ελέγχους και γενικές επισκευές που θα πραγματοποιηθούν.

Οι διαδικασίες ελέγχου διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- **Έλεγχος συνθηκών βάσει χρόνου διαδικασιών**

Στον πίνακα ελέγχου σημειώνεται κάτω από την επικεφαλίδα «Τακτικοί Έλεγχου» ή «Κανονικό ωράριο του ελέγχου» με ένα « C » και αφορά την κατάσταση της υπηρεσίας ενός αριθμού εξαρτημάτων του κινητήρα και αποτελούν τη βάση για την εκτίμηση του αν απαιτείται περαιτέρω αναμόρφωση.

- **Διαδικασίες αναδιαμόρφωσης βάσει συνθηκών**

Οι διαδικασίες που αναφέρονται κάτω από την επικεφαλίδα «Κανονικές ώρες υπηρεσίας» σημειώνονται με ένα « O » και αντίθετα κάτω από την επικεφαλίδα «Γενική επισκευή» που βασίζεται σε μία διαδικασία ή αναφέρεται σε (στήλη P) έναν αριθμό διαδικασιών.

Αυτός ο αριθμός διαδικασιών αναφέρεται συνήθως σε μία από τις παραπάνω διαδικασίες ελέγχου κατάστασης που αποτελούν τη βάση για τη γενική επισκευή. Για αυτό το λόγο, τα διαστήματα που αναφέρονται είναι μόνο για καθοδήγηση.

- **Διαδικασίες αναδιαμόρφωσης βάσει χρόνου**

Οι διαδικασίες αυτές αναφέρονται με ένα « Ο » κάτω από τις επικεφαλίδες «Ωρα αναμόρφωσης» ή «Βάσει των παρατηρήσεων» και αφορούν τις διαδικασίες που δεν υπάρχει πραγματική βάση για την εκτίμησης. Συνίσταται να εκτελείται στα διαστήματα αναδιαμόρφωσης που αναφέρονται ως μια βάση.

Όταν ένα σύμβολο «Ο» ή «C» υποδεικνύεται βάσει παρατηρήσεων (στήλη B), αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ειδικές συνθήκες επισκευής ενδέχεται να καταστήσουν απαραίτητο έλεγχο ή επισκευή πέρα από τα πραγματικά τυπικά χρονοδιαγράμματα που υποδεικνύονται.

- **Διαδικασίες αρχικού ελέγχου**

Με ένα γράμμα «C» σημειώνεται κάτω από την επικεφαλίδα «Έλεγχος νέων / επισκευασμένων εξαρτημάτων» στις 500 έως 1500 ώρες (στήλη H), ενώ έχουν να κάνουν με τους αρχικούς ελέγχους που πρέπει να πραγματοποιηθούν σε νέο κινητήρα ή όταν τα εξαρτήματα έχουν αντικατασταθεί.

Μετά την ολοκλήρωση των αρχικών ελέγχων, οι έλεγχοι πρέπει να διενεργούνται μόνο σύμφωνα με την επικεφαλίδα «Τακτικοί έλεγχοι» ή «Ωρα αναμόρφωσης».

- **Αρχικές διαδικασίες διόρθωσης**

Σημειώνεται με ένα «A» κάτω από την επικεφαλίδα «Έλεγχος νέων / επισκευασμένων εξαρτημάτων στις 500 έως 1500 ώρες (στήλη H) και αφορά την αρχική ρύθμιση που πρέπει να γίνεται σε νέο κινητήρα ή όταν έχουν αντικατασταθεί εξαρτήματα.

Μετά την ολοκλήρωση των αρχικών προσαρμογών, οι ρυθμίσεις πρέπει να πραγματοποιούνται μόνο σύμφωνα με την επικεφαλίδα «Τακτικοί έλεγχοι» ή «Ωρα αναμόρφωσης».

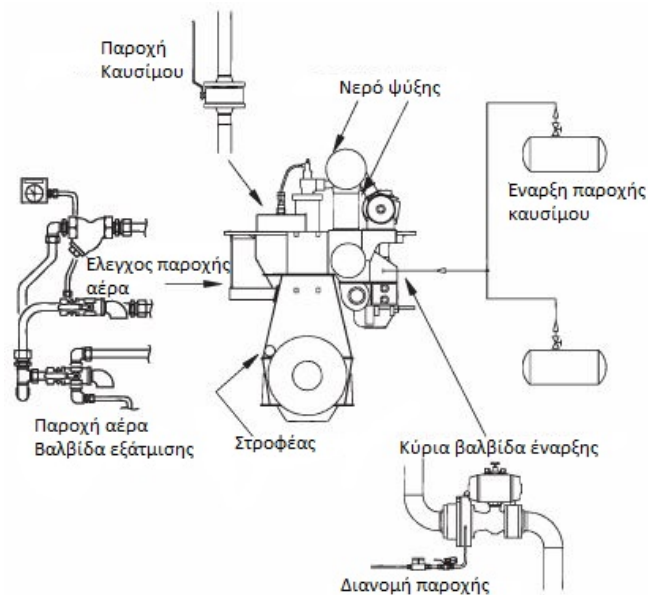
No.	Procedure	H	Regular Checks			Normal hours of service (X1000)								B	P	Remarks				
			Daily	Weekly	Monthly	2	4	6	8	12	16	24	32							
901 Cylinder cover																				
-1	Cylinder Cover														O					
	Indicator Valve														O	M				
902 Piston with Rod and Stuffing Box																				
-1	Piston														C	O	901			
	Inspection through scavenging air ports				C												V			
	Measuring of Piston rings														O					
-2	Piston Rod Stuffing Box														C,O		O			
903 Cylinder Liner and Cylinder Lubrication																				
-1	Cylinder Liner																O			
	Inspection through scavenging air ports				C												901			
	Measuring wear inside liner														C					
-2	Cylinder Lubricators																A			
	Lubricator Level Sensor														C		V,M			
904 Crosshead with Connecting Rod																				
-1	Crosshead Bearing	C													C	O*	C,O	V		
-2	Crosshead														C		O*	C,O	V	
-3	Reciprocating Parts														C			C,O		
-4	Crankpin Bearing	C													C			O*	C,O	V
-5	Connecting Rod																		O	

Εικόνα 37: Πρόγραμμα ελέγχου και συντήρησης

4.2 Μέτρα ασφαλείας πριν τη συντήρηση

Πριν από την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης, ο κινητήρας θα πρέπει να είναι σταματημένος και μπλοκαρισμένος σύμφωνα με τις προδιαγραφές ασφαλείας. Επίσης θα πρέπει να είναι διασφαλισμένα τα εξής μέτρα:

- Απενεργοποιημένη μηχανή
- Απενεργοποιημένη η παροχή αέρα
- Μπλοκάρισμα της κύριας βαλβίδας εκκίνησης
- Απενεργοποίηση της διανομής παροχής αέρα
- Απενεργοποίηση της ασφάλειας παροχής αέρα (όχι της κύριας μηχανής)
- Απενεργοποίηση ελέγχου παροχής αέρα
- Απενεργοποίηση παροχής αέρα στην βαλβίδα εξάτμισης
- Εμπλοκή στροφέα
- Απενεργοποίηση παροχής νερού ψύξης
- Απενεργοποίηση παροχής καυσίμου
- Απενεργοποίηση παροχής λιπαντικών
- Σφράγισμα των ρότορων του στροβιλοσυμπιεστή
- Απενεργοποίηση παροχής υδραυλικής ισχύος



Εικόνα 38: Σχετική τοποθεσία βαλβίδων στην μηχανή

[10],[9],[2],[11]

4.3 Προγραμματισμένη συντήρηση

Η τεχνική της συντήρησης, γνωστή και ως προγραμματισμένη συντήρηση είναι αυτή που όλες οι δραστηριότητες είναι προγραμματισμένες και προκαθορισμένες. Πιο συγκεκριμένα, κατά την εκτέλεση της τεχνικής αυτής, προγραμματίζεται ένα σύνολο ενεργειών σύμφωνα με τις βέλτιστες πρακτικές οδηγίες για την ελαχιστοποίηση χρόνου διακοπής λειτουργίας. Το σχέδιο αυτό δημιουργείται συνδυάζοντας κανόνες, γνώσεις και εμπειρίες των μηχανικών.

Η συντήρηση βάσει πλάνου μπορεί να ταξινομηθεί σε μη προγραμματισμένη συντήρηση και προληπτική.

- Η μη προγραμματισμένη συντήρηση, όταν καθίσταται απαραίτητη, υποδεικνύει μόνο έναν από τους λόγους για τους οποίους ένα πλάνο δεν είναι η βέλτιστη λύση συντήρησης. Αναλυτικότερα, αναφέρεται σε όλα τα σύντομα και οργανωμένα βήματα που απαιτούνται για την επιδιόρθωση των ζημιών και την αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας της μηχανής. Οι μηχανικοί του πλοίου θα πρέπει να ακολουθήσει μια σειρά ενεργειών ώστε να επιδιορθωθεί μια αστοχία, όπως για παράδειγμα όταν ένα βασικό εξάρτημα υπολειτουργεί πάνω από ένα αποδεκτό όριο ή έχει υποστεί κάποια ζημιά.
- Ο στόχος της προληπτικής συντήρησης είναι να διατηρήσει τα εξαρτήματα λαμβάνοντας προληπτικά μέτρα για την αντοχή τους. Περιλαμβάνει πληθώρα εργασιών, όπως επισκευή εξοπλισμού, αντικατάσταση εξαρτημάτων με ανταλλακτικά και άλλη γενική συντήρηση. Στόχος είναι να μειωθεί η πιθανότητα καταστροφής, η οποία θα προκαλέσει μεγάλη διαταραχή στην ομαλή λειτουργία του καραβιού. Οι αποφάσεις σχετικά με το τι και το πώς πρέπει να διατηρηθεί λαμβάνονται σύμφωνα με τις παρεχόμενες κατευθυντήριες γραμμές και τα αποτελέσματα μιας επιτόπιας επιθεώρησης.

4.4 Συντήρηση βάσει συνθηκών

Η συντήρηση βάσει συνθηκών αποτελεί μία προσέγγιση συντήρησης, η οποία βασίζεται στην αξιολόγηση των δεδομένων παρακολούθησης για να εξακριβωθεί η πραγματική κατάσταση των εξαρτημάτων της κύριας μηχανής και να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες ενέργειες για την επισκευή βάσει χρονοδιαγράμματος. Επίσης είναι σαφές ότι το είδος αυτό της συντήρησης, είναι εξίσου αποτελεσματικό και επικερδές με το σύστημα παρακολούθησης. Τα δεδομένα πρέπει να δίνονται από κάθε σημείο ενδιαφέροντος και πρέπει να συλλέγονται συνεχώς είτε σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα.

Η επίγνωση της πραγματικής κατάστασης οποιουδήποτε εξαρτήματος ανά πάσα στιγμή είναι η πιο αποτελεσματική προσέγγιση για την λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με τη συντήρηση. Μετά από αυτό, μπορούν να αποφευχθούν καταστροφές, διακοπές, καθώς και άσκοπες διαδικασίες και έξοδα συντήρησης.

Πρακτικά, η συντήρηση βάσει συνθηκών εξαρτάται από αισθητήρες και συστήματα ενδείξεων που αποτυπώνουν αν η φθορά έχει ξεπεράσει τα αποδεκτά όρια και θα υπάρξουν επερχόμενες βλάβες. Επιπλέον, το σύστημα υποδεικνύει αν υπάρχει πτώση της απόδοσης και αν είναι απαραίτητο να γίνουν σχετικές ενέργειες. Εφόσον δεν υπάρχει ένδειξη ότι η κατάσταση του πλοίου απαιτεί κάποια ενέργεια συντήρησης, τότε θεωρείται ασφαλές και παραμένει λειτουργικό, ενώ η ανάλυση κραδασμών και η ανάλυση λαδιού είναι μερικές από τις ενέργειες που εφαρμόζονται όσον αφορά τη συντήρηση βάσει συνθηκών. Με βάση την κρισιμότητα ενός εξαρτήματος, μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως κρίσιμη ή μη κρίσιμη. Παρά το γεγονός ότι η διαδικασία στοχεύει να είναι όσο το δυνατόν πιο αυτοματοποιημένη για την ενημέρωση για ανάγκη συντήρησης, είναι απαραίτητη και η τεχνογνωσία του προσωπικού.

Πριν από την υιοθέτηση της συντήρησης βάσει συνθηκών, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια ανάλυση προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα. Για όλα τα κρίσιμα ή τα μη κρίσιμα εξαρτήματα θα πρέπει να καθοριστεί η καταλληλότερη ένδειξη για όλα τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν σε κάθε περίπτωση.

4.5 Ενδείξεις αστοχιών των εξαρτημάτων

Για την έναρξη διαδικασιών συντήρησης θα πρέπει να έχουν εντοπιστεί κάποιες αρχικές ενδείξεις. Οι ενδείξεις αυτές, αν δεν υπάρχει κάποια καταστροφή ή κάποιο προφανές πρόβλημα, προέρχονται από τη λήψη δεδομένων της μηχανής. Από την αξιολόγησή τους πραγματοποιείται έλεγχος σε μέρη της μηχανής, στα οποία είναι πιθανό να υπάρχει κάποια βλάβη ή αστοχία. Οι ενδείξεις, οι οποίες οδηγούν σε αστοχία ή πρόβλημα είναι:

- Τιμή ανώτερη ή κατώτερη των αποδεκτών ορίων (π.χ. θερμοκρασία, πίεση)
- Υπολείμματα καυσίμου (στον θάλαμο καύσης)
- Υπολείμματα λιπαντικών
- Άκαυστες ουσίες
- Ρινίσματα μετάλλων (αποτέλεσμα τριβής μετάλλων)
- Ασυνήθιστοι ήχοι
- Μη φυσιολογικές δονήσεις
- Καπνός
- Συναγερμός
- Αστοχία υλικών – Καταστροφή (π.χ. ρωγμές, σπασίματα, οπές)

[10],[9],[2],[11]

5. Πνευματικό σύστημα πλοίου

5.1 Σύστημα εκκίνησης με συμπιεσμένο αέρα

Ο συμπιεσμένος αέρας υπό υψηλή πίεση χρησιμοποιείται για την εκκίνηση μεγάλων πετρελαιοκινητήρων. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής ισχύος, ο αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο, ενώ το έμβολο κατεβαίνει προς το κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ). Την ώρα που τροφοδοτείται αέρας στον κύλινδρο, δεν πραγματοποιείται έγχυση του καυσίμου, για να αποφευχθεί η πιθανότητα έκρηξης.

Τα σχέδια των συστημάτων εκκίνησης διαφέρουν και μπορεί να είναι περίπλοκα. Τόσο χειροκίνητα, όσο και εξ αποστάσεως από τη γέφυρα μπορεί να πραγματοποιηθεί η εκκίνηση του κινητήρα.

5.2 Αεροσυμπιεστές δύο σταδίων εκκίνησης με ενδιάμεσους ψύκτες

Συνήθως, παρέχονται δύο συμπιεστές αέρα εκκίνησης, οι οποίοι πρέπει να μπορούν να φορτίζουν πλήρως τους δέκτες αέρα σε μία ώρα. Επίσης, είναι συνήθως δύο σταδίων με ενδιάμεση και μετέπειτα σταδιακή ψύξη.

Σε κάθε στάδιο τοποθετούνται βαλβίδες που περιορίζουν την άνοδο της πίεσης στο 10% της πίεσης σχεδιασμού. Ακόμα οι ενδιάμεσοι ψύκτες είναι εφοδιασμένοι με δίσκους εκρήξεων ή βαλβίδες εκτόνωσης στην πλευρά του νερού.



Εικόνα 39: Αεροσυμπιεστές δύο σταδίων εκκίνησης με ενδιάμεσους ψύκτες

5.3 Δέκτες αέρα

Τοποθετούνται δύο δέκτες εκκίνησης αέρα, που η συνολική χωρητικότητά τους θα πρέπει να επαρκεί για την εκκίνηση του κινητήρα έως 12 φορές εναλλάξ εμπρός και πίσω, χωρίς την επαναφόρτιση των δεκτών. Σε περίπτωση που ο κινητήρας είναι μονής κατεύθυνσης πρέπει να επαρκεί για 6 εκκινήσεις.

Κάθε δέκτης αέρα θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με βαλβίδα εκτόνωσης για τον περιορισμό της αύξησης της πίεσης στο 10% της πίεσης σχεδιασμού. Επίσης πρέπει να τοποθετηθεί ένα μανόμετρο και ένα σύστημα αποστράγγισης. Ένα φρεάτιο επιτρέπει την πρόσβαση στον δέκτη για λόγους επιθεώρησης.



Εικόνα 40: Δέκτες αέρα

5.4 Κύρια βαλβίδα εκκίνησης

Η κύρια βαλβίδα εκκίνησης είναι ανοιχτή μόνο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης του ροής του αέρα. Ενσωματώνεται μια βαλβίδα αντεπιστροφής ώστε να αποτρέψει την πιθανότητα επιστροφής οποιασδήποτε έκρηξης του συστήματος εκκίνησης αέρα στους δέκτες. Επίσης μία βαλβίδα αργής περιστροφής ενσωματώνεται στη σωλήνωση μικρότερης διάτρησης στο πλάϊ της βαλβίδας. Αυτή χρησιμοποιείται για να περιστρέφεται αργά ο κινητήρας πριν από την εκκίνηση, ώστε να αποφευχθεί η ζημιά που θα μπορούσε να προκληθεί εφόσον είχε εισέλθει υγρό στον κύλινδρο.



Εικόνα 41: Η βαλβίδα αυτή ανήκει σε αργόστροφο δίχρονο κινητήρα MAN B&W

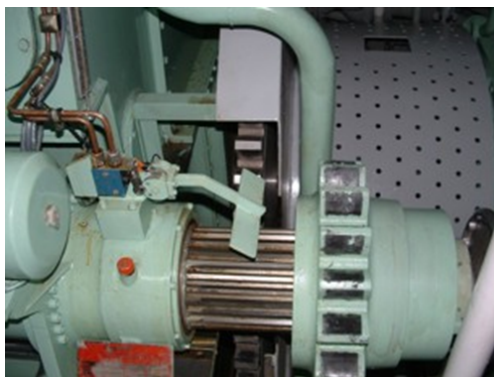
Η βαλβίδα αυτή είναι μια απλή σφαιρική βαλβίδα που στρέφεται κατά 90° με πνευματικό ενεργοποιητή. Ο ενεργοποιητής αποτελείται από έναν κεντρικό άξονα με οδόντες γραναζιών ειδικά επεξεργασμένα σε αυτόν. Ο ίδιος περιστρέφεται από δύο ράγες που κινούνται από έμβολα. Δύο ράβδοι – οδηγοί διατηρούν την ευθυγράμμιση

των εμβόλων, ενώ οι ράγες είναι διάτρητες για να επιτρέπουν τη μεταφορά του αέρα σε κάθε πλευρά των εμβόλων.

Όταν δίνεται σήμα εκκίνησης, ο χώρος πίσω από τα έμβολα συμπιέζεται και κινούνται μαζί, περιστρέφοντας τον άξονα και ανοίγοντας τη σφαιρική βαλβίδα. Στο τέλος της ακολουθίας της εκκίνησης, εισάγεται αέρας μέσω της δεύτερης ράβδου οδήγησης, συμπιέζοντας το χώρο μεταξύ των εμβόλων, απομακρύνοντάς τα και κλείνοντας τη βαλβίδα.

5.5 Το κλείδωμα του μηχανισμού περιστροφής

Το κλείδωμα του μηχανισμού περιστροφής είναι μια βαλβίδα ελέγχου που δεν επιτρέπει στον αέρα εκκίνησης να λειτουργήσει στο σύστημα, όταν ο μηχανισμός περιστροφής είναι ενεργοποιημένος.



Εικόνα 42: Κλείδωμα μηχανισμού περιστροφής

5.6 Διανομέας αέρα εκκίνησης

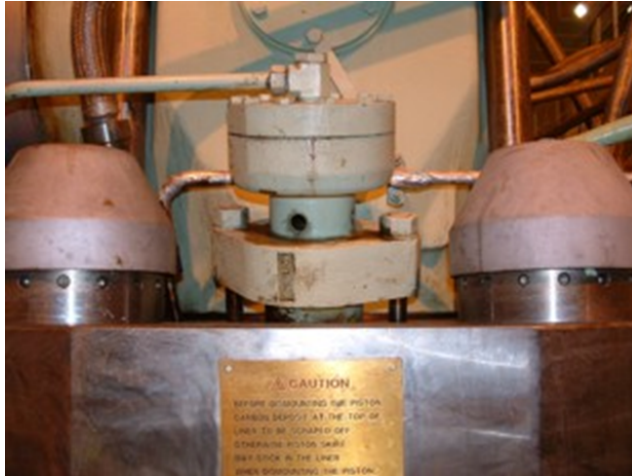
Ο διανομέας αέρα αποτελείται από μια σειρά πιλοτικών βαλβίδων, μία για κάθε κύλινδρο, οι οποίες είναι τοποθετημένες ακτινικά γύρω από ένα έκκεντρο. Εξοιχρονισμένος με τον κινητήρα και με καθοδήγηση από τον εκκεντροφόρο άξονα, ο διανομέας ανοίγει τις κύριες βαλβίδες εκκίνησης αέρα με την σωστή σειρά.



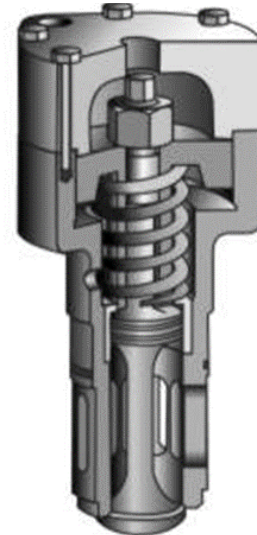
Εικόνα 43: Διανομέας αέρα εκκίνησης

5.7 Βαλβίδα εκκίνησης αέρα

Η βαλβίδα εκκίνησης αέρα βρίσκεται στην κυλινδροκεφαλή. Όταν ανοίγει με το σήμα αέρα από τον διανομέα ο συμπιεσμένος αέρας με πίεση 30 bar εισέρχεται στον κύλινδρο, πιέζοντας το έμβολο προς τα κάτω.



Εικόνα 45: Βαλβίδα εκκίνησης αέρα



Εικόνα 44: Βαλβίδα εκκίνησης αέρα κινητήρα MAN B&W

5.8 Δίσκος διάρρηξης

Η σύνδεση σε κάθε βαλβίδα εκκίνησης αέρα είναι εφοδιασμένη με διάταξη προστασίας. Η προστασία αυτή μπορεί να προέρχεται είτε από ένα δίσκο διάρρηξης είτε από μια «παγίδα φλόγας».

Η «παγίδα φλόγας» θα αποτρέψει μια τυχόν καύση στον κύλινδρο, να περάσει στη γραμμή εκκίνησης αέρα και να προκαλέσει έκρηξη, ενώ ο δίσκος διάρρηξης θα περιορίσει την πιθανότητα αύξησης της πίεσης λόγω διάρρηξης.



Εικόνα 46: «Παγίδα φλόγας»



Εικόνα 47: Δίσκος διάρρηξης

[5],[2],[13],[9]

6. Δεδομένα για την αξιολόγηση της απόδοσης της κύριας μηχανής

Η λήψη δεδομένων για την αξιολόγηση της απόδοσης της κύριας μηχανής, ιδανικά πρέπει να λαμβάνεται με καλό καιρό και χωρίς να υπάρχει διαγωγή μεγαλύτερη των 5 μέτρων. Αυτό δίνει την δυνατότητα για την καλύτερη αξιολόγηση των δεδομένων, καθώς δεν θα υπάρχουν καιρικά φαινόμενα και παραπάνω παράγοντες, ώστε να βγουν σωστά συμπεράσματα για την λειτουργία της μηχανής

Στην περίπτωση που η λήψη δεδομένων γίνει σε δύσκολες καιρικές συνθήκες, καθιστά δύσκολη και με αμφιβολίες, την αξιολόγηση της μηχανής.

6.1 Τρόποι συλλογής δεδομένων για την λειτουργία της μηχανής

6.1.1 Λογισμικό κύριας μηχανής

Οι σύγχρονες μηχανές διαθέτουν ένα εξειδικευμένο λογισμικό, το οποίο παρουσιάζει τα αποτελέσματα και υπολογισμούς δεδομένων από την κύρια μηχανή. Όλες αυτές οι μετρήσεις περνούν από δικλίδες ασφαλείας και υπολογίζονται με ακρίβεια. Πιθανό είναι όμως να υπάρχουν και λανθασμένες ενδείξεις λόγω κάποιας βλάβης αισθητήρων.



Εικόνα 48: Σύστημα ρύθμισης παραμέτρων

Αποτελεί πολύ σημαντικό σύστημα για την εξιχνίαση τυχόν προβλημάτων, βοηθώντας τον μηχανικό στην σύγκριση και την αποσαφήνιση των αποτελεσμάτων. Λαμβάνοντας τα δεδομένα αυτά, ο μηχανικός είναι ικανός να αξιολογήσει την κατάσταση λειτουργίας της μηχανής και σε περίπτωση προβλήματος, να μπορεί να εντοπίσει τα αίτια της υπολειτουργίας της μηχανής.

Ακόμα από αυτό το σύστημα είναι εφικτή η ρύθμιση διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν άμεσα την απόδοση του κινητήρα. Κάποιοι από τους παράγοντες αυτούς είναι οι εξής:

- Ρύθμιση ποσότητας έγχυσης καυσίμου: Η ρύθμιση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας της καύσης και της απόδοσης του κινητήρα.

- Πίεση έγχυσης καυσίμου: Ο έλεγχος της πίεσης, με την οποία εγχέεται το καύσιμο στον θάλαμο καύσης, μπορεί να επηρεάσει άμεσα τον ψεκασμό του καυσίμου και συνεπώς την ποιότητα της καύσης.
- Ταχύτητα περιστροφής κινητήρα: Μπορεί να ελεγχθεί η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, ώστε να διατηρηθεί η επιθυμητή λειτουργία του κινητήρα ανάλογα των συνθηκών και η απόδοσή του.
- Λίπανση κυλίνδρων: Η παρακολούθηση και ο έλεγχος των συστημάτων λίπανσης αποτελεί πολύ βασική ρύθμιση για την πρόληψη φθοράς και την βελτιστοποίηση της απόδοσης του κινητήρα.

6.1.2 Δείκτης μηχανικής ισχύος

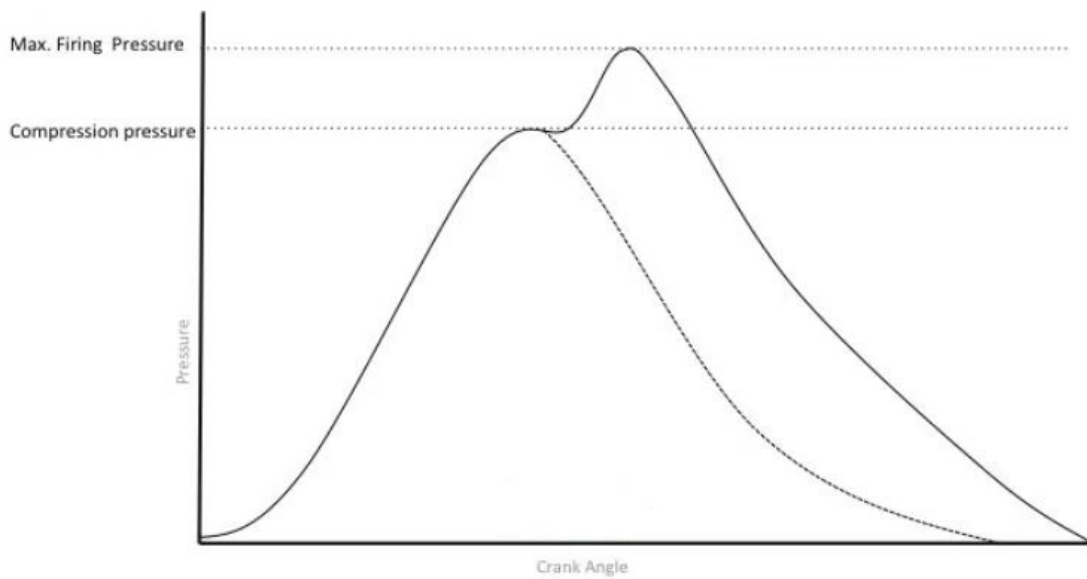
Ο δείκτης μηχανικής ισχύος είναι ένα μέσο για την λήψη δεδομένων της κύριας μηχανής. Τη σημερινή εποχή ίσως και να μη χρησιμοποιείται πλέον λόγω της υψηλής ανάπτυξης της τεχνολογίας που τα δεδομένα της μηχανής λαμβάνονται αυτόματα από αισθητήρες. Πριν όμως δημιουργηθούν όλα αυτά τα συστήματα, ήταν μια λύση για την αξιολόγηση της μηχανής. Μέσω αυτού, λαμβάνονταν μετρήσεις για παράγοντες, όπως η πίεση συμπίεσης, η πίεση εκτόνωσης, η ισχύς κ.α., ενώ για την κατάλληλη λήψη δεδομένων έπρεπε η μηχανή να λειτουργεί υπό σταθερή ταχύτητα και με καλές καιρικές συνθήκες.

Κάθε κύλινδρος έχει μια ειδική βαλβίδα, ώστε να στερεωθεί το όργανο αυτό. Καθώς το έμβολο πραγματοποιεί παλινδρομικές κινήσεις, σχηματίζονται σε ένα χαρτί κάθετες γραμμές μέσω μίας πένας. Μετά το πέρας ενός αριθμού γραμμών, ο μηχανικός κλείνει την στρόφιγγα ένδειξης, ενώ ταυτόχρονα έχει σχεδιαστεί και το κατάλληλο διάγραμμα του παράγοντα που έχει επιλέξει ο μηχανικός να υπολογίσει.



Εικόνα 49: Δείκτης

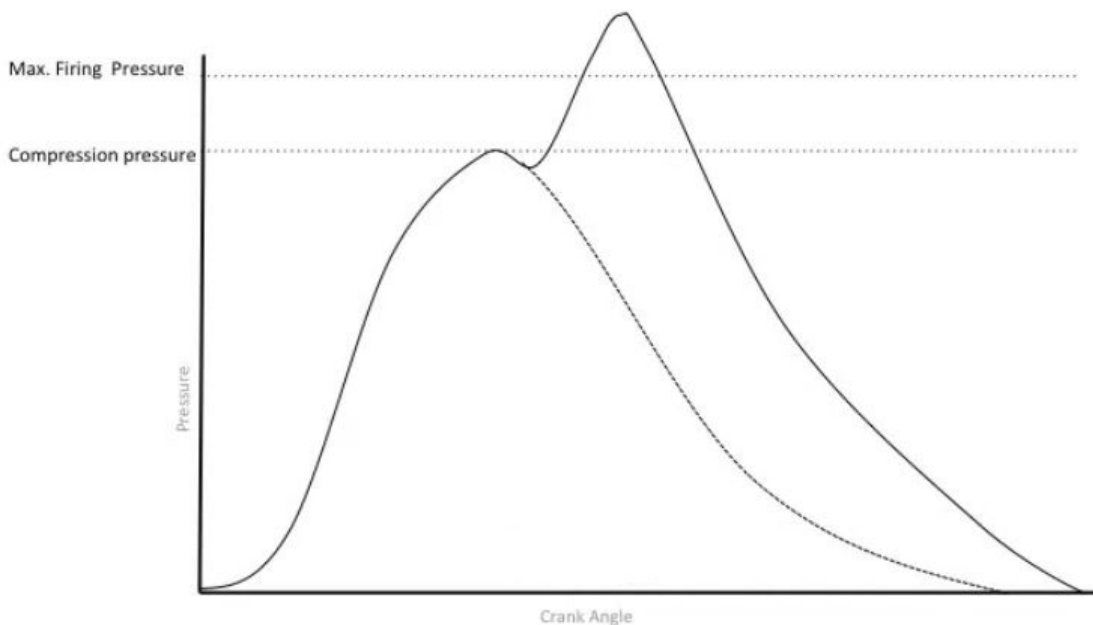
Ένα από τα διαγράμματα που λαμβάνονται από το εργαλείο αυτό είναι των πιέσεων συμπίεσης και εκτόνωσης.



Εικόνα 50: Διάγραμμα πιέσεων συμπίεσης και εκτόνωσης – γωνία στροφάλου κυλίνδρου

Τα διαγράμματα και οι μετρήσεις που λαμβάνονται από το χαρτί αφορούν τον συγκεκριμένο κύλινδρο που πάρηθε η καταγραφή του διαγράμματος.

Όταν σχηματιστεί ένα διάγραμμα που οι τιμές ξεπερνούν τα μέγιστα όρια που υπάρχουν στα διαγράμματα, τότε ξεκινάει η εξυγίανση του προβλήματος.



Εικόνα 51: Διάγραμμα πιέσεων συμπίεσης και εκτόνωσης – γωνία στροφάλου κυλίνδρου, με υψηλή πίεση εκτόνωσης

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η πίεση εκτόνωσης είναι πολύ υψηλή σε σχέση με το μέγιστο όριο.

[2],[3]

6.2 Δεδομένα συλλογής πλοίου

Τα παρακάτω δεδομένα έχουν ληφθεί από ένα φορτηγό πλοίο σε καλές καιρικές συνθήκες. Επίσης αποτελείται από μια αργόστροφη δίχρονη πετρελαιομηχανή με έξι κυλίνδρους.

Ένα φορτηγό πλοίο μεταφέρει χύδην φορτίο σε αμπάρια, δηλαδή χύμα χωρίς κάποια συγκεκριμένη συσκευασία, όπως για παράδειγμα κάρβουνο, σιτηρά τρόφιμα κ.α.



Εικόνα 52: Φορτηγό πλοίο

6.2.1 Δεδομένα από γέφυρα

- **Βύθισμα:** Τα βυθίσματα του πλοίου για την πλώρη και την πρύμνη γνωστοποιείται από το σύστημα φόρτωσης του πλοίου, κατά τη διαδικασία φόρτωσης από τον λιμένα. Από αυτά προκύπτει η διαγωγή, η οποία ισούται με τη διαφορά των βυθισμάτων πλώρης και πρύμνης.

Βυθίσματα (Μέτρα)	
Πλώρη	6,5
Πρύμνη	6,2
Διαγωγή	0,3

- **Χρόνος λειτουργίας μηχανής:** Είναι οι ώρες λειτουργίας της μηχανής που έχει λειτουργήσει μέχρι τη στιγμή που λαμβάνονται τα δεδομένα για την αξιολόγηση απόδοσης της μηχανής.

Τελευταία αναφορά	
Συνολικές ώρες λειτουργίας μηχανής	50507 Ώρες

- **Ταχύτητα:** Η ταχύτητα του καραβιού λαμβάνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι από τον δορυφόρο (GPS) και ο άλλος από τους αισθητήρες ταχύτητας. Μετριέται σε κόμβους.

Από Δορυφόρο		Σένσορες ταχύτητας	
Μέση ταχύτητα (κόμβοι)	14	Μέση ταχύτητα (κόμβοι)	13,6

- Καιρικές συνθήκες: Οι θερμοκρασία θαλάσσιες, αέρα, μηχανοστασίου (°C) λαμβάνονται από θερμόμετρα- αισθητήρες- Πίεση μηχανοστασίου (barA) – Μποφόρ – Είδος καιρού

Συνθήκες		°C
Θερμοκρασία θάλασσας	26	°C
Θερμοκρασία Αέρα	26	°C
Θερμοκρασία Μηχανοστασίου	37	
Βαρομετρική Πίεση	1,012	barA
Πίεση Μηχανοστασίου	1,012	barA
Ορατότητα	Καθαρή	

6.2.2 Ανάλυση πετρελαίου από εργαστήριο

Κατά την αγορά του καυσίμου, πριν τον εφοδιασμό, μια ποσότητα του καυσίμου μεταφέρεται σε ειδικό εργαστήριο για ανάλυση. Σκοπός αυτού είναι η εξακρίβωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του, ώστε να καλύπτει τις προσδοκίες του μηχανικού και του κινητήρα ή και να είναι ικανό να αναμειχθεί με άλλο καύσιμο που έχει απομείνει στη δεξαμενή.

- Χαρακτηριστικά Καυσίμου:
 - Τύπος καυσίμου κατά περιεκτικότητα σε θείο (%):
 - Υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (HSFO: High Sulphur Fuel Oil)
 - Πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (VLSFO: Very Low Sulphur Fuel Oil)
 - Πυκνότητα καυσίμου στους 15°C (kg/m³)
 - Περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο (%)
 - Ιξώδες στους 50°C (cSt)
 - Ειδική κατανάλωση (SFOC, g/kWh): Η κατανάλωση του καυσίμου ανά μονάδα ενέργειας.
 - Κατανάλωση καυσίμου (τόνοι/ώρα)

Χαρακτηριστικά καυσίμου	
Τύπος καυσίμου κατά περιεκτικότητα θείου °C	VLSFO
Πυκνότητα στους 15 °C	930,4 kg/m ³
Περιεκτικότητα σε θείο	0,35 %
Ιξώδες στους 50	29 cST

6.2.3 Δεδομένα από μηχανοστάσιο

Τα δεδομένα που λαμβάνονται από το μηχανοστάσιο αφορούν τον κινητήρα, καθώς και του χώρου αυτού. Τα δεδομένα αυτά καταγράφονται από τις ενδείξεις των αισθητήρων που υπάρχουν σε κινητήρα και περιβάλλοντα χώρο. Ακόμα μέσω ενός ηλεκτρικού μηχανήματος που ονομάζεται «Governor», ρυθμίζονται οι κατάλληλοι παράμετροι λειτουργίας, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή λειτουργία του κινητήρα, ενώ μετέπειτα το σύστημα αυτό κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις αυτόματα.

- Σύστημα παροχής καυσίμου:
 - Ιξώδες καυσίμου στην είσοδο της μηχανής (cSt)
 - Θερμοκρασία στην είσοδο της μηχανής (°C)

Σύστημα παροχής καυσίμου	
Ιξώδες στην είσοδο της μηχανής	12 cSt
Αναμενόμενο Ιξώδες	9,5 cSt
Θερμοκρασία στην είσοδο της μηχανής	90

- Απόδοση κύριας μηχανής:
 - MCR (Μέγιστη συνεχής λειτουργία κινητήρα): Η ισχύς που μπορεί να παράγει ένα κινητήρας με ασφάλεια σε συντελεστή φορτίου 100% καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας.
 - Ισχύς (kW): Λαμβάνεται από το λογισμικό της μηχανής και εκφράζει την ισχύ που παράγει ο κινητήρας.
 - Φορτίο (%): Αφορά το πόσο τοις εκατό είναι φορτωμένο το καράβι.
 - Στροφές κινητήρα (RPM, στροφές ανά λεπτό): Λαμβάνονται από το λογισμικό της μηχανής και αφορά τις στροφές του στροφαλοφόρου άξονα.
 - SFOC (ειδική κατανάλωση καυσίμου):
 - Από τα Shop Tests: Η ειδική κατανάλωση καυσίμου σε ιδανικές συνθήκες σχηματίζοντας τα ιδανικά διαγράμματα του κατασκευαστή
 - Μετρημένο: Η ειδική κατανάλωση από την μέτρηση του λογισμικού του κινητήρα.

Απόδοση Κύριας Μηχανής	
MCR	71,9 %
Ισχύς	6340 kW
Φορτίο	78 %
Στροφές	108 RPM
SFOC (ShopTest)	179,2 g/kWh
SFOC (Μετρημένο)	189,3 g/kWh

- Ένδειξη εγχυτήρων καυσίμου (mm): Η ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται σε κάθε κύλινδρο ξεχωριστά και ρυθμίζεται από το λογισμικό του κινητήρα.

Ένδειξη εγχυτήρα καυσίμου	
Εγχυτήρας 1	53 mm
Εγχυτήρας 2	52 mm
Εγχυτήρας 3	52 mm
Εγχυτήρας 4	52 mm
Εγχυτήρας 5	53 mm
Εγχυτήρας 6	52 mm
Μέσος όρος	52,3 mm

- Θερμοκρασία καυσαερίων (°C): Σε κάθε κύλινδρο ξεχωριστά λαμβάνεται η τιμή των καυσαερίων που προκαλούνται κατά την καύση του καυσίμου στον κύλινδρο.

Θερμοκρασία Καυσαερίων	
Κύλινδρος 1	346 °C
Κύλινδρος 2	343 °C
Κύλινδρος 3	327 °C
Κύλινδρος 4	329 °C
Κύλινδρος 5	336 °C
Κύλινδρος 6	334 °C
Μέσος όρος	336 °C

- Πίεση συμπίεσης (bar) : Η πίεση που προκαλείται από το έμβολο την ώρα που ανεβαίνει προς το ΑΝΣ (άνω νεκρό σημείο) και συμπιέζει τον αέρα που υπάρχει μέσα στο έμβολο.

Πίεση Συμπίεσης Κυλίνδρων	
Κύλινδρος 1	103,2 bar
Κύλινδρος 2	107,6 bar
Κύλινδρος 3	103,6 bar
Κύλινδρος 4	102,3 bar
Κύλινδρος 5	102,3 bar
Κύλινδρος 6	103,4 bar
Μέσος όρος	103,7 bar

- Πίεση εκτόνωσης (bar): Η πίεση που προκαλείται κατά την καύση και εκτοπίζει το έμβολο προς το ΚΝΣ (κάτω νεκρό σημείο).

Πίεση Εκτόνωσης Κυλίνδρων	
Κύλινδρος 1	129,5 bar
Κύλινδρος 2	130,4 bar
Κύλινδρος 3	130,1 bar
Κύλινδρος 4	128,9 bar
Κύλινδρος 5	128,6 bar
Κύλινδρος 6	129,8 bar
Μέσος όρος	129,6 bar

- Στροβιλοσυμπίεστής:
 - Στροφές (RPM)
 - Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής (°C): Ο αέρας που εισέρχεται στον στροβιλοσυμπίεστή από τον χώρο σάρωσης
 - Θερμοκρασία αέρα εξαγωγής (°C): Ο συμπιεσμένος αέρας που εξέρχεται από τον στροβιλοσυμπίεστή.

Turbocharger T/C - Αέρας σάρωσης	
Στροφές Turbocharger	13.900 RPM
Θερμοκρασία εισαγωγής T/C	351 °C
Θερμοκρασία εξαγωγής T/C	230 °C

- Χώρος Σάρωσης: Ο χώρος στον οποίο καταλήγουν όλα τα καυσαέρια μετά την καύση από τους κυλίνδρους.
 - Πίεση σάρωσης (bar)
 - Θερμοκρασία σάρωσης (°C)

Χώρος σάρωσης	
Πίεση σάρωσης	2.04 bar
Θερμοκρασία Σάρωσης	48 °C

- Θερμοκρασία νερού ψύξης κυλίνδρου: Απιονισμένο νερό, το οποίο ψύχει τον κύλινδρο ύστερα από τις υψηλές θερμοκρασίες που προκαλούνται από την καύση. Το νερό αυτό δεν μπορεί να είναι θαλασσινό ή νερό με στοιχεία, καθώς οποιαδήποτε διαρροή θα προκαλέσει προβλήματα (π.χ. διαβρώσεις στα εξαρτήματα).
 - Εισόδου (°C)
 - Εξόδου (°C)

	Θερμοκρασία νερού κυλίνδρου	
	Εισόδου	Εξόδου
Κύλινδρος 1	73 °C	82 °C
Κύλινδρος 2	73 °C	82 °C
Κύλινδρος 3	73 °C	83 °C
Κύλινδρος 4	73 °C	83 °C
Κύλινδρος 5	73 °C	83 °C
Κύλινδρος 6	73 °C	83 °C

[2],[3]

6.3 Πιθανά προβλήματα σε μια αξιολόγηση απόδοσης κινητήρα

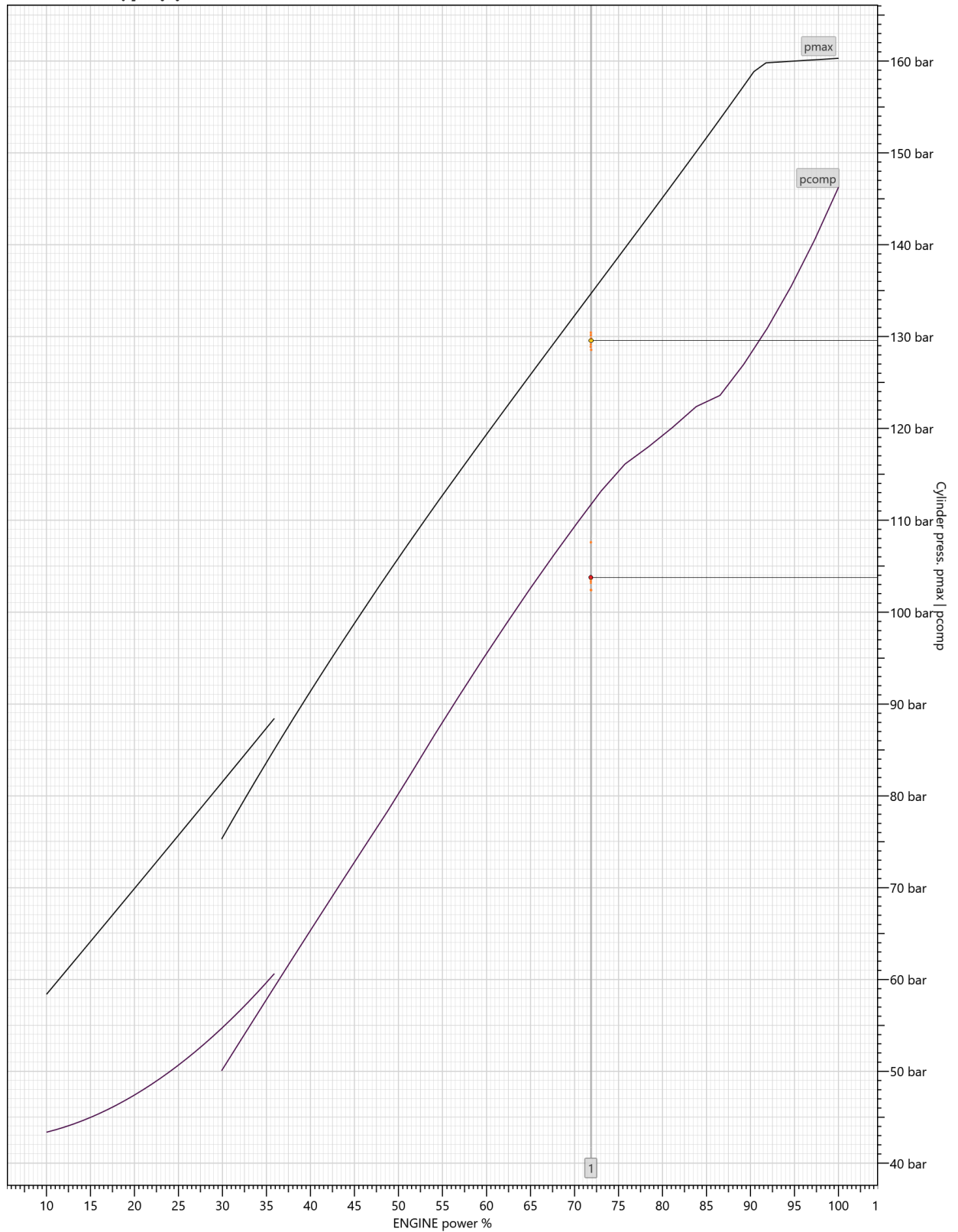
- Μεγαλύτερες πιέσεις των κανονικών στον κύλινδρο πιθανό να οφείλονται σε:
 - Ελάττωση διάκενου συμπίεσεως
 - Διαρροή εγχυτήρων καυσίμου
- Χαμηλή πίεση εκτόνωσης σε όλους τους κυλίνδρους και φυσιολογική πίεση συμπίεσης:
 - Κακή ποιότητα καυσίμου
 - Χαμηλή πίεση καυσίμου
 - Μπλοκαρισμένο ακροφύσιο εγχυτήρα καυσίμου
- Υψηλή πίεση εκτόνωσης και υψηλή πίεση συμπίεσης:
 - Υπερφόρτωση της μηχανής
 - Οι εγχυτήρες θα φτάσουν στο μέγιστο ψέκασμα, άρα πολύ πιθανή βλάβη
- Υψηλή πίεση εκτόνωσης και φυσιολογική πίεση συμπίεσης:
 - Αυξημένη ποσότητα πετρελαίου στους κυλίνδρους
 - Λανθασμένη ρύθμιση ποσότητας καυσίμου στους εγχυτήρες

- Χαμηλή πίεση εκτόνωσης και χαμηλή πίεση συμπίεσης:
 - Χαμηλή πίεση συμπίεσης
 - Φθορά δαχτυλιδιών εμβόλου
 - Μεγάλη φθορά χιτωνίων
- Φυσιολογική πίεση εκτόνωσης και χαμηλή πίεση συμπίεσης:
 - Λανθασμένη ρύθμιση ποσότητας έγχυσης καυσίμου στον κύλινδρο
 - Σωστή ρύθμιση ποσότητας έγχυσης καυσίμου, αλλά βλάβη στον εγχυτήρα
 - Αργή έγχυση καυσίμου

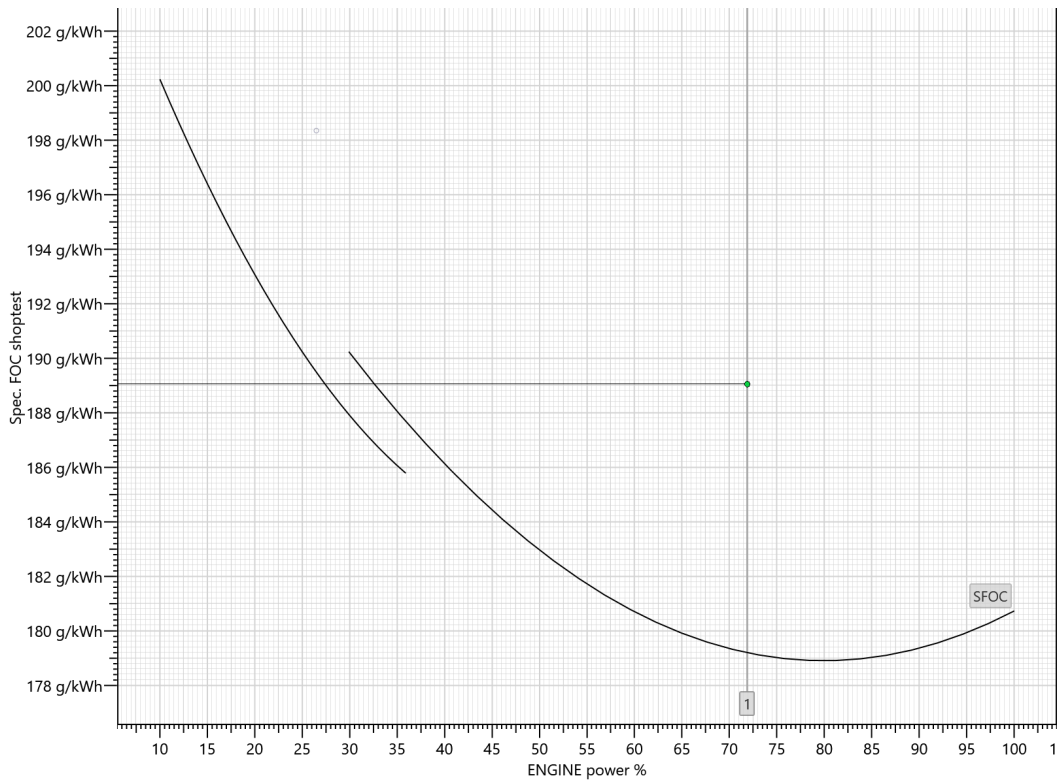
[2],[3]

7. Διαγράμματα - Αξιολόγηση δεδομένων

7.1 Διαγράμματα



Εικόνα 53: Διάγραμμα πίεσης εκτόνωσης, πίεσης συμπίεσης – απόδοση κινητήρα



Εικόνα 54: Διάγραμμα κατασκευαστή Ειδικής κατανάλωσης (SFOC) – Απόδοσης Κινητήρα

7.2 Αξιολόγηση

Περιγραφή	Ένδειξη
Πίεση συμπίεσης (Μέσος όρος)	Πολύ χαμηλή
Πίεση συμπίεσης στον κύλινδρο 2	Υψηλή
Πίεση εκτόνωσης (Μέσος όρος)	Χαμηλή
Ιξώδες καυσίμου	Υψηλή
Δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου	Υψηλή

- Πίεση συμπίεσης (Μέσος όρος):

Παρατηρείται ότι η τιμή του μέσου όρου της πίεσης συμπίεσης, η οποία προκύπτει από την πίεση συμπίεσης όλων των κυλίνδρων, είναι πολύ χαμηλότερη από την τιμή που έχει προκύψει σχετικά με το διάγραμμα Πίεσης συμπίεσης – Απόδοσης κινητήρα, το οποίο έχει προκύψει από τις δοκιμές του κινητήρα στο πλοίο σε ιδανικές συνθήκες (110,8 bar).

Πίεση Συμπίεσης Κυλίνδρων	
Κύλινδρος 1	103,2 bar
Κύλινδρος 2	107,6 bar
Κύλινδρος 3	103,6 bar
Κύλινδρος 4	102,3 bar
Κύλινδρος 5	102,3 bar
Κύλινδρος 6	103,4 bar
Μέσος όρος	103,7 bar

Αυτό σημαίνει πως όλοι οι κύλινδροι, εκτός του κυλίνδρου 2, έχουν μεγάλη απόκλιση πίεσης συμπίεσης από την ιδανική.

- Πίεση συμπίεσης κυλίνδρου 2:

Παρατηρείται πως η πίεση συμπίεσης στον κύλινδρο 2 είναι μεγαλύτερη από τον μέσο όρο κατά περίπου 4 bar. Δηλαδή είναι πιο κοντά στην ιδανική τιμή που αποτελεί στόχο (110,8 bar).

Πίεση Συμπίεσης Κυλίνδρων	
Κύλινδρος 1	103,2 bar
Κύλινδρος 2	107,6 bar
Κύλινδρος 3	103,6 bar
Κύλινδρος 4	102,3 bar
Κύλινδρος 5	102,3 bar
Κύλινδρος 6	103,4 bar
Μέσος όρος	103,7 bar

- Πίεση εκτόνωσης (Μέσος όρος):

Σύμφωνα με το διάγραμμα Πίεση εκτόνωσης – Απόδοση κινητήρα, προκύπτει η ιδανική τιμή της πίεσης εκτόνωσης 134,8 bar. Συγκρίνοντας την τιμή αυτή με το μέσο όρο των κυλίνδρων, που η τιμή του είναι παρόμοια με αυτή των υπολοίπων (129,6 bar), παρατηρείται ότι η διαφορά τους είναι περίπου 5 bar.

Πίεση Εκτόνωσης Κυλίνδρων	
Κύλινδρος 1	129,5 bar
Κύλινδρος 2	130,4 bar
Κύλινδρος 3	130,1 bar
Κύλινδρος 4	128,9 bar
Κύλινδρος 5	128,6 bar
Κύλινδρος 6	129,8 bar
Μέσος όρος	129,6 bar

Αυτό δίνει τη δυνατότητα για βελτιστοποίηση της πίεσης.

- Ιξώδες καυσίμου:

Κατόπιν της μέτρησης του ιξώδους του καυσίμου παρατηρείται ότι είναι μεγαλύτερη η τιμή του από αυτήν που αναμένεται.

Σύστημα παροχής καυσίμου	
Ιξώδες στην είσοδο της μηχανής	12 cSt
Αναμενόμενο Ιξώδες	9,5 cSt

Συνεπώς, υπάρχει η δυνατότητα για βελτιστοποίηση της τιμής αυτής, ώστε να μην δημιουργηθεί κάποιο πρόβλημα.

- Δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου

SFOC (ShopTest)	179,2 g/kWh
SFOC (Μετρημένο)	189,3 g/kWh

Παρατηρείται ότι η τιμή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, η οποία έχει μετρηθεί από το λογισμικό της μηχανής, είναι 189,3 g/kWh. Από το διάγραμμα του κατασκευαστή προκύπτει ότι η ιδανική τιμή ειδικής κατανάλωσης για το 71,9% της απόδοσης της μηχανής είναι 179,2 g/kWh. Συνεπώς, υπάρχουν δυνατότητες εξοικονόμησης καυσίμου κατόπιν νέων ρυθμίσεων.

8. Σχόλια - Συμπεράσματα

Περιγραφή	Ένδειξη
Πίεση συμπίεσης (Μέσος όρος)	Πολύ χαμηλή

Ο μέσος όρος της πίεσης συμπίεσης των κυλίνδρων 103,7 bar απέχει 7,1 bar, από την ιδανική πίεση που σύμφωνα με το διάγραμμα του κατασκευαστή η ιδανική πίεση είναι 110,8 bar,. Σε σύγκριση με τις ενδείξεις κάθε κυλίνδρου ξεχωριστά παρατηρείται ότι και στους υπόλοιπους κυλίνδρους εντοπίζεται παρόμοια διαφορά πίεσης εκτός του κυλίνδρου 2 πιο κοντά στην τιμή του κατασκευαστή. Συγκρίνοντας το μέσο όρο με την ιδανική πίεση και με τις πιέσεις των κυλίνδρων ξεχωριστά είναι πιθανό να υπάρχουν προβλήματα όπως:

- Λανθασμένη ένδειξη τιμής πίεσης: Είναι πιθανό να υπάρχει βλάβη στους αισθητήρες που μετράνε την πίεση συμπίεσης σε κάθε κύλινδρο ξεχωριστά και να μην υπάρχει κάποιο πρόβλημα στον χώρο ή και τη διαδικασία της καύσης.
- Λανθασμένη λίπανση του εμβόλου: Λόγω της πιθανής έλλειψης λιπαντικού στο έμβολο, αυξάνεται η πιθανότητα φθοράς του εμβόλου και του κυλίνδρου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δυσκολία ανόδου του εμβόλου προς το ΑΝΣ (άνω νεκρό σημείο) και αυτό συνεπάγεται με την μείωση της πίεσης συμπίεσης.

Περιγραφή	Ένδειξη
Πίεση συμπίεσης στον κύλινδρο 2	Υψηλή

Παρατηρείται ότι η πίεση συμπίεσης στον κύλινδρο 2, 107,6 bar, είναι κατά 3,2 bar μικρότερη από αυτή του κατασκευαστή, ενώ είναι υψηλότερη κατά 3,9 bar από τον μέσο όρο της πίεσης συμπίεσης των υπολοίπων κυλίνδρων. Για τους λόγους αυτούς απαιτείται:

- Έλεγχος του αισθητήρα της πίεσης: Πρέπει να ελεγχθεί αν ο αισθητήρας έχει υποστεί κάποια βλάβη και η πίεση είναι ίδια με τους υπόλοιπους κυλίνδρους, ώστε να εφαρμοστούν παρόμοιες ενέργειες για την βελτιστοποίησή της πίεσης.
- Έλεγχος στην σάρωση του κινητήρα: Πρέπει να γίνει επιθεώρηση στο έμβολο από το χώρο σάρωσης για τυχόν ενδείξεις βλαβών, όπως ρινίσματα μετάλλων, υπολείμματα καυσίμου κ.α.

Περιγραφή	Ένδειξη
Πίεση εκτόνωσης (Μέσος όρος)	Χαμηλή

Παρατηρείται ότι ο μέσος όρος της πίεσης εκτόνωσης είναι 129,6 bar, ενώ της ιδανικής πίεσης που προκύπτει από το διάγραμμα του κατασκευαστή στη συγκεκριμένη λειτουργία της μηχανής είναι 134,8 bar. Τα αίτια της διαφορά αυτής των 5,2 bar μπορεί να οφείλεται σε:

- Χαμηλή πίεση συμπίεσης:

Η πίεση εκτόνωσης ή αλλιώς η μέγιστη πίεση εξαρτάται άμεσα από την πίεση συμπίεσης, καθώς η πίεση συμπίεσης αποτελεί κύριο παράγοντα για την καύση στον κύλινδρο, ενώ η πίεση εκτόνωσης προκαλείται από την καύση. Η πίεση εκτόνωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την πίεση συμπίεσης για να παράγεται θετικό έργο, ενώ το αποτέλεσμα αυτό εξαρτάται και από τις απώλειες λόγω τριβών, τη μετάδοση θερμότητας κ.α.

- Χαμηλή ρύθμιση μέγιστης πίεσης:

Από το λογισμικό της μηχανής ρυθμίζεται η επιθυμητή πίεση εκτόνωσης. Όμως λόγω κάποιας αλλαγής παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση του κινητήρα, όπως για παράδειγμα αλλαγή καιρικών συνθηκών που δυσχεραίνουν την πορεία του πλοίου, είναι πιθανό να απαιτηθεί εκ νέου ρύθμιση της τιμής της πίεσης.

- Ποιότητα καυσίμου:

Εκτός από την πίεση συμπίεσης, η ποιότητα του καυσίμου που ψεκάζεται την ώρα που έχει πραγματοποιηθεί η συμπίεση του αέρα στον κύλινδρο από το έμβολο αποτελεί κύριο παράγοντα που επηρεάζει άμεσα την πίεση εκτόνωσης. Συνεπώς πρέπει να ελεγχθεί η ποιότητα του καυσίμου τη στιγμή της έγχυσης του στον κύλινδρο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι πιθανό να οφείλεται και η υψηλότερη τιμή του ιξώδους του καυσίμου από το αναμενόμενο.

Περιγραφή	Ένδειξη
Ιξώδες καυσίμου	Υψηλή

Παρατηρείται ότι το ιξώδες του καυσίμου είναι 12 cSt, μεγαλύτερο δηλαδή από το αναμενόμενο 9,5 cSt κατά 2,5 μονάδες. Πρέπει να πλησιάσει όσο το δυνατόν περισσότερο στο αναμενόμενο, ώστε να περιοριστεί κατά πολύ η πιθανότητα δημιουργίας βλάβης από το καύσιμο ή και να περιοριστεί αν έχει ήδη δημιουργηθεί. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με του εξής τρόπους:

- Αύξηση θερμοκρασίας καυσίμου: Με την αύξηση της θερμοκρασίας του καυσίμου θα μειωθούν οι εσωτερικές τριβές του καυσίμου και θα γίνει πιο ρευστό, δηλαδή θα μειωθεί η τιμή του ιξώδους.
- Χημικά πρόσθετα: Μια άλλη λύση είναι η προσθήκη χημικών προσθέτων, τα οποία θα επηρεάσουν στοιχεία του καυσίμου και θα μικρύνουν την τιμή του ιξώδους.

Προτιμότερη είναι η πρώτη επιλογή, δηλαδή η αύξηση της θερμοκρασίας, καθώς με την προσθήκη χημικών προσθέτων μπορεί να επηρεαστεί η ποιότητα του καυσίμου που έχει άμεση επιρροή στην καύση, άρα ταυτόχρονα και στην απόδοση του κινητήρα.

9. Προτάσεις βελτιστοποίησης

Με τις παρακάτω ενέργειες θα επηρεαστούν παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της καύσης με αποτέλεσμα να πραγματοποιηθεί εξοικονόμηση καυσίμου. Δηλαδή θα γίνει προσπάθεια αντιστοίχισης μιας ποσότητας του καυσίμου με βελτίωση άλλων παραγόντων που επηρεάζουν την καύση.

- Ρύθμιση έγχυσης καυσίμου:

Με την κατάλληλη ρύθμιση ποσότητας έγχυσης καυσίμου στους κύλινδρους μπορούμε να αυξήσουμε την πίεση εκτόνωσης. Από το διάγραμμα του κατασκευαστή και από τον μέσο όρο της πίεσης εκτόνωσης των κυλίνδρων θεωρείται ότι με την αύξηση της πίεσης κατά 3,8 bar, δηλαδή να φτάσει 133,3 bar θα είναι εφικτή η εξοικονόμηση του καυσίμου.

Από το λογισμικό της μηχανής, θεωρείται ότι αυτό μπορεί να επιτευχθεί πραγματοποιώντας τις παρακάτω ρυθμίσεις στην ποσότητα έγχυσης του καυσίμου:

Ρύθμιση χρόνου έγχυσης καυσίμου								
			Κύλινδροι					
Ένδειξη	Πίεση αναφοράς	Μέσος όρος	1	2	3	4	5	6
Μέγιστη πίεση	133,3	129,5	129,2	130,4	130,1	128,9	128,6	129,8
Προτεινόμενες διορθώσεις για την προσέγγιση της πίεσης αναφοράς (αύξηση ή μείωση ρυθμίσεων)								
Ρύθμιση μέγιστης πίεσης (Αύξηση κατά)	3,8							
Έγχυση καυσίμου (mm)			0,1	-0,2	-0,2	0,2	0,2	-0,1

Ακόμα από το λογισμικό της μηχανής, κατόπιν των συγκεκριμένων ρυθμίσεων, θεωρείται ότι είναι εφικτή η εξοικονόμηση καυσίμου έως και 1,1 g/kWh.

- Εξαερισμός μηχανοστασίου:

Με την αύξηση την παροχής αέρα από το περιβάλλον στο μηχανοστάσιο, θα λαμβάνεται από τη μηχανή αέρας με μεγαλύτερη περιεκτικότητα οξυγόνου, ο οποίος θα εισάγεται μετέπειτα στον κύλινδρο. Αυτό θα αυξήσει την ποιότητα της καύσης, καθώς η καύση και η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα εξαρτάται άμεσα από τα μόρια οξυγόνου που περιέχονται στον αέρα.

Μέσα από το λογισμικό της μηχανής, το οποίο μέσω εξισώσεων που εκφράζουν τη συσχέτιση του αέρα με το καύσιμο, θεωρείται ότι με την παραπάνω ενέργεια μπορεί να εξοικονομηθεί καύσιμο έως και 0,6 g/kWh.

- Θερμοκρασία εισαγωγής ψύξης νερού στο χώρο σάρωσης

Χώρος σάρωσης	
Θερμοκρασία νερού ψύξης °C	36

Μια ποσότητα καυσαερίων, η οποία καταλήγει στον χώρο σάρωσης μετά την καύση περνώντας από ειδικά φίλτρα, στη συνέχεια δρομολογείται για τη νέα εισαγωγή στον κύλινδρο. Πριν συμβεί αυτό περνούν από τα λεγόμενα ψυγεία, τα οποία ψύχουν τον αέρα μέσω της ροής θαλασσινού νερού δίχως να έρχεται σε επαφή με τον αέρα.

Προτείνεται λοιπόν η μείωση της θερμοκρασίας νερού ψύξης κατά περίπου 6 °C, καθώς ο ψυχρότερος αέρας είναι και πιο πυκνός. Αυτό σημαίνει ότι ο αέρας, ανά μονάδα όγκου, έχει περισσότερο οξυγόνο, άρα αυξάνεται η ποιότητα της καύσης.

Μέσα από το λογισμικό της μηχανής, το οποίο μέσω εξισώσεων συσχετίζει την επιρροή της θερμοκρασίας του νερού ψύξης που ψύχει τον αέρα με την ποσότητα έγχυσης καυσίμου, θεωρείται ότι με την ενέργεια αυτή μπορεί να εξοικονομηθεί καύσιμο έως και 0,2 g/kWh.

- Θερμοκρασία αέρα σάρωσης

Η ποσότητα του αέρα από την σάρωση που επιστρέφει στον κύλινδρο περνάει από ειδικά ψυγεία, με μέσο ψύξης το νερό. Αυξάνοντας την ροή του νερού ψύξης, θα πραγματοποιηθεί πιο αποδοτική ψύξη του αέρα την στιγμή που διαπερνά από το χώρο ψύξης και μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία έως και 4,7 °C. Αυτό όπως και στην παραπάνω ενέργεια, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση οξυγόνου στην ποσότητα του αέρα, συνεπώς και ποιοτικότερη καύση στον κύλινδρο.

Το λογισμικό της μηχανής είναι ικανό να συσχετίσει την επιρροή αυτή που θα έχει στην καύση και θεωρείται ότι μπορεί να εξοικονομηθεί καύσιμο έως και 0,5 g/kWh.

ΣΥΝΟΛΙΚΑ:

Κατόπιν των συγκεκριμένων ενεργειών και υπολογίζοντας τη συνολική δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου και ταυτόχρονα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και διοξειδίου του θείου (SO_x) προκύπτουν από το σύστημα της μηχανής τα εξής συμπεράσματα:

	Καύσιμο		
ΣΥΝΟΛΟ (ειδικό)	2,4 g/kWh		
ΣΥΝΟΛΟ (ΠΕΡΙΣΣΕΥΟΥΜΕΝΟ)	1,3%	Εκπομπή CO ₂	Εκπομπή SO _x
ΣΥΝΟΛΟ - ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	0,37 t/d	1,1 t/d	3 kg/d

Συνεπώς μπορεί να μειωθεί η κατανάλωση του καυσίμου κατά 2,4 g/kWh, δηλαδή 1,3% της κατανάλωσης που υφίσταται τη στιγμή αυτή. Αν μεταφραστεί η τιμή αυτή σε τόνους ανά ημέρα ισούται με έως και 0,37 t/d εξοικονόμησης καυσίμου. Ακόμα από το λογισμικό της μηχανής μπορεί να υπολογιστεί και η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως 1,1 t/d και διοξειδίου του θείου έως 3 kg/d.

- Συσχέτιση εξοικονόμησης καυσίμου με την εξοικονόμηση κόστους κατανάλωσης:

Με τα δεδομένα που προκύπτουν από τις μετρήσεις της μηχανής προκύπτει ότι το συνολικό κόστος κατανάλωσης του καυσίμου ανά ημέρα είναι 20.851,20 \$ και ανά μήνα 625.536,00 \$, αν θεωρηθεί ότι το κόστος κατανάλωσης του καυσίμου ανά τόνο είναι 724 \$.

Κατανάλωση		
Μετρήσεις		
Ένδειξη	Καύσιμο	
Ειδική κατανάλωση	189,3 g/kWh	
Κατανάλωση ανά ώρα ημέρα	1.200 kg/h	28,8 t/d
Κόστος καυσίμου ανά τόνο	\$ 724,00	
Κόστος κατανάλωσης καυσίμου ανά ημέρα	\$ 20.851,20	
Κόστος κατανάλωσης καυσίμου ανά μήνα	\$625.536,00	

- Μετά τις προτεινόμενες ενέργειες τα νέα δεδομένα που προκύπτουν είναι τα εξής:

Κατόπιν των προτεινόμενων ενεργειών για την βελτιστοποίηση της κατανάλωσης του καυσίμου, παρατηρείται ότι η κατανάλωση του καυσίμου ανά ώρα ελαττώνεται στα 1.185 kg/h και ανά ημέρα 28,44 t/d. Αυτό έχει και σαν αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους της κατανάλωσης του καυσίμου ανά μέρα 20.590,56 \$ και ανά μήνα 617.716,20 \$. Συνεπώς, μπορούν να εξοικονομηθούν μηνιαία έως και 7.819,20 \$.

Μετά τις προτεινόμενες ενέργειες		
Μετρήσεις		
Ένδειξη	Καύσιμο	
Κατανάλωση ανά ώρα ημέρα	1.185 kg/h	28,44 t/d
Κόστος κατανάλωσης καυσίμου ανά ημέρα	\$ 20.590,56	
Κόστος κατανάλωσης καυσίμου ανά μήνα	\$617.716,80	
Ενδεικτική Εξοικονόμηση ανά μήνα	\$ 7.819,20	

10. Μέθοδος πρόληψης αστοχιών

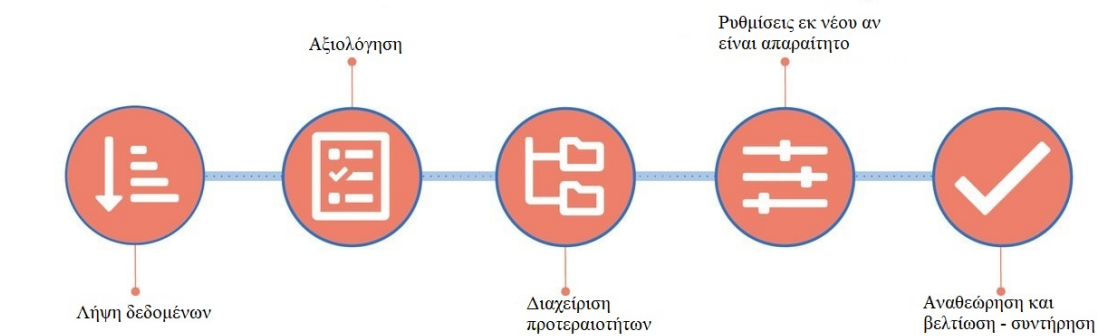
10.1 Προληπτικός έλεγχος και συντήρηση

Ο προληπτικός έλεγχος και η προληπτική συντήρηση έχουν στόχο την πρόληψη αστοχίας υλικών και γενικότερα, προβλημάτων κατά το πέρασμα του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, στόχος είναι να μην δημιουργούνται προβλήματα και κατα συνέπεια να γίνεται εξυγίανση αυτών. Οι όροι αυτοί καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα προδιαγεγραμμένων δραστηριοτήτων και τακτικού ελέγχου του εξοπλισμού.

Ο προληπτικός έλεγχος μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με την αναβάθμιση του συστήματος ελέγχου της μηχανής. Αναλυτικότερα, μέσω της εγκατάστασης πολλαπλών αισθητήρων και της τακτικής λήψης δεδομένων του κινητήρα υπάρχει η δυνατότητα να αποφευχθούν μελλοντικά προβλήματα. Οι τακτικές λήψεις δεδομένων είναι αυτές που θα δίνουν τη δυνατότητα της εκτίμησης της κατάστασης που βρίσκεται ο κινητήρας, ώστε σε περίπτωση κάποιας αρχικής ανεπιθύμητης ένδειξης να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες για να αποφευχθεί κάποια μελλοντική δυσλειτουργία. Θα πρέπει επίσης να αναπτυχθούν νέα λογισμικά, τα οποία θα είναι ικανά να επεξεργαστούν όλη αυτή την πληροφορία που θα λαμβάνουν από τους αισθητήρες και να αξιολογούν τα δεδομένα αυτά. Ακόμα, είναι απαραίτητη η αύξηση της μνήμης του κινητήρα, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων της μηχανής από τις τακτικές λήψεις με στόχο την αξιολόγηση της απόδοσής του σε πιο συχνά χρονικά διαστήματα.

Τη στιγμή που στον προληπτικό έλεγχο παρατηρηθεί κάποια ανεπιθύμητη ένδειξη, ακολουθεί η προληπτική συντήρηση. Πιο συγκεκριμένα, για την αποφυγή πιθανού προβλήματος προγραμματίζεται μια ενέργεια ή μια σειρά ενεργειών με στόχο την αποτροπή του προβλήματος αυτού. Οι ενέργειες πρόληψης μπορεί να μην είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν όσο το καράβι βρίσκεται εν πλω, συνεπώς θα πρέπει να προγραμματιστούν τη στιγμή που θα αγκυροβολήσει σε κάποιο λιμάνι. Πολύ σημαντικό πρέπει να θεωρηθεί, πως η αποτροπή μελλοντικού προβλήματος μπορεί να αποτρέψει κοστοβόρες διαδικασίες για επισκευή.

5 ΒΗΜΑΤΑ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ



Εικόνα 55: Πέντε βήματα προληπτικού ελέγχου και συντήρησης

11. Βιβλιογραφία

- [1] Dunkley, M., 2016. *Ships & Boats: 1840 to 1950*. s.l.:English Heritage.
- [2] HARRINGTON, R. L., n.d. *MARINE ENGINEERING*. s.l.:THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS.
- [3] HEYWOOD, J. B., 2021. *Βασικές αρχές μηχανών εσωτερικής καύσης*. Β επιμ. s.l.:Παπασωτηρίου.
- [4] Officer, E.-T., n.d. Types of Diesel Electric Propulsion System. *Electro-Technical Officer*, p. 1.
- [5] Richard Lee Storch, C. P. H. H. M. B. R. C. M., 2007. *Ship Production*. 2 επιμ. s.l.:THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERS 1947.
- [6] TUPPER, K. R. & E., n.d. *ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΠΛΟΙΟΥ*. 1 επιμ. s.l.:Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π..
- [7] Wärtsilä, n.d. *Diesel-Electric Propulsion Systems*, s.l.: Wärtsilä.
- [8] ΓΚΙΟΚΑ, Σ. Κ., 1981. *ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΙ*. s.l.:ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ.
- [9] ΔΑΓΚΙΝΗ, Ι., 2022. *ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ*. Α επιμ. s.l.:Ίδρυμα Ευγενίδου.
- [10] ΔΑΝΙΗΛ, Γ. Φ., 2021. *ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑΡΧΟΥΣ*. Β επιμ. s.l.:Ίδρυμα Ευγενίδου.
- [11] Λαζάρου Χ. Κλιανή, Ι. Κ. Ν. Ι. Α. Σ., 1964. *Μηχανές Εσωτερικής Κάψεως*. Β' Έκδοση επιμ. s.l.:Ίδρυμα Ευγενίδου.
- [12] ΝΕΡΣΙΣΓΙΑΝ, Μ., 2004. *ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ & ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ*. ΑΘΗΝΑ: s.n.
- [13] ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Χ. Α., n.d. *ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ*. Α επιμ. s.l.:ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- [14] Παπαευαγγέλου, Τ. Ι., 1995. *ΚΑΥΣΙΜΑ-ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ*. Γ επιμ. s.l.:ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ.
- [15] ΠΑΠΑΕΥΑΓΓΕΛΟΥ, Τ. Ι., n.d. *ΚΑΥΣΙΜΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ*. Δ επιμ. s.l.:Ίδρυμα Ευγενίδου.
- [16] Ρακόπουλος, Κ., 2000. *Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.* s.l.:Φούντας.