

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μηχανές εσωτερικής καύσης πλοίων



Φοιτητής : Γεώργιος Χρυσοχοΐδης

Καθηγητής: Τζιράκης Κων/νος

Έτος: 2017

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| 1. Εισαγωγή..... | 3 |
| 1.1 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας | 3 |
| 1.2 Θερμικές μηχανές | 3 |
| 1.3 Ιστορική αναδρομή | 4 |
| 2. Ναυτικές μηχανές..... | 5 |
| 2.1 Θεωρία των πετρελαιομηχανών..... | 5 |
| 2.2 Τμήματα μιας πετρελαιομηχανής | 7 |
| 2.2.1 Κορμός | 7 |
| 2.2.2 Χιτώνιο..... | 8 |
| 2.2.3 Κεφαλή κυλίνδρων..... | 8 |
| 2.2.4 Βαλβίδες..... | 9 |
| 2.2.5 Έμβολα..... | 10 |
| 2.2.6 Διωστήρας..... | 12 |
| 2.2.7 Βάκτρο, στυπιοθλίπτης, ζύγωμα | 13 |
| 2.2.8 Στροφαλοφόρος άξονας..... | 14 |
| 2.2.9 Εκκεντροφόρος άξονας..... | 16 |
| 2.3 Πρόωση..... | 17 |
| 3. Ηλεκτρομηχανές | 18 |
| 3.1 Θεωρία ηλεκτρομηχανών..... | 18 |
| 3.2 Σύγχρονες μηχανές..... | 19 |
| 3.3 Ασύγχρονες μηχανές | 22 |
| 4. Λειτουργία πετρελαιομηχανών | 25 |
| 4.1 Τετράχρονη πετρελαιομηχανή | 25 |
| 4.1.1 Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής | 27 |
| 4.1.2 Πραγματική λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής | 28 |
| 4.2 Δίχρονη πετρελαιομηχανή | 30 |
| 4.2.1 Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής..... | 30 |
| 4.2.2 Πραγματική λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής | 32 |
| 5. Ανάλυση κύριας μηχανής, ηλεκτρομηχανών | 37 |
| 5.1 Ανάλυση δίχρονης ναυτικής πετρελαιομηχανής | 37 |
| 5.2 Χαρακτηριστικά και λειτουργία της μηχανής..... | 38 |
| 5.2.1 Υπολογισμός μηχανικής απόδοσης..... | 42 |

| | |
|--|----|
| 5.2.2 Διαγράμματα δεικτών | 45 |
| 5.2.3 Προετοιμασία εκκίνησης | 46 |
| 5.2.4 Σύστημα ψύξης | 49 |
| 5.2.5 Σύστημα λίπανσης..... | 50 |
| 5.2.6 Εκκίνηση συστήματος αέρα..... | 52 |
| 5.3 Χαρακτηριστικά και λειτουργία ηλεκτρομηχανών..... | 55 |
| 5.3.1 Εξαρτήματα μηχανής..... | 59 |
| 5.3.2 Πνευματικό σύστημα και συναφή μέρη..... | 60 |
| 5.3.3 Σύστημα καυσίμου..... | 60 |
| 5.3.4 Σύστημα λίπανσης..... | 62 |
| 5.3.5 Σύστημα ψύξης | 64 |
| 5.3.6 Έλεγχος λειτουργίας..... | 67 |
| 5.3.7 Προϋποθέσεις διαδικασίας αντικατάστασης καυσίμου | 70 |
| 6. Επίλογος | 72 |
| 7. Βιβλιογραφία | 73 |

1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης ή αλλιώς MEK, χρησιμοποιούνται εδώ και πάρα πολλά χρόνια σε διάφορες εγκαταστάσεις και σε μέσα μεταφοράς. Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση των μηχανών εσωτερικής καύσης και ειδικότερα αυτές που εγκαθίστανται και χρησιμοποιούνται στα πλοία. Εξετάζεται ο τρόπος λειτουργίας της κύριας μηχανής και των ηλεκτρομηχανών, ο ρόλος τους στο πλοίο τα επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελούνται καθώς και η σύνδεση της κύριας μηχανής με αυτές. Στο κύριο μέρος της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα αναλυθεί η στοιχειώδης και η πραγματική λειτουργία των πετρελαιομηχανών, ο θεωρητικός και πραγματικός κύκλος diesel μια πετρελαιομηχανής καθώς η μηχανή που εξετάζεται είναι αυτή της εταιρείας Kobe και συγκεκριμένα το μοντέλο 5UEC52LA, και οι ηλεκτρομηχανές της εταιρείας Daihatsu και συγκεκριμένα το μοντέλο 6DLB-20.

1.2 Θερμικές μηχανές

Με τον όρο «θερμικές μηχανές» περιγράφουμε το σύνολο των μηχανών στις οποίες η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

Η ενέργεια στις θερμικές μηχανές προέρχεται από μία εξώθερμη αντίδραση, τη χημική αντίδραση κάποιων στοιχείων ή ενώσεων με το οξυγόνο. Η αντίδραση της καύσης γίνεται μέσα σε ένα χώρο στις θερμικές μηχανές που ονομάζεται θάλαμος καύσης και οι χημικές ενώσεις που υφίστανται την εξώθερμη αντίδραση οξειδωσης ονομάζονται καύσιμα. Για να πραγματοποιηθεί η καύση χρειάζεται καύσιμο και οξυγόνο, το οποίο παρέχεται μέσα στον θάλαμο καύσης με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Για να προσδιορίσουμε την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου ανά μονάδα μάζας του καυσίμου, από τη χημεία της αντίδρασης, χρειάζεται να γνωρίζουμε, τη στοιχειομετρική ανάλυση του καυσίμου.

Με τον όρο στοιχειομετρική ποσότητα αέρα εννοούμε την ποσότητα αέρα που θεωρητικά απαιτείται για την πλήρη καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου. Επειδή όμως έχουμε σταθερή περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο, μπορούμε να χρησιμοποιούμε τον όρο «θεωρητικά απαιτούμενη μάζα αέρα» είτε «θεωρητικά απαιτούμενη μάζα οξυγόνου». Για να πραγματοποιηθεί η καύση μέσα στον θάλαμο καύσης μιας MEK, αναμιγνύεται η ποσότητα του καυσίμου με τη ποσότητα του αέρα, δημιουργώντας έτσι το καύσιμο μίγμα ή αλλιώς χρησιμοποιείται ο όρος «γόμωση». Ο αέρας που απαιτείται από τη στοιχειομετρία και παίρνει μέρος στην καύση, είναι άλλες φορές περισσότερος και άλλες φορές λιγότερος από όσο θεωρητικά θα έπρεπε. Ένα μίγμα λέμε ότι είναι πλούσιο σε καύσιμο όταν ο αέρας είναι λιγότερος από αυτόν που στοιχειομετρικά απαιτείται, ενώ σε αντίθετη περίπτωση όπου ο αέρας είναι περισσότερος από αυτόν που απαιτείται στοιχειομετρικά, τότε λέμε ότι το μίγμα είναι φτωχό σε καύσιμο. Με την καύση έχουμε μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμική, η οποία θερμική χρησιμοποιείται για την άνοδο της θερμοκρασίας ή πίεσης του εργαζόμενου σώματος, που μπορεί να είναι κάποια ουσία όπως το νερό είτε το ίδιο το καυσαέριο.

1.3 Ιστορική αναδρομή

Το 1678 ο Christian Huygens πρότεινε μία διάταξη που ως καύσιμο χρησιμοποιούσε το μπαρούτι και μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η πρώτη προσπάθεια δημιουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης.

Η πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης ανήκει στον J.J Etienne Lenoir, το 1860, που ήταν ένας οριζόντιος κινητήρας με έναν κύλινδρο και χρησιμοποιούσε αέριο καύσιμο. Ο Marinoni υλοποίησε την πρώτη μονάδα στην Γαλλία και σταδιακά κατασκευάστηκαν εκατοντάδες στην Γαλλία και την Μ. Βρετανία με ισχύ από 0.5 έως 3.0 PS. Αυτού του είδους οι κινητήρες χρησιμοποιήθηκαν μέχρι και το 1909.

Ο Beau de Rochas, το 1862 δημοσίευσε μια κριτική της μηχανής του Lenoir, και εισήγαγε την αρχή λειτουργίας του τετράχρονου κινητήρα που είναι γνωστός έως και σήμερα..

Προχωρώντας χρονικά στο 1866, ο Nikolaus August Otto κατασκευάζει μια μηχανή με πολύ μικρότερη κατανάλωση καυσίμου, που στην ουσία είναι μια παραλλαγή της μηχανής του Lenoir.

Ο Brayton στις ΗΠΑ, το 1872 παρουσίασε μια νέα μηχανή η οποία και εισήχθη στη Μ. Βρετανία το 1876. Αυτή η νέα προηγμένη μηχανή χρησιμοποιούσε ως κηροζίνη και μαζούτ ως καύσιμη ύλη.

Το 1892 ήρθε η πραγματική επανάσταση από τον Dr. Rudolf Diesel στις μηχανές υγρού καυσίμου, και έβαλε τις βάσεις για τους κινητήρες πετρελαίου έτσι όπως τους γνωρίζουμε μέχρι και σήμερα. Αξίζει να αναφερθεί ότι την ιδέα του Diesel υλοποίησε η γερμανική εταιρεία Augsburg Krupp.

Παρόλαυτα κάποια σημαντική αλλαγή στην αρχική ευρεσιτεχνία του Dr. Rudolf Diesel δεν υπάρχει μέχρι και τη δεκαετία του 1990, που ανακαλύφθηκε ένα νέο σύστημα έγχυσης καυσίμου. Έτσι μέχρι και σήμερα ο πετρελαιοκινητήρας είναι γνωστός ως κινητήρας Diesel.

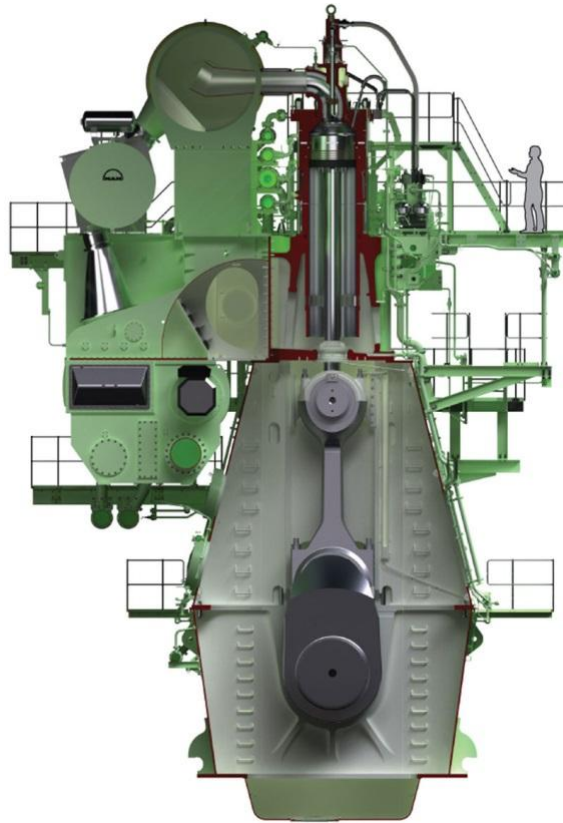
2. Ναυτικές μηχανές

2.1 Θεωρία των πετρελαιομηχανών

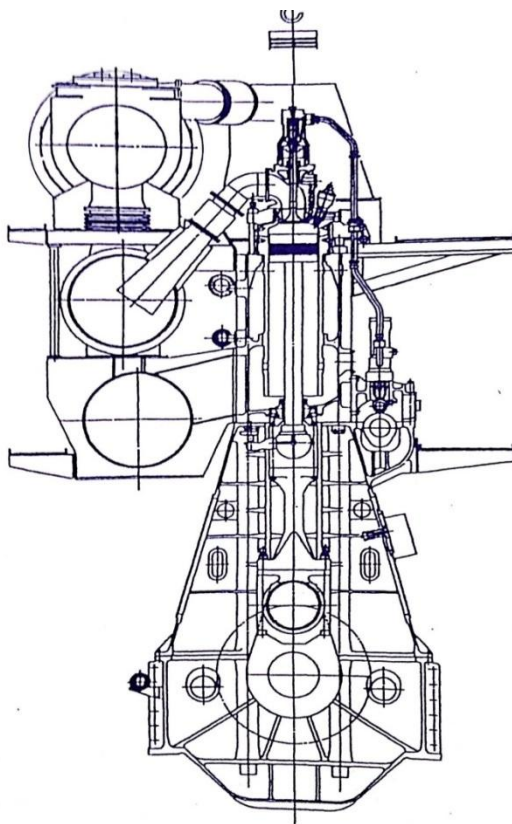
Ο πετρελαιοκινητήρας είναι η πηγή που δίνει την απαραίτητη ισχύ σε μία έλικα, η οποία είναι υπεύθυνη για την πρόωση του καραβιού. Ειδικότερα για τους δίχρονους κινητήρες έχουμε απευθείας σύνδεση των κινητήρων με την έλικα χωρίς τη χρήση μειωτήρα. Η αρχή λειτουργίας ενός πετρελαιοκινητήρα έγκειται στο γεγονός ότι δεν χρειάζεται σπινθήρας. Η αύξηση της πίεσης γίνεται σταδιακά και το έμβολο έχει μια εσοχή ώστε όπως γίνεται η εισαγωγή και ο ψεκασμός του καυσίμου να δημιουργείται ένας στροβιλισμός ώστε να ανακατευτούν.

Οι πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούνται ως μηχανές στα πλοία λόγω του ότι έχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από άλλου τύπου, όπως ενός αεριοστροβίλου ή ενός ατμοστροβίλου, επίσης καίει καύσιμο λεβήτων έτσι έχουμε χαμηλό κόστος καυσίμων. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους δίχρονους και τους τετράχρονους. Η χρήση των δίχρονων κινητήρων Diesel συναντάται σε μηχανές πρόωσης πλοίων, μεγάλης ισχύος. Ο βαθμός απόδοσης, ανάλογα με τη χρήση που θα γίνει, μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση στροβιλοσυμπιεστή. Επίσης γίνεται και διάκριση ανάλογα την ταχύτητα περιστροφής τους. Έτσι έχουμε τους βραδύστροφους (80-200 rpm), μεσόστροφους (375-750 rpm) και τους ταχύστροφους (1000-2500 rpm). Ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου προσαρμόζεται και ο κατάλληλος κινητήρας, για παράδειγμα σε ένα tanker χρησιμοποιείται ένας δίχρονος βραδύστροφος κινητήρας Diesel. Στις περισσότερες των περιπτώσεων χρησιμοποιείται δίχρονος κινητήρας επειδή έχει μεγαλύτερη ισχύ από έναν τετράχρονο ίδιου μεγέθους. Η ισχύς της μηχανής καθορίζεται από τον αριθμό των κυλίνδρων και η ισχύς του κυλίνδρου με τη σειρά του από τη διάμετρο του εμβόλου και τη διαδρομή του. Οι βαθμοί απόδοσης εξαρτώνται από τον τύπο του κινητήρα. Η τομή μιας αργόστροφης δίχρονης μηχανής φαίνεται στην εικόνα 2.1 και στο σχέδιο 2.1 καθώς και τα επιμέρους τμήματά της που θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα στις επόμενες παραγράφους. Επίσης για τη σωστή τροφοδοσία καυσίμου απαιτούνται:

- μία δεξαμενή,
- μία αντλία τροφοδοσίας,
- μία έκχυσης,
- τα φίλτρα (το αρχικό και το βασικό),
- τα μπέκ,
- οι σωλήνες τροφοδοσίας και υψηλής πίεσης,
- το ρυθμιστή στροφών.



Εικόνα 2.1: Τομή μιας δίχρονης MAN αργόστροφης πετρελαιομηχανής



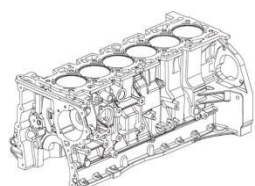
Σχέδιο 2.1: Τομή μιας αργόστροφης πετρελαιομηχανής

2.2 Τμήματα μιας πετρελαιομηχανής

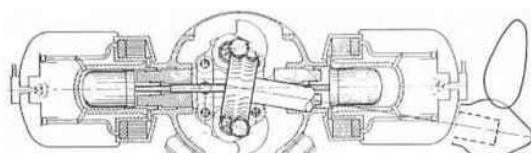
2.2.1 Κορμός

Ένα από τα κύρια μέρη μιας μηχανής είναι ο κορμός της. Αυτός αποτελείται από τη βάση της μηχανής πάνω στην οποία στηρίζονται οι κύλινδροι, οι κοχλίες που συνδέουν τα τμήματα της μηχανής και το σκελετό. Ο σκελετός κατασκευάζεται συνήθως από χυτοσίδηρο στις ταχύστροφες και μεσόστροφες μηχανές ενώ στις αργόστροφες η κατασκευή του γίνεται από χαλύβδινα ελάσματα, με στόχο την αύξηση της αντοχής του και επιπλέον μείωση του όγκου και του βάρους του. Η πρόσβαση γίνεται από πλαϊνά ανοίγματα. Η βάση, ο σκελετός και οι κύλινδροι σε μια μηχανή συνδέονται με τους κοχλίες. Ολόκληρη η μηχανή στηρίζεται στη βάση της, όπου μέσα βρίσκεται ο στροφαλοθάλαμος, με ειδικά ανοίγματα για τη λίπανση του στροφάλου και στο κάτω μέρος είναι η ελαιολεκάνη. Οι κύλινδροι σχηματίζονται από τα χιτώνια τα οποία στηρίζονται στο σώμα του κυλίνδρου που συνδέεται στο πάνω μέρος του σκελετού. Με ή χωρίς χιτώνια το μέρος αυτό της μηχανής είναι υδρόψυκτο ή αερόψυκτο. Οι κοχλίες τέλος που συνδέουν όλα τα τμήματα είναι κατανεμημένοι με τρόπο ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων που δημιουργούνται. Οι κινητήρες διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη διάταξη που έχουν οι κύλινδροι, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.2,

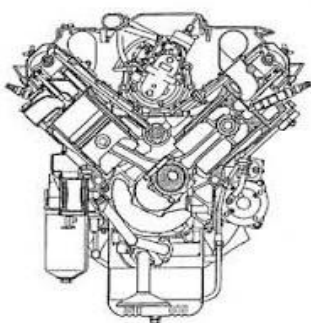
- α) σε διάταξη εν σειρά,
- β) αντιπιθεμένων κυλίνδρων,
- γ) τύπου V,
- δ) αστεροειδής διάταξη.



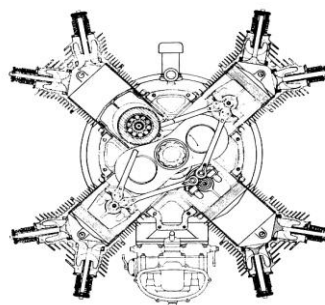
α)



β)



γ)



δ)

Εικόνα 2.2: Διατάξεις πετρελαιομηχανών

2.2.2 Χιτώνιο

Με το όρο χιτώνιο εννοούμε εκείνο το τμήμα της μηχανής μέσα στο οποίο παλινδρομεί το έμβολο και πραγματοποιείται η καύση. Τα χιτώνια κυλίνδρων επιβάλλεται να έχουν αντίσταση στη φθορά και αντοχή στην πίεση, γι' αυτό το λόγο κατασκευάζονται από ειδικά κράματα χυτοσιδήρου. Η ψύξη σε ένα χιτώνιο παίζει σημαντικό ρόλο, η οποία γίνεται είτε με εσωτερικούς αγωγούς είτε εξωτερικά. Οι λόγοι φθοράς σε ένα χιτώνιο μπορεί να προέλθουν από κάποια τοπική φθορά τριβής, λόγω τριβής μεταξύ του χιτωνίου και του ελατηρίου εάν δεν υπάρχει η σωστή λίπανση με αποτέλεσμα να αυξηθεί η θερμοκρασία και να επέλθει καταστροφή του λιπαντικού στρώματος. Ένα άλλος παράγοντας φθοράς του χιτωνίου, είναι από παραμορφώσεις που μπορεί να επέλθουν από ανομοιογενή ψύξη. Δεν αρκεί να γίνεται η απαραίτητη λίπανση, αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιείται και λιπαντικό με το σωστό δείκτη ιξώδους και να ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή για τη συντήρηση ανά χρονικά προβλεπόμενα διαστήματα. Η εικόνα 2.3 δείχνει ένα χιτώνιο μιας δίχρονης πετρελαιομηχανής πλοίου.



Εικόνα 2.3: Χιτώνιο δίχρονης πετρελαιομηχανής πλοίου

2.2.3 Κεφαλή κυλίνδρων

Ένα άλλο μέρος που συνδέεται με το πάνω μέρος του κορμού της μηχανής είναι η κεφαλή των κυλίνδρων, το οποίο σχηματίζει μαζί με το έμβολο και τα χιτώνια το χώρο που πραγματοποιείται η καύση (εικόνα 2.4). Στο εσωτερικό μέρος διακρίνουμε κάποιες κοιλότητες μέσω των οποίων γίνεται η ψύξη της κεφαλής. Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, η βαλβίδα του αέρα, η ασφαλιστική βαλβίδα βρίσκονται στην κεφαλή των πετρελαιομηχανών. Μια διαφοροποίηση ανάμεσα στους βενζινοκινητήρες και τους πετρελαιοκινητήρες είναι ότι στους πρώτους η κεφαλή των κυλίνδρων κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου για να επιτευχθεί μείωση του βάρους, ενώ στους πετρελαιοκινητήρες από χυτοσίδηρο.

Όπως και σε άλλα μέρη επιβάλλεται η σωστή συντήρηση σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα του κατασκευαστή και να τηρούνται οι προδιαγραφές λειτουργίας, όπως η σωστή θερμοκρασία, η κατάλληλη ψύξη και η σωστή επιλογή καυσίμου. Οι

φθορές στην κεφαλή μπορεί να προέλθουν λόγω διάβρωσης, που μπορεί να οφείλεται σε κατανάλωση ενός καυσίμου που έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε θείο και σε ένα προβληματικό σύστημα ψύξης.

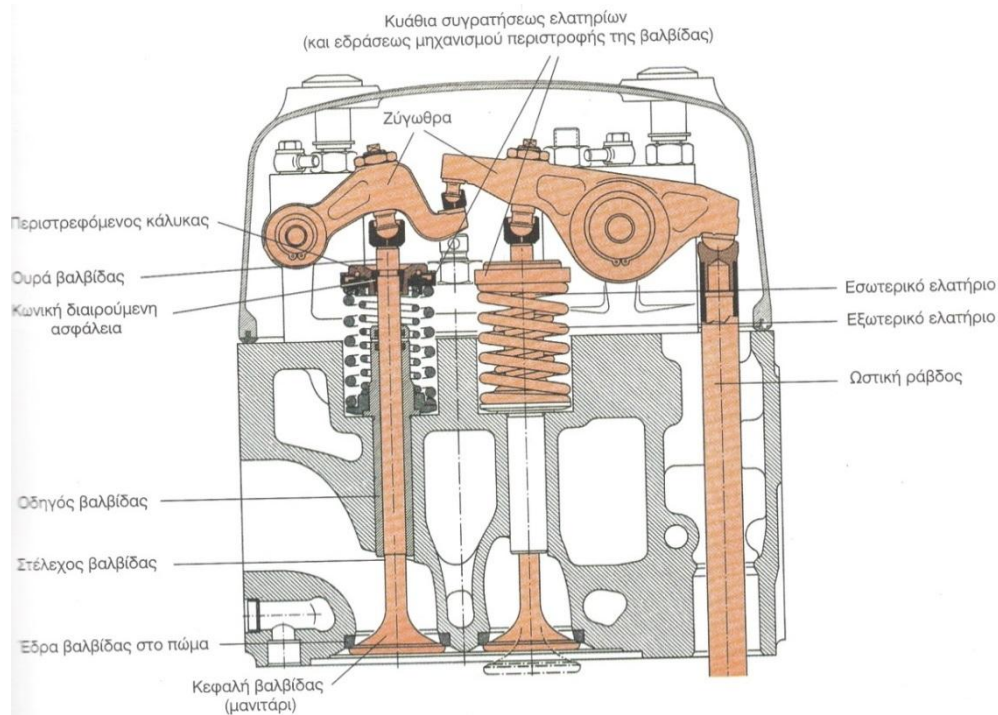


Εικόνα 2.4: Κεφαλές κυλίνδρων

2.2.4 Βαλβίδες

Οι βαλβίδες είναι εκείνο το τμήμα της μηχανής που ρυθμίζουν την εισαγωγή του καυσίμου, την εξαγωγή των καυσαερίων καθώς και την εισαγωγή του αέρα, με το άνοιγμα και το κλείσιμο τους ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας της μηχανής. Άρα έχουμε τις βαλβίδες εισαγωγής και αυτές της εξαγωγής. Σε δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου γίνεται η εισαγωγή μίγματος και εξαγωγή. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του εκκεντροφόρου ο οποίος περιστρέφεται με τον μισό αριθμό στροφών από ότι ο στροφαλοφόρος. Επιβάλλεται οι βαλβίδες να έχουν μεγάλη μηχανική και θερμική αντοχή γι' αυτό κατασκευάζονται από κράματα τιτανίου, μολύβδου, νικελίου ή κοβαλτίου.

Η βαλβίδα αποτελείται κυρίως από τρία τμήματα, την κεφαλή, το στέλεχος και την ουρά. Σε αυτά έρχονται να προστεθούν τα ελατήρια των βαλβίδων, η λειτουργία των οποίων είναι να κλείνουν τις βαλβίδες όταν σταματάει ο εκκεντροφόρος άξονας. Ένας μηχανισμός βαλβίδων μιας πετρελαιομηχανής φαίνεται στην εικόνα 2.5.



Εικόνα 2.5: Μηχανισμός βαλβίδων πετρελαιομηχανής (με μηχανική περιστροφή)

2.2.5 Έμβολα

Το έμβολο κινείται μεταξύ του ανώτατου νεκρού σημείου (ΑΝΣ) και του κατώτατου νεκρού σημείου (ΚΝΣ) μέσα στον κύλινδρο, μεταδίδει την κίνηση στον διωστήρα με τη δύναμη της πίεσης των καυσαερίων που εκτονώνονται. Το έμβολο μαζί με τον στροφαλοφόρο άξονα και τον διωστήρα χρησιμεύουν για τη μεταφορά της κίνησης. Ένα έμβολο αποτελείται από την κεφαλή του, στην οποία βρίσκεται ο θάλαμος του ψυκτικού υγρού, τον ομφαλό του πείρου, και την λεγόμενη ποδιά. Για να επιτευχθεί η μεγαλύτερη συμπίεση του αέρα χρησιμοποιούνται τα ελατήρια, τα οποία επίσης στεγανοποιούν τον χώρο καύσης. Η κατασκευή ενός εμβόλου πρέπει να τηρεί κάποιες προδιαγραφές όπως μικρό βάρος, μικρή θερμική διαστολή και αντίσταση τριβής καθώς επίσης να έχει αντοχή σε φθορές και σε υψηλές θερμοκρασίες. Στην εικόνα 2.6 παρουσιάζονται τα έμβολα μιας αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής συναρμολογημένα με τα βάκτρα τους.

Για τη σωστή λειτουργία πρέπει να επιτευχθεί η μέγιστη συμπίεση του αέρα, χωρίς να έχουμε διαρροή καυσαερίων στον στροφαλοθάλαμο, το λάδι λιπάνσεως δεν πρέπει να μπαίνει στο έμβολο, γιατί η μηχανή θα καίει λάδια, και αυτό επιτυγχάνεται με τη καλή στεγανοποίηση του χώρου καύσεως μέσω των ελατηρίων που χρησιμοποιούνται.



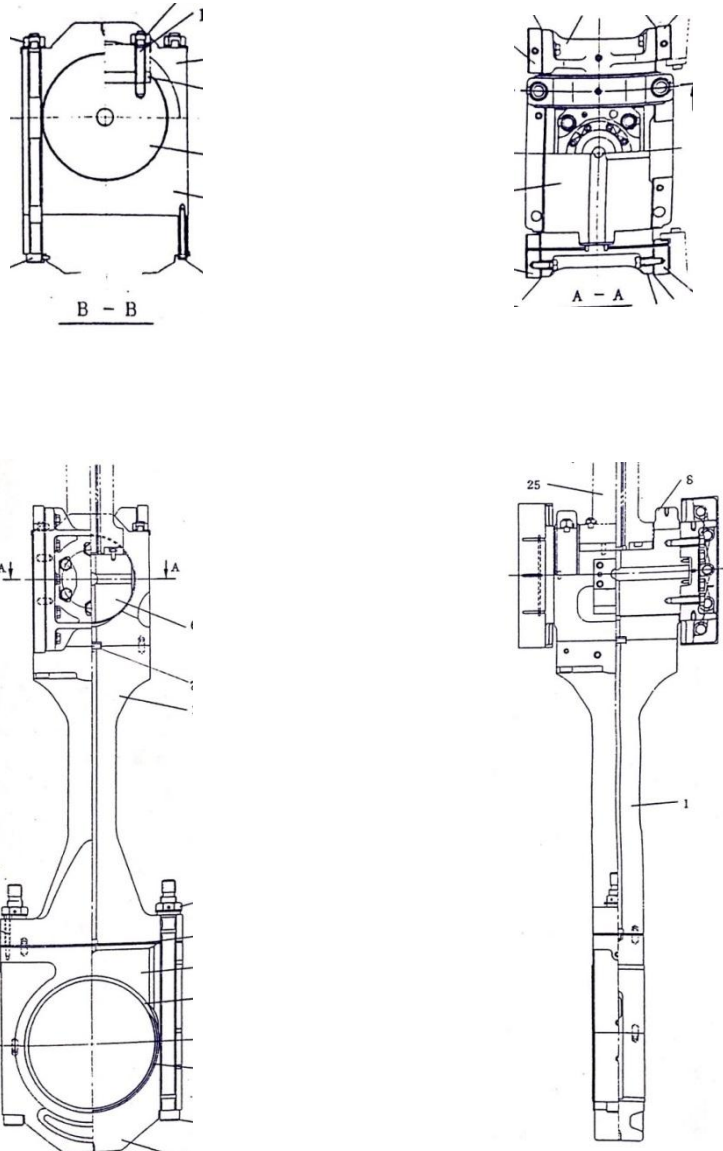
Εικόνα 2.6: Έμβολα πετρελαιομηχανής

2.2.6 Διωστήρας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ο διωστήρας μεταφέρει την κίνηση του στον στροφαλοφόρο άξονα κατά την φάση της εκτόνωσης, όπως επίσης την κινητική ενέργεια στο έμβολο από τον στροφαλοφόρο κατά τις φάσεις της συμπίεσης και της εξαγωγής των καυσαερίων. Ο διωστήρας αποτελείται από την κεφαλή, η οποία συνδέεται με το έμβολο και στο στέλεχος που συνδέει την κεφαλή με το πόδι, το οποίο είναι το τρίτο τμήμα του διωστήρα. Η διατομή του έχει το σχήμα ενός διπλού (H) έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αντοχή και μικρότερη μάζα. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός διωστήρα θα πρέπει να αντέχουν σε θλίψη, λυγισμό και εφελκυσμό που καταπονείται στις φάσεις της εκτόνωσης, συμπίεσης, εξαγωγής και εισαγωγής. Στην παρακάτω εικόνα (2.7) φαίνονται οι διωστήρες μιας ναυτικής πετρελαιομηχανής και στο σχέδιο 2.1 οι τομές του.



Εικόνα 2.7: Διωστήρες ναυτικής πετρελαιομηχανής



Σχέδιο 2.1: Τομές ενός διωστήρα

2.2.7 Βάκτρο, στυπιοθλίπτης, ζύγωμα

Το βάκτρο (εικόνα 2.8) είναι μια χαλύβδινη ράβδος, της οποίας το ένα άκρο συνδέεται με το κάτω μέρος του εμβόλου των κινητήρων, το άλλο άκρο με το ζύγωμα και κινείται παλινδρομικά μέσα στον στυπιοθλίπτη. Με την παρουσία του βάκτρου οι πλάγιες δυνάμεις, μεταδίδονται στο ζύγωμα και έτσι αποφεύγονται σε μεγάλο βαθμό οι φθορές στο έμβολο και στο χιτώνιο. Επίσης με τη χρήση του επιτυγχάνεται «οικονομία» χώρου στη μηχανή. Ο χώρος στον οποίο υπάρχει το έμβολο στεγανοποιείται, στο κάτω μέρος του με έναν στυπιοθλίπτη, ο οποίος δεν επιτρέπει τη διαρροή αέρα στον στροφαλοθάλαμο και τη διαρροή λαδιού από το στροφαλοθάλαμο προς το χώρο σαρώσεως.



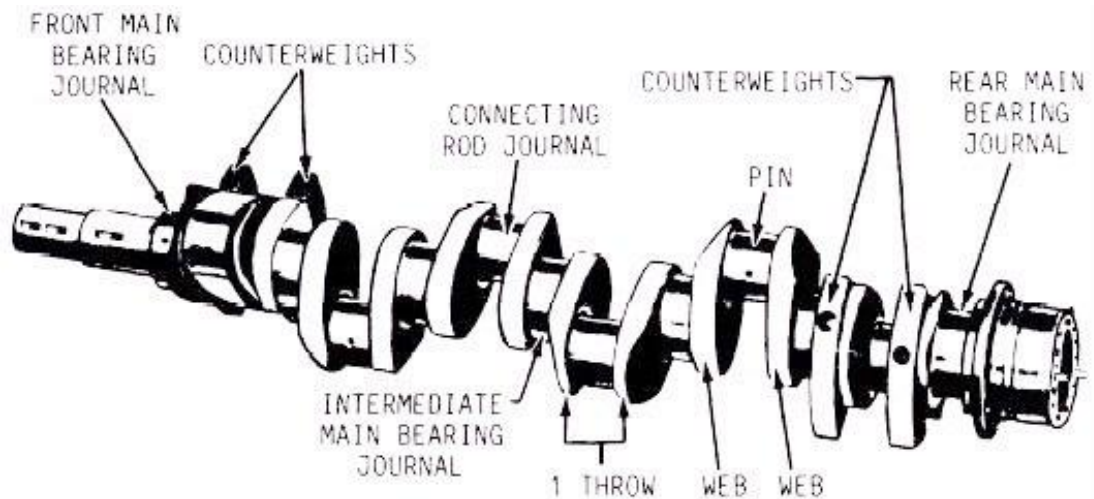
Εικόνα 2.8: Βάκτρα δίχρονης πετρελαιομηχανής

2.2.8 Στροφαλοφόρος άξονας

Το τμήμα εκείνο της μηχανής που μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση των εμβόλων σε περιστροφική ονομάζεται στροφαλοφόρος άξονας (εικόνα 2.9, σχέδιο 2.2). Στρόφαλος ονομάζεται το τμήμα που προεξέχει από τον στροφαλοφόρο, πάνω στο οποίο ακουμπάει ο διωστήρας. Κάθε φορά που ασκείται μία δύναμη στον διωστήρα δημιουργείται μία ροπή που περιστρέφει τον στροφαλοφόρο. Για να επιτευχθεί υψηλή αντοχή χρησιμοποιείται για την κατασκευή του σφυρήλατος χάλυβας. Πάνω στον στροφαλοφόρο παρατηρούνται τα κομβία βάσης και τα κομβία των διωστήρων, που μεταξύ τους συνδέονται με τους βραχίονες. Ένας αγκώνας αποτελείται από δύο βραχίονες μαζί με το κομβίο του διωστήρα. Οι βραχίονες φέρουν αντίβαρα για την ζυγοστάθμιση του στροφαλοφόρου, όπως επίσης του εμβόλου και του διωστήρα που παλινδρομούν πάνω στον άξονα.



Εικόνα 2.9: Στροφαλοφόρος άξονας μηχανής πλοίου



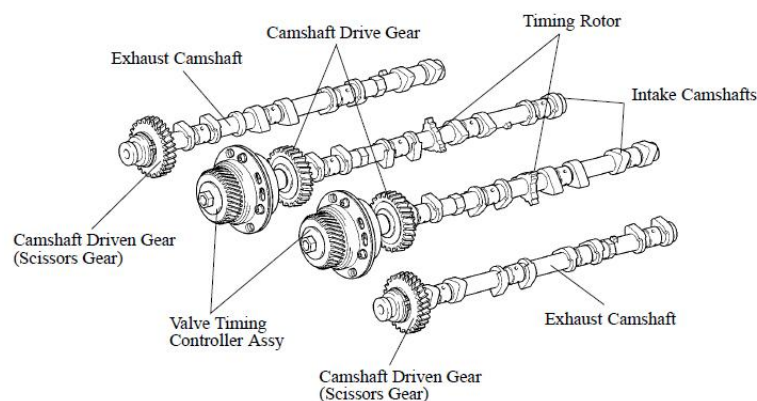
Σχέδιο 2.2: Στροφαλοφόρος άξονας μηχανής πλοίου

2.2.9 Εκκεντροφόρος άξονας

Εκκεντροφόρος άξονας (εικόνα 2.10, σχέδιο 2.3), ονομάζεται ο άξονας που μεταφέρει την κίνηση για το άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο, μέσω μιας αλυσίδας, με τη βοήθεια γραναζιών. Το κύριο τμήμα του είναι τα έκκεντρα που μετατρέπουν την περιστροφική κίνηση του εκκεντροφόρου σε παλινδρομική των βαλβίδων, κινεί επίσης τη βαλβίδα αέρα εκκινήσεως και τις αντλίες καυσίμου. Ο εκκεντροφόρος τοποθετείται στον κορμό της μηχανής ακουμπώντας επάνω στους λεγόμενους τριβείς, κυλινδρικοί μεταλλικοί δακτύλιοι, οι οποίοι τοποθετούνται στα σημεία που θα ακουμπήσει ο εκκεντροφόρος για τη μείωση της τριβής, βρίσκονται επίσης και σε άλλα σημεία στην μηχανή και οι οποίοι θα πρέπει να λιπαίνονται συνεχώς με λάδι. Ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται με τις ίδιες στροφές με αυτές του στροφαλοφόρου στις δίχρονες πετρελαιομηχανές, ενώ με τις μισές περιστροφές απ' ότι ο στροφαλοφόρος στις τετράχρονες μηχανές, δηλαδή με μία σχέση κινήσεως 1:2. Στις μεγάλες δίχρονες ναυτικές μηχανές οι εκκεντροφόροι βρίσκονται στα πλάγια της μηχανής, όπου η μετάδοση της κίνησης επιτυγχάνεται με οδοντωτούς τροχούς.



Εικόνα 2.10: Εκκεντροφόρος άξονας μιας δίχρονης πετρελαιομηχανής



Σχέδιο 2.3: Εκκεντροφόρος άξονας

2.3 Πρόωση

Μια τυπική εγκατάσταση προώσεως χρησιμοποιεί μία πετρελαιομηχανή, αργόστροφη στις περισσότερες των περιπτώσεων για να κινηθεί η έλικα, πρόκειται για παλιά τεχνολογία και έχει επικρατήσει λόγω της υψηλής απόδοσης των πετρελαιοκινητήρων και την αξιοπιστία τους.

Πλέον χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο υβριδικές εγκαταστάσεις πρόωσης. Χρησιμοποιούνται ως επί των πλείστων μεσόστροφες μηχανές και ένας μειωτήρας για την κίνηση της έλικας. Σε αυτή τη διάταξη είναι συνδεδεμένος και ένας κινητήρας, τροφοδοτείται από ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη, ο οποίος δίνει μία ταχύτητα στο πλοίο σε περίπτωση βλάβης της κύριας μηχανής. Επίσης σε κάποιες των περιπτώσεων χρησιμοποιείται ηλεκτρομηχανή άξονα, η οποία χρησιμοποιείται είτε παράλληλα με την κύρια μηχανή είτε μόνη της σε περίπτωση βλάβης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η ηλεκτροπρόωση κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος.

Τέλος να αναφερθεί ότι ως κύρια μηχανή μπορεί να χρησιμοποιηθούν αεριοστρόβιλοι, αμμοστρόβιλοι και συνδυασμένου κύκλου. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του караβιού και τις απαιτήσεις του.

3. Ηλεκτρομηχανές

3.1 Θεωρία ηλεκτρομηχανών

Ηλεκτρική μηχανή ονομάζεται η μηχανή που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και αντιστρόφως. Γεννήτρια ονομάζεται η διάταξη που μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και κινητήρας η διάταξη που μετατρέπει την ηλεκτρική σε μηχανική. Οι ηλεκτρικές μηχανές συναντώνται από απλές συσκευές καθημερινής χρήσης μέχρι μεγάλα μέσα μεταφοράς όπως πλοία (εικόνα 3.1). Ένα μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των μηχανών είναι παραγωγή ενέργειας χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον εφόσον δεν παράγει καυσαέρια.



Εικόνα 3.1: Ηλεκτρομηχανή 50-60Hz, εύρους 80-250KVA, 400/230V

Οι ηλεκτρομηχανές λειτουργούν με σταθερό αριθμό στροφών. Η λειτουργία τους οφείλεται στη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική χάρη της δράσης των μαγνητικών πεδίων. Επιπλέον για μια αργόστροφη ηλεκτρομηχανή συχνότητας 50-60 Hz, θα πρέπει να έχει μεγάλο αριθμό πόλων, ενώ οι μεσόστροφες και οι ταχύστροφες μικρό αριθμό πόλων.

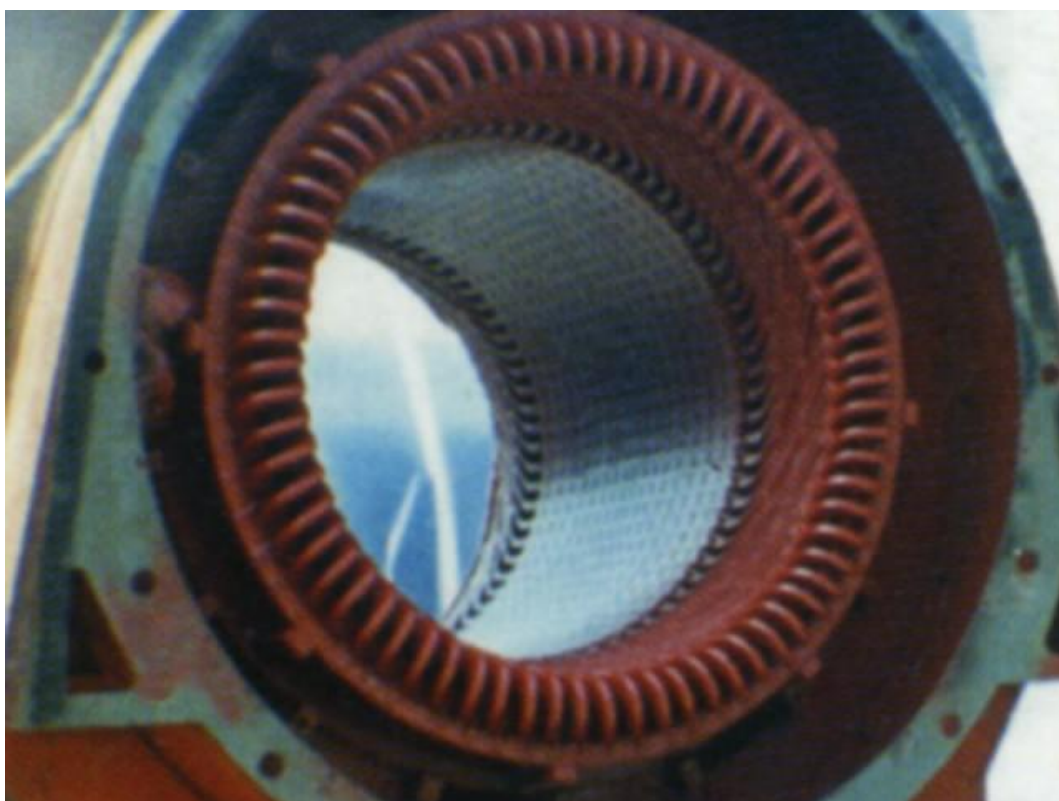
Στις ηλεκτρικές μηχανές τα κινητά τους μέρη περιστρέφονται γύρω από τον άξονα. Χαρακτηριστικό μέγεθος που αναφέρονται οι μηχανικοί είναι η γωνιακή ταχύτητα των μηχανών που εκφράζεται συνήθως σε στροφές ανά λεπτό (rpm). Ο βασικός μηχανισμός μετατροπής της ενέργειας στις γεννήτριες και στους κινητήρες είναι η δράση του μαγνητικού πεδίου. Υπάρχουν δύο κατηγορίες ηλεκτρικών μηχανών, οι σύγχρονες και οι ασύγχρονες.

3.2 Σύγχρονες μηχανές

Οι σύγχρονες μηχανές μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Οι σύγχρονες ηλεκτρομηχανές που χρησιμοποιούνται στην πρόωση των καραβιών έχουν ως απαραίτητη προϋπόθεση τη τροφοδοσία του τυλίγματος του δρομέα με συνεχές ρεύμα, τα οποία δημιουργεί μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της γεννήτριας και καθώς ο δρομέας περιστρέφεται από κάποια εξωτερική μηχανή, το πεδίο περιστρέφεται μαζί του και τελικά το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει τριφασική τάση στα τυλίγματα του στάτη, την οποία έχουμε στην έξοδο της μηχανής. Με τον όρο σύγχρονες, εννοούμε ότι η συχνότητα του παραγόμενου εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ίδια με την με την συχνότητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου της διέγερσης.

Δύο στοιχεία-μέρη μιας ηλεκτρομηχανής είναι ο στάτης και ο δρομέας. Ο στάτης (εικόνα 3.2) συγκεκριμένα αποτελείται από τους πόλους, το τυλίγμα και το στέλεχος. Πάνω στο στέλεχος υπάρχουν οι πόλοι του στάτη με τα τυλίγματά τους, το σύστημα ψύξης και η βάση στήριξης.

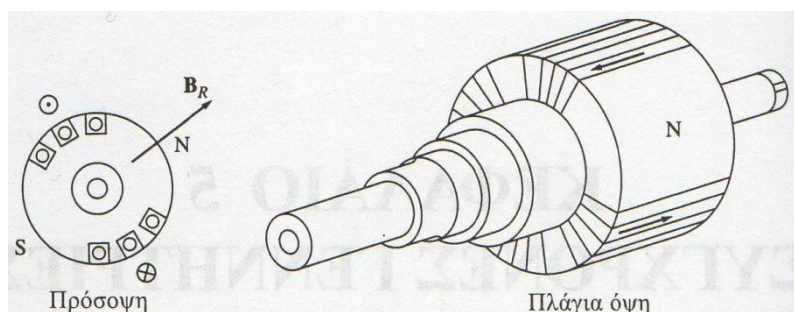


Εικόνα 3.2: Στάτης

Ο δρομέας μιας ηλεκτρομηχανής μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας μεγάλος ηλεκτρομαγνήτης που αποτελείται από τον άξονα στον οποίο έχουμε τους πόλους με τα τυλίγματά τους και το σύστημα διέγερσής. Αναλυτικότερα στην κατασκευή ενός

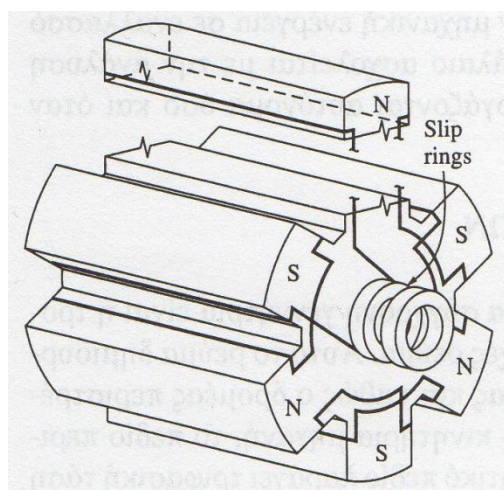
δρομέα διακρίνουμε το επαγωγικό τύμπανο, που αποτελείται από το τύλιγμα και τον πυρήνα του και το συλλέκτη. Στο επαγωγικό τύμπανο υπάρχει ο πυρήνας και το τύλιγμα.

Παρόλαυτα οι γεννήτριες μπορεί να έχουν με δύο τύπους δρομέα, εκτύπων πόλων (εικόνα 3.3), και τη γεννήτρια που διαθέτει κυλινδρικό δρομέα (εικόνα 3.4). Στην περίπτωση των εκτύπων πόλων, οι πόλοι της μηχανής βρίσκονται στην επιφάνεια του δρομέα, ενώ στην περίπτωση που ο δρομέας είναι κυλινδρικός, οι πόλοι βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την υπόλοιπη επιφάνειά του.



Εικόνα 3.3: Κυλινδρικός δρομέας σύγχρονης γεννήτριας δύο πόλων

Οι γεννήτριες δύο και τεσσάρων πόλων έχουν δρομείς με κυλινδρική επιφάνεια, ενώ αυτές των εκτύπων πόλων έχουν από τέσσερις πόλους και πάνω. Η κατασκευή του δρομέα γίνεται από δυναμοελάσματα έτσι ώστε να έχουμε μείωση απωλειών εξαιτίας των δινορρευμάτων, τα οποία δημιουργούνται λόγω του ότι ο δρομέας εκτίθεται σε συχνές μεταβολές του μαγνητικού πεδίου.



Εικόνα 3.4: Δρομέας εκτύπων πόλων σύγχρονης γεννήτριας έξι πόλων.

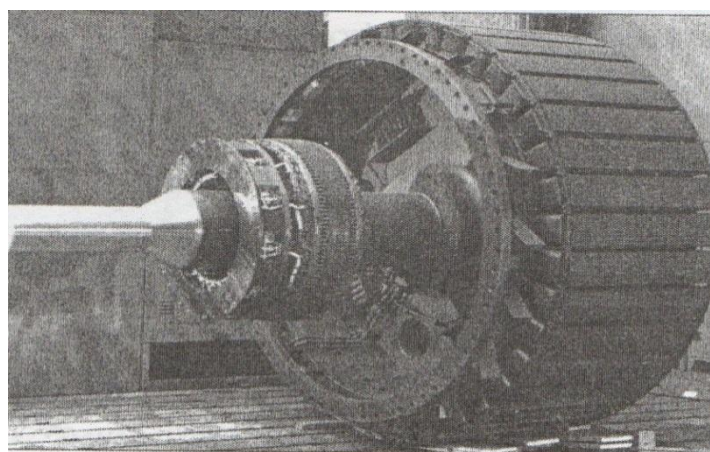
Με την εφαρμογή συνεχούς ρεύματος στο τύλιγμα του δρομέα έχουμε την ανάπτυξη περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Ο δρομέας όμως περιστρέφεται έτσι

που είναι ανάγκη να αναπτυχθεί ένας τρόπος τροφοδοσίας του τυλίγματος. Οι δύο πιο συνηθισμένες τεχνικές τροφοδοσίας του είναι:

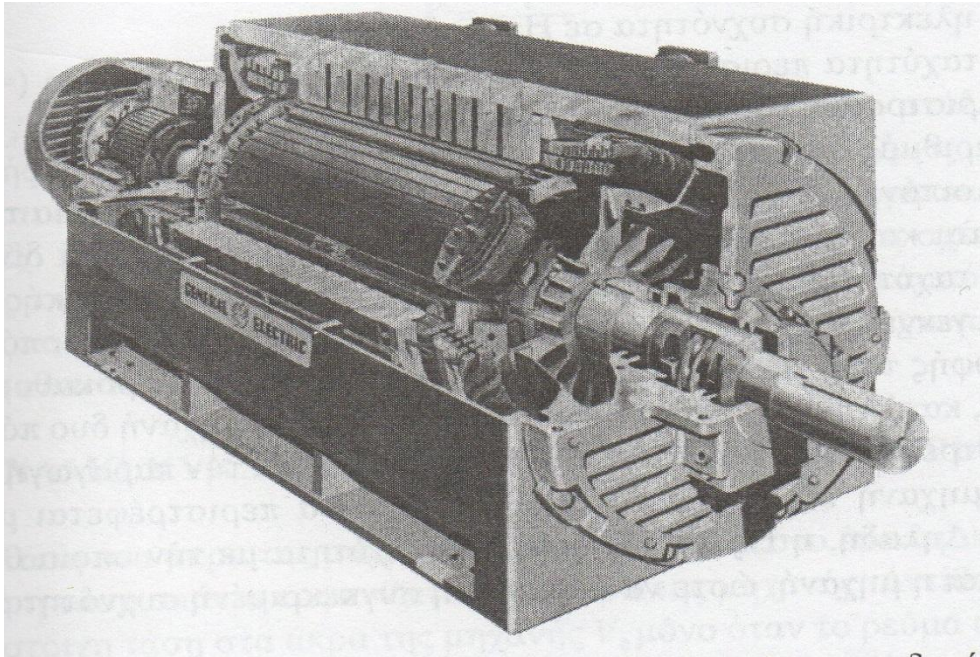
- Από μία εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, άρα και ο δρομέας θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ψήκτρες και δαχτυλίδια.
- Από ειδική πηγή συνεχούς ρεύματος τοποθετημένη πάνω στον άξονα της γεννήτριας.

Γύρω από την περίμετρο του άξονα και ηλεκτρικά μονωμένα από αυτόν υπάρχουν τα δαχτυλίδια της γεννήτριας. Η σύνδεση είναι ως εξής: Η μία άκρη του τυλίγματος συνδέεται σε ένα δαχτυλίδι και η άλλη άκρη στο επόμενο δαχτυλίδι. Επάνω στο κάθε δαχτυλίδι εφάπτεται μία ψήκτρα, ώστε η σύνδεση του θετικού άκρου της πηγής σε μία ψήκτρα και του αρνητικού σε μια άλλη, δίνει συνεχή τροφοδοσία στον δρομέα. Αυτή η μέθοδος τροφοδοσίας του δρομέα με συνεχές ρεύμα έχει δύο μειονεκτήματα, παρόλο το οικονομικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει: Την συχνή αντικατάσταση των ψηκτρών και τις απώλειες ισχύος.

Σε μεγαλύτερες μηχανές για την τροφοδότηση του δρομέα (εικόνα 3.5) της γεννήτριας επιτυγχάνεται με μηχανές χωρίς ψήκτρες, οι οποίες είναι εναλλασσόμενου ρεύματος στις οποίες το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται από το στάτη της γεννήτριας και το κύκλωμα οπλισμού τοποθετείται στον άξονα του δρομέα. Πάνω στον άξονα της μηχανής βρίσκεται ένας τριφασικός ανορθωτής και ανορθώνει την τριφασική έξοδο της διεγέρτριας, και έπειτα το ρεύμα (συνεχές) του ανορθωτή κατευθύνεται στο τύλιγμα διέγερσης της κύριας μηχανής. Με αυτήν την μέθοδο υπάρχει πλεονέκτημα έναντι της προηγούμενης που περιγράφηκε παραπάνω εφόσον δεν εμπλέκονται μηχανικά μέρη στη διαδικασία τροφοδοσίας της διέγερσης της μηχανής. Υπάρχει και η δυνατότητα μία γεννήτρια να μην εξαρτάται από καμία εξωτερική πηγή τροφοδοσίας εισάγοντας στο όλο σύστημα μια προ-διεγέρτρια μηχανή, της οποίας η τοποθέτηση γίνεται επάνω στον άξονα της σύγχρονης μηχανής που διαθέτει έναν δρομέα με μόνιμους πάνω του μαγνήτες. Η σειρά τροφοδοσίας είναι η εξής: Η τριφασική τάση της προ-διεγέρτριας τροφοδοτεί τη διέγερση της διεγέρτριας και αυτή τέλος τροφοδοτεί το δρομέα της σύγχρονης μηχανής (εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.5: Φωτογραφία ενός δρομέα σύγχρονης γεννήτριας, όπου φαίνεται η διεγέρτρια και τα κυκλώματα ανόρθωσης.



Εικόνα 3.6: Τομή σύγχρονης μηχανής μεγάλης ισχύος, φαίνεται η δομή των εκτύπων πόλων και η διεγέρτρια που βρίσκεται πάνω στον άξονα της μηχανής.

Στις σύγχρονες γεννήτριες ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται με την ταχύτητα που περιστρέφεται και το μαγνητικό πεδίο της μηχανής, η σχέση 3.1 δίνει την ταχύτητα που θα πρέπει να περιστραφεί η μηχανή ώστε να παράγει συχνότητα 50 ή 60 Hz.

$$f_c = \frac{n_m P}{120} \quad \text{εξίσωση 3.1}$$

f_c =ηλεκτρική συχνότητα σε Hz

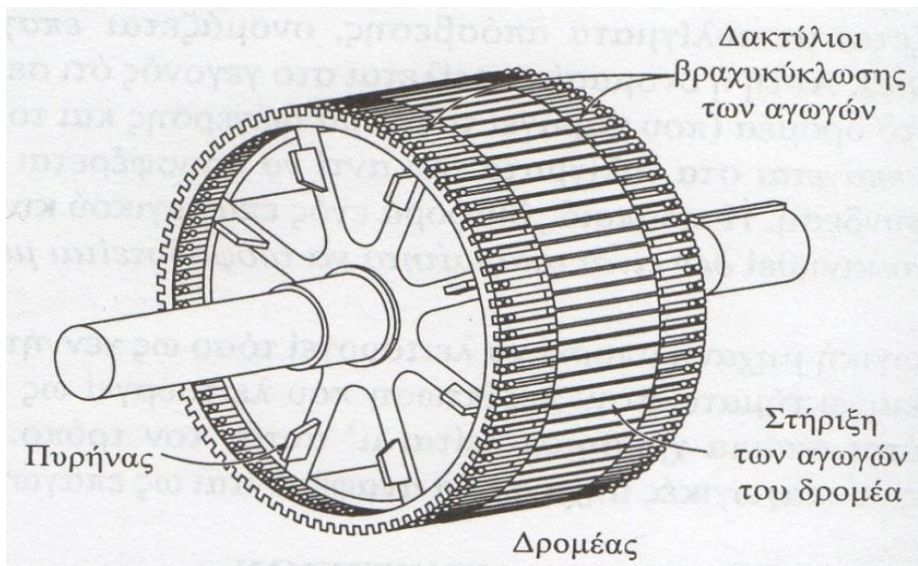
n_m =ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου σε r/min

P=ο αριθμός των πόλων

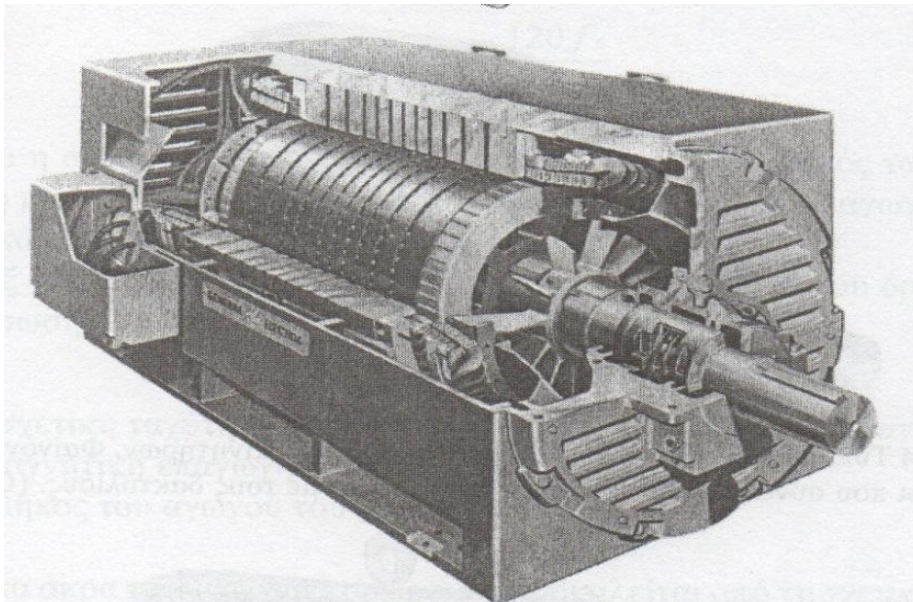
3.3 Ασύγχρονες μηχανές

Μία ηλεκτρομηχανή (κινητήρας), που έχει κατασκευαστεί χωρίς κύκλωμα διέγερσης ονομάζεται ασύγχρονη ή επαγωγική. Η βασική διαφορά από τους σύγχρονους κινητήρες είναι ότι για να υπάρξει κίνηση δεν χρειάζεται να τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα διέγερσης. Το τμήμα του στάτη είναι το ίδιο με αυτό που περιγράφηκε παραπάνω για σύγχρονες μηχανές, ενώ ο δρομέας συναντάται σε διαφορετική δομή.

Υπάρχουν δύο είδη δρομέα για αυτούς τους κινητήρες. Ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού, ο οποίος αποτελείται από μια σειρά αγωγίων ράβδων στα αυλάκια του δρομέα και που είναι βραχυκυκλωμένες στα δύο άκρα μέσω των δακτυλίων βραχυκύκλωσης όπως φαίνεται στην εικόνα 3.7 και ο δακτυλιοφόρος δρομέας, που διατηρεί ένα ολοκληρωμένο τριφασικό τύλιγμα (εικόνα 3.8). Η μέτρηση του ρεύματος στον επαγωγικό κινητήρα με αυτόν τον τύπο δρομέα, μπορεί να γίνει επάνω στις ψήκτρες, όπως επίσης υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα της διέγερσης.

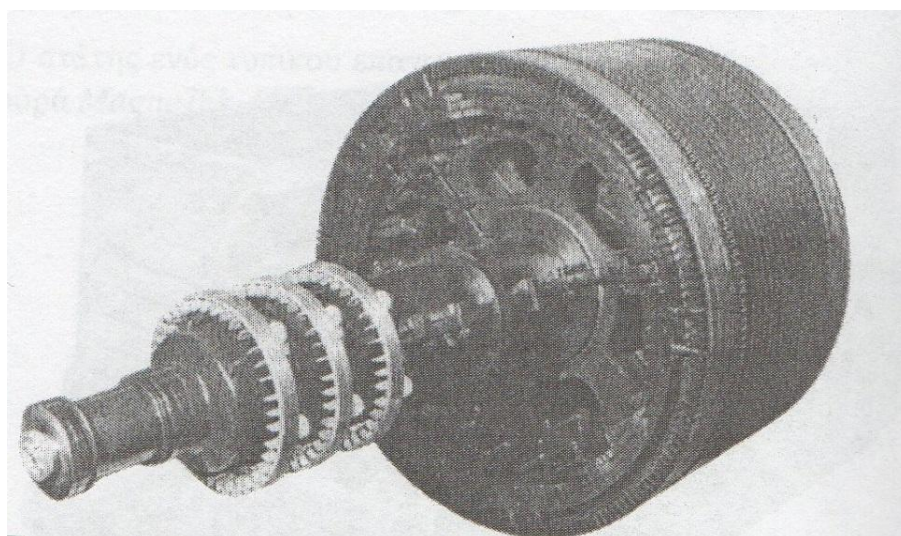


(α)



(β)

Εικόνα 3.7 (α) Σχεδιάγραμμα ενός δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού και (β) ένας επαγωγικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου κλωβού σε τομή



Εικόνα 3.8 Δακτυλιοφόρος δρομέας επαγωγικού κινητήρα

Για την χρήση ενός κινητήρα στην ναυτιλία έχει επικρατήσει να προτιμάται ο ασύγχρονος κινητήρας, ο οποίος όταν λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες περιστρέφεται με παρόμοια ταχύτητα με αυτή της σύγχρονης μηχανής. Οι ασύγχρονοι κινητήρες, σε ένα μεγάλο καράβι χρησιμοποιούνται και για την κίνηση διαφόρων μηχανημάτων που είναι απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία του καραβιού, όπως και αντλιών.

Η ταχύτητα που περιστρέφεται ένας επαγωγικός κινητήρας δίνεται από τη σχέση 3.2. Επίσης η ανάπτυξη ρεύματος στο τύλιγμα οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο που εφαρμόζεται σε αυτό και οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα περιστροφής του στάτη από του δρομέα. Αυτήν η διαφορά ονομάζεται «ολίσθηση».

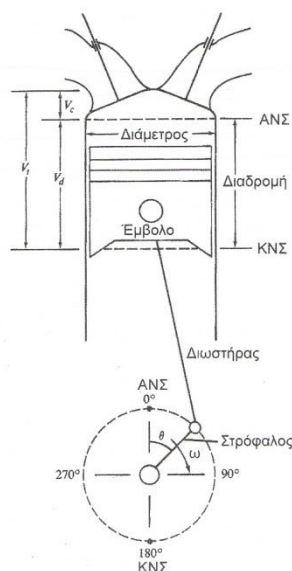
$$n_{sync} = \frac{120f_e}{P}$$

εξίσωση 3.2

4. Λειτουργία πετρελαιομηχανών

4.1 Τετράχρονη πετρελαιομηχανή

Η λειτουργία των εμβολοφόρων μηχανών βασίζεται στην κίνηση του εξής μηχανισμού: εμβόλου, διωστήρα, στροφάλου. Ο μηχανισμός περιγράφεται σχηματικά παρακάτω (εικόνα 4.1). Το έμβολο κινείται παλινδρομικά μέσα στον κύλινδρο και μεταφέρει την ισχύ μέσω του διωστήρα στον στροφαλοφόρο άξονα. Υφίσταται δηλαδή μια μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική. Η κίνηση του εμβόλου γίνεται ανάμεσα από δύο θέσεις, το ΑΝΣ (άνω νεκρό σημείο) και το ΚΝΣ (κάτω νεκρό σημείο), στις οποίες ο όγκος του κυλίνδρου είναι μέγιστος ή ελάχιστος, αντίστοιχα. Για μία ολόκληρη στροφή του στροφαλοφόρου άξονα, δηλαδή 360° , το έμβολο διανύει δύο φορές τη διαδρομή από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, ή σε δύο χρόνους, εφόσον ένας χρόνος αντιστοιχεί σε μία διαδρομή.

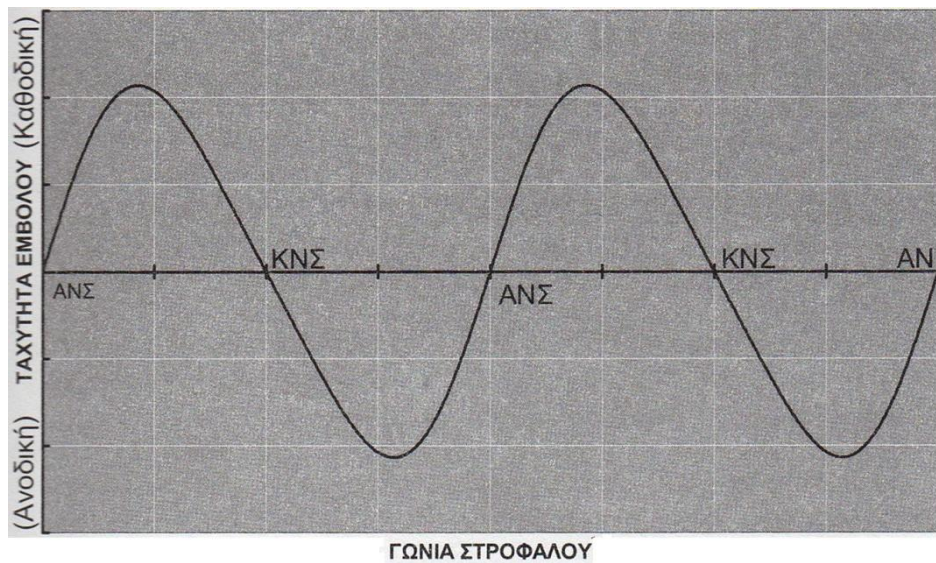


Εικόνα 4.1: Ο μηχανισμός μετατροπής της παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική

Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της στροφαλοφόρου ατράκτου, που είναι ισοδύναμη με αυτή του κινητήρα ω είναι σταθερή. Όσο μεταβάλλεται όμως η γεωμετρία του μηχανισμού έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της ταχύτητας του εμβόλου. Η μεταβολή αυτή υφίσταται τόσο ως προς το μέτρο της όσο και προς τη διεύθυνσή της.

Εκτός από την γωνιακή ταχύτητα ω , στην παραπάνω εικόνα, φαίνεται και η γωνία θ που σχηματίζει ο στροφαλοφόρος άξονας με αυτόν του κυλίνδρου και ονομάζεται γωνία στροφάλου. Στην περίπτωση μιας τετράχρονης πετρελαιομηχανής και για δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα, η καμπύλη μεταβολής

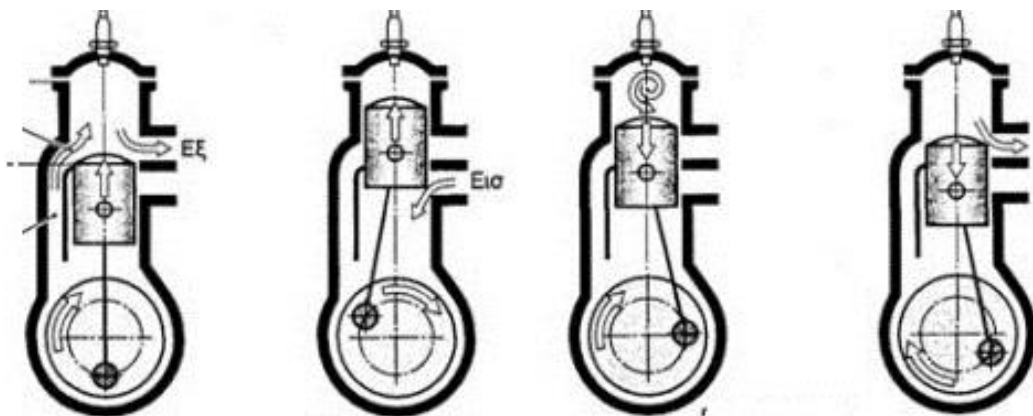
ταχύτητας-κίνησης του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο φαίνεται στην εικόνα 4.2. Στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ η ταχύτητα είναι μηδενική.



Εικόνα 4.2: Ταχύτητα κίνησης εμβόλου συναρτήσει της γωνίας στροφάλου

Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ, πραγματοποιείται το άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρίδων.

Ο κύκλος μιας τετράχρονης πετρελαιομηχανής ολοκληρώνεται σε τέσσερις φάσεις, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.3:



Εικόνα: 4.3 Κίνηση εμβόλου ενός κύκλου μιας τετράχρονης πετρελαιομηχανής

4.1.1 Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής

Ένας κύκλος λειτουργίας περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις που συνδυάζονται με την κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ και αντίστροφα.

- Εισαγωγή (γωνία στροφάλου 0° - 180°)

Στη φάση της εισαγωγής αρχίζει το έμβολο να κινείται προς τα κάτω και να αποκαλύπτεται η θυρίδα εισαγωγής, αυξάνοντας παράλληλα τον όγκο μέσα στον κύλινδρο. Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ και εισέρχεται ο αέρας μέσα στον κύλινδρο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διεργασία πλήρωσης (4.4α).

Η θεωρητική διάρκεια εισαγωγής ενός τετράχρονου κινητήρα περιγράφεται από τη σχέση 4.1 παρακάτω η οποία ορίζει τον χρόνο που διατίθεται για την έναρξη και ολοκλήρωση των διαφόρων διεργασιών που συμβαίνουν στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια ενός κύκλου:

$$t_{\text{εισαγωγής}} = \frac{2}{n} \times 60 \times \frac{1}{4} = \frac{30}{n} [s] \quad \text{εξίσωση 4.1}$$

Εφόσον ο κινητήρας είναι τετράχρονος, ένας κύκλος διαρκεί δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα έτσι ο συνολικός αριθμός κύκλων λειτουργίας που εκτελείται σε ένα λεπτό είναι $n/2$ και επειδή η φάση της εισαγωγής αποτελεί το $1/4$ του κύκλου. Ο αριθμός στροφών λειτουργίας αποτελεί ένα χαρακτηριστικό της μηχανής, λόγω ότι αν αυξηθεί υπερβολικά αυτός ο αριθμός μπορεί να οδηγήσει σε μη ολοκλήρωση των άλλων διεργασιών του κύκλου. Έτσι σύμφωνα με τον μέγιστο αριθμό στροφών που δίνεται από τον κατασκευαστή ρυθμίζονται και τα υπόλοιπα εξαρτήματα της μηχανής, ώστε να διασφαλίζεται ο απαιτούμενος χρόνος ολοκλήρωσης όλων των διεργασιών αλλά και να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη μηχανική αντοχή που θα παραλάβουν τα ίδια αυτά εξαρτήματα.

- Συμπύεση (γωνία στροφάλου 180° - 360°)

Στη φάση της συμπύεσης, ξεκινάει με το έμβολο να κινείται προς το ΑΝΣ κλείνοντας τη θυρίδα εισαγωγής, μειώνοντας τον όγκο του κυλίνδρου και έτσι επέρχεται αύξηση της πίεσης του εισερχόμενου αέρα και της θερμοκρασίας (4.4β). Η συμπύεση ολοκληρώνεται όταν φτάσει το έμβολο στο ΑΝΣ. Η ενέργεια που χρειάζεται το έμβολο για να κινηθεί σε αυτήν την φάση δίνεται από το σφόνδυλο.

- Καύση – εκτόνωση (γωνία στροφάλου 360° - 540°)

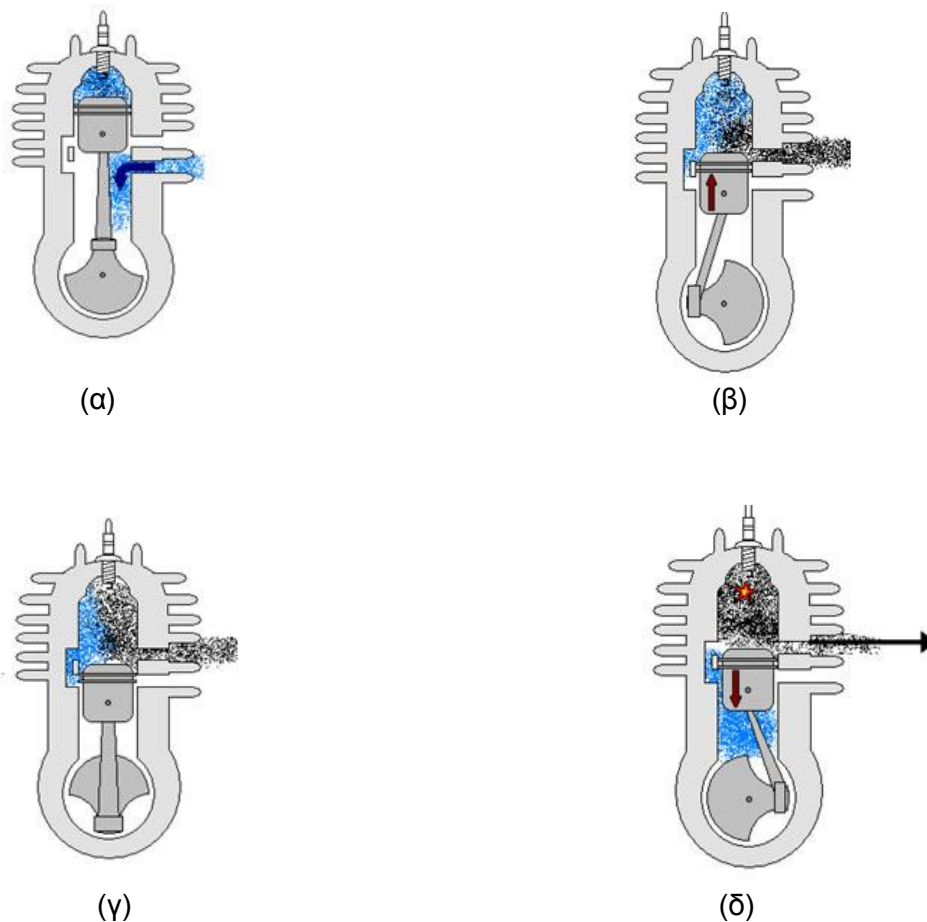
Στην τρίτη φάση του κύκλου το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ και κατευθύνεται προς το ΚΝΣ και το καύσιμο να εισέρχεται μέσα στον κύλινδρο (4.4γ), όπου συναντά αέρα και υψηλή θερμοκρασία ως συνέπεια την αυτανάφλεξή του. Η πίεση που παράγεται από τα καυσαέρια κινεί το έμβολο στο ΚΝΣ, το οποίο μεταφέρει την κίνηση στον διωστήρα και αυτός κινεί τον στρόφαλο.

- Εξαγωγή καυσαερίων (γωνία στροφάλου 540° - 720°)

Καθώς το έμβολο πλησιάζει στο ΑΝΣ αρχίζει να αποκαλύπτεται η θυρίδα εξαγωγής και λόγω της υψηλής πίεσης μέσα στον κύλινδρο τα καυσαέρια εξέρχονται στην ατμόσφαιρα (4.4δ). Ολοκληρώνοντας αυτή τη φάση το έμβολο ανεβαίνει προς το ΑΝΣ κλείνοντας τη θυρίδα εισαγωγής και μετά την θυρίδα εξαγωγής.

Στις φάσεις της εισαγωγής, συμπύεσης και εξαγωγής των καυσαερίων ο κύλινδρος καταναλώνει έργο ενώ μόνο στη φάση της καύσης-εκτόνωσης αποδίδει

έργο. Αξίζει να προστεθεί ότι το έργο κατά την εξαγωγή καυσαερίων είναι μεγαλύτερο από το έργο της εισαγωγής και αυτό διότι η ταχύτητα ροής κατά τη φάση της εξαγωγής είναι μεγαλύτερη από αυτή της εισαγωγής. Έτσι μπορεί να ειπωθεί ότι ο κύλινδρος αποδίδει έργο μόνο στο $\frac{1}{4}$ ενός κύκλου ενώ καταναλώνει έργο στα $\frac{3}{4}$ αυτού.



Εικόνα 4.4: Οι τέσσερις φάσεις ενός κύκλου μιας τετράχρονης πετρελαιομηχανής

4.1.2 Πραγματική λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής

Στην προηγούμενη παράγραφο περιγράφηκε η θεωρητική λειτουργία μιας τετράχρονης πετρελαιομηχανής αλλά η πραγματική λειτουργία διαφέρει. Οι φάσεις λειτουργίας της δεν συμπίπτουν ακριβώς με το ΑΝΣ και ΚΝΣ κατ'επέκταση δεν ταυτίζονται με τους αντίστοιχους χρόνους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων στην πραγματικότητα δεν πραγματοποιείται στο ΑΝΣ και το ΚΝΣ για λόγους μηχανικούς, όπως επίσης για θερμοδυναμικούς λόγους οι χρόνοι κίνησης των βαλβίδων δεν συμπίπτουν με τα νεκρά σημεία που βρίσκεται το

έμβολο. Παράλληλα ούτε η εισαγωγή του καυσίμου γίνεται στο ΑΝΣ. Αναλυτικότερα παρακάτω περιγράφεται η πραγματική λειτουργία.

- Εισαγωγή (γωνία στροφάλου 0° - 180°)

Στην πραγματική λειτουργία μιας τετράχρονης πετρελαιομηχανής το άνοιγμα των βαλβίδων γίνεται ενώ το έμβολο δεν έχει φτάσει στο ΑΝΣ, με γωνία στροφάλου ως 35° , και αντίστοιχα το κλείσιμο πραγματοποιείται, ως 50° μετά το ΚΝΣ. Στην πραγματική λειτουργία η μάζα του αέρα που εισέρχεται μέσα στον κύλινδρο είναι μικρότερη απ' ό τι στην περίπτωση της ιδανικής λειτουργίας.

- Συμπύεση (γωνία στροφάλου 180° - 360°)

Η φάση της συμπύεσης κατά την πραγματική λειτουργία μιας τετράχρονης μηχανής αρχίζει κάποιες μοίρες μετά το ΚΝΣ. Η συμπύεση πραγματοποιείται με το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής ενώ αυτή της εξαγωγής είναι ανοιχτή. Παράλληλα σημειώνεται αύξηση της θερμοκρασίας στον κύλινδρο λόγω αύξησης της πίεσης, η οποία φθάνει τα 160 bar σε μερικές των περιπτώσεων.

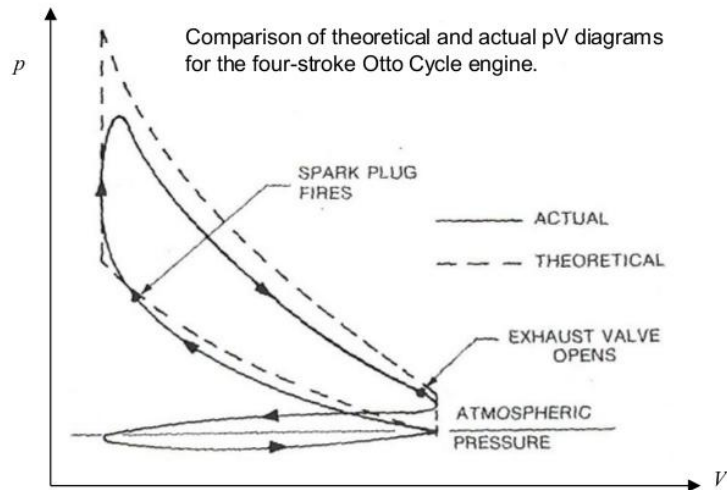
- Καύση – εκτόνωση (γωνία στροφάλου 360° - 540°)

Όσον αφορά τη φάση της καύσης-εκτόνωσης, επίσης δεν συμβαδίζει με τη θεωρητική διαδρομή του εμβόλου στα νεκρά σημεία, αυτή ξεκινά να πραγματοποιείται 10° πριν το ΑΝΣ για τις αργόστροφες μηχανές και 20° πριν για τις πολύστροφες. Η φάση αυτή διαρκεί από τη στιγμή έγχυσης του καυσίμου μέχρι τη στιγμή που ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής. Η έναρξη και ολοκλήρωση εισαγωγής του καυσίμου μέσα στον κύλινδρο μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε να υπάρχει μια ομαλή ταχύτητα καύσης, ενώ κάποιες μοίρες μετά το ΑΝΣ 10° - 20° να εμφανίζεται η μέγιστη πίεση που επιτρέπεται μέσα στον κύλινδρο, η οποία κυμαίνεται από 50 bar για τις απλές πετρελαιομηχανές μέχρι τα 200 bar για τις υπερπληρούμενες. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι η θερμοκρασία καυσαερίων κυμαίνονται στους 2000° C.

- Εξαγωγή καυσαερίων (γωνία στροφάλου 540° - 720°)

Όπως και στις προηγούμενες φάσεις, έτσι και στη φάση εξαγωγής των καυσαερίων, η βαλβίδα εξαγωγής αρχίζει να αποκαλύπτεται μερικές μοίρες πριν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ, της τάξης των 40° για τις απλές πετρελαιομηχανές και 60° για τις υπερπληρούμενες. Ως συνέπεια του ανοίγματος της βαλβίδας και εξαγωγής των καυσίμων παρατηρείται μια γρήγορη μείωση της πίεσης μέσα στον κύλινδρο. Εάν η φάση ολοκληρωνόταν στην πραγματικότητα όπως στη στοιχειώδη λειτουργία, δηλαδή μέχρι το ΚΝΣ, το έργο που θα είχε παραχθεί θα ήταν μεγαλύτερο απ' ό τι είναι στην πραγματικότητα. Παρόλαυτα εάν δεν άνοιγε η βαλβίδα εξαγωγής νωρίτερα, θα επιβαλλόταν μεγαλύτερη προσφορά ενέργειας για την εξαγωγή των καυσαερίων. Σε αυτή τη φάση παρατηρείται μια πίεση της τάξης των 3-4 bar και μια θερμοκρασία καυσαερίων 500° - 600° C. Η βαλβίδα εξαγωγής και εισαγωγής για ένα διάστημα, το οποίο είναι πριν και μετά το ΑΝΣ, είναι ταυτόχρονα και οι δύο ανοιχτές και λόγω αυτού επιτυγχάνεται ο καλύτερος καθαρισμός του κυλίνδρου από τα καυσαέρια, ο χώρος στον οποίο γίνεται η καύση καθαρίζεται από όλα τα στερεά κατάλοιπα της καύσεως, όπως επίσης η κεφαλή του εμβόλου αλλά και οι βαλβίδες ψύχονται και συμπερασματικά οδηγούμαστε στο γεγονός ενός μεγαλύτερου χρόνου ζωής της πετρελαιομηχανής.

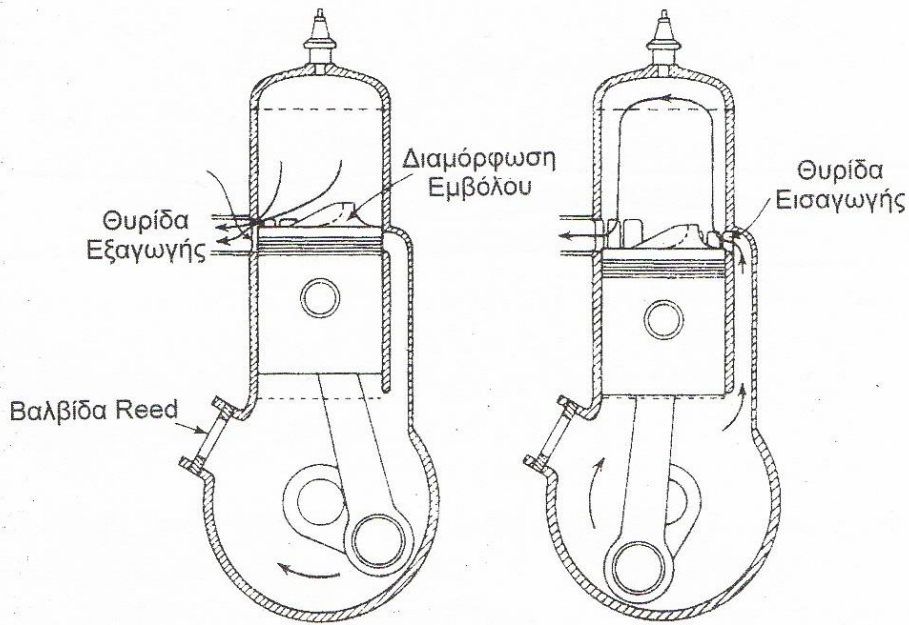
Η διαφορά του θεωρητικού κύκλου από τον πραγματικό, μιας τετράχρονης πετρελαιομηχανής φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 4.1, πίεσης - όγκου.



Σχήμα 4.1: Ο θεωρητικός και πραγματικός κύκλος μιας τετράχρονης πετρελαιομηχανής σε διάγραμμα πίεσης όγκου

4.2 Δίχρονη πετρελαιομηχανή

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, οι τέσσερις φάσεις είναι απαραίτητες για τη λειτουργία μιας πετρελαιομηχανής. Η διαφορά που παρατηρείται, ως προς τον τρόπο λειτουργίας, σε μια δίχρονη πετρελαιομηχανή, είναι ότι σ' αυτήν δεν αντιστοιχεί μία σάρωση του κυλίνδρου από το έμβολο σε κάθε διεργασία. Σε μια δίχρονη πετρελαιομηχανή, σε μία διαδρομή του εμβόλου συμβαίνουν διαδοχικά ή ταυτόχρονα δύο και κάποιες φορές περισσότερες φάσεις. Στον πρώτο χρόνο λειτουργίας, όπου το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ παρατηρείται η απομόνωση του κυλίνδρου από το περιβάλλον και γίνεται η συμπίεση του μίγματος. Σε δεύτερο χρόνο γίνεται η εκτόνωση και η αλλαγή του μίγματος, με άλλα λόγια γίνεται η εξαγωγή των καυσαερίων και η εισαγωγή καυσίμου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.5. Στο αριστερό τμήμα φαίνεται ο κύλινδρος στο τέλος της εκτόνωσης, όπου παράλληλα με την κίνηση του εμβόλου έχει αποκαλυφθεί η θυρίδα εξαγωγής. Στη συνέχεια της πορείας του εμβόλου προς το ΚΝΣ, αποκαλύπτεται η θυρίδα εισαγωγής όπου αρχίζει και η φάση της εισαγωγής ταυτόχρονα. Όταν το έμβολο θα ακολουθήσει την αντίθετη πορεία, θα αρχίσει η φάση της συμπίεσης κλείνοντας διαδοχικά τις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής. Πριν αναλυθεί λεπτομερέστερα η στοιχειώδης λειτουργία της δίχρονης πετρελαιομηχανής, ισχύει ότι η διαδρομή του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ γίνεται η εκτόνωση και αρχίζει η εξαγωγή και αμέσως μετά η εισαγωγή, ενώ στη διαδρομή από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ ολοκληρώνονται οι φάσεις της εξαγωγής, της εισαγωγής και αρχίζει η φάση της συμπίεσης.



Εικόνα 4.5: Λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής

4.2.1 Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής

Η διαδικασία ενός κύκλου λειτουργίας δίχρονης μηχανής αντιστοιχεί σε μια πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα, 360° . Οι φάσεις λειτουργίας είναι ίδιες με της τετράχρονης πετρελαιομηχανής με τη διαφορά ότι με την κίνηση του εμβόλου πραγματοποιούνται δύο ή περισσότερες ταυτόχρονα. Παρακάτω θα εξεταστούν αναλυτικότερα. Η διαφορά των κύκλων της δίχρονης από την τετράχρονη περιγράφεται σχηματικά στην εικόνα 4.6.

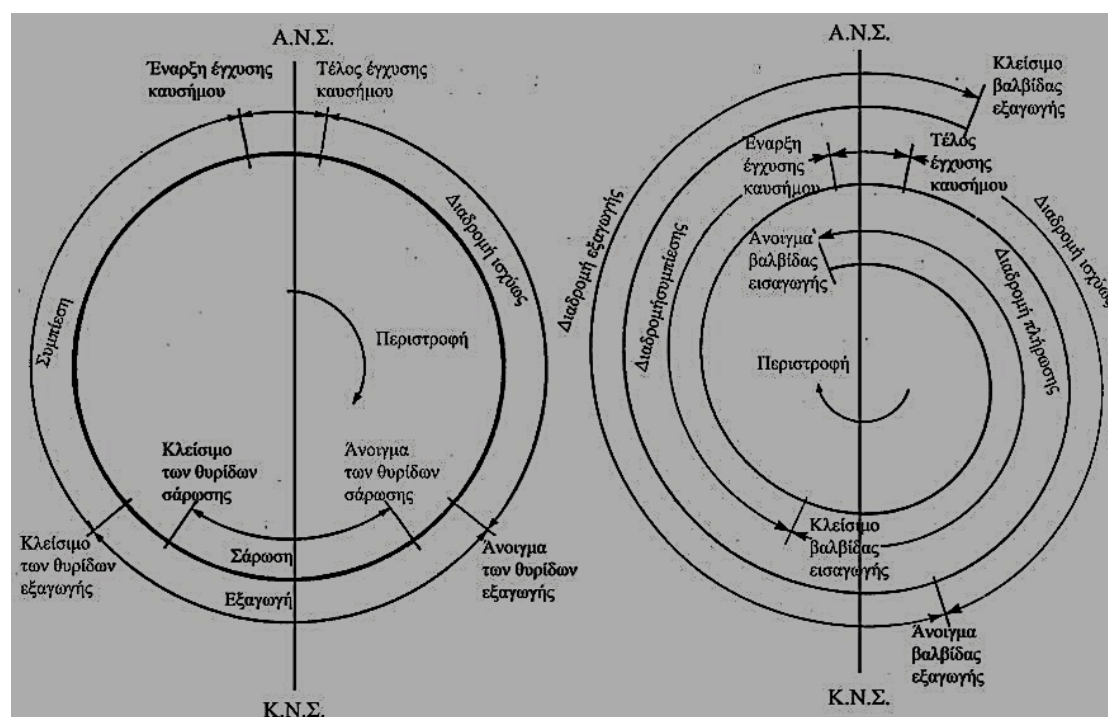
- Εισαγωγή, ξεκινάει με την αποκάλυψη της θυρίδας εισαγωγής και τελειώνει με την ανοδική πορεία του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Για την εισαγωγή αέρα στον κύλινδρο βασική προϋπόθεση είναι να έχει πέσει η πίεση των καυσαερίων μέσα στον κύλινδρο. Γι' αυτό το λόγο άλλωστε η θυρίδα εξαγωγής βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος. Ο αέρας που εισρέει στον κύλινδρο ωθεί τα καυσαέρια προς την εξαγωγή αλλά επίσης χρησιμεύει και στο να καθαρίζει το χώρο καύσης. Για τις απαραίτητες κινήσεις του εμβόλου χρειάζεται ενέργεια η οποία προέρχεται από το σφόνδυλο.

- Συμπίεση, η οποία ξεκινάει με το κλείσιμο της θυρίδας εξαγωγής καθώς ανεβαίνει προς το ΑΝΣ. Η πίεση και η θερμοκρασία αυξάνεται καθώς με την κίνηση του εμβόλου μειώνεται ο όγκος μέσα στον κύλινδρο. Ουσιαστικός βαθμός συμπίεσης μιας δίχρονης μηχανής, ονομάζεται ο λόγος όγκου του κυλίνδρου τη στιγμή της έναρξης της συμπίεσης προς τον τελικό όγκο, όταν δηλαδή το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ.

- Καύση – εκτόνωση, ξεκινά όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ. Σε πρώτο χρόνο γίνεται η εισροή πετρελαίου μέσα στον κύλινδρο. Η ανάμιξη του καυσίμου, (στην περίπτωση μας πετρέλαιο) αναμιγνύεται με τον αέρα και με τις υψηλές θερμοκρασίες που υπάρχουν και αυταναφλέγεται. Με την καύση του μείγματος

έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης μέσα στον κύλινδρο και λόγω της τελευταίας ωθείται το έμβολο προς το ΚΝΣ. Έπειτα το έμβολο μεταφέρει την κίνηση στον διωστήρα και αυτός με την σειρά του στον στρόφαλο με την ταυτόχρονη μετατροπή της κίνησης του εμβόλου, από ευθύγραμμη σε περιστροφική. Είναι η μόνη φάση, όπως έχει ήδη ειπωθεί, κατά την οποία έχουμε παραγωγή έργου.

- Εξαγωγή καυσαερίων, η τελευταία φάση και η οποία ξεκινάει τη χρονική στιγμή που αρχίζει να αποκαλύπτεται η θυρίδα εξαγωγής, όταν το έμβολο βρίσκεται πριν το ΚΝΣ. Στη συνέχεια, όταν πέσει η πίεση των καυσαερίων μέσα στον κύλινδρο, θα αποκαλυφθεί και η θυρίδα εισαγωγής. Τα καυσαέρια εξέρχονται, από την ανοιχτή θυρίδα εξαγωγής, στην ατμόσφαιρα λόγω της υψηλότερης πίεσης που επικρατεί στον κύλινδρο απ' ότι στην ατμόσφαιρα, σε αυτό το σημείο αρχίζει και η εισαγωγή του αέρα όπου αποκαλύπτεται η θυρίδα εισαγωγής και οι δύο διεργασίες, αυτή της εξαγωγής καυσαερίων και της εισαγωγής γίνονται ταυτόχρονα.



Εικόνα 4.6: Κύκλοι λειτουργίας μιας δίχρονης και μιας τετράχρονης πετρελαιομηχανής

4.2.2 Πραγματική λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής

Η πραγματική λειτουργία μιας δίχρονης πετρελαιομηχανής δεν έχει μεγάλες διαφορές από την θεωρητική λειτουργία που περιγράφηκε παραπάνω. Αυτό συμβαίνει λόγω των θέσεων και της γεωμετρίας των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής που βρίσκονται πάνω στο χιτώνιο. Δύο ερωτήματα είναι: πρώτον, το πώς αναγκάζεται ο αέρας να εισέλθει στον κύλινδρο, ενώ γίνεται η εξαγωγή μετά την αποκάλυψη της θυρίδας εισαγωγής και δεύτερον ενώ είναι ανοιχτές και οι δύο

θυρίδες κατά την κίνηση του εμβόλου προς το ΑΝΣ γιατί ο αέρας που υπάρχει μέσα στον κύλινδρο, δεν εξέρχεται από αυτόν εφόσον και η θυρίδα εξαγωγής κλείνει αργότερα.

Η απάντηση στο πρώτο ερώτημα είναι ότι λόγω της αυξημένης πίεσης, ο αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο, που του επιτρέπει επίσης να νικήσει την υδραυλική αντίσταση και την αντίσταση που υπάρχει μέσα στον κύλινδρο λόγω του καυσαερίου που υπάρχει ακόμα εκεί. Στο σημείο αυτό καλό θα ήταν να αναφερθεί το πώς αυξάνεται η πίεση του εισερχόμενου αέρα. Παρατηρώντας την εικόνα 4.5, της προηγούμενης παραγράφου, παρατηρούμε την βαλβίδα reed, μέσω της οποίας ο χώρος κάτω από το έμβολο επικοινωνεί με το περιβάλλον. Είναι ένα έλασμα το οποίο έχει τη δυνατότητα να παραμορφώνεται προς το εσωτερικό του στροφαλοθαλάμου. Η κίνηση του εμβόλου προς το ΑΝΣ δημιουργεί υποπίεση στον στροφαλοθάλαμο και σ' αυτό το σημείο η βαλβίδα reed ανοίγει για να επέλθει ισορροπία μέσα στον στροφαλοθάλαμο. Επίσης με την αντίθετη κίνηση του εμβόλου, δηλαδή προς το ΚΝΣ, μειώνεται ο όγκος στον στροφαλοθάλαμο και αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της πίεσης μέσα σε αυτόν. Στην εικόνα 4.5, φαίνεται στην επιφάνεια του εμβόλου, μια κορυφή, της οποίας αποστολή είναι δώσει στον αέρα μια κατεύθυνση προς το ΑΝΣ. Ο εισερχόμενος αέρας, σαρώνει το χώρο του κυλίνδρου, ωθώντας τη μάζα των καυσαερίων, προς τη θυρίδα εξαγωγής, η οποία κλείνει τελευταία. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά σημαντική για τη λειτουργία της πετρελαιομηχανής, η οποία και ονομάζεται απόπλυση.

Η χρησιμοποίηση του στροφαλοθαλάμου ως αντλία αέρα ισχύει μόνο στην περίπτωση μονοκύλινδρης μηχανής. Στην περίπτωση των περισσότερων κυλίνδρων, δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτός ο τρόπος, διότι τα μισά από τα έμβολα θα κινούνται προς το ΑΝΣ και τα άλλα μισά προς το ΚΝΣ, άρα η διαφορά του όγκου, μέσα στον στροφαλοθάλαμο είναι μηδέν. Έτσι χρησιμοποιείται μια αντλία αέρα για να τροφοδοτεί το σύστημα με αέρα αλλά και για την απόπλυση του συστήματος. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για να κινηθεί δίνεται από τον στροφαλοφόρο άξονα .

Όπως είναι ήδη γνωστό, οι τέσσερις φάσεις, γίνονται σε δύο χρόνους.

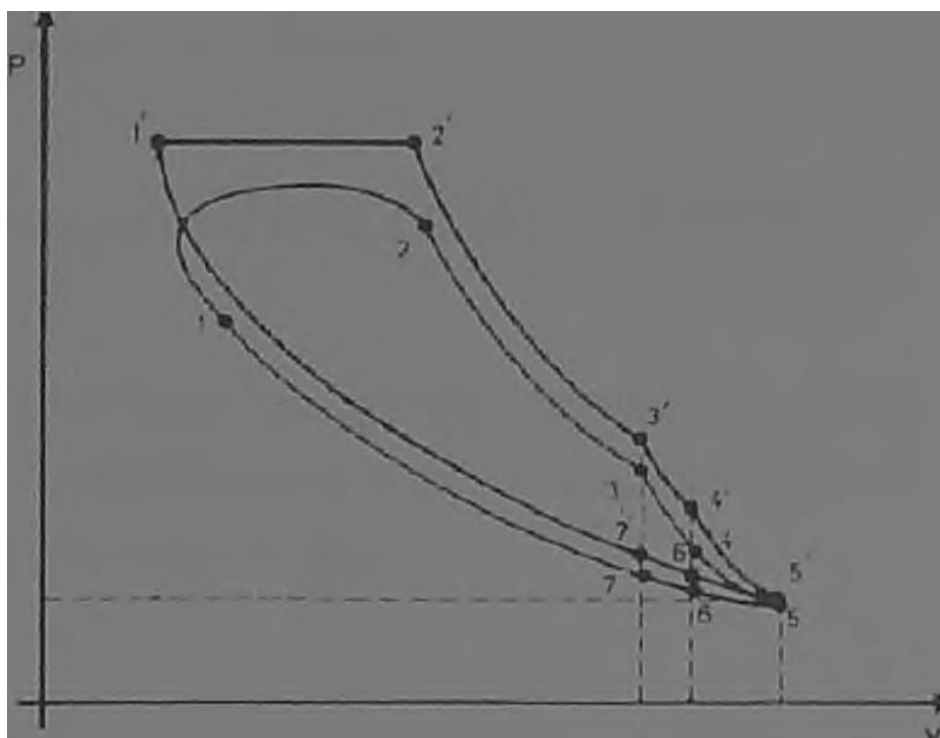
1^{ος} χρόνος: Ενώ η καύση είναι σε εξέλιξη και το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ αρχίζει η έγχυση του καυσίμου και ολοκληρώνεται ενώ το έμβολο έχει περάσει το ΑΝΣ 10° για τις αργόστροφες μηχανές και 30° για τις πολύστροφες. Το έμβολο έπειτα αρχίζει να κινείται προς το ΚΝΣ με μια ώθηση που την δίνουν τα καυσαέρια, έχοντας μια πίεση της τάξης 4-5 bar, ενώ αρχίζει να αποκαλύπτεται η θυρίδα εξαγωγής. Τη στιγμή που έχει πλησιάσει το ΚΝΣ, έχει ανοίξει η θυρίδα εισαγωγής, παρατηρείται μια πίεση πολύ κοντά σε αυτή της ατμοσφαιρικής και γίνεται εισροή του αέρα μέσα στον κύλινδρο για την διαδικασία απόπλυσης που αναφέρθηκε παραπάνω. Αυτός ο πρώτος χρόνος ολοκληρώνεται με την κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ εκτελώντας σε αυτόν τις παρακάτω φάσεις:

- Καύσης και έγχυσης καυσίμου
- Εκτόνωση καυσαερίων
- Εξαγωγή καυσαερίων
- Εισαγωγή αέρα

2^{ος} χρόνος: Ο αέρας «σπρώχνει» τα καυσαέρια προς την εξαγωγή, ενώ το έμβολο κινείται προς το ΑΝΣ. Μέχρι να κλείσει η θυρίδα εισαγωγής γίνεται η είσοδος του αέρα. Να επισημανθεί σε αυτό το σημείο ότι συναντάμε κυλίνδρους με θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής στην ίδια πλευρά, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.7. Όταν το έμβολο θα έχει καλύψει τη θυρίδα εξαγωγής και θα αρχίσει η συμπίεση, θα πρέπει ο κύλινδρος να έχει μέσα όσο το δυνατόν γίνεται περισσότερο καθαρό αέρα. Καθώς στροβιλίζεται ο αέρας, γίνεται παράλληλα ο ψεκασμός του καυσίμου με σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη ανάμειξη αέρα-καυσίμου. Ο αέρας συναντάται σε μία πίεση 30 ως 45 bar και σε μια θερμοκρασία 700°. Έπειτα έχουμε αυτανάφλεξη που οφείλεται στο γεγονός, ότι η θερμοκρασία των 700° βαθμών είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καυσίμου. Από κει και πέρα μέχρι το ΑΝΣ έχουμε τη συνέχεια της συμπίεσης και παράλληλα πραγματοποιείται έγχυση και καύση. Στον δεύτερο αυτό χρόνο που γίνεται με την κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ πραγματοποιούνται οι παρακάτω φάσεις:

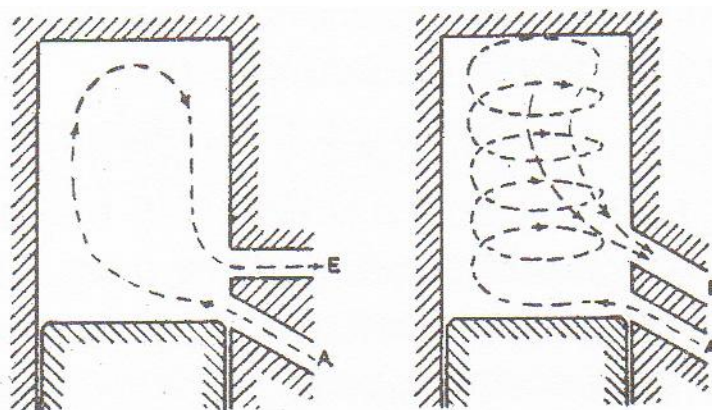
- Εισαγωγή αέρα
- Εξαγωγή καυσαερίων
- Συμπίεση
- Έναρξη έγχυσης και καύσης

Παρακάτω στο σχήμα 4.2, παρατηρούμε τη διαφορά του θεωρητικού από τον πραγματικό κύκλο, μιας δίχρονης πετρελαιομηχανής.



Σχήμα 4.2: Διαφορά θεωρητικού και πραγματικού κύκλου σε διάγραμμα P-V, δίχρονης πετρελαιομηχανής

Η κατασκευή μιας δίχρονης πετρελαιομηχανής δεν είναι πάντα η ίδια, αλλά μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή, όπως για παράδειγμα η διαφοροποίηση κατασκευής των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής, σε διαφορετική πλευρά όπως στην εικόνα 4.5 και στην ίδια πλευρά, όπως στο παράδειγμα των κυλίνδρων της εικόνας 4.7.



Εικόνα 4.7: Κύλινδροι δίχρονης μηχανής με θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής στην ίδια πλευρά

Συμπερασματικά και συγκριτικά διαπιστώνεται το κύριο πλεονέκτημα του δίχρονου κινητήρα σε σχέση με τον τετράχρονο, είναι η μεγαλύτερη συγκέντρωση ισχύος. Με άλλα λόγια μεγαλύτερη ισχύς ανά μονάδα όγκου κυλίνδρων και άρα ανά μονάδα βάρους. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση οφείλεται στην ίδια λειτουργία του κύκλου, που στην μισή του διάρκεια αποδίδει έργο ενώ στην άλλη μισή καταναλώνει έργο. Εάν θεωρήσουμε, ιδανικά, ίδιες στροφές λειτουργίας ενός δίχρονου και ενός τετράχρονου κινητήρα και ίδιο βαθμό απόδοσης, η ισχύς της δίχρονης πετρελαιομηχανής καταλήγει να είναι διπλάσια. Στην πραγματικότητα δεν είναι διπλάσια, λόγω απωλειών, είναι όμως σαφώς μεγαλύτερη. Σε αυτό οφείλεται άλλωστε και η επικράτηση των δίχρονων πετρελαιομηχανών στη ναυτιλία όπου οι απαιτήσεις ισχύος είναι μεγάλες.

Παρόλαυτα από την ταχύτητα του εμβόλου εξαρτάται η κατηγοριοποίηση των μηχανών σε αργόστροφες, μεσόστροφες και ταχύστροφες. Η εξίσωση 4.2 ορίζει τη μέση ταχύτητα του εμβόλου.

$$V_m = \frac{2 \cdot r \cdot n}{60} \quad \text{εξίσωση 4.2}$$

Όπου:

- r η ακτίνα του στροφάλου (m)
- n ο αριθμός στροφών του κινητήρα (rpm)
- V_m η μέση ταχύτητα του εμβόλου (m/s)

Μηχανές με μέση ταχύτητα εμβόλου μικρότερη των 7m/s, ονομάζονται αργόστροφες. Τέτοιου είδους μηχανών είναι οι πολύ μεγάλες μηχανές, κυρίως δίχρονες ναυτικές, όπως η μηχανή που εξετάζεται (KOBEMITSUBISHI 5UEC52LA) με διαδρομή εμβόλου μεγαλύτερη από 1m και διάμετρο εμβόλου 50-60cm. Ο αριθμός στροφών είναι από 80 έως 200 rpm, με έναν πολύ μεγάλο όγκο εμβολισμού και με μία αποδιδόμενη ισχύ αρκετών MW ανά κύλινδρο. Με μέση ταχύτητα εμβόλου 7-10m/s, ίδιας περίπου με την παραπάνω κατηγορία, αλλά με μέγιστο αριθμό στροφών 1200 rpm συναντάμε τις μεσόστροφες μηχανές με απόδοση ισχύος αρκετά KW. Η πλειοψηφία των μηχανών, ανήκουν στις ταχύστροφες μηχανές, με μία μέση ταχύτητα εμβόλου 10-14 m/s. Ο αριθμός στροφών σε αυτή την κατηγορία, κυμαίνεται από 2000 rpm και μπορεί να φθάσει τις 6000-7000 rpm, ενώ έχουν μια απόδοση ισχύος της τάξης λίγων δεκάδων μέχρι μερικών εκατοντάδων kW. Η τελευταία και πιο ειδική κατηγορία είναι αυτήν των υπερταχύστροφων μηχανών, με μέση ταχύτητα εμβόλου 14-20 m/s και με μέγιστες επιτρεπτές στροφές λειτουργίας που φθάνουν τις 20000 rpm. Πρόκειται για μηχανές ειδικής χρήσης, όπως αυτές αυτοκινήτων φόρμουλας. Επίσης μια άλλη κατηγοριοποίηση που μπορεί να γίνει είναι σε σταθερές μηχανές, σε φορητές μηχανές και σε κινητές, όπου σε αυτήν την κατηγορία ανήκει και η ναυτική δίχρονη μηχανή KOBEMITSUBISHI 5UEC52LA.

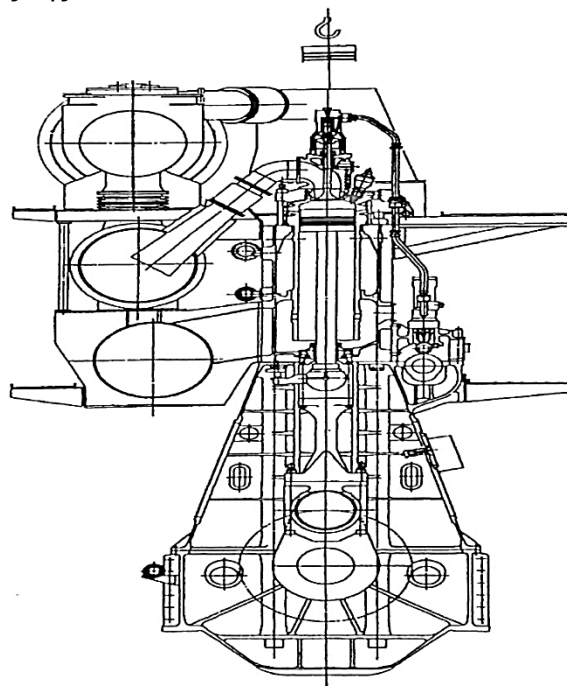
5. Ανάλυση κύριας μηχανής, ηλεκτρομηχανών

5.1 Ανάλυση δίχρονης ναυτικής πετρελαιομηχανής

Η λειτουργία της μηχανής που θα αναλύσουμε είναι η δίχρονη πετρελαιομηχανή KOBE-MITSUBISHI 5UEC52LA, η τομή της οποίας φαίνεται στην εικόνα 5.1.

Το 1957, η Kobe Diesel, υπέγραψε μια συμφωνία με την εταιρεία της Mitsubishi και μόλις ένα χρόνο αργότερα της συνεργασίας τους είχαν την πρώτη τους μηχανή, με 2700 HP ισχύς. Δέκα χρόνια μετά από την υπογραφή των δύο, συνεργάστηκαν για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων των κινητήρων. Με το πέρασμα των χρόνων, αντιμετώπισαν τις δυσκολίες και κατάφεραν να εδραιωθούν στην αγορά των ναυτικών πετρελαιομηχανών, αποκτώντας φήμη και κερδίζοντας την εμπιστοσύνη των πελατών τους. Πρόκειται για μηχανές, όπως και η προς εξέταση μηχανή, αργόστροφες, δίχρονες, μεγάλου μεγέθους.

Λόγω της μικρής οικονομίας καυσίμου, οι μηχανές τύπου UET άρχισαν να αντικαθίστανται με νέες τύπου μηχανές UEC. Με τις προσπάθειες και των ενθουσιασμό η εταιρεία, κατάφερε να είναι μέσα στις τρεις μεγαλύτερες εταιρείες κατασκευής μηχανών, (MAN BMW, WARTSILA και Mitsubishi) στον κόσμο. Επιπλέον το 2004 σε ένα συνέδριο, οι αναφορές για το ποσοστό αστοχίας των Mitsubishi UE μηχανών, ήταν χαμηλότερο από αυτό των ανταγωνιστικών εταιρειών Man και Wartsila. Από εκείνη τη χρονία και μετά η Mitsubishi όλο και κερδίζει έδαφος λόγω της αξιοπιστίας της.

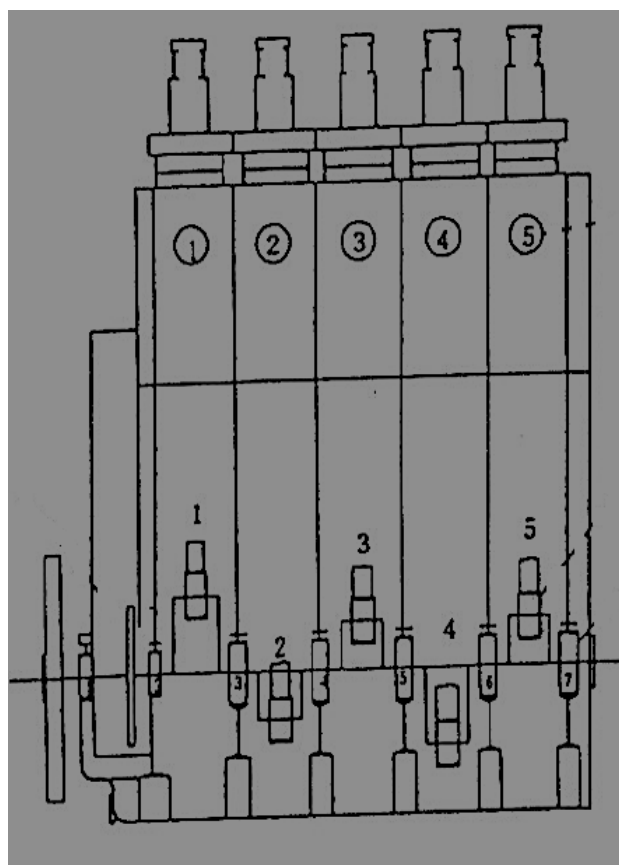


Εικόνα 5.1: Τομή της Kobe-Diesel Mitsubishi 5UEC52LA

5.2 Χαρακτηριστικά και λειτουργία της μηχανής

Πρόκειται για μία μηχανή πέντε κυλίνδρων, εικόνα 5.2, με μία σχέση διαμέτρων (bore/stroke ratio), γεωμετρία μηχανισμού διωστήρα/στροφάλου 520/1600 mm. Η ισχύς της Kobe Diesel-Mitsubishi 5UEC52LA ανέρχεται σε 5148 KW δηλαδή σε 7000 PS. Η ταχύτητα της δίχρονης πετρελαιομηχανής είναι 118 rpm (revolutions per minute) και με τιμή πίεσης καύσης 130 kg/cm^2 ή αλλιώς σε 12,75 MPa. Το σύστημα ψύξης χωρίζεται σε 3 διαφορετικά μέρη.

- οι κύλινδροι, οι βαλβίδες εξάτμισης και καυσίμου ψύχονται με το σύστημα νερού,
- τα έμβολα με λάδι λίπανσης
- και τέλος η ψύξη του αέρα γίνεται με θαλασσινό νερό



Εικόνα 5.2: Τομή τμήματος μηχανής

Όσον αφορά την εκκίνηση της μηχανής, το χαρακτηριστικό μιας πετρελαιομηχανής είναι η θερμοκρασία και η πίεση στην οποία αναφλέγεται το καύσιμο καθώς μία μηχανή diesel έχει υψηλή αναλογία συμπίεσης. Κατά την εκκίνηση ο αέρας συμπιέζεται και εισάγεται στους κυλίνδρους και αναγκάζει το έμβολο να κινηθεί. Καθώς ο κινητήρας αρχίζει και γυρίζει ανοίγει η βαλβίδα του επόμενου κυλίνδρου που είναι σε σειρά για να συνεχιστεί η περιστροφή. Μετά από αρκετές περιστροφές, το καύσιμο ψεκάζεται μέσα στους κυλίνδρους, ο κινητήρας αρχίζει να λειτουργεί και ο αέρας κόβεται.

Ο υπερσυμπιεστής της εν λόγω μηχανής είναι της εταιρείας Mitsubishi και συγκεκριμένα το μοντέλο MET53SC, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.3. Μια δίχρονη πετρελαιομηχανή πρέπει να τροφοδοτείται με αέρα πίεσης, πάνω από της ατμοσφαιρικής. Παρόλο που οι πρώτοι υπερσυμπιεστές αναπτύχθηκαν στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, οι πρώτοι υπερσυμπιεστές στις δίχρονες πετρελαιομηχανές εισήχθησαν την δεκαετία του 1950.

Πριν από την εισαγωγή των υπερσυμπιεστών, στις πετρελαιομηχανές, χρησιμοποιούταν ο χώρος κάτω από το έμβολο για τη συμπίεση του αέρα. Αυτό βέβαια είχε ένα μεγάλο μειονέκτημα, επειδή για τη συμπίεση του αέρα καταναλωνόταν έργο από τον κινητήρα. Η μηχανική ισχύς έχει αυξηθεί τα τελευταία 20 χρόνια. Αυτό οφείλεται σε νέα βελτιωμένα υλικά και τεχνικές κατασκευής αλλά και σε βελτιώσεις και σε νέο εξελιγμένο σχεδιασμό των στροβιλοσυμπιεστών που τοποθετούνται σε αυτές τις μηχανές. Η ποσότητα της ωφέλιμης ενέργειας που μπορεί να παράγει μια πετρελαιομηχανή εξαρτάται από δύο παράγοντες:

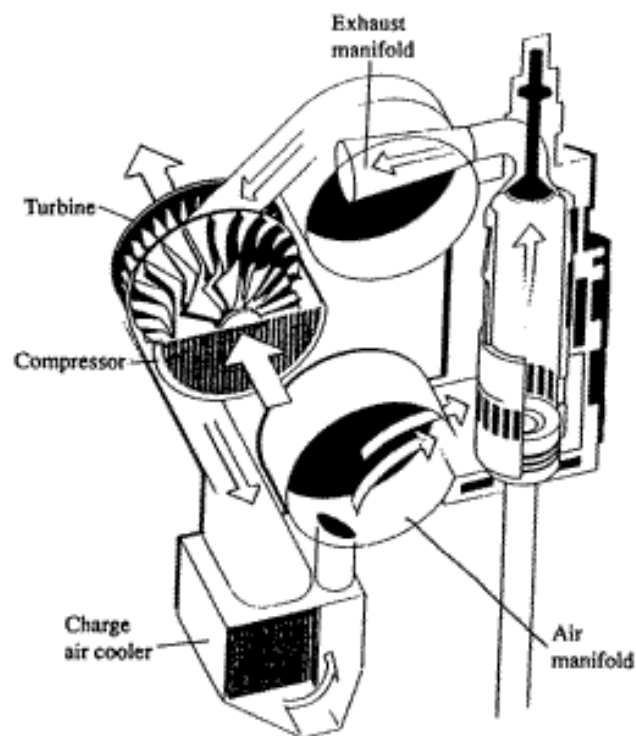
- την ποσότητα του καυσίμου που μπορεί να καεί ανά κύκλο
- και η απόδοση του κινητήρα

Το καύσιμο αποτελείται κυρίως από άνθρακα και υδρογόνο. Με την καύση σε περιβάλλον οξυγόνου απελευθερώνεται η ενέργεια από το καύσιμο και μετατρέπεται σε έργο και θερμότητα. Άρα όσο περισσότερο καύσιμο μπορεί να καεί σε κάθε κύκλο, τόσο περισσότερη ενέργεια απελευθερώνεται. Ωστόσο, για να καεί περισσότερο καύσιμο, θα πρέπει να αυξηθεί η ποσότητα παροχής αέρα. Αναφορικά, για να γίνει περισσότερο κατανοητό, για μία μηχανή 10 κυλίνδρων, 850/235 mm πρέπει να κάψει 1 kg καυσίμου σε κάθε περιστροφή, στις 105 rpm, για να προσφέρει 38500 KW, αν υποθέσουμε ένα βαθμό απόδοσης 0,5. Για να εξασφαλιστεί μία πλήρη καύση τροφοδοτούμε με 220% περισσότερο αέρα απ' ότι απαιτείται θεωρητικά. Έτσι, εάν, χρειαζόμαστε 14 kg αέρα για την καύση 1 kg καυσίμου, 4,5 kg αέρα θα πρέπει να παρέχεται σε κάθε κύλινδρο για να καεί 0.1 kg καυσίμου. Ένα ποσοστό αυτού του αέρα χρησιμοποιείται επίσης για την εκκαθάριση των υπολειμμάτων καυσαερίου από τον κύλινδρο. Ο αέρας εκτός των παραπάνω, βοηθάει στην ψύξη των βαλβίδων. Ενδεικτικά 3.7 kg αέρα, ο οποίος βρίσκεται σε πίεση 1 bar (ατμοσφαιρική) και σε μία θερμοκρασία 30⁰ C καταλαμβάνει έναν όγκο 3.2 m³.



Εικόνα 5.3: Υπερσυμπιεστής Mitsubishi, MET53SC

Περίπου το 35% της συνολικής θερμικής ενέργειας του καυσίμου χάνεται μαζί με τα καυσαέρια. Οι υπερσυμπιεστές χρησιμοποιούν μέρος αυτής της ενέργειας για να κινήσουν τον στρόβιλο. Η ταχύτητα του υπερσυμπιεστή, εικόνα 5.4, είναι μεταβλητή ανάλογα με το φορτίο της πετρελαιομηχανής.



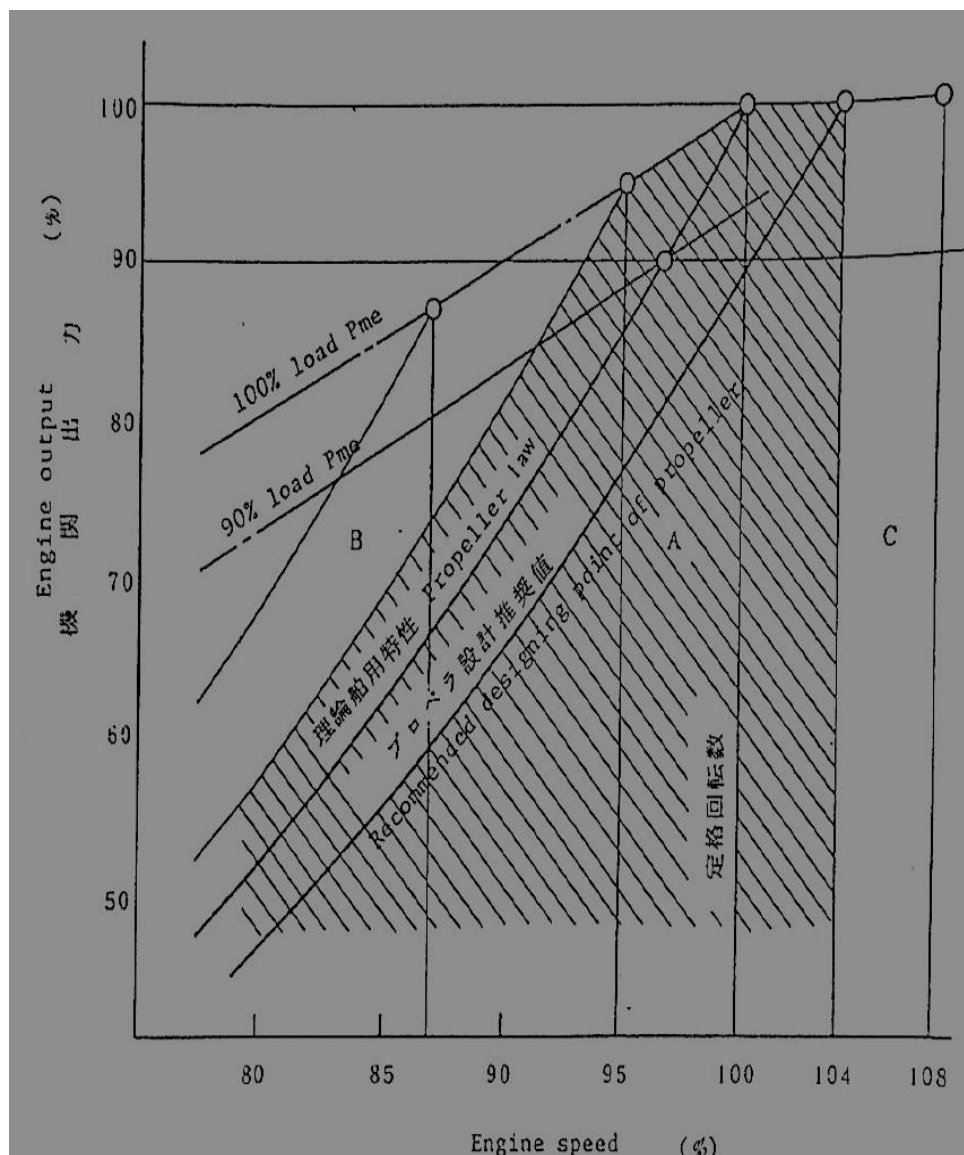
Εικόνα 5.4: Τομή υπερσυμπιεστή

Επειδή η μηχανή πρέπει να τροφοδοτείται με αέρα κατά την εκκίνηση, όπου και λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες δύο βοηθητικοί ανεμιστήρες, οι οποίοι τροφοδοτούνται από ένα ηλεκτρικό μοτέρ, χρησιμοποιούνται γι' αυτόν τον σκοπό, ένας τύπου UE190SAU και ένας UE190SCH.

Τέλος η σειρά έναυσης με βάση την αριθμηση των κυλίνδρων όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.2, είναι η εξής: 5 – 2 – 3 – 4 – 1.

Παρακάτω στο διάγραμμα 5.1, φαίνεται, το εύρος συνεχούς λειτουργίας, το επιτρεπόμενο εύρος λειτουργίας και το επιτρεπόμενο εύρος λειτουργίας σε πραγματική δοκιμή.

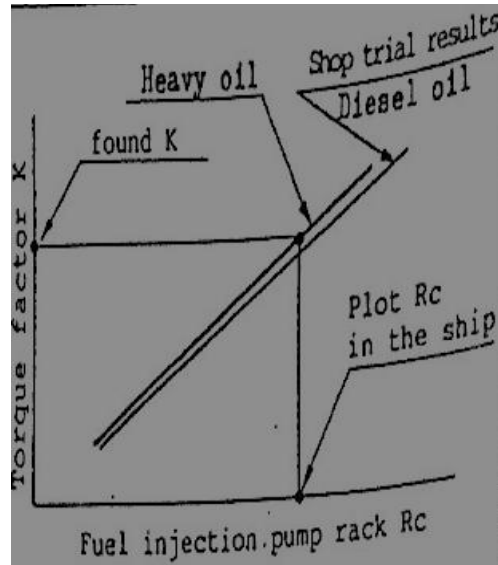
- A: Range of continuous operation
- B: Allowable range of short period operation
- C: Allowable range at sea trial



Διάγραμμα 5.1: Καμπύλες εύρους λειτουργίας

5.2.1 Υπολογισμός μηχανικής απόδοσης

Στο σχήμα 5.1, φαίνονται οι σχέσεις μεταξύ του συντελεστή ροπής K και της αντλίας έγχυσης καυσίμου R_c . Είναι μία από τις δύο μεθόδους υπολογισμού του βαθμού απόδοσης.



Σχήμα 5.1: Σχέση συντελεστή ροπής K και αντλίας καυσίμου R_c

Οι εξισώσεις που συνδέουν αυτούς τους δύο συντελεστές είναι:

$$K = \frac{Le_1}{Ne_1} \quad \text{εξίσωση 5.1}$$

Όπου Le_1 : Η απόδοση της μηχανής που δίνει ο κατασκευαστής σε ίππους

Ne_1 : Η ταχύτητα της μηχανής του κατασκευαστή σε rpm

Τελικά η απόδοση υπολογίζεται από την εξίσωση 5.2

$$Le = K \times Ne \times \frac{Hu_a \times r_a}{Hu \times r} \quad \text{εξίσωση 5.2}$$

Όπου Le : Η απόδοση του πλοίου σε ίππους (PS)

Ne : Η ταχύτητα της πετρελαιομηχανής σε rpm

K : Συντελεστής ροπής, ο οποίος λαμβάνεται από το σχήμα 5.1, σε αντιστοιχία με τον συντελεστή έγχυσης αντλίας καυσίμου.

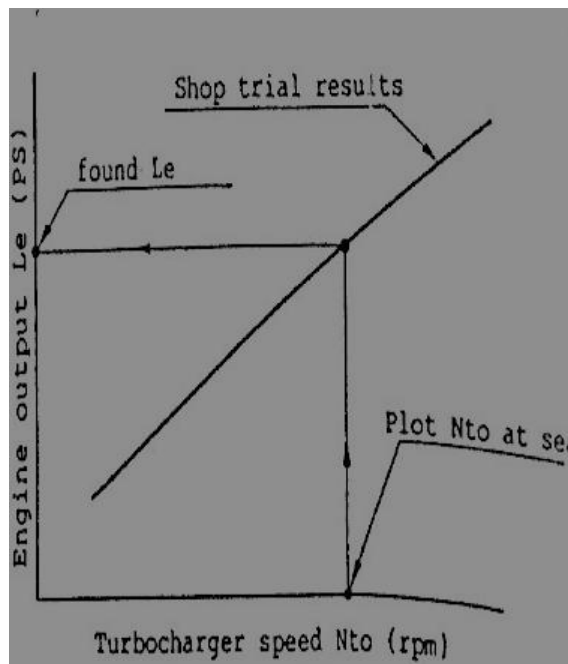
H_{ua} : Κατώτερη θερμογόνος δύναμη, του καυσίμου σε Kcal/Kg, στο πλοίο

H_u : Κατώτερη θερμογόνος δύναμη θεωρητικά

r_a : Ειδικό βάρος του καυσίμου στη μηχανή του πλοίου, Kcal/Kg

r : Ειδικό βάρος του καυσίμου, στη μηχανή, σε ιδανική θερμοκρασία

Η δεύτερη μέθοδος υπολογισμού, είναι σύμφωνα με το σχήμα 5.2, σε σχέση με την ταχύτητα του υπερσυμπιεστή.



Σχήμα 5.2: Σχέση απόδοσης μηχανής και ταχύτητας υπερσυμπιεστή

Το παραπάνω διάγραμμα, δείχνει την μηχανική απόδοση Le σε σχέση με την ταχύτητα του υπερσυμπιεστή N_{to} σε ιδανικές συνθήκες. Τοποθετώντας στον οριζόντιο άξονα την ταχύτητα του υπερσυμπιεστή στο πλοίο, βρίσκουμε την μηχανική απόδοση σε ίππους, εφόσον πρώτα μετατραπεί από την παρακάτω εξίσωση 5.3.

$$N_{to} = (1 - 0.0004 \times \Delta\tau_a - 0.001 \times \Delta\tau_s) \times N_t \quad \text{εξίσωση 5.3}$$

Όπου: N_{to} : Η ταχύτητα του υπερσυμπιεστή σε κανονικές συνθήκες, σε rpm

N_t : Η ταχύτητα του υπερσυμπιεστή όπως την δίνει ύστερα από δοκιμές ο κατασκευαστής

T_a : Η θερμοκρασία του αέρα αναρρόφησης, στους -27°C

T_s : Η θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως, στους -45°C

Γενικά, η αναπροσαρμογή της μηχανής δεν είναι απαραίτητη στην αρχή της εκκίνησης του καραβιού, όπως άλλα μηχανικά μέρη. Παρόλαυτα, μετά από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα λειτουργίας, εάν οι συνθήκες λειτουργίας του πλοίου παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές από τις συνθήκες λειτουργίας, λόγω αλλαγής

καυσίμου ή λόγω φθορών και τροφοδοσίας η ρύθμιση (αναπροσαρμογή) της μηχανής είναι απαραίτητη. Οι τρεις ρυθμίσεις για την αναπροσαρμογή της μηχανής περιγράφονται παρακάτω.

- Η τιμή της πίεσης και της θερμοκρασίας δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα στάνταρ της μηχανής, 021-01 (εικόνα 5.5), και οι τιμές της λειτουργίας δεν θα πρέπει να είναι πάνω από τα όρια 022-01 (εικόνα 5.6).
- Όλοι οι κύλινδροι της μηχανής, θα πρέπει να έχουν τις ίδιες τιμές μέγιστης πίεσης P_{max}, συμπίεσης P_c, συντελεστή αντλίας έγχυσης καυσίμου και θερμοκρασία νερού ψύξης στην είσοδο και στην έξοδο.
- Επίσης, η θερμοκρασία εξάτμισης αερίου T_c σε κάθε έξοδο κυλίνδρου, γενικά να κυμαίνεται από 30° C – 50° C.

| Item | Normal use | Min. | Max. | Alarm set | | Auto. stop/start set | | Emergency shut-down | | Stand-ard set | Temp. differ-ence | |
|---------------------------------|---|---------------|-------|-----------|-----|----------------------|-----|---------------------|-----|---------------|-------------------|----|
| | | | | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | | | |
| Press. kg/cm ² | System lub. oil with piston cooling oil inlet | 1.3~2.2 | 1.1 | 3.8 | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 0.9 | 1.3 | - | - | |
| | Exhaust valve driving oil inlet | 3.8~5.6 | 3.3 | 5.6 | 3.3 | 3.5 | 3.8 | 2.8 | 3.5 | - | - | |
| | Turbocharger lub.oil inlet | 1.0~1.7 | 0.8 | 1.7 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 0.6 | 1.0 | 1.2 | - | |
| | Cylinder cooling water inlet | 1.8~4.3 | 1.6 | 4.3 | 1.6 | 1.8 | 1.8 | - | - | - | - | |
| | Air cooler Cooling Sea water inlet | 0.8~1.8 | 0.6 | 2.3 | 0.6 | 0.8 | - | - | - | - | - | |
| | Starting air | 15~25 | 9 | 25 | 10 | 12 | 15 | - | - | - | - | |
| | Exhaust valve air spring air | 4.5~6.5 | 4.0 | 5.5 | 4.0 | 4.2 | 4.5 | 3.5 | 4.2 | - | - | |
| | Fuel oil | 4.8~6.8 | 4.3 | 6.8 | 4.3 | 4.8 | - | - | - | - | - | |
| Temp. °C | System lub. oil | Inlet | 40~60 | 35 | 55 | 55 | 50 | - | - | - | 50 | 5 |
| | | Thrust outlet | 40~60 | - | 60 | 70 | 65 | - | - | - | - | |
| | Piston cooling oil | Inlet | 40~60 | 35 | 55 | 55 | 50 | - | - | - | 50 | 7 |
| | | Outlet | 45~65 | - | 65 | 70 | 65 | - | - | - | - | |
| | Turbocharger lub. oil | Inlet | 40~60 | 35 | 55 | - | - | - | - | - | - | 28 |
| | | Outlet | 60~80 | - | 85 | 85 | 80 | - | - | - | - | |
| | Exhaust valve driving oil | Inlet | 40~60 | 35 | 55 | - | - | - | - | - | - | - |
| | Cylinder cooling water | Inlet | - | 65 | - | - | - | - | - | - | - | 18 |
| | | Outlet | 80~90 | - | 90 | 90 | 85 | - | - | - | 85 | |
| | Scavenging air | Air trunk | 40~50 | - | 60 | 60 | 55 | - | - | - | - | - |
| Scavenging air trunk fire alarm | - | - | - | 80 | - | - | - | - | - | - | - | |
| Air cooler cooling Sea water | Inlet | - | 30 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | Outlet | - | - | 50 | - | - | - | - | - | - | - | |
| Exhaust gas | Cylinder cover outlet | - | - | 450 | 450 | - | - | - | - | - | - | |
| | Turbine inlet | - | - | 580 | 580 | - | - | - | - | - | - | |

1. Range of normal use shows the value for service load; and the other values are shown only for reference.
2. Pressure shows the value at gauge board.
3. System lub. oil supply line is common with piston cooling oil line.
4. The figure of cylinder cooling water pressure shows in case of the expansion tank is located at 3 to 4 meter above the main engine upper floor.
5. Lubricating oil pressure at the inlet of turbocharger may exceed the above maximum limit but not 2.2kg/cm² at dead slow or when the engine stops.

Εικόνα 5.5: Εύρος τιμών της μηχανής Kobe-Diesel Mitsubishi 5UEC52LA

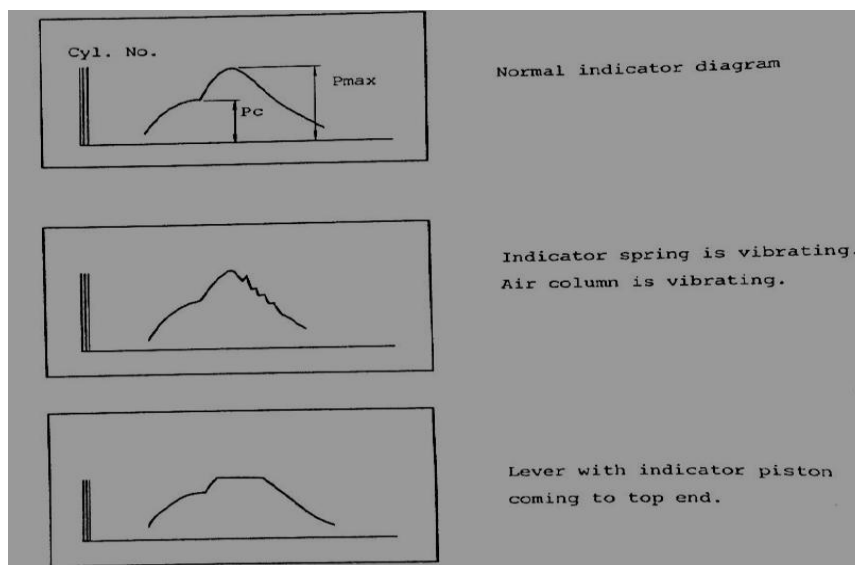
| Item 項 目 | | Limited values 許 容 値 |
|------------------------------------|-------------|--|
| Engine speed 機 関 回 転 数 (rpm) | Type 形 式 | 52LA |
| | Max. 最 高 | 104% of Max. Cont. Engine Speed 連 続 最 高 回 転 数 の 1 0 4 % |
| | Min. 最 低 | 30% of Max. Cont. Engine Speed 連 続 最 高 回 転 数 の 3 0 % |

| Item 項 目 | Limited values 許 容 値 |
|---|--|
| Economizer inlet pressure エ コ ノ マ イ ザ 入 口 圧 力 | 350mmAq |
| Pressure loss of turbocharger suction filter 過 給 機 吸 入 フ ィ ル タ ー 内 圧 力 降 下 | 200mmAq |
| Pressure loss of air cooler 空 気 冷 却 器 内 圧 力 降 下 | 250mmAq |
| Max. combustion pressure シ リ ン ダ 内 最 高 圧 力 | 130Kg/cm ² |
| Turbocharger speed 過 給 機 回 転 数 | See Turbocharger instruction book 過 給 機 取 扱 説 明 書 参 照 |
| Exhaust gas temp. (Turbine inlet) 排 ガ ス タ ー ビ ン 入 口 温 度 | do. 同 上 |

Εικόνα 5.6: Ελάχιστα όρια τιμών

5.2.2 Διαγράμματα δεικτών

Τα παρακάτω διαγράμματα, εικόνα 5.7, τα οποία λαμβάνονται μια φορά τη μέρα, δίνουν τις απαραίτητες πληροφορίες για την καύση στους κυλίνδρους όπως επίσης και για τη σωστή ρύθμιση της μηχανής. Επίσης η πίεση συμπίεσης P_c και η μέγιστη πίεση P_{max} μπορεί να ληφθεί από τα παρακάτω διαγράμματα.



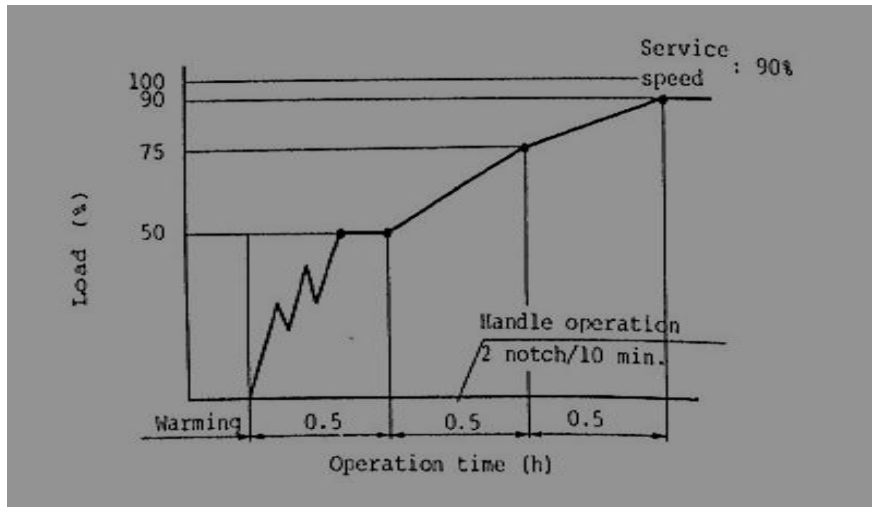
Εικόνα 5.7: Διαγράμματα δεικτών

5.2.3 Προετοιμασία εκκίνησης

Για την εκκίνηση της δίχρονης πετρελαιομηχανής Kobe-Diesel Mitsubishi 5UEC52LA, θα πρέπει να γίνει η απαραίτητη προετοιμασία η οποία περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

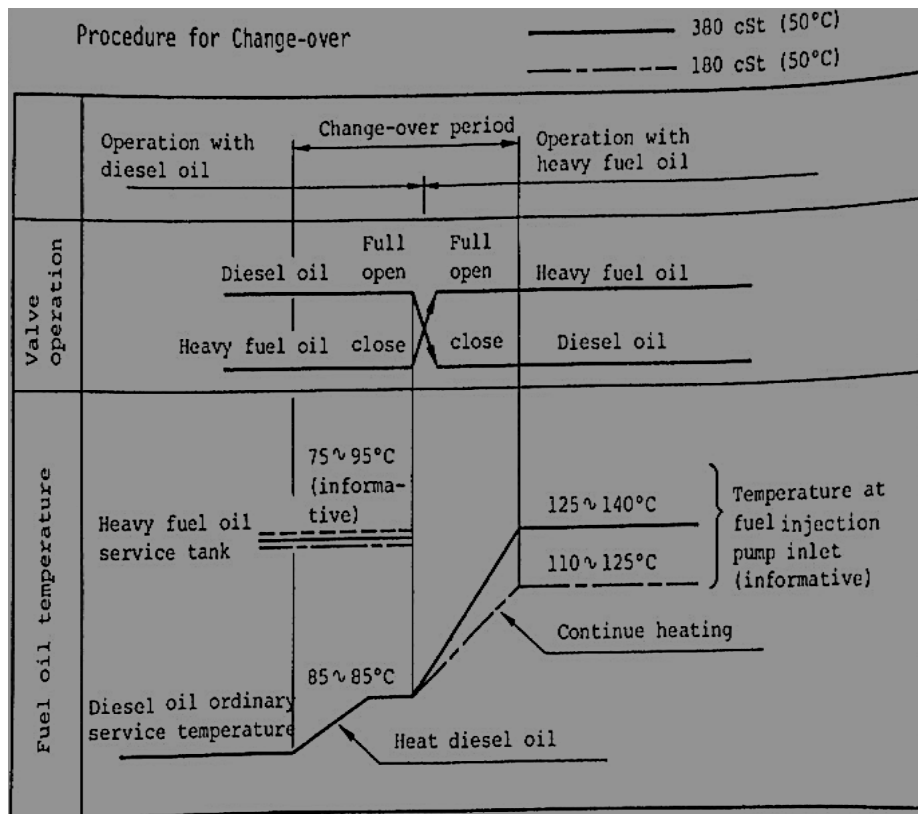
1. Σύστημα ψύξης νερού
 - Προθέρμανση του νερού ψύξης τουλάχιστον στους 50° C
 - Έλεγχος όλων των βαλβίδων ότι είναι όλες ανοιχτές και εκκίνηση της αντλίας
 - Ρύθμιση της πίεσης του νερού
 - Εξαέρωση του συστήματος νερού
 - Η ποσότητα του νερού ψύξης θα πρέπει να είναι σταθερή και η ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού ψύξης να γίνεται αυτόματα από τον πίνακα ελέγχου ρύθμισης βαλβίδων
2. Σύστημα λίπανσης
 - Προθέρμανση μέχρι τη μικρότερη θερμοκρασία σύμφωνα με τα πρότυπα
 - Επιβεβαίωση ότι όλες οι βαλβίδες είναι ανοιχτές και εκκίνηση της αντλίας
 - Ρύθμιση πίεσης
 - Έλεγχος όλων των τμημάτων του στροφάλου ότι έχουν λιπανθεί σωστά
 - Εκκίνηση της βαλβίδας παροχής αέρα
3. Ζύγωθρα και εξαέρωση συστήματος λαδιού
 - Σωστή λίπανση πριν από την εκκίνηση της μηχανής
 - Έλεγχος ότι τα ωστήρια και τα εξαρτήματα ώθησης έχουν επαρκή λίπανση
 - Επιβεβαίωση ότι στον υπερσυμπιεστή υπάρχει επαρκής ροή του λαδιού λίπανσης
4. Λίπανση των κυλίνδρων
5. Σύστημα καυσίμου
 - Κατά την εκκίνηση της μηχανής χρησιμοποιείται πετρέλαιο
 - Εκτέλεση οδηγιών εκκίνησης της μηχανής
6. Έλεγχος και εκκίνηση συστήματος παροχής αέρα
7. Έλεγχος πίεσης και θερμοκρασίας
8. Διαδικασία αύξησης ταχύτητας
 - Θα πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στα διάφορα τμήματα της μηχανής για τυχόν αύξηση της θερμοκρασίας τους, όπως και να ελέγχονται τα κινητά μέρη της μηχανής αν ακούγεται θόρυβος

Στην παρακάτω εικόνα (5.8) φαίνεται η σταδιακή αύξηση της ταχύτητας

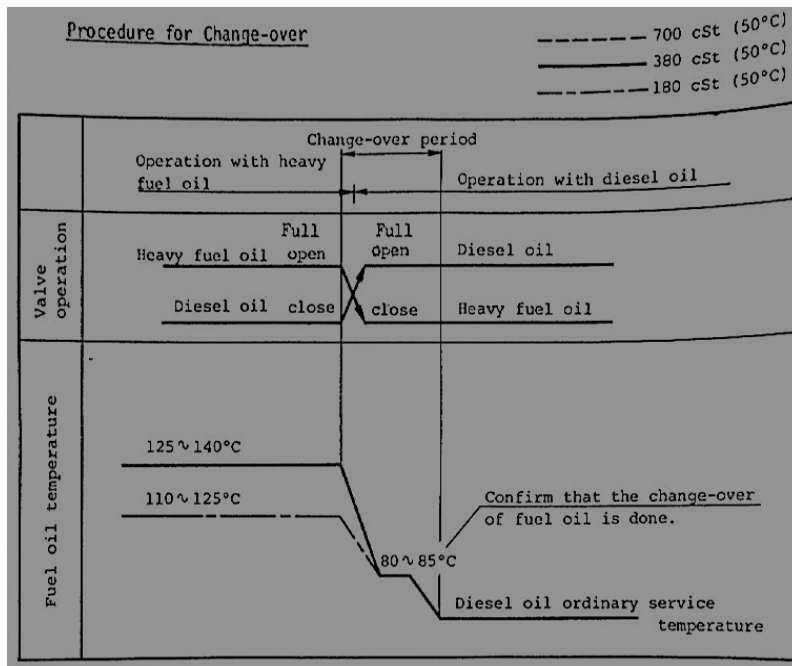


Εικόνα 5.8: Διάγραμμα ταχύτητας

Κατά την εκκίνηση χρησιμοποιείται πετρέλαιο ως καύσιμο ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιείται μαζούτ. Η αλλαγή αυτή γίνεται ενώ η μηχανή έχει θερμανθεί αρκετά. Οι προϋποθέσεις αλλαγής καυσίμου φαίνονται στην εικόνα 5.9.



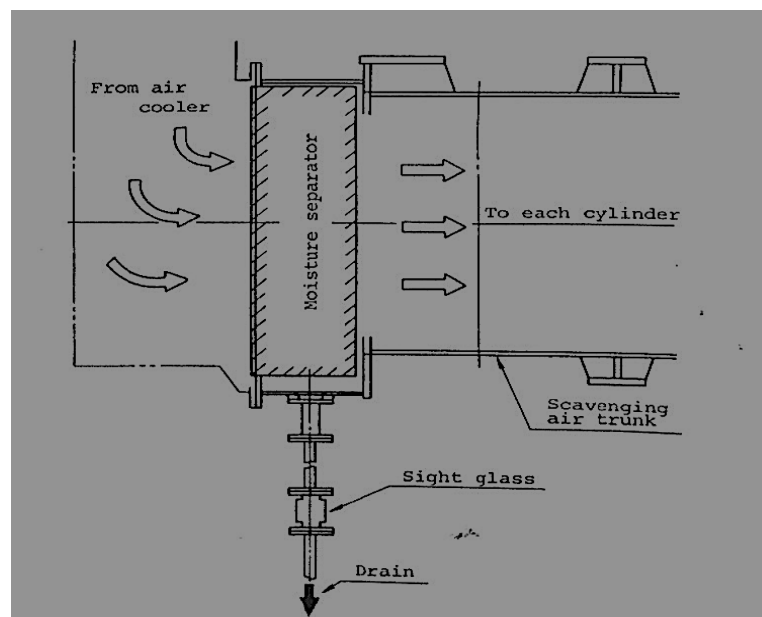
Εικόνα 5.9α



Εικόνα 5.9β

Εικόνα 5.9: Προϋποθέσεις και διαδικασία αλλαγής καυσίμου

Παρόλαυτα ένας άλλος παράγοντας σωστής λειτουργίας είναι η σωστή στεγανοποίηση. Εάν, έστω και κάποιες σταγόνες νερού αναμιχθούν με τον αέρα σάρωσης τότε θα παρουσιαστούν προβλήματα στο χιτώνιο και στα ελατήρια του εμβόλου με συνέπεια την φθορά αυτών. Η μηχανή 5UEC52LA διαθέτει ένα σύστημα αποστράγγισης, εικόνα 5.10, και έτσι αποφεύγεται η υγρασία στο εσωτερικό του. Η θερμοκρασία του αέρα που χρησιμοποιείται για την αφαίρεση της υγρασίας θα πρέπει να ρυθμίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν αναφερθεί στην ενότητα 5.1.1 και συγκεκριμένα στον πίνακα 5.5.

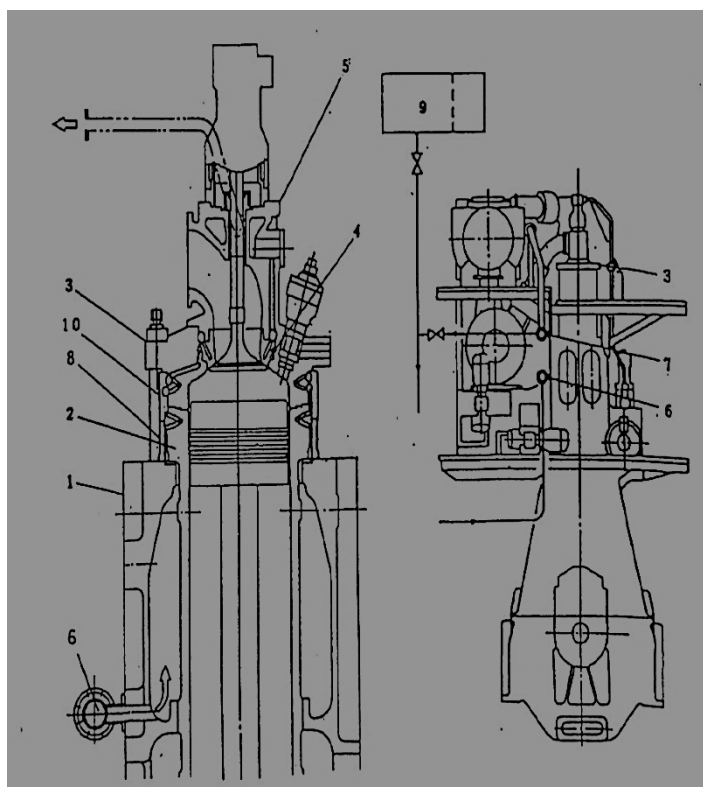


Εικόνα 5.10: Σύστημα απόρριψης υγρασίας

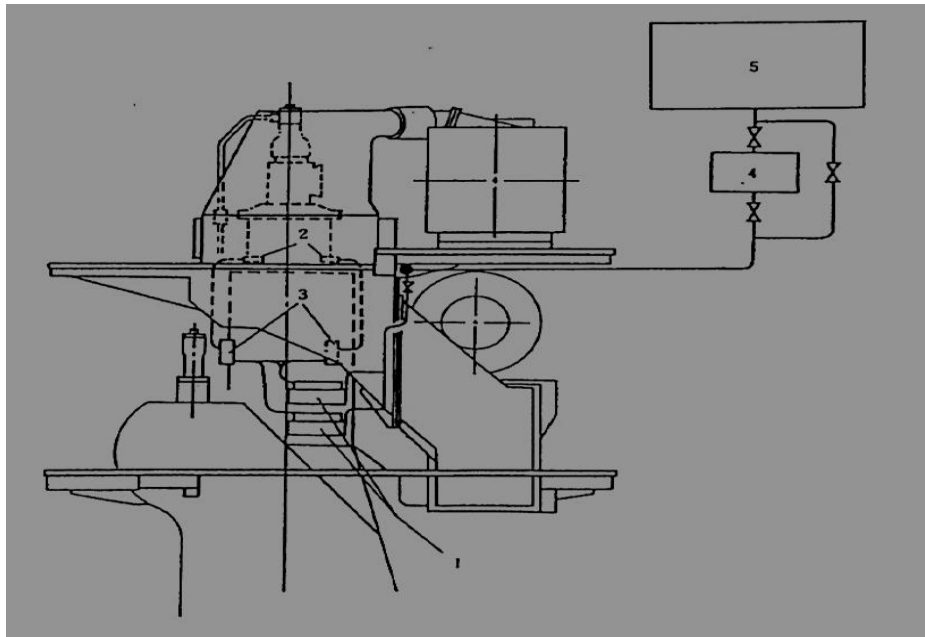
5.2.4 Σύστημα ψύξης

Η εγκατάσταση συστήματος ψύξης χρησιμοποιεί ένα σωλήνα, μέσα από τον οποίο περνάει το νερό ψύξης, για χρήση και απαγωγή της θερμοκρασίας από το χιτώνιο και τη βαλβίδα εξαγωγής. Το νερό ακολουθεί μία διαδρομή για τη ψύξη των επιμέρους τμημάτων που φαίνονται παρακάτω στην τομή, (εικόνα 5.11).

1. Εξωτερικό τμήμα κυλίνδρου
2. επένδυση κυλίνδρου
3. κάλυμμα κυλίνδρου
4. βαλβίδα εξαγωγής
5. βάση βαλβίδας εξαγωγής
6. είσοδος σωλήνα
7. έξοδος σωλήνα
8. «οδηγός» νερού στο σωλήνα
9. δεξαμενή που χρησιμοποιείται σαν δοχείο διαστολής και διαχωριστής λαδιού
10. κυλινδρικό κάλυμμα



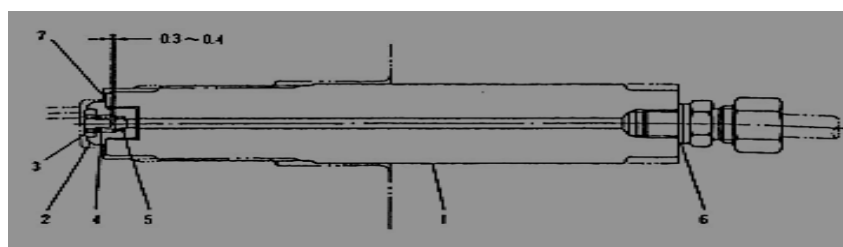
Εικόνα 5.11: Τομή Kobe-Diesel Mitsubishi 5UEC52LA



Εικόνα 5.13: Σύστημα λίπανσης κυλίνδρου

1. Μηχανισμός λίπανσης
2. Στηρίγματα μηχανισμού λίπανσης
3. Ρελέ
4. Βαθμονομημένη δεξαμενή
5. Δεξαμενή αποθήκευσης

Κάθε κύλινδρος έχει οχτώ στηρίγματα, εικόνα 5.14, για το σύστημα λίπανσης τα οποία περνούν το εξωτερικό μέρος του κυλίνδρου από τη μεριά του εκκεντροφόρου, για την συνεχή τροφοδοσία με λάδι λίπανσης, στην επιφάνεια μεταξύ κυλίνδρου και εμβόλου. Στην κορυφή στηρίγματος του συστήματος λίπανσης, η βαλβίδα ελέγχου αποτρέπει την είσοδο καυσαερίων.



Εικόνα 5.14: Στήριγμα συστήματος λίπανσης

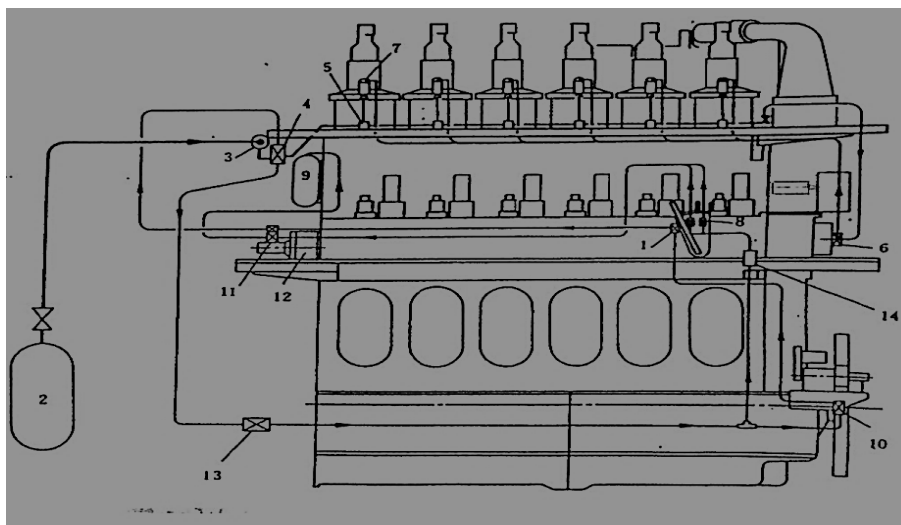
1. Στήριγμα
2. Καπάκι
3. Ελατήριο ασφαλείας
4. Ελατήριο
5. Χαλύβδινη σφαίρα
6. , 7. Τσιμούχα στεγανοποίησης

5.2.6 Εκκίνηση συστήματος αέρα

Όταν δοθεί εντολή εκκίνησης, από το κέντρο ελέγχου του πλοίου, πρώτα τίθεται σε λειτουργία η βαλβίδα αέρα (1), έπειτα ο πεπιεσμένος αέρας (2) ρέει μέσα στον κύλινδρο περνώντας από τη βαλβίδα (3) ξεκινώντας αυτόματα η βαλβίδα (4), έπειτα περνά από τη φλογοπαγίδα (5) και από την βαλβίδα εκκίνησης (7) η οποία ελέγχεται από τη βαλβίδα (6). Η λειτουργία του συστήματος που περιγράφηκε παραπάνω καθώς και τα επιμέρους τμήματα φαίνονται στην εικόνα 5.15. Η αυτόματη βαλβίδα του υπερσυμπιεστή, που βρίσκεται μεταξύ της βαλβίδας ελέγχου και του κύριου αγωγού μεταφοράς αέρα, ανοιγοκλείνει αυτόματα και ελέγχει τη ροή του αέρα. Τη στιγμή της έναρξης ο αέρας καταλαμβάνει την ανώτερη περιοχή στο χώρο του εμβόλου (2) όπως φαίνεται στην εικόνα 5.16, μετακινώντας προς τα κάτω το στέλεχος της βαλβίδας από την κίνηση του εμβόλου, στέλνοντας τον αέρα στον κύριο αγωγό μεταφοράς αέρα (19).

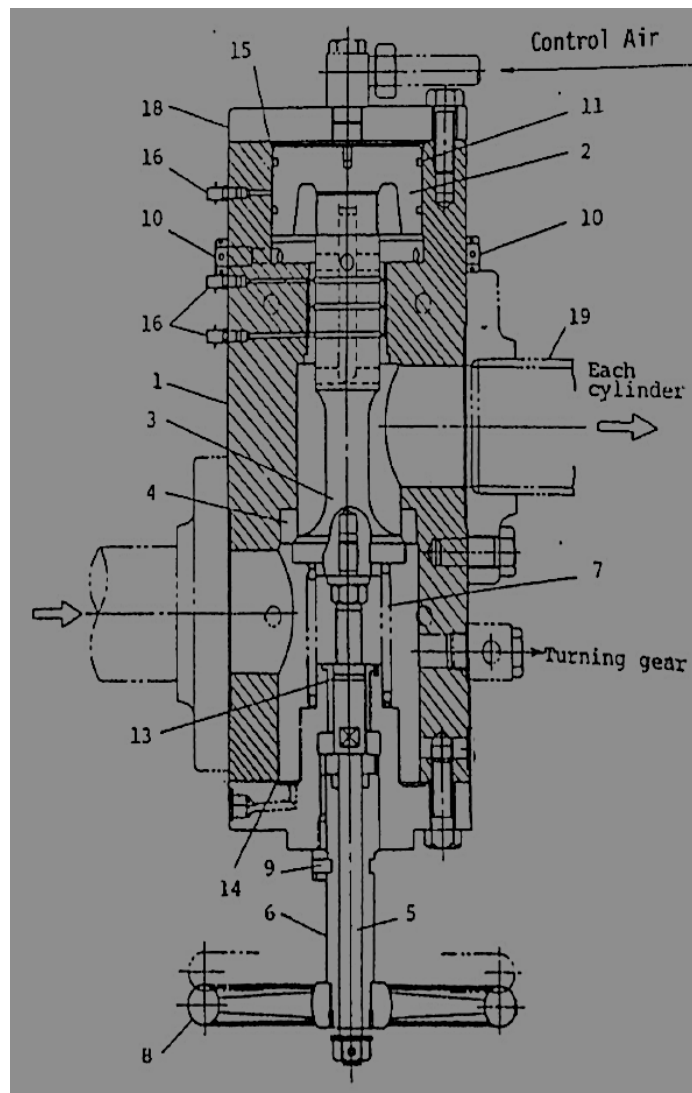
Επίσης χρησιμοποιούνται δύο βοηθητικοί ανεμιστήρες σε περίπτωση χαμηλής λειτουργίας της μηχανής. Οι βοηθητικοί ανεμιστήρες αποτελούνται από τη φτερωτή (4) και από το προστατευτικό τους (2) τα οποία είναι άμεσα συνδεδεμένα με τον ρότορα της ηλεκτρικής μηχανής μέσω του άξονα (εικόνα 5.17).

1. Μηχανισμός εκκίνησης
2. Δοχείο λαδιού
3. Μηχανισμός βαλβίδας επιστροφής
4. Ασφάλεια εκκεντροφόρου
5. Μηχανισμός αλλαγής ταχύτητας εκκεντροφόρου
6. Στρόφιγγα αποστράγγισης
7. Βαλβίδα μείωσης ροής
8. Βαλβίδα αντεπιστροφής
9. Αποθήκευση αέρα
10. Βαλβίδα ελέγχου
11. Αυτόματη βαλβίδα
12. Φλογοπαγίδα
13. Έλεγχος βαλβίδας εκκίνησης
14. Βαλβίδα εκκίνησης



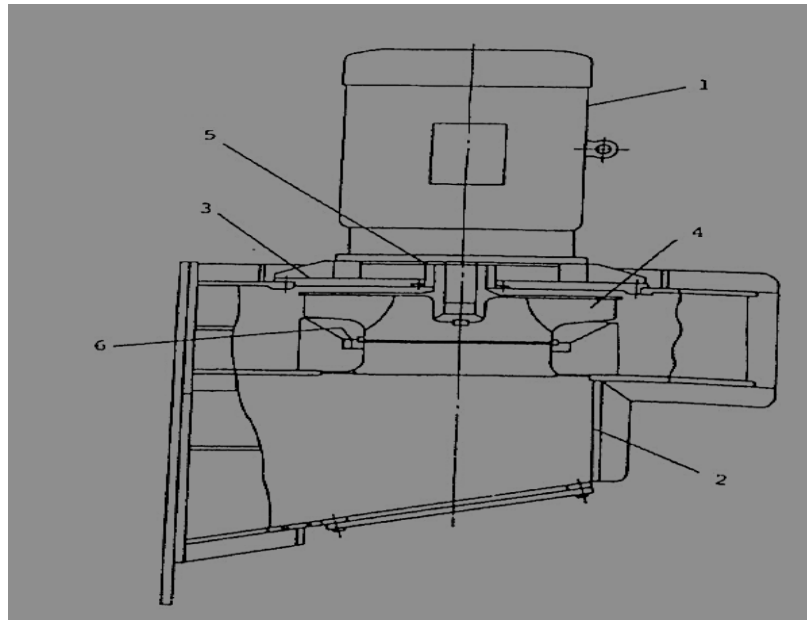
Εικόνα 5.15: Κύκλωμα συστήματος αέρα

1. Περίβλημα
2. Έμβολο
3. Στέλεχος βαλβίδας
4. Έδρα βαλβίδας
5. Ατράκτος
6. Οδηγός ατράκτου
7. Ελατήριο
8. Μοχλός
9. Εξαεριστήρας
10. Δαχτυλίδι εμβόλου
13. 14. 15 Δαχτυλίδια στεγανοποίησης
16. Γρασαδόρος
18. Κάλυμμα
19. Κύριος αγωγός αέρα



Εικόνα 5.16: Τομή μηχανισμού ρύθμισης αέρα

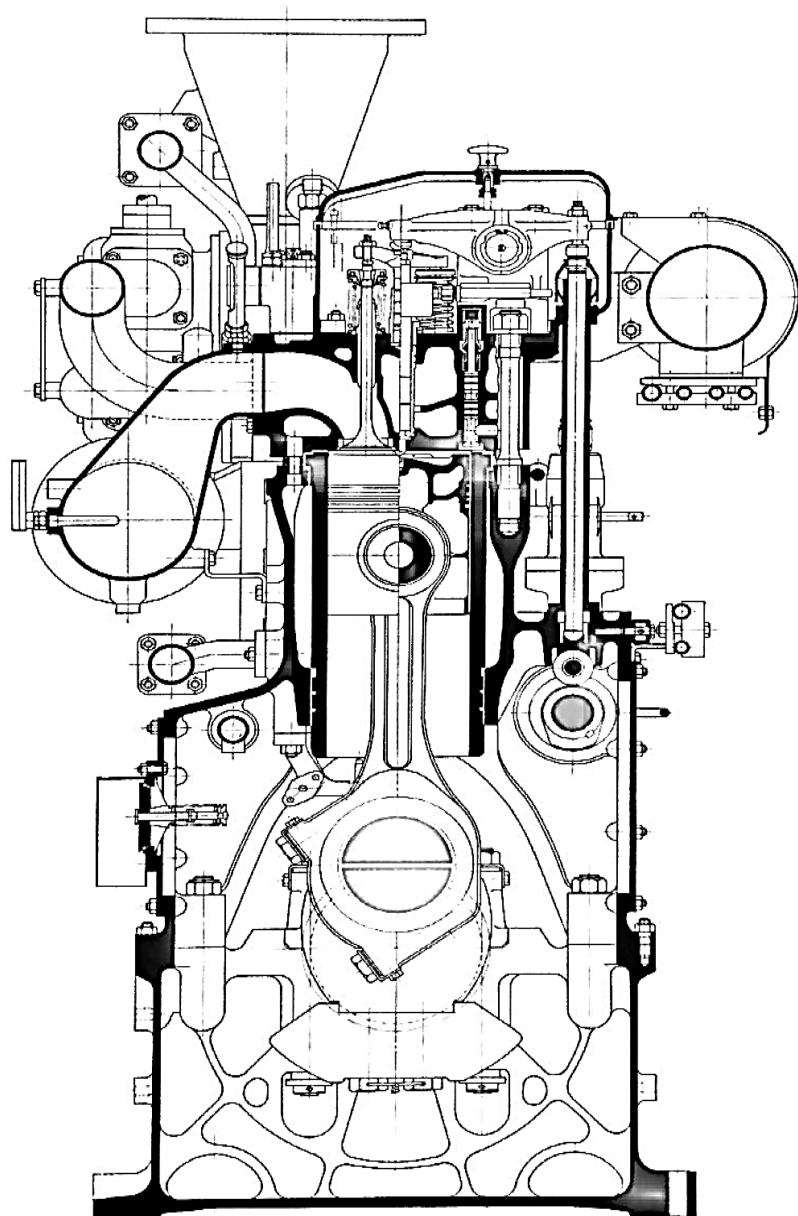
1. Κινητήρας
2. Περίβλημα
3. Κάλυμμα
4. Πτερωτή
5. Υποδοχή πτερωτής
6. Δαχτυλίδι



Εικόνα 5.17: Τομή βοηθητικού ανεμιστήρα

5.3 Χαρακτηριστικά και λειτουργία ηλεκτρομηχανών

Οι μηχανές Daihatsu DL-20 προσφέρουν εξαιρετική απόδοση και ανθεκτικότητα με μία απλή αλλά ταυτόχρονα ισχυρή κατασκευή, εύκολο χειρισμό, με χαμηλό βάρος και υψηλή απόδοση. Η σχεδίαση αυτών των μηχανών έγινε σύμφωνα με υψηλά πρότυπα και κανονισμούς και χρησιμοποιούνται σαν μηχανές πρόωσης σε καράβια, σαν βοηθητικές μηχανές επίσης σαν μηχανές σταθμών για την παραγωγή ισχύος και παραγωγή ενέργειας. Η μηχανή είναι αερόψυκτη, εξακύλινδρη με υπερσυμπιεστή η τομή της οποίας φαίνεται παρακάτω (εικόνα 5.18).



Εικόνα 5.18: Τομή μηχανής Daihatsu DL-20

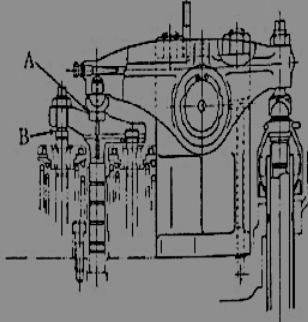
Σε αυτό το σημείο παρατίθενται κάποιοι πίνακες (εικόνες 5.19, 5.20, 5.21, 5.22) με τα χαρακτηριστικά της μηχανής, όπου θα βοηθήσουν στην περαιτέρω ανάλυση της μηχανής.

| Model | | Engine for generator and for general power unit | | Marine Propulsion engine |
|---------------------|-------------------------|---|--------|--------------------------|
| | | 6DLB-20 | 6DL-20 | 6DLM-20 |
| Type | | Vertical, water-cooled, direct-injection type, four-cycle diesel engine | | |
| Number of cylinders | | 6 | | |
| Cylinder bore | mm | 200 | | |
| Stroke | mm | 260 | | |
| Engine speed | min ⁻¹ (rpm) | * | * | * |
| Output | kW (PS) | * | * | * |
| Rotating direction | | Clockwise as viewed from flywheel | | |
| Supercharger | | Exhaust gas turbocharger (with air-cooler) | | |
| Starting method | | Compressed air | | |
| Firing order | | 1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4 | | |
| Dimensions | Length (A) | mm | 2645 | |
| | Width (B) | mm | 1100 | |
| | Height (C) | mm | 1495 | |
| Weight | kg | 6700 | 6750 | |

Εικόνα 5.19

| Auxiliary equipment | Type | Place of installation | Remarks |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|---|
| Turbocharger | Exhaust gas turbocharger | E | VTR |
| Intercooler | Fine tube | E | |
| Governor | Hydraulic | E | |
| Fuel oil injection pump | Bosch | E | CX |
| Fuel oil nozzle | Bosch | E | TE |
| Fuel oil pump | Gear or trochoid type | | Separately installed or driven by engine. |
| Lubricating oil pump | Gear | E | With safety valve |
| Rocker arm lub. pump | Trochoid type | E | With safety valve |
| Cooling water pump (for jacket) | Centrifugal | E | |
| Cooling water pump (for cooler) | Centrifugal | R | |
| Nozzle cooling oil pump | Gear | | Separately installed or driven by engine when heavy fuel oil is used. |
| Lubricating oil cooler | Multi-tubular | R | |
| Fresh water cooler (for jacket) | Multi-tubular | R | |
| Nozzle cooling oil cooler | Fin | R | When heavy fuel oil is used. |
| High-precision fuel oil filter | Backwash type | R | Not required, depending on specifications |
| Fuel oil filter (engine inlet) | Notche wire or Laminate | E | |
| Lubricating oil filter | Notch wire | E | |
| Governor lubricating oil filter | Notch wire | E | When SG2 or PSG governor used. |
| Rocker arm lubricating filter | Laminate | E | |
| Nozzle cooling oil filter | Laminate | E | When heavy fuel oil is used. |
| Rocker arm lubricating tank | | E | 10 ℓ |
| Leaked oil tank | | E | 5 ℓ |

Εικόνα 5.20

| Item | | Adjustment value (Design value) | Remarks |
|--|----------------------|-------------------------------------|--|
| Intake valve | Open (before T.D.C.) | 75° |  <p>1) Valve clearance is with engine cold. 2) should be set at "0" prior to the adjustment of <A></p> |
| | Close (after B.D.C.) | 35° | |
| | Clearance (A) | 0.4mm | |
| Exhaust valve | Open (before B.D.C.) | 50° | |
| | Close (after T.D.C.) | 60° | |
| | Clearance (A) | 0.4mm | |
| Starting rotary valve | Open (after T.D.C.) | 0 | |
| | Close (after T.D.C.) | 125° | |
| Fuel nozzle injection pressure | | 29.4MPa (300kg/cm ²) | |
| Maximum explosion pressure | | 13.2MPa (135kg/cm ²) | Refer to the factory operation test result as the values vary with individual engine specifications and output. |
| Pressure of cylinder safety valve (Relief pressure) | | 16.6MPa (170kg/cm ²) | |

Εικόνα 5.21

| Item | | Design Value | Alarm Setting [Emergency stop Setting] | Remarks | | |
|--|----------------------------|---------------------------------------|--|--|--|----------------------------------|
| Pressure Mpa (kg/cm ²) | Intake air | | | According to turbocharger specifications | | |
| | Starting air | | 1.47 ~ 2.94 (15 ~ 30) | 1.47 (15) | | |
| | Fuel oil | | 0.2 ~ 0.29 (2.0 ~ 3.0) *[0.49 ~ 0.59 (5.0 ~ 6.0)] | | Static pressure of tank head should be considered. | |
| | Lubricating oil | | 0.39 ~ 0.49 (4.0 ~ 5.0) | 0.25 (2.5) [0.2 (2.0)] | | |
| | Rocker arm lubricating oil | | 0.06 ~ 0.12 (0.6 ~ 1.2) | 0.03 (0.3) | | |
| | Cooling water | Jacket | 0.25 ~ 0.34 (2.5 ~ 3.5) | | Tank head and external piping conditions should be considered. | |
| | | Cooler | | | | |
| Nozzle coolant pressure | | 0.10 ~ 0.29 (1.0 ~ 3.0) | | Specified for operation with heavy fuel oil. | | |
| Temperature (°C) | Intake air | Engine inlet | 40 ~ 50 | | Setting = 45°C (at 100% load) | |
| | Exhaust gas | Cylinder outlet | | 480 | According to turbocharger specifications | |
| | | Turbocharger inlet | | 580 | | |
| | | Turbocharger outlet | | 480 | | |
| | Fuel oil | Engine inlet | 65 sec. RW No.1 (14 cst) | 80 sec. RW No.1 (18 cst) | Viscosities are for heavy fuel oil. | |
| | Lubricating oil | Engine inlet | | 40 ~ 60 | 65 | |
| | | Engine outlet (inlet of LO cooler) | | 70 | | |
| | Cooling water | Jacket line (fresh water) | Engine inlet | 70 | | In case of inlet control system |
| | | | Engine outlet | 75 | 85 (90) | In case of outlet control system |
| | | | Valve seat cooling water outlet | 80 | | |
| Cooler line (sea water) | | Engine inlet | 24 ~ 32 | | | |

Εικόνα 5.22

5.3.1 Εξαρτήματα μηχανής

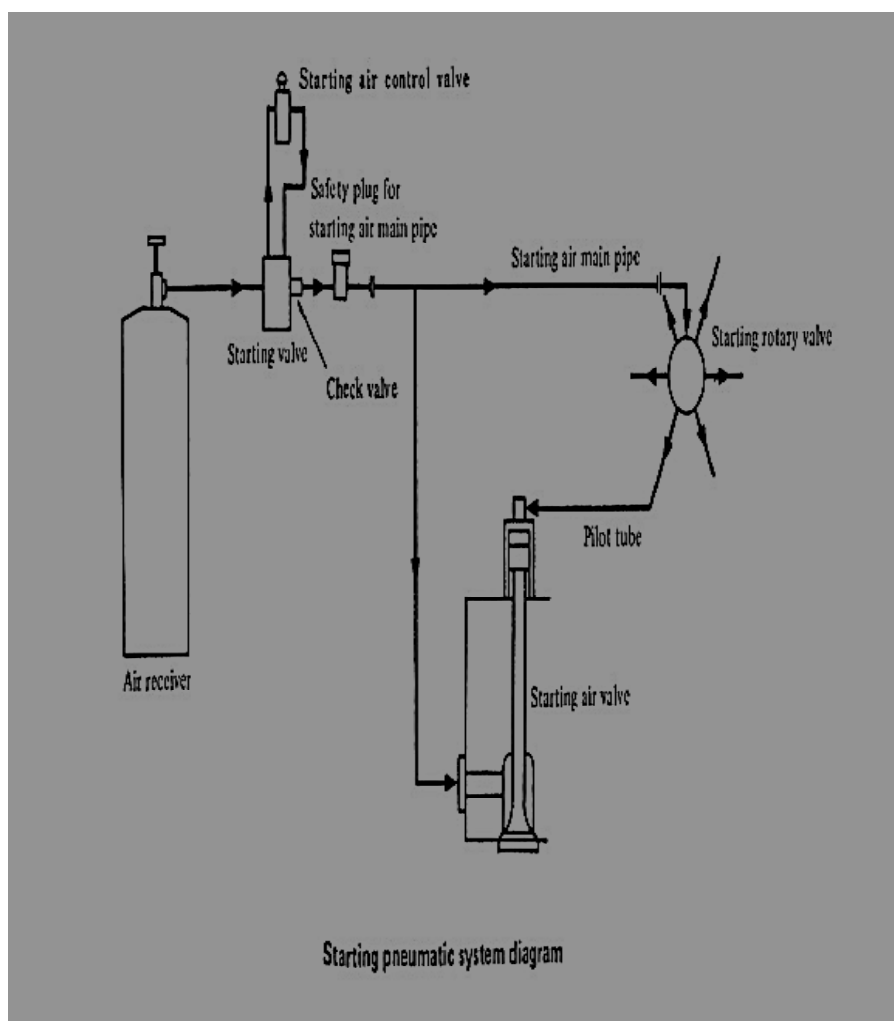
Η βάση και το πλαίσιο έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να προκαλούν όσο το δυνατόν μικρότερη συγκέντρωση τάσεων. Ο στροφαλοθάλαμος έχει τοποθετηθεί ανάμεσα στο πλαίσιο και την πλάκα. Στο πλαίσιο βρίσκονται οι εσοχές, μία για κάθε κύλινδρο, από τη μεριά του στροφαλοθαλάμου ώστε να έχουμε πρόσβαση για επιδιόρθωση και συντήρηση αυτών. Σε κάθε μία εσοχή υπάρχει ένα παράθυρο ασφαλείας και στο πίσω μέρος του πλαισίου συναντάμε την έξοδο αερίων. Ωστόσο ο κάθε κύλινδρος έχει και μία επένδυση, η οποία είναι φτιαγμένη από χυτοσίδηρο υψηλής αντοχής και με μια λεία εσωτερική επιφάνεια. Το τμήμα της φλάντζας, μέσα στο χιτώνιο, είναι

καλά στερεωμένο στην κεφαλή του κυλίνδρου ώστε να στεγανοποιεί το χώρο από νερό και καυσαέριο.

Η κεφαλή του κυλίνδρου είναι φτιαγμένη έτσι ώστε να έχει αντοχές στις τάσεις που εφαρμόζονται σ' αυτήν, όπως καμτικές τάσεις. Άλλα μέρη της μηχανής είναι οι βαλβίδες εισαγωγής, εξαγωγής, τα έμβολα, διωστήρες όπως έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

5.3.2 Πνευματικό σύστημα και συναφή μέρη

Με την εκκίνηση του συστήματος, χρησιμοποιείται συμπιεσμένος αέρας. Όταν η βαλβίδα είναι ανοιχτή και το σύστημα από τον πίνακα ελέγχου ενεργοποιημένο, ο συμπιεσμένος αέρας ρέει κατά μήκος και ακολουθεί τη διαδρομή όπως φαίνεται στην εικόνα 5.23. Η βαλβίδα έναρξης και η βαλβίδα ελέγχου αέρα βρίσκονται στο μπροστινό μέρος της μηχανής, ενώ η εντολή εκκίνησης της βαλβίδας περιστροφής δίνεται από το όπισθεν μέρος του εκκεντροφόρου. Προκειμένου να προστατευθεί το σύστημα από τις παλινδρομήσεις των αερίων καύσης, μία βαλβίδα ελέγχου και μία τάπα ασφαλείας παρέχεται στην είσοδο της βαλβίδας εκκίνησης.



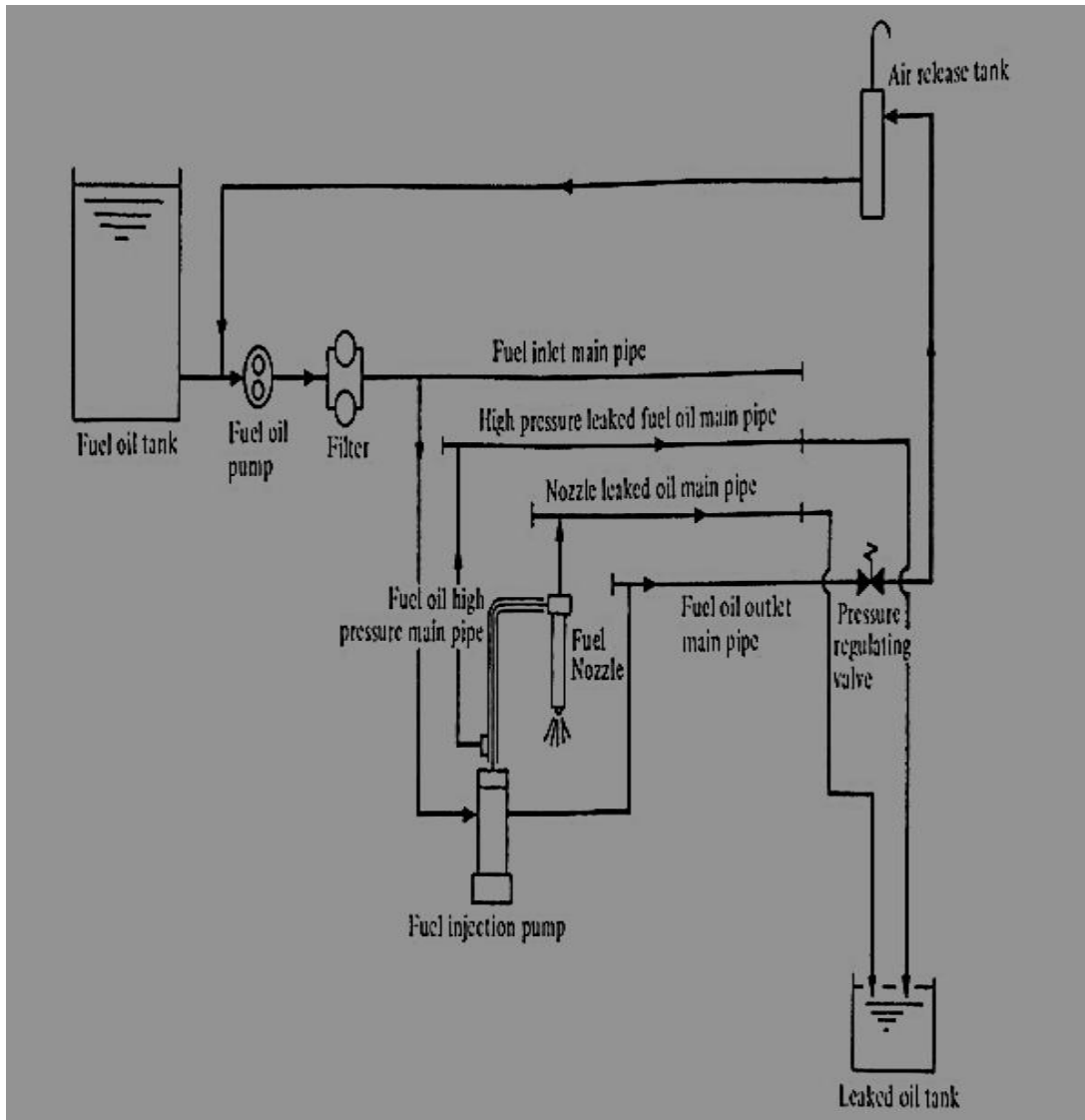
Εικόνα 5.23: Πνευματικό σύστημα και διαδρομή αέρα

5.3.3 Σύστημα καυσίμου

Οι προδιαγραφές του συστήματος καυσίμου διαφέρουν σύμφωνα με το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Η διαδρομή που ακολουθεί το καύσιμο είναι η εξής (εικόνα 5.24):

- Αντλία έγχυσης καυσίμου
- Αγωγός υψηλής πίεσης καυσίμου
- Πλήρωση κυλίνδρων

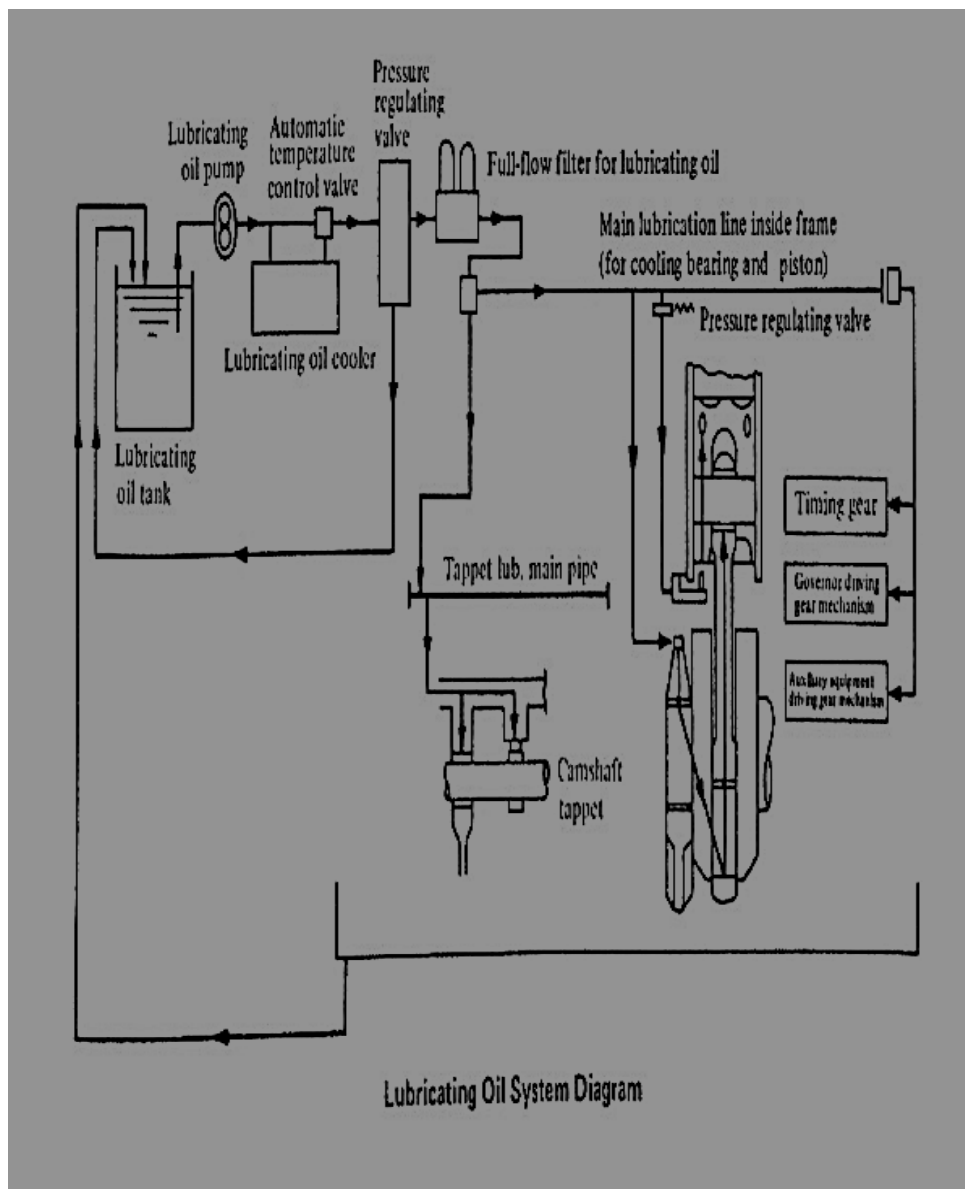
Η ποσότητα του καυσίμου η οποία δεν πέρασε από την αντλία, επιστρέφει μέσα από την βαλβίδα ρύθμισης πίεσης στην εισαγωγή του κύριου σωλήνα καυσίμου. Το δεύτερο φίλτρο καυσίμου βρίσκεται στη μηχανή. Οι αντλίες καυσίμου είναι της εταιρείας Bosch και έχουν εγκατασταθεί πάνω από τους αισθητήρες καυσίμου μέσα στο πλαίσιο του κινητήρα, ένα για κάθε κύλινδρο. Το στόμιο καυσίμου Bosch είναι συσσωματωμένο στο ακροφύσιο το οποίο βρίσκεται στο κέντρο της κεφαλής του κυλίνδρου.



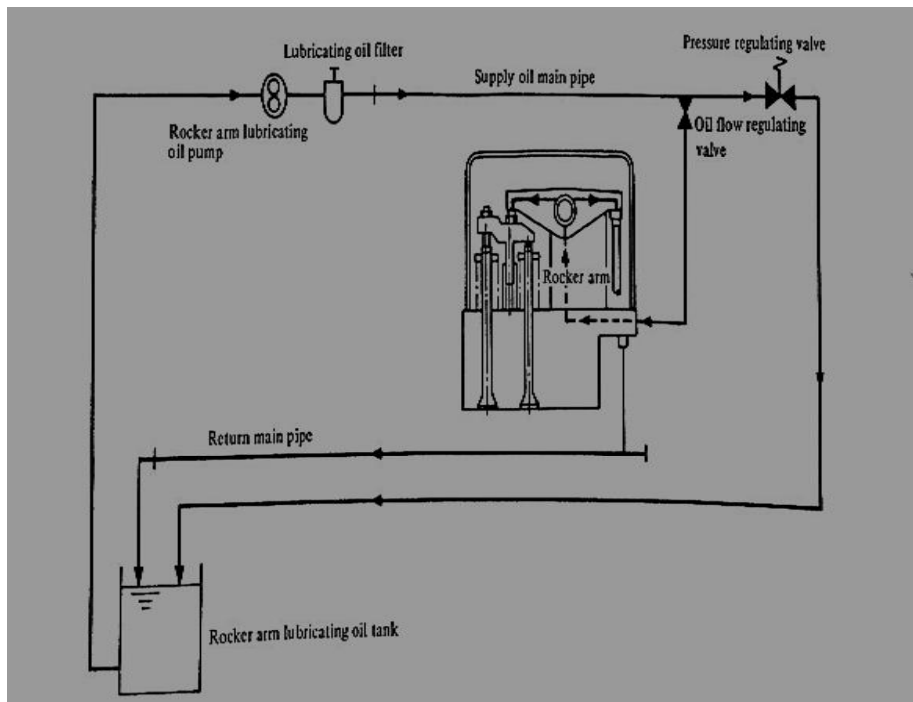
Εικόνα 5.24: Διάγραμμα συστήματος καυσίμου

5.3.4 Σύστημα λίπανσης

Το σύστημα λίπανσης της μηχανής Daihatsu DL-20, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 5.25. Η διαδρομή του λαδιού λίπανσης ξεκινάει, από την αντλία λαδιού, περνώντας μέσα από τη βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης, όπου και επικρατούν κατάλληλες συνθήκες πίεσης και στη συνέχεια λιπαίνει τα ρουλεμάν και τα έμβολα. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα παρακάτω φαίνεται μία διακλάδωση όπου μία ποσότητα του λαδιού λίπανσης ρέει προς το ωστήριο και η υπόλοιπη προς τον εκκεντροφόρο άξονα. Επίσης η ποσότητα λαδιού που απομένει πέφτει στην λεκάνη και επιστρέφει στη δεξαμενή λαδιού. Η αντλία λαδιού τοποθετείται μπροστά από τη μηχανή μαζί με την βαλβίδα ασφαλείας. Επιπλέον η βαλβίδα ελέγχου της πίεσης στην είσοδο του εμβόλου, είναι έτσι κατασκευασμένη, ώστε να επιτρέπει πρώτα τη λίπανση των ρουλεμάν του συστήματος. Τέλος η πορεία και ο μηχανισμός λίπανσης για το ζύγωθρο φαίνεται στην εικόνα 5.26.



Εικόνα 5.25: Σύστημα λίπανσης Daihatsu DL-20



Εικόνα 5.26: Διάγραμμα λίπανσης στο ζύγωθρο

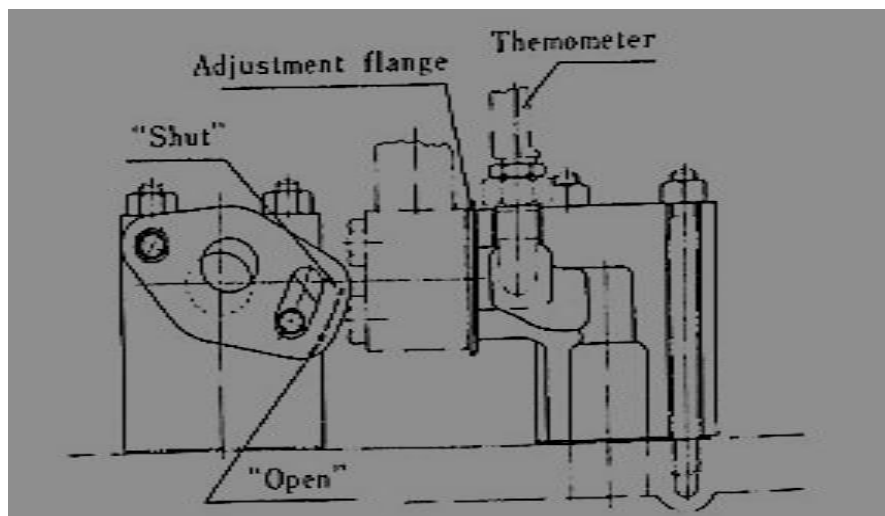
Οι ενδεικνυόμενες εταιρείες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Daihatsu DL-20 παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1.

| < Viscosity Grade : SAE #30 > | | | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Kind of F.O. | Gas oil or Diesel oil | Up to 200 Sec. R.W. No.1 | Up to 1500 Sec. R.W. No.1 | Up to 7000 Sec. R.W. No.1 |
| Company's Name | Class II (Supplying or Replacing oil) | Class III (Supplying or Replacing oil) | Class IV (Supplying or Replacing oil) | Class V (Supplying or Replacing oil) |
| BP | BP ENERGOL DL-MP 30 | BP ENERGOL IC-HF 253 | BP ENERGOL IC-HF 303 | BP ENERGOL IC-HF 303 |
| CALTEX | RPM DELO 1000 Marine Oil SAE30 | RPM DELO 2000 Marine Oil SAE30 | RPM DELO 3000 Marine Oil SAE30 | RPM DELO 3000 Marine Oil SAE30 |
| CASTROL | CASTROL Marine MPX30 | CASTROL Marine 215MXD | CASTROL Marine MXD303 | CASTROL Marine MXD303 |
| CHEVRON | DELO 1000 Marine Oil SAE30 | DELO 2000 Marine Oil SAE30 | DELO 3000 Marine Oil SAE30 | DELO 3000 Marine Oil SAE30 |
| ELF | DISOLA M3015 | AURELIA 3030 | AURELIA 3030 | AURELIA 3030 |
| ESSO | EXXMAR 12TP30 | EXXMAR 24TP30 | EXXMAR 30TP30 | EXXMAR 30TP30 EXXMAR 40TP30 |
| GULF | GULF VERITAS DPO30 | GULF VERITAS SERECT30 | GULF VERITAS SELECT30 | — |
| MOBIL | MOBILGARD 312 | POWERGARD 2030 | MOBILGARD 324 | MOBILGARD 324 |
| PETROBRAS | MARBRAX CCD310 | MARBRAX CCD320 | MARBRAX CCD330 | MARBRAX CCD330 |
| SHELL | GADINIA 30 | ARGINA S 30 | ARGINA T 30 | ARGINA T 30 |
| TEXACO | TARO XD SAE30 | TARO DP SAE30 | TARO DP SAE30 | — |
| TOTAL | RUBIA S SAE30 | RUBIA ST SAE30 HAM SAE30 | HAM SAE30 | HAM SAE30 |

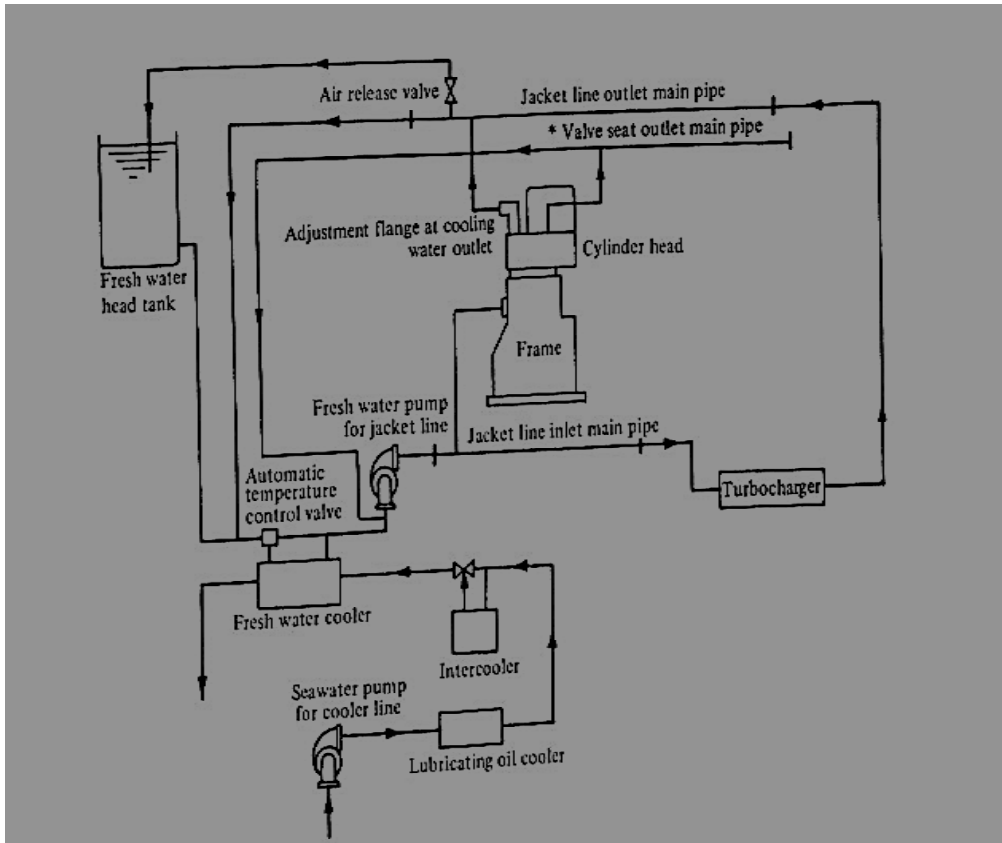
Πίνακας 5.1: Κατάλληλα είδη λαδιών λίπανσης/εταιρεία

5.3.5 Σύστημα ψύξης

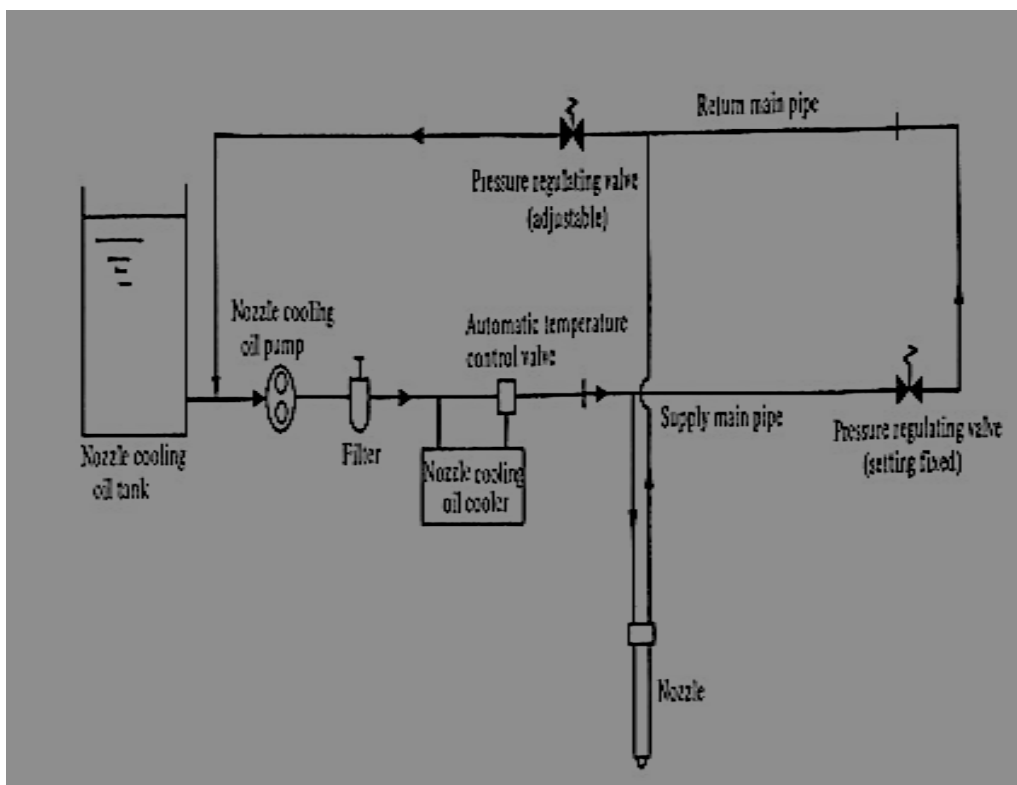
Το σύστημα ψύξης εξαρτάται στην μηχανή Daihatsu DL-20, από την ποιότητα του καυσίμου που χρησιμοποιείται και από το σύστημα λειτουργίας. Το τυπικό διάγραμμα ψύξης με χρήση νερού φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 5.28. Παρατηρούνται δύο γραμμές μεταφοράς του νερού ψύξης, όπως επίσης χρησιμοποιείται φρέσκο νερό αλλά θαλασσινό νερό. Η φλάντζα, εικόνα 5.27, προσαρμόζεται έτσι ώστε να επιτρέπει τη διανομή του νερού ψύξης σε κάθε κύλινδρο. Για τις μηχανές που λειτουργούν με μαζούτ, η ψύξη του ακροφυσίου γίνεται με χρήση πετρελαίου ως μέσο ψύξης με πορεία όπως φαίνεται στην εικόνα 5.29.



Εικόνα 5.27: Σύστημα ψύξης



Εικόνα 5.28: Διάγραμμα νερού ψύξης



Εικόνα 5.29: Σύστημα ψύξης ακροφυσίου

Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του νερού ψύξης φαίνονται στον πίνακα 5.2

| General condition | Clarified |
|---|----------------|
| pH | 6~8.5 |
| Total hardness (CaCO ₃ in ppm) | 100 mg/kg max. |
| Chlorine ions (Cl ⁻ concentration) | 100 mg/kg max. |
| Total salt concentration | 250 mg/kg max. |
| Sulfuric acid ion (SO ₄ ²⁻ -concentration) | 60 mg/kg max. |
| Total iron content (Fe) | 0.3 mg/kg max. |
| Silica (SiO ₂) | 50 mg/kg max. |
| Residue on evaporation | 400 mg/kg max. |

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά νερού ψύξης

5.3.6 Έλεγχος λειτουργίας

Όταν ως καύσιμο χρησιμοποιείται μαζούτ, χρειάζεται κατάλληλος έλεγχος του καυσίμου, όπως και του συστήματος λίπανσης, ψύξης του συστήματος και ψύξης του ακροφυσίου. Στον πίνακα που φαίνεται στην εικόνα 5.30, φαίνονται τα χαρακτηριστικά καυσίμων και οι ιδιότητες τους.

| Fuel grade | JIS | | Diesel fuel oil | Heavy fuel oil | | | | Remarks | |
|----------------|---------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------|--|
| | ISO-F | | DMA | RMA 10 | RME 25 | RMG 35 | RMH 55 | | |
| | CIMAC | | | CIMAC A10 | CIMAC E25 | CIMAC G35 | CIMAC H55 | | |
| | BSI | | | M4 | — | — | M9 | | |
| Density (15°C) | g/cm ³ | max | 0.890 | 0.975 | 0.991 | 0.991 | 0.991 | | |
| Viscosity | Kinematic viscosity, 50°C | mm ² /s | max | 1.5-6.0 at 40°C | 10 | 180 | 380 | 700 | |
| | RW No.1, 100°F | sec | max | 30-50 | 300 | 1500 | 3500 | 7000 | |
| Flash point | °C | min | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | | |
| Pour point | °C | max | 0 | 6 | 30 | 30 | 30 | | |
| Carbon residue | % m/m | max | 0.2 | 10 | 15 | 18 | 22 | Note 2 | |
| Ash content | % m/m | max | 0.01 | 0.10 | 0.10 | 0.20 | 0.20 | | |
| Water content | % w/w | max | 0.1 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | |
| Sulfur content | % m/m | max | 1.5 | 3.5 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | | |
| Vanadium | mg/kg | max | — | 150 | 200 | 300 | 600 | Note 3 | |
| Aluminium | mg/kg | max | — | 30 | 30 | 30 | 30 | Note 1 | |
| Cetane rating | — | mix | 40 | — | — | — | — | Note 4 | |

Εικόνα 5.30: Χαρακτηριστικά και ιδιότητες καυσίμων

Όπως βλέπουμε και στον παραπάνω πίνακα, το καύσιμο πετρέλαιο άνω των 700 cSt, 50° C μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για καύση. Αντίθετα ένα καύσιμο που υπερβαίνει τα όρια εντός των οποίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αναμιγνύεται με άλλο τύπο πετρελαίου. Παρόλαυτα, ύστερα και από την ανάμιξη μπορεί το πετρέλαιο καύσιμο να μην είναι το ιδανικό προς καύση και αυτό οφείλεται σε παράγοντες, όπως στη μέθοδο διύλισής του. Τυχόν ακαθαρσίες που έχουν αναμειχθεί μέσα στο μαζούτ, αυξάνουν τις πιθανότητες για κακής ποιότητας καύσιμο, αλλά από την άλλη μεριά το ιξώδες του παραμένει σε χαμηλά επίπεδα παρά τις προσμίξεις. Τα χαρακτηριστικά του προς την καύση καυσίμου υπολογίζονται, μετά την ανάμιξη. Τα όρια και οι αναλογίες ανάμιξης βαρύ πετρελαίου φαίνονται στην εικόνα 5.31.

| Blended Oil | 800 Sec. Oil | 1,500 Sec. Oil | 3,500 Sec. Oil | 7,000 Sec. Oil |
|------------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| Heavy Fuel Oil before Mixing | | | | |
| 800 Sec. | 100% | - | - | - |
| 1,500 Sec. | 80% | 100% | - | - |
| 3,500 Sec. | 35% | 50% | 100% | - |
| 7,000 Sec. | 20% | 35% | 65% | 100% |

Εικόνα 5.31: Αναλογία και όρια ανάμιξης

Μετά την εγκατάσταση της μηχανής και για συνεχόμενη λειτουργία 150 ωρών, χρησιμοποιείται το ίδιο είδος καυσίμου. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα γίνεται και η αλλαγή της επένδυσης του κυλίνδρου και οι δακτύλιοι των εμβόλων. Σε αυτό το διάστημα που περιγράφηκε παραπάνω χρησιμοποιείται πετρέλαιο, κατηγορίας 700 cSt, 50° C. Επίσης σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας της μηχανής, που χρησιμοποιεί μαζούτ ως καύσιμο, μπορεί να γίνει η επανεκκίνηση με το προαναφερθέν είδος πετρελαίου. Παρόλαυτα εάν χρησιμοποιηθεί αναμεμιγμένο πετρέλαιο μετά από διακοπή λειτουργίας, τότε η ανάμιξη των δύο καυσίμων προς ανάμιξη γίνεται σταδιακά, όπως φαίνεται στον πίνακα της παρακάτω εικόνας (5.32).

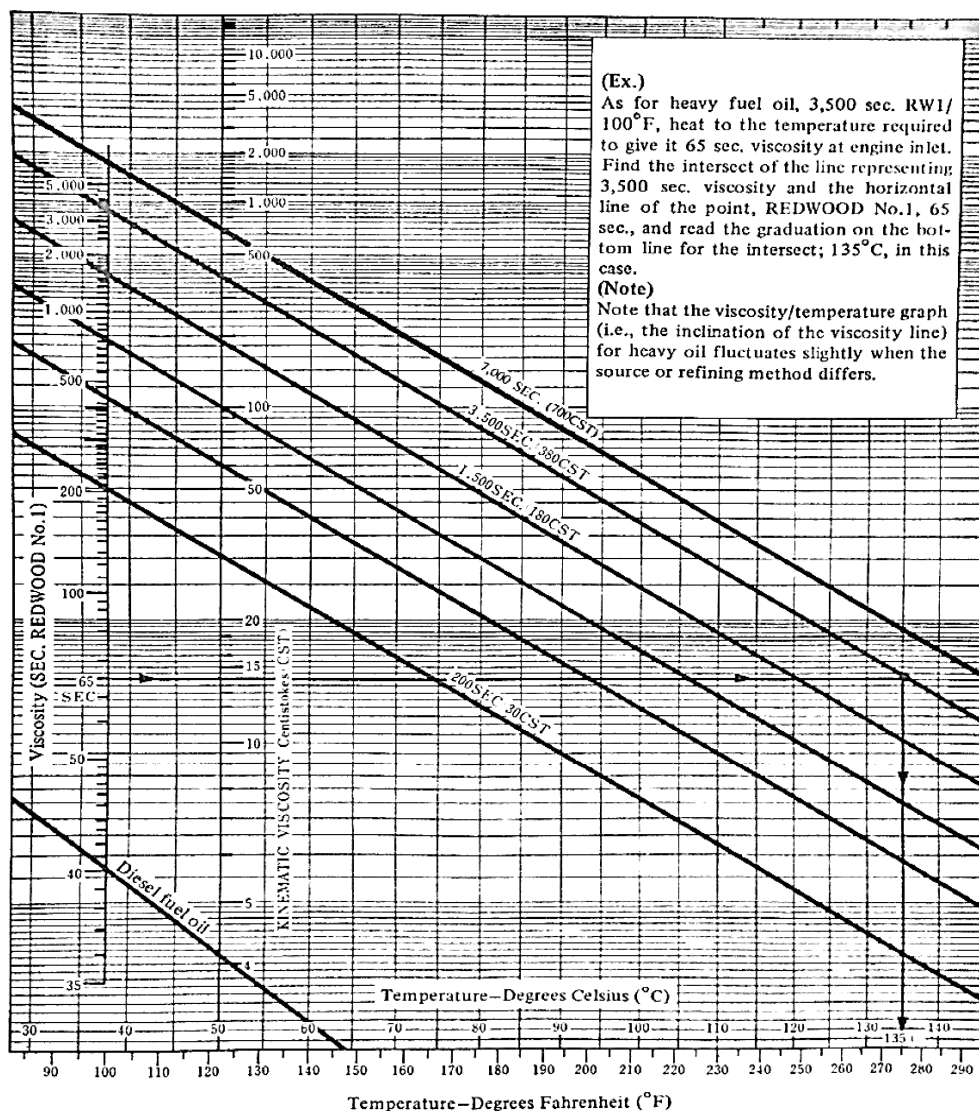
| Heavy fuel oil mixture ratio | Operation hours | Lubricating oil |
|------------------------------|-----------------|--|
| Diesel oil | 200HR | Primary oil of low alkaline value |
| 30% | 100 HR | |
| 50% | 100 HR | Replenishment oil of higher alkaline value |
| 70% | 100 HR | |
| 100% | Thereafter | |

Εικόνα 5.32: Αναλογία ανάμιξης σε σχέση ωρών λειτουργίας

Για την εκκίνηση της μηχανής το πετρέλαιο θα πρέπει να είναι 45 οκτανίων και πάνω, για να διασφαλιστεί η σταθερή ανάφλεξη. Σε αντίθετη περίπτωση, που το καύσιμο είναι κάτω των 40 οκτανίων, η διαδικασία ανάφλεξης γίνεται με καθυστέρηση προκαλώντας έτσι προβλήματα κατά την εκκίνηση.

Η χρονική διάρκεια αντικατάστασης καυσίμου εξαρτάται από τις εκάστοτε προδιαγραφές της μηχανής και τις συνθήκες λειτουργίας. Συνήθως η διαδικασία αντικατάστασης διαρκεί 30 λεπτά.

Όταν χρησιμοποιείται μαζούτ, η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο, στη διατήρηση της ομαλής λειτουργίας της μηχανής. Η διατήρηση και ο έλεγχος της θερμοκρασίας, του καυσίμου, έχει σημαντικό ρόλο όπως επίσης και το ιξώδες του, γι' αυτό και θα πρέπει να δίνεται μεγάλη βαρύτητα και προσοχή. Οι θερμοκρασιακές συνθήκες έχουν παρουσιασθεί στην εικόνα 5.22 σε προηγούμενη παράγραφο. Επιπροσθέτως, υπάρχει εγκατεστημένο ένα αυτόματο σύστημα μέτρησης ιξώδους ή χρησιμοποιείται το κατάλληλο εργαλείο μέτρησης. Το διάγραμμα θερμοκρασίας-ιξώδους παρουσιάζεται παρακάτω στην εικόνα 5.33.



Εικόνα 5.33: Διάγραμμα θερμοκρασίας-ιξώδους

5.3.7 Προϋποθέσεις διαδικασίας αντικατάστασης καυσίμου

Η διαδικασία αλλαγής καυσίμου στην μηχανή διαφέρει ανάλογα με το σύστημα επεξεργασίας καυσίμου και την εφαρμογή του κινητήρα. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να αναζητείται η καλύτερη μέθοδος αντικατάστασης με μαζούτ. Παρακάτω περιγράφονται οδηγίες προφύλαξης που θα πρέπει να εφαρμόζεται σε κάθε περίπτωση.

1. Προετοιμασία της μηχανής, το μαζούτ θα πρέπει να έχει τη σωστή θερμοκρασία και ιξώδες.
2. Η θερμοκρασία του πετρελαίου θα πρέπει να είναι στους 60° C.
3. Λόγω διαφοράς της θερμοκρασίας των δύο καυσίμων θα πρέπει να είναι ανοιχτή η βαλβίδα αέρα γιατί διαφορετικά υπάρχει ο κίνδυνος να «κλειδώσει», λόγω των ατμών.
4. Όταν χρησιμοποιείται καύσιμο με υψηλό ιξώδες, θα πρέπει να ελέγχεται η θερμοκρασία των σωληνώσεων, επειδή παρουσιάζει αύξηση τις περισσότερες των περιπτώσεων.
5. Λόγω της στέρξης μόνωσης θα πρέπει να ελέγχεται ολόκληρο το σύστημα σωληνώσεων με την απαραίτητη προστασία.
6. Η πρώτη αλλαγή σε μαζούτ πρέπει να γίνεται μετά την διακοπή συντήρησης, 150 ώρες λειτουργίας, από εξοικειωμένους τεχνικούς.

Παρακάτω στην εικόνα 5.34 παρουσιάζονται οι προϋποθέσεις καυσίμων.

| | D.O. (Diesel Fuel Oil) Starting/Stop | H.O. (Heavy Fuel Oil) Starting & Stop |
|--|--|---|
| A. Checks and precautions prior to starting | Check if equipment installed on hull is operating normally. Especially in case of H.O. (heavy fuel oil), control of temperature (viscosity) and F.O. pressure is most important. Heat until H.O. viscosity is appropriate. Redwood No. 1 at engine entrance, 100°F 65 seconds. (Alarm value: 80 seconds) | Check that equipment installed on hull is operating normally. Also check if viscosity and pressure at H.O. engine entrance are normal. Redwood No. 1 100°F 65 seconds (Alarm value: 80 seconds) |
| | _____ | Check that cooling water, fuel oil and thermal oil are circulating at specified temperature. Lower temperature may cause poor starting or excessive pressure rise inside high pressure piping. |
| | Turn engine and check if abnormality is found. Also prime injection pump, and check if any sticking is observed in plunger. | Same as left |
| | Check for sticking in each control rack of each fuel injection pump; confirm smooth movement of each. Lubricate rack by hand. | Same as left (Confirm that emergency stop device of control rack of each cylinder is released.) |
| B. Checks and precautions during operation | Warm-up after starting should be via D.O. Change to H.O. when normal stable load is attained. | Operation without load after starting should be held to within 10 minutes. If longer, carbon deposits inside cylinders will increase. |
| | Clean blower and turbine sides of turbo-charger periodically. For cleaning details see instruction manual. | Same as left |
| | Extended operation at low load may cause trouble in various parts. Avoid such as much as possible. Low load limit differs according to engine specifications. When operation under load be lower the limit is unavoidable, operate with D.O. for the shortest possible time. | Same as left |
| | Design is such that changeover from D.O. to H.O. can be carried out gradually without abrupt change of temperature. Check fuel oil temperature before changeover and watch temperature fluctuation. | _____ |
| | Viscosity control of H.O. is one of the most important points of maintenance. Failure here may cause serious trouble in injection system. Constantly monitor viscosity meter. | Same as left |
| | When load fluctuates violently, change-over to D.O. for good combustion. | Same as left |
| | 300 ~ 500 hours after launch, D.O. operation should be maintained, as this is beneficial to engine break-in during initial stage. If blended fuel oil is used, increase blending ratio gradually up to specified value. | Same as left |

| | D.O. (Diesel Fuel Oil) Starting/Stop | H.O. (Heavy Fuel Oil) Starting & Stop |
|---|---|---|
| C. Checks and precautions at time of engine stop-down | Engine should be stopped after running without load. | Same as left |
| | Open valve or pressure indicator with fuel rack positioned at "0" after engine stop-down for air-running, to prevent corrosion at low temperature by emitting fuel gas. | Same as left |
| | Changeover to D.O. 30 minutes (on load) prior to engine stop-down. (Fuel changeover time during engine stop must be adjusted in consideration of hull piping.) Engine should be stopped after confirming changeover to D.O. | Confirm that cooling water, fuel oil and thermal oil are circulating at specified temperature. |
| D. Checks and precautions at time of emergency stop-down during operation via heavy fuel oil | _____ | During restoration work, keep clean-water circuit, fuel circulation circuit and thermal oil circulation circuit running as much as possible, to keep them warm. |
| | If engine stops suddenly due to emergency tripping etc., re-starting is possible with H.O. if the engine is kept warm (within one hour), unless the cetane number is excessively low. Check all parts of engine and start. | For a longer stop-down, piping system should be changed over to D.O. |
| | If restoration takes longer, change line over to D.O. as soon as possible for flushing. If D.O. line is not equipped with booster pump, drain H.O. from main piping and refill with D.O. High pressure fuel piping must be removed to drain heavy oil inside. | _____ |

Εικόνα 5.35: Προϋποθέσεις καυσίμων

6. Επίλογος

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, αναλύθηκε η μηχανή εσωτερικής καύσης και ειδικότερα των ναυτικών πετρελαιομηχανών. Παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα μέρη μιας ναυτικής πετρελαιομηχανής, οι διαφορές, αλλά και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δίχρονων και των τετράχρονων μηχανών. Επίσης παρουσιάστηκε ο θερμοδυναμικός κύκλος τους, θεωρητικός και πραγματικός όπου και εντοπίστηκαν οι διαφορές τους. Λόγω της μεγαλύτερης ισχύος της δίχρονης πετρελαιομηχανής, επιλέχθηκε και αναλύθηκε η δίχρονη πετρελαιομηχανή Kobe Diesel Mitsubishi 5UEC52LA. Σε κάθε καράβι χρησιμοποιούνται και άλλες μηχανές εκτός από την κύρια. Σε αυτήν την περίπτωση, επιλέχθηκε να αναλυθεί η ηλεκτρομηχανή 6DLB-20, της εταιρείας Daihatsu, αφού πρώτα είχαν παρουσιασθεί τα κύρια στοιχεία των ηλεκτρομηχανών. Τέλος, στις μέρες μας, έχουν αναπτυχθεί πλοία με ηλεκτροπρόωση και πλοία με μηχανές οι οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικά είδη καυσίμων, όπως υγροποιημένο φυσικό αέριο.

7. Βιβλιογραφία

1. Λάζαρος Χ. Κλιάνης, Ιωάννης Κ. Νικολάου, Ιωάννης Α. Σιδέρης, Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Τόμος Πρώτος, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2006
2. Νικόλαος Α. Κυριάκης, Μηχανές εσωτερικής καύσης, 2006
3. Stephen J. Chapman, Ηλεκτρικές μηχανές, 2003
4. <http://www.marinediesels.info/>
5. <http://www.gensetssupplier.com/2-2-2-marine-diesel-generator-sets.html>
6. <http://emadrlc.blogspot.gr/2014/12/compressors.html>
7. <http://www.ship-technology.com/>
8. <http://www.dieselduck.info/>
9. Kobe Diesel-Mitsubishi, UE Diesel Engines 5UEC52LA, Instruction book
10. Daihatsu 6DLB-20, Manual book