

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ:
ΜΗΧΑΝΕΣ ΔΙΧΡΟΝΕΣ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΕΣ ΔΙΠΛΗΣ
ΚΑΥΣΕΩΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΠΕΝΤΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ,
ΝΤΙΝΟΚΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΦΑΝΤΙ ΣΑΑΝΤ**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2013

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ:
ΜΗΧΑΝΕΣ ΔΙΧΡΟΝΕΣ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΕΣ ΔΙΠΛΗΣ
ΚΑΥΣΕΩΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΕΝΤΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ,
ΝΤΙΝΟΚΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ
ΑΜ:4651,4582**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σύγχρονες μεγάλες μηχανές εσωτερικής καύσης παρουσιάζουν ηλεκτρικές αποδόσεις που φτάνουν στο 50% και βρίσκουν μεγάλο εύρος εφαρμογών που εκτός από τις μονάδες παραγωγής ισχύος περιλαμβάνουν και τις μηχανές πλοίων. Σε αυτές σημαντικό ρόλο έχουν οι μηχανές διπλής καύσης στις οποίες η μηχανή μπορεί να εναλλάσσεται από τη λειτουργία με πετρέλαιο στη λειτουργία με αέριο καύσιμο και αντίστροφα. Η λειτουργία των συγκεκριμένων μηχανών βασίζεται στον κύκλο του Otto όταν λειτουργεί με αέριο. Το αέριο αναμιγνύεται με τον αέρα πριν τις βαλβίδες εισόδου κατά την είσοδο του αέρα. Μετά τη φάση συμπίεσης το μίγμα αέρα/ αερίου αναφλέγεται από μια μικρή ποσότητα υγρού καυσίμου ενώ μετά τη φάση εργασίας ανοίγουν οι βαλβίδες των απαερίων και ο κύλινδρος αδειάζει από τα απαέρια. Οι βαλβίδες εισόδου αέρα ανοίγουν όταν κλείνουν οι βαλβίδες εξόδου των απαερίων και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Κατά τη λειτουργία της μηχανής το υγρό καύσιμο χρησιμοποιεί τη συμβατική διαδικασία της μηχανής diesel.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των τετρακύλινδρων μηχανών διπλής καύσης αερίου- πετρελαίου, αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

ABSTRACT

Modern internal combustion engines have an efficiency up to 50% and applied in a wide range of applications which include the ship engines. In ships important role have the dual fuel combustion engines in which the machine can be alternate from the gas mode to diesel mode and vice versa.

The operation of those engines based on Otto cycle with gas as working fluid. The gas is mixed with air before the inlet valves and the income of air. After the compression phase the air/gas mixture is ignited by a small quantity of liquid fuel and after the working phase the exhaust valves are opening and the cylinder is emptied of the waste gas.

The air inlet valves open when exhaust valves are closed and the process is repeated. During the engine operation the liquid fuel follows the conventional process of diesel engine.

In this work the basic principles of four stroke dual fuel engines with diesel or natural gas as fuel are presented. The basic functional characteristics of these engines are presented and listed their advantages and disadvantages.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι σύγχρονες μεγάλες μηχανές εσωτερικής καύσης παρουσιάζουν ηλεκτρικές αποδόσεις που φτάνουν στο 50%. Οι συγκεκριμένες μηχανές βρίσκουν μεγάλο εύρος εφαρμογών που εκτός από τις μονάδες παραγωγής ισχύος περιλαμβάνουν και τις μηχανές πλοίων. Σε αυτές σημαντικό ρόλο έχουν οι μηχανές διπλής καύσης στις οποίες η μηχανή μπορεί να εναλλάσσεται από τη λειτουργία με πετρέλαιο στη λειτουργία με αέριο καύσιμο και αντίστροφα. Κατά την εναλλαγή που είναι πολύ περιορισμένη χρονικά το καύσιμο πετρέλαιο αντικαθίσταται από το αέριο ενώ σε μια τυχαία διακοπή της λειτουργίας της μηχανής η μηχανή επανέρχεται στη λειτουργία της με πετρέλαιο.

Η λειτουργία των συγκεκριμένων μηχανών βασίζεται στον κύκλο του Otto όταν λειτουργεί με αέριο. Το αέριο αναμιγνύεται με τον αέρα πριν τις βαλβίδες εισόδου κατά την είσοδο του αέρα. Μετά τη φάση συμπίεσης το μίγμα αέρα/ αερίου αναφλέγεται από μια μικρή ποσότητα υγρού καυσίμου ενώ μετά τη φάση εργασίας ανοίγουν οι βαλβίδες των απαερίων και ο κύλινδρος αδειάζει από τα απαέρια. Οι βαλβίδες εισόδου αέρα ανοίγουν όταν κλείνουν οι βαλβίδες εξόδου των απαερίων και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Κατά τη λειτουργία της μηχανής με το υγρό καύσιμο χρησιμοποιεί τη συμβατική διαδικασία της μηχανής diesel.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των τετρακύλινδρων μηχανών διπλής καύσης αερίου- πετρελαίου. Συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βασική αρχή λειτουργίας των μηχανών εσωτερικής καύσης και δίνονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο η εργασία εστιάζει στις σύγχρονες δίχρονες μηχανές εσωτερικής καύσης και στις εφαρμογές της ενώ στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των τετρακύλινδρων μηχανών διπλού καυσίμου. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία λειτουργίας τους και αναλύονται οι εφαρμογές τους και ιδιαίτερα οι εφαρμογές τους ως μηχανές στα πλοία. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι θερμικές μηχανές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια συχνά με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου άξονα. Η χημική ενέργεια του καυσίμου αρχικά μετατρέπεται σε θερμική σε όρους καύσης ή οξείδωσης με τον αέρα μέσα στη μηχανή. Αυτή η θερμική ενέργεια αυξάνει τη θερμοκρασία και την πίεση των αερίων μέσα στη μηχανή και το αέριο υψηλής πίεσης στην συνέχεια εκτονώνεται στους μηχανικούς μηχανισμούς της μηχανής. Αυτή η εκτόνωση μετατρέπεται από τις μηχανικές συνδέσεις της μηχανής σε έναν περιστρεφόμενο άξονα που είναι η έξοδος της μηχανής.

Ο άξονας αντίθετα συνδέεται σε ένα μηχανισμό μετάδοσης ισχύος που μετατρέπει την περιστρεφόμενη μηχανική ενέργεια στις επιθυμητές χρήσεις. Οι περισσότερες μηχανές εσωτερικής καύσης είναι παλινδρομικές μηχανές που έχουν έμβολα που παλινδρομούν προς τα πίσω και ωθούνται στους κυλίνδρους εσωτερικά στις μηχανές.

Η αρχική ανάπτυξη των μηχανών εσωτερικής καύσης ξεκίνησε στα τέλη του 1800 και συμβαδίζει με την ανάπτυξη του αυτοκινήτου. Τα πρώτα ιστορικά στοιχεία για τις μηχανές εσωτερικής καύσης και τα αυτοκινούμενα αυτοκίνητα χρονολογούνται από το 1600[1]. Τα περισσότερα από αυτά τα πρώτα αυτοκίνητα ήταν ατμοκινούμενα που ποτέ δεν έφτασαν στο στάδιο των πρακτικά λειτουργικών αυτοκινήτων. Οι κύριες εξελίξεις στις σύγχρονες ατμομηχανές και κατά συνέπεια και η ατμομηχανή των σιδηροδρόμων πραγματοποιείται στο τελευταίο μισό του 1700 και στις αρχές του 1800. Την ίδια περίοδο αρχίζουν να χρησιμοποιούνται οι μηχανές εσωτερικής καύσης και στα πλοία.

1.1 Ιστορική αναδρομή

Κατά το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν πολλές διαφορετικές μορφές μηχανών εσωτερικής καύσης. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτών

των μηχανών ήταν πως λειτουργούσαν με χρήση πολλών μηχανικών συστημάτων και κύκλων μηχανών.

Η πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης δημιουργήθηκε το 1860 από τον Lenoir ενώ μαζικά κατασκευάστηκαν τέτοιες μηχανές την επόμενη δεκαετία που είχαν ισχύ μέχρι και 4,5 kW και μηχανική απόδοση μεγαλύτερη από 5%. Το 1867 ο Otto δημιούργησε τη μηχανή Otto με βελτιωμένη απόδοση κατά 11% και η οποία ήταν μια μηχανή που λειτουργούσε με ατμοσφαιρικό αέρα με το κτύπημα ισχύος να ωθείται από την ατμοσφαιρική πίεση που λειτουργούσε αντί του κενού.

Την ίδια περίοδο οι μηχανές λειτουργούσαν στον βασικό τετρακύλινδρο κύκλο όπως και οι σύγχρονες μηχανές και παρά το γεγονός πως πολλοί ερευνητές εργάστηκαν στον σχεδιασμό της τετρακύλινδρης μηχανής επικράτησε η πρότυπη μηχανή του Otto που σχεδιάστηκε το 1876.

Η πρώτη αναφορά των μηχανών εσωτερικής καύσης στα αυτοκίνητα αναφέρεται τη δεκαετία του 1880 ενώ επίσης αυτήν την δεκαετία η δικύλινδρη μηχανή άρχισε να χρησιμοποιείται μαζικά[2].

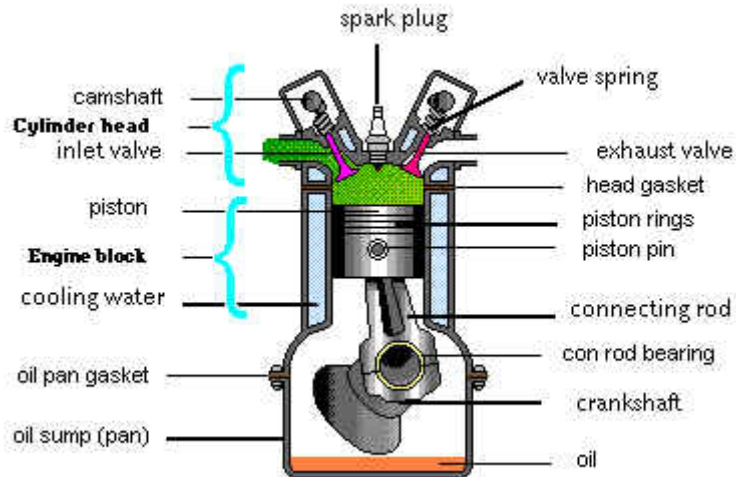
Από το 1892 και ύστερα ο Diesel τελειοποίησε την μηχανή ανάφλεξης στον κύκλο συμπίεσης στον σημερινό κύκλο του Diesel. Αυτός ήταν μετά από πολλά χρόνια που εξέλιξε περισσότερο τον κύκλο με την χρήση στερεών καυσίμων. Οι πρώτες μηχανές ανάφλεξης συμπίεσης ήταν θορυβώδεις μεγάλες, αργές και μονοκύλινδρες αλλά παρά όλα αυτά ήταν πιο αποτελεσματικές από τις μηχανές ανάφλεξης. Οι πολυκυλινδρικές μηχανές ανάφλεξης κατασκευάστηκαν πιο μικρές και χρησιμοποιήθηκαν στα αυτοκίνητα και στα φορτηγά.

1.2 Ταξινόμηση των μηχανών εσωτερικής καύσης

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Ανάλογα με το είδος της ανάφλεξης διακρίνονται σε μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα και σε μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση.

Μια μηχανή ανάφλεξης με σπινθήρα ξεκινάει τη διαδικασία της καύσης σε κάθε κύκλο χρησιμοποιώντας ένα έμβολο δημιουργίας σπινθήρα. Το έμβολο του σπινθήρα δημιουργεί ένα υψηλής τάσης ηλεκτρικό φορτίο ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια που

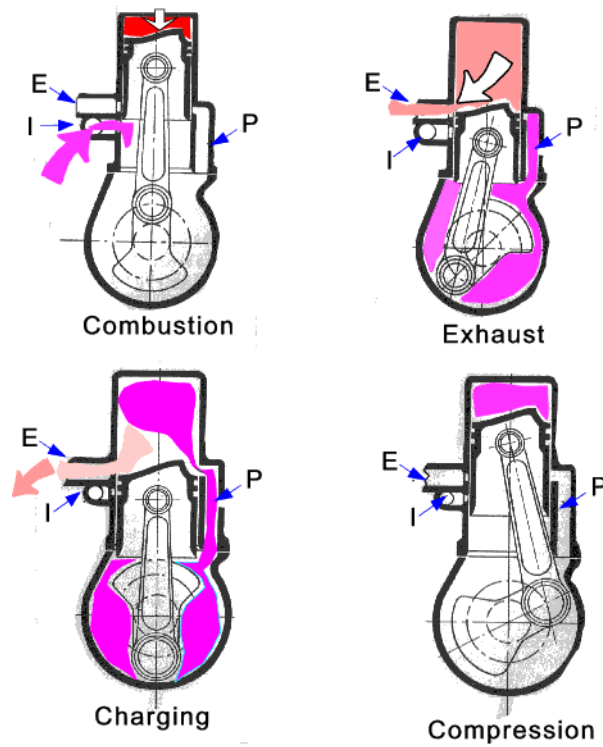
αναφλέγουν το μίγμα αέρα –καυσίμου στο θάλαμο καύσης που περιβάλλει το έμβολο. Στην αρχική ανάπτυξη των μηχανών πριν την ανακάλυψη του ηλεκτρικού σπινθήρα η καύση ξεκινούσε με εξωτερική φλόγα.



Σχήμα 1.1: Τα βασικά μέρη μιας μηχανής ανάφλεξης με σπινθήρα[3]

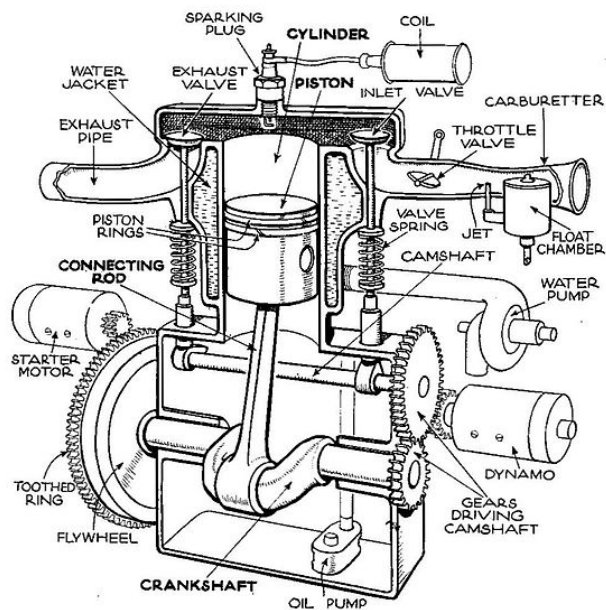
Οι μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση αποτελούν μια μηχανές στις οποίες η διαδικασία της καύσης ξεκινάει όταν το μίγμα αέρα- καυσίμου αυτοαναφλέγεται εξαιτίας της υψηλής του θερμοκρασίας στο θάλαμο καύσης εξαιτίας υψηλής συμπίεσης.

Ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας της μηχανής αυτές διακρίνονται σε τετράχρονες, και δίχρονες. Ένας τετράχρονος κύκλος λειτουργίας περιέχει τέσσερις κινήσεις του εμβόλου σε δύο στροφές του κινητήρα σε κάθε κύκλο ενώ οι δίχρονες μηχανές έχουν δυο κινήσεις του εμβόλου σε μια στροφή του κινητήρα σε κάθε κύκλο.



Σχήμα 1.2: Λειτουργία δίχρονης μηχανής[4]

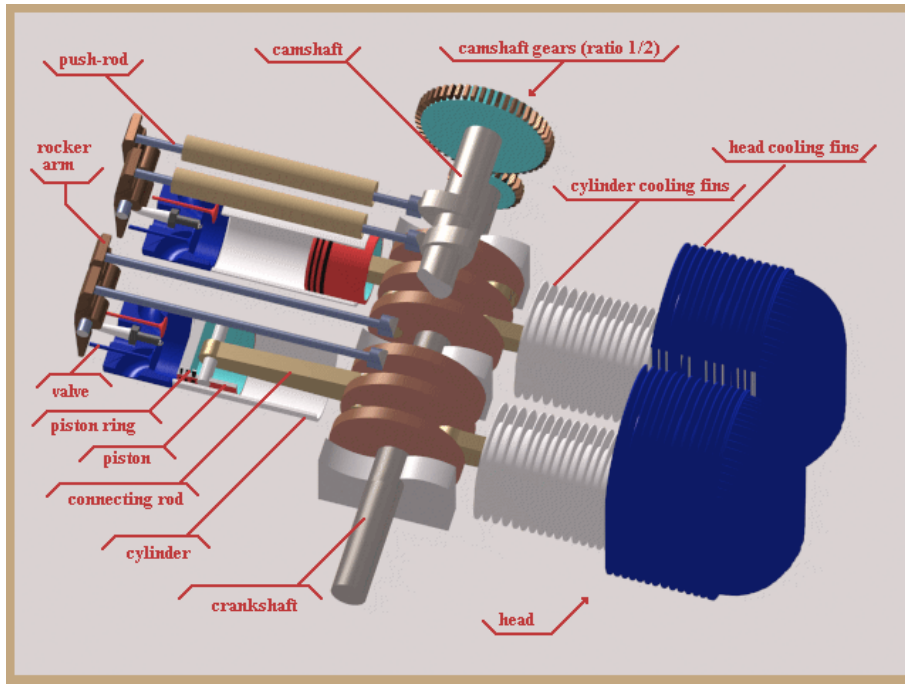
Ανάλογα με τη θέση τοποθέτησης της βαλβίδας διακρίνονται στις I κεφαλής και L κεφαλής. Οι βαλβίδες I κεφαλής είναι μηχανές που έχουν την βαλβίδα στην κεφαλή ενώ οι μηχανές L κεφαλής έχουν επίπεδη κεφαλή και πάνω σε αυτήν τοποθετημένη τη βαλβίδα. Στις πρώτες μηχανές αυτού του τύπου η εσωτερική βαλβίδα ήταν τοποθετημένη στη μια πλευρά του κυλίνδρου και η βαλβίδα καυσαερίων στην άλλη πλευρά. Οι πρώτες αυτές μηχανές ονομάζονταν μηχανές T κεφαλής.



Σχήμα 1.3: Μονόχρονη μηχανή με T κεφαλή

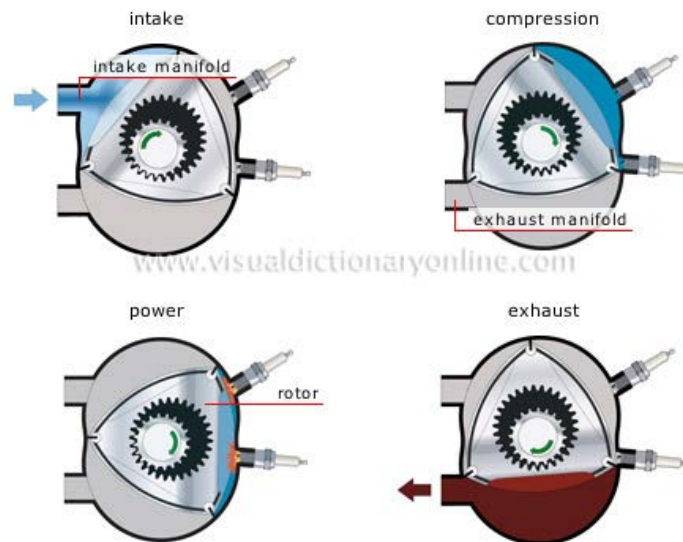
Η λιγότερο συχνή μορφή μηχανής είναι όταν η μια βαλβίδα είναι τοποθετημένη στην κεφαλή και η άλλη στο μπλοκ η οποία ονομάζονται μηχανή κεφαλής F.

Ανάλογα με το σχεδιασμό τους οι μηχανές διακρίνονται σε παλινδρομικές και περιστροφικές. Οι παλινδρομικές μηχανές έχουν έναν ή περισσότερους κυλίνδρους στους οποίους τα έμβολα κινούνται μπρος και πίσω. Ο θάλαμος καύσης είναι τοποθετημένος στο κλειστό άκρο του κάθε κυλίνδρου. Η ισχύς μεταφέρεται σε έναν περιστροφικό άξονα μέσω μιας μηχανικής σύνδεσης με τα έμβολα.



Σχήμα 1.4: Παλινδρομική μηχανή[5]

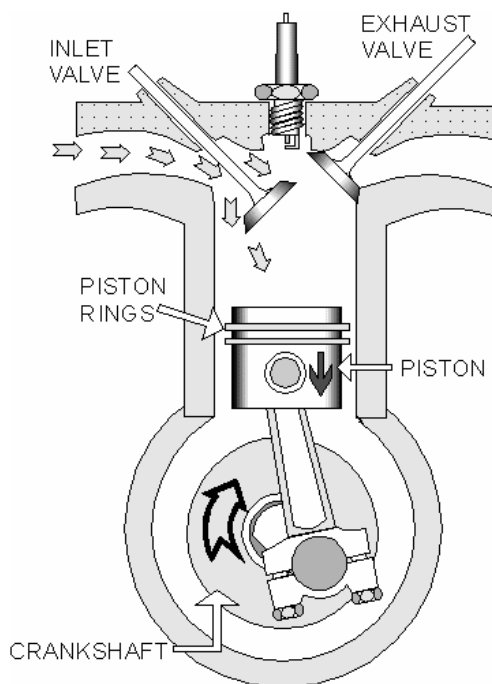
Οι περιστροφικές μηχανές αποτελούνται από έναν στάτορα που δημιουργείται γύρω από έναν μεγάλο μη ομόκεντρο κινητήρα και έναν άξονα. Οι θάλαμοι καύσης τοποθετούνται στο μη περιστρεφόμενο τμήμα της μηχανής.



Σχήμα 1.5: Περιστροφική μηχανή[6]

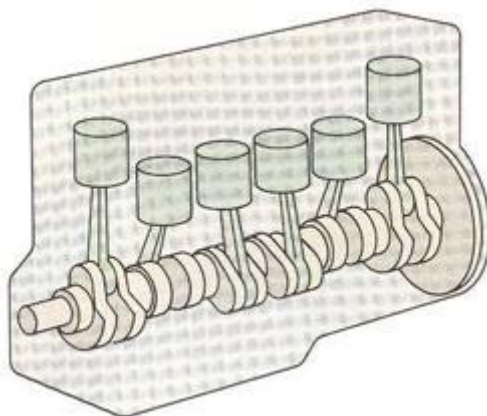
Ανάλογα με τη θέση και τον αριθμό των κυλίνδρων των παλινδρομικών μηχανών αυτές διακρίνονται σε:

A) απλού κυλίνδρου. Η μηχανή έχει έναν κύλινδρο και το έμβολο συνδέεται στον άξονα.



Σχήμα 1.6: Μηχανή απλού κυλίνδρου[7]

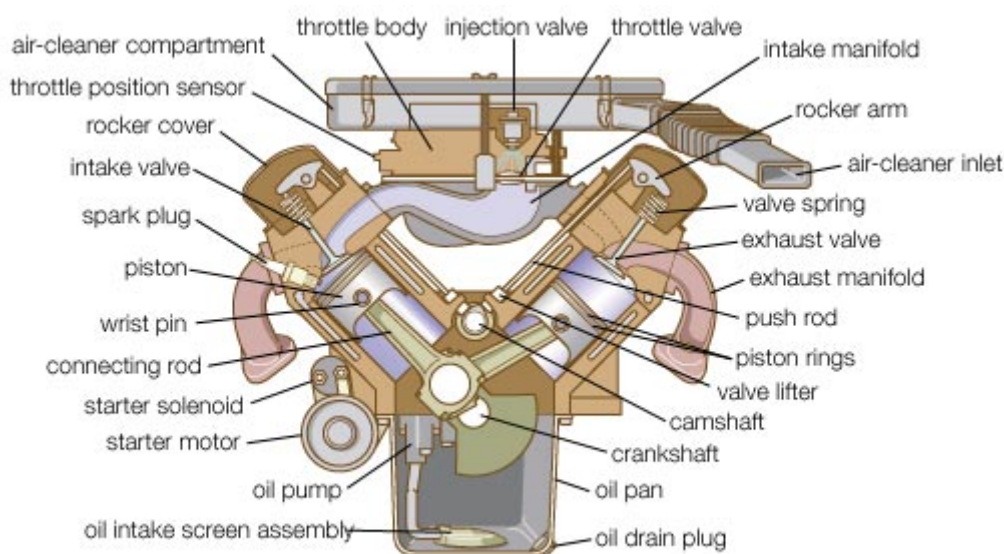
B) ευθύγραμμες. Οι κύλινδροι τοποθετούνται σε ευθεία γραμμή ο ένας πίσω από τον άλλο κατά μήκος του άξονα. Μπορούν να αποτελούνται από 2 έως 11 κυλίνδρους ή και περισσότερους. Οι ευθύγραμμες τετράχρονης μηχανές είναι οι πλέον συνηθισμένες για τα αυτοκίνητα και τις άλλες εφαρμογές ενώ οι ευθύγραμμες εξάχρονης και οκτάχρονης είναι οι κοινές μηχανές των αυτοκινήτων.



Σχήμα 1.7: Ευθύγραμμες μηχανές [8]

Γ) μηχανές τύπου V. αποτελούνται από δύο σειρές κυλίνδρων σε μια γωνία μεταξύ τους κατά μήκος ενός απλού άξονα. Η γωνία ανάμεσα στις σειρές των κυλίνδρων

μπορούν να είναι οπουδήποτε ανάμεσα από τις 15-20° με 60-90°. Οι μηχανές αυτού του είδους έχουν από 2 έως 20 κυλίνδρους.



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Σχήμα 1.8: Μηχανή τύπου V[9]

Δ) μηχανές αντίστροφου κυλίνδρου. Δύο σειρές αντίθετων κυλίνδρων ο κάθε ένας με απλό άξονα. Συναντώνται κυρίως στα μικρά αεροσκάφη και μερικά αυτοκίνητα με δύο έως το πολύ οκτώ κυλίνδρους. Αυτές οι μηχανές συνήθως ονομάζονται επίπεδες μηχανές.

Ε) μηχανές τύπου W. Αυτές είναι οι ίδιες με τις μηχανές τύπου V εκτός από το ότι αποτελούνται από τρεις σειρές κυλίνδρων στον ίδιο άξονα. Συνήθως αποτελούνται από 12 κυλίνδρους με περίπου γωνία 60° ανάμεσα στις σειρές.

ΣΤ) Μηχανές αντίθετων εμβόλων. Στις μηχανές αυτές υπάρχουν δυο έμβολα σε κάθε κύλινδρο με το θάλαμο καύσης στο κέντρο ανάμεσα στα έμβολα. Μια διαδικασία μονής καύσης προκαλεί δύο κτυπήματα την ίδια στιγμή με κάθε έμβολο να απομακρύνεται από το κέντρο και να μεταφέρει ισχύ σε έναν ξεχωριστό άξονα στο τέλος κάθε κυλίνδρου. Η έξοδος της μηχανής είναι είτε σε δυο περιστρεφόμενους άξονες ή σε έναν άξονα που περιέχει πολύπλοκες μηχανικές συνδέσεις.

Ζ) Ακτινικές μηχανές. Αυτές είναι μηχανές με έμβολα τοποθετημένα σε ένα κυκλικό επίπεδο γύρω από τον κεντρικό άξονα. Οι ράβδοι σύνδεσης των εμβόλων συνδέονται σε μια κύρια ράβδο που στη συνέχεια συνδέεται στον άξονα. Μια σειρά κυλίνδρων

πάντα αποτελείται από μονό αριθμό κυλίνδρων που κυμαίνεται από 3 έως 13. Λειτουργώντας σε έναν τετράχρονο κύκλο κάθε ένας από τους κυλίνδρους αναφλέγεται και έχει ένα κτύπημα ισχύος καθώς ο άξονας περιστρέφεται δίνοντας ομαλή λειτουργία.



Σχήμα 1.9: Ακτινική μηχανή [10]

1.3 Τα στοιχεία της μηχανής εσωτερικής καύσης

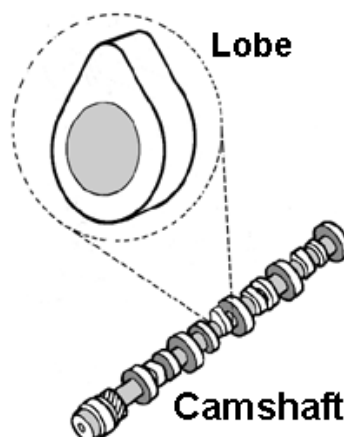
Μια μηχανή εσωτερικής καύσης αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

Τον *κορμό*: Ο κορμός της μηχανής είναι το κύριο μέρος της που αποτελείται από τους κυλίνδρους οι οποίοι κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο ή αλουμίνιο. Στις πιο παλιές μηχανές οι βαλβίδες και οι θύρες των βαλβίδων περιέχονται στον κορμό. Ο κορμός του ψυκτικού κύκλου των μηχανών περιλαμβάνει ένα υδάτινο περίβλημα γύρω από τους κυλίνδρους. Στις αερόψυκτες μηχανές η εξωτερική επιφάνεια του κορμού έχει πτερύγια ψύξης.



Σχήμα 1.10: Κορμός μηχανής [11]

Τον *εκκεντροφόρο άξονα*: Ο περιστρεφόμενος άξονας που χρησιμοποιείται για να σπρώξει τις ανοικτές βαλβίδες στον κατάλληλο χρόνο στον κύκλο της μηχανής είτε άμεσα είτε μέσω της μηχανικής ή της υδραυλικής διαρροής. Στις σύγχρονες μηχανές υπάρχουν ένας ή περισσότεροι εκκεντροφόροι άξονες που τοποθετούνται στην κεφαλή της μηχανής. Οι πιο παλιές μηχανές έχουν τον εκκεντροφόρο άξονα στον στροφαλοφόρο. Οι εκκεντροφόροι άξονες γενικά κατασκευάζονται από χυτογάλυβα ή χυτοσίδηρο και οδηγούν τον στροφαλοφόρο σε όρους μάντα ή αλυσίδας. Για να μειωθεί το βάρος μερικοί οδόντες κατασκευάζονται από έναν κοίλο άξονα με τα έκκεντρα των λοβών να είναι προσαρμοσμένα πάνω τους. Στους τετράχρονους κινητήρες ο εκκεντροφόρος άξονας περιστρέφεται με τη μισή ταχύτητα του κινητήρα.



Σχήμα 1.11: Εκκεντροφόρος άξονας[12]

Το *καρμπυρατέρ*. Πρόκειται για ένα σωλήνα Venturi που μετράει την κατάλληλη ποσότητα καυσίμου στη ροή του αέρα σε όρους διαφοράς πίεσης. Για πολλές δεκαετίες αποτελούσε το βασικό μετρικό σύστημα σε όλες τις μηχανές αυτοκινήτων. Ακόμα χρησιμοποιείται στις μηχανές χαμηλού κόστους όπως οι μηχανές κουρέματος γκαζόν αλλά είναι ασυνήθιστο για τα νέα πλοία.

Τον *καταλυτικό μετατροπέα*. Ο θάλαμος τοποθετείται στη ροή των καυσαερίων που περιέχουν το καταλυτικό υλικό που προωθεί την αναγωγή των απωλειών από τη χημική αντίδραση.

Τον *θάλαμο καύσης*. Το τέλος του κυλίνδρου ανάμεσα στην κεφαλή και στο έμβολο όπου πραγματοποιείται η καύση. Το μέγεθος του θαλάμου καύσης συνεχώς μεταβάλλεται από έναν ελάχιστο όγκο όταν το έμβολο είναι στο TDC σε ένα μέγιστο όταν το έμβολο είναι στο BDC. Ο όρος «κύλινδρος» είναι συνήθως συνώνυμο με το θάλαμο καύσης. Μερικές μηχανές έχουν ανοικτό θάλαμο καύσης που αποτελείται από ένα θάλαμο για κάθε κύλινδρο. Άλλες μηχανές έχουν διαιρεμένους θαλάμους που αποτελούνται από διπλούς θαλάμους σε κάθε συνδεδεμένο κύλινδρο που συνδέεται σε ένα orifice.

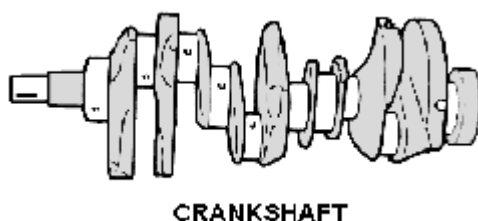
Τη *ράβδο σύνδεσης*. Πρόκειται για μια ράβδο που συνδέεται στο έμβολο με τον περιστρεφόμενο στροφαλοφόρο που συνήθως είναι από χάλυβα ή σφυρηλατημένο κράμα στις περισσότερες μηχανές αλλά σε μερικές μικρές μηχανές μπορεί να είναι από αλουμίνιο.

Τα *ρουλεμάν της ράβδου σύνδεσης*. Ρουλεμάν που συνδέονται στις ράβδους για να επιταχύνουν τους στροφαλοφόρους.

Τα *πτερύγια ψύξης* που είναι μεταλλικά πτερύγια στις εξωτερικές επιφάνειες του κυλίνδρου και στην κεφαλή μιας αερόψυκτης μηχανής. Αυτές οι προατεταμένες επιφάνειες ψύχουν τους κυλίνδρους με αγωγή και συναγωγή.

Το *στροφαλοθάλαμο*. Μέρος του κορμού της μηχανής περιβάλλεται από τον περιστρεφόμενο στροφαλοφόρο. Σε πολλές μηχανές το πετρέλαιο αποτελεί μέρος του περιβλήματος του στροφαλοφόρου.

Το *στροφαλοφόρο άξονα*: Ο άξονας περιστροφής μέσω του οποίου το έργο της μηχανής εξόδου παρέχεται στα εξωτερικά συστήματα. Ο άξονας περιστροφής συνδέεται στον κορμό της μηχανής με τα κύρια ρουλεμάν. Περιστρέφεται από τα παλινδρομικά έμβολα μέσω των ράβδων σύνδεσης που συνδέεται στο στροφαλοθάλαμο από τον άξονα περιστροφής.



Σχήμα 1.12: Στροφαλοφόρος άξονας[12]

Τους *κυλίνδρους*. Οι κυκλικοί κύλινδροι στον κορμό της μηχανής στην οποία τα πιστόνια πάλλονται προς τα μπρος και προς τα πίσω. Τα τοιχώματα των κυλίνδρων έχουν εντελώς λείες επιφάνειες. Οι κύλινδροι μπορούν να υποστούν άμεση μηχανική επεξεργασία στον κορμό της μηχανής ή με σκληρό μέταλλο μπορούν να συμπιεστούν σε μαλακότερους μεταλλικούς κορμούς.

Την *πολλαπλή καυσαερίων*. Πρόκειται για ένα σύστημα σωληνώσεων που μεταφέρει τα καυσαέρια μακριά από τους κυλίνδρους και το οποίο συνήθως κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο.

Οι *κυλινδροκεφαλές* είναι έγχυτες από οζώδη χυτοσίδηρο. Κάθε κεφαλή περιλαμβάνει δύο βαλβίδες εισαγωγής, δύο βαλβίδες εξαγωγής, μία κεντρικά τοποθετημένη βαλβίδα έγχυσης και μία εξαεριστική βαλβίδα. Οι κυλινδροκεφαλές συσφίγγονται ξεχωριστά στο χιτώνιο των κυλίνδρων με τέσσερα μπουζόνια και παξιμάδια υδραυλικής σύσφιξης. Μία μεταλλική φλάντζα στεγανοποιεί το χιτώνιο των κυλίνδρων από την κυλινδροκεφαλή. Ο αέρας καύσης τα καυσαέρια και τα κανάλια νερού συνδέονται σε έναν κοινό αγωγό πολλαπλού σκοπού, ο οποίος συνδέεται στην κυλινδροκεφαλή με έξι βίδες.

Το *σύστημα καυσαερίων* που αποτελεί το σύστημα ροής των καυσαερίων από τους κυλίνδρους προς το περιβάλλον. Αποτελείται από μια πολλαπλή καυσαερίων που μεταφέρει τα καυσαέρια μακριά από τη μηχανή, ένα θερμό ή καταλυτικό μετατροπέα

για να μειωθούν οι απώλειες, ένα σιγαστήρα για να μειώσει το θόρυβο της μηχανής και ένα σωλήνα μεταφοράς καυσαερίων.

Τον *οχετό καυσαερίων*. Πρόκειται για ένα σύστημα σωληνώσεων που μεταφέρει τα καυσαέρια μακριά από τους κυλίνδρους και το οποίο συνήθως κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο.

Τον *ανεμιστήρα*. Οι περισσότερες μηχανές έχουν μηχανοκίνητο ανεμιστήρα προκειμένου να αυξάνεται η ροή του αέρα μέσω του καλοριφέρ και του θαλάμου του κινητήρα που αυξάνει την αποβολή θερμότητας από τη μηχανή. Οι ανεμιστήρες μπορεί να κινούνται μηχανικά ή ηλεκτρικά και είτε να λειτουργούν συνεχόμενα είτε να χρησιμοποιούνται όταν είναι απαραίτητο.

Υπεσυμπίεση και ψύξη αέρα: οι στροβιλοσυμπιεστές είναι τύπου αξονικού στροβίλου(τουρμπίνας). Τα ψυγεία αέρα τροφοδοσίας διαθέτουν στιβαρό πλαίσιο και στους εν σειρά κινητήρες είναι τοποθετημένα πλευρικά του μπλοκ κινητήρα. Στους κινητήρες διάταξης V, το ψυγείο βρίσκεται μπροστά από τη βάση του στροβιλοσυμπιεστή. Ο στροβιλοσυμπιεστής διαθέτει έδρανα χωρίς εγκοπές και συνδέεται στο σύστημα λίπανσης του κινητήρα. Η έξοδος αέρα συνδέεται με τον αγωγό αέρα με μεταλλικά σπινάλ. Ο σωλήνας καυσαερίων μετά το στροβιλοσυμπιεστή πρέπει να διευθετείται σύμφωνα με της οδηγίες εγκατάστασης με σταθερό υποστήριγμα αμέσως μετά το σπινάλ. Ο στροβιλοσυμπιεστής διαθέτει εξαρτήματα καθαρισμού για τον καθαρισμό τόσο του συμπιεστή όσο και του στροβίλου μέσω ψεκασμού νερού.

Το *τιμόνι*. Στον στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής συνδέεται μια περιστρεφόμενη μάζα με μεγάλη ροπή αδρανείας. Ο στόχος του τιμονιού είναι να αποθηκεύει μια μεγάλη στροφορμή που κρατά τον κινητήρα σε περιστροφή ανάμεσα στα κτυπήματα και την εξομάλυνση της λειτουργίας του κινητήρα.

Το *ψυγείο αέρα τροφοδοσίας* είναι αυτοφερόμενο. Το κέλυφος στερεώνεται στο μπλοκ κινητήρα με βίδες στο πλάι του κινητήρα. Το ψυγείο είναι τύπου αυλών. Οι αυλοί διαθέτουν λεπτά πτερύγια ώστε η ψύξη του αέρα να είναι πιο αποτελεσματική. Το νερό ψύξης κυκλοφορεί στους αυλούς, ενώ ο αέρας τροφοδοσίας διέρχεται ανάμεσα από τα πτερύγια στην εξωτερική επιφάνεια των αυλών.

Τον *εγχυτήρα καυσίμου* που είναι ένας εγχυτήρας καυσίμου που ψεκάζει καύσιμο στον εσωτερικό αέρα στις μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα ή μέσα στον κύλινδρο στις μηχανές ανάφλεξης συμπίεσης. Στις μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα οι εγχυτήρες καυσίμου βρίσκονται στις εσωτερικές βαλβίδες εισόδου στα πολλαπλά συστήματα ενώ είναι λίγες οι αντίστοιχες μηχανές που εγχύουν το καύσιμο άμεσα στο θάλαμο καύσης.

Την *αντλία καυσίμου* που είναι ηλεκτροκίνητη ή μηχανοκίνητη και παρέχει το καύσιμο από τη δεξαμενή καυσίμου στην μηχανή. Στα περισσότερα σύγχρονα πλοία η αντλία καυσίμου βρίσκεται στη δεξαμενή καυσίμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΙΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι περισσότερες μηχανές εσωτερικής καύσης τόσο ανάφλεξης όσο και συμπίεσης λειτουργούν σε δίχρονο ή τετράχρονο κύκλο λειτουργίας που αποτελούν μια πρότυπη λειτουργία για όλες τις μηχανές με μικρές διακυμάνσεις που εντοπίζονται σε μεμονωμένες περιπτώσεις. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθεί η αρχή λειτουργίας των δίχρονων μηχανών.

2.1 Αρχή λειτουργίας των δίχρονων μηχανών.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μηχανών εσωτερικής καύσης που στοχεύει στον προσδιορισμό των μικρών μηχανών είναι ο αριθμός των κτυπημάτων του εμβόλου που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος λειτουργίας. Με τον όρο κτύπημα (stroke) του εμβόλου ορίζεται ως η κίνηση του κυλίνδρου από το ένα άκρο στο άλλο άκρο της διαδρομής. Κάθε κτύπημα του εμβόλου γίνεται είτε προς τον στροφαλοφόρο άξονα ή μακριά από αυτόν. Κάθε κτύπημα καθορίζεται από τη λειτουργία που εκτελεί[13].

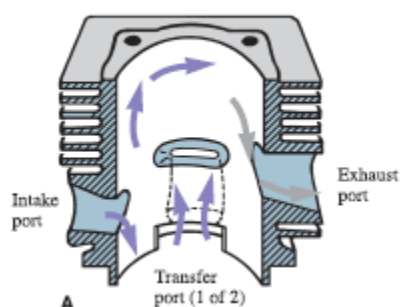
Η δίχρονη μηχανή διαφέρει από την τετράχρονη στον αριθμό των κτυπημάτων του εμβόλου που είναι μόνο δύο. Κατά συνέπεια η είσοδος, η συμπίεση, η ισχύς και τα καυσαέρια απαιτούν μόνο δύο διαδρομές του εμβόλου για να ολοκληρωθούν. Τα δύο κτυπήματα πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια μιας πλήρους περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Κατά συνέπεια, απαιτείται μόνο μια περιστροφή του άξονα προκειμένου να συμπληρωθεί ένας κύκλος λειτουργίας για τη δίχρονη μηχανή.

Μια δίχρονη μηχανή έχει διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις τετράχρονες μηχανές εξαιτίας του συμβατικού εκκεντροφόρου άξονα και των βαλβίδων που δεν απαιτούνται σε αυτές.

Επιπλέον οι δίχρονες μηχανές είναι μικρότερες και ελαφρότερες από τις τετράχρονες με την ισοδύναμη ισχύ. Οι δίχρονες μηχανές απαιτούν την κατάλληλη λίπανση ακόμα και όταν λειτουργούν σε μεγάλες γωνίες και την αποκτούν από την ανάμιξη του καυσίμου με το πετρέλαιο που περνάει μέσα από την μηχανή.

Η διατήρηση των συγκεκριμένων μηχανών στην σωστή λειτουργία τους εξασφαλίζεται μέσα από την εγκατάσταση του κατάλληλου μίγματος καυσίμου και πετρελαίου. Κατά συνέπεια ο προκαθορισμένος τύπος και το είδος της βενζινομηχανής πρέπει να αναμιχθεί με το καύσιμο στην κατάλληλη αναλογία πριν τοποθετηθεί στην δεξαμενή του καυσίμου. Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται συνεχώς καθαρό πετρέλαιο σε όλα τα κινούμενα μέρη ενώ η μηχανή λειτουργεί. Το πετρέλαιο καίγεται στο θάλαμο καύσης και εξέρχεται με τα άλλα αέρια ως καυσαέριο.

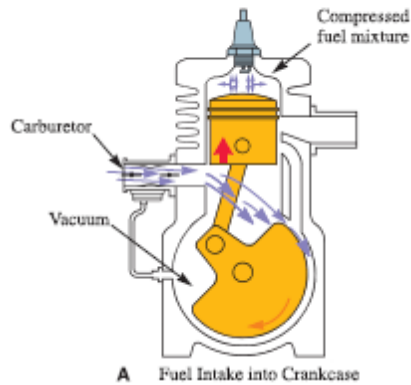
Η τοποθέτηση των εισόδων σε μια δίχρονη μηχανή αποτελεί βασικό στοιχείο για το σωστό χρονισμό της πρόσληψης καυσίμου, μεταφοράς και εξαγωγής του καυσίμου. Ο κύλινδρος αποκοπής μπορεί να έχει τη θύρα εξαγωγής στο υψηλότερο σημείο, δίπλα τη θύρα μεταφοράς και τη θύρα εισαγωγής στο χαμηλότερο σημείο. Μερικές μηχανές όπως αυτές οι κλειστού κύκλου έχουν μόνο μια θύρα εισόδου.



Σχήμα 2.1: Τμήμα του κύλινδρου αποκοπής με τις θύρες εισόδου, εξαγωγής και μεταφοράς σε μηχανές κλειστού βρόγχου.

2.2.1 Είσοδος στο στροφαλοφόρο

Καθώς το έμβολο κινείται προς τα πάνω στον κύλινδρο της δίχρονης μηχανής η πίεση στο στροφαλοφόρο μειώνεται και η θύρα εισόδου εκτίθεται. Επειδή η ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγαλύτερη από την πίεση του στροφαλοφόρου ο αέρας κινείται μέσω του καρμπυρατέρ και μέσα στο στροφαλοφόρο για να εξισορροπηθούν οι πιέσεις.

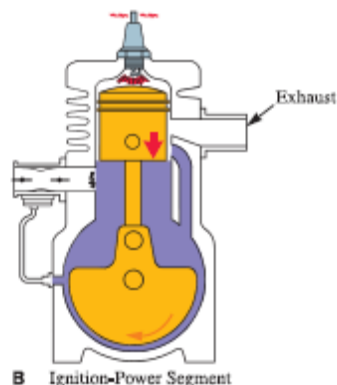


Σχήμα 2.2 Είσοδος καυσίμου στο στροφαλοφόρο[13]

Καθώς ο αέρας περνάει μέσα από το καρμπυρατέρ η είσοδος του αέρα σπρώχνει ένα μέρος του καυσίμου και του αέρα κατά μήκος του. Αυτό το μέρος του μίγματος στο στροφαλοφόρο για να λειτουργήσει ως λιπαντικό στα ρουλεμάν μέχρι το έμβολο να ανοίξει τη θύρα μεταφοράς στην κάτω διαδρομή του εμβόλου.

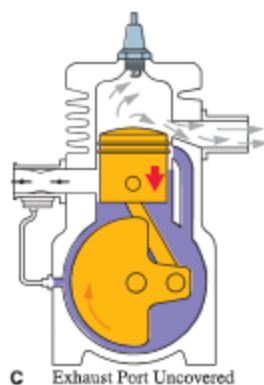
2.2.2 Ισχύς ανάφλεξης

Καθώς το έμβολο κινείται προς τα πάνω το μίγμα αέρα – καυσίμου συμπιέζεται μέσα στον κύλινδρο κατά τον προηγούμενο κύκλο περίπου στο 1/10 του αρχικού όγκου. Ο σπινθήρας είναι προγραμματισμένος να δημιουργηθεί στο μίγμα αέρα καυσίμου όταν το έμβολο φτάσει στο TDC. Σε μερικές μικρές μηχανές ο σπινθήρας δημιουργείται στην έναρξη της μηχανής προκειμένου να πετυχαίνεται καλύτερη καύση σε μεγαλύτερες ταχύτητες.



Σχήμα 2.3: Το σημείο ισχύος ανάφλεξης [13]

Η μέγιστη πίεση καύσης εφαρμόζεται στο έμβολο άμεσα μετά το TDC. Καθώς κινείται προς τα κάτω το έμβολο με τη μέγιστη δύναμη μεταφέρει γραμμική κίνηση μέσω της ράβδου σύνδεσης για να δημιουργήσει περιστροφική κίνηση στο στροφαλοφόρο.



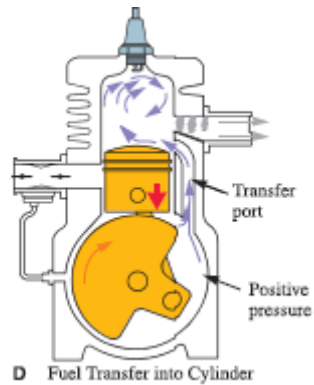
Σχήμα 2.4: Μη καλυμμένη θύρα εξόδου[13]

2.2.3 Εξαγωγή

Στη φάση εξαγωγής καθώς το έμβολο κινείται έτσι ώστε να ανοίξει η θύρα εξόδου απελευθερώνονται τα περισσότερα καυσαέρια. Η πλήρης εξαγωγή των καυσαερίων από τον κύλινδρο και το θάλαμο καύσης πραγματοποιείται όταν οι θύρες μεταφοράς ανοίγουν και εισέρχεται νέο μίγμα αέρα- καυσίμου.

2.2.4 Μεταφορά του καυσίμου

Καθώς το έμβολο κινείται προς τα κάτω συμπιέζει το μίγμα αερίου- καυσίμου. Όταν το έμβολο απομακρυνθεί αρκετά από το κάτω κτύπημα η θύρα μεταφοράς ανοίγει και το μίγμα αέρα- καυσίμου κινείται μέσα στον κύλινδρο. Το νέο φορτίο κινείται μέσα στην περιοχή καύσης και σπρώχνει τα καυσαέρια έξω από τον κύλινδρο ολοκληρώνοντας με αυτόν τον τρόπο ένας κύκλος λειτουργίας.



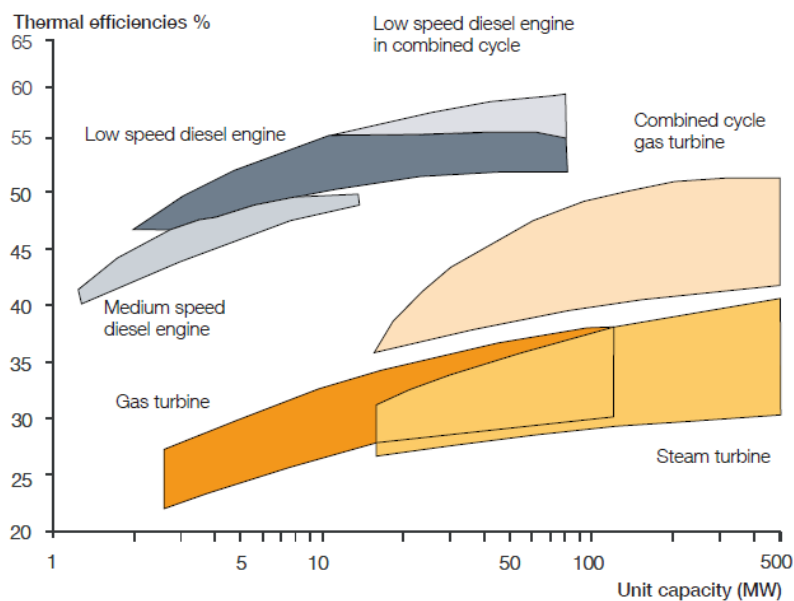
Σχήμα 2.5: Μεταφορά του καυσίμου στον κύλινδρο[13]

Όταν το σύστημα εξαγωγής σχεδιαστεί κατάλληλα έχει τη δυνατότητα να εξάγει όλα τα καυσαέρια από το θάλαμο καύσης. Το σύστημα επιτρέπει στο νέο μίγμα καυσίμου. Το σύστημα επιτρέπει στο νέο φορτίο του καυσίμου να κινηθεί πιο γρήγορα για καθαρότερη και πιο πλήρη καύση.

Για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης το φορτίο του καυσίμου θα διατηρηθεί στιγμιαία στον κύλινδρο ενώ η θύρα εξόδου είναι ανοικτή. Αυτό εμποδίζει το καύσιμο από το να αναμιχθεί στον κύλινδρο μαζί με τα καυσαέρια.

2.3 Η δίχρονη μηχανή diesel για τα πλοία

Στις εφαρμογές των πλοίων οι δίχρονοι κινητήρες diesel είναι πιο αποδοτικοί σε σχέση με τις μηχανές μέσης ταχύτητας, τους αμμοστροβίλους και τους στροβίλους συνδυασμένου κύκλου.

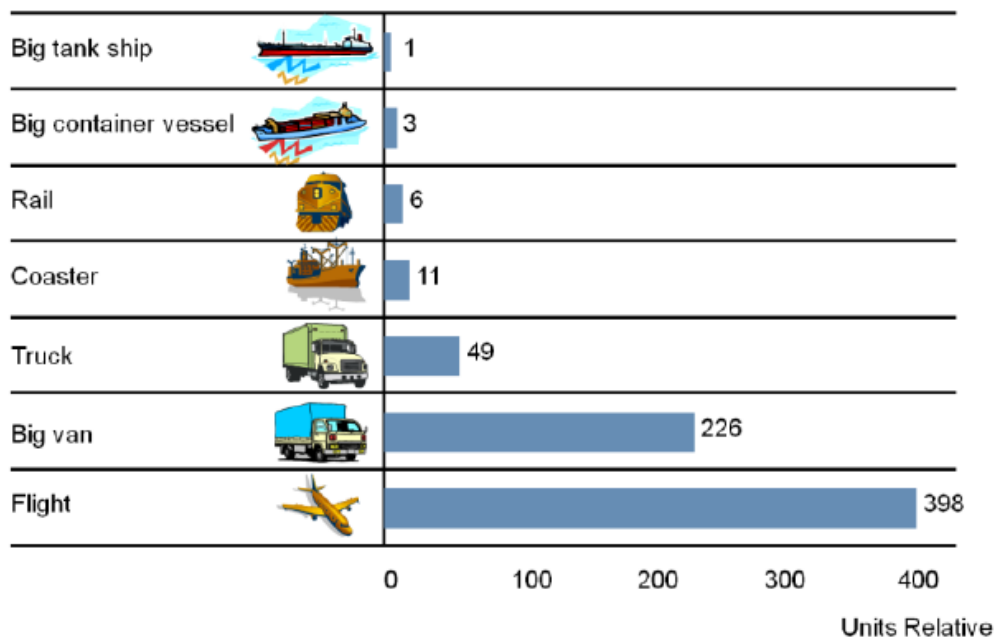


Σχήμα 2.6: Σύγκριση των θερμικών αποδόσεων για τις μηχανές εσωτερικής καύσης[14]

Ένας από τους βασικούς στόχους της ναυπηγικής τα τελευταία χρόνια είναι η μείωση της επίδρασης του CO₂ που δημιουργείται από τις μηχανές των πλοίων προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις του Παγκόσμιου Ναυτιλιακού Οργανισμού για τους εκπεμπόμενους ρύπους.

Από τον Παγκόσμιο Ναυτιλιακό Οργανισμό καθορίζονται δύο δείκτες σχετικά με τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα[15]: τον δείκτη ενεργειακής απόδοσης σχεδιασμού (EEDI) και τον δείκτη ενεργειακής απόδοσης λειτουργίας (EEOI). Ο EEDI χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της απόδοσης της μηχανής και του σχεδιασμού της δεξαμενής και ο EEOI χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της λειτουργίας της μηχανής του πλοίου.

Με δεδομένο ότι η μείωση των απωλειών σε CO₂ είναι ισοδύναμες με την κατανάλωση καυσίμου ο στόχος για τους κατασκευαστές πλοίων είναι να μειωθεί κατά ένα ποσοστό περίπου 30% ανά ταξίδι. Το CO₂ που παράγεται από τα πλοία αντιστοιχεί στο 4% της παγκόσμιας επιβάρυνσης ενώ επιπλέον, τα πλοία σε όρους μεταφοράς ενός τόνου φορτίου ανά μίλι εκπέμπει το λιγότερο CO₂ σε σχέση με όλες τις συμβατικές μορφές μεταφοράς. Αυτές οι τιμές επίσης εφαρμόζονται στην κατανάλωση καυσίμου και τα επίπεδα των υπόλοιπων ρυπογόνων στοιχείων.



Σχήμα 2.7: Σύγκριση απωλειών των διαφόρων μέσων μεταφοράς[15]

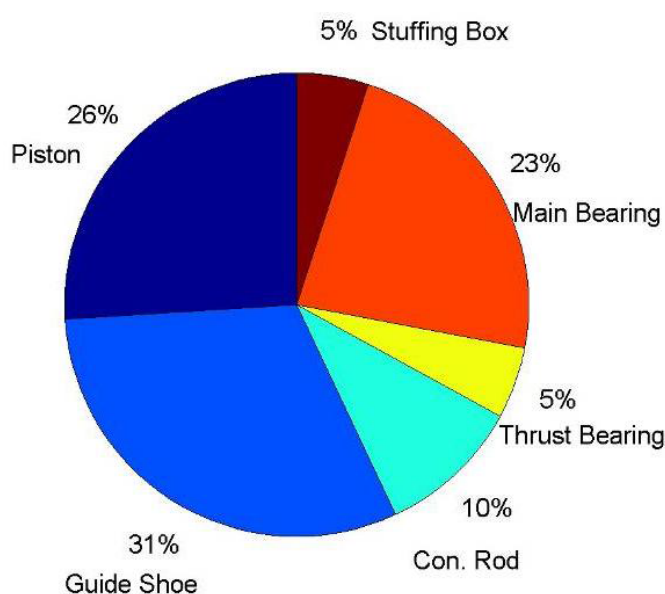
Οι ρυπογόνες ουσίες στα καυσαέρια των δίχρονων μηχανών αποτελούνται από το διοξείδιο του άνθρακα που μειώνεται βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση της μηχανής και κατά συνέπεια την κατανάλωση καυσίμου. Αυτό περιλαμβάνει την βελτίωση παράλληλα της μηχανικής και της θερμικής απόδοσης του πλοίου. Επιπλέον στις ρυπογόνες ουσίες περιλαμβάνονται τα οξείδια του αζώτου, το διοξείδιο του θείου και τα σωματιδιακά υλικά. Τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται κατά την καύση και μπορούν να μειωθούν με τη ρύθμιση του εγχυόμενου καυσίμου, την προσθήκη νερού στο γαλάκτωμα καυσίμου, ύγρανση του αέρα σάρωσης, ανακυκλοφορία των καυσαερίων και επιλεκτική καταλυτική αναγωγή. Το διοξείδιο του θείου μπορεί να μειωθεί με τη χρήση καυσίμου με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο ή με τη χρήση διαδικασιών καθαρισμού. Το σωματιδιακό υλικό προκαλείται από την διάσπαση των πυρήνων και τη συσσωμάτωση του άνθρακα κατά τη καύση του μαζούτ ή του ναυτικού πετρελαίου.

Η συνολική απόδοση των δίχρονων μηχανών κινητήρων στα πλοία εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη διάμετρο της προπέλας. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της προπέλας τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της και τόσο μικρότερη η βέλτιστη ταχύτητα της. Σε σχέση με το βέλτιστο λόγο του βήματος της προπέλας προς τη διάμετρο της η αντίστοιχη ταχύτητα της προπέλας θα μειωθεί και η απόδοση επίσης θα μειωθεί σημαντικά όταν αυξηθεί το βήμα της. Το ίδιο θα συμβεί με τη

μείωση του βήματος της προπέλας αλλά στην περίπτωση αυτή θα αυξηθεί η ταχύτητα της προπέλας.

Η απόδοση της δίχρονης μηχανής ντζέλ που χρησιμοποιείται στα πλοία εξαρτάται επίσης από το λόγο της μέγιστης προς τη μέση πίεση. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συγκεκριμένος λόγος τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απόδοση της μηχανής.

Η μηχανική απόδοση βελτιώνεται με τη μείωση των τριβών σε όλα τα κινούμενα μέρη. Οι βασικοί λόγοι που προκαλούν στη μηχανή ενός πλοίου απώλειες τριβής είναι οι συνδέσεις του δακτυλίου με το έμβολο και τα ρουλεμάν οδήγησης.



Σχήμα 2.8: Αιτίες δημιουργίας απωλειών τριβής[15]

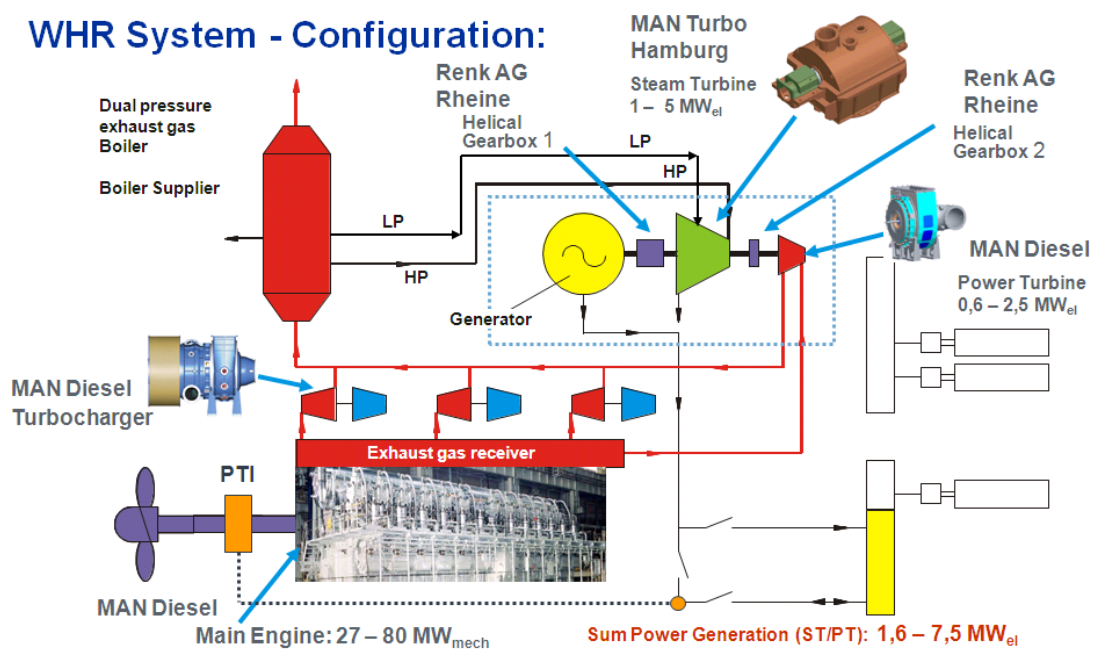
Οι διάφορες τεχνικές και τεχνολογίες που μπορεί να εφαρμοστούν στις σύγχρονες δίχρονες μηχανές πλοίων για τη βελτίωση της θερμικής τους απόδοσης είναι[15]:

Αυτόματη ρύθμιση: η μέθοδος αυτή αποτελεί μια τεχνική ελέγχου που εφαρμόζεται στις μηχανές για να διατηρηθούν οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας κατά τη λειτουργία τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση των μεμονομένων μέγιστων πιέσεων των κυλίνδρων έτσι ώστε αυτές να είναι κοντά στα όρια των μηχανών.

Λειτουργία υπό χαμηλό φορτίο που μπορεί να γίνει στις ηλεκτρονικά ελεγχόμενες μηχανές ενώ, το βέλτιστο «χαμηλό φορτίο» θα βελτιστοποιήσει τη λειτουργία της

μηχανής μειώνοντας την ταχύτητα πλεύσης και κατά συνέπεια την κατανάλωση του καυσίμου.

Ανάκτηση της αποβαλλόμενης θερμότητας μέσω της απώλειας θερμότητας στα καυσαέρια και την μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια για τη χρήση σε δεξαμενές μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου στις βοηθητικές μηχανές κατά 10%.



Σχήμα 2.9 Παράδειγμα δίχρονης μηχανής σε πλοία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

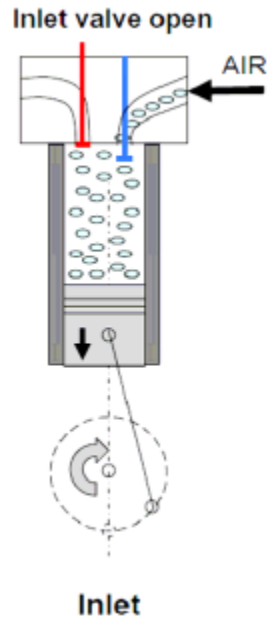
ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ

Οι τετράχρονες μηχανές απαιτούν τέσσερα «κτυπήματα» - διαδρομές του εμβόλου για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος λειτουργίας. Τα βήματα της τετράχρονης λειτουργίας είναι: η διαδρομή εισόδου, η διαδρομή συμπίεσης, η διαδρομή ισχύος και η διαδρομή εξαγωγής. Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων μηχανών και ειδικότερα στη λειτουργία τους σε πλοία.

3.1 Αρχή λειτουργίας των τετράχρονων μηχανών

Στη φάση της διαδρομής εισόδου το έμβολο κινείται προς τα κάτω στον κύλινδρο και αυξάνεται ο όγκος από πάνω από το έμβολο. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μερικό κενό που οδηγεί το μίγμα αέρα-καυσίμου μέσω της βαλβίδας εισόδου και στο εσωτερικό του κυλίνδρου.

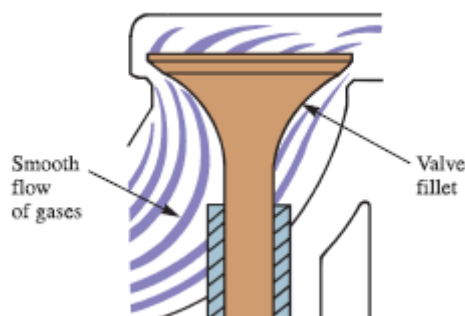
Όταν η βαλβίδα εισόδου είναι ανοικτή στη διαδρομή εισόδου ο αέρας κινείται μέσα στο καρμπυρατέρ εξαιτίας της ατμοσφαιρικής πίεσης δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη ώθηση στην εισαγωγή του μίγματος αέρος – καυσίμου. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του κυλίνδρου και η διαδρομή του εμβόλου τόσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αέρα που εισέρχεται στη διαδρομή εισόδου.



Σχήμα 3.1: Η διαδρομή εισόδου σε μια τετράχρονη μηχανή[16]

Οι βασικές λειτουργίες της βαλβίδας εισόδου είναι:

- Πρέπει να ανοίγει την κατάλληλη στιγμή για να επιτρέπει την είσοδο του μίγματος αέρα – καυσίμου
- Πρέπει να κλείνει την κατάλληλη στιγμή και να είναι στεγανή κατά τη διάρκεια της συμπίεσης.
- Το σχήμα της πρέπει να είναι κατάλληλο έτσι ώστε η ροή των αερίων στο θάλαμο καύσης να μη διαταράσσεται.

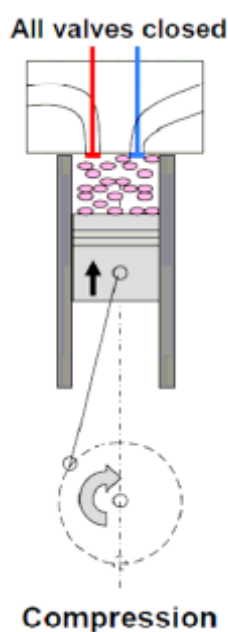


Σχήμα 3.2: Το σχήμα της βαλβίδας εισόδου [13]

Οι βαλβίδες εισόδου δεν λειτουργούν σε μεγάλες θερμοκρασίες όπως οι βαλβίδες εξαγωγής και κατά τη λειτουργία τους τείνουν να ψύχουν το εισερχόμενο μίγμα αέρα- καυσίμου.

Η διαδρομή συμπίεσης δημιουργείται από την προς τα πάνω κίνηση του εμβόλου στον κύλινδρο. Η συμπίεση είναι μια ενέργεια συμπίεσης που πραγματοποιείται όταν και οι δύο βαλβίδες είναι κλειστές. Σε αυτήν τη διαδρομή οι βαλβίδες είναι στεγανοποιημένες και οι δακτύλιοι εμβόλου εμποδίζουν τις διαρροές προς το έμβολο.

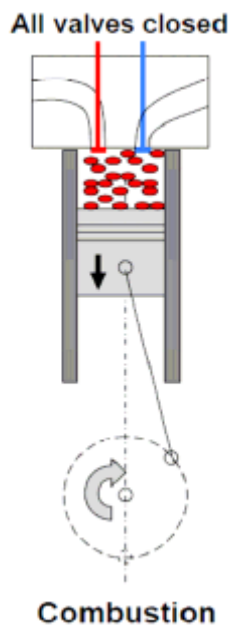
Καθώς το έμβολο κινείται προς τα πάνω το μίγμα αέρα- καυσίμου συμπιέζεται σε μικρότερο χώρο γεγονός που αυξάνει τη δύναμη της καύσης για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι πως όταν τα άτομα των μορίων του αέρα και του καυσίμου συμπιέζονται μαζί παράγουν θερμότητα. Κάθε μόριο του καυσίμου θερμαίνεται πολύ κοντά στο σημείο ανάφλεξης του και όταν πραγματοποιείται η καύση είναι πρακτικά στιγμιαία και αφορά σε όλο το μίγμα. Ο δεύτερος λόγος που αυξάνεται η δύναμη της καύσης είναι ότι τα συμπιεσμένα μόρια περιέχουν μεγαλύτερη ενέργεια και μπορούν να απομακρυνθούν. Η ενέργεια αυτή μπορεί να συνδυαστεί με την ενέργεια εκτόνωσης της καύσης και ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στο έμβολο.



Σχήμα 3.3: Η διαδρομή συμπίεσης[16]

Κατά τη διαδρομή ισχύος και οι δύο βαλβίδες παραμένουν κλειστές. Καθώς το έμβολο φτάνει στο πάνω μέρος του κυλίνδρου δημιουργείται ηλεκτρικός σπινθήρας ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του σπινθήρα και του εμβόλου που αναφλέγει το μίγμα αέρα- καυσίμου και το έμβολο κινείται προς τα κάτω από τη δύναμη της έκρηξης.

Στην πραγματικότητα το πλήρες φορτίο δεν καίγεται μονομιάς. Η φλόγα αναπτύσσεται έξω από το μπουζί επιταχύνοντας την καύση και αποδίδοντας πίεση στο έμβολο μέσω της διαδρομής ισχύος.

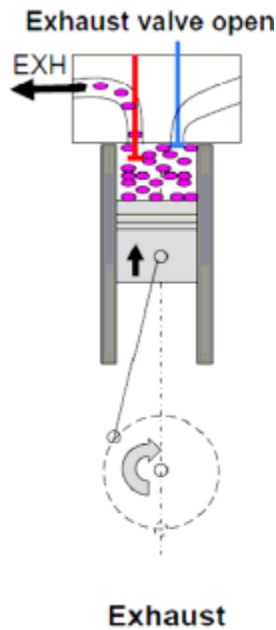


Σχήμα 3.4: Η διαδρομή ισχύος στις τετράχρονες μηχανές[16]

Η καύση και η εκτόνωση του εσωτερικού φορτίου καυσίμου πρέπει να γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και για αυτό στις περισσότερες τετράχρονες μηχανές η ανάφλεξη του καυσίμου γίνεται πριν το έμβολο να φτάσει στο άνω νεκρό σημείο (Top dead center, TDC) της διαδρομής συμπίεσης.

Η ισχύς που παράγεται από τη διαδρομή ισχύος εξαρτάται από τον όγκο του μίγματος αέρα- καυσίμου στον κύλινδρο και το λόγο συμπίεσης στη μηχανή. Ο λόγος συμπίεσης είναι η ανάλογη διαφορά στον όγκο του κυλίνδρου και στο θάλαμο καύσης στο κάτω νεκρό σημείο και στο άνω νεκρό σημείο. Αν ο λόγος συμπίεσης είναι πολύ μεγάλος το καύσιμο πρέπει να θερμανθεί στο σημείο ανάφλεξης κατά τη διαδρομή συμπίεσης και να αναφλεχθεί πολύ γρήγορα.

Αφού το έμβολο ολοκληρώσει τη διαδρομή ισχύος, τα καιόμενα αέρια πρέπει να απομακρυνθούν από τον κύλινδρο πριν εισαχθεί νέο καύσιμο γεγονός που πραγματοποιείται στη διαδρομή εξαγωγής. Η βαλβίδα εξόδου ανοίγει και το αέριο ωθείται προς την έξοδο από το ανερχόμενο έμβολο.



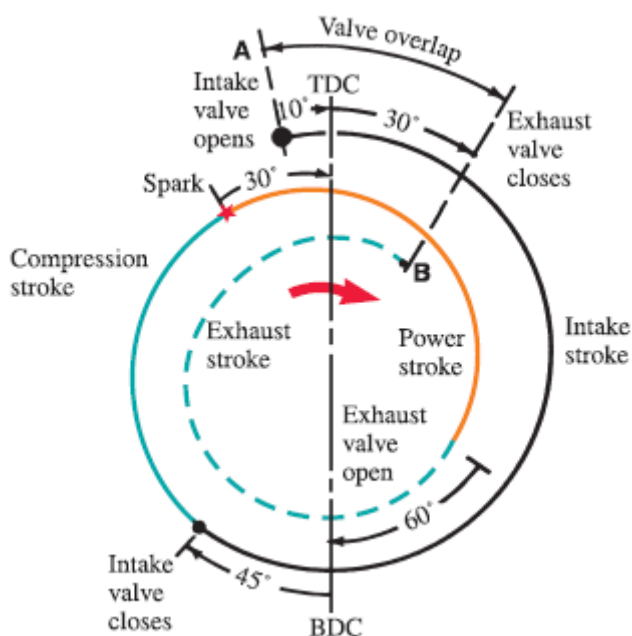
Σχήμα 3.5: Η διαδρομή εξαγωγής στις τετράχρονες μηχανές [16]

Η βαλβίδα εξόδου λειτουργεί παρόμοια με τη βαλβίδα εισόδου. Όταν κλείνει η βαλβίδα πρέπει να στεγανοποιηθεί ενώ όταν είναι ανοικτή πρέπει να επιτρέπει στη ροή των αερίων να εξέρχεται από τη θύρα. Η απομάκρυνση των αερίων αποτελεί την επονομαζόμενη σάρωση. Το πέρασμα μέσα από το οποίο περνάνε τα καυσαέρια αποτελεί την πολλαπλή εξόδου που σχεδιάζεται έτσι ώστε να είναι ομαλή η ροή των αερίων.

Ο χρονισμός της βαλβίδας μπορεί να μετρηθεί σε μοίρες περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Το σημείο στο οποίο ανοίγουν και κλείνουν οι βαλβίδες και βρίσκονται πριν ή μετά το έμβολο αποτελούν το άνω νεκρό σημείο (TCD) ή το κάτω νεκρό σημείο αντίστοιχα (BCD) και είναι διαφορετικό ανάλογα με το είδος της μηχανής.

Σε μια τετράχρονη μηχανή ένας πλήρης κύκλος περιλαμβάνει το αρχικό άνοιγμα της βαλβίδας κατά 10° πριν το άνω νεκρό σημείο και τη διατήρηση της ανοικτή κατά 235° . Η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει στις 30° μετά το άνω νεκρό σημείο ενώ όταν οι δυο βαλβίδες είναι ανοικτές την ίδια στιγμή γίνεται επικάλυψη των βαλβίδων. Κατά τον κύκλο συμπίεσης οι βαλβίδες εισόδου κλείνουν και η ανάφλεξη πραγματοποιείται στις 30° πριν το άνω νεκρό σημείο. Η διαδρομή ισχύος συνεχίζει μέχρι τις 120° πίσω από το άνω νεκρό σημείο. Οι βαλβίδες εξόδου ανοίγουν στις 60° πριν από το κάτω

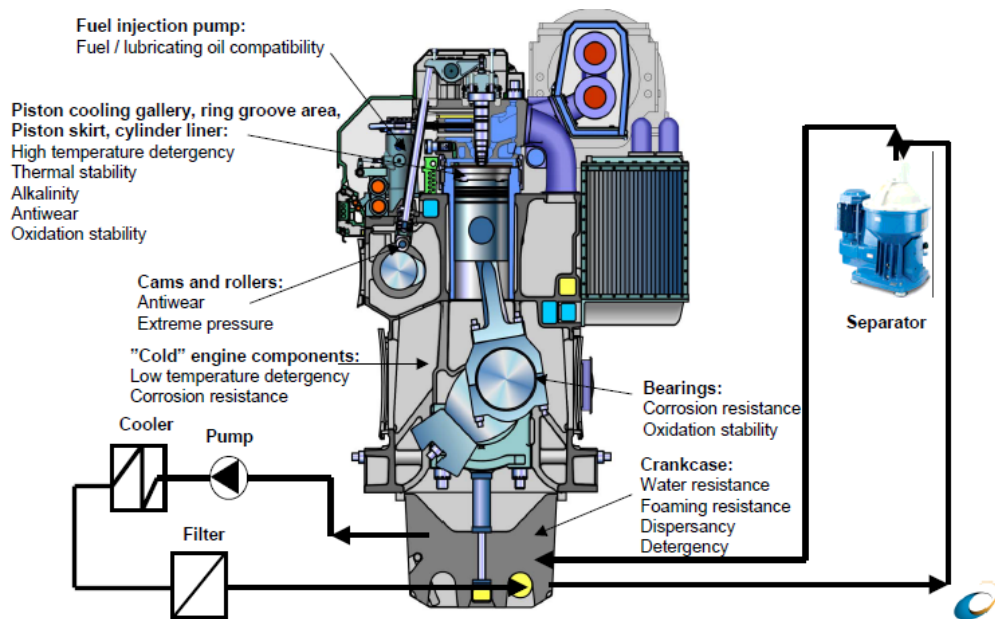
νεκρό σημείο και μένουν ανοικτές έως τις 270°. Στις τελευταίες 40° η βαλβίδα εισόδου είναι επίσης ανοικτή και ξεκινάει ο δεύτερος κύκλος.



Σχήμα 3.6: Ο χρονισμός της βαλβίδας εξόδου σε μια τετράχρονη μηχανή [13]

3.2 Λίπανση των τετράχρονων μηχανών

Η λίπανση των τετράχρονων μηχανών ενισχύεται από την τοποθέτηση της σωστής ποσότητας λαδιού στον στροφαλοφόρο άξονα. Η σωστή λίπανση συνήθως πραγματοποιείται με δύο μεθόδους το σύστημα έγχυσης και το σύστημα άντλησης. Σε πολλές μηχανές χρησιμοποιούνται και τα δύο είδη λίπανσης. Σε αυτήν την περίπτωση η αντλία λαμβάνει το λάδι από το στροφαλοφόρο και το ανακυκλοφορεί κατά ένα μέρος μέσω του φίλτρου και το επαναφέρει πίσω στο στροφαλοφόρο διατηρώντας με αυτόν τον τρόπο μια καθαρή παροχή. Το λάδι επίσης αντλείται μέσω ενός ακροφυσίου προς τον στροφαλοφόρο. Καθώς ο άξονας περιστρέφεται το λάδι αποβάλλεται σε άλλα τμήματα της μηχανής. Μέρος του λαδιού της μηχανής αντλείται μέσω ενός σωλήνα για να επιτευχθεί η λίπανση του κύριου εξοπλισμού πάνω από τη μηχανή.



Σχήμα 3.7: Η επίδραση της λίπανσης στα διάφορα μέρη της μηχανής[16]

Η λίπανση στα διάφορα τμήματα της μηχανής ενός πλοίου έχει τις ακόλουθες επιδράσεις[16]:

Στο έμβολο: η λίπανση προσδίδει υψηλής θερμοκρασίας απορρυπαντικότητα, ενισχύει τη θερμική σταθερότητα, βοηθάει στη διατήρηση της αλκαλικότητας, ενισχύει την σταθερότητα της οξείδωσης του καυσίμου και λειτουργεί ως αντιδιαβρωτικό.

Στους οδόντες και στους κυλίνδρους η λίπανση βοηθάει στην επίτευξη υψηλών πιέσεων ενώ λειτουργεί ως αντιδιαβρωτικό.

Στα ρουλεμάν της μηχανής μέσω της λίπανσης μειώνονται τα φαινόμενα διάβρωσης τους και ενισχύει τη σταθερότητα της οξείδωσης.

Στο στροφαλοφόρο άξονα η λίπανση λειτουργεί προστατευτικά ως προς το νερό και προστατεύει ως προς την διασκορπισιμότητα και την απορρυπαντικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΗΧΑΝΕΣ ΔΙΠΛΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΠΛΟΙΑ

Οι μηχανές διπλού καυσίμου αποτελούν μια ελκυστική εναλλακτική λύση για χρήση στις μηχανές των πλοίων προκειμένου να υπάρχει ακολουθία των διεθνών περιορισμών για τους αέριους ρύπους δεδομένου ότι μειώνουν αισθητά τις απώλειες σε NO_x. Παρόλα αυτά δεν εγκαθίστανται στα σύγχρονα πλοία σε μεγάλη έκταση εξαιτίας του φαινομένου της κρουστικής καύσης ενώ επιπλέον στη λειτουργία τους με diesel η απόδοση των συγκεκριμένων μηχανών είναι μικρή[17].

Οι μηχανές διπλού καυσίμου παρουσιάζουν γενικά μεγάλες αποδόσεις έχουν χαμηλή πίεση αερίου χαμηλές απώλειες που οφείλονται στις υψηλές αποδόσεις και την καθαρότητα του καυσίμου που χρησιμοποιούν. Επιπλέον παρέχουν ευελιξία στο χρησιμοποιούμενο καύσιμο αφού μπορούν να λειτουργούν είτε με αέριο είτε με diesel. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων μηχανών και τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με τις συμβατικές δίχρονες και τετράχρονες μηχανές των πλοίων.

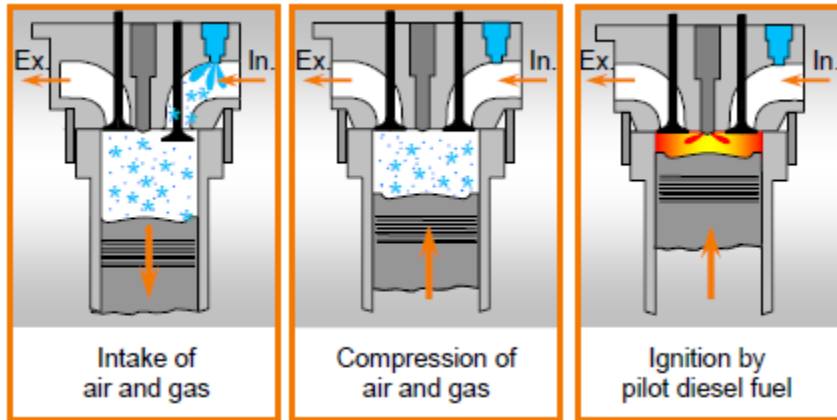


4.1 Αρχή λειτουργίας μηχανών διπλού καυσίμου

Οι μηχανές διπλού καυσίμου είναι συνήθως τετράχρονοι μετατροπείς ισχύος που μπορούν να λειτουργήσουν με φυσικό αέριο (LNG), καύσιμο ντήζελ (marine diesel oil, MDO) και βαριά κλάσματα πετρελαίου (heavy fuel oil, HFO). Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της αξιόπιστης τεχνολογίας των μηχανών διπλού καυσίμου είναι πως η μηχανή μπορεί να εναλλάσσει τη λειτουργία της μεταξύ του πετρελαίου και του αερίου και αντίστροφα. Κατά την εναλλαγή που είναι μικρής χρονικής διάρκειας το καύσιμο πετρέλαιο αντικαθίσταται σταδιακά από το αέριο. Αν η παροχή του αερίου διακοπεί στιγμιαία η μηχανή περνάει από τη λειτουργία του αερίου στην λειτουργία του πετρελαίου σε οποιοδήποτε φορτίο στιγμιαία και αυτόματα. Επιπλέον το ξεχωριστό σύστημα υγρού καυσίμου με το οποίο είναι εφοδιασμένες αυτές οι μηχανές καθιστούν εφικτή την εναλλαγή από το MDO στο HFO και αντίστροφα χωρίς διακοπή της ισχύος[18].

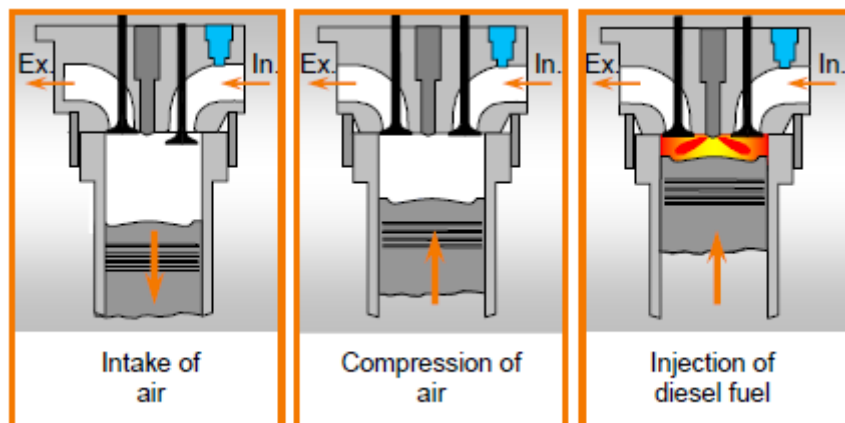
Η εναλλαγή του καυσίμου από το υγρό καύσιμο στο αέριο μπορεί να γίνει με εντολή του χειριστή. Αυτή η ευελιξία της λειτουργίας αποτελεί ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος διπλού καυσίμου. Το φυσικό αέριο παρέχεται στη μηχανή μέσω μιας μονάδας βαλβίδας στην οποία το αέριο φιλτράρεται και μέσω του οποίου ελέγχεται η πίεση. Το σύστημα περιλαμβάνει τους απαραίτητους διακόπτες και τις βαλβίδες αερισμού για να διασφαλίσει την ασφαλή και χωρίς προβλήματα παροχή του αερίου. Στη μηχανή, το αέριο παρέχεται μέσω ενός μεγάλου κοινού συστήματος σωληνώσεων που εκτείνεται κατά μήκος της μηχανής. Κάθε κύλινδρος στη συνέχεια, έχει ένα αυτόνομο σύστημα σωληνώσεων στην βαλβίδα προσθήκης του αερίου στον κύλινδρο. Το σύστημα σωληνώσεων σχεδιάζεται ως διπλό τοιχώματος.

Όταν η μηχανή λειτουργεί με το αέριο το μίγμα αέρα/ αερίου αναφλέγεται με μια μικρή ποσότητα πιλοτικού καυσίμου MDO σε μικρότερη ποσότητα κατά 1% από την πλήρη κατανάλωση καυσίμου.



Σχήμα 4.1: Λειτουργία της μηχανής διπλού καυσίμου στην κατάσταση αερίου[19]

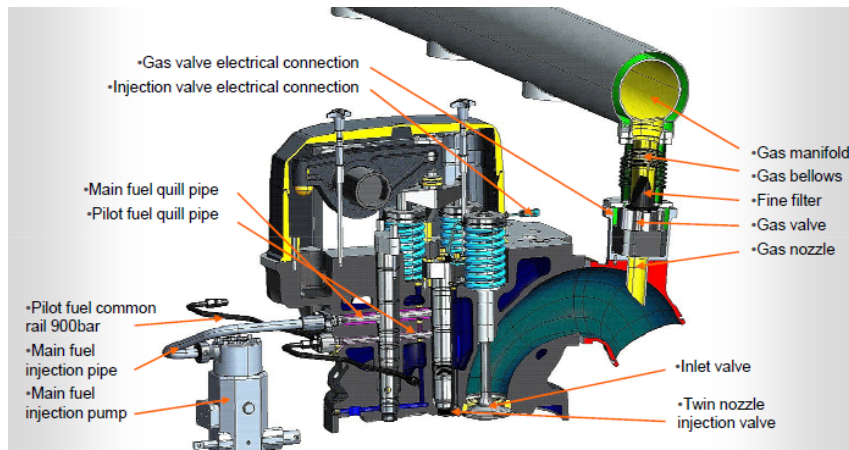
Στην κατάσταση λειτουργίας της μηχανής με καύσιμο diesel η αρχή λειτουργίας βασίζεται στην μηχανή diesel και στην έγχυση του diesel στον κινητήρα.



Σχήμα 4.2: Η λειτουργία της μηχανής διπλού καυσίμου με ντίζελ[19]

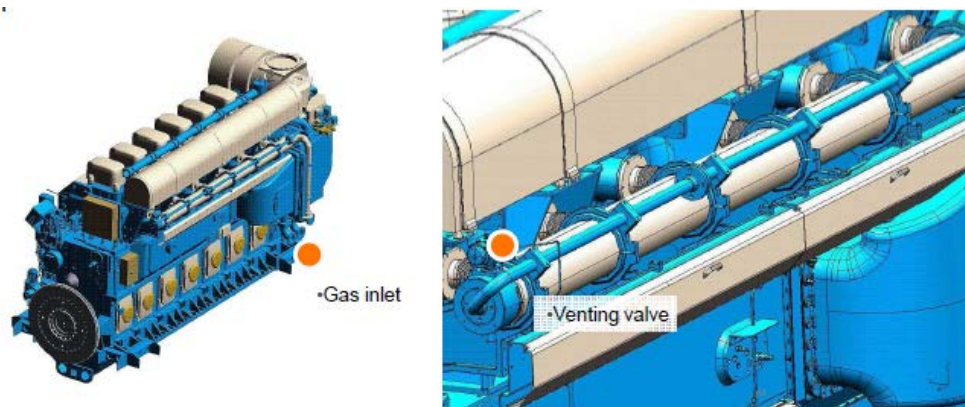
Η ποσότητα του πιλοτικού καυσίμου βελτιστοποιείται για την καλύτερη καύση με την ενσωμάτωση της ταχύτητας και του φορτίου του κινητήρα στο σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης. Το σύστημα αυτοματισμού που χρησιμοποιείται στις συγκεκριμένες μηχανές και το οποίο θα παρουσιαστεί στη συνέχεια παρέχει ένα σύστημα ασφαλείας και παρακολούθησης.

Τα στοιχεία του συστήματος σωληνώσεων διπλού τοιχώματος φαίνονται στο σχήμα 4.3. Τα στοιχεία που το αποτελούν είναι οι ηλεκτρικές συνδέσεις της βαλβίδας αερίου και της βαλβίδας έγχυσης, πολλαπλές αερίου, οι φουσητήρες αερίου, η βαλβίδα αερίου το ακροφύσιο αερίου, η βαλβίδα εισόδου, το διπλό ακροφύσιο της βαλβίδας έγχυσης, ο κύριος σωλήνας έγχυσης καυσίμου και η αντλία έγχυσης του κύριου καυσίμου.



Σχήμα 4.3: Τα βασικά στοιχεία του συστήματος σωληνώσεων των μηχανών διπλού καυσίμου[19]

Συγκριτικά με τις σωληνώσεις μονού τοιχώματος οι απαιτήσεις στο χώρο της μηχανής ως προς το σύστημα ανίχνευσης των αερίων τον εξαερισμό κλπ είναι λιγότερο αυστηρές στις περιπτώσεις των σωληνώσεων διπλού τοιχώματος καθιστώντας το χώρο της μηχανής λιγότερο σύνθετο και πιο οικονομικό στην κατασκευή του.



Σχήμα 4.4: Η είσοδος του αερίου και η βαλβίδα αερισμού στην μηχανή διπλού καυσίμου[19]

4.2 Πλεονεκτήματα των μηχανών διπλού καυσίμου

Οι τετράχρονοι μηχανές διπλού καυσίμου παρουσιάζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μηχανές σπινθήρα[19]:

Απλή μηχανική εφαρμογή της προώθησης

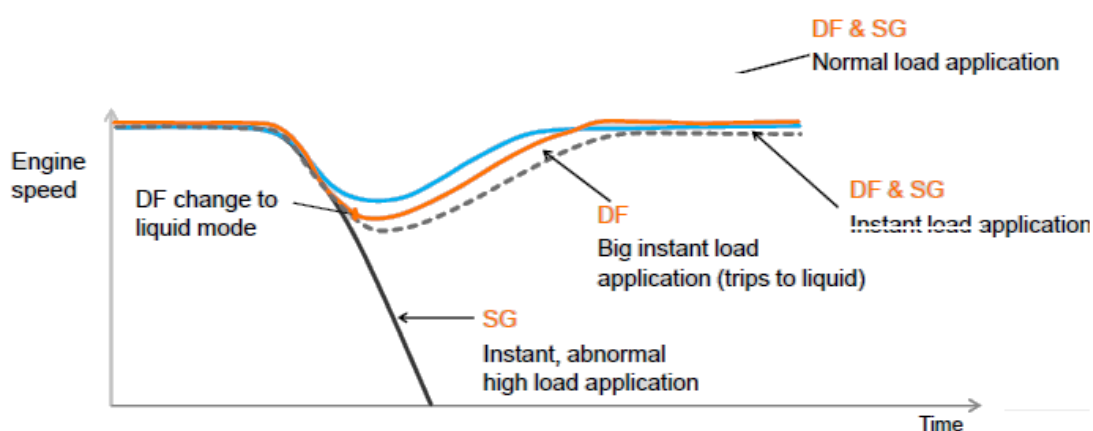
Δίνει τη δυνατότητα της πλήρους ισχύος και στις δύο λειτουργίες

Ίση ικανότητα εφαρμογής φορτίου με τις μηχανές ανάφλεξης σπινθήρα

Το διπλό καύσιμο μπορεί να μεταβάλλει το υγρό καύσιμο στην περίπτωση στιγμιαίου μη κανονικού υψηλού φορτίου και των απαιτήσεων για μη φόρτιση.

Το σημείο εναλλαγής μπορεί να προγραμματιστεί ανάλογα με την εφαρμογή

Οι μηχανές διπλού καυσίμου βελτιώνουν την ασφάλεια σημαντικά.



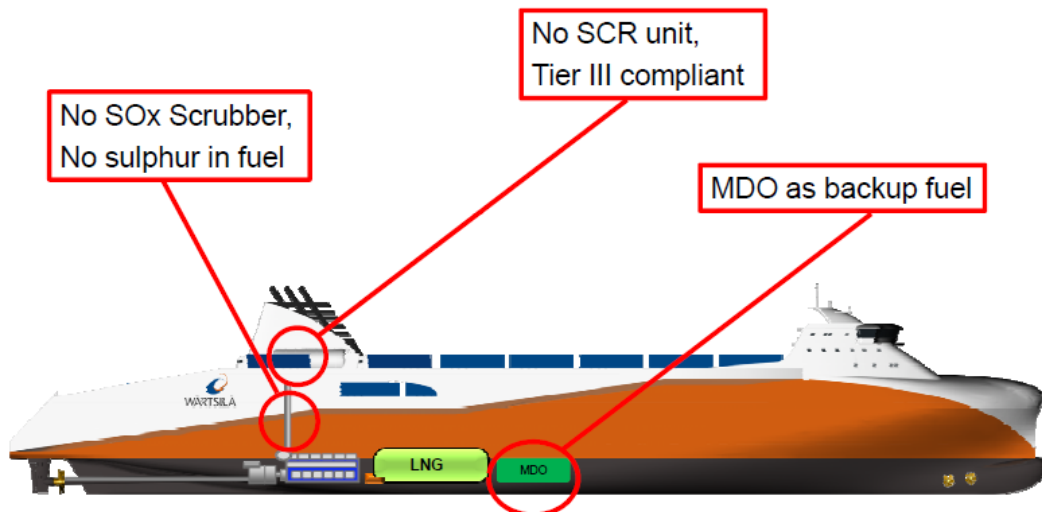
Σχήμα 4.5: Η ταχύτητα της μηχανής συναρτήσει του χρόνου[19]

4.3 Η δεξαμενή της μηχανής διπλού καυσίμου

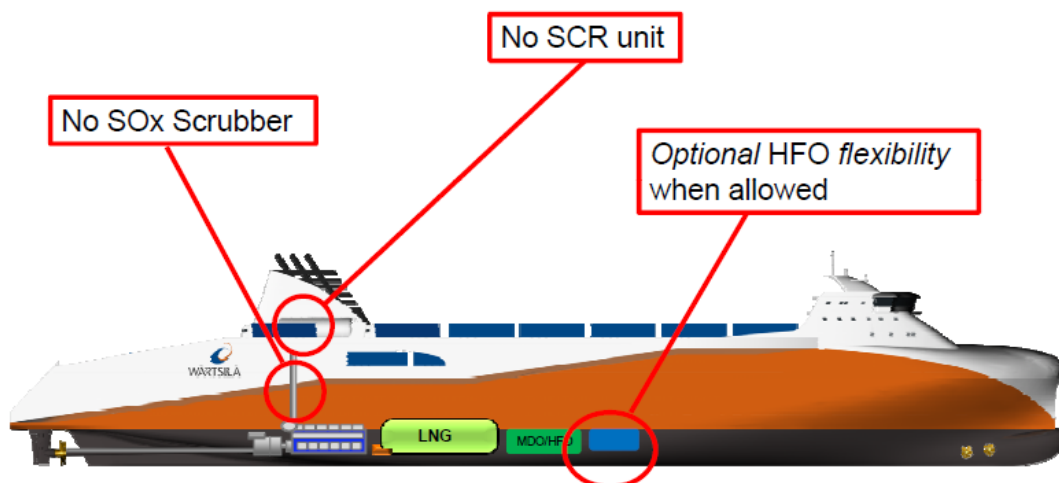
Οι κινητήρες διπλού καυσίμου παρέχουν ασφάλεια κατά τη λειτουργία τους ενώ η αξιοπιστία των μηχανών ντήζελ επιτρέπουν την απλοποίηση των εγκαταστάσεων.

Στις συγκεκριμένες μηχανές επιτρέπεται η ύπαρξη απλής δεξαμενής και συστήματος τροφοδοσίας ενώ δεν απαιτούνται διπλά ζεύγη ντήζελ για την κύρια πρόωση του πλοίου.

Οι μηχανές διπλού καυσίμου χρησιμοποιούν μόνο αέριο καύσιμο στις περιοχές ελέγχου των ρύπων ενώ διατηρούν τα χαρακτηριστικά της αξιοπιστίας και της ασφάλειας των παραδοσιακών μηχανών diesel.



Έξω από τις περιοχές ελεγχόμενων ρύπων η μηχανή μπορεί να λειτουργεί με HFO καύσιμο.



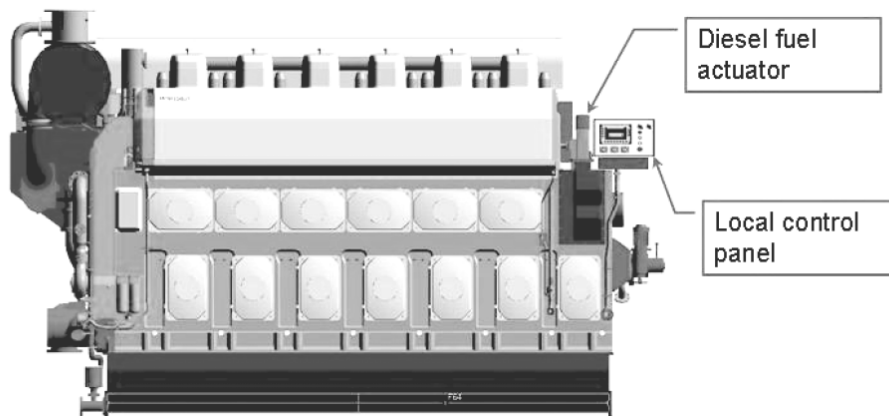
Το HFO μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα ευρύ πεδίο και προκειμένου να διασφαλιστεί η διαθεσιμότητα του καυσίμου και να βελτιωθεί η συνολική οικονομία.

4.4 Σύστημα ελέγχου της μηχανής

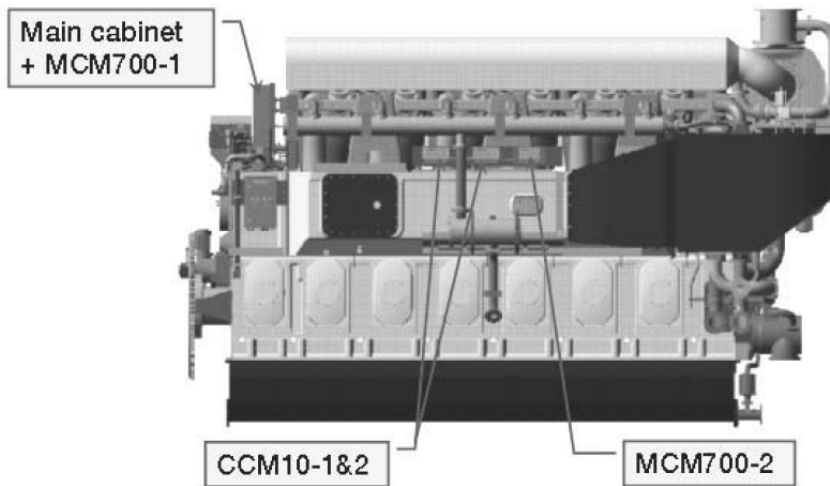
Το σύστημα ελέγχου της μηχανής διπλού καυσίμου αποτελεί ένα σύστημα που μπορεί αποτελεσματικά να ελέγξει και να παρακολουθήσει τις ανάλογες μηχανές. Η δομή αυτών των συστημάτων βασίζεται στα καταναμημένα ηλεκτρονικά στοιχεία και κατά συνέπεια, οι μετρήσεις και οι έλεγχοι πραγματοποιούνται όταν χρειάζεται στις μηχανές. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για τους ακόλουθους σκοπούς[20].

- Τον χειρισμό των αργών στροφών έναρξης και σταματήματος του κινητήρα
- Την εναλλαγή των καυσίμων
- Για τον έλεγχο της επικοινωνίας των συσκευών
- Τη μέτρηση της ταχύτητας
- Την ασφάλεια της μηχανής
- Τον έλεγχο της ταχύτητας και του φορτίου
- Τον έλεγχο της πίεσης και της προσθήκης αερίου
- Τον έλεγχο της πιλοτικής πίεσης και της πιλοτικής έγχυσης
- Τον έλεγχο αέρα/ καυσίμου
- Την εξισορρόπηση των κυλίνδρων και των σταματημάτων της μηχανής
- Για διαγνωστικά

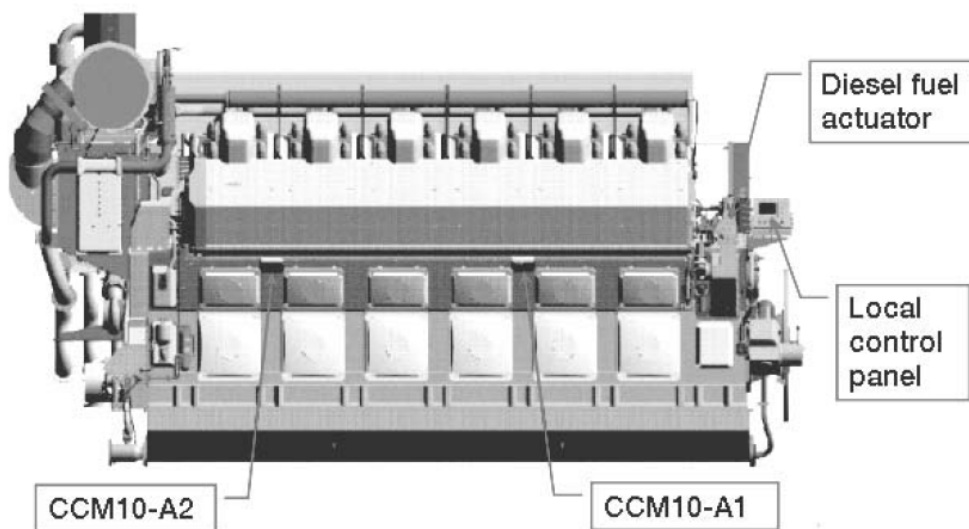
Τα συστήματα ελέγχου αποτελούνται από ένα πλήθος κατανεμημένων ηλεκτρονικών στοιχείων που είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους. Η ακριβής δομή του συστήματος εξαρτάται από τη διαμόρφωση των κυλίνδρων της μηχανής. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μιας διόδου επικοινωνίας που βασίζεται στο δίκτυο του ελεγκτή της περιοχής.



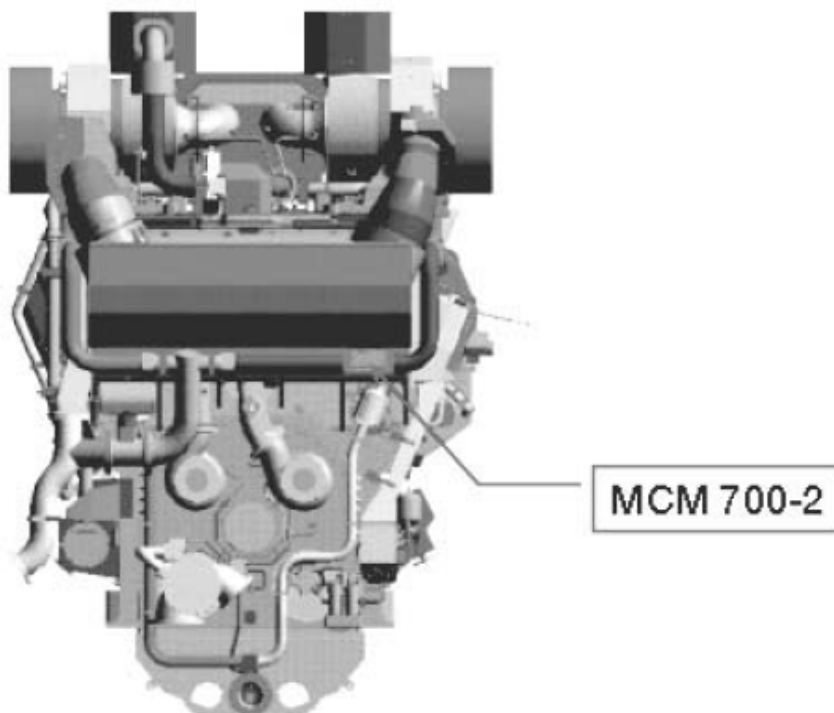
Σχήμα 4.6: Σύστημα ελέγχου στο μπροστινό μέρος ευθύγραμμης μηχανής διπλού καυσίμου[20]



Σχήμα 4.7: Σύστημα ελέγχου στο πίσω μέρος ευθύγραμμης μηχανής διπλού καυσίμου[20]



Σχήμα 4.8: Σύστημα ελέγχου στο μπροστινό μέρος μηχανής τύπου V διπλού καυσίμου[20]



Σχήμα 4.9: Σύστημα ελέγχου στο ελεύθερο μέρος μηχανής τύπου V διπλού καυσίμου[20]

Τα κύρια στοιχεία ενός συστήματος ελέγχου είναι το κύριο στοιχείο ελέγχου, το στοιχείο ελέγχου των κυλίνδρων, ο τοπικός πίνακας ελέγχου, ο ενεργοποιητής ντήζελ και το κουτί διεπιφάνειας καλωδίωσης.

Το κύριο στοιχείο ελέγχου χειρίζεται τις διαδικασίες όλων των στρατηγικών λειτουργιών της μηχανής. Οι κύριες διαδικασίες είναι οι αλληλουχίες έναρξης – σταματήματος της μηχανής, η ασφάλεια της μηχανής και ο έλεγχος καύσης. Με βάση τους αλγόριθμους ελέγχου ταχύτητας / φορτίου, υπολογίζονται η πίεση του αερίου, η προσθήκη του αερίου και οι χρόνοι έγχυσης / χρονισμού του οδηγού καυσίμου. Το κύριο στοιχείο ελέγχου χειρίζεται τις πληροφορίες που στέλνονται από τα υπόλοιπα στοιχεία και στέλνει σήματα αναφοράς στα στοιχεία ελέγχου των κυλίνδρων σχετικά με την προσθήκη αερίου, την ποσότητα του οδηγού καυσίμου και τον χρονισμό.



Σχήμα 4.10: Κύριο στοιχείο ελέγχου σε σύστημα ελέγχου μηχανής διπλού καυσίμου[20]

Τα στοιχεία ελέγχου των κυλίνδρων ελέγχουν την προσθήκη του αερίου και την έγχυση του οδηγού καυσίμου από τις βαλβίδες έγχυσης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο διαμόρφωσης πάχους του παλμού. Κάθε στοιχείο παρέχει τέτοιου είδους σήματα ελέγχου στις τρεις βαλβίδες προσθήκης αερίου και σε τρεις βαλβίδες έγχυσης αερίου. Τα στοιχεία υπολογίζουν τη σχετική διάρκεια έγχυσης και το χρονισμό έγχυσης βασίζεται στις αναφορές που λαμβάνονται από το δίκτυο ελεγχόμενης περιοχής από το κύριο στοιχείο ελέγχου.

Προκειμένου τα στοιχεία ελέγχου των κυλίνδρων να παρέχουν εντολές σημάτων έγχυσης στις σχετικές γωνιακές θέσεις χρειάζεται στα συγκεκριμένα στοιχεία να παρέχονται ακριβείς πληροφορίες για την ταχύτητα της μηχανής και τους αισθητήρες φάσης. Κατά συνέπεια, τα σήματα ταχύτητας και φάσης αποτελούν αναπόσπαστα στοιχεία των στοιχείων ελέγχου των κυλίνδρων. Όλες οι πληροφορίες των στοιχείων ελέγχου του κυλίνδρου στέλνονται στο βασικό στοιχείο ελέγχου μέσω του δικτύου ελεγχόμενης περιοχής.



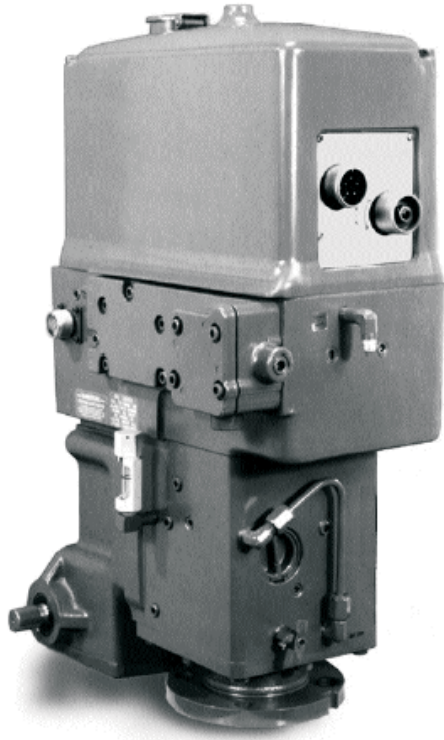
Σχήμα 4.11: Παράδειγμα στοιχείου ελέγχου κυλίνδρων[20]

Σε κάθε μηχανή διπλού καυσίμου υπάρχει ένας τοπικός πίνακας ελέγχου στον οποίο παρακολουθούνται οι περισσότερες καταστάσεις και μετρήσεις της μηχανής και στον οποίο βρίσκονται τα τοπικά κομβία και οι διακόπτες επιλογής. Για την παρακολούθηση των παραμέτρων της μηχανής υπάρχει συνήθως μια ηλεκτρονική μονάδα παρακολούθησης (Local Display Unit, LDU) με ένα πλήθος διακοπών επιλογής λειτουργιών. Επίσης στον τοπικό πίνακα ελέγχου διατάσσονται μηχανικές συσκευές αποθήκευσης της ταχύτητας της μηχανής, της θερμοκρασίας του νερού και της πίεσης λίπανσης. Μέσω της συγκεκριμένης διάταξης μπορεί να δοθούν εντολές για το ξεκίνημα και το σταμάτημα της μηχανής, την επανεκκίνηση της, για απομακρυσμένη λειτουργία, για αύξηση και μείωση της ταχύτητας αλλά και για ειδοποιήσεις έκτακτης ανάγκης.



Σχήμα 4.12: Παράδειγμα τοπικού πίνακα ελέγχου στη μηχανή διπλού καυσίμου[20]

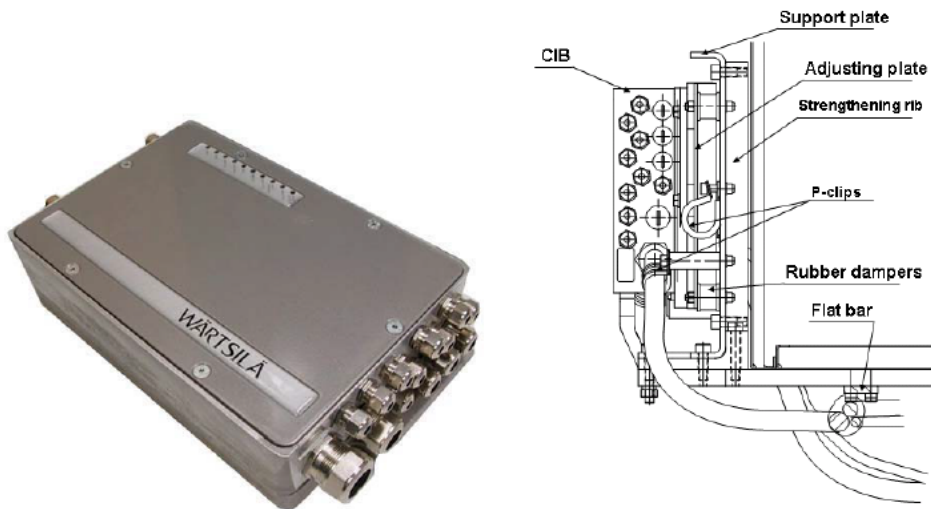
Ο υδραυλικός μηχανικός ενεργοποιητής χρησιμοποιείται στην δευτερεύουσα λειτουργία της μηχανής ή στη λειτουργία της με diesel για να ελέγξει την παροχή καυσίμου στη μηχανή. Ο ενεργοποιητής λαμβάνει ένα σήμα ελέγχου από το κύριο στοιχείο ελέγχου και προσδιορίζει την ποσότητα του καυσίμου.



Σχήμα 4.13: Παράδειγμα ενεργοποιητή ντήζελ στη μηχανή διπλού καυσίμου[20]

Οι καλωδιώσεις σε μια μηχανή διπλού καυσίμου χρησιμοποιούν ένα κουτί διεπιφάνειας καλωδίων (Cabling Interfacing Box, CIB) που λειτουργεί ως μια διεπιφάνεια ανάμεσα στα στοιχεία ελέγχου και τις περιφερειακές συσκευές.

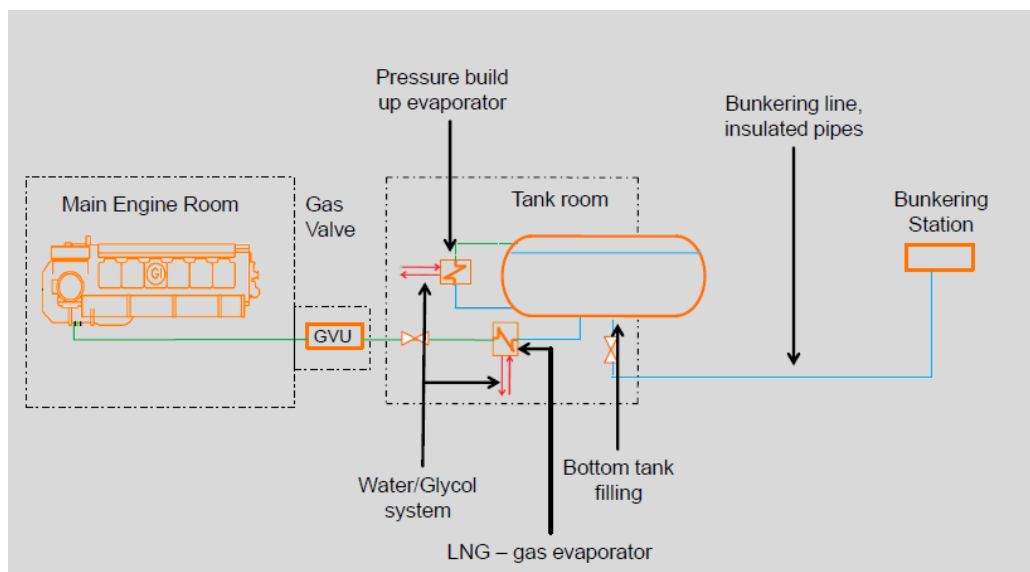
Το CIB είναι μια συμπαγής κατασκευή που είναι τοποθετημένη στο πάνω μέρος των στοιχείων ελέγχου και έχει καλωδιακούς αδένες για τα εξερχόμενα καλώδια και πολλαπλούς δέκτες για τη σύνδεση τους με τα στοιχεία ελέγχου. Εσωτερικά περιέχεται μια ολοκληρωμένη πλακέτα αποτύπωσης.



Σχήμα 4.14: Παράδειγμα CIB στο σύστημα ελέγχου στη μηχανή διπλού καυσίμου[20]

4.5 Μηχανές διπλού καυσίμου με χρήση φυσικού αερίου στα πλοία

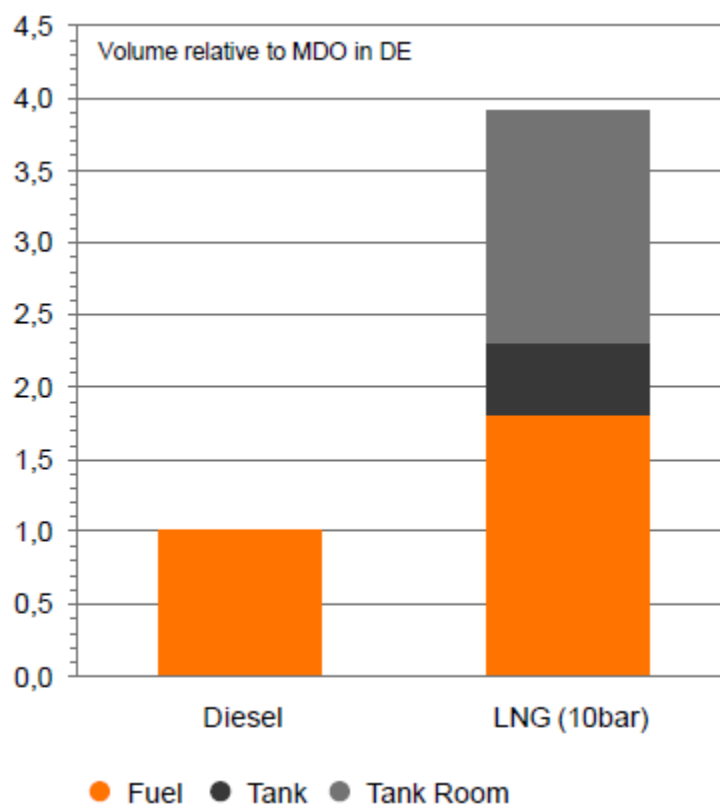
Τα τελευταία χρόνια στο πλαίσιο βελτιστοποίησης των μηχανών διπλού καυσίμου για χρήση στα πλοία και της κάλυψης των περιβαλλοντικών όρων γίνεται προσπάθεια η χρήση του φυσικού αερίου ως καύσιμο.



Σχήμα 4.15: Παράδειγμα εγκατάστασης μηχανής διπλού καυσίμου με καύσιμο φυσικό αέριο[21]

Το βασικό χαρακτηριστικό στη συγκεκριμένη μηχανή είναι η εγκατάσταση της μονάδας βαλβίδας αερίου που μπορεί να τοποθετηθεί στον ίδιο χώρο με τη μηχανή και η οποία έχει συμπαγή σχεδιασμό και είναι εύκολη στην εγκατάσταση. Στην περίπτωση του καύσιμου φυσικού αερίου απαιτείται ο συνδυασμός της με ένα ολοκληρωμένο σύστημα αερισμού.

Με δεδομένο ότι το φυσικό αέριο απαιτεί μεγαλύτερο χώρο αποθήκευσης από το υγρό ντίζελ οι δεξαμενές αποθήκευσης του μπορούν να τοποθετηθούν εξωτερικά του πλοίου.



Σχήμα 4.16: Ανάγκες για χώρο αποθήκευσης μεταξύ του ντίζελ και του φυσικού αερίου [21]

Η εξωτερική αποθήκευση του φυσικού αερίου εξοικονομεί χώρο στο εσωτερικό του πλοίου εξασφαλίζει τον κατάλληλο αερισμό και είναι οπτικά ορατό το φυσικό αέριο για πρόληψη ατυχημάτων.



Σχήμα 4.17: Εξωτερική αποθήκευση φυσικού αερίου σε πλοίο [21]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Αρχή λειτουργίας δίχρονης μηχανής διπλού καυσίμου

Στην δίχρονη μηχανή το αέριο δεν μπορεί να αναμιχθεί με τον αέρα εισόδου

(Σαρωση), γιατί αυτό θα μετατρέψει το χώρο καύσης σε μια τεράστια βόμβα!

Υπάρχουν δύο πιθανές μέθοδοι εισαγωγής του αερίου μέσα στον κύλινδρο:

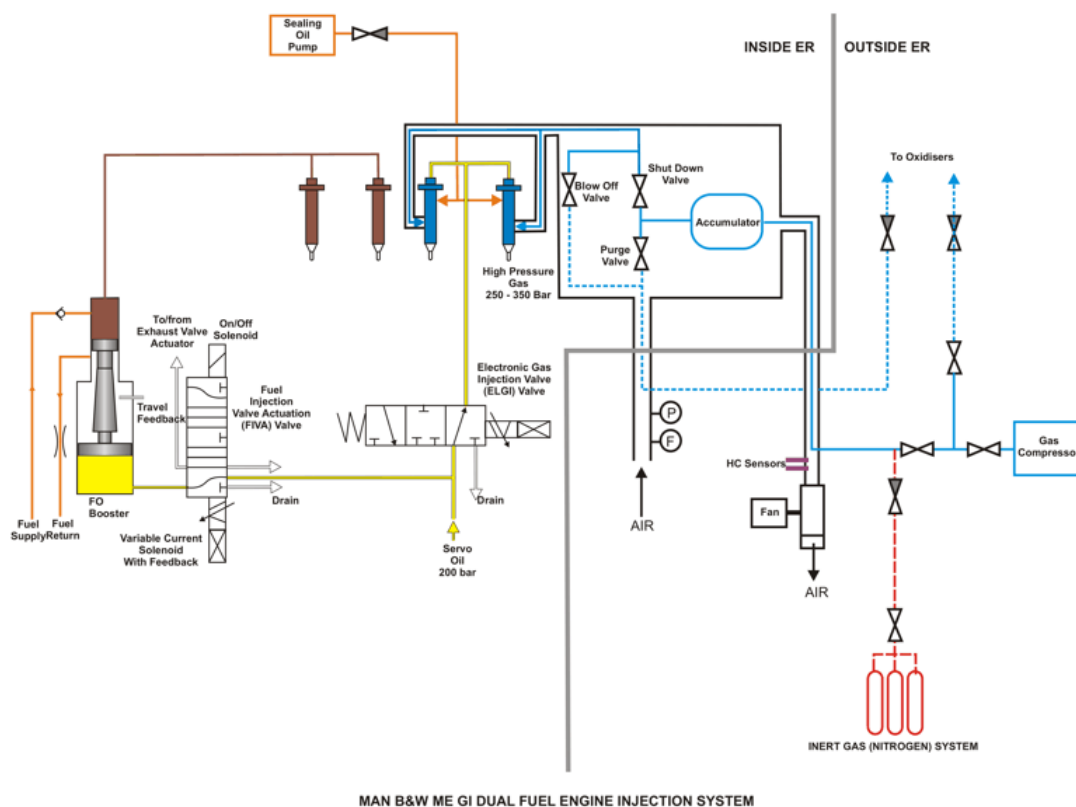
Η πρώτη μέθοδος εισάγει αέριο χαμηλής πίεσης μέσω μιας βαλβίδας εισαγωγής αερίου στην κεφαλή του κυλίνδρου, όταν η βαλβίδα εξαγωγής έχει κλείσει και η πίεση στον κύλινδρο είναι χαμηλή. Το αέριο συμπιέζεται και αναμειγνύεται με τον αέρα και αναφλέγεται από έγχυση καυσίμου πετρελαίου απο πιλοτικό καυστήρα.

Το μειονέκτημα αυτού του συστήματος, αν και απλή, δημιουργεί εκρηκτική καύση και έχει χαμηλή απόδοση.

Η δεύτερη μέθοδος είναι να συμπιέζει το αέριο σε υψηλή πίεση (250-300 bar) και γίνεται η έγχυση εντός του κυλίνδρου μέσω ειδικών εγχυτήρων αερίου στο ίδιο χρόνο με το καύσιμο. Αυτή είναι η μέθοδος που έχει αναπτυχθεί από την MAN B&W στη μηχανή τους ME-GI που είναι βασικά η ηλεκτρονική μηχανή εφοδιασμένη με επιπλέον εξοπλισμό για την έγχυση του αερίου μέσα στον κινητήρα. Ο κινητήρας είναι εφοδιασμένος με βαλβίδες έγχυσης αερίου πέραν των βαλβίδων καυσίμου και επειδή είναι ελεγχόμενη από υπολογιστή μπορεί να κάνει οποιαδήποτε αναλογία αερίου και καυσίμου με μια προκαθορισμένη ελάχιστη ποσότητα καυσίμου.

ΕΓΧΥΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το σύστημα ελέγχου έγχυσης τροποποιείται από την τυπική ηλεκτρονική μηχανή όπως δείχνεται



Σχήμα 4.18 : Δίκτυο έγχυσης αερίου[22]

Το αέριο συμπιέζεται από παλινδρομικών συμπιεστών έως 250 έως 300 bar. Στη συνέχεια ψύχεται και οδηγείται στα μπλοκ βαλβίδων σε κάθε κύλινδρο. Κάθε μπλοκ βαλβίδων ενσωματώνει ένα συσσωρευτή ο οποίος έχει όγκο που αντιστοιχεί σε περίπου 20 φορές το ποσό του αερίου που διοχετεύεται σε λειτουργία με πλήρες φορτίο. Ο σκοπός του συσσωρευτή είναι να ελαχιστοποιηθεί οποιαδήποτε πτώση πίεσης κατά τη διάρκεια της έγχυσης αερίου, και να παρακολουθεί την μικρή πτώση πίεσης, δεδομένου ότι αποτελεί ένα σημαντικό μέρος του συστήματος ασφαλείας κινητήρων.

Ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει σε διάφορες λειτουργίες ανάλογα με τις περιστάσεις.

1. Κανονική διπλού καυσίμου σύμφωνα με την οποία η πιλοτική έγχυση καυσίμου είναι περίπου 6% του φορτίου. Εάν η παροχή αερίου είναι περιορισμένη, τότε επιπλέον πετρέλαιο θα πρέπει να ενίεται να διατηρήσουν την εξουσία.

2. Εάν ένα περιορισμένο, αλλά σταθερή προμήθεια φυσικού αερίου είναι διαθέσιμη, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει σε αυτό που είναι γνωστό ως «συγκεκριμένη λειτουργία του φυσικού αερίου». Όταν βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας, η ίδια ποσότητα αερίου εγχύεται κάθε φορά, με το ποσό των Μεταβλητών υγρού καυσίμου, ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα.

3. Καύσιμο λειτουργία μόνο για ελιγμούς ή όταν δεν του φυσικού αερίου είναι διαθέσιμη.

Οι σωλήνες παροχής αερίου είναι διπλού τοιχώματος, με σφραγίδα του αέρα που παρέχεται μεταξύ των δύο σωλήνων. Πίεση αέρα, που παρέχονται από ανεμιστήρες στη συνέχεια παρακολουθείται για διαρροή αερίου. Επειδή μια αποτυχία του εσωτερικού σωλήνα αερίου, θα μπορούσε να οδηγήσει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, όπως η υψηλή πίεση του αερίου διαστέλλεται καθώς διαρρέει έξω, οι εξωτερικές σωληνώσεις κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα σε θέση να αντέξει αυτές τις χαμηλές θερμοκρασίες. Η ροή του αέρα διαμέσου της σφραγίσεως του αέρα παρακολουθείται επίσης. Η έλλειψη της ροής θα οδηγούσε σε κλείσιμο του διακόπτη της παροχής αερίου και εξυγίανση των γραμμών με αδρανές αέριο.

Για την αποφυγή διαρροής αερίου στα μπεκ και να λιπαίνει τα κινούμενα μέρη, τα μπεκ ψεκασμού αερίου που παρέχεται με τη σφράγιση του πετρελαίου που βρίσκεται υπό πίεση για 25 - 50 bar πάνω από την πίεση έγχυσης αερίου. Η μικρή ποσότητα του ελαίου το οποίο διαρρέει μέσα στο αέριο στη συνέχεια καίγεται στον κινητήρα. Η κατανάλωση είναι χαμηλή (περίπου 0.13g/kWh). Το σύστημα σφράγισης περιλαμβάνει έλαιο από δύο αντλίες για σκοπούς πλεονασμού και ένα ελατήριο φορτωμένο συσσωρευτής να διατηρήσει την πίεση, εάν μια αντλία αποτύχει, ενώ η αντλία αναμονής έρχεται μέχρι πίεση.

Σε περίπτωση που υπάρξει εμπλοκή έγχυσης αερίου ανοίξει τότε μια πτώση της πίεσης θα συμβεί στο συσσωρευτή στο μπλοκ βαλβίδων και το σύστημα θα κλείσει, και οι γραμμές του φυσικού αερίου θα πρέπει να καθαρίζεται με αδρανές αέριο. Δεν πρέπει να ανιχνεύεται η πτώση της πίεσης, η περίσσεια αερίου που εισέρχεται στο κύλινδρο θα συνεχίσουν να καίγονται καθώς αφήνει οδηγεί σε μια υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων στην εν λόγω κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να επιβραδύνει, και πάλι διακοπή της παροχής αερίου. Στην απίθανη περίπτωση καθυστερημένης ανάφλεξη του αερίου που συμβαίνουν στην πολλαπλή εξαγωγής, που οδηγεί σε ταχεία αύξηση της πίεσης, ο δέκτης έχει σχεδιαστεί για να αντέχει πίεση 15 bar.

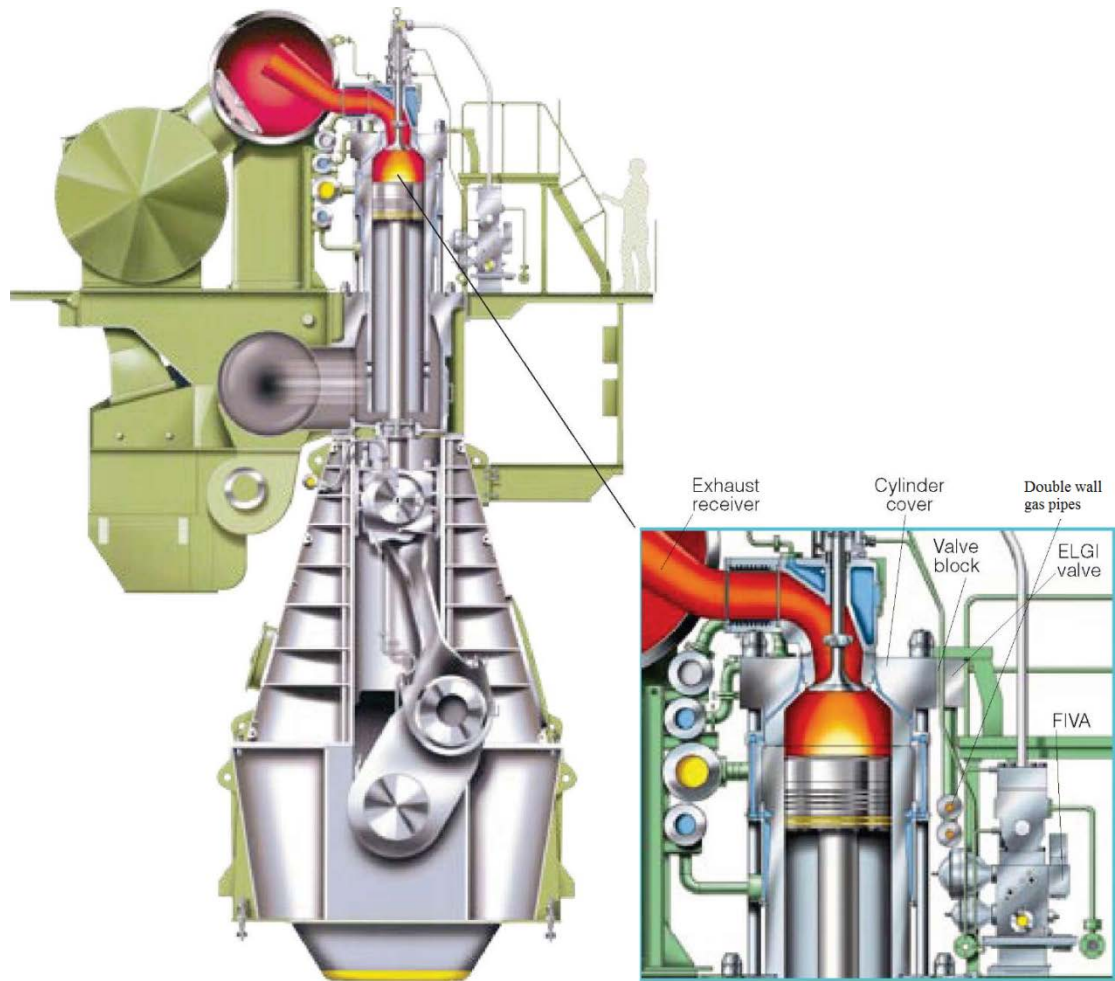
Οποιαδήποτε παράλειψη της έγχυσης του πιλοτικού καυσίμου, οδηγώντας σε μη καύση του αερίου που έχει εισαχθεί θα οδηγήσει στην παροχή αερίου διακόπτεται και στις γραμμές αερίου καθαρίζεται με αδρανές αέριο.

5.2 Απαιτούμενα μέτρα ασφαλείας

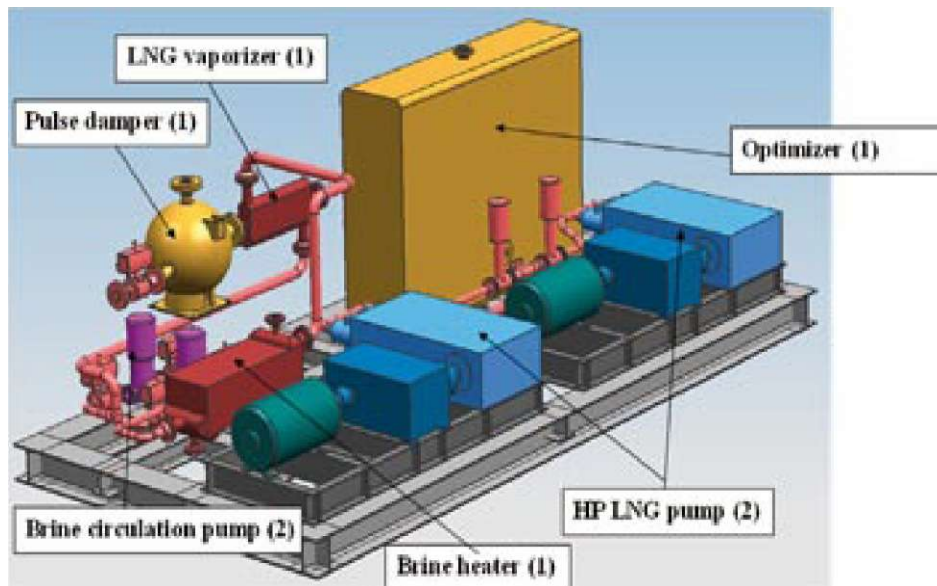
Η IASC (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CLASSIFICATION SOCIETIES) απαιτεί ότι πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις ασφαλείας:

- Μόνο το καύσιμο πετρέλαιο πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά την εκκίνηση του κινητήρα.
- Μόνο το καύσιμο πετρέλαιο, κατ 'αρχήν, πρέπει να χρησιμοποιείται όταν η λειτουργία του κινητήρα είναι ασταθής, ή / και κατά τη διάρκεια ελιγμών και των λιμενικών εργασιών.
- Σε περίπτωση διακοπής της παροχής αερίου καυσίμου, οι κινητήρες πρέπει να είναι ικανά για συνεχή λειτουργία με μόνο καύσιμο πετρέλαιο.
- Οι σωλήνες καυσαερίων από κινητήρες διπλού καυσίμου δεν πρέπει να συνδέονται με τους σωλήνες καυσαερίων άλλους κινητήρες ή συστήματα.
- Φλογοπαγίδες πρέπει να παρέχονται στην είσοδο της πολλαπλής παροχής αερίου για τον κινητήρα.

Η μηχανή πρέπει να είναι σχεδιασμένη για να σταματήσει πριν η συγκέντρωση του αερίου που ανιχνεύεται από τους ανιχνευτές αερίου καθορίζεται φτάσει στο 60% του κατώτερου ορίου ευφλεκτότητας.



Σχήμα 4.19: ME-GI engine[23]



Σχήμα 4.20: Σύστημα παροχής αερίου υψηλής πίεσης συμπεριλαμβανομένων 2 αντλίες LNG και ενός εξαερωτήρα.[24]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των τριών ειδών μηχανών που χρησιμοποιούνται στα πλοία. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά των δίχρονων, των τετράχρονων και των μηχανών διπλού καυσίμου.

Οι δίχρονες και οι τετράχρονες μηχανές διαφέρουν ως προς τον κύκλο λειτουργίας που στις πρώτες απαιτεί μια διπλή διαδρομή του εμβόλου ενώ στις δεύτερες απαιτεί τετραπλή διαδρομή.

Οι πλέον υποσχόμενες μηχανές για τα πλοία είναι οι μηχανές διπλού καυσίμου οι οποίες μπορεί να λειτουργούν είτε με αέριο καύσιμο είτε με υγρό. Οι συγκεκριμένες μηχανές έχει βρεθεί πως μειώνουν σημαντικά τους αποβάλλομενους ρύπους.

Οι μηχανές διπλού καυσίμου παρέχουν γενικά πολλά πλεονεκτήματα τόσο στους χειριστές των πλοίων όσο και στους ιδιοκτήτες. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο γεγονός πως το μίγμα του αέρα και του αερίου στους κυλίνδρους περιέχει περισσότερο αέρα από τον απαιτούμενο για την πλήρη καύση. Η καύση με περίσσεια αέρα μειώνει τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες και κατά συνέπεια και τις απώλειες NO_x . Όταν οι συγκεκριμένες μηχανές λειτουργούν στην κατάσταση του αερίου δεν υπάρχουν δευτερεύουσες απώλειες αερίων και κατά συνέπεια δεν απαιτούν επιπλέον συστήματα καθαρισμού.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cummins, C.L., *Internal Fire*,. SAE International Inc, 1989.
2. Givens, L., *A Technical History of the Automobile*. Automotive Engineering SAE International Inc. **98**.
3. SynLube, *How engines work*.
<http://www.synlube.com/HowEngineWorks.html>.
4. http://www.roymech.co.uk/Related/Thermos/Thermos_4_Stroke.html.
5. *reciprocating engine basic*. <http://alexander.voivoditch.free.fr/reciprocat.html>.
6. <http://visual.merriam-webster.com/transport-machinery/road-transport/types-engines/rotary-engine-cycle.php>.
7. <http://home.planet.nl/~serem000/mech.html>.
8. Smith, S., *Mercedes-Benz to Replace V6s With Inline Engines, Report Says*.
<http://editorial.autos.msn.com/blogs/autosblogpost.aspx?post=ed9a40d9-bd79-4257-b243-275fd6eb5068>, 2011.
9. <http://www.britannica.com/EBchecked/media/19421/Cross-section-of-a-V-type-engine>.
10. http://www.horizonhobby.co.uk/aeroonline/e9evolution/e9_radial_engines/e9_160cc_radial_engine.html.
11. Magda, M., *How Toyota (and NASCAR) Helped Build a 600ci Small-block Chevy*. <http://www.enginelabs.com/features/editorials-opinions/how-toyota-and-nascar-helped-build-a-600ci-small-block-chevy/>, 2013.
12. Ofria, S., *A Short Course on Automobile Engines*.
<http://www.carparts.com/engine.htm>.
13. *Two-Cycle and Four-Cycle Engines*. Goodheart-Willcox Co., Inc
http://www.g-w.com/pdf/sampchap/9781590709702_ch05.pdf.
14. MAN, *Two-stroke Low Speed Diesel Engines for Independent Power Producers and Captive Power Plants*.
http://www.mandieselturbo.com/files/news/files_of16119/tech_paper_low_speed.pdf.
15. . Clausen, N., *Marine Diesel Engines How Efficient can a Two-Stroke Engine be?* <http://www.ship-efficiency.org/onTEAM/pdf/Clausen.pdf>.

16. Davia, H., *Lubrication in Four-Stroke Marine Diesel Engines*. <http://www.din.unina.it/atena/20100513tribologia02hlededavia.pdf>.
17. Christen, C., Brand, D, *PAPER NO.: 187 IMO Tier 3: Gas and Dual Fuel Engines as a Clean and Efficient Solution*. CIMAC Congress 2013, Shanghai, [http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/55c1608fe200743385257c2f005ded5a/\\$file/Full_Paper_No_187.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/55c1608fe200743385257c2f005ded5a/$file/Full_Paper_No_187.pdf), 2013.
18. Wartsila, *DUAL-FUEL ENGINES – WÄRTSILÄ 20DF, WÄRTSILÄ 34DF AND WÄRTSILÄ 50DF*
19. Wartsila, *Dual-fuel-electric for LNGC*.
20. *WECS 8000 for 50DF*.
21. Levander, O., *Dual Fuel Engines Latest developments*. <http://www.ship-efficiency.org/onTEAM/pdf/PPTLevander.pdf>, 2011.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ	6
1.1 Ιστορική αναδρομή	6
1.2 Ταξινόμηση των μηχανών εσωτερικής καύσης.....	7
1.3 Τα στοιχεία της μηχανής εσωτερικής καύσης	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	20
ΔΙΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	20
2.1 Αρχή λειτουργίας των δίχρονων μηχανών.....	20
2.2.1 Είσοδος στο στροφαλοφόρο	21
2.2.2 Ισχύς ανάφλεξης	22
2.2.3 Εξαγωγή.....	23
2.2.4 Μεταφορά του καυσίμου	23
2.3 Η δίχρονη μηχανή diesel για τα πλοία.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	29
ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ.....	29
3.1 Αρχή λειτουργίας των τετράχρονων μηχανών.....	29
3.2 Λίπανση των τετράχρονων μηχανών	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	36
ΜΗΧΑΝΕΣ ΔΙΠΛΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΠΛΟΙΑ.....	36
4.1 Αρχή λειτουργίας μηχανών διπλού καυσίμου	37
4.2 Πλεονεκτήματα των μηχανών διπλού καυσίμου	39
4.3 Η δεξαμενή της μηχανής διπλού καυσίμου	40
4.4 Σύστημα ελέγχου της μηχανής	41
4.5 Μηχανές διπλού καυσίμου με χρήση φυσικού αερίου στα πλοία	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Αρχή λειτουργίας δίχρονης μηχανής διπλού καυσίμου.....	52
5.2 Απαιτούμενα μέτρα ασφαλείας.....	55
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	63

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Τα βασικά μέρη μιας μηχανής ανάφλεξης με σπινθήρα[3]	8
Σχήμα 1.2: Λειτουργία δίχρονης μηχανής[4]	9
Σχήμα 1.3: Μονόχρονη μηχανή με T κεφαλή	10
Σχήμα 1.4: Παλινδρομική μηχανή[5]	11
Σχήμα 1.5: Περιστροφική μηχανή[6]	11
Σχήμα 1.6: Μηχανή απλού κυλίνδρου[7]	12
Σχήμα 1.7: Ευθύγραμμες μηχανές [8]	12
Σχήμα 1.8: Μηχανή τύπου V[9]	13
Σχήμα 1.9: Ακτινική μηχανή [10].....	14
Σχήμα 1.10: Κορμός μηχανής [11]	15
Σχήμα 1.11: Εκκεντροφόρος άξονας[12]	15
Σχήμα 1.12: Στροφαλοφόρος άξονας[12].....	17
Σχήμα 2.1: Τμήμα του κύλινδρου αποκοπής με τις θύρες εισόδου, εξαγωγής και μεταφοράς σε μηχανές κλειστού βρόγχου.	21
Σχήμα 2.2 Είσοδος καυσίμου στο στροφαλοφόρο[13].....	22
Σχήμα 2.3: Το σημείο ισχύος ανάφλεξης [13].....	22
Σχήμα 2.4: Μη καλυμμένη θύρα εξόδου[13].....	23
Σχήμα 2.5: Μεταφορά του καυσίμου στον κύλινδρο[13].....	24
Σχήμα 2.6: Σύγκριση των θερμικών αποδόσεων για τις μηχανές εσωτερικής καύσης[14].....	25
Σχήμα 2.7: Σύγκριση απωλειών των διαφόρων μέσων μεταφοράς[15]	26
Σχήμα 2.8: Αιτίες δημιουργίας απωλειών τριβής[15]	27
Σχήμα 2.9 Παράδειγμα δίχρονης μηχανής σε πλοία.....	28
Σχήμα 3.1: Η διαδρομή εισόδου σε μια τετράχρονη μηχανή[16].....	30
Σχήμα 3.2: Το σχήμα της βαλβίδας εισόδου [13].....	30
Σχήμα 3.3: Η διαδρομή συμπίεσης[16]	31
Σχήμα 3.4: Η διαδρομή ισχύος στις τετράχρονες μηχανές[16]	32
Σχήμα 3.5: Η διαδρομή εξαγωγής στις τετράχρονες μηχανές [16]	33
Σχήμα 3.6: Ο χρονισμός της βαλβίδας εξόδου σε μια τετράχρονη μηχανή [13].....	34

Σχήμα 3.7: Η επίδραση της λίπανσης στα διάφορα μέρη της μηχανής[16]	35
Σχήμα 4.1: Λειτουργία της μηχανής διπλού καυσίμου στην κατάσταση αερίου[19]	38
Σχήμα 4.2: Η λειτουργία της μηχανής διπλού καυσίμου με ντήζελ[19]	38
Σχήμα 4.3: Τα βασικά στοιχεία του συστήματος σωληνώσεων των μηχανών διπλού καυσίμου[19]	39
Σχήμα 4.5: Η ταχύτητα της μηχανής συναρτήσει του χρόνου[19].....	40
Σχήμα 4.6: Σύστημα ελέγχου στο μπροστινό μέρος ευθύγραμμης μηχανής διπλού καυσίμου[20]	42
Σχήμα 4.7: Σύστημα ελέγχου στο πίσω μέρος ευθύγραμμης μηχανής διπλού καυσίμου[20]	43
Σχήμα 4.8: Σύστημα ελέγχου στο μπροστινό μέρος μηχανής τύπου V διπλού καυσίμου[20]	43
Σχήμα 4.9: Σύστημα ελέγχου στο ελεύθερο μέρος μηχανής τύπου V διπλού καυσίμου[20]	44
Σχήμα 4.10: Κύριο στοιχείο ελέγχου σε σύστημα ελέγχου μηχανής διπλού καυσίμου[20]	45
Σχήμα 4.11: Παράδειγμα στοιχείου ελέγχου κυλίνδρων[20]	46
Σχήμα 4.12: Παράδειγμα τοπικού πίνακα ελέγχου στη μηχανή διπλού καυσίμου[20]	47
Σχήμα 4.13: Παράδειγμα ενεργοποιητή ντήζελ στη μηχανή διπλού καυσίμου[20]...	48
Σχήμα 4.14: Παράδειγμα CIB στο σύστημα ελέγχου στη μηχανή διπλού καυσίμου[20]	49
Σχήμα 4.15: Παράδειγμα εγκατάστασης μηχανής διπλού καυσίμου με καύσιμο φυσικό αέριο[21]	49
Σχήμα 4.16: Ανάγκες για χώρο αποθήκευσης μεταξύ του ντήζελ και του φυσικού αερίου [21].....	50
Σχήμα 4.17: Εξωτερική αποθήκευση φυσικού αερίου σε πλοίο [21].....	51
Σχήμα 4.18: Δίκτυο έγχυσης αερίου[22].....	53
Σχήμα 4.19: ME-GI engine[23].....	56
Σχήμα 4.20: Σύστημα παροχής αερίου υψηλής πίεσης συμπεριλαμβανομένων 2 αντλίες LNG και ενός εξαερωτήρα[24].....	57