

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΧΡΟΝΩΝ ΚΑΙ  
ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΓΑΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ  
ΣΤΗΝ ΠΟΝΤΟΠΟΡΟ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΓΚΡΙΕΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΟΥΡΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΑΚΑΔ. ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2019**

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αποτελεί μια συγκεντρωτική παρουσίαση της δομής αλλά και των βασικών λειτουργιών των μηχανών – κινητήρων εσωτερικής καύσης με έμφαση στην εφαρμογή, αξιοποίηση αλλά και συγκριτική μελέτη αυτών στην θαλάσσια πρόωση. Τα στοιχεία της μελέτης καθώς και τα αποτελεσματικά συμπεράσματα αυτής προέκυψαν μέσα από βιβλιογραφική έρευνα.

Αρχικά, παρατίθεται μια βασική και σχετικά σύντομη ιστορική αναδρομή στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Από την πρώτη σύλληψη της ιδέας καθώς και τις πρώτες εφαρμογές μέχρι τα βασικά προβλήματα τα οποία προκύπταν κατά την ανάπτυξη των προαναφερθέντων ιδεών. Έμφαση δίνεται και στην εξαιρετικά ενδιαφέρουσα επιρροή που είχαν οι δύο παγκόσμιοι πόλεμοι (Α' & Β') μέσω των οποίων και σε σχετικά συμπυκνωμένο χρονικό διάστημα ταυτοποιήθηκαν αρκετά προβλήματα καθώς αναπτύχθηκαν νέες εφαρμογές.

Εν συνεχεία παρατίθεται μια ολοκληρωμένη αναφορά στα βασικά δομικά χαρακτηριστικά των μηχανών εσωτερικής καύσης καθώς και οι λειτουργίες αυτών. Πέρα από την επεξηγηματική φύση του συγκεκριμένου κεφαλαίου γίνεται και μια εκτενής προσπάθεια κατηγοριοποίησης των παραπάνω όπως επίσης και μια πρώτη αναφορά στην βασική λειτουργική διαφοροποίηση των κινητήρων εσωτερικής καύσης με βάση το χρονισμό τους (τετράχρονοι και δίχρονοι κινητήρες).

Στο δεύτερο και τρίτο κατά σειρά κεφάλαιο γίνεται αναλυτική και επεξηγηματική αναφορά σε όλους τους κύκλους δράσης των τετράχρονων αλλά και δίχρονων κινητήρων εσωτερικής καύσης αντίστοιχα. Παρουσιάζονται με την συνοδεία επιλεγμένων σχεδιαγραμμάτων ξεχωριστά όλες οι φάσεις που ορίζουν τις βασικές λειτουργίες του κινητήρα.

Το τέταρτο κεφάλαιο εστιάζει στους θαλάσσιους κινητήρες. Πιο συγκεκριμένα γίνεται μια ιστορική αναφορά αρχικά στον τομέα της θαλάσσιας πρόωσης και στη συνέχεια γίνεται εκτενής ανάλυση στις θαλάσσιες μηχανές με κινητήρα τύπου Diesel. Περιγράφονται όλα τα μέση που απαρτίζουν τον κινητήρα καθώς οι ανάλογες επεξηγηματικές εικόνες αυτών.

Τέλος στα δύο τελευταία κεφάλαια (5<sup>ο</sup> & 6<sup>ο</sup>) γίνεται μια βασική σύγκριση στην κατάλληλη επιλογή κινητήρα κατά την θαλάσσια πρόωση όπως επίσης παρουσιάζονται και τα εξαγόμενα συμπεράσματα από την παρούσα βιβλιογραφική έρευνα στους κινητήρες εσωτερικής καύσης και την εφαρμογή τους στην “θαλάσσια”

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ανδρέα Βούρο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Γκρίελας Γεώργιος

Μάιος 2019

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

(Όνοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι θαλάσσιες μηχανές έχουν εξελιχθεί ραγδαία στο χρόνο. Από τις πρώτες περιπτώσεις εξοπλισμού μέχρι τις τελευταίες, οι κινητήρες πρόωσης έχουν καταστεί κρίσιμος παράγοντας στην αποτελεσματικότητα των θαλάσσιων σκαφών. Οι κινητήρες μπορούν να ταξινομηθούν και να επιλεγούν χρησιμοποιώντας διάφορα χαρακτηριστικά και τύπους, όπως ο κύκλος λειτουργίας τους.

Οι κινητήρες μπορούν να χωριστούν σε τετράχρονες και σε δίχρονες. Οι τετράχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται κυρίως σε αυτοκίνητα, λεωφορεία και φορτηγά λόγω της χαμηλότερης παραγωγής θορύβου τους και της μεγαλύτερης σταθερότητας σε κίνηση. Οι δίχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται περισσότερο σε σκούτερ, μοτοσικλέτες, πλοία, όπου ο χώρος μπορεί να αποτελέσει έναν περιορισμό ενώ θόρυβος δεν αποτελεί πρόβλημα.

Τα θαλάσσια σκάφη ευνοούνται από τη χρήση δίχρονων κινητήρων, σε αντίθεση με τις τετράχρονες, λόγω της χρήσης καυσίμου, της απόδοσης του κινητήρα και της αναλογίας ισχύος προς βάρους.

Στη παρούσα εργασία πραγματοποιείται κατηγοριοποίηση των εσωτερικών μηχανών καύσης. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των τετράχρονων και των δίχρονων κινητήρων. Έπειτα αναλύονται τα σταθερά και τα κινητά μέρη ενός κινητήρα για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργία της συντήρησης και της επισκευής του. Στο τέλος της εργασίας εξάγονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν.

## **ABSTRACT**

Marine engines have evolved rapidly over time. From the earliest equipment up to the last, propulsion engines have become a critical factor in the efficiency of marine vessels. Engines can be categorized and selected using various features and formulas, such as their duty cycle.

Engines can be divided into four-stroke and two-stroke engines. Four-stroke engines are mainly used in cars, buses and trucks due to their lower noise output and greater stability in motion. Two-stroke engines are most used in scooters, motorcycles, boats, where space can be a constraint, while noise is not a problem.

Marine vessels are favored by the use of two-stroke engines, unlike the four-stroke, due to fuel use, engine performance and power to weight ratio.

In this work, internal combustion engines are classified. Four-stroke and two-stroke engines are then compared. It then analyzes the fixed and moving parts of an engine to better understand the function of maintenance and repair. At the end of the work we draw conclusions from it.

# Περιεχόμενα

|  |   |
|--|---|
| <b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....  | <b>i</b>                                |
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....  | <b>iii</b>                              |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>iv</b>                               |
| <b>Κατάλογος εικόνων</b> .....   | Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης. |
| <b>Κατάλογος πινάκων</b> .....   | Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης. |
| <b>1.0 Εισαγωγή στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης</b> .....                             | <b>1</b>                                |
| 1.1 Ιστορική Αναδρομή (ΜΕΚ).....   | 1                                       |
| 1.1.1 Αρχικό στάδιο σύλληψης .....   | 1                                       |
| 1.1.2 Προβληματισμοί και εμπόδια .....   | 3                                       |
| 1.1.3 Ανάπτυξη - Εξέλιξη (1 <sup>ος</sup> & 2 <sup>ος</sup> Παγκόσμιος Πόλεμος)..... | 5                                       |
| 1.1.4 Σημαντικότερα τελικά στάδια εξέλιξης.....                                      | 6                                       |
| 1.2 Δομή-Λειτουργία Μηχανών Εσωτερικής Καύσης.....                                   | 7                                       |
| 1.3 Κατηγοριοποίηση μηχανών εσωτερικής καύσης .....                                  | 11                                      |
| <b>2.0 Τετράχρονοι κινητήρες</b> .....   | <b>23</b>                               |
| 2.1 Η ιστορία του τετράχρονων κινητήρων .....  | 23                                      |
| 2.2 Διαδικασία Ενέργειας.....  | 23                                      |
| 2.2.1 Φάση εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα.....   | 24                                      |
| 2.2.2 Φάση συμπίεσης.....  | 25                                      |
| 2.2.3 Φάση εκτόνωσης-καύσης .....  | 25                                      |
| 2.2.4 Φάση εξαγωγής καυσαερίων .....   | 26                                      |
| 2.3 Θερμοδυναμική του κύκλου τεσσάρων φάσεων .....                                   | 27                                      |
| 2.4 Περιορισμός ισχύος κινητήρα .....  | 28                                      |
| <b>3.0 Δίχρονοι κινητήρες</b> .....  | <b>29</b>                               |
| 3.1 Ιστορική αναδρομή δίχρονου κινητήρα .....  | 29                                      |
| 3.2 Η διαδικασία κίνησης.....  | 29                                      |
| 3.2.1 Φάση εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα.....   | 29                                      |
| 3.2.2 Φάση συμπίεσης του στροφαλοθαλάμου.....  | 29                                      |
| 3.2.3 Φάση μεταφοράς .....   | 30                                      |
| 3.2.4 Φάση συμπίεσης.....  | 30                                      |
| 3.2.5 Φάσης εκτόνωσης-καύσης.....  | 31                                      |
| 3.2.6 Φάση εξαγωγής καυσαερίων .....   | 31                                      |
| 3.3 Θερμοδυναμική του κύκλου δίχρονων μηχανών .....                                  | 32                                      |
| 3.4 Σχεδίαση κινητήρα.....   | 33                                      |
| <b>4.0 Θαλάσσιοι Κινητήρες</b> .....   | <b>35</b>                               |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.1 Εισαγωγή .....   | 35        |
| 4.1.1 Πρώιμες Πηγές Προώθησης .....                          | 35        |
| 4.1.2 Ατμομηχανή .....                                       | 35        |
| 4.1.3 Ατμοστρόβιλος.....                                     | 35        |
| 4.1.4 Αεριοστρόβιλος.....                                    | 36        |
| 4.1.3 Μηχανή Stirling .....                                  | 36        |
| 4.2 Θαλάσσιοι πετρελαιοκινητήρες.....                        | 36        |
| 4.2.1 Ταξινόμηση Θαλάσσιων κινητήρων .....                   | 37        |
| 4.2.2 Κινητά μέρη.....                                       | 41        |
| 4.2.3 Σταθερά μέρη.....                                      | 56        |
| 4.3 Διαδικασία υπερπλήρωσης (Supercharging).....             | 66        |
| 4.3.1 Συμπιεστές θετικού εκτοπίσματος.....                   | 67        |
| 4.3.2 Συμπιεστές Turbo .....                                 | 68        |
| <b>5.0 Σύγκριση δίχρονων και τετράχρονων κινητήρων .....</b> | <b>71</b> |
| 5.1 Σύγκριση για κινητήρες πλοίων .....                      | 71        |
| 5.1.1 Χρήση καυσίμων.....                                    | 71        |
| 5.1.2 Αποδοτικότητα κινητήρα .....                           | 72        |
| 5.1.3 Λόγος ισχύος προς βάρους .....                         | 72        |
| 5.1.4 Προτεινόμενος κινητήρας για εξωλέμβια σκάφη.....       | 73        |
| <b>6.0 Συμπεράσματα σύγκρισης κινητήρων πλοίων.....</b>      | <b>75</b> |
| 6.1 Ανασκόπηση .....   | 75        |
| 6.2 Συμπερασματική εικόνα.....                               | 75        |
| <b>Βιβλιογραφία.....</b>                                     | <b>77</b> |

## Κατάλογος εικόνων

|  |    |
|--|----|
| <b>Εικόνα 1.1:</b> Σχέδιο της πρώτης μηχανής του Lenoir 1860. (Google) .....   | 1  |
| <b>Εικόνα 1.2:</b> Σχηματική απεικόνιση μηχανών εσωτερικής καύσης από το 1899 έως το 1998. (Richard., 2002) .....  | 4  |
| <b>Εικόνα 1.3:</b> Σχεδιάγραμμα-προφίλ εσωτερικού κινητήρα εσωτερικής καύσεως. (Hope., 2015) .....   | 9  |
| <b>Εικόνα 1.4:</b> Σχεδιάγραμμα ενός πλήρες κύκλου κυλίνδρων τετράχρονης μηχανής. (Google) .....   | 9  |
| <b>Εικόνα 1.5:</b> Σχεδιάγραμμα ενός πλήρες κύκλου κυλίνδρων δίχρονης μηχανής. (Google) .....  | 11 |
| <b>Εικόνα 1.6:</b> Τρισδιάστατο μοντέλο διαρρύθμισης εσωτερικού κινητήρα (Google)....  | 12 |
| <b>Εικόνα 1.7:</b> Στοιχειοθέτηση γεωμετρική ανάπτυξη μονό-κύλινδρων αλλά και πολύ-κύλινδρων κινητήρων. ( <a href="http://books.google.co.in">http://books.google.co.in</a> )..... | 14 |
| <b>Εικόνα 1.8:</b> Στοιχειοθέτηση και γεωμετρική ανάπτυξη περιστροφικού κινητήρα. (Google) .....   | 15 |
| <b>Εικόνα 1.9:</b> Σχεδιάγραμμα εσωτερικού παλινδρομικού μόνο-κύλινδρου κινητήρα. (Google) .....   | 16 |
| <b>Εικόνα 1.10:</b> Εξακύλινδρη παλινδρομική μηχανή. (Google).....   | 16 |
| <b>Εικόνα 1.11:</b> Μηχανή τύπου V2 κυλίνδρων. (Google).....   | 17 |
| <b>Εικόνα 1.12:</b> Ακτινική μηχανή. (Google).....   | 18 |
| <b>Εικόνα 1.13:</b> Μονό-χρονη κεφαλή με μηχανή τύπου “T” (Google) .....   | 20 |
| <b>Εικόνα 1.14:</b> Μηχανή ανάφλεξης με σπινθήρα. (Google) .....   | 20 |
| <br>   |    |
| <b>Εικόνα 2.1:</b> Το έμβολο σε έναν τετράχρονο κινητήρα (Google) .....  | 24 |
| <b>Εικόνα 2.2:</b> Αρχική θέση της εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα (induction stroke) (Google).....   | 24 |
| <b>Εικόνα 2.3:</b> Τελική θέση της εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα (induction stroke) (Google).....   | 25 |
| <b>Εικόνα 2.4:</b> Φάση συμπίεσης (Google).....  | 26 |
| <b>Εικόνα 2.5:</b> Φάση εκτόνωσης-καύσης (Google).....   | 26 |
| <b>Εικόνα 2.6:</b> Αρχική θέση εξαγωγής καυσίμων (Google).....   | 26 |
| <b>Εικόνα 2.7:</b> Τελική θέση εξαγωγής καυσίμων (Google) .....  | 27 |
| <b>Εικόνα 2.8:</b> Διάγραμμα φάσεων τετράχρονης μηχανής (Google).....  | 28 |
| <br>   |    |
| <b>Εικόνα 3.1:</b> Φάση Εισαγωγής και Φάση συμπίεσης (Google).....   | 30 |
| <b>Εικόνα 3.2:</b> Φάση μεταφοράς (Google).....  | 31 |
| <b>Εικόνα 3.3:</b> Φάση συμπίεσης (Google).....  | 31 |
| <b>Εικόνα 3.4:</b> Φάση εκτόνωσης-καύσης (Google).....   | 32 |
| <b>Εικόνα 3.5:</b> Φάσης εξαγωγής καυσαερίων (Google).....   | 32 |
| <b>Εικόνα 3.6:</b> Διάγραμμα πίεσης-όγκου σε δίχρονη μηχανή. (Google) .....  | 33 |
| <br>   |    |
| <b>Εικόνα 4.1:</b> Δίχρονος Κινητήρας. (Waleed Alturki., 2017).....  | 38 |
| <b>Εικόνα 4.2:</b> Τετράχρονος κινητήρας. (Waleed Alturki., 2017) .....  | 38 |
| <b>Εικόνα 4.3:</b> Τετράχρονος Κινητήρας. (Waleed Alturki., 2017).....   | 39 |
| <b>Εικόνα 4.4:</b> Εξαρτήματα θαλάσσιας πετρελαιοκίνητης μηχανής. (Waleed Alturki., 2017).....   | 40 |



|  |    |
|--|----|
| <b>Εικόνα 4.5:</b> Τμήματα στροφαλοφόρου άξονα (Google).....   | 41 |
| <b>Εικόνα 4.6:</b> Απεικόνιση των τάσεων σε έναν στροφαλοφόρο άξονα (Google).....  | 42 |
| <b>Εικόνα 4.7:</b> Έμβολο ναυτικής μηχανής. (Google) .....   | 43 |
| <b>Εικόνα 4.8:</b> Μέρη εμβόλου δίχρονης μηχανής (Google) .....  | 44 |
| <b>Εικόνα 4.9:</b> Θέση των δακτυλίων του εμβόλου και των υπόλοιπων τμημάτων του (Google).....   | 45 |
| <b>Εικόνα 4.10:</b> Κυλινδροκεφαλή με επισήμανση βαλβίδων (valves) και ενθέτων (inserts) (Google).....   | 46 |
| <b>Εικόνα 4.11:</b> Βαλβίδα εκτόνωσης κυλίνδρου (Google).....  | 47 |
| <b>Εικόνα 4.12:</b> Βαλβίδα εκκίνησης αέρα (Google) .....  | 48 |
| <b>Εικόνα 4.13:</b> Σχηματική απεικόνιση τη βαλβίδας εξαγωγής αερίων (Google) .....  | 49 |
| <b>Εικόνα 4.14:</b> Σχετικό μέγεθος βαλβίδας εξαγωγής καυσαερίων (Google).....   | 49 |
| <b>Εικόνα 4.15:</b> Υπερσυμπιεστής (Google) .....  | 50 |
| <b>Εικόνα 4.16:</b> Διαιρούμενος διωστήρας τετράχρονης μηχανής με τα μέταλλα (Google).....   | 51 |
| <b>Εικόνα 4.17:</b> Έμβολο μαζί με βάκτρο (Google).....  | 52 |
| <b>Εικόνα 4.18:</b> Στυπαιοθλίπτης σε τομή (Google) .....  | 52 |
| <b>Εικόνα 4.19:</b> Ζύγωμα. Στις άκρες διακρίνονται και οι γλίστρες (Google).....  | 53 |
| <b>Εικόνα 4.20:</b> Εκκεντροφόρος τετράχρονης μηχανής με οδοντωτό τροχό ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....   | 54 |
| <b>Εικόνα 4.21:</b> Το κατεργασμένο πρόσωπο του εμβόλου ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....   | 55 |
| <b>Εικόνα 4.22:</b> Βάση αργόστροφης δίχρονης μηχανής ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....   | 56 |
| <b>Εικόνα 4.23:</b> Πλαίσια που τοποθετούνταν ξεχωριστά πάνω στη βάση. ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....  | 57 |
| <b>Εικόνα 4.24:</b> Πλαίσια που αποτελούν μια ενιαία κατασκευή. ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....   | 57 |
| <b>Εικόνα 4.25:</b> Η διαδικασία ένωσης του πλαισίου με τη βάση. ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....  | 58 |
| <b>Εικόνα 4.26:</b> Το μπλοκ μαζί με τα χιτώνια τοποθετημένο πάνω στο πλαίσιο. ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....  | 58 |
| <b>Εικόνα 4.27:</b> Οι μακριές βίδες στερέωσης που συγκρατούν τα 3 τμήματα μαζί. ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....  | 59 |
| <b>Εικόνα 4.28:</b> Ο κορμός της μηχανής με τα χιτώνια και τον στροφαλοφόρο άξονα στη θέση τους. ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....                                      | 60 |
| <b>Εικόνα 4.29:</b> Κεφαλή τετράχρονης ναυτικής μηχανής. ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....  | 61 |
| <b>Εικόνα 4.30:</b> Χιτώνιο όπου το ψυκτικό μέσο διέρχεται από το μπλοκ της μηχανής. ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> ).....  | 62 |
| <b>Εικόνα 4.31:</b> Χιτώνιο όπου το ψυκτικό μέσο διέρχεται από περιχιτώνιο. Στο άνω μέρος διακρίνεται και το δαχτυλίδι antipolishing. ( <a href="http://www.marinediesels.info">http://www.marinediesels.info</a> )..... | 62 |
| <b>Εικόνα 4.32:</b> Ο ωστικός τριβέας και προσαρτημένα μέρη του. ( <a href="https://maredu.gunet.gr">https://maredu.gunet.gr</a> ) .....   | 63 |
| <b>Εικόνα 4.33:</b> Άξονας κίνησης της προπέλας. (Waleed Alturki., 2017).....  | 64 |
| <b>Εικόνα 4.34:</b> Χοάνη στεγανοποίησης με δεξαμενή βαρύτητας. ( <a href="https://maredu.gunet.gr">https://maredu.gunet.gr</a> ) .....  | 65 |
| <b>Εικόνα 4.35:</b> Χοάνη στεγανοποίησης με πίεση αέρα. ( <a href="https://maredu.gunet.gr">https://maredu.gunet.gr</a> ).....   | 65 |
| <b>Εικόνα 4.36:</b> Σχεδιάγραμμα ιδανικής διεργασίας του κινητήρα κατά την διάρκεια της υπερπλήρωσης. (Google).....  | 67 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Εικόνα 4.37:</b> Σχηματική απεικόνιση ανάλυση υπερπληρωτών - υπερσυμπιεστών θετικού εκτοπίσματος. (Google)..... | 68 |
| <b>Εικόνα 4.38:</b> Σχηματική απεικόνιση ανάλυση υπερπληρωτών τύπου Turbo. (Google) .....                          | 69 |

# 1.0 Εισαγωγή στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

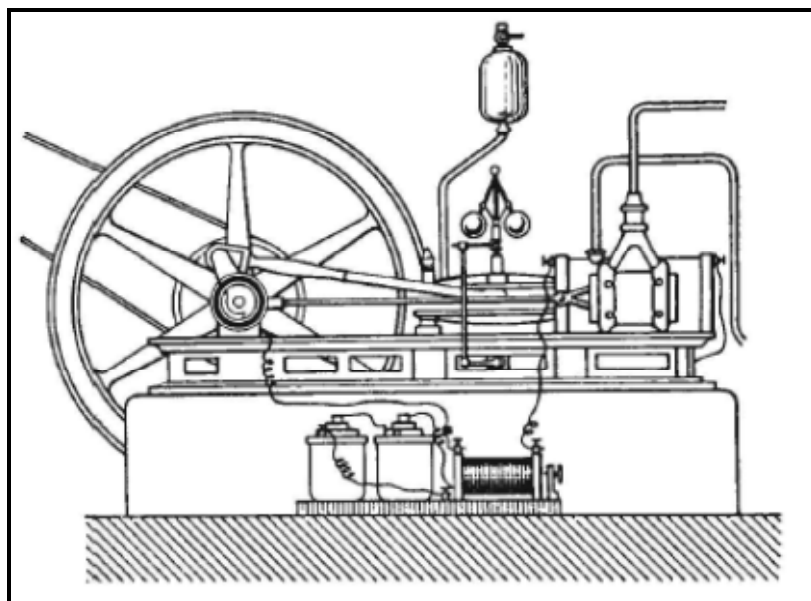
## 1.1 Ιστορική Αναδρομή (ΜΕΚ)

### 1.1.1 Αρχικό στάδιο σύλληψης

Τα μηχανοκίνητα οχήματα έχουν εδραιωθεί προς καθημερινή εφαρμογή και εξυπηρέτηση για περισσότερο από έναν αιώνα. Η πρώτη ανάπτυξη των σύγχρονων κινητήρων εσωτερικής καύσης πραγματοποιήθηκε στο τελευταίο ήμισυ της δεκαετίας του 1800 και συνέπεσε με την τεχνολογική ανάπτυξη του αυτοκινήτου. Ιστορικά έχουν καταγράψει και παλαιότερα παραδείγματα ακατέργαστων κινητήρων εσωτερικής καύσης και αυτοπροωθούμενων οδικών οχημάτων που χρονολογούνται από το 1600(1).

Το 1824, ο γάλλος φυσικός *Nicholas Carnot* (1796-1832) δημοσίευσε ένα βιβλίο που καθόριζε τις αρχές μιας μηχανής εσωτερικής καύσης που θα χρησιμοποιούσε ένα εύφλεκτο μίγμα ατμών αερίου και αέρα. Βασίζοντας τη δουλειά του στις αρχές του Carnot, ένας άλλος Γάλλος, που ονομάζονταν *Jean-Joseph-Étienne Lenoir* (1822-1900), παρουσίασε στον κόσμο τον πρώτο λειτουργικό κινητήρα εσωτερικής καύσης το 1859.

Ο κινητήρας *Lenoir* ήταν ένας δίκυλος (δίχρονος) εξοπλισμένος με βαλβίδες ολίσθησης που χρησιμοποιούσαν αέριο άνθρακα ως καύσιμο. Μια μπαταρία τροφοδοτούσε το ηλεκτρικό φορτίο για να αναφλέξει το αέριο μετά τη σύλληψή του στον κύλινδρο. Το 1862 ένας άλλος Γάλλος, ονόματι *Alphonse-Eugène Beau de Rochas* (1815-1893), σχεδίασε έναν τετράχρονο κινητήρα που θα ξεπερνούσε πολλά προβλήματα που σχετίζονται με τους κινητήρες αερίου εκείνης της εποχής.



Εικόνα 1.1: Σχέδιο της πρώτης μηχανής του Lenoir 1860. (Google)

Η προέλευση των κινητήρων των μηχανοκίνητων οχημάτων οφείλει την έμπνευση της στις ανάγκες των τεχνιτών και των μικρών εμπόρων που δεν μπορούσαν καθώς επίσης δεν διέθεταν τους πόρους για να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες με τις ακριβές αλλά και σύνθετες ατμομηχανές (γεννήτριες ισχύος) της εποχής. Οι δαπανηρές ατμομηχανές υποβάλλονταν σε αυστηρούς κανονισμούς και κατά κύριο λόγο ανήκαν σε μεγαλύτερες εταιρείες ικανές να τις αντέξουν οικονομικά.

Έτσι, οι πρώτοι κινητήρες εσωτερικής καύσης (σταθεροποιημένοι με βενζίνη κινητήρες για μηχανές οδήγησης αλλά και κάθε είδους) άρχισαν να παράγονται λόγω της αυξημένης ανάγκης για μια προσιτή και απλή πηγή της ενέργειας.

Όπως θα αναφερθεί εκτενέστερα και στα παρακάτω κεφάλαια, το έτος 1876 ο *Nikolaus August Otto* υλοποίησε με επιτυχία την διαδικασία τετράχρονης λειτουργίας μιας μηχανής. Το συγκεκριμένο σχέδιο-εγχείρημα είχε ήδη κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από το Γάλλο *Beau de Rochas*. Ο προαναφερθείσας κινητήρας χρήζει εξαιρετικής σημασίας μιας και παρουσίαζε σαφές πλεονέκτημα σε σύγκριση με τους κινητήρες βενζίνης, οι οποίοι ήταν ήδη κατασκευασμένοι από τον Γάλλο *Jean Joseph Etienne Lenoir* ο οποίος χρησιμοποίησε την προκαταρκτική συμπίεση του μίγματος του καυσίμου στη λειτουργία των κινητήρων του.

Ο Βρετανός μηχανικός *Dougald Clerk* "συντόμευσε" την τετράχρονη διαδικασία στη διαδικασία δίχρονων μετακινήσεων εξαλείφοντας τη φόρτιση σε κύκλους (2). Το 1886 ο *Karl Benz* και ο *Gottlieb Daimler* (με τον *Wilhelm Maybach*) ταυτόχρονα (και ανεξάρτητα) ανέπτυξαν τον ελαφρύ, υψηλής ταχύτητας κινητήρα από τον οποίο οι πιο σύγχρονες βενζινοκινητήρες θα προκύπταν. Παρόμοιοι κινητήρες θα τροφοδοτήσουν επίσης αεροσκάφη και αεροπλάνα στα χρόνια που θα ακολουθήσουν.

Στο συγκεκριμένο σημείο άξιο λόγου και αναφοράς αποτελεί το γεγονός πως η "ορθολογική μηχανή θερμότητας" του *Rudolf Diesel*(1893-1897), μπορούσε αρχικά να χρησιμοποιηθεί μόνο για στάσιμες εφαρμογές. Το ίδιο ισχύει και για τους προκάτοχούς της, τους κινητήρες που σχεδίασε ο *George Bailey Brayton* και *Herbert Akroyd Stuart*. Χρειάστηκαν δεκαετίες πριν ο πετρελαιοκινητήρας τελικά "βγει στο δρόμο".

Ο θεμελιώδης σχεδιασμός του κινητήρα εσωτερικής καύσης αποτέλεσε όπως είναι και λογικό παράγωγο από τη μηχανή ατμού ο στρόφαλος οδηγός ελέγχει την ακολουθία της θερμοδυναμικής διαδικασίας και μετατρέπει πρώτα την τάση των ατμών σε ταλάντωση και στη συνέχεια σε μια περιστροφική κίνηση.

Το υψηλό επίπεδο ανάπτυξης καθώς και τεχνολογικής εξέλιξης της ατμομηχανής στα τέλη του 19ου αιώνα αποτέλεσε τη βάση για τους νέους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Επιπρόσθετα το επίπεδο της γνώσης στη χύτευση, τη σφυρηλάτηση και την ακριβή μηχανική κατεργασία των αυτοκινητιστικών εξαρτημάτων αυξήθηκε επίσης ως αποτέλεσμα της μηχανολογικής εξέλιξης-αυξημένης ζήτησης του ατμό-κινητήρα. (Richard., 2002)

### 1.1.2 Προβληματισμοί και εμπόδια

Ένα από τα αρχικά αναπτυξιακά ζητήματα με τις μηχανές εσωτερικής καύσης αφορούσε τις κεντρικές λειτουργίες του κινητήρα. Το πιο δύσκολο πρόβλημα που κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν οι κατασκευαστές των πρώιμων κινητήρων ήταν η ανάφλεξη. Οι μηχανισμοί ανάφλεξης με φλόγα (*Otto*), καθώς και η ανεξέλεγκτη ανάφλεξη μέσω σωλήνα ανάφλεξης (*Maybach / Daimler*) παρουσίασαν εμπόδια στην ανάπτυξη των κινητήρων.

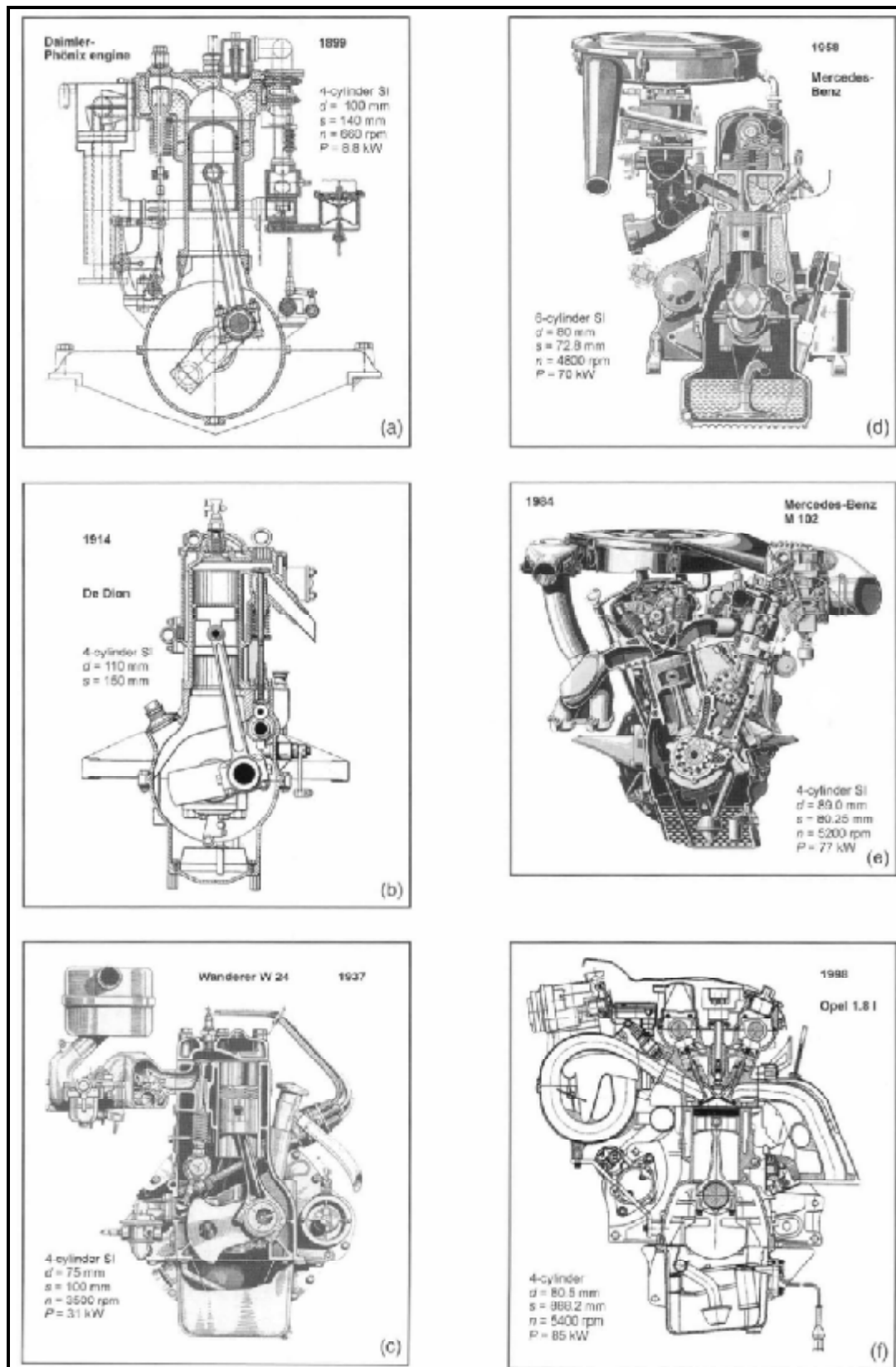
Τα παραπάνω αρχικά προβλήματα στην τεχνολογική εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσης κατάφεραν να ξεπεραστούν μόνο μετά την εμφάνιση των μεθόδων ηλεκτρικής ανάφλεξης. Αυτοί οι τύποι ανάφλεξης συμπεριλάμβαναν την ανάφλεξη τύπου “snapper” (*Otto*), την ανάφλεξη μέσω δονήσεων (*Benz*), τη μαγνητική, χαμηλής τάσης ανάφλεξη με σπινθήρα επαφής (*Bosch*) καθώς και τέλος, τη μαγνητική ανάφλεξη υψηλής τάσης (*Bosch*).

Στη συνέχεια, ένα από τα βασικά και κύρια προβλήματα-πρόκληση στην ανάπτυξη και σχεδίαση των μηχανών εσωτερικής καύσης αποτέλεσε η ποιότητα και η ποσότητα του σχηματισμού του μίγματος η οποία και έπρεπε να βελτιωθεί.

Τα καρμπυρατέρ τύπου επιφανειακού φυτιλιού (*wick surface*) αλλά και τύπου βούρτσας (*brush*) επέτρεπαν μόνο την καύση από τα χαμηλά κλάσματα της βενζίνης (τελικό σημείο βρασμού περίπου 100 °C). Τα σωματίδια καυσίμου που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν-καταναλωθούν δεν εξατμίζονταν ταυτόχρονα, δημιουργώντας ένα επιπλέον πρόβλημα. Ένα βασικό παράδειγμα αποτελούσε το πρόβλημα με το καρμπυρατέρ ακροφυσίων του *Wilhelm Maybach* όπου το καύσιμο ψεκάζονταν αλλά δεν κατάφερε να εξατμιστεί.

Με την εισαγωγή και χρήση καυσίμου με υψηλότερα ποσοστά σε βενζίνη (τελικό σημείο βρασμού περίπου 200 °C) το φάσμα των καυσίμων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ήταν επεκτάθηκε σημαντικά. Συγκεκριμένα, το νέο μίγμα θα μπορούσε να σχηματιστεί σχεδόν σε οποιαδήποτε ποσότητα (προϋπόθεση για περαιτέρω αύξηση της σχέσης απόδοσης-ισχύος). Τα νέα καρμπυρατέρ με αυτόματο βοηθητικό έλεγχο αέρα από τους *Krebs*, *Claudel* (*Zenith*) καθώς και τους *Menesson* και *Goudard* (*Solex*) βελτίωσαν την τη συμπεριφορά λειτουργίας των κινητήρων και τη μείωση του καυσίμου κατανάλωσης.

Με την αύξηση της ισχύος, έπρεπε να διαχειριστεί η περισσότερη παραγόμενη θερμότητα με το ψυκτικό σύστημα της μηχανής. Σε αυτό το στάδιο, έγινε αντιληπτό από τους κατασκευαστές κινητήρων εσωτερικής καύσης ότι η μέθοδος ψύξης μέσα από τη διαδικασία της εξάτμισης (*cooling evaporation*) ότι είναι ο παράγοντας που περιορίζει την ισχύ. (Richard., 2002)



**Εικόνα 1.2:** Σχηματική απεικόνιση μηχανών εσωτερικής καύσης από το 1899 έως το 1998. (Richard., 2002)

Η απόρριψη της θερμότητας ήταν πολύ χαμηλή με το τότε σύγχρονο σύστημα ψύξης. Απαιτούσε μεγάλη ποσότητα αποθηκευμένου και κατ' επέκταση μεταφερόμενου νερο νερού εσωτερικά στο όχημα ώστε να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Τα κρίσιμα για τη σωστή λειτουργία μέρη του κινητήρα δεν μπορούσαν να ψύχονται επαρκή και αξιόπιστα με τη φυσική κυκλοφορία νερού (θερμικό σιφόνι) δημιουργώντας πρόβλημα. Η κηρήθρα ψύξης του *Wilhelm Maybach* προσέφερε τη φυσικά "εφαρμόσιμη" λύση που θα επέτρεπε την εντατικοποίηση της μεταφοράς θερμότητας στην πλευρά της ασθενούς θερμικής μετάβασης.

Μετά την αποτελεσματική αντιμετώπιση βασικών δομικών προβλημάτων των κινητήρων εσωτερικής καύσης η πρόοδος αλλά και ο ρυθμός παραγωγής τους αυξήθηκε ραγδαία.

Προκειμένου να αυξηθεί η ισχύς και να βελτιωθεί η ομαλότητα της κυκλοφορίας, ο αριθμός των κυλίνδρων αυξήθηκε -από ένα σε δύο και στη συνέχεια σε τέσσερα, όπως στο μοντέλο Mercedes Simplex(2). Ο διαχωρισμός του θαλάμου καύσης σε αρκετούς κυλίνδρους επέτρεψε υψηλότερες ταχύτητες και μία καλύτερη διαχείριση του θαλάμου καύσης. Πιο συγκεκριμένα με τις παραπάνω τροποποιήσεις επιτεύχθηκε καλύτερη σχέση παραγωγής έργου (αποτελεσματική μέση πίεση).

### 1.1.3 Ανάπτυξη - Εξέλιξη (1<sup>ος</sup>& 2<sup>ος</sup> Παγκόσμιος Πόλεμος)

Η κατασκευή κινητήρων καθώς και οχημάτων ξεκινάει σε παγκόσμιο επίπεδο. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το προσωπικό όχημα αλλάζει ταυτότητα και από ένα χόμπι των πλουσίων και προνομιούχων προσδιορίζεται σε ένα είδος καθημερινής χρήσης ακόμα και πριν από τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο. Το 1909 ο *Henry Ford* ξεκίνησε την παραγωγή του μοντέλου T (Tin Lizzie). Μέχρι το 1927 είχαν κατασκευαστεί περισσότερα από 15 εκατομμύρια των οχημάτων τέτοιου μοντέλου. Στην Ευρώπη η ευρεία χρήση μηχανοκίνητων οχημάτων (κυρίως εμπορικών οχημάτων) ξεκίνησε κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου.

Η μαζική παραγωγή απαιτούσε μια ορισμένη ενοποίηση και τυποποίηση των δομικών στοιχείων στους κινητήρες. Η επικείμενη λειτουργία αυτών κάτω από τις ακραίες συνθήκες κατά την διάρκεια του πολέμου αποκάλυψε παραπάνω από αρκετά σφάλματα σχεδίασης. Η λειτουργία, η συντήρηση και η επισκευή ενός τόσο μεγάλου αριθμού οχημάτων απαιτούσε την κατάρτιση και άρτια εκπαίδευση περισσότερου προσωπικού στην αυτοβιομηχανία.

Η εξέλιξη των κινητήρων των αεροσκαφών από τον πόλεμο έδωσε ισχυρή ώθηση στη βελτίωση των κινητήρων των αυτοκινήτων στις αρχές της δεκαετίας του 1920, και αυτό ισχύει τόσο στον σχεδιασμό τους (βασική κατασκευή) όσο και στις λεπτομέρειες των επιμέρους τμημάτων τους. Εκτός από τις όρθιες βαλβίδες με κυλινδροκεφαλές σχήματος "L" και "T", κινητήρες με ανασταλτικές βαλβίδες και οι συμπαγείς θαλάμους καύσης δημιουργήθηκαν δημιουργώντας υψηλότερες αναλογίες συμπίεσης, κάτι το οποίο αποτελούσε προϋπόθεση για περισσότερη ισχύ και χαμηλότερη κατανάλωση.

Στη δεκαετία του 1920, υπήρξε μια ιδιαίτερα αποδοτική βιομηχανία στα εξαρτήματα που συνυπάρχουν με την αυτοκινητοβιομηχανία και τη βιομηχανία κινητήρων. Η προαναφερθείσα αναπτυξιακή τάση χρησίμευσε ως αναπτυξιακό κέντρο που ενώνει όχι μόνο τη γνώση και την εμπειρία σε διάφορους τομείς αλλά και την πιο αποδοτική παραγωγή. Αυτή η βιομηχανία παρήχθη για αρκετούς (ή ακόμη και όλους) κατασκευαστές κινητήρων και κατά συνέπεια ήταν σε θέση να προσφέρει αποδεδειγμένα, περισσότερο ή λιγότερο τυποποιημένα και φθηνά εξαρτήματα όπως έμβολα, έδρανα, καλοριφέρ, καρμπυρατέρ, ηλεκτρικό εξοπλισμό και πετρελαίου συστήματα έγχυσης.

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, η ανάπτυξη του αυτοκινήτου οι βιομηχανίες και η παραγωγή – εξέλιξη των κινητήρων εισέρχεται σε μια στάσιμη κατάσταση παγκοσμίως. Μετά τον πόλεμο, ξεκίνησε και πάλι η παραγωγή προπολεμικών κινητήρων. (Richard., 2002)

#### **1.1.4 Σημαντικότερα τελικά στάδια εξέλιξης**

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και την επαναφορά της βιομηχανίας σε αναπτυξιακούς ρυθμούς η εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσης ήταν ραγδαία.

##### **1.1.4.1 Τεχνολογία Έγχυσης Καυσίμου**

Πριν από την έγχυση καυσίμου, η πλήρωση της βενζίνης στο θάλαμο καύσης ήταν μια αόριστη και λεπτή διαδικασία. Τα καρμπυρατέρ χρειάζονταν συχνά καθαρισμό και ανακατασκευή, καθώς επηρεάζονταν από τις καιρικές συνθήκες, τη θερμοκρασία και το υψόμετρο. Συγκριτικά, η έγχυση καυσίμου ήταν απλή: βοήθησε τον κινητήρα να λειτουργήσει πιο ομαλά, πιο σταθερά, να τρέξει πιο αποτελεσματικά και να εξαλείψει την ενοχλητική δουλειά του να ρυθμίζει ο οδηγός το “τσοκ” κάθε φορά. Παράγωγο της τεχνολογίας των πολεμικών αεροπλάνων, το 1955 εισήχθη και εφαρμόστηκε τεχνολογικά για πρώτη φορά στα αυτοκίνητα(3). Εκείνη τη χρονιά, οι *Stirling Moss* και *Denis Jenkinson* οδήγησαν το αγωνιστικό αυτοκίνητο της Mercedes-Benz 300SLR σε ένα εξαντλητικό αγώνα, τον Mille Miglia, των 992 μιλίων στην Ιταλία, κερδίζοντας κάνοντας το μοναδικό για την εποχή ρεκόρ: 10 ώρες, 7 λεπτά και 48 δευτερόλεπτα.

Η έκδοση Benz δεν έγινε μόνο το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με έγχυση καυσίμου, που αναπτύχθηκε από τη Bosch, ήταν επίσης το γρηγορότερο αυτοκίνητο στον κόσμο. Δύο χρόνια αργότερα, η Chevrolet έδωσε στο Corvette κινητήρα "Fuelie", με σύστημα ψεκασμού καυσίμου Rochester Ramjet που κατάφερε να ξεπεράσει σε ταχύτητα το 300SL.

##### **1.1.4.2 Στροβιλοσυμπιεστής “Turbo”**

Ο στροβιλοσυμπιεστής είναι ένα από τα κοσμήματα της εξέλιξης των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Ένας στρόβιλος σε σχήμα σαλιγκαριού που τροφοδοτεί



περισσότερο αέρα στο κύλινδρο, έδωσε κάποτε την δυνατότητα στους 12-κύλινδρους κινητήρες των πολεμικών αεροσκαφών του Β' Παγκοσμίου Πολέμου να ανεβαίνουν ψηλότερα, γρηγορότερα και μακρύτερα. Ακριβώς την ίδια εφαρμογή κάνει και στην ξηρά με τα χερσαία οχήματα. Είναι η αρχή "αντίχειρας πάνω σε κηπευτικό λάστιχο" σε δράση: η συσφιγμένη ροή επιταχύνει την εξάτμιση πιο γρήγορα στον στρόβιλο, βελτιώνοντας την απόκριση χαμηλών στροφών και μειώνοντας την υστέρηση του στροβιλισμού. Επιπλέον, με αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών και απόδοσης, αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τη συμπίεση της μεγάλης ισχύος κινητήρα από τις μικρότερες και ελαφρύτερες μηχανές. (<https://www.popularmechanics.com>)

#### 1.1.4.3 Ρυθμίσεις Συμπίεσης

Μέσα στον κύλινδρο ενός κινητήρα, όσο περισσότερο δύναται να συμπιεστούν τα αέρια και τα καύσιμα, τόσο περισσότερη δύναμη θα αποκτήσει κατά την έκρηξη. 'Ο όγκος που μπορεί να πιέσει το έμβολο αποτελεί το λόγο συμπίεσης (compressionratio). Αλλά οι κατασκευαστές δεν μπορούσαν να εκτοξεύσουν τις αναλογίες συμπίεσης πάρα πολύ υψηλά, μιας και το μείγμα ή θα "ανάψει" από μόνο του ή το επόμενο "χτύπημα" θα σπάσει τον κινητήρα. Με την ηλεκτρονική διαχείριση καυσίμων και την καλύτερη κατανόηση του ελέγχου των εκπομπών, οι κινητήρες άρχισαν να παράγουν περισσότερη δύναμη ενώ συρρικνώνονταν σε μετατόπιση. (<https://www.popularmechanics.com>)

### 1.2 Δομή-Λειτουργία Μηχανών Εσωτερικής Καύσης

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), αποτελεί μια μηχανή θερμότητας που μετατρέπει τη χημική ενέργεια η οποία εμπεριέχεται σε ένα καύσιμο, σε μηχανική ενέργεια, η οποία συνήθως διατίθεται-μεταφέρεται σε έναν περιστρεφόμενο άξονα εξόδου. Ουσιαστικά το παραπάνω εφαρμόζεται αξιοποιώντας την αποταμιευμένη στα καύσιμα χημική ενέργεια. Οι θερμικές μηχανές μπορούν να χωριστούν σε μηχανές εσωτερικής και εξωτερικής καύσης.

Η καύση είναι η διαδικασία κατά την οποία το καύσιμο που θερμαίνεται πέρα από το σημείο ανάφλεξης του, κάτι το οποίο ορίζεται και από τα φυσικά-χημικά χαρακτηριστικά του, ανάβει και εκπέμπει ενέργεια αλλά και απόβλητα ως αέρια καυσαερίων (διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα και νερό). Τα τρία στοιχεία που είναι απαραίτητα για την καύση (ή φωτιά) είναι: Οξυγόνο + θερμότητα + καύσιμο = έκρηξη ή φωτιά

Η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται πρώτα σε θερμική ενέργεια μέσω καύσης ή οξειδωσης με αέρα μέσα στον κινητήρα. Στη συνέχεια αυτή η θερμική ενέργεια αυξάνει τη θερμοκρασία και την πίεση των αερίων εντός του κινητήρα και το αέριο υψηλής πίεσης τότε επεκτείνεται-διαστέλλεται έναντι των μηχανικών μηχανισμών του κινητήρα. (Pulkrabek., 2004)

Πιο αναλυτικά οι μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιούν διαδοχικές εκρήξεις ατμοσφαιρικού αέρα και μίγματος καυσίμων για να ωθήσουν ένα έμβολο προς τα κάτω σε έναν αεροστεγή εσωτερικό κύλινδρο. Το έμβολο συνδέεται μέσω ενός

μεγάλου άκρου που φέρει έναν στροφαλοφόρο άξονα που ζυγίζεται από ένα σφόνδυλο για να υποβοηθήσει την περιστροφική ορμή του. Έτσι, με τρία πρωτεύοντα κινούμενα μέρη (έμβολο, ράβδος σύνδεσης και στροφαλοφόρο άξονα), η παλινδρομική κίνηση του εμβόλου οδηγεί την περιστροφική κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα.

Η διαστολή αυτή μεταφέρεται από τους μηχανικούς συνδέσμους του κινητήρα σε έναν περιστρεφόμενο στροφαλοφόρο άξονα, ο οποίος βρίσκεται στην έξοδο του κινητήρα. Ο στροφαλοφόρος άξονας, με τη σειρά του, συνδέεται με ένα κιβώτιο ταχυτήτων και την αμαξοστοιχία κίνησης για τη μετάδοση της περιστροφικής μηχανικής ενέργειας στην επιθυμητή τελική χρήση αυτής. Συνήθως η παραπάνω ενέργεια-εκμετάλλευση αυτής αφορά κινητήρες με σκοπό την μεταφορά-πρόωση ενός οχήματος (δηλ. αυτοκινήτου, φορτηγού, μηχανής, θαλάσσιου σκάφους ή αεροπλάνου). (Pulkrabek., 2004)

Οι περισσότερες μηχανές εσωτερικής καύσης είναι *παλινδρομικές* μηχανές με έμβολα που ανταλλάσσονται εμπρός και πίσω εντός των εσωτερικών κυλίνδρων εσωτερικά στον κινητήρα. Τύποι κινητήρων (βλέπε Πίνακα 1.1) όπως οι ατμομηχανές και οι κινητήρες αεριοστροβίλων, είναι ταξινομημένοι ως μηχανές εξωτερικής καύσης (δηλ. η καύση πραγματοποιείται εκτός του κινητήρα-μηχανικού συστήματος). Οι κυλιόμενοι κινητήρες μπορούν να έχουν έναν κύλινδρο ή πολλούς, (20 ή ακόμα και περισσότερους). Οι κύλινδροι μπορούν να τοποθετηθούν σε πολλές διαφορετικές γεωμετρικές διαμορφώσεις.

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που κυμαίνονται από θαλάσσια πρόωση και ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη με δυναμικότητα άνω των 100 MW μέχρι και σε εργαλεία κίνησης δια χειρός όπου η παραδοθείσα ισχύς είναι μικρότερη από 100 W.

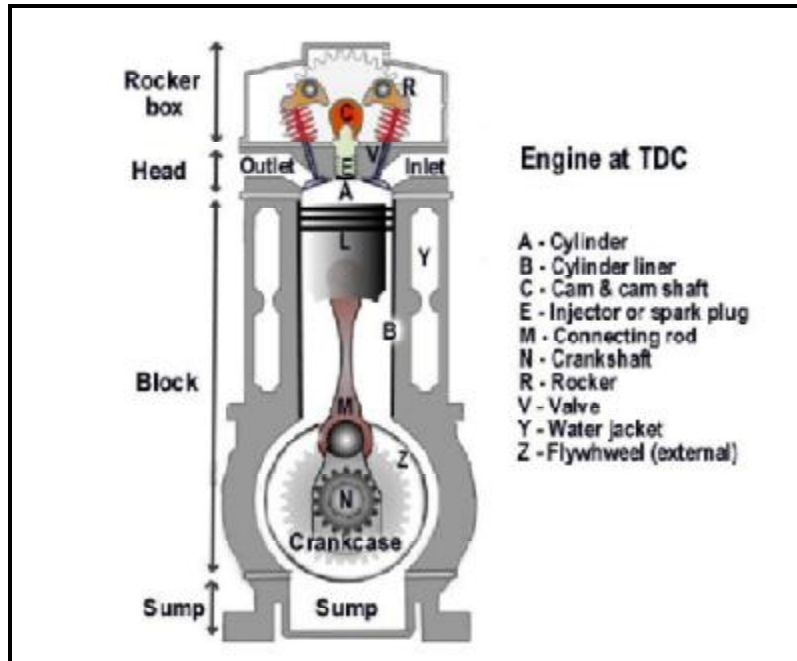
Η πλειονότητα των παλινδρομικών κινητήρων εσωτερικής καύσης λειτουργεί με το λεγόμενο τετράχρονο κύκλο (Εικόνα.1.3), το οποίο υποδιαιρείται σε τέσσερις διαδικασίες: εισαγωγή, συμπίεση, επέκταση / ισχύ και εξάτμιση. Κάθε κύλινδρος κινητήρα απαιτεί τέσσερις διαδρομές του εμβόλου που αντιστοιχούν σε δύο στροφές στροφαλοφόρου άξονα για να ολοκληρωθεί η ακολουθία που οδηγεί στην παραγωγή ισχύος.

Η δεξαμενή λίπανσης (εφοδιασμένη συνήθως με μηχανικό λάδι), μία κυλινδροκεφαλή με εξόδους και εισόδους αερίου, (βλέπε Εικόνα Χ.Χ), ένας οδοντωτός τροχός κατεύθυνσης εκκεντροφόρου, πάνω από το κεφάλι μέσα σε ένα κυλιόμενο κιβώτιο. Για να λειτουργήσει ο σωστός χρονισμός αποτελεί το πάν. Πρέπει να τοποθετηθεί χρονικά σωστά το φορτίο καυσίμου (ντίζελ, βενζίνη ή αέριο) καθώς και ο αέρας (οξυγόνο). Το καυσαέριο να αφαιρεθεί και να επανατοποθετηθεί η σφραγίδα συμπίεσης την ακριβή στιγμή για την επιτυχημένη εκρηκτική ανάφλεξη.

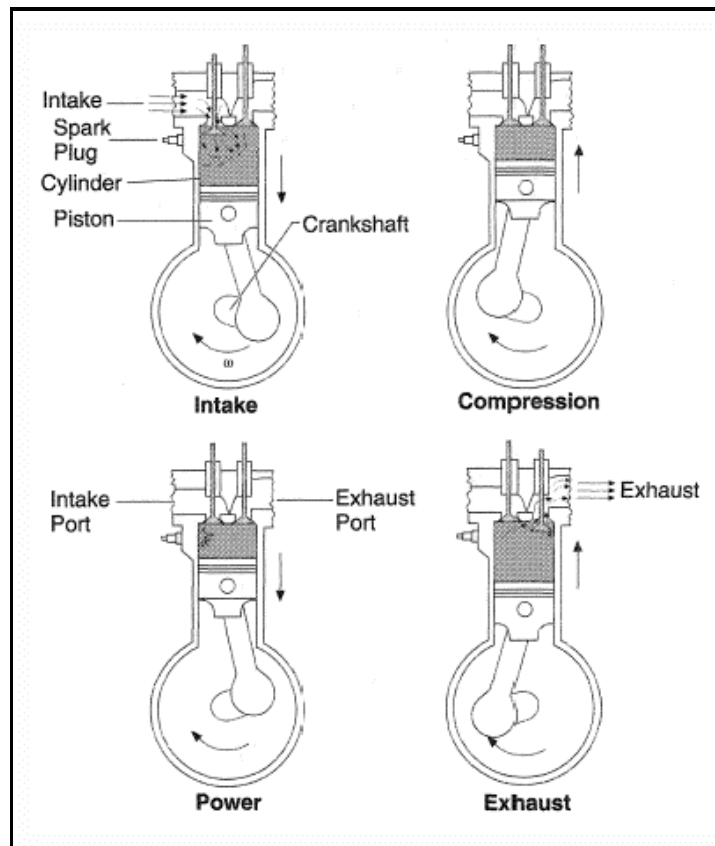
Για να εξασφαλιστεί μια στεγανής αεροστεγή σφράγιση, οι κυλινδρικές επένδυσες στο μπλοκ του κινητήρα τοποθετούνται σε πολύ σφιχτά ανοίγματα και ο κύλινδρος του εμβόλου είναι αυλακωτός ώστε να δέχεται τους στενούς μεταλλικούς δακτυλίους που ανοίγουν. Το παραπάνω γεγονός καθιστά δυνατή την ολίσθηση των κυλίνδρων.

Για να εισαχθεί το μίγμα καυσίμου / αέρα και να εξαντληθούν τα προϊόντα της καύσης, πρέπει να προβλεφθούν οι σφραγιζόμενοι διάυλοι εισόδου και εξόδου. Συνήθως αυτές οι δίοδοι παίρνουν τη μορφή είτε θυλάκων (τρύπες στο τοίχωμα του κυλίνδρου που καλύπτονται και αποκαλύπτονται από το πέρασμα του εμβόλου) είτε

από βαλβίδες (χαλύβδινα πώματα που συνδέουν και αποσυνδέουν τρύπες στην κυλινδροκεφαλή στα σωστά χρονικά διαστήματα).



**Εικόνα 1.3:** Σχεδιάγραμμα-προφίλ εσωτερικού κινητήρα εσωτερικής καύσεως. (Hope., 2015)



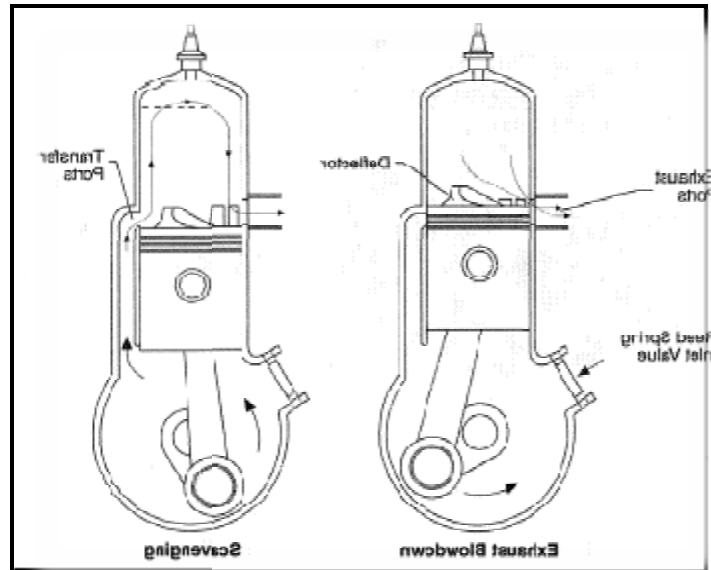
**Εικόνα 1.4:** Σχεδιάγραμμα ενός πλήρους κύκλου κυλίνδρων τετράχρονης μηχανής. (Google)

Η διαδρομή εισαγωγής ξεκινάει από την προς τα κάτω κίνηση του εμβόλου, η οποία έλκει το μίγμα φρέσκου καυσίμου / αέρα διαμέσου του συγκροτήματος θυρίδας / βαλβίδας και τελειώνει όταν το έμβολο φτάσει στο κέντρο νεκρού κέντρου (BDC). Το μείγμα παράγεται είτε με καρμπυρατέρ (όπως συμβαίνει με τους συμβατικούς κινητήρες) είτε με έγχυση βενζίνης σε χαμηλή πίεση στη θύρα εισαγωγής μέσω εγχυτήρα ελεγχόμενης ρύθμισης (όπως στους πιο προηγμένους κινητήρες). (<http://www.thermopedia.com>)

Στην πραγματικότητα, η διαδικασία επαγωγής ξεκινά με το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής ακριβώς πριν από το κέντρο νεκρού σημείου (TDC) και τελειώνει όταν η βαλβίδα εισαγωγής (ή βαλβίδες σε κινητήρες τεσσάρων βαλβίδων ανά κυλίνδρου) κλείνει λίγο μετά το BDC. Ο χρόνος κλεισίματος της (των) βαλβίδας (ων) εισαγωγής είναι συνάρτηση του σχεδιασμού της πολλαπλής επαγωγής, η οποία επηρεάζει τη δυναμική του αερίου και την ογκομετρική απόδοση του κινητήρα και τις στροφές του κινητήρα. (<http://www.thermopedia.com>)

Όπως και θα αναφερθεί εκτενέστερα σε παρακάτω κεφάλαια της παρούσας εργασίας, ο κύκλος τετράχρονων μηχανών, γνωστός και ως κύκλος *Otto* (ονομασία δοθείσα μετά τον εφευρέτη του *Nicolaus Otto*, ο οποίος δημιούργησε τον πρώτο κινητήρα το 1876), παράγει ένα μοχλό για δύο στροφές στροφαλοφόρων αξόνων. Ένας τρόπος για να αυξηθεί η ισχύς εξόδου ενός δεδομένου μεγέθους κινητήρα είναι να μετατραπεί σε ένα δίχρονο κύκλο (Εικόνα. 1.4) στον οποίο παράγεται ισχύς κατά τη διάρκεια κάθε περιστροφής του κινητήρα.

Επειδή αυτός ο τρόπος λειτουργίας οδηγεί σε αυξημένη απόδοση ισχύος - αν και όχι στα διπλά επίπεδα που αναμένονται από τους απλούς υπολογισμούς-έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε μοτοσυκλέτες, επιβατικά αυτοκίνητα και θαλάσσιες εφαρμογές τόσο με ανάφλεξη με σπινθήρα όσο και με κινητήρες νίζελ(5). Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ο απλός σχεδιασμός των δίχρονων κινητήρων, καθώς μπορούν να λειτουργούν με πλευρικές θύρες στην επένδυση, καλυμμένες και αποκαλυμμένες με κίνηση εμβόλου, αντί της ογκώδους και περίπλοκης διαρρύθμισης εκκέντρου. (<http://www.thermopedia.com>)



**Εικόνα 1.5:** Σχεδιάγραμμα ενός πλήρους κύκλου κυλίνδρων δίχρονης μηχανής.  
(Google)

### 1.3 Κατηγοριοποίηση μηχανών εσωτερικής καύσης

Μία από τις πιο βασικές καθώς και πιο καθορίστηκες στην παραγόμενη ισχύ αλλά και συνολική λειτουργεία διαφοροποίηση των διάφορων κινητήρων εσωτερικής καύσης (για οποιαδήποτε επικείμενη εφαρμογή αυτών), αποτελεί η εσωτερική διαρρύθμιση αλλά και ο αριθμός των κυλίνδρων. (<http://books.google.co.in>)

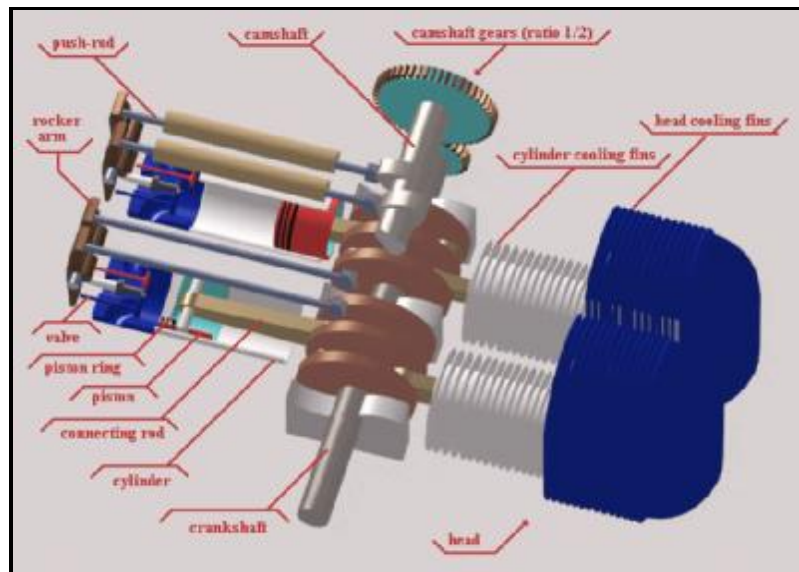
Μερικές από τις χαρακτηριστικές γεωμετρίες διαρρύθμισης παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 1.7). Ιδιαίτερης σημασίας χρήζει η γεωμετρία τοποθέτησης των κυλίνδρων στην ευθεία (in-line arrangement) η οποία είναι και μία από τις πιο βασικές. Συναντάται στα περισσότερα επιβατικά αμάξια με 4 κυλίνδρους καθώς και με 12 σε μεγάλα επιβατικά πλοία. Επίσης ιδιαίτερα δημοφιλής στοίχιση αποτελεί η γεωμετρία τύπου "V" όπου ουσιαστικά φέρει παρόμοια φιλοσοφία λειτουργεία με την προαναφερθείσα διαρρύθμιση (in-line) αλλά σε μία καθορισμένη γωνία (45°, 50°, 55°, 60° ή 90°). (<http://books.google.co.in>)

Πιο αναλυτικά, βλέπε και Πίνακα 1.1, οι μηχανές εσωτερικής καύσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Στη συνέχεια παρατίθενται κάποιες από τις συνηθέστερες κατηγορίες:

- Ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού τους, χωρίζονται σε:
  - παλινδρομικές
  - περιστροφικές.

Στις παλινδρομικές μηχανές υπάρχουν ένας ή περισσότεροι κύλινδροι όπου μέσα σε αυτούς γίνεται η κίνηση των εμβόλων. Ο θάλαμος καύσης βρίσκεται στο κλειστό άκρο

των κυλίνδρων. Έτσι, η ισχύς μεταφέρεται στον περιστροφικό άξονα δια μέσου μιας μηχανικής σύνδεσης με τα έμβολα. (Kiencke et Nielsen., 2000)

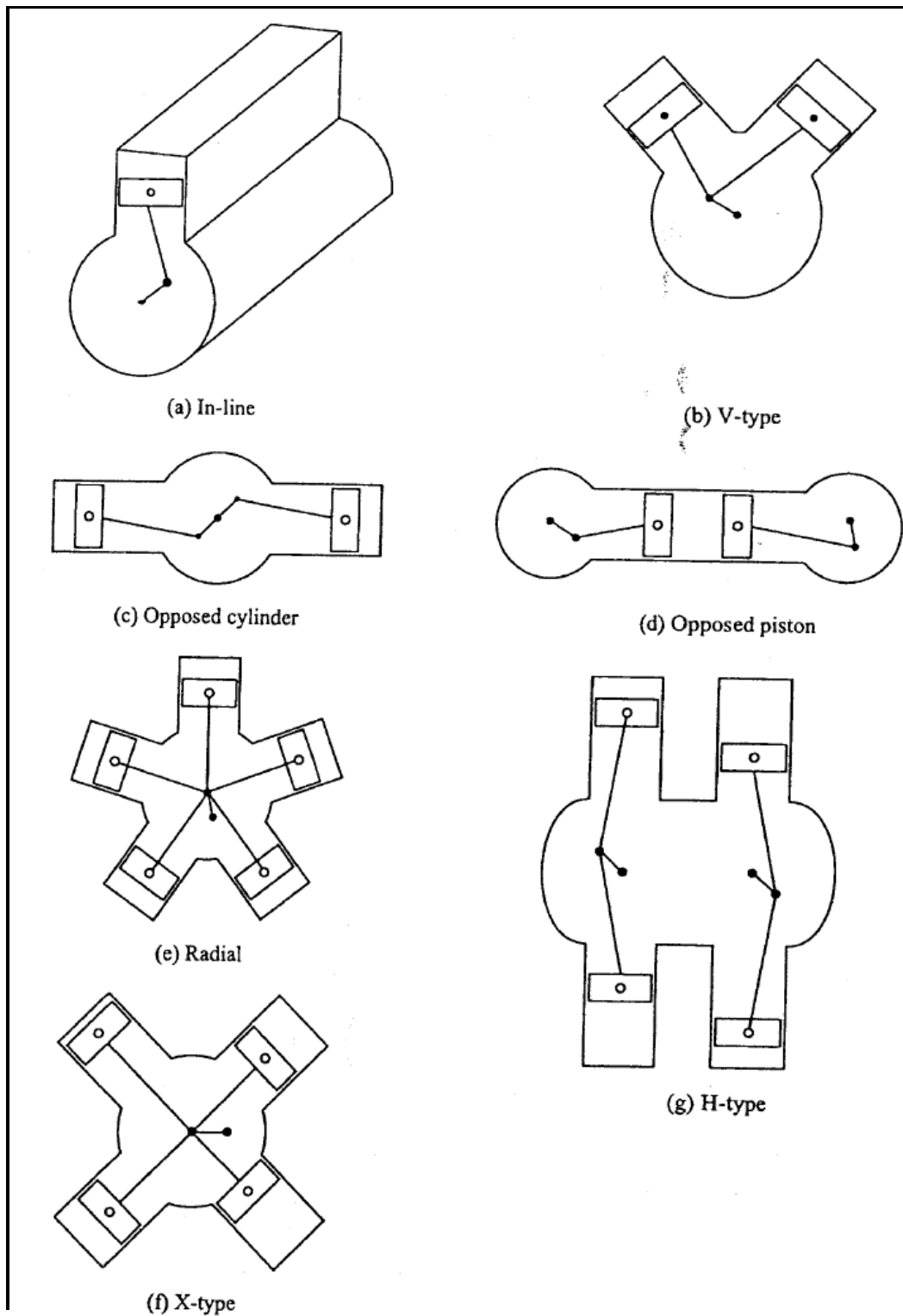


Εικόνα 1.6: Τρισδιάστατο μοντέλο διαρρύθμισης εσωτερικού κινητήρα (Google)

| <b>Κατηγοριοποίηση Κινητήρων</b> |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Θερμοδυναμικός Κύκλος</b>     | Σταθερού όγκου θερμοκρασίας / Κύκλος Otto  |
|                                  | Σταθερής πίεσης θερμοκρασία / Κύκλος Diesel  |
|                                  | Μερική τροφοδοσία σταθερού όγκου ή πίεση θερμοκρασίας / Διπλός Κύκλος              |
|                                  | Κύκλος Joule ή Brayton   |
| <b>Χρόνοι Κύκλων</b>             | Τετράχρονος Κύκλος   |
|                                  | Δίχρονος Κύκλος  |
| <b>Τύπος Καυσίμου</b>            | Μηχανές "ελαφριών" καυσίμων (Light Oil)  |
|                                  | Μηχανές "βαρέων" καυσίμων (Heavy Oil)  |
|                                  | Κινητήρες χρήσης αερίου (φυσικό αέριο, υδρογόνο κ.ο.κ)                             |
|                                  | Κινητήρες χρήσης διπλού τύπου καυσίμων (αέριο για κίνηση και βενζίνη για εκκίνηση) |
| <b>Τύπος Τροφοδοσίας</b>         | Τροφοδοσία μέσω καρμπυρατέρ  |
|                                  | Πολύ-σημειακή έγχυση τύπου (MPI)   |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Καυσίμου</b>          | Σημειακή έγχυση                                   |
|                          | Έγχυση με υψηλή πίεση                             |
| <b>Τύπος Ανάφλεξης</b>   | Ανάφλεξη με τη χρήση αναφλεκτήρα (spark ignition) |
|                          | Ανάφλεξη μέσω συμπίεσης (C.I)                     |
|                          | Πιλοτική έγχυση καυσίμου (Pilot Injections)       |
| <b>Τύπος Ψύξης</b>       | Υδροψυκτες μηχανές - κινητήρες                    |
|                          | Αερόψυκτες μηχανές - κινητήρες                    |
| <b>Ταχύτητα</b>          | Χαμηλής Ταχύτητας                                 |
|                          | Μέσης Ταχύτητας                                   |
|                          | Υψηλής Ταχύτητας                                  |
| <b>Τύπος Λίπανσης</b>    | Υγρό "καζανάκι" λίπανσης (wet sump)               |
|                          | Ξηρό "καζανάκι" λίπανσης (dry sump)               |
|                          | Λίπανση μέσω συμπίεσης                            |
| <b>Τύπος Εφαρμογής</b>   | Σταθεροί κινητήρες παραγωγής ενέργειας            |
|                          | Θαλάσσιοι κινητήρες                               |
|                          | Χερσαίοι κινητήρες                                |
|                          | Κινητήρες αερομεταφοράς                           |
|                          | Κινητήρες Αμαξοστοιχιών                           |
| <b>Αριθμός Κυλίνδρων</b> | Μονό-κύλινδροι κινητήρες                          |
|                          | Πολύ-κύλινδροι κινητήρες                          |

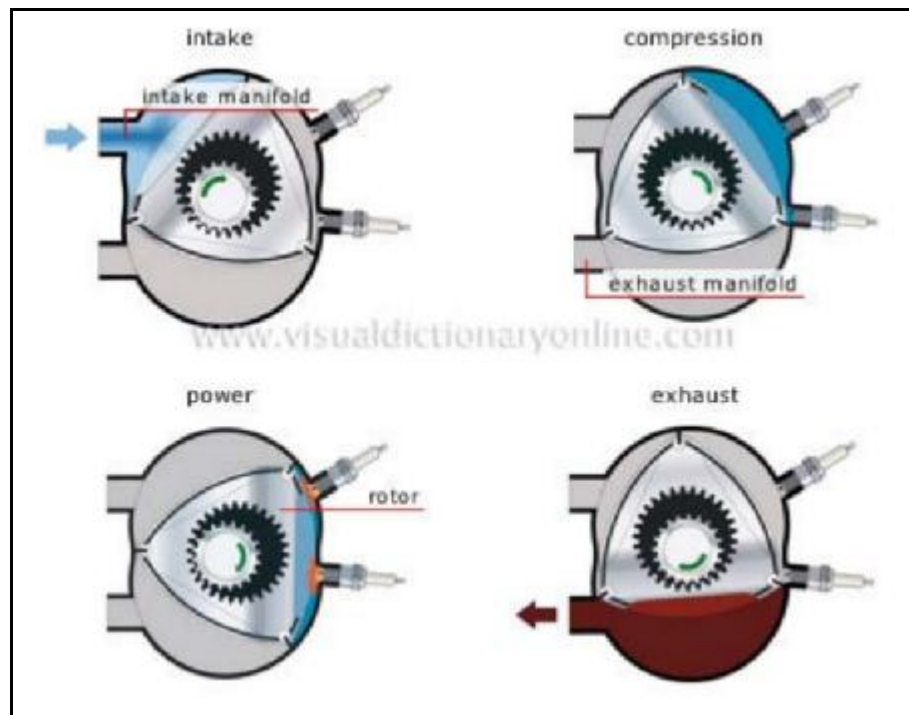
**Πίνακας 1.1** Δυνητική ταξινόμηση των κινητήρων εσωτερικής καύσης με βάση διάφορα δομικά αλλά και λειτουργικά στοιχεία τους. (<http://books.google.co.in>)



**Εικόνα 1.7:** Στοιχειοθέτηση γεωμετρική ανάπτυξη μονό-κύλινδρων αλλά και πολύ-κύλινδρων κινητήρων. (<http://books.google.co.in>)



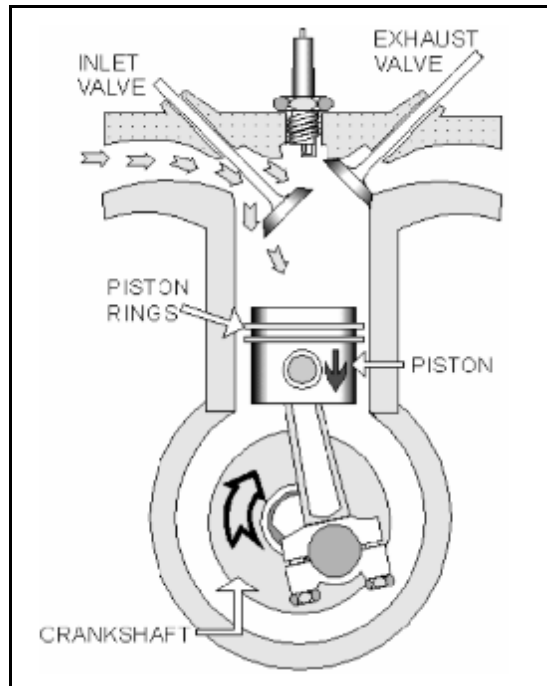
Στις περιστροφικές μηχανές υπάρχει ένας στάτορας ο οποίος δημιουργείται περιμετρικά ενός μεγάλου (μη ομόκεντρου) κινητήρα και ενός άξονα, ενώ οι θάλαμοι καύσεως βρίσκονται στο μη περιστρεφόμενο τμήμα της μηχανής.



**Εικόνα 1.8:** Στοιχειοθέτηση και γεωμετρική ανάπτυξη περιστροφικού κινητήρα.  
(Google)

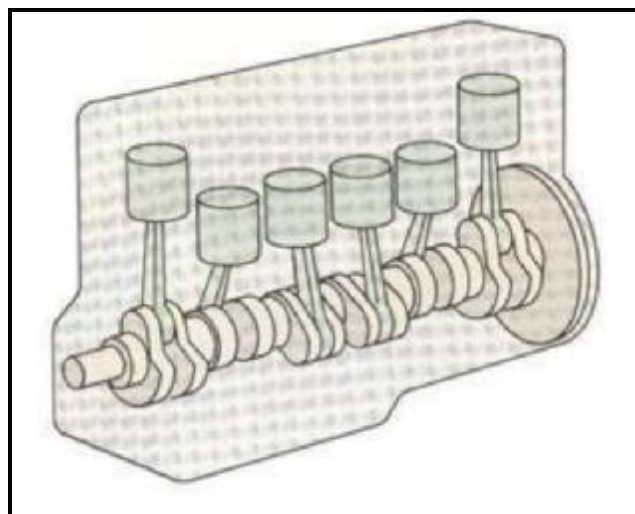
- Ανάλογα με τη διάταξη των εμβόλων, οι περιστροφικές μηχανές χωρίζονται σε:
  - κατακόρυφες, (εν σειρά)
  - οριζόντιες, (εν σειρά)
  - τύπου μπόξερ,
  - τύπου V,
  - τύπου W,
  - αντιθέτων εμβόλων,
  - αστεροειδείς μονές,
  - αστεροειδείς διπλές
  - τετραγωνικής διάταξης.
- Ανάλογα με τον αριθμό των εμβόλων, ή κυλίνδρων, οι παλινδρομικές μηχανές, χωρίζονται σε:
  - απλού κυλίνδρου
  - Ευθύγραμμες (π.χ. δικύλινδρες, τετρακύλινδρες, [...], ν-κύλινδρες)
  - Τύπου V
  - Αντίστροφου κυλίνδρου
  - Τύπου W
  - Αντίθετων εμβόλων
  - Ακτινικές

Στην πρώτη και απλούστερη περίπτωση, η μηχανή διαθέτει έναν κύλινδρο και το έμβολο είναι συνδεδεμένο απευθείας στον άξονα.



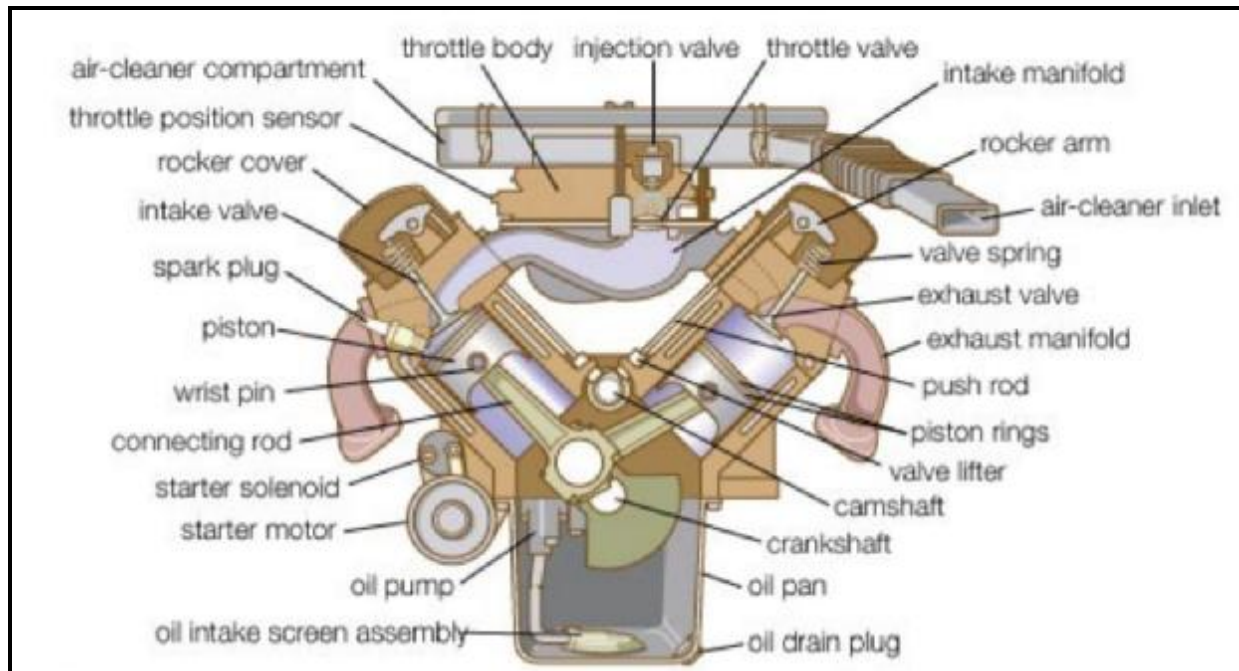
**Εικόνα 1.9:** Σχεδιάγραμμα εσωτερικού παλινδρομικού μόνο-κύλινδρου κινητήρα. (Google)

Στην περίπτωση των ευθύγραμμων (in-line arrangement), οι κύλινδροι τοποθετούνται σε σειρά κατά μήκος του άξονα. Το πλήθος των κυλίνδρων είναι από 2 έως 16 κυλίνδρους συνήθως. Οι ευθύγραμμες μηχανές είναι ο συνηθέστερος τύπος μηχανών αυτοκινήτων (συνήθως έως 8 κυλίνδρους). (Kiencke et Nielsen., 2000)



**Εικόνα 1.10:** Εξακύλινδρη παλινδρομική μηχανή. (Google)

Οι μηχανές κυλίνδρων τύπου V, διαθέτουν δύο σειρές κυλίνδρων, που σχηματίζουν γωνία μεταξύ τους μεταξύ 15 - 90 μοιρών. Οι μηχανές της συγκεκριμένης κατηγορίας έχουν από 2 μέχρι 20 κυλίνδρους.



**Εικόνα 1.11:** Μηχανή τύπου V2 κυλίνδρων. (Google)

Στις μηχανές αντίστροφου κυλίνδρου υπάρχουν δύο συστάδες αντίθετων κυλίνδρων απλού άξονα. Τέτοιοι τύποι μηχανών συναντώνται κυρίως σε μικρά αεροσκάφη αλλά και σε αυτοκίνητα (μέχρι οκτώ κυλίνδρους).

Οι μηχανές τύπου W αποτελούν ειδική κατηγορία των μηχανών τύπου V με τη μόνη διαφορά ότι διαθέτουν τρεις σειρές κυλίνδρων πάνω στον ίδιο άξονα. Στην πιο τετριμμένη περίπτωση, έχουν 12 κυλίνδρους, ενώ η κλίση μεταξύ των σειρών κυλίνδρων είναι περίπου 60 μοιρών.

Στις μηχανές αντίθετων εμβόλων ο σχηματισμός είναι δυο έμβολα ανά κύλινδρο, ενώ ο θάλαμος καύσης βρίσκεται κεντρικά, μεταξύ των εμβόλων. Η καύση πυροδοτεί δύο χτυπήματα ταυτόχρονα για κάθε έμβολο, τα οποία απομακρύνονται από το κέντρο μεταφέροντας ισχύ σε έναν ξεχωριστό άξονα, που βρίσκεται στο τέλος κάθε κυλίνδρου. Την έξοδο της μηχανής αποτελούν είτε δυο περιστρεφόμενοι άξονες είτε ένας, ο οποίος βέβαια συνεχίζει με πολύπλοκες μηχανικές συνδέσεις.

Τέλος, στις ακτινικές μηχανές τα έμβολα είναι τοποθετημένα κυκλικά γύρω από τον κεντρικό άξονα. Οι ράβδοι που συνδέουν τα έμβολα συνδέονται με μια κεντρική ράβδο η οποία είναι συνδεδεμένη στον άξονα. Κάθε σειρά κυλίνδρων είναι περιπτού αριθμού κυλίνδρων (έως 13 κύλινδροι). Κατά την ανάφλεξη των κυλίνδρων,

παράγεται ένα χτύπημα ισχύος που προκαλεί την περιστροφή του άξονα. (Kiencke et Nielsen., 2000)



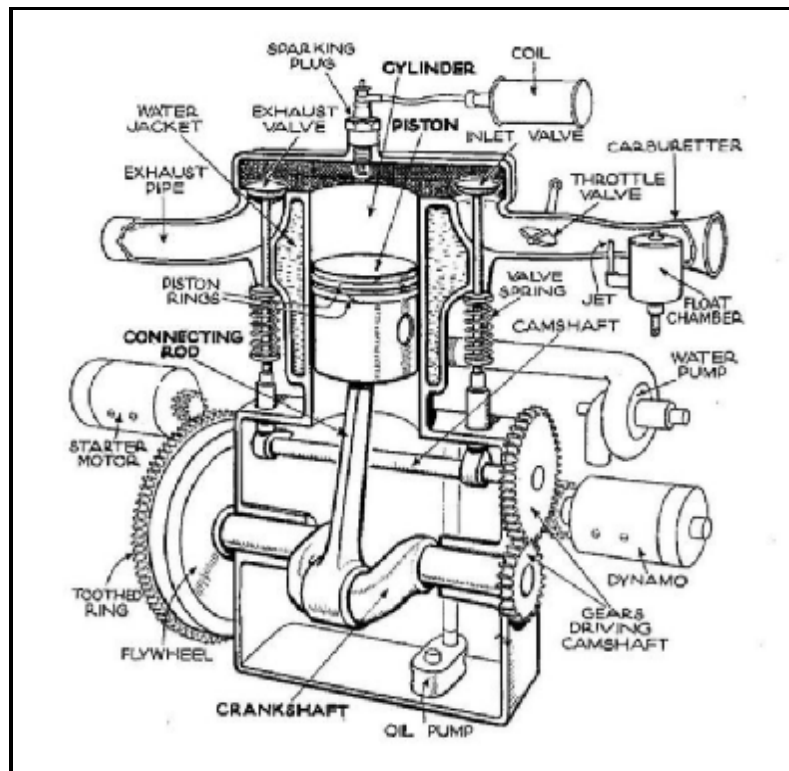
**Εικόνα 1.12:** Ακτινική μηχανή. (Google)

- Ανάλογα με τον θερμικό κύκλο τους, χωρίζονται σε:
  - μηχανές Diesel,
  - μηχανές Otto
  - μηχανές μικτού κύκλου.
  
- Ανάλογα με τους χρόνους λειτουργίας τους, χωρίζονται σε:
  - δίχρονες,
  - τετράχρονες,
  - αεριοστρόβιλοι (συνεχούς λειτουργίας)
  
- Ανάλογα με την κατεύθυνση περιστροφής, χωρίζονται σε:
  - δεξιόστροφες,
  - αριστερόστροφες
  - αναστρέψιμες
  - μη-αναστρέψιμες
  
- Ανάλογα με τον τρόπο πλήρωσης με αέριο καύσιμο, χωρίζονται σε:
  - φυσικής εισπνοής
  - υπερπληρούμενες.
  
- Ανάλογα με την ισχύ, χωρίζονται σε:
  - απλής ενέργειας

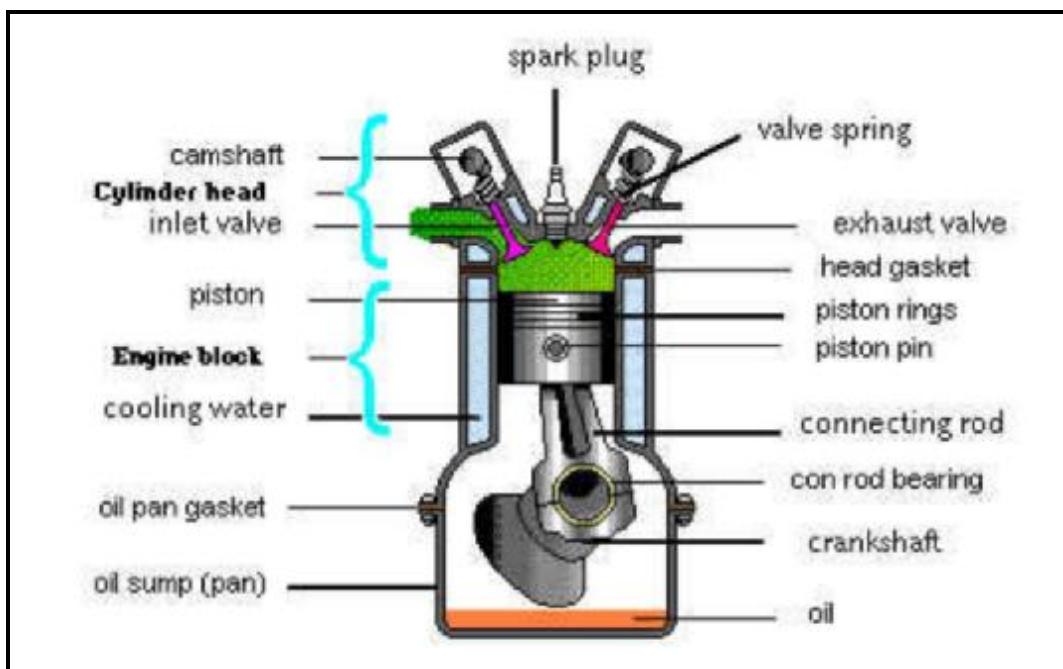
- διπλής ενέργειας
  - μικρής ισχύος
  - μέσης ισχύος
  - μεγάλης ισχύος
- Ανάλογα με την ταχύτητα των στροφών, χωρίζονται σε:
    - βραδύστροφες
    - μέσης ταχύτητας
    - ταχύστροφες ή πολύστροφες
    - υπερταχύστροφες
  - Ανάλογα με το είδος του καυσίμου, χωρίζονται σε:
    - μηχανές μαζούτ
    - ντιζελομηχανές
    - βενζινομηχανές,
    - μηχανές φυσικών αερίων
    - μηχανές μικτού καυσίμου
  - Ανάλογα με τα μέσα βελτίωσης της καύσης, χωρίζονται σε:
    - στροβιλισμού
    - περισσειας αέρος
  - Ανάλογα με τον τρόπο ψύξης, χωρίζονται σε:
    - αερόψυκτες
    - υδρόψυκτες
  - Ανάλογα με τον τρόπο έγχυσης του καυσίμου:
    - εμφύσησης αέρα,
    - μηχανικής έγχυσης
    - εξαέρωσης
  - Ανάλογα με τη θέση που τοποθετείται η βαλβίδα χωρίζονται σε:
    - I κεφαλής
    - L κεφαλής
    - T κεφαλής
    - F κεφαλής

Στην πρώτη κατηγορία, η βαλβίδα βρίσκεται στην κεφαλή ενώ στην δεύτερη η κεφαλή είναι επίπεδη και η βαλβίδα είναι τοποθετημένη πάνω σε αυτήν. Οι μηχανές T κεφαλής ήταν κατηγορία των μηχανών L κεφαλής, όπου η εσωτερική βαλβίδα και η βαλβίδα καυσαερίου βρίσκονταν εκατέρωθεν του κυλίνδρου. Μηχανές F κεφαλής ήταν οι σπάνιες περιπτώσεις, όπου η μια βαλβίδα βρισκόταν στην κεφαλή και η δεύτερη στο μπλοκ. (Nomura et Nakamura., 1993)

- Ανάλογα με το είδος της ανάφλεξης, χωρίζονται σε:
- μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα
  - μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση



Εικόνα 1.13: Μονό-χρονη κεφαλή με μηχανή τύπου “T” (Google)



Εικόνα 1.14: Μηχανή ανάφλεξης με σπινθήρα. (Google)

Στις μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση, η καύση ξεκινάει τη στιγμή που το μίγμα καυσίμου - αέρα αυταναφλέγεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στο θάλαμο καύσης που δημιουργείται από υψηλή συμπίεση . (Kiencke et Nielsen., 2000)

Οι μηχανές της πρώτης κατηγορίας εκκινούν τη διαδικασία καύσης ανά κάθε κύκλο με τη χρήση εμβόλου που δημιουργεί το σπινθήρα. Το έμβολο αυτό δημιουργεί ηλεκτρικό φορτίο υψηλής τάσης μεταξύ δύο ηλεκτροδίων τα οποία αναφλέγουν το μίγμα καυσίμου - αέρα που βρίσκεται εντός του θαλάμου καύσης μέσα στον οποίο βρίσκεται το έμβολο. Παλιότερα, πριν ανακαλυφθεί ο ηλεκτρικός σπινθήρας, για να ξεκινούσε η καύση απαιτούταν εξωτερική φλόγα. (Kiencke et Nielsen., 2000)





## 2.0 Τετράχρονοι κινητήρες

### 2.1 Η ιστορία του τετράχρονων κινητήρων

Οι τετράχρονοι κινητήρες πιστώνονται κυρίως στον Γερμανό μηχανικό *Otto*. Η αρχή του έργου του προκλήθηκε από το έργο του Βέλγου μηχανικού *Jean J. Lenoir* σε δίχρονους κινητήρες αερίου άνθρακα. Ο *Otto* προσπάθησε να βελτιώσει τη σχεδίαση του *Lenoir*, επισημαίνοντας αρκετούς λόγους για την αναποτελεσματικότητά του. Ένας τέτοιος λόγος ήταν ότι το αέριο που χρησιμοποιείται στον δίχρονο κινητήρα δεν συμπιέζεται, μειώνοντας έτσι την παραγωγικότητα της διαδικασίας. Επιπλέον, ο κινητήρας του *Lenoir* βασιζόταν στη προμήθεια φυσικού αερίου και επομένως ήταν διαθέσιμος μόνο σε σταθερές μηχανές. Ο κύκλος *Otto* βελτιώθηκε περαιτέρω καθ' όλη τη διάρκεια των επόμενων ετών, και τελικά κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1877. Αυτή η καινοτομία άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη του κινητήρα, δημιουργώντας την εποχή της αυτοκινητοβιομηχανίας.

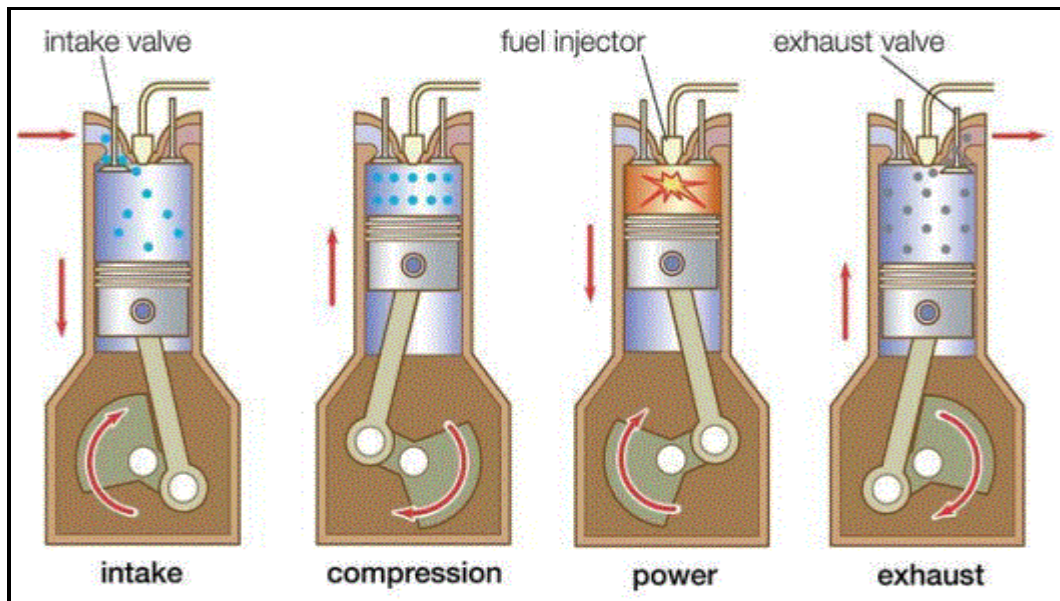
Το πρώτο θαλάσσιο σκάφος που χρησιμοποίησε πετρελαιοκινητήρες τετράχρονους είναι το *Selandia*. Το πλοίο κατέπλευσε τον ωκεανό με οκτακύλινδρους τετράχρονους κινητήρες, που στεγάζονταν μέσα σε τεράστιους περιέκτες μεγαλύτερους από το διπλάσιο του ύψους ενός μέσου πλοίου. (Watson et Janota., 1982)

### 2.2 Διαδικασία Ενέργειας

Ο τετράχρονος κινητήρας χρησιμοποιεί τέσσερις διαφορετικές διαδρομές εμβόλου για τον κύκλο λειτουργίας του. Αυτός ο κύκλος της μηχανής εσωτερικής καύσης απαιτεί δύο περάσματα μέσα στον κύλινδρο, συμπληρώνοντας δύο στροφές 360 ° του στροφαλοφόρου άξονα και του εμβόλου.

Η πρώτη περιστροφή τραβά το μίγμα αέρα-καυσίμου και το συμπιέζει, ενώ η δεύτερη περιστροφή καίει το μίγμα καυσίμου-αέρα και καθαρίζει τα καυσαέρια. Ο κύκλος περιλαμβάνει τη διαδικασία εισαγωγής του ατμοσφαιρικού αέρα (ή του μείγματος αέρα-καυσίμου) μέσα στον κύλινδρο, τη συμπίεσή του, την εισαγωγή του καυσίμου, τη διαδικασία καύσεως, την εκτόνωση των καυσαερίων και τέλος την εξαγωγή τους στο περιβάλλον.

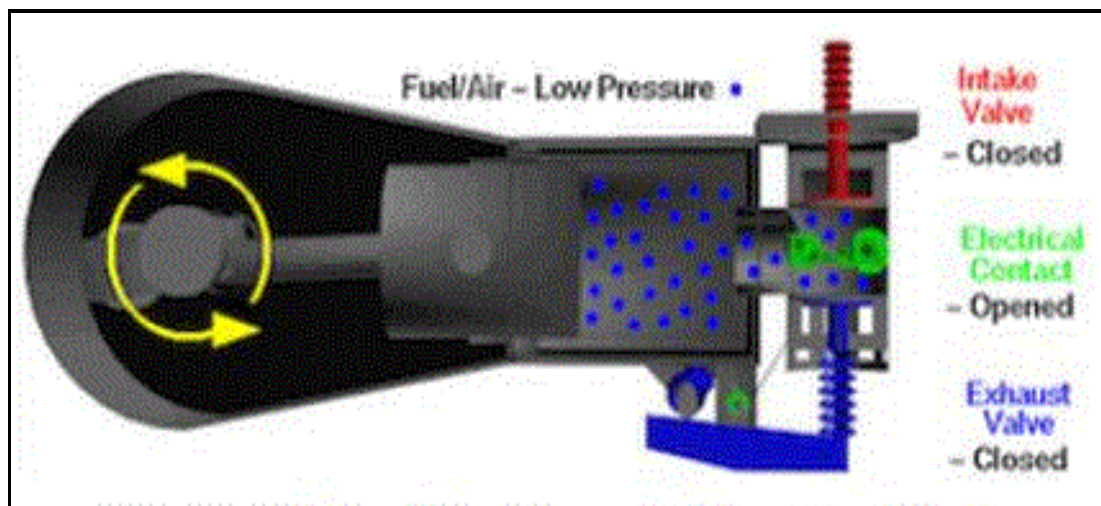
Ο στροφαλοθάλαμος του κινητήρα περιέχει επίσης λάδι λίπανσης, μακριά από το θάλαμο καύσης, που πρέπει να αντλείται χωριστά στις επιφάνειες. Οι βαλβίδες εισόδου και εξόδου ελέγχουν τη ροή του καυσίμου μέσα στον κινητήρα. Τα ανοίγματα των βαλβίδων πρέπει να ακολουθούν έναν ακριβή συγχρονισμό για να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση κατά τη διάρκεια της καύσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό επειδή η ισχύς παράγεται μόνο κατά τη διάρκεια της εκτόνωσης των καυσαερίων και οι άλλοι χρόνοι βασίζονται στην αδράνεια ενός σφονδύλου στον στροφαλοφόρο άξονα για τη μετακίνησή τους. (Watson et Janota., 1982)



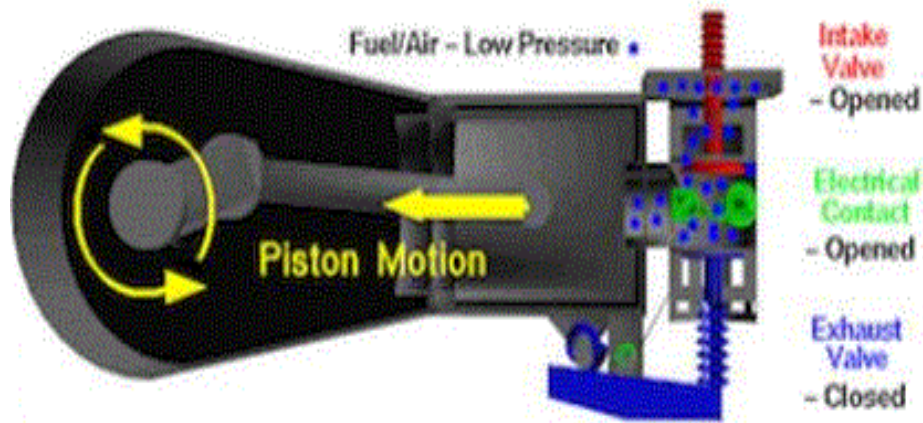
**Εικόνα 2.1:** Το έμβολο σε έναν τετράχρονο κινητήρα (Google)

### 2.2.1 Φάση εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα

Η πρώτη φάση του εμβόλου είναι η διαδρομή εισαγωγής του ατμοσφαιρικού αέρα (induction stroke). Σε αυτό το τμήμα του κύκλου, τα έμβολα ξεκινούν από το πάνω μέρος του κυλίνδρου (βλέπε Εικόνα 2.2) και καταλήγουν στο κέντρο (βλέπε εικόνα 2.3). Η βαλβίδα εισαγωγής πρέπει να είναι ανοικτή κατά τη διάρκεια αυτής της διαδρομής, καθώς το έμβολο τραβάει ένα μίγμα αέρα και καυσίμου στον κύλινδρο μέσω πίεσης κενού.



**Εικόνα 2.2:** Αρχική θέση της εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα (induction stroke) (Google)



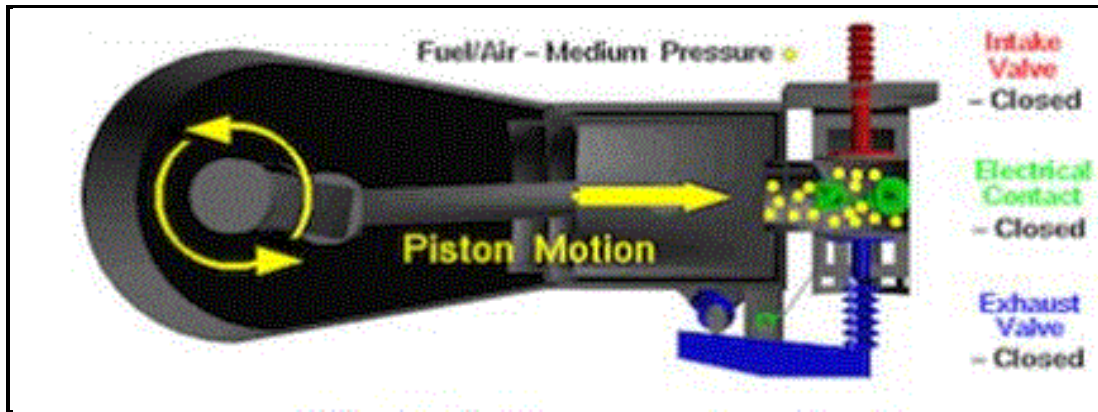
**Εικόνα 2.3:** Τελική θέση της εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα (induction stroke) (Google)

### 2.2.2 Φάση συμπίεσης

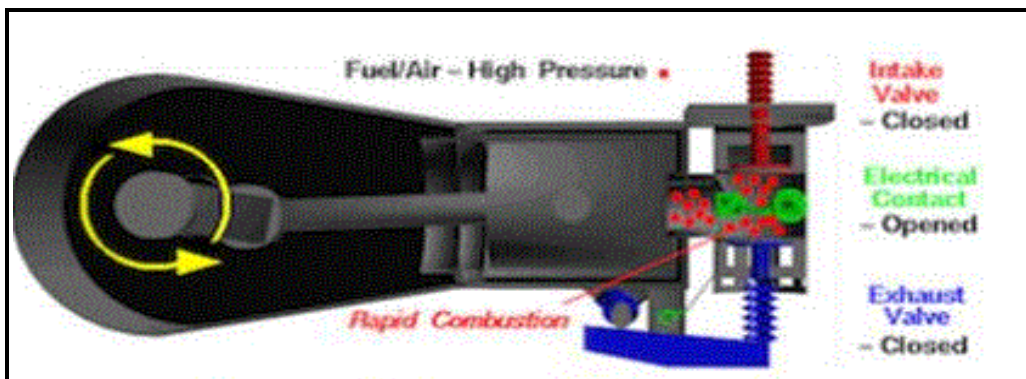
Η φάση συμπίεσης ξεκινά στο κάτω κέντρο του κυλίνδρου και καταλήγει στο επάνω κέντρο. Αυτή η φάση απλά συμπιέζει το μίγμα αέρα-καυσίμου (βλέπε Εικόνα 2.4) που τραβιέται από την φάση της εισαγωγής, προετοιμάζοντας το μείγμα για ανάφλεξη. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, και οι δύο βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές για την επιτυχή συμπίεση του μίγματος. (Li et al.,1982)

### 2.2.3 Φάση εκτόνωσης-καύσης

Η φάση ανάφλεξης ή καύσης, ξεκινά το δεύτερο πέρασμα κυλίνδρων της διαδικασίας του τετράχρονου κύκλου. Ο στροφαλοφόρος άξονας έχει ήδη ολοκληρώσει μια ολόκληρη επανάσταση σε αυτό το σημείο. Το μίγμα αέρα-καυσίμου στο εσωτερικό του κυλίνδρου αναφλέγεται με τη χρήση μπουζί ή θερμότητας υψηλής πίεσης, ενώ το έμβολο τοποθετείται στο κέντρο του κυλίνδρου (Εικόνα 2.5). Αυτή η κίνηση παράγει μηχανική ενέργεια που κινεί με δύναμη το έμβολο στο κέντρο του πυθμένα του κυλίνδρου, περιστρέφοντας τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα. (Li et al.,1982)



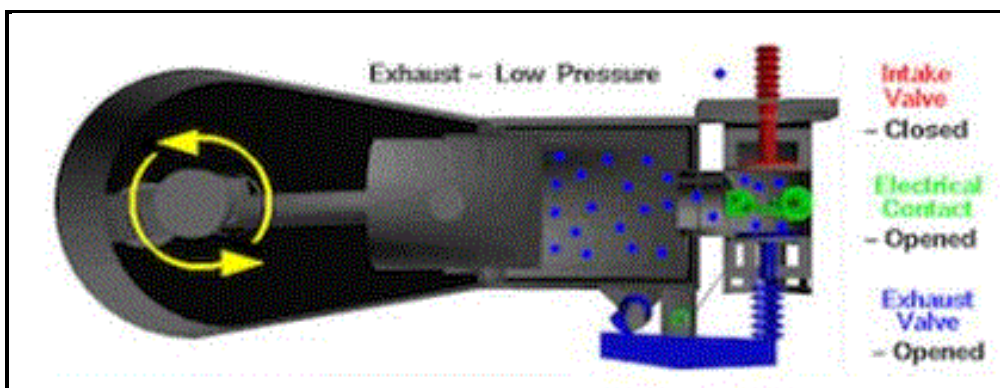
Εικόνα 2.4: Φάση συμπίεσης (Google)



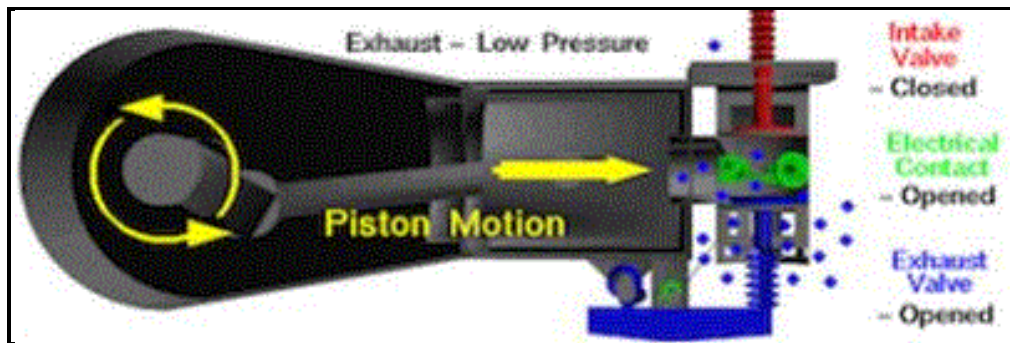
Εικόνα 2.5: Φάση εκτόνωσης-καύσης (Google)

#### 2.2.4 Φάση εξαγωγής καυσαερίων

Η φάση εξαγωγής καυσαερίων είναι η τελική στην όλη διαδικασία. Ονομάζεται επίσης και η φάση εξόδου. Το έμβολο αρχίζει από το κέντρο στο κάτω μέρος (εικόνα 6) του κυλίνδρου προς το άνω κέντρο (Εικόνα 2.7). Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει και το μείγμα καυσίμου αέρα απελευθερώνεται μέσω αυτής της εξόδου. (Watson et Janota., 1982)



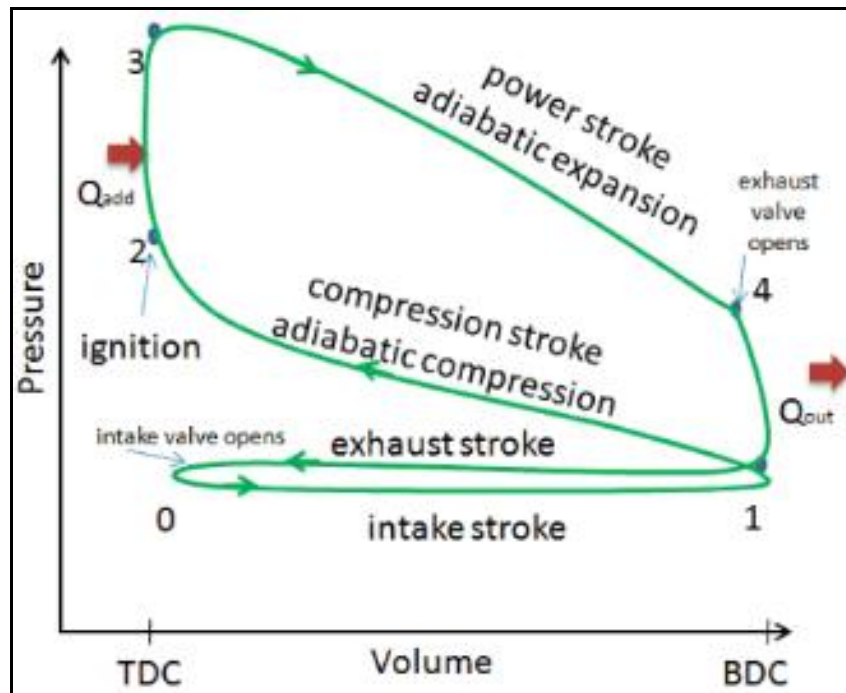
Εικόνα 2.6: Αρχική θέση εξαγωγής καυσίμων (Google)



**Εικόνα 2.7:** Τελική θέση εξαγωγής καυσίμων (Google)

### 2.3 Θερμοδυναμική του κύκλου τεσσάρων φάσεων

Η λειτουργία του κινητήρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πίεση του αερίου και τον ειδικό όγκο μέσα στον κύλινδρο. Το διάγραμμα (βλέπε εικόνα 2.8) δείχνει την εξέλιξη της πίεσης και του όγκου του τετράχρονου κινητήρα καθώς ολοκληρώνει τον κύκλο του. Η εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα υποδεικνύεται από τη γραμμή που πηγαίνει από το σημείο 0 στο σημείο 1, κάτω από τη γραμμή τιμών ατμοσφαιρικής πίεσης (dotted). Λόγω αυτής της διαφοράς πίεσης, ο αέρας ρέει στον κύλινδρο, αυξάνοντας τον όγκο του. Ωστόσο, καθώς η βαλβίδα εισόδου μετριάζει την ποσότητα που ρέει σε δεδομένο χρόνο, η πίεση εντός του κυλίνδρου παραμένει κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση. Η φάση συμπίεσης, που υποδεικνύεται από τη γραμμή που κινείται από το σημείο 1 στο σημείο 2, μειώνει σημαντικά τον όγκο αυξάνοντας ταυτόχρονα και την πίεση. Αυτό οφείλεται στο συμπιεσμένο αέριο μέσα στον κύλινδρο. Για τη φάση εκτόνωσης-ανάφλεξης ακολουθεί το γράφημα από το σημείο 2 στο σημείο 3 όπου κατά τη διάρκεια της ανάφλεξης, αυξάνεται η πίεση ενώ ο όγκος του αερίου παραμένει περίπου σταθερός. Το αέριο στη συνέχεια συνεχίζει ακολουθώντας τη γραμμή από το σημείο 3 έως το σημείο 4. Όπως φαίνεται, η πίεση πέφτει και ο όγκος αυξάνεται σταθερά. Η φάση εξαγωγής των καυσαερίων απεικονίζεται με την επιστροφή από το σημείο 4 στο σημείο έναρξης του κύκλου 0, δείχνοντας την απελευθέρωση των αερίων από τον κινητήρα με μείωση του όγκου. Η πίεση ρυθμίζεται από τις βαλβίδες εξόδου που εμποδίζουν την έκρηξη αερίων (rushing out), έτσι ώστε η πίεση του κυλίνδρου να μην πέσει γρήγορα. (Puhan et al., 2005)



Εικόνα 2.8: Διάγραμμα φάσεων τετράχρονης μηχανής (Google)

## 2.4 Περιορισμός ισχύος κινητήρα

Για τον τετράχρονο κινητήρα, η παραγόμενη ισχύς του περιορίζεται από την ποσότητα αέρα που χρησιμοποιείται από τη μηχανή. Επιπλέον, η ισχύς καθορίζεται επίσης από τον κυλινδρικό όγκο του εμβόλου. Η ταχύτητα με την οποία κινείται το έμβολο περιορίζεται από την αντοχή του χρησιμοποιούμενου υλικού και την διαθέσιμη λίπανση για τα κινούμενα μέρη. Η κίνηση μεγάλης ταχύτητας θα προκαλέσει υποβάθμιση της λίπανσης. Οι δυνάμεις επιτάχυνσης εφαρμόζονται επίσης στις βαλβίδες και στα έμβολα, προκαλώντας πιθανή θραύση και απώλεια ισχύος όταν ο κινητήρας προσπαθεί να υπερβεί τη συνιστώμενη ταχύτητά του. Η ταλάντωση του κινητήρα θα πρέπει επίσης να παρακολουθείται, καθώς η καθυστέρηση στον χρόνο αντίδρασης των ελατηρίων των βαλβίδων του κινητήρα μπορεί να προκαλέσει επαφή με το έμβολο, πράγμα που αποτελεί πηγή βλάβης για τη μηχανή. (Puhan et al., 2005)

## 3.0 Δίχρονοι κινητήρες

### 3.1 Ιστορική αναδρομή δίχρονου κινητήρα

Η ανάπτυξη του δίχρονου κινητήρα διήρκησε αρκετές δεκαετίες. Ξεκίνησε με τον σκωτσέζο μηχανικό *Dugald Clerk*, ο οποίος παρουσίασε τον πρώτο εμπορικό δίχρονο κινητήρα. Το έργο του βελτιώθηκε στο σχεδιασμό του τετράχρονου κινητήρα, διότι είχε μόνο ένα μοτέρ, προκαλώντας απώλεια στην απόδοση της συνολικής διαδικασίας.

Ο σχεδιασμός του Clerk ήταν ένας διπλός κύλινδρος, με έναν κύλινδρο που ονομάζεται εκτοπιστής (*displacer*) και ένας άλλος που ονομάζεται ισχύος (*power*). Ο κύλινδρος εκτόπισης τραβάει το αέριο και τον αέρα, τα συμπιέζει ελαφρά και έπειτα μεταφέρει το συμπιεσμένο μίγμα στον κύλινδρο ισχύος. Αυτή η διάταξη διπλού κυλίνδρου σχεδιάστηκε από τον Clerk το 1880, με το προϊόν να κατασκευάζεται από τους Messrs Thomson, Sterne & Co της Γλασκόβης και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1881. (Puhan et al., 2005)

Ο Άγγλος Joseph Day βελτίωσε περαιτέρω αυτό χρησιμοποιώντας το χώρο κάτω από το έμβολο του κινητήρα ως αντλία φόρτισης, καθιστώντας τον κινητήρα "χωρίς βαλβίδες". Ο αέρας που φορτίζεται κάτω από το έμβολο βοηθά στην εκκένωση των εναπομενόντων καυσαερίων στο εσωτερικό του και ρυθμίζει τη θερμοκρασία του μηχανήματος. Αυτός ο σχεδιασμός ονομάζεται μερικές φορές ο κινητήρας που καθαρίζει το στροφαλοθάλαμο (*crankcase-scavenged engine*).

Ωστόσο, ο πρώτος πρακτικός δίχρονος κινητήρας παρουσιάστηκε από τον εφευρέτη *Yorkshireman* και το μηχανικό Alfred Angas Scott. Αυτός χρησιμοποίησε έναν υδρόψυκτο σχεδιασμό με δύο κυλίνδρους σε μοτοσυκλέτες. (Blair., 1990)

### 3.2 Η διαδικασία κίνησης

Η διαδικασία των δίχρονων κινητήρων είναι η ίδια με αυτή του τετράχρονου, αλλά ολοκληρώνεται μέσα σε μία μόνο περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Ο κινητήρας έχει σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα βήματα εισαγωγής, συμπίεσης, εκτόνωσης και εξαγωγής να μπορούν να συμβαίνουν ταυτόχρονα μεταξύ των δίχρονων κύκλων. Αυτή η καινοτομία επιτρέπει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στο πλαίσιο της διαδικασίας. (Blair., 1990)

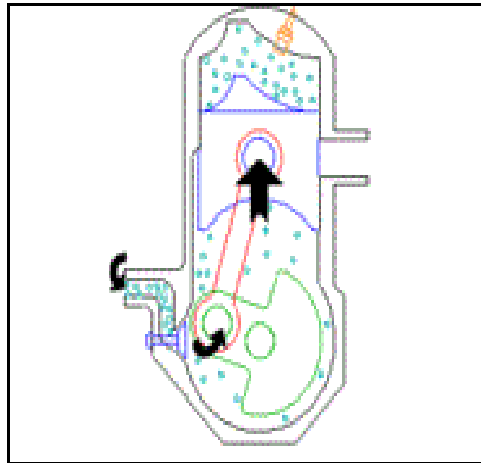
#### 3.2.1 Φάση εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα

Η εισαγωγή, που ονομάζεται επίσης βήμα αναρρόφησης (*suctionstep*), τραβάει το μίγμα καυσίμου και αέρα μέσα στο στροφαλοθάλαμο, ρυθμίζεται από τη βαλβίδα εισαγωγής (βλέπε Εικόνα 3.1), ή την περιστρεφόμενη βαλβίδα δίσκου.

#### 3.2.2 Φάση συμπίεσης του στροφαλοθαλάμου

Η συμπίεση του στροφαλοθαλάμου λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της καθοδικής διαδρομής του εμβόλου. Η βαλβίδα εξαναγκάζεται να κλείσει λόγω της υψηλής

πίεσης μέσα στο στροφαλοθάλαμο (Εικόνα 3.1). Ως αποτέλεσμα, το μείγμα συμπιέζεται εντός του στροφαλοθαλάμου κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου. (Duret et Venturi., 1990)



**Εικόνα 3.1:** Φάση Εισαγωγής και Φάση συμπίεσης (Google)

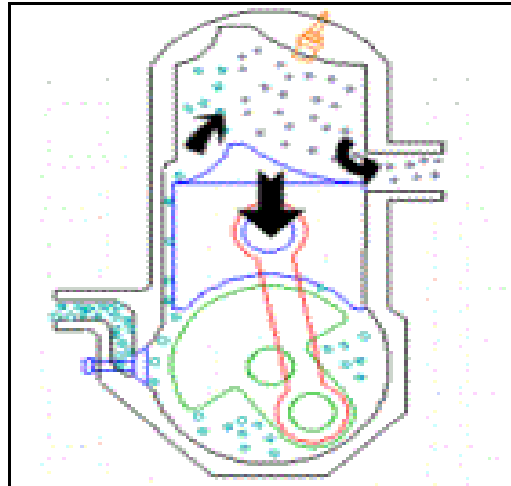
### 3.2.3 Φάση μεταφοράς

Στο βήμα μεταφοράς, το πεπεσμένο μείγμα αέρα καυσίμου μετακινείται από το στροφαλοθάλαμο προς το κύριο κύλινδρο (Εικόνα 3.2). Αυτή η κίνηση επίσης βοηθά στην απομάκρυνση των προηγούμενων περιεχομένων του τον κύριο κύλινδρο, βοηθώντας στον προηγούμενο κύκλο της εξαγωγής. Ένα μειονέκτημα αυτού του βήματος είναι ότι το νέο καύσιμο μπορεί επίσης να αποβληθεί μαζί με τα καυσαέρια. (Duret et Venturi., 1990)

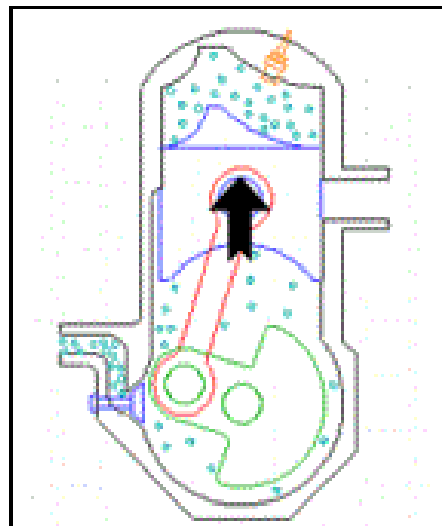
### 3.2.4 Φάση συμπίεσης

Το βήμα συμπίεσης συμπιέζει το μείγμα καύσιμο αέρα στον κύριο κύλινδρο του κινητήρα (Εικόνα 3.3) καθώς το έμβολο ανεβαίνει. Αυτή η κίνηση προκαλείται από την ορμή του σφονδύλου. Κατά τη διάρκεια του, συμβαίνει η φάση της εισαγωγής για τον επόμενο κύκλο κάτω από το έμβολο. (Duret et Venturi., 1990)





Εικόνα 3.2: Φάση μεταφοράς (Google)



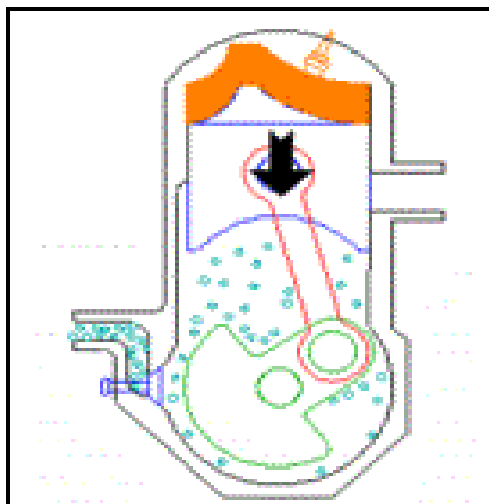
Εικόνα 3.3: Φάση συμπίεσης (Google)

### 3.2.5 Φάσης εκτόνωσης-καύσης

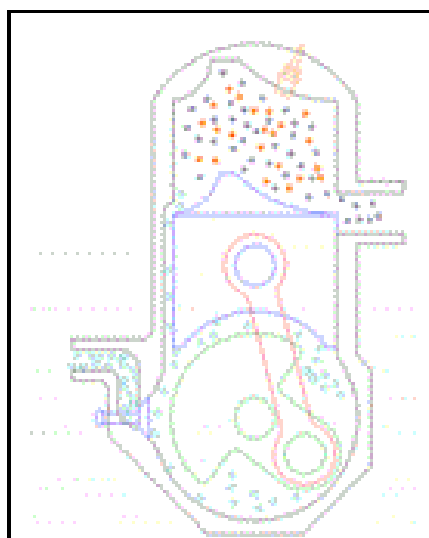
Το μπουζί ανάβει το μείγμα καυσίμου κατά τη διάρκεια της βαθμίδας ισχύος. Καθώς το καύσιμο μίγμα επεκτείνεται, το έμβολο οδηγείται προς τα κάτω, ολοκληρώνοντας τον δίχρονο κύκλο (Εικόνα 3.4). Το βήμα συμπίεσης στροφαλοθαλάμου για τον επόμενο κύκλο εμφανίζεται στο στροφαλοθάλαμο κατά τη διάρκεια της φάσης εκτόνωσης του παρόντος κύκλου. (Nomura et Nakamura., 1993)

### 3.2.6 Φάση εξαγωγής καυσαερίων

Τα παραγόμενα καυσαέρια απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της παρούσας φάσης (Εικόνα 3.5). Ταυτόχρονα, το βήμα μεταφοράς του επόμενου κύκλου συμβαίνει σε αυτό το σημείο. (Nomura et Nakamura., 1993)



**Εικόνα 3.4:** Φάση εκτόνωσης-καύσης (Google)



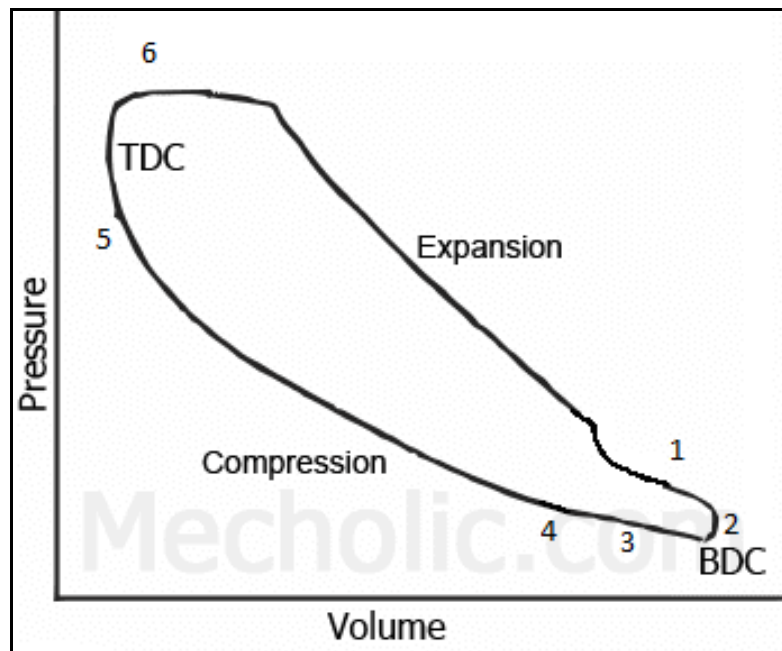
**Εικόνα 3.5:** Φάσης εξαγωγής καυσαερίων (Google)

### 3.3 Θερμοδυναμική του κύκλου δίχρονων μηχανών

Η εξέλιξη της πίεσης και του όγκου του αερίου που χρησιμοποιείται σε δίχρονο κινητήρα είναι παρόμοια με αυτή του τετράχρονου. Όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα (Εικόνα 3.6), ο κύκλος του δίχρονου κινητήρα είναι συγκρίσιμος με το γράφημα πίεσης-όγκου ενός κύκλου Otto. Η φάση Εισαγωγής (induction), που φαίνεται από την καμπύλη από τα σημεία 1, 2 και 3, λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια του χρόνου μεταξύ του ανοίγματος και του κλεισίματος της θύρας εισόδου (inlet port). (Nomura et Nakamura., 1993)

Κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου, η θύρα εξόδου είναι επίσης ανοιχτή λόγω του βήματος εξαγωγής καυσαερίων ενός προηγούμενου κύκλου. Ως εκ τούτου, ο όγκος αυξάνεται ελαφρά αρχικά και μειώνεται αμέσως μετά. Στη συνέχεια, η θύρα εξόδου

κλείνει από το σημείο 4. Για τη φάση συμπίεσης, το γράφημα κινείται από το σημείο 4 στο σημείο 5. Αυτό δείχνει μια τεράστια αύξηση της πίεσης του αερίου μέσα στον κύλινδρο, ενώ έχει επίσης μεγάλη μείωση του όγκου. Στη συνέχεια παρατηρείται η φάση εκτόνωσης και η ανάφλεξη αυξάνει την πίεση και την θερμοκρασία του αερίου μέσα στον κύλινδρο. Ο όγκος αυξάνεται μετρίως κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, όπως φαίνεται από το σημείο 5 έως το σημείο 6. Το βήμα εξαγωγής καυσαερίων, που εμφανίζεται από τη γραμμή από το σημείο 6 πίσω στο σημείο 1, δείχνει την απελευθέρωση του αερίου μετά το άνοιγμα της θύρας εξόδου. Ο όγκος αυξάνεται σημαντικά ενώ μειώνεται η πίεση του αερίου. Ο κύκλος μπορεί τώρα να αρχίσει και πάλι από το αρχικό του στάδιο. (Nomura et Nakamura., 1993)



Εικόνα 3.6: Διάγραμμα πίεσης-όγκου σε δίχρονη μηχανή. (Google)

### 3.4 Σχεδίαση κινητήρα

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές στο σχεδιασμό του δίχρονου κινητήρα. Τα συνηθισμένα παραδείγματα περιλαμβάνουν τη θυρίδα εισόδου ελεγχόμενη με έμβολο, την περιστροφική βαλβίδα εισόδου και τη βαλβίδα που καθαρισμού διασταυρωμένης ροής (crossflow-scavenged valve). Μια θυρίδα εισόδου ελεγχόμενη με έμβολο διαχειρίζεται τη ροή του μίγματος αέρα-καυσίμου μετακινώντας προς τα πάνω και προς τα κάτω τον κύλινδρο, καλύπτοντας και αποκαλύπτοντας αποτελεσματικά τις θυρίδες του κινητήρα. Ο Yamaha βελτίωσε περαιτέρω αυτόν τον μηχανισμό τη δεκαετία του 1970, εγκαθιστώντας τις βασικές λειτουργίες. Η περιστροφική βαλβίδα εισόδου κλείνει και ανοίγει τις θύρες χρησιμοποιώντας ένα περιστρεφόμενο τμήμα, όπως μια βαλβίδα δίσκου. Ορισμένες παραλλαγές αυτού του σχεδίου χρησιμοποιούν περιστρεφόμενους κυλίνδρους με συμπίπτοντα ανοίγματα για να διευκολύνουν τη ροή του καυσίμου. Η παραλλαγή των διασταυρωμένων ροών χρησιμοποιείται τώρα μόνο μεταξύ των μικρότερων μηχανημάτων, ειδικά εκείνων που δεν χρειάζονται απαραίτητα υψηλή ταχύτητα. Σχεδιάστηκε κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι θυρίδες να ευρίσκονται σε αντίθετες πλευρές του κυλίνδρου και να

χρησιμοποιείται ένας εκτροπέας για τον έλεγχο της κατεύθυνσης του μίγματος αέρα-καυσίμου. (Nomura et Nakamura., 1993)

## 4.0 Θαλάσσιοι Κινητήρες

### 4.1 Εισαγωγή

#### 4.1.1 Πρώιμες Πηγές Προώθησης

Οι πρώτες περιπτώσεις θαλάσσιας προώθησης στηρίζονταν σε φυσικά φαινόμενα αντί σε μηχανές και κινητήρες. Ο άνεμος αποτελούσε πρωταρχική πηγή πρόωσης για θαλάσσια σκάφη. Τα καράβια ιστιοπλοΐας είναι γνωστό ότι υπήρχαν ήδη από το 5500 π.Χ., όπως ανακαλύφθηκε στη Μεσοποταμία. Οι άνθρωποι κατά τους πρωταρχικούς χρόνους, παρατήρησαν τον τρόπο που ο κολυμβητής προωθούσε τον εαυτό του κατά μήκος του νερού και εφάρμοσαν αυτή τη μέθοδο με αποτέλεσμα τη χρήση πελμάτων. Αυτό επεκτάθηκε στο galleys, ένα πλοίο που έκανε χρήση μεγάλου αριθμού κωπηλατών. Τα galleys χρησιμοποιήθηκαν για πολέμους, λόγω του μεγέθους και της ταχύτητάς τους, μέχρι το 800 π.Χ.. (Oakley et al., 2001)

#### 4.1.2 Ατμομηχανή

Οι πρώτες μηχανές ατμού χρησιμοποιούσαν ξύλο, άνθρακα και μαζούτ για την τροφοδοσία των πλοίων. Η φωτιά θερμαίνει έναν λέβητα γεμάτο νερό για να παράγει ατμό. Ο ατμός διοχετεύεται από μια σειρά προσαρτημάτων (attachments) στο μηχανικό σύστημα του σκάφους. Το 1807, η πρώτη εμπορικά επιτυχημένη θαλάσσια ατμομηχανή ξεκίνησε από έναν Αμερικανό μηχανικό και εφευρέτη, τον *Robert Fulton*. Το σκάφος διέσχισε τον ποταμό Hudson από τη Νέα Υόρκη στο Albany με ταχύτητα 5 μίλια ανά ώρα. Για εκείνη την περίοδο, ο συνήθης χρόνος πλεύσης του ταξιδιού ήταν 96 ώρες και η ατμομηχανή της Fulton μείωσε το ταξίδι των 150 μιλίων σε 32 ώρες. (Oakley et al., 2001) (Onishi et al., 1851-1860)

#### 4.1.3 Ατμοστρόβιλος

Ως εξέλιξη στα έμβολα που χρησιμοποιούνται σε ατμομηχανές, επινοήθηκε ο ατμοστρόβιλος. Ο ατμοστρόβιλος συνδυάζει τα βέλτιστα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών και των υδραυλικών στρόβιλων για την παραγωγή ενός πολύ αποδοτικού μηχανήματος. Οι περιστροφή των λεπίδων μιας ατμοστρόβιλου ομοιάζει με την λειτουργία μίας ανεμογεννήτριας. Από τον υδραυλικό στρόβιλο, ο ατμοστρόβιλος βάσισε την στενή εφαρμογή του μέσα σε ένα εξωτερικό δοχείο, αναγκάζοντας τον ατμό να έχει υψηλότερη ταχύτητα εντός του περιορισμένου περιβάλλοντος. Οι ατμοστρόβιλοι βρέθηκαν να είναι πολύ πιο βολικοί από τις ατμομηχανές για σκάφη εσωτερικών χώρων, καθώς ο στρόβιλος είχε μικρότερο μέγεθος. (Oakley et al., 2001)

#### 4.1.4 Αεριοστρόβιλος

Παρόμοια με τα προηγούμενα, ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιεί περιστρεφόμενα πτερύγια για να τροφοδοτήσει τις μηχανές του. Ένα πεπιεσμένο αέριο παράγεται από τον κινητήρα, συνήθως μέσω καύσης φυσικών αερίων, προπανίου, κηροζίνης ή καυσίμου αεριοθουμένων. Λόγω της θερμότητας από το καύσιμο, ο αέρας διογκώνεται, αυξάνεται η θερμοκρασία και βγαίνει με μεγάλη ταχύτητα, περιστρέφοντας τις λεπίδες του στρόβιλου. Ενώ βρέθηκε ότι ο αεριοστρόβιλος ήταν πολύ χρήσιμος, είχε αρκετά μειονεκτήματα όταν εφαρμοζόταν σε θαλάσσια σκάφη. Η παρουσία αλατιού στον αέρα, όπως συμβαίνει στη θάλασσα, επιτρέπει την συσσώρευση επικαθίσεων στο στρόβιλο. Τα μέρη του κινητήρα έπρεπε να προστατεύονται από τη διάβρωση και την υποβάθμιση της απόδοσης. (Onishi et al., 1851-1860)

#### 4.1.3 Μηχανή Stirling

Ο κινητήρας Stirling, που ονομάστηκε έτσι από τον εφευρέτη του Robert Stirling, εφευρέθηκε το 1816. Αυτός παράγει μηχανική ενέργεια μεταφέροντας θερμότητα στο λειτουργικό αέριο του κινητήρα. Το αέριο, μέσα σε ένα εντελώς απομονωμένο σύστημα, ενεργοποιεί έπειτα την κίνηση των εμβόλων του κινητήρα (Saab Solutions). Το βασικό του πλεονέκτημα έγκειται στην σταθερή ποσότητα αερίου εντός του κλειστού συστήματος, επιτρέποντας τον χειρισμό της πίεσης και της θερμοκρασίας όπως απαιτείται. Ωστόσο, δεδομένου ότι η θερμότητα προέρχεται εξωτερικά, μπορεί να παρατηρηθεί υψηλότερη καθυστέρηση στη προθέρμανση του κινητήρα και στις αλλαγές ισχύος. Οι κινητήρες Stirling, μολονότι είναι πιο αποδοτικές από τους κινητήρες βενζίνης ή ντίζελ, χρησιμοποιούνται μόνο σε εξειδικευμένες εφαρμογές όπου οι αθόρυβες λειτουργίες είναι κρίσιμης σημασίας. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν πρωτογενείς ή βοηθητικές γεννήτριες ισχύος για υποβρύχια και γιοτ. (Zhao et Laddommatos., 2002)

#### 4.2 Θαλάσσιοι πετρελαιοκινητήρες

Οι θαλάσσιοι πετρελαιοκινητήρες προτιμώνται ως επί το πλείστο για την αξιοπιστία και την απόδοση καυσίμου. Για να κατανοηθεί η λειτουργία των θαλάσσιων κινητήρων ντίζελ, είναι απαραίτητη μια πρώτη ταυτοποίηση και η περιγραφή των εξαρτημάτων του.

Τα μέρη του θαλάσσιου κινητήρα ντίζελ χωρίζονται σε σταθερά και κινούμενα μέρη. Αυτά τα μέρη περιγράφονται κατόπιν λεπτομερώς. Οι συστάσεις για τον εντοπισμό και την κατανόηση των διαφορετικών συστημάτων ταξινόμησης θα προσφέρουν μεγαλύτερη εξοικείωση με τη φύση των συγκεκριμένων τμημάτων, καθώς και με τις προσεγγίσεις για την επισκευή και συντήρηση.

Οι κινητήρες ντίζελ έχουν σημαντικό ρόλο στην ναυτιλία. Εκτός από την αξιοπιστία και την υψηλή ισχύ ροπής των πετρελαιοκινητήρων, η σχετική ασφάλεια του καυσίμου ντίζελ παρέχει επίσης τα πλεονεκτήματά του. Επιπλέον, η σχεδόν ολική

απουσία μονοξειδίου του άνθρακα της εξάτμισης έχει αποδειχθεί ότι είναι σημαντικό πλεονέκτημα. Οι κινητήρες ντίζελ θεωρούνται συνήθως ως καλύτεροι τύποι κινητήρων σε σύγκριση με άλλους τύπους στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Για να διασφαλιστεί ότι προέρχεται το μέγιστο πλεονέκτημα από την λειτουργία του, απαιτείται η σωστή συντήρησή του και η κατανόηση των συνιστωσών του μηχανήματος και η φύση των λειτουργιών του. Από την άποψη αυτή, η παρούσα εργασία πραγματοποιεί περιγραφή των συστατικών στοιχείων των θαλάσσιων κινητήρων ντίζελ. Τα μέρη ταξινομούνται σε σταθερά και κινούμενα μέρη έτσι ώστε να αναπτύσσεται η κατανόηση του μηχανισμού του κινητήρα ως προς τη φύση και τη λειτουργία καθενός από τα μέρη. Σε μερικά από τα μέρη παρέχονται διαδικασίες συντήρησης. (Waleed Alturki., 2017)

#### 4.2.1 Ταξινόμηση Θαλάσσιων κινητήρων

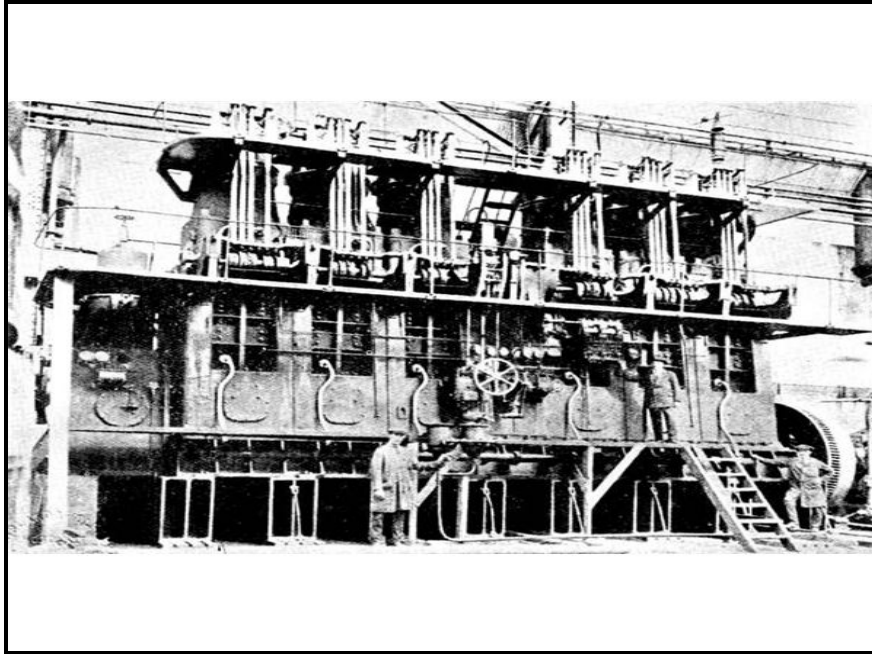
Οι κινητήρες ντίζελ μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Αυτές οι ταξινομήσεις περιλαμβάνουν ταχύτητα, χρήση, λειτουργία και διάταξη κυλίνδρων. Όσον αφορά την ταχύτητα, οι κινητήρες ντίζελ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως υψηλής, μεσαίας και χαμηλής ταχύτητας. Ενώ από την άποψη της λειτουργίας ή του κύκλου λειτουργίας, οι κινητήρες μπορούν να είναι δίχρονες, τετράχρονες, μονής ενέργειας ή διπλής ενέργειας. Στη ναυτιλιακή βιομηχανία χρησιμοποιούνται 2χρονες και 4χρονες μηχανές. Για την πρόωση απλών πλοίων χρησιμοποιούνται κανονικά οι μηχανές 2χρονων αργής ταχύτητας. Αυτά που χρειάζονται βοηθητική ισχύ συνήθως χρησιμοποιούν τετράχρονους κινητήρες για μεγαλύτερη ταχύτητα.

Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 4.1, 4.2 και 4.3) παρουσιάζονται δίχρονοι και τετράχρονοι κινητήρες. Οι κινητήρες με αργή ταχύτητα λειτουργούν έως και 300 στροφές ανά λεπτό (rpm). Ωστόσο, οι μεγάλες δίχρονες μηχανές ντίζελ χαμηλής ταχύτητας κυμαίνονται κάτω από 120 (rpm). Για κινητήρες με πολύ μεγάλο χρόνο, η μέγιστη ταχύτητα είναι περίπου 80 rpm(18).

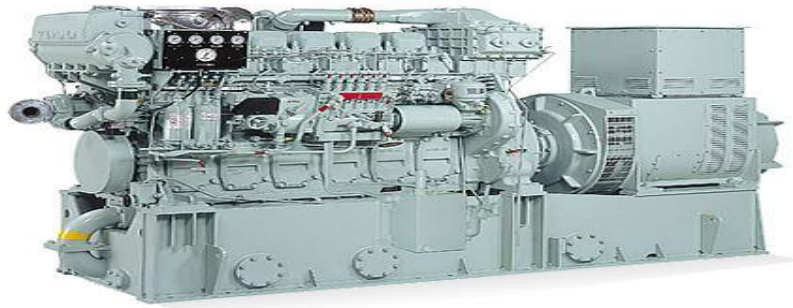
Οι μεγαλύτεροι και ισχυρότεροι κινητήρες είναι οι κινητήρες ντίζελ χαμηλής ταχύτητας, ζυγωμένοι δίχρονοι. Οι ταχύτητες λειτουργίας μεταξύ 300 και 1000 rpm είναι μέσης ταχύτητας. Ένας μεγάλος αριθμός τετράχρονων μέσης ταχύτητας λειτουργούν σε περίπου 500 rpm. Οι κινητήρες που λειτουργούν με ταχύτητα άνω των 1000 rpm είναι υψηλής ταχύτητας.

Όσον αφορά τη χρήση, οι κινητήρες μπορούν να αναγνωριστούν με βάση την εφαρμογή τους στην αυτοκινητοβιομηχανία (automotive), ως κινητήριες μονάδες σε αμαξοστοιχίες (locomotive) καθώς και ως θαλάσσιες μηχανές πρόωσης (marine). Πρέπει να διευκρινιστεί από αυτή την ταξινόμηση ότι οι θαλάσσιες μηχανές είναι εκείνες που χρησιμοποιούνται σε σκάφη.

Βασισμένοι στη κυλινδρική διάταξη, οι πετρελαιοκινητήρες μπορούν είτε να οριζόντιοι, κάθετοι είτε ακτινικοί. Οι κινητήρες μπορούν επίσης να ταξινομηθούν ως προς την κατασκευή τους. Μπορούν να είναι είτε με βάκτρο και ζύγωμα, με διωστήρα (trunkpistonengines) ή αντιτιθέμενο έμβολο (opposedpiston). Η πλειοψηφία των μεγάλων εμπορικών πλοίων έχει κινητήρες με χαμηλή ταχύτητα, δίχρονους και ζυγμένους ή κινητήρες μέσης ταχύτητας, 4χρονων με διωστήρα. Ορισμένα μικρότερα σκάφη χρησιμοποιούν κινητήρες υψηλής ταχύτητας.

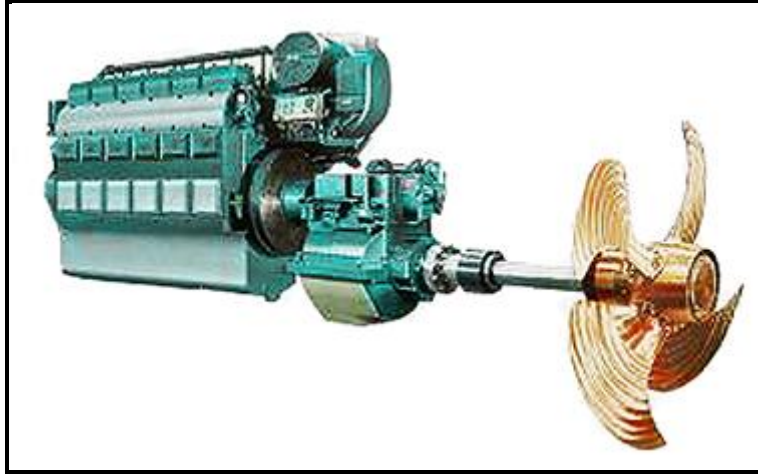


**Εικόνα 4.1:** Δίχρονος Κινητήρας. (Waleed Alturki., 2017)



**Εικόνα 4.2:** Τετράχρονος κινητήρας. (Waleed Alturki., 2017)





**Εικόνα 4.3:** Τετράχρονος Κινητήρας. (Waleed Alturki., 2017)

Οι κινητήρες ντίζελ αναφέρονται επίσης και ως κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση. Πρόκειται για έναν τύπο κινητήρα που χαρακτηρίζεται για λειτουργία με εσωτερική καύση όπως αυτές των πετρελαιοκινητήρων. Η ανάφλεξη κατά συνέπεια συμβαίνει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας που προκαλείται από τη συμπίεση του μίγματος στον κύλινδρο.

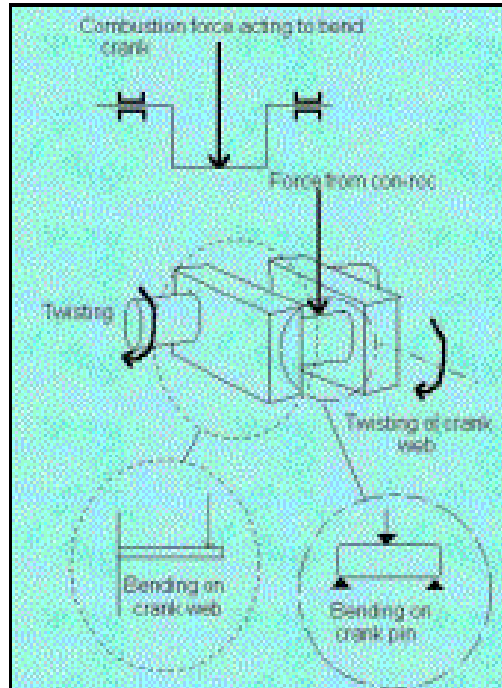
Η θαλάσσια πρόωση είναι ο όρος που περιγράφει τον μηχανισμό που χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ώθηση για να μετακινείται το πλοίο κατά μήκος του νερού. Οι ατμομηχανές χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στη θαλάσσια πρόωση. Αργότερα, αντικαταστάθηκαν από δίχρονες ή τετράχρονες μηχανές.

Άλλοι τύποι κινητήρων περιλαμβάνουν εξωλέμβιους κινητήρες και αεριοστρόβιλους σε ταχύτερα πλοία. Πυρηνικοί αντιδραστήρες που παράγουν ατμό κινούν πολεμικά πλοία και παγοθραυστικά. Για αυξημένη ενεργειακά αποδοτική πρόωση, προτείνεται η χρήση ηλεκτρικών κινητήρων με μπαταρίες αποθήκευσης για τα υποβρύχια και τα ηλεκτρικά πλοία. Σταδιακά αναγνωρίζεται η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG: liquefied natural gas) λόγω του χαμηλότερου κόστους και των χαμηλότερων εκπομπών. Στα περισσότερα σύγχρονα πλοία προτιμώνται οι πετρελαιοκινητήρες που κινούνται με παλινδρομική κίνηση λόγω της λειτουργικής απλότητας, αντοχής και οικονομίας καυσίμων σε αντίθεση με άλλους τύπους μηχανισμών πρόωσης. Ηλεκτροκινητήρες ή μηχανές χρησιμοποιούνται για να θέσουν σε λειτουργία μια έλικα. Οι αντλίες τζετ χρησιμοποιούνται σπανιότερα.

Σε παλινδρομικούς κινητήρες ντίζελ, οι περιστρεφόμενοι στροφαλοφόροι άξονες μπορούν να συνδεθούν απευθείας με τους έλικες των πιο αργών κινητήρων. Αυτό το προσάρτημα μπορεί να γίνει είτε μέσω του μειωτήρα στο κινητήρα μέσης και υψηλής ταχύτητας είτε μέσω ενός εναλλάκτη και ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Η περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα συνδέεται με τον εκκεντροφόρο ή την υδραυλική αντλία σε έξυπνες μηχανές ντίζελ. Τα κιβώτια ταχυτήτων δεν είναι γενικά απαραίτητα με τις προπέλες των σύγχρονων πλοίων, καθώς αυτές είναι πιο αποτελεσματικές στην ταχύτητα λειτουργίας τους. Συνήθως, υπάρχουν είτε ένας είτε δύο έλικες σε συστήματα πρόωσης. Μεμονωμένα, έχουν τη δική τους μηχανή άμεσης κίνησης.

Μπορεί να υπάρχουν μία, δύο ή περισσότερες έλικες για τα πλοία που λειτουργούν με πετρελαιοκινητήρες μέσης ή υψηλής ταχύτητας.

Ένας ή δύο από τους κινητήρες οδηγούν τον ατομικό άξονα μετάδοσης με κιβώτιο ταχυτήτων. Εάν υπάρχουν περισσότεροι από ένας κινητήρες σε έναν άξονα, χρησιμοποιείται ένας συμπλέκτης για να οδηγεί κάθε κινητήρα. Αυτό αφήνει τον αχρησιμοποίητο την ένα κινητήρα με απεμπλοκή από το κιβώτιο ταχυτήτων ενώ ο άλλος κινητήρας είναι σε λειτουργία. Αυτό επιτρέπει τη συντήρηση των κινητήρων καθώς μπορεί να απέχουν πολύ από το λιμάνι



**Εικόνα 4.4:** Εξαρτήματα θαλάσσιας πετρελαιοκίνητης μηχανής. (Waleed Alturki., 2017)

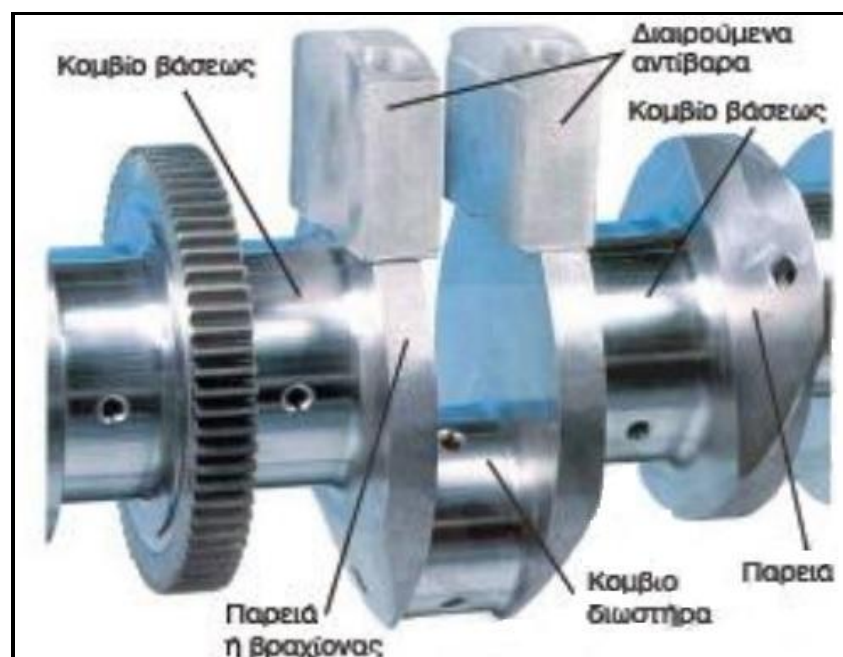
Στις παρακάτω ενότητες, περιγράφονται τα μέρη ενός θαλάσσιου κινητήρα ντίζελ και ταξινομούνται σε σταθερά και κινητά. Παρέχονται επίσης πληροφορίες για τη λειτουργία, τις προδιαγραφές, η επιθεώρηση και η φροντίδα για κάθε εξάρτημα. Υπάρχουν 21 εξαρτήματα που προσδιορίζονται σε αυτή την εργασία. (Waleed Alturki., 2017)

## 4.2.2 Κινητά μέρη

Τα κινούμενα μέρη ενός θαλάσσιου πετρελαιοκινητήρα είναι τα ακόλουθα: στροφαλοφόρος άξονας, έμβολο, δαχτυλίδια του εμβόλου, κεφαλή εμβόλου, ποδιά του εμβόλου, βαλβίδα εκκίνησης αέρα, βαλβίδα εξαγωγής καυσαερίων, εγχυτές καυσίμου, διωστήρας, πείρος του εμβόλου, εκκεντροφόρος άξονας, ωστήρια και ζύγωθρα, βάκτρο, στυπαιοθλίπτης, ζύγωμα, οδηγό ζυγώματος, η λεγόμενη γλίστρα, και αντλία καυσίμου. Καθένα από αυτά τα μέρη περιγράφονται μεμονωμένα σε αυτή την ενότητα. (Waleed Alturki., 2017)

### 4.2.2.1 Στροφαλοφόρος άξονας

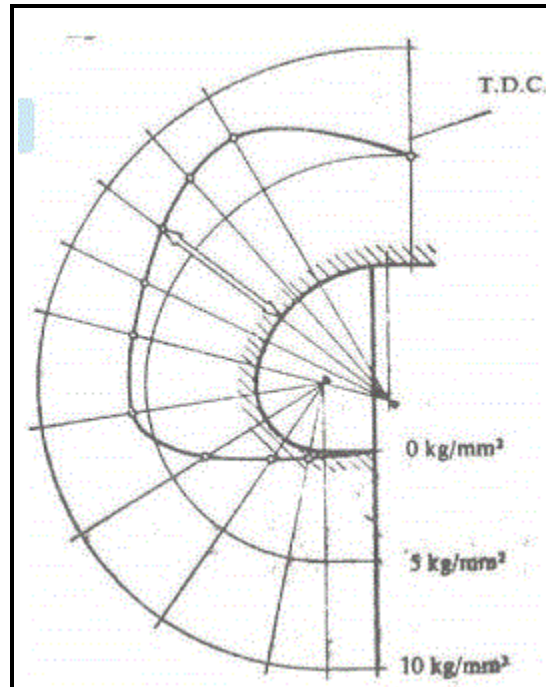
Αυτό το εξάρτημα μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση των εμβόλων του κυλίνδρου σε συνεχή περιστροφική κίνηση. Η επέκτασή του είναι αυτή που δίνει κίνηση στον άξονα του έλικα. Ο στροφαλοφόρος άξονας λειτουργεί ως έξοδος ισχύος από τον κινητήρα που τροφοδοτεί την έλικα που κινεί το πλοίο προς τα εμπρός. Λαμβάνει ταλαντευόμενη κίνηση από τον διωστήρα και δίνει μια περιστροφική κίνηση στον κύριο άξονα. Αυτό οδηγεί επίσης τον εκκεντροφόρο ο οποίος ενεργοποιεί τις βαλβίδες της μηχανής. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τμήματα του στροφαλοφόρου άξονα.



**Εικόνα 4.5:** Τμήματα στροφαλοφόρου άξονα (Google)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι δυνάμεων, κατά τη λειτουργία του στροφαλοφόρου άξονα. Διάφορες δυνάμεις κάμψης και στρέψης ασκούνται πάνω σε αυτόν. Δυνάμεις που προέρχονται από το βάρος του εμβόλου, το φορτίο της καύσης, αξονικά και θλιπτικά φορτία από τις ενώσεις στα κομβία, είναι μερικές από αυτές. Η πλειοψηφία αυτών των δυνάμεων ακολουθούν επαναλαμβανόμενα μοτίβα τα οποία οδηγούν σε καταπόνηση. Έτσι, αυτά τα υλικά απαιτούν σημαντική μέγιστη αντοχή σε καταπόνησεις. Το υλικό πρέπει να είναι ανθεκτικό στη φθορά, με αντοχή σε

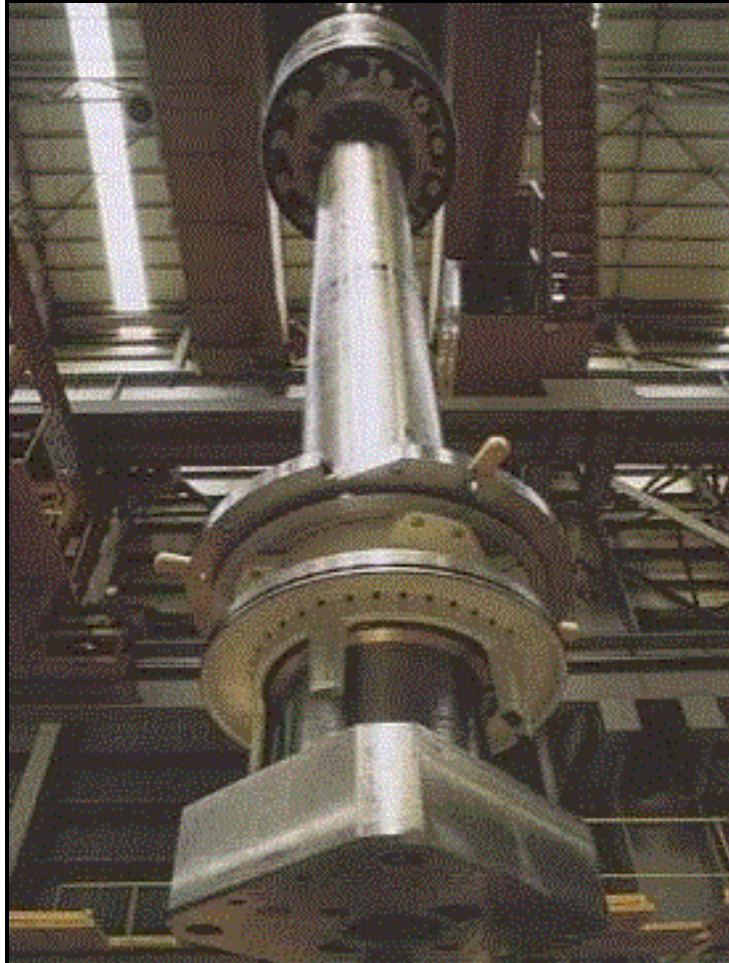
εφελκυσμό και όλκιμο. Η ταχύτητα του κινητήρα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή του υλικού για κατασκευή του στροφαλοφόρου άξονα. Οι κινητήρες αργής ταχύτητας χρησιμοποιούν απλό ανθρακούχο χάλυβα με περίπου από 0,2 έως 0,4% άνθρακα. Για τα πλοία με συγκριτικά υψηλότερη ταχύτητα χρησιμοποιούνται φύλλα μετάλλου από διαφορετικά κράματα. (Waleed Alturki., 2017)



**Εικόνα 4.6:** Απεικόνιση των τάσεων σε έναν στροφαλοφόρο άξονα (Google)

#### 4.2.2.2 Έμβολα και δαχτυλίδια εμβόλων

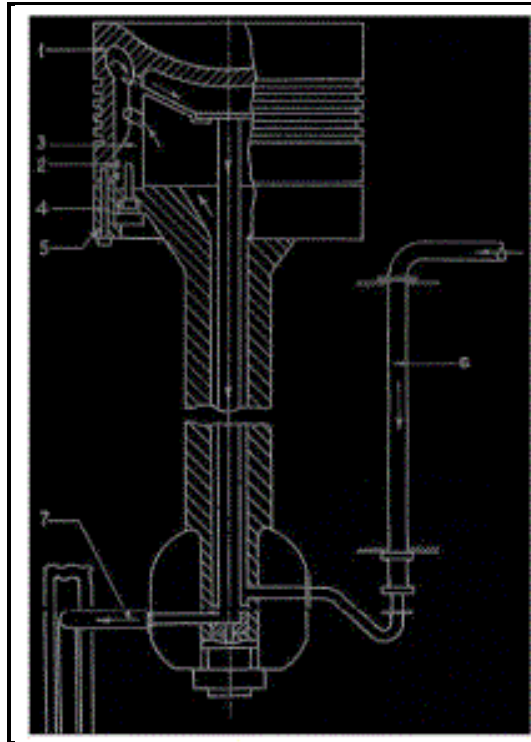
Πριν μεταφερθεί η ισχύς στον στροφαλοφόρο άξονα, το έμβολο παράγει ενέργεια στο θάλαμο καύσης και μεταφέρει αυτήν την ενέργεια στα άλλα μέρη. Το έμβολο συμπιέζει τον αέρα μέσα στην κυλινδροκεφαλή και στο πρόσωπο του εμβόλου (piston crown). Το θαλάσσιο έμβολο λειτουργεί βασικά όπως κάθε έμβολο. Το μόνο πράγμα που διαφοροποιεί αυτό είναι το μέγεθός του. Η εικόνα παρακάτω δείχνει πόσο μεγάλο είναι ένα έμβολο ναυτικής μηχανής. Η οροφή και το ύψος τοίχου στην εικόνα δίνουν μια ιδέα για το μέγεθός του.



**Εικόνα 4.7:** Έμβολο ναυτικής μηχανής. (Google)

Λόγω του μεγάλου μεγέθους του και των πιέσεων που δέχεται, απαιτείται μεγάλη προσπάθεια για το σχεδιασμό του ώστε να αντέχει τις δυνάμεις και να εκτελεί τη λειτουργία του για πολύ χρόνο. Τα έμβολα υπόκεινται σε θερμικές καταπονήσεις. Λαμβάνει πολύ θερμότητα καθώς βρίσκεται μέσα στο θάλαμο καύσης. Ο ουρανός του εμβόλου, ή το άνω μέρος του εμβόλου, είναι το τμήμα που υποβάλλεται σε υψηλές θερμοκρασίες μέχρι 450 βαθμούς Κελσίου. Έτσι, πρέπει να ψύχεται σωστά. Οι δυνάμεις συμπίεσης και αδρανείας καταπονούν επίσης το έμβολο ιδιαίτερα κατά την κίνηση προς τα πάνω και προς τα κάτω.

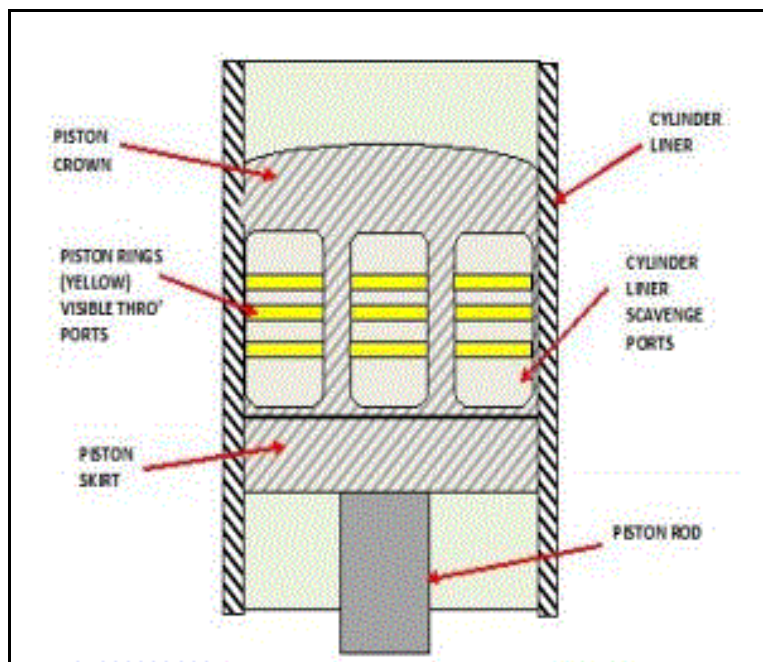
Στην (Εικόνα4.8) παρουσιάζεται έμβολο όπου τα τμήματα φέρουν αριθμητική σήμανση. Τα τμήματα αυτά αναγνωρίζονται ως εξής: πρόσωπο εμβόλου (1), δακτύλιος στεγανοποίησης (2), ένθετο χυτοσιδήρου (3), ποδιά (4), δακτύλιος σύσφιξης (5), σωλήνα εισαγωγής ψυκτικού λαδιού (6), σωλήνας εξαγωγής ψυκτικού λαδιού (7). Η απεικόνιση δείχνει επίσης την κατεύθυνση όπου το ψυκτικό λάδι εισέρχεται και εξέρχεται από το έμβολο. Το ψυκτικό λάδι βοηθά στη μείωση της θερμοκρασίας του εμβόλου σε 110 βαθμούς Κελσίου στη ζώνη δακτυλίου.



**Εικόνα 4.8:** Μέρη εμβόλου δίχρονης μηχανής (Google)

Τα έμβολα μπορούν είτε να ψύχονται με λάδι είτε να ψύχονται με νερό. Δεδομένου ότι το νερό απορροφά θερμότητα μεγαλύτερη από το λάδι, προτιμώνται τα έλαιο-ψυκτα έμβολα σε ναυτικές μηχανές ντίζελ. Αυτό βοηθά επίσης στην ανθρακοποίηση του ελαίου. Επίσης, σε υδρόψυκτα έμβολα, το νερό μολύνει τον στροφαλοθάλαμο και προκαλεί προβλήματα. Αντίθετα σε ενδεχόμενη διαρροή λαδιού στο στροφαλοθάλαμο δεν παρέχει αυτό το αρνητικό αποτέλεσμα, αφού ήδη υπάρχει λάδι στο καρτερ. Το νερό αυξάνει επίσης την πιθανότητα διάβρωσης και 'επιτίθεται' την επιφάνεια του εμβόλου.

Οι δακτύλιοι του εμβόλου θεωρούνται ότι παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάφλεξη του καυσίμου μέσω της συμπίεσης. Η φροντίδα και η συντήρηση του είναι ζωτικής σημασίας για τη γενική λειτουργία του εμβόλου. Οι δακτύλιοι συμπίεσης λειτουργούν ως σφράγιση επάνω στο χιτώνιο. Αυτοί αποτρέπουν τη διαρροή αερίων που έχουν υψηλή θερμοκρασία. Εκτός από τους δακτυλίους συμπίεσης υπάρχουν και οι δακτύλιοι του λαδιού ή αλλιώς η ονομαζόμενη ξύστρα. Οι δακτύλιοι αυτοί αφαιρούν το πλεονάζον λιπαντικό έλαιο από τους κυλίνδρους εμποδίζοντας έτσι το πλεονάζον λάδι να αναμειχθεί με το φορτίο. Έτσι η συσσώρευση άνθρακα στους δακτυλίους και το πρόσωπο του εμβόλου εμποδίζεται. Παρακάτω (Εικόνα 4.9) απεικονίζεται η θέση των δακτυλίων του εμβόλου μαζί με τα άλλα μέρη του εμβόλου. Αυτό το σχήμα υποδεικνύει επίσης μία ποδιά εμβόλου η οποία φέρει τον πείρο και έρχεται σε επαφή με το χιτώνιο.

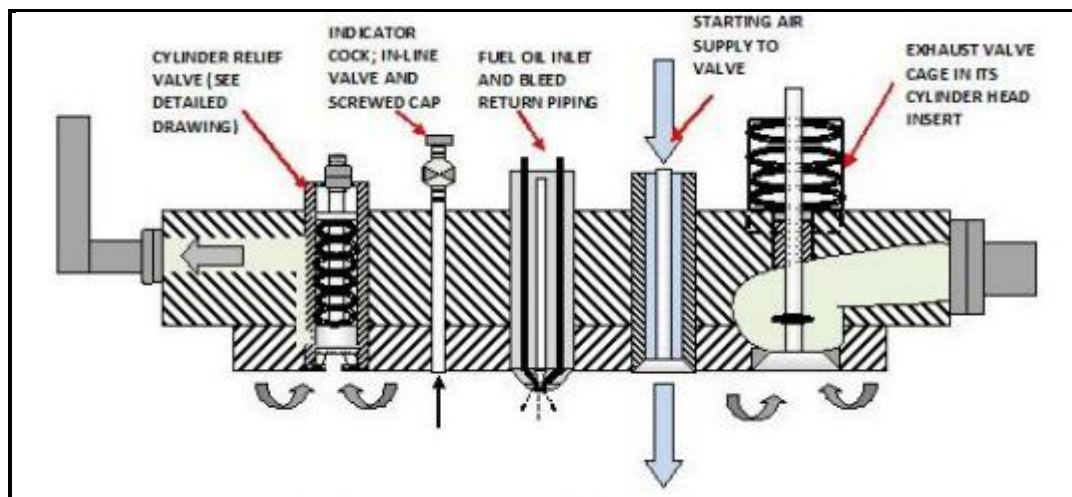


**Εικόνα 4.9:** Θέση των δακτυλίων του εμβόλου και των υπόλοιπων τμημάτων του (Google)

Για να εξασφαλιστούν οι μηχανικές ιδιότητες των δακτυλίων του εμβόλου, αυτές κατασκευάζονται από κράμα χυτοσιδήρου και άλλων στοιχείων. Οι δακτύλιοι εμβόλων των δίχρονων κινητήρων κατασκευάζονται από περγαλιτικό γκρι σίδηρο (pearlitic grey iron) αναμειγμένο με μολυβδαίνιο, χρώμιο, βανάδιο και νικέλιο. Στους σύγχρονους κινητήρες, χρησιμοποιείται μεγαλύτερη ποσότητα τιτανίου και βαναδίου για την παραγωγή σκληρών καρβιδίων μέσα στη σύσταση κράματος. Μία τεχνική χύτευσης χρησιμοποιείται στην παραγωγή των απαιτούμενων οβάλ σχημάτων. Από αυτήν σχηματίζονται μεμονωμένοι δακτύλιοι με χώρισμα και στρογγυλεμένες άκρες. Οι κυριότερες ιδιότητες των δακτυλίων εμβόλων περιλαμβάνουν: την εγγενή σκληρότητα και αντοχή στη φθορά, τη χαμηλή τριβή και την αυτό-λίπανση, την αντοχή στη διάβρωση, αντοχή σε υψηλό φορτίο και την καλή μεταφορά θερμότητας. Η εγγενής σκληρότητα επιτρέπει μεγαλύτερες περιόδους αντικατάστασης των δακτυλίων εμβόλου. Η λιγότερη τριβή και η καλύτερη αυτό-λίπανση έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση της χρήσης καυσίμου και λιπαντικού. Οι δακτύλιοι πρέπει επίσης να είναι σκληροί για να αντισταθούν στις εκτεταμένες δυνάμεις και τα φορτία που εμφανίζονται κατά τη διαδικασία της καύσης. Η αντίσταση στη διάβρωση προστατεύει τον δακτύλιο του εμβόλου από τη διάβρωση λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε θείο των καυσαερίων. Οι δακτύλιοι των εμβόλων απαιτείται να μεταφέρουν άμεσα την θερμότητα. Ταυτόχρονα, πρέπει να είναι ανθεκτικοί στην υψηλή θερμότητα της διαδικασίας καύσης. Εκτός από αυτές τις μηχανικές ιδιότητες, οι δακτύλιοι εμβόλου πρέπει επίσης να έχουν θερμική διαστολή. Αυτή η τελευταία ιδιότητα επιτρέπει στο έμβολο να διατηρεί τις βέλτιστες αποστάσεις του στα υποτμήματά του.

Αν και η κυλινδροκεφαλή ή πώμα είναι ένα σταθερό μέρος του κινητήρα, οι διάφορες βαλβίδες που φέρει κινούνται. Οι πιο συνηθισμένες κυλινδροκεφαλές είναι ένα ενιαίο κομμάτι που παράγεται από χυτοσίδηρο. Αυτές περιλαμβάνουν τα ακόλουθα εξαρτήματα - βαλβίδες καυσίμου, βαλβίδα εκκίνησης αέρα, βαλβίδα εξαγωγής

καυσαερίων και ρολόι. Οι βαλβίδες καυσίμου η αλλιώς καυστήρες εισάγουν βαρύ καύσιμο (αργό) και πετρέλαιο ντίζελ υπό μορφή σταγονιδίων στο θάλαμο καύσης. Η βαλβίδα εκκίνησης αέρα ξεκινάει την περιστροφή του κινητήρα με την εισαγωγή πεπιεσμένου αέρα στον θάλαμο καύσης. Η βαλβίδα εισαγωγής σε έναν τετράχρονο κινητήρα επιτρέπει την εισαγωγή φρέσκου μείγματος καυσίμου αέρα στον χώρο του κυλίνδρου. Επίσης σε έναν τετράχρονο κινητήρα, η βαλβίδα εξαγωγής επιτρέπει στα καυσαέρια να διαφύγουν από τον κύλινδρο στο σωστό χρόνο. Η βαλβίδα εξαγωγής καυσαερίων τοποθετείται στο μέσον του κυλίνδρου σε κλωβό, προσαρμοσμένη σε προεξοχή της κυλινδροκεφαλής. Αυτή η βαλβίδα λειτουργεί με υδραυλικό σύστημα. Ο κλωβός ψύχεται με νερό. Ένα πτερύγιο συνδέεται με το στέλεχος της βαλβίδας για να μειώσει τη φθορά στο κάθισμα της βαλβίδας. Το ρολόι αποκαλύπτει την κατάσταση του κινητήρα μετρώντας την πίεση που αναπτύσσεται στο χώρο καύσης. Λαμβάνοντας μια χαμηλότερη μέτρηση καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει διαρροή. Όμως το ρολόι έχει και ρόλο εξαεριστικού. Καθώς το ρολόι αφήνεται ανοιχτό ενώ ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος, επιτρέπει την απομάκρυνση βρωμιάς ή νερού που έχει συγκεντρωθεί μετά το κλείσιμο ή την επανεκκίνηση του κινητήρα. Ωστόσο, το ρολόι περιλαμβάνεται στα κινούμενα μέρη, παρόλο που είναι μια σταθερή δομή πάνω στην κεφαλή. Στην (Εικόνα 4.10) παρουσιάζεται μία κυλινδροκεφαλή ονοματίζοντας τις διάφορες βαλβίδες και ένθετα που φέρει. (Waleed Alturki., 2017)



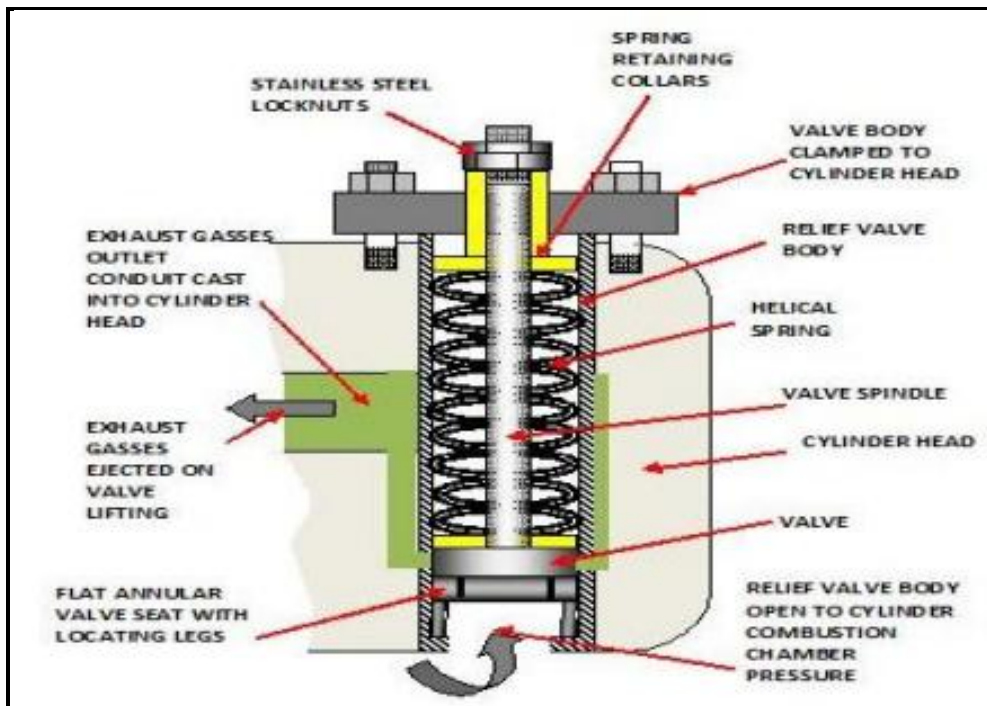
**Εικόνα 4.10:** Κυλινδροκεφαλή με επισήμανση βαλβίδων (valves) και ενθέτων (inserts) (Google)

#### 4.2.2.3 Βαλβίδα εκτόνωσης (reliefvalve) κυλίνδρου

Αυτό το στοιχείο προστατεύει την κυλινδροκεφαλή από τις δυνάμεις καύσης. Είναι μια από τις διάφορες βαλβίδες του κινητήρα ντίζελ, και βοηθά στη μείωση της πίεσης στον χώρο καύσης και εξάγει το αέριο με τη βοήθεια σωλήνα προς το κατάστρωμα του πλοίου. Αυτή η βαλβίδα ανυψώνεται για να απελευθερώσει την πίεση. Η βαλβίδα κατασκευάζεται με την τοποθέτησή της μέσα σε ένα περίβλημα από χυτοσίδηρο και προσαρτάται στην κυλινδροκεφαλή χρησιμοποιώντας κοχλίες και εξαγωνικά παξιμάδια. Αυτή η βαλβίδα αποτελείται από ένα ελικοειδές ελατήριο τη κυρίως



βαλβίδα και ένα στέλεχος. Η λειτουργία αυτής της βαλβίδας είναι πολύ απλή. Όταν η πίεση μέσα στο θάλαμο καύσης ξεφύγει από τα κανονικά επίπεδα έχει σαν αποτέλεσμα να συμπιέζεται το ελατήριο. Έτσι διαφεύγει η πίεση χωρίς να γίνει ζημιά σε επιμέρους εξαρτήματα. (Waleed Alturki., 2017)

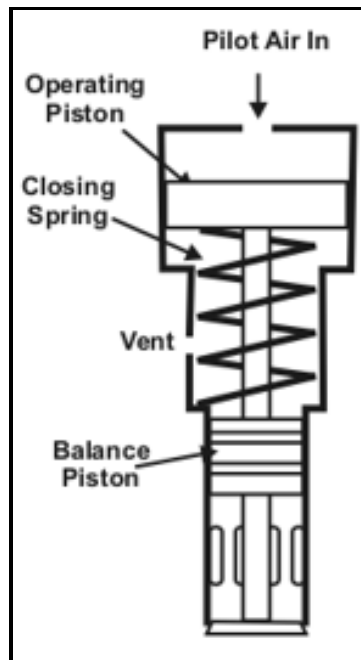


Εικόνα 4.11: Βαλβίδα εκτόνωσης κυλίνδρου (Google)

#### 4.2.2.4 Βαλβίδα εκκίνησης αέρα

Σε μεγάλους κινητήρες ο πεπιεσμένος αέρας θέτει σε λειτουργία τον κινητήρα. Αυτές οι βαλβίδες τοποθετούνται πάνω στην κυλινδροκεφαλή. Αυτές εισάγουν τον αέρα στον κύλινδρο την κατάλληλη στιγμή σπρώχνοντας το έμβολο προς τα κάτω. Τέτοιου είδους βαλβίδα έχει κάθε κύλινδρος. Έτσι με την συνεχή επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας η μηχανή αρχίζει να αποκτάει στροφές. Φτάνοντας έναν αριθμό απαιτούμενων στροφών όπου η μηχανή μπορεί πλέον να λειτουργήσει αυτόνομα η διαδικασία αυτή σταματάει.

Η εικόνα 23 δείχνει ένα διάγραμμα της βαλβίδας εκκίνησης αέρα, η οποία περιλαμβάνει το χαλύβδινο περίβλημα της με άξονα, οδηγό έμβολου, ελατήριο αποθήκευσης και άλλα μέρη. (Waleed Alturki., 2017)



**Εικόνα 4.12:** Βαλβίδα εκκίνησης αέρα (Google)

#### 4.2.2.5 Εγχυτήρας καυσίμου

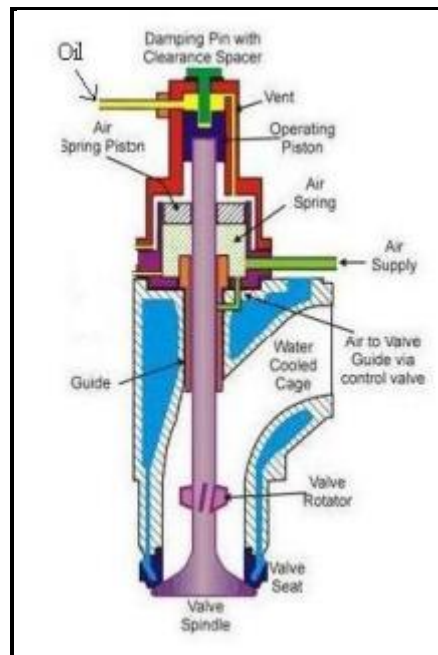
Ο εγχυτήρας καυσίμου παρέχει καύσιμο σε μορφή εκνεφώματος . Οι ψεκαστήρες βγαίνουν σε δύο τύπους: ψυχόμενους και μη ψυχόμενους. Στις ψυχόμενες συσκευές έγχυσης , το νερό διανέμεται συνήθως μέσω συστήματος κλειστού κυκλώματος και τοποθετείται ξεχωριστή αντλία και ψυγείο. Για τους εγχυτήρες χωρίς ψύξη, το πετρέλαιο κυκλοφορεί με τη βοήθεια ακροφυσίων ψεκασμού για τη ρύθμιση των θερμοκρασιών. (Waleed Alturki., 2017)

#### 4.2.2.6 Βαλβίδα εξαγωγής καυσαερίων

Αφορά μόνο δίχρονες μηχανές. Υπάρχει μόνο μία βαλβίδα εξαγωγής στις εν λόγω μηχανές. Η βαλβίδα χρησιμοποιεί την ίδια αρχή λειτουργίας που συναντάται σε μικρότερους τετράχρονους κινητήρες. Ωστόσο, η δομή και η λειτουργία είναι αρκετά περίπλοκη .

Αυτή η βαλβίδα βρίσκεται στο κέντρο της κυλινδροκεφαλής και λειτουργεί ως έξοδος των υπολειμμάτων της καύσης. Σε μικρότερους τετράχρονους κινητήρες, ένας συμβατικός μηχανισμός με βάση τον εκκεντροφόρο της μηχανής δίνει κίνηση στις βαλβίδες εξαγωγής. Για τους δίχρονους κινητήρες, αυτούς που βρίσκονται στα πλοία, η βαλβίδα οδηγείται υδραυλικά. Η (Εικόνα 4.13) απεικονίζει μια σχηματική περιγραφή της βαλβίδας. Το λάδι είναι κίτρινο σε αυτήν την εικόνα. Το λάδι επιτρέπει στη βαλβίδα να ανοίξει. Αυτό το λάδι προέρχεται από το σύστημα λαδιού του πετρελαιοκινητήρα και φέρεται σε αυτόν τον χώρο μέσω μιας υδραυλικής αντλίας η οποία λειτουργεί μέσω του έκκεντρο του κινητήρα. Για το κλείσιμο της βαλβίδας το ρόλο αναλαμβάνει ένα πνευματικό ελατήριο. Στην (Εικόνα 4.13) απεικονίζεται με πράσινο χρώμα. Ο αέρας εισέρχεται μέσω μιας ανεπίστροφης βαλβίδας στο κάτω

μέρος του πιστονιού που είναι προσαρτημένο στο στέλεχος της βαλβίδας. Με το άνοιγμα της βαλβίδας της εξαγωγής ο αέρας διαστέλλεται χωρίς να έχει έξοδο διαφυγής, με αποτέλεσμα όταν επέλθει η ανακούφιση του λαδιού να κλείσει την βαλβίδα. (20).



**Εικόνα 4.13:** Σχηματική απεικόνιση τη βαλβίδας εξαγωγής αερίων (Google)

Μικρή ποσότητα λιπαντικού ελαίου ενσωματώνεται με τον αέρα. Αυτός ο αέρας οδηγείται επίσης στον οδηγό βαλβίδας διατηρώντας τον δροσερό εμποδίζοντας παράλληλα να διαφύγουν καυσαέρια από εκεί. Περίσσεια ελαίου που συσσωρεύεται στο κάτω μέρος του πνευματικού ελατηρίου στραγγίζεται σε δοχείο συγκέντρωσης. Από την παρακάτω (Εικόνα 4.14) μπορούμε να πάρουμε μια ιδέα για το μέγεθος της βαλβίδας εξαγωγής. (Waleed Alturki., 2017)

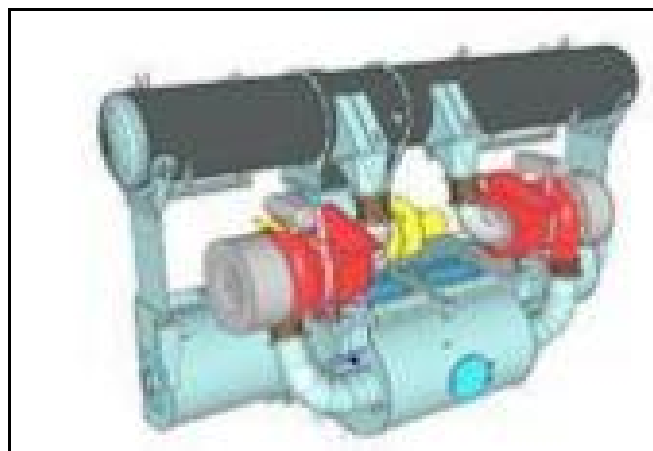


**Εικόνα 4.14:** Σχετικό μέγεθος βαλβίδας εξαγωγής καυσαερίων (Google)

#### 4.2.2.6 Υπερσυμπιεστής

Αυτό το εξάρτημα τροφοδοτεί με φρέσκο αέρα έναν δίχρονο κινητήρα ντίζελ. Έχει 2 φτερωτές προσαρτημένες στον ίδιο άξονα. Τα καυσαέρια προτού διαφύγουν στην ατμόσφαιρα διέρχονται από την μια φτερωτή με αποτέλεσμα την περιστροφή του άξονα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την περιστροφή και της δεύτερης φτερωτής η οποία βρίσκεται στην πλευρά απ' όπου διέρχεται ο φρέσκος ατμοσφαιρικός αέρας. Έτσι αυξάνεται η παροχή του αέρα στον κινητήρα. Κατά αυτή τη διαδικασία ο αέρας αναπτύσσει υψηλές θερμοκρασίες πράγμα αρνητικό για την απόδοση της μηχανής. Καθίσταται απαραίτητο λοιπόν προτού περάσει στο χώρο καύσης ο φρέσκος αέρας να διέλθει από ένα ψυγείο ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή θερμοκρασία. (20)

Οι υπερσυμπιεστές είναι ένα απαραίτητο εξάρτημα όχι μόνο στις δίχρονες μηχανές αλλά και στις τετράχρονες ναυτικές μηχανές. Παρέχουν μεγαλύτερη ποσότητα φρέσκου αέρα στο χώρο καύσης το οποίο σε συνδυασμό με την περισσότερη καύσιμη ύλη αυξάνει κατακόρυφα την απόδοση. Αυτό μπορούμε πολύ εύκολα να το καταλάβουμε με ένα θεωρητικό παράδειγμα. Μια δίχρονη μηχανή που αποτελείται από 10 κυλίνδρους με διάμετρο 850 mm και διαδρομή 2,35 m εμβόλου στις 105 στροφές ανά λεπτό με περίπου 50% αποδοτικότητα αποδίδει 38500 kW καίγοντας 1 kg καύσιμης ύλης ανά περιστροφή. Αυτό σημαίνει ότι κατά κάθε καύση κάθε κύλινδρος χρησιμοποιεί 0,1 kg καυσίμου. Για να διασφαλίσουμε την πλήρη καύση αυτού πρέπει να έχει 220% μεγαλύτερη παροχή αέρα απ' ό τι θεωρητικά απαιτείται. Επειδή χρειάζεται 14 kg αέρα για να παρέχουν το απαραίτητο οξυγόνο για την καύση 1kg καυσίμου, 4,5 kg πρέπει να παρέχονται σε κάθε κύλινδρο για την καύση 0,1 kg καυσίμου. Αριθμοί οι οποίοι είναι αδύνατο να επιτευχθούν χωρίς τη χρήση υπερσυμπιεστών. Εκτός από τον παραπάνω πρωταρχικό σκοπό, η υπερπλήρωση του χώρου καύσης με φρέσκο αέρα βοηθάει στο να οδηγηθούν εναπομείναντα καυσαέρια προς την έξοδο καθώς και στην ψύξη του χιτωνίου και της βαλβίδας εξαγωγής των καυσαερίων. (Waleed Alturki., 2017)



Εικόνα 4.15: Υπερσυμπιεστής (Google)

#### 4.2.2.7 Διωστήρας

Ο σκοπός του διωστήρα είναι να μετατρέπει την ευθύγραμμη κίνηση σε παλινδρομική με τη βοήθεια του στροφάλου. Διωστήρα έχουν οι δίχρονες αλλά και οι τετράχρονες μηχανές. Στις τετράχρονες μηχανές ο διωστήρας φέρει στα άκρα 2 οπές εκ των οποίων η μια συνδέεται με το πείρο του εμβόλου και η άλλη με το κομβίο του στροφάλου. Επίσης μπορούμε να συναντήσουμε διωστήρα όπου το στέλεχος με το πόδι του διωστήρα διαιρείται. Το πόδι αλλιώς ονομάζεται και καβαλέτο. Και στις δύο οπές εφαρμόζονται μέταλλα τα οποία είναι κατασκευασμένα από μαλακό υλικό έτσι ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα φθοράς του πείρου του εμβόλου η του στροφάλου. Εσωτερικά ο διωστήρας φέρει οπή εκ της οποίας μεταφέρεται στα παραπάνω μέταλλα λιπαντικό υγρό. Στις δίχρονες μηχανές φέρουν επίσης 2 οπές όμως η μια συνδέεται με το κομβίο του ζυγώματος. Η κεφαλή του διωστήρα σε αυτήν την περίπτωση είναι διαιρούμενη και αποτελείται από 2 ημικέλυφη. Σε αυτούς του διωστήρες εφαρμόζονται επίσης μέταλλα καθώς φέρουν και οπή. (<https://maredu.gunet.gr>) (Waleed Alturki., 2017)



**Εικόνα 4.16:** Διαιρούμενος διωστήρας τετράχρονης μηχανής με τα μέταλλα (Google)

#### 4.2.2.8 Βάκτρο-στυπαιοθλίπτης-ζύγωμα

Αυτά τα στοιχεία συναντώνται μόνο σε δίχρονες μηχανές. Το βάκτρο είναι ένας βραχίονας του οποίου το ένα άκρο συνδέεται με το ζύγωμα, ενώ το άλλο με το κάτω μέρος του εμβόλου. Με αυτό το εξάρτημα οι πλάγιες δυνάμεις που αναπτύσσονται με την κίνηση του διωστήρα δεν μεταδίδονται στο έμβολο αλλά στο ζύγωμα. Έτσι επεκτείνουμε το όριο ζωής του χιτωνίου και του εμβόλου. Επίσης, βοηθάει στην μείωση του όγκου της μηχανής ενώ με την βοήθεια του στυπαιοθλίπτη στεγανοποιείται ο χώρος κάτω από το έμβολο με αποτέλεσμα κατά την άνοδο του εμβόλου ο χώρος αυτός να λειτουργεί σαν αντλία.



**Εικόνα 4.17:** Έμβολο μαζί με βάκτρο (Google)

Ο στυπιοθλίπτης τοποθετείται στο μεταλλικό διάφραγμα που βρίσκεται στο κάτω μέρος του χώρου καύσης. Το βάκτρο παλινδρομεί μέσα του, χωρίς να επιτρέπει να διαφύγει αέρας προς η να εισέλθει λάδι από το στροφαλοθάλαμο. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια κατάλληλων δαχτυλίων που φέρει ο στυπιοθλίπτης στο εσωτερικό του.



**Εικόνα 4.18:** Στυπιοθλίπτης σε τομή (Google)

Το ζύγωμα συνδέει το βάκτρο με το διωστήρα. Σε κάθε πλευρά του φέρει γλίστρες οι οποίες ολισθαίνουν κατακόρυφα στους οδηγούς που διαθέτει το μπλοκ της μηχανής εμποδίζοντας την κεφαλή του διωστήρα να κινείται πλευρικά. Παράλληλα λαμβάνει τις δυνάμεις που αναπτύσσονται από την συνεχή μεταβολή της κλίσης του διωστήρα. (Waleed Alturki., 2017) (<https://maredu.gunet.gr>)



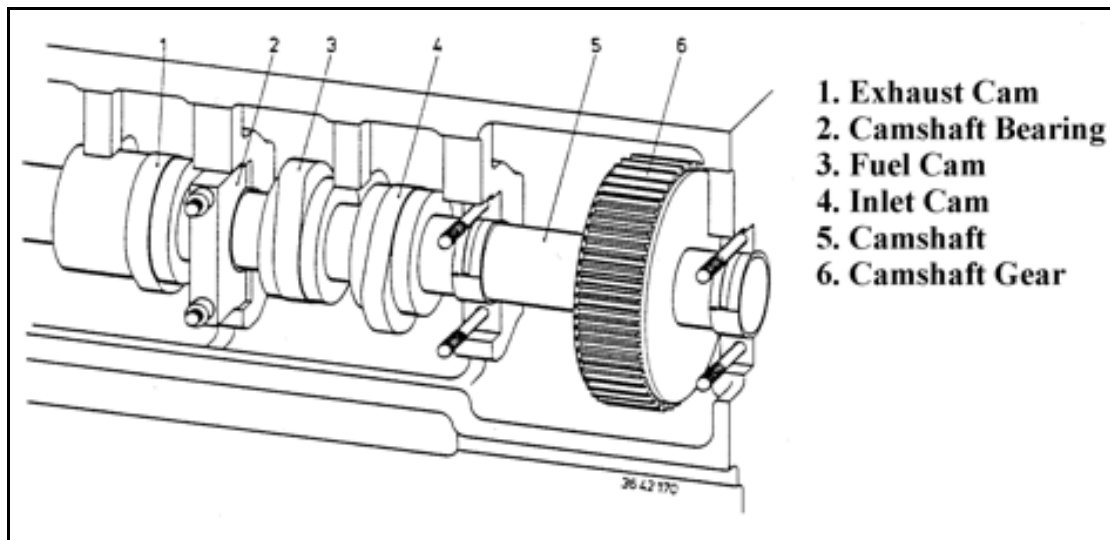
**Εικόνα 4.19:** Ζύγωμα. Στις άκρες διακρίνονται και οι γλίστρες (Google)

#### 4.2.2.9 Εκκεντροφόρος

Ο εκκεντροφόρος κατασκευάζεται από νικελιούχο ή χρωμιονικελιούχο χάλυβα. Δέχεται την κίνηση από τον στροφαλοφόρο άξονα μέσω καδένας ή οδοντωτων τροχών. Φέρει έκκεντρα τα οποία μετατρέπουν την κυκλική κίνηση του εκκεντροφόρου σε παλινδρομική. Το σχήμα τους παίζει σημαντικό ρόλο καθώς καθορίζει το βύθισμα καθώς και την ταχύτητα ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων. Μπορεί να είναι μονοκόμματος, σε μικρές μηχανές, είτε διαιρούμενος, σε μεγαλύτερες. Εδράζεται στον κορμό της μηχανής με την παρεμβολή τριβέων ολισθήσεως. Εκκεντροφόρο φέρουν και οι δύο τύποι μηχανών. Ωστόσο διαφορές παρατηρούνται και εδώ.

Στις δίχρονες μηχανές τα έκκεντρα που φέρει λειτουργούν τις αντλίες του καυσίμου καθώς και τις εξαγωγές των καυσαερίων. Όμως επειδή στις δίχρονες μηχανές παράγεται έργο σε κάθε κύκλο αυτά πρέπει να λειτουργούν επίσης σε κάθε κύκλο. Άρα ο εκκεντροφόρος περιστρέφεται με τις ίδιες στροφές που έχει και ο στρόφαλος.

Στις τετράχρονες αντίθετα περιστρέφεται με τις μισές στροφές. Εδώ ο εκκεντροφόρος κινεί και την βαλβίδα της εισαγωγής. (<https://maredu.gunet.gr>)



**Εικόνα 4.20:** Εκκεντροφόρος τετράχρονης μηχανής με οδοντωτό τροχό  
(<http://www.marinediesels.info>)

#### 4.2.2.10 Ωστήρια-ωστικές ράβδοι-ζύγωθρα (πιανόλα)

Εφόσον ο εκκεντροφόρος βρίσκεται στα πλάγια της μηχανής, για να μεταδοθεί η κίνησή του στις βαλβίδες χρειάζονται τρία πράγματα. Τα ωστήρια είναι αυτά που έρχονται σε άμεση επαφή με τον εκκεντροφόρο άξονα και μεταδίδουν την παλινδρομική κίνηση στις ωστικές ράβδους. Αποτελούνται συνήθως από ένα σώμα έναν άξονα και μια μεταλλική ρόδα. Οι ωστικές ράβδοι μεταδίδουν την παλινδρομική κίνηση στα ζύγωθρα. Το ζύγωθρο είναι μοχλός και μεταδίδει την κίνηση που δέχεται από την ωστική ράβδο στην ουρά της βαλβίδας. (<https://maredu.gunet.gr>)

#### 4.2.2.11 Αντλία πετρελαίου

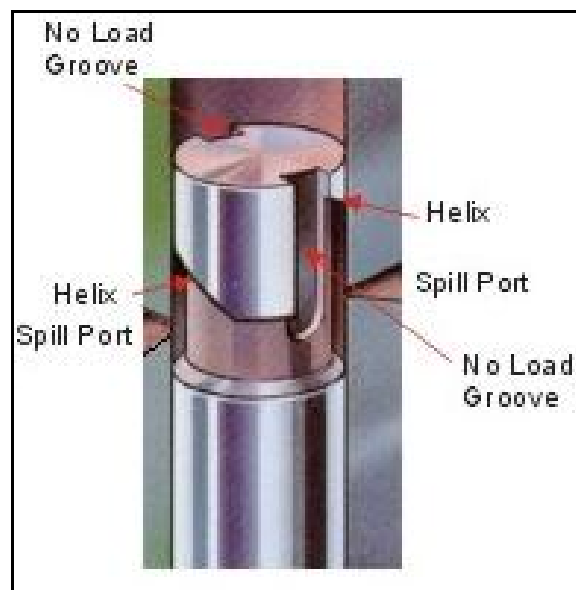
Το καύσιμο πρέπει να εγχυθεί στον κινητήρα υπό υψηλή πίεση έτσι ώστε να δημιουργηθεί σωστό εκνέφωμα. Η έγχυση πραγματοποιείται σε σύντομο χρονικό διάστημα και αυτή η χρονική περίοδος πρέπει να ελέγχεται με ακρίβεια. Η καθυστερημένη ή η έγκαιρη έγχυση θα οδηγήσει σε έλλειψη ισχύος και ζημιά στον κινητήρα. Επειδή ο χρόνος που θα πραγματοποιηθεί η έγχυση είναι κρίσιμος, τα έκκεντρα που είναι τοποθετημένα στον εκκεντροφόρο άξονα, χρησιμοποιούνται για να λειτουργούν οι αντλίες καυσίμου, μία από τις οποίες βρίσκεται σε κάθε κύλινδρο.

Καθώς το έκκεντρο περιστρέφεται, δίνει κίνηση σε ένα έμβολο το οποίο φέρει ελατήριο με ένταση το οποίο παλινδρομεί μέσα σε έναν κύλινδρο. Καθώς το έμβολο κινείται προς τα πάνω μέσα στον κύλινδρο, η πίεση του καυσίμου αυξάνεται ραγδαία. Το καύσιμο που έχει πλέον υψηλή πίεση ανοίγει τη βαλβίδα ψεκασμού που βρίσκεται μέσα στον καυστήρα και περνώντας από το στόμιο παίρνει τη μορφή μικροσκοπικών σταγονιδίων καταλήγοντας τελικά μέσα στον κύλινδρο.



Αυτή είναι η γενική αρχή λειτουργίας της αντλίας πετρελαίου. Όμως, δεν θα ήταν σωστό να παρέχεται στον κινητήρα η ίδια ποσότητα καυσίμου σε όλες τις φάσεις του. Αυτό θα προκαλούσε κατά την εκκίνηση του να πάρει πολλές στροφές ακαριαία. Η συνηθέστερη μέθοδος για να ρυθμιστεί η ποσότητα του καυσίμου είναι η εξής. Το έμβολο έχει υποστεί μια ελικοειδή κατεργασία μέσα του η οποία σχηματίζει επίσης μία κατακόρυφη αυλάκωση και μία δακτυλιοειδή αυλάκωση στη βάση της ελικοειδούς κατεργασίας. Το έμβολο παλινδρομεί σε έναν κύλινδρο, που βρίσκεται στο σώμα της αντλίας και έχει οπές διαρροής συνδεδεμένες στην πλευρά αναρρόφησης της αντλίας, τρυπημένες έτσι ώστε να βρίσκονται πάνω από την κορυφή του εμβόλου όταν το έκκεντρο βρίσκεται στο κυκλικό κομμάτι. Το έμβολο είναι προσαρτημένο σε μια πιατέλα η οποία φέρει έναν οδοντωτό τροχό (πινιόν). Το πινιόν εμπλέκεται με έναν κανόνα που μπορεί να περιστρέψει το έμβολο σε σχέση με τον κύλινδρο. Ο κανόνας συνδέεται με τον ρυθμιστή της μηχανής (governor).

Καθώς το έμβολο μετακινείται προς τα πάνω στον κύλινδρο, η έγχυση θα αρχίσει μόλις το έμβολο κλείσει τις θυρίδες διαρροής και η πίεση αυξηθεί. Μόλις η ελικοειδής ή η δακτυλιοειδή αυλάκωση περάσει τις θύρες διαρροής, η πίεση πάνω από το έμβολο θα πέσει αμέσως, παρόλο που το έμβολο εξακολουθεί να κινείται προς τα πάνω. Είναι προφανές ότι η ποσότητα του καυσίμου που εγχύεται στον κύλινδρο εξαρτάται από τη θέση της ελικοειδούς αυλάκωσης σε σχέση με τη θυρίδα διαρροής. Όταν η κατακόρυφη αυλάκωση ευθυγραμμιστεί με τη θυρίδα διαρροής, τότε δεν θα πραγματοποιηθεί καμία έγχυση και ο κινητήρας θα σταματήσει. (Waleed Alturki., 2017) (<http://www.marinediesels.info>) (<https://maredu.gunet.gr>)



**Εικόνα 4.21:** Το κατεργασμένο πρόσωπο του εμβόλου  
(<http://www.marinediesels.info>)

### 4.2.3 Σταθερά μέρη

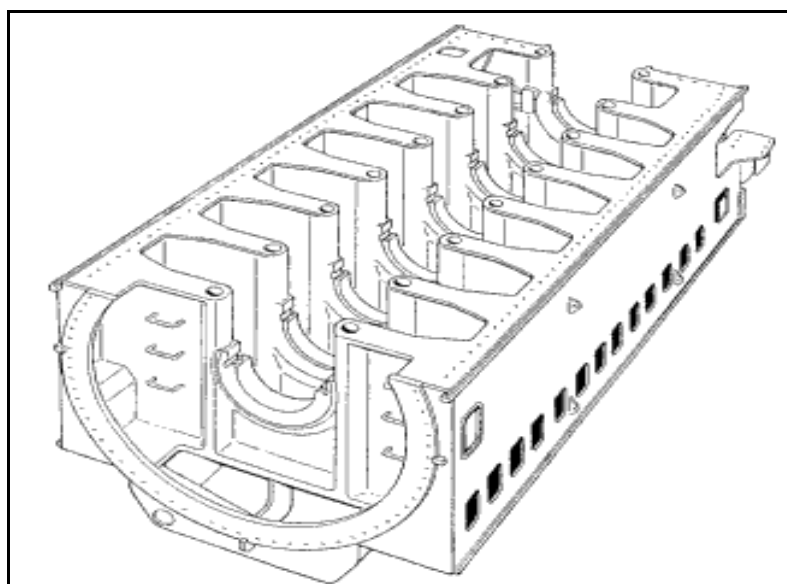
Τα σταθερά μέρη του πετρελαιοκινητήρα περιλαμβάνουν το κορμό, την κυλινδροκεφαλή, το μπλοκ ώσης, τον άξονα της έλικας και τον πρυμναίο σωλήνα, εκτός από τα άλλα σταθερά μέρη που περιλαμβάνονται εδώ.

#### 4.2.3.1 Ο κορμός της μηχανής

Ο κορμός της μηχανής απαρτίζεται από τμήματα ανάλογα το μέγεθος τον τύπο και τον κύκλο καύσης. Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφούν αναλυτικά τα τμήματα αυτά.

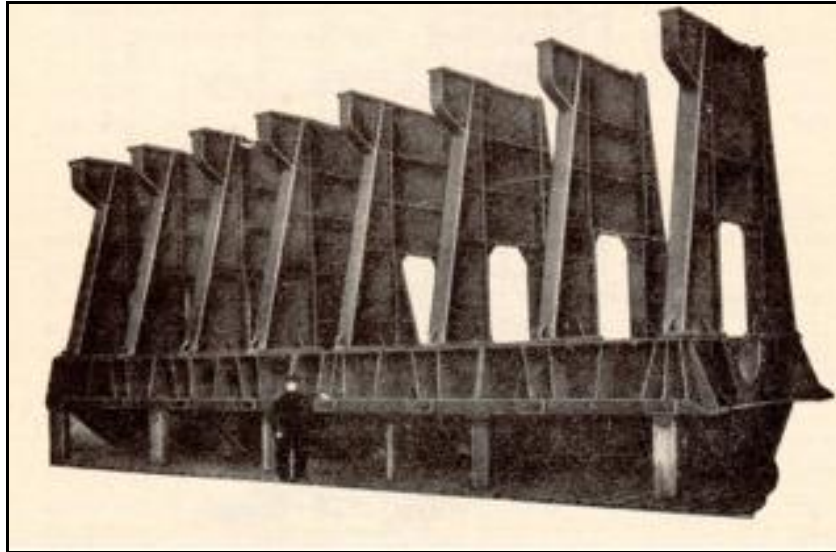
Το πρώτο τμήμα είναι η βάση (bedplate). Η βάση ως τμήμα εμφανίζεται μόνο στις μεγάλες αργόστροφες δίχρονες μηχανές. Στις μεσόστροφες και ταχύστροφες μηχανές δεν αποτελεί ξεχωριστό τμήμα. Η βάση είναι το θεμέλιο στην οποία είναι χτισμένη η δίχρονη μηχανή. Πρέπει να είναι αρκετά άκαμπτη για να υποστηρίξει το βάρος του υπόλοιπου κινητήρα και να διατηρεί τον στροφαλοφόρο άξονα, ο οποίος κάθεται σε κατάλληλα διαμορφωμένα έδρανα, σε ευθυγράμμιση. Ταυτόχρονα, πρέπει να είναι αρκετά εύκαμπτη έτσι ώστε να ακολουθεί τις παραμορφώσεις του δαπέδου του μηχανοστασίου, στο οποίο είναι προσαρτημένη και το οποίο αποτελεί μέρος της δομής του πλοίου. Εάν η βάση ήταν υπερβολικά άκαμπτη, τότε καθώς η γάστρα κάμπτεται, οι κοχλίες συγκράτησης που ασφαλίζουν τον κινητήρα στο πλοίο πιθανόν να έσπαγαν με αποτέλεσμα δημιουργίας ρωγμής στη βάση. Η βάση αποτελείται από δύο διαμήκεις δοκούς, οι οποίοι διατρέχουν το μήκος του κινητήρα, και συνδέονται μεταξύ τους με εγκάρσιους δοκούς και διάτρητα διαφράγματα για την μείωση του βάρους καθώς και την καλύτερη κυκλοφορία του λιπαντικού. Οι εγκάρσιοι δοκοί είναι διαμορφωμένοι έτσι, ώστε να δέχονται τον στροφαλοφόρο άξονα.

Στους κινητήρες μικρής διαμέτρου, η βάση μπορεί να κατασκευαστεί από χυτοσίδηρο ως ένα κομμάτι. Στις μεγαλύτερης διαμέτρου μηχανές, η βάση είναι κατασκευασμένη από συγκολλημένα χαλύβδινα τμήματα.

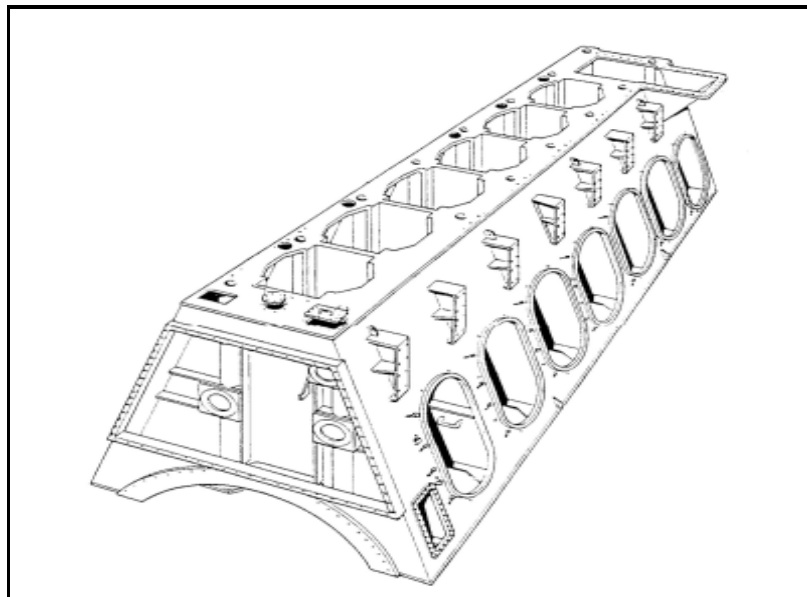


**Εικόνα 4.22:** Βάση αργόστροφης δίχρονης μηχανής (<http://www.marinediesels.info>)

Το επόμενο τμήμα είναι τα πλαίσια (frames). Αυτά συναντώνται σαν τμήμα μόνο στις δίχρονες μηχανές. Είναι γνωστά και σαν πλαίσια τύπου A λόγω του σχήματός τους. Αυτά φέρουν τους οδηγούς των ζυγώθρων και στηρίζουν το μπλοκ του κινητήρα. Σε παλαιότερες μηχανές κάθε πλαίσιο A τοποθετούνταν ξεχωριστά πάνω σε κάθε εγκάρσια δοκό της βάσης και ενώνοντάς τα με πλάκες σχημάτιζαν τον στροφαλοθάλαμο. Η σημερινή τάση είναι τα πλαίσια να αποτελούν ξεχωριστή κατασκευή και αφού κατεργαστούν οι επιφάνειες συναρμογής, να τοποθετείται πάνω στη βάση. Αυτό έχει το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης βάρους.



**Εικόνα 4.23:** Πλαίσια που τοποθετούνταν ξεχωριστά πάνω στη βάση.  
(<http://www.marinediesels.info>)



**Εικόνα 4.24:** Πλαίσια που αποτελούν μια ενιαία κατασκευή.  
(<http://www.marinediesels.info>)



**Εικόνα 4.25:** Η διαδικασία ένωσης του πλαισίου με τη βάση.  
(<http://www.marinediesels.info>)

Το επόμενο και τελευταίο τμήμα το οποίο ολοκληρώνει το μπλοκ μιας δίχρονης μηχανής είναι το μπλοκ του κυλίνδρου (entablature ή cylinder block). Το μπλοκ κυλίνδρου ενσωματώνει τον χώρο εισαγωγής του καθαρού αέρα και τους χώρους ψύξης νερού. Σχηματίζει το περίβλημα για να τοποθετηθούν τα χιτώνια και είναι κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο.



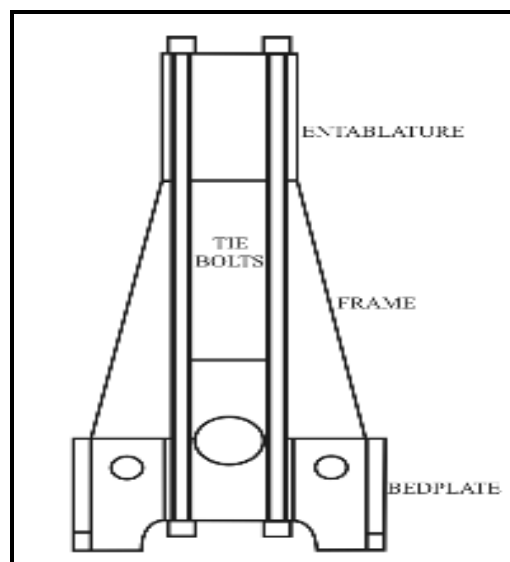
**Εικόνα 4.26:** Το μπλοκ μαζί με τα χιτώνια τοποθετημένο πάνω στο πλαίσιο.  
(<http://www.marinediesels.info>)

Ευθυγραμμίζονται με τα πλαίσια τύπου A και τοποθετούνται στη θέση τους με τη βοήθεια μπουλονιών. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι τα μπουλόνια που χρησιμοποιούνται για τη στερέωση του μπλοκ, του πλαισίου και της βάσης μαζί είναι μόνο για σκοπούς ευθυγράμμισης και τοποθέτησης. Δεν έχουν σχεδιαστεί για να αντιστέκονται στις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την λειτουργία που τείνουν να χωρίζουν τα τρία τμήματα. Γι' αυτήν την δουλειά υπάρχουν ειδικά σχεδιασμένα μπουλόνια (tie bolts).

Για να κατανοήσουμε τη σημασία του ρόλου που παίζουν αυτά τα μπουλόνια, είναι απαραίτητο να εκτιμήσουμε τι συμβαίνει στο εσωτερικό του κυλίνδρου του κινητήρα. Όταν το έμβολο βρίσκεται αμέσως μετά το ανώτερο νεκρό σημείο, η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου μπορεί να ανέλθει μέχρι 140 bar. Αυτή πίεση μεταφέρεται προς τα κάτω μέσω του βάκτρου και του διωστήρα, πιέζοντας τον στροφαλοφόρο άξονα προς τα κάτω στα έδρανα βάσης του. Ταυτόχρονα, η πίεση λειτουργεί προς τα πάνω, προσπαθώντας να ανυψώσει το κάλυμμα του κυλίνδρου. Τα μπουλόνια της κυλινδροκεφαλής που έχουν βιδωθεί στο μπλοκ εμποδίζουν αυτό να συμβεί και έτσι αυτή η προς τα άνω ενεργούσα δύναμη προσπαθεί να ανυψώσει το μπλοκ από τα πλαίσια και τα πλαίσια από την βάση, ασκώντας έτσι τάση στα τοποθετημένα μπουλόνια.

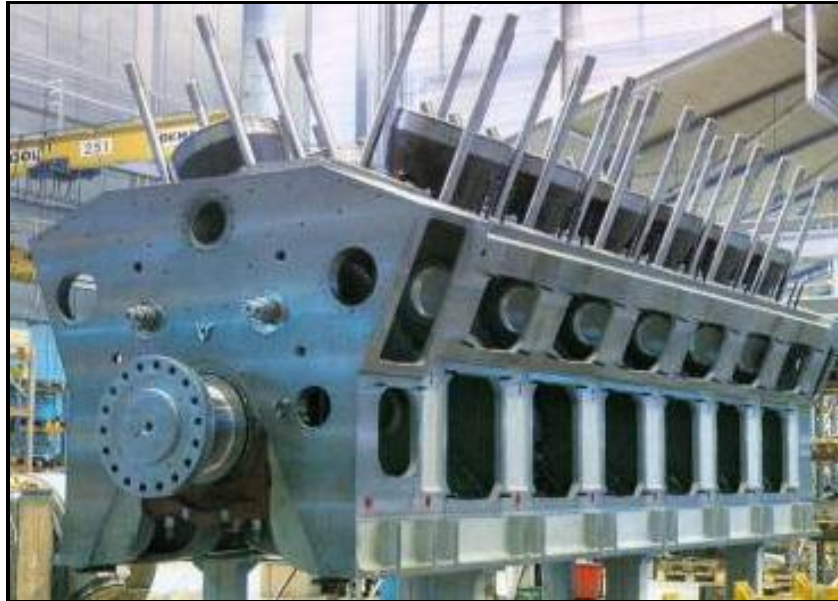
Καθώς το έμβολο κινείται προς τα κάτω στον κύλινδρο, η πίεση στον κύλινδρο πέφτει και έπειτα ανυψώνεται ξανά καθώς το έμβολο αλλάζει κατεύθυνση και κινείται προς τα πάνω στη διαδρομή συμπίεσης. Αυτό σημαίνει ότι τα μπουλόνια δέχονται κυκλική καταπόνηση. Επειδή δεν έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν σε τέτοιες πιέσεις, σύντομα θα αποτύχουν με καταστροφικές συνέπειες.

Για να συγκρατήσουν σταθερά μαζί τη βάση, τα πλαίσια και το μπλοκ κατά τη συμπίεση και να μεταδώσουν τις δυνάμεις της καύσης στην βάση, τοποθετούνται μακριές βίδες στερέωσης μέσω αυτών των τριών εξαρτημάτων και στη συνέχεια σφίγγονται υδραυλικά. Για να αποφευχθούν υπερβολικές ροπές κάμψης στις εγκάρσιες δοκούς, οι κοχλίες σύνδεσης τοποθετούνται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο κέντρο του στροφαλοφόρου άξονα.



**Εικόνα 4.27:** Οι μακριές βίδες στερέωσης που συγκρατούν τα 3 τμήματα μαζί.  
(<http://www.marinediesels.info>)

Στις τετράχρονες μηχανές τα πράγματα είναι πολύ πιο απλά. Ο κορμός της μηχανής μιας μεσόστροφης μπορεί να παραχθεί σαν ένα χυτό κομμάτι ή από χαλύβδινα τμήματα και πλάκες συγκολλημένα μεταξύ τους. Έτσι, δεν υπάρχει ξεχωριστή βάση, πλαίσιο και μπλοκ. (<http://www.marinediesels.info>)



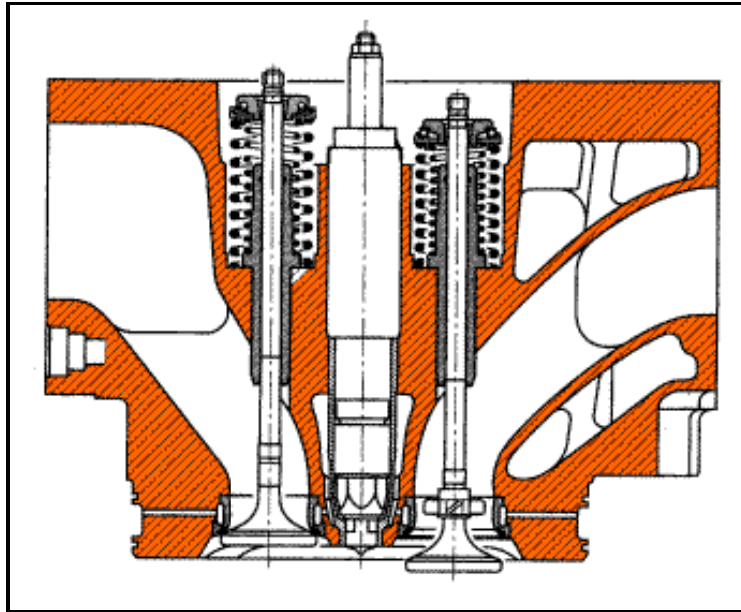
**Εικόνα 4.28:** Ο κορμός της μηχανής με τα χιτώνια και τον στροφαλοφόρο άξονα στη θέση τους. (<http://www.marinediesels.info>)

#### 4.2.3.2 Η κεφαλή του κυλίνδρου

Η κεφαλή του κυλίνδρου συναντάται και σαν πώμα αλλά και σαν καπάκι. Προσαρμόζεται στο πάνω μέρος των χιτωνίων, ή του μπλοκ σε μηχανές μικρής ισχύος, σχηματίζοντας με τον ουρανό του εμβόλου και με το χιτώνιο το χώρο καύσης. Μπορεί να συναντήσουμε ένα ενιαίο κομμάτι με κεφαλές, αν έχουμε μηχανές μικρής ισχύος, η διαιρούμενες κεφαλές, δηλαδή κάθε κύλινδρος να έχει την δική του. Συνδέεται με το μπλοκ της μηχανής με τη βοήθεια μπουζονιών. Η σύσφιξη των παξιμαδιών γίνεται με ειδική σειρά και προκαθορισμένη από τον κατασκευαστή ροπή, προκειμένου να μην ξεπεραστεί το όριο διαρροής του μπουζονιού, με τη χρήση ροπόκλειδων ή ειδικών υδραυλικών διατάξεων. Προκειμένου να εξασφαλίσουμε πλήρη στεγανότητα μεταξύ του χιτωνίου και της κεφαλής παρεμβάλλεται μια ειδική φλάντζα.

Στην κεφαλή των τετράχρονων ναυτικών μηχανών συναντάμε τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, τον εγχυτήρα του πετρελαίου (καυστήρα), την βαλβίδα του αέρα εκκινήσεως, την βαλβίδα εκτόνωσης του κυλίνδρου και το ρολόι εκ του οποίου λαμβάνουμε πληροφορίες για την κατάσταση που βρίσκεται η μηχανή. Αντίθετα στις δίχρονες μηχανές, απουσιάζουν οι βαλβίδες εισαγωγής, ενώ βαλβίδες εξαγωγής συναντάμε συνήθως σε αργόστροφες μηχανές μεγάλης ισχύος.

Η ψύξη της κεφαλής επιτυγχάνεται με κατάλληλους εσωτερικούς αγωγού, που επικοινωνούν με τους αντίστοιχους αγωγούς των χιτωνίων. Η κατασκευή τους γίνεται από χυτοσίδηρο. (<https://maredu.gunet.gr>)



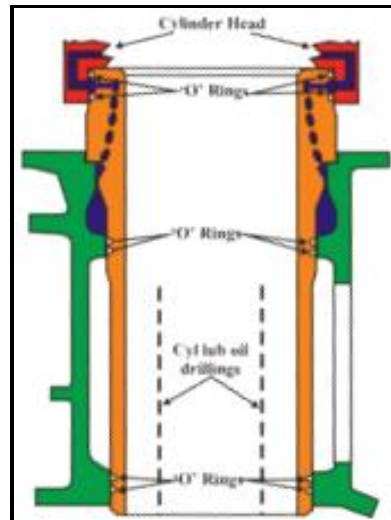
**Εικόνα 4.29:** Κεφαλή τετράχρονης ναυτικής μηχανής. (<http://www.marinediesels.info>)

#### 4.2.3.3 Χιτώνιο

Το χιτώνιο είναι το κυλινδρικής διατομής τμήμα της μηχανής, εντός του οποίου παλινδρομεί το έμβολο. Είναι ένα ξεχωριστό κομμάτι από το μπλοκ της μηχανής και αυτό έχει πολλά πλεονεκτήματα. Αρχικά μπορεί να κατασκευαστεί από ένα ανώτερο υλικό από αυτό που κατασκευάστηκε το μπλοκ. Το μπλοκ αποτελείται από γκρι χυτοσίδηρο, ενώ το χιτώνιο από ένα οξιδιακό χυτοσίδηρο με κράμα από χρώμιο, βανάδιο και μολυβδαίνιο. Το γεγονός ότι αποτελείται από κράματα το βοηθά στην αντοχή στη διάβρωση και στη βελτίωση της αντοχής στις φθορές από υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, το χιτώνιο με τη χρήση θα φθαρθεί και ενδεχομένως να πρέπει να γίνει αντικατάσταση του. Πράγμα αδύνατο αν χιτώνιο και μπλοκ ήταν ένα ενιαίο κομμάτι. Πολύ σημαντικό γεγονός αποτελεί το ότι ως όντας 2 ξεχωριστά κομμάτια δίνεται η ελευθερία στο χιτώνιο να διασταλεί περισσότερο διαμετρικά και ως προς το μήκος. Σε θερμοκρασία λειτουργίας το χιτώνιο αναπτύσσει μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε σχέση με το μπλοκ της μηχανής. Έτσι το μπλοκ της μηχανής δεν έχει την ανάγκη να διασταλεί τόσο. Εάν χυτεύονταν σαν ένα κομμάτι, οι θερμικές τάσεις θα ήταν μη αποδεκτές με αποτέλεσμα την θραύση του υλικού. Τέλος, ο κίνδυνος ελαττωμάτων είναι μικρότερος. Όσο πιο πολύπλοκη είναι η χύτευση, τόσο πιο δύσκολο είναι να έχουμε μια ομοιογενή χύτευση με μικρή πιθανότητα σφάλματος.

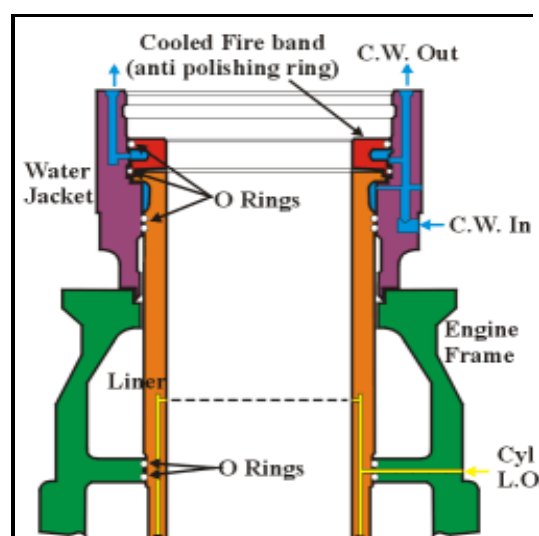
Τα χιτώνια που συναντάμε την σύγχρονη εποχή φέρουν οπές ψύξης στην κορυφή απ' όπου διέρχεται το ψυκτικό μέσο. Σε αυτήν την περιοχή αναπτύσσονται υψηλές τάσεις και ως εκ τούτου το πάχος του τοιχώματος πρέπει να αυξηθεί. Αυτό φέρνει το ψυκτικό υγρό κοντά στην εσωτερική επιφάνεια του χιτωνίου με σκοπό να διατηρήσει τη θερμοκρασία του τοιχώματος εντός αποδεκτών ορίων, ώστε να μην υπάρξει διακοπή της λίπανσης ή υπερβολική θερμική καταπόνηση. Επίσης, μπορεί να συναντήσουμε χιτώνια τα οποία έχουν μικροσκοπικές οπές στο εσωτερικό τοίχωμα από τις οποίες περνάει, το απαραίτητο για τη λίπανση του εμβόλου, λάδι.

Το ψυκτικό μέσο προκειμένου να φτάσει στις οπές της ψύξης του χιτωνίου περνάει μέσα από το μπλοκ της μηχανής, με κίνδυνο να διαρρεύσει και να μολύνει το στροφαλοθάλαμο αν κάποιο στεγνωτικό λάστιχο αστοχήσει. Προκειμένου να διαφύγουμε αυτόν τον κίνδυνο σε μερικές μηχανές εφαρμόζεται ένα περιχιτώνιο εκ του οποίου διέρχεται το ψυκτικό μέσο.



**Εικόνα 4.30:** Χιτώνιο όπου το ψυκτικό μέσο διέρχεται από το μπλοκ της μηχανής. (<http://www.marinediesels.info>)

Τέλος, σε μερικές μηχανές, και συγκεκριμένα σε τετράχρονες μηχανές Wartsila, στο πάνω μέρος του χιτωνίου εφαρμόζεται ένα δαχτυλίδι μέσα σε μια κατάλληλα διαμορφωμένη πατούρα. Αυτό το δαχτυλίδι συναντάται συχνά σαν antipolishing ring. Είναι ελάχιστα μικρότερο σε διάμετρο από την εσωτερική του χιτωνίου, και ο σκοπός του είναι να αφαιρεί την καρβουνίλα που αναπτύσσεται στα πλάγια της κεφαλής πάνω από το πρώτο λούκι. Αν δεν υπήρχε αυτό το δαχτυλίδι θα είχαμε υπερβολική ανάπτυξη καρβουνίλας με αποτέλεσμα να τρίβεται με το τοίχωμα του χιτωνίου, γυαλίζοντάς το, καταστρέφοντας την ιδιότητα του να δημιουργεί φιλμ λίπανσης. (<http://www.marinediesels.info>)



**Εικόνα 4.31:** Χιτώνιο όπου το ψυκτικό μέσο διέρχεται από περιχιτώνιο. Στο άνω μέρος διακρίνεται και το δαχτυλίδι antipolishing. (<http://www.marinediesels.info>)



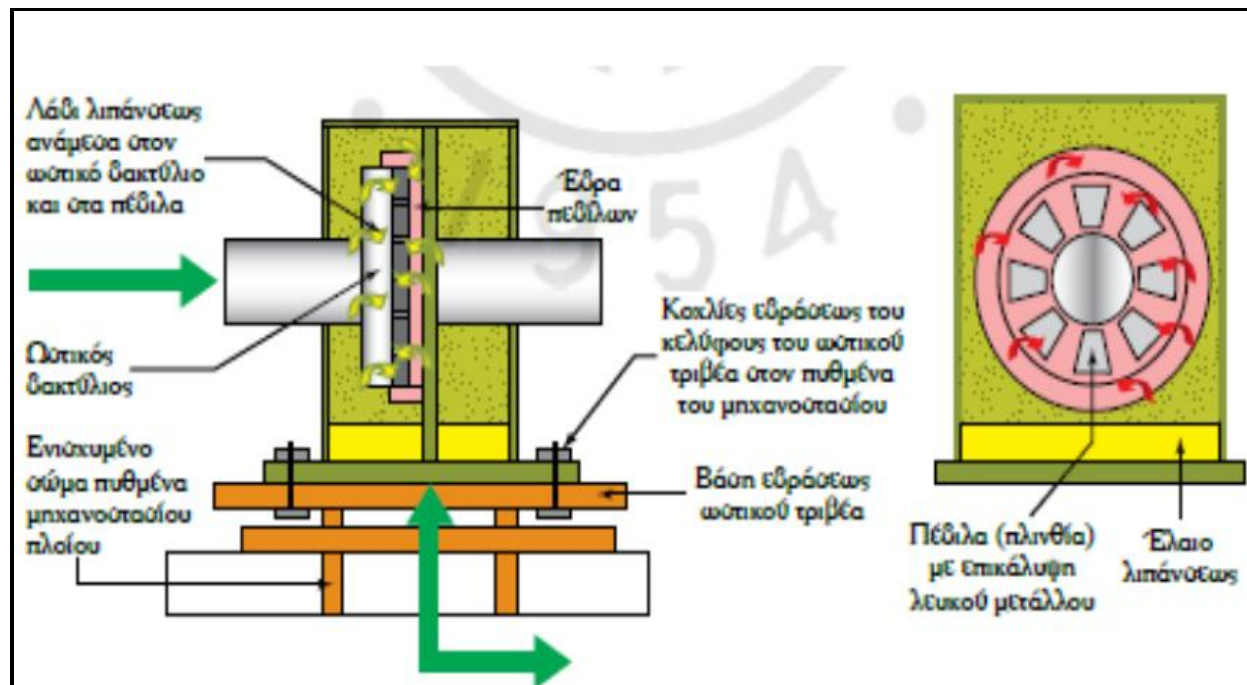
#### 4.2.3.4 Ωστικός τριβέας

Ο ωστικός τριβέας είναι υπεύθυνος για την αποτελεσματική μετάδοση της ισχύος στην προπέλα. Επίσης, εγγυάται τον έλεγχο της ροπής και της ευθυγράμμισης του άξονα από αυτό το τμήμα με την χοάνη του τελικού άξονα. Αυτό το στοιχείο αναφέρεται και ως Michellbearing, το οποίο φέρει το όνομα του Αυστραλιανού μηχανικού, George Michell, που ανακάλυψε και πατεντάρισε αυτού του είδους τριβείς το 1905.

Ανάμεσα στον ωστικό τριβέα και την χοάνη είναι ο άξονας της προπέλας. Αυτός ο άξονας υποστηρίζεται από διάφορους τριβείς τοποθετημένους κατά μήκος του. Επίσης η χοάνη, απ' όπου διέρχεται ο άξονας και καταλήγει στην προπέλα, φέρει στηρίγματα και δακτυλίους στεγανοποίησης.

Πλάκες από χάλυβα και δοκοί σχήματος I στηρίζουν τη δομή του ωστικού τριβέα. Ο ωστικός τριβέας είναι κατασκευασμένος από ένα περίβλημα με πολλά σφηνοειδή μεταλλικά πέλματα με ελικοειδείς αυλακώσεις για την ροή του λαδιού. Αυτά τα πέλματα τοποθετούνται και προσαρτώνται κυκλικά γύρω από τον άξονα επάνω σε ένα χαλύβδινο στήριγμα όπου και είναι ελεύθερα να κινηθούν πάνω σε αυτό.

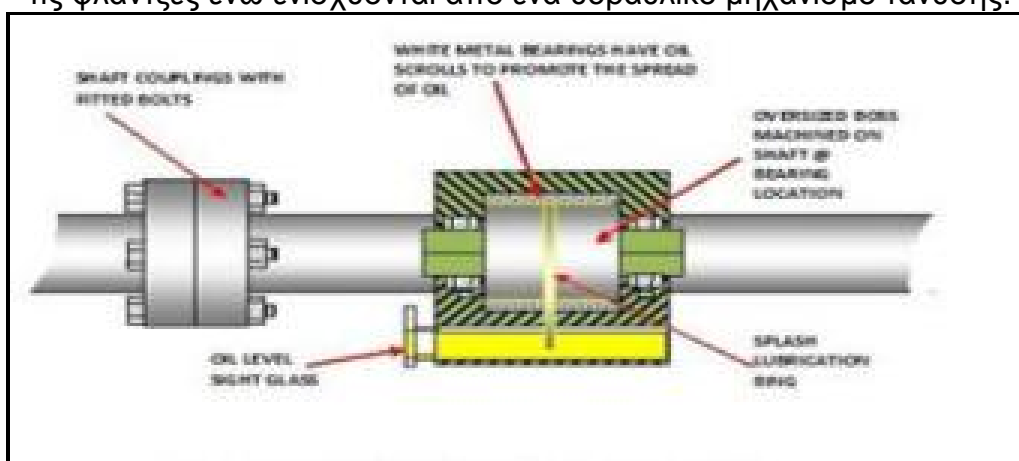
Η υπερθέρμανση και η πρόωρη φθορά των πέδινων, εμποδίζεται από την ύπαρξη φιλμ λαδιού ανάμεσα στα πέδιλα και τον ωστικό τριβέα. Λόγω της περιστροφής του άξονα, το λάδι βρίσκεται υπό πίεση. Έτσι, δεν χρειάζεται αντλία λαδιού. Μια λεκάνη λαδιού τοποθετείται στους πρόποδες του περιβλήματος όπου αποθηκεύεται το υπάρχον λάδι. Στην περιοχή αυτή ρέει θαλασσινό νερό με αποτέλεσμα να ψύχει το λάδι αυτό. Στην παρακάτω εικόνα δίνεται μία απεικόνιση του ωστικού τριβέα μαζί με τα άλλα μέρη που περιεγράφηκαν προηγουμένως. (Waleed Alturki., 2017)



**Εικόνα 4.32:** Ο ωστικός τριβέας και προσαρτημένα μέρη του. (<https://maredu.gunet.gr>)

#### 4.2.3.5 Άξονας κίνησης της προπέλας

Αυτός ο άξονας είναι στερεωμένος στο βολάν της κύριας μηχανής. Πηγαίνει μέσα στο τούνελ του άξονα μέσω του ωστικού τριβέα. Τριβείς συγκρατούν τον άξονα κίνησης της προπέλας. Παράγεται από σφυρήλατο χάλυβα, ενώ με τη βοήθεια φλάντζων συνδέονται τα επιμέρους κομμάτια του άξονα. Αυτό το τμήμα του κινητήρα χρειάζεται μεγάλη προσοχή στη λεπτομέρεια ώστε να μπορεί να λειτουργεί ομαλά μέσα στους μεταλλικούς τριβείς. Οι φλάντζες, από την άλλη πλευρά, πρέπει να είναι κατασκευασμένες με ακρίβεια και οι οπές των μπουλονιών να εφάπτονται ακριβώς ώστε να εισαχθούν οι προσαρμοζόμενοι κοχλίες. Βίδες υψηλής αντοχής συγκρατούν τις φλάντζες ενώ ενισχύονται από ένα υδραυλικό μηχανισμό τάνυσης.



**Εικόνα 4.33:** Άξονας κίνησης της προπέλας. (Waleed Alturki., 2017)

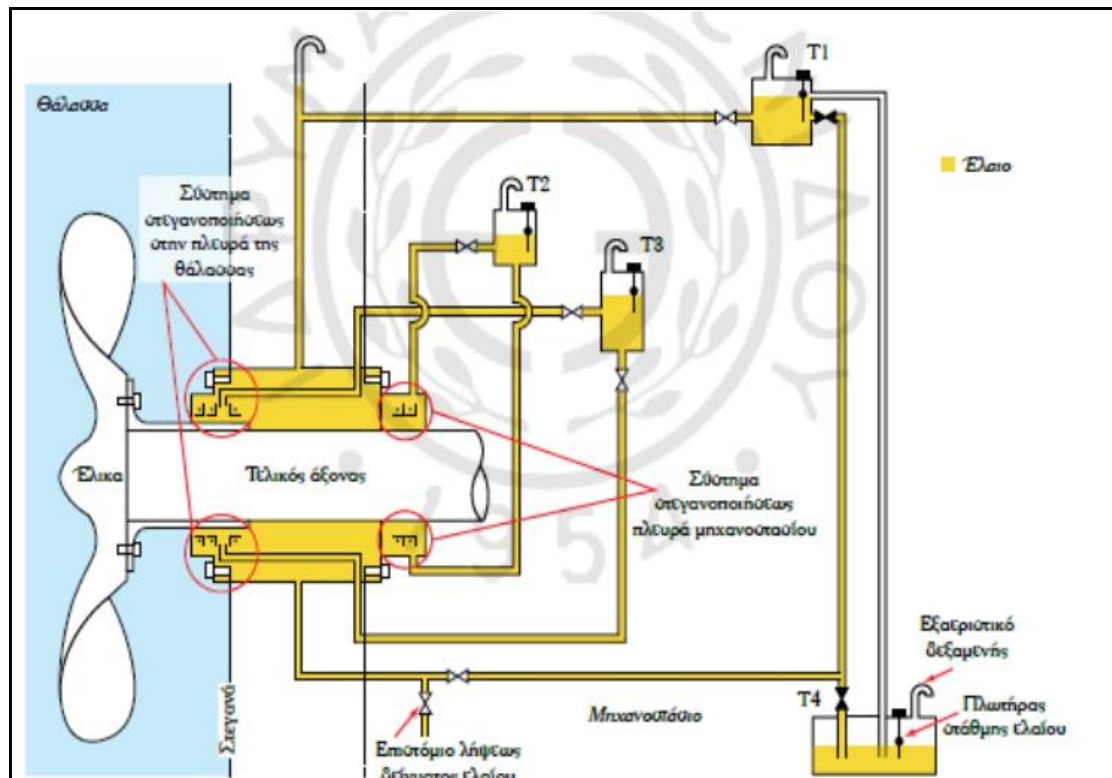
Οι τριβείς που στηρίζουν τον άξονα αποτελούνται από δύο ίσα μέρη και συνήθως είναι επενδυμένα με λευκό μέταλλο. Με τη βοήθεια ενός δακτυλιδιού που είναι προσαρτημένο στον άξονα και είναι βαπτισμένο το κάτω μέρος του σε λεκάνη ελαίου, λιπαίνεται το τμήμα αυτό καθώς με την περιστροφή ανασηκώνει λάδι. Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται ένας άξονας κίνησης με τα διάφορα μέρη του.

Ο άξονας περιέχει κράμα χαλκού νικελίου και μέταλλο Babbitt. Αυτό βρίσκεται μεταξύ του άξονα και της χοάνης. Αυτό το εξάρτημα λιπαίνεται και ψύχεται με λάδι. Για την αποφυγή διαρροής λαδιού στο θαλασσινό νερό, εφαρμόζονται ειδικοί στεγανοποιητικοί δακτύλιοι. (Waleed Alturki., 2017)

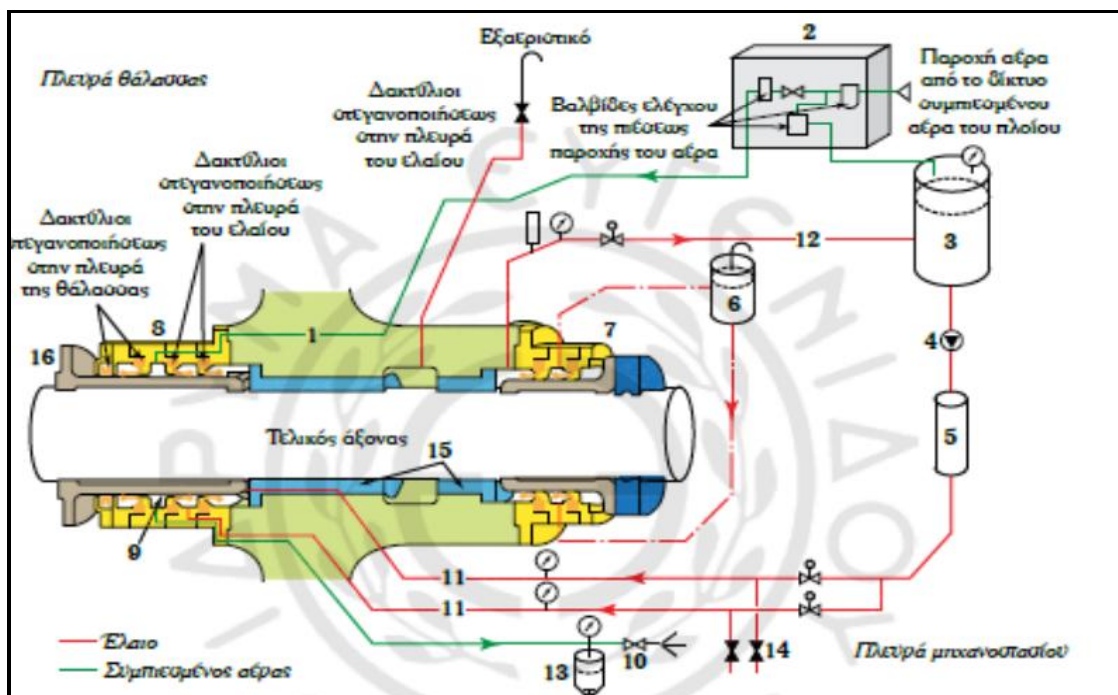
#### 4.2.3.6 Χοάνη του τελικού άξονα

Αυτό το τμήμα του κινητήρα στηρίζει και σφραγίζει τον άξονα της προπέλας. Παράγεται από χυτευμένο σιδερένιο σωλήνα και προσαρμόζεται στο πλαίσιο της πρύμνης. Υπάρχουν διάφορες διατάξεις χοάνης. Η μία στεγανοποιεί με τη βοήθεια δεξαμενής βαρύτητας, που περιγράφεται στην (Εικόνα 4.34), και η άλλη με τη βοήθεια του αέρα (Εικόνα 4.35). Αυτή η χοάνη στηρίζει τον άξονα μέχρι την προπέλα. (Waleed Alturki., 2017). Στην (Εικόνα 4.34) όπου T1: Δεξαμενή βαρύτητας του ελαίου λιπάνσεως της χοάνης του τελικού άξονα T2: Δεξαμενή πρωραίου συστήματος στεγανοποίησης T3: Δεξαμενή ελαίου πρυμναίου συστήματος

στεγανοποίησης T4: Δεξαμενή υπερχειλίσσης και συμπλήρωσης του ελαίου στεγανοποίησης και λίπανσης του τελικού άξονα.



Εικόνα 4.34: Χοάνη στεγανοποίησης με δεξαμενή βαρύτητας. (<https://maredu.gunet.gr>)



Εικόνα 4.35: Χοάνη στεγανοποίησης με πίεση αέρα. (<https://maredu.gunet.gr>)

### 4.3 Διαδικασία υπερπλήρωσης (Supercharging)

Η υπερφόρτιση - υπερπλήρωση (ή η φόρτιση υπό πίεση) είναι μια διαδικασία όπου εισάγεται μεγαλύτερη μάζα αέρα στον κύλινδρο για καύση και επομένως μια μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου καίγεται επίκαιρα. Η ισχύς εξόδου του κινητήρα αυξάνεται με υψηλότερη θερμική ευαισθησία χωρίς να αυξάνεται το μέγεθος του κινητήρα.

Όπως επεξηγείται και παρακάτω, η καύση και υπερφόρτιση του κινητήρα είναι κατά κύριο λόγο μια μέθοδος για την ενίσχυση της πυκνότητας ισχύος. Σύμφωνα με τον ορισμό της ικανής αποτελεσματικότητας (effective efficiency), η καθαρή ισχύς του κινητήρα αυξάνεται με τη μάζα καυσίμου με μετατρέπόμενη στη μονάδα χρόνου.

Ανάλογα με την καύση του συστήματος, απαιτείται μια συγκεκριμένη ροή μάζας αέρα  $mLZ$ . Εφαρμόζοντας το λόγο αέρα / καυσίμου  $\lambda V$  και το στοιχείο μετρικό λόγο αέρα / καυσίμου  $L_{min}$  καθώς και την ογκομετρική απόδοση, προκύπτει η παρακάτω εξίσωση για  $P_e$  με τη μορφή:

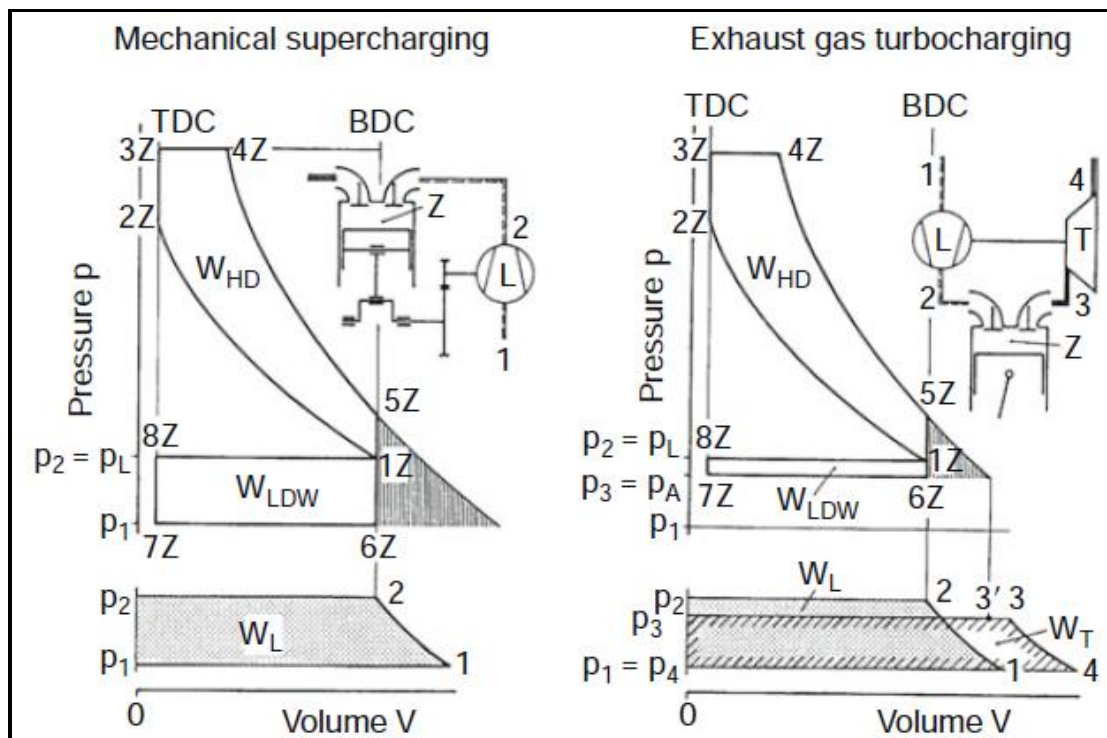
$$P_e = \frac{Hu}{L_{min}} \cdot \frac{VH}{a} \cdot \frac{1}{\lambda v} \cdot \lambda_1 \cdot n_M \cdot \rho_L \cdot \eta_e$$

όπου  $a = 2$  για έναν τετράχρονο κινητήρα και  $a = 1$  για δίχρονο κινητήρα.

Η εφαρμογή ενός συγκεκριμένου τύπου καυσίμου ( $Hu$ ,  $L_{min}$ ) και ένα συγκεκριμένο σύστημα καύσης ( $IN$ ), δείχνει ότι, σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα  $n_M$  ( $\lambda_1 = \text{σταθερά}$ ) και ανεξάρτητα από την αποτελεσματική απόδοση  $Z_e$ , μια συγκεκριμένη καθαρή ισχύς κινητήρα ( $VH$ ,  $a$ ) εξακολουθεί να σχετίζεται μέσω μόνο μιας συνάρτησης της πυκνότητας  $\rho_L$  του αέρα πριν από την εισαγωγή του στον κινητήρα.

Συμπερασματικά λοιπόν, όταν ο αέρας πριν από την εισαγωγή τροφοδοτείται στον κινητήρα με μία υψηλότερη πυκνότητα από τον αέρα του περιβάλλοντος, τότε επιτυγχάνεται η διαδικασία της υπερσυμπίεσης (supercharging). (Mollenhauer., 2010)

Μιας και η διαδικασία της υπερσυμπίεσης των καυσαερίων αλλά και της μηχανική υπερτροφοδότησης έχουν επιτύχει τη μεγαλύτερη πρακτική σημασία τους θεμιτό είναι να απεικονίζονται οι διαφορετικές αλληλεπιδράσεις σε έναν βασικό κινητήρα με τη βοήθεια ενός εξιδανικευμένου κύκλου (Εικόνα 4.35). Σε περίπτωση που μηχανική υπερφόρτιση, ο υπερτροφοδότης που τροφοδοτείται από τον κινητήρα τροφοδοτεί τον αέρα των κυλίνδρων με πίεση  $p_2 = p_L$  όμοια με την πίεση του κυλίνδρου κατά τη διάρκεια της διαδρομής εισαγωγής, η συμπίεση ξεκινά σε υψηλότερη πίεση από ότι σε μια φυσική διαδικασία αναρρόφησης του κινητήρα ( $I_Z$ ). Μόλις ολοκληρωθεί η διαδρομή επέκτασης ( $5Z$ ), ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και η φόρτιση του κυλίνδρου αποβάλλεται έναντι της πίεσης περιβάλλοντος ( $p_1$ ).

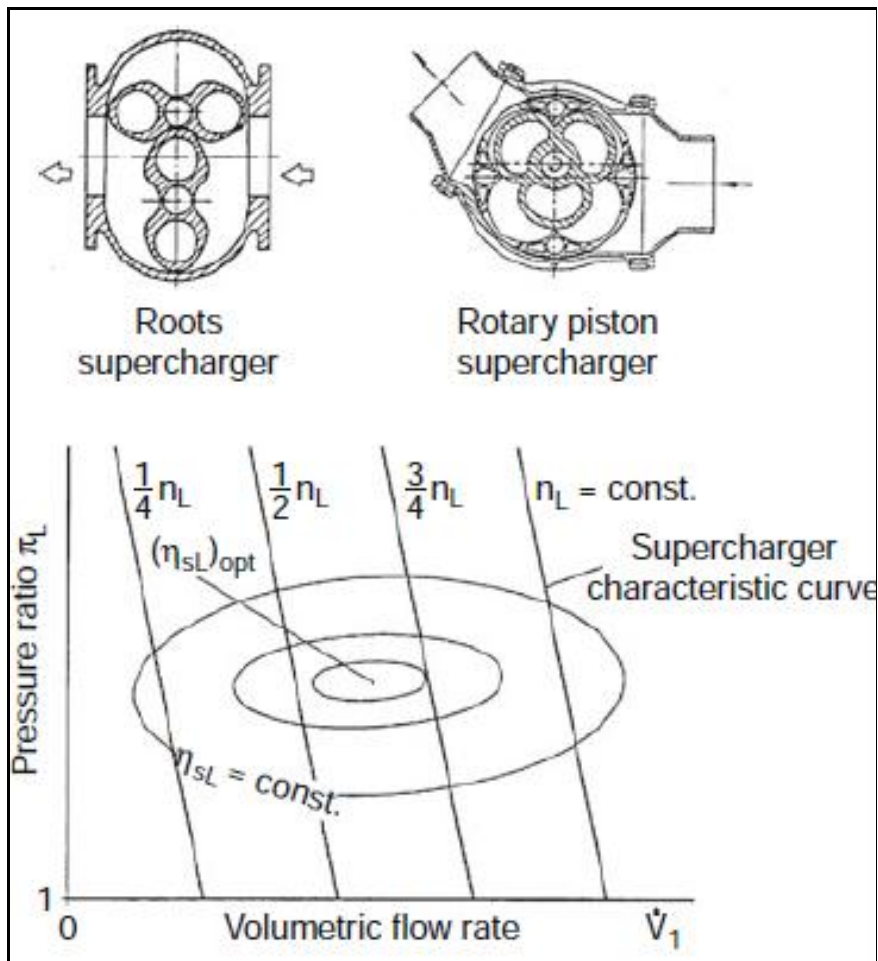


**Εικόνα 4.36:** Σχεδιάγραμμα ιδανικής διεργασίας του κινητήρα κατά την διάρκεια της υπερπλήρωσης. (Google)

Κάθε γνωστός τύπος υπερσυμπιεστής μπορεί να ταξινομηθεί σε μία από τις δύο ομάδες βασισμένες στην αρχή λειτουργίας τους, δηλαδή υπερτροφοδότες θετικής εκτόπισης και στροβιλοσυμπιεστές.

#### 4.3.1 Συμπιεστές θετικού εκτοπίσματος

Στην οικογένεια των υπερπληρωτών με συμπίεση θετικού εκτοπίσματος συγκαταλέγονται, οι συμπιεστές με παλινδρομικά έμβολα όπου παλαιότερα χρησιμοποιούνταν μόνο για την υπερφόρτιση μεγάλων δίχρονων κινητήρων, αλλά επίσης και οι περιστροφικοί συμπυκνωτές, οι περιστροφικοί συμπιεστές με περιστρεφόμενα έμβολα (υπερσυμπιεστές περιστροφικών εμβόλων και οι υπερσυμπιεστές με ολισθαίνοντα πτερύγια), οι σπειροειδείς υπερσυμπιεστές (υπερσυμπιεστές τύπου G) καθώς και οι υπερσυμπιεστές τύπου βιδών (screw-type). (Mollenhauer., 2010)



**Εικόνα 4.37:** Σχηματική απεικόνιση ανάλυση υπερπληρωτών - υπερσυμπιεστών θετικού εκτοπίσματος. (Google)

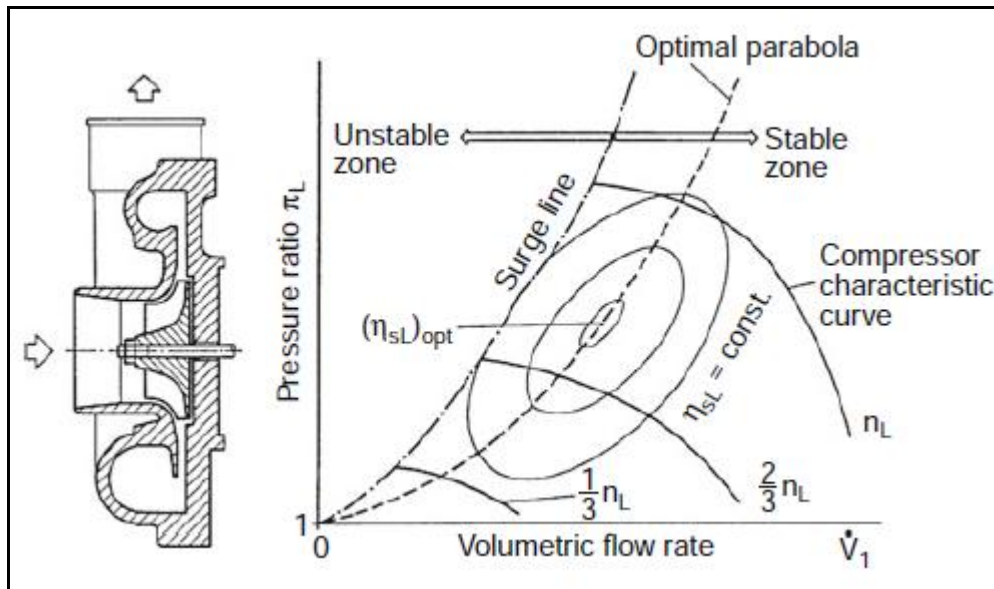
Ανάλογα με το σχεδιασμό τους, σε μια πραγματική υπερπλήρωση θετικής μετατόπισης οι απώλειες διαρροής του υπερτροφοδότη ή οι απώλειες που προκαλούνται από την επαναδιαστολή του συμπιεσμένου μέσου στον νεκρό χώρο αυξάνονται καθώς ο λόγος πίεσης αυξάνεται και (σε  $n_L = \text{σταθερά.}$ ) ο ρυθμός ροής όγκου μειώνεται αντίστοιχα. Από αυτό προκύπτει ότι:

- α) Ο λόγος εφικτής πίεσης δεν είναι συνάρτηση της ταχύτητας. Ως εκ τούτου, οι λόγοι υψηλής πίεσης είναι δυνατοί ακόμη και σε χαμηλές τιμές ταχύτητες και επομένως μικρές ογκομετρικές ροές.
- β) Ο ρυθμός ροής όγκου  $\dot{V}_1$  είναι ουσιαστικά μόνο συνάρτηση της ταχύτητας.
- γ) Ο χάρτης είναι σταθερός σε ολόκληρη την περιοχή και συνεπώς χρησιμοποιήσιμος για υπερφόρτιση.

#### 4.3.2 Συμπιεστές Turbo

Οι συμπιεστές Turbo περιλαμβάνουν αξονικούς και ακτινικούς συμπιεστές. Δεδομένου ότι, σε αντίθεση με τους αξονικούς συμπιεστές, οι ακτινικοί συμπιεστές

μπορούν να παράγουν μια σχέση υψηλής πίεσης, ακόμη και σε ένα στάδιο σχεδιασμού, τους καθιστά ικανούς να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για σκοπούς υπερσυμπίεσης. (Mollenhauer., 2010)



**Εικόνα 4.38:** Σχηματική απεικόνιση ανάλυση υπερπληρωτών τύπου Turbo. (Google)

Τρία βασικά γνωρίσματα προκύπτουν από την ανάλυση ενός υπερπληρωτή τύπου Turbo (Εικόνα 4.37) :

- α) Ο εφικτός λόγος πίεσης είναι συνάρτηση της ταχύτητας.  
Υψηλές αναλογίες πίεσης δεν μπορούν να επιτευχθούν με χαμηλές ταχύτητες και μικρούς ογκομετρικούς ρυθμούς ροής.
- β) Ο ρυθμός ροής όγκου είναι συνάρτηση της ταχύτητας και της ταχύτητας αναλογία πίεσης.
- γ) Η περιοχή χάρτη στα αριστερά της γραμμής υπερτάσεων είναι ασταθής περιοχή.





## 5.0 Σύγκριση δίχρονων και τετράχρονων κινητήρων

### 5.1 Σύγκριση για κινητήρες πλοίων

Κατά την κατασκευή ενός πλοίου, η επιλογή των κύριων μηχανισμών πρόωσης είναι μία από τις κρίσιμες αποφάσεις. Η σωστή και κατ' επέκταση επιλογή ενός κατάλληλου κινητήρα εσωτερικής καύσης βασίζεται, όχι μόνο στα χαρακτηριστικά των φυσικών πτυχών της μηχανής αλλά και στην ικανότητα του κινητήρα να παράγει αποτελεσματικά, το απαραίτητο έργο για την επιθυμητή λειτουργία του οχήματος.

Οι βασικοί και καίριοι παράγοντες σε πρώτο επίπεδο για την εξόπλιση ενός πλοίου είναι η ικανότητα του κινητήρα να παράγει την βέλτιστη ισχύ καθώς και να είναι συμβατή με το μέγεθος του σκάφους. Εξαιρετικά μεγάλο ρόλο κατά την κρίση επιλογής του σωστού κινητήρα παίζει και το είδος των επικείμενων δραστηριοτήτων του σκάφους.

Ο προαναφερθέντας όρος "ισχύς" χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των δυνατοτήτων των θαλάσσιων κινητήρων ντίζελ και των κινητήρων εσωτερικής καύσης, για τις οποίες η λέξη "ισχύ" αναφέρεται στην ενδεικνυόμενη ισχύ παραγόμενου έργου αλλά και πέδησης που παράγεται από τον κινητήρα. Γενικά και όπως έχει γίνει αναφορά αναλυτικότερα και στα παραπάνω κεφάλαια, η ισχύς που παράγεται από τη διαδικασία καύσης στον κύλινδρο του κινητήρα και μεταφράζεται από τη μηχανική κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα για να μετακινηθεί η έλικα του πλοίου.

Οι τετράχρονες και οι δίχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται ευρέως στην αγορά. Ωστόσο, για τα μεγάλα θαλάσσια σκάφη, ειδικά εκείνα που κατευθύνονται στον ωκεανό, ο δίχρονος κινητήρας εγκαθίσταται πιο συχνά. Ο τετράχρονος κινητήρας, έχοντας ένα συμπαγές μέγεθος εγκατάστασης και υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής, υπερτερεί του δίχρονου κινητήρα σε διάφορους παράγοντες. (Blair., 1990)

#### 5.1.1 Χρήση καυσίμων

Ενώ ο δίχρονος κινητήρας καταναλώνει καύσιμο ανά δύο διαδρομές, σε αντίθεση με τις τέσσερις διαδρομές του τετράχρονου κινητήρα, έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να καίει καύσιμο χαμηλής ποιότητας. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να εφαρμοστεί μεγάλη μείωση του κόστους και συνεπώς θα είναι πιο κερδοφόρος, πράγμα που αποτελεί τεράστιο πλεονέκτημα για τα εμπορικά πλοία. (Blair., 1990)

Αν και σε πρώτη εκτίμηση το παραπάνω αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα η κατασκευαστική και σχεδιαστική υπεροχή του τετράχρονου κινητήρα επιτρέπει την καλύτερη ενεργειακή απόδοση της μηχανής. Υπολογίζεται πως συγκριτικά οι μηχανές που λειτουργούν σε τέσσερις κύκλους έχουν περίπου 50% καλύτερη διαχείριση στην κατανάλωση αλλά και διαχείριση καυσίμου. Σε αυτό έρχεται να προστεθεί και το γεγονός πως με τις παραπάνω η διαχείριση των λιπαντικών αναγκών της μηχανής γίνεται πολύ πιο εύκολα. Μια τετράχρονη μηχανή απαιτεί αλλαγή λιπαντικών λαδιών

μία φορά το χρόνο σε αντίθεση με τους δίχρονους κινητήρες όπου το λάδι προστίθεται στο καύσιμο σε κάθε πλήρωση.

### **5.1.2 Αποδοτικότητα κινητήρα**

Συγκρίνοντας τους δίχρονους και τετράχρονους κινητήρες κάτω από μια τυπική ρύθμιση λειτουργίας, ο σχεδιασμός του δίχρονου κινητήρα είναι πιο αποδοτικός, καθώς μειώνει τις θερμικές και μηχανικές απώλειες. Επιπλέον, η ενέργεια διατηρείται περισσότερο δεδομένου ότι ο δίχρονος κινητήρας έχει λιγότερη μεταφορά θερμότητας από τον κινητήρα στο σύστημα ψύξης από εκείνη του τετράχρονου. (Blair., 1990)

Ενώ οι δίχρονες μηχανές βασίζουν την λίπανση τους σε μηχανισμό αέρα για να παραδώσουν προστατευτικό λάδι σε κρίσιμα εξαρτήματα, τα εσωτερικά μέρη του 4χρονου κινητήρα έχουν πλήρη κάλυψη από προστατευτικό λιπαντικό. Μαζί με τη συνεπή λίπανση, ο σχεδιασμός αυτός βοηθά επίσης να ψύχονται τα εξαρτήματα του κινητήρα, ενισχύοντας περαιτέρω την ανθεκτικότητα.

Ως μπόνους, επειδή οι τετράχρονοι κινητήρες δεν βασίζονται σε καύσιμα για λίπανση, οι κατασκευαστές σχεδιάζουν τους κινητήρες τους τοιουτοτρόπως ώστε να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου, εκτελώντας αυτόματα ένα πιο ελαφρύ μίγμα αέρα-καυσίμου όταν δεν είναι υπό βαρύ φορτίο το σκάφος.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι θύρες στους κυλίνδρους και στα έμβολα με δύο διαδρομές μπορούν να επιταχύνουν τη φθορά του δακτυλίου και του εμβόλου. Επειδή δεν υπάρχουν θύρες εισαγωγής ή εξαγωγής σε έναν κύλινδρο ή ένα έμβολο τετράχρονου, οι κινητήρες τους μπορούν να λειτουργούν με αυστηρότερες ανοχές για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κινητήρα. Αυτή η ανθεκτικότητα αυξάνει προφανώς και την αξιοπιστία.

### **5.1.3 Λόγος ισχύος προς βάρους**

Δεδομένου ότι οι δίχρονες μηχανές είναι ελαφρύτερες και οδηγούν σε υψηλότερη αναλογία ισχύος προς βάρους, τα πλοία που χρησιμοποιούν αυτόν τον κινητήρα αντί για το τετράχρονο μπορούν να φορτώσουν περισσότερο φορτίο με την ίδια ισχύ. Τα πλοία συχνά χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά βαρέων υλικών, επομένως αυτό θα ήταν ένα τεράστιο πλεονέκτημα για τα δίχρονες μηχανές.

Θα πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι ο τετράχρονος κινητήρας έχει μεγαλύτερη ευελιξία από ότι ο δίχρονος. Υπάρχει επίσης μεγάλη διαφορά μεταξύ του κόστους εγκατάστασης και συντήρησης ενός δίχρονου κινητήρα και ενός τετράχρονου κινητήρα. Με όλους τους παράγοντες που εξετάστηκαν, αναμφίβολο πλεονέκτημα για εμπορικά και φορτηγά πλοία έχει ο δίχρονος κινητήρας. (Woschni., 1967)

### 5.1.4 Προτεινόμενος κινητήρας για εξωλέμβια σκάφη

Οι δίχρονες μηχανές που χρησιμοποιούσαν καρμπυρατέρ ως τρόπο ελέγχου του μείγματος αέρα-καυσίμου. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των εξωλέμβιων με καρμπυρατέρ εμφανίζει ένα πρόβλημα: η πρόσληψη καυσίμου είναι εξαιρετικά υψηλή και συχνά ακατάλληλη.

Ως αποτέλεσμα, έγινε μια καινοτομία που χρησιμοποιεί τη δύναμη της τεχνολογίας. Οι δίχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούν τώρα ένα υπολογιστικό σύστημα που ονομάζεται Direct Fuel Injection, κοινώς γνωστό ως DFI, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το μίγμα αέρα-καυσίμου σε σχέση με το περιβάλλον λειτουργίας του κινητήρα. Χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνολογία, η απόδοση του κινητήρα, η αποδοτικότητα καύσιμων και τα ποσοστά εκπομπών έχουν βελτιωθεί σημαντικά.

Σε ξεπερασμένες δίχρονες μηχανές που χρησιμοποιούνται σε εξωλέμβιες μηχανές θαλάσσιων και ατομικών σκαφών, όπως οι αεριωθούμενες βάρκες, οι εκπομπές ρύπων όπως οι υδρογονάνθρακες και τα οξείδια του αζώτου φτάνουν σε ανησυχητικούς ρυθμούς. Οι εκπομπές καυσαερίων από αρκετές ώρες λειτουργίας του σκάφους είναι ισοδύναμες με εκείνες ενός αυτοκινήτου του 1998 που διανύει απόσταση τουλάχιστον 100 χιλιομέτρων. (Blair., 1990)

Ο παρακάτω πίνακας (βλέπε Πίνακα 1.2) απαριθμεί τις εκπομπές καυσαερίων των θαλάσσιων σκαφών στην Καλιφόρνια. Οι δίχρονες εξωλέμβιες είναι συνήθως ελαφρύτερες από τις αντίστοιχες τετράχρονες, καθώς λειτουργούν χωρίς βαλβίδες. Τα λιγότερα κινούμενα μέρη των δίχρονων κινητήρων ισοδυναμούν με λιγότερη περιστρεφόμενη μάζα και επομένως με υψηλότερη δυναμική επιτάχυνση δεδομένης της ίδιας ιπποδύναμης που χρησιμοποιείται από έναν τετράχρονο κινητήρα. Τα εσωτερικά μέρη του κινητήρα λιπαίνονται επίσης από το λάδι που αναμιγνύεται στο καύσιμο.

Κάποιοι μπορούν να πουν ότι οι δίχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται όλο και λιγότερο στις εξωλέμβιες μηχανές. Ωστόσο, οι δίχρονες μηχανές με καρμπυρατέρ είναι μειωμένες στη χρήση, ενώ οι DFI στρέφονται σταθερά προς τα πάνω. Με τα πολλά οφέλη τους, οι DFI δίχρονες μηχανές φαίνεται ότι θα ανεβαίνουν σε πωλήσεις με τον καιρό. Επομένως, όταν επιλέγεται κινητήρας για εξωλέμβιες, οι μηχανές DFI είναι η καλύτερη επιλογή. (Blair., 1990)

| Equipment Type      | Population     | HC         | NOx      | HC+NOx     | CO         | PM        |
|---------------------|----------------|------------|----------|------------|------------|-----------|
| Personal Watercraft | 161,898        | 246        | 2        | 248        | 414        | 13        |
| Outboards           | 346,372        | 63         | 1        | 64         | 120        | 4         |
| <b>Total</b>        | <b>508,270</b> | <b>309</b> | <b>3</b> | <b>312</b> | <b>534</b> | <b>17</b> |

Πίνακας 1.2 Εκπομπή καυσαερίων στην Καλιφόρνια για το έτος 1997.



## 6.0 Συμπεράσματα σύγκρισης κινητήρων πλοίων

### 6.1 Ανασκόπηση

Ο τετράχρονος κινητήρας, ένας από τους πρωτοπόρους σχεδιασμούς για τη βελτίωση της αποδοτικότητας καύσης καυσίμου, ακολουθεί την σειρά της εισαγωγής της συμπίεσης, της εκτόνωσης-καύσης και της εξαγωγής καυσαερίων σε τέσσερις φάσεις του στροφαλοφόρου άξονα.

Θεωρήθηκε μια σημαντική ανακάλυψη στον τομέα της ανάπτυξης κινητήρων και πολλοί άλλοι μηχανικοί προσπάθησαν να βελτιώσουν περαιτέρω την κατάσταση. Ο τετράχρονος κινητήρας δούλεψε εξαιρετικά για τον αρχικό του σκοπό στην αυτοκινητοβιομηχανία και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως από αυτοκίνητα και φορτηγά σήμερα. Αυτός ο κινητήρας έγινε επίσης μια δημοφιλής επιλογή στα θαλάσσια σκάφη, αλλά τελικά ξεπεράστηκε από το δίχρονο κινητήρα.

Ο δίχρονος κινητήρας είχε ως στόχο να αντιμετωπίσει την απώλεια απόδοσης της τετράχρονης διαδικασίας καύσης. Η ακολουθία του δίχρονου κινητήρα παραμένει η ίδια. Ωστόσο, το πλεονέκτημά της έγκειται στα δύο διαμερίσματα του κινητήρα. Οι φάσεις εντός του κύκλου μπορεί να τρέξουν ταυτόχρονα με άλλα βήματα από άλλους κύκλους, επιτρέποντας τη διεξαγωγή της διαδικασίας μόνο μέσα σε δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου του κινητήρα. Ο δίχρονος κινητήρας είναι ελαφρύς και έχει υψηλότερη αναλογία ισχύος προς βάρος. Έγινε έτσι μία κερδοφόρα επιλογή ειδικά για εμπορικά και φορτηγά πλοία. Χρησιμοποιείται επίσης συνήθως από σκούτερ και μοτοσικλέτες.

Τα θαλάσσια πλοία, όπως τα πλοία και οι μεταφορείς, έχουν προσανατολιστεί όλο και περισσότερο στον δίχρονο κινητήρα. Ενώ τα τετράχρονα πλοία εξακολουθούν να υφίστανται, οι δύο κινητήρες γίνονται όλο και πιο βέλτιστοι και αποδοτικοί από πλευράς κόστους για τις εταιρείες. Μικρότερα σκάφη, όπως τα εξωλέμβια και τα προσωπικά σκάφη, χρησιμοποιούν επίσης δίχρονους κινητήρες, ειδικά με την εμφάνιση εξαιρετικά προσαρμοσμένων εγχύσεων καυσίμου. (Blair., 1990)

### 6.2 Συμπερασματική εικόνα

Όσον αφορά την απόδοση, το τετράχρονο κερδίζει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το καύσιμο καταναλώνεται κάθε 4 χρόνους. Οι τετράχρονες μηχανές είναι βαρύτερες. Ζυγίζουν πάνω από 50% περισσότερο από έναν συγκρίσιμο κινητήρα δύο χρόνων.

Τυπικά, ένας δίχρονος κινητήρας δημιουργεί μεγαλύτερη ροπή στρέψης σε υψηλότερες στροφές, ενώ ένας τετράχρονος κινητήρας δημιουργεί μεγαλύτερη ροπή στρέψης σε χαμηλότερες στροφές. Ο τεσσάρων χρόνων κινητήρας είναι επίσης πολύ πιο αθόρυβος, ένας κινητήρας δύο-χρόνων είναι σημαντικά πιο έντονος και έχει ένα ξεχωριστό, υψηλότατο "ζωντανό" ήχο. (Woschni., 1967)

Επειδή οι δίχρονες μηχανές έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε υψηλότερες στροφές, τείνουν επίσης να φθείρονται ταχύτερα. ένας τετράχρονος κινητήρας είναι γενικά πιο ανθεκτικός. Ως εκ τούτου, οι δίχρονοι κινητήρες είναι πιο ισχυροί.

Οι δίχρονες μηχανές είναι ένα πολύ απλούστερο σχέδιο, καθιστώντας τις πιο εύκολα διαχειρίσιμες και διορθώσιμες. Οι τετράχρονες μηχανές έχουν περισσότερα εξαρτήματα, επομένως είναι πιο ακριβές και οι επισκευές τους κοστίζουν

περισσότερο. Οι δίχρονες μηχανές απαιτούν προ-ανάμιξη λαδιού και καυσίμου, ενώ οι τετράχρονες δεν απαιτούν.

Οι τετράχρονες κινήσεις είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον εν 'αντίθεση με έναν δίχρονο κινητήρα, όπου το καύσιμο λάδι απελευθερώνεται επίσης στον αέρα με την εξάτμιση. Οι δίχρονες μηχανές συναντώνται συνήθως σε μικρότερες εφαρμογές, όπως τα τηλεκατευθυνόμενα αυτοκίνητα, τα εργαλεία γκαζόν, τα αλυσοπρίονα, οι κινητήρες βαρκών και τα ποδήλατα ρύπων.

Η τελική κρίση προκύπτει από διάφορες παραμέτρους μιας και οι δυο σχεδιασμοί και λειτουργίες των μηχανών μπορούν να παράγουν το απαιτούμενο έργο με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Ανάλογα λοιπόν την επικείμενη χρήση, την οικονομική άνεση, το μέγεθος αλλά και την αποδοτικότητα ο χρήστης καλείται να κάνει και την σωστή επιλογή.

## Βιβλιογραφία

1. Pulkrabek WW. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, 2nd Ed. [Textbook]. J Eng Gas Turbines Power. 2004;126(1):198.
2. Richard van Basshuysen FS. Internal Combustion Engine Handbook. 2002. 874 p.
3. Rong Z. Blake. The Evolution of the Combustion Engine [Internet]. Popular Mechanics. 2018 [cited 2018 Oct 29]. Available from: <https://www.popularmechanics.com/cars/car-technology/a19854205/the-evolution-of-the-combustion-engine/>
4. Hope R. MARINE ENGINES & PROPULSION. 2015. 192 p.
5. Arcoumanis C. INTERNAL COMBUSTION ENGINES. In: A-to-Z Guide to Thermodynamics, Heat and Mass Transfer, and Fluids Engineering [Internet]. Begellhouse; [cited 2018 Oct 28]. Available from: <http://www.thermopedia.com/content/880/>
6. Gupta HN. Fundamentals of Internal Combustion Engines [Internet]. 2006. p. 616. Available from: [http://books.google.co.in/books/about/Fundamentals\\_of\\_Internal\\_Combustion\\_Engi.html?id=MFx4VRErHNoC&pgis=1](http://books.google.co.in/books/about/Fundamentals_of_Internal_Combustion_Engi.html?id=MFx4VRErHNoC&pgis=1)
7. Kiencke, U., & Nielsen L. Automotive control systems: for engine, driveline, and vehicle. 2000;
8. Nomura, K., & Nakamura N. Development of a new two-stroke engine with poppet-valves: Toyota S-2 engine. A new Gener two-stroke engines Futur. 1993;53–62.
9. Watson, N., & Janota M. Turbocharging the internal combustion engine. Macmillan International Higher Education. Macmillan Int High Educ. 1982;
10. Li, J., Zhao, H., Ladommatos, N., & Ma T. Research and development of controlled auto-ignition (CAI) combustion in a 4-stroke multi-cylinder gasoline engine. SAE Tech Pap. 2001;
11. Puhan, S., Vedaraman, N., Sankaranarayanan, G., & Ram BVB. Performance and emission study of Mahua oil (Madhuca indica oil) ethyl ester in a 4-stroke natural aspirated direct injection diesel engine. Renew energy,. 2005;30(8):1269–1278.
12. Blair GP. The basic design of two-stroke engines. Warrendale, Pennsylvania Soc Automot Eng. 1990;672.
13. Duret, P., & Venturi S. Automotive calibration of the IAPAC fluid dynamically controlled two-stroke combustion process. SAE Tech Pap. 1996;
14. Oakley, A., Zhao, H., Ladommatos, N., & Ma T. Experimental studies on controlled auto-ignition (CAI) combustion of gasoline in a 4-stroke engine Technical paper. 2001;

15. Onishi, S., Jo, S. H., Shoda, K., Jo, P. D., & Kato S. Active thermo-atmosphere combustion (ATAC)—a new combustion process for internal combustion engines. SAE Trans. :1851–1860.
16. Zhao, H., Li, J., Ma, T., & Ladommatos N. Performance and analysis of a 4-stroke multi-cylinder gasoline engine with CAI combustion. SAE Tech Pap. 2002;
17. Woschni G. A universally applicable equation for the instantaneous heat transfer coefficient in the internal combustion engine. SAE Tech Pap. 1967;
18. Ishibashi, Y., & Masahiro ASAI. A low pressure pneumatic direct injection two-stroke engine by activated radical combustion concept. SAE Tech Pap. 1998;
19. Ishibashi, Y., & Asai M. Improving the exhaust emissions of two-stroke engines by applying the activated radical combustion. SAE Tech Pap. 1996;
20. Houston, R., & Cathcart G. Combustion and emissions characteristics of Orbital's combustion process applied to multi-cylinder automotive direct injected 4-stroke engines. SAE Tech Pap. 1998;
21. Stanglmaier, R. H., & Roberts CE. Homogeneous charge compression ignition (HCCI): benefits, compromises, and future engine applications. SAE Tech Pap. 1999;
22. Koopmans, L., & Denbratt I. A four stroke camless engine, operated in homogeneous charge compression ignition mode with commercial gasoline. SAE Tech Pap. 2001;
23. Mollenhauer K, Tschoeke H. Handbook of Diesel Engines [Internet]. 2010. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-89083-6>
24. Eng. Waleed Alturki. Int. Journal of Engineering Research and Application ISSN : 2248-9622, Vol. 7, Issue 11, ( Part -6) November 2017, pp.01-11
25. <https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK377/%CE%9D%CE%91%CE%A5%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%9C%CE%97%CE%A7%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%91.pdf>
26. [http://www.marinediesels.info/2\\_stroke\\_engine\\_parts/fuel\\_pump.htm](http://www.marinediesels.info/2_stroke_engine_parts/fuel_pump.htm)