

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**



**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΩΝ**

**στην**

**ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΧΡΟΝΩΝ  
ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ**

*Ζαγοραίου Νικολίνα - Πηγή*

*Διπλωματική Εργασία*

*που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών*

*του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των*

*απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού*

*Διπλώματος Ειδίκευσης στην Ναυτιλία*

*Πειραιάς*

*Ιούνιος 2018*

## ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

«Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

## ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- κ. Ερνέστος Τζαννάτος (Επιβλέπων)
- κ. Βασίλειος Τσελέντης
- κ. Διονύσιος Πολέμης

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.»

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η φύση και οι λειτουργίες των μηχανών εσωτερικής καύσης. Αναλύεται και τονίζεται η διαφορά μεταξύ δίχρονων και τετράχρονων μηχανών, που αποτελούν μια από τις σημαντικότερες διαφορές τους κατασκευαστικά ως προς το τεχνικό και γνησίως μηχανολογικό κομμάτι. Η εργασία έγινε από φοιτητή προς φοιτητές, προκειμένου να γίνει μια ταξινόμηση της πλούσιας πληροφορίας που υπάρχει από την επιστημονική βιβλιογραφία πάνω στο θέμα των μηχανών εσωτερικής καύσης, η οποία μπορεί εύκολα να προκαλέσει σύγχυση, ενώ κάλλιστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να μελετηθεί από οποιονδήποτε αναγνώστη που να επιθυμεί να γνωρίσει και να ενημερωθεί πάνω στα βασικά στοιχεία της μηχανολογίας, στο κομμάτι των θερμικών μηχανών, ιδιαίτερα δε στις πετρελαιομηχανές εσωτερικής καύσης.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα εργασία δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και να ολοκληρωθεί αν δεν υπήρχε η συνδρομή κάποιων συγκεκριμένων ατόμων. Ευχαριστώ βαθύτατα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ερνέστο Τζαννάτο για την παρουσία και την έμπρακτη βοήθεια που μου παρείχε, τους καθηγητές κ. Βασίλειο Τσελέντη & κ. Διονύσιο Πολέμη , καθώς και σύσσωμη την εκπαιδευτική κοινότητα του Πανεπιστημίου Πειραιά, για την ευκαιρία που δίνει σε όλους τους φοιτητές να επεκτείνουν τις γνώσεις και τη μόρφωσή τους στα πεδία που οι ίδιοι αγαπούν.

## **ΑΦΙΕΡΩΣΗ**

Η παρούσα εργασία είναι αφιερωμένη στους γονείς μου, όπου τους χρωστάω πολλά για όσα με δίδαξαν, τις αρχές που μου έδωσαν και για την στήριξή τους στην πραγματοποίηση κάθε στόχου μου. Επίσης, στον άντρα μου για την υπομονή του και την στήριξη του για να καταφέρω να φέρω εις πέρας την παρούσα διπλωματική & φυσικά στην 10 μηνών κόρη μου .

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

- 1. Περίληψη**
- 2. Εισαγωγή**
- 3. Ιστορική αναδρομή**
- 4. Μηχανές εσωτερικής καύσης**
- 5. Τα τμήματα μιας μηχανής εσωτερικής καύσης**
  - 5. 1. Κορμός**
  - 5. 2. Εκκεντροφόρος άξονας**
  - 5. 3. Καρμπυρατέρ**
  - 5. 4. Καταλυτικός μετατροπέας**
  - 5. 5. Θάλαμος καύσης**
  - 5. 6. Ράβδος σύνδεσης**
  - 5. 7. Στροφαλοφόρος άξονας**
  - 5. 8. Κύλινδροι**
  - 5. 9. Πολλαπλή καυσαερίων**
  - 5. 10. Κυλινδροκεφαλές**
  - 5. 11. Σύστημα καυσαερίων**
  - 5. 12. Υποσυμπίεση και ψύξη αέρα**
  - 5. 13. Τιμόνι**
- 6. Κατηγοριοποίηση μηχανών εσωτερικής καύσης**
- 7. Τετράχρονες μηχανές**
  - 7. 1. Διαδρομή εισόδου**
  - 7. 2. Διαδρομή συμπίεσης**
  - 7. 3. Διαδρομή ισχύος**
  - 7. 4. Διαδρομή εξαγωγής**
  - 7. 5. Ο χρονισμός των βαλβίδων**
- 8. Δίχρονες μηχανές**
  - 8. 1. Λειτουργία δίχρονης μηχανής.**
    - 8. 1. 1. Είσοδος στο στροφαλοφόρο άξονα**
    - 8. 1. 2. Ισχύς ανάφλεξης**

- 8. 1. 3. Εξαγωγή
- 8. 1. 4. Μεταφορά του καυσίμου
- 8. 2. Πρώτος χρόνος
- 8. 3. Δεύτερος χρόνος
- 9. Πλεονεκτήματα δίχρονης μηχανής έναντι τετράχρονης στα πλοία
- 10. Διαφορές μεταξύ βενζινοκινητήρων και πετρελαιοκινητήρων
- 11. Συστήματα πετρελαιοκινητήρων
  - 11. 1. Σύστημα τροφοδοσίας
  - 11. 2. Βοηθητικοί προθάλαμοι καύσης
  - 11. 3. Θάλαμοι καύσης
  - 11. 4. Σύστημα ψεκασμού
    - 11. 4. 1. Άμεσος ψεκασμός
    - 11. 4. 2. Έμμεσος ψεκασμός
  - 11. 5. Σύστημα ψύξης
  - 11. 6. Σύστημα λίπανσης
- 12. Ενεργειακή απόδοση
- 13. Μέτρα αποδοτικότητας καυσίμου
- 14. Μηχανές εσωτερικής καύσης και ρύπανση
  
- 15. Συμπεράσματα

## **Βιβλιογραφία**



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ - ΠΙΝΑΚΩΝ

### Κεφάλαιο 5.

*Εικόνα 5. 1. Κορμός μηχανής εσωτερικής καύσης*

*Εικόνα 5. 2. Εκκεντροφόρος άξονας*

*Εικόνα 5. 3. Καρμπιρατέρ*

*Εικόνα 5. 4. Καταλυτικός μετατροπέας*

*Εικόνα 5. 5. στροφαλοφόρος άξονας*

### Κεφάλαιο 6.

*Εικόνα 6. 1. Παλινδρομική μηχανή*

*Εικόνα 6. 2. Περιστροφική μηχανή*

*Εικόνα 6. 3. Παλινδρομική μηχανή απλού κυλίνδρου*

*Εικόνα 6. 4. Εξακύλινδρη παλινδρομική μηχανή*

*Εικόνα 6. 5. Μηχανή τύπου V2 κυλίνδρων*

*Εικόνα 6. 6. Ακτινική μηχανή*

*Εικόνα 6. 7. Μονόχρονη μηχανή με T κεφαλή*

*Εικόνα 6. 8. Μηχανή ανάφλεξης με σπινθήρα*

### Κεφάλαιο 7.

*Εικόνα 7. 1. Διαδρομή εισόδου τετράχρονης μηχανής*

*Εικόνα 7. 2. Μια τυπική βαλβίδα εισόδου*

*Εικόνα 7. 3. Η διαδρομή συμπίεσης*

*Εικόνα 7. 4. Η διαδρομή ισχύος*

*Εικόνα 7. 5. Η διαδρομή εξαγωγής*

*Εικόνα 7. 6. Ο χρονισμός της βαλβίδας εξόδου τετράχρονης μηχανής*

### Κεφάλαιο 8.

*Εικόνα 8. 1. Είσοδος καυσίμου στο στροφαλοφόρο άξονα*

*Εικόνα 8. 2. Το σημείο ισχύος ανάφλεξης*

*Εικόνα 8. 3: Μη καλυμμένη θύρα εξόδου*

*Εικόνα 8. 4. Μεταφορά του καυσίμου στον κύλινδρο*

*Πίνακας 8: Λειτουργίες δίχρονης μηχανής*

## **Κεφάλαιο 11.**

*Εικόνα 11.1: Μηχανική αντλία ψεκασμού*

*Εικόνα 11.2. Ψεκαστήρας*

*Εικόνα 11. 3. Έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρομαγνητικών ψεκαστήρων*

*Εικόνα 11. 4. Βοηθητικοί προθάλαμοι καύσης*

*Εικόνα 11. 5. Ανοιχτός θάλαμος καύσης πετρελαιομηχανής πλοίου*

*Εικόνα 11. 6. Διάγραμμα ροής κυκλώματος ψύξης σε υδρόψυκτο κινητήρα*

*Εικόνα 11. 7: Λιπαντικό σύστημα τετράχρονης μηχανής*

## 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης (κοινώς ΜΕΚ) χρησιμοποιούνται ευρύτατα εδώ και πάνω από έναν αιώνα, σε πολλά μέσα μεταφοράς και εγκαταστάσεις μικρής, μεγαλύτερης ή πολύ μεγάλης ισχύος. Φυσικά στην τελευταία κατηγορία εντάσσονται τα πλοία, τα οποία χρειάζεται να συνδυάσουν την μεγάλη ισχύ στην απόδοση με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση καυσίμων και την ευκολία στη συντήρηση, καθώς εν μέσω θαλασσών ή και ωκεανών δεν υπάρχει η πολυτέλεια του χρόνου των υλικών πόρων και του πολυπληθούς ανθρώπινου δυναμικού.

Τα κριτήρια του διαχωρισμού των μηχανών εσωτερικής καύσης είναι αρκετά, όπως παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, ωστόσο στην περίπτωση των πλοίων τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν οι μηχανές προσανατολίζονται σε κάποια συγκεκριμένα.

Στη συνέχεια της εργασίας, γίνεται ανάλυση των τμημάτων μιας τυπικής ΜΕΚ, περιγραφή και σύγκριση των δίχρονων και τετράχρονων μηχανών, που αποτελούν πρεσβευτές δύο βασικών τεχνικών, ενώ γίνεται και μια επισκόπηση των σημαντικότερων συστημάτων των πετρελαιοκινητήρων, που συναντώνται στην τεχνολογία των μηχανών των πλοίων.

### Λέξεις - κλειδιά:

- Μηχανές εσωτερικής καύσης
- Δίχρονες μηχανές
- Τετράχρονες μηχανές
- Πετρελαιομηχανές
- Μηχανές πλοίων

## **1. ABSTRACT**

Internal combustion engines (ICE) have been widely used for over a century, in many modes of transport and facilities of small, greater or too high power. Of course, in the latter category are ships, which need to combine great power in performance with the lowest fuel consumption and ease of maintenance, as in the seas and oceans there is no luxury of material resources time and the vast human dynamically.

The criteria for the separation of internal exhaust gases are sufficient, as presented in this paper, but in the case of ships, the characteristics that the machines must have are oriented to specific ones.

Next, we analyze the parts of a typical ICE, a description and comparison of the two and four-stroke machines that are challenged by two basic techniques, and an overview of the most important diesel engine systems encountered in ship engine technology.

### **Keywords:**

- Internal combustion engines
- Two-stroke engines
- Four-stroke engines
- Diesel engines
- Marine propulsion

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη φυσική, μια θερμική μηχανή είναι ένα σύστημα που μετατρέπει τη θερμική ενέργεια σε μηχανικό έργο. Στις θερμικές μηχανές, η ενέργεια είναι αποτέλεσμα μιας εξώθερμης αντίδρασης, δηλαδή της χημικής αντίδρασης χημικών στοιχείων και ενώσεων με οξυγόνο. Η αντίδραση αυτής της καύσης λαμβάνει χώρα σε έναν ειδικό χώρο των θερμικών μηχανών, στο θάλαμο καύσης. Τα στοιχεία και οι ενώσεις που οξειδώνονται αποτελούν τα καύσιμα της αντίδρασης. Η αντίδραση αυτή, δηλαδή η καύση, απαιτεί τα καύσιμα και το οξυγόνο, το οποίο προσλαμβάνεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα και εγχέεται μέσα στο θάλαμο καύσης.

Ωστόσο, η ποσότητα του οξυγόνου πρέπει να είναι συγκεκριμένη, ώστε να χρησιμοποιηθεί ακριβώς όση χρειάζεται για να γίνει η καύση όλης της μάζας των καυσίμων.

Το μίγμα του οξυγόνου, δηλαδή του αέρα, και της καύσιμης ύλης ονομάζεται καύσιμο μίγμα ή απλά μίγμα. Ανάλογα με τη μηχανή, ο αέρας μπορεί να είναι μικρότερος ή μεγαλύτερος σε ποσότητα. Όταν ο αέρας είναι συγκριτικά λίγος, λέμε ότι το μίγμα είναι πλούσιο σε καύσιμο, σε σχέση με τον αέρα που απαιτείται στοιχειομετρικά, ενώ στην αντίθετη περίπτωση το μίγμα είναι φτωχό σε καύσιμο.

Εκτός από την χημική ενέργεια που παράγεται με την αντίδραση της καύσης, υπάρχουν και ενώσεις που απελευθερώνονται από το σύστημα στην εκτός της μηχανής, οι οποίες έχουν τον γνωστό μας από την καθημερινότητα, όρο “καυσαέρια”.

### 3. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη προσπάθεια χρήσης καυσίμου για την παραγωγή μηχανικού έργου σημειώθηκε αρκετούς αιώνες πιο πριν. Οι σημαντικότερες προσπάθειες που γίνανε προς την κατεύθυνση αυτή, μέχρι να πάρουν οι μηχανές εσωτερικής καύσης τη σημερινή τους, υπερσύγχρονη μορφή, εντοπίζονται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, με τις ιδέες να διαδέχονται η μία την άλλη και να αποτελούν η καθεμιά έμπνευση και εφαλτήριο για την ή τις επόμενες.

- 1678: Ο Christian Huygens πραγματοποίησε ένα σύστημα που αξιοποιεί τη χημική δομή του μπαρουτιού ως καύσιμη ύλη. Το σύστημά του θεωρείται ο πρόδρομος των μηχανών εσωτερικής καύσης
- 1860: Σχεδόν δύο αιώνες αργότερα, έχουμε τη δημιουργία της πρώτης μηχανής εσωτερικής καύσης. Σχεδιαστής της ο J. J. Etienne Lenoir. Αποτελούνταν από έναν κινητήρα σε κάθετη διάταξη, που χρησιμοποιούσε αέρια καύσιμη ύλη και έναν κύλινδρο.
- 1862: Ο Beau de Rochas δημοσιεύει άρθρο σχετικά με την άποψή του πάνω στη μηχανή του Lenoir, εισάγοντας για πρώτη φορά την έννοια και τη λειτουργία της τετράχρονης μηχανής εσωτερικής καύσης.
- 1866: Η εξέλιξη πάνω στον κλάδο της μηχανικής είναι ραγδαία. Το συγκεκριμένο έτος ο Nikolaus August Otto σχεδιάζει και κατασκευάζει πάνω στα πρότυπα του Lenoir μια μηχανή εσωτερικής καύσης ίδιας αποτελεσματικότητας που απαιτεί αξιοσημείωτα μικρότερη ποσότητα καυσίμου
- 1872: Ο George Bryton παρουσιάζει στις Η. Π. Α. ένα μοντέλο μηχανής εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιεί κηροζίνη και μαζούτ ως καύσιμο. Τέσσερα χρόνια αργότερα, η μηχανή πέρασε τον Ατλαντικό και έφτασε στην Μ. Βρετανία.

- 1892: Το έτος ορόσημο μεταξύ του παλιού τύπου MEK και του καινούργιου. Η γερμανική εταιρία Augsburg Krupp υλοποιεί την καινοτόμα ιδέα του Rudolf Diesel, ο οποίος σχεδίασε τον πετρελαιοκινητήρα, σε μια μορφή που διατηρείται αναλλοίωτη μετά από πάνω από 120 χρόνια.

Οι εξελίξεις μετά τον 19ο αιώνα σταμάτησαν να είναι τόσο γρήγορες και δραματικές. Μοναδική αξιοσημείωτη παρέμβαση στον κλάδο των MEK, σημειώθηκε έναν αιώνα μετά την ευρεσιτεχνία του Diesel, όπου παρουσιάστηκε ένα νέο σύστημα έγχυσης υγρού καυσίμου.

Διάφοροι επιστήμονες και μηχανικοί συνέβαλαν στην ανάπτυξη κινητήρων εσωτερικής καύσης. Πιο αναλυτικά, το 1791, ο John Barber ανέπτυξε τον αεριοστρόβιλο. Το 1794 ο Thomas Mead κατοχυρώνει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μια μηχανή αερίου. Επίσης, το 1794, ο Robert Street κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας μια μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία ήταν επίσης η πρώτη που χρησιμοποίησε υγρό καύσιμο, και έχτισε έναν κινητήρα περίπου εκείνη την εποχή. Το 1798, ο John Stevens έχτισε την πρώτη αμερικανική μηχανή εσωτερικής καύσης. Το 1807, οι γάλλοι μηχανικοί Nicéphore (ο οποίος συνέχισε εφευρίσκοντας τη φωτογραφία) και ο Claude Niépce έτρεξε ένα πρωτότυπο κινητήρα εσωτερικής καύσης, χρησιμοποιώντας ελεγχόμενες εκρήξεις σκόνης, το Pyréolophore. Αυτός ο κινητήρας τροφοδότησε μια βάρκα στον ποταμό Saône της Γαλλίας. Την ίδια χρονιά, ο Ελβετός μηχανικός François Isaac de Rivaz δημιούργησε έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης που ανάβει με ηλεκτρική σπίθα. Το 1823, ο Samuel Brown κατοχύρωσε την πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης που θα είναι η πρώτη που θα μπει στην βιομηχανική παραγωγή.

Το 1854, στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι Ιταλοί εφευρέτες Eugenio Barsanti και Felice Matteucci προσπάθησαν να κατοχυρώσουν το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας "Απόκτηση κινητήριας δύναμης από την έκρηξη των αερίων", αν και η εφαρμογή δεν προχώρησε στο στάδιο που προγραμματιζόταν. Το 1860, ο Βέλγος Jean Joseph Etienne Lenoir παρήγαγε μια μηχανή εσωτερικής καύσης με αέριο. Το 1864, ο Nikolaus Otto κατοχύρωσε την πρώτη ατμοσφαιρική μηχανή αερίου. Το 1872, ο Αμερικανός George Brayton εφηύρε τον πρώτο κινητήρα εσωτερικής καύσης που τροφοδοτείται με υγρό καύσιμο. Το 1876, ο Nikolaus Otto, συνεχίζοντας το έργο των Gottlieb Daimler και Wilhelm Maybach, κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τον τετράχρονο κινητήρα συμπιεσμένου φορτίου. Το 1879, ο Karl Benz κατοχυρώνει

δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τον πρώτο αξιόπιστο δίχρονο κινητήρα βενζίνης. Αργότερα, το 1886, η Karl Benz ξεκίνησε την πρώτη εμπορική παραγωγή οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το 1892, ο Rudolf Diesel ανέπτυξε την πρώτη πεπιεσμένη φόρτιση, στον κινητήρα ανάφλεξης με συμπίεση. Το 1926, ο Robert Goddard ξεκίνησε τον πρώτο πυραυλοκίνητο πυροκροτητή. Το 1939, το Heinkel He 178 έγινε το πρώτο αεροσκάφος στον κόσμο



#### 4. ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης δεν είναι τίποτα άλλο παρά θερμικές μηχανές οι οποίες δουλεύουν μετατρέποντας τη χημική ενέργεια της καύσιμης ύλης που χρησιμοποιούνται σε μηχανική. Για να το πετύχουν αυτό, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένας περιστρεφόμενος άξονας. Αρχικά, η χημική ενέργεια της καύσιμης ύλης μετατρέπεται σε θερμική, η οποία στη συνέχεια δημιουργεί αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης των αερίων που βρίσκονται μέσα στη μηχανή. Έτσι, το αέριο που βρίσκεται πλέον σε υψηλή πίεση, εκτονώνεται στα μηχανικά μέρη της, τα οποία κινούν τον περιστρεφόμενο άξονα, ο οποίος αποτελεί την έξοδο της μηχανής. Από εκεί και πέρα, ο περιστρεφόμενος άξονας, έχοντας συνδεθεί με ένα μηχανισμό μετάδοσης ισχύος, μπορεί να μετατρέψει την μηχανική ενέργεια που παράγεται από την περιστροφή σε ενέργεια τέτοιας μορφής ώστε να εκτελεστούν οποιεσδήποτε λειτουργίες.

Το συνηθέστερο μοντέλο των μηχανών εσωτερικής καύσης περιλαμβάνει έμβολα τα οποία εκτελούν παλινδρομική κίνηση προς τα πίσω ώστε να δημιουργήσουν ώθηση στους κυλίνδρους που βρίσκονται στο εσωτερικό των μηχανών.

Οι επανατροφοδοτούμενοι εμβολοφόροι κινητήρες αποτελούν μακράν τη συνηθέστερη πηγή ενέργειας για τα οχήματα χερσαίων και υδάτινων οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των αυτοκινήτων, των μοτοσικλετών, των πλοίων και σε μικρότερο βαθμό των ατμομηχανών (μερικά είναι ηλεκτρικά αλλά περισσότερο χρησιμοποιούν κινητήρες πετρελαίου). Οι περιστροφικοί κινητήρες του σχεδιασμού Wankel χρησιμοποιούνται σε ορισμένα αυτοκίνητα, αεροσκάφη και μοτοσικλέτες.

Όπου απαιτούνται υψηλοί λόγοι ισχύος προς βάρους, οι κινητήρες εσωτερικής καύσης εμφανίζονται με τη μορφή στροβίλων καύσης ή κινητήρων Wankel. Τα αεριωθούμενα αεροσκάφη συνήθως χρησιμοποιούν ένα ICE που μπορεί να είναι παλινδρομική μηχανή. Τα αεροπλάνα μπορούν αντ' αυτού να χρησιμοποιούν αεριωθούμενες μηχανές και τα ελικόπτερα μπορούν να χρησιμοποιούν στροβιλοφόρους άξονες. Οι μηχανές Wankel τοποθετούνται σε πολλά μη επανδρωμένα οχήματα.

Οι ICE οδηγούν μερικές από τις μεγάλες ηλεκτρικές γεννήτριες που τροφοδοτούν τα ηλεκτρικά δίκτυα. Βρίσκονται σε μορφή στροβίλων καύσης σε μονάδες συνδυασμένου κύκλου με τυπική ηλεκτρική ισχύ 100 MW έως 1 GW. Η εξάτμιση

υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για να βράσει και να υπερθερμανθεί το νερό για να τρέξει μια ατμοστρόβιλος. Έτσι, η αποδοτικότητα είναι υψηλότερη, επειδή περισσότερη ενέργεια εξάγεται από το καύσιμο από ό, τι θα μπορούσε να εξαχθεί από τον στρόβιλο καύσης αποκλειστικά.

Στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου, είναι χαρακτηριστικές οι αποδόσεις από 50% έως 60%. Σε μικρότερη κλίμακα, οι γεννήτριες πετρελαίου χρησιμοποιούνται για εφεδρική ισχύ και για παροχή ηλεκτρικής ισχύος σε περιοχές που δεν συνδέονται με ηλεκτρικό δίκτυο .

Μικροί κινητήρες (συνήθως δίχρονες μηχανές βενζίνης) είναι μια κοινή πηγή ενέργειας για χλοοκοπτικές μηχανές, ξακρίσματος string , αλυσοπρίονα , leafblowers, πλυντήρια πίεσης , οχήματα χιονιού , τζετ σκι , εξωλέμβιων κινητήρων.

## 5. ΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΜΙΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης αν και διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία τύπων, όπως θα δούμε παρακάτω, εντούτοις έχουν ορισμένες ομοιότητες στην κατασκευή τους και επομένως μοιράζονται πολλούς κοινούς τύπους εξαρτημάτων. Αυτά είναι τα εξής:

### 5. 1. ΚΟΡΜΟΣ

Ο κορμός είναι το θεμελιώδες μέρος της μηχανής. Αποτελείται από τους κυλίνδρους που είναι κατασκευασμένοι από αλουμίνιο ή χυτοσίδηρο. Οι παλιότερες μηχανές είχαν βαλβίδες των οποίων οι θύρες περιέχονταν στον κορμό. Γύρω από τους κυλίνδρους υπάρχει ένα υδάτινο περίβλημα μέσα στο οποίο βρίσκεται ο κορμός του ψυκτικού κύκλου. Η εξωτερική επιφάνεια στον κορμό των αερόψυκτων μηχανών, αντίθετα, διαθέτει πτερύγια που συμβάλλουν στην ψύξη της μηχανής.

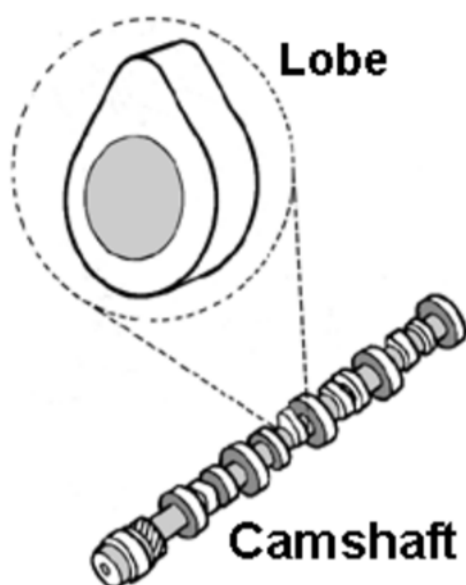


*Εικόνα 5. 1. Κορμός μηχανής εσωτερικής καύσης*

### 5. 2. ΕΚΚΕΝΤΡΟΦΟΡΟΣ ΑΞΟΝΑΣ

Ο άξονας αυτός περιστρέφεται ώστε να δημιουργήσει την κατάλληλη ώθηση στις ανοιχτές βαλβίδες στον κάθε κύκλο της μηχανής μέσω μηχανικής διαρροής ή μέσω υδραυλικής. Οι σύγχρονες μηχανές διαθέτουν έναν ή περισσότερους εκκεντροφόρους άξονες που βρίσκονται τοποθετημένοι στην κεφαλή της μηχανής. Αντίθετα, στις πιο παλιές ο εκκεντροφόρος βρίσκεται στο στροφαλοφόρο.

Το υλικό κατασκευής των εκκεντροφόρων είναι χυτοσίδηρος ή χυτοχάλυβας, ενώ κατά τη λειτουργία τους οδηγούν τον στροφαλοφόρο σε όρους αλυσίδας (ή ιμάντα). Προκειμένου να μειωθεί το βάρος σε μερικές μηχανές οι οδόντες κατασκευάζονται από έναν κοίλο άξονα ώστε τα έκκεντρα των λοβών να προσαρμόζονται πάνω τους. Στους τετράχρονους κινητήρες ο εκκεντροφόρος άξονας περιστρέφεται με τη μισή ταχύτητα του κινητήρα.



Εικόνα 5. 2. Εκκεντροφόρος άξονας

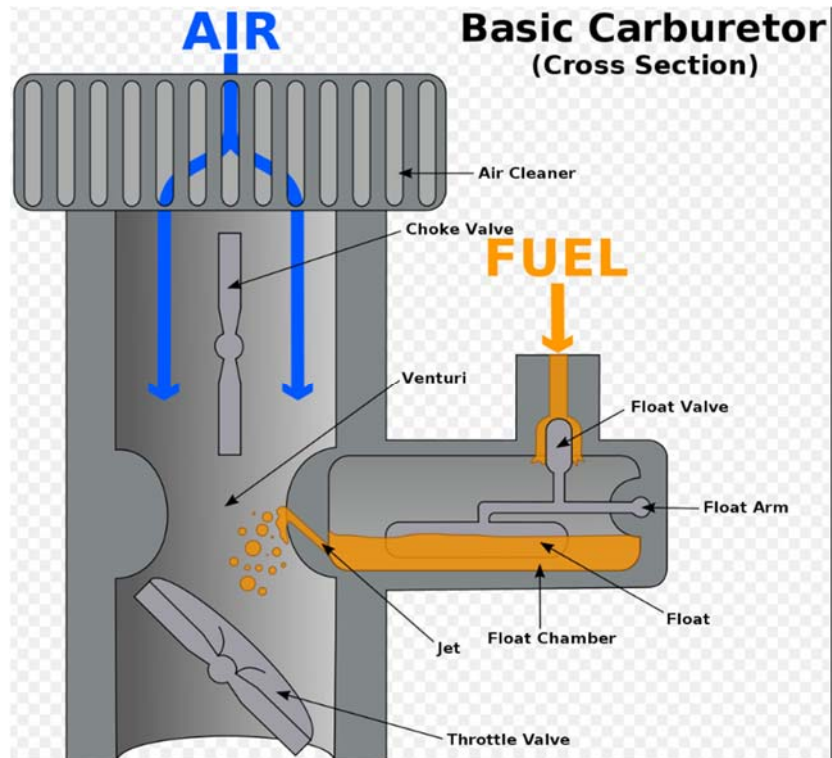
### 5. 3. ΚΑΡΜΠΥΡΑΤΕΡ

Το καρμπυρατέρ λειτουργεί με βάση την αρχή του Bernulli: όσο ταχύτερα κινείται ο αέρας, τόσο χαμηλότερη είναι η στατική του πίεση και τόσο υψηλότερη είναι η δυναμική του πίεση. Η σύνδεση του επιταχυντή δεν ελέγχει άμεσα τη ροή του υγρού καυσίμου. Αντ 'αυτού, ενεργοποιείται ο μηχανισμός του καρμπυρατέρ που μετράει τη ροή του αέρα που μεταφέρεται στον κινητήρα. Η ταχύτητα αυτής της ροής και επομένως η (στατική) πίεση της, καθορίζει την ποσότητα καυσίμου που κυκλοφορεί στην ροή αέρα.

Ένα καρμπυρατέρ βασικά αποτελείται από έναν ανοικτό σωλήνα διαμέσου του οποίου ο αέρας διέρχεται μέσα στην είσοδο του κινητήρα. Ο σωλήνας έχει τη μορφή βεντούρι: στενεύει σε τομή και στη συνέχεια διευρύνεται ξανά, προκαλώντας αύξηση της ταχύτητας του αέρα στο στενότερο τμήμα.

Κάτω από το σωλήνα βεντούρι είναι μια βαλβίδα “πεταλούδας” που ονομάζεται βαλβίδα στραγγαλισμού - ένας περιστρεφόμενος δίσκος που μπορεί να στραφεί τελείως στη ροή του αέρα, έτσι ώστε να περιορίζεται σχεδόν καθόλου η ροή ή μπορεί να περιστραφεί έτσι ώστε να εμποδίζει (σχεδόν) εντελώς τη ροή αέρα. Αυτή η βαλβίδα ελέγχει τη ροή του αέρα μέσω του λαιμού του καρμπυρατέρ και συνεπώς την ποσότητα του μίγματος αέρα / καυσίμου που θα παρέχει το σύστημα, ρυθμίζοντας έτσι την ισχύ και την ταχύτητα του κινητήρα. Το γκάζι συνδέεται, συνήθως μέσω καλωδίου ή μηχανικής σύνδεσης ράβδων και αρμών ή σπανίως με πνευματική σύνδεση, με το πεντάλ γκαζιού σε ένα αυτοκίνητο, ή με το αντίστοιχο επίπεδο που υπάρχει στα πλοία ή στα αεροσκάφη.

Το καύσιμο εισάγεται στο ρεύμα αέρα μέσω μικρών οπών στο στενότερο τμήμα του σωλήνα βεντούρι και σε άλλα σημεία όπου η πίεση μειώνεται όταν δεν λειτουργεί με πλήρες γκάζι. Η ροή καυσίμου ρυθμίζεται μέσω ακριβών βαθμονομημένων ανοιγμάτων, που αναφέρονται ως πίδακες, στη διαδρομή του καυσίμου.



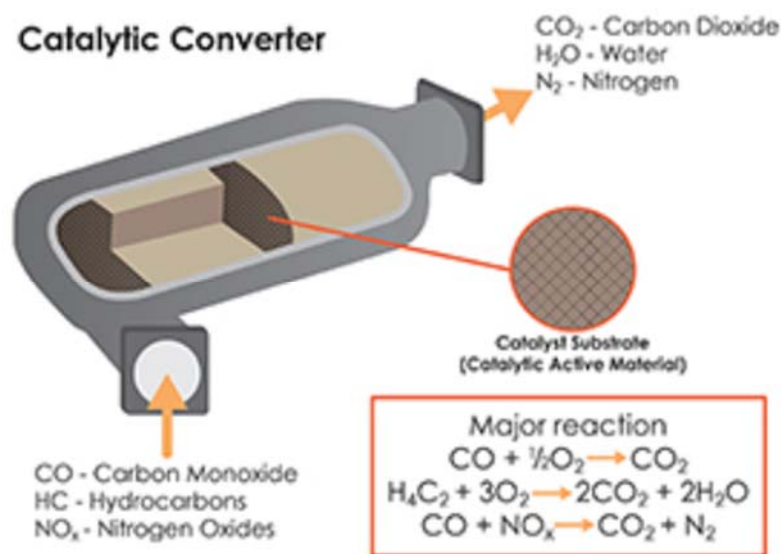
Εικόνα 5. 3. Καρμπρατέρ

#### 5. 4. ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ

Ένας **καταλυτικός μετατροπέας** είναι μια συσκευή ελέγχου εκπομπών καυσαερίου που μετατρέπει τοξικά αέρια και ρύπους στα καυσαέρια από κινητήρα εσωτερικής καύσης σε λιγότερο τοξικούς ρύπους καταλύοντας μια οξειδοαναγωγική αντίδραση ( αντίδραση οξείδωσης και μείωσης). Οι καταλυτικοί μετατροπείς χρησιμοποιούνται συνήθως με κινητήρες εσωτερικής καύσης που τροφοδοτούνται είτε από βενζίνη είτε από πετρέλαιο, συμπεριλαμβανομένων κινητήρων φτωχότερων καυσίμων, καθώς και θερμαντήρες κηροζίνης και σόμπες.

Η πρώτη ευρεία εισαγωγή των καταλυτικών μετατροπέων ήταν στην αμερικανική αγορά αυτοκινήτων. Για να συμμορφωθούν με την αυστηρότερη ρύθμιση των εκπομπών καυσαερίων από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ, τα περισσότερα οχήματα που κινούνται με βενζίνη ξεκινώντας από τα μοντέλα του 1975 πρέπει να είναι εξοπλισμένα με καταλυτικούς μετατροπείς. Αυτοί οι

"αμφίδρομοι" μετατροπείς συνδυάζουν οξυγόνο με μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και άκαυστους υδρογονάνθρακες (HC) για να παραχθεί διοξείδιο του άνθρακα



Εικόνα 5. 4 .Καταλυτικός μετατροπέας

(CO<sub>2</sub>) και νερό (H<sub>2</sub>O). Το 1981, οι αμφίδρομοι καταλυτικοί μετατροπείς καθίσταντο παρωχημένοι με "τρισδιάστατους" μετατροπείς που επίσης μειώνουν τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Ωστόσο, οι αμφίδρομοι μετατροπείς εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για κινητήρες με άκαμπτο καύσιμο. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μετατροπείς τριών δρόμων απαιτούν είτε πλούσια είτε στοιχειομετρική καύση για να μειώσουν με επιτυχία τον αριθμό των NO<sub>x</sub>

## 5. 5. ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ

Το τέλος του κυλίνδρου ανάμεσα στην κεφαλή και στο έμβολο όπου πραγματοποιείται η καύση. Το μέγεθος του θαλάμου καύσης συνεχώς μεταβάλλεται από έναν ελάχιστο όγκο όταν το έμβολο είναι στο άνω νεκρό σημείο σε ένα μέγιστο όταν το έμβολο είναι στο κάτω νεκρό σημείο. Ο όρος «κύλινδρος» είναι συνήθως συνώνυμο με το θάλαμο καύσης. Μερικές μηχανές έχουν ανοικτό θάλαμο καύσης που αποτελείται από ένα θάλαμο για κάθε κύλινδρο. Άλλες μηχανές έχουν

διαμερισμένους θαλάμους που αποτελούνται από διπλούς θαλάμους σε κάθε συνδεδεμένο κύλινδρο που συνδέεται μεταξύ τους.

## 5. 6. ΡΑΒΔΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

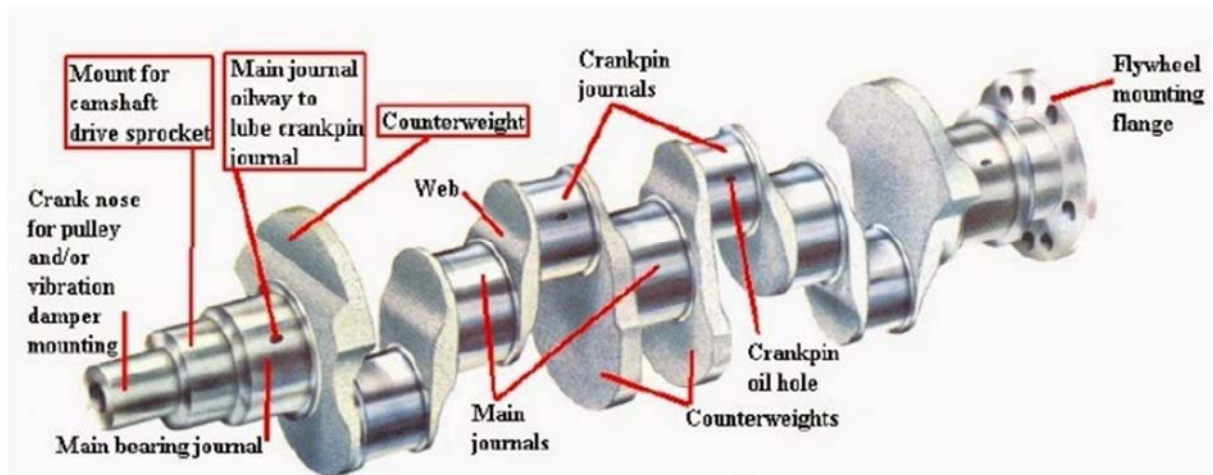
Πρόκειται για μια ράβδο που συνδέεται στο έμβολο με τον περιστρεφόμενο στροφαλοφόρο που συνήθως είναι από χάλυβα ή σφυρηλατημένο κράμα στις περισσότερες μηχανές αλλά σε μερικές μικρές μηχανές μπορεί να είναι από αλουμίνιο. Εκτός από το κυρίως μέρος της υπάρχουν και τα ρουλεμάν της ράβδου σύνδεσης, τα οποία συνδέονται στις ράβδους για να επιταχύνουν τους στροφαλοφόρους.

## 5. 7. ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΣ ΑΞΟΝΑΣ

Ένας στροφαλοφόρος άξονας - που σχετίζεται με το στρόφαλο - είναι ένα μηχανικό τμήμα ικανό να πραγματοποιήσει μια μετατροπή μεταξύ παλινδρομικής κίνησης και περιστροφικής κίνησης. Σε έναν παλινδρομικό κινητήρα, μεταφράζει την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση. ενώ σε έναν παλινδρομικό συμπιεστή μετατρέπει την περιστροφική κίνηση σε παλινδρομική κίνηση. Για να γίνει η μετατροπή μεταξύ δύο κινήσεων, ο στροφαλοφόρος άξονας έχει "στροφάλους", επιπρόσθετες επιφάνειες εδράνων των οποίων ο άξονας είναι μετατοπισμένος από αυτόν του στροφάλου, στον οποίο προσαρμόζονται τα "μεγάλα άκρα" των ράβδων σύνδεσης από κάθε κύλινδρο .

Συνήθως συνδέεται με ένα σφόνδυλο για να μειώσει το χαρακτηριστικό παλμών του τετράχρονου κύκλου και μερικές φορές έναν αποσβεστήρα στρέψης ή δόνησης στο αντίθετο άκρο για να μειώσει τις στρεπτικές δονήσεις που συχνά προκαλούνται κατά μήκος του στροφαλοφόρου άξονα από τους κυλίνδρους που βρίσκονται μακρύτερα από το άκρο εξόδου που ενεργεί επί της στρεπτικής ελαστικότητας του μετάλλου.





Εικόνα 5. 5. στροφαλοφόρος άξονας

## 5. 8. ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ

Ένας **κύλινδρος** είναι το κεντρικό τμήμα εργασίας ενός παλινδρομικού κινητήρα ή αντλίας, ο χώρος δηλαδή στον οποίο ταξιδεύει ένα έμβολο. Πολλαπλοί κύλινδροι είναι συνήθως τοποθετημένοι δίπλα-δίπλα σχηματίζοντας ένα μπλοκ κυλίνδρων, που χυτεύεται συνήθως από αλουμίνιο ή χυτοσίδηρο. Οι κύλινδροι μπορεί να είναι με “μανίκια” (επενδεδυμένοι με σκληρότερο μέταλλο) ή χωρίς “μανίκια” (ανθεκτικότερα στη φθορά)

Η μετατόπιση ενός κυλίνδρου ή ο όγκος σάρωσης μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την περιοχή διατομής του (το τετράγωνο της μισής επιφάνειας της οπής επί τη σταθερά  $\pi$ ) από την απόσταση που το έμβολο μετακινείται μέσα στον κύλινδρο. Η μετατόπιση του κινητήρα μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας τον όγκο σάρωσης ενός κυλίνδρου με τον αριθμό των κυλίνδρων.

Ένα έμβολο κάθεται μέσα σε κάθε κύλινδρο με διάφορους μεταλλικούς δακτυλίους εμβόλου τοποθετημένους γύρω από την εξωτερική του επιφάνεια σε κατεργασμένες αυλακώσεις. συνήθως δύο για σφράγιση με συμπίεση και μία για σφράγιση του λαδιού. Οι δακτύλιοι πλησιάζουν κοντά στα τοιχώματα του κυλίνδρου (με μανίκια ή χωρίς μανίκια), οδηγώντας σε ένα λεπτό στρώμα λιπαντικού λαδιού. απαραίτητη για

να κρατήσει τον κινητήρα από την πρόσκρουση και να χρειαστεί μια ανθεκτική επιφάνεια του κυλινδρικού τοιχώματος.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης της ζωής του κινητήρα, την αρχική περίοδο θραύσης ή τροφοδοσίας του, οι μικρές ανωμαλίες στα μέταλλα ενθαρρύνονται να σχηματίζουν σταδιακά σύμφωνες αυλακώσεις, αποφεύγοντας τις ακραίες συνθήκες λειτουργίας. Αργότερα στη διάρκεια της ζωής του, αφού η μηχανική φθορά αυξήσει την απόσταση μεταξύ του εμβόλου και του κυλίνδρου, κάτι που συνεπάγεται μείωση της ισχύος, οι κύλινδροι μπορούν να κατασκευαστούν σε ελαφρώς μεγαλύτερη διάμετρο για να λάβουν νέα χιτώνια (όπου υπάρχουν), διαδικασία που είναι γνωστή ως “εκτροπή”.

## **5. 9. ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ**

Πρόκειται για ένα σύστημα σωληνώσεων που μεταφέρει τα καυσαέρια μακριά από τους κύλινδρους και το οποίο συνήθως κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο.

## **5. 10. ΚΥΛΙΝΔΡΟΚΕΦΑΛΕΣ**

Σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης, η κεφαλή κυλίνδρου (συχνά ανεπίσημα συντομευμένη σε απλή κεφαλή ) κάθεται πάνω από τους κύλινδρους ή πάνω στο μπλοκ κυλίνδρων. Κλείνει στο επάνω μέρος του κυλίνδρου, σχηματίζοντας τον θάλαμο καύσης. Αυτός ο σύνδεσμος είναι σφραγισμένος με μια φλάντζα. Στις περισσότερες μηχανές, η κυλινδροκεφαλή παρέχει επίσης χώρο για τις διόδους που τροφοδοτούν τον αέρα και το καύσιμο στον κύλινδρο και που επιτρέπουν τη διαφυγή των καυσαερίων. Η κεφαλή μπορεί επίσης να είναι μια θέση για τη συναρμολόγηση των βαλβίδων, των μπουζί και των μπεκ ψεκασμού καυσίμου.

Εσωτερικά, η κυλινδροκεφαλή έχει διαβάσεις που ονομάζονται θύρες ή οδοί για το μίγμα καυσίμου / αέρα για να ταξιδέψει στις βαλβίδες εισαγωγής από την πολλαπλή εισαγωγής και για τα καυσαέρια να κινούνται από τις βαλβίδες εξαγωγής προς την

πολλαπλή εξαγωγή. Σε έναν υδρόψυκτο κινητήρα, η κυλινδροκεφαλή περιέχει επίσης ενσωματωμένους αγωγούς και διόδους για το ψυκτικό μέσο των κινητήρων - συνήθως ένα μίγμα νερού και αντιψυκτικού - για να διευκολύνει τη μεταφορά υπερβολικής θερμότητας μακριά από το κεφάλι και επομένως τον κινητήρα γενικά.

Στον σχεδιασμό της επάνω βαλβίδας (OHV), η κυλινδροκεφαλή περιέχει τις βαλβίδες και τα μπουζί, μαζί με τις οδούς ή τις «θυρίδες» για τα εισερχόμενα και τα καυσαέρια. Η λειτουργία των βαλβίδων ξεκινάει από τον εκκεντροφόρο άξονα του κινητήρα, ο οποίος είναι τοποθετημένος εντός του μπλοκ κυλίνδρου και η στιγμή της λειτουργίας του μεταδίδεται στις βίδες των βαλβίδων και στη συνέχεια στους βραχίονες που είναι συναρμολογημένοι σε έναν άξονα - οι βραχίονες και ο άξονας είναι επίσης που βρίσκεται μέσα στην κυλινδροκεφαλή.

Στον σχεδιασμό του εκκεντροφόρου (OHC), η κυλινδροκεφαλή περιλαμβάνει τις βαλβίδες, τις μπουζί και τις διαδρομές εισόδου / εξάτμισης, όπως ακριβώς και ο κινητήρας OHV, αλλά ο εκκεντροφόρος άξονας τώρα βρίσκεται επίσης μέσα στην κυλινδροκεφαλή. Ο εκκεντροφόρος μπορεί να τοποθετείται κεντρικά μεταξύ κάθε σειράς βαλβίδων εισόδου και εξάτμισης και ακόμα να χρησιμοποιεί βραχίονες (χωρίς όμως οδοντωτούς τροχούς) ή ο εκκεντροφόρος άξονας να μπορεί να βρίσκεται ακριβώς επάνω από τις βαλβίδες, εξαλείφοντας τους βραχίονες και χρησιμοποιώντας κουπαστές.

## 5. 11. ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Αποτελεί το σύστημα ροής των καυσαερίων από τους κυλίνδρους προς το περιβάλλον. Αποτελείται από μια πολλαπλή καυσαερίων που μεταφέρει τα καυσαέρια μακριά από τη μηχανή, ένα θερμό ή καταλυτικό μετατροπέα για να μειωθούν οι απώλειες, ένα σιγαστήρα για να μειώσει το θόρυβο της μηχανής και ένα σωλήνα μεταφοράς καυσαερίων.

## 5. 12. ΥΠΟΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΑΕΡΑ

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

## 5. 13. ΤΙΜΟΝΙ

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

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

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

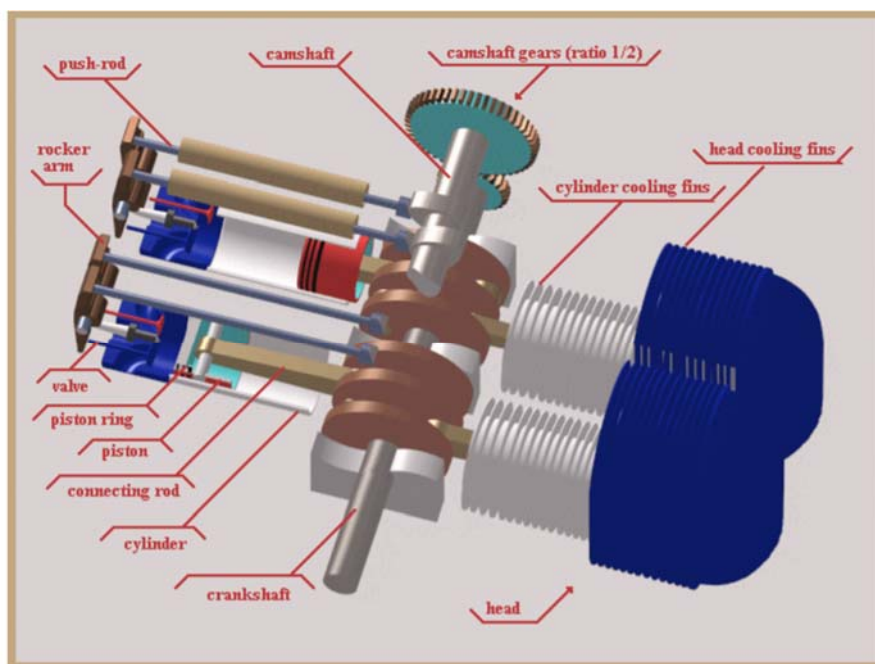
και παρέχει το καύσιμο από τη δεξαμενή καυσίμου στην μηχανή. Στα περισσότερα σύγχρονα πλοία η αντλία καυσίμου βρίσκεται στη δεξαμενή καυσίμου.

## 6. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Στη συνέχεια βλέπουμε κάποιες από τις συνηθέστερες κατηγορίες:

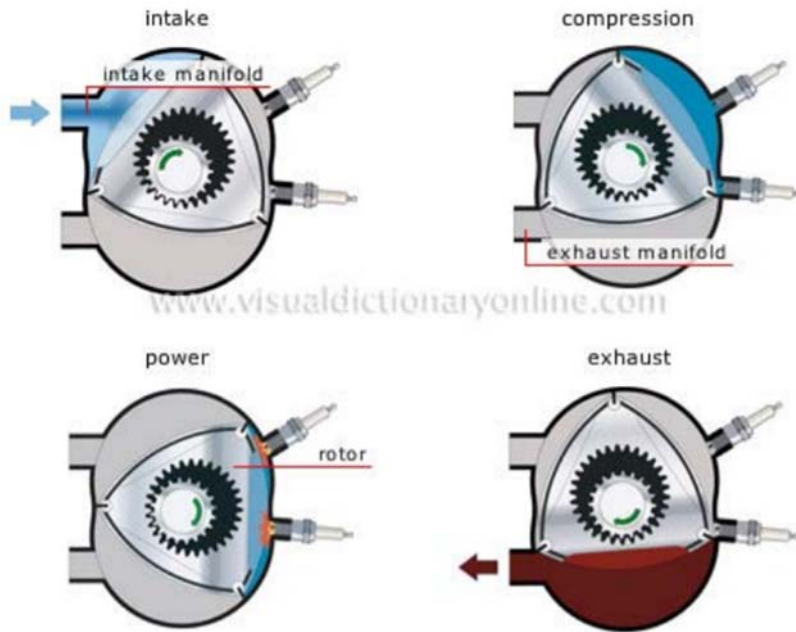
- Ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού τους, χωρίζονται σε:
  - ο παλινδρομικές
  - ο περιστροφικές.

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.



Εικόνα 6. 1: Παλινδρομική μηχανή

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.

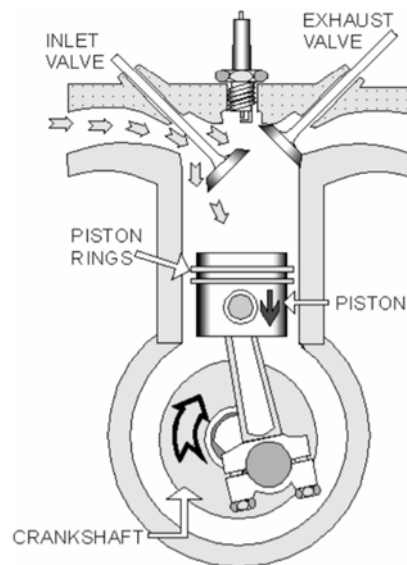


Εικόνα 6. 2.: Περιστροφική μηχανή

- 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

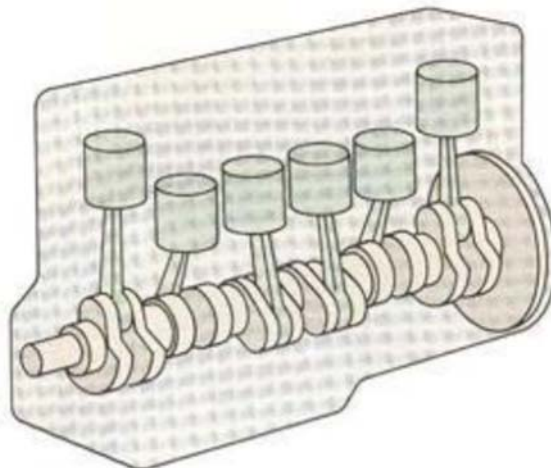
- ο Τύπου W
- ο Αντίθετων εμβόλων
- ο Ακτινικές

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



*Εικόνα 6. 3. Παλινδρομική μηχανή απλού κυλίνδρου*

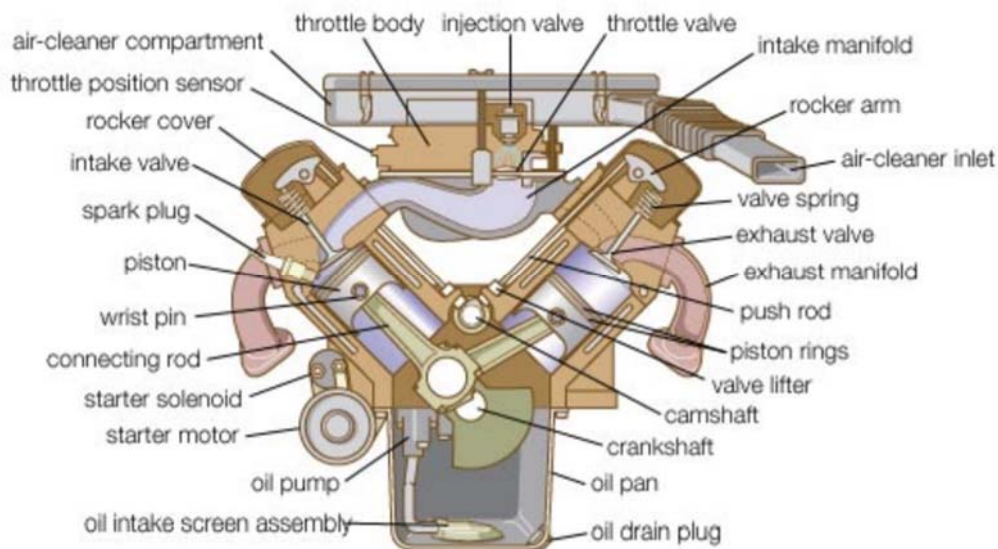
Στην περίπτωση των ευθύγραμμων, οι κύλινδροι τοποθετούνται σε σειρά κατά μήκος του άξονα. Το πλήθος των κυλίνδρων είναι από 2 έως 16 κυλίνδρους συνήθως. Οι ευθύγραμμες μηχανές είναι ο συνηθέστερος τύπος μηχανών αυτοκινήτων (συνήθως έως 8 κυλίνδρους)





Εικόνα 6. 4. Εξακύλινδρη παλινδρομική μηχανή

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 6. 5. Μηχανή τύπου V2 κυλίνδρων

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 περιττού αριθμού κυλίνδρων (έως 13 κύλινδροι). Κατά την ανάφλεξη των κυλίνδρων, παράγεται ένα χτύπημα ισχύος που προκαλεί την περιστροφή του άξονα.



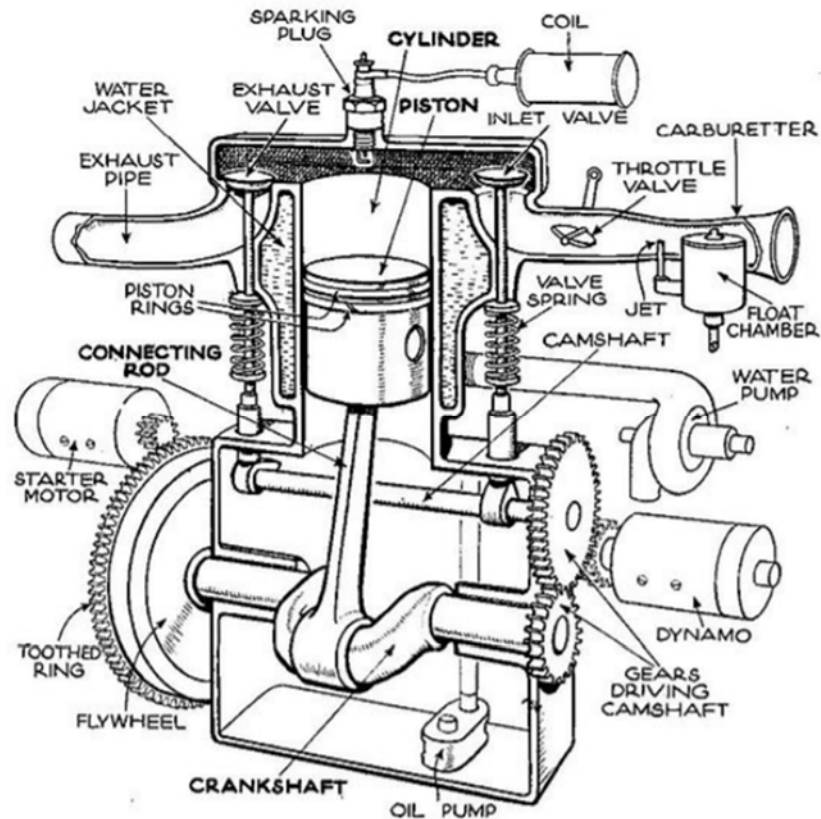
*Εικόνα 6. 6. Ακτινική μηχανή*

- Ανάλογα με τον θερμικό κύκλο τους, χωρίζονται σε:
  - ο μηχανές Diesel,
  - ο μηχανές Otto
  - ο μηχανές μικτού κύκλου.
- Ανάλογα με τους χρόνους λειτουργίας τους, χωρίζονται σε:
  - ο δίχρονες,
  - ο τετράχρονες,
  - ο αεριοστρόβιλοι (συνεχούς λειτουργίας)
- Ανάλογα με την κατεύθυνση περιστροφής, χωρίζονται σε:
  - ο 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
    - περίσσειας 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.

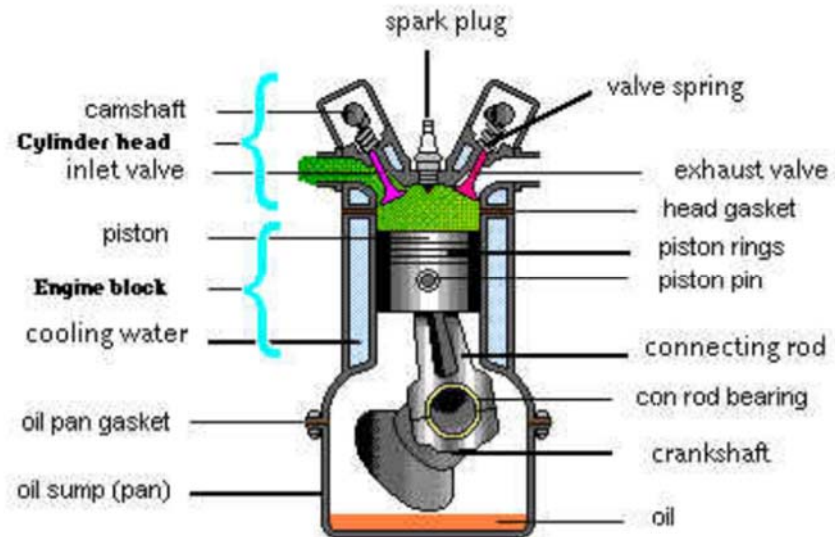


Εικόνα 6. 7. Μονόχρονη μηχανή με T κεφαλή

Ανάλογα με το είδος της ανάφλεξης, χωρίζονται σε:

- μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα
- μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση

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 ξεκινήσει η καύση απαιτούνταν εξωτερική φλόγα.



*Εικόνα 6. 8 : Μηχανή ανάφλεξης με σπινθήρα*

Στις μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση, η καύση ξεκινάει τη στιγμή που το μίγμα καυσίμου - αέρα αυτοαναφλέγεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στο θάλαμο καύσης που δημιουργείται από υψηλή συμπίεση.

## 7. ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Το *άνω νεκρό σημείο* (TDC) ενός εμβόλου είναι η θέση όπου είναι πλησιέστερα στις βαλβίδες. Το *κάτω νεκρό σημείο* (BDC) είναι η αντίθετη θέση όπου είναι πιο μακριά από αυτά. Ένα *χτύπημα* είναι η κίνηση ενός εμβόλου από το TDC στο BDC ή το αντίστροφο, μαζί με τη σχετική διαδικασία. Ενώ ο κινητήρας είναι σε λειτουργία, ο στροφαλοφόρος άξονας περιστρέφεται συνεχώς με σχεδόν σταθερή ταχύτητα. Σε ένα τετράχρονο ICE, κάθε έμβολο βιώνει 2 διαδρομές ανά στροφή του στροφαλοφόρου άξονα με την ακόλουθη σειρά.

Στην τετράχρονη μηχανή, το έμβολο πραγματοποιεί τέσσερις διαδρομές, δηλαδή κάνει τέσσερα χτυπήματα, για την ολοκλήρωση ενός κύκλου λειτουργίας. Οι τέσσερις αυτές διαδρομές, που υποδηλώνουν και τις τέσσερις φάσεις της τετράχρονης μηχανής, είναι οι ακόλουθες:

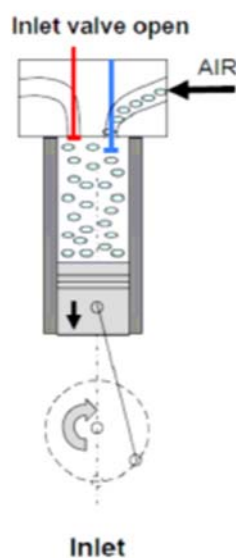
- 1η φάση: Διαδρομή εισόδου
- 2η φάση: Διαδρομή συμπίεσης
- 3η φάση: Διαδρομή ισχύος
- 4η φάση: Διαδρομή εξαγωγής

### 7. 1. ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΕΙΣΟΔΟΥ

Οι βαλβίδες εισαγωγής είναι ανοικτές ως αποτέλεσμα του λοβού εκκέντρου που πιέζει προς τα κάτω το στέλεχος της βαλβίδας. Το έμβολο κινείται προς τα κάτω αυξάνοντας τον όγκο του θαλάμου καύσης και αφήνοντας τον αέρα να εισέλθει στην περίπτωση ενός κινητήρα CI ή ενός μίγματος καυσίμου αέρα στην περίπτωση κινητήρων SI που δεν χρησιμοποιούν άμεση έγχυση. Το μίγμα αέρα ή καυσίμου αέρα καλείται σε κάθε περίπτωση το *φορτίο*.

Πιο αναλυτικά, στη φάση αυτή, το έμβολο πραγματοποιεί την κίνηση από το πάνω άκρο του κυλίνδρου προς το κάτω, οπότε έχουμε αύξηση του όγκου από την πάνω μεριά του εμβόλου. Έτσι, δημιουργείται ένα μικρό κενό, ικανό να οδηγήσει το μίγμα καυσαερίου - αέρα διά μέσου της βαλβίδας εισόδου προς το εσωτερικό του κυλίνδρου.

Με την βαλβίδα εισόδου ανοιχτή στη φάση αυτή, επιτρέπεται στον αέρα να κινηθεί μέσα στο καρμπυρατέρ, λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης, κάτι που οδηγεί σε ώθηση της εισαγωγής του μίγματος. Προφανώς, μεγάλη διάμετρος του κυλίνδρου και μεγαλύτερο μήκος διαδρομής του εμβόλου συνεπάγεται μεγαλύτερο όγκο αέρα ο οποίος εισέρχεται στη διαδρομή εισόδου.

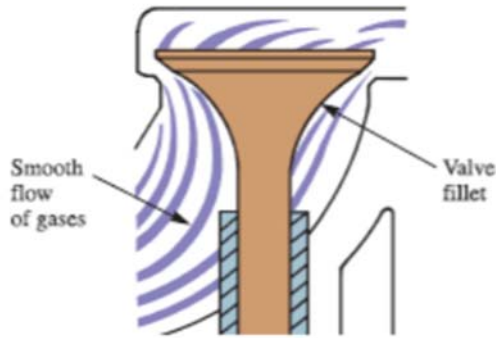


*Εικόνα 7. 1. Διαδρομή εισόδου τετράχρονης μηχανής*

Για την σωστή λειτουργία της βαλβίδας εισόδου, ισχύουν τα εξής:

- Πρέπει να ανοίγει εγκαίρως, επιτρέποντας την είσοδο του μίγματος καυσαερίου - αέρα
- Πρέπει να κλείνει εγκαίρως και αεροστεγώς, ώστε να μην δημιουργείται πρόβλημα κατά τη συμπίεση
- Πρέπει να έχει το κατάλληλο σχήμα που θα διευκολύνει τη ροή των αερίων στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης.





Εικόνα 7. 2. Μια τυπική βαλβίδα εισόδου

Σε αντίθεση με τις βαλβίδες εξαγωγής, οι βαλβίδες εισόδου δε μπορούν να λειτουργήσουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Για αυτό, για όσο χρόνο λειτουργούν, έχουν την τάση να μειώνουν τη θερμοκρασία του μίγματος καυσίμου - αέρα.

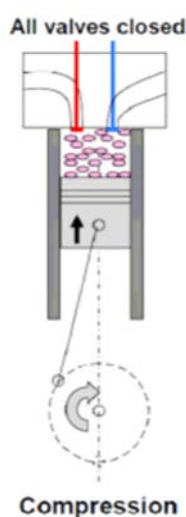
## 7. 2. ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

Σε αυτή τη διαδρομή, και οι δύο βαλβίδες είναι κλειστές και το έμβολο κινείται προς τα άνω μειώνοντας την ένταση του θαλάμου καύσης που φτάνει στο ελάχιστο όταν το έμβολο βρίσκεται στο TDC. Το έμβολο εκτελεί εργασίες για το φορτίο καθώς συμπιέζεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης, της θερμοκρασίας και της πυκνότητάς του. Μια προσέγγιση στην συμπεριφορά αυτή παρέχεται από τον ιδανικό νόμο περί αερίου . Λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο TDC, ξεκινάει η ανάφλεξη. Στην περίπτωση ενός κινητήρα SI, το μπουζί λαμβάνει ένα παλμό υψηλής τάσης που παράγει τον σπινθήρα που του δίνει το όνομά του και ανάβει τη φόρτιση. Στην περίπτωση ενός κινητήρα CI, ο εγχυτήρας καυσίμου εισάγει γρήγορα καύσιμο στο θάλαμο καύσης ως ψεκασμό. Το καύσιμο αναφλέγεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας.

Όταν το έμβολο κινείται από κάτω προς τα πάνω, μέσα στον κύλινδρο, λαμβάνει χώρα η συμπίεση ως αποτέλεσμα της ενέργειας συμπίεσης που διοχετεύεται όταν η βαλβίδα εξαγωγής και η βαλβίδα εισόδου είναι ταυτόχρονα κλειστές. Το χαρακτηριστικό της στεγανότητας των βαλβίδων σε συνδυασμό με τους δακτυλίους του εμβόλου, είναι ότι εμποδίζουν τυχόν διαρροές προς το έμβολο.

Κατά τη διάρκεια της κίνησης του εμβόλου, ο χώρος που διατίθεται στο μίγμα καυσίμου - αέρα μικραίνει, με τη συμπίεση του μίγματος να αυξάνει την ταχύτητα της καύσης για δύο σημαντικούς λόγους:

- Πρώτον, παράγεται θερμότητα λόγω της ταυτόχρονης συμπίεσης των ατόμων και των μορίων του αέρα και των καυσίμων. Όλα τα μόρια του καυσίμου θερμαίνονται σχεδόν μέχρι το σημείο ανάφλεξής τους, οπότε η στιγμή της καύσης επηρεάζει όλο το μίγμα.
- Δεύτερον, τα μόρια του αέρα συμπιέζονται, οπότε έχουν μεγαλύτερη ενέργεια. Όταν αυτή η ενέργεια προστίθεται στην ενέργεια που δημιουργεί η εκτόνωση της καύσης, ασκείται μεγαλύτερη δύναμη στο έμβολο.



Εικόνα 7. 3.: Η διαδρομή συμπίεσης

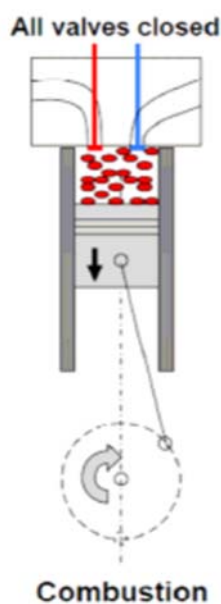
### 7. 3. ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΙΣΧΥΟΣ

Η πίεση των αερίων καύσης ωθεί το έμβολο προς τα κάτω, δημιουργώντας περισσότερη εργασία από την απαιτούμενη για συμπίεση της φόρτισης. Συμπληρωματικά με τη διαδρομή συμπίεσης, τα αέρια καύσης διογκώνονται και ως εκ τούτου μειώνεται η θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητά τους. Όταν το έμβολο είναι κοντά στο BDC ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής. Τα αέρια καύσης διογκώνονται μη

αναστρέψιμα λόγω της πλεονάζουσας πίεσης σε υπέρβαση της αντίθλιψης, της πίεσης του μετρητή στη θύρα εξάτμισης και αυτό ονομάζεται το *blowdown*.

Μέχρι και τη φάση αυτή, δεν έχει ανοίξει καμία από τις δύο βαλβίδες. Όταν το έμβολο καλύψει όλη την απόσταση και φτάσει στο πάνω μέρος, έχουμε την δημιουργία ενός ηλεκτρικού σπινθήρα μεταξύ ηλεκτροδίων του σπινθήρα και εμβόλου, ο οποίος προκαλεί την ανάφλεξη του μίγματος καυσίμου - αέρα. Η δύναμη αυτής της έκρηξης, αναγκάζει το έμβολο να κινηθεί προς το κάτω μέρος του κυλίνδρου.

Για την ακρίβεια, η καύση δεν γίνεται απευθείας στο πλήρες φορτίο. Η φλόγα αναπτύσσεται αρχικά έξω από το μπουζί, γεγονός που προκαλεί επιτάχυνση της καύσης, πιέζοντας το έμβολο.



Εικόνα 7. 4. Η διαδρομή ισχύος

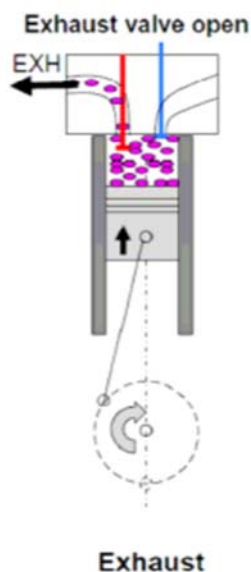
Η διαδικασία της καύσης και της εκτόνωσης του εσωτερικού φορτίου καυσίμου δεν πρέπει να δημιουργούν καθυστέρηση στο σύστημα αλλά να γίνονται σε μικρό χρόνο. Για το λόγο αυτό, στην πλειοψηφία τους, οι τετράχρονοι μηχανές αναφλέγουν το καύσιμο προτού φτάσει το έμβολο στο άνω νεκρό σημείο της διαδρομής συμπίεσης.

Η παραγόμενη ισχύς στη φάση αυτή είναι συνάρτηση του όγκου που έχει τη στιγμή εκείνη το μίγμα καυσίμου - αέρα, αλλά και του λόγου συμπίεσης της μηχανής, που ορίζεται ως η ανάλογη διαφορά του συνολικού όγκου του κυλίνδρου και του όγκου του θαλάμου καύσης προς το κάτω νεκρό σημείο και το άνω, αντίστοιχα. Όσο μεγαλύτερος ο λόγος συμπίεσης, τόσο πιο κοντά στο σημείο ανάφλεξης πρέπει να θερμανθεί το καύσιμο στη διαδρομή συμπίεσης, δηλαδή η ανάφλεξη πρέπει να πραγματοποιηθεί πολύ γρήγορα.

#### 7. 4. ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει ανοιχτή, ενώ το έμβολο κινείται προς τα επάνω και εξάγει τα αέρια καύσης. Για κινητήρες με φυσική αναρρόφηση, ένα μικρό μέρος των αερίων καύσης μπορεί να παραμείνει στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, επειδή το έμβολο δεν κλείνει πλήρως το θάλαμο καύσης. Αυτά τα αέρια διαλύονται στην επόμενη φόρτιση. Στο τέλος αυτής της διαδρομής, η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής και η ακολουθία επαναλαμβάνεται στον επόμενο κύκλο. Η βαλβίδα εισαγωγής μπορεί να ανοίξει πριν κλείσει η βαλβίδα εξαγωγής για να επιτρέψει την καλύτερη σάρωση.

Πιο αναλυτικά, μετά το τέλος της διαδρομής ισχύος του εμβόλου, τα αέρια που έχουν πλέον καεί, πρέπει να εξέλθουν από τον κύλινδρο προτού εισαχθεί η νέα ποσότητα καυσίμου. Στη διαδρομή εξαγωγής, ανοίγει η βαλβίδα εξόδου, ώστε να απομακρυνθεί το αέριο, χάρη στην ώθηση του εμβόλου.



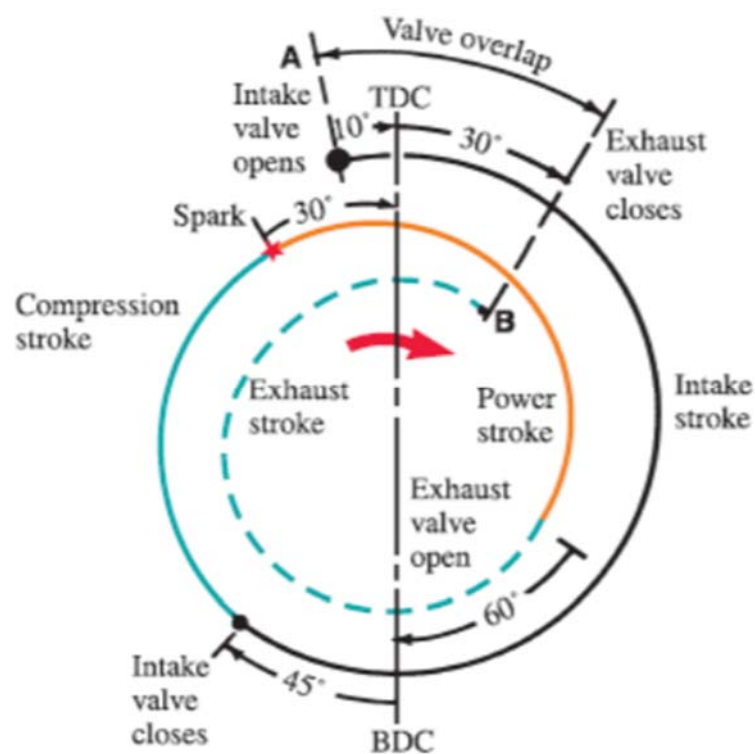
Εικόνα 7. 5. Η διαδρομή εξαγωγής

Κατά παρόμοιο τρόπο με τη βαλβίδα εισόδου, όταν η βαλβίδα εξόδου κλείνει, πρέπει να είναι στεγανή, ενώ όταν είναι ανοιχτή πρέπει να επιτρέπει τη διέλευση των αερίων μόνο προς τη μία κατεύθυνση, δηλαδή, για την βαλβίδα εξόδου, τη διέλευση των καυσαερίων προς την έξοδο της θύρας. Η διαδικασία της απομάκρυνσης των καυσαερίων ονομάζεται “σάρωση”. Ο θύλακας μέσα από τον οποίο περνάνε τα καυσαέρια είναι η λεγόμενη πολλαπλή εξόδου, η οποία σχεδιάζεται έτσι ώστε να γίνεται ομαλότερα η απελευθέρωση των καυσαερίων.

## 7. 5. Ο ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ

Ο χρονισμός των βαλβίδων μετριέται σε μοίρες περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Το χρονικό σημείο που σημειώνεται το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων, όπου βρίσκονται είτε πριν είτε μετά το έμβολο, συμπίπτει με το άνω νεκρό σημείο και το κάτω νεκρό σημείο, αντιστοίχως. Προφανώς, για κάθε μηχανή, τα σημεία αυτά είναι διαφορετικά. Για τα σημεία του χρονισμού των βαλβίδων ισχύουν τα εξής:

- Στον πλήρη κύκλο περιλαμβάνεται το πρώτο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής 10 μοίρες πριν το άνω νεκρό σημείο και διατηρείται ανοιχτή κατά 235 μοίρες.
- Το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής γίνεται, αντίστοιχα, 30 μοίρες μετά το άνω νεκρό σημείο. Τη στιγμή που είναι και οι δύο βαλβίδες ανοιχτές, σημειώνεται η επικάλυψη των βαλβίδων. Στην δεύτερη φάση, δηλαδή στη φάση της συμπίεσης, οι δύο βαλβίδες κλείνουν με την ανάφλεξη να λαμβάνει χώρα 30 μοίρες πριν το άνω άκρο.
- Η επόμενη φάση, της διαδρομής ισχύος, συνεχίζεται ως τις 120 μοίρες πριν το άνω νεκρό σημείο.
- Η βαλβίδα εξόδου ανοίγει 60 μοίρες προτού φτάσει το έμβολο στο κάτω νεκρό σημείο. Μένει ανοιχτή έως τις 270 μοίρες.
- Για τις τελευταίες 40 μοίρες, η βαλβίδα εισόδου παραμένει μαζί με την βαλβίδα εξόδου ανοιχτή, μέχρι που ξεκινάει ο επόμενος κύκλος της μηχανής.



Εικόνα 7. 6. Ο χρονισμός της βαλβίδας εξόδου τετράχρονης μηχανής

## 8. ΔΙΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Στις περισσότερες περιπτώσεις μηχανών εσωτερικής καύσεως, είτε αυτές είναι ανάφλεξης είτε συμπίεσης, ο κύκλος λειτουργίας τους γίνεται είτε σε δύο χρόνους είτε σε τέσσερεις, διαφοροποιώντας έτσι τις μηχανές σε δίχρονες και τετράχρονες. Αφού αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο οι τετράχρονες μηχανές, στη συνέχεια θα επιχειρηθεί μια επισκόπηση της λειτουργίας των δίχρονων μηχανών εσωτερικής καύσης.

Το καθοριστικό χαρακτηριστικό αυτού του τύπου κινητήρα είναι ότι κάθε έμβολο ολοκληρώνει έναν κύκλο κάθε επανάσταση του στροφαλοφόρου άξονα. Οι 4 διαδικασίες εισαγωγής, συμπίεσης, ισχύος και εξάτμισης λαμβάνουν χώρα μόνο σε 2 διαδρομές, έτσι ώστε να μην είναι δυνατόν να αφιερωθεί ένα εγκεφαλικό επεισόδιο αποκλειστικά για καθένα από αυτά. Ξεκινώντας από το TDC ο κύκλος αποτελείται από:

1. **Ισχύς** : Ενώ το έμβολο κατεβαίνει, τα αέρια καύσης εκτελούν εργασίες σε αυτό, όπως σε έναν τετράχρονο κινητήρα. Ισχύουν οι ίδιες θερμοδυναμικές σκέψεις σχετικά με την επέκταση.
2. **Καθαρισμός** : Περίπου  $75^\circ$  περιστροφής του στροφαλοφόρου πριν από το BDC η βαλβίδα εξαγωγής ή η θύρα ανοίγει και συμβαίνει το blowdown. Λίγο αργότερα ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής ή η θύρα μεταφοράς. Το εισερχόμενο φορτίο μετατοπίζει τα εναπομένοντα αέρια καύσης στο σύστημα εξάτμισης και ένα μέρος του φορτίου μπορεί να εισέλθει και στο σύστημα εξάτμισης. Το έμβολο φτάνει στο BDC και αντιστρέφει την κατεύθυνση. Αφού το έμβολο έχει ταξιδέψει σε μικρή απόσταση προς τα πάνω στον κύλινδρο, η βαλβίδα εξαγωγής ή η θύρα κλείνει. σύντομα κλείνει επίσης η βαλβίδα εισαγωγής ή η θύρα μεταφοράς.
3. **Συμπίεση** : Με την εισαγωγή και την εξάτμιση κλειστή το έμβολο συνεχίζει να κινείται προς τα πάνω συμπιέζοντας το φορτίο και εκτελώντας μια εργασία πάνω του. Όπως και στην περίπτωση ενός τετράχρονου κινητήρα, η ανάφλεξη ξεκινά ακριβώς πριν το έμβολο φτάσει στο TDC και την ίδια προσοχή στη θερμοδυναμική της συμπίεσης του φορτίου.

Ενώ ένας τετράχρονος κινητήρας χρησιμοποιεί το έμβολο ως αντλία θετικής μετατόπισης για να πραγματοποιήσει την απομάκρυνση λαμβάνοντας 2 από τις 4 διαδρομές, ένας δίχρονος κινητήρας χρησιμοποιεί το τελευταίο τμήμα της διαδρομής ισχύος και το πρώτο μέρος της διαδρομής συμπίεσης για συνδυασμένη εισαγωγή και εξαγωγή. Οι εργασίες που απαιτούνται για τη μετατόπιση του φορτίου και των καυσαερίων προέρχονται είτε από το στροφαλοθάλαμο είτε από ένα ξεχωριστό φυσητήρα.

Για τον καθαρισμό, την απομάκρυνση του καυσαερίου και την είσοδο φρέσκου μίγματος περιγράφονται δύο βασικές προσεγγίσεις: Ο καθαρισμός των βρόχων και η απομάκρυνση του Uniflow, οι ειδήσεις του SAE που δημοσιεύτηκαν το 2010, δείχνουν ότι το 'Loop Scavenging' είναι καλύτερα κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες από την Uniflow Scavenging.

## **8. 1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ**

Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά στις μηχανές εσωτερικής καύσης είναι ο αριθμός των χτυπημάτων που κάνει το έμβολο για την ολοκλήρωση ενός κύκλου λειτουργίας. Ο όρος χτύπημα (stroke) του εμβόλου περιγράφει την κίνηση που διαγράφει ο κύλινδρος για να φτάσει από το ένα άκρο της διαδρομής στο άλλο. Τα χτυπήματα του εμβόλου γίνονται είτε με φορά προς τον στροφαλοφόρο άξονα είτε αντίθετα από αυτόν.

Κάθε χτύπημα επιτελεί συγκεκριμένη λειτουργία. Στην περίπτωση της δίχρονης μηχανής τα χτυπήματα αυτά είναι μόνο δύο. Αυτό σημαίνει ότι οι επιμέρους λειτουργίες της εισόδου, της συμπίεσης, της ισχύος και των καυσαερίων απαιτούν για να ολοκληρωθούν μόνο δύο διαδρομές του εμβόλου. Τα δύο αυτά χτυπήματα λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της περιστροφής που εκτελεί ο στροφαλοφόρος άξονας. Με άλλα λόγια, μια περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα είναι αρκετή για τη συμπλήρωση ενός κύκλου λειτουργίας στις δίχρονες μηχανές.

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

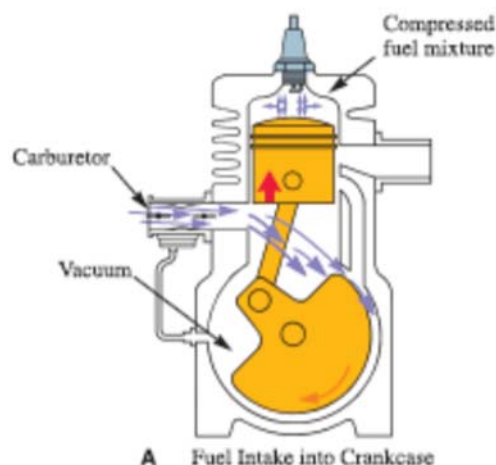


απαιτούνται σε αυτές. Επιπλέον οι δίχρονες μηχανές είναι μικρότερες και ελαφρότερες από τις τετράχρονες με την ισοδύναμη ισχύ. Οι δίχρονες μηχανές απαιτούν την κατάλληλη λίπανση ακόμα και όταν λειτουργούν σε μεγάλες γωνίες και την αποκτούν από την ανάμιξη του καυσίμου με το πετρέλαιο που περνάει μέσα από την μηχανή. Η διατήρηση των συγκεκριμένων μηχανών στην σωστή λειτουργία τους εξασφαλίζεται μέσα από την εγκατάσταση του κατάλληλου μίγματος καυσίμου και πετρελαίου. Κατά συνέπεια ο προκαθορισμένος τύπος και το είδος της βενζινομηχανής πρέπει να αναμιχθεί με το καύσιμο στην κατάλληλη αναλογία πριν τοποθετηθεί στην δεξαμενή του καυσίμου.

Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται συνεχώς καθαρό πετρέλαιο σε όλα τα κινούμενα μέρη ενώ η μηχανή λειτουργεί. Το πετρέλαιο καίγεται στο θάλαμο καύσης και εξέρχεται με τα άλλα αέρια ως καυσαέριο. Η τοποθέτηση των εισόδων σε μια δίχρονη μηχανή αποτελεί βασικό στοιχείο για το σωστό χρονισμό της πρόσληψης καυσίμου, μεταφοράς και εξαγωγής του καυσίμου. Ο κύλινδρος αποκοπής μπορεί να έχει τη θύρα εξαγωγής στο υψηλότερο σημείο, δίπλα τη θύρα μεταφοράς και τη θύρα εισαγωγής στο χαμηλότερο σημείο. Μερικές μηχανές όπως αυτές οι κλειστού κύκλου έχουν μόνο μια θύρα εισόδου. Σχήμα 2.1: Τμήμα του κύλινδρου αποκοπής με τις θύρες εισόδου, εξαγωγής και μεταφοράς σε μηχανές κλειστού βρόγχου.

### **8. 1. 1. ΕΙΣΟΔΟΣ ΣΤΟ ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟ ΑΞΟΝΑ**

Κατά τη διάρκεια της κίνησης του εμβόλου προς το πάνω μέρος του κυλίνδρου των δίχρονων μηχανών, η πίεση που ασκείται στο στροφαλοφόρο άξονα μειώνεται ενώ η θύρα εισόδου μένει εκτεθειμένη. Επειδή, όμως, η πίεση του στροφαλοφόρου είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση, ο αέρας κινείται διά μέσου του καρμπυρατέρ και μέσα στο στροφαλοφόρο άξονα ώστε να βρίσκονται οι δύο πιέσεις σε ισορροπία.



*Εικόνα 8. 1. Είσοδος καυσίμου στο στροφαλοφόρο άξονα*

Την ώρα που περνάει ο αέρας από το καρμπυρατέρ, η είσοδος του αέρα πιέζει ένα τμήμα τόσο του καυσίμου όσο και του αέρα κατά μήκος του καρμπυρατέρ. Το μίγμα στο σημείο αυτό, λειτουργεί καθώς βρίσκεται στο στροφαλοφόρο ως λιπαντικό των ρουλεμάν, ώσπου το έμβολο καταφέρνει να ανοίξει τη θύρα μεταφοράς κατά τη διάρκεια της διαδρομής του εμβόλου προς τα κάτω.

### **8. 1. 2. ΙΣΧΥΣ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ**

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης απαιτούν ανάφλεξη του μείγματος, είτε με ανάφλεξη με σπινθήρα (SI) είτε με ανάφλεξη με συμπίεση (CI). Πριν από την εφεύρεση των αξιόπιστων ηλεκτρικών μεθόδων, χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι θερμού σωλήνα και φλόγας. Έχουν κατασκευαστεί πειραματικοί κινητήρες με ανάφλεξη με λείζερ.

Ο κινητήρας ανάφλεξης με σπινθήρα ήταν μια βελτίωση των πρώτων κινητήρων που χρησιμοποίησαν την ανάφλεξη Hot Tube. Όταν η Bosch ανέπτυξε το μαγνήτο, έγινε το κύριο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να ενεργοποιήσει ένα μπουζί. Πολλοί μικροί κινητήρες εξακολουθούν να χρησιμοποιούν μαγνητική ανάφλεξη. Οι μικρές μηχανές ξεκινούν με χειροκίνητη εκκίνηση χρησιμοποιώντας ένα μίξα ανάκρουσης ή ένα στρόφαλο. Πριν από τον Charles F. Kettering της ανάπτυξης του Delco για τον εκκινητή αυτοκινήτων, όλα τα αυτοκίνητα με βενζινοκινητήρες χρησιμοποίησαν ένα στρόφαλο.

Οι μεγαλύτεροι κινητήρες, όπως δηλαδή στην περίπτωση των πλοίων, τυπικά τροφοδοτούν τους κινητήρες εκκίνησης και τα συστήματα ανάφλεξης χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία μολύβδου-οξέος. Η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας διατηρείται από έναν εναλλάκτη ή από μια γεννήτρια που χρησιμοποιεί ισχύ του κινητήρα για να δημιουργήσει αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μπαταρία παρέχει ηλεκτρική ισχύ για εκκίνηση όταν ο κινητήρας διαθέτει σύστημα κινητήρα εκκίνησης και παρέχει ηλεκτρική ισχύ όταν ο κινητήρας είναι σβηστός. Η μπαταρία τροφοδοτεί επίσης ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια σπάνιων συνθηκών λειτουργίας, όπου ο εναλλάκτης δεν μπορεί να διατηρήσει περισσότερα από 13,8 volt (για ένα κοινό ηλεκτρικό σύστημα αυτοκινήτων 12V). Καθώς η τάση του εναλλάκτη πέφτει κάτω από 13,8 volts, η μπαταρία μολύβδου-οξέος αυξάνει όλο και περισσότερο το ηλεκτρικό φορτίο. Κατά τη διάρκεια σχεδόν όλων των συνθηκών λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων των κανονικών συνθηκών ρελαντί, ο εναλλάκτης παρέχει πρωτογενή ηλεκτρική ισχύ.

Ορισμένα συστήματα απενεργοποιούν την ισχύ του πεδίου εναλλάκτη (ρότορα) κατά τη διάρκεια ευρείας ανοιχτής κατάστασης πεταλούδας. Η απενεργοποίηση του πεδίου μειώνει τη μηχανική φόρτιση της τροχαλίας του εναλλάκτη σχεδόν στο μηδέν, μεγιστοποιώντας τη δύναμη του στροφαλοφόρου άξονα. Σε αυτή την περίπτωση, η μπαταρία τροφοδοτεί όλη την κύρια ηλεκτρική ενέργεια.

Οι βενζινοκινητήρες παίρνουν ένα μείγμα αέρα και βενζίνης και το συμπιέζουν με την κίνηση του εμβόλου από το κάτω νεκρό σημείο στο πάνω νεκρό σημείο όταν το καύσιμο είναι στη μέγιστη συμπίεση. Η μείωση του μεγέθους της περιοχής σάρωσης του κυλίνδρου και λαμβάνοντας υπόψη τον όγκο του θαλάμου καύσης περιγράφεται με μία αναλογία. Οι πρώτοι κινητήρες είχαν αναλογίες συμπίεσης 6 προς 1. Καθώς οι λόγοι συμπίεσης αυξήθηκαν, η απόδοση του κινητήρα αυξήθηκε επίσης.

Με τα πρώτα συστήματα επαγωγής και ανάφλεξης οι λόγοι συμπίεσης έπρεπε να διατηρηθούν χαμηλοί. Με την πρόοδο στην τεχνολογία καυσίμων και τη διαχείριση καύσης, οι κινητήρες υψηλής απόδοσης μπορούν να λειτουργήσουν αξιόπιστα σε αναλογία 12: 1. Με καύσιμο χαμηλού οκτανίου, θα προέκυπτε ένα πρόβλημα, καθώς ο λόγος συμπίεσης αυξήθηκε καθώς το καύσιμο αναφλέγεται λόγω της αύξησης της

θερμοκρασίας που προέκυψε. Ο Charles Kettering ανέπτυξε ένα πρόσθετο μολύβδου το οποίο επέτρεψε υψηλότερους λόγους συμπίεσης.

Το μείγμα καυσίμου αναφλέγεται σε διαφορές προόδους του εμβόλου στον κύλινδρο. Σε χαμηλές στροφές, ο σπινθήρας είναι χρονισμένος να εμφανίζεται κοντά στο έμβολο που επιτυγχάνει το ανώτερο νεκρό σημείο. Προκειμένου να παραχθεί περισσότερη ισχύς, καθώς αυξάνεται η στροφή ανά λεπτό, ο σπινθήρας προωθείται νωρίτερα κατά τη διάρκεια της κίνησης του εμβόλου. Ο σπινθήρας συμβαίνει ενώ το καύσιμο εξακολουθεί να συμπιέζεται προοδευτικά περισσότερο καθώς αυξάνεται η κίνηση στροφών.

Η απαραίτητη υψηλή τάση, τυπικά 10.000 βολτ, τροφοδοτείται από ένα επαγωγικό πηνίο ή μετασχηματιστή. Το πηνίο επαγωγής είναι ένα σύστημα fly-back, χρησιμοποιώντας τη διακοπή του ηλεκτρικού ρεύματος του πρωτεύοντος συστήματος μέσω κάποιου τύπου συγχρονισμένου διακόπτη. Ο διακόπτης μπορεί να είναι είτε σημεία επαφής είτε τρανζίστορ ισχύος. Το πρόβλημα με αυτό το είδος ανάφλεξης είναι ότι καθώς οι RPM αυξάνουν τη διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται. Αυτό είναι ιδιαίτερα πρόβλημα, καθώς η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την ανάφλεξη ενός πυκνότερου μείγματος καυσίμων είναι υψηλότερη. Το αποτέλεσμα ήταν συχνά υψηλό RPM.

Η ανάφλεξη εκκενώσεως πυκνωτών αναπτύχθηκε. Παράγει μια αυξανόμενη τάση που αποστέλλεται στο μπουζί. Οι τάσεις του συστήματος CD μπορούν να φτάσουν τα 60.000 βολτ. <sup>[19]</sup> Οι αναφλέξεις CD χρησιμοποιούν μετασχηματιστές βαθμίδας. Ο βαθμιδωτός μετασχηματιστής χρησιμοποιεί ενέργεια αποθηκευμένη σε χωρητικότητα για την παραγωγή ηλεκτρικού σπινθήρα. Με κάθε σύστημα, ένα μηχανικό ή ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου παρέχει μια προσεκτικά χρονομετρημένη υψηλή τάση στον κατάλληλο κύλινδρο. Αυτός ο σπινθήρας, μέσω του μπουζί, αναφλέγει το μίγμα αέρα-καυσίμου στους κυλίνδρους του κινητήρα.

Ενώ οι μηχανές εσωτερικής καύσης βενζίνης είναι πολύ πιο εύκολο να ξεκινήσουν σε ψυχρό καιρό από τους κινητήρες ντίζελ, μπορούν ακόμα να αντιμετωπίσουν προβλήματα κρύου καιρού κάτω από ακραίες συνθήκες. Για χρόνια, η λύση ήταν να σταθμεύσει το αυτοκίνητο σε θερμαινόμενες περιοχές. Σε ορισμένα μέρη του κόσμου, το πετρέλαιο ήταν πραγματικά στραγγισμένο και θερμαίνεται όλη τη νύχτα και επέστρεψε στον κινητήρα για κρύες εκκινήσεις. Στις αρχές της δεκαετίας του 1950,

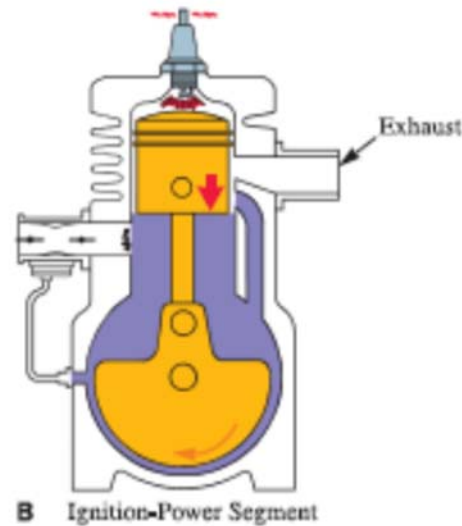
αναπτύχθηκε η μονάδα Gasifier βενζίνης, όπου, κατά την έναρξη του κρύου καιρού, η ακατέργαστη βενζίνη εκτρέπεται στη μονάδα όπου καίγεται μέρος του καυσίμου προκαλώντας το άλλο μέρος να γίνει ένας θερμός ατμός που αποστέλλεται κατευθείαν στην πολλαπλή βαλβίδας εισαγωγής. Αυτή η μονάδα ήταν αρκετά δημοφιλής έως ότου οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες κινητήρων έγιναν στάνταρ στους βενζινοκινητήρες που πωλούνται σε ψυχρά κλίματα.

Στην δεύτερη περίπτωση, έχουμε τη διαδικασία ανάφλεξης με συμπίεση. Εδώ, οι κινητήρες Diesel, PPC και HCCI βασίζονται αποκλειστικά στη θερμότητα και την πίεση που δημιουργεί ο κινητήρας στη διαδικασία συμπίεσης του για την ανάφλεξη. Το επίπεδο συμπίεσης που συμβαίνει είναι συνήθως δύο φορές ή και περισσότερο από έναν κινητήρα βενζίνης. Οι κινητήρες πετρελαίου λαμβάνουν μόνο αέρα και λίγο πριν τη μέγιστη συμπίεση ψεκάστε μια μικρή ποσότητα καυσίμου ντίζελ στον κύλινδρο μέσω ενός μπεκ ψεκασμού καυσίμου που επιτρέπει στο καύσιμο να αναφλεγεί αμέσως. Οι κινητήρες τύπου HCCI λαμβάνουν αέρα και καύσιμο, αλλά συνεχίζουν να βασίζονται σε μη αυτόματη διαδικασία καύσης, λόγω υψηλότερων πιέσεων και θερμότητας. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι κινητήρες ντίζελ και HCCI είναι πιο επιρρεπείς σε θέματα ψυχρής εκκίνησης, αν και τρέχουν εξίσου καλά στο κρύο καιρό όταν ξεκινήσουν. Δίτροχοι κινητήρες ελαφρού τύπου με έμμεση έγχυση σε αυτοκίνητα και ελαφρά φορτηγά χρησιμοποιούν καλοριφέρ (ή άλλη προθέρμανση: βλ. Cummins ISB # 6BT ) που θερμαίνουν το θάλαμο καύσης λίγο πριν αρχίσουν να μειώνονται οι συνθήκες εκκίνησης σε κρύο καιρό.

Οι περισσότεροι πετρελαιοκινητήρες έχουν επίσης μπαταρία και σύστημα φόρτισης. Παρόλα αυτά, το σύστημα αυτό είναι δευτερεύον και προστίθεται από τους κατασκευαστές ως πολυτέλεια για την εύκολη εκκίνηση, την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του καυσίμου (που μπορεί επίσης να γίνει μέσω διακόπτη ή μηχανικής συσκευής) και για τη λειτουργία βοηθητικών ηλεκτρικών εξαρτημάτων και εξαρτημάτων. Οι περισσότεροι νέοι κινητήρες βασίζονται σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου κινητήρα (ECU), οι οποίες επίσης ρυθμίζουν τη διαδικασία καύσης για να αυξήσουν την απόδοση και να μειώσουν τις εκπομπές.

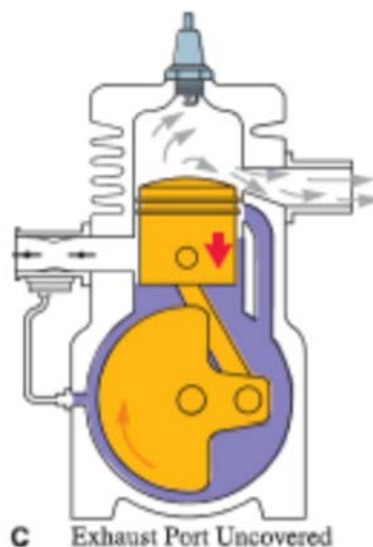
Όταν το έμβολο εκτελεί την κίνηση με κατεύθυνση προς τα πάνω, συμπιέζεται το μίγμα καυσίμου - αέρα στο εσωτερικό του κυλίνδρου κατά τη διάρκεια του

προηγούμενου κύκλου κατά 10% σε σχέση με τον αρχικό όγκο. Τη στιγμή που το έμβολο φτάνει στο TDC, ο σπινθήρας δημιουργεί αέρα καυσίμου στο μίγμα. Σε κάποιες μηχανές μικρού κυβισμού, για να επιτυγχάνεται πιο καλή καύση στις πιο μεγάλες ταχύτητες, ο σπινθήρας δημιουργείται κατά την έναρξη της μηχανής.



*Εικόνα 8. 2. Το σημείο ισχύος ανάφλεξης*

Το σημείο της μέγιστης πίεσης καύσης σημειώνεται στο έμβολο αμέσως μετά το άνω νεκρό σημείο. Την ώρα που το έμβολο κινείται με φορά προς τα κάτω, έχει τη μέγιστη δύναμη και συνεπώς ενέργεια, μεταφέροντας γραμμική κίνηση διαμέσου της ράβδου σύνδεσης ώστε να δημιουργηθεί η περιστροφική κίνηση του στροφαλοφόρου.



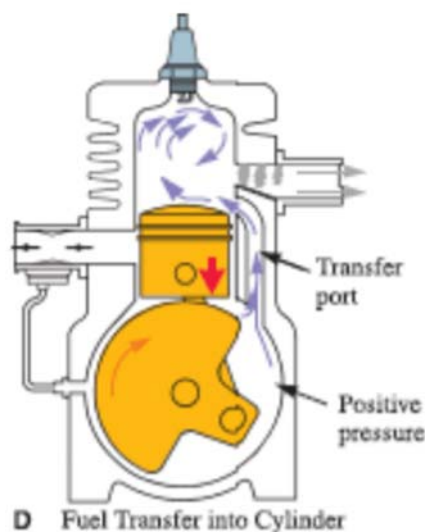
*Εικόνα 8. 3: Μη καλυμμένη θύρα εξόδου*

### **8. 1. 3. ΕΞΑΓΩΓΗ**

Στη φάση της εξαγωγής, το έμβολο κινείται προσπαθώντας να ανοίξει η θύρα εξόδου για αυτό και γίνεται η μέγιστη απελευθέρωση καυσαερίων. Συγκεκριμένα, με το άνοιγμα των θυρών μεταφοράς, γίνεται η είσοδος του νέου μίγματος καυσίμου - αέρα. Τη στιγμή αυτή πραγματοποιείται η πλήρης εξαγωγή καυσαερίων από τον θάλαμο καύσης και από τον κύλινδρο.

### **8. 1. 4. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ**

Την ώρα της κίνησης του εμβόλου προς τα κάτω, συμπιέζεται το μίγμα καυσίμου - αερίου. Στο σημείο που το έμβολο έχει απομακρυνθεί σημαντικά από το κάτω χτύπημα, τότε ανοίγει η θύρα μεταφοράς και το μίγμα ξεκινάει την κίνησή του στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Το νέο αυτό φορτίο, κινείται στην περιοχή καύσης σπρώχνοντας τα καυσαέρια προς το εξωτερικό του κυλίνδρου. Έτσι ολοκληρώνεται ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας στις τετράχρορες μηχανές.



*Εικόνα 8. 4. Μεταφορά του καυσίμου στον κύλινδρο*

Ο σωστότερος σχεδιασμός επιτρέπει την εξαγωγή όλης της ποσότητας καυσαερίων από τον θάλαμο καύσης. Το νέο φορτίο του καυσίμου κινείται τότε γρηγορότερα, επιτυγχάνοντας πλήρη και πιο καθαρή καύση. Για καλύτερη απόδοση, το φορτίο του καυσίμου διατηρείται στιγμιαία μέσα στον κύλινδρο και ταυτόχρονα ανοίγει η θύρα εξόδου. Αυτό γίνεται για να εμποδιστεί το καύσιμο να αναμιχθεί μαζί με τα καυσαέρια στο εσωτερικό του κυλίνδρου

Οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται σε δύο χρόνους στις δίχρονες μηχανές, όπως φανερώνει και το όνομά τους.

## **8. 2. ΠΡΩΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ**

Την ώρα που τελείται η καύση και το έμβολο είναι στο πάνω άκρο, ξεκινάει η έγχυση του καυσίμου, η οποία ολοκληρώνεται την ώρα που το έμβολο βρίσκεται λίγο κάτω από το πάνω άκρο (10 μοίρες αν η μηχανή είναι αργόστροφη, 30 μοίρες αν είναι πολύστροφη). Έπειτα, ξεκινάει η κίνηση του εμβόλου προς το κάτω άκρο, χάρη στην ώθηση από τα καυσαέρια. Η πίεση εκείνη τη στιγμή, φτάνει τα 4 - 5 bar. Ταυτόχρονα,



ξεκινάει να ανοίγει η θύρα εξαγωγής. Όταν το έμβολο πλησιάζει το κάτω άκρο, έχει ανοίξει η θύρα εισαγωγής και η πίεση μέσα στο σύστημα προσεγγίζει την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης, οπότε έχουμε εισροή του αέρα στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Το τέλος του πρώτου χρόνου βρίσκει το έμβολο να κινείται από το πάνω άκρο στο κάτω.

### 8. 3. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΧΡΟΝΟΣ

Την ώρα που το έμβολο κινείται με κατεύθυνση το πάνω άκρο, ο αέρας ωθεί τα καυσαέρια προς τη θύρα εξαγωγής. Μέχρι η θύρα εισαγωγής να κλείσει, έχουμε την είσοδο του αέρα. Κάποιοι κύλινδροι έχουν τις θύρες εισαγωγής από την ίδια πλευρά με τις θύρες εξαγωγής. Όταν το έμβολο καλύπτει τη θύρα εξαγωγής, ξεκινάει η συμπίεση. Ο κύλινδρος θα πρέπει να έχει στο εσωτερικό του όσο το δυνατόν περισσότερο καθαρό αέρα. Την ώρα του στροβιλισμού του αέρα, λαμβάνει χώρα ο ψεκασμός του καυσίμου, για να έχουμε την καλύτερη δυνατή ανάμιξη καυσίμου - αέρα. Η πίεση του αέρα είναι μεταξύ 30 και 45 bar, ενώ η θερμοκρασία φτάνει τους 700 βαθμούς Κελσίου. Αυτό οδηγεί σε αυτανάφλεξη, καθώς η θερμοκρασία αυτή υπερβαίνει την θερμοκρασία ανάφλεξης του καυσίμου.

Στη συνέχεια, το έμβολο κινείται προς το πάνω άκρο και λαμβάνει χώρα η συμπίεση, ενώ παράλληλα γίνεται η έγχυση και η καύση.

Συνοπτικά, οι λειτουργίες που επιτελούνται σε καθέναν από τους δύο χρόνους, είναι οι εξής:

Πρώτος Χρόνος	Δεύτερος χρόνος
Καύση και έγχυση καυσίμου	Εισαγωγή αέρα
Εκτόνωση καυσαερίου	Εξαγωγή καυσαερίου
Εξαγωγή καυσαερίου	Συμπίεση
Εισαγωγή αέρα	Έναρξη έγχυσης και καύσης

Πίνακας 8: Λειτουργίες δίχρονης μηχανής

## 9. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΗΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ

Όταν ένα πλοίο κατασκευάζεται σε ένα ναυπηγείο, ο σημαντικότερος μηχανισμός που πρέπει να επιλεγεί είναι ο κύριος μηχανισμός προώθησης. Τόσο οι δίχρονοι όσο και οι τετράχρονοι μηχανές είναι ευρέως διαθέσιμες στην αγορά, αλλά για μεγάλο πλοίο εμπορικής ναυτιλίας, οι δίχρονοι κινητήρες επιλέγονται συχνότερα σε σχέση με τους τετράχρονους.

Αν και οι τετράχρονοι κινητήρες προσφέρουν αρκετά θετικά, όπως το μικρό μέγεθος του εργοστασίου παραγωγής, πολύ περισσότερες στροφές ανά λεπτό ή ταχύτητα κ.λπ., οι δίχρονοι κινητήρες κρίνονται ως καταλληλότεροι για τα πλοία, λόγω των ακόλουθων πλεονεκτημάτων:

- **Επιλογή καυσίμου :** Οι τιμές των καυσίμων έχουν φτάσει στα ύψη και τα καύσιμα καλύτερης ποιότητας προσθέτουν υψηλότερο κόστος στη λειτουργία του σκάφους. Ένας δίχρονος κινητήρας μπορεί να καίει καύσιμο χαμηλότερης ποιότητας εξίσου αποτελεσματικά και συνεπώς να μειώσει το κόστος λειτουργίας του πλοίου.
- **Απόδοση :** Η θερμική απόδοση και η απόδοση του κινητήρα του δίχρονου κινητήρα είναι πολύ καλύτερη από αυτή του τετράχρονου.
- **Ισχύς :** Οι περισσότεροι από τους δίχρονους κινητήρες παράγουν πλέον, περισσότερη ισχύ. Ως εκ τούτου, έχουν υψηλότερη ισχύ σε σχέση με το βάρος τους, συγκρινόμενοι με τους τετράχρονους κινητήρες.
- **Μεγαλύτερο φορτίο:** Το πλοίο μπορεί να μεταφέρει περισσότερο βάρος και συνεπώς περισσότερο ωφέλιμο φορτίο με κινητήρες δίχρονους, λόγω της υψηλής αναλογίας ισχύος προς βάρος.
- **Αξιοπιστία :** Οι δίχρονοι κινητήρες έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο αξιόπιστοι σε λειτουργία σε σύγκριση με τους τετράχρονους κινητήρες.
- **Λιγότερη συντήρηση :** Οι απαιτήσεις σε συντήρηση των δίχρονων κινητήρων είναι πολύ μικρότερες από ότι των τετράχρονων κινητήρων.

- **Έλεγχος κατεύθυνσης :** Η άμεση εκκίνηση και η αντιστροφή είναι πιο εύκολη με τον κινητήρα δύο σταδίων.
- **Δεν υπάρχουν εξαρτήματα μείωσης ταχύτητας:** επειδή οι δίχρονοι κινητήρες δουλεύουν σε χαμηλές ταχύτητες, δεν απαιτείται απαίτηση εξαρτημάτων ή ρυθμίσεων μείωσης ταχύτητας όπως απαιτείται για τους τετράχρονους κινητήρες.

## 10. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΒENZINOKINHTHΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης αν και λειτουργούν σε γενικές γραμμές όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, έχουν κάποιες διαφοροποιήσεις ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου. Οι διαφορές μεταξύ ενός βενζινοκινητήρα και ενός πετρελαιοκινητήρα (ντιζελοκινητήρας) είναι λίγες αλλά βασικές. Συγκεκριμένα:

- Οι πετρελαιοκινητήρες, έχουν πολύ μεγαλύτερο μέγεθος σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες, ωστόσο είναι σημαντικά πιο αργόστροφοι
- Οι πετρελαιοκινητήρες έχουν την ικανότητα να κινούν πολύ μεγαλύτερο βάρος, χωρίς να επιβαρύνεται το σύστημα, σε αντίθεση με τους πιο ευάλωτους κατασκευαστικά βενζινοκινητήρες
- Οι πετρελαιοκινητήρες έχουν κάποιες διαφορές στις αρχές της λειτουργίας τους σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες. Κατά κανόνα, οι πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούν τη μέθοδο αυτανάφλεξης και όχι την τεχνική του ηλεκτρικού σπινθήρα. Ο λόγος είναι ότι, επειδή χρησιμοποιούν πετρέλαιο, η ανάφλεξη του οποίου γίνεται σε υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με το σημείο ανάφλεξης της βενζίνης, η μηχανή συμπιέζει το πετρέλαιο, προκαλώντας με αυτή τη μέθοδο την αύξηση της πίεσής του, μέχρι να εκραγεί.

Το θετικό της διαδικασίας αυτής είναι ότι οι πετρελαιοκινητήρες είναι, στην πράξη, αδύνατο να σβήσουν από το νερό, διότι απαιτείται πολύ μεγάλη, αναλογικά, ποσότητα νερού ώστε να μην αναφλεγεί το πετρέλαιο. Αντίθετα, στους βενζινοκινητήρες, μια σταγόνα νερού είναι αρκετή για να τον κάνει να σβήσει, διότι αυτή η σταγόνα μπορεί να είναι απαγορευτική για το σχηματισμό του σπινθήρα από το μπουζί.

- Για την εκκίνησή της, η πετρελαιομηχανή χρησιμοποιεί έναν ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος θα ξεκινήσει την πυροδότηση του συστήματος.
- Ενώ οι βενζινοκινητήρες είναι πιο γρήγορες σαν μηχανές, δηλαδή πιο πολύστροφες σε σχέση με τον πετρελαιοκινητήρα, έχουν το χαρακτηριστικό ότι σβήνουν εύκολα και δεν μπορούν να κινήσουν εξίσου μεγάλο.
- Οι βενζινοκινητήρες, όπως και οι περισσότερες πολύστροφες μηχανές, «πέφτουν» πιο γρήγορα από ότι οι πετρελαιοκινητήρες, οι οποίοι δεν

«πέφτουν» σχεδόν ποτέ. Με τον όρο «πέφτουν», υποδηλώνεται η σταδιακή μείωση των ίππων των μηχανών λόγω φθοράς με την πάροδο του χρόνου. Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό, θεωρήστε ένα αμάξι που φέρει βενζινοκινητήρα. Αν με καινούργιο κινητήρα φτάνει από την ακινησία στα 100 χιλιόμετρα την ώρα σε 5 δευτερόλεπτα, τότε, μετά από καιρό, όταν θα έχει «πέσει» πλέον η μηχανή, τα 100 χιλιόμετρα θα χρειάζεται για να τα πιάσει πάνω από περίπου 8-11 δευτερόλεπτα. Η διαφορά είναι καθοριστική.

Η επιτάχυνση, λοιπόν, αποτελεί ένα μέτρο της δύναμης του κινητήρα. Εμπειρικά, στην καθημερινή ζωή, για μικρές μηχανές, όταν βλέπουμε ότι ο χρόνος της επιτάχυνσης είναι πεσμένος, αυτό στοιχειοθετεί πρόβλημα για τον κινητήρα. Αν σκεφτούμε τη διαφορά αυτή κάνοντας αναγωγή στα μεγέθη των μηχανών πλοίου, αντιλαμβανόμαστε ότι το κόστος σε αποδοτικότητα είναι τρομακτικά μεγαλύτερο. Ωστόσο, μια τέτοια βλάβη δεν είναι κάτι που μπορεί να διορθωθεί με ένα σέρβις, ούτε και μπορεί να προληφθεί από συντήρηση. Αν «πέσει» μια μηχανή, τότε η μόνη λύση για να φτάσει το σύστημα στα αρχικά του επίπεδα ρυθμαπόδοσης, η μόνη λύση είναι η αλλαγή του κινητήρα εξ ολοκλήρου, που αν για μικρές μηχανές, όπως των αυτοκινήτων, το κόστος μπορεί να είναι σχετικά υψηλό, φανταστείτε πόσο ασύμφορη θα είναι η επιλογή αυτή σε χρήμα, χρόνο και εργασία, για την περίπτωση ενός πλοίου.

- Στις πετρελαιομηχανές, η ανάφλεξη γίνεται 10 μοίρες πριν το έμβολο φτάσει σε κάθετη θέση. Αντίθετα στους βενζινοκινητήρες η ανάφλεξη συντελείται 30 μοίρες πριν φτάσει στην κάθετη θέση. Αυτό συμβαίνει, λόγω του ότι οι βενζινοκινητήρες είναι πιο γρήγοροι, σε σχέση με τους πετρελαιοκινητήρες.

Σχετικά με την ταχύτητα των δύο κινητήρων, σημαντικό ρόλο παίζει και η φύση των δύο καυσίμων. Η βενζίνη δεν είναι το ίδιο δυνατή με το πετρέλαιο, για αυτό πρέπει να καταναλωθεί όλη η καύσιμη ύλη, δηλαδή όλη η ενέργεια κατά την ανάφλεξη, χωρίς να υπάρξουν απώλειες. Η δύναμη που προσφέρει το πετρέλαιο κατά την καύση του, καθιστά λιγότερο ευαίσθητη τη διαδικασία της καύσης του.

## 11. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η κλασικότερη περίπτωση μηχανής πλοίου ως προς το καύσιμο που χρησιμοποιεί, είναι οι μηχανές Diesel, κοινώς οι πετρελαιοκινητήρες. Οι ουσιαστικότερες διαφορές ενός πετρελαιοκινητήρα και ενός βενζινοκινητήρα εντοπίζονται στο σύστημα ανάμιξης του μίγματος αέρα - καυσίμου και στη διαδικασία που ενεργοποιεί την ανάφλεξη του μίγματος.

Στη συνέχεια, θα επιχειρήσουμε μια επισκόπηση στα επιμέρους συστήματα των πετρελαιοκινητήρων, τα οποία συνοπτικά είναι τα εξής:

1. Σύστημα τροφοδοσίας
2. Βοηθητικοί προθάλαμοι καύσης
3. Θάλαμοι καύσης
4. Ψεκασμός
5. Σύστημα ψύξης
6. Σύστημα λίπανσης

### 11. 1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Στους πετρελαιοκινητήρες, σε αντίθεση με τους βενζινοκινητήρες, η τροφοδοσία γίνεται με ψεκασμό του καυσίμου με πίεση στο εσωτερικό των κυλίνδρων. Το σύστημα τροφοδοσίας περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

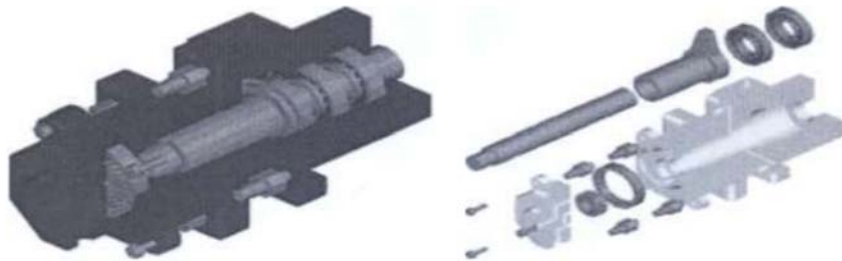
- Δεξαμενή καυσίμου
- Αρχικό φίλτρο
- Αντλία χαμηλής πίεσης
- Βασικό φίλτρο
- Αντλία ψεκασμού
- Ρυθμιστή στροφών
- Σωλήνες τροφοδοσίας
- Ψεκαστήρες

- Αντλία καυσίμου υψηλής πίεσης

Τα δύο τελευταία, δηλαδή οι ψεκαστήρες και η αντλία καυσίμου υψηλής πίεσης, είναι και τα σημαντικότερα τμήματα, που συγκεφαλαιώνουν τις βασικές λειτουργίες του συστήματος τροφοδοσίας.

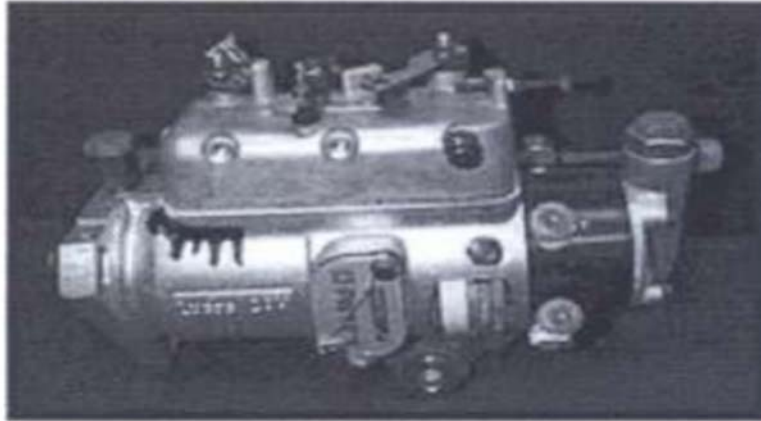
Η πίεση ψεκασμού του καυσίμου δημιουργείται με την αντλία υψηλής πίεσης. Οι αντλίες έχουν την ικανότητα να συμπιέζουν το καύσιμο μέχρι και 200 atm, και είναι μηχανικές ή υδραυλικές.

Στην περίπτωση της μηχανικής αντλίας ψεκασμού, υπάρχει ένας άξονας που περιστρέφεται λόγω της κίνησης του στροφαλοφόρου άξονα της μηχανής.



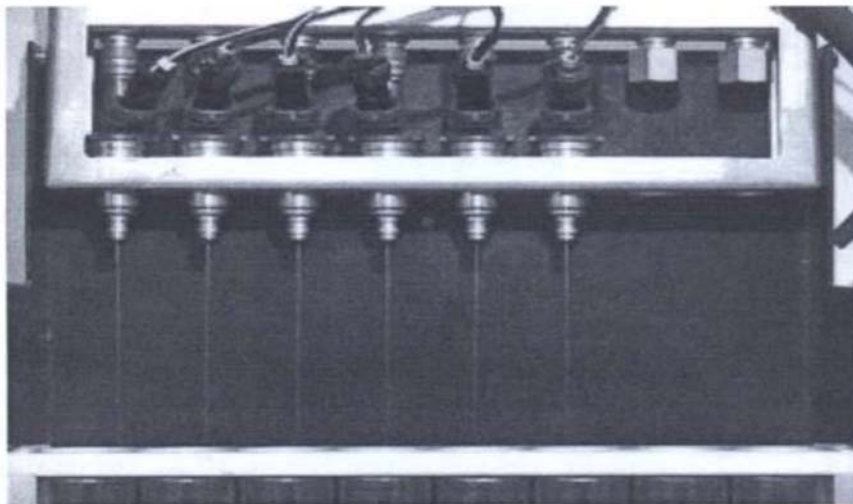
*Εικόνα 11.1: Μηχανική αντλία ψεκασμού*

Ο ψεκασμός λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένες στιγμές μέσα στον κύκλο λειτουργίας, με τον χρονισμό του να καθορίζεται από τους ψεκαστήρες. Οι τελευταίοι είναι μηχανικοί ή ηλεκτρομαγνητικοί. Στην περίπτωση των μηχανικών ψεκαστήρων, ο τρόπος λειτουργίας τους εξαρτάται από το προφορτισμένο έλασμα σπειροειδούς μορφής που βρίσκεται μέσα στον ψεκαστήρα. Το έλασμα αυτό ασκεί πίεση στην ακίδα, και με αυτό τον τρόπο κλείνει η οπή του ψεκαστήρα. Στην περίπτωση που έχουμε πολύ μεγάλη πίεση του καυσίμου, το καύσιμο συμπιέζει το έλασμα, οπότε διαρρέει καύσιμο από την οπή προς τον κύλινδρο της μηχανής.



*Εικόνα 11.2. Ψεκαστήρας*

Στην περίπτωση των ηλεκτρομαγνητικών ψεκαστήρων, η ως άνω διαδικασία γίνεται εξ ολοκλήρου ηλεκτρονικά. Η διαφορά είναι ότι αντί για το έλασμα, υπάρχει ένας ισχυρός ηλεκτρομαγνήτης που ρυθμίζει το άνοιγμα και κλείσιμο της οπής του ψεκαστήρα.



*Εικόνα 11. 3. Έλεγχος λειτουργίας ηλεκτρομαγνητικών ψεκαστήρων*



## 11. 2. ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΠΡΟΘΑΛΑΜΟΙ ΚΑΥΣΗΣ

Ορισμένοι πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούν βοηθητικούς θαλάμους που βρίσκονται εντός των κυλινδροκεφαλών. Οι θάλαμοι αυτοί επικοινωνούν μέσω αγωγών με τους κυλίνδρους. Στο στάδιο της συμπίεσης, είτε μιλάμε για δίχρονες είτε για τετράχρονες μηχανές, ο συμπιεσμένος αέρας βρίσκεται συγκεντρωμένος στον προθάλαμο. Έπειτα έχουμε τον ψεκασμό του πετρελαίου στο εσωτερικό του προθαλάμου, το οποίο αυταναφλέγεται. Αυτή η αύξηση της πίεσης στον προθάλαμο δίνει την ώθηση στο έμβολο για να κινηθεί προς το κάτω νεκρό σημείο. Στους πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούνται κατά κόρον οι προθάλαμοι καύσης, διότι η μορφή τους είναι τέτοια που διευκολύνει την ανάμιξη καυσίμου - αέρα. Υπάρχουν πολλά μοντέλα βοηθητικών προθαλάμων καύσης που χρησιμοποιούνται και σε πλοία, όπως οι Lanova, Caterpillar, Deutz και Perkins.



*Εικόνα 11. 4. Βοηθητικοί προθάλαμοι καύσης*

## 11. 3. ΘΑΛΑΜΟΙ ΚΑΥΣΗΣ

Στους πετρελαιοκινητήρες ο αέρας και το καύσιμο αναμιγνύονται στο εσωτερικό των κυλίνδρων. Αυτό φαίνεται και από το ειδικό σχήμα που έχουν οι πετρελαιομηχανές στο άνω άκρο τους. Το σχήμα διευκολύνει τον στροβιλισμό του καυσίμου και του αέρα για να γίνει η ανάμιξη, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, δηλαδή να έχουμε

καλύτερο αποτέλεσμα στην καύση. Οι σχηματισμοί των εμβόλων παίζουν το ρόλο των θαλάμων καύσης στις κεφαλές των βενζινομηχανών και καλούνται θάλαμοι άμεσης έγχυσης.

Στα πλοία, όπως και στις περισσότερες μηχανές μεγάλου κυβισμού, χρησιμοποιούνται ανοιχτοί θάλαμοι καύσης, όπως ο θάλαμος του παρακάτω σχήματος



*Εικόνα 11. 5. Ανοιχτός θάλαμος καύσης πετρελαιομηχανής πλοίου*

Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μικρότερο κόστος στην κατασκευή της μηχανής, χωρίς να μειώνεται η απόδοση.

#### 11. 4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο ψεκασμός του καυσίμου μέσα στον κύλινδρο διαχωρίζει τους θαλάμους καύσης σε άμεσου και έμμεσου ψεκασμού.

##### 11. 4. 1. ΑΜΕΣΟΣ ΨΕΚΑΣΜΟΣ

Είναι το σύστημα που επιλέγεται συχνότερα για πετρελαιοκινητήρες πλοίων. Στον τύπο αυτό, το καύσιμο ψεκάζεται απευθείας στον θάλαμο καύσης, πάνω από το έμβολο. Η ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα γίνεται πιο ομοιόμορφα, το οποίο σημαίνει στην πράξη ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω θερμότητας, εξ αιτίας του περιορισμένου χώρου που υπάρχει για συμπίεση. Επίσης, επειδή γίνεται πιο στοχευμένα ο ψεκασμός, έχουμε μικρότερη κατανάλωση του καυσίμου.

Οι θάλαμοι καύσης άμεσου ψεκασμού επιτυγχάνουν την καλύτερη απόδοση των καυσίμων, σε σχέση με κάθε άλλο τύπο. Ο λόγος της υψηλής απόδοσης είναι ότι η επιφάνεια της φλόγας είναι μεν μικρή σε σχέση με το συνολικό όγκο της καύσης ωστόσο είναι μεγάλη πάνω από το έμβολο και έχει μικρή επιφάνεια επαφής με το ψυκτικό υγρό, κάτι που συνεπάγεται μικρές θερμικές απώλειες προς το σύστημα ψύξης. Πρακτικά οι πετρελαιοκινητήρες άμεσου ψεκασμού τίθενται σε λειτουργία πιο εύκολα σε χαμηλότερες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες και δεν απαιτούν βοήθεια στην εκκίνηση, όπως οι υπόλοιποι τύποι θαλάμων.

Επίσης, με τον άμεσο ψεκασμό έχουμε μικρότερη καταπόνηση του εμβόλου, των ελατηρίων και των υπολοίπων τμημάτων του κινητήρα. Η καύση σημειώνεται πρώτα πάνω από το έμβολο και έτσι το έμβολο ωθείται πιο αρμονικά προς τα κάτω, κατά το ξεκίνημα της εκτόνωσης.

Τέλος, με τον άμεσο ψεκασμό έχουμε γρηγορότερη καύση, η οποία δημιουργεί πιο απότομη αύξηση πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Έτσι παράγεται ένα χτύπημα υψηλότερης έντασης σε κάθε καύση.

#### 11. 4. 2. ΕΜΜΕΣΟΣ ΨΕΚΑΣΜΟΣ

Η διαδικασία του έμμεσου ψεκασμού περιλαμβάνει ψεκασμό του καυσίμου σε έναν θάλαμο που επικοινωνεί από ένα μικρό άνοιγμα με τον κυρίως θάλαμο καύσης. Ο υπο-θάλαμος αυτός μπορεί να είναι ένας απλός θάλαμος (προθάλαμος) είτε ένας στροβιλοθάλαμος. Η καύση, δηλαδή, ξεκινά πρώτα από τον υπο-θάλαμο και διαχέεται σε όλο τον διαθέσιμο χώρο του θαλάμου καύσης. Στους κινητήρες που έχουν στροβιλοθάλαμο, αυτοί βρίσκονται στην κυλινδροκεφαλή του κάθε κυλίνδρου. Οι στροβιλοθάλαμοι έχουν περίπου το μισό όγκο του θαλάμου συμπίεσης και η πίεση στο εσωτερικό τους είναι περίπου 1 atm.

Στο σημείο αυτό βρίσκεται και το ακροφύσιο έγχυσης, μαζί με το σύστημα υποβοήθησης της εκκίνησης, τμήματα απαραίτητα για τους πετρελαιοκινητήρες έμμεσου ψεκασμού.

Κατά την συμπίεση δημιουργείται ένα ισχυρό ρεύμα αέρα που προκαλεί στροβιλισμό, γεγονός που βοηθά στην σωστή ανάμιξη του αέρα με το καύσιμο που ψεκάζεται. Την ίδια στιγμή, ωστόσο, δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα καυσίμου πάνω στην επιφάνεια του στροβιλοθάλαμου, το οποίο κατόπιν καίγεται. Έτσι αυξάνεται η πίεση του στροβιλοθάλαμου, οπότε το μίγμα καυσίμου - αέρα εκτοξεύεται στον θάλαμο καύσης, όπου εκεί καίγεται.

#### 11. 5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ

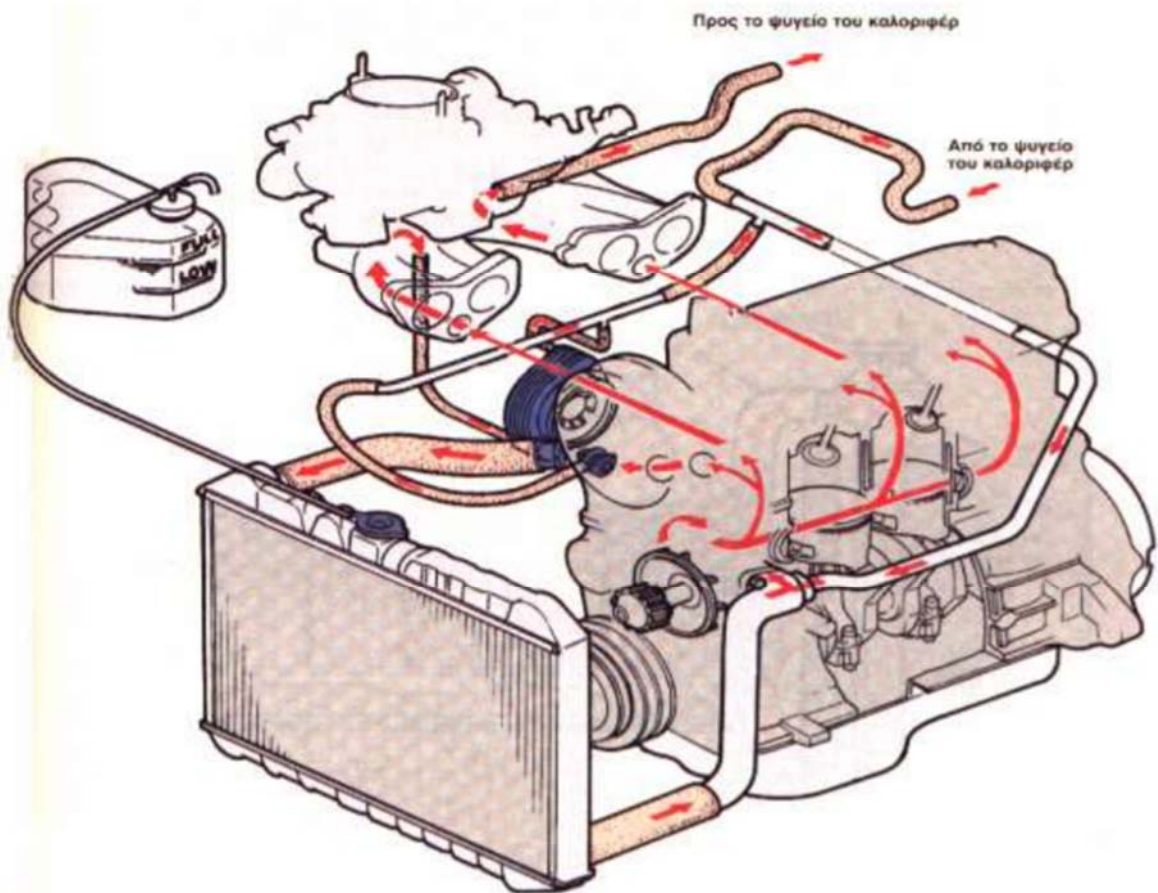
Σκοπός του συστήματος ψύξης σε ένα πετρελαιοκινητήρα είναι η ψύξη του, ώστε να παραμένει η θερμοκρασία λειτουργίας του σε χαμηλά επίπεδα, όπως δηλαδή είναι προγραμματισμένος να λειτουργεί. Καλή ψύξη του κινητήρα συνεπάγεται αποφυγή φαινομένων υπερθέρμανσης, που επιδρούν ανασταλτικά στην απόδοση του κινητήρα. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι κινητήρα, ανάλογα με τον τύπο του συστήματος ψύξης τους:

- Αερόψυκτοι κινητήρες  
Στους αερόψυκτους κινητήρες, υπάρχει ένας ανεμιστήρας ο οποίος λειτουργεί σε συνδυασμό με τα διαφράγματα, που είναι κατασκευασμένα από μέταλλο,

για να οδηγούν τον αέρα σε καθορισμένα σημεία και να επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο η ψύξη.

- Υδρόψυκτοι κινητήρες

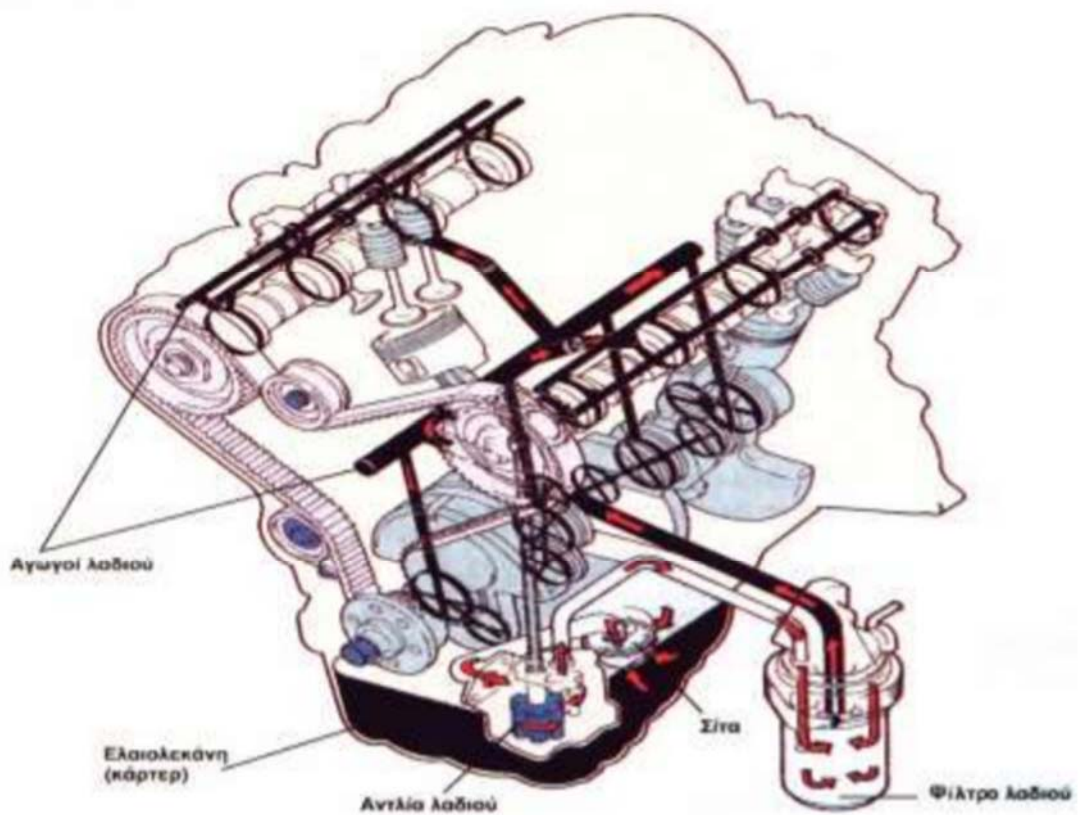
Υδρόψυκτοι είναι η πλειοψηφία των σημερινών κινητήρων. Απαρτίζεται από το ψυγείο που έχει μέσα στο ψυκτικό υγρό, το θερμοστάτη, την αντλία που κινείται μέσω της κίνησης του στροφαλοφόρου άξονα, το δοχείο διαστολής και το δίκτυο σωληνώσεων. Όταν ο θερμοστάτης είναι ανοιχτός, η αντλία το ψυκτικό υγρό αντλείται από το κάτω μέρος του υδρο-θαλάμου του ψυγείου, περνάει στα υδρο-χιτώνια των κυλίνδρων και φτάνει δια μέσου του θερμοστάτη στον πάνω υδρο-θάλαμο του ψυγείου.



Εικόνα 11. 6. Διάγραμμα ροής κυκλώματος ψύξης σε υδρόψυκτο κινητήρα

## 11. 6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

Η λίπανση της μηχανής γίνεται για να μειωθεί η τριβή του συστήματος ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες ισχύος. Ένα συνηθισμένος τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η λίπανση του κινητήρα είναι με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του λιπαντικού υλικού. Το λιπαντικό από το κάρτερ (ελαιολεκάνη) μεταφέρεται μέσω της σίτας (δικτυωτό φίλτρο) στην αντλία λαδιού, το οποίο στη συνέχεια, μέσω πίεσης, κατευθύνεται σε συγκεκριμένα σημεία του στροφαλοφόρου άξονα, στις κυλινδροκεφαλές και στο μπλοκ των κυλίνδρων.



Εικόνα 11. 7: Λιπαντικό σύστημα τετράχρονης μηχανής

Οι λιπαντικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις πετρελαιομηχανές είναι είτε φυτικά λιπαντικά (π. χ. καστορέλαιο) είτε συνθετικά είτε ορυκτά. Τα φυτικά λιπαντικά έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν μπορούν να αναμιχθούν με το πετρέλαιο, ωστόσο ο αιθέρας που προστίθεται για να γίνει η ανάφλεξη, ομογενοποιεί το μίγμα. Τα καταλληλότερα

ορυκτά λιπαντικά είναι τα SAE 40, ωστόσο στη ναυτιλία προτιμώνται περισσότερο τα φυτικά λιπαντικά.

## 12. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Μόλις αναφλεγεί και καεί, τα προϊόντα καύσης -θερμά αέρια-έχουν περισσότερη διαθέσιμη θερμική ενέργεια από το αρχικό μείγμα συμπιεσμένου καυσίμου-αέρα (το οποίο είχε υψηλότερη χημική ενέργεια). Η διαθέσιμη ενέργεια εκδηλώνεται ως υψηλή θερμοκρασία και πίεση που μπορεί να μετατραπεί σε εργασία από τον κινητήρα. Σε έναν παλινδρομικό κινητήρα, τα αέρια υψηλής πίεσης μέσα στους κυλίνδρους οδηγούν τα έμβολα του κινητήρα.

Μόλις αφαιρεθεί η διαθέσιμη ενέργεια, τα υπόλοιπα θερμά αέρια εξαερίζονται (συχνά ανοίγοντας μια βαλβίδα ή εκθέτοντας την έξοδο εξαγωγής) και αυτό επιτρέπει στο έμβολο να επιστρέψει στην προηγούμενη θέση του (κορυφαίο νεκρό σημείο ή TDC). Το έμβολο μπορεί στη συνέχεια να προχωρήσει στην επόμενη φάση του κύκλου του, η οποία ποικίλλει μεταξύ των κινητήρων. Οποιαδήποτε θερμότητα δεν μεταφράζεται σε εργασία θεωρείται κανονικά ως απόβλητο προϊόν και αφαιρείται από τον κινητήρα είτε με σύστημα ψύξης αέρα είτε με υγρό.

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι θερμικές μηχανές και ως εκ τούτου η θεωρητική τους απόδοση μπορεί να προσεγγιστεί με εξιδανικευμένους θερμοδυναμικούς κύκλους. Η θερμική απόδοση ενός θεωρητικού κύκλου δεν μπορεί να υπερβαίνει τη θερμική απόδοση του κύκλου Carnot, η απόδοση του οποίου καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ της χαμηλότερης και της ανώτερης θερμοκρασίας λειτουργίας του κινητήρα. Η ανώτερη θερμοκρασία λειτουργίας ενός κινητήρα περιορίζεται από δύο κύριους παράγοντες: τα θερμικά όρια λειτουργίας των υλικών και την αντίσταση στην αυτανάφλεξη του καυσίμου.

Όλα τα μέταλλα και τα κράματα έχουν θερμικό όριο λειτουργίας και υπάρχει σημαντική έρευνα σε κεραμικά υλικά που μπορούν να κατασκευαστούν με μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα και επιθυμητές δομικές ιδιότητες. Η υψηλότερη θερμική σταθερότητα επιτρέπει μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των κατώτερων (περιβάλλοντος) και ανώτερων θερμοκρασιών λειτουργίας, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη θερμοδυναμική απόδοση. Επίσης, καθώς η θερμοκρασία του κυλίνδρου αυξάνεται, ο κινητήρας γίνεται πιο επιρρεπής στην αυτόματη ανάφλεξη. Αυτό προκαλείται όταν η θερμοκρασία του κυλίνδρου πλησιάζει το σημείο ανάφλεξης της φόρτισης. Σε αυτό το σημείο, η ανάφλεξη μπορεί να συμβεί



αυθόρμητα πριν πυρωθεί το μπουζί, προκαλώντας υπερβολικές πιέσεις του κυλίνδρου. Η αυτόματη ανάφλεξη μπορεί να μετριαστεί με τη χρήση καυσίμων με υψηλή αντίσταση στην αυτοανάφλεξη ( οκτανική ονομασία ), ωστόσο εξακολουθεί να θέτει ένα ανώτερο όριο στην επιτρεπόμενη θερμοκρασία κυλίνδρου κορυφής.

Τα θερμοδυναμικά όρια υποθέτουν ότι ο κινητήρας λειτουργεί υπό ιδανικές συνθήκες: ένας κόσμος χωρίς τριβές, ιδανικά αέρια, τέλειοι μονωτήρες και λειτουργία για άπειρο χρόνο. Οι εφαρμογές σε πραγματικό κόσμο εισάγουν περιπλοκές που μειώνουν την αποδοτικότητα. Για παράδειγμα, ένας πραγματικός κινητήρας λειτουργεί καλύτερα σε ένα συγκεκριμένο φορτίο, που ονομάζεται ζώνη ισχύος του . Ο κινητήρας σε ένα αυτοκίνητο που ταξιδεύει σε έναν αυτοκινητόδρομο συνήθως λειτουργεί σημαντικά κάτω από το ιδανικό φορτίο του, επειδή είναι σχεδιασμένο για τα υψηλότερα φορτία που απαιτούνται για ταχεία επιτάχυνση.

Επιπλέον, παράγοντες όπως η αντίσταση στην αιολική ενέργεια μειώνουν τη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος. Η οικονομία καυσίμου του κινητήρα μετριέται σε μίλια ανά γαλόνι ή σε λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα. Ο όγκος του υδρογονάνθρακα λαμβάνει ένα τυπικό ενεργειακό περιεχόμενο.

Οι περισσότεροι κινητήρες σιδήρου έχουν θερμοδυναμικό όριο 37%. Ακόμα και όταν ενισχύονται με υπερσυμπιεστές και βοηθήματα απόδοσης αποθεμάτων, οι περισσότεροι κινητήρες διατηρούν μια μέση απόδοση περίπου 18% -20%.

Υπάρχουν πολλές εφευρέσεις που αποσκοπούν στην αύξηση της αποδοτικότητας των κινητήρων IC. Σε γενικές γραμμές, οι πρακτικοί κινητήρες παραβιάζονται πάντοτε από τις διαφορετικές ιδιότητες όπως η απόδοση, το βάρος, η ισχύς, η θερμότητα, η απόκριση, οι εκπομπές καυσαερίων ή ο θόρυβος. Μερικές φορές η οικονομία παίζει επίσης ρόλο όχι μόνο στο κόστος κατασκευής του ίδιου του κινητήρα, αλλά και στην κατασκευή και διανομή του καυσίμου. Η αύξηση της αποδοτικότητας του κινητήρα προσφέρει καλύτερη οικονομία καυσίμου, αλλά μόνο εάν το κόστος καυσίμου ανά ενεργειακό περιεχόμενο είναι το ίδιο.

### 13. ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η κατανάλωση καυσίμου των κινητήρων μηχανών εσωτερικής καύσης μετριέται με τον υπολογισμό της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, η οποία μετρά τη μάζα της ροής κατανάλωσης καυσίμου διαιρούμενη με την παραγόμενη ισχύ.

Για τους κινητήρες εσωτερικής καύσης με τη μορφή αεριοθουμένων κινητήρων, η ισχύς μεταβάλλεται δραστικά με ταχύτητα αέρα και χρησιμοποιείται λιγότερο ευμετάβλητο μέτρο: η ειδική κατανάλωση καυσίμου (TSFC), η οποία είναι η μάζα του προωθητικού που απαιτείται για την παραγωγή παλμών που μετριέται είτε σε λίρες τη δύναμη ώρα ή τα γραμμάρια προωθητικού που χρειάζονται για να δημιουργήσουν μια ώθηση που μετράει ένα κιλόντριο-δευτερόλεπτο.

Για τους πυράυλους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το TSFC, αλλά παραδοσιακά χρησιμοποιούνται άλλα ισοδύναμα μέτρα, όπως συγκεκριμένη ώθηση και αποτελεσματική ταχύτητα εξάτμισης.

## 14. ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης, όπως οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης, παράγουν ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω της ατελούς καύσης άνθρακα. Τα κυριότερα παράγωγα της διεργασίας είναι το διοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}_2$ , το νερό και κάποια αιθάλη - που ονομάζεται επίσης σωματιδιακή ύλη (PM). Τα αποτελέσματα της εισπνοής σωματιδιακής ύλης έχουν μελετηθεί σε ανθρώπους και ζώα και περιλαμβάνουν άσθμα, καρκίνο του πνεύμονα, καρδιαγγειακά προβλήματα και πρόωρο θάνατο. Υπάρχουν, ωστόσο, ορισμένα πρόσθετα προϊόντα της διαδικασίας καύσης που περιλαμβάνουν οξείδια του αζώτου και θείου και μερικούς αβλαβείς υδρογονάνθρακες, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας και τον λόγο καυσίμου-αέρα.

Δεν καταναλώνεται όλο το καύσιμο από τη διαδικασία καύσης. Μία μικρή ποσότητα καυσίμου υπάρχει μετά την καύση και κάποια από αυτά αντιδρούν σχηματίζοντας οξυγονούχες ενώσεις, όπως φορμαλδεΰδη ή ακεταλδεΰδη, ή υδρογονάνθρακες που δεν υπήρχαν αρχικά στο μίγμα καυσίμου εισόδου. Η ατελής καύση συνήθως προκύπτει από ανεπαρκή οξυγόνο για να επιτευχθεί η τέλεια στοιχειομετρική αναλογία. Η φλόγα "σβήνει" από τα σχετικά δροσερά κυλινδροειδή τοιχώματα, αφήνοντας πίσω τα καύσιμα που δεν έχουν αντιδράσει και τα οποία εκδιώχθηκαν με τα καυσαέρια. Όταν εκτελείται σε χαμηλότερες ταχύτητες, η σβέση παρατηρείται συνήθως στους κινητήρες ντίζελ (ανάφλεξης με συμπίεση) που λειτουργούν με φυσικό αέριο. Το σβήσιμο μειώνει την απόδοση και αυξάνει το κτύπημα, προκαλώντας μερικές φορές τον κινητήρα να σταματήσει. Η ατελής καύση οδηγεί επίσης στην παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}$ ). Άλλες χημικές ουσίες που απελευθερώνονται είναι το βενζόλιο και το 1,3-βουταδιενιο που είναι επίσης επικίνδυνες ατμοσφαιρικές μολύνσεις.

Η αύξηση της ποσότητας αέρα στον κινητήρα μειώνει τις εκπομπές ελλειπών προϊόντων καύσης, αλλά επίσης προωθεί την αντίδραση μεταξύ οξυγόνου και αζώτου στον αέρα για την παραγωγή οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ).  $\text{NO}_x$  είναι επικίνδυνο τόσο των φυτών και των ζώων, και οδηγεί στην παραγωγή του όζοντος ( $\text{O}_3$ ). Το όζον δεν εκπέμπεται απευθείας, μάλλον, είναι δευτερογενής ρύπος αέρα, που παράγεται στην ατμόσφαιρα από την αντίδραση του  $\text{NO}_x$  και πτητικές οργανικές ενώσεις υπό την παρουσία ηλιακού φωτός. Το όζον του

εδάφους είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Αν και η ίδια χημική ουσία δεν πρέπει να συγχέεται με το όζον του εδάφους το στρατοσφαιρικό όζον ή το στρώμα του όζοντος, το οποίο προστατεύει τη γη από βλαβερές υπεριώδεις ακτίνες.

Τα καύσιμα άνθρακα περιέχουν θείο και ακαθαρσίες που τελικά παράγουν μονοξείδια θείου (SO) και διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) στα καυσαέρια, τα οποία προωθούν την όξινη βρογχίτιδα.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα οξείδια του αζώτου, τα σωματίδια, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και το όζον ρυθμίζονται ως κριτήρια για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους σύμφωνα με τον νόμο για τον καθαρό αέρα σε επίπεδα που προστατεύονται από την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Άλλοι ρύποι, όπως το βενζόλιο και το 1,3-βουταδιένιο, ρυθμίζονται ως επικίνδυνες ατμοσφαιρικές μολύνσεις των οποίων οι εκπομπές πρέπει να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο, ανάλογα με τις τεχνολογικές και πρακτικές πτυχές.

Τα NO<sub>x</sub>, το μονοξείδιο του άνθρακα και άλλοι ρύποι ελέγχονται συχνά μέσω της ανακυκλοφορίας καυσαερίων, η οποία επιστρέφει μερικά από τα καυσαέρια πίσω στην είσοδο του κινητήρα, και τους καταλυτικούς μετατροπείς, οι οποίοι μετατρέπουν τις χημικές ουσίες εξάτμισης σε αβλαβή χημικά.

## 15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ιστορία των μηχανών εσωτερικής καύσης είναι μακρά και ενδιαφέρουσα. Παρόλο που η εξέλιξη που σημειώθηκε τα πρώτα χρόνια ήταν ραγδαία, στη συνέχεια η πρόοδος στον τομέα των μηχανών δεν ακολούθησε τους ίδιους ρυθμούς.

Στο καθαρά μηχανολογικό κομμάτι, η σύγκριση μεταξύ δίχρονης και τετράχρονης μηχανής έβγαλε νικητή ξεκάθαρα την πρώτη, για τον απαιτητικό κλάδο της ναυτιλίας, καθώς οι μηχανές που προορίζονται να τοποθετηθούν στα πλοία πρέπει να πληρούν κάποιες πολύ συγκεκριμένες προϋποθέσεις, λόγω τόσο της τεράστιας ισχύος όσο και λόγω των εγγενών περιορισμών στο κομμάτι της συντήρησης.

Παρατηρήσαμε, επίσης, ότι η φύση της καύσιμης ύλης διαφοροποιεί σε κάποια λεπτά χαρακτηριστικά τις τεχνολογίες των αντίστοιχων μηχανών. Αν επιχειρούσαμε μια πρόχειρη σύγκριση μεταξύ των δύο τύπων, θα βλέπαμε ότι η ενέργεια του πετρελαίου ως καύσιμη ύλη είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της βενζίνης, κάτι που έχει στρέψει τους κατασκευαστές να ακολουθούν εδώ και αρκετές δεκαετίες αυτό το μοντέλο για την κατασκευή των πλοίων.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνικές πηγές**

- Λάζαρος Χ. Κλιάνης, Ιωάννης Κ. Νικολάου, Ιωάννης Α. Σιδέρης (2006) Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Τόμος Πρώτος, Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Γεώργιος. Φ. Δανιήλ (2006) Στοιχεία Ναυτικών Μηχανών για πλοιάρχους, Ίδρυμα Ευγενίδου
- Γεώργιος. Φ. Δανιήλ, Κωνσταντίνα Ηρ. Μιμηκόπουλου (1998), Ατμομηχανές, Ίδρυμα Ευγενίδου

### **Ξενόγλωσσες πηγές**

- Givens, L., A (1998) Technical History of the Automobile. Automotive Engineering SAE International
- Christen, C., Brand, D, (2013) PAPER NO.: 187 IMO Tier 3: Gas and Dual Fuel Engines as a Clean and Efficient Solution. CIMAC Congress, Shanghai
- Nunney, Malcolm J. (2007). Light and Heavy Vehicle Technology (4th ed.). Elsevier Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-7506-8037-0.
- Stone, Richard (1992). Introduction to Internal Combustion Engines (2nd ed.). Macmillan. ISBN 0-333-55083-8.
- Anyebe, E.A (2009). Combustion Engine and Operations, Automobile Technology Handbook. 2.
- Singal, R. K. Internal Combustion Engines. New Delhi, India: Kataria Books. ISBN 978-93-5014-214-1.

### **Ηλεκτρονικές πηγές**

- SynLube, How engines work.  
<http://www.synlube.com/HowEngineWorks.html>.
- Reciprocating engine basic.

<http://alexander.voivoditch.free.fr/reciprocat.html>.

- Smith, S., Mercedes-Benz to Replace V6s With Inline Engines, Report Says.  
<http://editorial.autos.msn.com/blogs/autosblogpost.aspx?post=ed9a40d9-bd79>
- Two-Cycle and Four-Cycle Engines. Goodheart-Willcox Co., Inc  
[http://www.g-w.com/pdf/sampchap/9781590709702\\_ch05.pdf](http://www.g-w.com/pdf/sampchap/9781590709702_ch05.pdf).
- MAN, Two-stroke Low Speed Diesel Engines for Independent Power Producers and Captive Power Plants.  
[http://www.mandieselturbo.com/files/news/files/16119/tech\\_paper\\_low\\_speed.pdf](http://www.mandieselturbo.com/files/news/files/16119/tech_paper_low_speed.pdf).
- Clausen, N., Marine Diesel Engines How Efficient can a Two-Stroke Engine be?  
<http://www.ship-efficiency.org/onTEAM/pdf/Clausen.pdf>.