

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε



---

## Συστήματα Ψύξης Στους Εμβολοφόρους Κινητήρες

---

Εισηγητής: Πολύζος Θωμάς

Σπουδαστής: Παπαδογιάννης Νικόλαος

Ηράκλειο 2015

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Πολύζο Θωμά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την υπομονή κατά την διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, που με στήριξαν στα μαθητικά και φοιτητικά μου χρόνια με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

## Abstract

This study refers to the cooling system of the internal combustion engine systems (ICE) that have piston. Initially the parts of IC engines were analyzed and a description of basic machine types has been done. Then running times of the two basic types of four-stroke and two-stroke engines were described. For example, the phases described here are the introduction of the mixture, compressing the mixture, expansion of the piston and the extraction of the exhaust. Then, there is a detailed description of the two main engine cooling categories, air-cooled and liquid cooled. In this place, not only the way they operate is listed but also all the advantages and disadvantages and the common problems of these machines are discussed. Finally, measurements relating to the transfer of heat in IC engines during their operation are presented.

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στα συστήματα ψύξης των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Αρχικά γίνεται ανάλυση στα μέρη των κινητήρων ΜΕΚ και περιγραφή των βασικών τύπων μηχανών. Στην συνέχεια αναλύονται οι χρόνοι λειτουργίας των δύο βασικών τύπων τετράχρονων και δίχρονων μηχανών. Για παράδειγμα η εισαγωγή του μίγματος, συμπίεση του μίγματος, εκτόνωση του εμβόλου και η εξαγωγή των καυσαερίων. Έπειτα, γίνεται αναλυτική περιγραφή των δύο βασικών κατηγοριών ψύξης κινητήρων που είναι οι αερόψυκτοι και οι υγρόψυκτοι. Σε αυτό το μέρος εκτός από τον τρόπο λειτουργίας τους, αναφέρονται όλα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μηχανών αυτών. Ακόμα, γίνεται αναφορά σε συχνά προβλήματα που παρουσιάζουν και τρόπους αντιμετώπισής τους. Τέλος παρουσιάζονται μετρήσεις σχετικές με την μετάδοση της θερμότητας στους κινητήρες κατά την λειτουργίας τους.

## Πίνακας περιεχομένων

1.	Λειτουργία Εμβολοφόρων Μηχανών Εσωτερικής Καύσης .....	7
1.1.	Ιστορική Αναδρομή Θερμικών Μηχανών .....	7
1.2.	Στοιχειώδη Μέρη .....	11
1.2.1.	Διωστήρας .....	11
1.2.2.	Έμβολο.....	13
1.2.3.	Κύλινδροι – Κεφαλές κυλίνδρων.....	16
1.2.4.	Στροφαλοφόρος άξονας.....	19
1.2.5.	Εκκεντροφόρος Άξονας.....	22
1.2.6.	Βαλβίδες.....	24
1.3.	Τετράχρονοι Κινητήρες .....	26
1.3.1.	Πρώτος χρόνος - Εισαγωγή του μίγματος.....	26
1.3.2.	Δεύτερος χρόνος - Συμπύεση του μίγματος .....	27
1.3.3.	Τρίτος χρόνος –Εκτόνωση του εμβόλου .....	28
1.3.4.	Τέταρτος χρόνος –Εξαγωγή των καυσαερίων.....	29
1.4.	Δίχρονοι Κινητήρες.....	29
2.	Τρόποι Ψύξης Εμβολοφόρων Κινητήρων .....	31
2.1.	Χρησιμότητα Ψύξης Κινητήρων .....	31
2.2.	Υγρόψυκτοι.....	35
2.2.1.	Αντλία νερού .....	37
2.2.2.	Ψυκτικά Υγρά .....	37
2.2.3.	Προστιθέμενες ουσίες στα υγρά ψύξης.....	37
2.2.4.	Ροή του ψυκτικού μέσου μέσα στο σύστημα ψύξης.....	38
2.2.5.	Υδροχιτώνιο-Ψυγείο.....	38
2.2.6.	Θερμοστάτης .....	39
2.3.	Αερόψυκτοι .....	40
2.4.	Σύγκριση Τρόπου Ψύξης(Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα).....	43
2.4.1.	Υδρόψυκτοι κινητήρες .....	43
2.4.2.	Αερόψυκτοι κινητήρες .....	43
2.5.	Συχνές Βλάβες .....	43
2.5.1.	Ελαττωματική λειτουργία της τάπας του ψυγείου .....	44
2.5.2.	Μικρή απόδοση του ανεμιστήρα.....	44
2.5.3.	Ελαττωματική λειτουργία της αντλίας του νερού. ....	44
2.5.4.	Έμφραξη των υδροχιτωνίων του κινητήρα. ....	45
2.5.5.	Έμφραξη του ψυγείου.....	45
2.5.6.	Κακή κατάσταση των ελαστικών σωλήνων του ψυκτικού υγρού .....	45

2.5.7.	Ελαττωματική λειτουργία του οργάνου ένδειξης θερμοκρασίας .....	45
2.5.8.	Διαρροές ψυκτικού υγρού .....	45
2.5.9.	Οι αιτίες διαρροών .....	46
2.5.10.	Αντικανονική στάθμη του ψυκτικού υγρού στο ψυγείο.....	46
2.5.11.	Ύπαρξη αέρα και άφρισμα ψυκτικού υγρού.....	46
2.5.12.	Πήξη του ψυκτικού υγρού.....	47
2.5.13.	Χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα .....	47
2.5.14.	Υπερβολική τάση του μάντα .....	47
2.5.15.	Υπερθέρμανση του κινητήρα .....	48
2.6.	Συντήρηση .....	48
3.	Μετάδοση Θερμότητας.....	50
4.	Βιβλιογραφία.....	53

# 1. Λειτουργία Εμβολοφόρων Μηχανών Εσωτερικής Καύσης

## 1.1. Ιστορική Αναδρομή Θερμικών Μηχανών

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) ανήκουν στην κατηγορία των θερμικών μηχανών οι οποίες έχουν σχεδιαστεί να μετατρέπουν την θερμότητα σε μηχανικό έργο. Η θερμότητα κατά το πλείστον παράγεται από την χημική ενέργεια της καύσης. Υπάρχει μία δεύτερη κατηγορία θερμικών μηχανών οι οποίες ονομάζονται μηχανές εξωτερικής καύσης όπου η καύση δεν λαμβάνει μέρος στο χώρο παραγωγής του έργου. Σε αυτές η καύση γίνεται έξω από αυτόν και το μέσο παραγωγής του έργου δεν είναι το καυσαέριο αλλά κάποιο άλλο στοιχείο όπως νερό. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι ατμοστρόβιλοι, οι ατμομηχανές.

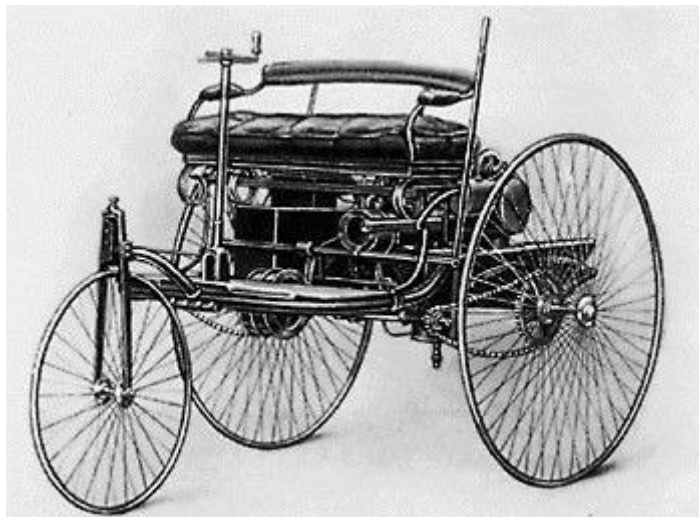


*Εικόνα1 Μηχανή Εξωτερικής Καύσης, Η Ρουκέτα του Ρόμπερτ Στέφενσον, μια από τις πρώτες ατμομηχανές για τρένα, που κατασκευάστηκε το 1829. Η συγκεκριμένη βρίσκεται στο Μουσείο Επιστημών του Λονδίνου*

Εκτός από τον τρόπο καύσης οι μηχανές διαχωρίζονται και ανάλογα με τον τρόπο μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο. Οι θερμικές μηχανές διακρίνονται σε εμβολοφόρες ή παλινδρομικές και περιστροφικές ή στροβίλους. Ειδικότερα στις εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως η καύση στον κύλινδρο μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη βοήθεια εξωτερικού μέσου π.χ. σπινθήρα, σε αυτή την κατηγορία υπάγονται οι "κινητήρες Όττο", είτε αυτόματα λόγω μεγάλης θέρμανσης του καυσίμου για τις μηχανές Ντήζελ ή πετρελαιομηχανές.

Πρόδρομος του βενζινοκινητήρα θεωρείται η ατμομηχανή, που πρωτοεμφανίστηκε τον 18ο αιώνα. Η ΜΕΚ, που ακολούθησε τον 19ο αιώνα ως βελτίωση για πολλές εφαρμογές, δε μπορεί να αποδοθεί μόνο σε έναν εφευρέτη. Ήδη από τον 17ο αιώνα αρκετοί πειραματιστές προσπάθησαν αρχικά να χρησιμοποιήσουν θερμά καυσαέρια για να κινήσουν αντλίες. Το 1820 στην Αγγλία ένας κινητήρας λειτουργούσε με βάση την έκρηξη μίγματος αέρα-υδρογόνου. Οι κινητήρες αυτοί ήταν βαρείς και χονδροειδείς στην κατασκευή αλλά περιείχαν πολλά βασικά στοιχεία των μετέπειτα, πιο επιτυχημένων συσκευών.

Το 1824, ο Γάλλος φυσικός Σαντί Καρνό δημοσίευσε το κλασικό πλέον σύγγραμμα Σκέψεις πάνω στην Ωστική δύναμη της θερμότητας στο οποίο περιέγραψε τις βασικές αρχές της θεωρίας εσωτερικής καύσης. Στα επόμενα χρόνια εμφανίστηκαν βελτιωμένοι τύποι, καθώς και κινητήρες στους οποίους το καύσιμο συμπιεζόταν πριν αναφλεγεί. Κανένας τους όμως δεν αποδείχθηκε ικανοποιητικός μέχρι το 1860, οπότε ο Γάλλος Ετιέν Λενουάρ παρουσίασε έναν κινητήρα με φωταέριο και με σχετικά καλή απόδοση.



*Εικόνα 2 Το πρώτο αυτοκίνητο με Μηχανή Εσωτερικής Καύσης. Κατασκευάστηκε από τον Μπενζ το 1885 και είχε ταχύτητα κίνησης 13km/h.*

Μια σημαντικότερη εξέλιξη πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι το 1862, όταν δημοσιεύτηκε η περιγραφή του ιδανικού κύκλου λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης από τον Αλφόνς Μπω ντε Ροσά, ο οποίος ήταν και ο πρώτος που διατύπωσε τις συνθήκες για την άριστη απόδοση. Ο κινητήρας του Μπω ντε Ροσά προέβλεπε τετράχρονο κύκλο, σε αντίθεση με το δίχρονο κύκλο του Λενουάρ. Όμως στα επόμενα 14 χρόνια ο τετράχρονος κινητήρας έμεινε στα χαρτιά.

Εμφανίστηκε ως κατασκευή του Γερμανού μηχανικού Νικολάους Ότο, του οποίου η εταιρία Ότο και Λάνγκεν στο Ντόιτς είχε προηγουμένως κατασκευάσει έναν βελτιωμένο δίχρονο κινητήρα. Ο κινητήρας ήταν πολύ θορυβώδης και μικρής ισχύος, όμως η κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα ισχύος ήταν μικρότερη από τη μισή κατανάλωση του κινητήρα του Λενουάρ με αποτέλεσμα να έχει εμπορική επιτυχία.

Το 1867 παρουσιάστηκε αυτός ο κινητήρας στην παγκόσμια έκθεση του Παρισιού και, παρά τη θορυβώδη λειτουργία του, πήρε ένα χρυσό βραβείο, γιατί είχε κατά 60% μειωμένη κατανάλωση καυσίμου. Η μεγάλη ζήτηση για τους κινητήρες του Ότο οδήγησε στην ίδρυση από τον Λάνγκεν της ανώνυμης εταιρίας Deutz AG στην Κολωνία, το έτος 1872, η οποία είχε στόχο τη μαζική παραγωγή κινητήρων.

Το 1876 η εταιρεία χρησιμοποίησε το τετράχρονο κύκλο του Μπω ντε Ροσά στον σχεδιασμό ενός νέου κινητήρα. Η επιτυχία ήταν άμεση. Παρά το μεγάλο βάρος και τη μέτρια οικονομία στα επόμενα 17 χρόνια πουλήθηκαν σχεδόν 50.000 κινητήρες συνολικής ισχύος 200.000 περίπου ίππων, ενώ ακολούθησε μια ραγδαία εξελισσόμενη ποικιλία μηχανών του τύπου



αυτού. Η κατασκευή του κινητήρα Ότο στις Η.Π.Α ξεκίνησε το 1878,έναν χρόνο μετά την κατοχύρωση από τον Ότο της σχετικής ευρεσιτεχνίας.



*Εικόνα 3Γερμανός εφευρέτης Νικολάους Ότο της πρώτης μηχανής όπου η καύση γινόταν στο θάλαμο των εμβόλων.*

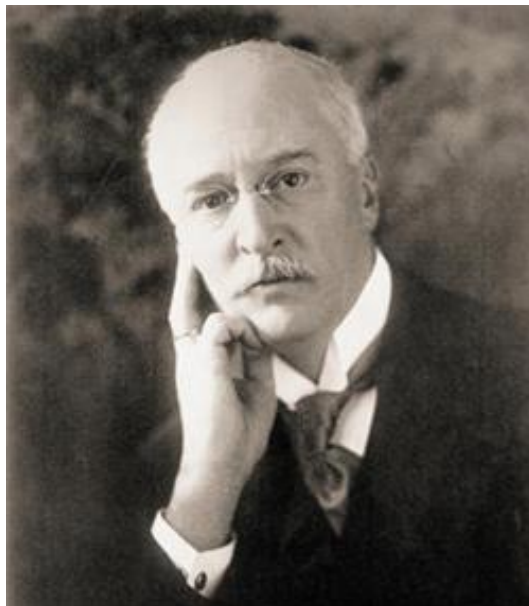
Το 1892 από τον Γερμανό μηχανικό Ρούντολφ Ντήζελ (Rudolf Diesel 1858-1913)ανακοινώθηκε ως ευρεσιτεχνία το έτος 1892 ο ομώνυμος κινητήρας και μελετήθηκε στα έτη 1893-1897 με χρηματική υποστήριξη της εταιρίας Friedrich Krupp AG. Σύμφωνα με αυτόν, η καύση μπορούσε να αρχίσει εγχύοντας υγρό καύσιμο σε αέρα ο οποίος θερμαινόταν συμπιεσμένος. Η μέθοδος αυτή επέτρεψε τον διπλασιασμό του βαθμού απόδοσης συγκριτικά με τις προϋπάρχουσες μηχανές εσωτερικής καύσης. Πολύ μεγαλύτεροι βαθμοί εκτόνωσης, χωρίς προβλήματα κρουστικής καύσης, ήταν πλέον εφικτοί. Χρειάστηκαν πέντε 11 χρόνια επίπονων προσπαθειών του Rudolf Diesel και των μηχανικών του εργοστασίου κατασκευής κινητήρων M.A.N στο Augsburg της Γερμανίας για την ανάπτυξη και τελειοποίηση του κινητήρα.

Οι καινοτομίες στην τεχνολογία των μηχανών εσωτερικής καύσης, λιγότερο θεμελιώδεις αλλά εξίσου σημαντικές στην διαρκώς διευρυνόμενη αγορά, συνεχίστηκαν και συνεχίζονται χωρίς διακοπή μέχρι σήμερα. Μια αξιοσημείωτη καινοτομία ήταν η ανάπτυξη περιστροφικών μηχανών εσωτερικής καύσης (δηλαδή κινητήρων χωρίς παλινδρομούσες μάζες).

Ο λόγος που ώθησε τους ερευνητές προς αυτή την κατεύθυνση είναι προφανής. Μειωμένες παλινδρομικές μάζες ή παντελής έλλειψη αυτών έχει σαν συνέπεια σημαντική μείωση των ταλαντώσεων και των απαιτήσεων για ζυγοστάθμιση. Παρόλο που μια μεγάλη ποικιλία πειραματικών περιστροφικών μηχανών εσωτερικής καύσης προτάθηκαν μέχρι σήμερα, ο πρώτος πρακτικά εκμεταλλεύσιμος κινητήρας, ο κινητήρας Wankel (από το όνομα του Γερμανού μηχανικού Felix Wankel, δοκιμάστηκε επιτυχώς το 1957.

Είναι αυτονόητο ότι η εξέλιξη και ανάπτυξη των μηχανών εσωτερικής καύσης επηρεάστηκε από την αντίστοιχη εξέλιξη στον τομέα της ποιότητας, κόστους και διαθεσιμότητας των

καυσίμων. Οι αρχικές μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή μηχανικού έργου έκαιγαν φυσικό αέριο. Η βενζίνη και τα ελαφρύτερα κλάσματα του πετρελαίου άρχισαν να διατίθενται στο τέλος του 19ου αιώνα.



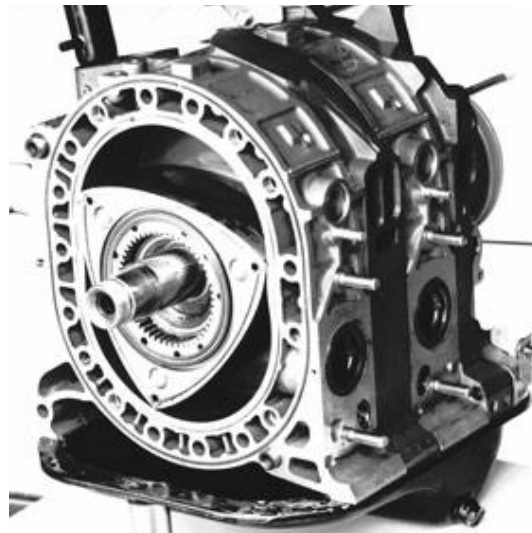
*Εικόνα 4 Γερμανός εφευρέτης Ρούντολφ Ντίζελ πατένταρε την πρώτη του απόπειρα να κατασκευάσει έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης που να μη χρειάζεται σπινθήρα για την ανάφλεξη του καυσίμου.*

Την ίδια εποχή άρχισαν να αναπτύσσονται οι διάφοροι τύποι εξαεριωτών (καρμπυρατέρ) για την εξάτμιση της βενζίνης και την ανάμιξη της με αέρα. Μέχρι το 1905 γενικεύθηκε η χρήση της βενζίνης ως βασικού καυσίμου των μηχανών εσωτερικής καύσης. Παρόλο που ο βαθμός συμπίεσης ήταν αρκετά χαμηλός προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα κρουστικής καύσης, το υψηλά πτητικό καύσιμο (βενζίνη) διευκόλυνε την έναρξη της καύσης και εξασφάλιζε υψηλούς βαθμούς απόδοσης. Η αυξημένη ζήτηση βενζίνης είχε σαν συνέπεια αύξηση της τιμής της.

Άμεση συνέπεια αυτών ήταν η εντατικοποίηση των προσπαθειών για την βελτίωση των μεθόδων παραγωγής και διάθεσης της βενζίνης. Ο William Burton (1865-1954) και οι συνεργάτες του στην Standard Oil στην Indiana των Ηνωμένων Πολιτειών, ανέπτυξαν μια θερμική διεργασία (θερμική πυρόλυση) κατά την οποία τα βαρύτερα κλάσματα του πετρελαίου θερμαινόμενα υπό πίεση αποσυντίθενται σε λιγότερο σύνθετα και περισσότερο πτητικά συστατικά. Οι σχετικά μεγάλες ποσότητες καυσίμων που προέρχονταν από αυτή την θερμική διεργασία ικανοποίησαν την ζήτηση, αλλά το υψηλότερο σημείο βρασμού τους δημιούργησε προβλήματα ψυχρής εκκίνησης. Οι ηλεκτρικοί εκκινητές που αναπτύχθηκαν το 1912 έλυσαν το πρόβλημα.

Η περίοδος που ακολούθησε τον 1<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο χαρακτηρίστηκε από μια αλματώδη πρόοδο στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το καύσιμο επηρεάζει την καύση, και κυρίως το φαινόμενο της κρουστικής καύσης. Από έρευνες που έγιναν στα εργαστήρια της General Motors διαπιστώθηκε ότι μικρές σχετικά ποσότητες τετρααιθυλιούχου μολύβδου προστιθέμενες στην βενζίνη περιορίζουν σημαντικά το φαινόμενο της κρουστικής καύσης.

Το 1923 άρχισε να διατίθεται στις Ηνωμένες Πολιτείες βελτιωμένη βενζίνη με τετρααιθυλιούχο μόλυβδο. Στη δεκαετία του 1930, ο Eugene Houdry ανακάλυψε ότι ατμοποιημένο πετρέλαιο, το οποίο διαβιβάζεται σε έναν «ενεργό καταλύτη» στους 450-480 °C, μετατρέπεται σε υψηλής ποιότητας βενζίνη. Οι ποσότητες βενζίνης που ήταν δυνατόν να παραχθούν με αυτή την μέθοδο ήταν πολύ μεγαλύτερες από αυτές που παράγονταν με την μέθοδο της θερμικής πυρόλυσης. Αυτές οι καινοτομίες και διάφορες άλλες που ακολούθησαν επέτρεψαν την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων καυσίμων με πολύ καλή συμπεριφορά σε κρουστική καύση. Έτσι έγινε δυνατή η σταδιακή αύξηση του βαθμού συμπίεσης των μηχανών εσωτερικής καύσης με άμεση συνέπεια την αύξηση του βαθμού απόδοσής τους και της παραγόμενης ισχύος.



*Εικόνα 5 Κινητήρας τύπου Wankel ο οποίος ανήκει στην κατηγορία περιστροφικών κινητήρων εσωτερικής καύσης.*

Τις τελευταίες δεκαετίες διάφοροι περιορισμοί και παράμετροι (που συστηματικά αγνοούνταν μέχρι τότε ή δεν λαμβάνονταν καθόλου υπ' όψιν) έγιναν ιδιαίτερα σημαντικοί και επηρέασαν σημαντικά τον σχεδιασμό, την κατασκευή, την λειτουργία και τις απαιτήσεις συντήρησης των μηχανών εσωτερικής καύσης. Οι παράγοντες αυτοί είναι το μερίδιο των μηχανών εσωτερικής καύσης (κυρίως των αυτοκινήτων) στην ατμοσφαιρική ρύπανση και η συνακόλουθη ανάγκη για σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμων.

## 1.2. Στοιχειώδη Μέρη

### 1.2.1. Διωστήρας

Ο διωστήρας αποκαλείται πολλές φορές και ως μπιέλα (connectingrod), βρίσκεται στο εσωτερικό του κινητήρα και συνδέει το έμβολο με το στροφαλοφόρο άξονα. Η

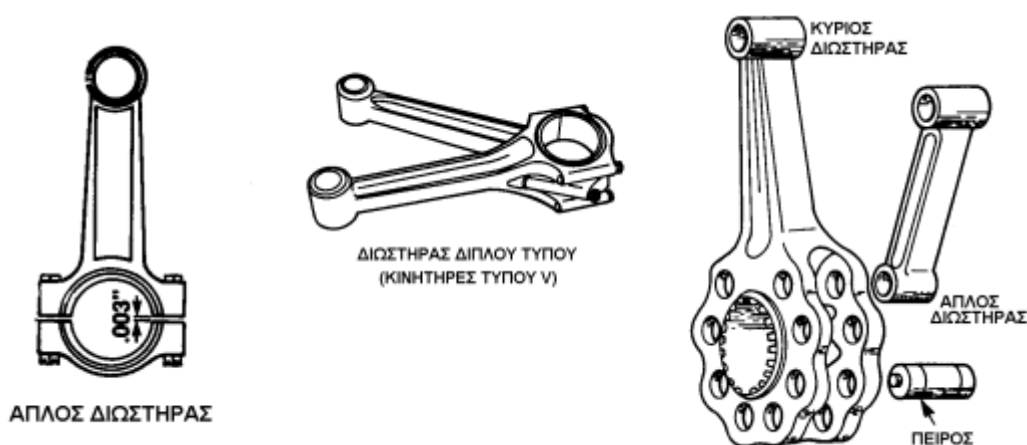
χρησιμότητά του είναι για τη μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης των εμβόλων σε περιστροφική.

Ουσιαστικά, ο διωστήρας είναι μία ευθύγραμμη ράβδος με πεπλατυσμένα τα δύο της άκρα και τέτοια διατομή, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη αντοχή με μικρό βάρος. Σε αρκετές περιπτώσεις, στο εσωτερικό του διωστήρα, υπάρχει εσωτερική οπή για τη μεταφορά του ελαίου για τη λίπανση του χιτωνίου και του άνω τμήματος του εμβόλου.



Εικόνα 6 Διωστήρας.

Ο διωστήρας καταπονείται σε εφελκυσμό, θλίψη και λυγισμό λόγω των δυνάμεων που μεταφέρονται από το έμβολο στον στροφαλοφόρο άξονα και αντίστροφα. Για την κατασκευή του χρησιμοποιείται κράμα σφυρήλατου χυτοχάλυβα ή για ελαφρύτερες κατασκευές κράματα αλουμινίου. Για την αποφυγή της φθοράς του διωστήρα στις αρθρώσεις με το κομβίο του στροφάλου και τον πείρο του εμβόλου, χρησιμοποιούνται έδρανα ολίσθησης.



Εικόνα 7 Τρεις βασικοί τύποι διωστήρων.

Οι διωστήρες διακρίνονται σε τρεις τύπους, τον απλό (plaintype), που είναι ίδιος για όλους τους κυλίνδρους του κινητήρα και φέρει διαιρετό έδρανο ολίσθησης. Συνήθως χρησιμοποιείται σε κινητήρες εν σειρά και αντίθετων εμβόλων. Ένας άλλος τύπος είναι ο διπλός (fork-and-blade), με διαιρετά μέρη που συνδέει δύο έμβολα στον ίδιο στρόφαλο. Χρησιμοποιείται σε κινητήρες τύπου V. Ο τρίτος τύπος είναι ο συνδυασμός κύριου και βοηθητικών διωστήρων (master and articulated) που χρησιμοποιείται, συνήθως, στους ακτινικούς κινητήρες. Το έμβολο ενός από τους κυλίνδρους σε κάθε σειρά συνδέεται με το στροφαλοφόρο άξονα μέσω ενός κύριου διωστήρα. Τα υπόλοιπα έμβολα της σειράς συνδέονται με τον κύριο διωστήρα μέσω ενός βοηθητικού. Για παράδειγμα, σε έναν κινητήρα με 18 κυλίνδρους που είναι διατεταγμένοι σε δύο σειρές, υπάρχουν δύο κύριοι διωστήρες και 16 βοηθητικοί. Η διατομή των βοηθητικών διωστήρων έχει, συνήθως, σχήμα I ή H.

### 1.2.2. Έμβολο

Το έμβολο ή διαφορετικά το πιστόνι εκτελεί παλινδρομική κίνηση μεταξύ δύο ακραίων σημείων (ΑΝΣ και ΚΝΣ) μέσα στον κύλινδρο. Έτσι με τον τρόπο αυτό μεταφέρεται στο στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα, μέσω του διωστήρα, η δύναμη των καυσαερίων, που παράγονται από την καύση του μείγματος αέρα – καυσίμου καθώς εκτονώνονται. Με άλλα λόγια, το έμβολο ενεργεί ως κινούμενο τοίχωμα μέσα στο θάλαμο καύσης. Το σχήμα του είναι κυλινδρικό με την άνω επιφάνειά του να είναι επίπεδη, κοίλη ή κυρτή, ανάλογα με κάποια ιδιαίτερα λειτουργικά χαρακτηριστικά του.



Εικόνα 8 Έμβολο κινητήρα, όπου διακρίνονται οι εγκοπές των ελατηρίων και η οπή του πείρου.

Στο κάτω εσωτερικό τμήμα του εμβόλου εδράζεται ο πείρος με τον οποίο συνδέεται ο διωστήρας. Τα πλευρικά τοιχώματα του εμβόλου έχουν κατάλληλες υποδοχές για την τοποθέτηση των ελατηρίων συμπίεσης και λίπανσης, τη χρησιμότητα των οποίων θα εξετάσουμε παρακάτω. Στο εσωτερικό τμήμα του εμβόλου κυκλοφορεί, μέσω ειδικών διόδων, λάδι ή νερό για την κατάλληλη ψύξη του. Στις περισσότερες περιπτώσεις το λάδι ψύξης κυκλοφορεί μέσω του διωστήρα. Μετά την κυκλοφορία του στο έμβολο, χύνεται στην ελαιολεκάνη ή επιστρέφει μέσω των ειδικών διόδων στο δίκτυο λίπανσης.



*Εικόνα 9* Έμβολο κινητήρα με ελατήρια.

Το έμβολο φέρει ειδικές εγκοπές στην περιφέρειά του. Εκεί τοποθετούνται τα ελατήρια του εμβόλου, τα οποία έχουν σχήμα κυκλικού δακτυλίου διακοπτόμενο σε ένα σημείο. Όταν είναι συμπιεσμένα μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου, η εξωτερική τους διάμετρος είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του εμβόλου. Για το λόγο αυτό, μεταξύ του εμβόλου και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου υπάρχει ένα διάκενο. Η προσαρμογή των ελατηρίων στο έμβολο εξασφαλίζεται από την τάση που έχουν εκ κατασκευής να εκταθούν. Φυσικά, οι κατασκευαστές λαμβάνουν υπόψη τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας των ελατηρίων και εξασφαλίζουν ανοχές για την τοποθέτησή τους, τόσο στις εγκοπές του εμβόλου όσο και μεταξύ των άκρων τους.



*Εικόνα 10* Ελατήρια εμβόλου για την καλύτερη στεγανοποίηση του χώρου καύσης και του χώρου λίπανσης.

Τα ελατήρια διακρίνονται σε ελατήρια συμπίεσης και ελατήρια λαδιού. Τα πρώτα αποκλείουν τη διόδο των καυσαερίων προς το κάτω τμήμα του εμβόλου και το στροφαλοθάλαμο. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζουν τη διατήρηση της συμπίεσης του κυλίνδρου, ενώ αποκλείεται και η αλλοίωση του λαδιού λίπανσης από τα καυσαέρια.

Παράλληλα, κατά τη μετακίνησή τους, έρχονται σε επαφή με τα τοιχώματα του κυλίνδρου και έτσι, μεταφέρουν τη θερμότητα που αναπτύσσεται σε αυτά. Τα ελατήρια λαδιού εξασφαλίζουν τη στεγανότητα του θαλάμου καύσης από το λάδι λίπανσης που εκτινάσσεται από το στροφαλοθάλαμο ή κυκλοφορεί μέσω οπών του εμβόλου. Επίσης, ελέγχουν την ποσότητα του λαδιού αυτού.

Στους αεροπορικούς κινητήρες, τα ελατήρια συμπίεσης είναι συνήθως 3 ενώ τα ελατήρια λαδιού από 1 έως 3. Τα ελατήρια συμπίεσης βρίσκονται πάντοτε τοποθετημένα πάνω από τα ελατήρια λαδιού. Από τα τελευταία, ένα συνήθως τοποθετείται στο κατώτερο άκρο του εμβόλου με σκοπό τη συγκέντρωση της περίσσειας λαδιού και τη διοχέτευση του, μέσω των οπών των εγκοπών του άλλου ή των άλλων ελατηρίων λαδιού, στο στροφαλοθάλαμο. Τονίζεται ότι τα ελατήρια τοποθετούνται με τις εγκοπές τους σε αντιδιαμετρική θέση διαδοχικά, ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα διαδοχικής διαφυγής καυσαερίων ή λαδιού μεταξύ τους.

Η περιοχή των ελατηρίων που βρίσκεται αντιδιαμετρικά της εγκοπής τους υφίσταται ιδιαίτερη κατεργασία κατά την κατασκευή λόγω των υψηλών καταπονήσεων που δέχεται κατά την αφαίρεση και την τοποθέτησή τους. Συνήθως, τα ελατήρια των αεροπορικών κινητήρων είναι κατασκευασμένα από κράματα χυτοχάλυβα με περιεκτικότητα σε αλουμίνιο, χρώμιο και μολυβένιο με υψηλές αντοχές σε εφελκυσμό. Το υλικό κατασκευής τους πρέπει να είναι πάντα πιο μαλακό από αυτό των χιτωνίων των κυλίνδρων, ώστε η φθορά που θα προέλθει από την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο στοιχείων, να επηρεάζει τα ελατήρια. Επίσης, φθορά παρουσιάζεται στην ένωση των άκρων τους και στα τοιχώματα των εγκοπών τους και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ανοχών τους. Γενικά, οι φθορές αυτές, όταν ξεπεράσουν ένα προκαθορισμένο από τον κατασκευαστή όριο, επιφέρουν απώλεια στη συμπίεση του κινητήρα.

Ο πείρος του εμβόλου έχει κυλινδρικό σχήμα, και προσαρμόζεται με δύο βύσματα από μαλακό κράμα αλουμινίου σε αντίστοιχες κυλινδρικές οπές στα τοιχώματα του εμβόλου και συνδέεται με το διωστήρα. Ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, ο πείρος εμφανίζεται σε διάφορες κατασκευαστικές εκδοχές (εσωτερική διπλή κωνικότητα, κοίλος, συμπαγής κλπ). Η μέγιστη καταπόνησή του πραγματοποιείται κατά τη φάση της εκτόνωσης του κινητήρα, οπότε και μεταφέρεται (μέσω αυτού προς το διωστήρα) η δύναμη που παράγεται από την καύση του μείγματος αέρα καυσίμου. Βέβαια, και κατά τη διάρκεια των άλλων φάσεων ο πείρος υφίσταται καταπονήσεις, αλλά σε μικρότερη ένταση. Το υλικό κατασκευής των πείρων είναι συνήθως κράμα αλουμινίου με περιεκτικότητα σε χρώμιο, μολυβδένιο και βανάδιο, το οποίο παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε εφελκυστικά φορτία.



Εικόνα 11 Πείρος εμβόλου για την ένωση του εμβόλου με τον διωστήρα.

Τα έμβολα σε κάποιες εφαρμογές κατασκευάζονται από κατάλληλα κράματα αλουμινίου. Ενώ, σε άλλους κινητήρες κατασκευάζονται και από χυτοσίδηρο ή χυτοχάλυβα. Το άνω τμήμα του εμβόλου καταπονείται σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτόν, το άνω τμήμα φέρει τοιχώματα μεγαλύτερου πάχους από το πλευρικό τμήμα. Επίσης, στο άνω τμήμα δίνεται μία ελαφριά κωνικότητα ως επί το πλείστον στα έμβολα των μεγάλων κινητήρων ξηράς και θάλασσας.

Οι φθορές παρουσιάζονται συχνότερα στο άνω τμήμα του εμβόλου και οφείλονται σε υπερθέρμανση, κακή ποιότητα καυσίμου (η οποία μπορεί να επιφέρει και τη δημιουργία στρώματος καταλοίπων στην άνω επιφάνεια) και μη κανονική ψύξη. Έχουν τη μορφή οξειδώσεων, διαβρώσεων ακόμη και ρωγμών που μπορούν να φτάσουν μέχρι τη θραύση.

### 1.2.3. Κύλινδροι – Κεφαλές κυλίνδρων

Ο κύλινδρος είναι ο χώρος του κινητήρα όπου παράγεται η ισχύς, και σχηματίζει το θάλαμο όπου πραγματοποιείται η καύση του μείγματος και η εκτόνωση των καυσαερίων. Σε αυτόν, λειτουργεί το σύστημα εμβόλου και διωστήρα, στηρίζονται οι βαλβίδες, και ένα τμήμα του μηχανισμού κίνησής τους, καθώς και οι σπινθηριστές (μπουζί).

Το υλικό κατασκευής του πρέπει να παρουσιάζει μεγάλη αντοχή ως προς τις εσωτερικές πιέσεις που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα και να είναι ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες και σε διάβρωση. Το υλικό κατασκευής πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ, με δεδομένη την αντοχή του, ώστε να μην αυξάνεται υπέρμετρα το βάρος του κινητήρα. Το υλικό κατασκευής πρέπει να έχει καλή συμπεριφορά όσον αφορά τη μετάδοση θερμότητας, για να εξασφαλίζεται η αποδοτική ψύξη του κυλίνδρου. Η σχεδίασή του πρέπει να είναι, όσο γίνεται, απλή και οικονομική για λόγους κατασκευής, επιθεώρησης και επισκευής.



Οι κύλινδροι των αερόψυκτων εμβολοφόρων κινητήρων αποτελούνται από δύο βασικά μέρη: την κεφαλή (cylinderhead) και το σώμα (cylinderbarrel) μέσα στο οποίο βρίσκεται στο χιτώνιο (skirt). Η κεφαλή του κυλίνδρου (ή κυλινδροκεφαλή) κατασκευάζεται ξεχωριστά για κάθε κύλινδρο στους αερόψυκτους κινητήρες ή ως ένα σώμα (μονομπλόκ) για όλους τους κυλίνδρους στους υγρόψυκτους κινητήρες. Κατά τη συναρμολόγηση, η κεφαλή θερμαίνεται και το σώμα ψύχεται, οπότε επιτυγχάνεται η καλή συναρμογή τους, εντός των ορίων συγκεκριμένων κατασκευαστικών ανοχών.

Σε μεμονωμένες περιπτώσεις, κατασκευάζονται κύλινδροι μονομπλόκ, οπότε το σώμα και το χιτώνιο ταυτίζονται. Η κεφαλή του κυλίνδρου σχηματίζει, μαζί με τα τοιχώματά του σώματος και του χιτωνίου, το θάλαμο καύσης. Επιπρόσθετα, συνεισφέρει στο βέλτιστο τρόπο απαγωγής θερμότητας από αυτόν. Συνήθως, για την κατασκευή της κεφαλής και του σώματος χρησιμοποιούνται κράματα αλουμινίου με χαλκό, ψευδάργυρο και κασσίτερο. Χυτεύονται εύκολα και έχουν καλή μηχανική συμπεριφορά κατά τη μηχανουργική κατεργασία, είναι ελαφριά ενώ παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στο διαβρωτικό περιβάλλον καύσης που δημιουργείται από τις ενώσεις του μολύβδου.

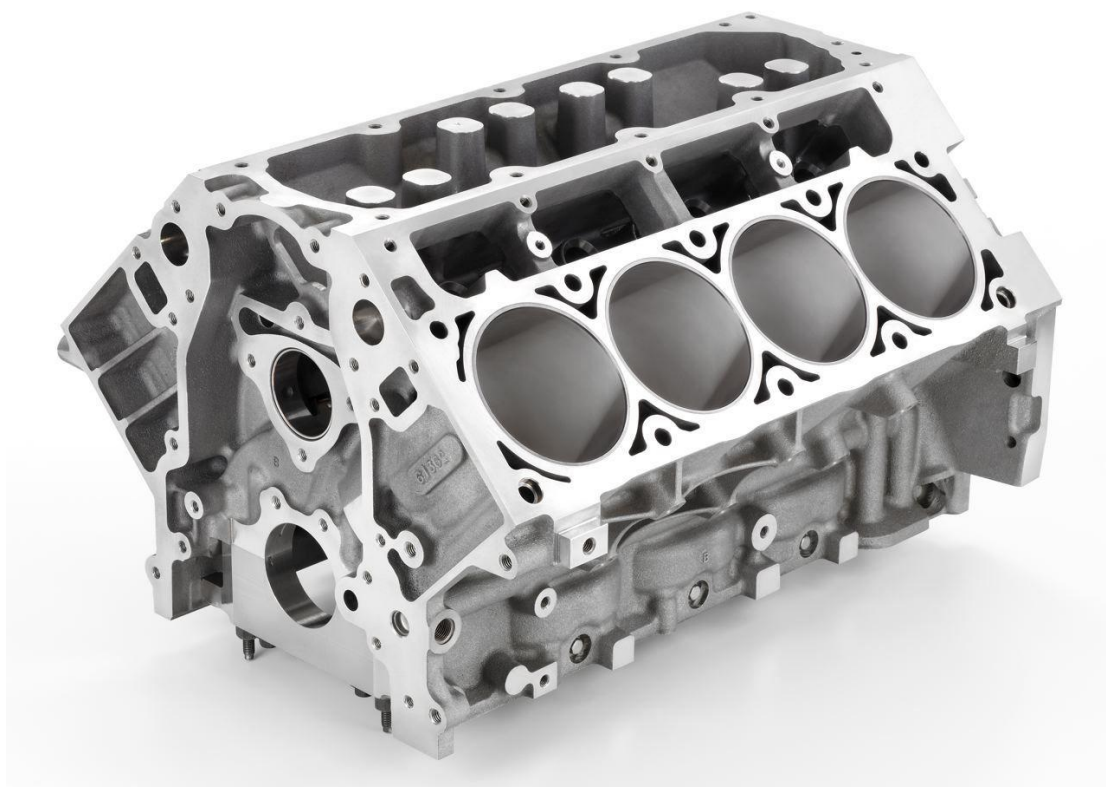


Εικόνα 12Κυλινδροκεφαλή.

Η στήριξη της κεφαλής επιτυγχάνεται είτε με κοχλίες πάνω στον κύλινδρο κατ' ευθείαν, είτε επί του σώματος του κινητήρα με προτεταμένες βίδες ή μπουζόνια και με την απολύτως προδιαγεγραμμένη από τον κατασκευαστή ροπή σύσφιξης. Στην περιφέρεια της επαφής της κεφαλής και του κυλίνδρου τοποθετείται ειδικό παρέμβυσμα (φλάντζα).

Αυτό έχει σκοπό την καλή στεγανοποίηση της σύνδεσης, την αποφυγή διαρροής καυσαερίων από το θάλαμο καύσης και την αποφυγή αναρρόφησης ψυκτικού προς τους κυλίνδρους. Το παρέμβυσμα αυτό είναι κατασκευασμένο από υλικά ανθεκτικά στη θερμοκρασία και μεταλλικά στοιχεία που εξασφαλίζουν απόλυτη στεγανότητα. Η κεφαλή και το σώμα των αερόψυκτων κινητήρων φέρουν στο εξωτερικό τους μία σειρά από πτερύγια (coolingfins). Αυτά έχουν ως σκοπό να αυξήσουν την επιφάνεια απαγωγής της θερμότητας από τον κύλινδρο, να επιτευχθεί καλύτερη ροή του αέρα και, τελικά, πιο αποτελεσματική ψύξη.

Οι αερόψυκτοι κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε αεροσκάφη για να εκμεταλλεύονται το ρεύμα του αέρα που δημιουργείται από την κίνηση. Για την καλύτερη ψύξη τα πτερύγια έχουν μειωμένο πάχος και αυξημένο μήκος. Λόγω της διαφορετικής κατανομής της θερμοκρασίας στις επιφάνειες του κυλίνδρου, η επιφάνεια των πτερυγίων μεταβάλλεται στα διάφορα σημεία του. Στο τμήμα της κεφαλής τριγύρω από τη βαλβίδα εξαγωγής παρουσιάζεται η μέγιστη επιφάνεια τους (στο εσωτερικό της περιοχής αυτής αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες κατά τη λειτουργία του κινητήρα. Τα πτερύγια ψύξης του σώματος μπορούν να είναι αποσπώμενα ή όχι, ανάλογα με το συγκεκριμένο κινητήρα.



*Εικόνα 13Μπλόκ κινητήρα.*

Τα χιτώνια τοποθετούνται στο εσωτερικό τμήμα του σώματος και αποτελούν, ουσιαστικά, τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης. Πρέπει να είναι ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την καύση, ενώ υψηλή πρέπει να είναι και η αντοχή τους στις μηχανικές καταπονήσεις. Συνήθως για την κατασκευή των χιτωνίων χρησιμοποιείται σκληρός χυτοσίδηρος, χυτοσίδηρος με περιεκτικότητα σε νικέλιο ή

χρώμιο, ή νικελιοχάλυβας. Η εσωτερική επιφάνεια υπόκειται σε επιφανειακή σκλήρυνση ή επιχρωμίωση ώστε να αποκτήσει αντοχή στις προαναφερόμενες καταπονήσεις.

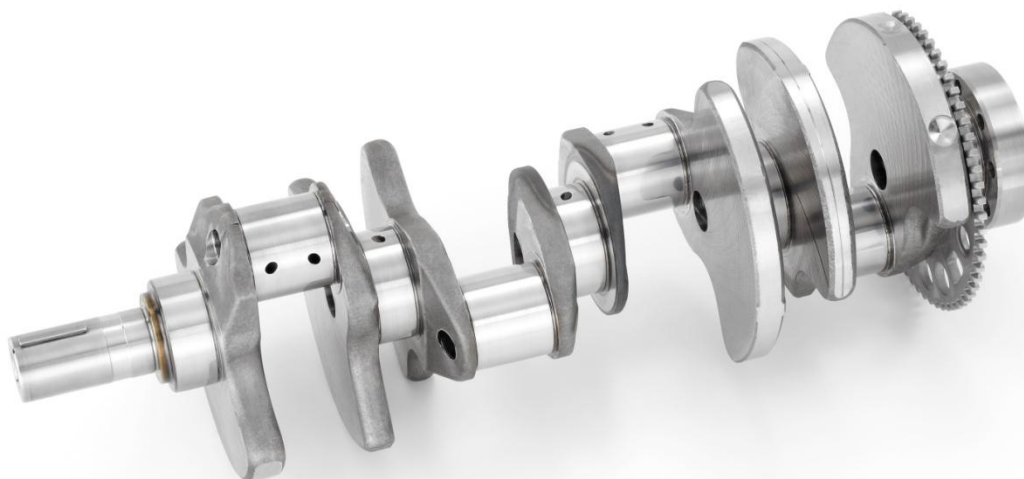
Στην περίπτωση του υγρόψυκτου κινητήρα, στο εσωτερικό του κυλίνδρου - μεταξύ στροφαλοθαλάμου και χιτωνίου - υπάρχουν θάλαμοι κυκλοφορίας του υγρού ψύξης. Οι φθορές που παρουσιάζονται στον κύλινδρο ή τα χιτωνιά του χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Τα χιτωνία υπόκεινται στις τριβές των ελατηρίων του εμβόλου και στη διαβρωτική δράση του λαδιού λίπανσης, του καυσίμου και των καυσαερίων.

Οι συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα επιφέρουν καταπονήσεις από υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Οι καταπονήσεις αυτές είναι μεγαλύτερες στο άνω τμήμα των χιτωνίων. Για το λόγο αυτό, σε αρκετές περιπτώσεις, το τμήμα αυτό κατασκευάζεται με μεγαλύτερο πάχος τοιχώματος. Επίσης, μία σοβαρή αιτία καταπονήσεων των χιτωνίων αποτελεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εσωτερικής πλευράς τους, η οποία έρχεται σε άμεση επαφή με τα προϊόντα της καύσης και της εξωτερικής πλευράς που ψύχεται. Το αποτέλεσμα της διαφοράς αυτής είναι η δημιουργία εσωτερικών τάσεων οι οποίες μπορούν να επιφέρουν ρωγμές στο υλικό του χιτωνίου. Ακόμη, οι παραπάνω καταπονήσεις δημιουργούν την κωνικότητα, η οποία αποτελεί αλλοίωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κυλίνδρου. Τέλος, μία συνηθισμένη, όσο και σοβαρή, καταπόνηση των χιτωνίων προέρχεται από τις πλευρικές δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου και έχει τη μορφή της ανομοιόμορφης (ελλειψοειδούς) φθοράς. Η φθορά αυτή είναι γνωστή με την ονομασία οβάλ και διαπιστώνεται (μέτρηση οβαλότητας) με την τοποθέτηση ενός μικρόμετρου παράλληλα και κάθετα στον στροφαλοφόρο άξονα

#### 1.2.4. Στροφαλοφόρος άξονας

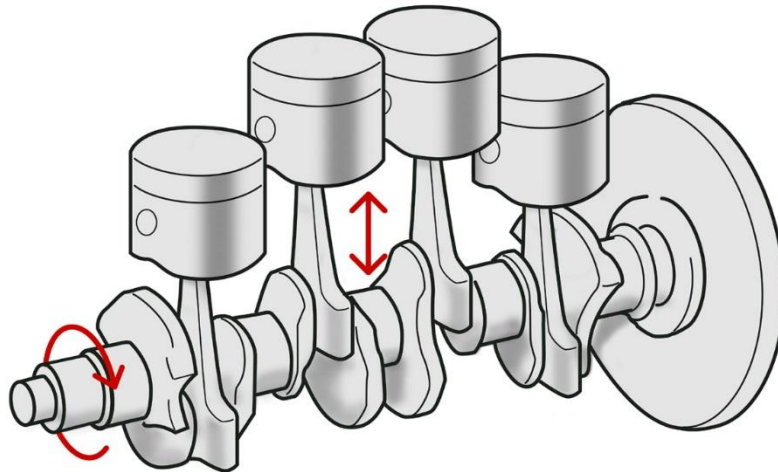
Ο ρόλος του στροφαλοφόρου άξονα (crankshaft) είναι να μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση που πραγματοποιεί το έμβολο και ο διωστήρας σε περιστροφική. Γενικά, ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελείται από στρόφαλους (cranks) τοποθετημένους σε συγκεκριμένα σημεία μεταξύ των δύο άκρων του άξονα. Οι στρόφαλοι δημιουργούνται αρχικά με την εν θερμώ σφυρηλάτηση του άξονα που μόλις έχει χυτευθεί. Η τελική μορφή των στρόφαλων επιτυγχάνεται με κατάλληλη μηχανουργική κατεργασία. Εναλλακτικά ο

στροφαλοφόρος άξονας μπορεί να κατασκευαστεί με τη συναρμογή χυτοπρεσαριστών στροφάλων με κομβία.



*Εικόνα 14 Ο στροφαλοφόρος άξονας όπου διακρίνονται τα αντίθαρα και τα σημεία σύνδεσης των διωστήρων.*

Ο στροφαλοφόρος άξονας φέρει τα κύρια κινητά μέρη του κινητήρα ενώ δίνει κίνηση σε διάφορα βοηθητικά συστήματα όπως αντλίες καυσίμου και λαδιού, γεννήτρια ρεύματος. Χαρακτηρίζεται, λοιπόν, ως η ραχοκοκαλιά του κινητήρα, υπόκειται σε όλες σχεδόν τις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την κίνηση των εμβόλων και για το λόγο αυτό επιβάλλεται η στιβαρή και πολύ ανθεκτική κατασκευή του. Αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση κάποιων ιδιαίτερα ανθεκτικών κραμάτων χάλυβα όπως το SAE 4340, κράμα χάλυβα – χρωμίου – νικελίου - μολυβδενίου.



Εικόνα 15 Περιγραφή της διάταξης στροφαλοφόρου άξονα και εμβόλων, για την μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική.

Το κύριο σώμα είναι το τμήμα του στροφαλοφόρου άξονα το οποίο υποστηρίζεται από ένα κύριο έδρανο. Αποτελεί το κέντρο της περιστροφής του άξονα και διατηρεί τη σωστή ευθυγράμμιση του όταν αυτός λειτουργεί υπό κανονικές συνθήκες. Το κύριο σώμα υπόκειται σε επιφανειακή κατεργασία σκλήρυνσης κατά την κατασκευή του (βάθους 0.015 έως 0.025 ίντσες) ώστε να παρουσιάζει αντοχή σε φθορά. Στους αεροπορικούς κινητήρες ο στροφαλοφόρος άξονας φέρει δύο ή και παραπάνω κύρια σώματα για να ανταπεξέρχεται στο βάρος και τα λειτουργικά φορτία των περιστρεφόμενων και παλινδρομούντων τμημάτων του κινητήρα. Το κομβίο φέρει το διωστήρα και είναι έκκεντρα τοποθετημένο ως προς το κύριο σώμα του άξονα. Το κομβίο είναι κατά κύριο λόγο κούφιο ώστε (α) να μειωθεί το βάρος του άξονα, (β) να υπάρξει διόδος λαδιού για τη λίπανση του άξονα και (γ) να χρησιμοποιείται ως θάλαμος συλλογής διάφορων επικαθήσεων και ξένων σωματιδίων. Ο βραχίονας είναι το τμήμα του άξονα που συνδέει το κομβίο με το κύριο σώμα του και για το λόγο αυτό η κατασκευή του πρέπει να είναι πολύ ανθεκτική. Σε πολλούς αεροπορικούς κινητήρες ο βραχίονας διαπερνά το κύριο σώμα και συνδέεται με αντίβαρο με σκοπό την καλή ζυγοστάθμιση του άξονα. Συνήθως, οι βραχίονες φέρουν διόδους λαδιού ώστε να επιτυγχάνεται η κυκλοφορία λαδιού λίπανσης από το κύριο σώμα στο κομβίο του στροφαλοφόρου άξονα.

Τα αντίβαρα παρέχουν στατική ισορροπία στον άξονα. Βέβαια, στην περίπτωση που ο τελευταίος φέρει περισσότερα από δύο κομβία, δεν απαιτείται πάντοτε η χρήση αντιβάρων. Και αυτό γιατί όταν τα κομβία τοποθετούνται σε θέση συμμετρικά αντίθετη μεταξύ τους, μπορούν να φέρουν τον άξονα σε κατάσταση στατικής ισορροπίας, χωρίς την τοποθέτηση αντιβάρων. Από την άλλη πλευρά, ένας στροφαλοφόρος άξονας που φέρει ένα μόνο κομβίο – όπως αυτός που χρησιμοποιείται σε αστεροειδή κινητήρα – πρέπει να συνοδεύεται από τα κατάλληλα αντίβαρα τα οποία θα υπερκεράσουν το βάρος του κομβίου που είναι συνδεδεμένο με το διωστήρα και το έμβολο.



Εικόνα 16 Στροφαλοφόρος άξονας με τοποθετημένα τα εμβόλα.

Οι δυναμικοί αποσβεστήρες εξουδετερώνουν τις φυγοκεντρικές δυνάμεις και τις ταλαντώσεις που προέρχονται από την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Έχει υπολογιστεί ότι η δύναμη που ασκείται από το έμβολο του κινητήρα στο κομβίο του άξονα στην αρχή του 3 ου χρόνου ενός τετράχρονου κινητήρα είναι από 35 kN έως 45 kN. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα η δύναμη αυτή εφαρμόζεται ανά τακτά διαστήματα στο ή στα κομβία. Αν η συχνότητα της δύναμης είναι τέτοια ώστε, να πλησιάσει την ιδιοσυχνότητα του στροφαλοφόρου άξονα ως μονάδα, τότε το αποτέλεσμα θα είναι μία ταλάντωση πολύ μεγάλου βαθμού και επικινδυνότητας. Οι δυναμικοί αποσβεστήρες, τοποθετημένοι σε μικρές, κατάλληλες οπές (συνήθως στα αντίβαρα), μετακινούνται σε κατεύθυνση τέτοια και με ανάλογη συχνότητα, ώστε να επιτυγχάνουν την μείωση της έντασης της ταλάντωσης αυτής.

#### 1.2.5. Εκκεντροφόρος Άξονας

Ο εκκεντροφόρος άξονας (camshaft) κινείται από το στροφαλοφόρο άξονα με τη συνεργασία οδοντωτών τροχών και εξυπηρετεί στο άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Ο εκκεντροφόρος άξονας φέρει τα έκκεντρα (κνώδακες, cams), κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία βαλβίδα. Το σχήμα του λοβού και των πλευρών του έκκεντρου καθορίζει την ταχύτητα ανοίγματος και κλεισίματος της βαλβίδας καθώς και τη διάρκεια ανοίγματός της.

Μεταξύ του έκκεντρου και της βαλβίδας παρεμβάλλονται η ανυψωτική ράβδος (tappet), η ωστήρια ράβδος (pushrod) και ο ζυγός ή κοκοράκι (rockerarm). Σε κάποιους κινητήρες, ο εκκεντροφόρος άξονας τοποθετείται σε σημείο υψηλότερο από τις βαλβίδες (εκκεντροφόρος επί κεφαλής) οπότε η μετάδοση της κίνησης γίνεται απ' ευθείας. Στην

περίπτωση αυτήν, η μετάδοση της κίνησης από το στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο άξονα επιτυγχάνεται με αλυσίδα. Σημειώνεται ότι οι κατασκευαστές δίνουν ιδιαίτερη σημασία στη μετάδοση της κίνησης από το στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο άξονα - είτε επιτυγχάνεται απ' ευθείας με σύστημα οδοντωτών τροχών είτε με την προσαρμογή αλυσίδας - διότι από αυτήν εξαρτάται η ορθή ρύθμιση της λειτουργίας του κινητήρα.



*Εικόνα 17 Εκκεντροφόρος άξονα όπου διακρίνονται τα έκκεντρα για την λειτουργία των βαλβίδων.*

Ανάλογα με το είδος του κινητήρα, μπορούν να υπάρχουν δύο εκκεντροφόροι άξονες. Στους τετράχρονους βενζινοκινητήρες η σχέση της ταχύτητας περιστροφής του εκκεντροφόρου άξονα ως προς αυτήν του στροφαλοφόρου είναι πάντα 1:2, ώστε ο πρώτος να περιστρέφεται με τις μισές στροφές του κινητήρα. Έτσι, σε δύο περιστροφές - που αποτελούν ένα θερμοδυναμικό κύκλο - κάθε βαλβίδα θα ανοίγει μία φορά. Στους δίχρονους κινητήρες - όταν χρησιμοποιείται εκκεντροφόρος - η παραπάνω σχέση περιστροφής είναι 1:1.

Το σύνηθες υλικό για την κατασκευή των εκκεντροφόρων αξόνων είναι ο σφυρήλατος χάλυβας. Από το ίδιο υλικό κατασκευάζονται η ανυψωτική και η ωστήρια ράβδος ενώ ο ζυγός κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα. Τα έκκεντρα, ιδιαίτερα, υφίστανται επιφανειακή σκλήρυνση ώστε να αποκτήσουν ιδιαίτερη αντοχή στις συνεχείς κρούσεις τους επί των ωστήριων ράβδων. Σε μεγάλους κινητήρες τα έκκεντρα κατασκευάζονται χωριστά και στη συνέχεια προσαρμόζονται στους εκκεντροφόρους.

Οι αστεροειδείς κινητήρες των αεροσκαφών παρουσιάζουν μία κατασκευαστική ιδιαιτερότητα. Για κάθε σειρά κυλίνδρων έχουν μία εκκεντροφόρο πλάκα, αντί του εκκεντροφόρου άξονα. Η πλάκα αυτή είναι, ουσιαστικά, ένας δίσκος που στρέφεται στον ίδιο νοητό άξονα με το στροφαλοφόρο (χρησιμοποιώντας σύστημα μείωσης των στροφών) και η περιφέρειά του φέρει δύο σειρές λοβών, μία για την κίνηση των βαλβίδων εισαγωγής και μία για την κίνηση των βαλβίδων εξαγωγής. Στους κινητήρες που φέρουν μία σειρά κυλίνδρων, η πλάκα βρίσκεται μεταξύ του εμπρόσθιου μέρους του κινητήρα και του συστήματος μείωσης των στροφών του έλικα. Όταν υπάρχει και δεύτερη σειρά κυλίνδρων, η πλάκα τοποθετείται μεταξύ του οπίσθιου μέρους του κινητήρα και του υπερσυμπιεστή.

Μεταξύ της ουράς της βαλβίδας και του επόμενου εξαρτήματος στην κινηματική αλυσίδα (ζυγός ή ωστήρια ράβδος) υπάρχει το χαρακτηριστικό διάκενο των βαλβίδων. Η ρύθμισή του πραγματοποιείται από κοχλία που βρίσκεται στο άκρο της ωστήριας ράβδου. Στην περίπτωση που, κατά τη λειτουργία του κινητήρα, το διάκενο είναι μικρότερο από τα προβλεπόμενα στις κατασκευαστικές προδιαγραφές, η βαλβίδα διατηρείται σε ελαφρά ανοικτή θέση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαφυγή καυσαερίων από το θάλαμο και την μείωση της συμπίεσής του, καθώς επίσης και την καταστροφή του στελέχους και του ελατηρίου της βαλβίδας από τη μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη επαφή τους με τα θερμά καυσαέρια.

Αντίθετα, στην περίπτωση που το διάκενο είναι μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο, η βαλβίδα δεν ανοίγει αρκετά και δεν παρέχεται αρκετό άνοιγμα για την εύκολη δίοδο του μείγματος αέρα - καυσίμου. Τότε, υπάρχει μειωμένη πλήρωση των κυλίνδρων με αποτέλεσμα την επίτευξη χαμηλότερης ισχύος. Ακόμη, παρατηρείται μεγαλύτερη καταπόνηση της βαλβίδας λόγω των μεγαλύτερων επιταχύνσεων του μείγματος που επιφέρουν και αύξηση του θορύβου.

#### 1.2.6. Βαλβίδες

Οι βαλβίδες (valves) με το περιοδικό τους άνοιγμα και κλείσιμο επιτυγχάνεται η εισαγωγή του μείγματος αέρα - καυσίμου στο θάλαμο καύσης και η εξαγωγή των καυσαερίων. Οι σπές που επιτρέπουν τις διεργασίες αυτές βρίσκονται πάνω στην κεφαλή του κυλίνδρου. Ο αριθμός των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής σε κάθε κύλινδρο εξαρτάται από το σχεδιασμό του κάθε κινητήρα.

Μία βαλβίδα αποτελείται από ένα επίμηκες κυλινδρικό στέλεχος το οποίο παλινδρομεί μέσα σε σταθερό οδηγό και φέρει λεπτή και πλατιά κεφαλή στο ένα άκρο του. Το ελατήριο που την περιβάλλει είναι αυτό που την κρατά στην κλειστή θέση. Το ελατήριο στηρίζεται στο ένα του άκρο επάνω σε σταθερό σημείο του κινητήρα, ενώ στο άλλο άκρο του ασφαλίζεται σε εγκοπή που φέρει το στέλεχος της βαλβίδας. Η βαλβίδα ανοίγει με την ώθηση του ωστήρα ο οποίος παίρνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα. Οι βαλβίδες ανοίγουν πάντα προς το εσωτερικό του κυλίνδρου.





Εικόνα 18 Διαφόρων ειδών βαλβίδες.

Η είσοδος του καύσιμου μείγματος και η έξοδος των καυσαερίων πραγματοποιούνται μέσω αγωγών, ιδιαίτερων για κάθε κύλινδρο. Οι αγωγοί εισαγωγής κάθε κυλίνδρου ενώνονται σε κάποιο σημείο τους και σχηματίζουν την πολλαπλή σωλήνωση εισαγωγής η οποία, με τη σειρά της, συνδέεται με τον αναμεικτήρα (carburetor) αέρα - καυσίμου. Οι αγωγοί εξαγωγής των καυσαερίων κάθε κυλίνδρου ενώνονται και σχηματίζουν την πολλαπλή σωλήνωση εξαγωγής η οποία καταλήγει στην εξάτμιση.

Από τη γεωμετρία της βαλβίδας φαίνεται ότι η κεφαλή της έχει σχήμα κώνου, με γωνία έδρασης  $30^\circ$  ή  $45^\circ$ . Στην κεφαλή του κυλίνδρου (έδρα της βαλβίδας) υπάρχει η αντίστοιχη διαμόρφωση, ώστε να επιτυγχάνεται τέλεια εφαρμογή και στεγανότητα. Η κεφαλή της βαλβίδας έχει σχήμα κοίλο ή κυρτό - προς την πλευρά του κυλίνδρου. Σε κάποιες περιπτώσεις, η κεφαλή είναι επίπεδη ή φέρει κυκλική αυλάκωση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής δεν είναι δυνατό να αντικαταστήσουν η μία την άλλη, ακόμη όταν έχουν το ίδιο σχήμα, διότι οι έδρες τους υφίστανται διαφορετική επεξεργασία κατά την κατασκευή. Κατασκευαστικά υλικά για τις βαλβίδες εισαγωγής είναι διάφορα κράματα χάλυβα με νικέλιο, χρώμιο ή και συνδυασμό τους, τα οποία υφίστανται σκλήρυνση. Οι βαλβίδες εισαγωγής έχουν το πλεονέκτημα ότι ψύχονται κατά την εισαγωγή του καύσιμου μείγματος. Οι βαλβίδες εξαγωγής κατασκευάζονται από ωστενιτικό νικέλιο - χρώμιο - χάλυβα ώστε να επιδεικνύουν αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις λειτουργίας καθώς και στη διαβρωτική και οξειδωτική δράση των καυσαερίων.

Σε μεγάλους κινητήρες οι βαλβίδες φέρουν εσωτερική κοιλότητα ώστε να μειωθεί το βάρος τους αλλά και να κυκλοφορεί υγρό ψύξης. Στους αεροπορικούς κινητήρες, στην εσωτερική κοιλότητα τοποθετείται άλας λιθίου και νατρίου, το οποίο υγροποιείται στις θερμοκρασίες λειτουργίας και απορροφά μέρος της παραγόμενης θερμότητας. Τα σημεία των βαλβίδων στα οποία εμφανίζονται κυρίως φθορές είναι οι έδρες οι οποίες επικαλύπτονται από στελλίτη ή βολφράμιο για την αύξηση της αντοχής τους στις κρουστικές καταπονήσεις κατά την έδραση τους στην κεφαλή.

Τέλος τα ελατήρια των βαλβίδων είναι ελικοειδή κυλινδρικά, έχουν περίπου δέκα σπείρες και κατασκευάζονται από χυτοχάλυβα υψηλής αντοχής με προσμίξεις πυριτίου και μαγνησίου. Καταπονούνται από τις θερμοκρασίες που τους μεταφέρονται από το στέλεχος των βαλβίδων και από τις συνεχείς μεταβαλλόμενες τάσεις. Συνήθως, τοποθετούνται δύο ή και τρία διαφορετικά ελατήρια, το ένα μέσα στο άλλο, ώστε σε περίπτωση θραύσης του ενός να αντιμετωπιστεί η πτώση της βαλβίδας μέσα στον κύλινδρο.

### 1.3. Τετράχρονοι Κινητήρες

Η λειτουργία των τετράχρονων κινητήρων μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερις διαφορετικές φάσεις. Αυτές οι φάσεις ονομάζονται χρόνοι και αποτελούνται από την εισαγωγή του μίγματος, την συμπίεση του μίγματος, την εκτόνωση λόγω καύσης και την εξαγωγή των καυσαερίων, αναλύονται παρακάτω.

#### 1.3.1. Πρώτος χρόνος - Εισαγωγή του μίγματος

Η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει ελευθερώνοντας την προσαγωγή του μίγματος προς τον κύλινδρο. Η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή. Το έμβολο κινούμενο προς τα κάτω αυξάνει τον όγκο του κυλίνδρου δημιουργώντας υποπίεση, δηλαδή διαφορά πιέσεως ανάμεσα στον κύλινδρο και την ατμόσφαιρα, στον αγωγό προσαγωγής του μίγματος.



Εικόνα 19 Πρώτος χρόνος λειτουργίας εισαγωγή μίγματος στο κύλινδρο.

Λόγω αυτής της υποπίεσης το μίγμα αέρος καυσίμου οδηγείται μέσα στον κύλινδρο καταλαμβάνοντας όλο τον απογινόμενο όγκο. Η ποσότητα του εισαγόμενου μίγματος σε αυτήν τη φάση καθορίζει τον βαθμό πλήρωσης του κυλίνδρου και είναι συνάρτηση της πυκνότητας της εργαζόμενης ουσίας, κατά συνέπεια εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία του αέρα.

Η ποιοτική σύσταση του εισαγόμενου μίγματος επηρεάζεται από τον τρόπο παρασκευής του και καθορίζεται από τις συνθήκες φόρτισης του κινητήρα.

### 1.3.2. Δεύτερος χρόνος - Συμπίεση του μίγματος

Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές. Το έμβολο αντιστρέφει την κίνησή του και αρχίζει να ανεβαίνει μικραίνοντας έτσι τον όγκο του κυλίνδρου και προκαλώντας την συμπίεση του μίγματος.



Εικόνα 20 Συμπίεση μίγματος κατά τον δεύτερο χρόνο.

Στη φάση αυτή το μίγμα υποβάλλεται σε υψηλή συμπίεση η οποία μπορεί να φτάσει στους σύγχρονους κινητήρες υψηλών επιπέδων στα 12-20 bar. Συγχρόνως και εξ' αιτίας αυτής της συμπίεσης αυξάνει αρκετά η θερμοκρασία του μίγματος, η οποία μπορεί να φτάσει τους 300-500°C.

Στο τέλος του χρόνου συμπίεσης και λίγο πριν φτάσει το έμβολο στο ακραίο σημείο της προς τα πάνω διαδρομής του, γίνεται η εξωγενής ανάφλεξη του μίγματος με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού σπινθήρα στο χώρο της καύσης. Ο ηλεκτρικός σπινθήρας δημιουργείται την κατάλληλη χρονική στιγμή ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ενός αναφλεκτήρα(μπουζί), προκαλώντας την ανάφλεξη του μίγματος. Η επικρατούσα πίεση μέσα στον χώρο του κυλίνδρου στο τέλος του χρόνου συμπίεσης και πριν γίνει η ανάφλεξη, αποτελεί βασική παράμετρο της ιπποδύναμης του κινητήρα.

Ο λόγος ή σχέση συμπίεσης είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του κινητήρα το οποίο πρακτικά μας δείχνει πόσο συμπιέζεται το μίγμα στο εσωτερικό του κυλίνδρου πριν αρχίσει η καύση.

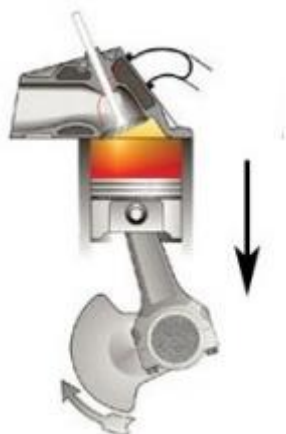
Σχέση συμπίεσης:  $E = (V_h + V_c) / V_c$

$V_h$ : ο όγκος εμβολισμού (όγκος μεταξύ των δύο νεκρών σημείων)

$V_c$ : ο όγκος συμπίεσης ή κυβισμός του κυλίνδρου (ελάχιστος χώρος καύσης)

Η σχέση συμπίεσης είναι μη διαστατό μέγεθος και ποικίλει μεταξύ 7 και 13 ανάλογα με το είδος του βενζινοκινητήρα. Με μία αυξημένη σχέση συμπίεσης εκμεταλλευόμαστε καλύτερα τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου, βελτιώνοντας έτσι τον θερμικό συντελεστή απόδοσης του κινητήρα.

Ένας φραγμός στην εφαρμογή πολύ μεγάλης σχέσης συμπίεσης είναι για αυτού του είδους κινητήρων η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καυσίμου και αυτό συμβαίνει διότι με την αύξηση του λόγου συμπίεσης αυξάνεται η τελική θερμοκρασία συμπίεσης.



Εικόνα 21 Τρίτος χρόνος καύσης όπου η καύση του μίγματος προκαλεί εκτόνωση του εμβόλου.

### 1.3.3. Τρίτος χρόνος – Εκτόνωση του εμβόλου

Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής παραμένουν κλειστές και το έμβολο βρίσκεται στο ανώτερο νεκρό σημείο της διαδρομής του. Ο σπινθήρας ξεκινώντας από το σημείο του αναφλεκτήρα δημιουργεί ένα μέτωπο φλόγας το οποίο υπό κανονικές συνθήκες εξαπλώνεται σε ολόκληρο τον θάλαμο καύσης.

Αυτό προκαλεί μία ταχύτατη αλλά ομαλή οξειδωση της καύσιμης ύλης, ελευθερώνοντας συγχρόνως υψηλά ποσά θερμότητας. Τη θερμότητα αυτή την παραλαμβάνει η εργαζόμενη ουσία του μίγματος δηλαδή ο αέρας, ο οποίος αποκτά έτσι ένα ενεργειακό δυναμικό, με αποτέλεσμα την μεγάλη αύξηση της πίεσης στον χώρο καύσης.

Η δράση της πίεσης στο πάνω μέρος του εμβόλου προκαλεί την προς τα κάτω μετακίνησή του και την παραγωγή ωφέλιμου έργου. Η ταχύτητα με την οποία συντελείται η καύση, δημιουργεί ίσως την εσφαλμένη εντύπωση ότι πρόκειται για έκρηξη, ενώ στην

πραγματικότητα είναι μία ταχύτατη αλλά ομαλή μετάδοση ενός μετώπου φλόγας σε όλο το χώρο καύσης.

Στους κινητήρες αυτούς η ταχύτητα εξάπλωσης της φλόγας είναι παράγοντας ομαλής καύσης και αποφυγής χτυπημάτων του κινητήρα. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα εξάπλωσης φλόγας είναι: η ποιοτική σύσταση του μίγματος, ο βαθμός εξαέρωσης του καυσίμου, το μέγεθος σταγονιδίων και η σωστή διασπορά του στο μίγμα.

#### 1.3.4. Τέταρτος χρόνος –Εξαγωγή των καυσαερίων

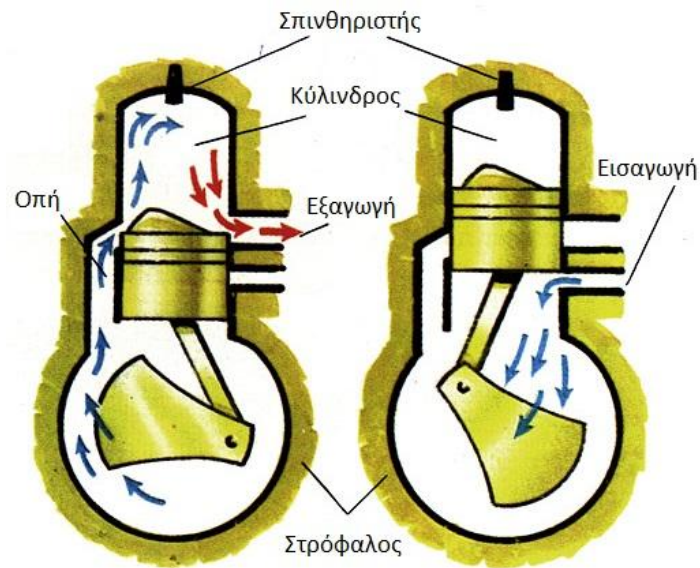
Το έμβολο λόγω της πίεσης των αερίων της καύσης έχει φτάσει στο κάτω νεκρό σημείο, λόγω της αδράνειας του συστήματος έμβολο-στροφαλοφόρος-σφόνδυλος, αρχίζει να κινείται προς τα άνω, σπρώχνοντας τα αέρια προς την ανοιχτή βαλβίδα εξαγωγής. Έτσι τα προϊόντα της καύσης εξέρχονται από το θάλαμο καύσης.



Εικόνα 22 Εξαγωγή παραγώγων καύσης εκτός θαλάμου καύσης κατά τη διάρκεια του τέταρτου χρόνου.

#### 1.4. Δίχρονοι Κινητήρες

Ο δίχρονος κινητήρας έχει πιο απλή περιγραφή σε σχέση με τον τετράχρονο κινητήρα καθώς αποτελείται από λιγότερα μέρη. Για παράδειγμα δεν χρειάζεται βαλβίδες αλλά διαθέτει ανοίγματα στα τοιχώματα του κυλίνδρου, τις γνωστές πόρτες, που ανοιγοκλείνουν με το πέρασμα του εμβόλου.



Εικόνα 23 Σχηματικά η λειτουργία του δίχρονου εμβολοφόρου κινητήρα. Φαίνεται η διαδικασία εισαγωγής του μίγματος μαζί με την εξαγωγή των καυσαερίων και η συμπίεση - καύση του μίγματος.

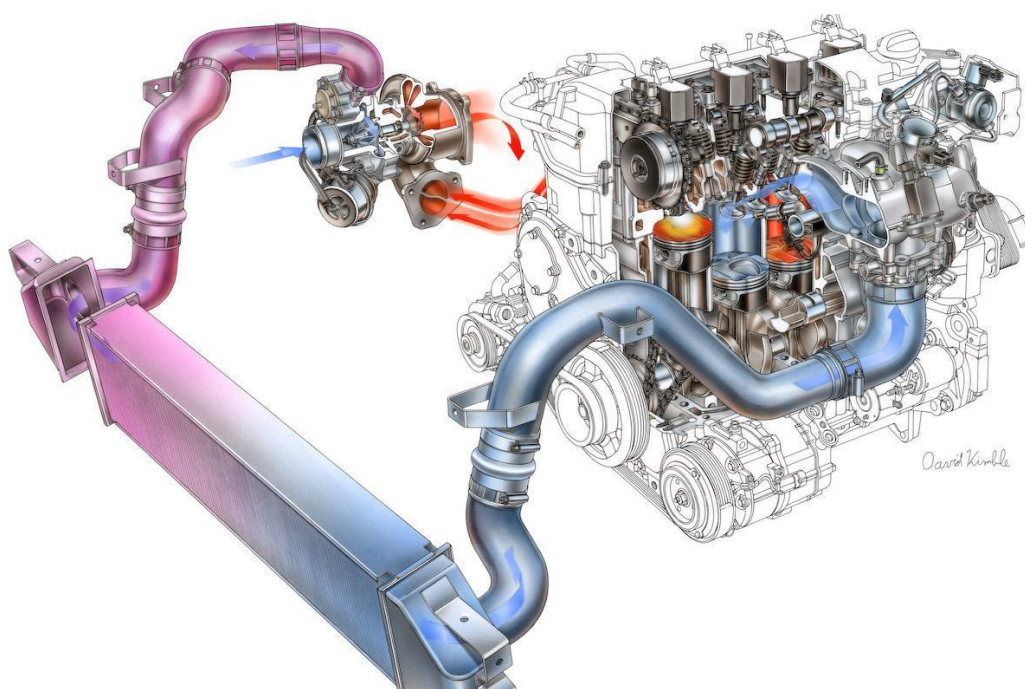
Τα τέσσερα στάδια δεν έχουν πλέον τους ίδιους χρονικούς περιορισμούς σαν την τετράχρονη μηχανή. Άνοιγμα και κλείσιμο μπορούν να οριστούν από τον σχεδιαστή στα όρια που κρίνονται για την ορθή λειτουργία του και έτσι δεν είναι ισοδύναμα μεταξύ τους. Εκεί βασίζεται και η ποικιλία των σχεδίων που υπάρχουν στην αγορά.

## 2. Τρόποι Ψύξης Εμβολοφόρων Κινητήρων

### 2.1. Χρησιμότητα Ψύξης Κινητήρων

Η αρχή λειτουργίας του κινητήρα εσωτερικής καύσης βασίζεται στην μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια στον άξονα του κινητήρα. Η διεργασία αυτή συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας. Ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας αυτής μεταφέρεται στο περιβάλλον και προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας. Το υπόλοιπο μέρος παραμένει σε διάφορα μέρη του κινητήρα. Η θερμότητα αυτή μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία στον κινητήρα και για αυτό το λόγω πρέπει με κάποιο αποτελεσματικό τρόπο να απαχθεί. Έτσι ο κινητήρας παραμένει στο σύνολό του να λειτουργεί μέσα στα θερμοκρασιακά όρια που είναι σχεδιασμένοι. Στην περίπτωση που ένα τμήμα του υπερβεί την ανώτερη θερμοκρασία λειτουργίας, τότε υπάρχει κίνδυνος να παρουσιαστούν διάφορες δυσλειτουργίες - όπως προανάφλεξη του καυσίμου μείγματος, μείωση της λιπαντικής ικανότητας του λιπαντικού μέσου ή μείωση της αντοχής κάποιων υλικών κατασκευής, ακόμη και αστοχίες μερών του κινητήρα.

Στους περισσότερους βενζινοκινητήρες μόλις το 30% της συνολικής θερμογόνου ενέργειας που παρέχει το καύσιμο χρησιμοποιείται ως ωφέλιμο έργο. Το υπόλοιπο 50% της ενέργειας αποβάλλεται με τα παραγόμενα καυσαέρια, ενώ το 10% παραλαμβάνεται από το λιπαντικό μέσο και 20% από το ψυκτικό μέσο. Το τελευταίο αποτελεί το ρευστό με την κυκλοφορία του οποίου, επιτυγχάνεται η απαγωγή της θερμότητας από τα διάφορα μέρη του κινητήρα, των οποίων η θερμοκρασία ανέρχεται κατά τη λειτουργία. Η απαγωγή αυτή της θερμότητας εξαρτάται από την έκταση της επιφάνειας η οποία έρχεται σε επαφή με το ψυκτικό μέσο αλλά και από την ταχύτητα ροής του τελευταίου.



Εικόνα 24 Απαγωγή θερμότητας κινητήρα από το σύστημα ψύξης.

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι δύο ειδών αερόψυκτοι ή υδρόψυκτοι. Οι εμβολοφόροι αεροπορικοί κινητήρες είναι, στη συντριπτική τους πλειοψηφία, αερόψυκτοι. Μπορεί να αλλάζετε τα λάδια του κινητήρα σας πιο συχνά απ' ό,τι χρειάζεται,

αλλά σίγουρα ξεχνάτε το αντιψυκτικό, η έλλειψη ή η παλαίωση του οποίου μπορούν να δημιουργήσουν εξίσου σοβαρές ζημιές, ιδιαίτερα το καλοκαίρι.

Ψυγεία από αλουμίνιο χωρίς κολλήσεις, θερμοστάτες και ηλεκτρικά βεντιλατέρ, μαζί με νέα ψυκτικά υγρά συνεργάζονται για να δώσουν στα σημερινά αυτοκίνητα τόση αξιοπιστία, που ο οδηγός ξεχνά πολλές φορές ότι το κύκλωμα αυτό χρειάζεται κάποια, έστω και πολύ μικρή συντήρηση. Μέχρι πριν λίγο καιρό ήταν συνηθισμένο φαινόμενο να λείπει νερό από το ψυγείο κάθε φορά που το ελέγχατε βγάζοντας την τάπα. Το καλοκαίρι παρατηρείται μεγαλύτερη ελάττωση ψυκτικού λόγω του ότι διαστέλλονται τα μέρη του κινητήρα περισσότερο λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών.

Σήμερα τα πράγματα έχουν αλλάξει αρκετά, έτσι όταν το λουρί, η αντλία, ο θερμοστάτης και τα κολάρα είναι σε καλή κατάσταση δεν υπάρχει η παραμικρή απώλεια νερού και το κύκλωμα θα λειτουργεί φυσιολογικά. Σημαντικό είναι το κύκλωμα των υδρόψυκτων κινητήρων να έχουν το κατάλληλο αντιψυκτικό ή καλύτερα αντιπηκτικό - ψυκτικό υγρό, όπως άλλωστε είναι και η αγγλική ή η ιταλική ονομασία του: antifreeze - coolant και anticongelante - refrigerante. Χάριν συντομίας όμως επικράτησε το «αντιψυκτικό». Τα άλατα που περιέχει το νερό δεν αργούν καθόλου να επικαθήσουν στις επιφάνειες του κινητήρα και του ψυγείου, στα σωληνάκια ψύξης και να δημιουργήσουν με το χρόνο ένα μονωτικό στρώμα που μειώνει δραστικά τη θερμική αγωγιμότητα που είναι απαραίτητη για την αποδοτική ακτινοβολία και απαγωγή της θερμότητας του ψυγείου. Θα μπορούσε κανείς να παρομοιάσει το φαινόμενο αυτό με ένα ψυγείο που συνεχώς μικραίνει σε διαστάσεις. Πέρα απ' αυτό, κάθε συμπλήρωση της στάθμης με νερό προσθέτει νέα άλατα στο κύκλωμα και η φθορά επιταχύνεται. Ακόμα από τη σκόνη και τους ατμούς του λαδιού που υπάρχουν γύρω από κάθε κινητήρα δημιουργείται και ένα εξωτερικό μονωτικό στρώμα στο ψυγείο που μειώνει και αυτό την αποτελεσματική ψύξη του κινητήρα.

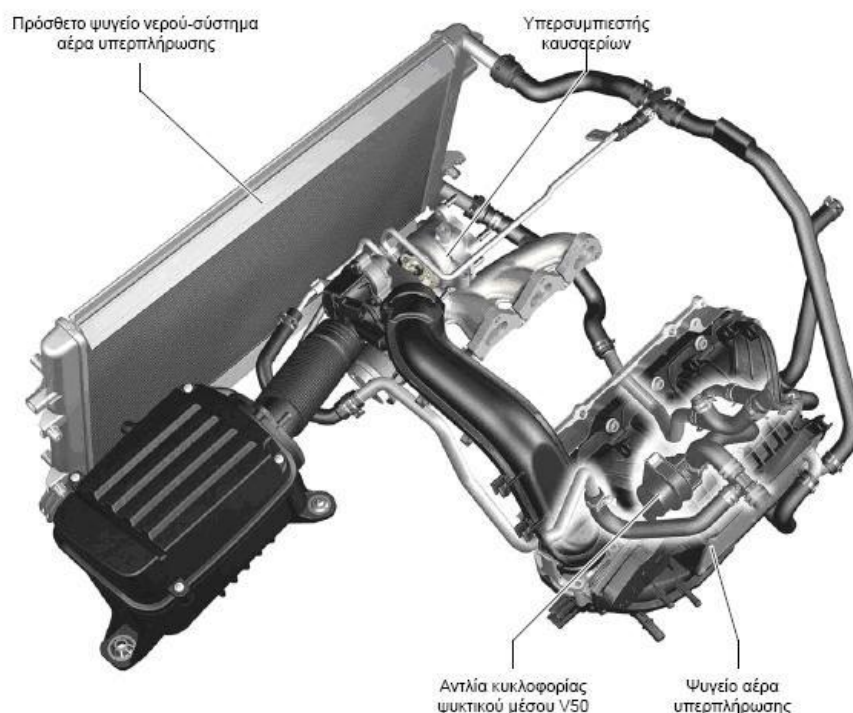
Η διάβρωση του κυκλώματος και η μείωση των αλάτων επιτεύχθηκε με την εξάπλωση των ειδικών αντιψυκτικών. Τα υγρά αυτά έχουν σαν βάση την αιθυλενογλυκόλη και το απιονισμένο νερό και περιέχουν πρόσθετα που ενεργούν σαν προστατευτικά κατά των επικαθήσεων των αλάτων, αλλά και σαν αντιδιαβρωτικά. Δυστυχώς όμως και αυτά χάνουν τις αντιδιαβρωτικές τους ιδιότητες μετά από δύο το πολύ χρόνια και πρέπει να αλλαχθούν. Η αλλαγή αυτή είναι κάτι που δεν συνιστούν επιμελώς οι κατασκευαστές των αυτοκινήτων στα βιβλία συντήρησης. Παρατηρείται έτσι το παράδοξο να αλλάζονται τα λάδια πολύ συχνότερα απ' ότι πρέπει και σχεδόν ποτέ το αντιψυκτικό, που κοστίζει μάλιστα και λιγότερο.

Η τεχνολογία κατασκευής του άλλαξε ριζικά στο τέλος της δεκαετίας του 70. Μέχρι τότε όλα τα ψυγεία αποτελούνταν από πολύ λεπτά σωληνάκια χαλκού ή μπρούντζου και πολλές φορές από ασάλι, που έπρεπε να συγκολληθούν με μολυβδοκασσίτερο (καλάι) στο πλαίσιο τους. Αυτές οι κολλήσεις έχουν ιδιαίτερη ευαισθησία στη διάβρωση.

Σήμερα σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές προσφέρουν ψυγεία χωρίς καμία κόλληση, από συνδυασμό πλαστικού και αλουμινίου. Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά έναντι της παλιάς τεχνολογίας: ένα σύγχρονο ψυγείο ζυγίζει μόλις 2.5 κιλά (με το ενσωματωμένο δοχείο διαστολής του) έναντι 6 κιλών του κλασικού ψυγείου. Επίσης, η ψυκτική του ικανότητα ή ικανότητα αποβολής της θερμοκρασίας είναι αρκετά μεγαλύτερη λόγω της πιο πυκνής κατασκευής της «μήτρας» - έχει περισσότερα και λεπτότερα σωληνάκια. Η σύγκριση είναι άνιση και σήμερα γύρω στα 95% των ευρωπαϊκών αυτοκινήτων εφοδιάζονται με ψυγεία νέου τύπου. Υπάρχουν ακόμα βέβαια τα χειροποίητα ψυγεία -όπως για παράδειγμα της



Rolls - Royce, αλλά είναι γεγονός ότι πιο εύκολα θα χαλάσει ένα τέτοιο ψυγείο παρά ένα ανώνυμο ψυγείο μαζικής παραγωγής. Στα σημερινά ψυγεία, εκτός από τη μήτρα που είναι από αλουμίνιο (σωληνάκια και ψύκτρες) τα υπόλοιπα κομμάτια είναι πλαστικά. Τα στρογγυλά σωληνάκια είναι μια τεχνική που επιτρέπει τη λειτουργία του συστήματος ακόμα και με πιέσεις 1 bar χωρίς προβλήματα. Χρησιμοποιείται δε σε οχήματα με μεγάλες απαιτήσεις ψύξης και μεγάλους σε κυβισμό κινητήρες. Τα σωληνάκια δεν είναι κολλημένα στις άκρες τους αλλά έχουν παραμορφωθεί για να «σφηνώσουν» στο κάλυμμα χωρίς κόλληση.



Εικόνα 25 Ψύξη αέρα εισαγωγής για καλύτερη απόδοση κινητήρα.

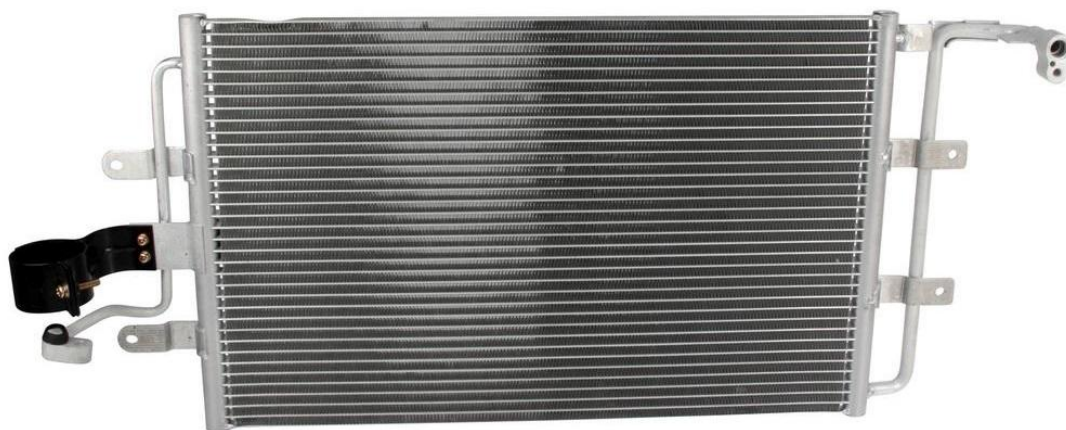
Τελευταία, με τις προσπάθειες των κατασκευαστών για καλύτερη οικονομία επιστρατεύθηκε και το σύστημα ψύξης στο παιχνίδι για τη μείωση της κατανάλωσης. Σοβαρές αλλαγές έχουν γίνει, όπως η αύξηση της πίεσης λειτουργίας και η χρήση αντιψυκτικών υγρών που βράζουν σε ακόμα ψηλότερες θερμοκρασίες. Η θερμότητα που παράγει ένας κινητήρας πρέπει να αποβάλλεται αλλά η καλύτερη και πιο αποδοτική ενεργειακά καύση γίνεται όταν δεν διαφεύγει θερμότητα από το θάλαμο καύσης. Για να γίνει αυτό πρέπει τα τοιχώματα να έχουν όσο το δυνατόν υψηλότερη θερμοκρασία, πράγμα που επιτυγχάνεται με θερμοστάτες 90 και 95 βαθμών Κελσίου. Στην πλευρά όμως των επιδόσεων τα πράγματα είναι κάπως αντίθετα. Οι μεγάλες θερμοκρασίες της εισαγωγής δεν επιτρέπουν την εισροή μεγάλης ποσότητας μείγματος αέρα - βενζίνης στον κινητήρα και έτσι χάνεται η ισχύς. Αναγκαστικά λοιπόν, διαλέγει κανείς τι προτιμά: την ισχύ όπου χρησιμοποιείται θερμοστάτης από 74 - 78 βαθμούς, την οικονομία με το θερμοστάτη των 90 - 95 βαθμών ή τη μέση οδό με θερμοστάτη 83 - 85 βαθμών;

Ο σχεδιασμός και η πιστοποίηση των συστημάτων ψύξης του αυτοκινήτου γίνονται αφού καταλήξουν οι σχεδιαστές στο τελικό σχήμα του αμαξώματος. Σε πολλές περιπτώσεις, το ψυγείο είναι αντικείμενο - «αναγκαίο κακό» που πρέπει να βολευτεί κάπως στο χώρο του κινητήρα. Φυσικά, η ιδεώδης θέση είναι η μετωπική, πίσω από τις γρίλιες της μάσκας.

Με τα ηλεκτρικά βεντιλατέρ που χρησιμοποιούνται εδώ και είκοσι περίπου χρόνια στα ψυγεία των περισσότερων αυτοκινήτων βελτιώθηκε ακόμα περισσότερο η αξιοπιστία αλλά και η αποδοτικότητα των συστημάτων ψύξης. Μέχρι τότε η κίνηση της φτερωτής γινόταν με το λουρί (ιμάντα) του κινητήρα, οπότε και οι στροφές της ήταν ανάλογες με τις στροφές του. Αυτό μπορεί να φαίνεται λογικό από μία άποψη, διότι η πιο πολλή θερμότητα παράγεται στις υψηλές στροφές. Σ' αυτή την περίπτωση είναι μεγάλη και η ταχύτητα του αυτοκινήτου, οπότε είναι σημαντικότερη και η ροή του αέρα που ψύχει το ψυγείο.

Από μόνη της αυτή η ροή είναι ικανή να καταστήσει προαιρετικό το βεντιλατέρ. Και αφού δεν χρειάζεται, δεν υπάρχει και λόγος να λειτουργεί. Στο παλιό σύστημα με τον ιμάντα, η φτερωτή μπορούσε να απορροφήσει μέχρι και 7 ίππους ισχύος. Βλέπετε καθαρά ότι πρόκειται για σημαντικό ποσοστό της υποδύναμης ενός μέσου κινητήρα. Στο ρελαντί πάλι και σε περίπτωση καλοκαιρινού μπουλιαρίσματος δημιουργεί πρόβλημα στην σωστή ψύξη του κινητήρα.

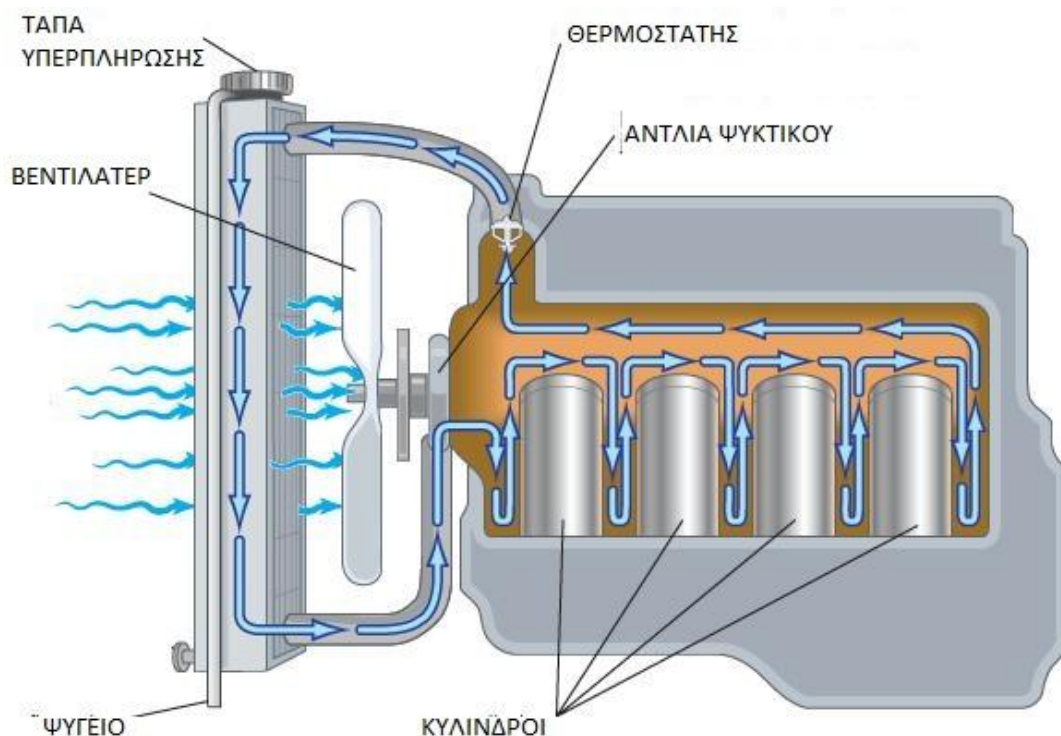
Στις μέρες μας έχουμε ηλεκτρικά βεντιλατέρ όπου ακόμα και στο ρελαντί, όπου η μηχανική φτερωτή γύριζε αργά, το ηλεκτρικό μοτέρ υποχρεώνει μεγάλες ποσότητες αέρα να περάσουν από το ψυγείο καθιστώντας τελείως απροβλημάτιστη τη λειτουργία του στη μεγάλη κυκλοφορία. Στις μεγάλες ταχύτητες του ταξιδιού ή όταν είναι χαμηλή η εξωτερική θερμοκρασία, το ηλεκτρικό μοτέρ δεν λειτουργεί διότι δέχεται εντολές από το θερμοστάτη / διακόπτη που είναι τοποθετημένος στο ψυγείο. Ο διακόπτης αυτός έχει θερμοκρασία που κλείνει το κύκλωμα και λειτουργεί το βεντιλαντέρ, και θερμοκρασία που ανοίγει και σβήνει το βεντιλατέρ. Συνήθως τα δύο όρια απέχουν 10 περίπου βαθμούς μεταξύ τους, π.χ. μία ηλεκτροβαλβίδα «87 - 76» δηλώνει ότι κλείνει το κύκλωμα στους 86 βαθμούς και ανοίγει μόλις η θερμοκρασία πέσει στους 76 βαθμούς.



*Εικόνα 26 Σύγχρονο ψυγείο καθέτου ροής με τα σωληνάκια της μήτρας κολλημένα*

## 2.2. Υγρόψυκτοι

Οι υγρόψυκτοι κινητήρες είναι εφοδιασμένοι με διόδους μεταξύ των κυλίνδρων και του κυρίου σώματος με σκοπό την κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού. Αυτό ψύχει τα θερμά τοιχώματα όταν έρχεται σε επαφή μαζί τους, απάγοντας έτσι ένα μέρος της αναπτυσσόμενης στο εσωτερικό του κυλίνδρου θερμότητας.



Εικόνα 27 Σχηματικά η κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού σε κινητήρα.

Τα βασικά στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος είναι:

1. *Η δεξαμενή.* Έχει κατάλληλη χωρητικότητα, πώμα πλήρωσης, διάταξη εξαέρωσης, είσοδο και έξοδο για το υγρό ψύξης.
2. *Η αντλία.* Εξασφαλίζει την κυκλοφορία του υγρού ψύξης στα μέρη του κινητήρα που πρέπει να ψυχθούν, καθώς και την επιστροφή του στη δεξαμενή. Σε μικρούς κινητήρες δε χρησιμοποιείται αντλία. Το υγρό ψύξης κυκλοφορεί με φυσική ροή εκμεταλλευόμενο το μικρότερο ειδικό βάρος που αποκτά μετά τη θέρμανσή του για την επιστροφή του στη δεξαμενή. Κάποιοι κινητήρες εδάφους ψύχονται με συνεχή ροή, χωρίς αντλία, από εξωτερική πηγή. Αυτό ονομάζεται ανοικτό κύκλωμα ψύξης.
3. *Το ψυγείο.* Αποτελείται από σειρά σωληνώσεων μέσα στις οποίες κυκλοφορεί ψυκτικό υγρό, ενώ στον περιβάλλοντα χώρο τους διέρχεται αέρας ο οποίος πραγματοποιεί και την ψύξη του υγρού του ψυγείου. Η ροή του αέρα επιτυγχάνεται με τη λειτουργία ενός ανεμιστήρα που παίρνει κίνηση από τον κινητήρα, μέσω ιμάντα, είτε ηλεκτρικά. Σε όσους αεροπορικούς κινητήρες λειτουργούν με υδρόψυκτο σύστημα ψύξης, το ψυγείο ψύχεται με φυσική ροή αέρα.

4. *Ο θερμοστάτης.* Είναι μία βαλβίδα η οποία ρυθμίζει τη ροή του ψυκτικού υγρού μέσα στο ψυγείο. Ανοίγει μετά από ορισμένο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα, όταν ανέλθει η θερμοκρασία του σε κάποια προκαθορισμένη τιμή, για να την επαναφέρει στην κανονική τιμή λειτουργίας της.
5. *Ο δείκτης θερμοκρασίας.* Είναι ένα όργανο το οποίο δείχνει τη θερμοκρασία του υγρού ψύξης πριν από την είσοδό του στο ψυγείο, ώστε να υπάρχει σαφής ένδειξη της θερμοκρασίας του κινητήρα. Το όργανο ένδειξης συνδέεται με το βολβό μέτρησης μηχανικά (σωλήνας με υδράργυρο) ή ηλεκτρικά. Η χρήση αποσταγμένου νερού στο κύκλωμα ψύξης επιτρέπει θερμοκρασίες λειτουργίας έως και τους 150°C. Αντίθετα, η χρήση πόσιμου νερού περιορίζει την ανώτερη θερμοκρασία λειτουργίας για την αποφυγή διάσπασης των αλάτων του νερού και εναπόθεσής τους στις σωληνώσεις του κυκλώματος ψύξης.
6. *Το μανόμετρο.* Τοποθετείται στην κατάθλιψη της αντλίας κυκλοφορίας του υγρού ψύξης για την ένδειξη της πίεσης του.

Οι πιο συχνές βλάβες που παρουσιάζει ένα υδρόψυκτο κύκλωμα ψύξης είναι: η διαρροή ψυκτικού υγρού που επιφέρει άνοδο της θερμοκρασίας του, η απόφραξη του κυκλώματος κυκλοφορίας που επιφέρει τοπικές υπερθερμάνσεις και, ίσως, θραύσεις, διαρροή υγρού προς τον κινητήρα με αποτέλεσμα το σβήσιμό του, εσφαλμένες ενδείξεις θερμοκρασίας και πίεσης, μειωμένη απόδοση του ανεμιστήρα, παγοποίηση σωληνώσεων που μπορεί να οδηγήσει σε θραύση. Για την αποφυγή του τελευταίου φαινομένου, μία συνήθης πρακτική είναι η προσθήκη στο νερό ψύξης - σε υδρόψυκτους κινητήρες - υγρών με χαμηλό σημείο πήξης όπως η αιθυλική γλυκόλη (-170°C). Επίσης, λόγω του υψηλού σημείου βρασμού της (197°C), η αιθυλική γλυκόλη χρησιμοποιείται και εξ' ολοκλήρου ως ψυκτικό υγρό, με τη μόνη προσθήκη ειδικού αντιοξειδωτικού υγρού. Οι υδρόψυκτοι κινητήρες με σύστημα ψύξης κλειστού κυκλώματος αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά μέρη:

1. Το ψυκτικό υγρό, που απορροφά την ανεπιθύμητη θερμότητα και την απομακρύνει από τον κινητήρα.
2. Το υδροχιτώνιο (υδροθάλαμος), που περιβάλλει τους κυλίνδρους του κινητήρα. Την αντλία νερού με την οποία το ψυκτικό υγρό αναγκάζεται να κυκλοφορεί στο σύστημα ψύξης.
3. Τον ανεμιστήρα, που κατευθύνει τον ατμοσφαιρικό αέρα με ταχύτητα προς το ψυγείο.
4. Το θερμοστάτη, που εμποδίζει την κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού μέχρι να θερμανθεί ο κινητήρας και στη συνέχεια διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία.
- 5.
6. Το ψυγείο, στο οποίο μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα ψύχεται το ψυκτικό υγρό.
7. Την τάπα πίεσης του ψυγείου, που εξασφαλίζει την ανύψωση της θερμοκρασίας βρασμού του υγρού ψύξης και λειτουργεί σαν βαλβίδα ασφαλείας για την προστασία του συστήματος ψύξης από υπερπίεση και υποπίεση.
8. Το σωλήνα υπερχειλίσης και το δοχείο διαστολής, όπου διοχετεύεται το πλεόνασμα του υγρού ψύξης.
9. Τους ελαστικούς σωλήνες (κολλάρα), που οδηγούν το ψυκτικό υγρό από το ψυγείο στον κινητήρα και από τον κινητήρα στο ψυγείο.

Συνδέονται στο σύστημα ψύξης με σφικτήρες (κολιέ). Εκτός από τα προαναφερόμενα μέρη το σύστημα ψύξης περιλαμβάνει και το ψυγείο του καλοριφέρ του αυτοκινήτου, από το

οποίο περνά ο ατμοσφαιρικός αέρας που τον χειμώνα θερμαίνει την καμπίνα των επιβατών.

### 2.2.1. Αντλία νερού

Η αντλία νερού βρίσκεται στο μπροστινό τμήμα του κινητήρα. Παίρνει κίνηση από το στροφαλοφόρο με την βοήθεια ιμάντα. Είναι φυγοκεντρικού τύπου και προορισμός της είναι η αναρρόφηση του ψυκτικού υγρού από τον κάτω υδροθάλαμο του ψυγείου και η αποστολή του με πίεση στα υδροχιτώνια του κινητήρα.

### 2.2.2. Ψυκτικά Υγρά

Σαν ψυκτικό υγρό χρησιμοποιείται το νερό. Το νερό σε κανονικές συνθήκες πίεσης, βράζει στους 100 C και πήζει στους 0 C. Με την πήξη του νερού σε πάγο γίνεται διαστολή του όγκου. Όταν το νερό ψύχεται, μέχρι τους 4 C συστέλλεται, σε χαμηλότερη θερμοκρασία αρχίζει να διαστέλλεται. Η θερμοκρασία βρασμού του δεν είναι πάντα σταθερή, αλλά εξαρτάται από την πίεση που επικρατεί στο χώρο του βρασμού.

Έτσι αν υποθεθεί ότι έχουμε ένα ανοικτό ψυγείο, η θερμοκρασία στην οποία κάθε φορά βράζει το νερό, εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση. Η ατμοσφαιρική πίεση μεταβάλλεται ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες, αλλά κι αντίστροφα ανάλογα με το υψόμετρο. Σ' αυτό το λόγο οφείλεται και το γεγονός ότι όταν το αυτοκίνητο κινείται σε υψόμετρο και το ψυγείο είναι ανοικτό, το νερό βράζει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Για την αποφυγή βρασμού του νερού του ψυγείου σε χαμηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται ένα ειδικό πώμα (τάπα), με βαλβίδα υπερπίεσης. Με την βοήθεια αυτής της βαλβίδας πετυχαίνετε στο σύστημα ψύξης, πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Έτσι η θερμοκρασία βρασμού μέσα στο ψυγείο είναι μεγαλύτερη από τους 100 C. Με την επιταχυνόμενη υπερπίεση, η θερμοκρασία βρασμού φτάνει τους 110 C-120 C. Σε περίπτωση υπερθέρμανσης του ψυγείου, η τάπα αφαιρείται με πολλή προσοχή. Κι αυτό γιατί η απότομη πτώση της πίεσης με την αφαίρεση της τάπας, προκαλεί βρασμό μεγάλου όγκου νερού και εκτόξευση βραστού νερού και ατμών.

Στη θερμοκρασία των 0 C ή και μικρότερη από αυτή, το νερό πήζει και μεταβάλλεται σε στερεό πάγο, ενώ ταυτόχρονα διαστέλλεται ο όγκος του. Με τη διαστολή αυτή αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις, που μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες ζημιές στον κινητήρα. Οι ζημιές αυτές, αποφεύγονται, μειώνοντας το σημείο πήξης του νερού και προσθέτοντας ειδικές χημικές ουσίες, που ονομάζονται αντιπηκτικές ή αντιψυκτικές ουσίες.

### 2.2.3. Προστιθέμενες ουσίες στα υγρά ψύξης

Σαν αντιπηκτικό υγρό χρησιμοποιείται μια χημική ένωση που ονομάζεται αιθυλαινογλυκόλη και τα παράγωγα της. Το οινόπνευμα έχει και αυτό καλές αντιπηκτικές ιδιότητες. Βράζει όμως στους 78,4 C και γι' αυτό αποφεύγεται η χρήση του. Οι ουσίες αυτές σχηματίζουν με το νερό διάλυμα, του οποίου το σημείο πήξης είναι πολύ χαμηλότερο από 0 C. Με το διάλυμα που περιέχει αναλογία 2 μέρη νερού και 1 μέρος αντιπηκτικού, μειώνεται η θερμοκρασία πήξης στους -18 C. Με αναλογία 1 προς 1, δηλαδή από ολόκληρη την

ποσότητα του ψυκτικού υγρού, αν η μισή ποσότητα είναι νερό και η άλλη μισή αντιπηκτικό η θερμοκρασία πήξης μειώνεται στους -38 C.

Το νερό, όπως γνωρίζουμε, με την ταυτόχρονη ύπαρξη οξυγόνου, διαβρώνει τα μέταλλα. Έτσι το νερό όταν χρησιμοποιείται σαν ψυκτικό υγρό, επειδή έρχεται σε επαφή με τις μεταλλικές επιφάνειες τις διαβρώνει. Για να αποφεύγονται οι διαβρώσεις αυτές μερικοί κατασκευαστές προτείνουν την προσθήκη αντιδιαβρωτικών χημικών ουσιών στο νερό ψύξης. Όμως, πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή, γιατί πολλές από αυτές δεν επιφέρουν καμία βελτίωση. Η αντιπηκτική διάλυση (αντιψυκτικό) που προστίθεται στο σύστημα ψύξης, έχει συνήθως και αντιδιαβρωτικές ικανότητες, γι' αυτό και προστατεύει τα μεταλλικά μέρη από εκτεταμένες οξειδώσεις (σκουριές). Η συχνή αντικατάσταση του νερού του συστήματος ψύξης δεν συνιστάται, όπως δεν συνιστάται και η συνεχής συμπλήρωση του όταν υπάρχουν διαρροές. Κι αυτό γιατί το φρέσκο νερό που προστίθεται περιέχει περισσότερο διαλυμένο οξυγόνο, με αποτέλεσμα να γίνονται περισσότερες και πιο εκτεταμένες οξειδώσεις. Γι' αυτό το νερό του συστήματος ψύξης πρέπει να αντικαθίσταται σε αραιά χρονικά διαστήματα, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Όταν διαπιστωθούν εξωτερικές διαρροές πρέπει να επισκευάζονται αμέσως κι όχι να γίνεται συνέχεια συμπλήρωσης.

#### 2.2.4. Ροή του ψυκτικού μέσου μέσα στο σύστημα ψύξης

Η κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού μέσα στο κύκλωμα του συστήματος ψύξης είναι η ακόλουθη: Όταν ο θερμοστάτης είναι κλειστός, η κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού γίνεται στο εσωτερικό των υδροχιτώνων του κινητήρα (στον κορμό και στο καπάκι). Όταν η θερμοκρασία φτάσει σε μια ορισμένη τιμή, ανοίγει η βαλβίδα του θερμοστάτη. Όταν ο θερμοστάτης ανοίξει, τότε η κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού γίνεται ως εξής:

Η αντλία νερού (που παίρνει κίνηση με ιμάντα από τον στροφαλοφόρο), αναρροφά το ψυχρό ψυκτικό υγρό που συγκεντρώνεται στον κάτω υδροθάλαμο του ψυγείου και το πρεσάρει στα υδροχιτώνια των κυλίνδρων.

Η θερμότητα που αναπτύσσεται μέσα στους κυλίνδρους παραλαμβάνεται και εξέρχεται από το πάνω μέρος των κυλίνδρων, φτάνοντας στον θερμοστάτη. Επειδή η βαλβίδα του θερμοστάτη είναι ανοικτή, το θερμό πλέον ψυκτικό υγρό περνά απ' αυτή. Από τον ελαστικό σωλήνα (κολάρο), φτάνει στον πάνω προθάλαμο του ψυγείου. Από εκεί, εξαιτίας της αναγκαστικής κυκλοφορίας του από την αντλία, περνά μέσα από τους αγωγούς του ψυγείου. Οι αγωγοί εξωτερικά φέρουν πτερύγια με

την μορφή κυψέλης, γύρω από τα οποία διέρχεται ο ατμοσφαιρικός αέρας. Η διέλευση αυτή του αέρα οφείλεται είτε στη μπροστινή κίνηση του αυτοκινήτου, είτε στη λειτουργία του ανεμιστήρα του ψυγείου. Η θερμότητα του ψυκτικού υγρού από τους αγωγούς του ψυγείου μεταφέρεται στα πτερύγια και από αυτά στην ατμόσφαιρα.

Έτσι, πραγματοποιείται, τελικά η μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό των κυλίνδρων στο περιβάλλον. Το ψυκτικό υγρό σχετικά ψυχρό φτάνει πια στον κάτω υδροθάλαμο και από εκεί συνεχίζεται η κυκλοφορία του προς την αντλία.

#### 2.2.5. Υδροχιτώνιο-Ψυγείο

Υδροχιτώνιο ονομάζεται ο κενός χώρος μεταξύ των κυλίνδρων του κινητήρα και του κύριου σώματος του κορμού του. Μέσα στα υδροχιτώνια κυκλοφορεί ψυκτικό υγρό. Αυτό όταν

έρχεται σε επαφή με το θερμό τοίχωμα που βρίσκεται προς την πλευρά των κυλίνδρων, ψύχει το τοίχωμα και παραλαμβάνει μέρος της αναπτυσσόμενης θερμότητας μέσα στον κύλινδρο.

Το ψυγείο είναι το τμήμα που μεταφέρει τη θερμότητα του ζεστού νερού από τον κινητήρα προς την ατμόσφαιρα. Το ψυγείο αποτελείται από δύο οριζόντιους θαλάμους, τους υδροθαλάμους, που βρίσκονται ο ένας στο πάνω τμήμα κι ο άλλος στο κάτω τμήμα του. Μεταξύ των δυο αυτών υδροθαλάμων, βρίσκεται το κύριο ψυγείο που είναι σωληνωτό ή κυψελωτό. Το σωληνωτό ψυγείο αποτελείται από πολλούς σωλήνες με λεπτά τοιχώματα και μικρή διάμετρο. Τα τοιχώματα φέρουν πτερύγια για να αυξήσουν την επιφάνεια που χρησιμεύει για το διασκορπισμό της θερμότητας στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το κυψελωτό ψυγείο αποτελείται από ένα πλέγμα λεπτών μεταλλικών ταινιών, που σχηματίζουν εξάγωνες οπές, όπως οι κυψέλες των μελισσών. Το ψυκτικό υγρό κυκλοφορεί γύρω από τις οπές, ενώ μέσα από αυτές περνά ο ατμοσφαιρικός αέρας.

Στον πάνω υδροθάλαμο του ψυγείου υπάρχει τάπα που έχει δυο βαλβίδες, μια υπερπίεσης και μια υποπίεσης. Στο λαιμό της τάπας υπάρχει ο σωλήνας υπερχειλίσης, ο οποίος στα σύγχρονα αυτοκίνητα καταλήγει σ' ένα ειδικό δοχείο νερού (δοχείο διαστολής). Αυτό χρησιμεύει αφενός για να δέχεται το πλεονάζον από το ψυγείο νερό, αφετέρου να αναρροφάται από το ψυγείο νερό όταν κατά την λειτουργία του συστήματος ψύξης δημιουργηθεί έλλειψη. Ο κάτω υδροθάλαμος συνδέεται με τον ελαστικό σωλήνα που οδηγεί στην αντλία νερού καθώς και με ένα κρουνό για την εκκένωση (άδειασμα) του ψυγείου. Το κυρίως ψυγείο είναι συγκολλημένο με τους δυο υδροθαλάμους και το συγκρότημα αυτό στερεώνεται σταθερά στο πλαίσιο του αυτοκινήτου.

Ο ανεμιστήρας χρησιμοποιείται για να επιταχύνεται η κυκλοφορία του αέρα ψύξης γύρω από τα πτερύγια των αγωγών του ψυγείου. Είναι συνήθως αξονικού τύπου με τρία ή περισσότερα πτερύγια. Παίρνει κίνηση με μιάντα από το στροφαλοφόρο άξονα μαζί με την αντλία νερού.

Στα σύγχρονα αυτοκίνητα παίρνει κίνηση από ανεξάρτητο ηλεκτροκινητήρα. Στις περιπτώσεις αυτές, ο ανεμιστήρας ελέγχεται από θερμοστάτη και τίθεται σε λειτουργία μόνο όταν η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού υπερβεί ένα καθορισμένο όριο. Όταν το όχημα κινείται με μεγάλη ταχύτητα, το ρεύμα αέρα που δημιουργείται είναι αρκετό για την ψύξη του νερού και σταματά η λειτουργία του ανεμιστήρα. Έτσι γίνεται οικονομία ενέργειας που απορροφάται από την κίνηση του ανεμιστήρα, αλλά αποφεύγεται κι η υπερβολική ψύξη.

#### 2.2.6. Θερμοστάτης

Η υπερβολική ψύξη του κινητήρα είναι επιβλαβής για την λειτουργία του και πρέπει να αποφεύγεται. Για τη σωστή λειτουργία του πρέπει κατά την ψυχρή εκκίνηση η θερμοκρασία του να ανέβει όσο το δυνατό γρηγορότερα σε μια ορισμένη τιμή και να μείνει κατά το δυνατόν σταθερή στην τιμή αυτή. Αυτό πετυχαίνεται με την χρήση του θερμοστάτη. Ο θερμοστάτης αποτελείται από ένα πτυχωτό τύμπανο που είναι γεμάτο μ' ένα πολύ πτητικό υγρό. Το ένα άκρο του τυμπάνου στερεώνεται στο στέλεχος της βαλβίδας. Ο θερμοστάτης τοποθετείται σε τέτοια θέση, ώστε η βαλβίδα του να βρίσκεται ακριβώς στην έξοδο του ψυκτικού υγρού από τα υδροχιτώνια του κινητήρα. Όταν το ψυκτικό υγρό είναι σχετικά κρύο το τύμπανο του θερμοστάτη είναι <<μαζεμένο>> και η βαλβίδα του κλειστή. Έτσι η κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού περιορίζεται μέσα στα υδροχιτώνια του κινητήρα.

Όταν το ψυκτικό υγρό θερμανθεί πέρα από μια ορισμένη θερμοκρασία το πτητικό υγρό του τυμπάνου του θερμοστάτη αεριοποιείται, διαστέλλεται και σπρώχνει το στέλεχος που ανοίγει τη βαλβίδα. Έτσι πετυχαίνεται η κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού μέσα από το ψυγείο.

### 2.3. Αερόψυκτοι

Το σύστημα ψύξης των αερόψυκτων κινητήρων χαρακτηρίζεται από απλότητα, καθώς αποτελείται από πολύ λιγότερα τμήματα απ' ότι ένα αντίστοιχο υδρόψυκτου κινητήρα. Έτσι, παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία κατά τη λειτουργία του και έχει μικρότερο βάρος. Στους αερόψυκτους κινητήρες η ψύξη επιτυγχάνεται απ' ευθείας από τον ατμοσφαιρικό αέρα, χωρίς την κυκλοφορία ψυκτικού υγρού. Για το λόγο αυτό, οι κύλινδροι του κινητήρα διαθέτουν πτερύγια ψύξης στο πώμα και την περιφέρειά τους. Η ροή του ατμοσφαιρικού αέρα κατά την πτήση του αεροσκάφους πρέπει να οδηγηθεί στα θερμά μέρη του κινητήρα. Για το λόγο αυτό, οι μεγάλοι αεροπορικοί κινητήρες είναι ακτινικοί, ώστε οι κύλινδροι να έχουν την πιο αποδοτική διάταξη όσον αφορά την ψύξη τους.

Οι επίγειοι αερόψυκτοι κινητήρες ψύχονται από τη ροή του αέρα που δημιουργεί ένας ανεμιστήρας, ο οποίος παίρνει κίνηση από τον ίδιο τον κινητήρα. Στους αερόψυκτους κινητήρες οχημάτων, η ροή του ατμοσφαιρικού αέρα κατά την κίνηση του οχήματος βοηθά σημαντικά στην ψύξη. Επίσης, σημαντικό είναι ότι η θερμοκρασία των κυλίνδρων και της κεφαλής τους δεν πρέπει να είναι πολύ χαμηλή, διότι θα επέλθει μείωση του βαθμού απόδοσης του κινητήρα.





Εικόνα 28 Αερόψυκτος κινητήρας σε διάταξη V.

Γενικά, η ποσότητα της θερμότητας που απάγεται από τον αέρα ψύξης εξαρτάται από:

1. Τη συνολική επιφάνεια των πτερυγίων ψύξης που πρέπει να είναι ημέγιστη δυνατή και καλά μοιρασμένη στην εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου
2. Την ταχύτητα και την ποσότητα του αέρα που διαπερνά τα πτερύγια
3. Τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του περιβάλλοντα αέρα και των πτερυγίων. Για καλύτερη ψύξη, η θερμοκρασία πρέπει να είναι χαμηλή.

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται στους αερόψυκτους κινητήρες. Εξαιτίας της πολύ μικρής ειδικής θερμότητας που έχει ο αέρας σε σχέση με το νερό, ο όγκος του είναι πολύ μεγαλύτερος από τον όγκο ίσου βάρους νερού. Έτσι για την απαγωγή μιας ορισμένης ποσότητας θερμότητας απαιτείται πολύ μεγαλύτερος όγκος αέρα. Γι' αυτό το λόγο οι πρώτοι αερόψυκτοι κινητήρες χρησιμοποιήθηκαν σε αεροπλάνα και δίκυκλα, κινητήρες που ήταν αντιστάθιμοι σε ισχυρό ρεύμα αέρα κατά την κίνηση τους. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν και σε αυτοκίνητα όπως το VW (που χρησιμοποιεί βενζίνη για καύσιμο) και το Deutz (που χρησιμοποιεί πετρέλαιο).

Το κυριότερο εξάρτημα του συστήματος ψύξης με αέρα είναι ο ανεμιστήρας. Αυτός είναι αξονικού, ή φυγοκεντρικού τύπου, μεγάλης παροχής αέρα. Η αναρρόφηση του ανεμιστήρα είναι τοποθετημένη στο μπροστινό μέρος του κινητήρα και γενικά στο μπροστινό μέρος του οχήματος. Ο αερόψυκτος κινητήρας έχει ανεξάρτητους μεταξύ τους κυλίνδρους, οι οποίοι έχουν εξωτερικά ειδικά πτερύγια ψύξης. Γύρω από τους κυλίνδρους και τις κεφαλές τους, τοποθετείται περίβλημα από λαμαρίνα κι έτσι σχηματίζεται ένα σύστημα αγωγών αέρα, που ονομάζεται αεροχιτώνιο.

Το σύστημα αυτό εξασφαλίζει τη διοχέτευση του αέρα που προέρχεται από τον ανεμιστήρα σ' όλα τα σημεία των κυλίνδρων και των κεφαλών τους, για να πετυχαίνετε η καλή και ομοιόμορφη ψύξη του κινητήρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις αερόψυκτων κινητήρων

χρησιμοποιείται και ένα ειδικό ψυγείο λαδιού, που ψύχει το λάδι, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στην ψύξη του κινητήρα.

Οι παλαιότεροι αεροπορικοί κινητήρες είχαν τους κυλίνδρους εκτεθειμένους στη ροή του αέρα. Όμως, η πρακτική αυτή δεν ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματική διότι η άμεση επαφή τους με το ρεύμα αέρα δεν ήταν μεγάλη, ενώ δεν πραγματοποιούνταν στο ίδιο ποσοστό για κάθε κύλινδρο. Οιοπίσθιοι κύλινδροι, για παράδειγμα, ελάμβαναν μικρή ποσότητα αέρα. Επιπρόσθετα, το σχήμα ψύξης αυτό διαμόρφωνε μεγάλο συντελεστή αντίστασης για το αεροσκάφος. Με το πέρασμα του χρόνου δημιουργήθηκαν κάποιες τεχνικές οι οποίες δημιουργούν κατάλληλη ροή αέρα για τη βέλτιστη ψύξη των κυλίνδρων ενώ, πλέον, ολόκληρος ο κινητήρας τοποθετείται μέσα σε κάλυμμα, επί του αεροσκάφους, με κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα.

Η βέλτιστη ψύξη των κυλίνδρων επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση διαχωριστικών ελασμάτων (baffles) και οδηγών πτερυγίων (deflectors) μεταξύ τους και πάνω από τις κεφαλές τους, στον εσωτερικό χώρο του αεροδυναμικού καλύμματος. Μία τέτοια διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 1.55 και στο Σχήμα 1.56. Παράλληλα, πάνω στο αεροδυναμικό κάλυμμα και στο οπίσθιο τμήμα του κινητήρα, τοποθετούνται κινητές θυρίδες (cowflaps)

για την έξοδο του αέρα ψύξης (Σχήμα 1.57). Αυτές κινούνται ηλεκτρικά, υδραυλικά ή μηχανικά. Σκοπός τους είναι να δημιουργήσουν μία περιοχή χαμηλής πίεσης στην έξοδο του αέρα ψύξης ώστε αυτός να επιταχύνεται εκεί και να πραγματοποιείται ομαλά η ροή του ανάμεσα στους κυλίνδρους. Μικρό άνοιγμα των θυρίδων επιφέρει θέρμανση του κινητήρα ενώ μεγάλο επιφέρει υπερβολική ψύξη και αύξηση του συντελεστή αντίστασης. Κατά τη

διάρκεια της πτήσης, το εύρος ανοίγματος των κινητών θυρίδων εξαρτάται από την ταχύτητα του αεροσκάφους. Στις μικρές ταχύτητες, οι θυρίδες ανοίγουν περισσότερο ενώ στις μεγάλες ταχύτητες λιγότερο ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη για την ψύξη ροή αέρα. Κατά τη διάρκεια της απογείωσης, οι θυρίδες ανοίγουν ελάχιστα, ενώ όταν ο κινητήρας λειτουργεί με το αεροσκάφος στο έδαφος διατηρούνται εντελώς ανοιχτές. Σε κάποιους αεροπορικούς κινητήρες χρησιμοποιείται μία διάταξη (augmentor) που εκμεταλλεύεται τη ροή των καυσαερίων ώστε να αυξηθεί ακόμη περισσότερο η ροή του αέρα ψύξης.

Η διάταξη αποτελείται από δύο σωλήνες, που ο ένας βρίσκεται μέσα στον άλλον. Στον εσωτερικό σωλήνα οδηγούνται καυσαέρια από τον κινητήρα ενώ στον εξωτερικό εισρέει ατμοσφαιρικός αέρας ψύξης. Πραγματοποιείται με τον τρόπο αυτό, μετάδοση θερμότητας από το θερμό ρεύμα των καυσαερίων στο ψυχρότερο ρεύμα του αέρα και ο τελευταίος αποκτά υψηλή θερμοκρασία, μεγάλη ταχύτητα και χαμηλή πίεση. Έτσι, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εισροή αέρα για την ψύξη του κινητήρα. Επειδή δε, τα δύο ρεύματα δεν αναμειγνύονται, ο εισερχόμενος αέρας χρησιμοποιείται στα συστήματα κλιματισμού και αποπάγωσης του αεροσκάφους. Να σημειωθεί ότι και σε αυτή τη διάταξη χρησιμοποιούνται ειδικά κινητά πτερύγια για τη μείωση της ψύξης του κινητήρα ή την αύξηση της θέρμανσης του αέρα που οδηγείται στο αεροσκάφος. *Ένδειξη θερμοκρασίας κυλίνδρων.* Η λήψη θερμοκρασίας από έναν κύλινδρο πραγματοποιείται από ένα θερμοζεύγος που είναι τοποθετημένο στην κεφαλή στα τοιχώματα του. Η ένδειξη της θερμοκρασίας φτάνει στο ενδεικτικό όργανο από το ζεύγος μέσω καλωδίου.

## 2.4. Σύγκριση Τρόπου Ψύξης(Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα)

### 2.4.1. Υδρόψυκτοι κινητήρες

Οι υδρόψυκτοι κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως σε οχήματα και άλλες εφαρμογές. Σε σύγκριση με τους αερόψυκτους παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως είναι η ανεξαρτησία του συστήματος ψύξης από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα. Μεγαλύτερη ικανότητα προσαρμογής, στους υδρόψυκτους κινητήρες από τις εναλλασσόμενες φάσεις λειτουργίας τους, που επιβάλλονται από την κίνηση του οχήματος. Μείωση του θορύβου που προέρχεται από τη λειτουργία του κινητήρα. Από την άλλη πλευρά τα αρνητικά αυτών των κινητήρων είναι ότι έχουν περιορισμένα όρια εφαρμογής του συστήματος ψύξης, επειδή το νερό βράζει στους 100 C και πήζει στους 0 C. Ακόμα το όλο σύστημα ψύξης προσθέτει βάρος. Άρα είναι μεγαλύτερο το συνολικό βάρος του οχήματος και κατά συνέπεια προσθέτει κόστος σχεδιασμού και κατασκευής. Τέλος, αποτελείται από μέρη τα οποία απαιτούν περισσότερη συντήρηση εξαιτίας των διαρροών που μπορεί να προκύψουν.

### 2.4.2. Αερόψυκτοι κινητήρες

Τα πλεονεκτήματα των αερόψυκτων κινητήρων είναι ότι έχουν απλούστερο σύστημα ψύξης και δυνατότητα δημιουργίας μεγαλύτερων θερμοκρασιών λειτουργίας του κινητήρα. Από την άλλη πλευρά έχουν και τα μειονεκτήματα ότι υπάρχει περισσότερος θόρυβος, εξαιτίας της λειτουργίας του μεγάλου ανεμιστήρα, πράγμα που δυσχεραίνει τη χρησιμοποίηση του σε μικρά επιβατικά αυτοκίνητα. Ακόμα παρουσιάζεται δυσχέρεια ψύξης κατά τις θερμές μέρες, όταν ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί και το αυτοκίνητο είναι σε στάση.

## 2.5. Συχνές Βλάβες

Τρεις είναι οι πιο συνηθισμένες βλάβες που μπορούν απρόβλεπτα να διακόψουν τη λειτουργία του κινητήρα. Η πιο σημαντική είναι να έχει κοπεί ο ιμάντας της αντλίας. Σίγουρο σημάδι ότι κάτι τέτοιο έγινε είναι η άνοδος και γρήγορα μάλιστα της θερμοκρασίας, μαζί με το άναμμα της προειδοποιητικής για το σύστημα φόρτισης της λυχνίας. Επειδή το αλτερνέιτορ γυρίζει με το ίδιο λουρί που γυρίζει η αντλία του νερού, η παροχή ρεύματος σταματά μόλις σταματήσει και η περιστροφή του, οπότε ανάβει και το σχετικό λαμπάκι. Υπάρχουν σήμερα εταιρείες που διαθέτουν ελαστικούς ιμάντες οι οποίοι τοποθετούνται χωρίς εργαλεία και διαρκούν λίγα χιλιόμετρα μέχρι να επανορθωθεί σωστά η βλάβη.

Δεύτερη πιο συνηθισμένη βλάβη στο κύκλωμα ψύξης είναι ο θερμοστάτης που λειτουργεί ως αυτορρυθμιζόμενη διόδος υγρού. Από κάποια θερμοκρασία και πάνω επιτρέπει τη ροή και την διακόπτη όταν ελαττωθεί. Το μέγεθος της διατομής της διόδου αυξάνεται από το μηδέν (κλειστό) ως το μέγιστο. Σε περίπτωση βλάβης η βαλβίδα του παραμένει στην ανοικτή ή στην κλειστή θέση και παύει να ελέγχει την κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού. Εάν ο θερμοστάτης παραμείνει κλειστός η θερμοκρασία αμέσως ανεβαίνει απότομα και είναι απαραίτητη η ακινητοποίηση του αυτοκινήτου. Η διόρθωση του προβλήματος γίνεται με αντικατάσταση του θερμοστάτη, ο οποίος βρίσκεται συνήθως σε σημείο με εύκολη πρόσβαση και μέσα σε ένα κέλυφος με 2 ή 3 βίδες.

Ο έλεγχος της καλής λειτουργίας του θερμοστάτη πραγματοποιείται με την τοποθέτηση του σε δοχείο θερμού νερού με ένα θερμόμετρο. Πρέπει η βαλβίδα να ανοίγει στους βαθμούς που αναγράφονται στο θερμοστάτη και να κλείνει στους αντίστοιχους αναγραφόμενους

βαθμούς. Αν η βαλβίδα καθυστερεί να ανοίξει ή το άνοιγμα είναι μικρό τότε ο θερμοστάτης αντικαθίσταται

Τρίτη κοινή βλάβη είναι αυτή της ηλεκτροβαλβίδας του βεντιλατέρ κατά την οποία παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας πέρα τον προβλεπόμενων ορίων.

#### 2.5.1. Ελαττωματική λειτουργία της τάπας του ψυγείου

Η τάπα έχει δυο βαλβίδες που εξασφαλίζουν σταθερή πίεση στο κύκλωμα ψύξης: α) τη βαλβίδα υποπίεσης και β) τη βαλβίδα υπερπίεσης. Η βαλβίδα υποπίεσης ανοίγει όταν η πίεση στο ψυγείο γίνει μικρότερη από την ατμοσφαιρική, κατά την ψύξη του κινητήρα ή την απώλεια ψυκτικού υγρού. Στην περίπτωση αυτή, ανοίγει η βαλβίδα υποπίεσης, μπαίνει ατμοσφαιρικός αέρας και εξισώνονται οι πιέσεις.

Η βαλβίδα υπερπίεσης ανοίγει όταν δημιουργηθεί υπερπίεση στο ψυγείο δηλαδή ενεργεί σαν βαλβίδα ασφαλείας. Η κακή λειτουργία της τάπας οφείλεται κυρίως στη φθορά της φλάντζας, στο κόλλημα των βαλβίδων και στη παραμόρφωση των χειλιών της. Τα αίτια αυτών των βλαβών οφείλονται στην υψηλή θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού, στη συγκέντρωση ακαθαρσιών και στις διαβρώσεις από θερμό ατμό. Η αποκατάσταση των βλαβών γίνεται συνήθως με αντικατάσταση της τάπας.

#### 2.5.2. Μικρή απόδοση του ανεμιστήρα

Η μικρή απόδοση του ανεμιστήρα οφείλεται είτε στην παραμόρφωση των πτερυγίων του ανεμιστήρα είτε στην αντικοινωνική τοποθέτηση ή χαλάρωση του ιμάντα ή χαλάρωση της έδρασής του. Στην περίπτωση ηλεκτροκίνητου ανεμιστήρα οι κυριότερες βλάβες είναι είτε το βραχυκύκλωμα του ηλεκτροκίνητηρα είτε η κακή λειτουργία της βαλβίδας του βεντιλατέρ στο ψυγείο νερού.

Άλλες αιτίες μικρής απόδοσης του ανεμιστήρα είναι αυτές που οφείλονται σε παραμόρφωση ή έμφραξη των αεραγωγών του ψυγείου από έντομα, σκόνη, φύλλα κι άλλα μικρά ξένα σωματίδια. Για να αυξηθεί η απόδοση του ανεμιστήρα ελέγχονται τα πτερύγια του, η στερέωση του και η τάση του ιμάντα. Σε έμφραξη του ψυγείου πρέπει: α) να καθαρίζονται συχνά οι αεραγωγοί του ψυγείου με νερό και πεπιεσμένο αέρα, β) να ευθυγραμμίζονται και γ) να αποφεύγεται η τοποθέτηση προβολέων ή άλλων διακοσμητικών μπροστά στο ψυγείο.

#### 2.5.3. Ελαττωματική λειτουργία της αντλίας του νερού.

Ένας γρήγορος έλεγχος για τη διαπίστωση των φθορών της αντλίας γίνεται με κίνηση του ανεμιστήρα πάνω-κάτω και δεξιά-αριστερά. Ελέγχονται επίσης ο άξονας και η βάση της αντλίας νερού για διαρροές ψυκτικού υγρού, εξαιτίας κακής εφαρμογής ή χαλαρότητας του στεγανοποιητικού δακτυλίου και της φλάντζας. Οι κυριότερες αιτίες ελαττωματικής λειτουργίας της αντλίας είναι:

- 1) Η φθορά των ρουλεμάν της
- 2) Η φθορά του δακτυλιδιού στήριξης του άξονα της
- 3) Η φθορά του στεγανοποιητικού δακτυλίου
- 4) Η κακή λίπανση
- 5) Η υπερβολική τριβή

6) Η διάβρωση εξαιτίας του θερμού νερού

7) Η υπερβολική τάση του ιμάντα.

#### 2.5.4. Έμφραξη των υδροχιτωνίων του κινητήρα.

Η έμφραξη των υδροχιτωνίων του κινητήρα, οφείλεται στα διάφορα άλατα, ακαθαρσίες, λίπη και σκουριές που δημιουργούν όλα μαζί μια μονωτική μεμβράνη. Έτσι το ψυκτικό υγρό δεν έρχεται σε επαφή με τις μεταλλικές επιφάνειες των κυλίνδρων, για την απαγωγή της θερμότητας.

Σε μερικές περιπτώσεις, οι παραπάνω ακαθαρσίες φεύγουν από την επιφάνεια των υδροχιτωνίων και συγκεντρώνονται σε ορισμένα σημεία, με αποτέλεσμα την έμφραξη τους. Αυτό προκαλεί τοπική ή ολική υπερθέρμανση του κινητήρα. Για την αποφυγή της βλάβης αυτής χρησιμοποιείται απιονισμένο νερό. Συμπληρώνεται τακτικά η στάθμη νερού του βοηθητικού δοχείου, ώστε να αποφεύγεται η είσοδος αέρα στο κύκλωμα. Ακόμα χρησιμοποιούνται κατάλληλα αντιδιαβρωτικά μέσα στο ψυκτικό υγρό.

#### 2.5.5. Έμφραξη του ψυγείου.

Οι λεπτές διαμέτρου αγωγοί του ψυγείου, πολλές φορές, φράζουν από μικρά κομμάτια σκουριάς κι αλάτων που παρασύρονται από τα υδροχιτώνια με το ψυκτικό υγρό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δυσκολία στην κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού από τον άνω στον κάτω υδροθάλαμο. Αυτό γίνεται αιτία της διαρροής του υγρού από το σωλήνα υπερχειλίσης και τελικά την υπερθέρμανση του κινητήρα. Για τον καθαρισμό του ψυγείου χρησιμοποιείται χαμηλή πίεση νερού με χημικά καθαριστικά και πεπιεσμένο αέρα.

#### 2.5.6. Κακή κατάσταση των ελαστικών σωλήνων του ψυκτικού υγρού

Οι ελαστικοί σωλήνες μεταφοράς νερού παραμορφώνονται, σπάζουν ή χαλαρώνουν, από την κακή σύσφιξη των άκρων τους κι από τους κραδασμούς του κινητήρα. Ακόμα αλλοιώνονται από τις μεταβολές θερμοκρασίας και την ύπαρξη λαδιού στις επιφάνειες τους. Τα παραπάνω προκαλούν διαρροές, είσοδο αέρα στο κύκλωμα, δυσκολία στην κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού κι απόσπαση υλικού από το εσωτερικό των σωλήνων με αποτέλεσμα την έμφραξη του ψυγείου.

#### 2.5.7. Ελαττωματική λειτουργία του οργάνου ένδειξης θερμοκρασίας

Το όργανο ένδειξης της θερμοκρασίας είναι τύπου πτητικού υγρού ή τύπου ηλεκτρικής αντίστασης. Τοποθετείται στον πίνακα των οργάνων κι αποτελείται από τον αισθητήρα και το όργανο ένδειξης. Ο αισθητήρας συνδέεται στο σώμα του κινητήρα και έρχεται σε επαφή με το ψυκτικό υγρό ή το λάδι. Το πτητικό υγρό του αισθητήρα εξαερώνεται από την αύξηση της θερμοκρασίας και πιέζει μια βαλβίδα. Η βαλβίδα αυτή ενεργεί σαν μεταβλητή αντίσταση στο ηλεκτρικό κύκλωμα του οργάνου και επομένως επενεργεί στην κίνηση της βελόνας. Οι αισθητήρες τύπου ηλεκτρικής αντίστασης αποτελούνται από μεταβλητή αντίσταση της οποίας μεταβάλλεται η ωμική αντίσταση ανάλογα με την θερμοκρασία.

#### 2.5.8. Διαρροές ψυκτικού υγρού

Οι διαρροές στους υδρόψυκτους κινητήρες είναι ένα από τα σοβαρότερα μειονεκτήματα. Αιτίες διαρροών είναι: η θραύση, η κακή σύσφιξη, η παραμόρφωση και η διάβρωση των διαφόρων μερών του συστήματος. Οι αιτίες αυτές οφείλονται στις μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές, στις πιέσεις του ψυκτικού υγρού, και στους κραδασμούς του κινητήρα. Οι εξωτερικές διαρροές αναγνωρίζονται από την ύπαρξη ψυκτικού υγρού στα

εξωτερικά μέρη του συστήματος ψύξης. Οι εσωτερικές αναγνωρίζονται από την ύπαρξη νερού στο Κάρτερ ή στους κυλίνδρους.

#### 2.5.9. Οι αιτίες διαρροών

Για τη διάγνωση εσωτερικών διαρροών πρέπει να παρατηρηθεί ύπαρξη νερού στο Κάρτερ, άφρισμα του λαδιού, χαμηλή στάθμη στο ψυγείο, ανώμαλη λειτουργία του κινητήρα και εξαγωγή λευκού καπνού στα καυσαέρια. Για την αποκατάσταση των παραπάνω φθορών αποσυναρμολογείται ο κινητήρας και επισκευάζονται τα υπεύθυνα μέρη. Η αποκατάσταση των παραπάνω διαρροών απαιτεί ανάλογα με το είδος της βλάβης να γίνει ή σύσφιξη, ή συγκόλληση, ή αντικατάσταση των φθαρμένων μερών.

- 1) Το ράγισμα ή η παραμόρφωση της κεφαλής των κυλίνδρων
- 2) Η καύση ή η παραμόρφωση της φλάντζας κεφαλής
- 3) Η κακή σύσφιξη, η φθορά και η παραμόρφωση των φλαντζών της αντλίας νερού και της βάσης του θερμοστάτη
- 4) Η θραύση των σωληνώσεων νερού του ψυγείου
- 5) Η κακή στεγανότητα του άξονα της αντλίας
- 6) Η διάτρηση ή κακή σύσφιξη των ελαστικών σωλήνων νερού
- 7) Η κακή σύσφιξη του κρουνού εκκένωσης του ψυγείου
- 8) Η εξαγωγή ψυκτικού υγρού από το σωλήνα υπερχειλίσης
- 9) Η φθορά ή παραμόρφωση των ελαστικών δακτυλίων στεγανοποίησης των υδροχιτωνίων.

#### 2.5.10. Αντικανονική στάθμη του ψυκτικού υγρού στο ψυγείο.

Η στάθμη του ψυκτικού υγρού πρέπει να είναι 2 εκατοστά περίπου κάτω από τη βάση της τάπας. Υψηλότερη ή χαμηλότερη στάθμη θεωρείται αντικανονική. Αιτίες της χαμηλής στάθμης είναι: οι διαρροές ψυκτικού υγρού και η ύπαρξη αέρα στα υδροχιτώνια επειδή ο θερμοστάτης παραμένει στην κλειστή θέση κατά το γέμισμα του συστήματος ψύξης. Επειδή υπάρχει αέρας στα υδροχιτώνια δεν γίνεται σωστή κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού και γι' αυτό δημιουργείται υπερθέρμανση του κινητήρα. Για την αποφυγή αυτής της βλάβης πρέπει κατά το γέμισμα του συστήματος ψύξης με ψυκτικό υγρό να συμπληρώνεται με νερό αργά.

Μετά το γέμισμα τίθεται σε λειτουργία ο κινητήρας, μέχρι να ζεσταθεί, να ανοίξει ο θερμοστάτης και να ξανασυμπληρωθεί με νερό στη σωστή στάθμη. Όταν η στάθμη είναι υψηλή πρέπει να εξετάζονται τα εξής: τυχόν έμφραξη του συστήματος ψύξης, είσοδος καυσαερίων στο σύστημα, ή αναρρόφηση αέρα. Από τις αιτίες αυτές το υγρό βγαίνει από το σωλήνα υπερχειλίσης και προκαλείται έτσι υπερθέρμανση του κινητήρα.

#### 2.5.11. Ύπαρξη αέρα και άφρισμα ψυκτικού υγρού.

Η ύπαρξη αέρα στο σύστημα ψύξης αυξάνει τη διάβρωση των υδροχιτωνίων, ελαττώνει την ψυκτική ικανότητα του συστήματος δημιουργώντας άφρισμα του ψυκτικού υγρού που

εξέρχεται από το σωλήνα υπερχειλίσης. Ο αέρας μπορεί να μπει στο σύστημα ψύξης από την τάπα του ψυγείου κι από τις χαλαρές συνδέσεις των σωληνώσεων λόγω της υποπίεσης που δημιουργεί η αντλία νερού στην αναρρόφηση.

Το άφρισμα του ψυκτικού υγρού μπορεί να οφείλεται σε ύπαρξη διαφόρων χημικών ενώσεων στο νερό, στη διαρροή καυσαερίων προς το κύκλωμα ψύξης και σε αλλοίωση του αντιπηκτικού.

Για την αποκατάσταση των παραπάνω βλαβών, ελέγχεται η ποιότητα του αντιπηκτικού αδειάζοντας το σύστημα και ξαναγεμίζοντας το με αποσταγμένο νερό. Αν παρατηρηθεί πάλι άφρισμα, αυτό οφείλεται σε είσοδο αέρα ή καυσαερίων στο κύκλωμα. Αν το άφρισμα οφείλεται στην ύπαρξη αέρα ελέγχονται οι συνδέσεις των σωλήνων νερού, ο τζόγος του άξονα και της αντλίας νερού και γενικά η αντλία για στεγανότητα. Αν τέλος, το άφρισμα οφείλεται στην είσοδο καυσαερίων στο κύκλωμα, τότε πρέπει να ελέγχονται η παραμόρφωση ή το κάψιμο της φλάντζας της κυλινδροκεφαλής και τυχόν ρωγμές στους κυλίνδρους ή στην κεφαλή.

#### 2.5.12. Πήξη του ψυκτικού υγρού

Το νερό πήζει στους 0 C και κατά την πήξη του αυξάνεται ο όγκος του κατά 9%. Η διαστολή αυτή δημιουργεί ισχυρές πιέσεις στα τοιχώματα του χώρου που βρίσκεται. Η πήξη του νερού μέσα στα υδροχιτώνια και στο ψυγείο μπορεί να προκαλέσει μικρά ή μεγάλα ρήγματα στον κορμό, στην κεφαλή, στις έδρες των βαλβίδων και στο ψυγείο. Για να αποφύγουμε την πήξη του νερού προσθέτουμε αντιπηκτικό διάλυμα που κατεβάζει το σημείο πήξης του νερού πολύ κάτω από το μηδέν. Έτσι δεν υπάρχει φόβος για την δημιουργία των παραπάνω βλαβών.

#### 2.5.13. Χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα

Οι κυριότερες αιτίες που δημιουργούν χαμηλή θερμοκρασία στη λειτουργία του κινητήρα είναι:

- 1) Η παραμονή του θερμοστάτη σε ανοικτή θέση από βλάβη του
- 2) Ο πολύ ψυχρός αέρας περιβάλλοντος.
- 3) Ψυγείο μεγάλης χωρητικότητας.
- 4) Αντικανονικός ανεμιστήρας

#### 2.5.14. Υπερβολική τάση του ιμάντα

Η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού πρέπει να είναι σταθερή γύρω στους 82 C, για να λειτουργεί ομαλά κι αποδοτικά ο κινητήρας. Όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη, τότε δημιουργείται κακή καύση του μίγματος, είσοδος βενζίνας στο Κάρτερ που διαλύει το λάδι, κάπνισμα των κυλίνδρων, υγροποίηση των εισερχομένων στο Κάρτερ υδρατμών που αλλοιώνουν το λάδι, αύξηση της κατανάλωσης βενζίνας και μείωση της απόδοσης του κινητήρα. Για αποκατάσταση των παραπάνω βλαβών ελέγχονται ο ιμάντας, ο θερμοστάτης, το ψυγείο και ο ανεμιστήρας.

### 2.5.15. Υπερθέρμανση του κινητήρα

Η θερμοκρασία του κινητήρα πρέπει να είναι σταθερή μέσα σε ορισμένα όρια. Αν ανέβει πάνω από 110 C τότε παρατηρούνται: αλλοίωση ή καύση του λαδιού λίπανσης, διαστολή των μεταλλικών μερών καύσης ή φθορά των τριβόμενων μερών του κινητήρα και τέλος κόλλημα ή θραύση του κινητήρα. Υπερθέρμανση του κινητήρα μπορεί βέβαια να προκληθεί και από άλλες αιτίες κατά τη λειτουργία του που δεν ανήκουν όμως σε βλάβες του συστήματος ψύξης. Π.χ. βλάβη στο σύστημα λίπανσης, τροφοδοσίας κλπ.

Οι κυριότερες βλάβες που προκαλούν υπερθέρμανση του κινητήρα είναι:

- 1) Η κακή λειτουργία της τάπας του ψυγείου.
- 2) Η έμφραξη των αεραγωγών ή σωληνίσκων του ψυγείου
- 3) Η μικρή χωρητικότητα του ψυγείου
- 4) Η στρέβλωση ή κακή τοποθέτηση του ανεμιστήρα
- 5) Η χαλάρωση, ολίσθηση ή θραύση του ιμάντα
- 6) Η κακή λειτουργία του θερμοστάτη
- 7) Η μικρή παροχή της αντλίας
- 8) Η παραμόρφωση ή έμφραξη των αεραγωγών στους αερόψυκτους κινητήρες
- 9) Η μικρή ποσότητα ψυκτικού υγρού εξαιτίας των εσωτερικών ή εξωτερικών διαρροών
- 10) Η διαφυγή καυσαερίων προς το σύστημα ψύξης
- 11) Η αναρρόφηση αέρα ή άφρισμα του ψυκτικού υγρού
- 12) Η μόνωση ή έμφραξη των υδροχιτωνίων από άλατα ή σκουριά
- 13) Η διακοπή ρεύματος στον ηλεκτρικό ανεμιστήρα

### 2.6. Συντήρηση

Για την συντήρηση του κυκλώματος ψύξης θα πρέπει να γίνεται αλλαγή στο αντιψυκτικό κάθε δύο χρόνια. Μαζί με τηναλλαγή αυτή θα πρέπει να ελέγχεταιηκαθαρότητα του συστήματος και η τυχόν ύπαρξη διαρροών. Ο έλεγχος απαιτεί τον κατάλληλο εξοπλισμό ώστε να γίνεται σωστά. Για τον εσωτερικό καθαρισμό του υδροχιτωνίου υπάρχουν διάφορα καθαριστικά υγρά στην αγορά ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί διάλυμα σόδας σε αναλογία 4%. Το καθαριστικό υγρό πρέπει να παραμείνει στον ενεργό κινητήρα για 15 λεπτά περίπου και έπειτα αφαιρείται το υγρό και ξεπλένεται το κύκλωμα με νερό αρκετές φορές. Στη συνέχεια εισέρχεται το καινούργιο αντιψυκτικό, εφόσον έχουν ελεγχθείτα τμήματα του κυκλώματος για την κατάστασή τους.

Πολλά αυτοκίνητα διαθέτουν βίδα εξαέρωσης στο σύστημα ψύξης η οποία χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα. Η τάπα του ψυγείου πρέπει να λειτουργεί κανονικά ως βαλβίδα δύο δρόμων. Όταν λειτουργεί ο κινητήρας παράγεται θερμότητα και αυξημένες υποδυνάμεις δημιουργούν αυξημένα θερμικά φορτία με αποτέλεσμα να έχουν φυσικά αυξημένες απαιτήσεις από το σύστημα ψύξης. Ο όγκος του υγρού αυξάνεται λόγω διαστολής, η χωρητικότητα όμως του υδροχιτωνίου και του ψυγείου μένουν φυσικά

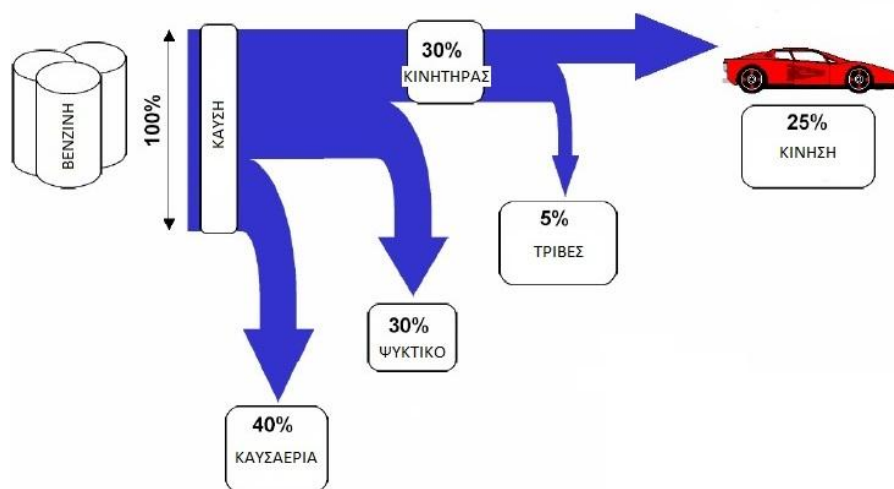


σταθερές. Το πλεονάζον αντιψυκτικό κάπου πρέπει να διοχετευθεί και όχι βέβαια στο δρόμο. Το κάτω μέρος λοιπόν της μαγικής τάπας επιτρέπει τη διέλευση του υπό πίεση υγρού που υπερνικά την πίεση του ελατηρίου της βαλβίδας και διοχετεύεται από το πλευρικό σωληνάκι προς το δοχείο διαστολής. Αυτό γίνεται όσο το υγρό θερμαίνεται και μεγαλώνει ο όγκος του. Όταν τώρα σβήσει ο κινητήρας και αρχίσει να κρύνει το αντιψυκτικό, ο όγκος του αρχίζει να μικραίνει. Δημιουργείται λοιπόν υποπίεση στο ψυγείο που προκαλεί την αναρρόφηση υγρού από το δοχείο διαστολής και την επιστροφή του στο ψυγείο. Η αναρρόφηση - επιστροφή αυτή γίνεται από τη δεύτερη βαλβίδα της τάπας, που λειτουργεί σε ανάποδη κατεύθυνση από την πρώτη βαλβίδα. Υπάρχουν τάπες με διάφορες σκληρότητες ελατηρίων που κανονίζουν και την όλη πίεση του κυκλώματος ψύξης.

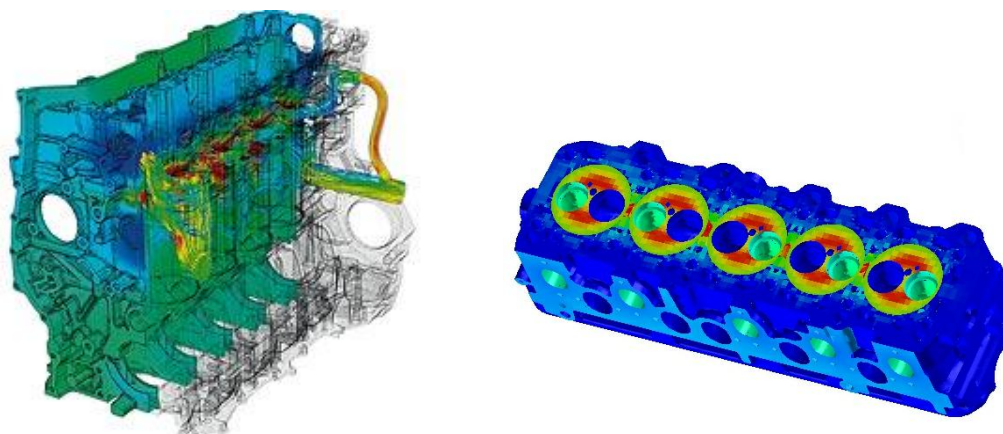
Αν τώρα η τάπα δεν λειτουργεί σωστά στη μία περίπτωση, αν δεν λειτουργήσει η βαλβίδα εξόδου (προς το δοχείο διαστολής) ο κίνδυνος είναι άμεσος να τρυπήσει κάποιο κολάρο ή να σπάσει κάποιος παλιός σφικτήρας. Αν δεν λειτουργήσει η δεύτερη βαλβίδα, θα είναι πολύ εύκολο να βράσει το αντιψυκτικό λόγω ελαττωμένης πίεσης στο κύκλωμα. Η Φυσική διδάσκει ότι το σημείο βρασμού χαμηλώνει όσο ελαττώνεται και η πίεση του περιβάλλοντος.

### 3. Μετάδοση Θερμότητας

Η λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης στηρίζεται στην παραγωγή μηχανικού έργου από τη ενέργεια των καυσίμων που εκλύεται κατά την καύση τους. Καύση είναι η χημική αντίδραση όπου η καύσιμος ύλη ενώνεται με το οξυγόνο του αέρα για να δώσει νέα συστατικά όπως διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Επειδή η ενέργεια που χρειάζεται για να σχηματιστούν τα νέα αυτά μόρια είναι μικρότερη από αυτή που είχαν τα αρχικά μόρια, μένει ελεύθερο ένα σημαντικό ποσό ενέργειας με την μορφή της θερμότητας (εξώθερμη αντίδραση, αποδιδόμενη ενέργεια). Η θερμότητα δεν είναι ακριβώς αυτό που ζητάμε, την εκμεταλλευόμαστε όμως για να πετύχουμε τον σκοπό μας.



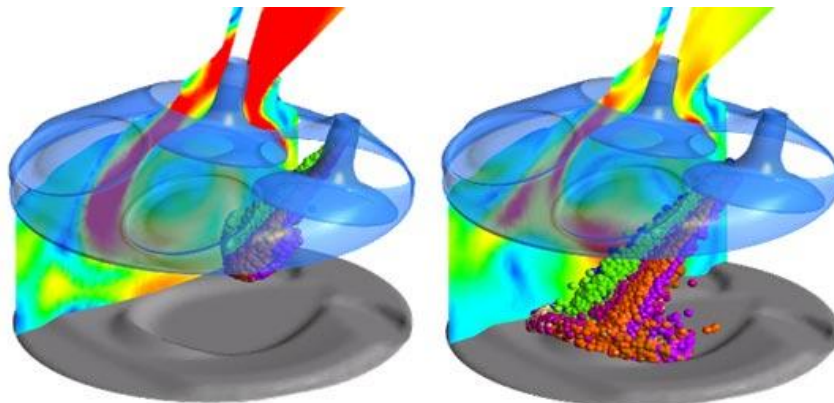
Εικόνα 29 Διάγραμμα ροής για τη χρήση του καυσίμου σε ποσοστά, ένα σημαντικό μέρος δεν αξιοποιείται για την κίνηση.



Εικόνα 30 Σχηματικό παράδειγμα ανάλυσης κατανομής θερμοκρασίας στον κορμό του κινητήρα όπου με μπλέ χρώμα εμφανίζονται οι πιο ψυχρές περιοχές ενώ με κόκκινο οι πιο θερμές

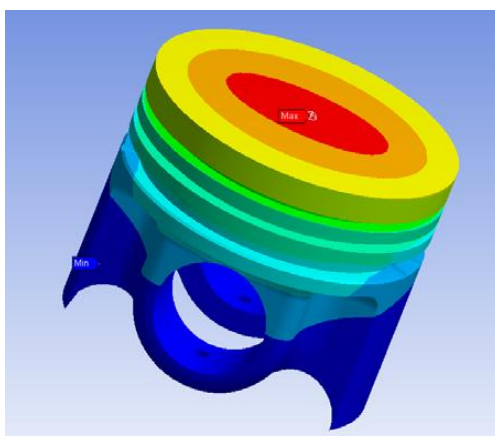
Μέρος λοιπόν αυτής της θερμότητας ανεβάζει την θερμοκρασία των αερίων προϊόντων της καύσης και αυξάνει την πίεσή τους. Τα υπερσυμπιεσμένα αέρια σπρώχνουν προς όλες τις κατευθύνσεις και φυσικά και την επιφάνεια του εμβόλου που αρχίζει να κινείται. Με αυτόν

τον τρόπο μετατρέπουμε την θερμότητα σε κινητική ενέργεια. Η κίνηση είναι αυτό που ζητάμε. Δυστυχώς δεν μπορούμε να μετατρέψουμε όλο το ποσό της εκλυόμενης ενέργειας του καυσίμου σε κινητική. Έτσι λοιπόν η μόνιμη πρόκληση των σχεδιαστών είναι να προσπαθήσουν να μειώσουν τις απώλειες και να παρουσιάσουν κινητήρες με τον καλύτερο βαθμό μετατροπής, της προσφερόμενης ενέργειας σε αποδιδόμενη.



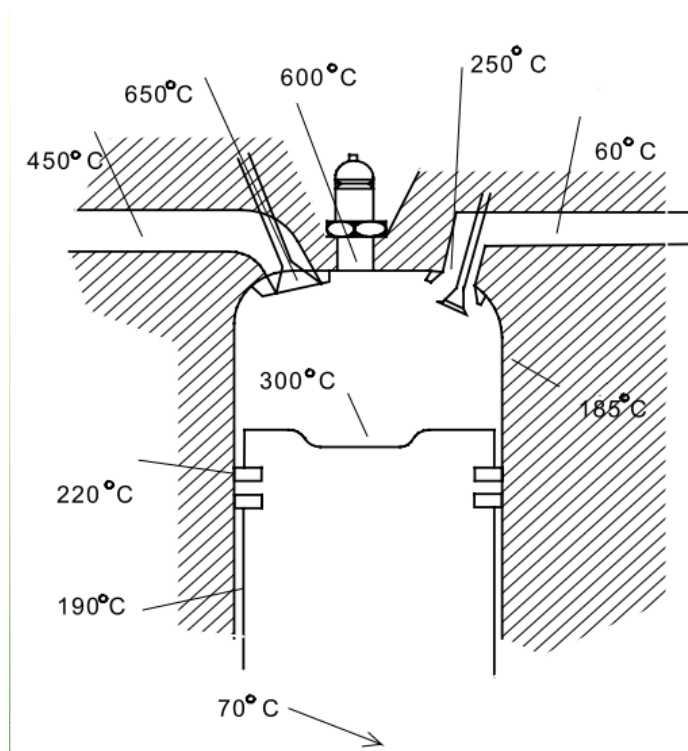
Εικόνα 31 Ρευστομηχανική ανάλυση της εισαγωγής καυσίμου στον κύλινδρο και την ταυτόχρονη εξαγωγή των καυσαερίων.

Η εξέλιξη των μηχανών έχει αναπτύξει υπολογιστικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται ως εργαλεία για την μελέτη της μετάδοσης θερμότητας στους κινητήρες. Αυτό επιτρέπει στους ερευνητές να αντιλαμβάνονται καλύτερα τι συμβαίνει στα μέρη του κινητήρα και να επιλύουν τα προβλήματα που προκύπτουν. Όσον αφορά την ψύξη των κινητήρων είναι σημαντικό να περιγράφεται με ακρίβεια η κατανομή της θερμοκρασίας. Τα υπολογιστικά συστήματα επιλύουν τις εξισώσεις μετάδοσης θερμότητας σε μικρούς χρόνους και παρέχουν την απαραίτητη πληροφορία. Με αυτό τον τρόπο επιλέγονται τα κατάλληλα υλικά και κράματα ώστε να μπορούν να αντέξουν στα αντίστοιχα θερμοκρασιακά εύρη.



Εικόνα 32 Μοντελοποίηση της κατανομής της θερμοκρασίας στο έμβολο, οι θερμές περιοχές είναι πιο ερυθρές.

Ο χώρος καύσης και συγκεκριμένα το επάνω τμήμα, όπως είναι αναμενόμενο, δέχεται τις υψηλότερες θερμοκρασίες οι οποίες εμφανίζονται κατά την λειτουργία του. Αν και τα καυσαέρια απομακρύνουν ένα σημαντικό ποσοστό θερμότητας, η θερμοκρασία αυξάνεται σταδιακά και το σύστημα ψύξης της εκάστοτε μηχανής προσπαθεί να το διατηρήσει στα επιτρεπτά όρια ώστε να μην υπάρξει βλάβη στον κινητήρα. Το κάτω μέρος του κυλίνδρου έχει μικρότερη θερμοκρασία περίπου 10 φορές χαμηλότερη από το επάνω τμήμα του κυλίνδρου. Ενώ στα τοιχώματα η θερμοκρασία δεν ξεπερνάει τους 200 βαθμούς κελσίου λόγω της καλής ψύξης από τη ροή αέρα ή υγρού.



Εικόνα 33 Σχηματική περιγραφή των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο χώρο καύσης της μηχανής

## 4. Βιβλιογραφία

1. <http://iceal.wikidot.com/engine-cooling1>
2. [http://www.pischools.gr/download/lessons/tee/mechanical/1b/kin\\_aeroskafon\\_1/kef\\_1a.pdf](http://www.pischools.gr/download/lessons/tee/mechanical/1b/kin_aeroskafon_1/kef_1a.pdf)
3. <http://www.ansys.com>
4. <http://el.wikipedia.org>
5. <http://www.citroen.gr/>
6. <http://www.volkswagenag.com/>
7. <http://www.pi-schools.gr/lessons/tee/mechanical/>
8. «Μηχανές Εσωτερικής Καύσης» Περικλής Χασιώτης