

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ
ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ**

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Διδακτικοί Στόχοι

Μετά το πέρας της μελέτης του πρώτου κεφαλαίου θα είστε ικανοί:

- Να αναφέρετε την ιστορική εξέλιξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης και την ανάπτυξη των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων.
- Να περιγράφετε τους κύκλους λειτουργίας των δίχρονων και τετράχρονων εμβολοφόρων κινητήρων και τις διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά τις διάφορες φάσεις τους.
- Να αναγνωρίζετε τα κύρια χαρακτηριστικά των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων και τις κατηγορίες στις οποίες αυτοί διακρίνονται.
- Να διακρίνετε τα κύρια εξαρτήματα των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων και να γνωρίζετε τη λειτουργία τους.
- Να διακρίνετε τα διάφορα συστήματα (λίπανσης, ψύξης κλπ) των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων και να γνωρίζουν τη λειτουργία τους.

1.1 Ιστορική εξέλιξη κινητήρων –είδη κινητήρων

1.1.1 Ιστορική εξέλιξη κινητήρων

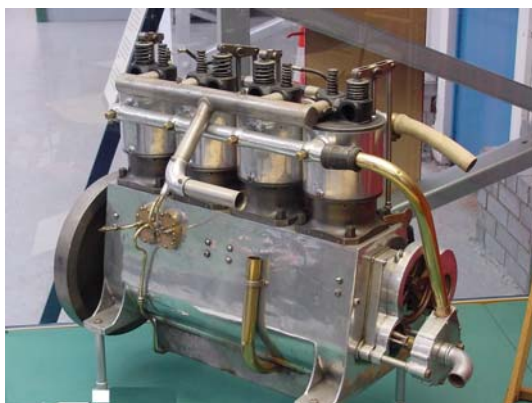
Οι άνθρωποι ονειρεύτηκαν να πετάξουν από την πρώτη στιγμή που αντίκρισαν τον ουρανό και τα πουλιά. Οι πρώτες προσπάθειες τους είχαν πλήρη αποτυχία. Ο λόγος δεν ήταν ο κακός σχεδιασμός ενός αντικειμένου με ικανό για την πτήση αεροδυναμικό σχήμα´ ήταν η έλλειψη τεχνογνωσίας για την παραγωγή της απαραίτητης ισχύος που θα επέτρεπε την πραγματοποίηση μιας πτήσης.

Το έτος 1483, ο Leonardo daVinci σχεδίασε μία «ιπτάμενη μηχανή», η οποία βέβαια δεν είχε καμία τύχη να πετάξει χωρίς την υποστήριξη της κατάλληλης μηχανικής ισχύος. Αρχικά, τη βασική ιδέα της χρήσης μίας ύλης που εκρήγνυται και κινεί ένα έμβολο για την παραγωγή έργου, ανέπτυξε πρώτος ο Γάλλος Abbe Hautefeuille το 1678. Οι πρώτοι εμβολοφόροι κινητήρες εσωτερικής καύσης σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν τις πρώτες δεκαετίες του 19^{ου} αιώνα. Ένας από αυτούς περιγράφεται από τον Reverend W. Cecil, το 1820 στην Αγγλία. Ο κινητήρας αυτός χρησιμοποιούσε ως καύσιμο μείγμα υδρογόνου και αέρα. Το 1838 ο Άγγλος εφευρέτης William

Barnett παρουσίασε έναν κινητήρα μονού κυλίνδρου, μέσα στον οποίο καιγόταν αέριο καύσιμο. Στην πράξη, ο πρώτος εμβολοφόρος κινητήρας εσωτερικής καύσης κατασκευάστηκε το 1860 από το Γάλλο εφευρέτη Jean Joseph Etienne Lenoir. Χρησιμοποιούσε φωταέριο ως καύσιμο και η έναυση πραγματοποιούνταν από μπαταρία. Μέσα σε λίγα χρόνια κατασκευάστηκαν περίπου 400 τέτοιοι κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την κίνηση μηχανημάτων όπως τórνοι και εκτυπωτικά συστήματα. Το 1862, ο Γάλλος Beau de Rocas έθεσε τους βασικούς όρους που πρέπει να πληρούνται ώστε ένας εμβολοφόρος κινητήρας να λειτουργεί με μέγιστη απόδοση.

Ο πρώτος τετράχρονος κινητήρας κατασκευάστηκε από τους Γερμανούς August Otto και Eugen Langen το 1876. Για το λόγο αυτό ο κύκλος λειτουργίας του τετράχρονου κινητήρα εσωτερικής καύσης ονομάζεται κύκλος Otto. Οι Otto και Langen ήταν αυτοί που ανέπτυξαν και το δίχρονο κινητήρα εσωτερικής καύσης, βασισμένοι σε ιδέες των Άγγλων Barnett και Clerk (1878).

Στις ΗΠΑ, το 1876, ο μηχανικός George B. Brayton κατασκεύασε έναν κινητήρα που χρησιμοποιούσε ως καύσιμο τη βενζίνη. Όμως, ο πρώτος βενζινοκινητήρας που λειτουργούσε σύμφωνα με τον κύκλο των τεσσάρων χρόνων αναπτύχθηκε από τους Γερμανούς Gottlieb Daimler και Karl Benz ξεχωριστά, το 1885. Ο τύπος κινητήρα αυτός έδωσε κίνηση στα πρώτα αυτοκίνητα, ενώ οι κινητήρες των σύγχρονων αυτοκινήτων έχουν διατηρήσει αρκετά χαρακτηριστικά του σε βασικά λειτουργικά τους σημεία. Το 1892, ο Γερμανός Rudolph Diesel πρότεινε έναν κινητήρα στον οποίο πραγματοποιούνταν αυτανάφλεξη του μείγματος αέρα – καυσίμου και αποτελεί τον προπομπό των σύγχρονων πετρελαιοκινητήρων.



Σχήμα 1.1 Κινητήρας Αδελφών Wright

Αν λάβουμε ως δεδομένο ότι η πρώτη επιτυχής πτήση αεροσκάφους ήταν αυτή που πραγματοποίησαν οι αδελφοί Wright στις 17 Δεκεμβρίου 1903, είναι ασφαλές να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ο πρώτος

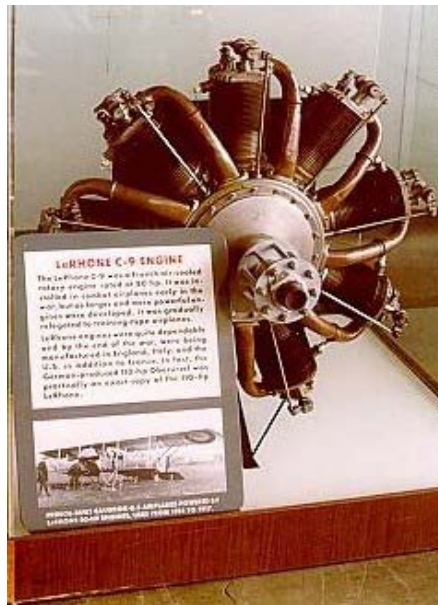
«επιτυχημένος» κινητήρας αεροσκάφους ήταν αυτός που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την πτήση. Ο κινητήρας αυτός σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τους αδελφούς Wright και το συνεργάτη τους, μηχανικό Charles Taylor. Χρησιμοποιούσε βενζίνη ως καύσιμο, ήταν υγρόψυκτος, είχε τέσσερις κυλίνδρους, βάρος 82 κιλών και ιπποδύναμη 12 ίππων. Στο Σχήμα 1.1 φαίνεται μία φωτογραφία του κινητήρα των αδελφών Wright ενώ το Σχήμα 1.2 δείχνει μία εξέλιξή του (Wright «Gipsy» L-320).



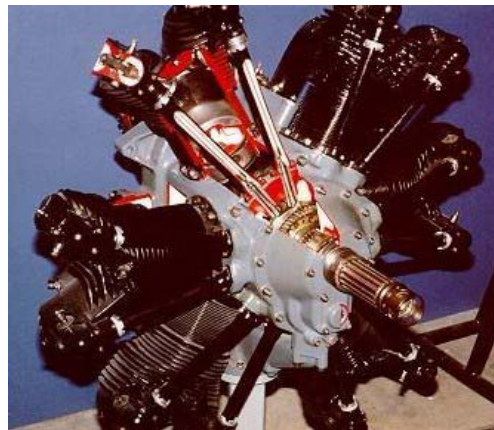
Σχήμα 1.2 Κινητήρας Wright «Gipsy» L-320

Κατά τη διάρκεια του 1^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου, σημειώθηκε πολύ μεγάλη πρόοδος στην ανάπτυξη και τη χρήση των αεροσκαφών, και παρουσιάστηκε εντυπωσιακή εξέλιξη των κινητήρων τους. Νέοι τύποι εμβολοφόρων κινητήρων αναπτύχθηκαν και έδωσαν κίνηση σε αεροσκάφη πρωτοπόρα για την εποχή τους. Τρεις τύποι κινητήρων, οι οποίοι αναπτύχθηκαν την περίοδο εκείνη, έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην περαιτέρω διάδοση των εμβολοφόρων κινητήρων: ο ακτινικός κινητήρας, ο κινητήρας εν σειρά και ο κινητήρας τύπου V.

Ο ακτινικός κινητήρας παράγει τη μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με το βάρος του. Οι κύλινδροί του βρίσκονται τοποθετημένοι ακτινικά γύρω από ένα μικρό στροφαλοθάλαμο. Χαρακτηριστικά δείγματα του τύπου αυτού αποτελούν οι κινητήρες που φαίνονται στο Σχήμα 1.3 και Σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.3 Κινητήρας LeRhone-C9

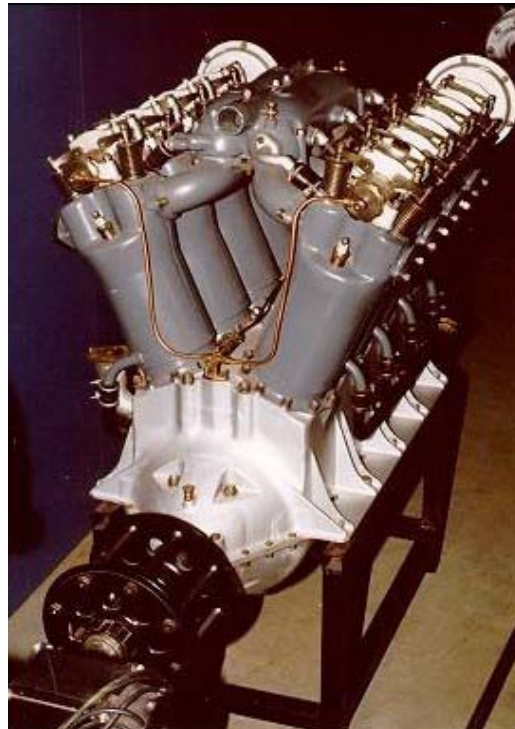


Σχήμα 1.4 Κινητήρας Curtiss R-600

Ο κινητήρας εν σειρά (Σχήμα 1.5α) έχει όλους τους κυλίνδρους του παρατεταγμένους σε σειρά και παρουσιάζει πολύ μεγάλη αξιοπιστία. Όμως εμφανίζει το μειονέκτημα του αυξημένου βάρους λόγω του μεγάλου στροφαλοφόρου άξονά του.



(α)



(β)

Σχήμα 1.5 (α) Κινητήρας εν σειρά (Benz BZ-4), (β) Κινητήρας τύπου V (Liberty L-8)

Τέλος, ο κινητήρας τύπου V χρησιμοποιεί ένα μικρότερο στροφαλοφόρο άξονα αποτελώντας ένα συμβιβασμό μεταξύ ελαφριάς κατασκευής και ικανοποιητικής απόδοσης. Στο τέλος του 1ου παγκοσμίου πολέμου καθιερώθηκε η χρήση κινητήρων τύπου V και κυριότερα των Curtiss K-12, Hispano – Suiza και Liberty L-8 (Σχήμα 1.5β).

Στα τέλη της δεκαετίας του 1920, στην Αμερική, αναπτύχθηκε μία σειρά από ακτινικούς αεροπορικούς κινητήρες με μεγάλη αξιοπιστία στη λειτουργία τους. Ήταν τότε που πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες υπερατλαντικές πτήσεις που καθιέρωσαν το αεροπλάνο ως πρακτικό μέσο μεταφοράς. Στο Σχήμα 1.6 φαίνεται ο κινητήρας του αεροπλάνου «Spirit of Saint Louis» το οποίο το 1927 πραγματοποίησε την πρώτη υπερατλαντική πτήση.



Σχήμα 1.6 Κινητήρας Wright R-790

Η ανάπτυξη και η ραγδαία εξάπλωση των αεροστροβίλων κατά τη δεκαετία του 1950 περιόρισε τη χρήση των εμβολοφόρων κινητήρων στις αεροπορικές εφαρμογές. Σήμερα, οι τελευταίοι χρησιμοποιούνται σε μικρά αεροσκάφη χωρίς, βέβαια, να έχουν εκλείψει οι μεγάλοι εμβολοφόροι κινητήρες που κινούν με μεγάλη αξιοπιστία παλαιότερα αεροσκάφη τα οποία βρίσκονται σε κανονική λειτουργία.

1.1.2 Είδη κινητήρων εσωτερικής καύσης

Οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία του αεροπορικού κινητήρα βασίστηκαν στις αρχές λειτουργίας των **θερμικών μηχανών**. Ως **θερμική μηχανή** ορίζουμε τη μηχανή η οποία μετατρέπει τη θερμότητα σε μηχανική ενέργεια. Η θερμότητα μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως κάρβουνο, πετρέλαιο, υγραέριο αλλά και από τον ήλιο ή από πυρηνική αντίδραση. Στην περίπτωση της καύσης, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε θερμότητα και στη συνέχεια σε μηχανική ενέργεια:

- μέσω ενός εμβόλου, σε εμβολοφόρο κινητήρα, ή,
- μέσω ενός στροβίλου, σε αεριοστρόβιλο κινητήρα.

Ο θερμοκινητήρας που χρησιμοποιεί καύσιμο, χαρακτηρίζεται ανάλογα με το αν το εργαζόμενο μέσο ταυτίζεται με το προϊόν της καύσης ή είναι διαφορετικό από αυτό:

- Στην περίπτωση των μηχανών εσωτερικής καύσης ή Μ.Ε.Κ., το καύσιμο καίγεται με το κατάλληλο ποσοστό αέρα μέσα στον ίδιο τον κινητήρα και το εργαζόμενο μέσο είναι το ίδιο το καυσαέριο.

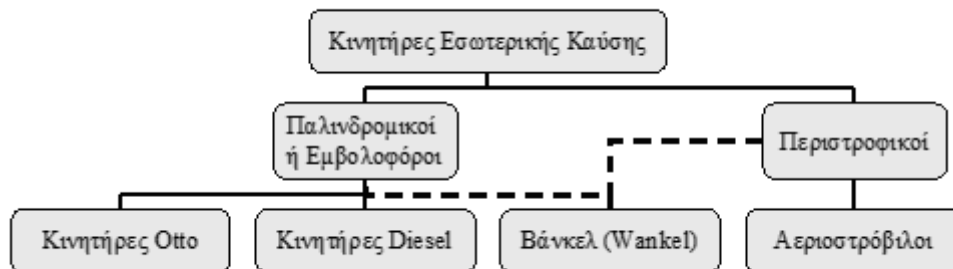
- Στους κινητήρες εξωτερικής καύσης, το καύσιμο καίγεται σε ιδιαίτερη συσκευή (π.χ. λέβητας), έξω από τον θερμοκινητήρα. Σε αυτήν την περίπτωση το εργαζόμενο μέσο είναι διαφορετικό από το καυσαέριο.

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, οι θερμοκινητήρες με καύσιμο διακρίνονται σε:

- παλινδρομικούς (εμβολοφόροι), και,
- σε περιστροφικούς (στρόβιλοι).

Οι κατηγορίες των κινητήρων εσωτερικής καύσης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 1.1

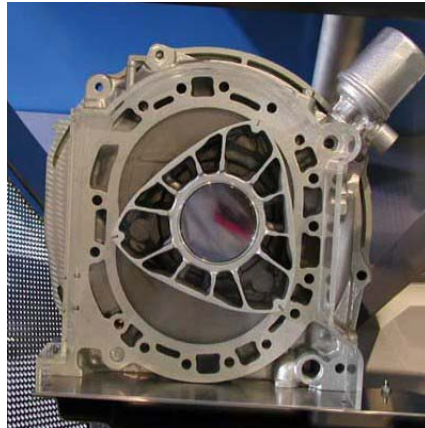


Στους εμβολοφόρους κινητήρες τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση καυσίμου και αέρα δίνουν κίνηση σε έμβολα που είναι συνδεδεμένα με κατάλληλο μηχανισμό ώστε η παλινδρομική κίνηση που εκτελούν να μετατρέπεται σε περιστροφική. Με τον τρόπο αυτό περιστρέφεται ο έλικας του αεροσκάφους.

Οι περιστροφικοί κινητήρες έχουν μόνο περιστρεφόμενα μέρη και τέτοιοι είναι οι αεριοστρόβιλοι.

Οι κινητήρες Βάνκελ (Wankel) στηρίζουν τη λειτουργία τους σε περιστρεφόμενο «έμβολο»¹ (Σχήμα 1.7).

¹ Για το λόγο αυτό μπορούν να θεωρηθούν είτε ως εμβολοφόροι είτε ως περιστροφικοί.

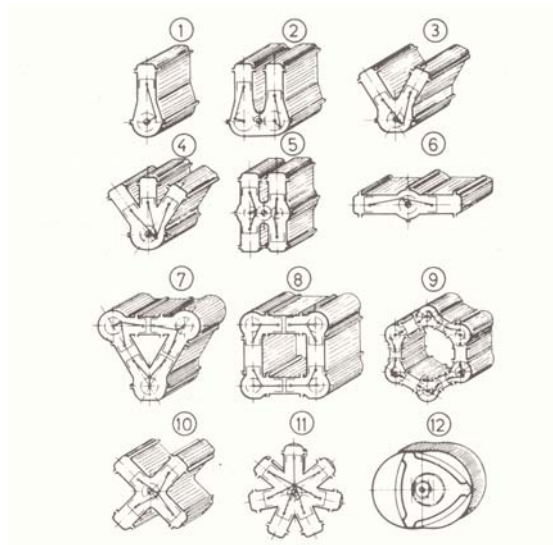


Σχήμα 1.7 Τομή κινητήρα Wankel

1.1.3 Τύποι εμβολοφόρων κινητήρων

Οι εμβολοφόροι κινητήρες διακρίνονται ανάλογα με κατασκευαστικά και λειτουργικά κριτήρια. Έτσι, ξεχωρίζουμε τους ακόλουθους τύπους κινητήρων ανάλογα με :

- 1) τον τρόπο έναυσης:
 - α) κινητήρες με σπινθηριστή (μπουζί) ή βενζινοκινητήρες ή κινητήρες Otto.
 - β) κινητήρες με έναυση λόγω συμπίεσης ή πετρελαιοκινητήρες ή κινητήρες Diesel.
- 2) τον αριθμό των χρόνων λειτουργίας: α) δίχρονοι / β) τετράχρονοι.
- 3) τον τρόπο ψύξης των κυλίνδρων: α) υγρόψυκτοι / β) αερόψυκτοι.
- 4) τον αριθμό των κυλίνδρων: α) μονοκύλινδροι. / β) πολυκύλινδροι (δικύλινδροι, τετρακύλινδροι, κλπ).
- 5) τη διάταξη των κυλίνδρων:
 - α) εν σειρά (μονοί ή δίδυμοι) (Σχήμα 1.8-1, 2),
 - β) ακτινικοί (radial) ή αστεροειδείς (Σχήμα 1.8-10, 11),
 - γ) αντιτιθέμενων εμβόλων (opposed) (Σχήμα 1.8-6),
 - δ) τύπου V ή W (Σχήμα 1.8-3, 4 αντιστοίχως),
 - ε) πολυγωνικού τύπου – στην περίπτωση που οι κύλινδροι διατάσσονται σε σχήμα τριγώνου, τετραγώνου, κλπ. (Σχήμα 1.8-7, 8, 9),
 - στ) διπλών εμβόλων (Σχήμα 1.8-5),
 - ζ) Βάνκελ (Wankel) (Σχήμα 1.8-12)



Σχήμα 1.8 Διάταξη κυλίνδρων

- 6) την ταχύτητα περιστροφής του άξονα:
- α) ολιγόστροφοι,
 - β) μέσης ταχύτητας,
 - γ) ταχύστροφοι.
- 7) τη διαδικασία εισαγωγής του αέρα που θα αναμειχθεί με το καύσιμο:
- α) εισαγωγή και χρήση μόνο αέρα αναρροφούμενου απευθείας από την ατμόσφαιρα,
 - β) χρήση αέρα από υπερπλήρωση.

1.1.4 Ειδικοί ορισμοί για τη βασική λειτουργία του εμβολοφόρου κινητήρα

Στο σημείο αυτό παρατίθενται ορισμοί μεγεθών, χαρακτηριστικών για τη λειτουργία των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων. Κάποια από τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται στους ορισμούς θα αναλυθούν στις παραγράφους που ακολουθούν.

- *Έργο (work)*: παράγεται όταν μία δύναμη, η οποία εξασκείται σε ένα σώμα, μετατοπίζει το σημείο εφαρμογής της. Το έργο αυτό είναι ίσο με το γινόμενο της αριθμητικής τιμής της δύναμης επί την απόσταση που μετακινήθηκε το σημείο εφαρμογής της. Συνήθης μονάδα μέτρησης έργου είναι το **Joule (J)**.

- *Ενέργεια (energy)*: αποτελεί μία αυθαίρετη και αφηρημένη έννοια και μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο.
- *Ισχύς (power)*: ονομάζεται το έργο που παράγεται σε μία μονάδα χρόνου, κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής. Συνήθεις μονάδες ισχύος είναι το **Watt (Joule/sec)** και ο **ίππος (hp)**.
- *Θεωρητική ισχύς (theoretical power)*: είναι η ισχύς που θα απέδιδε ο κινητήρας στην περίπτωση που το σύνολο της θερμικής ενέργειας του καυσίμου μετατρεπόταν έργο.
- *Ενδεικνύομενη ισχύς (indicated horsepower)*: είναι η ισχύς που αποδίδεται στο έμβολο από την καύση του καυσίμου μείγματος.
- *Ισχύς πέδησης (brake horsepower)*: είναι η ισχύς που αποδίδεται στο στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα. Συχνά ονομάζεται και πραγματική ισχύς. Η διαφορά της από την ενδεικνύομενη ισχύ ονομάζεται ισχύς τριβών και αποτελεί την ισχύ που καταναλώνεται λόγω μηχανικών απωλειών στον κινητήρα.
- *Ισχύς απογείωσης (take-off power)*: καθορίζεται από το μέγιστο αριθμό στροφών και την πίεση στην πολλαπλή σωλήνωση εισαγωγής αέρα στον κινητήρα κατά τη διάρκεια της φάσης απογείωσης.
- *Διαδρομή εμβολισμού (stroke)*: η συνολική απόσταση που διανύει το έμβολο κατά τη διάρκεια ενός από τους χρόνους λειτουργίας.
- *Κυλινδρισμός (piston displacement)*: υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το εμβαδόν της εγκάρσιας τομής του κυλίνδρου με τη διαδρομή εμβολισμού. Μετριέται σε μονάδες όγκου. Για την εύρεση του κυλινδρισμού του κινητήρα απαιτείται ο πολλαπλασιασμός του κυλινδρισμού του ενός κυλίνδρου επί το συνολικό αριθμό των κυλίνδρων.
- *Λόγος συμπίεσης (compression ratio)*: αποτελεί το λόγο του όγκου του κυλίνδρου όταν το έμβολο βρίσκεται στο Άνω Νεκρό Σημείο προς τον όγκο του κυλίνδρου όταν το έμβολο βρίσκεται στο Κάτω Νεκρό Σημείο. Η υψηλή τιμή λόγου συμπίεσης οδηγεί σε υψηλή ισχύ του κινητήρα.
- *Θερμικός βαθμός απόδοσης (thermal efficiency)*: είναι ο λόγος της ισχύος που αποδίδεται από τον κινητήρα προς τη θερμική ισχύ που είναι σε θέση να προσφέρει το χρησιμοποιούμενο καύσιμο.
- *Μηχανικός βαθμός απόδοσης (mechanical efficiency)*: είναι ο λόγος της ισχύος πέδησης προς την ενδεικνύομενη ισχύ και δείχνει το ποσοστό της

παραγόμενης στους κυλίνδρους ισχύος που αποδίδεται στο στροφαλοφόρο άξονα.

- *Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης (volumetric efficiency)*: είναι ο λόγος του όγκου του καύσιμου μείγματος (σε ατμοσφαιρική πίεση) που καίγεται στους κυλίνδρους προς τον κυλινδρισμό του κινητήρα.
- *Ειδική κατανάλωση καυσίμου*: ορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια μίας κυκλικής μεταβολής ενός συστήματος και της ισχύος που παράγεται από το σύστημα κατά την ίδια μεταβολή. Αποτελεί κριτήριο της οικονομικής λειτουργίας ενός θερμοκινητήρα.
- *Λόγος αέρα – καυσίμου*: ονομάζεται ο λόγος της ποσότητας του αέρα προς την ποσότητα καυσίμου, που αναμειγνύονται κατά την καύση.

1.1.5 Βασικά στοιχεία θερμοδυναμικής

Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται ορισμοί στοιχείων θερμοδυναμικής με σκοπό την κατανόηση των κύκλων λειτουργίας των κινητήρων που θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 1.2. Ενδελεχής ανάλυσή τους πραγματοποιείται στο βιβλίο «Αεροκινητήρες II».

- *Ενεργό μέσο*: η ποσότητα της ύλης πάνω στην οποία εκτελούνται διάφορες διεργασίες, όπως ένα αέριο, το οποίο συμπιέζουμε ή ένα υγρό το οποίο θερμαίνουμε. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης, για παράδειγμα, το ενεργό μέσο είναι το μείγμα αέρα – καυσίμου.
- *Θερμοδυναμικό σύστημα*: πρόκειται για τμήμα του σύμπαντος, το οποίο μπορεί να μελετηθεί ξεχωριστά από τον υπόλοιπο περιβάλλοντα κόσμο. Όταν αυτό περιλαμβάνει σταθερή ποσότητα μάζας καλείται **κλειστό σύστημα**, ενώ όταν αυτό περικλείεται εντός χώρου καθορισμένων ορίων (όγκου), μέσω των οποίων ρέει μάζα καλείται **ανοικτό σύστημα**.
- *Περιβάλλον*: οτιδήποτε βρίσκεται εκτός των ορίων του συστήματος ορίζεται σαν το περιβάλλον και επηρεάζεται άμεσα από μεταβολές που πραγματοποιούνται μέσα στο σύστημα. Το σύστημα μπορεί να ανταλλάσσει με το περιβάλλον **μηχανικό έργο**, το οποίο είναι **θετικό**, όταν παράγεται από το σύστημα και **αρνητικό**, όταν προσδίδεται σε αυτό.
- *Εσωτερική ενέργεια*: χαρακτηρίζει την κατάσταση στο εσωτερικό ενός σώματος, δηλαδή στα δομικά στοιχεία που το αποτελούν, όπως τα μόρια και τα άτομα. Τα μόρια ενός σώματος ταλαντώνονται γύρω από τη θέση τους και ασκούν το ένα στο άλλο δυνάμεις έλξης και άπωσης λόγω των

ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που τα περιβάλλει. Η εσωτερική ενέργεια αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία που δέχεται ένα σώμα.

- *Ενθαλπία*: είναι μια ιδιότητα ενός ρευστού (και της ύλης κατ' επέκταση) και ορίζεται σαν το άθροισμα της ειδικής εσωτερικής ενέργειας u , ενός ρευστού, και του γινομένου της πίεσης και του ειδικού όγκου του, $pν$.
- *Ιδανικό αέριο*: η κατάσταση ενός ιδανικού αερίου είναι καθορισμένη όταν είναι γνωστά δύο από τα ακόλουθα μεγέθη του: πίεση p , απόλυτη θερμοκρασία T και ο όγκος V που αυτό καταλαμβάνει. Τα ιδανικά αέρια υπακούουν σε απλούς νόμους και επαληθεύουν τη σχέση (εξίσωση της κατάστασής τους) $pV = nRT$, όπου n είναι ο αριθμός των γραμμομορίων¹ του ιδανικού αερίου και R ένας σταθερός αριθμός, ανεξάρτητος από το είδος του αερίου. Πρέπει να τονίσουμε ότι απόλυτα ιδανικά αέρια δεν υπάρχουν στη φύση. Αυτά αποτελούν μία επινόηση των ερευνητών, ώστε να περιγραφούν και να μελετηθούν καλύτερα τα πραγματικά αέρια. Ένα πραγματικό αέριο πλησιάζει την ιδανική κατάσταση όταν βρίσκεται μακριά από τις συνθήκες υγροποίησής του, δηλαδή όταν βρίσκεται σε μικρές πιέσεις και μεγάλες θερμοκρασίες.
- *Κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας*: ένα αέριο βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας όταν σε κάθε σημείο του τα μεγέθη πίεση, θερμοκρασία και πυκνότητα έχουν, το καθένα ξεχωριστά, την ίδια - χρονικά αμετάβλητη - τιμή.
- *Ισοθερμοκρασιακή μεταβολή*: ισοθερμοκρασιακή ή ισόθερμη ονομάζεται η μεταβολή της κατάστασης μίας ποσότητας ιδανικού αερίου, με την οποία μεταβάλλεται η πίεση και ο όγκος της ποσότητας του αερίου ενώ, παράλληλα, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.
- *Ισοβαρής μεταβολή*: ισοβαρής ονομάζεται η μεταβολή της κατάστασης μίας ποσότητας ιδανικού αερίου, με την οποία μεταβάλλεται η θερμοκρασία και ο όγκος της ποσότητας του αερίου ενώ η πίεση παραμένει σταθερή.
- *Ισόχωρη μεταβολή*: ισόχωρη ονομάζεται η μεταβολή της κατάστασης μίας ποσότητας ιδανικού αερίου, με την οποία μεταβάλλεται η πίεση και η θερμοκρασία της ποσότητας του αερίου ενώ ο όγκος παραμένει σταθερός.
- *Αδιαβατική μεταβολή*: αδιαβατική ονομάζεται η μεταβολή της κατάστασης μίας ποσότητας ιδανικού αερίου, κατά την οποία δεν

¹ Γραμμομόριο είναι η μάζα του αερίου, ίση με το μοριακό του βάρος.

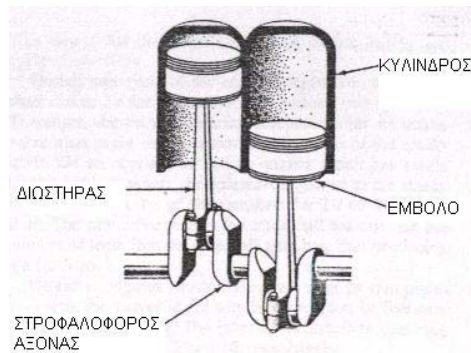
πραγματοποιείται καμία ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του αερίου και του περιβάλλοντός του.

- *Κυκλική μεταβολή*: κυκλική μεταβολή ονομάζεται μία συνεχής, κλειστή μεταβολή που αποτελείται από επί μέρους μεταβολές και στην οποία η αρχική και η τελική κατάσταση του αερίου ταυτίζονται.
- *Θερμότητα*: αποτελεί μία ειδική μορφή μεταφοράς ενέργειας η οποία εμφανίζεται όταν, για κάποιο λόγο, υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του. Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η θερμότητα δε θεωρείται ότι αποθηκεύεται μέσα στο σύστημα και άρα είναι λάθος να λέμε ότι ένα σώμα έχει θερμότητα. Το σώμα έχει θερμοκρασία και υπόκειται σε θερμοκρασιακές διαφορές. Η θερμοκρασία αποτελεί ένδειξη της ενεργειακής κατάστασης του σώματος.
- *1^ο νόμος της Θερμοδυναμικής*: η ενέργεια μεταφέρεται και μετασχηματίζεται, αλλά δε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται.
- *2^ο νόμος της Θερμοδυναμικής*: είναι αδύνατη η λειτουργία μίας μηχανής που θα λειτουργεί με βάση κυκλική διαδικασία και η μόνη της εργασία θα είναι η μεταφορά ποσού θερμότητας από ένα ψυχρό σώμα σε ένα θερμότερο.
- *Εντροπία*: Η εντροπία αποτελεί ιδιότητα του εργαζόμενου μέσου και στην πράξη αντιπροσωπεύει την κατάσταση της αταξίας ενός συστήματος και χρησιμοποιείται στη διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος.

1.2 Βενζινοκινητήρες – Πετρελαιοκινητήρες

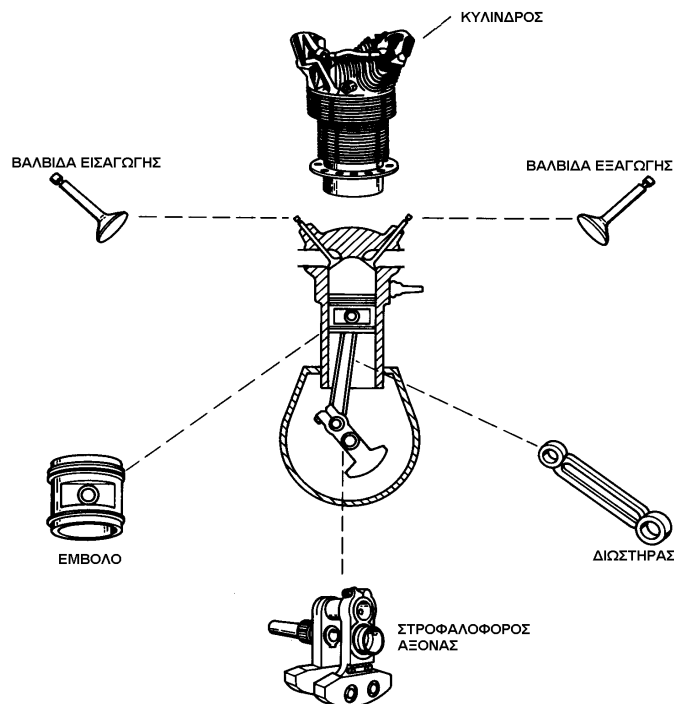
1.2.1 Τα στοιχειώδη μέρη του βενζινοκινητήρα - πετρελαιοκινητήρα

Οι εμβολοφόροι κινητήρες είχαν ευρεία αεροπορική εφαρμογή. Ακόμη και σήμερα, σε κάποιες κατηγορίες αεροσκαφών χρησιμοποιούνται αποκλειστικά εμβολοφόροι κινητήρες. Η βασική δομή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των κινητήρων αυτών φαίνεται στο Σχήμα 1.9.



Σχήμα 1.9 Κύρια μέρη παλινδρομικού κινητήρα

Οι εμβολοφόροι κινητήρες αποτελούνται από ένα σύστημα κυλίνδρου – εμβόλου. Το έμβολο εκτελεί παλινδρομική κίνηση μέσα στον κύλινδρο υπό την πίεση που ασκούν σε αυτό τα καυσαέρια από την καύση του καυσίμου. Η παλινδρομική αυτή κίνηση του εμβόλου μεταδίδεται ως περιστροφική στον άξονα του κινητήρα με κατάλληλο μηχανισμό που αποτελείται από το διωστήρα και το στρόφαλο. Ο άξονας του κινητήρα δίνει το μηχανικό έργο. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά (θα ακολουθήσει λεπτομερής περιγραφή τους στο Κεφάλαιο 1.3) τα κύρια εξαρτήματα των παλινδρομικών κινητήρων (βενζινοκίνητων ή πετρελαιοκίνητων):



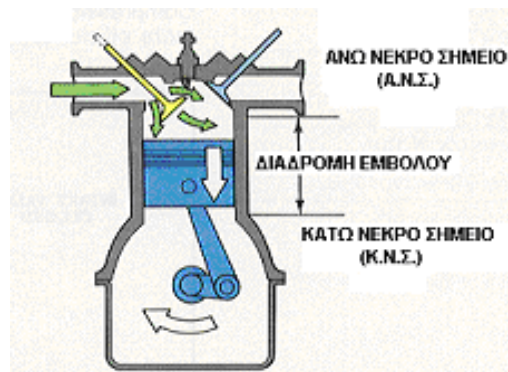
Σχήμα 1.10 Κύρια εξαρτήματα παλινδρομικών κινητήρων

- **Στροφαλοθάλαμος (Crankcase).** Αποτελεί το βασικό τμήμα του κινητήρα καθώς μέσα σε αυτόν βρίσκονται οι μηχανισμοί που περιβάλλουν το στρόφαλο και διάφορα άλλα εξαρτήματα.
- **Έδρανα ή Τριβείς (Bearings).** Αποτελούν τα σημεία στήριξης του άξονα στον κινητήρα επιτρέποντας παράλληλα την περιστροφή του σε σχέση με το σώμα (μη περιστρεφόμενο μέρος) του κινητήρα.
- **Στροφαλοφόρος άξονας ή στρόφαλος (Crankshaft).** Είναι ο άξονας στον οποίο αποδίδεται η ισχύς που παράγει ο κινητήρας. Οι στρόφαλοι του στηρίζουν τους διωστήρες που συνδέονται με τα έμβολα. Με τον τρόπο αυτό, η παλινδρομική κίνηση που πραγματοποιείται από τα έμβολα μετατρέπεται σε περιστροφική και επιτυγχάνεται η κίνηση του έλικα.
- **Διωστήρας (Connecting Rod).** Είναι ο σύνδεσμος που μεταφέρει δυνάμεις από τα έμβολα στο στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα, όπως περιγράφηκε παραπάνω.
- **Έμβολο (Piston).** Εκτελεί παλινδρομικές κινήσεις μέσα στον κύλινδρο μεταξύ δύο ακραίων θέσεων. Είναι το εξάρτημα που μεταφέρει τη δύναμη των καυσαερίων που παράγονται από την καύση του μείγματος αέρα – καυσίμου και εκτονώνονται μέσα στον κύλινδρο του κινητήρα.
- **Κύλινδρος (Cylinder).** Είναι το τμήμα του κινητήρα όπου κινείται το έμβολο και πραγματοποιείται η καύση του μείγματος αέρα – καυσίμου. Στο άνω μέρος του στηρίζονται οι βαλβίδες και ένα τμήμα του μηχανισμού κίνησής τους καθώς και οι σπινθηριστές (μπουζί).
- **Βαλβίδες (Valves).** Η βασική τους χρήση είναι το άνοιγμα και το κλείσιμο των διόδων του αέρα στο θάλαμο καύσης του κινητήρα. Μία σειρά διόδων ονομάζεται εισαγωγή και από εκεί εισέρχεται στον κύλινδρο το μείγμα καυσίμου – αέρα (στους πετρελαιοκινητήρες εισέρχεται μόνο αέρας). Μία άλλη σειρά ονομάζεται εξαγωγή και αποτελεί το δρόμο διαφυγής των καυσαερίων της καύσης από τον κύλινδρο. Κάθε κύλινδρος πρέπει να έχει τουλάχιστον μία βαλβίδα εισαγωγής και μία βαλβίδα εξαγωγής.

Εκτός από τα κύρια εξαρτήματα, η λειτουργία των εμβολοφόρων κινητήρων στηρίζεται και στα δευτερεύοντα εξαρτήματα τα οποία προσαρμόζονται στη βασική δομή τους. Τέτοια είναι η αντλία και το φίλτρο λαδιού, η αντλία και το φίλτρο καυσίμου, διάφορα συστήματα γρاناζιών, το σύστημα έναυσης, το σύστημα ψύξης και είναι απαραίτητα για την κανονική λειτουργία του κινητήρα.

1.2.2 Διάκριση τετράχρονων και δίχρονων κινητήρων

Η καύση και οι διεργασίες που συντελούν σε αυτήν πραγματοποιούνται στο χώρο που σχηματίζεται μεταξύ του ανώτερου τμήματος του κυλίνδρου¹ και της άνω επιφάνειας του εμβόλου. Ο όγκος του χώρου αυτού είναι μεταβλητός και εξαρτάται από τη θέση στην οποία βρίσκεται το έμβολο (Σχήμα 1.11). Η απόσταση που διανύει το έμβολο κατά την παλινδρομική του κίνηση μέσα στον κύλινδρο ονομάζεται **διαδρομή** του εμβόλου (**stroke**). Το σημείο του κυλίνδρου όπου το έμβολο βρίσκεται στη μεγαλύτερη απόσταση από το διαμήκη άξονα του στροφαλοφόρου, ονομάζεται **Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ – Top Dead Center)**. Αντίθετα, το σημείο στο οποίο το έμβολο απέχει τη μικρότερη απόσταση από το διαμήκη άξονα ονομάζεται **Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ – Bottom Dead Center)**. Η διαφορά μεταξύ των τιμών του όγκου στα δύο αυτά σημεία ονομάζεται **όγκος εμβολισμού**. Στο ΑΝΣ ο όγκος του χώρου όπου πραγματοποιούνται οι διεργασίες λαμβάνει τη μικρότερη τιμή του ενώ η μέγιστη επιτυγχάνεται στο ΚΝΣ.



Σχήμα 1.11 Διαδρομή Εμβόλου

Η απαραίτητη για τη διαδικασία της καύσης ποσότητα ατμοσφαιρικού αέρα εισάγεται μέσω των βαλβίδων εισαγωγής (ή των θυρίδων στην περίπτωση των δίχρονων κινητήρων). Η όλη διεργασία εισαγωγής – εξαγωγής επηρεάζει άμεσα τη δομή και την απόδοση του κινητήρα και εξαρτάται από τον αριθμό των **χρόνων (strokes)** του κινητήρα. Όπως είδαμε και παραπάνω, οι κινητήρες, ανάλογα με τους χρόνους λειτουργίας τους, διακρίνονται σε δύο είδη: τους **δίχρονους (two stroke)** και τους **τετράχρονους (four stroke)**. Ο όρος **χρόνος** δηλώνει **μία** διαδρομή του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, ή το αντίθετο και αντιστοιχεί σε στροφή 180° του στροφαλοφόρου άξονα. Στους δίχρονους, λοιπόν, κινητήρες απαιτούνται **δύο διαδρομές** του εμβόλου (360°) για την ολοκλήρωση του θερμοδυναμικού κύκλου. Στους

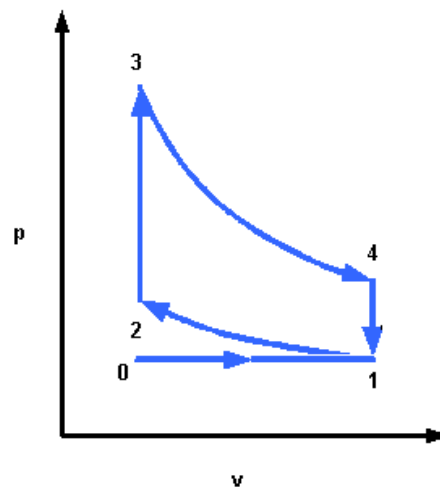
¹ Ονομάζεται και πώμα.

τετράχρονους κινητήρες απαιτούνται **τέσσερις διαδρομές**, δηλαδή **δύο πλήρεις στροφές** του άξονα (720°). Φυσικά, τόσο στους τετράχρονους, όσο και στους δίχρονους κινητήρες, ο θερμοδυναμικός κύκλος καλύπτει τις ίδιες πέντε βασικές φάσεις λειτουργίας του κινητήρα: Εισαγωγή – Συμπίεση – Καύση – Εκτόνωση – Εξαγωγή.

1.2.3 Τετράχρονος βενζινοκινητήρας

1.2.3.1 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα

Ο κινητήρας Otto, ή απλά βενζινοκινητήρας, χρησιμοποιείται στη συντριπτική πλειοψηφία των αυτοκινήτων. Η θεωρητική λειτουργία του τετράχρονου βενζινοκινητήρα περιγράφεται από θερμοδυναμικό κύκλο ο οποίος προέρχεται από τον κύκλο Otto, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες των διεργασιών εισαγωγής – εξαγωγής και των τεσσάρων χρόνων. Ο θερμοδυναμικός κύκλος, σε διάγραμμα πίεσης - όγκου (p-v), παριστάνεται Σχήμα 1.12, ενώ η σειρά των διεργασιών στους χρόνους αυτούς φαίνεται στο Σχήμα 1.13.



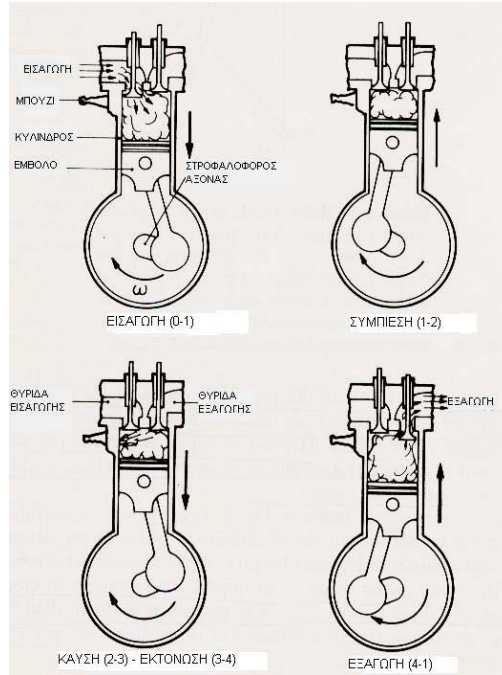
Σχήμα 1.12 Θεωρητικός θερμοδυναμικός κύκλος 4χρονου βενζινοκινητήρα σε διάγραμμα p-v

Αναλυτικά, οι διεργασίες που πραγματοποιούνται σε κάθε χρόνο είναι οι ακόλουθες:

1^{ος} χρόνος – Εισαγωγή:

Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει ενώ η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει κλειστή. Η κίνηση του εμβόλου δημιουργεί υποπίεση στο θάλαμο καύσης (δηλαδή τον κύλινδρο) με συνέπεια την εισροή μείγματος αέρα - καυσίμου μέσα σε αυτόν από τη βαλβίδα

εισαγωγής. Κατά τη διάρκεια της μεταβολής αυτής, ισχύει η παραδοχή ότι η πίεση μέσα στον κύλινδρο παραμένει σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική. Αντίθετα, η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική διότι ένα ποσοστό των καυσαερίων παραμένει μέσα στον κύλινδρο. Στο διάγραμμα (Σχήμα 1.12) η μεταβολή αυτή παριστάνεται από τη γραμμή 0-1.



Σχήμα 1.13 Φάσεις 4χρονου βενζινοκινητήρα

2^{ος} χρόνος – Συμπίεση:

Στην αρχή του χρόνου αυτού το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ. Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές. Το έμβολο ξεκινά την κίνησή του προς το ΑΝΣ. Η μεταβολή που πραγματοποιείται είναι αδιαβατική αφού γίνεται η παραδοχή ότι τα τοιχώματα και η κεφαλή του κυλίνδρου είναι θερμικά μονωμένα. Η πίεση και η θερμοκρασία του μείγματος αυξάνονται. Συνήθεις τιμές στο ΑΝΣ είναι από 8 έως 15 bar για την πίεση και 270 έως και 380°C για την θερμοκρασία. Στο διάγραμμα η μεταβολή παριστάνεται από τη γραμμή 1-2.

3^{ος} χρόνος – Καύση και εκτόνωση:

Κατά τη διάρκεια του χρόνου αυτού οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής παραμένουν κλειστές. Το έμβολο αρχικά βρίσκεται στο ΑΝΣ και τότε πραγματοποιείται έναυση του μείγματος (αέρα – καυσίμου – υπόλοιπων καυσαερίων) με τη βοήθεια ηλεκτρικής εκκένωσης του σπινθηριστή. Η διεργασία αυτή έχει τη μορφή της έκρηξης και το έμβολο μετακινείται ελάχιστα κατά την πολύ σύντομη διάρκειά της, ώστε θεωρούμε ότι η

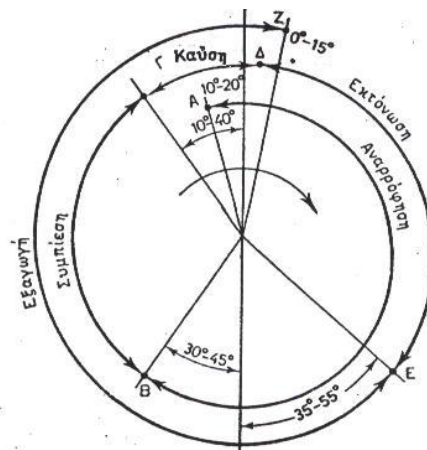
μεταβολή γίνεται υπό σταθερό όγκο κυλίνδρου. Με τη λήξη της καύσης, η πίεση των καυσαερίων ανέρχεται σε 25 έως 50 bar ενώ η θερμοκρασία τους σε 1500 έως 2200°C. Με τις βαλβίδες πάντα κλειστές, η υψηλή πίεση μετακινεί το έμβολο προς το ΚΝΣ – περνώντας στη διεργασία της εκτόνωσης - με ταυτόχρονη παραγωγή έργου. Η διεργασία αυτή θεωρείται αδιαβατική. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ, η πίεση έχει μειωθεί σε 2,5 έως 4,5 bar και η θερμοκρασία σε 400 έως 500°C. Αυτός είναι ο μόνος από τους χρόνους του κινητήρα που παράγεται μηχανικό έργο. Στο διάγραμμα, η μεταβολή της καύσης παριστάνεται από τη γραμμή 2-3 και αυτή της εκτόνωσης από την καμπύλη 3-4.

4^{ος} χρόνος – Εξαγωγή:

Με το τέλος της εκτόνωσης ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής. Η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει κλειστή. Τα καυσαέρια υπό την πίεση των 2,5 έως 4,5 bar εξέρχονται στην ατμόσφαιρα χωρίς – θεωρητικά – να έχει μετακινηθεί το έμβολο από το ΚΝΣ. Η διεργασία, λοιπόν, θεωρείται ισόχωρη κατά το ένα τμήμα της και παριστάνεται στο διάγραμμα από τη γραμμή 4-1. Η πίεση στον κύλινδρο μειώνεται στην τιμή της ατμοσφαιρικής. Κατά το άλλο τμήμα της διεργασίας που υπολείπεται, αυτή πραγματοποιείται υπό σταθερή – ατμοσφαιρική – πίεση και παριστάνεται στο διάγραμμα από τη γραμμή 1-0. Μόλις το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής και ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής για την πραγματοποίηση του επόμενου κύκλου.

1.2.3.2 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα

Στην πραγματικότητα, παρουσιάζονται αρκετές διαφορές κατά τη λειτουργία του τετράχρονου βενζινοκινητήρα από τις θεωρητικές διεργασίες που περιγράφηκαν στο θεωρητικό κύκλο: η έναρξη και η λήξη τους δεν γίνονται στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ, αλλά σε ενδιάμεσες θέσεις της διαδρομής του εμβόλου. Οι διεργασίες αυτές απεικονίζονται σε **σπειροειδές διάγραμμα** (Σχήμα 1.14), όπου σημειώνονται οι γωνίες του στροφάλου.



Σχήμα 1.14 Σειρά διεργασιών πραγματικού κύκλου λειτουργίας 4χρονου βενζινοκινητήρα

Οι πλέον χαρακτηριστικές διαφορές των πραγματικών διεργασιών από τις θεωρητικές είναι οι εξής:

A) Το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής πραγματοποιείται στο σημείο A, δηλαδή όταν ο άξονας του στροφάλου βρίσκεται σε θέση 10° έως 20° πριν το ΑΝΣ. Η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει ανοικτή για 0° έως 15° μετά το ΑΝΣ. Η διάταξη αυτή επιτρέπει τον καλύτερο καθαρισμό του κυλίνδρου από τα καυσαέρια.

B) Πρακτικά, η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει σε 30° έως 45° μετά την διέλευση του εμβόλου από το ΚΝΣ και όχι στο ΚΝΣ. Αυτό συμβάλλει στην εισροή μεγαλύτερης ποσότητας αέρα στον κύλινδρο. Όπως αναφέρθηκε, στην παρούσα φάση της διεργασίας η πίεση στον κύλινδρο είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ. Έτσι επιτυγχάνεται η περαιτέρω εισροή αέρα.

Γ) Η σπινθηροδότηση και η έναυση πραγματοποιούνται σε θέση 10° έως 40° πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ – σημείο Γ. Με τον τρόπο αυτόν, το καύσιμο έχει το χρόνο να καεί σχεδόν τελείως όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ή λίγο αργότερα, στο σημείο Δ. Τότε επιτυγχάνεται η παραγωγή του μέγιστου έργου από την εκτόνωση των καυσαερίων.

Δ) Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει στο σημείο E, δηλαδή 35° έως 55° πριν το ΚΝΣ, έτσι ώστε τα καυσαέρια να αρχίσουν να εξέρχονται προς την ατμόσφαιρα έγκαιρα.

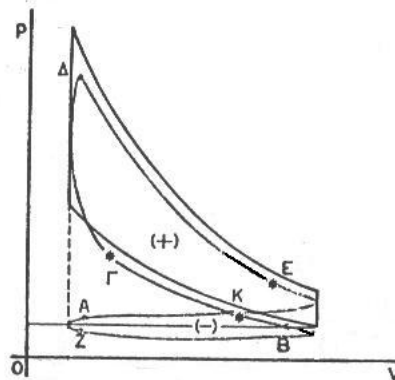
Γενικά, λοιπόν, στους τετράχρονους βενζινοκινητήρες παρατηρούνται:

- Προπορεία στο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής.
- Αργοπορεία στο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής.

- Προπορεία στη σπινθηροδότηση – που συνήθως ονομάζεται προανάφλεξη ή αβάνς (advance).
- Προπορεία στο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής.
- Αργοπορεία στο κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η πραγματική μορφή των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των τεσσάρων χρόνων του τετράχρονου βενζινοκινητήρα, απεικονίζεται στο Σχήμα 1.15. Στο ίδιο διάγραμμα παριστάνεται και ο θεωρητικός κύκλος λειτουργίας όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 1.2.3.1.

Η διεργασία της εισαγωγής περιγράφεται από την καμπύλη A-B. Ακολουθεί η συμπίεση (B-Γ) η οποία δεν είναι αδιαβατική καθώς το πάμα και τα τοιχώματα του κυλίνδρου δεν είναι μονωμένα και ανταλλάσσουν θερμότητα με το περιβάλλον. Επίσης, η διεργασία της καύσης – καμπύλη Γ-Δ – δεν είναι ισόχωρη όπως απαιτεί ο ιδανικός κύκλος Otto. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επικρατεί μειωμένη μέγιστη πίεση στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της καύσης, σε σχέση με αυτήν της ιδανικής διεργασίας καύσης. Τμήμα της θερμότητας που εκλύεται κατά τη διάρκεια της καύσης μεταφέρεται προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου και από εκεί, μέσω του συστήματος ψύξης, στην ατμόσφαιρα. Η εκτόνωση (καμπύλη Δ-E) δεν τελειώνει στο ΚΝΣ, αλλά νωρίτερα. Η διεργασία της εξαγωγής αντιστοιχεί στα σημεία E-K-A.



Σχήμα 1.15 Πραγματικός κύκλος 4χρονου βενζινοκινητήρα

Παρατηρώντας το διάγραμμα p-v του πραγματικού κύκλου του τετράχρονου βενζινοκινητήρα, διαπιστώνουμε ότι αυτός ο κύκλος αποτελείται από δύο κλειστές καμπύλες, την ΚΓΔΕΚ και την ΚΑΖΒΚ. Η πρώτη έχει θετικό εμβαδόν οπότε, με το πέρας των διεργασιών που περιγράφει, παράγεται μηχανικό έργο. Η δεύτερη έχει αρνητικό εμβαδόν και απαιτεί την εισαγωγή μηχανικού έργου για να πραγματοποιηθεί η διεργασία.

Επίσης, κάποιες άλλες συνέπειες που προκύπτουν από την απόκλιση του πραγματικού κύκλου από τον αντίστοιχο θεωρητικό είναι:

- Απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον.
- Μείωση του αποδιδόμενου έργου.
- Μείωση της απόδοσης του κινητήρα.
- Μείωση της επιτυγχανόμενης μέγιστης θερμοκρασίας καύσης.

1.2.4 Ο τετράχρονος πετρελαιοκινητήρας

1.2.4.1 Διαφορές τετράχρονου βενζινοκινητήρα - πετρελαιοκινητήρα

Ο πετρελαιοκινητήρας είναι γνωστός ως κινητήρας Diesel. Η δομή και η αρχιτεκτονική του είναι όμοια με αυτήν του βενζινοκινητήρα. Χαρακτηρίζεται από το έμβολο που παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο και το σύστημα διωστήρα – στροφάλου που μετατρέπει την κίνηση σε περιστροφική.

Οι κυριότερες διαφορές που παρουσιάζουν οι κινητήρες Otto και Diesel είναι:

- Στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου: Οι κινητήρες Diesel δε διαθέτουν αναμεικτήρα (carburetor) και ο ψεκασμός γίνεται απευθείας στον κύλινδρο, σε αντίθεση με την πλειονότητα των κινητήρων Otto.
- Οι πετρελαιοκινητήρες δε χρησιμοποιούν σπινθηριστές για την ανάφλεξη του μείγματος. Αυτή επιτυγχάνεται με την υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη συμπίεση μέσα στον κύλινδρο.
- Η υψηλή θερμοκρασία απαιτεί την υψηλή πίεση του αέρα στο εσωτερικό του κυλίνδρου.
- Λόγω των υψηλών πιέσεων που αναπτύσσονται, τα μέρη του πετρελαιοκινητήρα πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή. Για το λόγο αυτό, ένας πετρελαιοκινητήρας είναι βαρύτερος από έναν βενζινοκινητήρα της ίδιας ισχύος.

1.2.4.2 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα

Ο θεωρητικός κύκλος λειτουργίας του τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα ολοκληρώνεται με τέσσερις διαδρομές του εμβόλου ή δύο διαδρομές του στροφαλοφόρου άξονα. Οι τέσσερις χρόνοι λειτουργίας απεικονίζονται στο Σχήμα 1.16, ενώ ο κύκλος στο Σχήμα 1.17.

1^{ος} χρόνος - Αναρρόφηση ή εισαγωγή:

Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής είναι ανοικτή ενώ η βαλβίδα εξαγωγής κλειστή, όπως επίσης και ο εγχυτήρας καυσίμου. Η μετατόπιση του εμβόλου δημιουργεί υποπίεση στον κύλινδρο με συνέπεια την εισροή αέρα – και όχι μείγματος όπως στον αντίστοιχο βενζινοκινητήρα - σε αυτόν από τη βαλβίδα εισαγωγής. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ, η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει.

2^{ος} χρόνος – Συμπύεση:

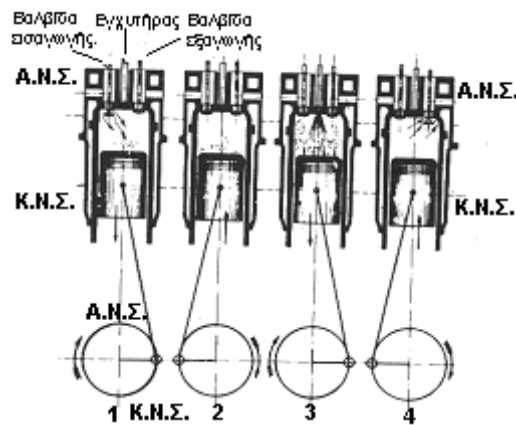
Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές, όπως και ο εγχυτήρας καυσίμου. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, η πίεση του αέρα στον κύλινδρο έχει ανέλθει στα 30 bar έως 40 bar και η θερμοκρασία στους 600°C έως 700°C περίπου. Σημειώνουμε ότι στο τέλος του 2^{ου} χρόνου του αντίστοιχου βενζινοκινητήρα, οι συνθήκες είναι τέτοιες ώστε ο σπινθηριστής δίνει έναυση στο συμπιεσμένο μείγμα αέρα – καυσίμου – καυσαερίων.

3^{ος} χρόνος – Εκτόνωση:

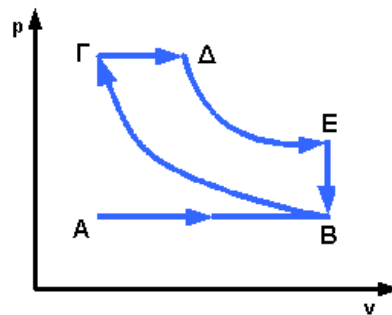
Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Στην αρχή του χρόνου αυτού πραγματοποιείται η έγχυση του πετρελαίου σε μορφή σταγονιδίων. Αυτά αναμειγνύονται με το συμπιεσμένο αέρα, η υψηλή θερμοκρασία του οποίου – μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία στην οποία αυταναφλέγεται το πετρέλαιο - οδηγεί στην έναρξη της καύσης του μείγματος. Η όλη διεργασία λαμβάνει το 1/10 του 3^{ου} χρόνου. Στο υπόλοιπο του χρόνου πραγματοποιείται εκτόνωση, οπότε το έμβολο παράγει μηχανικό έργο. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ, η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει.

4^{ος} χρόνος – Εξαγωγή:

Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής και ο εγχυτήρας καυσίμου έχουν κλείσει. Τα καυσαέρια εξέρχονται στην ατμόσφαιρα από τη βαλβίδα εξαγωγής λόγω της κίνησης του εμβόλου. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ο κινητήρας έχει συμπληρώσει τον κύκλο λειτουργίας και οι συνθήκες είναι κατάλληλες για την έναρξη του επόμενου κύκλου.



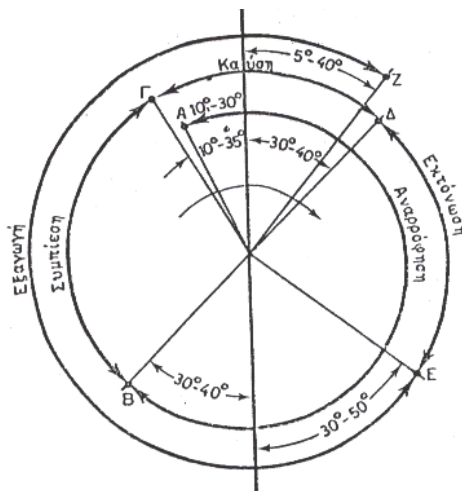
Σχήμα 1.16 Χρόνοι λειτουργίας 4χρονου πετρελαιοκινητήρα



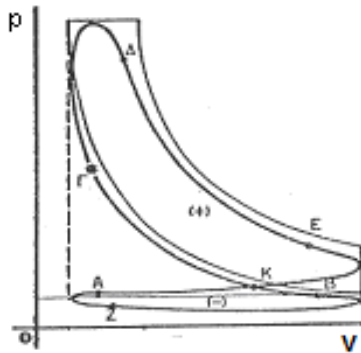
Σχήμα 1.17 Θεωρητικός κύκλος 4χρονου πετρελαιοκινητήρα

1.2.4.3 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα

Στην πράξη, όπως συμβαίνει και στον κύκλο του βενζινοκινητήρα, η διαδικασία που ακολουθείται δεν είναι αυτή του θεωρητικού κύκλου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.18, η ακολουθία ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων και του εγχυτήρα δεν πραγματοποιείται όταν το έμβολο βρίσκεται ακριβώς στο ΑΝΣ και ΚΝΣ. Πιο αναλυτικά, η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει 10° έως 30° πριν το ΑΝΣ και κλείνει 30° έως 40° μετά το ΚΝΣ (σημεία Α και Β του σχήματος). Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει 30° έως 50° πριν το ΚΝΣ (σημείο Ε) και κλείνει 5° έως 40° μετά το ΑΝΣ (σημείο Ζ). Η έγχυση του καυσίμου ξεκινά 10° έως 35° πριν το ΑΝΣ (σημείο Γ) και τελειώνει 30° έως 40° μετά το ΑΝΣ (σημείο Δ). Η μορφή του διαγράμματος P-V, τόσο για τις ιδανικές όσο και για τις πραγματικές διεργασίες, είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 1.19.



Σχήμα 1.18 Σειρά διεργασιών πραγματικού κύκλου λειτουργίας 4χρονου πετρελαιοκινητήρα



Σχήμα 1.19 Πραγματικός κύκλος 4χρονου πετρελαιοκινητήρα

1.2.5 Στοιχειώδη μέρη του δίχρονου βενζινοκινητήρα και πετρελαιοκινητήρα

Από την παρουσίαση της λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα και πετρελαιοκινητήρα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η εισαγωγή του μείγματος αέρα – καυσίμου και η εξαγωγή των καυσαερίων της καύσης μπορούν να προσομοιαστούν με τη διεργασία που κάνει ένας συμπιεστής αέρα. Αν κάποιος, λοιπόν, συνδυάσει έναν εμβολοφόρο κινητήρα με ένα συμπιεστή αέρα, τότε θα μπορεί να υποβοηθήσει τις διεργασίες εισαγωγής και εξαγωγής. Με τον τρόπο αυτόν, οι συγκεκριμένες διεργασίες περιορίζονται, πρακτικά, να λαμβάνουν χώρα μόνο σε ένα μικρό τμήμα της διαδρομής του εμβόλου του κινητήρα μέσα στον κύλινδρο. Πιο συγκεκριμένα, η εισαγωγή και η εξαγωγή μπορούν να συμβούν σε ένα τμήμα των χρόνων της εκτόνωσης και της συμπίεσης και ο κύκλος λειτουργίας του κινητήρα να ολοκληρωθεί σε δύο χρόνους, δηλαδή σε μία μόνο στροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Οι εμβολοφόροι κινητήρες που στηρίζουν τη

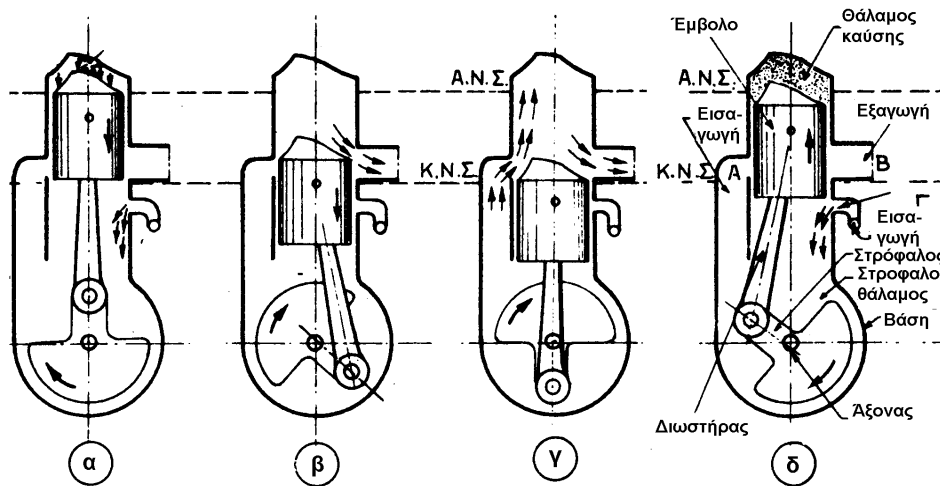
λειτουργία τους σε αυτήν την αρχή, ονομάζονται δίχρονοι και απαντώνται τόσο σε βενζινοκίνητη όσο και σε πετρελαιοκίνητη έκδοση. Ο πρώτος δίχρονος κύκλος επινοήθηκε από τον Douglas Clerk το 1878.

1.2.6 Ο δίχρονος βενζινοκινητήρας

Ο δίχρονος βενζινοκινητήρας αποτελεί την έκδοση του κινητήρα Otto σε δύο χρόνους λειτουργίας. Οι διαφορές με την τετράχρονη έκδοση δεν είναι πολλές. Η πιο χαρακτηριστική από αυτές είναι η απουσία βαλβίδων από το δίχρονο βενζινοκινητήρα. Το έργο τους επιτελείται από το ίδιο το έμβολο, το οποίο κατά την κίνησή του προς το ΚΝΣ ανοίγει ή κλείνει μία σειρά από θυρίδες που βρίσκονται κατάλληλα τοποθετημένες περιφερειακά και κοντά στο ΚΝΣ. Από αυτές, οι μισές βρίσκονται λίγο ψηλότερα από τις άλλες, επικοινωνούν με τον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα και ονομάζονται θυρίδες εξαγωγής. Οι υπόλοιπες επικοινωνούν με το στροφαλοθάλαμο, ο οποίος είναι στεγανός και επικοινωνεί με το εξάρτημα του εξαερωτή μέσω αγωγού που φέρει διάφραγμα. Από αυτό επιτρέπεται μόνον η εισροή μείγματος αέρα – καυσίμου.

1.2.6.1 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας δίχρονου βενζινοκινητήρα

Οι σχετικές θέσεις του εμβόλου για τις ιδανικές διεργασίες του δίχρονου βενζινοκινητήρα παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.20.



Σχήμα 1.20 Φάσεις λειτουργίας 2χρονου βενζινοκινητήρα

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους δύο χρόνους είναι οι εξής:

1^{ος} χρόνος:

Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ (Σχήμα 1.20, α-β-γ). Η εισαγωγή του αέρα γίνεται στο στροφαλοθάλαμο μέσω της θύρας εισαγωγής. Στο ΑΝΣ δημιουργείται σπινθήρας και το μείγμα αέρα – καυσίμου καίγεται,

με αποτέλεσμα να αυξηθεί η θερμοκρασία και η πίεση μέσα στον κύλινδρο¹. Όταν το έμβολο έχει καλύψει το 80% της διαδρομής προς το ΚΝΣ, αποκαλύπτει τη θύρα εξαγωγής (σημείο Β) οπότε και πραγματοποιείται η εξαγωγή των καυσαερίων της καύσης. Με την αποκάλυψη της θύρας εξαγωγής καλύπτεται η θύρα εισαγωγής στο στροφαλοθάλαμο. Έτσι, συμπιέζεται ο αέρας που έχει εισαχθεί στο στροφαλοθάλαμο. Στη συνέχεια, ανοίγει και η οπή της θυρίδας Α με αποτέλεσμα ο αέρας που βρίσκεται στο στροφαλοθάλαμο να εισέρχεται στο θάλαμο καύσης. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, οι διεργασίες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κατά ένα βαθμό ταυτόχρονες. Για το λόγο αυτόν, το άνω μέρος του εμβόλου – η κεφαλή – είναι ειδικά σχεδιασμένο ώστε να μη διαφεύγει ατμοσφαιρικός αέρας από τη θυρίδα εξαγωγής.

2^{ος} χρόνος:

Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ (Σχήμα 1.20, γ-δ-α). Στην κίνησή του αυτή αρχικά καλύπτει τη θυρίδα Α και σταματά η εισαγωγή αέρα από το στροφαλοθάλαμο. Κατόπιν, κλείνει η θυρίδα Β και σταματά η εξαγωγή. Ταυτόχρονα, αποκαλύπτεται η θυρίδα του κυλίνδρου, οπότε σε συνδυασμό με την υποπίεση που δημιουργεί στο στροφαλοθάλαμο η κίνηση του εμβόλου, εισέρχεται αέρας στον τελευταίο. Η κίνηση του εμβόλου επίσης συμπιέζει το μείγμα αέρα – καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης. Η ειδική μορφή της κεφαλής του εμβόλου βοηθά στην κίνηση του μείγματος αέρα – καυσίμου, η οποία σαρώνει τον κύλινδρο. Για το λόγο αυτό η διεργασία αυτή ονομάζεται σάρωση.

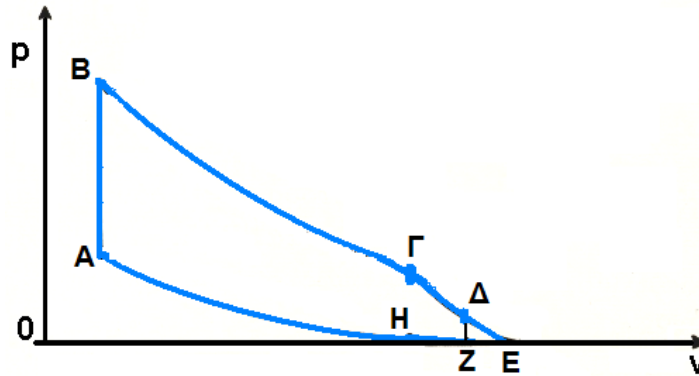
Μερικές παρατηρήσεις που αφορούν τη θεωρητική λειτουργία του δίχρονου βενζινοκινητήρα, είναι οι ακόλουθες:

- Σε κάθε έναν από τους δύο χρόνους λειτουργίας δεν αντιστοιχούν μόνο οι διεργασίες που δίνουν στους χρόνους την ονομασία τους. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή της συμπίεσης εισέρχεται μείγμα αέρα – καυσίμου και εξάγονται καυσαέρια ενώ στο τέλος της εκτόνωσης πραγματοποιείται η σάρωση του κυλίνδρου.
- Μόνον ο 2^{ος} χρόνος, κατά τον οποίον γίνεται η εκτόνωση των καυσαερίων, παράγει μηχανικό έργο για τον κινητήρα.

¹ Αξίζει να αναφερθεί, ότι ειδικά στους δίχρονους βενζινοκινητήρες, το μείγμα αέρα-καυσίμου περιέχει εν γένει λιπαντικό, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται λίπανση των κινουμένων μερών.

- Το μείγμα αέρα – καυσίμου δεν εισέρχεται απευθείας στον κύλινδρο αλλά οδηγείται σε αυτόν από τον στροφαλοθάλαμο την κατάλληλη στιγμή.

Η μορφή των ιδανικών διεργασιών σε διάγραμμα p-v φαίνεται στο Σχήμα 1.21.



Σχήμα 1.21 Θεωρητικός κύκλος 2χρονου βενζινοκινητήρα

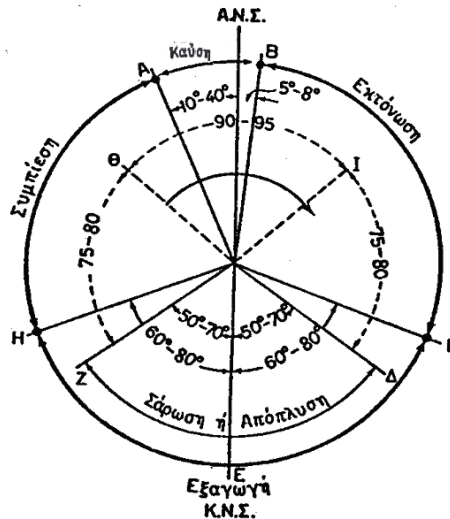
Ο 1^{ος} χρόνος περιλαμβάνει την ισόχωρη καύση A-B με το έμβολο στο ANΣ και την εκτόνωση B-Γ. Στο σημείο Γ ανοίγει η θύρα εξαγωγής, ο κύλινδρος έρχεται σε επικοινωνία με τον ατμοσφαιρικό αέρα με αποτέλεσμα την απότομη πτώση της πίεσης μέχρι το σημείο E (το έμβολο φτάνει στο ΚΝΣ). Προηγουμένως, στο σημείο Δ ανοίγει η θύρα εισαγωγής (από το στροφαλοθάλαμο στο θάλαμο καύσης). Η πίεση παραμένει σταθερή – περίπου 10 έως 20% πάνω από την ατμοσφαιρική – μέχρι το σημείο E. Το μείγμα αέρα – καυσίμου ωθεί τα καυσαέρια που υπάρχουν στο θάλαμο προς τη θύρα εξαγωγής και επιτυγχάνει τη σάρωση του κυλίνδρου μέχρι το ΚΝΣ. Ο 1ος χρόνος, λοιπόν, περιγράφεται από την καμπύλη A-B-Γ-Δ-E.

Από το σημείο E ξεκινά 2^{ος} χρόνος. Το έμβολο ανεβαίνει προς το ANΣ. Η θυρίδα εξαγωγής είναι ανοιχτή και η πίεση μειώνεται μέχρι την τιμή της ατμοσφαιρικής. Στο σημείο Z κλείνει η θύρα της εισαγωγής ενώ τα καυσαέρια συνεχίζουν να εξέρχονται από τη θυρίδα εξαγωγής μέχρι το σημείο H οπότε και κλείνει η τελευταία. Τότε αρχίζει να αυξάνεται και η πίεση στο θάλαμο καύσης μέχρι το ANΣ (καμπύλη H-A). Ο 2ος χρόνος περιγράφεται από την καμπύλη E-Z-H-A.

Στο σημείο αυτό θα παρατηρήσουμε ότι ο βαθμός συμπίεσης του δίχρονου βενζινοκινητήρα είναι μικρότερος από αυτόν του αντίστοιχου τετράχρονου. Αυτό συμβαίνει γιατί η συμπίεση δεν επιτυγχάνεται σε όλη τη διαδρομή του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ANΣ, αλλά σε ένα τμήμα αυτής που αντιστοιχεί στο 70 έως 80% αυτής.

1.2.6.2 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας δίχρονου βενζινοκινητήρα

Στην πράξη υπάρχουν αποκλίσεις από το θεωρητικό κύκλο λειτουργίας που περιγράφηκε παραπάνω για το δίχρονο βενζινοκινητήρα. Αυτές απεικονίζονται στο Σχήμα 1.22,



Σχήμα 1.22 Σειρά διεργασιών πραγματικού κύκλου λειτουργίας 2χρονου βενζινοκινητήρα

και είναι:

1. Η σπινθηροδότηση λαμβάνει χώρα στο σημείο Α που βρίσκεται 10° έως 40° πριν το ΑΝΣ και η καύση τελειώνει 5° έως 8° μετά το ΑΝΣ.
2. Η εκτόνωση ξεκινά από το σημείο Β – όταν τελειώνει η καύση – και τελειώνει στο σημείο Γ, 60° έως 80° πριν το ΚΝΣ.
3. Η θυρίδα εξαγωγής ανοίγει στο σημείο Γ και η θυρίδα εισαγωγής στο σημείο Δ, 50° έως 70° πριν το ΚΝΣ. Η τελευταία κλείνει στο σημείο Ζ - 60° έως 80° μετά το ΚΝΣ, ενώ η πρώτη κλείνει στο σημείο Η, 60° έως 80° μετά το ΚΝΣ.
4. Η συμπίεση αντιστοιχεί στο τόξο ΗΑ. Κατά τη διάρκεια του τόξου ΖΘ, επικρατεί υποπίεση στο στροφαλοθάλαμο ενώ κατά τη διάρκεια του τόξου ΘΙ υπάρχει επικοινωνία μεταξύ στοφαλοθαλάμου και ατμόσφαιρας. Τέλος, κατά τη διάρκεια του τόξου ΙΔ παρατηρείται αύξηση της πίεσης στο στροφαλοθάλαμο.

Τελικά, το διάγραμμα p-v που περιγράφει τον πραγματικό κύκλο λειτουργίας του δίχρονου βενζινοκινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 1.23.

Τα τονούμενα σημεία είναι αυτά που χαρακτηρίζουν τις θεωρητικές διεργασίες όπως περιγράφηκαν στην αντίστοιχη παράγραφο. Το εμβαδόν

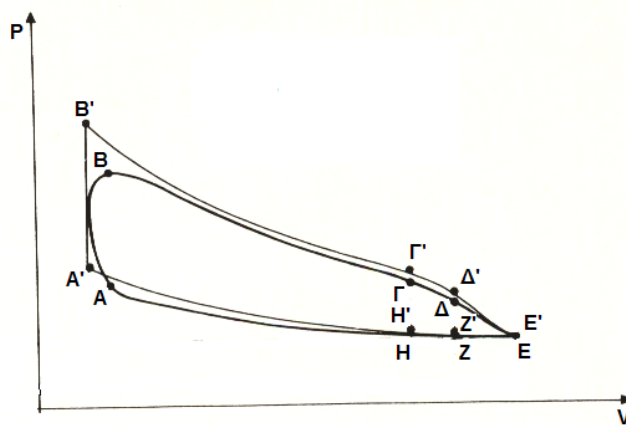
της επιφάνειας που περικλείεται από την κλειστή καμπύλη A-B-Γ-Δ-E-Z-H-A δίνει το πραγματικό έργο που εκτελείται από τον κινητήρα.

1.2.7 Ο δίχρονος πετρελαιοκινητήρας

1.2.7.1 Διαφορές δίχρονου βενζινοκινητήρα-πετρελαιοκινητήρα

Ο δίχρονος πετρελαιοκινητήρας στηρίζει τη λειτουργία του στον κύκλο Diesel. Αν και, τόσο η εισαγωγή του αέρα όσο και η εξαγωγή των καυσαερίων ακολουθούν τις αντίστοιχες διεργασίες που περιγράφηκαν στην παρουσίαση του δίχρονου βενζινοκινητήρα, υπάρχουν κάποιες σημαντικές διαφορές, όπως:

- Στο δίχρονο πετρελαιοκινητήρα χρησιμοποιείται η αντλία σάρωσης, η οποία χρησιμεύει στη συμπίεση του αέρα της σάρωσης των καυσαερίων του κυλίνδρου αλλά και στην πλήρωση του τελευταίου με αέρα.
- Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.24, η εξαγωγή των καυσαερίων από τον κύλινδρο πραγματοποιείται με τη βοήθεια βαλβίδων τοποθετημένων στην κεφαλή του κυλίνδρου. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται καλύτερη σάρωση, αφού ο αέρας εισάγεται από το κάτω τμήμα του κυλίνδρου και τα καυσαέρια εξέρχονται από το άνω τμήμα του.



Σχήμα 1.23 Πραγματικός κύκλος 2χρονου βενζινοκινητήρα

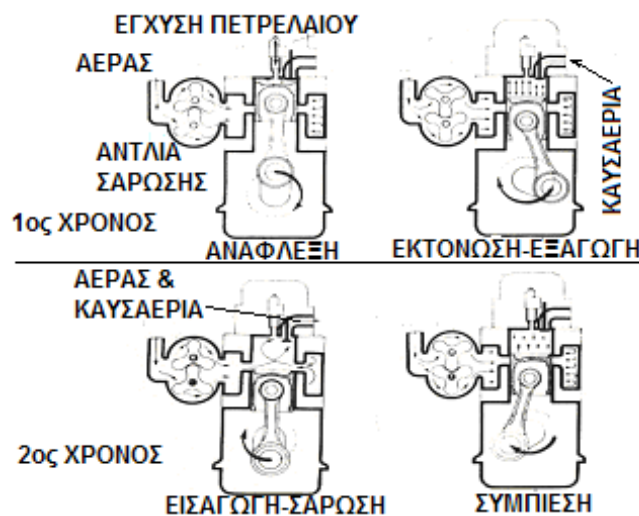
1.2.7.2 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας δίχρονου πετρελαιοκινητήρα

Οι θεωρητικοί χρόνοι λειτουργίας του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα φαίνονται στο Σχήμα 1.24.

Ιος χρόνος:

Στο χρόνο αυτό λαμβάνουν χώρα η καύση, η εκτόνωση των καυσαερίων και η έναρξη της εξαγωγής τους, η εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα και η σάρωση του κυλίνδρου.

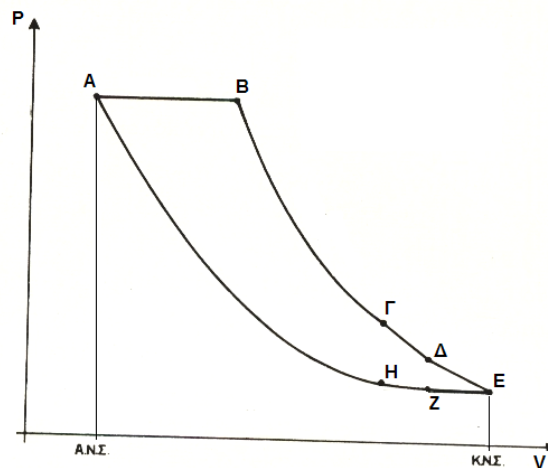
Αρχικά, το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ. Εκεί αρχίζει η έγχυση του καυσίμου η διάρκεια της οποίας είναι το 1/10 του πλήρους χρόνου. Το μείγμα αέρα - καυσίμου έχει συμπιεσθεί, βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία οπότε επιτυγχάνεται η αυτανάφλεξη και η καύση του. Ακολουθεί η εκτόνωση των καυσαερίων η οποία ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ. Πριν το έμβολο φτάσει εκεί, ανοίγει διαδοχικά τις θυρίδες εξαγωγής – οπότε και μεγάλο μέρος των καυσαερίων εξέρχονται του κυλίνδρου - και εισαγωγής οπότε και η πίεση των υπόλοιπων καυσαερίων γίνεται μικρότερη από την πίεση του αέρα στο χώρο τριγύρω από τις θυρίδες εισαγωγής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εισροή καθαρού αέρα στον κύλινδρο και τη σάρωση των υπόλοιπων καυσαερίων από αυτόν.



Σχήμα 1.24 Φάσεις 2χρονου πετρελαιοκινητήρα

2ος χρόνος:

Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Στη διαδρομή του κλείνει τις θυρίδες εισαγωγής οπότε και σταματά η εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα καθώς και η σάρωση του κυλίνδρου. Στη συνέχεια, το έμβολο κλείνει τις θυρίδες εξαγωγής οπότε και ξεκινά η συμπίεση του ατμοσφαιρικού αέρα που υπάρχει στον κύλινδρο. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ξεκινά η έναυση του καυσίμου. Συνοπτικά, λοιπόν, κατά τη διάρκεια του 2ου χρόνου πραγματοποιούνται η αποπεράτωση της σάρωσης του κυλίνδρου και της εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα σε αυτόν, η συμπίεση του ατμοσφαιρικού αυτού αέρα και η έγχυση του καυσίμου.

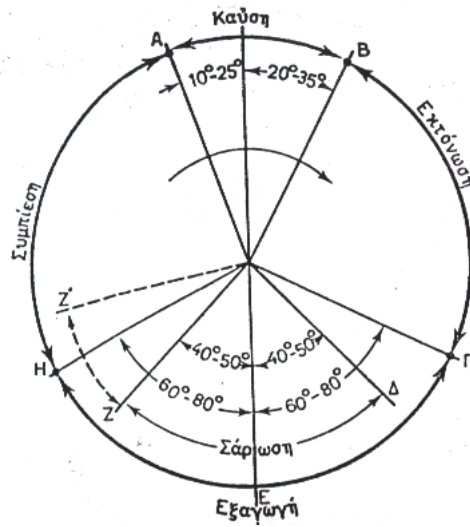


Σχήμα 1.25 Θεωρητικός κύκλος 2χρονου πετρελαιοκινητήρα

Το θεωρητικό διάγραμμα λειτουργίας $p-v$ του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 1.25. Ο 1ος χρόνος απεικονίζεται από την καμπύλη A-B-Γ-Δ-E και ο 2ος χρόνος από τη γραμμή E-Z-H-A. Το θεωρητικό έργο του κινητήρα για έναν κύκλο λειτουργίας του δίνεται από το εμβαδόν της καμπύλης A-B-Γ-Δ-E-Z-H-A. Πρέπει να σημειώσουμε ότι ο βαθμός συμπίεσης είναι μικρότερος από αυτόν του τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα.

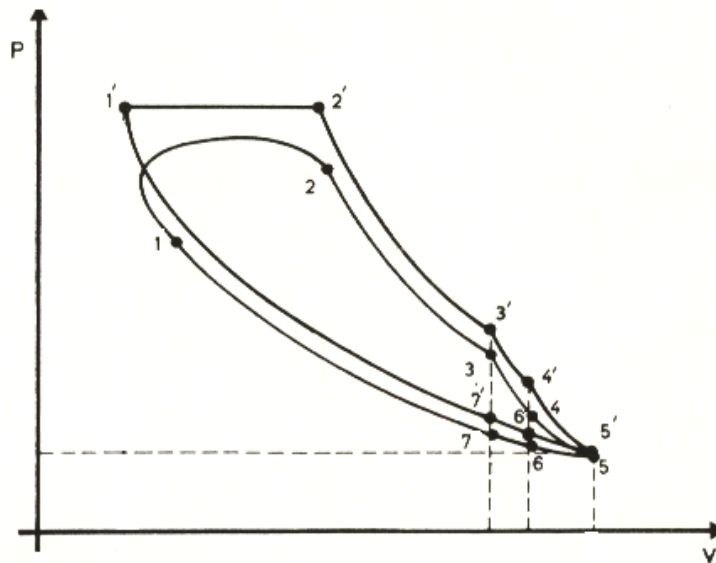
1.2.7.3 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας δίχρονου πετρελαιοκινητήρα

Όπως και στους υπόλοιπους κινητήρες που εξετάσαμε, έτσι και στην περίπτωση του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα το πραγματικό διάγραμμα του κύκλου λειτουργίας διαφέρει σημαντικά από το θεωρητικό. Στο Σχήμα 1.26 φαίνονται οι θέσεις του εμβόλου κατά την πραγματική λειτουργία του κινητήρα και στο Σχήμα 1.27 το πραγματικό διάγραμμα λειτουργίας $p-v$ σε σύγκριση με το θεωρητικό (Σχήμα 1.25 – οι θεωρητικές διεργασίες εμφανίζονται και στο Σχήμα 1.27 σαν μεταβολές μεταξύ των τονούμενων σημείων). Από τη σύγκριση των δύο καμπύλων μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι, ο δίχρονος πετρελαιοκινητήρας παρουσιάζει τις ίδιες διαφορές μεταξύ θεωρητικού και πραγματικού κύκλου με αυτές που παρουσιάζει ο δίχρονος βενζινοκινητήρας, όπως αυτές αναφέρθηκαν στην παράγραφο 1.2.6.2.



Σχήμα 1.26 Σειρά διεργασιών πραγματικού κύκλου λειτουργίας 2χρονου πετρελαιοκινητήρα

Στα προηγούμενα περιγράψαμε τους κύκλους λειτουργίας των διαφόρων τύπων εμβολοφόρων κινητήρων. Από αυτούς, ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος στην αεροπλοΐα, είναι ο τετράχρονος βενζινοκινητήρας, με τον οποίο και θα ασχοληθούμε εκτενέστερα στη συνέχεια.



Σχήμα 1.27 Πραγματικός κύκλος 2χρονου πετρελαιοκινητήρα

1.3 Περιγραφή – λειτουργία τμημάτων – εξαρτημάτων τετράχρονων βενζινοκινητήρων

1.3.1 Γενικά

Στην κατασκευή ενός αεροπορικού κινητήρα η αξιοπιστία όλων των συνεργαζόμενων εξαρτημάτων είναι πρωταρχικής σημασίας. Για το λόγο αυτό, η χρήση πολύ ανθεκτικών υλικών έχει κριθεί απαραίτητη. Ένα από τα βασικά προβλήματα που απασχολούν πάντα την αεροπορική βιομηχανία, είναι η επίτευξη της κατασκευής ενός κινητήρα που θα αποτελείται από υλικά ανθεκτικά, ώστε να πληρούν το κριτήριο της **αξιοπιστίας (reliability)**, αλλά και ελαφρά, ώστε να μην αυξάνουν υπέρμετρα το βάρος του αεροσκάφους. Είναι απαραίτητος, δηλαδή, ο συνδυασμός **υψηλής αξιοπιστίας και υψηλού λόγου παρεχόμενης ισχύος προς βάρος (power ratio / weight)** του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτόν ο σχεδιασμός ενός κινητήρα επιτυγχάνει την **προσαρμοστικότητα (flexibility)** στις απαιτήσεις καλής λειτουργίας. Στις πρώτες φάσεις ανάπτυξης των αεροπορικών κινητήρων η χρήση παραδοσιακών υλικών, όπως χυτοσίδηρος και κράματα χάλυβα, είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του βάρους αυτών.

Όλα τα κινούμενα μέρη ενός κινητήρα έχουν υποστεί λεπτομερείς μηχανουργικές κατεργασίες και διαδικασίες ζυγοστάθμισης σε μία προσπάθεια για την **ελαχιστοποίηση της δημιουργίας κραδασμών (freedom of vibration)** και κόπωσης των υλικών κατά τη λειτουργία τους. Ένας παράγοντας βέβαια που λαμβάνεται και εδώ υπόψη είναι η **οικονομική λειτουργία (operational economy)** του κινητήρα. Γίνεται φανερό ότι η ανάπτυξη, ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός κινητήρα χαρακτηρίζονται από το συγκεκριμένο τεχνικών και οικονομικών στοιχείων.

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει τα βασικά εξαρτήματα τα οποία απαρτίζουν έναν τετράχρονο, εμβολοφόρο κινητήρα ο οποίος λειτουργεί σύμφωνα με τον κύκλο του Otto σε αεροπορική έκδοση. Παράλληλα, θα δοθεί έμφαση σε διάφορες κατασκευαστικές λεπτομέρειες οι οποίες κάνουν φανερή την πρόθεση των σχεδιαστών να εκπληρώσουν τα δεδομένα τα οποία τονίσαμε παραπάνω.

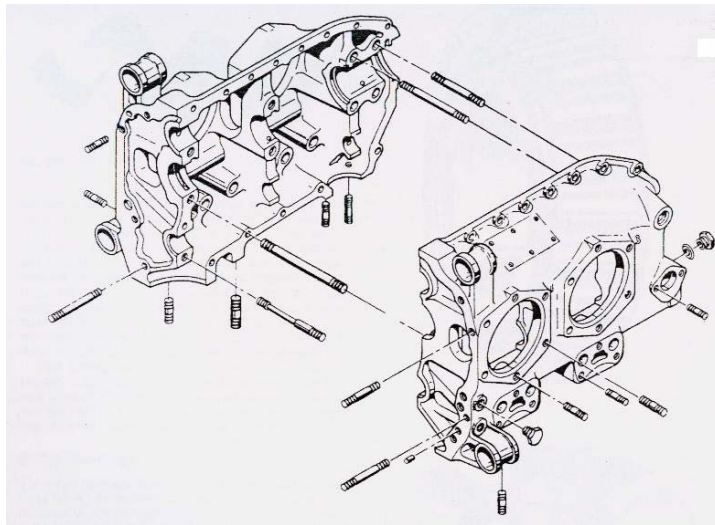
1.3.2 Στροφαλοθάλαμος

Ο στροφαλοθάλαμος (**crankcase**) αποτελεί το βασικό τμήμα του κινητήρα καθώς μέσα σε αυτόν βρίσκονται οι μηχανισμοί που περιβάλλουν το στροφαλοφόρο άξονα καθώς και διάφορα άλλα εξαρτήματα. Οι κύριες λειτουργίες που προσφέρει είναι: **(1)** στηρίζεται αυτόνομα, **(2)** περιέχει τα έδρανα στα οποία περιστρέφεται ο στροφαλοφόρος άξονας, **(3)** προσφέρει

χώρο για την αποθήκευση του λαδιού, **(4)** προσφέρει στήριξη σε διάφορους εσωτερικούς και εξωτερικούς μηχανισμούς του κινητήρα, **(5)** προσφέρει τις κατάλληλες υποδοχές για τη στήριξη του κινητήρα στο αεροσκάφος, **(6)** προσφέρει στήριξη για την προσαρμογή των κυλίνδρων και, λόγω της αντοχής και της στιβαρότητάς του, βοηθά στην ευθυγράμμιση του στροφαλοφόρου άξονα και των εδράνων του.

Η κατασκευή ενός στροφαλοθαλάμου εξαρτάται από το είδος του κινητήρα στον οποίο προσαρμόζεται. Η πλειοψηφία των στροφαλοθαλάμων στους αεροπορικούς κινητήρες κατασκευάζεται από αλουμίνιο, το οποίο είναι ελαφρύ αλλά και εξαιρετικά ανθεκτικό. Γενικά, διακρίνουμε **τρεις (3)** κατηγορίες στροφαλοθαλάμων:

- **Στροφαλοθάλαμοι κινητήρων αντίθετων εμβόλων** (Σχήμα 1.28, Σχήμα 1.29). Ένας τέτοιος θάλαμος αποτελείται από δύο χυτά μέρη αλουμινίου τα οποία προσαρμόζονται μεταξύ τους με τη χρήση βιδών και παξιμαδιών.

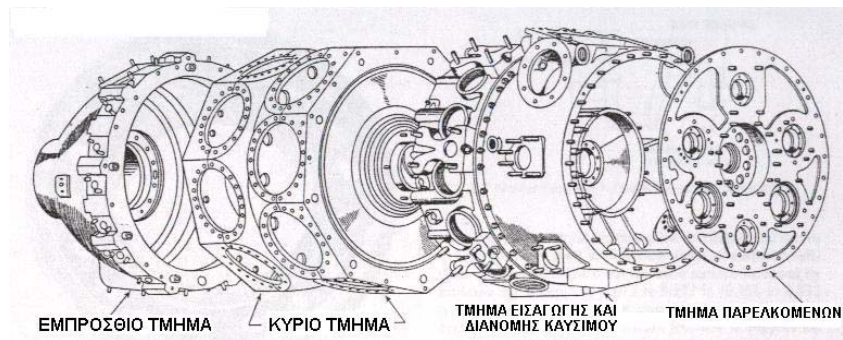


Σχήμα 1.28 Συνδεσμολογία στροφαλοθαλάμου κινητήρα με αντίθετα έμβολα



Σχήμα 1.29 Στροφαλοθάλαμος κινητήρα αντίθετων εμβόλων

- **Στροφαλοθάλαμοι ακτινικών κινητήρων** (Σχήμα 1.30, Σχήμα 1.6). Οι θάλαμοι αυτοί αποτελούνται από τρία έως και επτά τμήματα, ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα. Παίρνοντας υπόψη έναν κινητήρα μεσαίου μεγέθους, διακρίνουμε τα ακόλουθα **τέσσερα τμήματα**: **(1) Μπροστινό τμήμα (μύτη)**. Συνήθως κατασκευάζεται από κράματα αλουμινίου και στηρίζει, στις περισσότερες περιπτώσεις, το έδρανο και τον άξονα του έλικα καθώς και διάφορους μηχανισμούς. **(2) Κύριο τμήμα**. Συνήθως αποτελείται από ένα έως και τρία μέρη από υψηλής αντοχής θερμικά επεξεργασμένα κράματα αλουμινίου ή και σφυρήλατο χάλυβα. Στο τμήμα αυτό βρίσκονται οι μηχανισμοί των έκκεντρων του κινητήρα. **(3) Τμήμα εισαγωγής και διανομής καυσίμου**. Βρίσκεται μετά από το κύριο τμήμα και αποτελείται από ένα ή δύο μέρη. Σε αυτό βρίσκονται ο φυσητήρας ή φτερωτή του συστήματος υπερπλήρωσης καθώς και οι βαθμίδες του διαχύτη (diffuser vanes). **(4) Τμήμα παρελκομένων**. Σε αυτό βρίσκονται εξαρτήματα όπως αντλίες καυσίμου, λαδιού, κενού, φίλτρα, βαλβίδες ελέγχου. Στο τμήμα αυτό τοποθετούνται πάντα τα γρανάζια μετάδοσης της κίνησης στους μηχανισμούς των παρελκομένων, τα οποία παίρνουν κίνηση από τον ίδιο τον κινητήρα.



Σχήμα 1.30 Στροφαλοθάλαμος ακτινικού κινητήρα

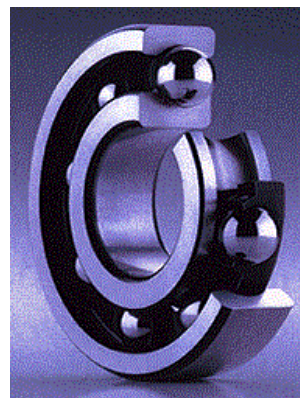
- Στροφαλοθάλαμοι κινητήρων τύπου V και εν σειρά. Συνήθως οι στροφαλοθάλαμοι αυτοί έχουν τέσσερα κύρια τμήματα, όπως και αυτά που περιγράφηκαν στους στροφαλοθαλάμους των ακτινικών κινητήρων.

1.3.3 Έδρανα ή Τριβείς

Γενικά, ως έδρανα (**bearings**) χαρακτηρίζονται τα σημεία στήριξης του άξονα στον κινητήρα που επιτρέπουν, παράλληλα, την περιστροφή του σε σχέση με το σώμα (μη περιστρεφόμενο μέρος) του κινητήρα. Τα φορτία που δέχονται κατά τη λειτουργία τους είναι ακτινικά, αξονικά ή συνδυασμός τους. Τα έδρανα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα **έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα)** και τα **έδρανα κύλισης (ρουλεμάν)**, Σχήμα 1.31. Στα έδρανα ολίσθησης αναπτύσσεται τριβή ολίσθησης μεταξύ του άξονα (**στροφέας**) και του τμήματος του εδράνου με το οποίο έρχεται σε επαφή. Στα έδρανα κύλισης επιτυγχάνεται περιστροφή του στροφέα ως προς το εξωτερικό μέρος του εδράνου με την κύλιση των **στοιχείων κύλισης** (Σχήμα 1.33, 3). Κατά την κύλιση των στοιχείων αναπτύσσεται τριβή κύλισης.



(α)



(β)

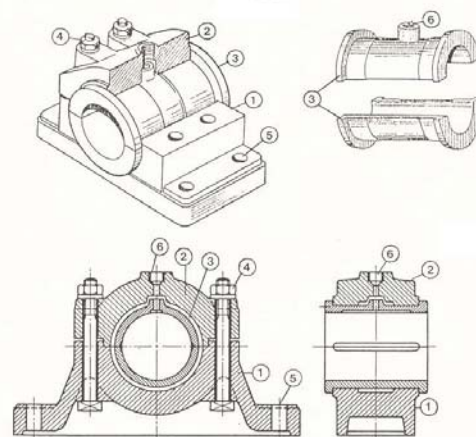
Σχήμα 1.31 (α) Έδρανο ολίσθησης (κουζινέτο) και (β) έδρανο κύλισης (ρουλεμάν)

1.3.3.1 Έδρανα ολίσθησης

Ένα έδρανο ολίσθησης αποτελείται από το σώμα, το κάλυμμα, τον τριβέα, το σύστημα λίπανσης και το σύστημα στεγανότητας για τη διατήρηση του λιπαντικού μέσα στο έδρανο (Σχήμα 1.32). Ο **τριβέας** έρχεται σε επαφή με το στροφέα, το τμήμα δηλαδή του άξονα που περιστρέφεται μέσα στο έδρανο. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στο υλικό, την ποιότητα επιφάνειας και τον τρόπο λίπανσής του. Συνήθη υλικά κατασκευής του είναι κυρίως αντι-τριβικά κράματα με βάση το χαλκό, όπως μπρούτζοι, κράματα χαλκού – μολύβδου και σύνθετα υλικά.

Τα έδρανα ολίσθησης διακρίνονται:

- Ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση: σε έδρανα ολόσωμα και σε έδρανα διαιρούμενα.
- Ανάλογα με τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά: σε έδρανα σταθερά (ο τριβέας είναι σε σταθερή θέση μέσα στο κάλυμμα) και έδρανα αυτορρυθμιζόμενα (ο τριβέας ακολουθεί τις κλίσεις του στροφέα).



Μέρη εδράνου ολίσθησεως.

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Σώμα εδράνου. | 4. Κοχλίες σύνδεσης σώματος και καλύμματος. |
| 2. Κάλυμμα. | 5. Τρύπες κοχλιών για τη στήριξη του εδράνου. |
| 3. Διαιρούμενος τριβέας. | 6. Υποδοχή λιπαντήρα. |

Σχήμα 1.32 Χαρακτηριστικά εδράνου ολίσθησης

- Ανάλογα με τη διεύθυνση του φορτίου: σε έδρανα εγκάρσια ή ακτινικά (δέχονται το φορτίο στη διεύθυνση της ακτίνας τους) και έδρανα αξονικά (δέχονται φορτίο κατά το νοητό άξονά τους).
- Ανάλογα με το είδος του λιπαντικού: σε έδρανα νερού, λαδιού ή γράσου, αέρα και τριβής (λειτουργούν χωρίς λιπαντικό και ονομάζονται αυτολίπαντα).

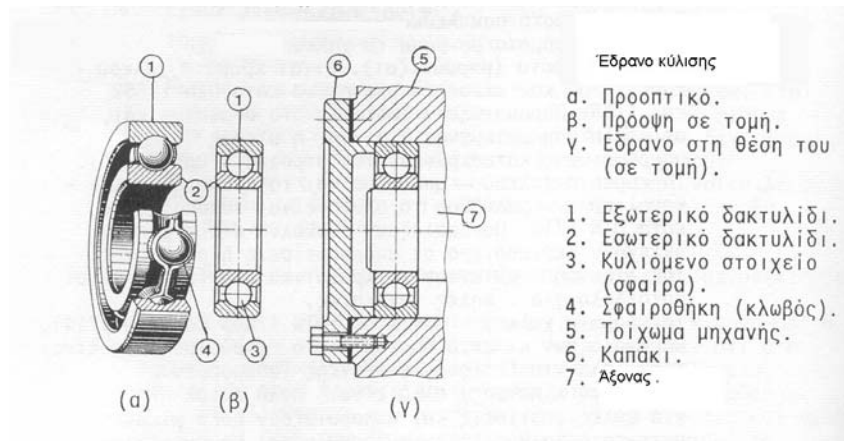
Τα έδρανα ολίσθησης είναι απλά στην κατασκευή τους, έχουν μικρό κόστος κατασκευής και μεγάλη διάρκεια ζωής, κατασκευάζονται σε διάφορες

διαστάσεις ανάλογα με την εφαρμογή τους ενώ παρέχουν τη δυνατότητα να ρυθμιστεί η απόσταση - "χάρη" - ανάμεσα στον τριβέα και το στροφέα. Όμως, παράλληλα, παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση τριβής και χαμηλό βαθμό απόδοσης, απαιτούν το λεγόμενο **ροντάζ** (στρώσιμο), και εμφανίζουν σχετικά μεγάλη κατανάλωση λιπαντικού μέσου.

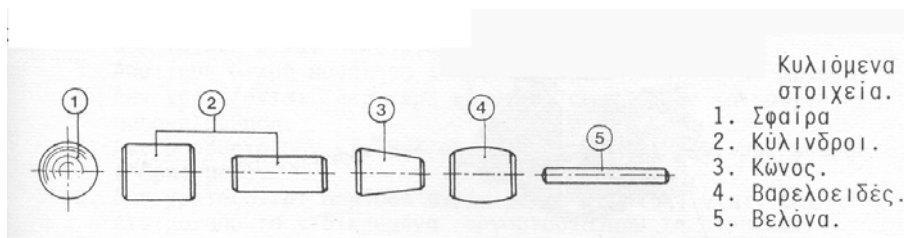
1.3.3.2 Έδρανα κύλισης

Τα έδρανα κύλισης είναι γνωστά ως ρουλεμάν. Αποτελούνται από (Σχήμα 1.33): το εξωτερικό δακτυλίδι, το εσωτερικό δακτυλίδι, τα κυλιόμενα στοιχεία, τον κλωβό, τα καλύμματα των κυλιόμενων στοιχείων. Γενικά, ως κυλιόμενα στοιχεία χρησιμοποιούνται σφαίρες, κύλινδροι, κώνοι, βαρελοειδή και βελόνες (Σχήμα 1.34). Η θήκη (φωλιά) στην οποία τοποθετούνται τα ρουλεμάν μπορεί να είναι ολόσωμη ή διαιρούμενη.

Τα έδρανα κύλισης χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην αεροπορική βιομηχανία. Διακρίνονται σε ακτινικά και αξονικά καθώς και σε σταθερά (τα οποία απαιτούν καλή ευθυγράμμιση με τον άξονα) και αυτορυθμιζόμενα (χρησιμοποιούνται όταν οι γεωμετρικοί άξονες εδράνου και άξονα δε συμπίπτουν). Πιο αναλυτικά, οι κατηγορίες των εδράνων κύλισης είναι τα ακτινικά (εγκάρσια), σταθερά έδρανα κύλισης (μονόσφαιρα και δίσφαιρα με βαθύ αυλάκι, ένσφαιρα γωνιακής επαφής (Σχήμα 1.35α), μονοκύλινδρα, κωνικά και βελονοειδή), τα ακτινικά αυτορρυθμιζόμενα (δίσφαιρα – Σχήμα 1.35β, ακτινικά και βαρελοειδή), τα αξονικά σταθερά και τα αξονικά αυτορρυθμιζόμενα (Σχήμα 1.35γ).



Σχήμα 1.33 Χαρακτηριστικά εδράνου κύλισης



Σχήμα 1.34 Τύποι κυλιόμενων στοιχείων εδράνων κύλισης



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 1.35 Ορισμένες κατηγορίες εδράνων κύλισης

Τα έδρανα κύλισης έχουν μικρό βάρος καθώς και μικρές διαστάσεις αξονικά. Παραλαμβάνουν σημαντικό φορτίο ανά μονάδα πλάτους. Επίσης, παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό απόδοσης λόγω χαμηλών απωλειών από τριβές και χαμηλή κατανάλωση λιπαντικού, η λειτουργία τους δεν εξαρτάται από το υλικό του άξονα που στηρίζουν και κατασκευάζονται σε τυποποιημένες διαστάσεις. Δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Ως μειονεκτήματα των εδράνων κύλισης θεωρούνται το κόστος αγοράς (όσον αφορά τις αεροπορικές εφαρμογές), ο αυξημένος θόρυβος λειτουργίας και η αδυναμία να παραλάβουν κρουστικά φορτία. Ακόμη, τα έδρανα κύλισης δεν επισκευάζονται, δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε περιπτώσεις

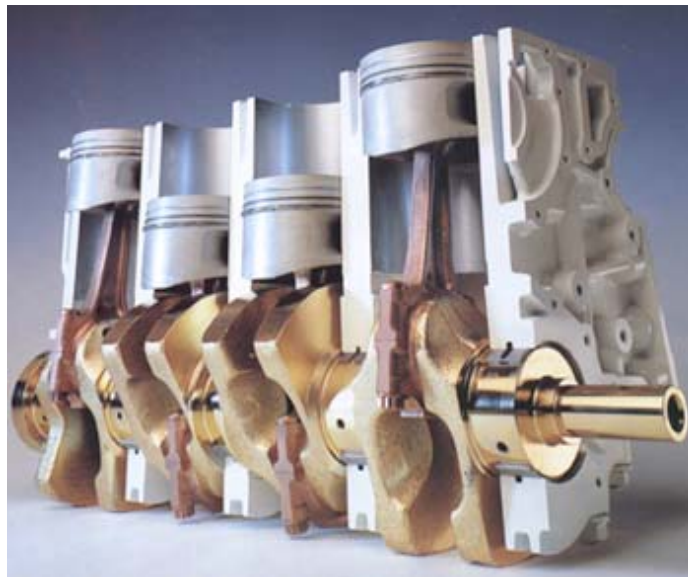
που δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος ακτινικά και απαιτούν πολύ προσεκτική τοποθέτηση ώστε να μην καταστραφούν από τυχόν σφιχτή εφαρμογή τους.

1.3.4 Στροφαλοφόρος άξονας ή στρόφαλος

Ο στροφαλοφόρος άξονας (**crankshaft**) μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση που πραγματοποιεί το έμβολο και ο διωστήρας σε περιστροφική, με αποτέλεσμα την περιστροφή του έλικα.



Σχήμα 1.36 Στροφαλοφόρος Άξονας

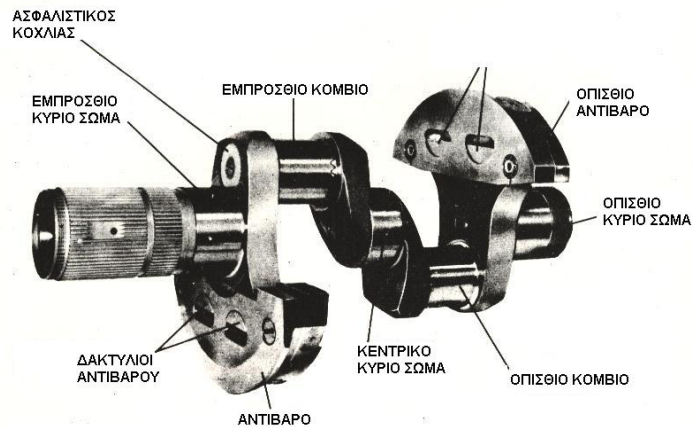


Σχήμα 1.37 Συνεργασία στροφαλοφόρου άξονα με λοιπά μέρη του κινητήρα

Γενικά, ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελείται από **στρόφαλους (cranks)** τοποθετημένους σε συγκεκριμένα σημεία μεταξύ των δύο άκρων του άξονα (Σχήμα 1.36). Οι στρόφαλοι δημιουργούνται αρχικά με την εν θερμώ σφυρηλάτηση του άξονα που μόλις έχει χυτευθεί. Η τελική μορφή των στροφάλων επιτυγχάνεται με κατάλληλη μηχανουργική κατεργασία. Εναλλακτικά ο στροφαλοφόρος άξονας μπορεί να κατασκευαστεί με τη συναρμογή χυτοπρεσαριστών στροφάλων με κομβία. 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

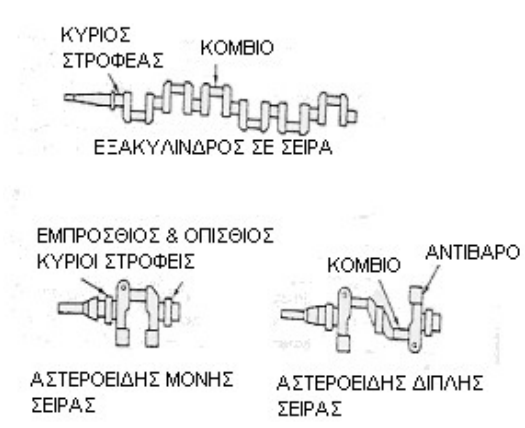
κινητήρα, υπόκειται σε όλες σχεδόν τις δυνάμεις που ασκούνται στον τελευταίο και για το λόγο αυτό επιβάλλεται η στιβαρή και πολύ ανθεκτική κατασκευή του. Αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση κάποιων ιδιαίτερα ανθεκτικών κραμάτων χάλυβα όπως το SAE 4340, κράμα χάλυβα – χρωμίου – νικελίου - μολυβδενίου. Στο Σχήμα 1.37 παρουσιάζεται ο τρόπος συναρμολόγησης του στροφαλοφόρου άξονα με τα λοιπά τμήματα του κινητήρα.

Τα μέρη που απαρτίζουν ένα στροφαλοφόρο άξονα (Σχήμα 1.38) είναι το **κύριο σώμα** (εμπρόσθιο, κεντρικό και οπίσθιο - **main journals**), το **κομβίο** (**crankpin**), ο **βραχίονας** (**crank arm** ή **crank cheek**), τα **αντίβαρα** (**counterweights**) και οι **αποσβεστήρες** (**dampers**) ή **δακτύλιοι αντίβαρου**.



Σχήμα 1.38 Τμήματα του στροφαλοφόρου άξονα

Στο Σχήμα 1.39 φαίνονται τρεις τύποι στροφαλοφόρων αξόνων.

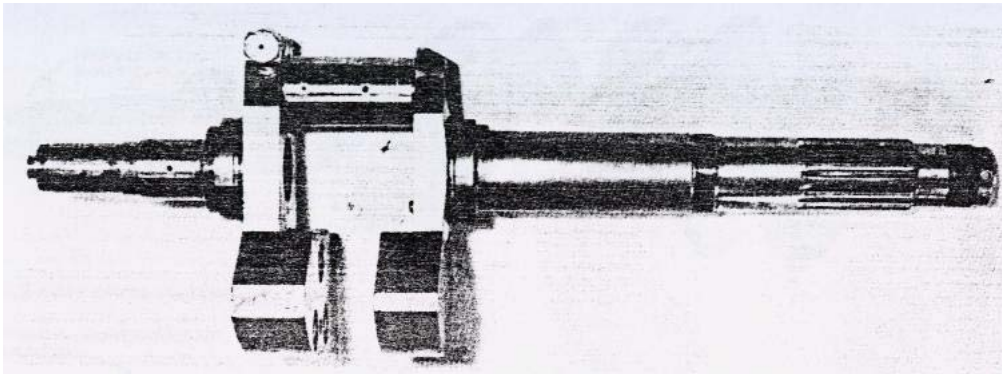


Σχήμα 1.39 Είδη στροφαλοφόρων

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 παλινδρομώντων 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 διάδος 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.



Σχήμα 1.40 Στροφαλοφόρος αστεροειδούς κινητήρα

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. Ένας τέτοιος άξονας φαίνεται στο Σχήμα 1.40.

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 πλησιάζει την ιδιοσυχνότητα του στροφαλοφόρου άξονα και του έλικα 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, βλ. και Σχήμα 1.38 - δακτύλιοι αντίβαρου), μετακινούνται σε κατεύθυνση τέτοια και με ανάλογη συχνότητα, ώστε να επιτυγχάνουν την μείωση της έντασης της ταλάντωσης αυτής.

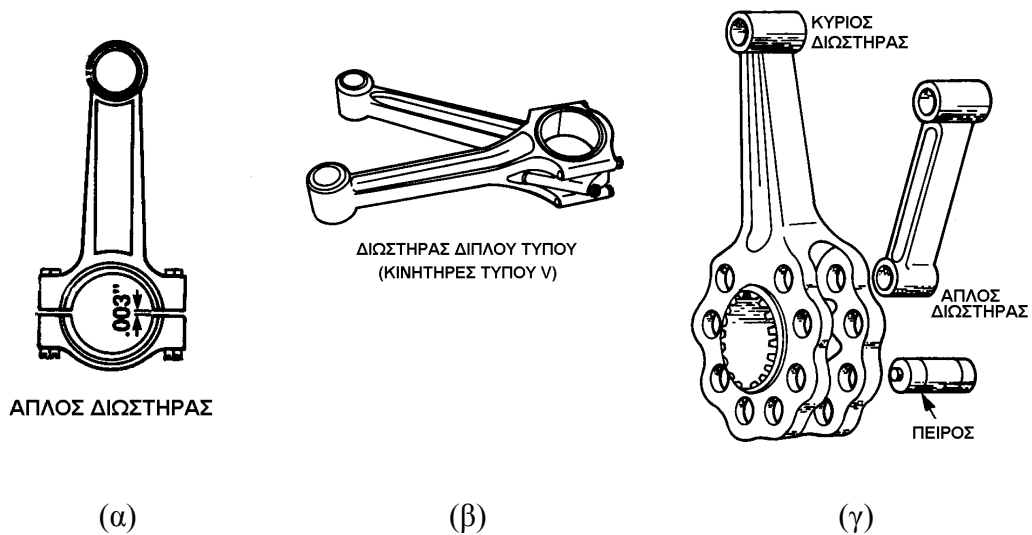
1.3.5 Διωστήρας

Ο διωστήρας (ή μπιέλα - **connecting rod**) αποτελεί το τμήμα του κινητήρα που συνδέει το έμβολο με το στροφαλοφόρο άξονα για τη μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης των εμβόλων σε περιστροφική στον έλικα (το άνω τμήμα του εκτελεί παλινδρομική κίνηση και το κάτω περιστροφική). Ουσιαστικά, ο διωστήρας είναι μία ευθύγραμμη ράβδος με πεπλατυσμένα τα δύο της άκρα και τέτοια διατομή, ώστε να εξασφαλίζεται μέγιστη αντοχή με μικρό βάρος. Σε αρκετές περιπτώσεις, στο εσωτερικό του διωστήρα, υπάρχει εσωτερική οπή για τη μεταφορά ελαίου για τη λίπανση του χιτωνίου και του άνω τμήματος του εμβόλου. Ο διωστήρας καταπονείται σε εφελκυσμό, θλίψη και λυγισμό λόγω των δυνάμεων που μεταφέρονται από το έμβολο στο στροφαλοφόρο άξονα και αντίστροφα. Για την κατασκευή του χρησιμοποιείται κράμα (σφυρήλατου) χυτοχάλυβα και για μικρότερο βάρος, κράματα αλουμινίου. Για την αποφυγή της φθοράς του διωστήρα στις αρθρώσεις με το κομβίο του στροφάλου και τον πείρο του εμβόλου, χρησιμοποιούνται στα σημεία αυτά έδρανα ολίσθησης.

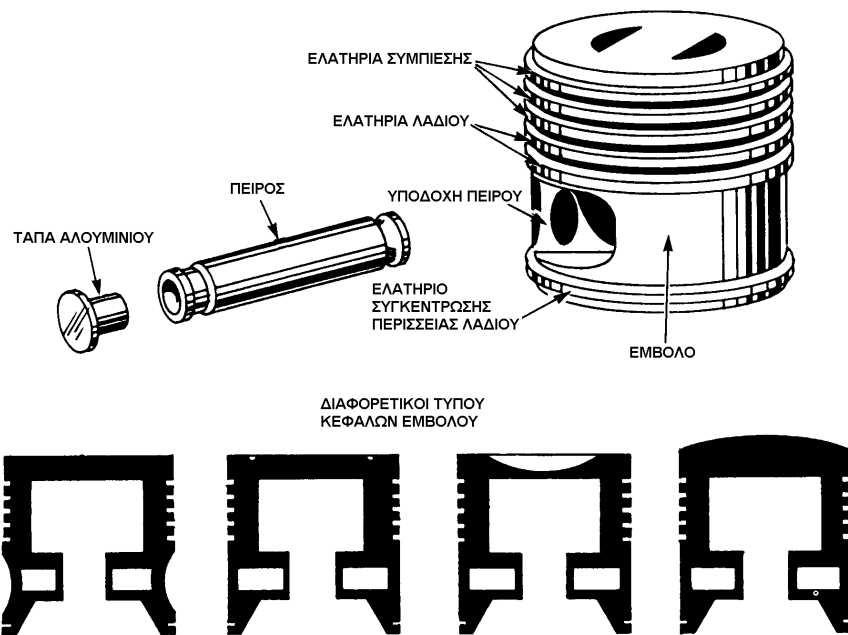
Διακρίνουμε τρεις τύπους διωστήρων:

- τον **απλό (plain type)**, που είναι ίδιος για όλους τους κυλίνδρους του κινητήρα και φέρει διαιρετό έδρανο ολίσθησης (Σχήμα 1.41α). Συνήθως χρησιμοποιείται σε κινητήρες εν σειρά και αντίθετων εμβόλων.

- το **διπλό (fork-and-blade)**, με διαιρετά μέρη που συνδέει δύο έμβολα στον ίδιο στρόφαλο (Σχήμα 1.41β) . Χρησιμοποιείται σε κινητήρες τύπου V, και
- το **συνδυασμό κύριου και βοηθητικών διωστήρων (master and articulated)** που χρησιμοποιείται, συνήθως, στους ακτινικούς κινητήρες (Σχήμα 1.41γ). 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.



Σχήμα 1.41 (α) Απλός διωστήρας, (β) Διπλός διωστήρας, (γ) Συνδυασμός κύριου και βοηθητικών διωστήρων



Σχήμα 1.42 Το έμβολο, τα εξαρτήματά του και διάφοροι τύποι του

1.3.6 Έμβολο – πείρος – τα ελατήρια του εμβόλου

Το έμβολο (**piston**) εκτελεί παλινδρομική κίνηση μεταξύ δύο ακραίων θέσεων (ΑΝΣ και ΚΝΣ) μέσα στον κύλινδρο. Με τον τρόπο αυτό μεταφέρει, μέσω του διωστήρα, τη δύναμη των καυσαερίων, που παράγονται από την καύση του μείγματος αέρα – καυσίμου και εκτονώνονται, στο στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα. Ουσιαστικά, το έμβολο ενεργεί ως κινούμενος τοίχος 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, όπως π.χ. η ψύξη του. Στο κάτω εσωτερικό τμήμα του εμβόλου εδράζεται ο **πείρος** με τον οποίο συνδέεται ο διωστήρας. Στο Σχήμα 1.42 φαίνεται ένα έμβολο με τα εξαρτήματά του καθώς και οι διαφοροποιήσεις που απαντώνται όσον αφορά στις κεφαλές του. 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.

Τα έμβολα ενός **αεροπορικού κινητήρα** κατασκευάζονται από κατάλληλα **κράματα αλουμινίου**. Σε άλλες εφαρμογές, τα έμβολα των κινητήρων

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 πιο συχνά 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.

Ας εξετάσουμε με περισσότερη λεπτομέρεια τα **ελατήρια** του εμβόλου. 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.

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

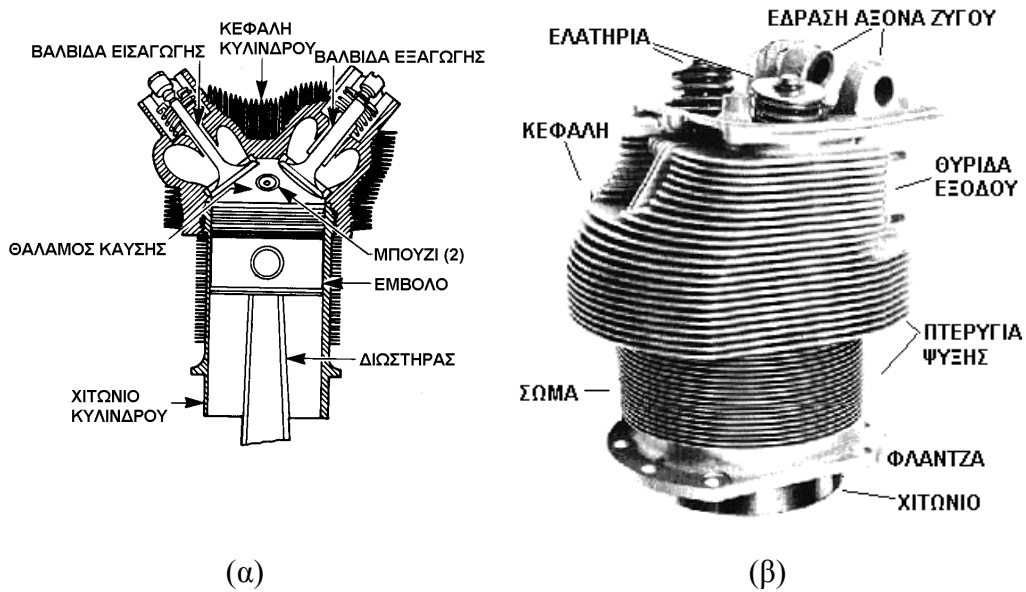
καυσαερίων ή λαδιού μεταξύ τους. Η περιοχή των ελατηρίων που βρίσκεται αντιδιαμετρικά της εγκοπής τους υφίσταται ιδιαίτερη κατεργασία κατά την κατασκευή λόγω των υψηλών καταπονήσεων που δέχεται κατά την αφαίρεση και την τοποθέτησή τους. Συνήθως, τα ελατήρια των αεροπορικών κινητήρων είναι κατασκευασμένα από **κράματα χυτοχάλυβα με περιεκτικότητα σε αλουμίνιο, χρώμιο και μολυβδένιο** 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 (pin) έχει κυλινδρικό σχήμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.42. 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.

1.3.7 Κύλινδροι – Κεφαλές κυλίνδρων

Ο κύλινδρος (**cylinder**) είναι το τμήμα του κινητήρα όπου παράγεται η ισχύς. Σχηματίζει το θάλαμο όπου πραγματοποιείται η καύση του καυσίμου 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). Η τομή κυλίνδρου αερόψυκτου κινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 1.43(α) ενώ στο Σχήμα 1.43(β) φαίνεται η εξωτερική όψη του κυλίνδρου.

Στην καλή σχεδίαση και κατασκευή του κυλίνδρου σημαντικό ρόλο έχουν οι ακόλουθοι παράγοντες:



Σχήμα 1.43 (α) Τομή και (β) εξωτερική όψη κυλίνδρου

- ❖ 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 (cylinder head)** και το **σώμα (cylinder barrel)** 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.

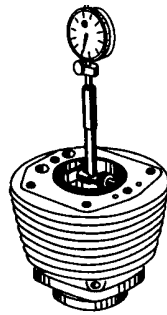
Η κεφαλή του κυλίνδρου σχηματίζει, μαζί με τα τοιχώματά του σώματος και του χιτωνίου, το θάλαμο καύσης. Επιπρόσθετα, συνεισφέρει στο βέλτιστο τρόπο απαγωγής θερμότητας από αυτόν. Συνήθως, για την κατασκευή της κεφαλής και του σώματος χρησιμοποιούνται κράματα αλουμινίου με χαλκό, ψευδάργυρο και κασσίτερο. 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. 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 (cooling fins)**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.43. 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 - Σχήμα 1.43). Τα πτερύγια ψύξης του σώματος μπορούν να είναι αποσπώμενα ή όχι, ανάλογα με το συγκεκριμένο 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 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 ανομοιομορφίας (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 (Σχήμα 1.44).

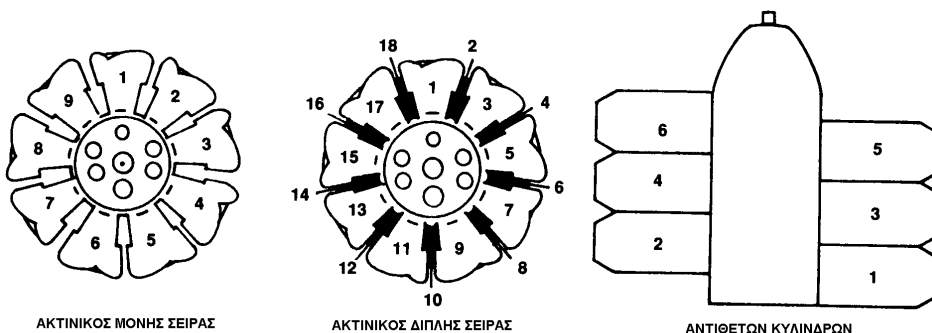


Σχήμα 1.44 Μέτρηση οβαλότητας κυλίνδρου

Οι φθορές αυτές του κυλίνδρου έχουν ως αποτέλεσμα την εισροή καυσαερίων στο στροφαλοθάλαμο και στο φίλτρο του αέρα. Τότε δημιουργείται υπερθέρμανση του λαδιού λίπανσης, καθώς και μείωση της συμπίεσης και της απόδοσης του κινητήρα. Για την επισκευή των φθορών αυτών πραγματοποιείται **ειδική επεξεργασία των κυλινδρικών επιφανειών** – πλάνισμα της κυλινδροκεφαλής, τρίψιμο των εδρών των βαλβίδων,

αντικατάσταση των οδηγών των βαλβίδων, επισκευή σπειρώματος τοποθέτησης μπουζί, κ.ά. Για την αποκατάσταση του οβάλ, σε ορισμένες περιπτώσεις, ο κατασκευαστής προτείνει τη μηχανουργική κατεργασία του κυλίνδρου σε μεγαλύτερη διάμετρο, την αποκατάσταση της αρχικής διαμέτρου με επιχρωμίωση ή και την αλλαγή του χιτωνίου (όταν υπάρχει).

Στους αεροπορικούς κινητήρες υπάρχει ειδικός τρόπος **αρίθμησης των κυλίνδρων**. **Εμπρόσθιο τμήμα** του κινητήρα θεωρείται εκείνο στο οποίο καταλήγει ο άξονας του έλικα, ανεξάρτητα με τον τρόπο που είναι τοποθετημένος ο κινητήρας στο αεροσκάφος. **Το δεξιό και το αριστερό τμήμα** του κινητήρα καθορίζονται όταν ο παρατηρητής κοιτάει **από το οπίσθιο προς το εμπρόσθιο τμήμα**, ενώ με τον ίδιο τρόπο καθορίζεται και η **φορά περιστροφής** του στροφαλοφόρου άξονα. Πιο συγκεκριμένα, **στους κινητήρες εν σειρά οι κύλινδροι αριθμούνται ξεκινώντας από το οπίσθιο τμήμα** όπως και **στους κινητήρες τύπου V, με τη μόνη διάκριση σε κύλινδρους αριστερής και δεξιάς πλευράς**. **Στους αστεροειδείς κινητήρες απλής σειράς κυλίνδρων η αρίθμηση πραγματοποιείται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού από το οπίσθιο τμήμα και με αφετηρία τον υψηλότερο κύλινδρο** (αυτόν που βρίσκεται στη δωδέκατη ώρα, σύμφωνα με την ορολογία των τεχνικών). **Στους αστεροειδείς διπλής σειράς χαρακτηρίζεται ως πρώτος, ο υψηλότερος κύλινδρος της οπίσθιας σειράς**. Ο δεύτερος κύλινδρος είναι ο αμέσως επόμενος κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού αλλά στην εμπρόσθια σειρά κ.ο.κ. Παραδείγματα σειράς αρίθμησης κυλίνδρων φαίνονται στο Σχήμα 1.45



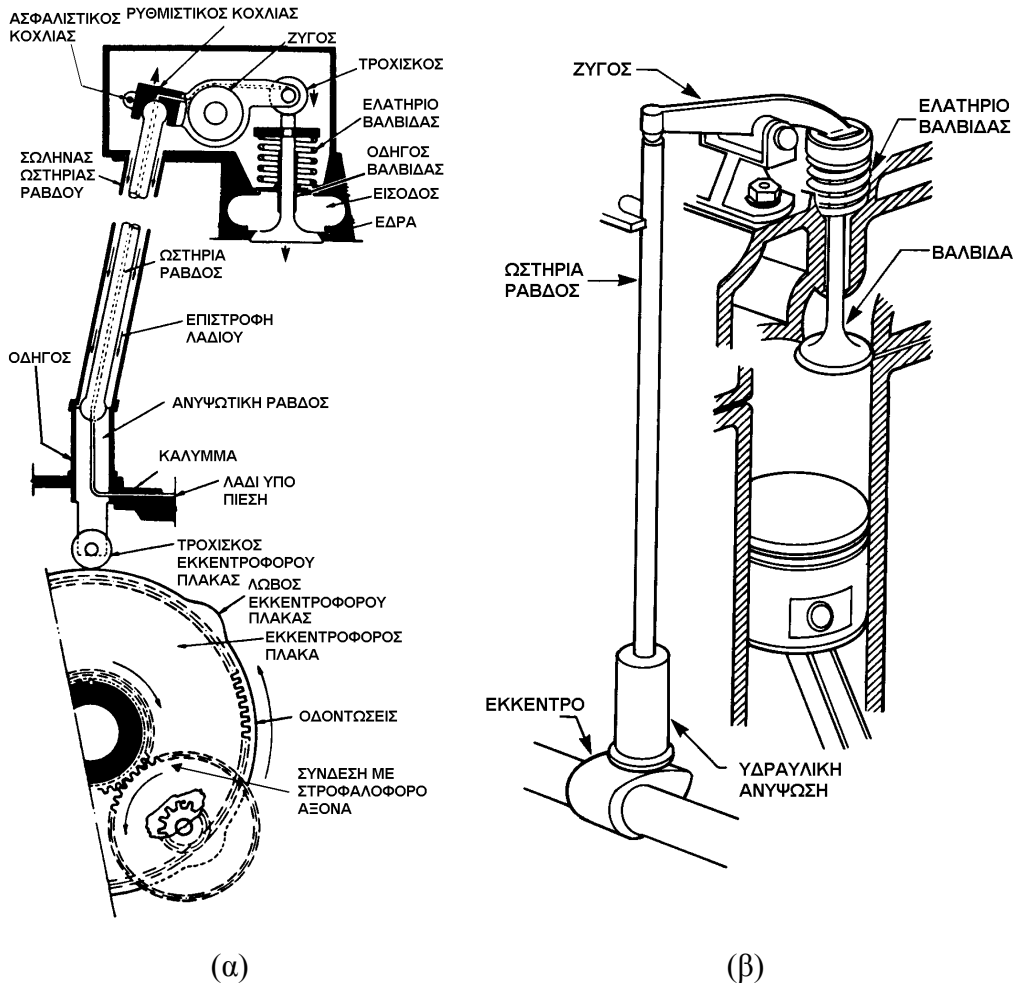
Σχήμα 1.45 Παραδείγματα σειράς αρίθμησης κυλίνδρων

Ιδιαίτερη σημασία για τη μελέτη, επισκευή και συντήρηση των πολκύλινδρων κινητήρων έχει η **σειρά καύσης**. Το έμβολο αποδίδει ενέργεια στο στροφαλοφόρο άξονα κατά τη φάση της εκτόνωσης ενώ στις άλλες φάσεις απορροφάται ενέργεια από τον άξονα. Έτσι, στον άξονα εξασκείται δύναμη από το έμβολο του κάθε κυλίνδρου μόνο για ένα μικρό, δεδομένο χρονικό διάστημα. Για το λόγο αυτόν, έχει καθοριστεί μία

συγκεκριμένη χρονική σειρά καύσης σε κάθε κύλινδρο ώστε η εξασκούμενη, από τον καθένα από αυτούς, δύναμη προς τον άξονα να είναι όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφη και σταθερή για την αποφυγή κραδασμών. Η σειρά καύσης αυτή εξαρτάται από το είδος του κινητήρα και τη διάταξη των κυλίνδρων του. Για παράδειγμα, η σειρά έναυσης σε έναν εν σειρά κινητήρα με έξι κυλίνδρους είναι 1-5-3-6-2-4. Ένας κινητήρας αντίθετων εμβόλων με έξι κυλίνδρους έχει σειρά έναυσης 1-4-5-2-3-6, λαμβάνοντας ως ζεύγη κάθε δύο αντιτιθέμενους κυλίνδρους.

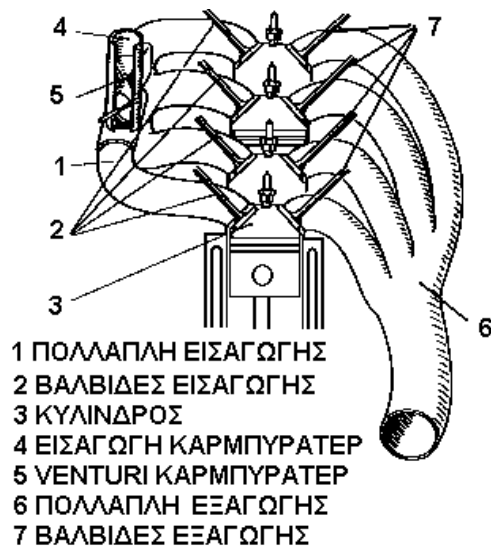
1.3.8 Βαλβίδες

Με το περιοδικό άνοιγμα και κλείσιμο των βαλβίδων (**valves**) επιτυγχάνεται η **εισαγωγή του μείγματος αέρα - καυσίμου** (σε βενζινοκινητήρα) στο θάλαμο καύσης και η **εξαγωγή των καυσαερίων**, που παράχθηκαν κατά την καύση, από αυτόν. Οι οπές 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. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.46, μία βαλβίδα αποτελείται από ένα **επίμηκες κυλινδρικό στέλεχος** το οποίο παλινδρομεί μέσα σε σταθερό οδηγό και φέρει λεπτή και πλατειά 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 της. Αυτός παίρνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα, τη λειτουργία του οποίου θα εξετάσουμε παρακάτω. Οι βαλβίδες ανοίγουν πάντα προς το εσωτερικό του κυλίνδρου.



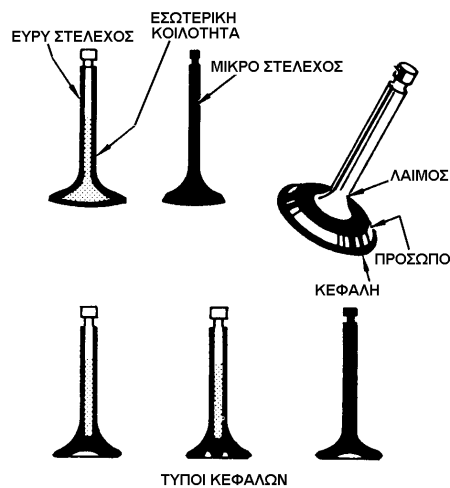
Σχήμα 1.46 Τα μέρη που αποτελούν το μηχανισμό κίνησης των βαλβίδων (α) ακτινικού και (β) κινητήρα αντίθετων εμβόλων

Η είσοδος του καύσιμου μείγματος και η έξοδος των καυσαερίων πραγματοποιούνται μέσω αγωγών, ιδιαίτερων για κάθε κύλινδρο (Σχήμα 1.47). 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.



Σχήμα 1.47 Τροφοδοσία καυσίμου μείγματος και απαγωγή καυσαερίων

Εξετάζοντας τη γεωμετρία της βαλβίδας (Σχήμα 1.48) παρατηρούμε ότι η **κεφαλή** της έχει σχήμα κολουρου κώνου, με γωνία έδρασης 30° ή 45°. 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.



Σχήμα 1.48 Οι διάφορες μορφές των βαλβίδων

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.

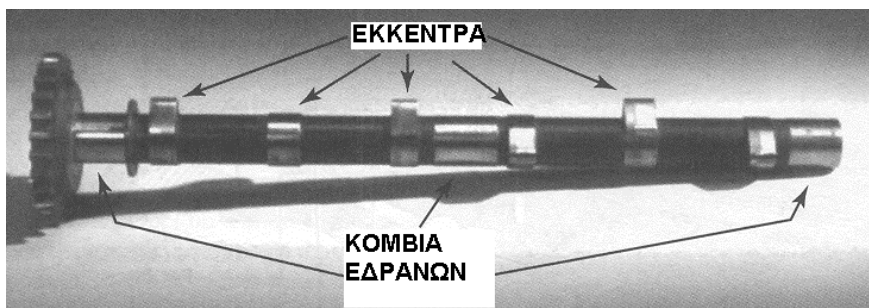
Σε μεγάλους κινητήρες οι βαλβίδες φέρουν εσωτερική κοιλότητα ώστε να μειωθεί το βάρος τους αλλά και να κυκλοφορεί υγρό ψύξης. Στους αεροπορικούς κινητήρες, στην εσωτερική κοιλότητα τοποθετείται άλας λιθίου και νατρίου, το οποίο υγροποιείται στις θερμοκρασίες λειτουργίας και απορροφά μέρος της παραγόμενης 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.

Κλείνοντας την παρουσίαση των βαλβίδων ας μιλήσουμε λίγο **για τα ελατήρια**. 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.

1.3.9 Σύστημα κίνησης βαλβίδων και εκκεντροφόρος άξονας

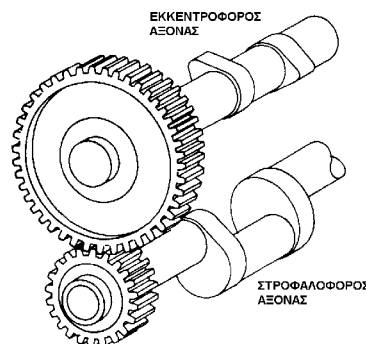
Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα ελατήρια κρατούν τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές. Για να ανοίξουν, πρέπει με κάποιο τρόπο να υπερνικηθεί η δύναμη των ελατηρίων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη λειτουργία του **εκκεντροφόρου άξονα (camshaft, Σχήμα 1.49)** ο οποίος κινείται από το στροφαλοφόρο άξονα με τη συνεργασία οδοντωτών τροχών.



Σχήμα 1.49 Εκκεντροφόρος άξονας

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 (push rod)** και ο **ζυγός ή κοκοράκι (rocker arm)**. Στο Σχήμα 1.46(α) φαίνεται ο μηχανισμός κίνησης των βαλβίδων ενός ακτινικού κινητήρα ενώ στο Σχήμα 1.46(β) ενός κινητήρα αντίθετων εμβόλων. Αυτά τα εξαρτήματα μεταφέρουν την κίνηση από τα έκκεντρα προς το στέλεχος της βαλβίδας. 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. 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 (Σχήμα 1.50). Στους δίχρονους κινητήρες - όταν χρησιμοποιείται εκκεντροφόρος - η παραπάνω σχέση περιστροφής είναι 1:1.



Σχήμα 1.50 Σχέση ταχύτητας περιστροφής (1:2) εκκεντροφόρου και στροφαλοφόρου άξονα

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 (Σχήμα 1.46α). 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.

1.4 Λίπανση –Συστήματα Λίπανσης

1.4.1 Χαρακτηριστικά του λιπαντικού μέσου

Η **λίπανση** ενός κινητήρα είναι απαραίτητη ώστε να ελαττωθούν οι τριβές που αναπτύσσονται στα τριβόμενα μέρη του. Επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία λιπαντικού μέσου με συγκεκριμένες ιδιότητες, ανάλογα με το είδος του κινητήρα και τις συνθήκες λειτουργίας του. Τα **λιπαντικά μέσα** και τα εξαρτήματα του συστήματος λίπανσης αναλύονται στη συνέχεια.

Ανάλογα με το είδος του εξαρτήματος το οποίο θα λιπανθεί, χρησιμοποιούνται διάφορα λιπαντικά μέσα. Στη συνέχεια, θα δούμε κάπως πιο αναλυτικά τις διάφορες κατηγορίες των λιπαντικών και τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Αρχικά, αναφέρουμε ότι **η πρώτη ύλη για την κατασκευή των λιπαντικών είναι το φυσικό ή αργό πετρέλαιο**, το οποίο λαμβάνεται από τις πετρελαιοπηγές συνήθως σε συνύπαρξη με άλλα συστατικά, νερό καθώς και αέρια. Οι συνεχείς αποστάξεις και κατεργασίες που πραγματοποιούνται στα διωλιστήρια, παράγουν τα βασικά λάδια λίπανσης τα οποία αποτελούν την κύρια ουσία των **ορυκτελαίων** - ή απλά **λαδιών** - και των **λιπών (γράσων)**. Με την προσθήκη ορισμένων άλλων συστατικών για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους προκύπτουν τα ορυκτέλαια και λίπη με πρόσθετα. Υπάρχουν, όμως και λιπαντικά που δεν προέρχονται από τα βασικά λάδια. Αυτά είναι μείγματα διαφόρων χημικών ενώσεων και ονομάζονται **συνθετικά λιπαντικά** (λάδια ή γράσα).

1.4.1.1 Λιπαντικά λάδια

Χρησιμοποιούνται για τη λίπανση στοιχείων των τμημάτων ενός κινητήρα όπως έδρανα ολίσθησης και κύλισης, κύλινδροι, οδοντωτοί τροχοί, αλυσίδες κ.λ.π., καθώς και για τη μετάδοση δυνάμεων ή κινήσεων (στα υδραυλικά συστήματα του κινητήρα). Ως βασικό χαρακτηριστικό των λαδιών των κινητήρων θεωρούμε το **ιξώδες (viscosity)**. Αυτό αποτελεί ένα μέτρο της εσωτερικής τριβής που επικρατεί σε ένα ρευστό αποτέλεσμα της οποίας είναι η ευκολία με την οποία αυτό ρέει. Με αυτό το κριτήριο τα λάδια διακρίνονται σε **λεπτόρευστα** και **παχύρευστα**. Έξω από τον τεχνικό χώρο, ένα παράδειγμα μεγάλης τιμής ιξώδους, σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, αποτελεί το μέλι. Όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ενός λαδιού, λοιπόν, μεταβάλλεται και το ιξώδες του. Δεν μπορούμε, έτσι, να μιλάμε για ιξώδες ενός ρευστού αν δεν αναφέρουμε τη θερμοκρασία προσδιορισμού του. Με την αύξηση της θερμοκρασίας το ιξώδες ελαττώνεται (το λάδι γίνεται λεπτόρευστο) ενώ όσο αυτή μειώνεται, παρατηρείται αύξηση του ιξώδους (το λάδι γίνεται παχύρευστο). Στην πρώτη περίπτωση, υπάρχει κίνδυνος να διασπαστεί η λιπαντική μεμβράνη που

σχηματίζεται μεταξύ των τριβόμενων επιφανειών, με αποτέλεσμα τη γρήγορη φθορά και την καταστροφή τους. Αντίθετα, στην περίπτωση του παχύρευστου λαδιού αυξάνεται η αντίσταση στην περιστροφή των τριβέων ενώ η κυκλοφορία του λαδιού στο κύκλωμα λίπανσης είναι δύσκολη. Στους εμβολοφόρους κινητήρες χρησιμοποιούνται λάδια με σχετικά μεγάλο ιξώδες λόγω των σχετικά μεγάλων διακένων που έχουν οι τριβόμενες επιφάνειες μεταξύ τους καθώς και των μεγάλων θερμοκρασιών και πιέσεων λειτουργίας.

Το ιξώδες των λαδιών μετριέται σε ειδική συσκευή ενώ οι μονάδες μέτρησης του είναι το cSt (σεντιστόουκ, ισούται με $0,01 \times \text{cm}^2/\text{sec}$), το cP (σεντιπουάζ), οι βαθμοί Engler (°E) και οι βαθμοί Saybolt. Η ταξινόμηση των λιπαντικών για κινητήρες εσωτερικής καύσης με βάση το ιξώδες τους έχει πραγματοποιηθεί από την Αμερικάνικη Ένωση Μηχανικών Αυτοκίνησης (SAE - Society of Automotive Engineers). Στους αεροπορικούς κινητήρες χρησιμοποιούνται λάδια κατηγορίας SAE-30 έως SAE-75, όσον αφορά την τιμή του ιξώδους τους¹. Τα λάδια κατηγοριοποιούνται και ανάλογα με την ποιότητά τους (από το SAE και το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Πετρελαίου - API - American Petroleum Institute). Έτσι, είναι δυνατό να υπάρχουν δύο ή και περισσότερα λιπαντικά του ίδιου βαθμού SAE, από τα οποία μόνο το ένα να είναι κατάλληλο για το συγκεκριμένο κινητήρα τον οποίο θέλουμε να λιπάνουμε.

Άλλα χαρακτηριστικά ενός λαδιού που καθορίζουν την καταλληλότητά του για μία συγκεκριμένη χρήση είναι:

- **Η αντοχή του στην οξείδωση.** Η οξείδωση ενός λαδιού οφείλεται στη θερμοκρασία λειτουργίας και την επαφή του με τον αέρα. Δημιουργεί αύξηση του ιξώδους, λάσπη και ανθρακούχα υπολείμματα που προκαλούν φθορές.
- **Σημείο ροής και σημείο θόλωσης.** Το σημείο ροής είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία το λάδι εξακολουθεί να ρέει. Το σημείο θόλωσης είναι η θερμοκρασία στην οποία ξεκινά η κρυστάλλωση της περιεχόμενης στο λάδι παραφίνης οπότε το λάδι γίνεται θολό.
- **Σημείο ανάφλεξης, καύσης και αυτανάφλεξης.** Το **Σημείο Ανάφλεξης (ΣΑ)** είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία ένα θερμαινόμενο λάδι παράγει ατμούς που μπορούν στιγμιαία να αναφλεγούν αν πλησιάσει μία φλόγα. Στην περίπτωση που ένα λάδι θερμανθεί σε υψηλότερη

¹ Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι η κατηγορία SAE-30 περιλαμβάνει λάδια ιξώδους 9,3 έως 12,5 cSt, μετρημένο στους 100°C.

θερμοκρασία ώστε να μη γίνει μόνο στιγμιαία ανάφλεξη αλλά να υπάρχει παραγωγή ατμών και διατήρηση της καύσης για πέντε, τουλάχιστον, δευτερόλεπτα, η θερμοκρασία αυτή ονομάζεται το **Σημείο Καύσης (ΣΚ)**. Το ΣΑ των λαδιών εξαρτάται από την προέλευσή τους. Έχει μεγάλη σημασία από την άποψη της ασφάλειας κατά τη μεταφορά και τη αποθήκευση των λαδιών γιατί τα προϊόντα με χαμηλό ΣΑ είναι εύφλεκτα και απαιτούν ειδικούς κανονισμούς ασφαλείας. Τα πτητικά συστατικά ενός λαδιού (π.χ. ίχνη βενζίνης) ελαττώνουν το ΣΑ, ακόμη και όταν βρίσκονται σε πολύ μικρή αναλογία. Τέλος, η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία ένα λάδι αναφλέγεται, παρουσία αέρα ή οξυγόνου, χωρίς να υπάρχει φλόγα, ονομάζεται **Σημείο Αυτανάφλεξης (SIT - Self Ignition Temperature)** και είναι πολύ ανώτερο του ΣΑ. Στα υδραυλικά συστήματα, ο κίνδυνος ανάφλεξης από τη διαρροή λαδιού συνδέεται περισσότερο με το SIT παρά με το ΣΑ.

- **Το ειδικό βάρος.** Είναι η σχέση του βάρους ενός δεδομένου όγκου λαδιού σε ορισμένη θερμοκρασία ως προς το βάρος ίσου όγκου αποσταγμένου νερού σε δεδομένη θερμοκρασία. Για τη μέτρησή του έχει πολύ μεγάλη σημασία η τιμή της θερμοκρασίας.

1.4.1.2 Πρόσθετα λαδιών

Οι διάφορες τεχνικές της διύλισης έχουν φτάσει σε τέτοιο σημείο, ώστε δεν υπάρχουν άλλα περιθώρια για την παραγωγή καλύτερης ποιότητας λαδιών απ' ευθείας από το διυλιστήριο. Οι αυξημένες απαιτήσεις για ποιοτικά λάδια (μεγάλα φορτία, υψηλές θερμοκρασίες και ταχύτητες λειτουργίας κ.λ.π.) οδήγησαν στη χρήση πρόσθετων. Αυτά είναι χημικές ουσίες ή και φυσικά προϊόντα που καλυτερεύουν την ποιότητα των λαδιών, βελτιώνοντας έτσι την απόδοσή τους. Η δράση, βέβαια, ενός πρόσθετου εξαρτάται από το βασικό λάδι στο οποίο προστίθεται καθώς και από τα υπόλοιπα πρόσθετα που το τελευταίο περιέχει. Τύποι πρόσθετων που χρησιμοποιούνται είναι:

- **Τα αντιοξειδωτικά**, που εμποδίζουν την οξείδωση του λαδιού και τη δημιουργία επικαθήσεων.
- **Τα απορρυπαντικά και διασκορπιστικά**, που περιορίζουν τη δημιουργία καταλοίπων (τα πρώτα) και διατηρούν σε διασπορά τις ουσίες που έχουν την τάση να σχηματίζουν λάσπη μέσα στον κινητήρα (τα δεύτερα).
- **Τα αντιδιαβρωτικά**, που εμποδίζουν τα οξέα να προσβάλλουν τις επιφάνειες των μετάλλων και ελαττώνουν τη διάβρωση και τη φθορά.

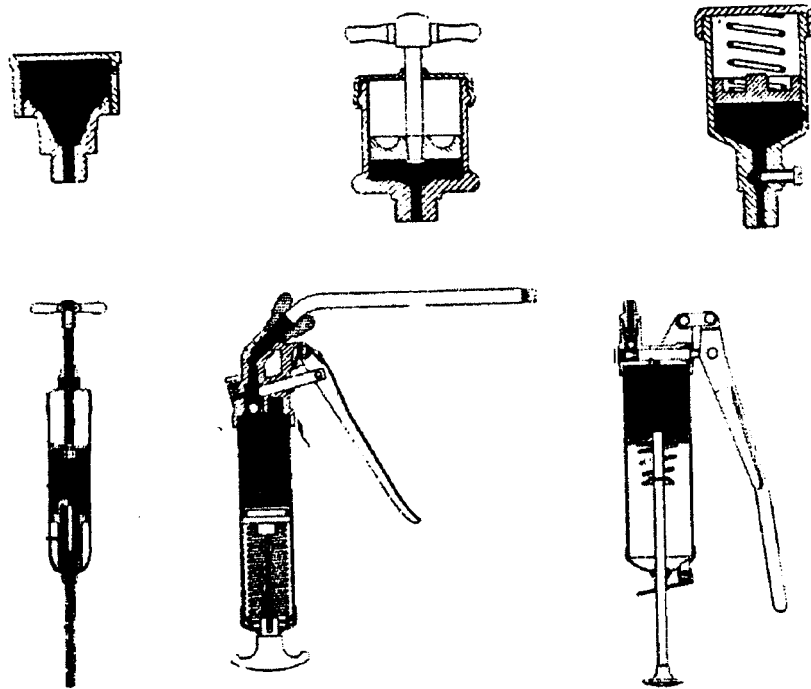
- **Τα πρόσθετα για τη βελτίωση του δείκτη ιξώδους**, που διατηρούν τη ρευστότητα του λαδιού σταθερή στις υψηλές θερμοκρασίες.
- **Τα πρόσθετα υψηλής πίεσης**, που χρησιμοποιούνται όταν τα φορτία που εξασκούνται σε δύο τριβόμενες επιφάνειες είναι τόσο μεγάλα ώστε η λιπαντική μεμβράνη του λαδιού σπάει και δε διαχωρίζει πλέον τις μεταλλικές επιφάνειες.

1.4.1.3 Συνθετικά λιπαντικά

Τα συνθετικά λιπαντικά είναι χημικά προϊόντα που παρασκευάζονται με τη μέθοδο της χημικής σύνθεσης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να είναι πολυμερισμός, ολιγομερισμός ή πρόσμειξη ενός προϊόντος σε ένα άλλο (οξέως σε αλκοόλη για τη δημιουργία εστέρα) και επιτρέπει την επίτευξη δύο στόχων: την αποδέσμευση των κατασκευαστών λιπαντικών από τις πηγές προμήθειας πρώτων υλών και τη συνεχή ικανοποιητική ποιότητα μέσω της τέλει αναπαραγωγής της χημικής σύνθεσης. Το είδος των συνθετικών λιπαντικών που χρησιμοποιείται στην αεροπορική βιομηχανία είναι οι διεστέρες (DIE).

Τα πλεονεκτήματα των συνθετικών λιπαντικών σε σχέση με τα ορυκτά λιπαντικά είναι σημαντικά:

- Καλύτερη λίπανση, με αποτέλεσμα λιγότερες φθορές και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κινητήρα.
- Χαμηλότερο σημείο ροής που εξασφαλίζει χρήση του λιπαντικού σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Μεγαλύτερη αντίσταση στην οξείδωση ώστε επιτυγχάνονται ικανοποιητική λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες και μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα μεταξύ δύο αλλαγών.
- Υψηλός δείκτης ιξώδους για την χρήση σε μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Υψηλότερο σημείο εξάτμισης, που εξασφαλίζει χαμηλότερη κατανάλωση λιπαντικού.
- Υψηλότερο σημείο ανάφλεξης, που σημαίνει μεγαλύτερη ασφάλεια.
- Δε δημιουργούνται κατάλοιπα.



Σχήμα 1.51 Είδη γρασαδόρων

1.4.1.4 Λιπαντικά λίπη (γράσα)

Τα λιπαντικά λίπη (γράσα) είναι στερεά έως ημίρευστα προϊόντα, που αποτελούνται από ένα ρευστό λιπαντικό λάδι (βασικό λάδι) στη μάζα του οποίου έχει προστεθεί ένα πηγματικό μέσο. Τα χρησιμοποιούμενα πηγματικά μέσα είναι τριών ειδών: οι σάπωνες ανώτερων λιπαρών οξέων, τα ανόργανα μέσα και τα πολυμερή. Τα λιπαντικά λίπη, όπως ακριβώς και τα λάδια, μπορεί να είναι απλά, χωρίς πρόσθετα, ή να ενισχυθούν με πρόσθετα για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Τα συνηθέστερα λιπαντικά λίπη παράγονται από τους σάπωνες με κυριότερους αυτούς του ασβεστίου, νατρίου, αργιλίου, λιθίου, βαρίου. Παρά το γεγονός ότι η χρήση των λαδιών είναι πολύ περισσότερο ευρεία από αυτή των γράσων, τα τελευταία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- ◆ Όταν το σημείο λίπανσης δεν είναι προσιτό οπότε και η συχνή αναλίπανση είναι προβληματική.
- ◆ Όταν αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες οπότε και χρησιμοποιούνται γράσα που περιέχουν στερεά λιπαντικά (όπως γραφίτη ή θειούχο μολυβδένιο).
- ◆ Όταν δεν είναι δυνατή η απόλυτη στεγανοποίηση του συστήματος με αποτέλεσμα την παρουσία σκόνης ή νερού (όπως στους ανοιχτούς οδοντωτούς τροχούς).

Ιδιότητες των γράσων είναι η σταθερότητα της σύστασης, η σταθερότητα σε οξειδωτικές συνθήκες και μηχανικές καταπονήσεις, η συνάφεια, το ιξώδες, η αντοχή στο νερό. Όπως ακριβώς και στα λάδια, χρησιμοποιούνται πρόσθετα για τη βελτίωση των ιδιοτήτων των γράσων.

Τα γράσα κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη διεισδυτικότητά τους, τη χρήση τους και τη συμπεριφορά τους στο νερό και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Χρησιμοποιούνται για τη λίπανση των εδράνων ολίσθησης και κύλισης, των οδοντωτών τροχών και των αλυσίδων. Η λίπανση με γράσο μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους τρόπους: με **μηχανικούς λιπαντήρες**, με **γρασαδόρους** (Σχήμα 1.51), με **στερεό γράσο** (έχει τη μορφή ράβδου) και με **κεντρικό σύστημα** (που φέρει δεξαμενή, αντλία και σωληνώσεις).

1.4.2 Συστήματα λίπανσης

Γενικά, τα συστήματα λίπανσης διακρίνονται σε:

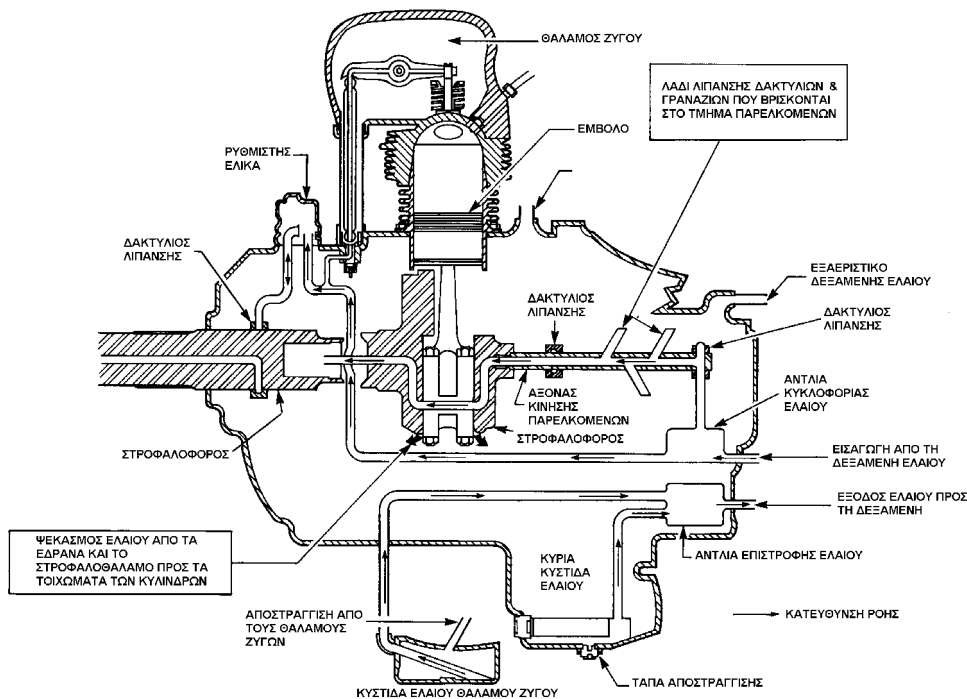
1. **Μηχανικά χωρίς πίεση (splash lubrication)**. Χρησιμοποιούνται σε μικρούς κινητήρες. Τα τριβόμενα μέρη κινούνται μέσα σε λιπαντικό ή περιοδικά εμβαπτίζονται μέσα σε αυτό ή, ακόμη, εκτινάσσεται περιοδικά ποσότητα λιπαντικού προς αυτά.
2. **Εξαναγκασμένης ροής (με πίεση, pressure lubrication)**. Διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν ως δεξαμενή λαδιού το στροφαλοθάλαμο και σε αυτά που χρησιμοποιούν ξεχωριστή δεξαμενή λαδιού. Τα πρώτα είναι γνωστά ως συστήματα υγρής κυστίδας, ενώ τα δεύτερα ως συστήματα ξηρής κυστίδας.
3. **Μεικτά**. Στα συστήματα αυτά, κάποια μέρη του κινητήρα λιπαίνονται με πίεση και κάποια άλλα χωρίς πίεση.

Οι αεροπορικοί κινητήρες λιπαίνονται με συστήματα πίεσης ή με μεικτά. Όταν υπάρχουν περισσότεροι του ενός κινητήρα, χρησιμοποιείται ξεχωριστό σύστημα λίπανσης για κάθε κινητήρα.

Συγκρίνοντας τα συστήματα λίπανσης μεταξύ τους, μπορούμε να πούμε ότι τα συστήματα πίεσης παρέχουν μεγαλύτερη ποσότητα λιπαντικού προς τα τριβόμενα μέρη. Παράλληλα, το λιπαντικό ψύχεται με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Στους αεροπορικούς κινητήρες, τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αεροσκάφη που εκτελούν ανάστροφες πτήσεις. Τα συστήματα υγρής κυστίδας έχουν το μειονέκτημα της μειωμένης χωρητικότητας λιπαντικού, της έλλειψης ψύξης και της λειτουργίας σε υψηλή θερμοκρασία αφού χρησιμοποιούν ως δεξαμενή το στροφαλοθάλαμο. Επιπλέον, τα αεροσκάφη που τα χρησιμοποιούν δεν μπορούν να εκτελούν

ανάστροφες πτήσεις. Τα συστήματα ξηρής κυστίδας, αντίθετα, διαθέτουν αντλία κυκλοφορίας του λιπαντικού, το οποίο και διοχετεύουν μέσω οπών στα διάφορα εξαρτήματα του κινητήρα που χρειάζονται λίπανση. Το έμβολο και το χιτώνιο λιπαίνονται με εκτίναξη λαδιού με πίεση προς αυτά.

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε με περισσότερες λεπτομέρειες τη λειτουργία ενός συστήματος λίπανσης ξηρής κυστίδας ενός αεροπορικού κινητήρα (Σχήμα 1.52). Τα βασικά τμήματα ενός τέτοιου συστήματος λίπανσης είναι η δεξαμενή λαδιού, η αντλία πίεσης, η αντλία επιστροφής, τα φίλτρα, οι διατάξεις ένδειξης πίεσης και θερμοκρασίας λειτουργίας του λαδιού, το ψυγείο λαδιού, ο ρυθμιστής θερμοκρασίας.



Σχήμα 1.52 Σύστημα λίπανσης ξηρής κυστίδας

Πιο αναλυτικά:

Η δεξαμενή λαδιού: τοποθετείται όσο γίνεται πιο κοντά στον κινητήρα τον οποίο εξυπηρετεί και πάντοτε σε ψηλότερη θέση από την αντλία πίεσης για να την τροφοδοτεί με βαρύτητα. Η περιεκτικότητά της εξαρτάται από το μέγεθος του κινητήρα και το πλήθος των εξαρτημάτων και συγκροτημάτων του που θα λιπανθούν. Το υλικό κατασκευής της είναι το αλουμίνιο ώστε να είναι ελαφριά.

Γενικά, η δεξαμενή θα πρέπει να είναι εφοδιασμένη με στόμιο πλήρωσης, πρόβλεψη για απαέρωση των σχηματιζόμενων ατμών, είσοδο και έξοδο του κυκλοφορούντος λαδιού και σύστημα ένδειξης της περιεκτικότητάς της - το

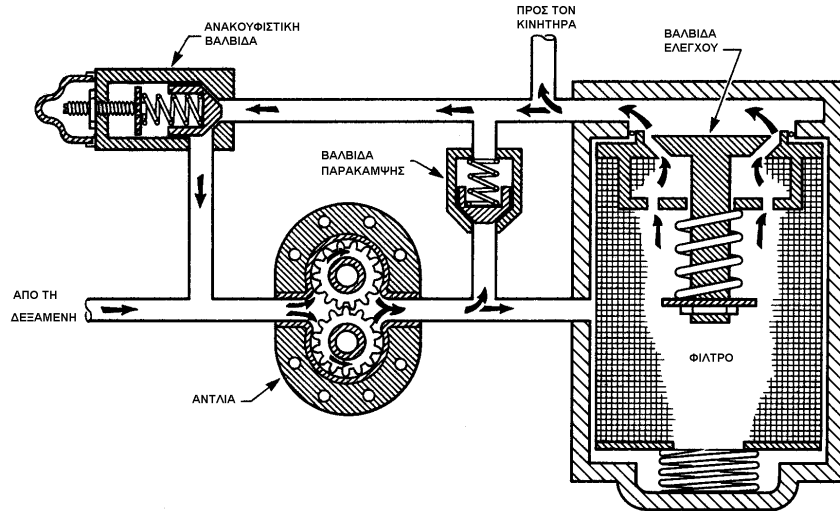
οποίο είτε έχει πλωτήρα με ένδειξη επί της δεξαμενής ή ηλεκτρική στο πιλοτήριο είτε πρόκειται για ράβδο που εμβαπτίζεται στη δεξαμενή, και τέλος, άνοιγμα αποστράγγισης (στο κατώτερο μέρος της). Το στόμιο πλήρωσης πρέπει να τοποθετείται σε χαμηλότερο σημείο από το ψηλότερο σημείο της δεξαμενής, ώστε το λιπαντικό να διαστέλλεται λόγω υψηλής θερμοκρασίας αλλά και για να υπάρχει ελεύθερος χώρος για το σχηματισμό πιθανών ατμών. Στο ύψος του στομίου πλήρωσης τοποθετείται μία αποστράγγιση προς αποφυγή πιθανής υπερπλήρωσης. Η δεξαμενή επικοινωνεί με το στροφαλοθάλαμο μέσω σωληνώσεων οι οποίες επιτυγχάνουν τη διάσπαση των οποιωνδήποτε ατμών και εξασφαλίζουν ατμοσφαιρική πίεση στη δεξαμενή.

Το λάδι, αφού κυκλοφορήσει μέσω του δικτύου σωληνώσεων στον κινητήρα και στα παρελκόμενά του, επιστρέφει στην **κύρια κυστίδα ελαίου (ή δεξαμενή συγκέντρωσης – oil sump, Σχήμα 1.52)** - η σωλήνωση επιστρέφει στο άνω μέρος της δεξαμενής. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι δεξαμενές λαδιού διαθέτουν και δεύτερη, βοηθητική, σωληνωτή δεξαμενή στο εσωτερικό τους, στην οποία καταλήγει το λάδι μετά τη κυκλοφορία του και είναι έτοιμο προς χρήση ξανά. Στο κάτω μέρος της δεξαμενής αυτής υπάρχει πρόβλεψη αυτόματης πλήρωσης λαδιού για να αντιμετωπιστούν τυχόν απώλειες από εξάτμιση ή από διαρροές του συστήματος. Με το διαχωρισμό του λιπαντικού που κυκλοφορεί από το υπόλοιπο στην κύρια δεξαμενή, η κυκλοφορία λιπαντικού διευκολύνεται κατά την έναρξη της λειτουργίας του κινητήρα, όταν το λιπαντικό έχει χαμηλή θερμοκρασία. Και αυτό γιατί κυκλοφορεί μικρότερη ποσότητα λιπαντικού και η θερμοκρασία του αυξάνεται πιο γρήγορα.

Η αντλία πίεσης. Διοχετεύει το λάδι στον κινητήρα. Είναι **γρاناζωτή αντλία** (Σχήμα 1.53) το κινητήριο γρανάζι της οποίας παίρνει κίνηση από τον κινητήρα μέσω του κιβωτίου παρελκομένων.

Αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας, το λάδι περνά διαμέσου των φίλτρων. Εκεί, στην περίπτωση που ο κινητήρας είναι ακτινικός, υπάρχει μία **βαλβίδα ελέγχου (check valve)**, τύπου ελατηρίου, η οποία έχει σκοπό να εμποδίσει το λάδι, κατά τη στάση του κινητήρα, να φτάσει λόγω βαρύτητας στους κάτω κυλίνδρους. Επίσης, το κύκλωμα είναι εφοδιασμένο με μία **βαλβίδα παράκαμψης (by-pass valve)**, η οποία ενεργοποιείται όταν κλείσει - για οποιοδήποτε λόγο - η δίοδος του λαδιού από το φίλτρο. Έτσι, ο κινητήρας τροφοδοτείται με λάδι, έστω και ακάθατο. Τέλος, στο κύκλωμα υπάρχει και μία **ανακουφιστική βαλβίδα (relief valve)** που έχει σκοπό να θέσει την πίεση λειτουργίας του λαδιού σε μία συγκεκριμένη τιμή, η οποία καθορίζεται από τη δύναμη του ελατηρίου της βαλβίδας. Η πίεση

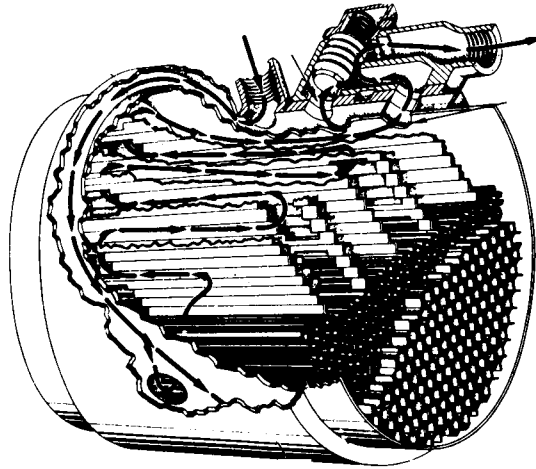
λειτουργίας του λαδιού πρέπει να είναι υψηλή, ώστε να λιπαίνονται όλα τα μέρη του κινητήρα που χρειάζονται λίπανση, σε όλο το φάσμα της λειτουργίας του. Από την άλλη πλευρά, η πίεση λειτουργίας δεν πρέπει να υπερβεί κάποια ανώτατη τιμή, καθώς έτσι θα προκαλέσει διαρροές και ζημιές στο κύκλωμα λίπανσης.



Σχήμα 1.53 Γραναζωτή αντλία θετικής μετατόπισης

Αντλία επιστροφής. Είναι ίδιου τύπου με την αντλία πίεσης και, συνήθως, τα γρανάζια της βρίσκονται κάτω από αυτά της τελευταίας ώστε να περιστρέφονται στον ίδιο άξονα ανά δύο. Χρησιμοποιείται διότι όταν το λάδι εξέρχεται από τον κινητήρα έχει πολύ μικρή πίεση. Το λάδι επιστρέφει με τη βοήθεια της αντλίας μέσω φίλτρου και του ψυγείου λαδιού στη δεξαμενή. Σε μικρούς κινητήρες, δε χρησιμοποιείται αντλία επιστροφής, καθότι το δίκτυο είναι μικρό και οι τριβές δεν είναι τόσο σημαντικές.

Τα φίλτρα. Χρησιμοποιούνται για τη συγκέντρωση των ακαθαρσιών που υπάρχουν στο λάδι και προέρχονται από τα διάφορα μέρη του κινητήρα που λιπαίνονται. Ο αριθμός τους εξαρτάται από το μέγεθος του κυκλώματος και το μέγεθός τους από το είδος και το μέγεθος των ακαθαρσιών που πρόκειται να παραλάβουν. Στους αεροπορικούς κινητήρες χρησιμοποιούνται **μεταλλικοί σωλήνες εξομάλυνσης ροής (strainers)** και **δικτυωτά φίλτρα (screens)**. Τα πρώτα αποτελούνται από δίσκους στερεωμένους επί ενός άξονα που φέρουν μικρές τρύπες για τη συγκράτηση των ακαθαρσιών και είναι αυτοκαθαριζόμενα. Στα δεύτερα, οι οπές είναι επί δικτυωτού υλικού και πρέπει να καθαρίζονται με ειδικό υγρό ανά τακτά χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 1.54 Ψυγείο λαδιού

Ψυγείο λαδιού. Το ψυγείο λαδιού (Σχήμα 1.54) αποτελείται από έναν πυρήνα που βρίσκεται σε ένα μεταλλικό περίβλημα και αποτελείται από μία σειρά παράλληλων, σωληνώσεων από αλουμίνιο ή χαλκό. Η διαδρομή του λαδιού περνά ενδιάμεσα από τις σωληνώσεις ενώ μέσα σε αυτές κυκλοφορεί αέρας - σε επίγειους κινητήρες μπορεί να διέρχεται και νερό. Τα δύο ρεύματα έχουν αντίθετη φορά για την επίτευξη καλύτερης μετάδοσης θερμότητας. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα τοιχώματα του περιβλήματος του ψυγείου είναι διπλά και στον ενδιάμεσο χώρο κυκλοφορεί λάδι. Έτσι, αντιμετωπίζεται πιθανό εμπόδιο στην κανονική διαδρομή του λαδιού καθώς επίσης και η γρήγορη θέρμανση του λαδιού όταν ο κινητήρας είναι κρύος.

Διατάξεις ένδειξης πίεσης. Συνήθως τοποθετείται μανόμετρο στη θέση εισόδου του λιπαντικού στον κινητήρα. Μετράται η διαφορά της πίεσης του λιπαντικού και της ατμοσφαιρικής.

Διατάξεις μέτρησης θερμοκρασίας. Τοποθετούνται σε σημείο μεταξύ του ψυγείου και της εισόδου στον κινητήρα. Η ένδειξη μεταφέρεται ηλεκτρικά προς το όργανο από το βολβό λήψης. Όταν σημειώνεται υψηλή θερμοκρασία στο λάδι σημαίνει ότι το ψυγείο λαδιού δε λειτουργεί κανονικά ή ότι δεν κυκλοφορεί η απαραίτητη ποσότητα λαδιού στο κύκλωμα λίπανσης.

Ρυθμιστής θερμοκρασίας (θερμοστάτης). Αποτελείται από μία **θερμοστατική βαλβίδα** και ελέγχει την ποσότητα του λαδιού που περνά από το ψυγείο. Όταν η θερμοκρασία του λαδιού είναι χαμηλή, επιτρέπεται η διόδος του λαδιού στο διπλό περίβλημα του ψυγείου ώστε να θερμανθεί ο κινητήρας. Όταν η θερμοκρασία αυξηθεί, η παραπάνω διόδος κλείνει ώστε το λάδι να παραμείνει σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία για την αποφυγή της μείωσης

της λιπαντικής του ικανότητας. Βέβαια, η θερμοκρασία του λαδιού μπορεί να ρυθμιστεί και με τη ροή του αέρα μέσα στο ψυγείο λαδιού. Ο έλεγχος της ροής πραγματοποιείται με το άνοιγμα και το κλείσιμο (μηχανικά ή ηλεκτρικά) ειδικών θυρίδων στην έξοδο του αέρα από το ψυγείο.

Βαλβίδα προστασίας ταλάντωσης. Στην περίπτωση που το λιπαντικό έχει χαμηλό ιξώδες, η αντλία επιστροφής, μπορεί να ανεβάσει υψηλή πίεση στη γραμμή επιστροφής. Για την αποφυγή ζημιών χρησιμοποιείται η βαλβίδα προστασίας ταλάντωσης. Αυτή είναι μία βαλβίδα ελατηρίου η οποία ανοίγει όταν η πίεση είναι υψηλή ενώ κλείνει η βαλβίδα εξόδου του ψυγείου. Με τον τρόπο αυτό, δε διέρχεται λάδι από το ψυγείο και δεν διέρχεται σε αυτό λάδι από την έξοδό του. Όταν η πίεση μειωθεί, τότε το ψυγείο λειτουργεί κανονικά και η ροή λαδιού σε αυτό κανονίζεται από το ρυθμιστή θερμοκρασίας.

Κύκλωμα λίπανσης. Το λάδι μετά την αντλία πίεσης και τα διάφορα φίλτρα, διαρρέει διάφορες σωληνώσεις που το μοιράζουν στα μέρη του κινητήρα που απαιτούν λίπανση. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Τα έδρανα του στροφαλοφόρου άξονα. Το λάδι διέρχεται από κατάλληλη οπή κατά μήκος του άξονα.
- Ο εκκεντροφόρος άξονας και ο μηχανισμός κίνησης των βαλβίδων.
- Τα έμβολα και τα χιτώνια. Το λάδι εκτοξεύεται από οπές του στροφαλοφόρου.
- Τα έδρανα όλων των βοηθητικών συστημάτων και παρελκομένων του κινητήρα.
- Τα συγκροτήματα όπου το λάδι χρησιμεύει ως κινητήριο ρευστό.

1.5 Συστήματα ψύξης

1.5.1.1 Αναγκαιότητα

Η αρχή λειτουργίας του κινητήρα εσωτερικής καύσης στηρίζεται στη μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια στον άξονα του κινητήρα, η οποία συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας. Ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας αυτής διοχετεύεται στο περιβάλλον. Το υπόλοιπο μέρος παραμένει σε διάφορα τμήματα του κινητήρα και πρέπει με κάποιο αποτελεσματικό τρόπο να απαχθεί. Και αυτό διότι ο κινητήρας στο σύνολό του είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί μέσα σε κάποια θερμοκρασιακά όρια. 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 συνηθισμένους βενζινοκινητήρες από τη συνολική ενέργεια που παρέχει το καύσιμο, ένα ποσοστό της τάξης του 30% διατίθεται για ωφέλιμο προς τον κινητήρα έργο ενώ 50% της ενέργειας αποβάλλεται με τα παραγόμενα καυσαέρια, 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.

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι αερόψυκτοι ή υγρόψυκτοι. Πιο συγκεκριμένα, οι εμβολοφόροι αεροπορικοί κινητήρες είναι, στη συντριπτική τους πλειοψηφία, αερόψυκτοι.

1.5.2 Αερόψυκτοι κινητήρες

Το σύστημα ψύξης των αερόψυκτων κινητήρων χαρακτηρίζεται από απλότητα, καθώς αποτελείται από πολύ λιγότερα τμήματα απ' ό,τι ένα αντίστοιχο υγρόψυκτο κινητήρα. Έτσι, παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία κατά τη λειτουργία του και έχει μικρότερο βάρος.

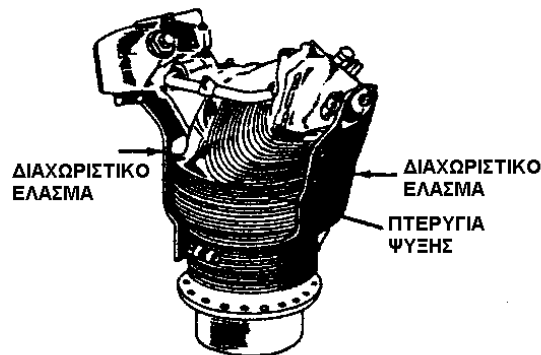
Στους αερόψυκτους κινητήρες η ψύξη επιτυγχάνεται απ' ευθείας από τον ατμοσφαιρικό αέρα, χωρίς την κυκλοφορία ψυκτικού υγρού. Για το λόγο αυτό, οι κύλινδροι του κινητήρα διαθέτουν πτερύγια ψύξης στο πάμα και την περιφέρειά τους. Η ροή του ατμοσφαιρικού αέρα κατά την πτήση του αεροσκάφους πρέπει να οδηγηθεί 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.

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

- Τη **συνολική επιφάνεια των πτερυγίων ψύξης** που πρέπει να είναι η μέγιστη δυνατή και καλά μοιρασμένη στην εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου,
- Την **ταχύτητα και την ποσότητα του αέρα που διαπερνά τα πτερύγια** και πρέπει να είναι οι μεγαλύτερες δυνατές, και
- Τη **διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα και των πτερυγίων**. Για καλύτερη ψύξη, η θερμοκρασία πρέπει να είναι χαμηλή.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να δώσουμε προσοχή στο γεγονός ότι η θερμοκρασία των κυλίνδρων και της κεφαλής τους δεν πρέπει να είναι πολύ χαμηλή, διότι θα επέλθει μείωση του βαθμού απόδοσης του κινητήρα.



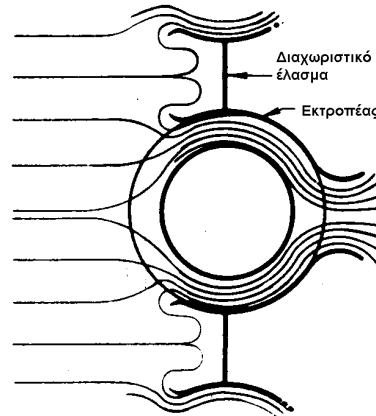
Σχήμα 1.55 Διαχωριστικά ελάσματα και πτερύγια ψύξης

1.5.2.1 Διατάξεις δημιουργίας ροής αέρα.

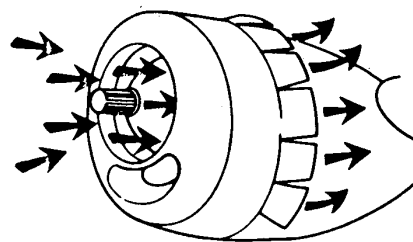
Οι παλαιότεροι αεροπορικοί κινητήρες είχαν τους κυλίνδρους εκτεθειμένους στη ροή του αέρα. Όμως, η πρακτική αυτή δεν ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματική διότι η άμεση επαφή τους με το ρεύμα αέρα δεν ήταν μεγάλη, ενώ δεν πραγματοποιούνταν στο ίδιο ποσοστό για κάθε κύλινδρο. Οι οπίσθιοι κύλινδροι, για παράδειγμα, 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 (cowl flaps)**

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.

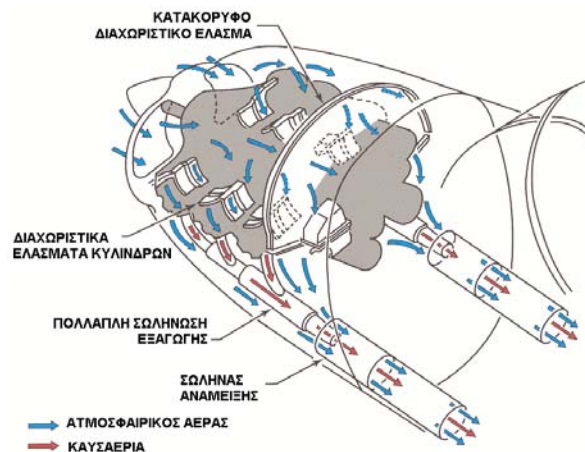


Σχήμα 1.56 Διαχωριστικά ελάσματα και οδηγιά πτερύγια



Σχήμα 1.57 Κινητές θυρίδες

Σε κάποιους αεροπορικούς κινητήρες χρησιμοποιείται μία διάταξη (augmentor) που εκμεταλλεύεται τη ροή των καυσαερίων ώστε να αυξηθεί ακόμη περισσότερο η ροή του αέρα ψύξης (Σχήμα 1.58).



Σχήμα 1.58 Διάταξη εκμετάλλευσης της ροής των καυσαερίων για την αύξηση της ροής 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 περύγια 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 ή στα τοιχώματα του. Η ένδειξη της θερμοκρασίας φτάνει στο ενδεικτικό όργανο από το ζεύγος μέσω καλωδίου.

1.5.3 Υγρόψυκτοι κινητήρες

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

Η δεξαμενή. Έχει κατάλληλη χωρητικότητα, πώμα πλήρωσης, διάταξη εξαέρωσης, είσοδο και έξοδο για το υγρό ψύξης.

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.

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 υγρόψυκτο σύστημα ψύξης, το ψυγείο ψύχεται με φυσική ροή αέρα.

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.

Ο ενδείκτης 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.

Το μανόμετρο. Τοποθετείται στην κατάθλιψη της αντλίας κυκλοφορίας του υγρού ψύξης για την ένδειξη της πίεσης του.

Οι πιο συχνές βλάβες που παρουσιάζει ένα υγρόψυκτο 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.

1.6 Καύσιμα και συστήματα αναμεικτών αέρα - καυσίμου

1.6.1 Αεροπορικά καύσιμα

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης προσφέρει μηχανική ενέργεια χρησιμοποιώντας καύσιμο. Γενικά, πρόκειται για ένα οργανικό προϊόν τα μόρια του οποίου αποτελούνται από πολλά άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Το καύσιμο, λοιπόν, ανήκει στην οικογένεια των **υδρογονανθράκων**. Για να εξαχθεί η θερμική ενέργεια από έναν υδρογονάνθρακα πραγματοποιείται μία χημική αντίδραση, η γνωστή σε όλους μας καύση. Η καύση επιτυγχάνεται όταν ο καύσιμος υδρογονάνθρακας έρθει σε επαφή με πηγή οξυγόνου και η θερμοκρασία των δύο συστατικών ανέλθει σε διαφορετική, για κάθε μείγμα, τιμή. Τα προϊόντα της καύσης βενζίνης είναι, εκτός από την παραγωγή θερμότητας, διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), υδρατμοί, μονοξείδιο του άνθρακα (CO) λόγω ατελούς καύσης, μικρές ποσότητες λαδιού, καπνού, ενώσεις αζώτου, μολύβδου και άλλων πρόσθετων ουσιών στη βενζίνη.

Οι προδιαγραφές των αεροπορικών καυσίμων δημιουργήθηκαν από τις πετρελαϊκές εταιρείες και κρίθηκαν ή αναθεωρήθηκαν από τις αρμόδιες αεροπορικές αρχές. Το πιστοποιητικό καταλληλότητας κάθε αεροσκάφους φέρει μία λίστα με τα καύσιμα που αυτό μπορεί να χρησιμοποιήσει. Η χρήση άλλου καυσίμου από το εγκεκριμένο μπορεί να επιφέρει μείωση της απόδοσης του κινητήρα ή και διακοπή της λειτουργίας του, ενώ αποτελεί αιτία για την άρση της καταλληλότητας πτήσης του αεροσκάφους και της ασφάλισής του. Η βενζίνη που χρησιμοποιείται στους αεροπορικούς εμβολοφόρους κινητήρες (aviation gasoline – avgas) αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό της παραγωγής ενός διυλιστηρίου – 0,25% περίπου! Η παραγωγή της προέρχεται από τη συμπύκνωση κλασμάτων αργού πετρελαίου με την προσθήκη κάποιων άλλων ουσιών οι οποίες της προσδίδουν κάποιες ιδιότητες που είναι σημαντικές για τη λειτουργία ενός αεροπορικού κινητήρα. Απαιτείται να έχει καλή θερμική απόδοση, υψηλό σημείο βρασμού, χαμηλό σημείο παγοποίησης και κατάλληλη πίεση ατμών ώστε να επιτυγχάνεται ανάφλεξη από το σπινθηριστή του κινητήρα. Επίσης, πρέπει να μην περιέχει ακατάλληλες ουσίες, να φιλτράρεται και να αντλείται εύκολα σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Στην περίπτωση που η βενζίνη δεν είναι καλής ποιότητας εμφανίζεται η λεγόμενη **κρουστική καύση**. Μετά την ανάφλεξη και τη συμπίεση του καυσίμου μείγματος, ένα μέρος του αυταναφλέγεται. Αυτό συμβαίνει όταν η

πίεση και η θερμοκρασία λειτουργίας στο θάλαμο καύσης παίρνουν υψηλότερες τιμές από αυτές που η βενζίνη μπορεί να φτάσει. Δημιουργούνται δύο μέτωπα φλόγας με αντίθετη κατεύθυνση τα οποία συγκρούονται. Το φαινόμενο γίνεται αντιληπτό με κτύπους, τα λεγόμενα πειράκια, και επιφέρει υπερθέρμανση του κινητήρα, πτώση της απόδοσής του, κόπωση του πείρου, του διωστήρα και του στροφαλοφόρου άξονα. Η συνεχής λειτουργία με αυτές τις συνθήκες μπορεί να προκαλέσει καταστροφή εμβόλου. Οι κυριότεροι παράγοντες που προκαλούν το φαινόμενο είναι η αυξημένη συμπίεση, η αύξηση του φορτίου, η αύξηση της προπορείας και η ελάττωση των στροφών του κινητήρα. Κυρίως, όμως, οφείλεται στο καύσιμο και, συγκεκριμένα, στην εκρηκτικότητά του, που είναι η τάση που αυτό παρουσιάζει προς αυτανάφλεξη, η οποία και εκδηλώνεται με την κρουστική καύση.

Ένα μέτρο κατάταξης του καυσίμου, λοιπόν, στηρίζεται στην **αντικρηκτικότητα (antiknock value)** που παρουσιάζει και εκφράζεται με τον **αριθμό οκτανίου**. Ο προσδιορισμός του γίνεται με τη σύγκριση της βενζίνης με ένα πρότυπο μείγμα. Αυτό αποτελείται από κανονικό επτάνιο, με πολύ μικρή αντοχή σε κρουστική καύση (την οποία θα αναλύσαμε παρακάτω) και από ισο-οκτάνιο που είναι πολύ ανθεκτικό. Η σύγκριση πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικού δοκιμαστικού κινητήρα. Σε αυτόν, μεταβάλλουμε τη συμπίεση κατά τη λειτουργία με το παραπάνω μείγμα μέχρι να εμφανιστεί κρουστική καύση. Έτσι, λέμε ότι μία βενζίνη έχει βαθμό οκτανίου 88 όταν κατά τον παραπάνω έλεγχο παρουσιάσει την ίδια εκρηκτικότητα με μείγμα που περιέχει 88%, κατά όγκο, ισο-οκτάνιο. Το καύσιμο των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων είναι 100 οκτανίων (η παλαιότερη ονομασία του ήταν 100/130) και έχει πράσινο χρώμα.

1.6.2 Συστήματα ανάμειξης αέρα – καυσίμου

1.6.2.1 Γενικά – Αναλογία αέρα καυσίμου

Η μετατροπή της χημικής ενέργειας που περιέχει το καύσιμο του κινητήρα σε μηχανική ενέργεια που αποδίδεται στο στροφαλοφόρο άξονα του, προέρχεται από την καύση της κατάλληλης ποσότητας του μείγματος αέρα – καυσίμου στους κυλίνδρους. Για το λόγο αυτό, οι κινητήρες είναι εφοδιασμένοι με σύστημα δημιουργίας και εισαγωγής του παραπάνω μείγματος. Το σύστημα αυτό διαφοροποιείται σε κάθε κινητήρα ανάλογα με το μέγεθος του και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργεί. Τα βασικά του τμήματα, ανεξάρτητα από άλλες διαφοροποιήσεις, είναι:

- **Οι αγωγοί εισαγωγής του ατμοσφαιρικού αέρα**, που ουσιαστικά αποτελούν μέρος του αεροσκάφους. Ξεκινούν από την εξωτερική

επικάλυψη του αεροσκάφους, ώστε να εκμεταλλεύονται την κίνηση του, και φτάνουν μέχρι τον αναμεικτήρα του κινητήρα. Η είσοδος του αέρα ελέγχεται από ειδική θυρίδα που ελέγχεται από το χειριστή.

- **Η αντλία καυσίμου, ο αναμεικτήρας (carburetor) και τα λοιπά εξαρτήματα για την κανονική λειτουργία του συστήματος, και**
- **Οι αγωγοί εισαγωγής του μείγματος αέρα – καυσίμου από τον αναμεικτήρα προς τους κυλίνδρους.**

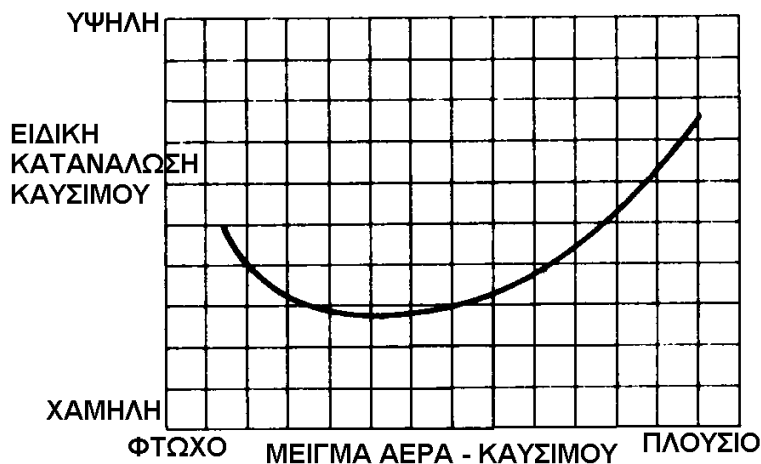
Στους αεραγωγούς τοποθετείται **φίλτρο συγκράτησης της σκόνης**, η οποία μπορεί να προκαλέσει ζημιές στα συστήματα ρύθμισης του καυσίμου μείγματος ή και να φτάσει μέχρι τους κυλίνδρους. Επίσης, τοποθετείται **σύστημα θέρμανσής τους** με τη λήψη θερμού αέρα από το θερμό τμήμα του κινητήρα, ώστε να αποφεύγεται ενδεχόμενη παγοποίηση (στους αεραγωγούς ή στον αναμεικτήρα). Τέλος, στην είσοδο του αναμεικτήρα τοποθετείται **αισθητήρας μέτρησης της θερμοκρασίας** για τον έλεγχο της και να λαμβάνονται μέτρα στην περίπτωση που ξεπεράσει κάποιο κατώτατο όριο (αναρρόφηση θερμού αέρα από τον κινητήρα).

Για να πραγματοποιηθεί τέλεια - ή πλήρης - καύση της βενζίνης σε ένα βενζινοκινητήρα εσωτερικής καύσης, απαιτείται η εξαέρωση και η ανάμειξη της με μία ποσότητα αέρα ώστε να σχηματιστεί το κατάλληλο καύσιμο μείγμα. Αυτό, στην κατά βάρος σύνθεσή του, αποτελείται από **15 μέρη αέρα (14,7 για την ακρίβεια) και ένα μέρος καυσίμου (βενζίνης)** και αποτελεί τη **στοιχειομετρική αναλογία**. Η αναλογία αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Η μεταβολή της, βέβαια, δεν υπερβαίνει τα όρια, έξω από τα οποία η καύση του μείγματος είτε δεν αποδίδει ενέργεια προς ωφέλιμη χρήση είτε είναι αδύνατη. Τα όρια αυτά είναι 8:1 και 20:1 κατά βάρος, αντίστοιχα. Το μείγμα βενζίνης – αέρα ονομάζεται **πλούσιο (rich mixture)** όταν βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ **8:1 και 15:1**, περιέχει δηλαδή περισσότερη βενζίνη από τη στοιχειομετρική αναλογία. Αντίθετα, το μείγμα ονομάζεται **φτωχό (lean mixture)** όταν περιέχει λιγότερη βενζίνη από τη στοιχειομετρική αναλογία, οπότε και βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ **15:1 και 20:1**.

Μία σημαντική παρατήρηση που πρέπει να γίνει στο σημείο αυτό είναι ότι στις διάφορες φάσεις της λειτουργίας του κινητήρα το μείγμα αέρα – καυσίμου δεν έχει πάντα τη σωστή τιμή, από την άποψη της στοιχειομετρικής ανάλυσης. Παίρνοντας ως δεδομένο ότι η λειτουργία του κινητήρα πρέπει να χαρακτηρίζεται από την παροχή της μέγιστης ισχύος για την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα σε συνδυασμό με τη μέγιστη δυνατή οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου, ας εξετάσουμε τον τρόπο με τον

οποίο η λειτουργία εκτός στοιχειομετρικού λόγου – πάντοτε, όμως, εντός ορισμένων ορίων - βοηθά την εκπλήρωση αυτών των δύο προϋποθέσεων.

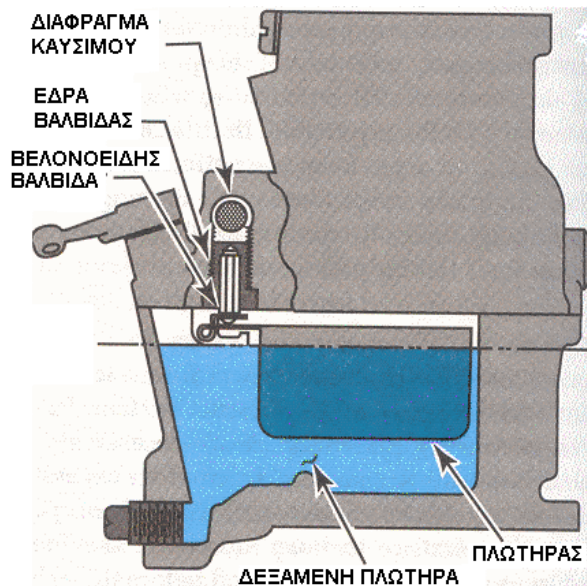
Στην περίπτωση που εισάγεται περισσότερη ποσότητα καυσίμου, με την ποσότητα του εισαγόμενου αέρα να διατηρείται σταθερή (ο λόγος αέρα - καυσίμου μειώνεται), επιτυγχάνεται μείωση της τελικής θερμοκρασίας της καύσης, λόγω της απορρόφησης της θερμικής ενέργειας στο θάλαμο καύσης από την περίσσεια καυσίμου που εξαερώνεται. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργούνται ατμοί καυσίμου που αυξάνουν τη μάζα του εργαζόμενου ρευστού, το οποίο εκτονώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας κατά το συγκεκριμένο θερμοδυναμικό κύκλο. Επιτυγχάνεται, έτσι, αύξηση της παραγόμενης ισχύος. Η περιοχή του λόγου που επιτυγχάνεται η **βέλτιστη ισχύς** θεωρείται από **12,5:1** έως **14:1**.



Σχήμα 1.59 Ειδική κατανάλωση και μείγμα αέρα-καυσίμου

Η **μέγιστη δυνατή οικονομία** μπορεί να επιτευχθεί όταν παράγεται μία δεδομένη τιμή ισχύος με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου. Ως μέτρο της οικονομικής λειτουργίας του κινητήρα – και της απόδοσής του – έχει καθιερωθεί η **ειδική κατανάλωση καυσίμου (specific fuel consumption, sfc)**. Αυτή αποτελεί, αναλύοντας τον ορισμό που δόθηκε στην παράγραφο 1.1.5, τον αριθμό των kg καυσίμου που καίγονται στη μονάδα του χρόνου (hr) για την παραγωγή κάθε μονάδας ισχύος (hp). **Για την επίτευξη της βέλτιστης τιμής της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου απαιτείται συνήθως λόγος αέρα – καυσίμου της τάξης του 16:1**. Βέβαια, αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν τη βέλτιστη αυτή τιμή, όπως ο λόγος συμπίεσης, ο αριθμός των στροφών και η προπορεία στην ανάφλεξη. Στο Σχήμα 1.59 φαίνεται η μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τη τιμή του λόγου αέρα – καυσίμου.

Εκτός από την απαίτηση για την παροχή μέγιστης ισχύος και οικονομίας στο καύσιμο, ένας αεροπορικός κινητήρας πρέπει να πληροί και άλλες προϋποθέσεις κατά τη λειτουργία του. Αυτές παίζουν το δικό τους, ξεχωριστό ρόλο στη διαμόρφωση του λόγου αέρα – καυσίμου. Γενικά, μπορεί κάποιος να πει ότι κατά την εκκίνηση και τη βραδεία λειτουργία (ρελαντί) του κινητήρα το μείγμα πρέπει να είναι πλούσιο ενώ κατά την κανονική λειτουργία πρέπει να λαμβάνει τιμές ελάχιστης κατανάλωσης. Στη συνέχεια, κατά την επιτάχυνση, το μείγμα πρέπει να γίνεται προοδευτικά πλούσιο και, τέλος, κατά την απόδοση της μέγιστης ισχύος να είναι πλούσιο. Στην περίπτωση που η αναλογία του μείγματος δεν είναι η σωστή, για τις συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, είναι δυνατή η υπερθέρμανσή του, η μείωση του αριθμού των στροφών, ακόμη και η διακοπή της λειτουργίας του.



Σχήμα 1.60 Αναμεικτήρας με πλωτήρα

1.6.2.2 Είδη συστημάτων εισαγωγής αέρα – καυσίμου

Τα συστήματα εισαγωγής αέρα – καυσίμου έχουν ως σκοπό να «υπολογίσουν» την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα και να προσθέσουν σε αυτήν μία αντίστοιχη ποσότητα καυσίμου ώστε να δημιουργηθεί ο κατάλληλος λόγος αέρα – καυσίμου. Τα περισσότερα από τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τη ροή του εισερχόμενου αέρα για τη δημιουργία μία ανάλογης διαφοράς πίεσης, η οποία, τελικά, υπολογίζει τη σωστή ποσότητα καυσίμου που θα αναμειχθεί με την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα. Τα συστήματα εισαγωγής αέρα - καυσίμου διακρίνονται σε:

1. **Συστήματα έμμεσης έγχυσης καυσίμου ή αναμεικτήρες (carburetors).** Το καύσιμο αναρροφάται λόγω της υποπίεσης που δημιουργείται στη ροή του εισερχόμενου αέρα. Οι αναμεικτήρες μπορεί να είναι:

- **Αναμεικτήρες με πλωτήρα (float – type carburetors):**
Χρησιμοποιούνται σε αεροπορικούς κινητήρες μικρού μεγέθους.
- **Αναμεικτήρες πίεσης (pressure injection carburetors):**
Χρησιμοποιούνται σε αεροπορικούς κινητήρες μεγάλου μεγέθους ή σε κινητήρες που λειτουργούν είτε σε μεγάλα ύψη είτε κάτω από ειδικές συνθήκες.

Οι αναμεικτήρες επίσης διακρίνονται ανάλογα με τη φορά της ροής του αέρα στο εσωτερικό τους, σε **ανοδικούς (updraft carburetors)** και σε **καθοδικούς αναμεικτήρες (downdraft carburetors).**

2. **Συστήματα άμεσης έγχυσης καυσίμου (fuel injection systems),** όπου το καύσιμο ψεκάζεται με τη βοήθεια αντλίας πίεσης στη ροή του εισερχόμενου αέρα ή απ' ευθείας μέσα στον κύλινδρο.

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά μέρη και τις αρχές λειτουργίας των συστημάτων έμμεσης και άμεσης έγχυσης καυσίμου.

1.6.2.2.1 Αναμεικτήρες με πλωτήρα

Ένας χαρακτηριστικός αναμεικτήρας με πλωτήρα φαίνεται στο Σχήμα 1.60. Τα βασικά του εξαρτήματα και οι αρχές λειτουργίας τους έχουν ως εξής:

1. **Χοάνη αναρρόφησης του αέρα.** Είναι ένας κυλινδρικός σωλήνας που τοποθετείται μεταξύ του αγωγού εισαγωγής και των αγωγών διανομής του καυσίμου μείγματος στους κυλίνδρους. Σε ένα σημείο της διατομής της φέρει μία στένωση. Εκεί, η γεωμετρία έχει τη μορφή του σωλήνα Venturi (Σχήμα 1.61).

Στο σημείο αυτό τοποθετείται ο **αναβρυτήρας (discharge nozzle - Σχήμα 1.63)** ή **ζιγκλέρ**, ο οποίος παρέχει την ποσότητα του καυσίμου που απαιτείται στο χώρο της χοάνης. Η ατμοσφαιρική πίεση που επικρατεί στη δεξαμενή καυσίμου οδηγεί το καύσιμο να εξέλθει από τον αναβρυτήρα καθώς επικρατεί υποπίεση στην περιοχή Venturi. Κατά τη φάση εισαγωγής μειώνεται η πίεση στον κύλινδρο του κινητήρα και εξαναγκάζεται η εισαγωγή αέρα σε αυτόν. Αυτή η ροή αέρα περνά από την περιοχή Venturi, μειώνει την πίεση και, στη συνέχεια, εξαναγκάζει την ροή καυσίμου από τον αναβρυτήρα. Η ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα στην περιοχή του Venturi είναι ανάλογη της δύναμης που θα ασκηθεί στην ποσότητα του καυσίμου. Η λειτουργία του αναβρυτήρα στηρίζεται στη διαφορά μεταξύ της