

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΣΥΓΚΡΗΣΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΜΕ
ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥΣ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΛΟΥΛΟΥΔΑΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΙΒΙΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2016

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΣΥΓΚΡΗΣΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΜΕ
ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥΣ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΛΟΥΛΟΥΔΑΣ ΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΑΜ: 4443

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ: 24/06/2016

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παρακάτω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκπόνηση της παρακάτω εργασίας, με θέμα "Σύγκριση ναυτικών αεροστροβίλων με αεροπορικούς" έχει ως σκοπό κάνοντας μία βιβλιογραφική ανασκόπηση για :

- Την ιστορική εξέλιξη των αεροστροβίλων,
- Τις πρώτες εφαρμογές σε αέρα και θάλασσα.
- Τον κύκλο λειτουργίας των κινητήρων, τις διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά τις διάφορες φάσεις της λειτουργίας και τις τροποποιήσεις που βελτιώνουν την απόδοση.
- Τα διάφορα είδη των κινητήρων και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, καθώς και τις κατηγορίες που διακρίνονται.

Θα γίνει αναφορά

- Στα κύρια εξαρτήματα και η λειτουργία τους.
- στους τρόπους μετάδοσης της κίνησης.
- στα καύσιμα κίνησης των στροβίλων και στα κριτήρια επιλογής τους.

Ενώ θα γίνει σύγκριση

- των υπέρ και των κατά με τους κινητήρες diesel.
- των ναυτικών αεροστροβίλων με του αεροπορικούς σε θέματα όπως (επιλογή καυσίμου, επιλογή στροβίλου, επιλογή ισχύος κτλ).

ABSTRACT

The following undergraduate thesis titled “Comparison of air turbines used in ships with those used in airplanes”, is a literature review aiming to do/ and include the following:

- a historical development of gas turbines and the personalities who contribute.
- The first applications on air and sea.
- The operation circle of the engine, the process who takes place at any faces of operation and the modifications who improves the effect.
- Any kind of engines and their technical characteristics and their discriminated categories.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ακόλουθη πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο να μας προσφέρει μερικές βασικές γνώσεις για τους αεριοστρόβιλους κινητήρες που χρησιμοποιούνται για την πρόωση αεροσκαφών και πλοίων. Θα γίνει αναφορά στην ιστορική τους εξέλιξη, καθώς και στο πώς επηρεάζει την επιλογή καυσίμου που είναι καθοριστικός παράγοντας, για την οικονομικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία του στροβίλου.

Στην αρχή θα αναλύσουμε τους αεριοστρόβιλους ως προωστήριες μηχανές αεροσκαφών και στη συνέχεια ως προωστήριες μηχανές πλοίων. Έπειτα θα αναφέρουμε την βασική τους λειτουργία, τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, τα διάφορα είδη τους και τους κύκλους λειτουργίας.

Ως γνωστόν οι παγκόσμιες αλλαγές όσον αφορά την διαθεσιμότητα των καυσίμων έχουν δώσει έμφαση στο κρίσιμο ρόλο που παίζουν στην παραγωγή ενέργειας. Συνεπώς η δυνατότητα των προωστήριων εγκαταστάσεων να λειτουργούν σε ένα φάσμα χαμηλότερης ποιότητας καυσίμων, άρα και τιμής, έχει βαρύνουσα σημασία για τον σχεδιασμό και επιλογή του αποδοτικότερου συστήματος πρόωσης.

Στους περισσότερους αεριοστρόβιλους χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη το φυσικό αέριο και κάποια κλάσματα αυτού. Ορισμένοι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη βαρέα καύσιμα χαμηλού κόστους. Σε συνδυασμό με τις διεθνής συνθήκες που επιβάλουν όλο και χαμηλότερες εκπομπές ρύπων σε λιμάνια και περιοχές SEGA, όλα αυτά καταδεικνύουν το πόσο δύσκολο είναι το έργο των μηχανικών, των πλοιοκτητών, καθώς και του προσωπικού που τα χειρίζεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.1 Ιστορικό σημείωμα.

Ως γνωστόν από τη λατινική λέξη TURBO, που σημαίνει περιστροφή ή μια δίνη προέρχεται και η λέξη αεροστρόβιλος ή αεριωθητής. Είναι που θα μας απασχολήσει στα επόμενα κεφάλαια.

Αν κοιτάξει κανείς στο παρελθόν δεν θα μπορέσει να πει ποιος ήταν εκείνος ανακάλυψε την αρχή της αεριώθησης (jet propulsion). Ο ποιο επικρατέστερος είναι ο έλληνας επιστήμονας Ήρωνας, που έζησε στην Αλεξάνδρεια τον 1^ο μ. Χ αιώνα, λαμβάνει πολλές φορές την τιμή να αναφέρεται ως ο εκείνος που πραγματοποίησε πρώτος την πρώτη εφαρμογή αεριώθησης. Ο Ήρωνας επινόησε και κατασκεύασε μια μηχανή, γνωστή ως μηχανή του Ήρωνα ή αιολοπούλη (Hero's aeolipile), η οποία θεωρείται πρόδρομος των σύγχρονων αεροστροβίλων. Η επικρατέστερη μορφή είναι αυτή του σχήματος 1.1. Ένα κλειστό δοχείο με νερό θερμαινόταν ώστε να παραχθεί ατμός. Αυτός μεταφερόταν μέσω δύο κάθετων σωλήνων σε μία σφαίρα, η οποία έφερε αυλούς στη διεύθυνση της ακτίνας. Καθώς η σφαίρα γέμιζε με ατμό, περιστρεφόταν και ο ατμός έβρισκε οδό διαφυγής ακτινικούς αυλούς.

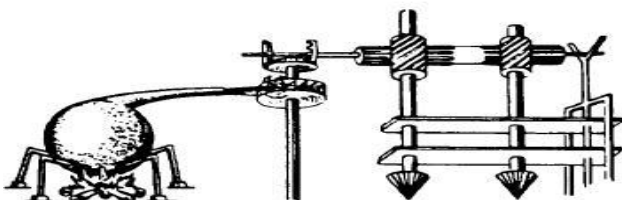
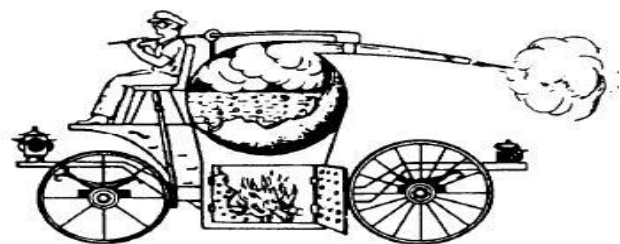
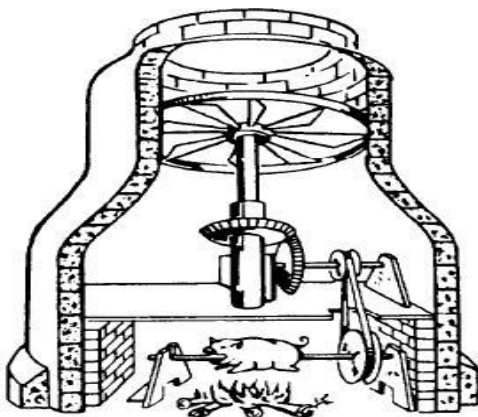


1.1 Μηχανή του Ήρωνα

Στην Κίνα, τον 8^ο αιώνα μ. Χ χρησιμοποιήσαν βεγγαλικά, η λειτουργία τον οποίον στηρίζεται στο γνωστό τρίτο νόμο του Νεύτωνα: << Σε κάθε δράση αντιστοιχεί μια ίση και αντίθετη, σε φορά, αντίδραση>>. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, οι κινητήρες αερίωθσης λειτουργούν εφαρμόζοντας ακριβώς αυτήν την αρχή λειτουργίας. Στην Κίνα το 1232 χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ένα όπλο που ονομαζόταν <<Βέλος του ιπτάμενου πυρός>>, που προωθούνταν με πυρίτιδα. Το 1505 μ.Χ ο Ιταλός Leonardo Da Vinci σχεδίασε μία μηχανή η οποία αργότερα χρησιμοποιήθηκε για το ψήσιμο φαγητού μέσα σε καμίνι (Σχέδιο 1.2).

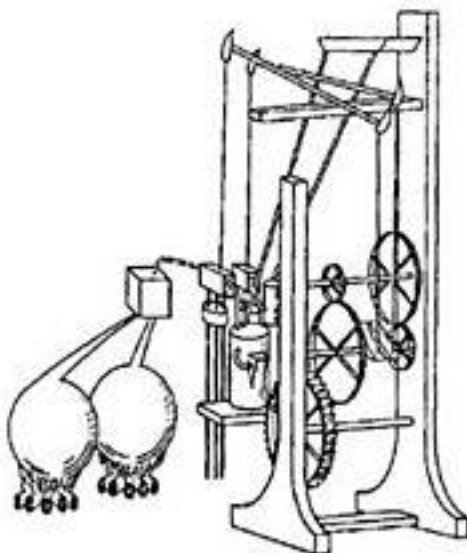
Το 1629 ο Ιταλός μηχανικός Giovanni Branca, σχεδίασε ουσιαστικά τον πρώτο στρόβιλο. Ατμός, παραγόμενος σε θερμαινόμενο δοχείο, περιέστρεφε δίσκο που έφερε κοιλότητες στην περιφέρεια του. Η περιστροφή του δίσκου μεταφερόταν μέσω συστήματος γραναζιών σε άλλον άξονα (Σχήμα 1.3). Το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε σε μύλο ελαιολιβερίου.

Ο Ισαάκ Νεύτων, βασισμένος στον τρίτο νόμο του, σχεδίασε το 1687 όχημα το οποίο κινούνταν με ώθηση παραγόμενη από ατμό (Σχήμα 1.4). Το βασικό του μειονέκτημα ήταν η μικρή του προωθητική του ισχύς. Παρόμοιο τύπο οχήματος σχεδίασε ο Ολλανδός μηχανικός Willem Jakobsz van Ardenne.



Από επάνω αριστερά: 1.2 Μηχανή ψήσιματος του Leonardo Da Vinci. 1.3 Ατμοκίνητο όχημα του Ισαάκ Νεύτων. 1.4 Στρόβιλος του Giovanni Branca.

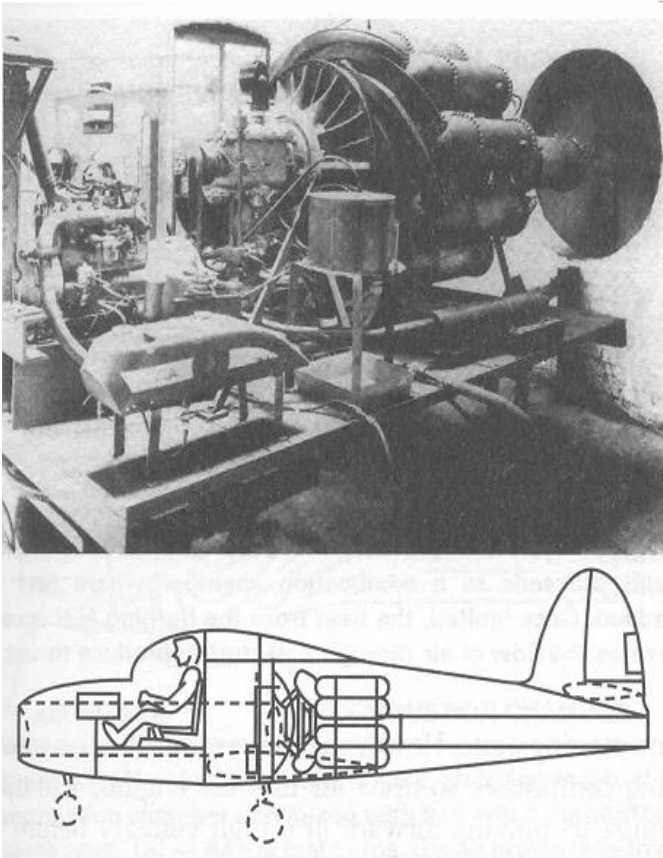
Το 1791, ο Άγγλος John Barber σχεδίασε μια μηχανή η οποία λειτουργούσε με βάση το σύγχρονο θερμοδυναμικό κύκλο αεριοστροβίλου κινητήρα, σχήμα 1.5



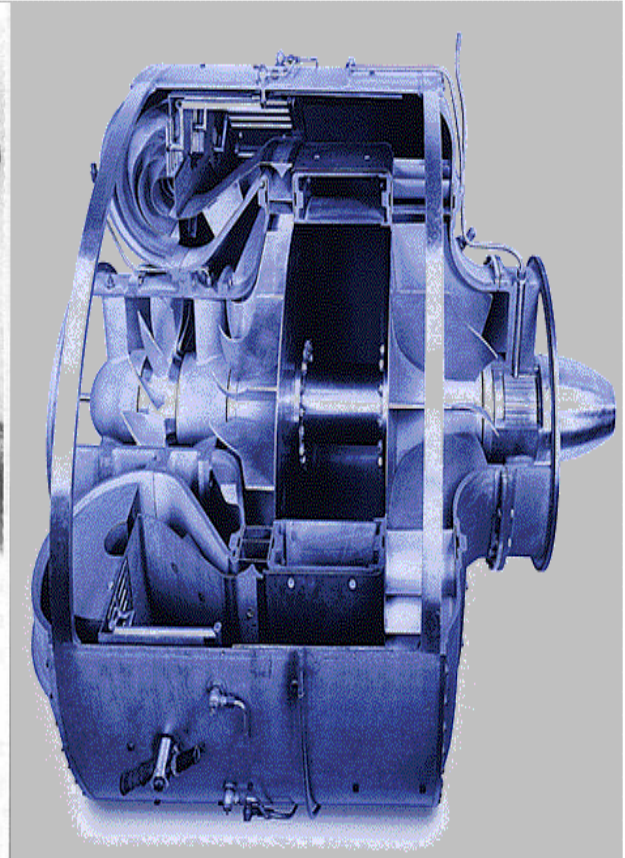
Σχήμα 1.5 μηχανή του John Barber

Το 1808, ο Άγγλος John Bumbell κατασκεύασε ένα αεριοστρόβιλο όμοιο με τους σημερινούς, αλλά χωρίς σταθερά πτερύγια. Παρόμοιο τύπο αεριοστροβίλου κινητήρα με τους σημερινούς κατασκεύασε το 1837 Ο Γάλλος Bresson. Το 1850, ο Fernihough επινόησε τον πρώτο αεριοστρόβιλο κινητήρα που είχε τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί ως εργαζόμενα μέσα ατμό ή αέρα. Η κατασκευή του πρώτου αεριοστροβίλου που λειτούργησε με αέρα, ξεφεύγοντας από την χρήση ατμού, ανήκει στον F. Stoltz, το 1872 . Το 1900, ο Sanford Moss κατέθεσε πολλές νέες ιδέες πάνω στη λειτουργία των αεροστροβίλων. Αργότερα, δουλεύοντας για την General Electric εφάρμοσε τις ιδέες του πάνω στη σχεδίαση των στροβίλο-υπερπληρωτών (Turbo-Superchargers), βασιζόμενος σε κάποιες ιδέες του Γάλλου μηχανικού Rataeu.

Οι κατασκευές του Moss επηρέασαν τον μηχανικό Frank Whittle, ο οποίος το 1930 κατοχύρωσε που θεωρείτε ο πρώτος επιτυχημένος αεριοστροβίλος κινητήρας για την κίνηση αεροσκάφους. Στις 14 Μαΐου του 1944, στην Αγγλία, πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές πτήσεις με κινητήρα του Whittle (Γνωστό ως W1) να δίνει κίνηση στο αεροσκάφος Gloster E28/39 (Σχήμα 1.6) με ταχύτητες 400 μίλια την ώρα (Miles Per Hour, MPH). Παράλληλα, ο Γερμανός μηχανικός Hans Von Ohain σχεδίασε και κατασκεύασε έναν κινητήρα αερίωσης (Jet Engine) ο οποίος δοκιμάστηκε, με επιτυχία, στις 27 Αυγούστου του 1939 στο αεροσκάφος Heinkel He-178 (Σχήμα 1.7) Αυτή αναγνωρίζετε, πρακτικά, ως η πρώτη πτήση αεριωθούμενου αεροσκάφους.



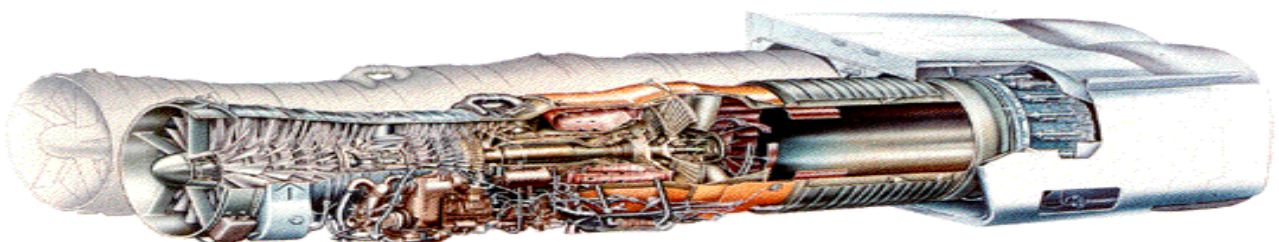
Σχήμα 1.6 κινητήρας του Whittle



Σχήμα 1.7 κινητήρας του Von Ohain

Στην Αμερική, ήταν μόλις τον Οκτώβριο του 1942 οπότε ένα αεροσκάφος χρησιμοποίησε με επιτυχία δύο κινητήρες αεριώθησης. Αυτοί ήταν τύπου GE-1A της General Electric, του οποίου η ανάπτυξη βασίστηκε σε σχέδια του Frank Whittle και χρησιμοποιήθηκε στο αεροσκάφος Bell XP-59 <<Airacomet>> Στην εποχή μας, τα επιβατικά, εμπορικά και στρατιωτικά αεροσκάφη χρησιμοποιούν στην πλειοψηφία τους κινητήρες αεριώθησης. Ένα σημαντικό βήμα προόδου ήταν η σχεδίαση και η κατασκευή κινητήρων αεριώθησης που έχουν την ικανότητα να κινούν ένα αεροσκάφος με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν του ήχου. Το μαχητικό SR-71 Blackbird πετά με ταχύτητα πέντε φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του ήχου.

Στο πολιτικό νηολόγιο το αεροσκάφος Concorde προϊόν άγγλο-γαλλικής συνεργασίας στα μέσα της δεκαετίας του 1970, με κινητήρα Olympus 593 B, πετούσε με 2,2 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτήν του ήχου. Στις 24 Οκτωβρίου 2003 πραγματοποιήθηκε η τελευταία πτήση του. <<Κινητήρας, φαίνετε στην παρακάτω εικόνα>>.



Τώρα όσον αφορά τους ναυτικούς αεριοστρόβιλους σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και εγκαθίδρυση ως κύριες μηχανές πρόωσης, έπαιξαν ο Σουηδός μηχανικός Gustaf De Laval και ο Αμερικάνος Charles Gordon Curtis, οι οποίοι εφεύραν τους γνωστούς στρόβιλους δράσεως.

Όμως το επικρατέστερο είδος που εφαρμόζεται κατακόρον είναι οι στρόβιλοι αντιδράσεως, τους οποίους εφεύρε και εξέλιξε ο Charles Algernon Parsons (1854-1932). Απ' αυτόν και προς δοκιμή εγκαταστάθηκε και δοκιμάστηκε ο πρώτος στρόβιλος αντιδράσεως ισχύος 2000 ίππων στο Α/Π Turbinia. Σε αυτόν οφείλετε η έμπνευση και εφαρμογή του πολυαξονικού συστήματος σε εμπορικά πλοία, καθώς και για το πρόβλημα της προώσεως στα πλοία, η χρήση μειωτήρων στροφών, οι οποίοι μείωναν τις στροφές που παρήγαγε ο στρόβιλος σε χαμηλότερο αριθμό στροφών για την αποδοτικότερη λειτουργία της έλικας.

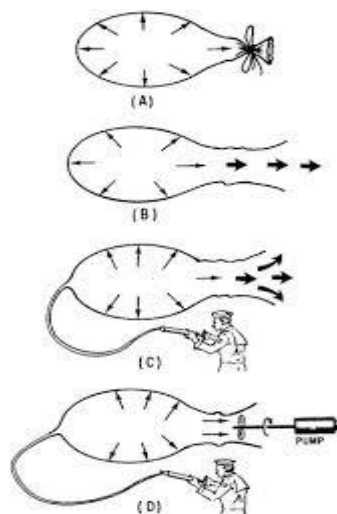
Μετά την επιτυχή δοκιμή στο Α/Π Turbinia και τις βελτιώσεις που ακολούθησαν ο στρόβιλος χρησιμοποιήθηκε κατά σειρά στο Α/Π King Edward (1901) με υποδύναμη 3500 ίππων και στο αντιτορπιλικό Viper (1900) με υποδύναμη 1200 ίππων. Για την εφαρμογή στα εμπορικά απαιτούταν μια αρκετά μεγάλη αύξηση ισχύος. Το The Queen (1903) με υποδύναμη 7500 ίππων και έπειτα το Car Mania (1906) με υποδύναμη 21000 ίππων. Άλλα πλοία ήταν το πλοίο τύπου roll on-roll off, το Admiral Callaghan με υποδύναμη 30000 ίππων, το Iron Monarch με υποδύναμη 19000 ίππων. Στην Ελλάδα ήταν η τορπιλάκατος του πολεμικού ναυτικού «Αστραπή» με τρεις στρόβιλους και ελικοφόρους άξονες των 4350 ίππων ο καθένας και η φρεγάτα του πολεμικού ναυτικού «Έλλη» με τέσσερις στρόβιλους, δύο τύπου Olympus της Rolls Royce 28000 SHP και δύο τύπου Tyne 4000 SHP.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Αρχές αεριώθησης.

Ο κινητήρας αεριώθησης παράγει προωθητική δύναμη (ώση, thrust), προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, εξαναγκάζοντας μία μάζα αερίου να κινηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση. Εφαρμόζει, δηλαδή, τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα, που αναφέραμε παραπάνω. Ως δράση θεωρούμε τη δύναμη που εξασκείται σε μία μάζα καυσαερίων προς το οπίσθιο τμήμα του κινητήρα του αεροσκάφους. Ως αντίδραση στην έξοδο της μάζας αυτής λαμβάνεται μία δύναμη (ώση) προς το εμπρόσθιο τμήμα του κινητήρα και του αεροσκάφους. Το μέγεθος της δύναμης αυτής εξαρτάται από την ποσότητα της μάζας αερίου (ή αέρα) που εισέρχεται στον κινητήρα και το βαθμό της επιτάχυνσης που θα αποκτήσουν τα εξερχόμενα αέρια.

Ας χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση της αρχής δράσης – αντίδρασης, αλλά και της αερίωσης. Θεωρείστε ένα μπαλόνι το οποίο γεμίζετε με αέρα και κρατάτε, στη συνέχεια, το στόμιό του κλειστό. Ο αέρας που εμπεριέχεται είναι υπό πίεση, η οποία εξασκείται ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις και πιέζει εξίσου τα εσωτερικά τοιχώματα του μπαλονιού (Σχήμα 2.1). Έτσι, δεν εξασκείται δύναμη που θα μπορούσε να κινήσει το μπαλόνι. Στη συνέχεια, απελευθερώνοντας το στόμιο του μπαλονιού, αυτό χάνει αέρα και μετά από μία σύντομη πτήση καταλήγει στο έδαφος. Μετά το άνοιγμα του στομίου, δεν εξασκείται πλέον δύναμη προς αυτήν την κατεύθυνση. Όλες οι άλλες δυνάμεις βρίσκονται σε ισορροπία, αλλά η δύναμη στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του στομίου δεν εξισορροπείται. Μία δύναμη εξασκείται από τα τοιχώματα του μπαλονιού στον αέρα που περιέχει. Αυτή είναι ίση και αντίθετη προς αυτήν που εξασκεί ο αέρας στα τοιχώματα και εξαναγκάζει τον αέρα να εξέλθει από το στόμιο του μπαλονιού, ενώ αυτό κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση.



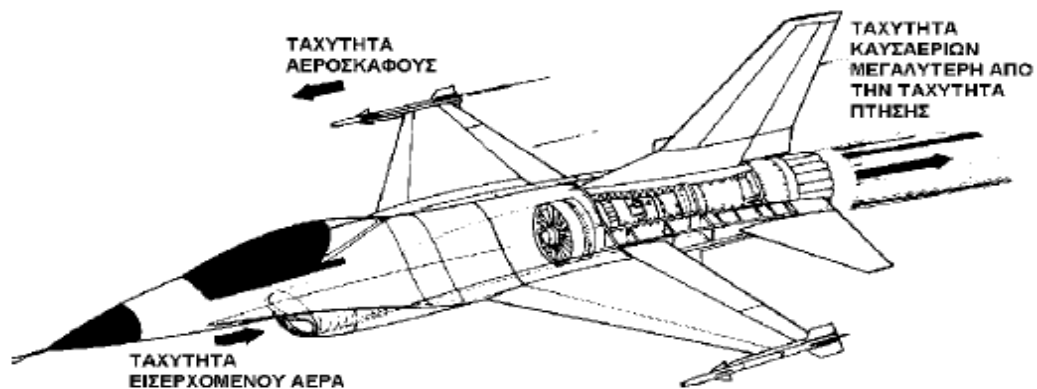
Σχήμα 2.1 Μπαλόνι.

Ένας κινητήρας αερίωσης κινείται κάτω από την επίδραση παρόμοιων δυνάμεων. Η πτήση του μπαλονιού μας ήταν σύντομη λόγω της πολύ γρήγορης πτώσης πίεσης του αέρα στα τοιχώματά του. Ας χρησιμοποιήσουμε μία αντλία ποδηλάτου για να εξασφαλίσουμε την συνεχή, σταθερή πίεση στα εμπρόσθια τοιχώματα του μπαλονιού. Έτσι, επιτυγχάνουμε σταθερή εξαγωγή αέρα από το στόμιο και σταθερή παραγωγή ώσης. Αντικαθιστώντας την αντλία με ένα συμπιεστή, μπορούμε να επιτύχουμε μεγαλύτερα μεγέθη. Ο συμπιεστής αυτός χρειάζεται μία διάταξη για την περιστροφή του. Ας το συνδέσουμε, μέσω ενός άξονα, με ένα στρόβιλο. Αυτός απαιτεί καύσιμο για την περιστροφή του. Ο αέρας εξέρχεται από το συμπιεστή, θα αναμειγνύεται με το καύσιμο και τα παραγόμενα καυσαέρια περιστρέφουν το στρόβιλο. Με την αύξηση παροχής

συμπιεσμένου αέρα θα επιτυγχάνεται και αύξηση της παραγόμενης ισχύς ή ώσης. Μέχρι αυτό το σημείο, συνδέσαμε στο μπαλόνι μας ένα συμπιεστή (compressor), ένα θάλαμο καύσης (combustion chamber), του καυσίμου και την παραγωγή καυσαερίων και ένα στρόβιλο τουρμπίνα (turbine) που συνδέεται με το συμπιεστή μέσω ενός άξονα. Μετατρέψαμε δηλαδή το μπαλόνι σε κινητήρα αεριώθησης. Αν μεταβάλλουμε τη ροή του καυσίμου σε αυτόν, θα επιτύχουμε και ανάλογη παροχή ώσης, αρκεί να παρέχουμε και την ανάλογη ποσότητα καυσίμου. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στον κινητήρα αεριώθησης τα καυσαέρια ωθούνται προς την εξαγωγή (δράση) και αυτά ασκούν μία δύναμη ή ώση (αντίδραση), προς την αντίθετη κατεύθυνση, προς τα τοιχώματα του κινητήρα και έτσι το αεροσκάφος κινείται. Στα πλοία ισχύει κάτι παρόμοιο, δηλαδή η ισχύς που παραλαμβάνει η προπέλα διάμεσο του μειωτή από τον αεριοστρόβιλο, προσδίδει ώση στο ρευστό (θαλασσινό νερό) και απ' αυτό μία δύναμη μεταδίδεται στο σύστημα της προπέλας η οποία παραλαμβάνεται από τον ωστικό τριβέα του σκάφους και μ' αυτό τον τρόπο κινείται το πλοίο. Μία κοινή, λανθασμένη ωστόσο, εντύπωση είναι ότι τα καυσαέρια ωθούν τον αέρα πίσω από τον κινητήρα για κινήσουν το αεροσκάφος αντίθετα. Η ώση προέρχεται από τις δυνάμεις που εξασκούν τα καυσαέρια μέσα στον κινητήρα. Αυτά εκτονώνονται και πιέζουν τα πλαϊνά τοιχώματα και το εμπρόσθιο μέρος του κινητήρα. Όσον αφορά το οπίσθιο μέρος του, αυτό αποτελεί ουσιαστικά μία τεράστια οπή, όπου δεν μπορεί να εξασκηθεί δύναμη. Έτσι, ο κινητήρας κινείται προς της κατεύθυνση της δύναμης που δεν εξισορροπείται, όπως ακριβώς στο μπαλόνι.

2.2 ΏΣΗ

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η ώση είναι μία δύναμη αντίδρασης. Μετριέται σε kr , $pounds$ ή lbf . Εξαρτάται από την επιτάχυνση μίας μάζας αερίου, σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα. Για παράδειγμα, ένας κινητήρας αεριώθησης δίνει μεγάλη επιτάχυνση σε σχετικά μικρή μάζα αέρα ενώ ένας ελικοφόρος δίνει μικρή επιτάχυνση σε μεγαλύτερη μάζα αέρα. Η ποσότητα του αέρα και των καυσαερίων που επιταχύνονται καθώς και το μέγεθος της επιτάχυνσης, η τελική τους ταχύτητα δηλαδή, καθορίζουν και την παραγόμενη ώση. Επίσης, η διαφορά της πίεσης των εξερχόμενων καυσαερίων προς την ατμοσφαιρική συμμετέχει στη δημιουργία της ώσης. Η στατική ώση (static thrust, gross thrust) ή μικτή ώση είναι η ποσότητα της ώσης που παράγει ένας κινητήρας όταν το αεροσκάφος βρίσκεται στο έδαφος ακίνητο. Η καθαρή ώση (net thrust) είναι η ώση που παράγεται κατά την πτήση. Για τον υπολογισμό της πρέπει να ληφθεί υπόψη η ταχύτητα του αεροπλάνου. Στο σχήμα 2.2 φαίνεται ο υπολογισμός της ταχύτητας του αεροσκάφους.



Σχήμα 2.2 υπολογισμός ταχύτητας.

2.3 Λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ώση.

- Αριθμός στροφών λειτουργίας. Θεωρείται ο πιο σημαντικός παράγοντας για τη δημιουργία της ώσης. Καθορίζει τη μάζα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα που, με τη σειρά της, είναι ανάλογη της ώσης που παράγεται.
- Εισαγωγή αέρα. Το μέγεθος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού εισαγωγής του ρεύματος αέρα στον κινητήρα επηρεάζουν την ποσότητα του και ανάλογα, και την ποσότητα της παραγόμενης ώσης.
- Ροή καυσίμου. Όσο αυξάνει η ποσότητα του εγχυόμενου καυσίμου, επιτυγχάνεται αύξηση του αριθμού στροφών και ανάλογη αύξηση της παραγόμενης ώσης.
- Απαγωγή ποσότητας αέρα συμπίεσης. Επιτυγχάνεται από ειδική βαλβίδα, όπως θα δούμε παρακάτω, και μειώνει την παραγόμενη ώση αφού μειώνεται η ποσότητα του συμπιεσμένου αέρα που εξέρχεται από το συμπιεστή.
- Θερμοκρασία εισαγωγής των καυσαερίων στο στρόβιλο. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τόσο περισσότερη ενέργεια απορροφάται από το στρόβιλο με αποτέλεσμα την αύξηση των στροφών του συμπιεστή, την εισροή μεγαλύτερης ποσότητας αέρα και τελικά την παραγωγή μεγαλύτερης ώσης.
- Έγχυση νερού στον αγωγό εισαγωγής αέρα στον κινητήρα. Με τον τρόπο αυτόν αυξάνεται η πυκνότητα και η μάζα του εισερχόμενου αέρα, με αποτέλεσμα την έγχυση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου και την αύξηση της παραγόμενης ώσης.

- Ταχύτητα του αεροσκάφους. Η επιτάχυνση του αεροσκάφους από μηδενική ταχύτητα, προκαλεί μείωση της παραγόμενης από τον κινητήρα ώσης. Στη συνέχεια, αυτή η εξάρτηση αναστρέφεται, εξαιτίας της αναρρόφησης μεγαλύτερης ποσότητας αέρα (ram effect) και περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης ώσης.

2.4 Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ώση.

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα. Η αύξησή της σημαίνει ότι ο εισερχόμενος αέρας στον κινητήρα είναι πιο αραιός, οπότε παρουσιάζεται μείωση της παραγόμενης ώσης.
- Πίεση περιβάλλοντος αέρα. Η μείωση της πίεσης του περιβάλλοντος αέρα αντιστοιχεί σε μείωση πυκνότητας του αέρα οπότε επέρχεται μείωση στην παραγόμενη ώση. Φυσικά, η πίεση του περιβάλλοντος αέρα είναι ανάλογη του ύψους στο οποίο πραγματοποιείται η πτήση του αεροσκάφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

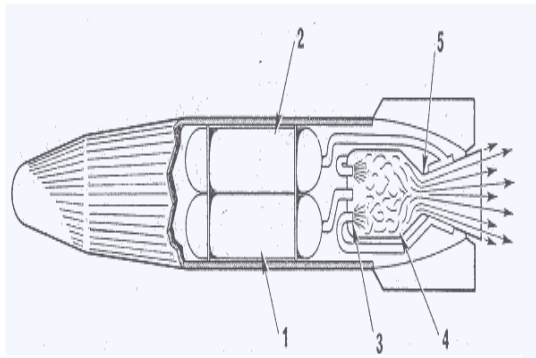
Μέθοδοι αερίωσης-Τύποι αεριωθητών.

3.1 Γενικά.

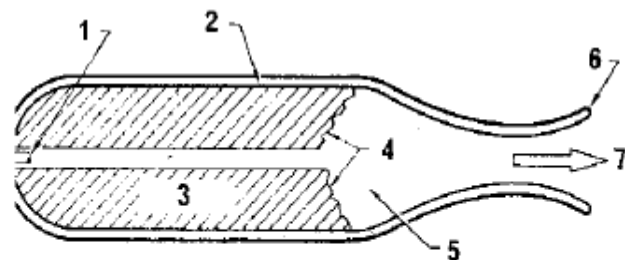
Διάφορα είδη αεροπορικών κινητήρων αερίωσης χρησιμοποιούν το νόμο «δράσης – αντίδρασης». Όλοι χρησιμοποιούν τον ίδιο τρόπο για την παραγωγή ώσης, επιταχύνουν μάζα αερίων στο εσωτερικό τους. Τα είδη αυτά είναι: ο πύραυλος, ο αθόδυλος ή αυλωθητής, ο παλμικός αθόδυλος ή παλμοθητής, ο αεριοστρόβιλος, ο στρόβιλο-αθόδυλος και ο πυραυλοστρόβιλος. Όλα τα είδη, εκτός από τον πύραυλο, χρησιμοποιούν ατμοσφαιρικό αέρα για την καύση του καυσίμου. Τα καυσαέρια εξωθούνται στο οπίσθιο μέρος του κινητήρα. Ανάλογα με το είδος του κινητήρα, τμήμα της παραγόμενης ενέργειας χρησιμοποιείται για την περιστροφή στροβίλου που δίνει κίνηση σε έλικες, ανεμιστήρες ή άξονες.

3.2 Πύραυλος (Rocket). Ο πύραυλος δε χρησιμοποιεί ατμοσφαιρικό αέρα για την καύση. Μεταφέρει στο εσωτερικό του φιάλες οξυγόνου (ή άλλου οξειδωτικού μέσου), το οποίο αναμειγνύεται με το καύσιμο και παράγουν την απαιτούμενη ποσότητα καυσαερίων για την κίνησή του. Έτσι, έχει τη δυνατότητα να κινείται σε οποιοδήποτε ύψος, μέσα και έξω από την ατμόσφαιρα. Διακρίνουμε δύο τύπους πυραύλων: υγρών καυσίμων (Σχήμα 3.1) και στερεών

καυσίμων (Σχήμα 3.2). Στον πρώτο τύπο, σύνηθες καύσιμο είναι η υδραζίνη (N_2H_4) και συνηθέστερο οξειδωτικό το υγρό οξυγόνο ή το νιτρικό οξύ (HNO_3).



Σχήμα 3.1 πύραυλος υγρών καυσίμων.



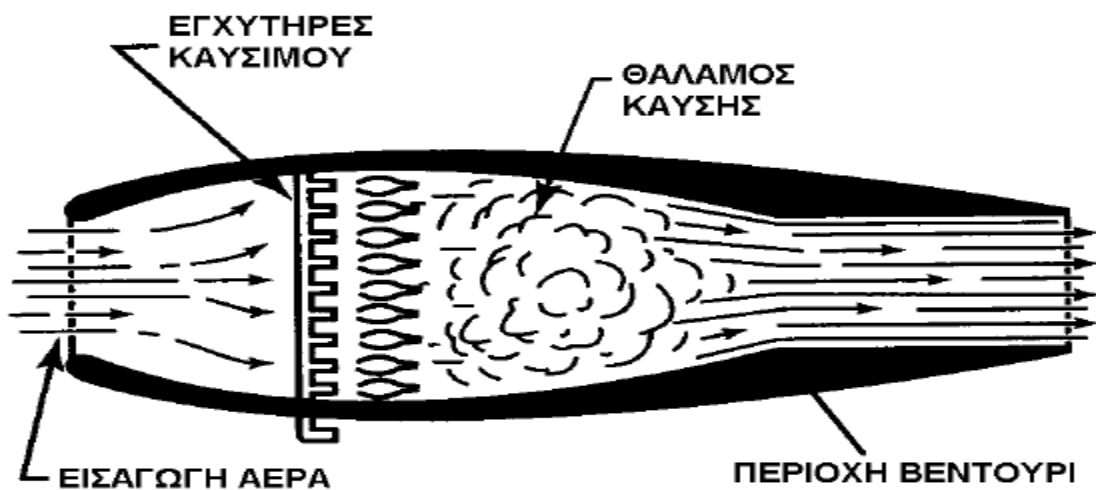
- | | |
|---------------------|-------------------|
| 1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΑΥΣΗΣ | 5. ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ |
| 2. ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ | 6. ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ ΡΟΗΣ |
| 3. ΣΤΕΡΕΟ ΚΑΥΣΙΜΟ | 7. ΚΑΥΣΑΕΡΙΑ |
| 4. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΥΣΗΣ | |

Σχήμα 3.2 πύραυλος στερεών καυσίμων.

Ο δεύτερος τύπος έχει αντικαταστήσει τον πύραυλο υγρών καυσίμων σε αρκετές εφαρμογές, όπως στην κίνηση βλημάτων, διαστημικών οχημάτων και στην παροχή περίσσειας ισχύος σε αεροσκάφη κατά την απογείωση. Συνήθως χρησιμοποιείται βαλιστίτης ως στερεό καύσιμο και είναι αναμεμειγμένος με το οξειδωτικό.

3.3 Αθόδυλος (Ram Jet)

Ο αθόδυλος ονομάζεται και αερο-θερμοδυναμικός αυλός (aerothermodynamic duct). Αποτελεί τον απλούστερο κινητήρα αερίωσης διότι δεν έχει κινητά μέρη. Ουσιαστικά αποτελείται από τους ψεκαστήρες και το μετρητή καυσίμου, τους συγκρατητές της φλόγας (flame holders), τα οποία βρίσκονται μέσα σε σωλήνα με αποκλίνουσα εισαγωγή και αποκλίνουσα – συγκλίνουσα (ή απλή συγκλίνουσα) εξαγωγή. Η απουσία περιστρεφόμενου συμπιεστή δεν επιτρέπει την εισαγωγή επαρκούς ποσότητας αέρα στον αθόδυλο στις χαμηλές ταχύτητες. Πρέπει, έτσι, να κινηθεί με μεγάλη ταχύτητα προτού να είναι σε θέση να παράσχει ώση (ram effect). Όταν εισέλθει αέρας στον κινητήρα, εγχύεται καύσιμο και παράγονται τα απαιτούμενα καυσαέρια που επιταχύνονται και παράγουν ώση. Η ιδιομορφία αυτή του αθόδυλου επιβάλλει την τοποθέτησή του πάνω σε πύραυλο ή αεροσκάφος. Στη συνέχεια, υποβοηθά με την ώση που παράγει τον ίδιο το φορέα του ή αποσπάται από αυτόν και προωθεί άλλο σκάφος ή βαλλιστικό βλήμα, με τα οποία συνδέεται. Ο αθόδυλος αποτελεί το αποδοτικότερο είδος κινητήρα σε ταχύτητες 3000 km/h και άνω, σχήμα 3.3 .

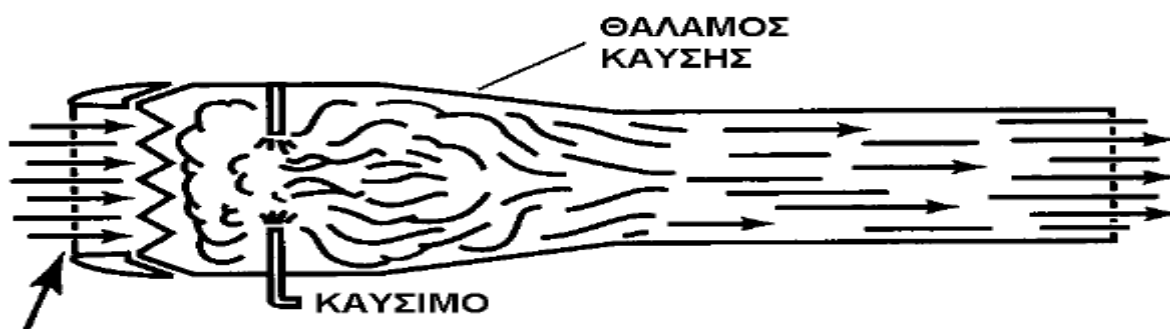


Σχήμα 3.3 αθόδυλος.

3.4 Παλμικός αθόδυλος.

Ο παλμικός αθόδυλος διαφέρει από τον αθόδυλο μόνο στην κατασκευή της εισαγωγής του αέρα. Εκεί, τοποθετούνται βαλβίδες εισαγωγής που διατηρούνται στην ανοικτή θέση με ελατήρια (Σχήμα 3.4). Έτσι, διέρχεται αέρας όπου αναμειγνύεται με το καύσιμο και το μείγμα καίγεται στο θάλαμο καύσης. Τα παραγόμενα καυσαέρια εκτονώνονται και εξαναγκάζουν τις βαλβίδες εισαγωγής να κλείσουν, οπότε και τα καυσαέρια επιταχύνονται προς την εξαγωγή. Τότε παράγουν την απαιτούμενη ώση. Τα ελατήρια ανοίγουν ξανά τις βαλβίδες εισαγωγής και ο κύκλος λειτουργίας επαναλαμβάνεται.

Σε αντίθεση με τον αθόδυλο όπου η παροχή ισχύος είναι συνεχής, στον παλμικό αθόδυλο είναι

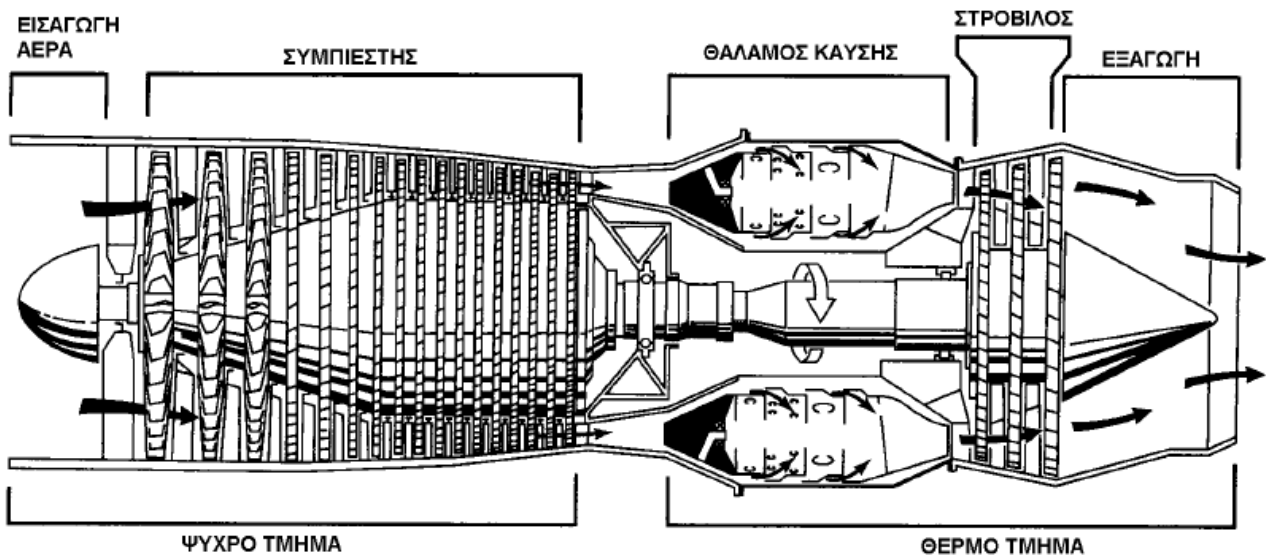


Σχήμα 3.4 παλμικός αθόδυλος.

διακεκομμένη. Ο κινητήρας αυτός είναι θορυβώδεις και έχει μικρή απόδοση, όμως έχει το πλεονέκτημα της εκκίνησης από τη στιγμή της ακινησίας. Χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία από τη γερμανική αεροπορία κατά το δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο με την ονομασία «ιπτάμενη βόμβα». Βρίσκει κάποιες εφαρμογές στην περιστροφή πτερυγίων ελικοπτέρων.

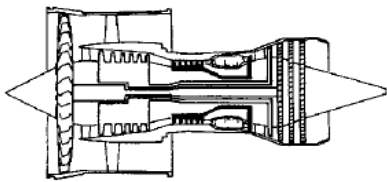
3.5 Βασικές αρχές αεροστροβίλου (gas turbine engine)

Ο αεροστρόβιλος θεωρείται ως ο πιο αποτελεσματικός κινητήρας αερίωθης που βρίσκεται σε χρήση στην εποχή μας. Χρησιμοποιείται σε αεροσκάφη επιβατικά, εμπορικά και στρατιωτικά. Τα βασικά του μέρη είναι ο συμπιεστής, ο θάλαμος καύσης, ο στρόβιλος και το ακροφύσιο εξαγωγής, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5 .

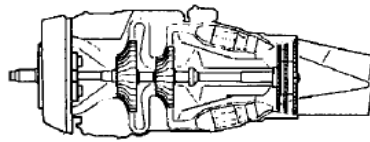


Σχήμα 3.5 τα βασικά μέρη του αεροστροβίλου.

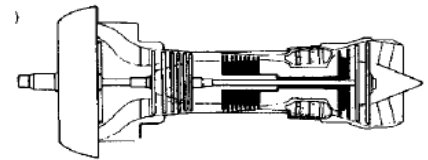
Γενικά, ο συμπιεστής αποτελεί το ψυχρό τμήμα του κινητήρα και ο θάλαμος καύσης με το στρόβιλο, το θερμό τμήμα. Μία μάζα αέρα οδηγείται από το τμήμα εισαγωγής στο συμπιεστή. Εκεί συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Αναμιγνύεται με εγχυόμενο καύσιμο και επιτυγχάνεται καύση. Τα παραγόμενα θερμά καυσαέρια εκτονώνονται και οδηγούνται προς την εξαγωγή. Στη διαδρομή αυτήν προκαλούν την περιστροφή του στρόβιλου ο οποίος συνδέεται με το συμπιεστή με κοινό άξονα. Στη συνέχεια, τα καυσαέρια συνεχίζουν την εκτόνωσή τους και περνώντας από το ακροφύσιο εξόδου, εξέρχονται από τον κινητήρα έχοντας πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτήν της εισερχόμενης μάζας αέρα. Η διαφορά αυτή μεταξύ των δύο ταχυτήτων προκαλεί την παραγόμενη ώση. Ανάλογα με τον τύπο του αεροστροβίλου, όπως θα δούμε στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται περισσότεροι από ένας στρόβιλοι. Ο καθένας συνδέεται με τον αντίστοιχο συμπιεστή μέσω ξεχωριστού άξονα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δύο ή τρεις συμπιεστές και στρόβιλοι, αυτοί συνδέονται με συγκεντρικούς άξονες, διπλού και τριπλού άξονα ή τυμπάνου. Στο παρακάτω σχήμα 3,6 φαίνονται μερικά είδη αεροστροβίλων.



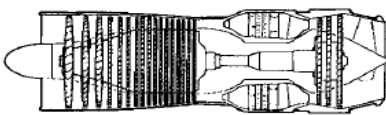
Στροβιλοανεμιστήρας
τριών αξόνων



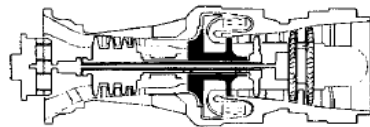
Ελικοστρόβιλος δύο
αξόνων με
φυγοκεντρικούς
συμπιεστές



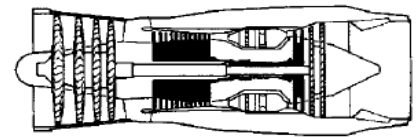
Ελικοστρόβιλος δύο
αξόνων με αξονικούς
συμπιεστές



Στροβιλοαντιδραστήρας
ενός άξονα με αξονικό
συμπιεστή



Αξονοστρόβιλος τριών
αξόνων με αξονικό &
φυγοκεντρικό συμπιεστή



Στροβιλοανεμιστήρας δύο
αξόνων

Σχήμα 3.6 είδη αεροστροβίλων.

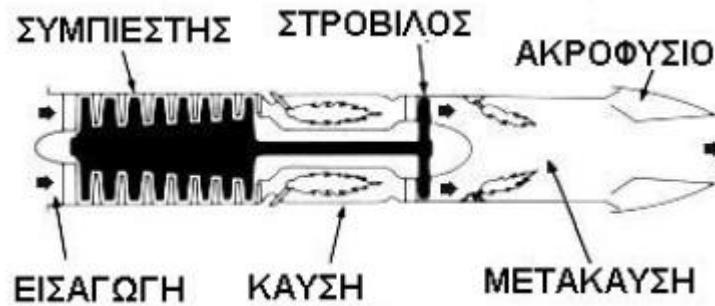
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Είδη αεροστροβίλων.

4.1 Στροβιλοαντιδραστήρας (Turbojet engine).

Η αρχή λειτουργίας του είναι παρόμοια με αυτήν που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ο Στροβιλοαντιδραστήρας (Σχήμα 4.1) αποτελεί την απλούστερη μορφή αεροστροβίλου κινητήρα. Χρησιμοποιεί τη ροή των καυσαερίων που σχηματίζεται στο ακροφύσιο εξαγωγής ως το μοναδικό μέσο παραγωγής ώσης για την κίνηση του αεροσκάφους. Η παραγωγή ώσης επιτυγχάνεται με την επιτάχυνση μικρών, σχετικά, μαζών αέρα σε υψηλές ταχύτητες.

Μία χαρακτηριστική παράμετρος του στροβιλοαντιδραστήρα είναι ο λόγος συμπίεσης ή λόγος πίεσης μηχανής (engine pressure ratio – EPR). Το μέγεθος αυτό αποτελεί το λόγο της πίεσης εξαγωγής των καυσαερίων από το στρόβιλο προς την πίεση του εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα. Η τιμή του EPR αποτελεί ένδειξη της παραγόμενης ώσης για μία συγκεκριμένη παροχή

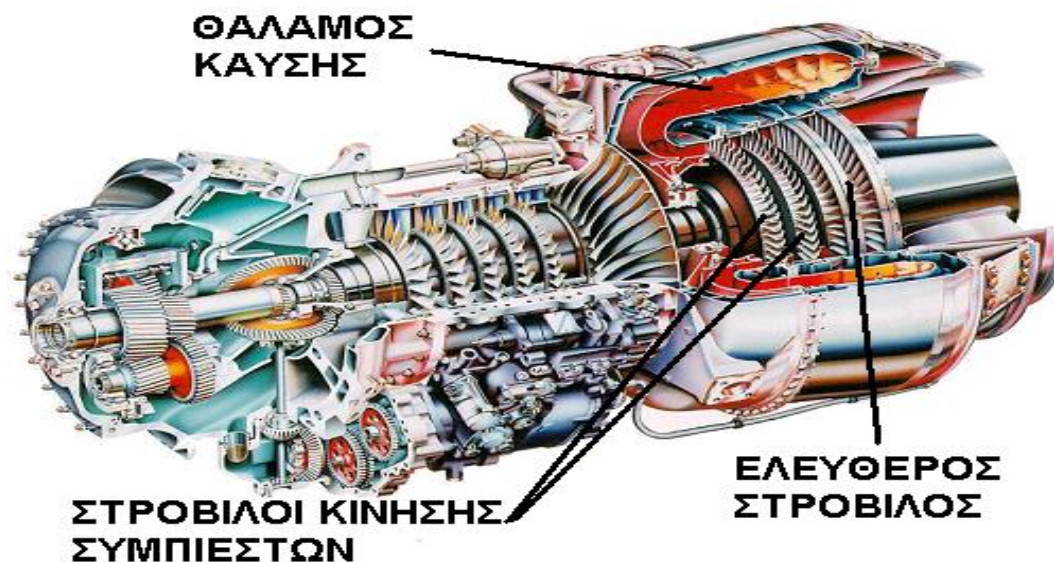


Σχήμα 4.1 Στροβιλοαντιδραστήρας.

Ένα σχετικό μειονέκτημα του στροβιλοαντιδραστήρα είναι ότι στις χαμηλές ταχύτητες πτήσης η παραγόμενη ώση είναι αναλογικά μικρή. Ο λόγος είναι ότι απαιτείται ικανοποιητική πίεση εισαγωγής αέρα (ram effect) στο συμπιεστή και, τελικά, ταχύτητα. Για το λόγο αυτό ένας στροβιλοαντιδραστήρας χρειάζεται μεγάλο διάδρομο απογείωσης ώστε να αυξηθεί ικανοποιητικά η πίεση εισαγωγής και, συνεπώς, η ώση κατά την απογείωση του αεροσκάφους. Επίσης, η αυξημένη κατανάλωση καυσίμου αποτελεί ένα χαρακτηριστικό μειονέκτημα του στροβιλοαντιδραστήρα. Τέλος, συγκριτικά με έναν ελικοφόρο κινητήρα, ο στροβιλοαντιδραστήρας επιτυγχάνει μικρότερη απόδοση σε ταχύτητες πτήσης κάτω των 750km/h. Καθώς η απόδοση του έλικα που συνεργάζεται με τον ελικοφόρο κινητήρα μειώνεται σε ταχύτητες πτήσης άνω των 550km/h, αναπτύχθηκαν νέοι τύποι αεριοστροβίλων για την πιο αποτελεσματική λειτουργία σε αυτό το εύρος των ταχυτήτων πτήσης.

4.2 Ελικοστρόβιλος (Turboprop engine).

Ο κινητήρας αυτός (Σχήμα 4.2) έχει ευρεία εφαρμογή. Ουσιαστικά, είναι όμοιος με το στροβιλοαντιδραστήρα με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται ένα σύστημα γρναζιών ως μειωτήρας στροφών για τη μετάδοση κίνησης σε έναν έλικα. Στον ελικοστρόβιλο, σχεδόν όλη η ενέργεια των καυσαερίων χρησιμοποιείται για την κίνηση του έλικα. Για το λόγο αυτό, η προσφερόμενη από τα καυσαέρια ώση είναι πολύ μικρή. Ποιο συγκεκριμένα, η ενέργεια των καυσαερίων ενός ελικοστρόβιλου κινητήρα αποδίδει σε ποσοστό έως 90% ως ισχύς που κινεί τον έλικα. Μόνο το υπόλοιπο 10% της ενέργειας των καυσαερίων παρέχεται υπό μορφή ώσης.



Σχήμα 4.2 ελικοστρόβιλος.

Σε ορισμένους ελικοστρόβιλους χρησιμοποιείται ξεχωριστός στρόβιλος για την κίνηση του έλικα. Αυτός ονομάζεται ελεύθερος στρόβιλος (free turbine or power turbine) και είναι συνδεδεμένος με ξεχωριστό άξονα με το μειωτήρα στροφών.

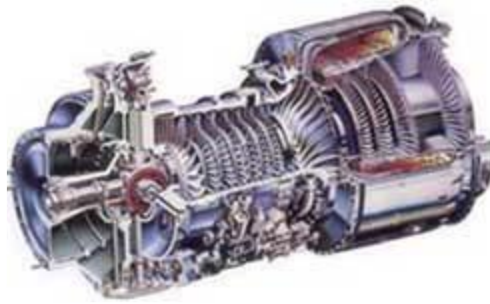
Σε ορισμένους ελικοστρόβιλους δεν υπάρχει ξεχωριστός ελεύθερος στρόβιλος και η κίνηση του έλικα επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση μέρος της ενέργειας των καυσαερίων που εκτονώνονται στο στρόβιλο, ο οποίος κινεί και το συμπιεστή.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του ελικοστρόβιλου κινητήρα είναι ότι επιτυγχάνει την καλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου συγκριτικά με οποιονδήποτε αεροστρόβιλο κινητήρα άλλου τύπου. Η συμβολή του έλικα επιτρέπει την επιτάχυνση μεγάλων μαζών αέρα σε μικρές, σχετικά, ταχύτητες. Η παραγόμενη ώση είναι μεγάλη και το αεροσκάφος έχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά στην απογείωση (μικρός διάδρομος) και στην άνοδο. Επιπλέον, η απόδοση του είναι ικανοποιητική ακόμη και σε σχετικά μεγάλα ύψη πτήσεων (6.000 m).

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα μειώνονται όταν αυξάνεται η ταχύτητα άνω των 650km/h και το ύψος της πτήσης άνω των 7.000 m. Ακόμη, ένα μειονέκτημα του ελικοστρόβιλου κινητήρα είναι η πολυπλοκότητα της κατασκευής του που, κάποιες φορές, επιφέρει προβλήματα και στη συντήρησή του. Τέλος, το βάρος του είναι μεγαλύτερο από ένα στροβιλοαντιδραστήρα με ανάλογη ώση.

4.3 Αξονοστρόβιλος (Turboshaft engine)

Αυτός ο τύπος αεροστρόβιλου μεταδίδει αποκλειστικά και μόνο σχεδόν όλη του την ισχύ στον άξονα του ενώ ελάχιστη είναι η ώση που παράγει. (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3 αξονοστρόβιλος.

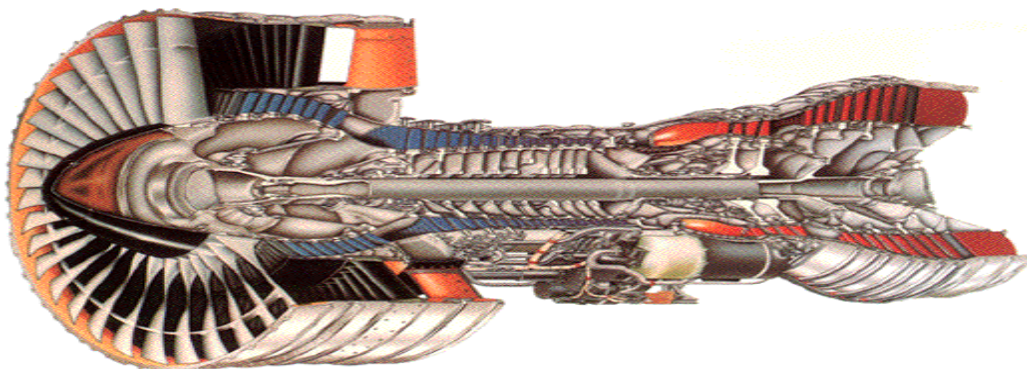
Είναι όμοιος με τον ελικοστρόβιλο, αλλά στην περίπτωση που ο ελεύθερος στρόβιλος του ελικοστρόβιλου δε συνδέεται με έλικα αεροσκάφους, αλλά με άξονα στροφείου ενός ελικοπτέρου τότε έχουμε τον αξονοστρόβιλο. Επίσης, ο κινητήρας αυτός χρησιμοποιείται, σε κάποιες περιπτώσεις, και ως εναλλακτικό μέσο παροχής ισχύος (Auxiliary Power Unit, APU) σε ένα αεροσκάφος. Βέβαια, ξεχωριστά από τις αεροπορικές εφαρμογές, ο ελεύθερος στρόβιλος μπορεί να συνδεθεί και με τον άξονα στροφείου πλοίου, αυτοκινήτου, ηλεκτρογεννήτριας. Η έξοδος του αξονοστρόβιλου ορίζεται από την παραγόμενη ισχύ στον άξονα (αξονική ισχύς) του ελεύθερου στρόβιλου.

4.4 Στροβιλοανεμιστήρας (Turbofan engine)

Είναι μία παραλλαγή του στροβιλοαντιδραστήρα όπως φαίνεται στο (σχήμα 4.4) και αποτελεί μία από τις κορυφαίες τεχνικές εξελίξεις του αεροστρόβιλου.

Σ' αυτόν τον κινητήρα συνδυάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του στροβιλοαντιδραστήρα και του ελικοστρόβιλου. Ο Στροβιλοανεμιστήρας επιταχύνει μικρότερη μάζα αέρα από τον

Σχήμα 4.4 Στροβιλοανεμιστήρας.



ελικοστρόβιλο αλλά μεγαλύτερη από το στροβιλοαντιδραστήρα. Αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες πτήσης και σε μεγάλα ύψη όπως ο στροβιλοαντιδραστήρας ενώ, παράλληλα, δεν απαιτεί μεγάλο

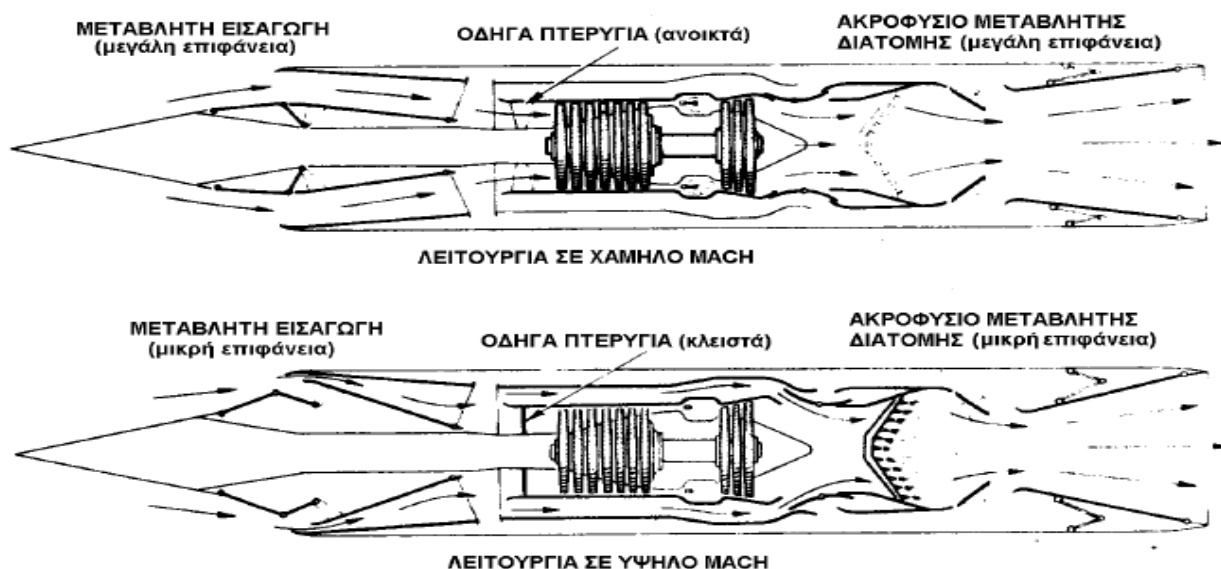
διάδρομο για την απογείωση, όπως και ο ελικοστρόβιλος. Επιπρόσθετα, ο περιορισμός της ταχύτητας πτήσης του ελικοστρόβιλου σε τιμές 550 έως 650km/h δεν ισχύει. Σημαντικά πλεονεκτήματα, επίσης, θεωρούνται η αυξημένη παροχή ισχύος ανά μονάδα βάρους, η καλή ειδική κατανάλωση καυσίμου και μειωμένος θόρυβος κατά την απογείωση και την προσγείωση.

4.5 Στροβιλοαθόδυλος. (Turboramjet).

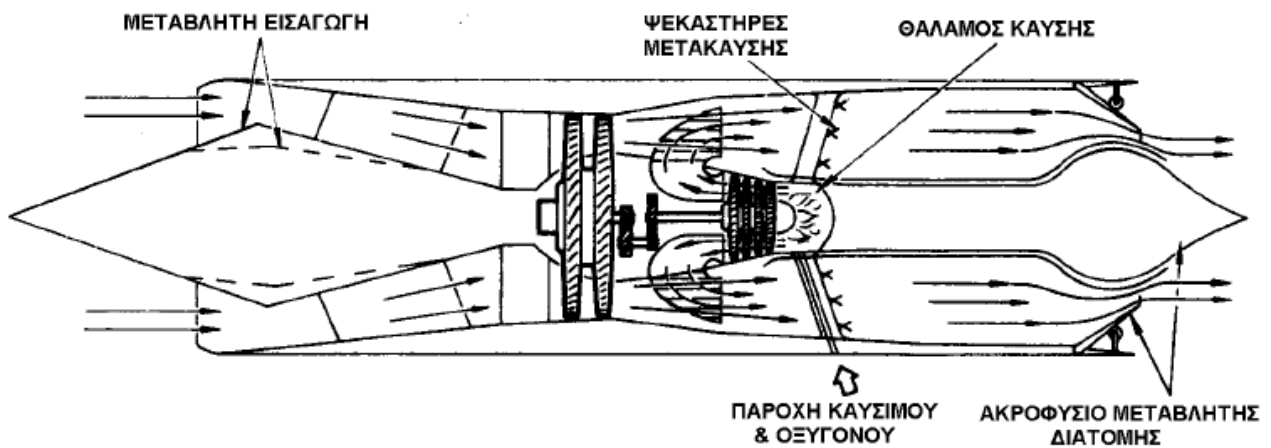
Αποτελεί συνδυασμό του στροβιλοαντιδραστήρα και του αθόδουλου. Ο κινητήρας διαθέτει αγωγό μεταβλητού ανοίγματος εισαγωγής, μετακαυστήρα και ακροφύσιο μεταβλητής διατομής, εκτός από τη διάταξη του στροβιλοαντιδραστήρα. Κατά την απογείωση και την προσγείωση ο κινητήρας λειτουργεί ως στροβιλοαντιδραστήρας με μετακαυστήρα. Σε ταχύτητες έως και τριπλάσιες της ταχύτητας του ήχου (Mach 3), όπου ο στροβιλοαντιδραστήρας έχει καλή απόδοση, ο στροβιλοαντιδραστήρας λειτουργεί χωρίς τη βοήθεια του μετακαυστήρα. Όταν η ταχύτητα υπερβεί το (Mach 3), ο στροβιλοαντιδραστήρας σταματά να λειτουργεί, η ροή του αέρα κατευθύνεται στο μετακαυστήρα και η λειτουργία του κινητήρα είναι αυτή του αθόδουλου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται και οι αντίστοιχες φάσεις λειτουργίας.

4.6 Πυραυλοστρόβιλος. (Turborocket).

Αποτελεί εναλλακτική λύση του στροβιλοαθόδουλου. Μεταφέρει υγρό οξυγόνο σε φιάλες για την καύση, οπότε και δε χρησιμοποιεί ατμοσφαιρικό αέρα. Ο κινητήρας αποτελείται από έναν



πολυβάθμιο στρόβιλο ο οποίος δίνει κίνηση σε ένα συμπιεστή χαμηλής πίεσης (Σχήμα 4.5). Ο στρόβιλος κινείται από τα καυσαέρια της καύσης κηροζίνης και υγρού οξυγόνου σε θάλαμο καύσης όπως στους πυραύλους. Βασικό πλεονέκτημα του πυραυλοστρόβιλου είναι ο μικρός όγκος και το μικρό του βάρος. Παρουσιάζει, όμως, ιδιαίτερα υψηλή ειδική κατανάλωση καυσίμου. Χρησιμοποιείται όταν απαιτείται πτήση μικρής διάρκειας σε πολύ μεγάλα ύψη (έως 30.000 m) ώστε να μην απαιτηθεί κατανάλωση τεράστιας ποσότητας προωθητικής ύλης, όπως στους πυραύλους.



Σχήμα 4.5 πυραυλοστρόβιλος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Συμπιεστές.

5.1 Γενικά.

Η εργασία που επιτελεί ένας συμπιεστής είναι να συμπιέζει τον εισερχόμενο αέρα ώστε κατά την έξοδό του από το συμπιεστή να έχει αποκτήσει πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα. Με τον τρόπο αυτόν, η παραγόμενη ώση θα είναι μεγάλη αφού ο κινητήρας θα μπορεί να χειρίζεται πάρα πολύ μεγάλες ποσότητες αέρα, σε σύγκριση με το μικρό όγκο του. Στις μέρες μας, οι συμπιεστές έχουν λόγο συμπίεσης έως και 30:1 ενώ οι ταχύτητες του αέρα κατά τη συμπίεση φτάνουν τα 150-200m/sec. Εκτός από έργο της συμπίεσης επιτελεί και δευτερεύουσες διεργασίες όπως:

- Παροχή αέρα για την ψύξη του τμήματος του στροβίλου.
- Παροχή αέρα για τη λειτουργία του συστήματος αντιπάγωσης.
- Παροχή αέρα για τις ανάγκες της καμπίνας πληρώματος ή και επιβατών.
- Παροχή αέρα για τη λειτουργία κάποιων εξαρτημάτων που λειτουργούν πνευματικά.

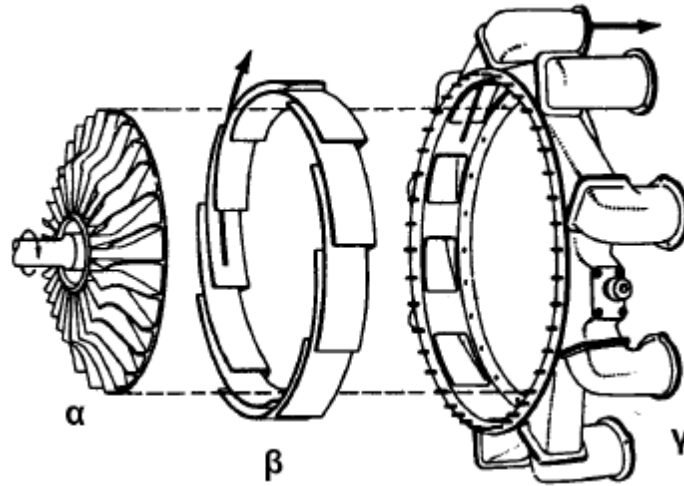
Οι τύποι των συμπιεστών που χρησιμοποιούνται στους αεριοστρόβιλους κινητήρες είναι:

- φυγοκεντρικής ροής.
- αξονικής ροής.
- φυγοκεντρικής – αξονικής ροής.

5.2 Φυγοκεντρικοί συμπιεστές. (Centrifugal compressors).

Ο φυγοκεντρικός συμπιεστής (centrifugal compressor), ή συμπιεστής φυγοκεντρικής ροής, χρησιμοποιήθηκε στους πρώτους κινητήρες αερίωθησης. Αποτελείται από τρία μέρη: τον πτερυγιοφόρο δίσκο (στροφείο ή ρότορας, impeller), το διαχύτη (diffuser) και σε ορισμένες περιπτώσεις, την πολλαπλή σωλήνωση (manifold) εξαγωγής του συμπιεσμένου αέρα στο επόμενο τμήμα του κινητήρα. Στο (σχήμα 5.1) φαίνεται η διάταξη ενός φυγοκεντρικού συμπιεστή. Ο φυγοκεντρικός συμπιεστής έχει ως κύριο πλεονέκτημα την απλότητα της κατασκευής του, την αντοχή του, το μικρό του κόστος και το μεγάλο σχετικά λόγο συμπίεσης που παρέχει με την χρήση μίας μόνο βαθμίδας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρούς ελικοστρόβιλους κινητήρες. Κύριο μειονέκτημά του είναι η μειωμένη απόδοση. Δε

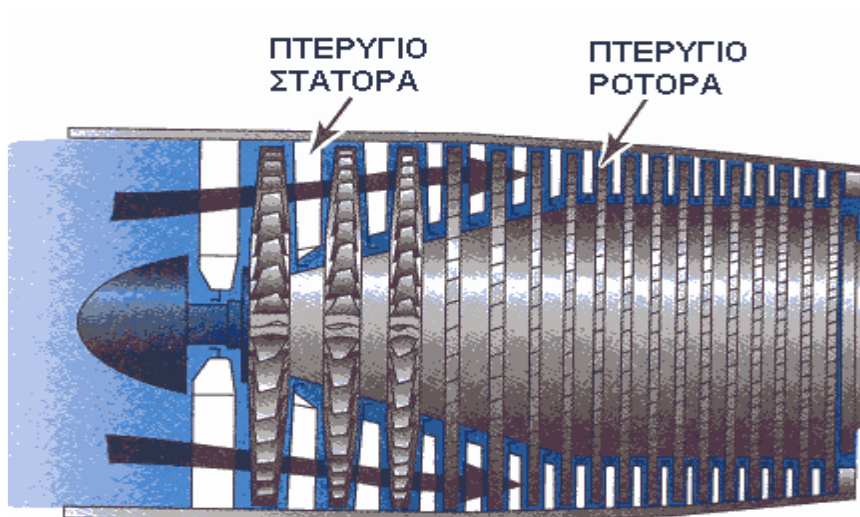
χρησιμοποιείται σε μεγάλους κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν με υψηλούς συνολικά λόγους συμπίεσης.



Σχήμα 5.1 τα μέρη ενός φυγοκεντρικού συμπιεστή. α) στροφέιο, β) διαχύτης, γ) πολλαπλή σωλήνωση.

5.3 Αξονικοί συμπιεστές. (Axial compressors).

Ο αξονικός συμπιεστής (axial flow compressor), ή συμπιεστής αξονικής ροής, αποτελείται από δύο βασικά μέρη: ένα περιστρεφόμενο, που ονομάζεται ρότορας (rotor), και ένα σταθερό, που ονομάζεται στάτορας (stator). Ο ρότορας αποτελείται από ένα στροφέιο (spindle) πάνω στο οποίο είναι προσαρμοσμένα, με κατάλληλο τρόπο, τα κινητά πτερύγια (blades). Ο στάτορας είναι συνήθως διαιρεμένος σε δύο ημικυκλικά τμήματα στην εσωτερική περιφέρεια των οποίων προσαρμόζονται τα σταθερά πτερύγια (vanes). Μία σειρά κινητών με την ακολουθούσα σειρά σταθερών πτερυγίων ονομάζεται βαθμίδα. Ο αξονικός συμπιεστής αποτελείται από πολλές βαθμίδες (ανάλογα το μέγεθος του κινητήρα) γιατί η αύξηση της πίεσης που επιτυγχάνει η κάθε μία είναι μικρή, δηλαδή της τάξης του 1.25:1. Στο σχήμα 5.2 φαίνεται η διάταξη ενός αξονικού συμπιεστή.



Σχήμα 5.2 αξονικός συμπιεστής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Εισαγωγή αέρα.

6.1 Γενικά.

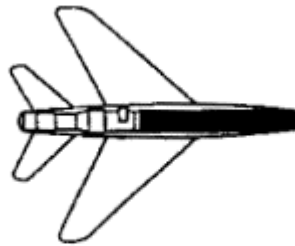
Η εισαγωγή του αέρα, που πραγματοποιείται από ειδικό αεραγωγό εισαγωγής (air inlet duct), ουσιαστικά αποτελεί τμήμα του αεροσκάφους και όχι του κινητήρα. Καθώς, όμως, η παροχή του αέρα είναι πολύ σημαντική για τη λειτουργία του αεριοστρόβιλου, τα συστήματα εισαγωγής του αέρα αναλύονται μαζί με τους κινητήρες. Σκοπός του αεραγωγού είναι να κατευθύνει το ρεύμα του εισερχόμενου αέρα προς το συμπιεστή με τις λιγότερες δυνατές απώλειες, λόγω τριβών και στροβιλισμών, και με ομοιόμορφη ροή. Ο σκοπός αυτός πρέπει να επιτυγχάνεται σε όλες τις ταχύτητες και καταστάσεις πτήσης. Στο τελευταίο τμήμα του αεραγωγού, ακριβώς μπροστά από το συμπιεστή, η ροή πρέπει να επιβραδυνθεί ώστε να αυξηθεί η στατική της πίεση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάκτηση πίεσης (ram recovery). Για το λόγο αυτό, η διατομή του αεραγωγού αυξάνεται κατά μήκος του τμήματος αυτού. Το σχήμα και η θέση του αεραγωγού εισαγωγής εξαρτάται από τον τύπο του αεροσκάφους (σχήμα, αριθμός κινητήρα κ.λ.π.). Σε ορισμένες εισαγωγές τοποθετούνται οδηγά πτερύγια (Inlet Guide Vanes - IGV) ώστε να ομαλοποιείται η ροή του εισερχόμενου ρεύματος αέρα πριν την είσοδό του στο συμπιεστή. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται πτερύγια μεταβλητής γεωμετρίας (Variable geometry Guide Vanes – VGV).

6.2 Είδη αεραγωγών εισαγωγής.

Στην περίπτωση αεροσκαφών, συνήθως μεταφορικών, που φέρουν τους κινητήρες κάτω από τα πτερύγια ή στα πλευρά της ατράκτου, η εισαγωγή του αέρα είναι τμήμα του κινητήρα.

Στα μαχητικά αεροσκάφη, συνήθως ο κινητήρας τοποθετείται μέσα στην άτρακτο, με ανάλογη διαμόρφωση του αεραγωγού εισαγωγής. Γενικότερα, οι αεραγωγοί εισαγωγής για τους αεριοστροβίλους κινητήρες διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

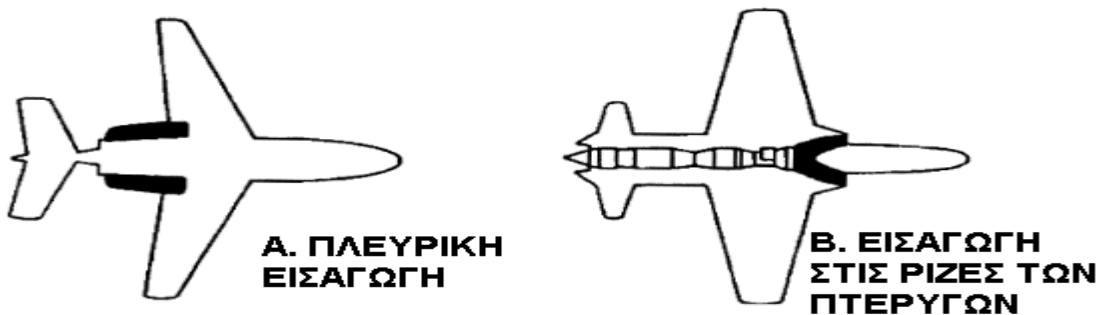
- Αεραγωγός ως τμήμα της ατράκτου του αεροσκάφους, στον ίδιο άξονα με το κινητήρα (σχήμα 6.1).



ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ ΜΙΑΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

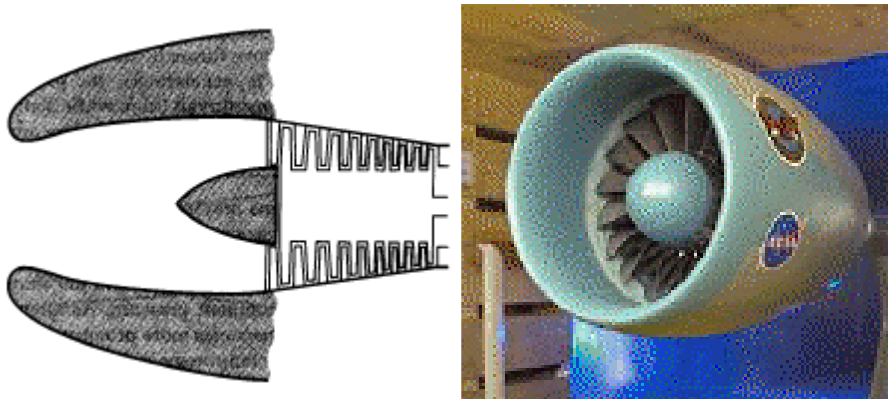
Σχήμα 6.1 αεραγωγός στην άτρακτο.

- Διαιρετή εισαγωγή. Αποτελείται από δύο εισαγωγές στα πλευρά της ατράκτου ή στις ρίζες των πτερύγων που ενώνονται σε κοινή εισαγωγή στην περίπτωση μονοκινητήριου αεροσκάφους (σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2 διαιρετή εισαγωγή.

- Υποηχητική εισαγωγή. Χρησιμοποιείται σε κινητήρες που κινούν αεροσκάφη υψηλών υποηχητικών ταχυτήτων. Η διάμετρος του αεραγωγού αυξάνεται καθώς αυξάνεται το μήκος του, δίνοντάς του τη μορφή διαχύτη (Σχήμα 6.3). Η μορφή αυτή βοηθά τον αεραγωγό να λειτουργεί ως σωλήνας Βεντούρι. Η ταχύτητα του αέρα μειώνεται με παράλληλη αύξηση της πίεσης. Γενικά, η ταχύτητα του αέρα ακριβώς πριν το συμπιεστή λαμβάνει τιμές 0,5 Mach περίπου.



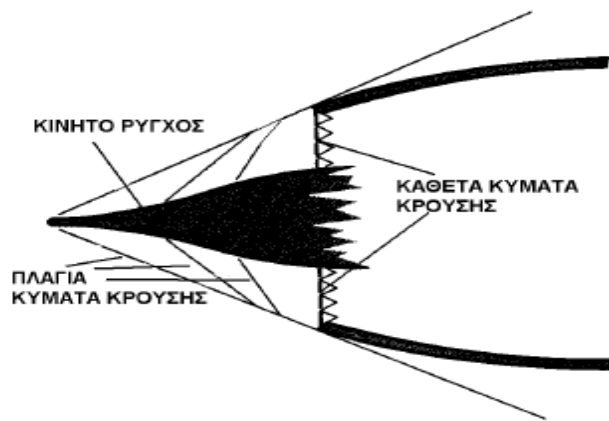
Σχήμα 6.3 υποηχητική εισαγωγή.

- Υπερηχητική εισαγωγή. Ο αεραγωγός σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να έχει τη μορφή συγκλίνοντος – αποκλίνοντος αγωγού (Σχήμα 6.4). Στο συγκλίνον τμήμα, η υπερηχητική ροή του εισερχόμενου αέρα επιβραδύνεται σε διηχητική και στη συνέχεια, το αποκλίνον τμήμα λειτουργεί όπως είδαμε στην προηγούμενη περίπτωση, ως διαχύτης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι αεραγωγοί υπερηχητικών αεροσκαφών φέρουν λαιμό μεταβλητής διατομής, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν αποδοτικά σε διαφορετικές συνθήκες ταχύτητας του αεροσκάφους. Σε άλλες περιπτώσεις, η γεωμετρία της εισαγωγής είναι τέτοια, ώστε να δημιουργούνται διαδοχικά πλάγια κύματα κρούσης, πριν από την είσοδο του αέρα στον αγωγό εισαγωγής. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξωτερική συμπίεση της ροής, λόγω της ανάπτυξης πλαγίων κυμάτων κρούσης.



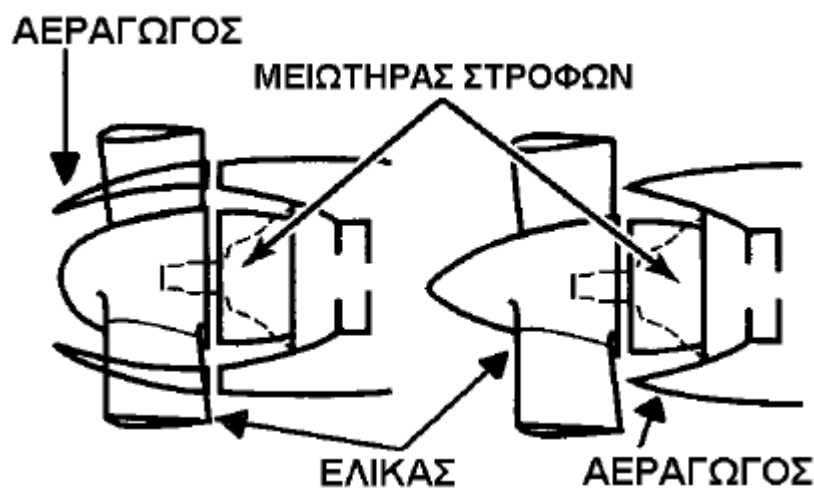
Σχήμα 6.4 υπερηχητική εισαγωγή.

- Εισαγωγές μεταβλητής διατομής. Χρησιμοποιούνται όπως είδαμε σε υπερηχητικές εισαγωγές αλλά και σε υποηχητικές. Στο σχήμα 6.5 φαίνεται η εισαγωγή μεταβλητής διατομής και εξωτερικής συμπίεσης.



Σχήμα 6.5 μεταβλητή εισαγωγή εξωτερικής συμπίεσης.

- Αεραγωγοί ελικοστρόβιλων κινητήρων. Αυτοί έχουν ειδικό σχήμα λόγω της ύπαρξης του έλικα του κινητήρα. Συνηθισμένοι τύποι είναι αυτοί που φαίνονται στο (σχήμα 6.6).



Σχήμα 6.6 αεραγωγοί ελικοστρόβιλων κινητήρων.

6.3 Φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων.

Για την προσπάθεια αποφυγής της αναρρόφησης ξένων σωμάτων από τον κινητήρα, χρησιμοποιούνται φίλτρα στην είσοδο του αεραγωγού εισαγωγής. Η χρήση τους αφορά κατά κύριο λόγο κινητήρες ελικοπτέρων. Όμως, τα φίλτρα αυτά επιφέρουν πρόσθετο βάρος στον κινητήρα, αυξάνουν τις απώλειες πίεσης στην εισαγωγή του αέρα, είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε παγοποίηση και, όταν φθαρούν, υπάρχει πιθανότητα να αποτελέσουν τα ίδια ένα ξένο σώμα που ίσως αναρροφηθεί από τον κινητήρα. Για τους λόγους αυτούς τα φίλτρα χρησιμοποιούνται μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις (απογείωση, προσγείωση, πτήση σε περιοχές με σμήνη πουλιών).

6.4 Σύστημα αντί- και από- πάγωσης εισαγωγής αέρα.

Στην περίπτωση πτήσης σε συνθήκες δημιουργίας παγετού, εγκυμονεί ο κίνδυνος εμφάνισης πάγου τόσο στον αεραγωγό εισαγωγής όσο και στα οδηγά πτερύγια. Το φαινόμενο αυτό επιφέρει ανωμαλία στη ροή του αέρα κατά την διόδό του στον αεραγωγό και τελικά, στο βαθμό απόδοσης του κινητήρα. Επιπρόσθετα, υπάρχει η πιθανότητα μεγάλα κομμάτια πάγου να εισέλθουν στον κινητήρα και να προκαλέσουν ζημιές στα πτερύγια του συμπιεστή. Για την αποφυγή αυτών των φαινομένων, οι αεραγωγοί εισαγωγής είναι εφοδιασμένοι με συστήματα προστασίας από την παγοποίηση. Τονίζεται ότι η χρήση τέτοιων συστημάτων αποσκοπεί στην αποφυγή σχηματισμού πάγου (αντιπαγωτικό σύστημα – anti-icing) και όχι στην αντιμετώπισή του όταν αυτός έχει ήδη σχηματιστεί. Ένα τέτοιο σύστημα, που εφαρμόζεται πολύ συχνά, χρησιμοποιεί ποσότητα αέρα από το συμπιεστή με τη βοήθεια της βαλβίδας αποτόνωσης ή αποφόρτωσης του συμπιεστή (bleed valve). Όταν αυτή ενεργοποιηθεί, ποσότητα θερμού αέρα από το συμπιεστή οδηγείται σε διάφορα σημεία του αεραγωγού εισαγωγής, εμποδίζοντας με τον τρόπο αυτό το σχηματισμό πάγου. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι κατά τη χρονική διάρκεια της λειτουργίας της παραπάνω βαλβίδας η απόδοση του κινητήρα μειώνεται. Όταν στον αεραγωγό εισαγωγής υπάρχουν οδηγά πτερύγια, αυτά έχουν εσωτερικές διόδους για την κυκλοφορία θερμού αέρα ή λαδιού ως προστασία έναντι σχηματισμού πάγου. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επίσης συστήματα αποπάγωσης (de-icing). Αυτά δεν επηρεάζουν την απόδοση του κινητήρα. Αποπάγωση μπορεί να επιτευχθεί μέσω ηλεκτρικού συστήματος, αλλά και με την κυκλοφορία λαδιού λίπανσης. Χαρακτηριστική περίπτωση χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος για αποπάγωση, είναι η τοποθέτηση θερμαντικών στοιχείων – αντιστάσεων σε επιλεγμένα μέρη του αεραγωγού εισαγωγής ή στα χείλη προσβολής του έλικα (de-icer boots).

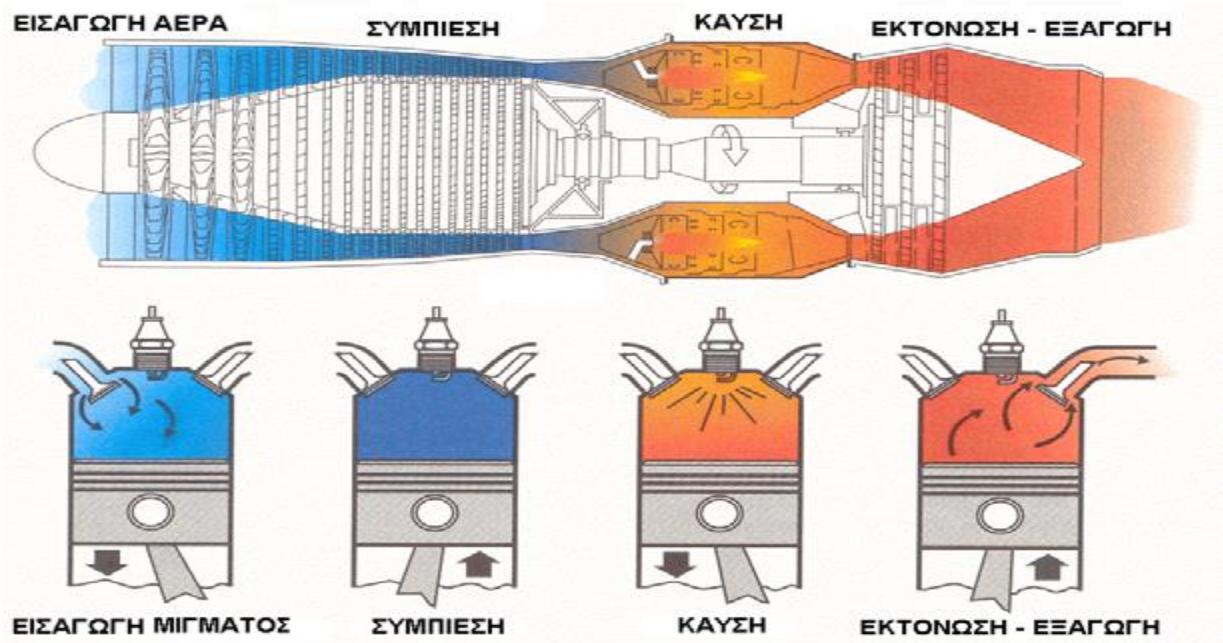
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

Κύκλοι λειτουργίας αεροστροβίλων.

7.1 Γενικά.

Ο αεριοστρόβιλος κινητήρας παρουσιάζει λειτουργικές ομοιότητες με τον εμβολοφόρο. Όπως είδαμε και παραπάνω, και οι δύο τύποι κινητήρων στηρίζουν τη λειτουργία τους στην επιτάχυνση προς τα πίσω μίας μάζας αέρα. Ο έλικας του εμβολοφόρου κινητήρα προσδίδει μία μικρή επιτάχυνση σε μία μεγάλη μάζα αέρα. Αντίθετα, ο αεριοστρόβιλος κινητήρας προσδίδει μεγάλη

επιτάχυνση σε μία μικρή μάζα αέρα. Η κίνηση του αεροσκάφους με τη χρήση εμβολοφόρου κινητήρα επιτυγχάνεται από τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων σε μηχανική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την περιστροφή του έλικα. Από την άλλη πλευρά, ο αεριοστρόβιλος κινητήρας παράγει την προωθητική δύναμη και τη χρησιμοποιεί κατευθείαν. Οι φάσεις λειτουργίας είναι οι ίδιες: εισαγωγή, συμπίεση, καύση, εκτόνωση- εξαγωγή, όπως φαίνεται στο (σχήμα 7.1).



Σχήμα 7.1 σύγκριση φάσεων λειτουργίας αεριοστρόβιλου-MEK.

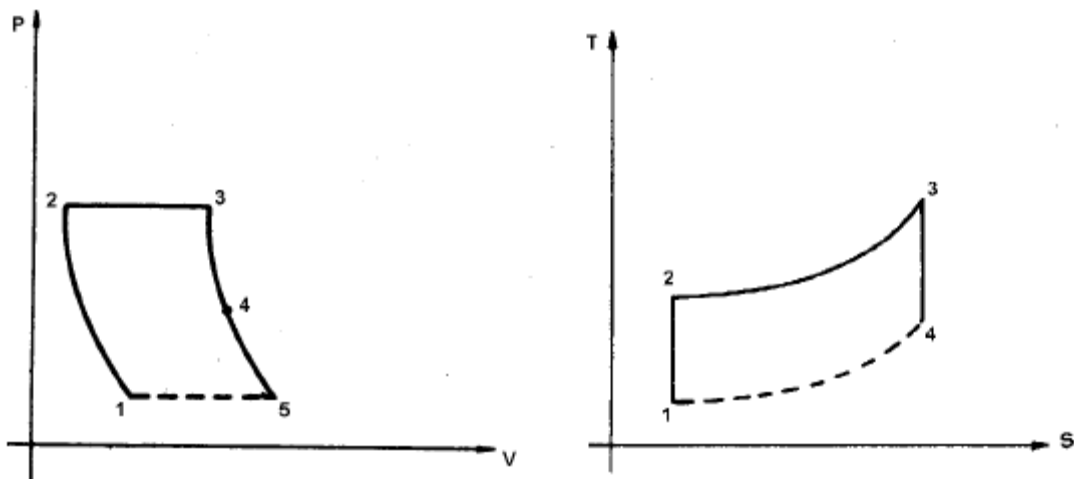
Σημαντική διαφορά είναι ότι στον εμβολοφόρο κινητήρα οι φάσεις πραγματοποιούνται διαδοχικά, η μία μετά την άλλη, επειδή το έμβολο συμμετέχει σε όλες. Αντίθετα, στον αεριοστρόβιλο, οι ίδιες φάσεις λειτουργίας πραγματοποιούνται ταυτόχρονα και συνεχώς, από ένα εξάρτημα αποκλειστικά η κάθε μία. Με τον τρόπο αυτόν, ο αεριοστρόβιλος επιτυγχάνει ομαλή λειτουργία και συνεχή παραγωγή ισχύος.

7.2 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας.

Ο κύκλος λειτουργίας του αεριοστρόβιλου κινητήρα στηρίζεται στο θερμοδυναμικό κύκλο του Μπράιτον (Brayton). Η ανάλυση των διεργασιών του κύκλου στηρίζεται στον 1ο και 2ο νόμο της θερμοδυναμικής. Οι υποθέσεις πάνω στις οποίες στηρίζεται η λειτουργία του ιδανικού κύκλου είναι οι εξής:

- Οι διαδικασίες συμπίεσης και εκτόνωσης είναι αντιστρεπτές και αδιαβατικές, δηλαδή ισεντροπικές.
- Η μεταβολή της κινητικής ενέργειας του εργαζόμενου μέσου μεταξύ εισόδου και εξόδου από κάθε συνιστώσα του κύκλου είναι αμελητέα.
- Σε κανένα σημείο του κύκλου δεν εμφανίζονται απώλειες πίεσης.
- Το εργαζόμενο μέσο είναι ιδανικό αέριο και διατηρεί την ίδια σύσταση εντός του κύκλου.
- Δεν υπάρχουν ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών στα μηχανικά μέρη του συγκροτήματος.

Ο κύκλος αυτός είναι παρόμοιος, σε θεωρητικό επίπεδο, με τον κύκλο λειτουργίας του τετράχρονου εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα. Έχοντας δεδομένη τη συγκρότηση του αεριοστρόβιλου, από 1) την εισαγωγή, 2) το συμπιεστή, 3) το θάλαμο καύσης, 4) το στρόβιλο και 5) το ακροφύσιο εξαγωγής καυσαερίων, ας εξετάσουμε με περισσότερη λεπτομέρεια τις φάσεις του θεωρητικού κύκλου λειτουργίας του (όπως φαίνονται στο σχήμα 7.2).



Σχήμα 7.2 φάσεις λειτουργίας θεωρητικού κύκλου.

- 1-2 Αδιαβατική συμπίεση. Ο αέρας εισάγεται μέσω της εισαγωγής στον κινητήρα. Αναρροφάται από το συμπιεστή, ο οποίος αυξάνει τη στατική του πίεση. Παράλληλα, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας και πτώση του όγκου του.
- 2-3 Ισοβαρής καύση. Η μεταβολή αυτή παριστάνει τις αλλαγές που πραγματοποιούνται κατά την καύση του μείγματος αέρα – καυσίμου στο θάλαμο καύσης υπό σταθερή πίεση. Η αύξηση της

θερμοκρασίας επιφέρει μείωση της πυκνότητας με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας των καυσαερίων, καθώς η διατομή του κινητήρα σε αυτό το σημείο δεν παρουσιάζει ουσιαστική μεταβολή.

- 3-4 Αδιαβατική εκτόνωση. Τα καυσαέρια εξέρχονται από το θάλαμο καύσης. Περνούν από τα πτερύγια του στρόβιλου. Η στατική πίεση και η θερμοκρασία τους μειώνεται ενώ ο όγκος τους συνεχίζει να αυξάνεται. Ο στρόβιλος περιστρέφεται και παρέχει κίνηση στο συμπιεστή, μέσω του κοινού τους άξονα. Έτσι, μέρος της ισχύος των καυσαερίων διατίθεται για τη διεργασία της συμπίεσης.
- 4-5 Αδιαβατική εκτόνωση. Στη συνέχεια, μετά το στρόβιλο, παρουσιάζεται μικρή αντίσταση στη ροή των καυσαερίων. Αυτά εκτονώνονται στο ακροφύσιο εξαγωγής, όπου παρατηρείται μεγάλη αύξηση της ταχύτητάς τους με παράλληλη μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας τους.
- 4-1 Ισοβαρής αποβολή θερμότητας. Η αποβολή της θερμότητας των καυσαερίων πραγματοποιείται στην ατμόσφαιρα.

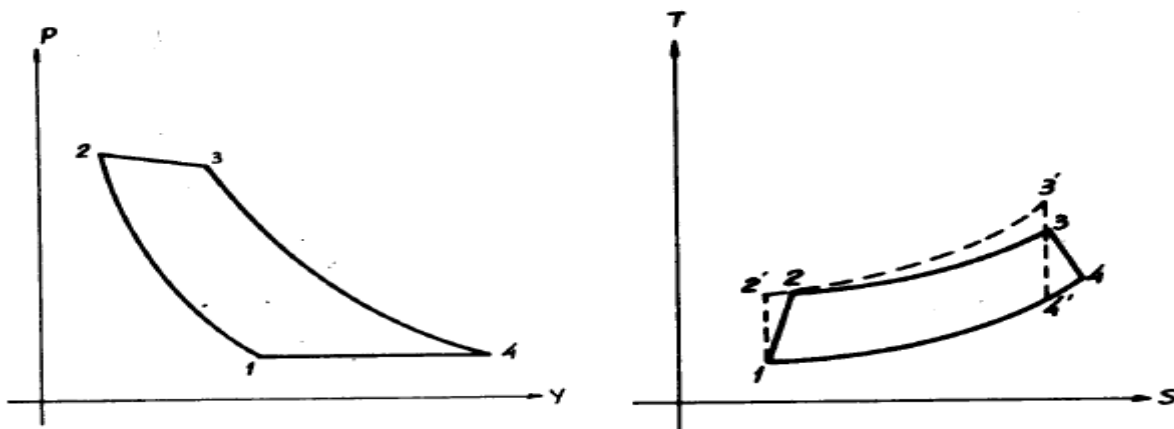
7.3 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας.

Οι προϋποθέσεις λειτουργίας ενός αεριοστρόβιλου ώσης (αλλά και ισχύος) σύμφωνα με το θεωρητικό κύκλο του Μπράιτον δεν μπορούν να εκπληρωθούν. Οι λόγοι είναι οι ακόλουθοι:

- Τα παρελκόμενα συστήματα του κινητήρα (αντλία ελαίου, αντλία καυσίμου, γεννήτρια ρεύματος κ.λ.π.) λαμβάνουν για τη λειτουργία τους ένα ποσοστό από την ενέργεια που παράγεται στο στρόβιλο.
- Η συμπίεση του εισερχόμενου ρεύματος αέρα στο συμπιεστή καθώς και η εκτόνωση των καυσαερίων στο στρόβιλο δεν αποτελούν αδιαβατικές διαδικασίες. Υπάρχουν πάντα απώλειες θερμότητας.
- Η διαδικασία της καύσης δεν είναι ισοβαρής. Η πίεση ελαττώνεται λόγω των αντιστάσεων στη ροή των καυσαερίων στο θάλαμο καύσης.
- Η ενέργεια που υπολογίζεται θεωρητικά για την κίνηση του συμπιεστή από το στρόβιλο, είναι μικρότερη από αυτήν που απαιτείται πραγματικά.

Πριν παρουσιάσουμε τη μορφή του πραγματικού κύκλου λειτουργίας, ας εξετάσουμε τις μορφές απώλειας ενέργειας που αναφέραμε παραπάνω.

- Απώλειες στο συμπιεστή: η ενέργεια που μεταφέρεται από το στρόβιλο στο συμπιεστή, διαμέσου του κοινού τους άξονα, μετατρέπεται σε μεγάλο μέρος της, σε θερμότητα λόγω τριβών. Η θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα, έτσι, είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτήν που υπολογίζεται θεωρητικά. Η απώλεια αυτή της ενέργειας υπολογίζεται από το βαθμό απόδοσης συμπίεσης. Αυτός ισούται με το λόγο του θεωρητικού έργου συμπίεσης προς το πραγματικό έργο συμπίεσης. Οι τιμές που λαμβάνει ο λόγος απόδοσης συμπίεσης κυμαίνονται από 0.80 έως 0.85.
- Απώλειες στο θάλαμο καύσης: κατά μήκος του θαλάμου καύσης παρουσιάζεται πτώση της πίεσης των καυσαερίων της τάξης του 10% . Η πτώση αυτή οφείλεται στις διατάξεις που τοποθετούνται στο θάλαμο καύσης ώστε να επιτύχουν το βέλτιστο βαθμό ανάμιξης του εισερχόμενου αέρα με το καύσιμο.
- Απώλειες κατά την εκτόνωση: λόγω των τριβών που αναπτύσσονται κατά την εκτόνωση των καυσαερίων στο στρόβιλο και το ακροφύσιο εξαγωγής, το παραγόμενο από αυτά έργο είναι μικρότερο από το θεωρητικό. Η θερμοκρασία μετά την εκτόνωση λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές από τη θεωρητική. Οι απώλειες κατά την εκτόνωση υπολογίζονται από το βαθμό απόδοσης της εκτόνωσης. Αυτός ισούται με το λόγο του πραγματικού έργου εκτόνωσης προς το θεωρητικό.
- Μηχανικές απώλειες: κατά τη μεταφορά της ισχύος από το στρόβιλο στο συμπιεστή αναπτύσσονται τριβές στα έδρανα του κοινού τους άξονα, οι οποίες αποτελούν περίπου το 1% της συνολικής ισχύος που μεταφέρεται. Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης, λοιπόν, που καθορίζεται από αυτές, είναι της τάξης του 99%.



Πραγματικός κύκλος λειτουργίας του Brayton.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

Καύσιμα-λιπαντικά αεροπορίας.

8.1 Κατηγορίες καυσίμων.

- Βενζίνες αεροπορίας (Aviation gasoline).
- Καύσιμα για στροβιλοκινητήρες.
- Καύσιμα για αεροπορικά βλήματα (missile fuels).

Βενζίνες αεροπορίας (Aviation gasoline): διακρίνονται σε τρεις τύπους ανάλογα με τον αριθμό οκτανίου και την περιεκτικότητα σε μόλυβδο.

Καύσιμα για στροβιλοκινητήρες: Διαφοροποιούνται σε καύσιμα πολιτικής (JET A1, JET B) και πολεμικής αεροπορίας (JP-4, JP-8).

8.2 Ιδιότητες του καύσιμου που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του.

- Σημείο πήξης.
- Σημείο ανιλίνης.
- Θερμογόνος δύναμη.
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Σημείο ανάφλεξης.
- Θείο και θειούχες ενώσεις.
- Διαβρωτικά.
- Κομμώδεις ουσίες.
- Περιεκτικότητα σε νερό.
- Σταθερότητα και αντοχή στη θερμική οξείδωση.

8.3 Λιπαντικά.

Στόχος της λίπανσης είναι η μετατροπή της ξηράς τριβής μεταξύ στερεών επιφανειών σε υγρά εξασφαλίζοντας:

- Ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία του μηχανήματος.
- Μειωμένο κόστος συντήρησης (επισκευών, ανταλλακτικών).
- Εκτεταμένη διάρκεια ζωής μηχανήματος.

- Μειωμένο λειτουργικό κόστος. Έως 4,5% της κατανάλωσης ενέργειας με σωστή λίπανση.

8.4 Είδη λιπαντικών.

- Αέρια λιπαντικά. (αέρας)
- Υγρά λιπαντικά. (νερό, ορυκτέλαια, συνθετικά λιπαντικά)
- Ημιστερεά λιπαντικά. (ζωικά και φυτικά λίπη, γράσα)
- Στερεά λιπαντικά. (γραφίτης, τάλκη, άσβεστος, πλαστικά)

2^η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΝΑΥΤΙΚΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

9.1 Οι κυριότεροι παράγοντες για την επιλογή της εγκατάστασής πρόωσης.

Στο κεφάλαιο αυτό όπως και στα επόμενα θα αναφερθούμε στους ναυτικούς αεριοστροβίλους, θα αναλύσουμε στοιχεία και παραμέτρους, αλλά δεν θα επεκταθούμε περεταίρω, διότι τα βασικά μέρη και η λειτουργία του μηχανήματος είναι όμοια με τους αεροπορικούς κινητήρες.

Η σχεδίαση μίας εγκατάστασης πρόωσης αποτελεί τη συσχέτιση ενός πολύ μεγάλου αριθμού μηχανημάτων και συσκευών κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται ένα ενιαίο λειτουργικό σύστημα. Εκτός δηλαδή από την επιλογή, περιλαμβάνει την προσαρμογή κάθε μηχανήματος με όλα τα υπόλοιπα, ώστε τελικά η εγκατάσταση να έχει επιθυμητό βαθμό απόδοσης, ασφαλής λειτουργία και επιθυμητό κόστος. Έτσι λοιπόν μερικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι:

1. Η αξιοπιστία.
2. Ευχέρεια συντήρησης.
3. Καταλαμβανόμενος χώρος.
4. Βάρος εγκατάστασης.
5. Σχέση κύριας μηχανής και βοηθητικών μηχανημάτων.
6. Δυνατότητα χειρισμών.
7. Απαιτούμενο προσωπικό.
8. Κόστος κατασκευής-συντήρησης.
9. Περιορισμοί διατεθειμένης ιπποδυνάμεως.

9.2 Κατάταξη και είδη αεροστροβίλων.

Η κατάταξη των στροβίλων γίνεται συνήθως με βάση τον κύκλο της λειτουργίας του.

- Αεροστρόβιλος απλού κυκλώματος.
- Αεροστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας.
- Αεροστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας και αναθέρμανση.
- Αεροστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας ενδιάμεση ψύξη.
- Αεροστρόβιλος με αναθέρμανση, ανάκτηση θερμότητας και ενδιάμεση ψύξη.

9.3 Σύνθετα κυκλώματα εγκαταστάσεων προώσεως.

Τα μεγάλα πλεονεκτήματα των αεριοστροβίλων και κυρίως το μικρό τους βάρος και το συμπαγές της κατασκευής τους, κίνησαν πολύ νωρίς το ενδιαφέρον των σχεδιαστών εγκαταστάσεων προώσεως. Ιδιαίτερα πολλά αναμενόταν από τους αεροστροβίλους για περιπτώσεις πλοίων με απαιτήσεις μικρής ή μέσης ταχύτητας επί μεγάλο ποσοστό του χρόνου που ταξιδεύουν, ενώ αντίθετα για πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού χρόνου ταξιδεύουν υπό μεγάλη ταχύτητα. Η εγκατάσταση προώσεως όμως θα πρέπει να παρέχει αρκετή ισχύ, ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση μέγιστης ταχύτητας έστω και για μικρό χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να γίνεται μία εγκατάσταση με πολύ μικρό συντελεστή χρησιμοποίησεως, δηλαδή να λειτουργεί υπό μερικό φορτίο και με χαμηλό βαθμό αποδόσεως και να μη γίνεται έτσι άσκοπη επένδυση όγκου, βάρους και χρημάτων. Για το λόγο αυτό προτάθηκε η χρήση δύο διαφορετικών ειδών μηχανών προώσεως, από τα οποία το ένα είδος χρησιμοποιείται για τις συνήθεις ταχύτητες ρουτίνας, ενώ το άλλο μόνο για τις μεγαλύτερες ταχύτητες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν ένα μικρό ποσοστό του σφάλματος λειτουργίας του πλοίου. Για το λόγο αυτό προτάθηκαν οι ακόλουθοι συνδυασμοί:

A) COSAG (combined steam and gas) δηλαδή συνδυασμός ατμοστροβίλου και αεριοστροβίλου.

B) CODAG (combined diesel and gas) δηλαδή συνδυασμός κινητήρα ντίζελ και αεριοστροβίλου.

Γ) COGAG (combined gas and gas) δηλαδή συνδυασμός αεριοστροβίλου και αεριοστροβίλου.

Δ) CODOG (combined diesel or gas) δηλαδή συνδυασμός ντίζελ ή αεριοστροβίλου.

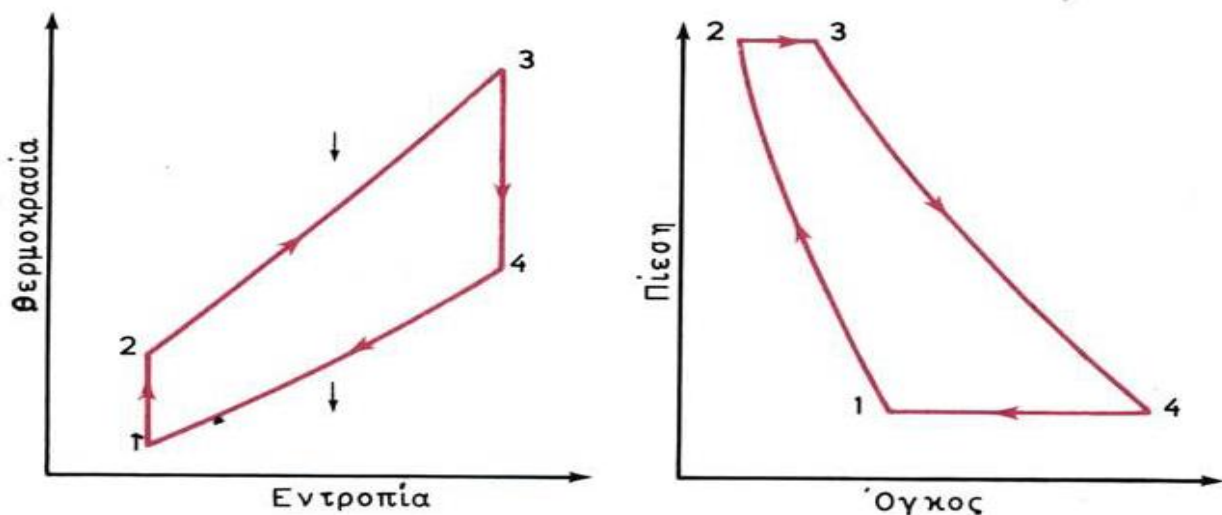
Ε) COGOG (combined gas or gas) δηλαδή συνδυασμός δύο διαφορετικών ειδών αεριοστροβίλων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο

Κύκλοι λειτουργία ναυτικών αεροστροβίλων.

10.1 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας.

Ο θεωρητικός κύκλος λειτουργίας των αεροστροβίλων αποτελείται από τέσσερις φάσεις: συμπίεση, πρόσδοση θερμότητας, παραγωγή έργου και ψύξη. Η ιδεατή μορφή είναι γνωστή ως κύκλος του Brayton ή του Joules και φαίνεται στο (σχήμα 10.1).



Σχήμα 10.1 θεωρητικός κύκλος του Brayton ή Joules.

Οι τέσσερις φάσεις λειτουργίας του κύκλου είναι:

- Φάση (1-2): Αντιστρεπτή αδιαβατική (ισεντροπική) συμπίεση.
- Φάση (2-3): Πρόσδοση θερμότητας υπό σταθερή πίεση.
- Φάση (3-4): Αντιστρεπτή αδιαβατική εκτόνωση.
- Φάση (4-1): Ψύξη υπό σταθερή πίεση μέχρι τις αρχικής καταστάσεως.

10.2 Διαφορές μεταξύ ιδεατού και πραγματικού κύκλου λειτουργίας.

Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση (σχήμα 10.2) του πραγματικού κύκλου λειτουργίας είναι:

A) Ο βαθμός απόδοσης του κύκλου αυξάνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες εισόδου στο στρόβιλο T(3).

B) Ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου για δεδομένη θερμοκρασία εισόδου T(3) παίρνει τη μέγιστη τιμή του για ορισμένη τιμή (optimum) του λόγου συμπίεσεως R.

Γ) Όταν ελαττώνεται το T(1) αυξάνεται ο θερμικός βαθμός απόδοσης.

Δ) Όταν ελαττώνεται το T(1) το μέγιστο του θερμικού βαθμού αποδόσεως παρουσιάζεται σε υψηλότερη τιμή του λόγου συμπίεσεως.

Ε) Όταν ελαττώνεται το T(1) ο θερμικός βαθμός απόδοσης διατηρεί τη μέγιστη τιμή σε ευρύτερη περιοχή μεταβολής του βαθμού συμπίεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο

Καύσιμα-λιπαντικά ναυτικών αεριοστροβίλων.

11.1 Καύσιμα.

Όπως σε όλους τους τύπους ναυτικών μηχανών προώσεως, έτσι και στους αεριοστροβίλους τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα είναι υγρά, προερχόμενα από την απόσταξη του πετρελαίου. Τα καύσιμα έχουν πολλές ιδιότητες, αλλά οι σημαντικότερες για τον συντηρητή και το χειριστή των μηχανών είναι δύο: το ιξώδες και η περιεκτικότητα σε ξένες προσμίξεις. Το ιξώδες έχει ιδιαίτερη σημασία για την άντληση όσο και για τον αποδοτικότερο ψεκασμό, από αυτό δε διακρίνονται τα καύσιμα σε βαρέα (όσα έχουν υψηλό ιξώδες σε συνήθης θερμοκρασίες) και σε ελαφρά (όσα έχουν χαμηλό ιξώδες σε συνήθης θερμοκρασίες). Η περιεκτικότητα σε ξένες ύλες επιδρά στις μηχανές, γιατί αυτές φράσσουν τα φίλτρα και τους καυστήρες, δημιουργούν εναποτιθέμενα κατάλοιπα καύσεως και επιταχύνουν τη διάβρωση των τμημάτων της μηχανής, με τα οποία έρχονται σε επαφή. Οι Παραπάνω ιδιότητες είναι επιδεκτικές βελτιώσεως. Το ιξώδες ελαττώνεται με θέρμανση, η δε περιεκτικότητα σε ξένες ύλες ελαττώνεται είτε με τη βοήθεια φίλτρων είτε με χημικά πρόσθετα.

Τα προϊόντα του πετρελαίου που χρησιμοποιούνται σε ναυτικές γενικά εγκαταστάσεις είναι είτε τα μεσαία αποστάγματα είτε τα κατάλοιπα. Στους αεριοστροβίλους κυρίως «αεροπορικής προελεύσεως» και σχεδόν όλα τα είδη αεριοστροβίλων που χρησιμοποιούνται σε ναυτικές

εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά αποστάγματα με ιδιαίτερες απαιτήσεις, που τα συνήθη προϊόντα της αποστακτικής στήλης δεν μπορούν να ικανοποιήσουν και κυρίως ελαφρά αποστάγματα με της εμπορικές τους ονομασίες JP-4 και JP-5 (jet propellant). Το JP-5 έχει χαμηλότερο ιξώδες από το marine gas oil και αντιστοιχεί περίπου με κηροζίνη, ενώ το JP-4 είναι ακόμη ελαφρύτερο και από πλευράς ιξώδους, βρίσκεται μεταξύ κηροζίνης και κοινής βενζίνης αυτοκινήτου.

11.2 Λιπαντικά.

Στους αεριοστρόβιλους χρησιμοποιούνται λιπαντικά δύο διαφορετικών προελεύσεων :

- Συνθετικά λιπαντικά.
- Συνήθη ορυκτά λιπαντέλαια.

Στου αεριοστρόβιλους κυρίως αεροπορικής προελεύσεως χρησιμοποιούνται συνθετικά λιπαντέλαια τα οποία υπερτερούν των άλλων ως προς αρκετές ιδιότητες, από τις οποίες σημαντικότερη είναι η διατήρηση των ιδιοτήτων τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, οι θερμοκρασίες του λαδιού, φθάνουν μετά τους τριβείς μέχρι τους 300F που είναι 100F περισσότερο απ' ότι τα συνήθη λιπαντικά.

Δυστυχώς τα συνθετικά λιπαντέλαια παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα κατά την ψύξη τους, επειδή ο εναλλάκτης θερμότητας με θαλασσινό νερό ως ψυκτικό μέσο, δεν είναι εφαρμόσιμος. Αυτό συμβαίνει, επειδή το συνθετικό λιπαντέλαιο, περνώντας από τους αυλούς του εναλλάκτη, αποσυντίθεται αντιδρώντας με το χαλκό, εκ του οποίου οι αυλοί είναι κατασκευασμένοι.

Για την λύση του προβλήματος έχουν εξευρεθεί διάφοροι τρόποι, όπως η κατασκευή εναλλακτών από διαφορετικά υλικά (monel), η χρησιμοποίηση άλλων διαφορετικών ψυκτικών μέσων, όπως αέρας, καύσιμο, γλυκό νερό κλπ.

Ο καθένας από τους τρόπους αυτούς παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα. Εξ αιτίας των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι διάφοροι τρόποι ψύξεως των συνθετικών λιπαντελαίων, η τάση των κατασκευαστών έχει στραφεί κυρίως προς τα ορυκτά έλαια αποστάξεως. Τα έλαια αυτά δεν είναι απαραίτητο να περιέχουν πρόσθετα για τη βελτίωση του ιξώδους τους, ενώ συνιστάται η προσθήκη αντιδιαβρωτικών και αντιοξειδωτικών προσθέτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο

Σύγκριση ναυτικών αεροστροβίλων με αεροπορικούς.

- Οι αεροπορικοί αεροστρόβιλοι απαιτούν για τη λειτουργία τους καύσιμα υψηλής ποιότητας, συνήθως κηροζίνη σε σχέση με τους ναυτικούς όπου καίνε MGO, πράγμα που σημαίνει υψηλότερο κόστος λειτουργίας.
- Λόγο των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας που αναπτύσσονται στους αεροπορικούς αεροστροβίλους, για την κατασκευή τους απαιτούνται μέταλλα υψηλής αντοχής με συνέπεια να αυξάνεται το κόστος κατασκευής και συντήρησης.
- Στους ναυτικούς αεροστροβίλους τα κόστη είναι συγκριτικά μικρότερα, όμως απαιτείται ένα επιπλέον κόστος για της περιφερειακές συσκευές που τον υποστηρίζουν.
- Οι αεροπορικοί αεροστρόβιλοι συγκριτικά με τους ναυτικούς παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευπάθεια στη λειτουργία και κατά συνέπεια στην απόδοση τους, όταν παρουσιάζονται αλλαγές στο περιβάλλον και στις συνθήκες λειτουργίας πχ (ύψος πτήσης-ταχύτητα, θερμοκρασία αέρα, φορτίο λειτουργίας).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	4
1.1 Ιστορικό σημείωμα.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	8
2.1 Αρχές αερίωσης.....	8
2.2 Ώση.....	10
2.3 Λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ώση.....	11
2.4 Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ώση.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Μέθοδοι αερίωσης-τύποι αεριωθητών.....	12
3.1 Γενικά.....	12
3.2 Πύραυλος (rocket).....	12
3.3 Αθόδυλος (ram jet).....	13
3.4 Παλμικός αθόδυλος.....	14
3.5 Βασικές αρχές αεριοστροβίλου (gas turbine engine).....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : Είδη αεριοστροβίλων.....	14
4.1 Στροβιλοαντιδραστήρας (turbojet engine).....	16
4.2 Ελικοστρόβιλος (turbo-prop engine).....	17
4.3 Αξονοστρόβιλος (turbo-shaft engine).....	19
4.4 Στροβιλοανεμιστήρας (turbofan engine).....	19

4.5 Στροβιλοαθόδουλος (turboramjet).....	20
4.6 Πυραυλοστρόβιλος (turborocket).....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Συμπιεστές.....	20
5.1 Γενικά.....	22
5.2 Φυγοκεντρικοί συμπιεστές (centrifugal compressors).....	22
5.3 Αξονικοί συμπιεστές (axial compressors).....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Εισαγωγή αέρα.....	24
6.1 Γενικά.....	24
6.2 Είδη αεραγωγών εισαγωγής.....	24
6.3 Φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων.....	27
6.4 Σύστημα αντί-και-από πάγωσης εισαγωγής αέρα.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : Κύκλοι λειτουργίας αεροστροβίλων.....	28
7.1 Γενικά.....	28
7.2 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας.....	29
7.3 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: Καύσιμα-λιπαντικά αεροπορίας.....	33
8.1 Κατηγορίες καυσίμων.....	33
8.2 Ιδιότητες του καυσίμου που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του.....	33
8.3 Λιπαντικά.....	33
8.4 Είδη λιπαντικών.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο: Ναυτικοί αεριοστροβίλοι.....	34
9.1 Οι κυριότεροι παράγοντες για την επιλογή της εγκατάστασής προώσεως.....	34
9.2 Κατάταξη και είδη αεροστροβίλων.....	34
9.3 Σύνθετα κυκλώματα εγκατάστασής προώσεως.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο: Κύκλοι λειτουργίας ναυτικών αεροστροβίλων.....	34

10.1 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας.....	36
10.2 Διαφορές μεταξύ ιδεατού και πραγματικού κύκλου λειτουργίας.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο:Καύσιμα-λιπαντικά ναυτικών αεροστροβίλων.....	37
11.1 Καύσιμα.....	37
11.2 Λιπαντικά.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο:Σύγκριση ναυτικών αεροστροβίλων με αεροπορικούς.....	39

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- www.generalelectric.power.com
- www.turbines.com
- www.bunkerworld.com
- www.plazamarinefuel.com
- www.gasturbines.com
- Βιβλίο: Ναυτικοί αεροστρόβιλοι.
- Βιβλίο: Αεροπορικοί αεροστρόβιλοι.