

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΟΙ ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥΣ ΑΠΟ  
ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥΣ ΣΕ ΝΑΥΤΙΚΟΥΣ**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ ΣΧΟΙΝΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΥΡΓΙΩΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2014

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΟΙ ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥΣ ΑΠΟ  
ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥΣ ΣΕ ΝΑΥΤΙΚΟΥΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΥΡΓΙΩΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**Ημερομηνία κατάθεσης: 11-04-2014**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2014

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η εργασία που ακολουθεί εξετάζει τον αεριοστρόβιλο σαν προωστήριο μηχανήμα σε πλοία καθώς και την όλη εξέλιξη του μηχανήματος από καθαρά αεροπορικό σε ναυτικό προωστήριο σκεύος. Εξετάζει την λειτουργία τους, τις διάφορες τροποποιήσεις που έχουν γίνει, τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν, όπως επίσης και την χρήση διάφορων ναυτιλιακών καυσίμων. Παράλληλα γίνεται σύγκριση με άλλα προωστήρια συστήματα πλοίων και αξιολογείται η χρήση καθενός. Στον τομέα καυσίμου εξετάζεται η λειτουργικότητα του μηχανήματος με τα διάφορα είδη ναυτιλιακών καυσίμων και αιτιολογούνται τα σχετικά συμπεράσματα.

## **ABSTRACT**

The work that follows examines the turbine as propulsion unit in ships, and the whole evolution of the machine from a clearly air to a marine vessel propulsion. It examines the operation, the various changes that have been made, the problems that encountered as well as the use of various fuel oils. In parallel, there is a comparison with other marine propulsion systems and the use of each is evaluated. In the area of fuel it is considered the functionality of the machine with the various types of fuel oil and the substantiate conclusions are justified.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία που ακολουθεί διαπραγματεύεται τους αεριοστρόβιλους (Gas Turbines ), την χρήση τους στην ναυτιλία και την αεροπορία, την περιγραφή τους, καθώς και σχετικά θέματα με την λειτουργία και τα καύσιμά τους.

Ο αεριοστρόβιλος ξεκίνησε την ιστορική διαδρομή του το 1921 όπου χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε αεροσκάφος. Με την πάροδο του χρόνου βελτιώθηκαν τα μέρη του και ο βαθμός αποδόσεως του.

Μετά από τροποποιήσεις που έγιναν, οι πλοιοκτήτριες εταιρίες άρχισαν να τον τοποθετούν στα πλοία τους σαν μέσο πρόωσης. Ταυτόχρονα ξεκίνησε ανταγωνισμός με τις Μ.Ε.Κ. (Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως) όπου και αυτές χρησιμοποιούνταν σε πλοία. Μεγάλο μειονέκτημα του αεριοστρόβιλου είναι η υψηλή κατανάλωση σε καύσιμο, γεγονός που για κάποιο χρονικό διάστημα απέτρεψε τις εταιρίες από την εγκατάσταση του σε πλοία τους. Επόμενο ήταν λοιπόν για τις κατασκευάστριες εταιρίες αεριοστρόβιλων να βελτιώσουν αυτό το μηχάνημα. Βέβαια ακόμη και σήμερα συνεχίζουν να γίνονται τροποποιήσεις και αλλαγές στον αεριοστρόβιλο, με σκοπό την παραπέρα ανταγωνιστικότητα και βελτίωση του.

Στην συνέχεια της εργασίας θα αναφερθούν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του αεριοστρόβιλου, το καύσιμο με το οποίο λειτουργεί και ο ρόλος του, τα μέρη που τον απαρτίζουν, το ιστορικό του, η εξέλιξη του, η περιγραφή του μηχανήματος καθώς και οι τροποποιήσεις οι οποίες έγιναν για να γίνει κατάλληλος για την Ναυτική χρήση.

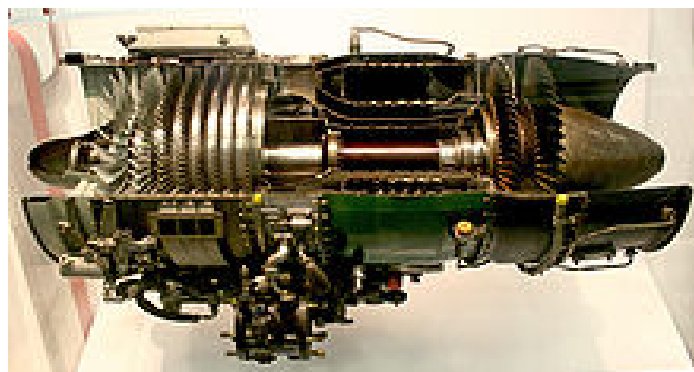
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

*[Ιστορικό Αεριοστροβίλων, Περιγραφή Μηχανήματος, Εξέλιξη αεριοστροβίλων από Αεροπορικούς σε Ναυτικούς]*

## **1.1.Ιστορικό Αεριοστροβίλων (Gas Turbines)**

Οι Αεριοστρόβιλοι ξεκίνησαν να αναπτύσσονται από την χρήση τους στα αεροπλάνα. Το 1921 δόθηκε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την χρησιμοποίηση του αεριοστροβίλου σε αεροπλάνα, και το 1939 δημιουργήθηκε το πρώτο αεροπλάνο με αεριοστρόβιλο σαν μέσο κίνησης.

Οι βαθμοί αποδόσεως ήταν πολύ μικροί όπως είναι φυσικό και για αυτό τον λόγο διάφορες κατασκευαστικές εταιρίες άρχισαν να εργάζονται πάνω στο αντικείμενο για την όσο το δυνατόν καλύτερη εξέλιξη του αεριοστροβίλου και σε ταχύτητα και σε βαθμό αποδόσεως. Έτσι το 1970 η κατασκευαστική εταιρία General Electric δημιούργησε έναν τύπο αεριοστροβίλου



**Εικόνα 1.1. J85-GE-17A της General Electric**

τον *J85-GE-17A* ο οποίος ήταν σαφώς καλύτερος μηχανικά από τους προηγούμενους. Η ταχύτητα είχε αυξηθεί, ο βαθμός απόδοσης είχε αυξηθεί, όπως επίσης και τα κατασκευαστικά υλικά τα οποία αποτελούσαν τον αεριοστρόβιλο είχαν βελτιωθεί. Με την πάροδο των χρόνων όλα τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αεριοστροβίλων βελτιώνονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις και με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Ο αεριοστρόβιλος είναι μηχανή εσωτερικής καύσεως (Μ.Ε.Κ) συνεχούς ροής, που συνεπάγεται μεγάλη παραγωγή ισχύος σε σχέση με το μέγεθος ή το βάρος της.

Ειδικά για τους αεροπορικούς κινητήρες ο λόγος της παραγόμενης ώσης ανά μονάδα βάρους είναι από πέντε έως και εννέα φορές μεγαλύτερος σε σχέση με τον εμβολοφόρο κινητήρα αντίστοιχου βάρους. Οι αεριοστρόβιλοι κατατάσσονται και ανάλογα με την ικανότητα τους να ανακυκλώνουν ή όχι το θερμοδυναμικό μέσο όπως για παράδειγμα τον αέρα κατά την λειτουργία τους, σε δύο κατηγορίες:

- Ανοικτού κύκλου.
- Κλειστού κύκλου.

Στους αεριοστρόβιλους ανοικτού τύπου πραγματοποιείται συνεχής εισροή ατμοσφαιρικού αέρα μέσα από τον συμπιεστή, ενώ η ενέργεια προστίθεται με την καύση του καυσίμου με τον αέρα στο θάλαμο καύσης. Στην συνέχεια τα καυσαέρια εκτονώνονται στον στρόβιλο και στο τελικό ακροφύσιο εξαγωγής και τελικά εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Αυτός ο τύπος αεριοστρόβιλου επικρατεί κατά πλειοψηφία μέχρι και σήμερα.

Αντίθετα στους αεριοστρόβιλους κλειστού τύπου ο αέρας που βγαίνει από την εξαγωγή (όχι τα καυσαέρια) οδηγείται και πάλι στην είσοδο του κινητήρα και ουσιαστικά συνεχώς ανακυκλώνεται.

Η καύση δεν χρησιμοποιεί τον αέρα του κυκλώματος, γιατί αν συνέβαινε αυτό σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα θα καταναλωνόταν όλο το διαθέσιμο οξυγόνο του αέρα του κλειστού κυκλώματος. Έτσι η απαιτούμενη θερμική ενέργεια πρέπει να δοθεί από ένα θερμαντήρα ή εναλλάκτη θερμότητας, ενώ η καύση γίνεται σε ένα χωριστό εξωτερικό καυστήρα. Γίνεται λοιπόν φανερό από τα παραπάνω ότι το αέριο που επανακυκλοφορεί μέσα στον αεριοστρόβιλο δεν είναι απαραίτητο να είναι πλέον αέρας, αλλά επιδιώκεται να είναι κάποιο αέριο με ανώτερες θερμοδυναμικές ιδιότητες. Αυτός ο τύπος αεριοστρόβιλου παρουσιάζει μερικά αξιόλογα πλεονεκτήματα τα οποία είναι:

- Δυνατότητα χρήσης αερίου υπό υψηλή πίεση μέσα στο κλειστό κύκλωμα.
- Δυνατότητα της αυξομείωσης της εξερχόμενης ισχύος με την αλλαγή της πίεσης του αερίου και όχι μόνο με την ρύθμιση της παροχής του καυσίμου.
- Η χρησιμοποίηση άλλων αερίων εκτός του αέρα για το κλειστό κύκλωμα, πράγμα που παρέχει τη δυνατότητα χρήσης αερίων με καλύτερες θερμικές ιδιότητες.
- Η μεταφορά θερμότητας στον εναλλάκτη βελτιώνεται, λόγω της υψηλής πυκνότητας του αερίου.
- Αποφυγή φθοράς και διαβρώσεως των πτερυγίων του στρόβιλου που οφείλονται στα προϊόντα της καύσεως.
- Δεν χρειάζεται φιλτράρισμα του εισερχόμενου αέρα στον κύκλο του αεριοστρόβιλου, πράγμα που είναι απαραίτητο κατά την λειτουργία των ανοικτών κύκλων.

Υπάρχουν όμως και δύο πολύ σημαντικά μειονεκτήματα τα οποία είναι:

- Ανάγκη ύπαρξης ενός εξωτερικού συστήματος θέρμανσης, στον οποίο περιλαμβάνεται ο εξωτερικός θάλαμος καύσεως.
- Προβλήματα με διαρροές στο κλειστό κύκλωμα υψηλής πίεσεως.

Σήμερα υπάρχουν αεριοστρόβιλοι κλειστού κύκλου με ισχύ 2-30 MW που χρησιμοποιούν σαν λειτουργικό αέριο τον αέρα και σαν καύσιμο τον άνθρακα, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο.

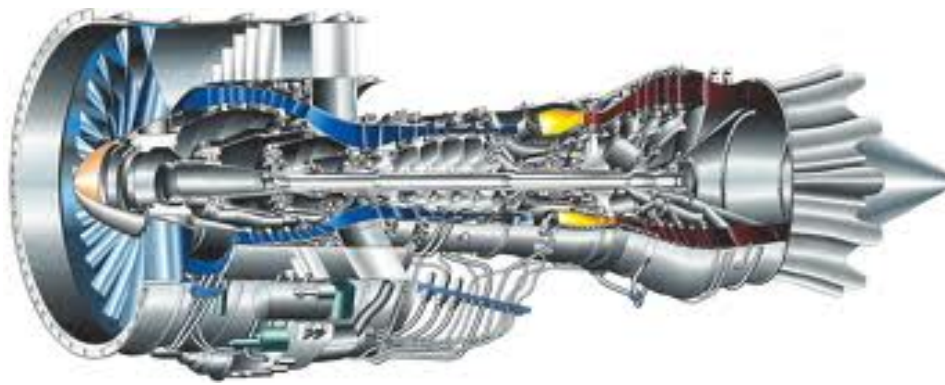
Οι σύγχρονοι αεροπορικοί στροβιλοκινητήρες ταξινομούνται σε τέσσερις βασικούς τύπους (turbojet, turbofan, turboprop και turboshaft) ανάλογα με το έργο που επιτελούν και τη μέθοδο παραγωγής ώσης που ακολουθούν. Από αυτούς οι κινητήρες turbojet και turbofan είναι οι μόνοι που παράγουν ωστικές δυνάμεις απ' ευθείας από το ρεύμα καυσαερίων χωρίς τη μεσολάβηση βοηθητικών συστημάτων κίνησης. Οι turbojet αποτελούν τον πιο πρώιμο τύπο στροβιλοκινητήρα και τα κύρια δομικά τους μέρη είναι η διάταξη εισαγωγής (intake), ο συμπιεστής (compressor), ο θάλαμος καύσης (combustion chamber), ο στρόβιλος (turbine) και το ακροφύσιο (exhaust duct ή nozzle). Στοιχεία της μεγάλης αυτής απλότητας αποτελούν η μεγάλη ομοιομορφία στρεπτικής ροπής και ταχύτητας περιστροφής, η απλούστευση των προβλημάτων στεγανότητας και λίπανσης, η στο ελάχιστο ελάττωση των μηχανικών απωλειών, η υψηλή τιμή του άνω ορίου για την ταχύτητα περιστροφής (το όριο τίθεται μόνο για τη μέγιστη περιφερειακή ταχύτητα των κινητών πτερυγίων) η ταχεία εκκίνηση από κρύα κατάσταση και η έλλειψη ανάγκης ψυκτικού ύδατος (ίσως απαιτείται μικρή ποσότητα για την ψύξη του λιπαντικού ελαίου).



**Εικόνα 1.1.2. Αεροπορικός κινητήρας Turbofan.**

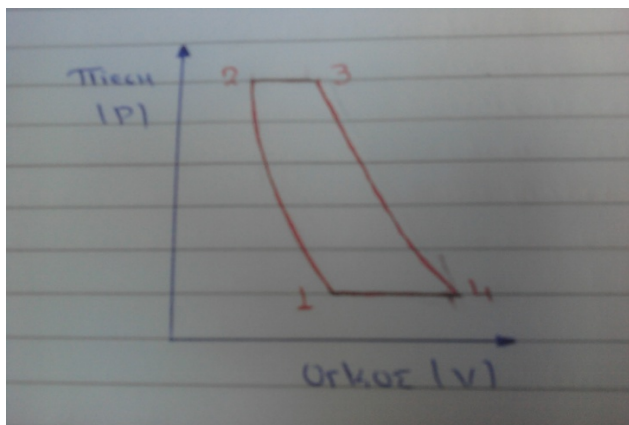
Όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω κάνουν τον Αεριοστρόβιλο αποδοτικότερο τόσο σε γενικές γραμμές όσο και σε σχέση με τον «ανταγωνιστή» του τις παλινδρομικές Μ.Ε.Κ. (Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως) και συμβάλουν στον καλύτερο βαθμό αποδόσεως και την ταχύτητα του.

## 1.2. Περιγραφή Μηχανήματος



Εικόνα 1.2.1. Αεριοστρόβιλος αεροπορικού τύπου.

Ο Αεριοστρόβιλος λειτουργεί με βάση τον θεωρητικό κύκλο του Brayton, ο οποίος είναι ένας κύκλος αέρα. Ο κύκλος αυτός αποτελείται από δύο {2} διαφορετικές διεργασίες με σταθερή πίεση, όπου προσδίδεται και αφαιρείται η θερμότητα, καθώς και από δύο {2} ισεντροπικές διεργασίες: την συμπίεση και την εκτόνωση στις οποίες γίνεται η παραγωγή έργου. Η γραφική παράσταση του κύκλου γίνεται σε συντεταγμένες Πίεσης-Όγκου (P-V) και Θερμοκρασίας-Εντροπίας (T-S).

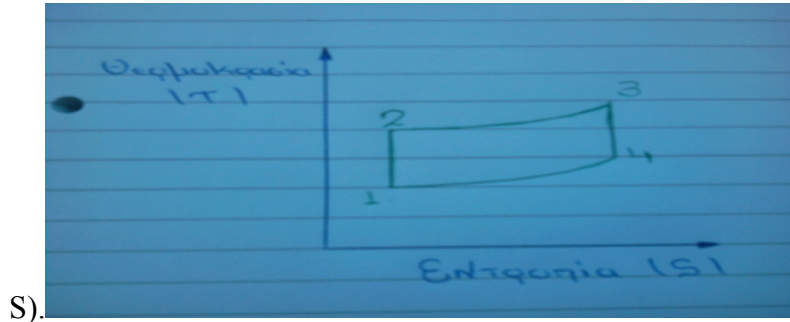


Στο παραπάνω διάγραμμα με συντεταγμένες Πίεσης-Όγκου (P-V) οι φάσεις που πραγματοποιούνται είναι:

1. Συμπίεση
2. Πρόσδοση Θερμότητας
3. Παραγωγή Έργου
4. Αποβολή Θερμότητας



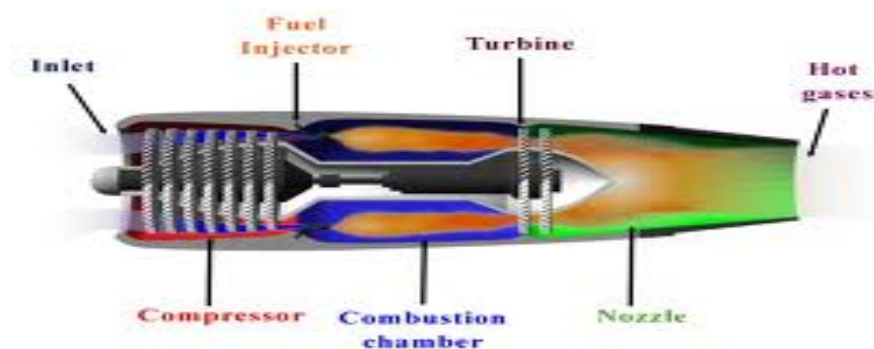
Το επόμενο διάγραμμα είναι σε συντεταγμένες Θερμοκρασίας-Εντροπίας (T-



Οι φάσεις του κύκλου που εκφράζουν τα σχήματα είναι:

1. Αντιστρεπτή Αδιαβατική (ισεντροπική) Συμπύεση (1-2)
2. Πρόσδοση θερμότητας υπό σταθερή πίεση (2-3)
3. Αντιστρεπτική Αδιαβατική Εκτόνωση (3-4)
4. Αποβολή θερμότητας υπό σταθερή πίεση μέχρι της αρχικής καταστάσεως (4-1).

Οι θερμικοί κύκλοι αποτελούν την εφαρμογή του πρώτου (1<sup>ου</sup>) και του δεύτερου (2<sup>ου</sup>) θερμοδυναμικού νόμου στο εργαζόμενο μέσο, το οποίο με μία σειρά από διεργασίες μετατρέπει την Θερμική ενέργεια σε Μηχανική. Στους αεριοστρόβιλους το εργαζόμενο μέσο είναι τα καυσαέρια και ο αέρας. Μετά από την σειρά διεργασιών (φάσεις) ο αέρας επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση, και αφού υπολογιστεί το παραγόμενο έργο και η προσδιδόμενη θερμότητα, βρίσκεται ο Βαθμός θερμικής απόδοσης του κύκλου καθώς και η απαιτούμενη ποσότητα του κυκλοφορούντος εργαζόμενου μέσου για την παραγωγή ισχύος. Τα κύρια μέρη τα οποία αποτελούν τον αεριοστρόβιλο είναι το κέλυφος μέσα στο οποίο βρίσκονται τοποθετημένα ένας συμπιεστής (compressor), οι θάλαμοι καύσης (combustion chambers), ο στρόβιλος (turbine) και το ακροφύσιο (nozzle) εξαγωγής αερίων το οποίο ρίχνει την πίεση αυξάνοντας την ταχύτητα των αερίων που εξέρχονται από τον στρόβιλο.



Εικόνα 1.2.2. Ο αεριοστρόβιλος και τα μέρη που τον απαρτίζουν.

Όλα τα μέρη είναι συνδεδεμένα με τον άξονα (στροφείο), ο οποίος στρέφεται και μαζί του



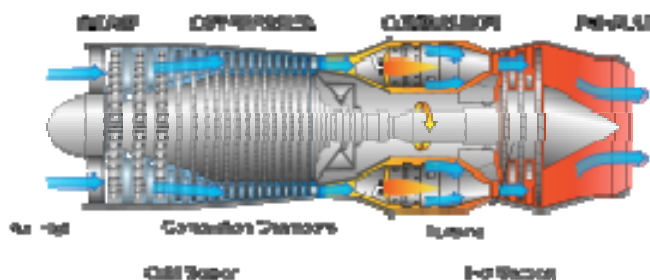
στρέφει τον συμπιεστή και τον στρόβιλο.

**Εικόνα 1.2.3. Αεριοστρόβιλος σε τομή.**

Έτσι καθώς εισέρχεται ο αέρας στον αεριοστρόβιλο περνάει από τον συμπιεστή όπου κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Εκεί συμπιέζεται και με αυτό τον τρόπο αποκτά υψηλότερη πίεση και θερμοκρασία. Από τον συμπιεστή περνά στον θάλαμο καύσης όπου και γίνεται η ανάμειξη του με το καύσιμο και αποκτά ακόμη υψηλότερη θερμοκρασία αλλά μειώνεται ελαφρώς η πίεση. Μετά τον θάλαμο καύσης ο αέρας μεταφέρεται στον στρόβιλο όπου θα μειωθεί η πίεση του μέσω εκτόνωσης και θα έχουμε την παραγόμενη ενέργεια στον κύριο άξονα που στρέφει και τον συμπιεστή. Ο αέρας μετά την εξαγωγή του από τον στρόβιλο έχει μεγάλη ταχύτητα και μικρή πίεση. Με την εισαγωγή του στο ακροφύσιο εξόδου η πίεση του θα μειωθεί ακόμα περισσότερο και καθώς περνάει αυτή η πίεση εξακολουθεί να μειώνεται και αυξάνεται κατά πολύ η ταχύτητα.

Αυτό είναι το μέρος της λειτουργίας αεριοστροβίλου.

θεωρητικό του

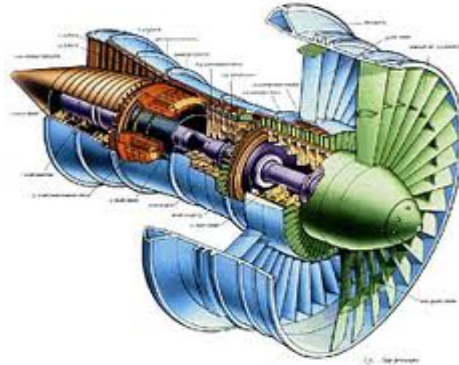


Εικόνα 1.2.4 Τα στάδια που περνά ο αέρας από την εισαγωγή έως την εξαγωγή του από τον αεριοστρόβιλο.

πρακτικό.....Ο αέρας εισέρχεται στο το οποίο πρέπει μορφή ώστε να αέρα στον στην περίπτωση

που το αεροσκάφος πετά με διάφορες γωνίες ως προς τη διεύθυνση της κίνησής του, μεταβαλλοντας έτσι τη λεγόμενη γωνία προσβολής. Ο συμπιεστής είναι μια μηχανική διάταξη με ταχέως περιστρεφόμενα πτερύγια που λειτουργεί ουσιαστικά σαν αεραντλία με σκοπό την αύξηση της πίεσης του διερχόμενου αέρα. Ταυτόχρονα όμως έχουμε και μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα αυτού. Οι βασικοί τύποι συμπιεστών που συναντώνται είναι οι

φυγοκεντρικοί που χρησιμοποιήθηκαν ως το 1950 και οι αξονικοί που έχουν επικρατήσει μέχρι σήμερα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος συμπίεσης (pressure ratio, PR) εξόδου/εισόδου στον συμπιεστή τόσο αποδοτικότερη γίνεται η λειτουργία του κινητήρα. Οι σημερινοί στροβιλοκινητήρες παρουσιάζουν έναν λόγο συμπίεσης που αγγίζει το 45:1 ενώ η απόδοση του

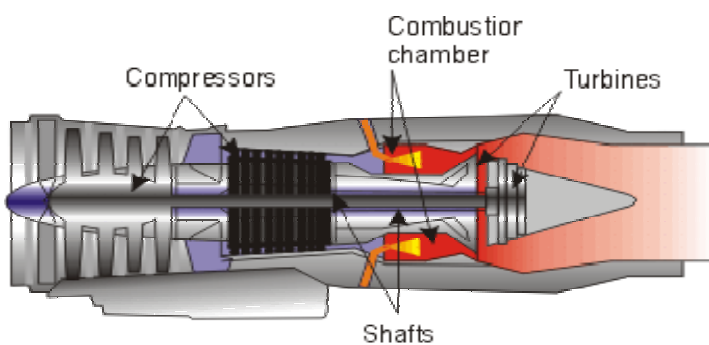


κύκλου τους πλησιάζει το 40%.

### Εικόνα 1.2.5 Ο αεροπορικού τύπου Turbofan κινητήρας

Κάθε συμπιεστής είναι έτσι κατασκευασμένος ώστε να καλύπτει τις απαιτήσεις ενός συγκεκριμένου προφίλ πτήσης που ορίζεται από έναν αριθμό Mach (ταχύτητα/ταχύτητα του ήχου στον αέρα) και το ύψος πτήσης. Οι συνθήκες αυτές καλούνται σημείο σχεδιασμού (design point, D.P) και συνθέτουν εκείνη την κατάσταση στην οποία θεωρητικά ο συμπιεστής μπορεί να αποδώσει τον μέγιστο βαθμό. Σε συνθήκες που απέχουν από το σημείο σχεδιασμού, οι εμπρόσθιες βαθμίδες του συμπιεστή ενός turbojet επιβαρύνονται περισσότερο από εκείνες που βρίσκονται στο μέσον ή στο πίσω μέρος, με συνέπεια να λειτουργούν επικίνδυνα κοντά στο όριο απώλειας στήριξης, εκεί δηλαδή όπου η ροή αποκολλάται και η πτερύγωση αρχίζει να πάλλεται.

Στους πιο επιτυχημένους τύπους turbojet, όπως ο J79 που προωθούσε τα αεροσκάφη F-104, F-4, B-58 και Vigilante, η ασφάλεια του



κινητήρα επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση της ροής μέσω διαφόρων μεταβλητών οδηγών πτερυγίων εισαγωγής (IGV-Inlet Guide Vanes) του στάτορα (stator) στις εμπρόσθιες βαθμίδες του. Στην έξοδο του συμπιεστή ο συμπιεσμένος αέρας οδηγείται στον κατασκευασμένο από

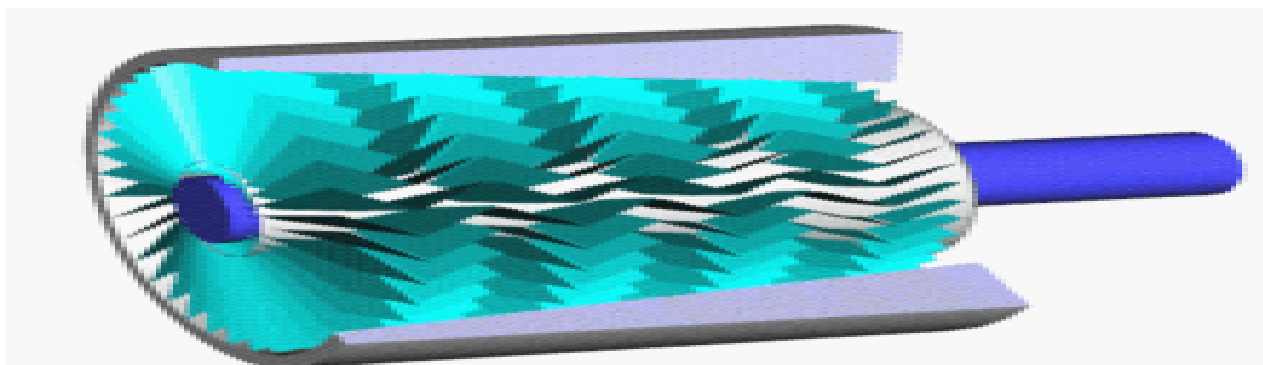
*AZONOSOMI.TM*

### Εικόνα 1.2.6 Ο αεροπορικού τύπου Turbojetκινητήρας.

πυρίμαχα υλικά θάλαμο καύσης όπου το καύσιμο ψεκάζεται και καίγεται εκλύοντας σημαντική πρόσθετη ενέργεια στη ροή του αέρα. Οι κατασκευαστικοί περιορισμοί ορίζουν ότι η διαδικασία καύσης θα πρέπει να λάβει χώρα σε χώρο μικρού όγκου και να

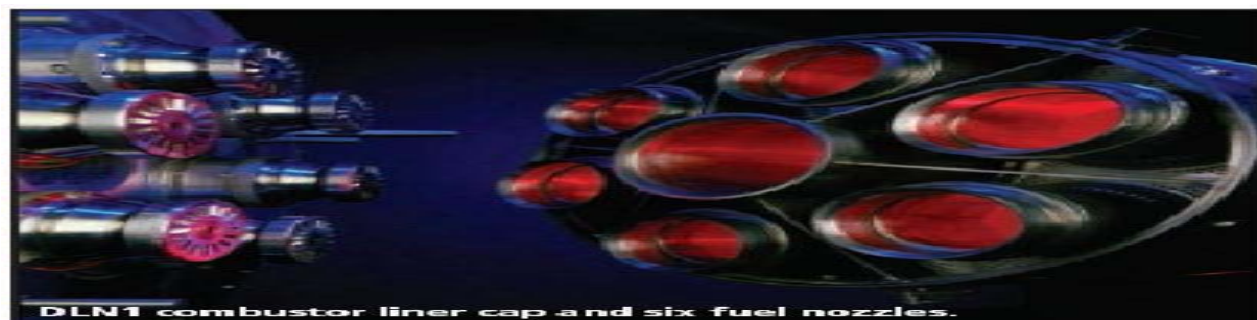
ολοκληρωθεί με την ελάχιστη δυνατή απώλεια πίεσης. Κάθε στροβιλοκινητήρας βασίζει τη λειτουργία του στο γεγονός ότι η ενέργεια υπό μορφή θερμότητας ή πίεσης μπορεί να αποθηκευτεί στα μόρια ενός ρευστού και να εξαχθεί πάλι από αυτά σε μεταγενέστερο στάδιο. Η ώση ενός κινητήρα εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα του αέρα. Έτσι, όσο υψηλότερη είναι η τελευταία τόσο μεγαλύτερη ώση είναι διαθέσιμη. Η μάζα τώρα του πεπιεσμένου αέρα που εξέρχεται από τον συμπιεστή εισάγεται στον θάλαμο καύσης με ταχύτητα περίπου 150 m/sec, η οποία είναι υπερβολικά μεγάλη για να μπορέσει να διατηρηθεί η φλόγα της καύσης. Η απαραίτητη προϋπόθεση της δραστικής ελάττωσης της ταχύτητας του αέρα επιτυγχάνεται από τη διαμόρφωση του διαχύτη ή διαχυτήρα (diffuser) που βρίσκεται στο εμπρόσθιο μέρος του θαλάμου καύσης και από τον διάτρητο δίσκο που περιβάλλει τα ακροφύσια ψεκασμού καυσίμου. Στα συνηθέστερα αεροπορικά καύσιμα συγκαταλέγεται η κηροζίνη με κατώτερο σημείο ανάφλεξης ατμών (flash point) τους 48,90 °C και τελικό σημείο (end point) τους 2000 °C. Η αναλογία μαζών ψεκαζόμενου καυσίμου προς εισερχόμενο αέρα που απαιτείται για την καύση κυμαίνεται από 1:45 έως 1:130, ανάλογα με τις συνθήκες πτήσης του αεροπλάνου. Η αποτελεσματική όμως καύση προϋποθέτει μια αναλογία μάζας 1:15 (καλουμένη στοιχειομετρική αναλογία) πράγμα που σημαίνει πως μόνο ένα μικρό μέρος του αέρα που προωθείται από τον συμπιεστή προς τον θάλαμο καύσης χρησιμοποιείται πραγματικά στην καύση. Η αναλογία αέρα/καυσίμου είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτερη από τη στοιχειομετρική, το πηλίκιο δε αυτών των αναλογιών καλείται λόγος ισοδυναμίας  $\phi$ , που θεωρητικά θα πρέπει να τείνει προς τη μονάδα. Η ποσότητα αέρα εισέρχεται στον θάλαμο μέσω ενός βραχέος αεραγωγού που διαθέτει πτερύγια στροβιλισμού στις εξόδους του για να μειώνει ακόμα περισσότερο την ταχύτητα του ρευστού. Ο υπόλοιπος αέρας (80% του συνόλου) αποτελεί το δευτερογενές ρεύμα και διοχετεύεται σε έναν αγωγό που περιβάλλει τον θάλαμο καύσης παίζοντας ρόλο ψυκτικού μέσου για τη μείωση της θερμοκρασίας του καυσαερίου από τους 2000 °C σε ένα πιο ανεκτό επίπεδο των 1200 °C έως 1400 °C. Το καύσιμο ψεκάζεται στο εσωτερικό του θαλάμου υπό μεγάλη πίεση, σχεδόν εξατμισμένο, έτσι ώστε να σχηματίζει έναν ευρύ κώνο και να εξασφαλίζεται η επαρκής μίξη με τον διερχόμενο αέρα. Οι θάλαμοι καύσης των σύγχρονων στροβιλοκινητήρων έχουν έναν βαθμό απόδοσης μεταξύ 90% και 98%, ενώ οι ανεπιθύμητες απώλειες πίεσης του αέρα έχουν περιοριστεί στο 2% έως 7%. Η διαφορά με τον συμπιεστή έγκειται στο ότι η μετάδοση ενέργειας στον θάλαμο καύσης επιτυγχάνεται μέσω χημικής αντίδρασης και η διαδικασία της καύσης οδηγεί σε μια κάθετη αύξηση της θερμοκρασίας ενώ η πίεση παραμένει σχεδόν σταθερή. Είναι ακριβώς το σημείο στο οποίο η ροή αέρα αποκτά τη δυνατότητα να παράγει αποτελεσματικά με τη σειρά της μηχανικό έργο. Αποστολή του στροβίλου είναι να μετατρέψει την ενέργεια του ρευστού σε μηχανικό έργο κινώντας κυρίως τον συμπιεστή αλλά και μερικά άλλα εξαρτήματα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του κινητήρα. Η εντυπωσιακά μεγάλη ισχύς των σύγχρονων στροβίλων που μπορεί να ξεπερνά τους 50.000 hp

παράγεται λόγω της ικανότητά τους να εξάγουν μηχανικό έργο από την ενέργεια που περιέχει το θερμό ρευστό. Ο στρόβιλος είναι κυριολεκτικά το σημείο-κλειδί ολόκληρου του κινητήρα και είναι εκείνο το τμήμα της μηχανής που διαμορφώνει τα όρια ισχύος που μπορούν να επιτευχθούν. Είναι χαρακτηριστικό πως ένα και μόνο πτερύγιο στροβίλου μπορεί να συνεισφέρει μια ισχύ έως 250 hp, δηλαδή αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη που διαθέτει ένα συνηθισμένο αυτοκίνητο. Η βασική αρχή λειτουργίας του στροβίλου δεν διαφέρει από εκείνη του συμπιεστή. Ενώ ο συμπιεστής προσθέτει ενέργεια στον αέρα που διέρχεται από αυτόν μετατρέποντας το μηχανικό



**Εικόνα 1.2.7. Πτερύγια του αεριοστροβίλου**

έργο σε πίεση, ο στρόβιλος απορροφά την ενέργεια του αέρα για να τη μετατρέψει σε ισχύ άξονα ή ροπή. Οι υψηλοί λόγοι συμπίεσης του στροβίλου (πίεση εισόδου προς πίεση εξόδου) των σύγχρονων κινητήρων απαιτούν πολυβάθμιους στροβίλους. Ο λόγος για τον οποίο ο αέρας συμπιέζεται στον συμπιεστή ενώ εκτονώνεται στον στρόβιλο (αυξάνοντας την

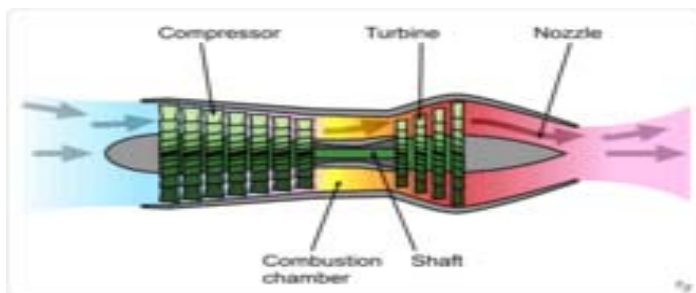


**Εικόνα 1.2.8. Οι θάλαμοι καύσεως ενός αεριοστροβίλου.**

ταχύτητά του) οφείλεται στην διαφορετική μορφή των πτερυγίων τους. Καθώς το αέριο εκτονώνεται, η πίεση και η θερμοκρασία του ελαττώνονται ενώ η ταχύτητα του αυξάνεται. Στους κινητήρες turbojet ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας και της πίεσης που έχει δοθεί στο αέριο είναι ακόμη διαθέσιμες για να μετατραπούν σε κινητική ενέργεια, διαδικασία που πραγματοποιείται στο ειδικά σχεδιασμένο ακροφύσιο. Η μεγάλη ταχύτητα εξόδου των καυσαερίων είναι βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία της ώσης και η ομαλοποίηση της ροής τους επιτυγχάνεται με τον κώνο καυσαερίων που βρίσκεται στις εξόδους αρκετών στροβίλων. Ο

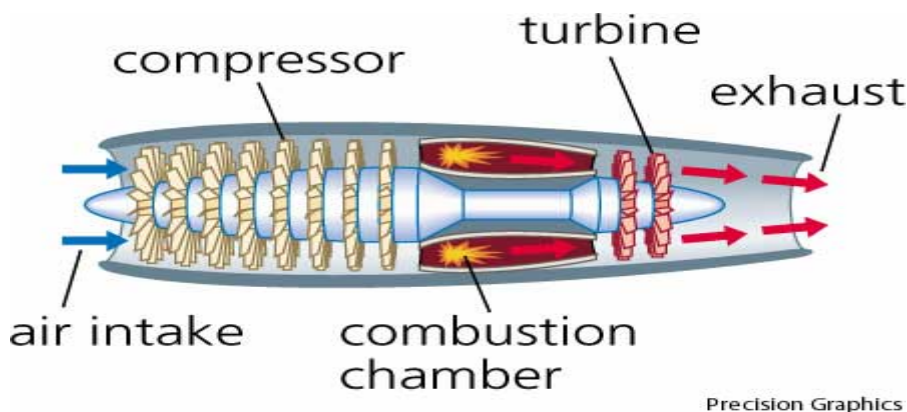
ρόλος του ακροφυσίου είναι να μετατρέψει τη δυναμική ενέργεια του αερίου σε κινητική. Αυτό επιτυγχάνεται απλώς με τη γεωμετρική διαμόρφωση του η οποία θυμίζει έναν κύλινδρο μεταβλητής διατομής. Υπάρχει ωστόσο ένα ανώτερο όριο απόδοσης που μπορεί να επιτευχθεί από ένα ακροφύσιο και αυτό συναντάτε όταν το ρεύμα εξόδου φθάσει την ταχύτητα του ήχου (Mach). Στην περίπτωση αυτή, η στατική πίεση στην έξοδο του ακροφυσίου ονομάζεται ‘κρίσιμη’.

Ακόμα και αν η πίεση περιβάλλοντος μειωθεί (λόγω αύξησης του ύψους πτήσης) οι παράμετροι στην έξοδο του ακροφυσίου θα παραμείνουν ίδιες. Για το λόγο αυτό τα συγκλίνοντα ακροφύσια σταθερής γεωμετρίας χρησιμοποιούνται περισσότερο από αεροσκάφη που πετούν σε υποηχητικές ή χαμηλές υπερηχητικές ταχύτητες έως 1,5Mach.



**Εικόνα 1.2.9. Τα στάδια αλλαγής θερμοκρασίας του αέρα κατά την είσοδο του στον αεριοστροβίλο.**

Αντίθετα ένας συνδυασμός συγκλίνοντος-αποκλίνοντος τμήματος επιτρέπει αφενός την επιτάχυνση του αερίου ως τη μικρότερη διατομή και αφετέρου τη συνέχιση της επιτάχυνσης στο αποκλίνον τμήμα σε ταχύτητες μεγαλύτερες από εκείνη του ήχου με παράλληλη μείωση της πίεσης κάτω από την κρίσιμη τιμή. Γενικά, η ταχύτητα εξόδου του αέρα αυξάνεται ανάλογα με την τετραγωνική ρίζα της απόλυτης θερμοκρασίας (μετρούμενη ως προς το “ απόλυτο μηδέν”) ενώ ο όγκος του αερίου είναι ευθέως ανάλογος της απόλυτης θερμοκρασίας. Η διατομή του ακροφυσίου είναι ανάλογη προς τον όγκο του αερίου και αντιστρόφως ανάλογη προς την ταχύτητά του, κάτι που σημαίνει απλά ότι θα πρέπει να είναι μεταβλητή προκειμένου να αποδίδει τα βέλτιστα.



**Εικόνα 1.2.10 Τα βασικά μέρη ενός αεριοστροβίλου.**

### 1.3.Εξέλιξη Αεριοστρόβιλου από Αεροπορικό σε Ναυτικό



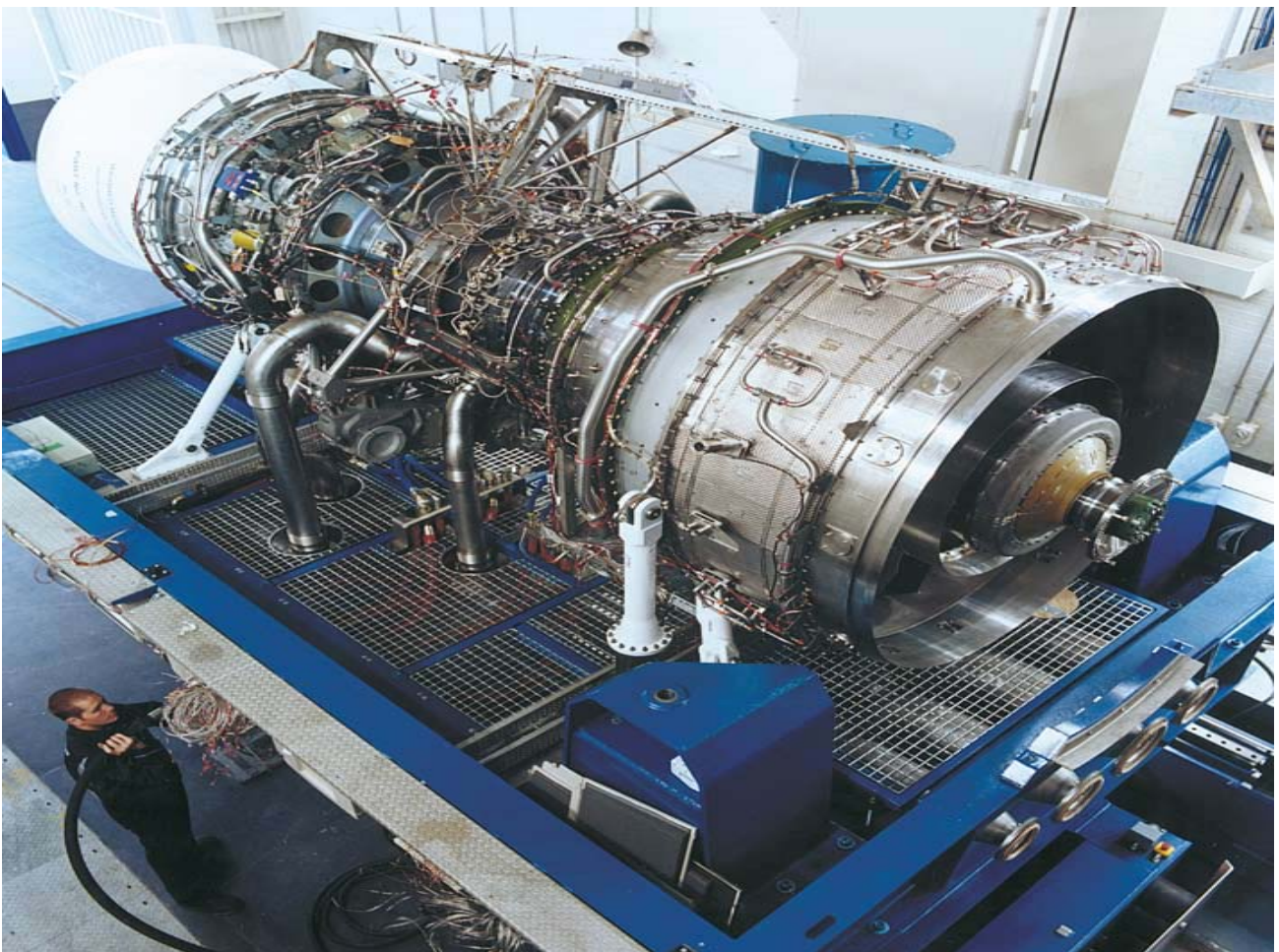
**Εικόνα 1.3.1. Εγκατάσταση Ναυτικού Αεριοστρόβιλου**

Οι δοκιμές του αεριοστρόβιλου σαν προωστήριο κινητήρα σκάφους ξεκίνησαν στις 12 Απριλίου του 1937 και το 1939 το Υπουργείο Αεροπορίας στην Αγγλία αναθέτει στην κατασκευαστική εταιρία Whittle την κατασκευή σχετικού αεριοστρόβιλου. Μετά από περίπου 10 χρόνια λειτουργίας του αεροπορικού αεριοστρόβιλου, κατασκευάζεται το 1947 το πρώτο σκάφος του Βρετανικού Ναυτικού που έφερε το όνομα MGB 2009 που σημαίνει Motor Gun Boat με αεροστρόβιλο που παρείχε μέρος της ισχύος προώσεως. Το πρώτο σκάφος με κίνηση αποκλειστικά αεροστρόβιλου, είχε μήκος 24 πόδια και έφερε κινητήρα της κατασκευάστριας εταιρείας Boeing και ξεκίνησε δοκιμές το 1950. Από την στιγμή που τοποθετήθηκε ο αεριοστρόβιλος σε σκάφος έγινε γνωστός σαν νέο μέσο κίνησης το οποίο ήταν ταχύτερο, απέδιδε καλύτερα από τις ανταγωνίστριες παλινδρομικές Μ.Ε.Κ. και τράβηξε το ενδιαφέρον των κατασκευαστριών εταιριών με αποτέλεσμα την ραγδαία εξέλιξη του. Με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας καθώς και με την εξειδίκευση των σχετικών κατασκευαστικών εταιριών, τοποθετήθηκαν αργότερα σε ταχύπλοα σκάφη, τροποποιημένοι αεροπορικού τύπου αεριοστρόβιλοι.

Σύγχρονο προϊόν της κατασκευάστριας εταιρίας Rolls-Royce είναι ο κινητήρας MT30 τύπου αεροπορικού αεριοστρόβιλου, ο οποίος φέρνει την τελειότητα της τεχνολογίας του αέρα στην θάλασσα με απίστευτη ομοιότητα. Ο MT30 σχεδιάστηκε για τον 21<sup>ο</sup> αιώνα δίνοντας-προσφέροντας τη δύναμη του αεριοστρόβιλου για την καλύτερη πρόωση στα πλοία. Σαν κινητήρας ο MT30 έχει πάνω από τριάντα (30) εκατομμύρια ώρες πτήσης λειτουργίας και χειρισμού από το έτος 1996, γεγονός που αποδεικνύει την μεγάλη αξιοπιστία και απόδοση του.

Ο MT30 είναι αεριοστρόβιλος με δίδυμο άξονα και υψηλή σχέση συμπίεσεως στον οποίο η αναρρόφηση αέρα μπορεί να γίνει με αξονική ή κυκλική διαμόρφωση ανάλογα με τον χώρο που θα

εγκατασταθεί. Πρόκειται για αεριοστρόβιλο συμπαγή και μικρού βάρους, που αποτελείται από έναν συμπιεστή μέσης πίεσης οκτώ βαθμίδων και ένα έξι βαθμίδων υψηλής πίεσης. Ο τεσσάρων βαθμίδων στρόβιλος αποτελεί εξέλιξη του βιομηχανικού Trent και του Trent 800 και υποστηρίζεται από ισχυρό σύστημα εδράνων για την καλύτερη αξιοπιστία. Τα βασικά εξαρτήματα του έχουν προστατευτικές επικαλύψεις για λειτουργία σε θαλάσσιο περιβάλλον προκειμένου να μειωθεί η συντήρηση και να αυξηθεί ο χρόνος λειτουργίας τους. Ο θάλαμος καύσεως είναι παρόμοιος του αντίστοιχου αεροπορικού σχεδιασμού για να χρησιμοποιεί απόσταγμα τύπου DMA, εξασφαλίζοντας ότι ο MT30 συμμορφώνεται με όλες τις υπάρχουσες νομοθεσίες σχετικά με εκπομπές ρύπων.



**Εικόνα 1.3.2. Ο Ναυτικού τύπου MT30 της Rolls-Royce**

Για τα L.N.G. πλοία, ο MT30 έχει διπλή δυνατότητα καυσίμου, δηλαδή:

- Μπορούν να κάψουν - καταναλώσουν την εξάτμιση φορτίου (Boil-off) από του πλοίου τις δεξαμενές αποθήκευσης.



- Μπορούν επίσης να κάψουν – καταναλώσουν το σπάνταρ DMA καύσιμο, όταν το αέριο δεν είναι διαθέσιμο.

Το σύστημα ελέγχου του MT30 παρέχει ολοκληρωμένα alarms, όργανα παρακολούθησης και έλεγχο λειτουργίας του αεροστροβίλου καθώς και προστασία από επιτάχυνση (Over speed).



**Εικόνα 1.3.3. Σύστημα ελέγχου του αεροστροβίλου MT30**

Ο MT30 επιλέχθηκε από το Αμερικάνικο Ναυτικό (U.S Navy) για να δίνει δύναμη και κίνηση σε φρεγάτες του πολεμικού Ναυτικού όπως το USS Freedom, σε αεροπλανοφόρα, για τα πλοία διοικητικής μέριμνας καθώς επίσης και για κρουαζιερόπλοια.



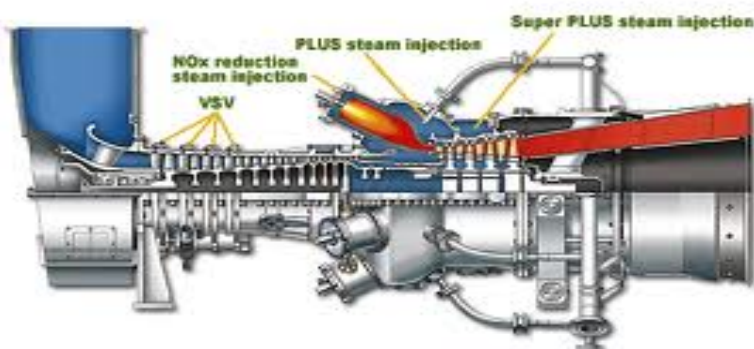
**Εικόνα 1.3.4. Τύποι πλοίων που χρησιμοποιούν τον MT30 για προωστήριο μέσο.**

#### 1.4.Πλεονεκτήματα–Μειονεκτήματα από την χρήση Αεριοστρόβιλου στην Ναυτιλία.

Στην ναυτιλία τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων είναι οι παλινδρομικές δίχρονες Diesel, οι Αεριοστρόβιλοι και οι Ατμοστρόβιλοι. Μεταξύ τους, υπάρχουν πολλές διαφορές. Η πρόωση των σκαφών με Αεριοστρόβιλο ξεκίνησε από τις στρατιωτικές μονάδες για ειδικούς στρατιωτικούς λόγους. Με την πάροδο του χρόνου και την συνεχή λειτουργία και χρησιμοποίηση του αεριοστρόβιλου έγιναν εμφανή Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα τα οποία είχε σαν μηχανήμα.

Τα Πλεονεκτήματα από την χρήση του Αεριοστρόβιλου είναι:

- Ο μικρός όγκος που καταλαμβάνει στον χώρο όπου είναι εγκατεστημένος.
- Η μεγάλη ισχύς.
- Το μέγεθος του σε σχέση με την απόδοσή του.
- Η συμπαγής κατασκευή του.
- Πολλαπλή χρησιμοποίηση λόγω της περιστροφικής μορφής που αποδίδεται η ισχύς.
- Μικρό βάρος ανά ίππο.
- Μικρό κόστος συντήρησης.



Εικόνα 1.3.5. Εγκατάσταση ναυτικού τύπου αεριοστρόβιλου

Τα **Μειονεκτήματα** του Αεριοστρόβιλου είναι:

- Μικρότερος βαθμός θερμικής απόδοσης από την Diesel.
- Μεγάλη κατανάλωση καυσίμου, λόγω χρήσης μόνο αποσταγμάτων (DMA) για καύσιμο.
- Υψηλό κόστος αγοράς.

Ειδικά το δεύτερο μειονέκτημα, δηλαδή η μεγάλη κατανάλωση καυσίμου είναι ένα θέμα που απασχολεί τις πλοιοκτήτριες εταιρείες τόσο πολύ που προς το παρόν τις αποτρέπει από την χρησιμοποίηση του αεριοστρόβιλου σαν μέσο πρόωσης των πλοίων.



**Εικόνα 1.3.6. Αεριοστρόβιλος πριν την εγκατάσταση σε πλοίο.**



**Εικόνα 1.3.7. Αεριοστρόβιλος σε πλήρη εγκατάσταση στο πλοίο.**

Τα μέρη που απαρτίζουν τον αεριοστρόβιλο είναι:

- το κέλυφος.
- Ο συμπιεστής.
- Ο θάλαμος-οι καύσεως.
- Ο στρόβιλος.
- Το τελικό ακροφύσιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### Ο ρόλος του καυσίμου στους Αεριοστρόβιλους.

Όπως σε κάθε μηχάνημα, ή εγκατάσταση ο ρόλος του καυσίμου με το οποίο λειτουργεί είναι καθοριστικός, όχι μόνο για την καλύτερη λειτουργία και απόδοση του, αλλά και για το οικονομικό θέμα που επηρεάζει όλο τον κόσμο. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία των αεριοστρόβιλων είναι κατά κύριο λόγο παράγωγα του πετρελαίου, όπως το πετρέλαιο Diesel και τα βαριά καύσιμα (Heavy Fuel Oils). Τα παράγωγα του πετρελαίου προκύπτουν από ειδικές διεργασίες οι οποίες ονομάζονται αποστάξεις και γίνονται σε ειδικές βιομηχανικές μονάδες που ονομάζονται διυλιστήρια. Τα διυλιστήρια επεξεργάζονται το αργό πετρέλαιο και με την μέθοδο της απόσταξης παράγουν διάφορους τύπους καυσίμων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για διαφορετικού τύπου κινητήρες. Αυτοί οι τύποι καυσίμων που παράγονται από την απόσταξη του αργού πετρελαίου είναι:

1. Τα Υγραέρια.
2. Οι Βενζίνες.
3. Η Κηροζίνη.
4. Το Πετρέλαιο Diesel.
5. Το Μαζούτ (υπόλειμμα).

Το καθένα από αυτά χρησιμοποιείται για διαφορετικού τύπου κινητήρες, όπως για παράδειγμα η βενζίνη χρησιμοποιείται στους κινητήρες αυτοκινήτου, το πετρέλαιο Diesel στους ναυτικούς αεριοστρόβιλους και στους κινητήρες πετρελαίου, η κηροζίνη χρησιμοποιείται στους αεροπορικούς αεριοστρόβιλους και τέλος το Μαζούτ που είναι τελευταίο σαν ποιότητα πετρελαίου χρησιμοποιείται στα πλοία.

Η διεργασία της απόσταξης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την χρήση των καυσίμων στους αεριοστρόβιλους, γιατί εφόσον χρησιμοποιούνται βαριά καύσιμα παρατηρούνται αλλαγές στην λειτουργία τους οι οποίες αποτελούν πρόβλημα. Αυτές οι αλλαγές είναι υψηλές θερμοκρασίες και προβλήματα στο σύστημα τροφοδοσίας. Αν και δύο λόγοι, είναι αρκετοί για να προτιμάται το πετρέλαιο Diesel για την λειτουργία, το οποίο δεν παρουσιάζει τέτοιου είδους προβλήματα. Βέβαια οι κατασκευάστριες εταιρείες ακολουθούν κάποιες αυστηρές προδιαγραφές για την ποιότητα των καυσίμων και την περιεκτικότητά τους σε διάφορα μέταλλα και αυτό αποτελεί έναν από τους

λόγους αποφυγής των παραπάνω προβλημάτων. Τα διωλιστήρια επομένως σύμφωνα με τις απαιτήσεις των εταιριών είναι υποχρεωμένα να παράγουν καλύτερης ποιότητας καύσιμα, έτσι που να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις και τις ανάγκες των καταναλωτών. Αυτό επιτυγχάνεται με εξειδικευμένες χημικές και θερμικές βελτιώσεις μετά την απόσταξη, ώστε το καύσιμο να βελτιωθεί περισσότερο. Για παράδειγμα μεγάλο πρόβλημα αποτελεί η περιεκτικότητα του καυσίμου σε Θείο, το οποίο δεν είναι δυνατόν να φύγει από το καύσιμο εάν αυτό δεν υποβληθεί σε χημική κατεργασία. Μετά την χημική επεξεργασία που υποβάλλονται τα καύσιμα παραδίδονται στις εταιρίες πώλησης και από εκεί στους καταναλωτές. Σήμερα, αξιόπιστα καύσιμα παραδίδουν όλες οι μεγάλες εταιρείες του κλάδου, τα οποία διακρίνονται για την θερμική και οξειδωτική σταθερότητα τους. Σύμφωνα με τα παραπάνω ο αναγνώστης μπορεί να καταλάβει εύκολα τις απαιτήσεις των καυσίμων, καθώς και το πόσο σημαντικά είναι για την καλή και αποδοτική λειτουργία των κινητήρων. Τα καύσιμα επηρεάζουν δραστικά την απόδοση του κινητήρα. Για τον λόγο του ότι όλα όσα αφορούν την λειτουργία είναι αλυσίδα μεταξύ τους, ο παραλήπτης των καυσίμων πρέπει να δώσει ιδιαίτερη βάση στις ιδιότητες που καθορίζουν την ποιότητα τους. Οι ιδιότητες ενός καυσίμου, αλλά και τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από την κακή ποιότητα του είναι:

- Η πτητικότητα.
- Το Ιξώδες.
- Ο σχηματισμός καπνού και οι ξένες προσμίξεις σαν καύσιμο των αεριοστροβίλων.



**Εικόνα 2.1.1**

**Εγκατάσταση διωλιστηρίου.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3.1. Το Καύσιμο του αεροπορικού τύπου αεριοστρόβιλου

Θεωρητικά σαν καύσιμο των αεριοστρόβιλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε καύσιμη ύλη που έχει πτητικότητα από αυτή της βενζίνης μέχρι και του μαζούτ (υπόλειμμα).

Στην περίπτωση των αεροπορικών αεριοστρόβιλων με τους οποίους θα ασχοληθούμε, λόγω των ειδικών συνθηκών που λειτουργούν, ως καύσιμα χρησιμοποιούν ειδικά αποστάγματα πετρελαίου ορίων ζέσεως που πλησιάζουν τα όρια ζέσεως της κηροζίνης. Εάν η διαθέσιμη ποσότητα των ειδικών αυτών αποσταγμάτων κηροζίνης δεν είναι αρκετή για να καλύψει όλες τις ανάγκες της κατανάλωσης, τότε η ποσότητα των παραπάνω κλασμάτων είναι δυνατόν να επαυξηθεί με την προσθήκη ορισμένων κλασμάτων βενζίνης που διατίθενται από τις βιομηχανίες του πετρελαίου. Τα δύο είδη καυσίμου ονομάζονται:

- Αεροπορική Κηροζίνη
- Αεροπορική Βενζίνη αεριοστρόβιλων (JP4)

#### **3.1.1.Ιδιότητες του καυσίμου που επηρεάζουν την καύση**

Η ποιότητα του καυσίμου εξαρτάται από τις φυσικές, χημικές, θερμικές και ηλεκτρικές του ιδιότητες, οι οποίες αναφέρονται συγκεκριμένα για την αποθήκευση και την διακίνηση του, που επηρεάζουν σε μεγάλο ποσοστό την εφαρμογή του σκοπού του καυσίμου, την καύση. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα στους αεροπορικού τύπου αεριοστρόβιλους είναι κυρίως δύο ειδών:

- Η αεροπορική κηροζίνη που καλείται JET-A1
- Η αεροπορική ευρεία βενζίνη αεριοστρόβιλων που καλείται JET-B.

#### **3.1.2.Η πυκνότητα του καυσίμου**

Η πυκνότητα του καυσίμου είναι μία σπουδαία παράμετρος για την σχεδίαση των δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων. Ως παράμετρος όμως που επηρεάζει την καύση, δεν αντικατοπτρίζει μόνο

έμμεσα την πτητικότητα, αλλά και το ιξώδες και την αρωματικότητα του καυσίμου. Αυτές οι ιδιότητες που επηρεάζουν την καύση κατευθύνουν τις κατασκευάστριες εταιρείες στην αντιμετώπισή τους.

### **3.1.3. Το Ιξώδες του καυσίμου.**

Οι περιορισμοί στο ιξώδες του καυσίμου τίθενται στις προδιαγραφές και αποσκοπούν σε δύο κυρίως σκοπούς:

- Στην εξασφάλιση ορίων ανοχής ως προς την απώλεια πίεσεως στην γραμμή.
- Στην εξασφάλιση καλού ψεκασμού.

Οι δύο παραπάνω λόγοι αποσκοπούν στην εξασφάλιση της καλής λειτουργίας σε χαμηλή θερμοκρασία και για αυτό τον λόγο τέθηκε το όριο του ιξώδους στο μέγιστο  $-35^{\circ}\text{C}$ . Πρέπει όμως να εξασφαλισθεί και η λίπανση της αντλίας καυσίμου για να μεγαλώσει το όριο ζωής της. Για αυτό τον λόγο απαιτείται το καύσιμο να έχει το ελάχιστο δυνατό ιξώδες για να εξασφαλισθεί η υδροδυναμική λίπανση. Επειδή όμως σε ορισμένες συνθήκες επικρατεί η οριακή λίπανση, στην οποία το ιξώδες δεν παίζει σχεδόν κανένα ρόλο, για αυτό δεν έχει τεθεί θέμα προδιαγραφής χαμηλότερου ιξώδους.

### **3.1.4. Η πτητικότητα του καυσίμου.**

Με τον όρο πτητικότητα χαρακτηρίζεται η φυσική ιδιότητα ενός υγρού για την ιδιαίτερη ευκολία της εξάτμισης του σε κανονικές συνθήκες.

Η πτητικότητα του καυσίμου μπορεί να επηρεάσει την καύση, αλλά με τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στους σύγχρονους κινητήρες τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί δεν αντιμετωπίζεται κάποιο πρόβλημα με την πτητικότητα. Ο κυριότερος λόγος για τον οποίο τίθενται περιορισμοί στην πτητικότητα του καυσίμου των αεροσφαιρίων, είναι ο περιορισμός των απωλειών καυσίμου στις δεξαμενές αποθήκευσης του αεροσκάφους, γιατί δεν εφαρμόζεται σύστημα υπερπίεσης ως προς την ανύψωση του σημείου ζέσεως του καυσίμου.

Το σημείο ζέσεως εξαρτάται από την εξωτερική πίεση. Όσο μικρότερη είναι η εξωτερική πίεση στην επιφάνεια του υγρού, τόσο μικρότερο είναι το σημείο ζέσεως και αντίστροφα. Τα όρια ζέσεως για το καύσιμο JET-A1 είναι  $150^{\circ}\text{C} - 240^{\circ}\text{C}$  σε σχέση με το σημείο αναφλέξεως το οποίο πρέπει να είναι πάνω από  $38^{\circ}\text{C}$ . Επίσης το σημείο αναφλέξεως εξασφαλίζει την ασφαλή διακίνηση του καυσίμου.

### **3.1.5.Ο σχηματισμός καπνού.**

Η τάση παραγωγής αιθάλης και ανθρακωμάτων στο σημείο ψεκασμού και στον θάλαμο καύσης, αποτελεί και σήμερα μεγάλο πρόβλημα για τους αεριοστρόβιλους, σε αντίθεση με άλλα προβλήματα που υπήρχαν όπως η σταθερότητα της φλόγας το οποίο έπαψε να αποτελεί πρόβλημα για το μηχάνημα. Υπάρχουν διάφοροι εργοστασιακές μέθοδοι που έχουν επινοηθεί για την μέτρηση της συγκεκριμένης ιδιότητας (σχηματισμός καπνού), οι οποίοι αντικατοπτρίζουν την συμπεριφορά του καυσίμου όταν πραγματοποιείται ψεκασμός και οι συνθήκες συμπίεσεως και ατμοσφαιρικού αέρα είναι σταθερές.

### **3.1.6.Οι ανόργανες προσμίξεις.**

Τα καύσιμα των αεριοστρόβιλων είναι δυνατό να περιέχουν προσμίξεις οργανικές, ανόργανες, ή διαλυτές σε αυτά λόγω:

- είτε ανάμιξης με άλλα καύσιμα
- είτε του τρόπου διακινήσεως
- είτε από το φυσικό τους περιβάλλον.

Για αυτό τον λόγο δημιουργήθηκαν πρόσθετα, τα οποία σκοπός τους είναι η βελτίωση αυτών των ιδιοτήτων του καυσίμου.

### **3.1.7.Οι διαλυτές προσμίξεις.**

Οι διαλυτές προσμίξεις οι οποίες είναι πιθανό να περιέχονται στα καύσιμα των αεριοστρόβιλων είναι οι εξής:

- Ο μόλυβδος
- Ο χαλκός
- Το χρώμιο
- Το ασβέστιο



### **3.1.8.Το νερό (ύδωρ)**

Η παρουσία του νερού είναι δυνατό να περιέχεται στα καύσιμα των αεριοστρόβιλων χωρίς να επηρεάζει την καύση στους θαλάμους καύσεως, αλλά έχει σπουδαία επίδραση στην λειτουργία των φίλτρων του συστήματος καυσίμου του αεροσκάφους, διότι είναι πιθανό να προκληθεί φραγμός των φίλτρων όταν το αεροσκάφος βρίσκεται σε μεγάλα ύψη, όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται στους  $-50^{\circ}\text{C}$ . Εκείνο που είναι συνδεδεμένο με την καύση είναι τα καύσιμα που έχουν από την φύση τους έμφυτο νερό. Σε αυτή την περίπτωση, εάν το νερό είναι θαλασσινό τότε το νάτριο και τα υπόλοιπα μέταλλα σε συνδυασμό με τα οξείδια του θείου κατά την διάρκεια της καύσης σχηματίζουν θειώδη και θειικά άλατα. Αυτά τα άλατα λιώνουν στις υψηλές θερμοκρασίες του θαλάμου καύσεως, αλλά στερεοποιούνται όταν ψύχονται. Η ανοχή μεταξύ του στροφέα και του στάτη του στροβίλου είναι της τάξεως των 0.6 mm, και συνεπώς το απόθεμα των στερεοποιημένων αλάτων που δημιουργήθηκε από τα μέταλλα μπορεί να βλάψει τον στρόβιλο.

## **3.2.Τα καύσιμα ναυτικού αεριοστρόβιλου**

Λόγω του υψηλού κόστους των καυσίμων των αεροπορικών αεριοστρόβιλων αλλά και θεμάτων ασφαλείας που προκύπτουν για την λειτουργία του πλοίου με καύσιμα υψηλής πτητικότητας, η δυνατότητα των ναυτικών αεριοστρόβιλων σε ότι αφορά το θέμα καύσιμο περιορίζεται στην χρήση αποσταγμάτων πετρελαίου Diesel. Τα βαριά καύσιμα λόγω του περιεχομένου σε μεταλλικές προσμίξεις που έχουν αλλά και της τάσης να δημιουργούν αιθάλη, δεν είναι κατάλληλα και δεν χρησιμοποιούνται. Έτσι σήμερα, έχουν επικρατήσει το πετρέλαιο Diesel, και συγκεκριμένα οι τύποι DMX και DMA της προδιαγραφής ISO 8217 2012 που είναι ουσιαστικά το Marine Gas Oil (M.G.O).

Αναλυτικά οι προδιαγραφές του παραπάνω καυσίμου φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

## Πίνακας 3.2.1.

# ISO 8217 Fuel Standard, Fourth Edition 2010

For marine distillate fuels and for marine residual fuels.

### MARINE DISTILLATE FUELS

Parameter	Unit	Limit	DMX	DMA	DMZ	DMB
Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	Max	5.500	6.000	6.000	11.00
Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	Min	1.400	2.000	3.000	2.000
Micro Carbon Residue at 10% Residue	% m/m	Max	0.30	0.30	0.30	-
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	Max	-	890.0	890.0	900.0
Micro Carbon Residue	% m/m	Max	-	-	-	0.30
Sulphur <sup>a</sup>	% m/m	Max	1.00	1.50	1.50	2.00
Water	% V/V	Max	-	-	-	0.30 <sup>b</sup>
Total sediment by hot filtration	% m/m	Max	-	-	-	0.10 <sup>b</sup>
Ash	% m/m	Max	0.010	0.010	0.010	0.010
Flash point	0°C	Min	43.0	60.0	60.0	60.0
Pour point, Summer	0°C	Max	0	0	0	6
Pour point, Winter	°C	Max	-6	-6	-6	0
Cloud point	°C	Max	-16	-	-	-
Calculated Cetane Index		Min	45	40	40	35
Acid Number	mgKOH/g	Max	0.5	0.5	0.5	0.5
Oxidation stability	g/m <sup>3</sup>	Max	25	25	25	25 <sup>c</sup>
Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd) 1.4 at 60°C <sup>d</sup>	um	Max	520	520	520	520 <sup>c</sup>
Hydrogen sulphide <sup>e</sup>	mg/kg	Max	2.00	2.00	2.00	2.00
Appearance				Clear & Bright <sup>f</sup>		<sup>b, c</sup>
<sup>a</sup>	A sulphur limit of 1.00% m/m applies in the Emission Control Areas designated by the International Maritime Organization. As there may be local variations, the purchaser shall define the maximum sulphur content according to the relevant statutory requirements, notwithstanding the limits given in this table.					
<sup>b</sup>	If the sample is not clear and bright, total sediment by hot filtration and water test shall be required.					
<sup>c</sup>	Oxidation stability and lubricity tests are not applicable if the sample is not clear and bright.					
<sup>d</sup>	Applicable if sulphur is less than 0.050% m/m.					
<sup>e</sup>	Effective only from 1 July 2012.					
<sup>f</sup>	If the sample is dyed and not transparent, water test shall be required. The water content shall not exceed 200 mg/kg (0.02% m/m).					

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### **Τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν, προκειμένου ο Αεροπορικός αεριοστρόβιλος να γίνει κατάλληλος για Ναυτική χρήση.**

Οι τροποποιήσεις που πρέπει να δεχτεί ένας αεροπορικός αεριοστρόβιλος προκειμένου να γίνει κατάλληλος για την ναυτική χρήση είναι πολλαπλές. Τα μέσα τα οποία θα φιλοξενήσουν τον αεριοστρόβιλο σαν μέσο πρόωσης είναι τελείως διαφορετικά. Το ένα είναι το αεροσκάφος και το άλλο είναι το πλοίο. (Αξίζει να αναφερθεί ότι ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιείται και για την παραγωγή ενέργειας σε εργοστάσια παραγωγής). Τα μεγέθη είναι έτσι διαμορφωμένα που δεν μπορεί να υπάρξει ο ίδιος αεριοστρόβιλος και στα δύο χωρίς να υποστεί κάποιες τροποποιήσεις. Για αυτό τον λόγο οι κατασκευάστριες εταιρίες κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν αυτά τα θέματα προκειμένου να ανταποκριθούν σε αυτή την απαίτηση. Οι τροποποιήσεις που πρέπει να υποστεί ο αεροπορικός αεριοστρόβιλος είναι οι εξής:

- Το μέγεθος.
- Το καύσιμο.
- Η κατανάλωση.
- Η ισχύς.
- Ο Βαθμός Αποδόσεως.
- Η διαμόρφωση των πτερυγίων.
- Η αντοχή των μερών που απαρτίζεται.

#### **4.1.Το Μέγεθος**

Για να τοποθετηθεί ένας αεροπορικός αεριοστρόβιλος σε ένα πλοίο θα πρέπει να αλλαχτεί το μέγεθος του. Αυτό συνεπάγεται την αλλαγή μεγέθους όλων των μερών που απαρτίζουν τον αεριοστρόβιλο σαν μηχανήμα, δηλαδή την αλλαγή μεγέθους στο κέλυφος (Case), στον συμπιεστή

(Compressor), στον – ους θάλαμο καύσεως (Combustion Chamber) , στον στρόβιλο (Turbine) και στο τελικό συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο (Nozzle). Η αλλαγή μεγέθους δεν είναι ένα απλό πράγμα το οποίο δεν επιφέρει συνέπειες. Εφόσον αυξάνεται το μέγεθος των μερών, αυξάνεται και το κόστος. Επομένως όσο μεγαλύτερο είναι το σκάφος το οποίο θα τοποθετηθεί ο αεριοστρόβιλος τόσο πιο πολύ αυξάνεται το κόστος του. Το κόστος με την σειρά του επηρεάζει άμεσα και έμμεσα τους πλοιοκτήτες οι οποίοι προσπαθούν να το μειώσουν όσο περισσότερο γίνεται. Αξιοσημείωτο είναι ότι το κόστος είναι ένας λόγος που μπορεί να αποτρέψει τους πλοιοκτήτες από την ζήτηση τους για την χρήση του αεριοστρόβιλου σαν μέσο πρόωσης.

## **4.2. Το Καύσιμο**

Το καύσιμο σε ένα κινητήρα – μηχανήμα είναι από τις πλέον σοβαρές παραμέτρους λειτουργίας. Στην περίπτωση της τροποποίησης του αεροπορικού αεριοστρόβιλου σε ναυτικό, το καύσιμο δεν θα είναι ίδιο. Οι αεροπορικοί αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούν σαν καύσιμο Κηροζίνη (kerosene), ενώ οι ναυτικοί πετρέλαιο ντίζελ (diesel). Τα δύο καύσιμα διαφέρουν αρκετά στην ποιότητα και στο κόστος, και είναι επιλεγμένα για την χρήση τους με κάποια κριτήρια από τους κατασκευαστές. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στους δύο (2) διαφορετικού τύπου αεριοστρόβιλους αποτελούν παράγωγα του αργού πετρελαίου και τα παίρνουμε από τα διυλιστήρια με την μέθοδο της απόσταξης. Τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκαν τα καύσιμα είναι τα εξής:

- Οι αεροπορικοί αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούν την κηροζίνη (Kerosene) που είναι ποιοτικά καλύτερη και πιο καθαρή από το ναυτιλιακό Diesel (Marine Gas Oil) που χρησιμοποιείται στους ναυτικούς αεριοστρόβιλους. Σημαντικός λόγος είναι ότι το αεροσκάφος απαιτεί καύσιμο υψίστης καθαρότητας και πολύ χαμηλού σημείου ροής. Δεν πρέπει να παγώνει σε θερμοκρασίες μέχρι  $-47^{\circ}\text{C}$ . Επίσης να έχει μηδενική παρουσία ύδατος και να μην έχει την τάση παραγωγής αιθάλης κατά την καύση του. Οι απαιτήσεις του ναυτικού αεριοστρόβιλου είναι για οικονομικότερο καύσιμο, και την καθαριότητα του την εξασφαλίζει το σύστημα καθαρισμού, όπως φυγοκεντρικά κτλ. Επίσης επειδή οι θερμοκρασίες αποθήκευσης και κυρίως διαχείρισης και καθαρισμού του είναι υψηλές δεν μας απασχολεί ιδιαίτερα το σημείο ροής.
- Οι αεροπορικοί αεριοστρόβιλοι επειδή λειτουργούν σε μεγάλα ύψη πρέπει να διαθέτουν καύσιμο το οποίο να μην παγώνει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η κηροζίνη έχει αυτό το

πλεονέκτημα, για αυτό και επιλέχθηκε από τις κατασκευάστριες εταιρείες σαν καύσιμο κατάλληλο για την χρήση του αεροπορικού αεριοστροβίλου.

- Στους ναυτικούς αεριοστροβίλους επιλέχθηκε το πετρέλαιο ντίζελ (Diesel) έναντι βαρέων καυσίμων σαν κατάλληλο καύσιμο για την λειτουργία τους, για την αποφυγή των εξανθρακωμάτων και την ιδιότητα της καλύτερης διάσπασης του κατά την καύση του καυσίμου, καθώς και για την ασφάλεια και προστασία των πτερυγίων και γενικά των «ευαίσθητων» μερών του μηχανήματος.



**Εικόνα 4.2.1. Τα καύσιμα πετρελαίου Diesel και κηροζίνη.**

### **4.3.Η Κατανάλωση**

Η κατανάλωση ενός μηχανήματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας που απασχολεί τόσο τις πλοιοκτήτριες εταιρίες, τις αεροπορικές και τους κατασκευαστές. Η κατανάλωση στους αεροπορικούς αεριοστροβίλους αποτελεί ένα μεγάλο μέγεθος, το οποίο δικαιολογείται λόγω της ταχύτητας που αναπτύσσει το αεροσκάφος και του μικρού χρόνου που χρειάζεται για να καλύψει χιλιάδες χιλιόμετρα εδάφους. Στην περίπτωση που ο αεριοστροβίλος τοποθετηθεί σε ναυτικό μέσο θα πρέπει η κατανάλωση του να είναι συγκρίσιμη με άλλα προωστήρια μηχανήματα ώστε σε συνδυασμό με το μικρό του μέγεθος και βάρος να του δίνουν πλεονεκτήματα. Η κατανάλωση αυξομειώνεται σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες, αλλά τόσο στα αεροσκάφη όσο και στα ναυτικά σκάφη παραμένει μεγάλη.

#### 4.4.Η Ισχύς

Η ισχύς είναι ένα μέγεθος του κινητήρα το οποίο χαρακτηρίζει την δύναμη του και μετριέται σε hp (horse power) δηλαδή ίππους. Η ισχύς ποικίλει από κινητήρα σε κινητήρα και σημαντικό ρόλο παίζει το μέγεθος και οι διαστάσεις των μερών που απαρτίζουν τον κινητήρα. Οι αεροπορικοί αεριοστρόβιλοι έχουν σχετικά μικρό μέγεθος και μεγάλη ισχύ, ενώ και οι ναυτικοί αεριοστρόβιλοι έχουν ακόμη μεγαλύτερη ισχύ που δικαιολογείται από το μέγεθος τους και τις απαιτήσεις του πλοίου που είναι εγκατεστημένοι. Η ισχύς προσδιορίζεται από τις κατασκευάστριες εταιρίες.

Στην συνέχεια και σύμφωνα με τις ανάγκες των αγοραστών η ισχύς προσαρμόζεται στις απαιτήσεις τους, είτε εργοστασιακά είτε με πρόσθετη μετασκευή. Ένας σύγχρονος αεροπορικός αεριοστρόβιλος έχει ισχύ μέχρι και 50.000 hp, ενώ ένας σύγχρονος ναυτικός αεριοστρόβιλος έχει ισχύ μέχρι και 117.000 kw όπως αυτός που φέρει το κρουαζιερόπλοιο *Queen Mary 2*, το οποίο μπορούμε να δούμε στην εικόνα που ακολουθεί.

Η ισχύς στους ναυτικούς αεριοστροβίλους κυμαίνεται σύμφωνα με το μέγεθος του πλοίου και συγκεκριμένα με το μήκος, το πλάτος και κυρίως με το ολικό βάρος που συμπεριλαμβάνεται το πλοίο και σε έμφορτη κατάσταση για να μπορεί να αποδώσει τις επιθυμητές ταχύτητες και αποδόσεις, ώστε να ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις των πλοιοκτητριών εταιριών.



**Εικόνα 4.4.1. Το πλοίο Queen Mary 2**

#### **4.5.Ο Βαθμός Αποδόσεως**

Ο Βαθμός Αποδόσεως είναι το μέγεθος με το οποίο μπορούμε να αξιολογήσουμε την αποδοτικότητα του κινητήρα και είναι από τα πιο αξιόλογα κριτήρια που χαρακτηρίζει το μηχάνημα. Με την βοήθεια του βαθμού αποδόσεως είναι δυνατό να ελεγχθεί η τελική απόδοση του μηχανήματος, κατά πόσο αυτό αποδίδει σύμφωνα με τις προδιαγραφές του, αλλά και κατά πόσο ανταποκρίνεται στις ανάγκες του προορισμού που εξυπηρετεί.

Η τιμή του για να είναι ίδια με την εργοστασιακή πρέπει όλο το σύστημα να λειτουργεί σωστά χωρίς προβλήματα. Τυχόν βλάβες ή δυσλειτουργίες μπορεί να μειώσουν τον βαθμό αποδόσεως του κινητήρα. Για αυτό το λόγο γίνονται κατάλληλες μετρήσεις και συντηρήσεις ώστε να αποφεύγονται τέτοια προβλήματα.

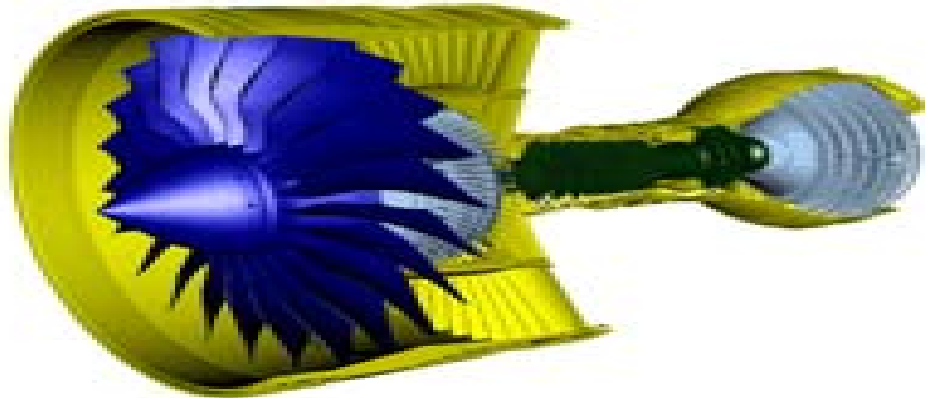
Οι βαθμοί αποδόσεως στους σύγχρονους αεριοστροβίλους είναι αρκετά υψηλοί, υστερούν όμως των αντίστοιχων βαθμών απόδοσης των Diesel μηχανών ( M.E.K).

#### **4.6.Το Πλάτος των πτερυγίων**

Το μέγεθος των πτερυγίων είναι ένα σημαντικό κομμάτι του αεριοστροβίλου είτε αυτός είναι αεροπορικός, είτε είναι ναυτικός. Σύμφωνα με την απόδοση που θέλουμε να έχει ο αεριοστροβίλος τοποθετούμε και το κατάλληλο πάχος πτερυγίων.

Τα πτερύγια στους αεριοστροβίλους υπάρχουν στον συμπιεστή (compressor) και στον στρόβιλο (turbine). Η λειτουργία τους είναι πολύ σημαντική. Στον συμπιεστή, καθώς εισέρχεται ο αέρας με μάζα ( $m$ ) και ταχύτητα ( $V$ ), προσκρούει στα πτερύγια που είναι εγκατεστημένα κυκλικά στον άξονα (στροφείο) και τον αναγκάζει να κινηθεί (κυκλική φορά). Εκτός από αυτό όμως, αυτό που είναι σχεδιασμένα τα πτερύγια να κάνουν είναι να συμπιέζουν τον αέρα που εισέρχεται, μειώνοντας του την ταχύτητα και αυξάνοντας την πίεση και την θερμοκρασία του. Αυτό επιτυγχάνεται με τις πολλαπλές σειρές πτερυγίων που υπάρχουν στον συμπιεστή. Η κάθε σειρά πτερυγίων έχει το ίδιο πάχος, αλλά διαφορετικό μήκος. Όσο εισέρχεται ο αέρας τόσο μικρότερου μήκους πτερύγια συναντά αναγκάζοντας τον να συμπιεστεί. Αναλόγως την συμπίεση που θέλουμε να έχουμε τοποθετούνται και οι κατάλληλες σειρές πτερυγίων.

Στον στρόβιλο, τα καυσαέρια πλέον που προέρχονται από την καύση του καυσίμου και του αέρα καύσης έχουν συγκεκριμένη πίεση, ταχύτητα και θερμοκρασία. Καθώς εξέρχονται από τους θαλάμους καύσεως, τα καυσαέρια προσκρούουν στα περύγια του στρόβιλου όπου εκεί γίνεται η ίδια διαδικασία με τον συμπιεστή αλλά αντίστροφα. Δηλαδή αυξάνεται η ταχύτητα τους, μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία τους και τέλος έχουμε την παραγωγή έργου.



**Εικόνα 4.6.1. Πτερύγια αεροπορικού αεροστροβίλου τύπου Turbofan.**

Το πάχος των περυγίων των αεροπορικών αεροστροβίλων είναι σαφέστερα πολύ μικρότερο από αυτό των ναυτικών αεροστροβίλων, αλλά σίγουρα πολύ μεγάλο για το μέγεθος του αεροπορικού κινητήρα. Αυτό οφείλεται στην απαίτηση της μεγάλης αντοχής τους, λόγω της μεγάλης καταπόνησης που δέχονται από την υψηλή ταχύτητα του αέρα που προσκρούει πάνω στα περύγια. Για να τοποθετηθεί λοιπόν ένας αεροστρόβιλος αεροπορικού τύπου σε ναυτικό σκάφος θα πρέπει το πάχος των περυγίων να είναι μεγαλύτερο σύμφωνα με το μέγεθος του μηχανήματος και την ισχύ που αποδίδει.



**Εικόνα 4.6.2. Πλήρης διάταξη των περυγίων του αεροστροβίλου.**



## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή διαπραγματεύτηκε τους αεριοστροβίλους σαν μηχανήματα και σαν μέσο πρόωσης αεροσκαφών και πλοίων. Αναφέρθηκε στο ιστορικό του αεριοστροβίλου, την εξέλιξη του σαν μηχανήματα τόσο στα αεροσκάφη όσο και στα ναυτικά σκάφη, στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης του, στα βελτιωτικά του στοιχεία προκειμένου από την αεροπορική χρήση να μεταβεί στην ναυτική, στο καύσιμο λειτουργίας του καθώς και σε γενικά στοιχεία τα οποία εκφράζουν τον αεριοστροβίλο σαν μηχανήματα.

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα (4) κεφάλαια τα οποία αναλύουν το θέμα και περιεχόμενο τους και είναι τα εξής:

- Κεφάλαιο Πρώτο: Ιστορικό, Περιγραφή, Εξέλιξη καθώς και πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα του αεριοστροβίλου που πρέπει να βελτιωθούν για το πέρασμα του από αεροπορικό σε ναυτικό.
- Κεφάλαιο Δεύτερο: Ο ρόλος του καυσίμου στον αεριοστροβίλο.
- Κεφάλαιο Τρίτο: Το καύσιμο του αεροπορικού και ναυτικού αεριοστροβίλου.
- Κεφάλαιο Τέταρτο: Τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν προκειμένου ο αεροπορικός αεριοστροβίλος να γίνει κατάλληλος για ναυτική χρήση.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι ο αεριοστροβίλος σαν μηχανήματα στην ναυτιλία, αν και δεν είναι εξίσου αποδοτικός σε σύγκριση με τις ανταγωνίστριες Μ.Ε.Κ. εντούτοις έχει πλεονεκτήματα (μικρό όγκο, μεγάλη σχέση ιπποδύναμης ανά βάρος) που καλύπτουν τις απαιτήσεις κάποιων κατηγοριών πλοίων, όπως ταχύπλοα επιβατηγά, κρουαζιερόπλοια, πολεμικά με ταχύτητες και στενή γάστρα (φρεγάτες) κτλ.

Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω στο διάστημα 1995 μέχρι σήμερα έχουν εγκατασταθεί πάνω από 1000 αεριοστροβίλοι σε πλοία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Οι πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν οι πληροφορίες για την ολοκλήρωση της εργασίας είναι οι εξής:

- Wikipedia.gr
- Google
- Μ.Ε.Κ. 1 και Μ.Ε.Κ 2 (Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως βιβλία)
- Βοηθητικά Μηχανήματα

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.	Σελ. 3
Πρόλογος.	Σελ. 4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b>	
1.1. Ιστορικό Αεριοστροβίλων (Gas Turbines).	Σελ.5
1.2. Περιγραφή Μηχανήματος.	Σελ.8
1.3. Η εξέλιξη του αεριοστροβίλου από Αεροπορικό σε Ναυτικό.	Σελ.15
1.4. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα από την χρήση αεριοστροβίλου στην ναυτιλία.	Σελ.18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b>	
Ο ρόλος του καυσίμου στους αεριοστροβίλους.	Σελ.20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b>	
3.1. Το καύσιμο του αεροπορικού τύπου αεριοστροβίλου.	Σελ.22
3.1.1. Ιδιότητες του καυσίμου που επηρεάζουν την καύση.	Σελ.22
3.1.2. Η πυκνότητα του καυσίμου.	Σελ.22
3.1.3. Το ιξώδες του καυσίμου.	Σελ.23
3.1.4. Η πτητικότητα του καυσίμου.	Σελ.23
3.1.5. Ο σχηματισμός καπνού.	Σελ.24
3.1.6. Οι ανόργανες προσμίξεις.	Σελ.24
3.1.7. Οι διαλυτές προσμίξεις.	Σελ.24
3.1.8. Το νερό. (Υδωρ).	Σελ.25

3.2. Τα καύσιμα του ναυτικού αεροστροβίλου. Σελ.25

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

Τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν προκειμένου ο αεροπορικός αεροστρόβιλος να γίνει κατάλληλος για ναυτική χρήση. Σελ.27

4.1. Το μέγεθος. Σελ.27

4.2. Το καύσιμο Σελ.28

4.3. Η κατανάλωση. Σελ.29

4.4. Η ισχύς. Σελ.30

4.5. Ο βαθμός Αποδόσεως. Σελ.31

4.6. Το πλάτος των πτερυγίων. Σελ.31

ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ Σελ.33

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ Σελ.34