



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**“ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ  
ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΕ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ”**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ:  
ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΝΑΝΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
Δρ.ΜΙΧΑΗΛ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2018

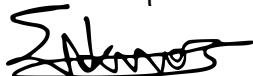
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Νάννος Στυλιανός, του Ευαγγέλου, με αριθμό μητρώου 42989 φοιτητής του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ο Δηλών  


Ημερομηνία  
25/6/2018

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Περίληψη – Εισαγωγή
  
2. Κεφάλαιο 1
  - a. 1.1 Ιστορική αναδρομή
  - b. 1.2 Ταξινόμηση Αεροσκαφών
    - i. 1.2.1 Αερόστατα
    - ii. 1.2.2 Αεροδυναμικά
  - c. 1.3 Ταξινομήσεις συστημάτων πρόωσης
    - i. 1.3.1 Μηχανές Εξωτερικής Καύσης
      1. Ατμομηχανές
      2. Κινητήρες Stirling
      3. Πυρηνικοί κινητήρες
    - ii. 1.3.2 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης
      1. Κινητήρες με άξονες
        - a. Διακοπτόμενοι κινητήρες αξόνων
        - b. Μηχανές συνεχούς καύσης
      2. Κινητήρες αντίδρασης
        - a. Τύποι Athodyd
        - b. Μηχανές τύπου στροβίλων
    - iii. 1.3.3 Άλλες πηγές ενέργειας
  
3. Κεφάλαιο 2
  - a. 2.1 Κατηγορίες καυσίμων
  - b. 2.2 Διεθνής προδιαγραφές
    - i. Καύσιμα (Jet Fuel) πολιτικής αεροπορίας
    - ii. Καύσιμα πολεμικής αεροπορίας
    - iii. Αεροπορικές Βενζίνες (AvGas)
  - c. 2.3 Χαρακτηριστικά και Επιδόσεις
    - i. Περιεχόμενη ενέργεια
      1. Μέθοδοι ελέγχου Κατώτερης Θερμογόνου Δύναμης
    - ii. Χαρακτηριστικά καύσης

- iii. Σταθερότητα
    - 1. Σταθερότητα αποθήκευσης
    - 2. Θερμική σταθερότητα / μέθοδοι ελέγχου
  - iv. Λιπαντικότητα
    - 1. Μέθοδος ελέγχου λιπαντικότητας
  - v. Ρευστότητα
    - 1. Ιξώδες και μέθοδοι ελέγχου
    - 2. Σημείο πήξης και μέθοδοι ελέγχου
  - vi. Πτητικότητα
  - vii. Μη-διαβρωτικότητα
  - viii. Καθαρότητα
  - d. 2.4 Μικροβιακή ανάπτυξη
  - e. 2.5 Ιδιότητες σχετιζόμενες με την ασφάλεια
    - i. Σημείο Ανάφλεξης και μέθοδοι ελέγχου
  - f. 2.6 Ηλεκτρική αγωγιμότητα
  - g. 2.7 Εκπομπές
4. Κεφάλαιο 3
- a. 3.1 Αποθήκευση καυσίμων
  - b. 3.2 Διανομή καυσίμου
5. Κεφάλαιο 4
- a. Μελλοντικές επεκτάσεις – Ιδέα μελλοντικής επέκτασης

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η περιγραφή του συστήματος τροφοδότησης καυσίμων στα αεροσκάφη και η αναλυτική προσέγγιση στον τρόπο λειτουργίας τους. Η χρήση του αυτοματισμού σε ένα πολυσύνθετο σύστημα όπως αυτό είναι αναγκαία καθώς ο έλεγχος που

απαιτείται για τις βασικές λειτουργίες του κινητήρα οφείλει να είναι σχολαστικός και κρίνεται υψίστης σημασίας όχι μόνο για την διάρκεια ζωής του αλλά και για την ασφαλή πλοήγηση του πληρώματος των αεροσκαφών στον εναέριο χώρο. Το βασικό αντικείμενο μελέτης είναι η συμβολή των αυτομάτων συστημάτων ελέγχου τόσο στα υποσυστήματα της κύριας μηχανής του αεροσκάφους όπως για παράδειγμα διάφοροι μετρητές/ελεγκτές ενδείξεων όσο και στον βασικό στόχο του κινητήρα που είναι η εκκίνηση του και η ώση του αεροπλάνου.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### **Ορισμός**

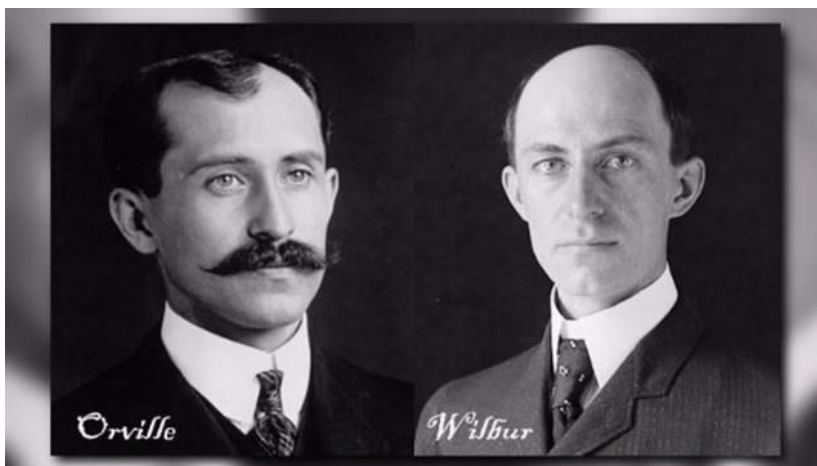
Αεροσκάφος (ή αεροπλάνο) είναι ένα μηχανοκίνητο όχημα με σταθερά πτερύγια το οποίο έχει τη δυνατότητα να ίπταται. Αυτό πρακτικά σημαίνει την ώθηση του οχήματος στην ατμόσφαιρα, αντιθέτως της βαρυτικής έλξης της γης. Αυτή η αντιστάθμιση της βαρύτητας προκύπτει είτε μέσω της στατικής άωσης, είτε μέσω της δυναμικής άωσης μιας αεροτομής ή σε ελάχιστες περιπτώσεις μέσω της καθοδικής ώθησης με κινητήρες πρόωσης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

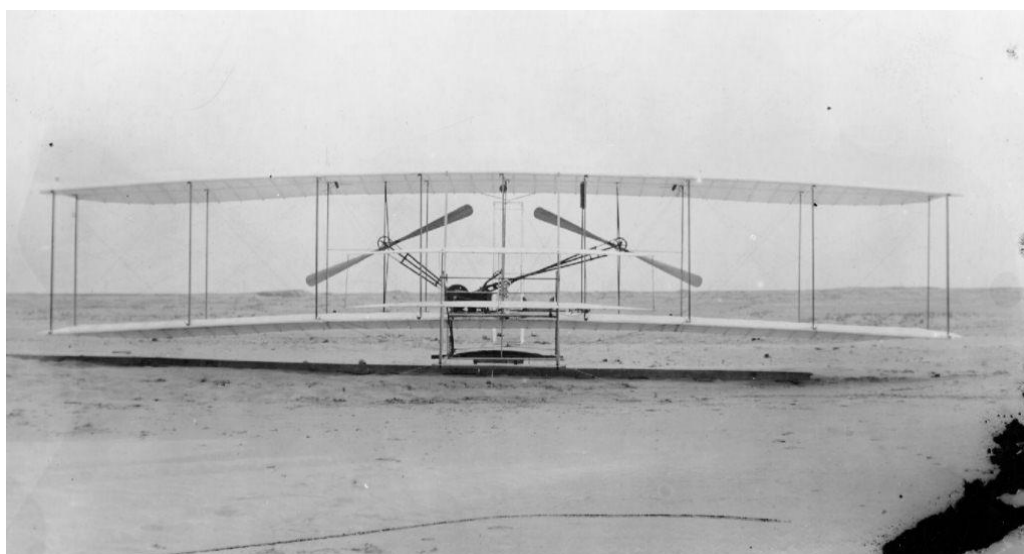
### **1.1 Ιστορική αναδρομή**

Τη σύγχρονη αντίληψη που έχουμε για την πτήση την οφείλουμε σε δύο αδέρφια, εφευρέτες και πιλότοι, από το Ντέιτον, μια πόλη στο νοτιοδυτικό Οχάιο της Αμερικής, ονόματι Όρβιλ και Γουίλμπουρ Ράιτ (Orville & Wilbur Wright) όταν στις 17 Δεκεμβρίου 1903 επιχείρησαν μία ιστορική πτήση στο Κίτι Χόουκ της Βόρειας Καρολίνας. Η πτήση εκτελέστηκε από τους δύο αδερφούς με τέσσερις δοκιμές, διάρκειας 12, 13, 15 και 59 δευτερολέπτων, με την τελευταία να διανύουν απόσταση 259 μέτρων (849,74 πόδια). Και στις τέσσερις πτήσεις μάρτυρες ήταν πέντε ντόπιοι πολίτες. Για πρώτη φορά στην ιστορία, μια βαρύτερη από τον αέρα μηχανή (Wright Flyer I) ανέδειξε δύναμη και διατήρησε πτήση

υπό τον πλήρη έλεγχο του πιλότου της. Αυτή η ημερομηνία, όπως όρισε και το ινστιτούτο Σμιθσόνιαν<sup>1</sup>, σηματοδοτεί την αυγή των ανθρώπινα ελεγχόμενων πτητικών μηχανών. Αυτό λοιπόν, το πρώτο αεροσκάφος τροφοδοτήθηκε από μόνο έναν εμβολοφόρο κινητήρα και δεν είχε ούτε επιβάτες, ούτε άτρακτο ή πηδάλιο.



Εικόνα 1.1 (α) «Όρβιλ και Γουίλμπουρ Ράιτ»



Εικόνα 1.1 (β) «Wright Flyer I»

Είναι εξαιρετικά καταπληκτικό το γεγονός ότι το 2011 πάνω από 2,8 δισεκατομμύρια επιβάτες μεταφέρθηκαν από τις εμπορικές αεροπορικές εταιρείες παγκοσμίως μέσω περισσότερων από 222.500 αεροσκαφών που κινούνται από περισσότερα από 260.000 διαφορετικά είδη κινητήρων. Μερικά από αυτά τα αεροσκάφη μπορούν να μεταφέρουν μέχρι και 800 επιβάτες για περισσότερες από 15 ώρες ιπτάμενου χρόνου, ενώ άλλα μπορούν να

---

<sup>1</sup> Το μεγαλύτερο μουσείο και συγκρότημα εκπαίδευσης και έρευνας στον κόσμο.

πετάξουν σε υπερηχητικές ταχύτητες. Το 2015, ο αριθμός των επιβατών ξεπέρασε τα 3,3 δισεκατομμύρια ευρώ. Τώρα πλέον, οι εμβολοφόροι κινητήρες δεν έχουν την ίδια φήμη που είχαν άλλοτε, αν και εξακολουθούν να κυριαρχούν. Οι μηχανές turbojet ήταν οι πρώτοι κινητήρες τζετ που εφευρέθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1930 και πήραν ένα λογικό μερίδιο στις στρατιωτικές και μη στρατιωτικές πτήσεις για σχεδόν δύο δεκαετίες. Στα τέλη της δεκαετίας του '50 και του '90, στις αρχές της δεκαετίας του 1960, εφευρέθηκαν οι turbofan κινητήρες (ή οι κινητήρες turbojet bypass). Αυτοί είναι και οι σημερινοί επικρατούντες κινητήρες που χρησιμοποιούν τα γρηγορότερα, πιο ήσυχα, καθαρότερα και βαρύτερα αεροσκάφη. Στη δεκαετία του 1950 επίσης δύο άλλοι τύποι κινητήρων, δηλαδή ο στροβιλοκινητήρας και ο στροβιλοφόρος άξονας, εφευρέθηκαν για την τροφοδοσία εμπορικών και στρατιωτικών αεροσκαφών μεταφοράς και ελικοπτέρων.

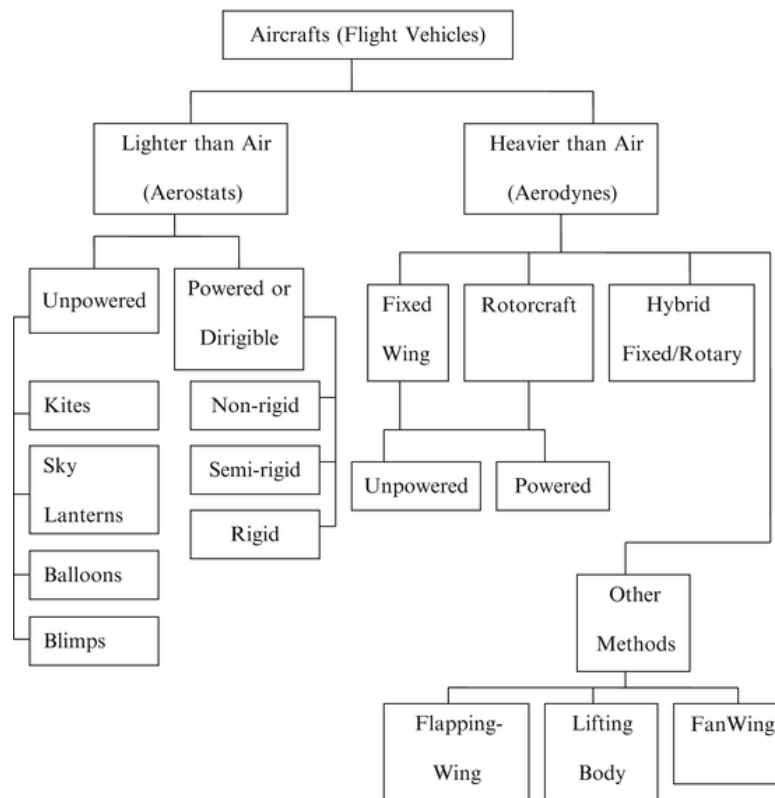
Λόγω της ταχείας εξέλιξης των αεροπορικών μεταφορών καθώς και των στρατιωτικών και μυστικών αποστολών, τα αεροσκάφη όπως και η πρόωση πυραύλων έχουν γίνει ένα ουσιαστικό μέρος της μηχανικής εκπαίδευσης. Πρόωση είναι η συνδυασμένη αεροθερμική επιστήμη για τα αεροσκάφη και τους πυραύλους. Ο κινητήρας τους έχει μακροσκοπικές και μικροσκοπικές κλίμακες. Η μακροσκοπική κλίμακα εστιάζει στην επίδοση και τη λειτουργικότητα των αεροσκαφών και των πυραύλων κατά τη διάρκεια διαφορετικών αποστολών, ενώ η μικροκλίμακα ασχολείται με το σχεδιασμό εξαρτημάτων που περιλαμβάνει και τις δύο περιστρεφόμενες μονάδες (δηλ. τον συμπιεστή, τον ανεμιστήρα, την αντλία και το στρόβιλο) και τις στατικές μονάδες (δηλ. την εισαγωγή, τον καυστήρα, τη μετάκαυση και το ακροφύσιο).

## ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΕΡΟΠΛΑΝΩΝ

### 1.2 Ταξινόμηση Αεροσκαφών

#### Γενικά

Ένα αεροσκάφος πρόκειται στην ουσία για ένα όχημα που πετάει στον ουρανό. Η μέθοδος ανύψωσης τους είναι αυτή που τα ξεχωρίζει σε δύο κατηγορίες. Τα ελαφρύτερα από τον αέρα οχήματα (αερόστατα) και τα βαρύτερα από τον αέρα οχήματα (αεροδυναμικά).



Εικόνα 1.2 «Κατηγορίες αεροσκαφών»

### 1.2.1 Αερόστατα

Τα αερόστατα χρησιμοποιούν την πλευστότητα για να πλέουν στον αέρα με τον ίδιο τρόπο που τα πλοία επιπλέουν στο νερό. Χαρακτηρίζονται από έναν ή περισσότερους μεγάλους αερόσακους ή καλύμματα γεμάτα με ένα σχετικά χαμηλής πυκνότητας αέριο όπως είναι το ήλιο, το υδρογόνο ή ο θερμός αέρας, ο οποίος είναι μικρότερος σε πυκνότητα από τον περιβάλλοντα αέρα. Τα αερόστατα μπορούν να υποδιαιρεθούν περαιτέρω σε τροφοδοτούμενα και μη-τροφοδοτούμενα.

Στα μη-τροφοδοτούμενα ανήκουν ο χαρταετός που εφευρέθηκε στην Κίνα το 500 π.Χ., τα φανάρια του ουρανού (μικρά μπαλόνια με θερμό αέρα, τα μπαλόνια, και τα blimps (μικρά αερόστατα).

Ένας τροφοδοτούμενος αεροσταθμός από την άλλη, που χαρακτηρίζεται κυρίως ως αερόπλοιο ή πηδαλιουχούμενος, μπορεί να κατευθύνει την πορεία του και να διασχίσει τον αέρα χρησιμοποιώντας πηδάλια και έλικες ή κάποια άλλη ώθηση.

Οι κύριοι τύποι αερόπλοιων είναι: εύκαμπτοι, ημι-άκαμπτοι και άκαμπτοι. Οι εύκαμπτοι (μερικές φορές σημειώνονται ως blimps) είναι μικρά αερόστατα χωρίς εσωτερικούς σκελετούς. Τα ημι-άκαμπτα αερόπλοια είναι ελαφρώς μεγαλύτερα και έχουν κάποια μορφή



εσωτερικής υποστήριξης, όπως μία σταθερή καρίνα. Ένα παράδειγμα για ένα άκαμπτο αερόπλοιο με πλήρη σκελετό είναι το Zeppelin. Αν και τα αερόπλοια δεν χρησιμοποιούνται πλέον για τη μεταφορά επιβατών, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς, όπως π.χ. τη διαφήμιση, τα αξιοθέατα, την επιτήρηση και την έρευνα.



Εικόνα 1.2.1 β) «Αερόστατο»



Εικόνα 1.2.1 γ) «Zeppelin»

### 1.2.2 Αεροδυναμικά

Τα αεροδυναμικά ή βαρύτερα από τον αέρα αεροσκάφη αντιπροσωπεύουν σχεδόν όλους τους τύπους αεροσκαφών. Ωθούν τον αέρα ή το καύσιμο σε μια κατεύθυνση, έτσι ώστε να συμβεί μια αντίδραση (από τους νόμους του Νεύτωνα για την κίνηση) που ωθεί το αεροσκάφος προς την άλλη κατεύθυνση. Υπάρχουν τέσσερις ομάδες αεροδυναμικών σκαφών, συγκεκριμένα: Τα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας, τα αεροσκάφη με ρότορα, τα αεροσκάφη με σταθερά / περιστροφικά πτερύγια και μια τέταρτη ομάδα βασισμένα σε άλλες μεθόδους για ανέλκυση.

Στα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας ,που γενικά δηλώνονται ως αεροπλάνα, η αεροδυναμική τους ανύψωση παράγεται από την πρόσθια κίνηση των φτερών ενώ στα ελικοφόρα η ανύψωση επιτυγχάνεται με την περιστροφή φτερωτών.

Όσον αφορά τα αεροσκάφη με σταθερά / περιστροφικά πτερύγια, ή αλλιώς υβριδικά, μπορούν να διακριθούν περαιτέρω σε τροφοδοτούμενα ή μη τροφοδοτούμενα ,όπως τα ανεμοπλάνα. Το ίδιο ισχύει για τα ελικοφόρα. Μερικά είδη από αυτά είναι τα γυροκόπτερα και τα κολεόπτερα.

Η τέταρτη ομάδα μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρία μέλη: Στα σώματα ανύψωσης, στα ορνιθόπτερα και στα FanWing όπου πρόκειται για μια διάταξη αεροσκάφους στην οποία χρησιμοποιείται ένας ανεμιστήρας οριζόντιας διατομής σε στενή σχέση με μια σταθερή πτέρυγα. Ο ανεμιστήρας εξαναγκάζει τη ροή του αέρα πάνω από την σταθερή επιφάνεια ώστε να παρέχει ώθηση ανύψωσης και προώθησης.

### 1.3 Ταξινομήσεις συστημάτων πρόωσης

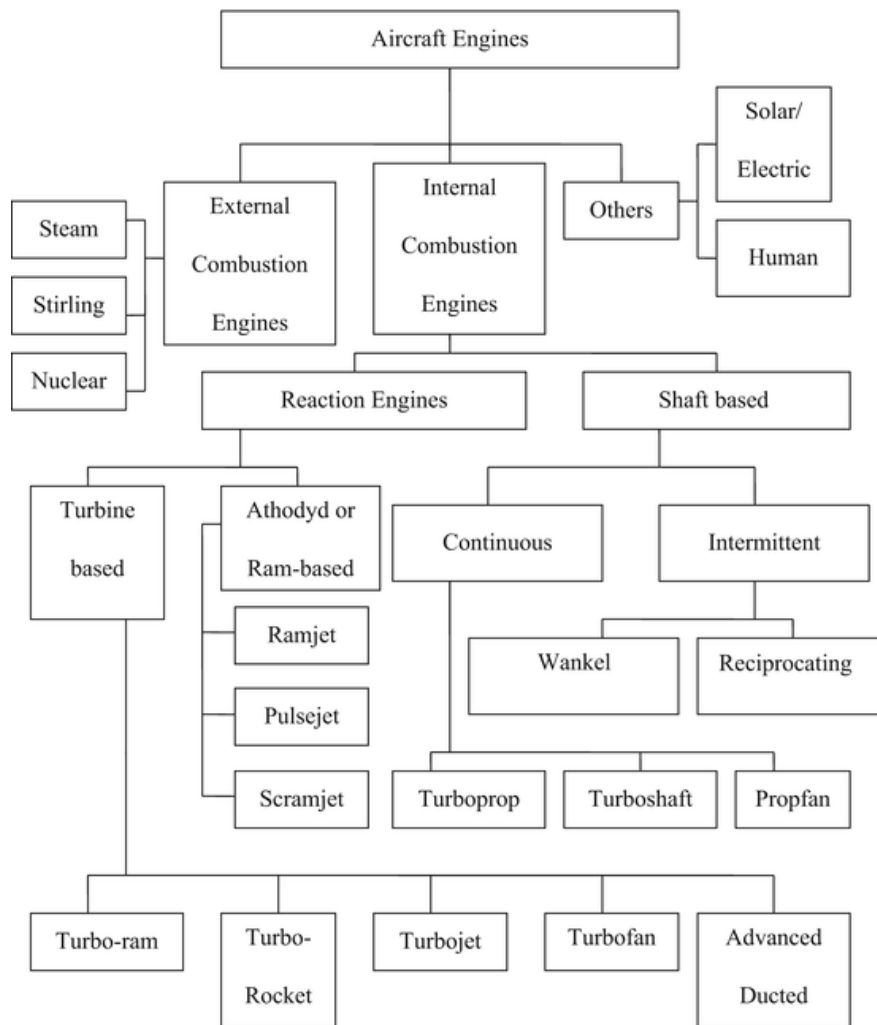
Ένας κινητήρας αεροσκάφους (ή αερομηχανή) είναι ένα στοιχείο του συστήματος πρόωσης που παράγει μηχανική ισχύ. Πρόκειται για τη βασική ενότητα ή την καρδιά της αεροπλοήγησης. Οι κινητήρες αεροσκαφών είναι σχεδόν πάντα είτε ελαφροί εμβολοφόροι κινητήρες είτε αεροστρόβιλοι, με εξαίρεση τα μικρά πολυκινητήρια UAV που είναι σχεδόν πάντα ηλεκτρικά αεροσκάφη.

Από την πρώτη κιάλας επιτυχημένη πτήση, η εξέλιξη τόσο των αεροκινητήρων όσο και της δομής των αεροσκαφών είναι ταυτόχρονη.

Οι κινητήρες πρέπει:

- Να είναι αξιόπιστοι, καθώς η απώλεια ισχύος σε ένα αεροπλάνο, είναι ένα πολύ μεγαλύτερο πρόβλημα σε σύγκριση με την απώλεια ισχύος σε ένα αυτοκίνητο.
- Να λειτουργούν σε ακραία θερμοκρασία, πίεση και ταχύτητα.
- Να είναι ελαφριοί καθώς οι βαριοί κινητήρες αυξάνουν το κενό βάρος του αεροσκάφους και μειώνουν το ωφέλιμο φορτίο του.
- Να είναι ισχυροί, για να ξεπεράσουν το βάρος και τη δύναμη του αεροσκάφους.
- Να έχουν αεροδυναμική σχεδίαση για να ελαχιστοποιήσουν την αντίσταση του αέρα.
- Να δέχονται επιδιόρθωση για να μειωθεί το κόστος αντικατάστασης. Οι μικρές επισκευές θα πρέπει να είναι σχετικά φτηνές και δυνατές να γίνουν εκτός των εξειδικευμένων καταστημάτων.
- Να καταναλώνουν καύσιμο για να δώσουν στο αεροσκάφος την εμβέλεια και την ευελιξία που απαιτεί ο σχεδιασμός τους.
- Να είναι ικανοί να λειτουργούν σε επαρκές ύψος για το αεροσκάφος.
- Να παράγουν ελάχιστο θόρυβο.
- Να δημιουργούν όσο το δυνατόν λιγότερες εκπομπές αερίων.

Οι κινητήρες των αεροσκαφών μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την ισχύ εισόδου τους σε τρεις κύριες κατηγορίες. Τους κινητήρες εξωτερικής καύσης, τους κινητήρες εσωτερικής καύσης και σε άλλες πηγές ενέργειας.



Εικόνα 1.3 «Ταξινόμηση κινητήρων αεροσκαφών»

### 1.3.1 Μηχανές Εξωτερικής Καύσης

Οι μηχανές εξωτερικής καύσης ανάγονται σε κινητήρες ατμού, ανάδευσης και πυρηνικούς. Σε αυτούς τους τύπους μηχανών, όλη η μεταφορά θερμότητας γίνεται μέσω του τοιχώματος του κινητήρα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης, όπου η είσοδος της θερμότητας πραγματοποιείται με την καύση του καυσίμου μέσα στο σώμα του υγρού εργασίας. Στη συνέχεια θα δοθεί μια πιο λεπτομερής προσέγγιση στον τρόπο λειτουργίας αυτών των τύπων μηχανών.

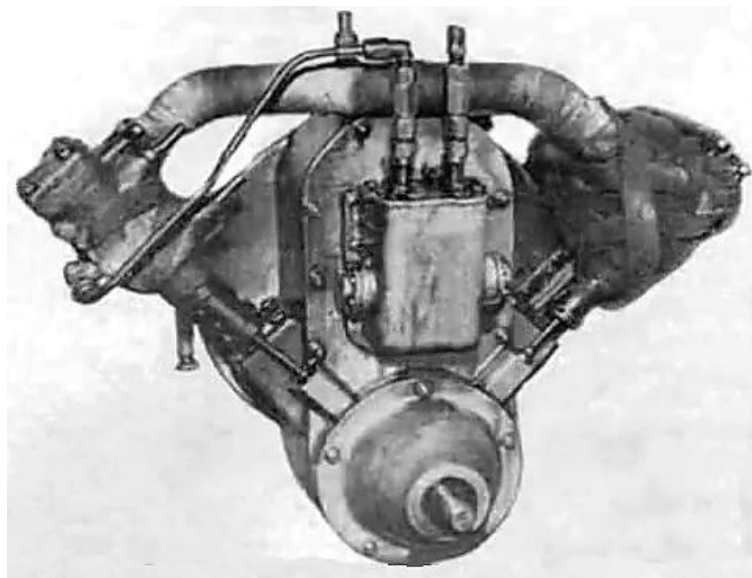
#### 1.3.1.1 Ατμομηχανές

Τα αεροσκάφη ατμού είναι αεροσκάφη που κινούνται με ατμομηχανές. Δεν ήταν συνηθισμένες συσκευές διότι ήταν δύσκολο να παραχθεί μια μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας με αρκετά υψηλό επίπεδο αναλογίας ισχύος προς βάρος για να είναι πρακτική.

Το 1899, ο Gustave Whitehead κατασκεύασε και πέταξε ένα αεροπλάνο με κινητήρα ατμού στο Πίτσμπουργκ της Πενσυλβάνιας, και αργότερα στο Χάρτφορντ του Κοννέκτικατ. Παρόλο που αυτή η πτήση ποτέ δεν επαληθεύτηκε ικανοποιητικά, δεν υπάρχουν κάποιες φωτογραφίες, ειδήσεις, ιστορίες ή άλλα αρχεία από το 1899 για να επιβεβαιωθεί.

Το 1902, ο Louis Gagnon πέταξε ένα ελικοπτερο ατμού στο Rossland της Βρετανικής Κολομβίας, που ονομάζεται "Flying Steam Shovel". Προβλήματα στον έλεγχο όμως προκάλεσαν τη συντριβή του ελικοπτερού.

Στις 12 Απριλίου 1933, το αεροπλάνο Travel Air 2000 πραγματοποίησε την πρώτη πτήση στον κόσμο με κινητήρα ατμού υπό την εξουσία πιλότου πάνω από το Όκλαντ της Καλιφόρνιας. Οι αδελφοί Μπέσλερ (George και William) πέταξαν ένα πρωτότυπο ατμοκίνητο διπλάνο, βασισμένο στο Travel Air 2000, αρκετές φορές (απογείωση, περιστροφή και προσγείωση, για να δείξουν την ευκολία ελέγχου) στο Αεροδρόμιο του Όκλαντ. Το αεροπλάνο παρέμεινε ψηλά για 5 λεπτά κάθε φορά. Τροφοδοτούταν από έναν δικύλινδρο, παλινδρομικό κινητήρα διπλής ενέργειας τύπου V 90 μοιρών, 150 hp (110 kW) και ζύγιζε περίπου 227 κιλά.



Εικόνα 1.3.1.1 «Η ατμομηχανή δύο κυλίνδρων των Μπέσλερ»

Ο ατμός παράγεται από το νερό καίγοντας φθινό αργό πετρέλαιο. Στη συνέχεια σφραγισμένοι συμπυκνωτές επιστρέφουν τον ατμό από τους κυλίνδρους στον λέβητα με απώλεια μόνο 1%. Η συνεχής πίεση στους λέβητες διατηρείται με ηλεκτρικούς μετρητές, οι

οποίοι αναφλέγουν αυτόματα τους καυστήρες όταν αρχίσει να πέφτει η πίεση. Η πίεση απογείωσης μπορεί να παραχθεί σε 1 λεπτό.

Το μόνο περίεργο χαρακτηριστικό της πτήσης ήταν η σχετική σιωπή της. Τα πλεονεκτήματα αυτού του κινητήρα ήταν: α) η εξάλειψη του ηχητικού θορύβου και των καταστροφικών κραδασμών, β) μεγαλύτερη απόδοση σε χαμηλές στροφές κινητήρα και σε μεγάλα υψόμετρα όπου οι χαμηλότερες θερμοκρασίες αέρα υποβοηθούσαν τη συμπίκνωση, γ) μειωμένη πιθανότητα βλάβης του κινητήρα και τέλος δ) μειωμένη συντήρηση και κόστος καυσίμων.

Ωστόσο, ο κινητήρας με παλινδρομική κίνηση ατμού κατέληξε να είναι ακατάλληλος για να καλύψει τις ανάγκες των μεγάλων αεροσκαφών καθώς στις μέρες μας ούτε ένα αεροπλάνο πλέον δεν χρησιμοποιεί κινητήρα ατμού.

### **1.3.1.2 Κινητήρες Stirling**

Ο μηχανισμός ανάδευσης είναι μια μηχανή θερμότητας που έχει είτε αέρα είτε κάποιο άλλο αέριο ως υγρό εργασίας. Λειτουργεί με κυκλική συμπίεση και διαστολή του λειτουργικού ρευστού, σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας έτσι ώστε να υπάρχει καθαρή μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική εργασία.

Οι μηχανές Stirling έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως: α) έχουν πυκνότητα υψηλής ισχύος και χαμηλό κόστος, β) είναι πιο ήσυχες, γ) είναι λιγότερο ρυπογόνες, δ) αυξάνουν την απόδοση σε μεγάλο υψόμετρο λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών περιβάλλοντος, ε) είναι πιο αξιόπιστες λόγω λιγότερων εξαρτημάτων και απουσία συστήματος ανάφλεξης, στ) παράγουν πολύ λιγότερες δονήσεις (η διάρκεια ζωής των αεροσκαφών αυξάνεται σημαντικά) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αν είναι επιθυμητό, ασφαλέστερα και λιγότερο εκρηκτικά καύσιμα.

Ωστόσο, έχουν πυκνότητα χαμηλής ισχύος σε σύγκριση με τους κοινά χρησιμοποιημένους εμβολοφόρους κινητήρες και αεριοστρόβιλους. Αυτό το ζήτημα τους καθιστούσε κρίσιμους για χρήση ως κινητήρες αεροσκαφών.

### **1.3.1.3 Πυρηνικοί κινητήρες**

Ένα πυρηνικό αεροσκάφος είναι ένα αεροσκάφος που τροφοδοτείται με πυρηνική ενέργεια.

Η πρόθεση ήταν να κατασκευαστεί ένας κινητήρας τζετ που θα θερμαίνει συμπιεσμένο αέρα με θερμότητα που θα προκύπτει από τη σχάση των ατόμων του πυρήνα, αντί της θερμότητας από το φλεγόμενο καύσιμο.

Η έρευνα σε αυτό διεξάχθηκε κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου από τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Σοβιετική Ένωση όπου επέτρεπαν υποθετικά σε μια χώρα να κρατάει τα πυρηνικά βομβαρδιστικά αεροσκάφη στον αέρα για εξαιρετικά μεγάλες χρονικές περιόδους, μια χρήσιμη τακτική για την αναχαίτιση τους.

Ωστόσο, καμία χώρα δεν δημιούργησε πυρηνικά αεροσκάφη σε μαζικές παραγωγές. Ένα πρόβλημα σχεδίασης, που ποτέ δεν λύθηκε επαρκώς, ήταν η ανάγκη για βαριά θωράκιση ώστε να προστατευτεί το πλήρωμα από το σύνδρομο οξείας ακτινοβολίας. Επίσης, κάτι άλλο που λήφθηκε υπόψη, ήταν η οικολογική επίπτωση μιας πιθανής σύγκρουσης κατά τη διάρκεια των αποστολών. Εάν ένα από αυτά τα αεροσκάφη επρόκειτο να συντριφθεί σε μια κατοικημένη περιοχή, η επίδραση της ακτινοβολίας θα μπορούσε να ήταν καταστροφική.

### **1.3.2 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης**

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν δύο ευρείες κατηγορίες. Τους κινητήρες με άξονες και τους κινητήρες αντίδρασης.

Οι κινητήρες με άξονες είναι είτε διακοπτόμενης είτε συνεχούς καύσης. Ειδικότερα, οι μηχανές διακοπτόμενης καύσης μπορεί να είναι είτε παλινδρομικού τύπου, είτε τύπου Wankel (περιστροφικού σχεδιασμού).

Οι μηχανές συνεχούς καύσης, αναγνωρίζονται ως κινητήρες στροβιλοφόρου άξονα και κατηγοριοποιούνται στη συνέχεια ως turboprop, turboshaft και propfan.

Η άλλη κύρια ομάδα εσωτερικής καύσης είναι οι κινητήρες αντίδρασης. Αυτή η ομάδα κινητήρων είναι είτε Athodyd (Aero THERmODYnamic Duct) είτε τύπου στροβίλων. Η ομάδα Athodyd περιλαμβάνει τους ramjet, pulsejet και scramjet κινητήρες, ενώ οι στροβιλοκινητήρες περιλαμβάνουν τους turbojet, turbofan, turbo-ramjet, turbo πυραύλους και προηγμένους κινητήρες ανεμιστήρων.

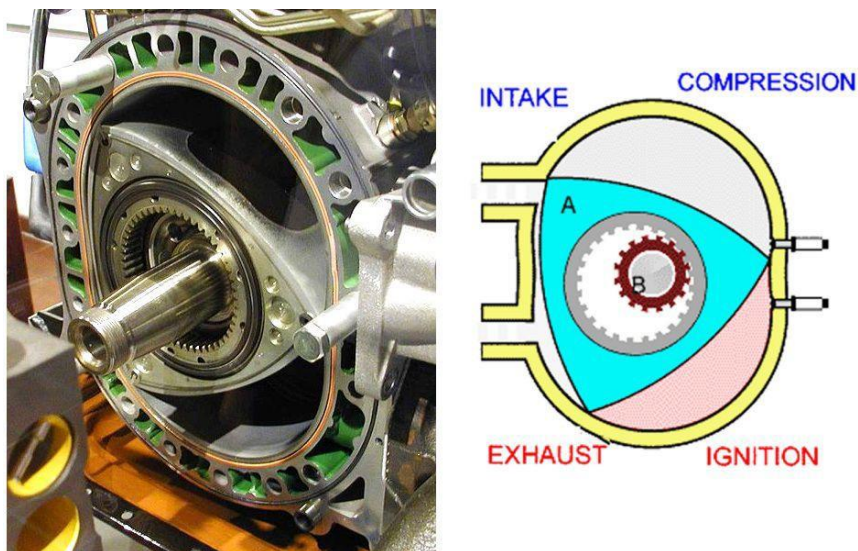
#### **1.3.2.1 Κινητήρες με άξονες**

##### **1.3.2.1.1 Διακοπτόμενοι κινητήρες αξόνων**

## Κινητήρες Wankel

Ο κινητήρας Wankel που εφευρέθηκε από τον Γερμανό μηχανικό Felix Wankel, το 1950, είναι ένας τύπος κινητήρα εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιεί ένα περιστρεφόμενο σχεδιασμό για τη μετατροπή πίεσης σε μια περιστρεφόμενη κίνηση. Ο τεσσάρων χρόνων κύκλος του, πραγματοποιείται σε ένα χώρο στο εσωτερικό ενός επιτροχοειδούς περιβλήματος και ενός στροφείου που είναι παρόμοιο με το σχήμα ενός Reuleaux τριγώνου αλλά με πλευρές που είναι κάπως κολακευτικές. Αυτό το σχέδιο παρέχει ομαλή απόδοση ισχύος υψηλών στροφών από ένα συμπαγές μέγεθος.

Το πρώτο αεροσκάφος με περιστροφικό κινητήρα Wankel ήταν το πειραματικό Lockheed Q-Star το 1968/1969. Τροφοδοτήθηκε από περιστροφικό κινητήρα 185 hp Curtiss-Wright RC2-60 Wankel. Το συμπαγές μέγεθος και η αθόρυβη λειτουργία της μηχανής Wankel ενθάρρυνε τη χρήση του σε UAVs. Οι μηχανές Wankel επίσης, γίνονται όλο και πιο δημοφιλή σε ερασιτεχνικά φτιαγμένα πειραματικά αεροσκάφη ώντας πολύ φθηνότεροι σε σύγκριση με τις πιστοποιημένες μηχανές αεροσκαφών, παρέχοντας κινητήρες που κυμαίνονται από 100 έως 300 ίππους (220 kW). Οι Wankel κινητήρες επειδή λειτουργούν σε σχετικά υψηλή ταχύτητα περιστροφής με σχετικά χαμηλή ροπή, τα ελικοφόρα αεροπλάνα θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν μια μονάδα μείωσης ταχύτητας της έλικας τους (PSRU) για να κρατηθούν οι συμβατικοί προωστήρες εντός του εύρους της σωστής ταχύτητας.

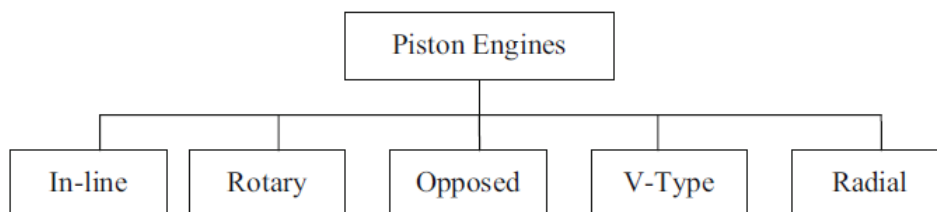


Εικόνα 1.3.2.1.1 (α) «Κινητήρας Wankel»

## Κινητήρες εμβόλων



Μια μηχανή εμβόλων, επίσης γνωστή ως ένας παλινδρομικός εμβολοφόρος κινητήρας, είναι μια θερμική μηχανή που χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα παλινδρομικά έμβολα για να μετατρέψει την πίεση σε περιστρεφόμενη κίνηση. Οι μηχανές εμβόλων μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε ομάδες, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3.2.1.1 (β). Αυτοί είναι: οι σε σειρά, οι περιστροφικοί, οι τύπου V, οι ακτινικοί, και οι αντίθετοι. Αυτές οι μηχανές είναι σε συνδυασμό με μία έλικα ώστε να προμηθεύσουν την προς τα εμπρός πτήση των αεροπλάνων.



Εικόνα 1.3.2.1.1 (β) «Ταξινόμηση εμβολοφόρων μηχανών»

### **Σε σειρά**

Ένας κινητήρας όπως αυτός έχει κυλίνδρους που παρατάσσονται σε μια σειρά. Έχει συνήθως ζυγό αριθμό κυλίνδρων, αλλά υπάρχουν περιπτώσεις κινητήρων τριών και πέντε κυλίνδρων. Οι κινητήρες σε σειρά ήταν συνηθισμένοι σε πρώιμα αεροσκάφη, συμπεριλαμβανομένου του Wright Flyer (12 ίππων). Μπορούν να είναι και αερόψυκτοι αλλά κυρίως είναι υδρόψυκτοι.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτού του κινητήρα είναι ότι επιτρέπει στο αεροσκάφος να σχεδιασθεί με στενή μετωπική επιφάνεια για να καταφέρει να αντιμετωπίσει τη χαμηλή οπισθέλκουσα. Εάν ο στροφαλοφόρος του κινητήρα βρίσκεται πάνω από τους κυλίνδρους, ονομάζεται ανεστραμμένος κινητήρας σε σειρά, και επιτρέπει τον έλικα να τοποθετηθεί ψηλά για να κρατήσει καλή απόσταση από το έδαφος ακόμα και αν ο εξοπλισμό προσγείωσης του αεροσκάφους είναι χαμηλός. Τα μειονεκτήματα δε, περιλαμβάνουν μια χαμηλή αναλογία ισχύος / βάρους επειδή ο στροφαλοθάλαμος και ο στροφαλοφόρος άξονας είναι μακρύς και επομένως βαρύς. Έτσι, αυτός ο τύπος κινητήρα απορρίφθηκε, με αποτέλεσμα να αποτελέσει σπανιότητα στη σύγχρονη αεροπορία.

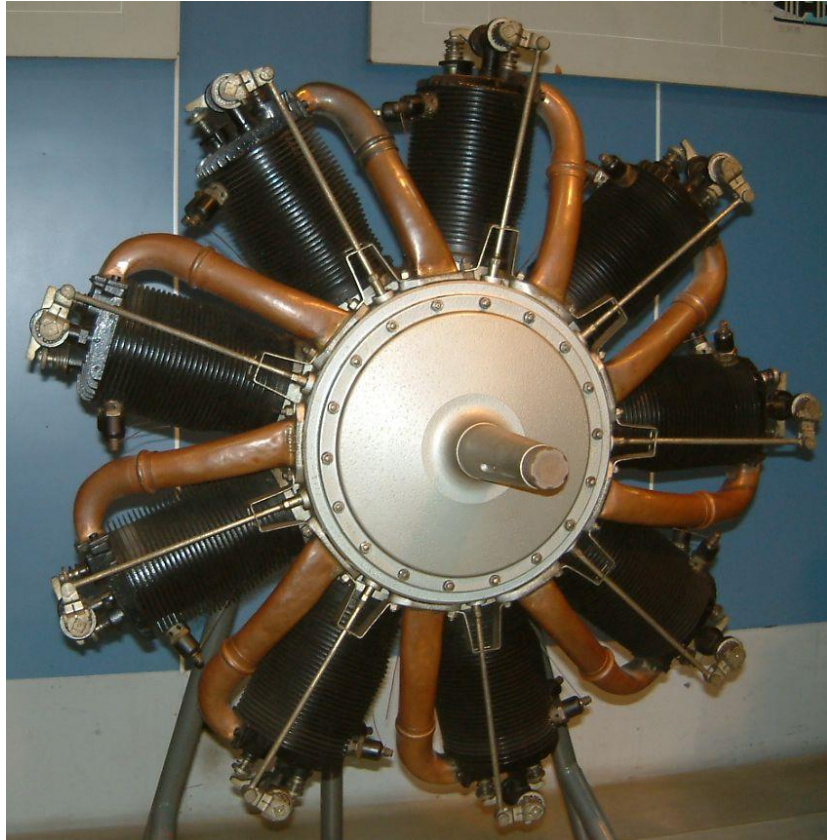


Εικόνα 1.3.2.1.1 (γ) «Κινητήρας σε σειρά»

### Περιστροφικός κινητήρας

Ο περιστροφικός κινητήρας χρησιμοποιήθηκε εκτενώς στον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, καθώς είναι ελαφρύς, ισχυρός, φθηνός και εύκολος να παραχθεί σε μεγάλες ποσότητες. Οι περιστροφικοί κινητήρες έχουν όλους τους κυλίνδρους τους μέσα σε έναν κύκλο γύρω από τον στροφαλοθάλαμο σαν μια ακτινική μηχανή, με τη διαφορά ότι ο στροφαλοφόρος άξονας είναι βιδωμένος στο σκελετό του αεροσκάφους και ότι η έλικα βιδώνεται στη θήκη του κινητήρα. Ολόκληρος ο κινητήρας περιστρέφεται με την έλικα, παρέχοντας άφθονη ροή αέρα για ψύξη ανεξάρτητα από την ταχύτητα του αεροσκάφους. Μερικοί από αυτούς τους κινητήρες είχαν δίχρονο σχεδιασμό, δίνοντας τους μια ειδικά υψηλή σχέση ισχύος και λόγο ισχύος/βάρους.

Δυστυχώς, οι σοβαρές γυροσκοπικές επιδράσεις από τη βαριά περιστρεφόμενη μηχανή έκαναν το αεροσκάφος να είναι πολύ δύσκολο να πετάξει. Οι μηχανές κατανάλωναν επίσης μεγάλες ποσότητες καστορέλαιου, και το εξάπλωναν σε όλη την άτρακτο δημιουργώντας καπνούς που έφερναν ναυτία στους πιλότους.



Εικόνα 1.3.2.1.1 (δ) «Περιστροφικός κινητήρας»

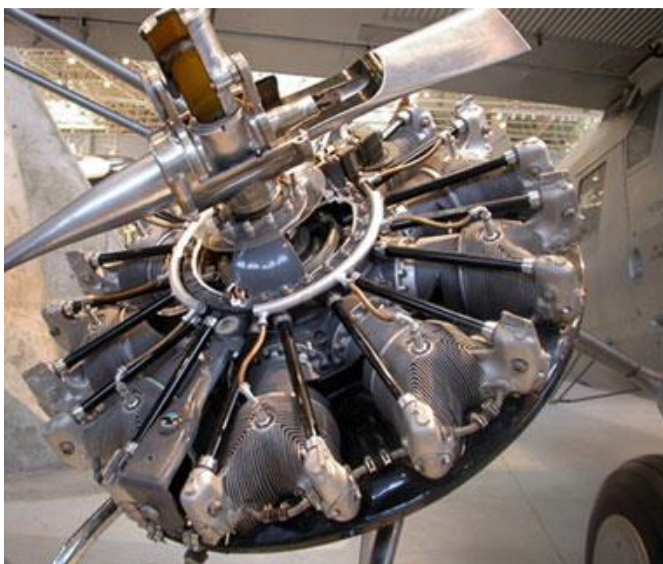
### Ακτινικός κινητήρας

Ο ακτινικός κινητήρας έχει μία ή περισσότερες σειρές κυλίνδρων διατεταγμένους σε έναν κύκλο γύρω από ένα κεντρικά τοποθετημένο στροφαλοθάλαμο. Κάθε σειρά πρέπει να έχει έναν περιττό αριθμό κυλίνδρων προκειμένου η λειτουργία του να είναι ομαλή. Ένας ακτινικός κινητήρας έχει μόνο ένα στρόφαλο ανά σειρά κυλίνδρων και ένα σχετικά μικρό στροφαλοθάλαμο, με αποτέλεσμα την ευνοϊκή αναλογία ισχύος / βάρους. Επειδή η διάταξη του κυλίνδρου εκθέτει ένα μεγάλο ποσό θερμότητας, από τις επιφάνειες του κινητήρα που δέχονται ακτινοβολία, στον αέρα και τείνει να ακυρώνει τις παλινδρομικές δυνάμεις, οι ακτίνες τείνουν να ψύχονται ομοιόμορφα και να λειτουργούν ομαλά.

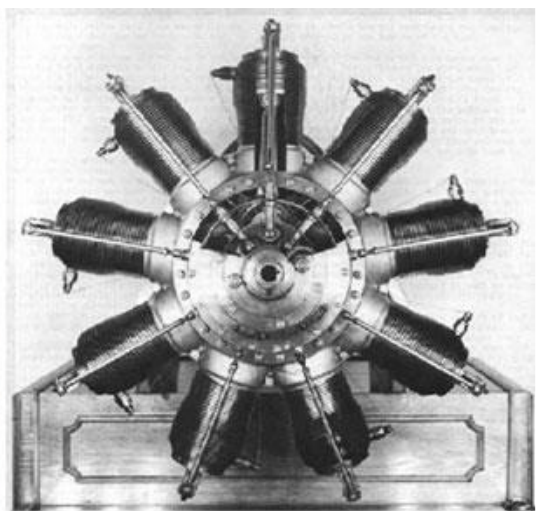
Ο μηχανή WASP (σφήκα), που ολοκληρώθηκε την παραμονή των Χριστουγέννων το 1925, ήταν ένας ακτινικός εμβολοφόρος κινητήρας με μετατόπιση 1340 κυβικών ιντσών και κατασκευάστηκε από την εταιρεία Pratt & Whitney (P & W Company). Οι μηχανές WASP κυριάρχησαν στα πολεμικά αεροσκάφη του ναυτικού και του στρατού, καθώς και στις εμπορικές μεταφορές. Τροφοδότησε περίπου 100 διαφορετικά πειραματικά αλλά και

αεροσκάφη παραγωγής, όπως το Boeing 40A, τα Boeing F2B-1 μαχητικά πλοίων και τα Ford Tri-Motor. Μέσα στις αρχές της δεκαετίας του 1930, η εταιρία P & W εργάστηκε σε ακτινικές μηχανές διπλής σειράς. Η δίδυμη μηχανή WASP τους (1830 κυβικά ίντσες και 1350 ίππους) εκτελούνταν υπέροχα. Συνολικά 173.618 κινητήρες κατασκευάστηκαν που τροφοδοτούσαν μεγάλο αριθμό μαχητικών, βομβαρδιστικών (τα οποία συμμετείχαν αργότερα στον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο) και μεταφορικών αεροσκαφών. Η δίδυμη μηχανή WASP ακολουθήθηκε από τη διπλή WASP, η οποία ήταν ακτινική 18 κυλίνδρων διπλής σειράς με 2800 κυβικά εκατοστά μετατόπισης. Οι κινητήρες P & W που παράχθηκαν από την WASP έως τη διπλή WASP, ήταν περισσότεροι από 363.000. Ο WASP major ήταν ο τελευταίος κινητήρας εμβόλων της P & W. Ήταν 28 κυλίνδρων, με 4360 κυβικά εκατοστά μετατόπισης και η ισχύς του έφτανε σε ιπποδύναμη έως 4300 hp. Οι κύλινδροι του ήταν τέσσερις σε σειρές και ήταν διατεταγμένοι σε μορφή σπείρας για την καλύτερη ψύξη τους. Η κύρια εφαρμογή του ήταν σε βαριές μεταφορές και στα βομβαρδιστικά. Παραδείγματα αυτής της μηχανής βρίσκουμε στον γίγαντα της Boeing δύο καταστρωμάτων Strato-cruiser 377 και στο Air Force B-50. Και τα δύο τροφοδοτήθηκαν από τέσσερις WASP major κινητήρες.

Ο BMW 801 ήταν ο πρώτος γερμανικός διπλής σειράς ακτινικός κινητήρας που κατασκευάστηκε το 1940 / 1941. Η εικόνα 1.3.2.1.1 (ε) απεικονίζει τόσο τους περιστρεφόμενους όσο και τους ακτινικούς εμβολοφόρους κινητήρες.



**P & W R-985 Wasp Jr  
Radial Engine**

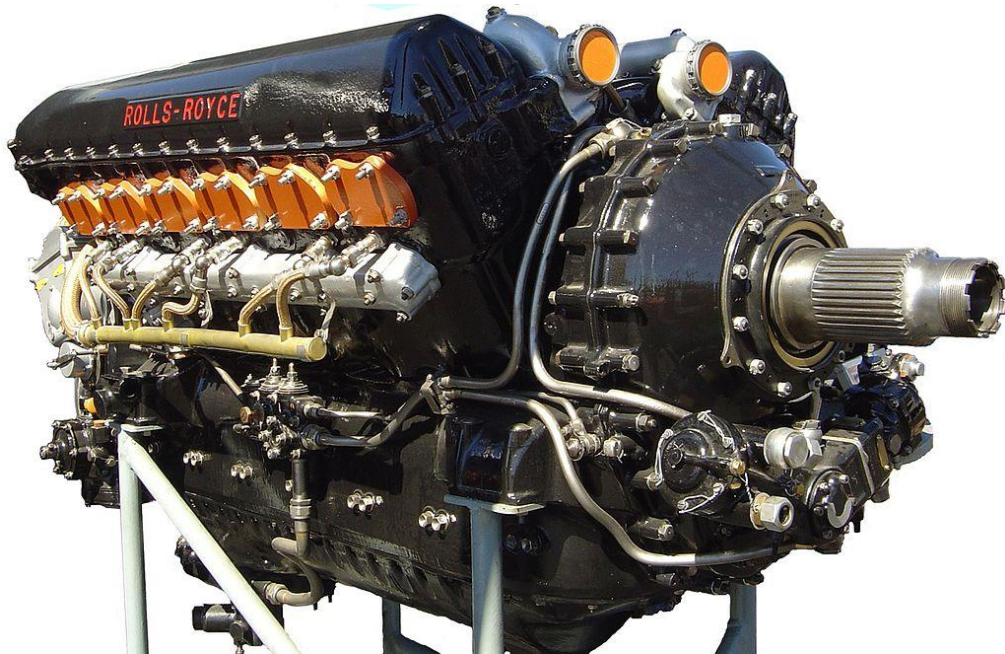


**100 hp Gnome Rotary  
Engine**

Εικόνα 1.3.2.1.1 (ε) «Ακτινικός κινητήρας WASP και περιστροφικός κινητήρας»

## Τύπου V

Οι κύλινδροι, σε έναν κινητήρα τύπου V, εντοπίζονται σε δύο υποδοχές διατεταγμένες σε σειρά και έχουν κλίση 30 έως 60 μοίρες ο ένας από τον άλλο. Η πλειοψηφία των κινητήρων V ψύχεται με νερό. Ίσως το πιο το περίφημο παράδειγμα είναι ο θρυλικός κινητήρας Rolls Royce Merlin, ένας κινητήρας 27 λίτρων (1649 κυβικών ιντσών) κινητήρας 60 μοιρών V12 που χρησιμοποιήθηκε μεταξύ άλλων στα αεροσκάφη Spitfire που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη μάχη της Βρετανίας στον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο.



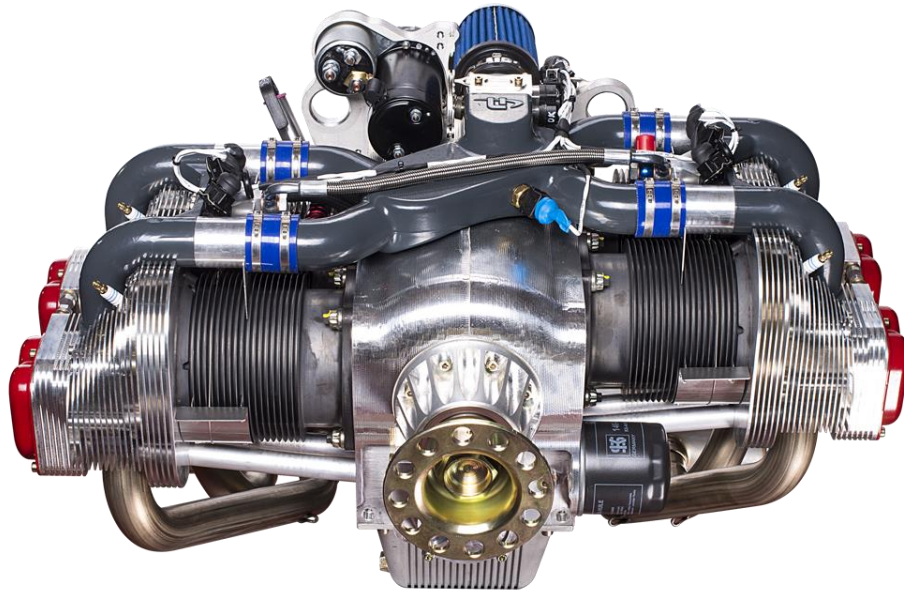
Εικόνα 1.3.2.1.1 (στ) «Ο κινητήρας Rolls Royce Merlin»

## Αντίθετου Τύπου

Ένας κινητήρας αντίθετου τύπου έχει δύο υποδοχές κυλίνδρων σε αντίθετες πλευρές που βρίσκονται σε ένα κεντρικό στροφαλοθάλαμο. Ας πάρουμε για παράδειγμα τον κινητήρα ULPower UL260i. Μπορεί να ψυχθεί είτε με αέρα είτε με υγρό, αλλά κυριαρχούν οι αερόψυκτες εκδόσεις. Αυτού του τύπου κινητήρες είναι τοποθετημένοι στα αεροπλάνα με τον στροφαλοφόρο οριζόντια, αλλά μπορεί να τοποθετηθεί και κατακόρυφα, πράγμα που

συμβαίνει στα ελικόπτερα. Λόγω της διάταξης του κυλίνδρου, οι παλινδρομικές δυνάμεις τείνουν να ακυρώνονται, με αποτέλεσμα την ομαλή λειτουργία του κινητήρα.

Οι αντίθετου τύπου, αερόψυκτοι, τεσσάρων και οι έξι κυλίνδρων εμβολοφόροι κινητήρες είναι μακράν οι πιο συνηθισμένοι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε μικρά αεροσκάφη γενικής αεροπορίας, όπου απαιτούνται μέχρι 400 ίπποι (300 kW) ανά κινητήρα. Τα αεροσκάφη που απαιτούν περισσότερο από 400 ίππους (300 kW) ανά κινητήρα τείνουν να τροφοδοτούνται από κινητήρες στροβίλων.



Εικόνα 1.3.2.1.1 (ζ) «Κινητήρας ULPower UL260i»

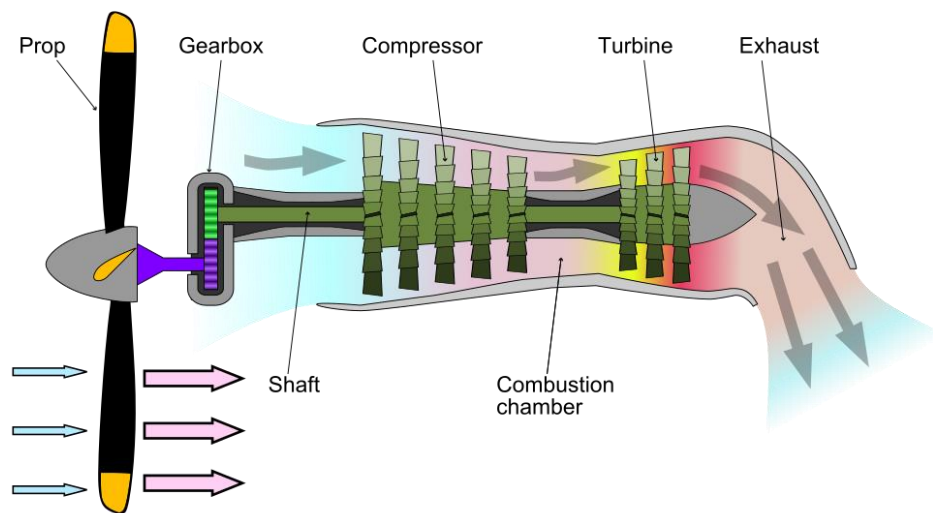
#### 1.3.2.1.2 Μηχανές συνεχούς καύσης

Οι μηχανές συνεχούς καύσης είναι κυρίως κινητήρες στροβίλων. Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει τα turboprop, turboshaft και propfan. Χαρακτηρίζονται από περιστρεφόμενα στοιχεία γνωστά ως στροβιλομηχανές, και λειτουργούν ως υπο-ενότητες. Αυτές οι μονάδες μπορεί να είναι ανεμιστήρες, συμπιεστές, και στρόβιλος (-οι), καθώς και έλικες / propfans.

##### **Turboprop**

Οι κινητήρες turboprop ,ή αλλιώς στροβιλοκινητήρες, τροφοδοτούν τόσο τα πολιτικά όσο και τα στρατιωτικά αεροσκάφη με ταχύτητες μεταφοράς λιγότερες από 450 mph (700 km). Αποτελούνται από μια γεννήτρια αερίων, δηλαδή εμπεριέχουν τον συμπιεστή, τον θάλαμο

καύσης και το στρόβιλο) καθώς και μια έλικα. Ο στρόβιλος οδηγεί και τον συμπιεστή και την έλικα. Επειδή οι αεροστρόβιλοι λειτουργούν βέλτιστα σε υψηλές ταχύτητες, ο στροβιλοκινητήρας διαθέτει κιβώτιο ταχυτήτων για να μειώσει την ταχύτητα του άξονα έτσι ώστε οι άκρες της έλικας να μη πιάσουν υπερηχητικές ταχύτητες. Μια εναλλακτική για τους ανωτέρω στροβιλοκινητήρες, είναι η πρόσθεση μιας δεύτερης τουρμπίνας η οποία οδηγεί μόνο την έλικα είτε απευθείας είτε μέσω κιβωτίου ταχυτήτων. Ο πρώτος στρόβιλος σε αυτή την περίπτωση οδηγεί μόνο τον συμπιεστή. Έτσι είναι ελεύθερος να περιστρέφεται με τη δική του καλύτερη ταχύτητα. Ο άλλος στρόβιλος αναγνωρίζεται ως στροβιλοσυμπιεστής. Οι πρόσφατοι στροβιλοκινητήρες δημιουργούν δύναμη ώθησεως τόσο από την έλικα όσο και από το ρεύμα εκτόξευσης καυσαερίων. Ένα ποσοστό 10-20% της ώθησης δημιουργείται από το ρεύμα εκτόξευσης. Ως εκ τούτου, ορισμένοι άνθρωποι ταξινομούν τον στροβιλοκινητήρα ως μηχανή jet ή κινητήρα αντίδρασης.



Εικόνα 1.3.2.1.2 (α) «Σχεδιάγραμμα λειτουργίας στροβιλοκινητήρα»

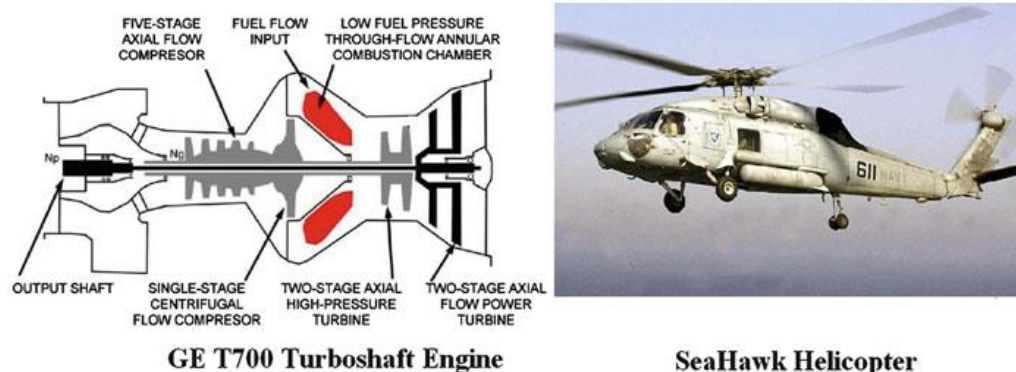
Στο παραπάνω σχήμα είναι μία έλικα συνδεδεμένη στον άξονα συμπιεστή-στροβίλου.

Παραδείγματα στροβιλοκινητήρων είναι ο Rolls-Royce T56 (με δύναμη 3460 ίππων στον άξονα και είναι εγκατεστημένος στα αεροσκάφη P-3 Orion, C-130, C-2A), ο κινητήρας Rolls-Royce AE2100 (3600 έως και 6000 ίππων εγκατεστημένος στα αεροσκάφη C-27 J Spartan, ShinMaywa US-1A Kai), και ο κινητήρας Rolls-Royce TP400-D6 (άνω των 11000 ίππων και τον χρησιμοποιεί το στρατιωτικό αεροσκάφος A400M).

## Turboshaft

Οι στροβιλοσυμπιεστές χρησιμοποιούνται κυρίως για ελικόπτερα και βοηθητικές μονάδες ισχύος. Ένας κινητήρας με στροβιλοσυμπιεστή μπορεί να μοιάζει αρκετά με έναν στροβιλοκινητήρα, όμως έχουν μία βασική διαφορά: Σε ένα στροβιλοκινητήρα, η προπέλα υποστηρίζεται από τον κινητήρα και ο κινητήρας είναι βιδωμένος στο αεροσκάφος. Αντιθέτως, στον στροβιλοσυμπιεστή, ο κινητήρας δεν παρέχει καμία άμεση φυσική υποστήριξη στους ρότορες του ελικοπτέρου. Ο ρότορας συνδέεται με ένα κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο είναι βιδωμένο στο σκελετό του αεροσκάφους, και η μηχανή του στροβιλοσυμπιεστή τροφοδοτεί απλά τη μετάδοση μέσω ενός περιστρεφόμενου άξονα. Η διάκριση αυτή θεωρείται από ορισμένους ως λεπτή, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις οι εταιρείες αεροσκαφών κατασκευάζουν και τους δύο αυτούς κινητήρες με κοινό σχεδιασμό.

Ένα παράδειγμα για τον κινητήρα με στροβιλοσυμπιεστή είναι ο GE T700, τον οποίο φοράει το ελικόπτερο Seahawk.



Εικόνα 1.3.2.1.2 (β) «Κινητήρας στροβιλοσυμπιεστή GE T700 και ελικόπτερο SeaHawk»

Άλλα παραδείγματα κινητήρων στροβιλοσυμπιεστών είναι ο Rolls-Royce RTM322 (2100-2550 shp, που χρησιμοποιεί το AgustaWestland WAH-64 Apache), ο Rolls-Royce Gnome (1175-1660 shp, που φορούν τα AgustaWestland Sea King και Kawasaki / Boeing Vertol 107) και ο T800 (1360-1680 shp, που έχει το AgustaWestland Super Lynx 300/3 CTS800) όπου κατασκευάζεται από την LHTEC, μια συνεργατική επιχείρηση μεταξύ της Rolls-Royce και της Honeywell.

## Propfan

Της propfan, της φορές ονομαζόμενος από την πρώην Σοβιετική Ένωση ως turbopropfan, είναι της τροποποιημένος turbofan κινητήρας, με τον ανεμιστήρα τοποθετημένο έξω από την



άτρακτο του κινητήρα στον ίδιο άξονα με τα πτερύγια του συμπιεστή. Είναι της γνωστοί ως μηχανές υπερ-υψηλής παράκαμψης (Ultra-High Bypass) και, πιο πρόσφατα, ως μηχανές τζετ ανοιχτού ρότορα. Ο σχεδιασμός της έχει ως στόχο να προσφέρει την ταχύτητα και την απόδοση μιας turbofan μηχανής, με την οικονομία καυσίμου της στροβιλοκινητήρα. Η ιδέα propfan αναπτύχθηκε για να προσφέρει καλύτερη απόδοση καυσίμου από ότι οι σύγχρονοι turbofan. Ωστόσο, αυτό το επίτευγμα υστερεί σε θόρυβο.

Οι περισσότεροι propfan είναι πειραματικοί κινητήρες. Παραδείγματα είναι η μηχανή GE36 της General Electric και η 578-DX της Pratt & Whitney / Allison.



Εικόνα 1.3.2.1.2 (γ) «Κινητήρας propfan του αεροπλάνου GE-36 της General Electric»

Ο ανεμιστήρας GE36 ήταν μια παραλλαγή της αρχικής ιδέας της NASA για τα propfan και μοιάζει παρόμοιος με μια διάταξη ωθήσεως για κινητήρες εμβόλων ή στροβιλοκινητήρων.

Ο McDonnell Douglas ανέπτυξε ένα αεροσκάφος αποδείξεως ιδεών τροποποιώντας το MD-80. Αφαίρεσαν τον turbofan κινητήρα JT8D από την αριστερή πλευρά της ατράκτου και τον αντικατέστησαν με τον GE36. Οι δοκιμαστικές πτήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Mojave, CA, USA, και ολοκληρώθηκαν το 1988, κατέδειξαν μείωση της καύσης καυσίμου κατά 30% σε σχέση με τον turbofan MD-80 και χαμηλά επίπεδα εξωτερικού και εσωτερικού θορύβου / κραδασμών. Ωστόσο, λόγω της πτώσης των τιμών των καυσίμων και της αλλαγής των προτεραιοτήτων στο μάρκετινγκ, ο Ντάγκλας εγκατέλειψε το πρόγραμμα τον επόμενο χρόνο.

Στη δεκαετία του 1980, η Allison συνεργάστηκε με την Pratt & Whitney για την επίδειξη της propfan μηχανής 578-DX. Το 578-DX δοκιμάστηκε με επιτυχία σε ένα αεροσκάφος McDonnell Douglas MD-80. Εντούτοις, κανένα από τα παραπάνω έργα δεν επιτεύχθηκε,

κυρίως λόγω του υπερβολικού θορύβου της καμπίνας (σε σύγκριση με τους turbofan) και των χαμηλών τιμών των καυσίμων.

Ο propfan Ivchenko-Progress D-27 αναπτύχθηκε στην ΕΣΣΔ με τις λεπίδες στο μπροστινό μέρος του κινητήρα. D-27 μηχανές propfan προωθούσαν το Antonov An-70. Ο κινητήρας D-27 propfan έχει τρεις άξονες με διάμετρο έλικας 4,5 m και ξηρό βάρος 1650 kg (3638 lb). Η γεννήτρια αερίου αποτελείται από έναν αξονικό συμπιεστή χαμηλής πίεσης, ένα συμπιεστή υψηλής πίεσης μικτής ροής, ένα δακτυλιοειδή θάλαμο καύσης, έναν στρόβιλο ενός σταδίου υψηλής πίεσης και έναν ακόμα χαμηλής πίεσης. Το αντιθέτως περιστρεφόμενο propfan SV-27, οδηγείται από έναν στρόβιλο τεσσάρων σταδίων μέσω ενός άξονα συνδεδεμένου με ένα πλανητικό σύστημα μείωσης στροφών.



Εικόνα 1.3.2.1.2 (δ) «Ο κινητήρας propfan Ivchenko-Progress D-27 του An-70»

Με την τρέχουσα υψηλή τιμή για τα καύσιμα τζετ και την έμφαση στον κινητήρα του αεροσκάφους για μείωση εκπομπών, ανανεώνεται το ενδιαφέρον για την ιδέα propfan στα αεριωθούμενα αεροπλάνα που θα μπορούσαν να τεθούν σε λειτουργία πέραν των αεροσκαφών Boeing 787 και Airbus A350XWB. Για παράδειγμα, η Airbus έχει ήδη πατεντάρει σχέδια αεροσκαφών με διπλούς αντιστρόφως κινούμενους propfan κινητήρες ενσωματωμένους στο πίσω μέρος.

### 1.3.2.2 Κινητήρες αντίδρασης

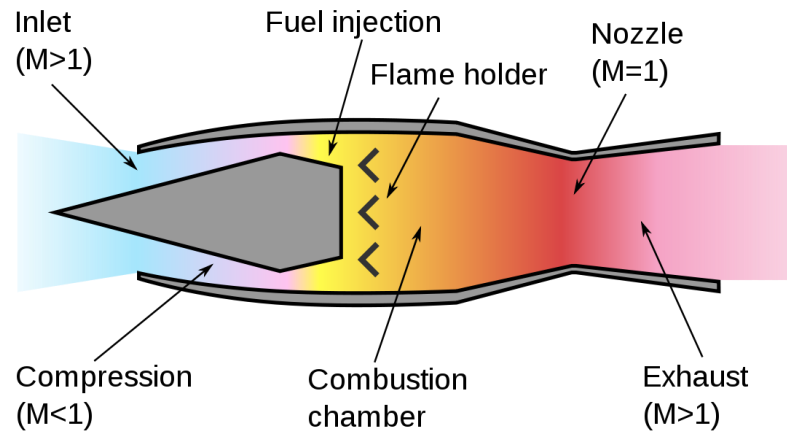
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι κινητήρες αντίδρασης υποδιαιρούνται στους Athodyd και στους τύπους στροβίλων. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της ομάδας κινητήρων είναι ότι αναπτύσσουν την προωθητική τους δύναμη μέσω των ρευμάτων αερίων που προκύπτουν από την εξάτμιση του αεροσκάφους. Τρεις είναι οι βασικές ενότητες που εμφανίζονται σε όλους τους τύπους μηχανών αντίδρασης. Συγκεκριμένα, ένας αγωγός εισόδου, μερικές φορές προσδιορίζεται και ως πρόσληψη, ένας θάλαμος καύσης ή αλλιώς καυστήρας και το ακροφύσιο των καυσαερίων. Το ακροφύσιο (-α) καυσαερίων επιταχύνει τον αέρα ή τα αέρια σε μεγαλύτερες ταχύτητες από την ταχύτητα πτήσης δημιουργώντας έτσι μεγαλύτερη προωθητική δύναμη.

### **1.3.2.2.1 Τύποι Athodyd**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ομάδα Athodyd περιλαμβάνει μηχανές ramjet, pulsejet και scramjet, οι οποίες δεν έχουν καθόλου περιστρεφόμενα στοιχεία ή στροβιλομηχανή. Πιο συγκεκριμένα, ο pulsejet λειτουργεί κατά διαστήματα και έχει βρει περιορισμένες εφαρμογές. Στους κινητήρες ramjet, η ισχυρή συμπίεση του αέρα καθίσταται επαρκής για να ξεπεραστεί η ανάγκη του για μηχανική συμπίεση. Ο κινητήρας ramjet είναι επίσης κατάλληλος και για υπερηχητικές ταχύτητες πτήσης. Όταν όμως η ταχύτητα πτήσης υπερβαίνει την ταχύτητα του ήχου, τότε και η καύση των καυσίμων πρέπει να συμβαίνει υπερηχητικά, και αυτή είναι η περίπτωση όπου λαμβάνει θέση ο scramjet κινητήρας.

### **Κινητήρας Ramjet**

Ένας ramjet, μερικές φορές γνωστός και ως αυλωθητήρας, είναι μια μορφή του τζετ κινητήρα στην οποία ο αέρας που δέχεται το αεροσκάφος, από την εμπρόσθια κίνηση του, συμπιέζεται χωρίς τη χρήση κάποιου αξονικού ή φυγοκεντρικού συμπιεστή. Οι ramjet δεν μπορούν να παράγουν ώθηση από μηδενική ταχύτητα και επομένως δεν μπορούν να κινήσουν ένα στάσιμο αεροσκάφος. Για το λόγο αυτό, ένα όχημα με αυλωθητήρα απαιτεί μια υποβοηθούμενη απογείωση, όπως με τη βοήθεια πυραύλων, για να το επιταχύνουν σε μια ταχύτητα όπου αρχίζει να παράγει ώθηση. Λειτουργούν κυρίως σε υπερηχητικό επίπεδο και αποδίδουν άψογα όταν η ταχύτητα του αεροσκάφους κυμαίνεται από 3 Mach (2.300 μίλια / ώρα) ή 3.700 χλμ / ώρα έως και 6 Mach (4.600 μίλια / ώρα).



Εικόνα 1.3.2.2.1 (α) «Κινητήρας ramjet»

Αποτελούνται από τρεις ενότητες: τον αγωγό εισόδου, τον καυστήρα και το ακροφύσιο και διακρίνεται σε ramjet υγρού και στερεού καυσίμου. Μπορεί να είναι υποηχητικοί ή υπερηχητικοί. Οι υποηχητικοί αυλωθητήρες δεν χρειάζονται κάποια εκλεπτυσμένη είσοδο αφού η ροή του αέρα είναι ήδη υποηχητική και συνεπώς χρησιμοποιείται συνήθως μια απλή τρύπα.

Όσον αφορά τους υπερηχητικούς, η υπερηχητική ροή του αέρα επιβραδύνεται σε υποηχητικές ταχύτητες στον αγωγό εισόδου μέσω ενός ή περισσότερων κωνικών (ή λοξών) κυμάτων κλωνισμού που τερματίζονται από ένα ισχυρό φυσιολογικό σοκ. Περαιτέρω διάχυση απαιτείται για να επιτευχθεί η ταχύτητα του αέρα σε ένα κατάλληλο επίπεδο για τον καυστήρα. Στη συνέχεια, ο καυστήρας προσθέτει θερμότητα και μάζα στον πεπιεσμένο αέρα καίγοντας το καύσιμο. Ο θάλαμος καύσης περιλαμβάνει επίσης «κατόχους φλόγας» οι οποίοι εμποδίζουν την εμφύσηση των φλογών προς τα έξω. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει καθοδικός στρόβιλος, ένας καυστήρας ramjet μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια σε στοιχειομετρικές αναλογίες καυσίμου προς αέρα, πράγμα που συνεπάγεται ότι η θερμοκρασία εξόδου του καυσίμου στον καυστήρα σε στασιμότητα είναι της τάξεως των 2400 Kelvin, για κηροζίνη.

Έπειτα, το προϊόν της καύσης που εξέρχεται από τον καυστήρα επιταχύνεται μέσω ενός ακροφυσίου σύγκλισης-απόκλισης σε υπερηχητικές ταχύτητες για να παραχθεί ώθηση. Για έναν ramjet που λειτουργεί σε υποηχητικές ταχύτητες πτήσης, η ροή των καυσαερίων επιταχύνεται μέσω ενός συγκλίνοντος ακροφυσίου.

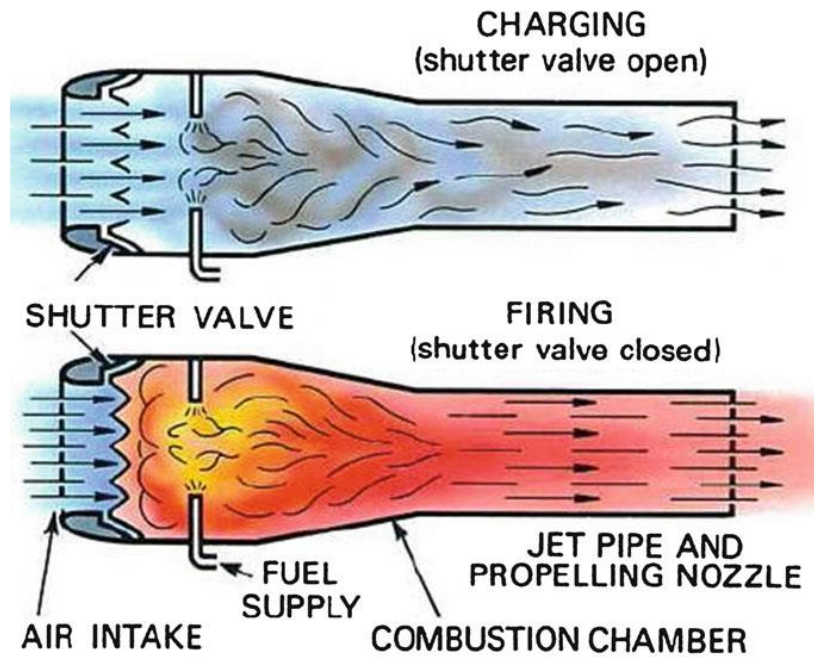
### Κινητήρας Pulsejet

Ένας κινητήρας με παλμική εκτόξευση (ή pulsejet) είναι ένας πολύ απλός τύπος μηχανής αεριοθουμένων στο οποίο η καύση συμβαίνει σε παλμούς. Σε αντίθεση με τα ramjet, η καύση στα pulsejet πραγματοποιείται κατά διαστήματα. Οι κινητήρες Pulsejet είναι ένας μοναδικός τύπος κινητήρα τζετ, ικανός να λειτουργεί στατικά με λίγα εώς και καθόλου κινούμενα μέρη. Είναι πολύ φθηνοί και εύκολοι στην κατασκευή και διαθέτουν μια εξαιρετική ισορροπία κόστους και λειτουργίας, καθώς μπορούν να λειτουργήσουν με οποιοδήποτε βαθμό πετρελαίου και συστήματος ανάφλεξης. Βέβαια, ο συνοδευτικός τους θόρυβος είναι απαράδεκτος για τα σύγχρονα πρότυπα. Σε σύγκριση με άλλους τύπους αεριοθουμένων, έχουν και υψηλότερη απόδοση και πολύ υψηλή σχέση ώθησης προς βάρος. Μπορούν επίσης να παραχθούν σε πολλά μεγέθη με διαφορετικές εξόδους που κυμαίνονται από λίγα κιλά εώς χιλιάδες κιλά ώσης.

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι pulsejet κινητήρων: με βαλβίδα και χωρίς βαλβίδα. Και οι δύο τύποι χρησιμοποιούν συντονισμό της καύσης και αξιοποίηση των προϊόντων διαστολής της καύσης για να σχηματίσουν ένα παλλόμενο πίδακα καυσαερίων, το οποίο παράγει ώθηση κατά διαστήματα.

### **Με βαλβίδα**

Οι βαλβιδωμένοι κινητήρες χρησιμοποιούν μια μονόδρομη μηχανική βαλβίδα, η οποία είναι στην ουσία ένα απλό κλείστρο και έχει σχήμα σαν φύλλο-ελατήριο. Με τη βαλβίδα ανοιχτή, εισάγεται μια νέα ποσότητα αέρα. Αυτός ο αέρας, αναμειγνύεται με το καύσιμο και στη συνέχεια δημιουργείται μία έκρηξη η οποία κλείνει τη βαλβίδα και αναγκάζει το ζεστό αέριο να βγει από το πίσω μέρος του κινητήρα, μόνο μέσω του σωλήνα εξαγωγής, και να επιτρέψει στον καθαρό αέρα και σε περισσότερο καύσιμο να μπει μέσα από την εισαγωγή. Τα υπερθερμανθέντα καυσαέρια εξέρχονται μέσω ενός ακουστικά συντονισμένου σωλήνα εξατμίσεως.

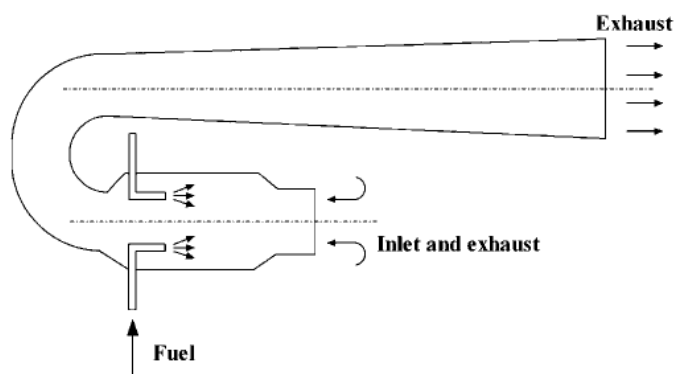


Εικόνα 1.3.2.2.1 (β) «Κινητήρας pulsejet με βαλβίδα»

### Χωρίς βαλβίδα

Οι pulsejet κινητήρες χωρίς βαλβίδες δεν έχουν κινούμενα μέρη και χρησιμοποιούν μόνο τη γεωμετρία τους για τον έλεγχο της ροής των καυσαερίων στον κινητήρα. Συγκεκριμένα, εκτοξεύονται καυσαέρια τόσο από την εισαγωγή όσο και από την εξάτμιση. Δεν είναι λίγοι αυτοί που προσπαθούν να μακρύνουν τον σωλήνα της εξάτμισης, για να πετύχουν μια πιο αποτελεσματική πρόωση.

Και οι δύο τύποι μηχανών pulsejet λειτουργούν με την ίδια αρχή. Η διαδικασία καύσης δημιουργεί δύο προστινά κύματα κρούσεων, όπου το ένα κινείται προς τα κάτω στον ανώτερο μακρύ σωλήνα και το άλλο στον από κάτω μικρότερο σωλήνα. Με τη σωστή "ρύθμιση" του συστήματος, μπορεί να επιτευχθεί μια συντονιστική καύση, η οποία αποδίδει σημαντική ώθηση.



Εικόνα 1.3.2.2.1 (γ) «Κινητήρας pulsejet χωρίς βαλβίδα»

Παρ'όλα αυτά η κατανάλωση καυσίμου είναι πολύ υψηλή και το επίπεδο θορύβου της μηχανής είναι επίσης απαράδεκτο. Η γαλλικής προέλευσης κατασκευαστική εταιρεία κινητήρων SNECMA ανέπτυξε αυτούς τους κινητήρες στα τέλη της δεκαετίας του σαράντα για χρήση drone. Μία εφαρμογή ήταν το ολλανδικό αναγνωριστικό μη επανδρωμένο αεροσκάφος AT-21 που κατασκευάστηκε από την εταιρεία Aviolanda Aircraft το 1954-1958.

Τα Pulsejets έχουν το ξεχωριστό πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών κινητήρων με στροβίλους, ότι δεν παράγουν τη συνηθισμένη αντίδραση ροπής στην άτρακτο του οχήματος.

### **Μηχανή πυροδότησης παλμών (PDE)**

Ο κινητήρας πυροδότησης παλμών (Pulse Detonation Engine) σηματοδοτεί μια νέα προσέγγιση στις μη συνεχόμενες μηχανές τζετ και υπόσχεται υψηλότερη απόδοση καυσίμου σε σύγκριση ακόμη και με τους στροβιλοκινητήρες jet, τουλάχιστον στις πολύ υψηλές ταχύτητες. Οι εταιρείες Pratt & Whitney και General Electric έχουν ήδη δημιουργήσει ενεργά ερευνητικά προγράμματα PDE. Τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούν pulsejet κινητήρες για να δοκιμάσουν ιδέες πάνω στις αρχές του σχεδιασμού.

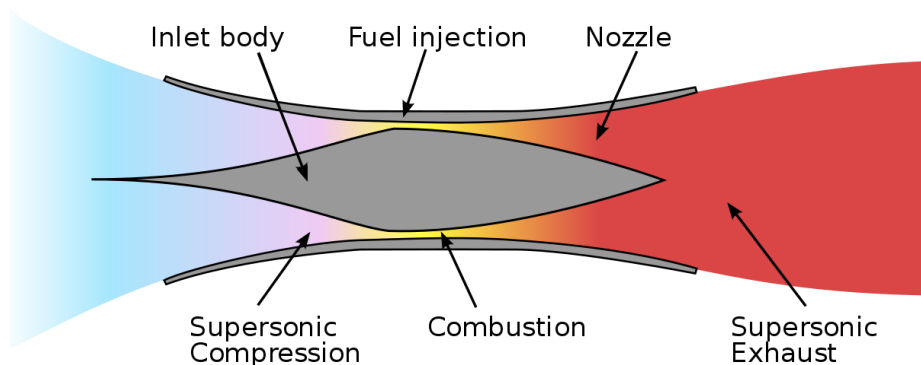
### **Μηχανή Scramjet**

Οι Scramjet κινητήρες είναι μια εξέλιξη των ramjet που είναι σε θέση να λειτουργούν σε πολύ υψηλότερες ταχύτητες από ότι τα ramjet ή οποιοδήποτε άλλο είδος κινητήρων απορρόφησης αέρα. Πρόκειται για ένα ακρωνύμιο της Υπερηχητικής Καύσης ramjet

(Supersonic Combustion ramjet), ή με άλλα λόγια, η καύση του καυσίμου και του αέρα συμβαίνει σε υπερηχητική ροή σε σχέση με τη μηχανή. Οι Scramjet αρχίζουν να αποδίδουν σε ταχύτητες τουλάχιστον Mach 4 και έχουν μέγιστη θεωρητική ταχύτητα 17 Mach.

Κατά τη δεκαετία του 1950 και τη δεκαετία του 1960, κατασκευάστηκε μια ποικιλία πειραματικών κινητήρων και δοκιμάστηκαν στο έδαφος από τις ΗΠΑ και το Ηνωμένο Βασίλειο. Το 1981, έγιναν δοκιμές στην Αυστραλία. Επί του παρόντος, η Βραζιλία, η Κίνα, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ινδία, η Ιταλία, η Ιαπωνία, η Ρωσία, και η Σουηδία έχουν επίσης υπερηχητικά προωθητικά προγράμματα. Κανένα scramjet όχημα δεν έχει παραχθεί εκτός πειραματικού προγράμματος. Οι μηχανές scramjet βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά σύγχρονα υπερηχητικά οχήματα όπως οι πύραυλοι, τα μελλοντικά εμπορικά μεταφορικά μέσα του εικοστού πρώτου αιώνα, καθώς και στα δορυφορικά αεροσκάφη τροχιάς (SSTO).

Αυτός ο κινητήρας παρέχει το πιο ολοκληρωμένο σχέδιο κινητήρα για αεροσκάφη και πυραύλους και καταλαμβάνει ολόκληρη την κάτω επιφάνεια του οχήματος.



Εικόνα 1.3.2.2.1 (δ) «Κινητήρας scramjet»

Το σύστημα πρόωσης αποτελείται από πέντε κύριες συνιστώσες του κινητήρα: την εσωτερική εισαγωγή, τον απομονωτή, τον καυστήρα, το εσωτερικό ακροφύσιο, το υποσύστημα παροχής καυσίμου και από δύο συνιστώσες του οχήματος: το κάτω μπροστινό σχήμα του σκάφους, όπου είναι απαραίτητο για την επαγωγή του αέρα, και το οπίσθιο σχήμα στο σώμα του, το οποίο είναι ένα κρίσιμο τμήμα του εξαρτήματος του ακροφυσίου.



Τόσο ο υδρογονάνθρακας όσο και το υδρογόνο χρησιμοποιούνται ως καύσιμα για τα scramjet. Αυτό που τις κάνει πιο περίπλοκες με τις μηχανές τζετ δεν είναι τόσο η μηχανική κατασκευή τους όσο η αεροδυναμική τους σχεδίαση. Εφόσον χρησιμοποιεί την ταχύτητα του αεροσκάφους για να συμπιέσει τον αέρα, πολύ λίγα κινούμενα μέρη χρειάζονται για να λειτουργήσει ορθά. Ωστόσο, η ελάχιστη λειτουργική ταχύτητα απαιτεί επιτάχυνση από άλλους κινητήρες τζετ, όπου χρειάζεται να φτάσουν υπερηχητική ταχύτητα προτού να ενεργοποιηθεί το scramjet.

Το Boeing X-51 και το NASA X-43 είναι δύο παραδείγματα πειραματικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών με κινητήρες scramjet. Και τα δύο αεροσκάφη είναι αξιοσημείωτα καθώς το πρώτο ολοκλήρωσε την πρώτη υπερηχητική του πτήση στις 26 Μαΐου 2010 όπου πετούσε για παραπάνω από έξι λεπτά σε υψόμετρο 21.000 μέτρων με ταχύτητα 5 Mach και το δεύτερο κατέχει το παγκόσμιο ρεκόρ ταχύτητας, όπου έχει σημειώσει ποτέ αεροσκάφος, αγγίζοντας τα 9.7 Mach ή αλλιώς τα 12.000 χλμ/ώρα.

#### **1.3.2.2 Μηχανές τύπου στροβίλων**

Η κατηγορία μηχανών με στροβίλους περιλαμβάνει πέντε τύπους: τους turbojet, turbofan, turboramjet, turbo-rocket, και προηγμένους κινητήρες ανεμιστήρα.

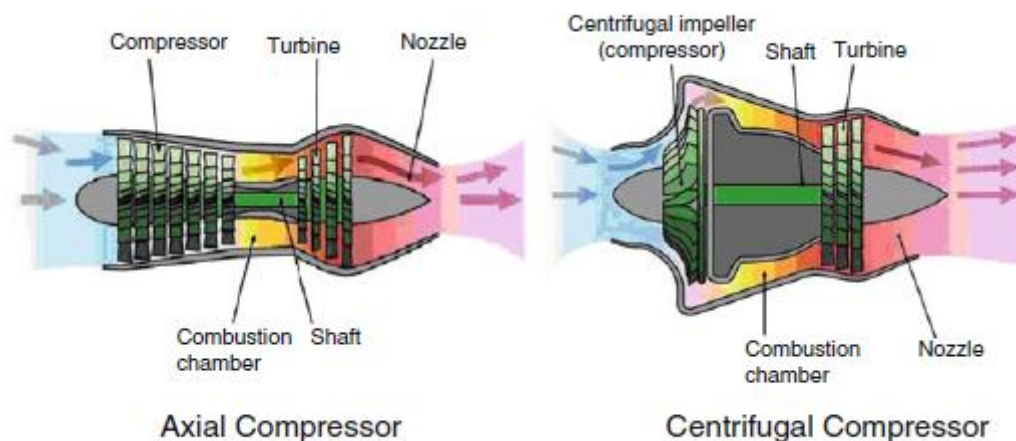
##### **Turbojet**

Ένα turbojet είναι ένας τύπος αεροστροβίλου που επινοήθηκε από τον Frank Whittle (στο Ηνωμένο Βασίλειο) και τον von Ohain (στη Γερμανία) κατά τη δεκαετία του '30. Είναι ο απλούστερος αεροστροβίλος όλων των αεροσκαφών.

Διαθέτει έναν ή περισσότερους συμπιεστές για να αντλούν αέρα και να τον συμπιέζουν, ένα τμήμα καύσης που προσθέτει καύσιμο και το αναφλέγει, έναν ή περισσότερους στροβίλους που τροφοδοτούν με ισχύ, από τα διογκούμενα καυσαέρια, το συμπιεστή (-ες) όπου στη συνέχεια ενισχύει τα συστήματα αεροσκαφών, καθώς και ένα ακροφύσιο καυσαερίων που επιταχύνει τα καυσαέρια στο πίσω μέρος του κινητήρα για να δημιουργήσει ώθηση.

Κάθε συμπιεστής συνδέεται με έναν άξονα σε ένα στρόβιλο. Ο συμπιεστής είναι είτε αξονικός είτε φυγοκεντρικός. Οι πρώτοι turbojet κινητήρες που κατασκευάστηκαν από τους παραπάνω μηχανικούς ήταν φυγοκεντρικού τύπου. Όλοι οι στρόβιλοι που χρησιμοποιούνται

είναι αξονικού τύπου. Οι αξονικοί συμπιεστές και οι στρόβιλοι αποτελούνται από πολλές σειρές λεπίδων: μερικές περιστρέφονται γνωστοί και ως ρότορες και άλλοι είναι στατικοί, οι λεγόμενοι στάτορες. Όταν πρωτοεμφανίστηκαν οι στροβιλοκινητήρες, η μέγιστη ταχύτητα ενός μαχητικού αεροσκάφους, που ήταν εξοπλισμένο με αυτό τον κινητήρα, ήταν τουλάχιστον 100 μίλια ανά ώρα. Σαφώς ταχύτερα από τα ανταγωνιστικά αεροσκάφη με εμβολοφόρο κινητήρα.

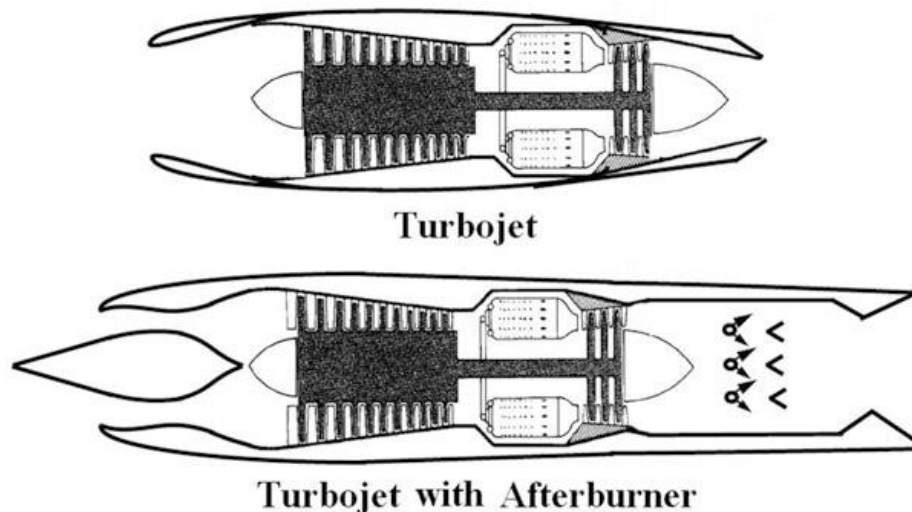


Εικόνα 1.3.2.2.2 (α) «Αξονικός και Φυγοκεντρικός κινητήρας turbojet»

Πολλοί μεταγενέστεροι κινητήρες turbojet σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν στην Ευρώπη από την Rolls Royce, όπως ο κινητήρας Viper, ο οποίος τροφοδοτεί το MB339 και το HAL HJT Kiran.

Η General Electric (GE) παρήγαγε τον πρώτο κινητήρα τζετ της Αμερικής με βάση το σχέδιο του Whittle. Στις ΗΠΑ επίσης, η Pratt & Whitney σχεδίασε και δημιούργησε τον πρώτο κινητήρα αεροστροβίλου, δικού της σχεδιασμού, τον J42 Turbo-Wasp κινητήρα, ο οποίος παραδόθηκε στο Πολεμικό Ναυτικό τον Νοέμβριο του 1948 για να εγκατασταθεί στο Grumman F9F-2 Panther.

Προκειμένου τα μαχητικά αεροπλάνα να πετάξουν γρηγορότερα από τον ήχο, ένας μετα-καυστήρας (afterburner) προστέθηκε στον πυρήνα ενός turbojet. Όταν ο μετα-καυστήρας είναι ενεργοποιημένος, εισάγεται επιπλέον καύσιμο, το οποίο φλέγεται και παράγει πρόσθετη ώθηση. Έτσι επιτυγχάνεται πρόσθετη ώθηση αλλά καίγεται πολύ περισσότερο καύσιμο. Όταν είναι απενεργοποιημένος, ο κινητήρας λειτουργεί σαν βασικός στροβιλοκινητήρας.



Εικόνα 1.3.2.2.2 (β) «Κινητήρας turbojet και κινητήρας turbojet με χρήση μετακαυστήρα»

Οι μετα-καυστήρες χρησιμοποιούνται μόνο σε αεροσκάφη μαχητικών αεροσκαφών και στο υπερηχητικό αεροπλάνο Concorde. Ήταν σαφές ότι κάτω από περίπου Mach 2, οι turbojet μηχανές ήταν πολύ ανεπαρκείς ως προς το καύσιμο και δημιουργούσαν τεράστιες ποσότητες θορύβου. Αυτά τα μειονεκτήματα ήταν καθοριστικά ώστε να οδηγήσουν στην πτώση του καθαρού στροβιλοσυμπιεστή, και μόνο ελάχιστοι είναι ακόμα στην παραγωγή. Για αυτό και στη συνέχεια οι κινητήρες turbojet αντικαταστάθηκαν από κινητήρες turbofan. Το τελευταίο αεροσκάφος που χρησιμοποίησε turbojet ήταν το Concorde, της οποίας η πτήση ταχύτητας 2 Mach ήταν η πιο αποδοτική για το turbojet.

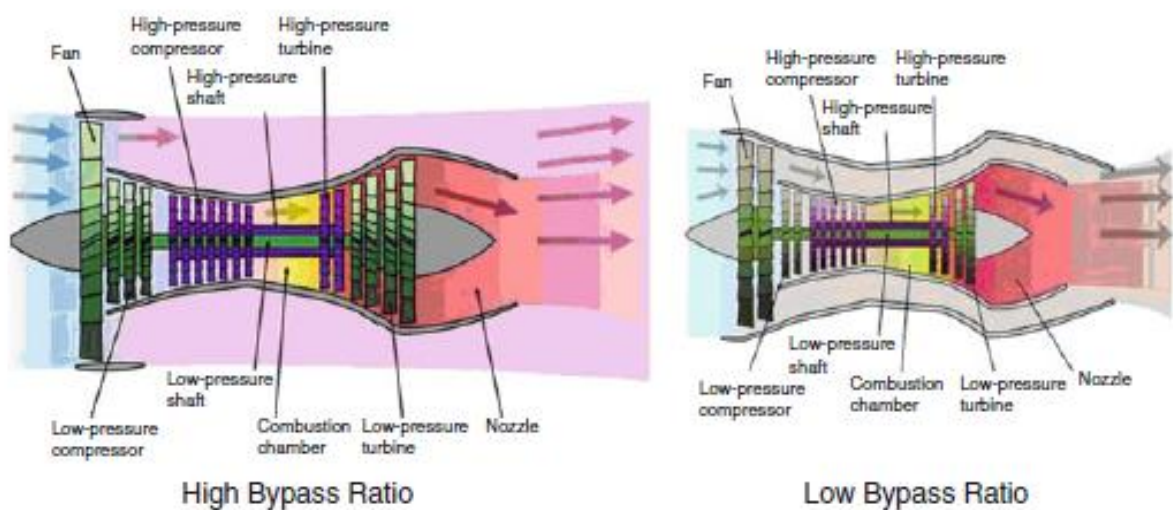
## **Turbofan**

Τα περισσότερα σύγχρονα αεροπλάνα, στρατιωτικά καθώς και φορτηγά αεροσκάφη, χρησιμοποιούν turbofan κινητήρες λόγω της υψηλής ώσης τους και της καλής απόδοσης καυσίμου.

Όπως και με τους άλλους αεροστροβίλους, υπάρχει μία βασική μηχανή παρόμοια με έναν στροβιλοκινητήρα, ο οποίος περιβάλλεται από έναν ανεμιστήρα στο μπροστινό (ή οπίσθιο για πρυμναίους turbofan κινητήρες) και ένας επιπλέον στρόβιλος στο πίσω μέρος. Ο ανεμιστήρας και η ανεμογεννήτρια αποτελούνται από πολλές σειρές λεπίδων και συνδέονται με ένα επιπλέον άξονα. Μερικές από τις λεπίδες του ανεμιστήρα γυρνούν με τον άξονα και μερικές παραμένουν ακίνητες. Στη συνέχεια, ο άξονας του ανεμιστήρα περνάει μέσα από τον κεντρικό άξονα για μηχανικούς λόγους. Αυτός ο τύπος διάταξης ονομάζεται κινητήρας με δύο καρούλια, ένα "καρούλι" για τον ανεμιστήρα και ένα για τον πυρήνα. Ορισμένες

προηγμένες μηχανές έχουν επιπλέον καρούλια για ακόμη μεγαλύτερη απόδοση. Ο εισερχόμενος αέρας συλλαμβάνεται από την εισαγωγή του κινητήρα. Ένα ποσό από τον αέρα που εισέρχεται, περνάει μέσα από τον ανεμιστήρα και συνεχίζει στον πυρήνα του συμπιεστή και έπειτα στον καυστήρα, όπου αναμιγνύεται με καύσιμο και γίνεται η καύση. Τα θερμά καυσαέρια περνούν μέσα από τον πυρήνα και τους ανεμιστήρες των στροβίλων και καταλήγουν στο ακροφύσιο, όπως σε ένα βασικό turbojet. Ο υπόλοιπος εισερχόμενος αέρας περνάει στον ανεμιστήρα και παρακάμπει, ή πηγαίνει γύρω από τον κινητήρα, ακριβώς όπως ο αέρας μέσω μιας προπέλας. Ο αέρας που διέρχεται από τον ανεμιστήρα έχει ταχύτητα που αυξάνεται ελαφρώς από την ελεύθερη ροή. Έτσι ένας turbofan παίρνει ένα μέρος της ώθησης του από τον πυρήνα και ένα άλλο μέρος από τον ανεμιστήρα.

Ο λόγος του αέρα που περνά γύρω από τον κινητήρα με τον αέρα που περνά μέσα στον πυρήνα ονομάζεται λόγος παράκαμψης. Κινητήρες με αναλογίες παράκαμψης 1-2 ονομάζονται γενικά παρακάμψεις χαμηλού λόγου. Υψηλού λόγου παρακάμψεις βρίσκονται στα περισσότερα επιβατικά αεροσκάφη, όπου ο λόγος παράκαμψης αυξάνεται συνεχώς και σε μερικούς turbofan κινητήρες φτάνει το 10.

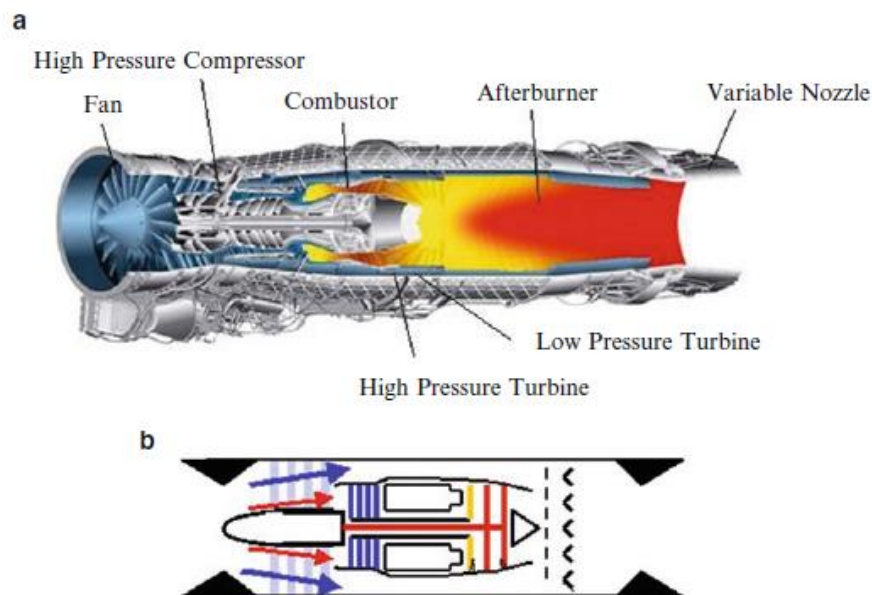


Εικόνα 1.3.2.2.2 (γ) «Κινητήρες turbofan υψηλού και χαμηλού λόγου παράκαμψης»

Επειδή ο ρυθμός ροής του καυσίμου για τον πυρήνα αλλάζει ελάχιστα με την προσθήκη του ανεμιστήρα, ένα turbofan παράγει περισσότερη ώθηση και αυτό σημαίνει ότι είναι πολύ αποδοτικό για τα καύσιμα. Στην πραγματικότητα, οι turbofan υψηλού λόγου παράκαμψης είναι σχεδόν τόσο αποδοτικοί στα καύσιμα όσο οι turboprop. Δεδομένου ότι ο ανεμιστήρας περικλείεται από την εισαγωγή και αποτελείται από πολλές λεπίδες, μπορεί να λειτουργεί

αποτελεσματικά σε υψηλότερες ταχύτητες από μια απλή έλικα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι turbofan μηχανές βρίσκονται στα αεροσκάφη μεταφορών υψηλής ταχύτητας και οι προπέλες χρησιμοποιούνται στις μεταφορές χαμηλής ταχύτητας.

Οι χαμηλού λόγου παράκαμψης turbofan είναι ακόμα πιο αποδοτικοί από τους βασικούς στροβιλοκινητήρες και πολλά μοντέρνα μαχητικά αεροσκάφη τους χρησιμοποιούν, συνδυαζόμενοι με μετακαυστήρες. Αυτό τους επιτρέπει να ταξιδεύουν αποτελεσματικά αλλά να έχουν και μεγάλη ώθηση στις αερομαχίες. Παρόλο που το μαχητικό αεροπλάνο μπορεί να πετάξει πολύ πιο γρήγορα από την ταχύτητα του ήχου, ο αέρας που εισέρχεται στον κινητήρα πρέπει να είναι πιο αργός από την ταχύτητα του ήχου για να έχει υψηλή απόδοση. Επομένως, η είσοδος του αεροπλάνου επιβραδύνει τον αέρα από τις υπερηχητικές ταχύτητες.



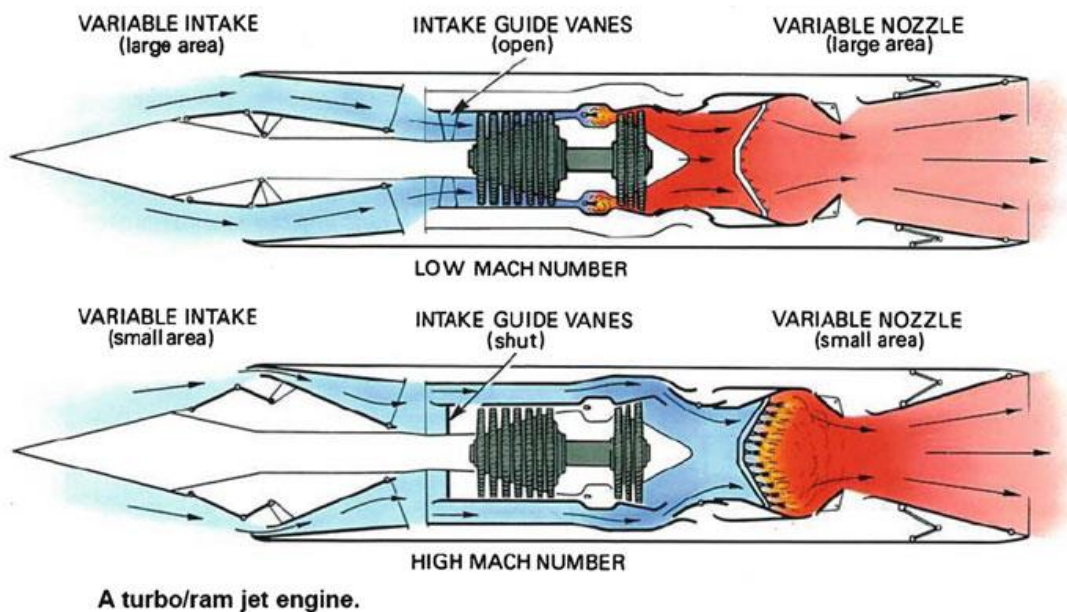
1.3.2.2.2 (δ) «Χαμηλού λόγου παράκαμψης κινητήρες turbofan με μετακαυστήρα»

### **Turbo-ramjet**

Το Turbo-ramjet είναι ένας συνδυασμός κινητήρων που μπορούν να λειτουργήσουν ως turbojet ή ως ramjet και προορίζεται για πτήση υψηλής ταχύτητας.

Ο κινητήρας περιβάλλεται από έναν αγωγό που έχει μεταβλητή εισαγωγή στο μπροστινό του μέρος και από ένα σωλήνα μετάκαυσης με μεταβλητό ακροφύσιο –εξαγωγή– στο πίσω μέρος του. Κατά την απογείωση και την επιτάχυνση, ο κινητήρας λειτουργεί σαν έναν συμβατικό στροβιλοσυμπιεστή με τον μετα-καυστήρα να ανάβει σε συνθήκες πτήσης μέχρι 3 Mach. Όσο το αεροσκάφος επιταχύνει, το turbojet κλείνει και ο αέρας εισαγωγής εκτρέπεται

από τον συμπιεστή, και μέσω πτερυγίων οδήγησης οδηγείται κατευθείαν στον τζετ σωλήνα μετάκαυσης, ο οποίος γίνεται θάλαμος καύσης ramjet.



Εικόνα 1.3.2.2.2 (ε) «Κινητήρας turbo-ramjet»

Αυτός ο κινητήρας είναι κατάλληλος για ένα αεροσκάφος που διατηρεί συνθήκες πτήσης μεγάλου αριθμού Mach, όπου ο κινητήρας λειτουργεί ως ramjet. Η εικόνα 1.3.2.2.2 (στ) δείχνει τον turbo-ramjet κινητήρα της Pratt & Whitney, τον J58 που είναι εξοπλισμένος στα αεροσκάφη SR-71. Μπορούσε να μετατραπεί, κατά τη διάρκεια της πτήσης, από ενός μεγάλου βαθμού κινητήρα turbojet σε έναν μεγάλο βαθμού υποβοηθούμενο από συμπιεστή ramjet. Σε υψηλές ταχύτητες, άνω των 2.4 Mach, ο κινητήρας χρησιμοποιούσε μεταβλητά γεωμετρικά πτερύγια για να κατευθύνει τον υπερβολικό αέρα, μέσω έξι σωλήνων παράκαμψης από το κατάντη του τέταρτου σταδίου του συμπιεστή, στον μετα-καυστήρα. Έτσι, το 80% της ώθησης του SR-71, σε μεγάλη ταχύτητα, δημιουργούταν με αυτόν τον τρόπο, δίνοντας πολύ μεγαλύτερη ώθηση, βελτιώνοντας συγκεκριμένες κρούσεις κατά 10-15%, και επιτρέποντας τη συνεχή σταθερή του πτήση σε ταχύτητες 3.2 Mach.



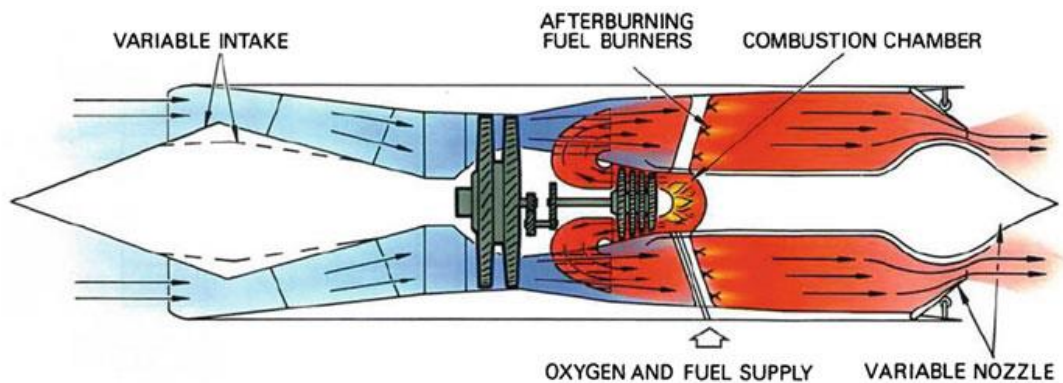
Εικόνα 1.3.2.2.2 (στ) «Κινητήρας turbo-ramjet J58 της Pratt&Whitney και αεροσκάφος SR-71»

## **Turborocket**

Ο κινητήρας turborocket, ο οποίος είναι γνωστός με το ακρωνύμιο ATR (AirTurboRocket), συνδυάζει στοιχεία μιας μηχανής τζετ και ενός πυραύλου. Το ATR ανήκει σε μια γενική κατηγορία προωστικών κινητήρων γνωστές ως μηχανές συνδυαστικού κύκλου βασισμένες σε στροβιλοκινητήρες ή αλλιώς TBCC (Turbine-Based Combined-Cycle).

Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως εναλλακτική μηχανή του turbo-ramjet. Ωστόσο, έχει μία σημαντική διαφορά. Μεταφέρει δικό του οξυγόνο για να παρέχει καύση σε υψηλή ταχύτητα. Ο κινητήρας διαθέτει έναν συμπιεστή χαμηλής πίεσης που οδηγείται από έναν στρόβιλο πολλαπλών σταδίων. Η ισχύς για την οδήγηση του στροβίλου προέρχεται από την καύση κηροζίνης και υγρού οξυγόνου σε ενός τύπου πυραύλου θάλαμο καύσης. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία του αερίου θα είναι της τάξης των 3500 ° C, επιπλέον καύσιμο ψεκάζεται στον θάλαμο καύσης για σκοπούς ψύξης πριν εισέλθει το αέριο στον στρόβιλο. Αυτό το πλούσιο σε καύσιμο μίγμα (αέριο) στη συνέχεια αραιώνεται με αέρα από τον συμπιεστή και το καύσιμο που προκύπτει καίγεται σε ένα συμβατικό σύστημα μετάκαυσης. Εν τέλη, εξάγεται

μέσω ενός προωθητικού ακροφυσίου σύγκλισης-απόκλισης. Σε ορισμένα ATR, το καυτό αέριο μπορεί να παραχθεί με την καύση ενός στερεού προωθητικού.



Εικόνα 1.3.2.2.2 (ζ) «Κινητήρας turborocket»

Αν και αυτό το είδος κινητήρα είναι μικρότερο και ελαφρύτερο από τον turbo-ramjet, καταναλώνει περισσότερο καύσιμο. Αυτό τον καθιστά πιο κατάλληλο για ένα αεροσκάφος που απαιτεί επιδόσεις μεγάλης ταχύτητας και μεγάλου υψομέτρου και συνήθως διαθέτει ένα σχέδιο πτήσης που είναι πλήρως επιταχυνόμενο και μικρής διάρκειας, όπως για παράδειγμα ένα όχημα που επρόκειτο να πετάξει προς το διάστημα.

### Προηγμένος ανεμιστήρας

Ο προηγμένος ανεμιστήρας είναι στην ουσία ένας κινητήρας turbofan με μεγάλες φτερωτές ανεμιστήρα που διαθέτει έλεγχο κλίσης (βήματος) και σύστημα μείωσης. Θα έλεγε κάποιος ότι μοιάζει στον propfan αλλά οι ανεμιστήρες είναι κλεισμένοι σε αγωγούς όπως στους turbofan κινητήρες. Ο λόγος παράκαμψης για τους προηγμένους ανεμιστήρες είναι από 15: 1 έως 25: 1. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι: ένας με προσαρμοσμένο, μεταβλητού βήματος, μονοπρόπελου ανεμιστήρα και ενός άλλου με τις αντιστρόφως περιστρεφόμενες λεπίδες. Εκτεταμένη δουλειά έγινε σε ορισμένες εταιρείες κατασκευής αεροσκαφών όπως η Pratt & Whitney, MTU και Fiat Avio για τον σχεδιασμό αυτού του τύπου κινητήρων. Απαιτείται μια πολύ λεπτοσχεδιασμένη άτρακτο για να δοθεί ένας τόσο υψηλός λόγος παράκαμψης.

### 1.3.3 Άλλες πηγές ενέργειας

Αυτή η τρίτη και τελευταία ομάδα κινητήρων αεροσκαφών (που αναγνωρίζονται ως άλλα) υποδιαιρείται σε ανθρωποκινούμενες και ηλεκτροκίνητες μηχανές.



## Ηλεκτροκίνητα αεροσκάφη

Ένα ηλεκτρικό αεροσκάφος είναι ένα αεροσκάφος που τρέχει σε ηλεκτροκινητήρες και όχι σε εσωτερικούς κινητήρες καύσης, με ηλεκτρισμό που προέρχεται από κυψέλες καυσίμου, ηλιακά κύτταρα, υπερπυκνωτές, ακτινοβολία ισχύος ή / και μπαταρίες.

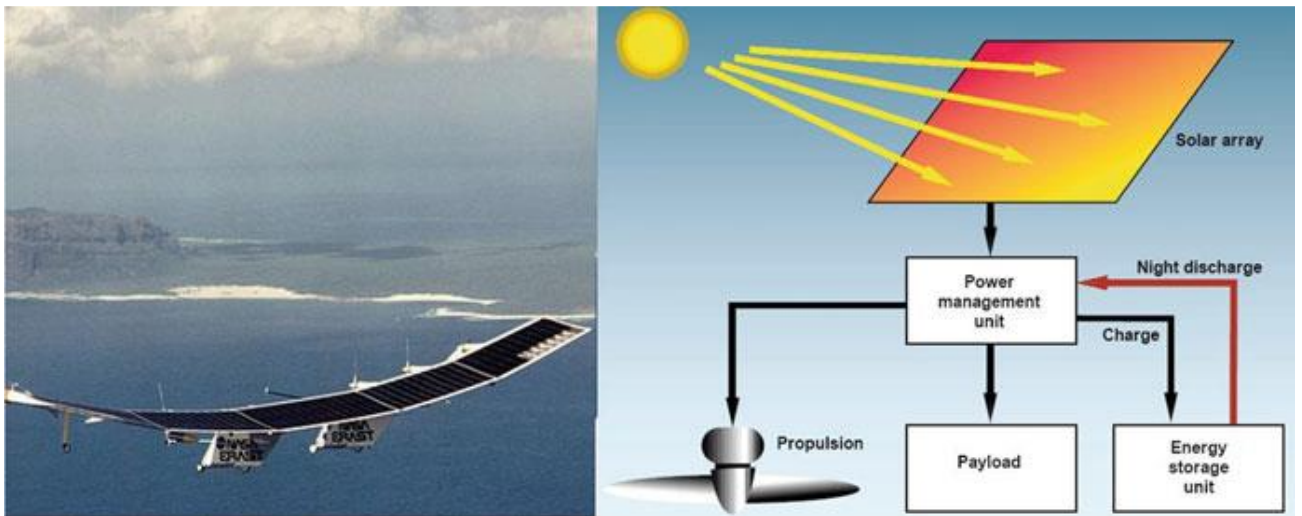
Τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών αεροσκαφών περιλαμβάνουν αυξημένη ασφάλεια λόγω μειωμένης πιθανότητας μηχανικής βλάβης, όπως π.χ. από την ηφαιστειακή τέφρα, τον μικρότερο κίνδυνο έκρηξης ή φωτιάς σε περίπτωση σύγκρουσης, λιγότερο θόρυβο, και καθόλου εκπομπές ή ρύπανση.

Το κύριο μειονέκτημα των ηλεκτρικών αεροσκαφών είναι το μειωμένο εύρος αποστάσεων που μπορεί να καλύψει. Βέβαια, μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη ηλιακών κυψελών στο σώμα του αεροσκάφους ώστε να δημιουργηθεί ένα ηλιακό αεροπλάνο. Ωστόσο, η επιφάνεια του αεροπλάνου πρέπει να είναι μεγάλη σε σύγκριση με το βάρος του για να έχει σημαντική επίδραση στο εύρος απόστασης που θα διανύσει. Ηλεκτροκίνητα μοντέλα αεροσκαφών έχουν πετάξει από τη δεκαετία του 1970, συμπεριλαμβανομένων των επανδρωμένων και μη εναέριων οχημάτων. Περίπου 60 αεροσκάφη κινούμενα με ηλεκτρικό ρεύμα έχουν σχεδιαστεί από τη δεκαετία του 1960, εκ των οποίων μερικά χρησιμοποιούνται για στρατιωτική χρήση.

Το μη επανδρωμένο AstroFlight Sunrise 27 λιβρών (12 κιλών) ήταν το πρώτο στον κόσμο που πέταξε στις 4 Νοεμβρίου 1974. Το βελτιωμένο Sunrise II πέταξε στις 27 Σεπτεμβρίου 1975 στη βάση αεροπορίας Nellis των ΗΠΑ.

Η πρώτη επίσημη πτήση στον κόσμο σε επανδρωμένο ηλιακό αεροσκάφος πραγματοποιήθηκε στις 29 Απριλίου 1979. Το αεροσκάφος χρησιμοποίησε φωτοβολταϊκά κύτταρα που παρήγαγαν 350 W στα 30 V. Το αεροσκάφος ήταν σε θέση να τροφοδοτήσει τον κινητήρα για 3-5 λεπτά, μετά από 1,5 ώρα φόρτισης, επιτρέποντας του να φτάσει σε ένα ύψος ολίσθησης. Το Solar Challenger έθεσε ένα υψόμετρο ρεκόρ στα 14.300 πόδια στις 7 Ιουλίου 1981 όπου πέταξε 163 μίλια από το αεροδρόμιο του Cormeilles-en-Vexin, κοντά στο Παρίσι απέναντι από τον Αγγλικό σταθμό, στο μουσείο ιστορίας RAF Manston κοντά στο Λονδίνο. Η γερμανική εταιρεία Solair 1 απασχολούσε 2500 φωτοβολταϊκά στοιχεία ενσωματωμένα στα φτερά, δίνοντας έξοδο 2,2 kW (3 hp) με βάρος αεροσκάφους 180 κιλών. Το αεροσκάφος για πρώτη φορά πέταξε στις 21 Αυγούστου 1983, ενώ η πρώτη πτήση του Solair II πραγματοποιήθηκε το Μάιο του 1998. Το Pathfinder της NASA και το Helios ήταν μια σειρά

μη επανδρωμένων οχημάτων τροφοδοτούμενα από ηλιακά συστήματα και κυψέλες καυσίμων.



Εικόνα 1.3.3 (α) «Αεροσκάφος NASA Pathfinder»

Το 1990, το αεροσκάφος ηλιακής ενέργειας Sunseeker πέταξε επιτυχώς στις ΗΠΑ. Χρησιμοποίησε μια μικρή μπαταρία φορτισμένη από ηλιακά κύτταρα στα φτερά για να ενεργοποιήσει μια έλικα απογείωσης, και στη συνέχεια διατήρησε πτήση χρησιμοποιώντας αποκλειστικά ηλιακή ενέργεια και εκτινασσόταν ψηλά όποτε αυτό ήταν δυνατόν.

Το Sunseeker II, που χτίστηκε το 2002, αναβαθμίστηκε το 2005-2006 με έναν πιο ισχυρό κινητήρα, μεγαλύτερων πτερυγίων, με πακέτα μπαταριών λιθίου και ενημερωμένο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου. Μέχρι τον Δεκέμβριο του 2008, ήταν το μόνο επανδρωμένο ηλιακά τροφοδοτούμενο αεροπλάνο κατάλληλο για πτήση και αξιοποιείται τακτικά από την Solar Flight. Το 2009 μάλιστα, έγινε το πρώτο ηλιακό αεροσκάφος που διέσχισε τις Άλπεις.

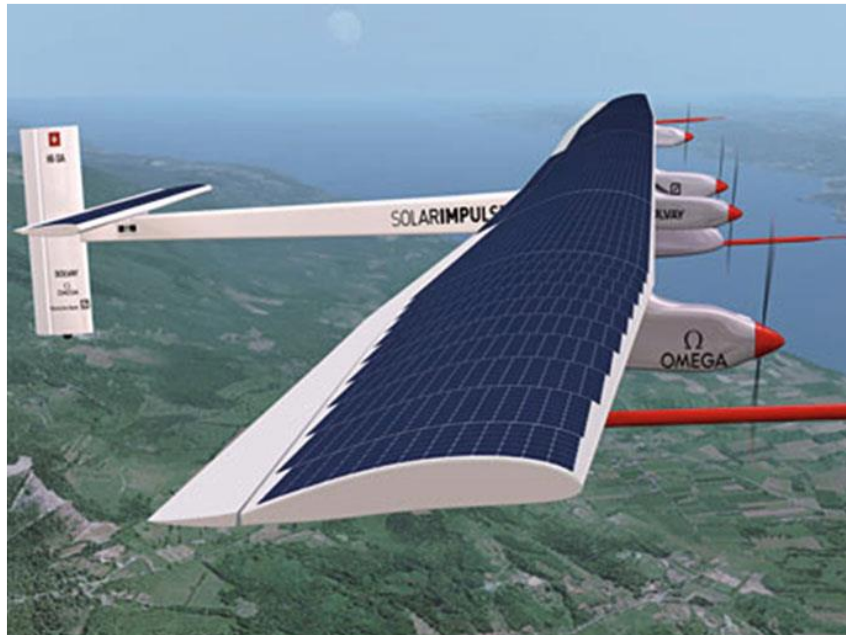


Εικόνα 1.3.3 (β) «Αεροσκάφος Sunseeker 2»

Το πρώτο ηλιακό αεροσκάφος της Κίνας "Soaring" σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το 1992. Το σώμα και τα φτερά του ήταν χειροποίητα και αποτελούσαν κυρίως από ίνες άνθρακα, κέβλαρ, και ξύλο.

Το πρωτότυπο Solar Impulse είχε την πρώτη δοκιμαστική πτήση του σε μικρή απόσταση (350μ) στις 3 Δεκεμβρίου 2009. Στην παρούσα διαρρύθμισή του, έχει ένα άνοιγμα πτερυγίων 64 μέτρα, ζυγίζει 1588 κιλά και τροφοδοτείται από τέσσερις ηλεκτρικούς κινητήρες 10 ίππων (7 kW), καθείς εκ των οποίων κινεί μία έλικα. Το Solar Impulse συλλέγει το φως του ήλιου χρησιμοποιώντας 12.000 φωτοβολταϊκά κύτταρα ενσωματωμένα στα φτερά του και έναν οριζόντιο σταθεροποιητή. Η ισχύς από τα ηλιακά κύτταρα αποθηκεύεται σε πολυμερές μπαταρίες λιθίου και χρησιμοποιείται για να στρέψει τις έλικες διαμέτρου 3.5 μέτρων σε ταχύτητες 200-400 rpm. Η ταχύτητα απογείωσης είναι 19 κόμβοι (35 km / h) και η ταχύτητα πλοήγησης είναι 60 κόμβοι (111 km / h). Το αεροσκάφος είχε την πρώτη του υψηλή πτήση στις 7 Απριλίου 2010, όταν πέταξε σε υψόμετρο 1200 μέτρων διάρκειας 1,5 ωρών με μοναδική του ισχύς η μπαταρία. Τον Ιούλιο του 2010, το πρωτοποριακό αεροπλάνο HB-SIA της Solar Impulse έκανε την πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια νυχτερινής πτήσης στο αεροδρόμιο Payerne. Το αεροσκάφος απογειώθηκε στις 7 Ιουλίου στις 06:51 π.μ. και, μέχρι το τέλος της ημέρας, έφτασε σε υψόμετρο 8700 μέτρων. Στη συνέχεια, κατέβηκε αργά στα 1500 μέτρα και πέταξε τη νύχτα με τη χρήση των μπαταριών, οι οποίες είχαν φορτιστεί κατά τη διάρκεια της ημέρας από 12.000 ηλιακά κύτταρα, τα οποία τροφοδοτούσαν τους τέσσερις ηλεκτροκινητήρες. Προσγειώθηκε στις 8 Ιουλίου στο 09:00 π.μ. (GMT 2) ύστερα από μια διάρκεια πτήσης 26 ωρών 9 λεπτών, πραγματοποιώντας τη μεγαλύτερη και ψηλότερη πτήση που έγινε ποτέ από ηλιακό αεροπλάνο. Αργότερα, ολοκλήρωσε με επιτυχία πτήσεις από την

Ελβετία στην Ισπανία και στη συνέχεια το Μαρόκο το 2012 και διεξήγαγε ένα πολυβάθμιο στάδιο πτήσης στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2013.



Εικόνα 1.3.3 (γ) «Αεροσκάφος Solar impulse»

Το 2014, το Solar Impulse 2 κατασκευάστηκε με περισσότερα ηλιακά κύτταρα και ισχυρότερους κινητήρες. Τον Μάρτιο του 2015, ξεκίνησε μια προσπάθεια να πετάξει γύρω από τον πλανήτη, όπου αναχώρησε από το Αμπού Ντάμπι στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. Έως την 1η Ιουνίου 2015, το αεροπλάνο είχε διασχίσει την Ασία. Στις 3 Ιουλίου 2015, το αεροπλάνο είχε ολοκληρώσει το μεγαλύτερο μέρος του ταξιδιού του, από την Ιαπωνία στη Χαβάη, αλλά οι μπαταρίες του αεροσκάφους υπέστησαν θερμική ζημιά που χρειάστηκαν μήνες για να επισκευαστούν.

### **Ανθρωποκινούμενα αεροσκάφη**

Ένα ανθρώπινο αεροσκάφος (Human Powered Aircraft) είναι ένα ιπτάμενο όχημα ικανό να διατηρεί, ελεγχόμενη πτήση από τον άνθρωπο μόνο μέσω της χρήσης ενός πεδαλίου, το οποίο ενεργοποιεί ένα μηχανισμό περιστροφής μιας έλικας και δημιουργείται ώθηση. Από κατασκευής, η συμβολή των ρευμάτων θερμού αέρα ή των ρευμάτων ανύψωσης είναι αναπόφευκτη. Το γνήσιο ανθρωποκινούμενο αεροπλάνο δεν χρησιμοποιεί υβριδικές ροές ενέργειας (ηλιακή ενέργεια, ταινία ελαστικής πληγής, κυψέλη καυσίμου κλπ.) για ώθηση. Η πρώτη καταγεγραμμένη επιτυχημένη πτήση HPA συνέβη το 1936 με πρωταγωνιστή το

"Pedaliante". Ένα αεροσκάφος που χτίστηκε και σχεδιάστηκε στην Ιταλία. Από το 2008 και έπειτα, τα αεροσκάφη που κινούνται με ανθρώπινη κίνηση έχουν πετύχει μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο, κατά κύριο λόγο κατασκευάζονται κατά κόρον ως μορφή μηχανικής πρόκλησης και όχι για κάποιο είδος ψυχαγωγικού ή χρηστικού σκοπού.



Εικόνα 1.3.3 (δ) «Αεροπλάνο ΗΡΑ»

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Καύσιμα

Τα καύσιμα αεροσκαφών, γνωστά και ως αεροπορικά καύσιμα ή καύσιμα αεριοθουμένων, είναι υγρά καύσιμα που προορίζονται για κινητήρες αεροπλάνων. Πρόκειται για μια πολύ ειδική κατηγορία καυσίμων που διέπονται από πολύ αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας δεδομένων των συνθηκών χρήσης τους. Βασικό συστατικό τους αποτελεί η κηροζίνη, προϊόν απόσταξης πετρελαίου, στην οποία έχει γίνει επεξεργασία απομάκρυνσης των θειολών.

### Σκοπός των καυσίμων

Ο κύριος σκοπός των συστημάτων καυσίμου σε ένα αεροπλάνο είναι: α) η ικανοποιητική τροφοδοσία με καύσιμο των συστημάτων ισχύος που εξασφαλίζουν την ικανότητα πτήσης στο ιπτάμενο όχημα, β) την ασφαλή και γρήγορη διαχείριση της όλης ποσότητας καυσίμου που εξασφαλίζουν ασφάλεια πτήσης, ιδίως από πλευράς ευστάθειας, και ικανοποιητική ενημέρωση του πιλότου για τον ρυθμό κατανάλωσης και την υπολειπόμενη ποσότητα στις δεξαμενές.

### 2.1 Κατηγορίες καυσίμων

Οι γενικές κατηγορίες αεροπορικών καυσίμων είναι:

- Βενζίνη αεροπορίας (aviation gasoline)
- Καύσιμα για στροβιλοκινητήρες (turbine ή jet fuel)
- Καύσιμα για αεροπορικά βλήματα (missile fuel)

Τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα και διακινούμενα αεροπορικά καύσιμα στην Ελλάδα και διεθνώς είναι τα καύσιμα στροβιλοκινητήρων (Jet Fuel) που ακολουθούν:

- JET A-1: Το σημαντικότερο καύσιμο της πολιτικής αεροπορίας. Παράγεται από επεξεργασμένη κηροζίνη με προσθήκη προσθέτων (αντιστατικών, αντιοξειδωτικών, βελτίωσης της λιπαντικότητας κ.λπ.).
- JET B: Παράγεται με ανάμιξη κηροζίνης με βαριά νάφθα.
- JP-8: Το συχνότερα χρησιμοποιούμενο καύσιμο της πολεμικής αεροπορίας, αντίστοιχο με τα καύσιμα της πολιτικής αεροπορίας (αντίστοιχο του JET A1 με προσθήκη ενός επιπλέον αντιπαγωτικού προσθέτου).
- JP-4: Καύσιμο της πολεμικής αεροπορίας, συγκεκριμένης πτητικότητας η οποία επιτυγχάνεται με ανάμιξη κηροζίνης με βαριά νάφθα.

## 2.2 Διεθνής προδιαγραφές

Οι προδιαγραφές των προϊόντων είναι ο μηχανισμός προσδιορισμού και ελέγχου των, απαραίτητων για την ικανοποιητική και αξιόπιστη απόδοσή τους, ιδιοτήτων τους από τους παραγωγούς και τους χρήστες.

### 2.2.1 Καύσιμα (Jet Fuel) πολιτικής αεροπορίας

Δύο οργανισμοί έχουν λάβει ηγετικό ρόλο στην θέσπιση και τήρηση προδιαγραφών για καύσιμα προοριζόμενα για χρήση σε πολιτικά αεροσκάφη. Πρόκειται για την ASTM (American Society for Testing and Materials), της οποίας η Επιτροπή D-2 "Προϊόντα Πετρελαίου και Λιπαντικά" είναι υπεύθυνη για τις προδιαγραφές αεροπορικών καυσίμων, και το MoD (United Kingdom Ministry of Defence). Οι προδιαγραφές που εκδίδουν οι δύο οργανισμοί είναι παρόμοιοι αλλά δεν ταυτίζονται. Μεμονωμένα κράτη εκδίδουν δικές τους προδιαγραφές οι οποίες όμως είναι παραπλήσιες και συνήθως ταυτόσημες είτε με τις προδιαγραφές της ASTM ή με αυτές του MoD.

Η ASTM είναι οργανισμός προτυποποίησης γενικής αποδοχής με αποτέλεσμα να διασφαλίζεται η συμμετοχή στην θέσπιση προδιαγραφών όλων των μεγάλων ενδιαφερόμενων μερών, περιλαμβανομένων: επιμέρους διυλιστηρίων, οργανισμούς διύλισης, οργανισμούς εμπορίας πετρελαιοειδών, προμηθευτές προσθέτων και εξοπλισμού, κατασκευαστές αεροσκαφών, κατασκευαστές κινητήρων αεροσκαφών, κρατικούς ρυθμιστικούς οργανισμούς, ομάδες και συμβούλους ειδικών ενδιαφερόντων. Στην περίπτωση που η επιτροπή D-2 χρειάζεται τεχνικά δεδομένα προς αρωγή στην καθιέρωση κάποιας προδιαγραφής ή στην ανάπτυξη κάποιας μεθόδου ελέγχου, μπορεί να απευθύνεται στο Συμβούλιο Συντονισμού Έρευνας (CRC - Coordinating Research Council). Η πρότυπη προδιαγραφή αεροπορικών καυσίμων στροβιλοκινητήρων ASTM D1655 προδιαγράφει τα προϊόντα JET A και JET A-1. Ειδικά για το καύσιμο JET B, δημιουργήθηκε το 2001 ξεχωριστή προδιαγραφή (ASTM D6615).

Στο Ηνωμένο Βασίλειο υπάρχει κοινή προδιαγραφή για την πολιτική και πολεμική αεροπορία. Η Αρχή Πολιτικής Αεροπορίας έχει εξουσιοδοτήσει το Υπουργείο Αμύνης (MoD) για τη θέσπιση προδιαγραφών. Το πρότυπο Defence Standard 91-91 (πρώην DERD 2494) αναθεωρείται κάθε περίπου τρία χρόνια ενώ παράλληλα για επείγουσες αλλαγές

εκδίδονται σχετικές τροποποιήσεις (amendments). Οι διαφορές των προδιαγραφών του για το JET A-1 ως προς αυτές του ASTM D1655 είναι ελάχιστες.

Η Ρώσικη προδιαγραφή GOST 10227 καλύπτει τις απαιτήσεις, μεταξύ άλλων, του καυσίμου τύπου ελαφράς κηροζίνης TS-1, που χρησιμοποιείται στις χώρες της Κοινοπολιτείας Ανεξάρτητων Κρατών. Η IATA (International Air Transport Association) εκδίδει την οδηγία Aviation Turbine Fuels Specifications (Προδιαγραφές Αεροπορικών Καυσίμων Στροβιλοκινητήρων)

Η ομάδα των πολυεθνικών πετρελαϊκών εταιριών που διαχειρίζονται συστήματα αεροπορικών καυσίμων διεθνώς (BP, Chevron, Eni, ExxonMobil, Kuwait Petroleum, Shell, Statoil και Total) έχει την επωνυμία Joint Inspection Group (JIG) και έχει καθορίσει ως προδιαγραφή του JET A-1 ένα έγγραφο κοινής συμφωνίας: το AFQRJOS (Απαιτήσεις Ποιότητας Αεροπορικών Καυσίμων για τα Κοινά Λειτουργικά Συστήματα / Aviation Fuel Quality Requirements For Jointly Operated Systems) που αναφέρεται και ως Joint Checklist. Το έγγραφο αυτό ενσωματώνει τις αυστηρότερες προδιαγραφές από τα δύο πρότυπα του Βρετανικού MoD DEF STAN91/91 και ASTM D1655, για το καύσιμο JET A-1. Αρκετές εταιρίες παραγωγής καυσίμων, παράγουν καύσιμο βάσει του Joint Checklist ώστε να πληρεί και τις δύο προδιαγραφές.



Fuel	Jet A	Jet A-1	TS-1	Jet B
Specification	ASTM D 1655	DEF STAN 91-91	GOST 10227	CGSB-3.22
Acidity, mg KOH/g	0.10	0.015	0.7 (mg KOH/100ml)	0.10
Aromatics, % vol, max	25	25.0	22 (% mass)	25.0
Sulfur, mass%	0.30	0.30	0.25	0.40
Sulfur, mercaptan, mass%	0.003	0.003	0.005	0.003
Distillation, °C:				
Initial boiling point	—	Report	150	Report
10% recovered, max	205	205	165	Report
50% recovered, max	Report	Report	195	min 125; max 190
90% recovered, max	Report	Report	230	Report
End point	300	300	250	270
Vapor pressure, kPa, max	—	—	—	21
Flash point, °C, min	38	38	28	—
Density, 15°C, kg/m <sup>3</sup>	775–840	775–840	min 774@20°C	750–801
Freezing Point, °C, max	-40	-47.0	-50 (Chilling point)	-51
Viscosity, -20°C, mm <sup>2</sup> /sec, max	8	8.0	8.0 @ -40°C	—
Net Heat of combustion, MJ/kg, min	42.8	42.8	42.9	42.8
Smoke point, mm, min	18	19.0	25	20
Naphthalenes, vol%, max	3.0	3.00	—	3.0
Copper corrosion, 2 hr @ 100°C, max rating	No. 1	No. 1	Pass (3 hr @ 100°C)	No. 1
Thermal stability				
Filter pressure drop, mm Hg, max	25	25	—	25
Visual tube rating, max	<3	<3	—	<3
Static test 4 hr @ 150°C, mg/100 ml, max	—	—	18	—
Existent gum, mg/100 ml, max	7	7	5	—

Εικόνα 1.4.2 «Πίνακας σύγκρισης προβλεπόμενων τιμών βασικών ιδιοτήτων ανά αεροπορικό καύσιμο και διεθνή προδιαγραφή. Οι τιμές προδιαγραφών είναι ενδεικτικές και υπόκεινται σε τροποποιήσεις σε κάθε αναθεώρηση των Διεθνών Προδιαγραφών»

## 2.2.2 Καύσιμα πολεμικής αεροπορίας

Τα κύρια καύσιμα αεροπορίας για χρήση σε πολεμικά αεροσκάφη ακολουθούν τις παρακάτω προδιαγραφές:

- JP-5: NATO F-44, MIL-DTL-5624, DEF STAN 91-86
- JP-8: NATO F-34, NATO F-35, MIL-DTL-83133, DEF STAN 91-87

## 2.2.3 Αεροπορικές Βενζίνες (AvGas)

Οι Βενζίνες Αεροπορίας (Aviation Gasolines) διέπονται από τις προδιαγραφές ASTM D910 ή / και Def Stan 91-90 (DERD 2485). Οι συγκεκριμένες προδιαγραφές έχουν καθοριστεί ώστε να εξασφαλίζουν ικανοποιητική απόδοση σε κινητήρες αεροσκαφών τύπου ανάφλεξης με σπινθήρα, σε μεγάλο εύρος λειτουργικών συνθηκών.

## **2.3 Χαρακτηριστικά και Επιδόσεις**

Εφόσον η βασική λειτουργία ενός αεροπορικού καυσίμου για στροβιλοκινητήρες είναι η παροχή ενέργειας σε αεροσκάφη, η περιεκτικότητα σε ενέργεια και η ποιότητα καύσης είναι τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά επίδοσης του καυσίμου.

Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά είναι η σταθερότητα, η λιπαντικότητα, η πτητικότητα, η μη-διαβρωτικότητα και η καθαρότητα. Επιπλέον της παροχής ενέργειας, το καύσιμο λειτουργεί και ως υδραυλικό υγρό για τα συστήματα ελέγχου της μηχανής και ως ψυκτικό για συγκεκριμένα μέρη του συστήματος καυσίμου.

### **2.3.1 Περιεχόμενη ενέργεια**

Ο στροβιλοκινητήρας του αεροσκάφους παράγει ενέργεια μετατρέποντας την χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο καύσιμο σε έναν συνδυασμό μηχανικής ενέργειας και θερμότητας. Στα περισσότερα αεροσκάφη ο χώρος είναι πολύτιμος, συνεπώς η ποσότητα ενέργειας που περιέχεται σε μια ορισμένη ποσότητα καυσίμου είναι σημαντική.

Η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στο αεροπορικό καύσιμο είναι μετρήσιμη και μετριέται μέσω της χαμηλής θερμογόνου δύναμης, αφού το νερό μένει στα καυσαέρια με μορφή ατμού. Η περιεχόμενη ενέργεια μπορεί να εκφραστεί ανά μονάδα μάζας (MJ/kg, Btu/lb) ή ανά μονάδα όγκου (MJ/l, Btu/gal).

Εφόσον η περιεχόμενη ενέργεια κάθε διαφορετικού υδρογονάνθρακα διαφέρει, η σύσταση του jet fuel έχει αντίκτυπο στην περιεχόμενη ενέργεια του καυσίμου. Συνήθως η πρόβλεψη γίνεται βάσει της πυκνότητας του καυσίμου, η οποία επίσης είναι συνάρτηση της σύστασής του. Σε γενικές γραμμές τα πυκνότερα καύσιμα έχουν υψηλότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου (και χαμηλότερη ανά μονάδα μάζας).

#### **2.3.1.1 Μέθοδοι ελέγχου Κατώτερης Θερμογόνου Δύναμης**

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη ενός δείγματος υπολογίζεται κατ' εκτίμηση βάσει του API gravity, των περιεχόμενων αρωματικών και του προφίλ απόσταξης. Η εκτίμηση βασίζεται σε εξίσωση συσχετισμού που έχει αναπτυχθεί για ένα μεγάλο εύρος καυσίμων. Ένα ζυγισμένο δείγμα του καυσίμου τοποθετείται σε ένα θερμιδόμετρο βόμβας οξυγόνου υπό

προδιαγεγραμμένες συνθήκες. Το καύσιμο αναφλέγεται και η αύξηση της θερμοκρασίας του θερμιδομέτρου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης.

### **2.3.2 Χαρακτηριστικά καύσης**

Η βασική διαφορά μεταξύ των κινητήρων εμβόλου και των στροβιλοκινητήρων είναι ότι, στην πρώτη περίπτωση η καύση είναι διακοπτόμενη (συνεπώς ο χρονισμός ανάφλεξης είναι σημαντικός για την καλή απόδοση), ενώ στη δεύτερη είναι συνεχής (συνεπώς ο χρονισμός ανάφλεξης δεν είναι πολύ σημαντικός).

Στους στροβιλοκινητήρες, νωρίς κατά τη διεργασία της καύσης, σχηματίζονται μικρά ανθρακικά σωματίδια τα οποία, στις έντονες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας του θαλάμου καύσης είναι ανεπιθύμητα για περισσότερους από έναν λόγους:

- μπορούν να προκαλέσουν ρωγμές στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης ή και βλάβες του κινητήρα (πυρακτώνονται και η ακτινοβολία που εκπέμπουν προστίθεται στην αναμενόμενη θερμική ακτινοβολία των αερίων καύσης που μεταφέρεται στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης),
- μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση στις τουρμπίνες και τους στάτορες αν φτάσουν ως εκεί,
- μπορούν να βουλώσουν τα σημεία εισόδου αέρα διάλυσης στον θάλαμο καύσης διαταράσσοντας την ομαλή ροή των προϊόντων καύσης,
- είναι εν μέρη υπεύθυνα για τον ορατό καπνό που αναδίδουν κάποιοι κινητήρες.

Μεγαλύτερη τάση να δημιουργούν τέτοια ανθρακικά σωματίδια έχουν τα καύσιμα με μεγάλη περιεκτικότητα σε αρωματικά και κυρίως σε ναφθαλένια, συνεπώς και τα δύο αυτά είδη συστατικών των καυσίμων είναι υπό έλεγχο.

### **2.3.3 Σταθερότητα**

Ένα καύσιμο θεωρείται σταθερό όταν οι ιδιότητές του δεν αλλάζουν. Αλλαγές στις ιδιότητες των καυσίμων μπορούν να επιφέρουν παράμετροι όπως ο χρόνος (σταθερότητα αποθήκευσης - storage stability) ή η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες στον κινητήρα (θερμική σταθερότητα - thermal stability).

Ενδεχόμενη αστάθεια του καυσίμου προέρχεται από χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται σταδιακά, περιλαμβανομένων αντιδράσεων οξειδωσης. Τα αρχικά

προϊόντα αυτών των αντιδράσεων είναι *υπεροξειδία*, τα οποία παρόλο που μένουν διαλυμένα στο καύσιμο μπορεί να δράσουν επιθετικά στα ελαστομερή του συστήματος καυσίμου. Στη συνέχεια μπορεί να δημιουργηθούν διαλυτά κομμώδη και αδιάλυτα σωματίδια, τα οποία μπορεί να βουλώσουν φίλτρα καυσίμου και επικαθήσεις στις επιφάνειες των συστημάτων καυσίμου των αεροσκαφών, παρεμποδίζοντας τις διόδους μικρής διαμέτρου.

### **2.3.3.1 Σταθερότητα αποθήκευσης**

Τα αεροπορικά καύσιμα που παράγονται, διακινούνται και αποθηκεύονται με το σωστό τρόπο είναι σταθερά για τουλάχιστον ένα έτος και στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν αφού επιβεβαιωθεί η σταθερότητα των ιδιοτήτων μέσω ελέγχων. Το αεροπορικό καύσιμο συνήθως καταναλώνεται σε μικρό χρονικό διάστημα από την παραγωγή του, οπότε η σταθερότητα αποθήκευσης ενδιαφέρει περισσότερο σε περιπτώσεις που τηρούνται αποθέματα ασφαλείας, όπως στην πολεμική αεροπορία, ή για παράδειγμα σε μικρά αεροδρόμια που δεν έχουν μεγάλη κίνηση και άρα η κατανάλωση καυσίμων είναι μικρή.

Η σταθερότητα αποθήκευσης εξαρτάται από παραμέτρους όπως η σύσταση του καυσίμου, δεδομένου ότι την αστάθεια την προκαλούν τα περισσότερο δραστικά συστατικά και η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες που μπορεί να επιταχύνουν τις αντιδράσεις που προκαλούν αστάθεια. Η βελτίωση της σταθερότητας αποθήκευσης μπορεί να προκύψει με την προσθήκη αντιοξειδωτικών.

### **2.3.3.2 Θερμική σταθερότητα / μέθοδοι ελέγχου**

Πρόκειται για μία από τις πιο σημαντικές ιδιότητες του καυσίμου, εφόσον αυτό λειτουργεί μεταξύ άλλων ως μέσο ανταλλαγής θερμότητας, αφαιρώντας θερμότητα από το λιπαντικό του κινητήρα, τα υδραυλικά υγρά και τον εξοπλισμό κλιματισμού. Η θέρμανση του καυσίμου μπορεί να επιταχύνει αντιδράσεις που παράγουν κομμώδη και σωματίδια, τα οποία μπορούν να επικαθήσουν στα φίλτρα, στις νόζλες ψεκασμού, στα κεντρικά συστήματα ελέγχου του κινητήρα και στους εναλλάκτες, προκαλώντας έτσι λειτουργικά προβλήματα και αυξημένες ανάγκες συντήρησης. Σε αυτή την περίπτωση τα αντιοξειδωτικά δεν βοηθούν, όπως στην αποθήκευση, ενώ ενδεχόμενα προβλήματα που δημιουργούνται στις μηχανές λόγω θερμικής αστάθειας γίνονται αντιληπτά κατόπιν εκατοντάδων ορών λειτουργίας και μετά από καύση μεγάλου όγκου καυσίμου - επομένως δεν υπάρχει πρακτικός τρόπος ελέγχου σε αντίστοιχες συνθήκες με αυτές της λειτουργίας των κινητήρων.

Η λύση που έχει επιλεγεί για έλεγχο της θερμικής σταθερότητας στο εργαστήριο, είναι η έκθεση του καυσίμου σε πολύ πιο έντονες συνθήκες, ώστε να γίνει εφικτή η παρακολούθηση μετρήσιμου αποτελέσματος σε έναν λογικό χρόνο. Η συσκευή JFTOT (προφέρεται τζεφ'τότ) - Jet Fuel Thermal Oxidation Tester - βάσει της επίσημης μεθόδου ASTM D3241, υποβάλει το καύσιμο σε άντληση πάνω από μία θερμαινόμενη επιφάνεια αλουμινίου (που προσομοιώνει την επιφάνεια ενός εναλλακτή θερμότητας καυσίμου-λιπαντικού) και στη συνέχεια άντληση δια μέσου φίλτρου που συγκρατεί όποια στερεά κατάλοιπα (που προσομοιώνει την νόζλα ψεκασμού του καυσίμου).

### **2.3.4 Λιπαντικότητα**

Λιπαντικότητα είναι η δυνατότητα μείωσης της τριβής μεταξύ στερεών επιφανειών σε σχετική κίνηση, συνεπώς είναι το μέτρο της αποτελεσματικότητας ενός υλικού ως μέσο λίπανσης. Οι κινητήρες αεροσκαφών βασίζονται στο καύσιμο για τη λίπανση κάποιων κινητών μερών στις αντλίες καυσίμου και στις μονάδες ελέγχου ροής.

Πρόκειται για έναν συνδυασμό υδροδυναμικής και οριακής λίπανσης: ένα στρώμα υγρού αποτρέπει τις αντίθετα κινούμενες επιφάνειες να έρθουν σε επαφή (οπότε τα μεγαλύτερου ιξώδους υγρά παρέχουν μεγαλύτερη υδροδυναμική λίπανση) και παράλληλα οι περιεχόμενες ενώσεις δημιουργούν ένα προστατευτικό στρώμα κατά της φθοράς, προσκολούμενες στις μεταλλικές επιφάνειες.

Τα straight run καύσιμα λειτουργούν καλά ως προς την παροχή οριακής λίπανσης και αυτό οφείλεται κυρίως στα ίχνη συγκεκριμένων οξυγονούχων, αζωτούχων και θειούχων ενώσεων (θεωρία στην οποία συνηγορεί το γεγονός αρκούν 10ppm προσθέτου βελτίωσης λιπαντικότητας για να κάνουν αποδεκτό ένα καύσιμο με κακή λιπαντικότητα). Η υδρογονοκατεργασία (διεργασία που μειώνει το θείο και τα αρωματικά) απομακρύνει αυτές τις ενώσεις που προκύπτουν φυσικά και παραμένουν μετά τη διύλιση, όμως η έλλειψη θείου και αρωματικών δεν σημαίνει οπωσδήποτε ότι το καύσιμο έχει κακή λιπαντικότητα, εφόσον καύσιμα με αντίστοιχες περιεκτικότητες θείου και αρωματικών διαφέρουν στην λιπαντικότητα.

#### **2.3.4.1 Μέθοδος ελέγχου λιπαντικότητας**

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου "BOCLE wear scar diameter", μία ατσάλινη μπάλα μένει σταθερή, κόντρα σε ένα κυλινδρικό δαχτυλίδι που περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα ενώ

βρίσκεται εν μέρει βυθισμένο στο καύσιμο. Στο τέλος του τεστ η μπάλα αφαιρείται και ελέγχεται για σημάδια φθοράς, των οποίων το μέγεθος είναι αντιστρόφως ανάλογο της λιπαντικότητας.

Πάντως, η απαίτηση μέτρησης λιπαντικότητας περιορίζεται στις περιπτώσεις καυσίμων που η σύστασή τους περιλαμβάνει: α) τουλάχιστον 20% έντονα υδρογονοκατεργασμένα συστατικά και ταυτόχρονα λιγότερα από 5% μη υδρογονοκατεργασμένα συστατικά ή β) συνθετικά συστατικά καυσίμου.

### **2.3.5 Ρευστότητα**

Προφανώς το αεροπορικό καύσιμο πρέπει να μπορεί να ρέει από τις δεξαμενές αποθήκευσης στα φτερά του αεροσκάφους ως τον κινητήρα, μέσω του συστήματος καυσίμων του αεροσκάφους. Η ρευστότητα ως γενικός όρος αναφέρεται στην ικανότητα μιας ουσίας να ρέει αλλά δεν αποτελεί φυσική ιδιότητα: οι σχετικές με την ποσοτικοποίηση της ρευστότητας φυσικές ιδιότητες είναι το ιξώδες και το σημείο πήξης.

Τα αεροπορικά καύσιμα εκτίθενται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες τόσο στο ύψος πτήσης (ειδικά σε διαδρομές προς τους πόλους τον χειμώνα) όσο και στο έδαφος σε περιοχές όπου παρατηρούνται ακραίες θερμοκρασίες. Σε αυτές τις θερμοκρασίες είναι πολύ σημαντικό για το καύσιμο να τηρεί την ρευστότητά του, διαφορετικά η ροή του προς τον κινητήρα θα μπορούσε να μειωθεί ή και να σταματήσει.

#### **2.3.5.1 Ιξώδες και μέθοδοι ελέγχου**

Το ιξώδες είναι ένα μέτρο της αντίστασης ενός ρευστού στη ροή υπό πίεση (βαρύτητας ή μηχανική), η οποία αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Στους κινητήρες αεροσκαφών το αεροπορικό καύσιμο ψεκάζεται υπό υψηλή πίεση σε έναν θάλαμο καύσης μέσα από νόζλες, ώστε να παράγεται ένα λεπτό νέφος σταγονιδίων που εξατμίζεται γρήγορα καθώς ανακατεύονται με τον αέρα. Το μέγεθος των σταγονιδίων και το σχήμα του νέφους εξαρτώνται από το ιξώδες του καυσίμου. Πολύ υψηλό ιξώδες θα καθιστούσε δύσκολη την πτήση, συνεπώς έχει τεθεί προδιαγραφή μέγιστης τιμής. Επιπλέον το ιξώδες του καυσίμου επηρεάζει την πτώση πίεσης στις γραμμές του συστήματος καυσίμου και τη μονάδα ελέγχου καυσίμου.

Οι επίσημες μέθοδοι για τη μέτρηση του ιξώδους στα αεροπορικά καύσιμα είναι η ASTM D445 / IP71, "Κινηματικό ιξώδες Διαφανών και Αδιαφανών Υγρών": Ένα δείγμα

τοποθετείται σε ένα διακριβωμένο γυάλινο ιξωδόμετρο και τοποθετείται σε λεπτομερώς ελεγχόμενη θερμοκρασία. Ο χρόνος που απαιτείται για έναν συγκεκριμένο όγκο δείγματος να κινηθεί από το τριχοειδές μόνο με την επίδραση της βαρύτητας μετريέται και είναι ανάλογος με το κινηματικό ιξώδες του δείγματος.

### **2.3.5.2 Σημείο πήξης και μέθοδοι ελέγχου**

Οι διάφοροι υδρογονάνθρακες που αποτελούν το καύσιμο δεν πήζουν στην ίδια θερμοκρασία. Επομένως όταν το καύσιμο ψύχεται, πρώτα παγώνουν οι υδρογονάνθρακες με ψηλό σημείο πήξης (freezing point) και σχηματίζουν κρυστάλλους. Συνεχίζοντας την ψύξη του καυσίμου, όλο και περισσότεροι υδρογονάνθρακες κρυσταλλώνονται και έτσι το καύσιμο σταδιακά μετατρέπεται από ομοιογενές υγρό, σε υγρό που περιλαμβάνει μερικούς κρυστάλλους, σε πολύ καύσιμο και κρυστάλλων υδρογονανθράκων και τέλος σε ημιστερεό τεμάχιο υδρογονανθράκων. Το σημείο πήξης είναι η θερμοκρασία στην οποία λιώνει και ο τελευταίος κρύσταλλος που έχει δημιουργηθεί με την προηγούμενη ψύξη του δείγματος. Συνεπώς, το σημείο πήξης του καυσίμου είναι αρκετά υψηλότερο από τη θερμοκρασία στην οποία το καύσιμο στερεοποιείται εντελώς.

Το σημαντικότερο κριτήριο για την εκτίμηση της επίδοσης του καυσίμου είναι η αντλησιμότητα, δηλαδή η ικανότητα της μετακίνησης του καυσίμου από τη δεξαμενή στον κινητήρα, η οποία επηρεάζεται από την ρευστότητα του καυσίμου και τον σχεδιασμό του κινητήρα. Το σημείο πήξης χρησιμοποιείται από την βιομηχανία ως ένδειξη της αντλησιμότητας του καυσίμου σε χαμηλές θερμοκρασίες, εφόσον το αεροπορικό καύσιμο συνήθως μένει αντλήσιμο 4-15°C κάτω από το σημείο πήξης του.

Οι επίσημες μέθοδοι για τη μέτρηση του σημείου πήξης είναι οι ASTM D2386/IP16 (μέθοδος διαιτησίας), ASTM D5972/IP435, ASTM D7153/IP528, ASTM D7154/IP529.

### **2.3.6 Πτητικότητα**

Πτητικότητα είναι η τάση ενός καυσίμου να εξατμίζεται και είναι σημαντική γιατί, από τη μία το καύσιμο πρέπει να εξατμιστεί πριν μπορέσει να καεί και άρα το καύσιμο χρειάζεται να είναι πτητικό, όμως αν είναι πολύ πτητικό μπορεί να οδηγήσει σε κλείδωμα ατμών vapor lock. Οι φυσικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την πτητικότητα είναι η τάση ατμών και το προφίλ απόσταξης.

### **2.3.7 Μη-διαβρωτικότητα**

Το καύσιμο δεν πρέπει να διαβρώνει τα υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή κατά την διακίνηση και χρήση: αλουμίνιο για τις δεξαμενές, χάλυβα και άλλα μέταλλα στο σύστημα καυσίμου, ελαστομερή και επικαλύψεις κλπ. Διαβρωτικές ουσίες, οι οποίες ενδεχόμενα βρίσκονται μέσα στο αεροπορικό καύσιμο, περιλαμβάνουν οργανικά οξέα και μερκαπτάνες - οπότε οι προδιαγραφές καθορίζουν μέγιστη περιεκτικότητα για αυτού του είδους τις ενώσεις - παραπροϊόντα μικροβιακής ανάπτυξης και ίχνη νατρίου, καλίου και άλλων αλκαλίων.

### **2.3.8 Καθαρότητα**

Το καύσιμο πρέπει να είναι καθαρό από σωματίδια, νερό και επιμολυντές. Τα σωματίδια (σκουριά, βρωμιές κλπ.) μπορούν να βουλώσουν τα φίλτρα και να αυξήσουν τις φθορές της αντλίας καυσίμου. Το νερό, αφενός δεν μπορεί να καεί στον κινητήρα, αφετέρου παγώνει στις χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στο ύψος πτήσης των αεροσκαφών με τον πάγο να βουλώνει τα φίλτρα και να παρεμποδίζει την ροή του καυσίμου, ενώ παράλληλα διευκολύνει τη διάβρωση των μετάλλων και ευνοεί την μικροβιακή ανάπτυξη. Άλλες πηγές επιμόλυνσης μπορεί να είναι διαφορετικά προϊόντα πετρελαίου, απορρυπαντικά, μικρόβια και βαφές.

### **2.4 Μικροβιακή ανάπτυξη**

Κατά την παραγωγή του, το αεροπορικό καύσιμο είναι στείρο μικροβίων λόγω των εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών των διεργασιών. Σύντομα όμως αρχίζει να επιμολύνεται από μικροοργανισμούς (βακτήρια και μύκητες) που πάντα υπάρχουν στον αέρα και το νερό. Αυτοί τρέφονται με καύσιμο, νερό (οπότε αναπτύσσονται συνήθως στην διεπιφάνεια καυσίμου / νερού, όταν υπάρχει υδατική φάση) και μεταλλικά συστατικά που περιέχονται στο καύσιμο, ενώ η ανάπτυξή τους διευκολύνεται από ενδεχόμενες υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος

### **2.5 Ιδιότητες σχετιζόμενες με την ασφάλεια**



Τα αεροπορικά καύσιμα, αν δεν έχουν σωστή διαχείριση, μπορεί να αποδειχθούν επικίνδυνα. Το πιο σημαντικό είναι ότι είναι εύκολο να αναφλεγούν. Παράλληλα, η επαφή με το υγρό καύσιμο ή τους ατμούς του πρέπει να είναι περιορισμένη.

Το ίδιο το καύσιμο στην υγρή του μορφή δεν καίγεται, καίγονται όμως οι ατμοί του, όταν το μίγμα τους με τον αέρα είναι εντός του εύρους ευφλεκτότητας. Υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος μπορούν να θερμάνουν το καύσιμο τόσο ώστε οι ατμοί να φτάσουν στο εύρος ευφλεκτότητας, ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις το μίγμα ατμών υδρογονανθράκων και αέρα, που βρίσκεται στο χώρο πάνω από το καύσιμο σε κλειστό χώρο, είναι αρκετά κάτω από το ελάχιστο σημείο ευφλεκτότητας.

Εντούτοις, απουσία συγκεκριμένων πληροφοριών που να συνηγορούν προς άλλη κατεύθυνση, σε κάθε περίπτωση η διαχείριση του καυσίμου πρέπει να θεωρείται δυνητικά επικίνδυνη και να λαμβάνονται πάντα τα ενδεδειγμένα μέτρα ασφαλείας.

### **2.5.1 Σημείο Ανάφλεξης και μέθοδοι ελέγχου**

Το σημείο ανάφλεξης είναι η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία οι ατμοί πάνω από ένα εύφλεκτο υγρό θα αναφλεγούν όταν έρθουν σε επαφή με πηγή ανάφλεξης. Πρόκειται για την ελάχιστη θερμοκρασία ευφλεκτότητας υπό τις συνθήκες εκτέλεσης του ελέγχου, δηλαδή, σε άλλες συνθήκες δεν είναι απαραίτητο ότι η ελάχιστη θερμοκρασία ευφλεκτότητας θα είναι η ίδια.

Ειδικά για τα δείγματα αεροπορικών καυσίμων προδιαγράφονται τιμές σημείου ανάφλεξης με τις μεθόδους ASTM D56, ASTM D3828, IP303, IP523, IP170.

Σύμφωνα με την ASTM D56 - Flash Point by Tag Closed Tester, μία ποσότητα του καυσίμου τοποθετείται σε έναν πωματιζόμενο περιέκτη και θερμαίνεται με αργό, σταθερό ρυθμό. Σε κανονικά χρονικά διαστήματα, το πώμα ανοίγει και μία πηγή ανάφλεξης (πχ φλόγα) κατευθύνεται στο εσωτερικό του περιέκτη όπου βρίσκεται το δείγμα. Σημείο ανάφλεξης είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία, στην οποία η πηγή προκαλεί ανάφλεξη του ατμού που έχει συγκεντρωθεί πάνω από το δείγμα.

Σύμφωνα με την ASTM D3828/IP 303 - Flash Point by Small Scale Closed Tester, μία ποσότητα καυσίμου τοποθετείται σε πωματιζόμενο περιέκτη και αυτός θερμαίνεται μέχρι μία επιλεγμένη θερμοκρασία. Μετά από προδιαγεγραμμένο χρόνο, το πώμα ανοίγει, μια φλόγα εισάγεται και παρατηρείται αν υπάρχει ή όχι ανάφλεξη. Ο έλεγχος επαναλαμβάνεται σε άλλες επιλεγμένες θερμοκρασίες, μέχρις ότου προσδιοριστεί το σημείο ανάφλεξης εντός της απαιτούμενης ακρίβειας (όχι μεγαλύτερης από 0,5°C).

## 2.6 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Καθώς το καύσιμο κινείται εντός αγωγών, σωληνώσεων, βαλβίδων ή φίλτρων, στην διεπιφάνεια μπορεί να αναπτυχθεί ηλεκτρικό φορτίο όπως σε κάθε περίπτωση που διαφορετικής φύσης υλικά κινούνται ερχόμενα σε επαφή. Ο ρυθμός απομάκρυνσης ηλεκτρικού φορτίου είναι ανάλογος της αγωγιμότητας του καυσίμου. Παρόλο που το καύσιμο αποτελείται από υδρογονάνθρακες, οι οποίοι είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, περιέχει επίσης ίχνη ενώσεων που μπορούν να ιονιστούν όπως π.χ. το νερό, οι φαινόλες και τα ναφθενικά οξέα.

Όταν ένα υγρό χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, όπως το αεροπορικό καύσιμο, αντλείται με μεγάλη ταχύτητα ή διέρχεται από φίλτρο, η συγκέντρωση ηλεκτροστατικού φορτίου μπορεί να είναι ταχύτερη από την απομάκρυνσή του. Όταν το συγκεντρωμένο φορτίο ξεπερνάει την ενέργεια ιονισμού του αέρα που βρίσκεται πάνω από το υγρό, μπορεί να προκύψει αποφόρτιση της επιφάνειας του υγρού με τη μορφή σπινθήρα. Εάν το υγρό είναι εύφλεκτο και η σύνθεση του μίγματος ατμού / αέρα πάνω από αυτό βρίσκεται στο εύρος ευφλεκτότητας, η ενέργεια του σπινθήρα μπορεί να προκαλέσει έκρηξη.

Προκειμένου να αποφευχθούν εκρήξεις από σπινθήρες λόγω στατικού ηλεκτρισμού, χρησιμοποιούνται καλά σχεδιασμένα συστήματα διακίνησης καυσίμων με γειώσεις, όρια ρυθμού άντλησης και χρόνο αποφόρτισης πριν εκτεθεί το καύσιμο στον αέρα. Παράλληλα χρησιμοποιούνται τα λεγόμενα *αντιστατικά πρόσθετα* (static dissipator) που ελαττώνουν τον κίνδυνο συγκέντρωσης ηλεκτρικού φορτίου: δεν μειώνουν τη δημιουργία ηλεκτροστατικού φορτίου, αλλά αυξάνουν τον ρυθμό απομάκρυνσής του, με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του καυσίμου.

## 2.7 Εκπομπές

Οι εκπομπές ρυπαντών από τα αεροσκάφη αποτελούν ένα μικρό μόνο ποσοστό των αντίστοιχων από τα οχήματα ξηράς και άλλες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο έδαφος. Η έρευνα για το κατά πόσο συμμετέχουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση, εφόσον το μεγαλύτερο μέρος τους αποβάλλεται σε μεγάλο ύψους, βρίσκεται σε εξέλιξη. Όταν οι υδρογονάνθρακες καίγονται πλήρως, τα προϊόντα της καύσης θεωρητικά είναι μόνο διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Ωστόσο στην πραγματικότητα, όταν καίγεται το

αεροπορικό καύσιμο και λόγω των ιχνών θείου και αζώτου που περιέχονται σε αυτό, αλλά και ανάλογα με το σχεδιασμό της μηχανής και τις συνθήκες λειτουργίας, εκπέμπονται επιπλέον οξειδία του θείου, οξειδία του αζώτου, υδρογονάνθρακες που δεν κάηκαν πλήρως και σωματίδια (τέφρα).

Το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί αέριο που συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και εμπλέκεται στην κλιματική αλλαγή, η ποσότητά του είναι ανάλογη της ποσότητας του καυσίμου που καίγεται και η ελάττωσή του επιτυγχάνεται με κατασκευαστικές βελτιώσεις των αεροσκαφών.

Οι ατμοί νερού, ενώ δεν αποτελούν πρόβλημα στο επίπεδο του εδάφους, όταν εκπέμπονται στο μεγάλο ύψος πτήσης των αεροσκαφών αποτελούν πρόβλημα, εφόσον οδηγούν στην δημιουργία λευκής "ουράς" ή νεφελωμάτων που ενδεχομένως συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα οξειδία του θείου, που προέρχονται από την καύση ενώσεων θείου που περιέχονται στα καύσιμα, θεωρείται ότι συνεισφέρουν στην δημιουργία αερολυμάτων (aerosols) και στην δημιουργία σωματιδίων, όμως η προσπάθεια ελάττωσής τους μέσω της μείωσης του περιεχόμενου θείου των καυσίμων μπορεί να μεταβάλλει άλλες ιδιότητες του καυσίμου και αυτό πρέπει να συνεκτιμηθεί.

Τα οξειδία του αζώτου, τα οποία θεωρείται ότι συνεισφέρουν στην δημιουργία στρώματος όζοντος στην επιφάνεια του εδάφους, προέρχονται κυρίως από την οξείδωση του αζώτου της ατμόσφαιρας στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον καυστήρα, συνεπώς μπορούν να μειωθούν με βελτιώσεις στον σχεδιασμό των αεροσκαφών και των συνθηκών λειτουργίας, ώστε οι θερμοκρασίες καύσης να διατηρούνται σε χαμηλότερα επίπεδα.

Τα σωματίδια και οι υδρογονάνθρακες που δεν έχουν καεί, προέρχονται από την ατελή καύση, είναι ορατά με τη μορφή καπνού, η ποσότητά τους εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το σχεδιασμό της μηχανής και τις συνθήκες λειτουργίας και δευτερευόντως από διάφορες ιδιότητες του καυσίμου (π.χ. σημείο καπνού, αρωματικά, ναφθαλένια), ενώ συνεισφέρουν στην δημιουργία νέφους επικίνδυνου για την εισπνοή.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## Συστήματα και υποσυστήματα καυσίμου

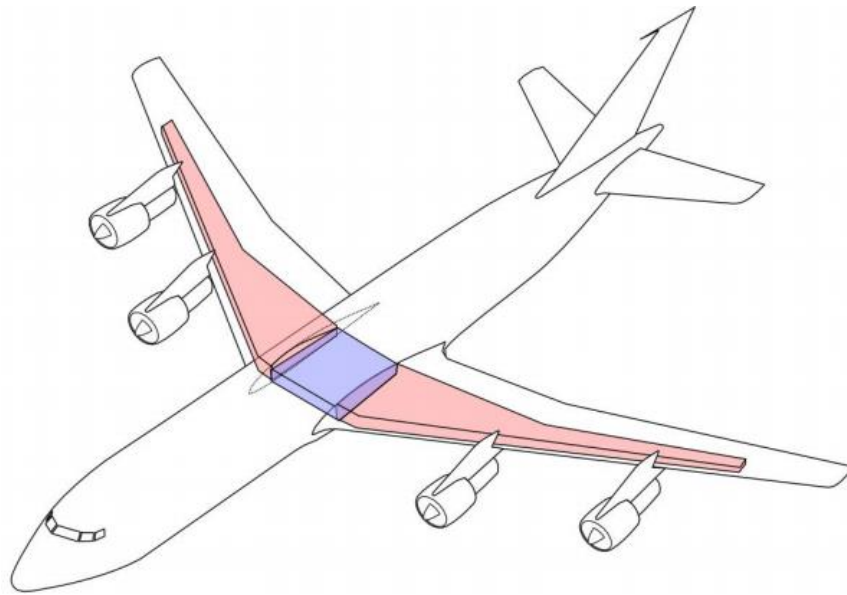
Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε τον τρόπο αποθήκευσης και διανομής του καυσίμου που χρησιμοποιεί το δημοφιλέστερο επιβατικό αεροπλάνο μέσω αποστάσεων, στενής ατράκτου της εταιρείας Boeing Commercial Airlines, το Boeing 737.

### 3.1 Αποθήκευση καυσίμων

Η πολυπλοκότητα συστήματος καυσίμων στα αεροπλάνα εξελίχθηκε σταδιακά. Αρχικά η τροφοδοσία του κινητήρα με καύσιμο γινόταν με τη βοήθεια της βαρύτητας. Αργότερα, εμφανίστηκαν οι αντλίες τροφοδοσίας και μεταφοράς από δεξαμενή σε δεξαμενή, οι ρυθμιστικές βαλβίδες και οι αισθητήρες μέτρησης της διατιθέμενης ποσότητας.

Όσον αφορά την αποθήκευση του καυσίμου στα αεροπλάνα, γίνεται σε μία κύρια δεξαμενή που βρίσκεται στο κέντρο τους και δύο δευτερεύοντες που εντοπίζονται στο εσωτερικό των φτερών τους και υπάρχουν τρεις σημαντικοί λόγοι που συμβαίνει αυτό.

Ο πρώτος λόγος είναι το βάρος και η ισορροπία. Όταν κατασκευάζεται ένα αεροπλάνο, η κατανομή του βάρους και η ισορροπία του είναι εξαιρετικής σημασίας. Από το πώς θα καθίσουν οι επιβάτες, το φορτίο, οι αποσκευές όπως φυσικά και τα καύσιμα τα οποία ζυγίζουν πολλούς τόνους. Τα φτερά λοιπόν, δίνουν όλη την ανύψωση που χρειάζεται το αεροσκάφος για να πετάξει επομένως είναι λογικό να εστιάσουμε το κέντρο βάρους του, στη μέση του κυρίως του σώματος, στο σημείο δηλαδή όπου ενώνονται τα φτερά με την άτρακτο του. Αυτό δίνει σταθερότητα και κάνει το ιπτάμενο όχημα μας πιο αεροδυναμικό επειδή δεν χρειάζεται να δώσει περισσότερη ώθηση ανύψωσης. Επίσης διευκολύνει τον έλεγχο πτητικών ελιγμών, όταν αυτό απαιτείται. Αν οι δεξαμενές καυσίμων ήταν μακριά από το κέντρο του αεροπλάνου, δηλαδή κοντά στη γέφυρα ή στην ουρά του, το κέντρο βάρους του όταν θα άδειάζαν οι δεξαμενές θα άλλαζε δραματικά και θα υπήρχε καταστροφικό πρόβλημα στον έλεγχο του.



Εικόνα 3.1 (α) «Δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων αεροπλάνου»

Ο δεύτερος λόγος που τα καύσιμα αποθηκεύονται στα φτερά είναι ο χώρος αποθήκευσης. Ένα αεροπλάνο είναι κατασκευασμένο να σηκώνει όσο περισσότερο ωφέλιμο φορτίο γίνεται. Το ωφέλιμο φορτίο περιλαμβάνει τους επιβάτες, τις αποσκευές τους, διάφορα φορτία και όλα αυτά παρευρίσκονται εντός του μεταλλικού σωλήνα που σχηματίζει το σώμα του αεροσκάφους. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πολύ λίγος χώρος αποθήκευσης των καυσίμων. Συνεπώς, τα φτερά είναι ιδανικός χώρος για να αποθηκευτεί το υγρό καύσιμο καθώς στο εσωτερικό τους είναι σχεδόν άδεια.

Τα πτερύγια έχουν γενικά μια σκελετική δομή με δοκούς και υποστηρίγματα στο εσωτερικό τους. Ανάλογα με την πολυπλοκότητα των πτερυγίων, θα υπάρχουν αρκετές κινούμενες επιφάνειες – πτερύγια υπερστήριξης, πτερύγια καμπυλότητας, πηδάλια κλίσης, φθορέας άντωσης. Αυτά κινούνται κυρίως υδραυλικά κι έτσι εκτός από τα μηχανικά, κινούμενα μέρη, υπάρχουν υδραυλικές γραμμές και ηλεκτρικά συστήματα ελέγχου. Εξαιρώντας αυτές τα στοιχεία, το μεγαλύτερο μέρος του χώρου που απομένει μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποθηκευτεί το καύσιμο. Επίσης, τα στηρίγματα εντός των πτερυγίων αποτρέπουν στο υγρό καύσιμο να κυματίζει σε περίπτωση που το αεροπλάνο στρίψει ή δεχτεί κάποια αναταραχή και αυτό επιτυγχάνεται μέσω της τρύπας που υπάρχει σε κάθε ένα από αυτά, όπως απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 3.1 (β) «Εσωτερικός χώρος πτερυγίων αεροσκάφους»

Ο τρίτος λόγος είναι η δομική ακεραιότητα του αεροπλάνου. Συγκεκριμένα, δεν θα μπορούσε να πετάξει αν τα πτερύγια δεν άντεχαν το συνολικό βάρος του. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το αεροπλάνο έχει μέγιστο βάρος κατά τη διάρκεια της απογείωσης, τα φτερά δέχονται τη μεγαλύτερη δύναμη στο κέντρο τους, το οποίο είναι και το κέντρο βάρους του. Στη διάρκεια μιας πτήσης, επομένως, τα φτερά στο αεροσκάφος κάμπτονται και έχουν αυτό το σχήμα.



Εικόνα 3.1 (γ) «Καμπτόμενα πτερύγια»

Σαφώς και είναι κατασκευασμένα για να κάμπτονται όμως μέχρι ένα σημείο. Ειδικά όταν το αεροσκάφος είναι εξαιρετικά βαρύ τα πτερύγια θα έχουν ακόμα μεγαλύτερη κάμψη. Έτσι,

όταν οι αεροναυπηγοί παρατήρησαν αυτό το φαινόμενο σκέφτηκαν ότι ο καλύτερος τρόπος για να κατανεμηθεί το βάρος ισόποσα κατά μήκος των φτερών, ήταν να τα γεμίσουν με το καύσιμο του αεροπλάνου. Με αυτό τον τρόπο οι δεξαμενές καυσίμου λειτουργούν ως αντίβαρο για τα πτερύγια, καθώς το βάρος του καυσίμου που ενεργεί προς τα κάτω, μειώνει την κάμψη των πτερυγίων προς τα πάνω. Γενικά, αυτό σημαίνει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των πτερυγίων και αξιοποίηση χώρου.

Σύμφωνα με τους παραπάνω λόγους, αποθήκευσης καυσίμων στα φτερά του αεροπλάνου, αξίζει να σημειωθεί ότι πάντοτε γίνεται χρήση πρώτα της κύριας κεντρικής δεξαμενής καυσίμου. Τα κάθε ένα πτερύγιο του Boeing 737 μπορεί να σηκώσει 3915 κιλά, δηλαδή 7,8 τόνους συνολικού βάρους ανύψωσης μόνο από τα φτερά.

### **Γενικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών**

- 1.** Οι συμπιεζόμενες δεξαμενές, θα πρέπει να έχουν διατάξεις με χαρακτηριστικά ασφαλή σε αστοχία (fail safe) που να αποτρέπουν τη δημιουργία αρκετά υψηλής διαφορικής πίεσης εσωτερικά και εξωτερικά της δεξαμενής.
- 2.** Οφείλουν να έχουν κυστίδες συγκέντρωσης ιζήματος και νερού. Χαρακτηριστικές τιμές είναι: στα πολιτικά στο 0,10 % της χωρητικότητας της δεξαμενής ενώ στα υπόλοιπα στο 0,25 % της χωρητικότητας της δεξαμενής. Να σημειωθεί ότι σε ελαφρά αεροσκάφη, στα οποία το καύσιμο διέρχεται από κύπελλο συγκράτησης ιζημάτων το οποίο ελέγχεται επίγεια, δεν απαιτείται εγκατάσταση κυστίδας στις δεξαμενές. Επίσης, οι κυστίδες και τα κύπελλα, πρέπει να έχουν διάταξη αποστράγγισης, έτσι ώστε τα ιζήματα και το νερό να μην έρχονται σε επαφή με το καύσιμο.
- 3.** Οφείλουν να έχουν ελεύθερο χώρο, περίπου στο 2 % της συνολικής χωρητικότητας της δεξαμενής, για διαστολή του όγκου του καυσίμου και πρέπει να αποτρέπουν τη πλήρωση του ελεύθερου χώρου στη φάση του ανεφοδιασμού στο έδαφος. Τα μη επιβατικά αεροσκάφη με πλήρη εξαερισμό των δεξαμενών, δε χρειάζεται να έχουν ελεύθερο χώρο στις δεξαμενές τους.
- 4.** Πάνω στη δεξαμενή, πρέπει να αναγράφεται η λέξη "καύσιμο", ο τύπος καυσίμου και η χωρητικότητά της.
- 5.** Κάθε σημείο πλήρωσης, εκτός από τα σημεία πλήρωσης με πίεση, πρέπει να έχει διάταξη ηλεκτρικής σύνδεσης με τον επίγειο εξοπλισμό πλήρωσης καυσίμου.

6. Οφείλουν να έχουν ατμοσφαιρική αποκατάσταση πίεσης και να αποτρέπουν τη συγκέντρωση φορτίων, εύφλεκτων υλικών και ατμών. Άρα, πρέπει να αερίζονται καλά και να αποστραγγίζονται πλήρως.

7. Απαγορεύεται η εγκατάσταση δεξαμενών μπροστά από το αντιτυρικό διάφραγμα (ελάχιστη απόσταση 12,5 mm), πολύ κοντά σε ζώνες πυρκαγιάς και στους χώρους επιβατών και πληρώματος. Μόνο στα μονοκινητήρια, επιτρέπεται η εγκατάσταση δεξαμενών στο χώρο επιβατών με τη προϋπόθεση όμως ότι η χωρητικότητά τους είναι μικρότερη από 94,8 lt, έχουν διατάξεις επαρκούς εξαερισμού και αποστράγγισης και μονώνονται με κατάλληλα αντιτυρικά υλικά από τους χώρους των επιβατών.

8. Το στόμιο εξόδου της βαλβίδας αερισμού πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μην βουλώσει από πάγο ή άλλο ξένο σώμα ή να αναρροφήσει καύσιμο από τη δεξαμενή. Γενικά, η βαλβίδα αερισμού αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των δεξαμενών, αφού ελέγχει και διασφαλίζει πολλές λειτουργίες που εμπλέκουν τον παράγοντα καύσιμο.

### **Κατηγορίες δεξαμενών**

Οι δεξαμενές των αεροσκαφών χωρίζονται δύο κατηγορίες. Τις εξωτερικές και τις εσωτερικές.

#### **Εξωτερικές**

Τοποθετούνται είτε στην άτρακτο, είτε στη κοιλιά της πτέρυγας, είτε στα ακροπτερύγια με τη βοήθεια ενός φορέα και έχουν και πτερύγια στο ουραίο τμήμα. Είναι κατάλληλα αεροδυναμικά διαμορφωμένες ώστε να ελαχιστοποιούν την οπισθέλκουσα. Η μεταφορά καυσίμου από τη δεξαμενή στο σύστημα γίνεται μέσω πεπιεσμένου αέρα και όχι με τη χρήση ενισχυτικής αντλίας. Ο πεπιεσμένος αέρας προέρχεται από το συμπιεστή του στροβιλοκινητήρα. Οι εξωτερικές δεξαμενές είναι μεταλλικές και κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου.

#### **Υποκατηγορίες εσωτερικών δεξαμενών**

##### **Μεταλλικές**

Χρησιμοποιούνται σε ελαφρά και χαμηλού κόστους κατασκευής αεροσκάφη και σε πολιτικά εμβολοφόρα αεροσκάφη. Κατασκευάζονται από κράματα μετάλλων, με μεγαλύτερη χρήση να έχουν τα κράματα αλουμινίου και κυρίως τα συγκολλησίμα, αφού έχουν χαμηλό βάρος,



καλή αντοχή, καλή συγκόλληση και διαμορφώνονται εύκολα. Επειδή απλά τοποθετούνται στον επιλέξιμο χώρο, δεν προσφέρουν δομική αντοχή στην όλη κατασκευή, αφού δεν αποτελούν μέρος της δομής του αεροσκάφους. Αντέχουν σε εσωτερική πίεση 3,5 psi.

### **Ενσωματωμένες**

Αποτελούν μόνιμο τμήμα της δομής του αεροσκάφους και έτσι δύσκολα αφαιρούνται. Χρησιμοποιούνται σε ελαφρά υψηλών επιδόσεων αεροσκάφη και στα περισσότερα πολιτικά με στροβιλοκινητήρα. Κατασκευάζονται στην πτέρυγα (=υγρή πτέρυγα), στην άτρακτο αλλά και στο οριζόντιο σταθερό. Σε διάφορα σημεία έχουν βαλβίδες αντεπιστροφής για να μειώνουν τη ροή καυσίμου προς τα ακροπερύγια, όταν μεταβάλλεται η κλίση του αεροσκάφους και έτσι να τη συγκεντρώνουν στη περιοχή της ενισχυτικής αντλίας της δεξαμενής.

Ένας τύπος, ενσωματωμένης δεξαμενής είναι οι δεξαμενές υπερχειλίσης, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε πολιτικά αεροσκάφη, είναι άδειες και αποθηκεύουν το καύσιμο υπερχειλίσης και τοποθετούνται συνήθως στα ακροπερύγια και στο ουραίο πτέρωμα.

### **Αυτοστεγανοποιούμενες**

Προ ετών, ήταν η πρώτη επιλογή των μαχητικών αεροσκαφών. Ουσιαστικά, αυτόματα στεγανοποιεί μικρές οπές ή βλάβες και χτυπήματα από βλήματα. Έτσι δεν υπάρχει απώλεια καυσίμου και περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς. Αποτελείται από εσωτερικά και εξωτερικά στρώματα μεταξύ των οποίων υπάρχει το στεγανοποιητικό υλικό. Για παράδειγμα, όταν ένα βλήμα χτυπήσει το τοίχωμα της δεξαμενής, τότε το στεγανοποιητικό υλικό αντιδρά με το καύσιμο και έτσι κλείνει την οπή. Σε μια τέτοια περίπτωση όμως, μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα απαιτείται επισκευή, η οποία αν δεν πραγματοποιηθεί θα καταστραφεί το τοίχωμα της δεξαμενής, αφού θα συνεχιστεί η αντίδραση μεταξύ στεγανοποιητικού υλικού και καυσίμου. Διακρίνονται σε δύο τύπους: α) ημι-εύκαμπτη δεξαμενή κατασκευασμένη από πολλά στρώματα και επιστρώσεις και β) κυψελοειδής δεξαμενή τύπου φούσκας. Γενικά οι δεξαμενές αυτές, έχουν αυξημένο βάρος, μικρή χωρητικότητα και αυξημένη απαίτηση σε συντήρηση.

### **Αλεξίσφαιρες**

Οι οποίες αποτελούν την επιλογή των μαχητικών αεροσκαφών στις δεξαμενές σήμερα.

### **Κοινές κυψελοειδείς**

Είναι μη μεταλλικές δεξαμενές τύπου φούσκας. Κατασκευάζονται από ενισχυμένο ελαστικό και τοποθετούνται σε ένα σημείο του χώρου, άρα δεν συνεισφέρουν στη δομική αντοχή. Συνήθως αποτελούνται από τρία μη μεταλλικά στρώματα. Μια εσωτερική επίστρωση, ένα ενδιάμεσο ενισχυμένο στρώμα και ένα εξωτερικό στρώμα.

### **Τα βασικά εξαρτήματα μιας δεξαμενής καυσίμου**

#### **1. Κυστίδα και Βαλβίδα Αποστράγγισης στο κατώτερο σημείο της δεξαμενής**

Στη περίπτωση ύπαρξης κυστίδας, το στόμιο της κύριας παροχής καυσίμου τοποθετείται στο ψηλότερο σημείο της δεξαμενής.

#### **2. Βαλβίδες και Σωληνώσεις ατμοσφαιρικής αποκατάστασης**

Βρίσκονται στο πάνω μέρος της δεξαμενής. Οι βαλβίδες διατηρούν την εσωτερική πίεση της δεξαμενής ίση με την εξωτερική.

#### **3. Διαφράγματα με κατάλληλες οπές**

Παρεμποδίζουν τη γρήγορη μετατόπιση του καυσίμου κατά την κλίση του αεροσκάφους.

#### **4. Πώμα πλήρωσης, Σωλήνας Υπερχείλισης και Σωλήνας Αποστράγγισης Υπερχείλισης**

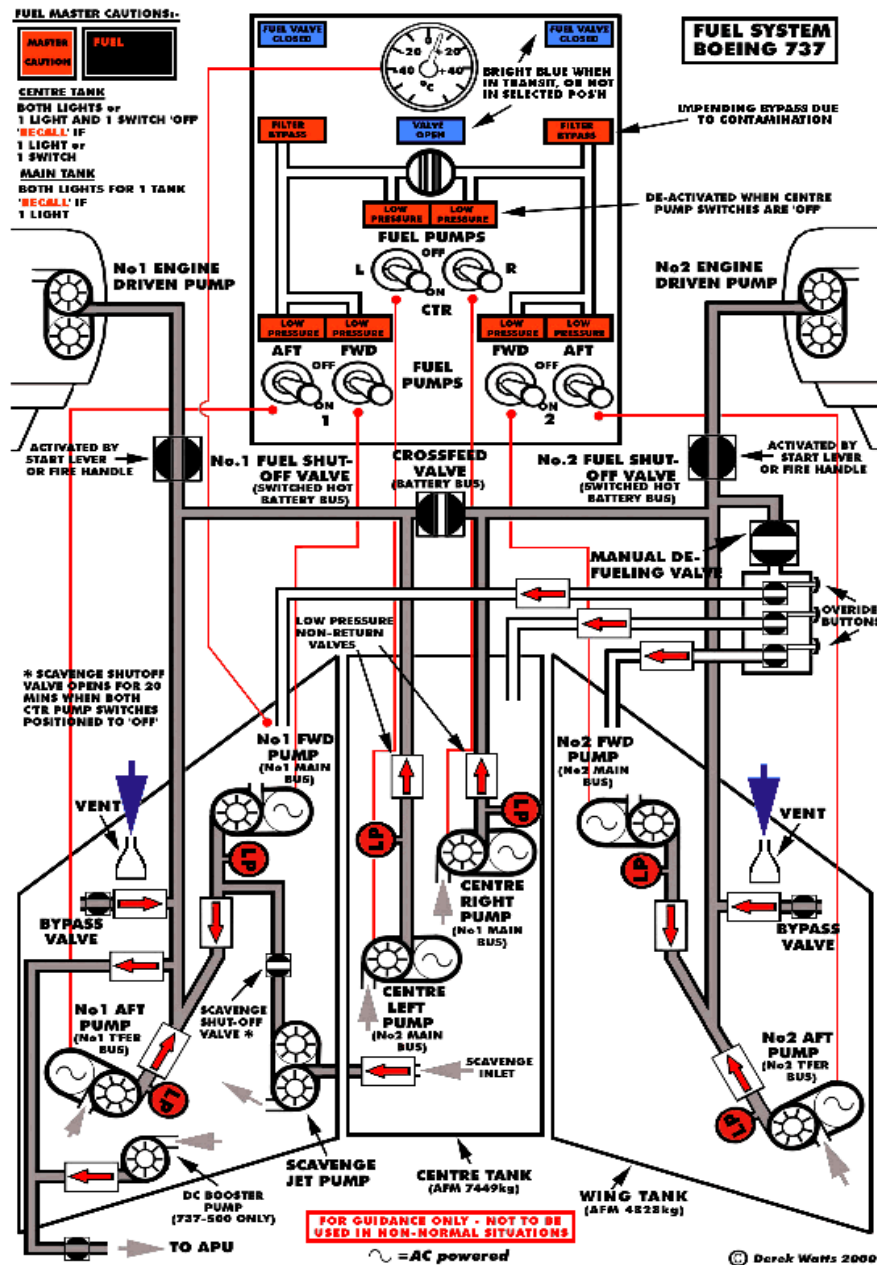
Το πώμα πλήρωσης μαζί με το στόμιο, βρίσκονται στο πάνω μέρος της δεξαμενής έτσι ώστε να υπάρχει διαθέσιμος χώρος για τη διαστολή του όγκου του καυσίμου. Ο σωλήνας αποστράγγισης υπερχειλίσης αποτρέπει την είσοδο περίσσειας καυσίμου.

**5. Βαλβίδες Εκκένωσης:** ενεργοποιούνται από το πιλοτήριο σε περίπτωση που θέλουμε να μειωθεί το βάρος (πχ. περίπτωση έκτακτης προσγείωσης) ή που επιθυμούμε αυξημένη ευελιξία του αεροσκάφους.

**6. Φίλτρα:** για συγκράτηση ξένων σωματιδίων

### **3.2 Διανομή καυσίμου**

Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει το σχηματικό διάγραμμα του τρόπου μετάδοσης καυσίμου στο B737.



Εικόνα 3.2 (α) «Σχηματικό διάγραμμα μετάδοσης καυσίμου στο Boeing 737»

Από το σχηματικό διάγραμμα, λοιπόν, παρατηρούμε πως η μετάδοση του καυσίμου γίνεται με ένα σύστημα το οποίο περιλαμβάνει: αντλίες μηχανικής ή ηλεκτρικής ενίσχυσης, βαλβίδες ασφαλείας και παράκαμψης, καθώς και οπές αερισμού/εξαερισμού. Ο πιλότος του αεροπλάνου μπορεί να κατευθύνει τη ροή του καυσίμου, όπως απαιτείται, μέσω ενός πάνελ, το οποίο ελέγχει το κάθε στοιχείο του παραπάνω συστήματος.

### Περιγραφή συστήματος και υποσυστημάτων καυσίμου

Όπως έχει προαναφερθεί, πρώτα γίνεται χρήση της κεντρικής δεξαμενής καυσίμων με την εκκίνηση των μηχανών της και κατά τη διάρκεια της απογείωσης. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχουν δύο ηλεκτρικές αντλίες ενίσχυσης καυσίμου οι οποίες τροφοδοτούν καύσιμα απευθείας στον αντίστοιχο κινητήρα. Στη κεντρική όμως η τροφοδότηση και στους δύο κινητήρες γίνεται μέσω της βαλβίδας διασταύρωσης καυσίμου. Η βαλβίδα διασταύρωσης καυσίμου υπάρχει για λόγους ασφαλείας, σε περίπτωση που μία αντλία παύσει να λειτουργεί. Αξίζει να σημειωθεί πως κάθε αντλία στο δίκτυο έχει ένα αισθητήρα χαμηλής πίεσης (LP) και ανεπίστροφη βαλβίδα στην κατάθλιψη της.

Μόλις σταματήσει η χρήση και των δύο κεντρικών αντλιών, η αντλία εκτόξευσης (scavenge jet pump) αυτόματα τραβάει καύσιμο από τη κεντρική δεξαμενή για είκοσι λεπτά και πλέον γίνεται αξιοποίηση καυσίμου από τις δεξαμενές των φτερών.

Στο αριστερό φτερό, όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα, υπάρχουν δύο ηλεκτροκίνητες αντλίες, μια αντλία εκτόξευσης και μια αντλία που τροφοδοτεί τη βοηθητική μονάδα ισχύος (Auxiliary Power Unit – APU), η οποία αντλία υπάρχει μόνο στο μοντέλο B737-500.

Στο δεξί φτερό υπάρχουν μόνο δύο ηλεκτροκίνητες αντλίες.

Και στα δύο φτερά εντοπίζεται μία βαλβίδα παράκαμψης, της οποίας η χρήση είναι να επιτρέψει τη ροή απευθείας από τις δεξαμενές προς τους κινητήρες σε περίπτωση βλάβης των αντλιών των φτερών ή των ανεπίστροφων βαλβίδων. Επίσης, υπάρχουν και οπές αερισμού/εξαερισμού οι οποίες χρησιμεύουν στην πλήρωση αέρα των δεξαμενών κατά τη διάρκεια τροφοδότησης καυσίμου και στην εξαέρωση τους κατά τον ανεφοδιασμό.

Όσον αφορά τη χειροκίνητη βαλβίδα αποφόρτισης καυσίμου, διασυνδέει το σύστημα τροφοδοσίας κινητήρα και τον σταθμό καυσίμου. Ανοίγει για την αφαίρεση καυσίμων και για εργασίες μεταφοράς από δεξαμενή σε δεξαμενή. Χρησιμοποιείται επίσης, ένα σύστημα κλεισίματος κατά τη διάρκεια του ανεφοδιασμού για να κλείνει αυτόματα τη βαλβίδα επανατροφοδότησης όταν η δεξαμενή είναι γεμάτη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Μελλοντικές επεκτάσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εισαχθεί μια ιδέα για μελλοντική επέκταση που εστιάζει στην απόκλιση έξαρσης πυρκαγιάς η οποία και σχετίζεται με τα καύσιμα των αεροσκαφών και την προστασία των επιβατών καθώς και του πληρώματος, όταν αυτό συντριφθεί.

Εξετάζοντας ένα φαινόμενο συντριβής αεροπλάνου, ο λόγος που εκρήγνυται όταν αυτό προσκρούσει στο έδαφος, είναι ότι τα καύσιμα και οι ατμοί οι οποίοι διαχέονται σε μεγάλες ποσότητες και οι αναθυμιάσεις βρίσκουν μία πηγή ανάφλεξης. Η πηγή αυτή, σε ένα σενάριο χαμηλής αλλά καταστροφικής συντριβής, είναι οι καυτοί κινητήρες που τρέχουν μέχρι και στη διάρκεια της πτώσης του αεροπλάνου καθώς και οι δυνάμεις πρόσκρουσης σε μια συντριβή υψηλής ταχύτητας.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και σύμφωνα με το Εθνικό Συμβούλιο Ασφαλείας Μεταφορών το 68% των θανάτων, σε ένα αεροπορικό δυστύχημα, οφείλεται σε πυρκαγιά. Αυτό συμβαίνει διότι μετά τη σύγκρουση, οι επιβάτες και τα μέλη του πληρώματος κινδυνεύουν από θανατηφόρα εγκαύματα και την εισπνοή καπνού.

### Ιδέα μελλοντικής επέκτασης

Μια μελλοντική επέκταση, που θα μπορούσε να ληφθεί ως μέτρο προφύλαξης μιας τόσο επικίνδυνης και ανεξέλεγκτης μεταβλητής, αυτής της φωτιάς, είναι η άμεση απόρριψη καυσίμων του αεροπλάνου και η άμεση ψύξη των κινητήρων του. Πρόκειται για μια κατάσταση όπου η άμεση ενεργοποίηση αυτού του συστήματος ασφαλείας σε ένα ολιγόλεπτο χρονικό περιθώριο ή μερικών δευτερολέπτων θα είναι ικανή, σε ένα μεγάλο ποσοστό, να σώσει ζωές. Συνεπώς, ο Ελεγκτής Εναέριας Κυκλοφορίας, αφού λάβει πληροφορίες από τους πιλότους που εκτελούν τη διαδικασία απόρριψης καυσίμου, θα διαχωρίζει άλλες κυκλοφορίες κατά 2.000 πόδια κάθετα και 5 ναυτικά μίλια πλευρικά, καθώς το καύσιμο στην υγρή του κατάσταση ακόμα ή οι ατμοί που θα απορριφθούν, όταν εισαχθούν από ένα κινητήρα εκτόξευσης, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην κανονική λειτουργία του κινητήρα.

Η ιδέα παρόλα αυτά είναι η εξής. Τη στιγμή που ο πιλότος κρίνει ότι δεν υπάρχει τρόπος αποφυγής πρόσκρουσης και εφόσον λειτουργεί το ηλεκτρικό κύκλωμα στο αεροπλάνο, με το

πάτημα ενός κουμπιού από το πιλοτήριο, θα απορρίψει τα καύσιμα από το πίσω-κάτω μέρος των φτερών και από τη κεντρική δεξαμενή. Τα υγρά καύσιμα, τον χειμώνα σε υψόμετρο 7000 ποδιών και άνω και 4000 ποδιών και άνω το καλοκαίρι, εξατμίζονται. Ταυτόχρονα, υγρό άζωτο μέσω ψεκαστών στο σύστημα μηχανών θα ψεκάζεται, μέχρι και τη στιγμή της πρόσκρουσης, απευθείας στις αντλίες και τους κινητήρες, οι οποίοι με έναν διακόπτη ταχείας απενεργοποίησης θα έχουν σταματήσει να περιστρέφονται, μειώνοντας τη θερμοκρασία τους σημαντικά και εξουδετερώνοντας έτσι το ενδεχόμενο ανοιχτής πηγής ανάφλεξης.

Κλείνοντας, το αεροπλάνο ώντας ελαφρύτερο από την αποδέσμευση των καυσίμων θα έχει περισσότερο χρόνο και απόσταση να διανύσει πετώντας στον αέρα έως ότου η βαρύτητα το αναγκάσει να προσγειωθεί κάπου και η συνεχόμενη ψύξη των κινητήρων θα μειώσει σημαντικά τις πιθανότητες έξαρσης πυρκαγιάς, εφόσον οι δεξαμενές του αεροσκάφους θα είναι άδειες, αυξάνοντας τις πιθανότητες επιβίωσης των επιβατών και του πληρώματος.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1) Ahmed F. El-Sayed, «Fundamentals of Aircraft and Rocket Propulsion», Εκδόσεις Springer, Zagazig, Egypt 2016.
- 2) Γεώργιος Καρακιοζογλου, «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ», Εκδόσεις Ζαμπάρα, Αθήνα 2009.
- 3) Καρκανιάς Κ., «Τεχνολογία Αεροσκαφών», Εκδόσεις ΑΛΦΑ, Αθήνα 2003.
- 4) Σπαθόπουλος Β., «Εισαγωγή στη Μηχανική Πτήσης», Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2011.
- 5) Καρκανιάς, Κ., Γούλιος, Γ., «Εμβολοφόροι Αεροπορικοί Κινητήρες», Εκδόσεις ΑΛΦΑ, Αθήνα.
- 6) Κούτμος, Π., «Θεωρία Αεριοστροβίλων», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 1992.
- 7) Μιχαλάς Ε., «Συντήρηση Αεροσκαφών», Εκδόσεις ΑΛΦΑ, Αθήνα 2002.
- 8) David McCullough, «The Wright Brothers», Εκδόσεις Simon & Schuster, October 14 2016.
- 9) Pasquale M Sforza, «Commercial Airplane Design Principles», Εκδόσεις Elsevier Science, Jan 31, 2014
- 10) Pasquale M Sforza, «Theory of Aerospace Propulsion», Εκδόσεις Elsevier Science, Sep 27, 2011

- 11) Ira H. Abbott, A. E. Von Doenhoff, «Theory of Wing Sections: Including a Summary of Airfoil Data», Εκδόσεις Dover Publications, Apr 26, 2012
- 12) Holt Ashley, «Engineering Analysis of Flight Vehicles», Εκδόσεις Inscribe Digital, May 27, 2013
- 13) Federal Aviation Administration (FAA)/Aviation Supplies & Academics (ASA), «Aviation Maintenance Technician Handbook: Powerplant: FAA-H-8083-32A», Εκδόσεις Aviation Supplies & Academics, Inc., Nov 20, 2018