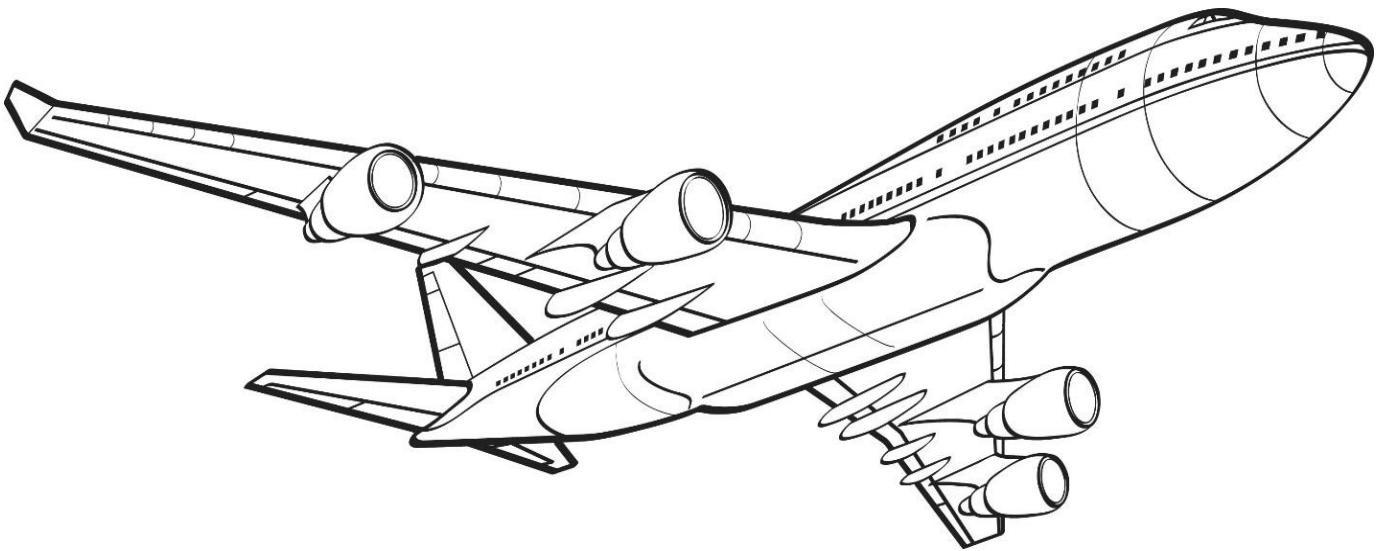


ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΩΝ



Καθηγητής Ι. Καλλιντέρης

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Πατρών

Πάτρα 2023

1 Εισαγωγή

Περιεχόμενα

1.1 Σταθμοί στην Ιστορία της Αεροναυτικής	2
1.2 Ιστορική Εξέλιξη Χαρακτηριστικών Μεγεθών Πτήσης.....	4
1.3 Προδιαγραφές στο Σχεδιασμό Αεροσκάφους	10
1.4 Κύριες Κατηγορίες Αεροσκαφών	12
1.5 Βήματα στον Σχεδιασμό Αεροσκάφους	14

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή ή η μετάφραση όλου ή οποιουδήποτε τμήματος του βιβλίου και με οποιοδήποτε τρόπο χωρίς την γραπτή άδεια του συγγραφέα.

Ο σχεδιασμός αεροσκαφών είναι μια δυναμική διαδικασία που βασίζεται σε δεδομένα υπαρχόντων αεροσκαφών, σε δοκιμές αεροσήραγγας και δοκιμές αντοχής των υλικών, καθώς και σε προσομοιώσεις σε υπολογιστή. Η διαδικασία αυτή χωρίζεται σε βασικές φάσεις σχεδιασμού οι οποίες παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο. Πρώτα δίνονται στοιχεία της ιστορικής εξέλιξης των αεροσκαφών.

1.1 Σταθμοί στην Ιστορία της Αεροναυτικής

Αρχικά, παραθέτουμε τις κύριες εξελίξεις στην Αεροναυτική από τον 19^ο αιώνα μέχρι και σήμερα. Οι σταθμοί αυτοί έχουν χωριστεί σε κατηγορίες που αφορούν διαφορετικές περιοχές της Αεροναυτικής.

Πτήση

- | | |
|------|---|
| 1890 | Ο Santos-Dumont πέταξε μεγάλες αποστάσεις με αερόστατο στη Γαλλία. Ο Otto Lilienthal πέταξε με ανεμόπτερα. |
| 1903 | Στις 17 Δεκεμβρίου οι αδελφοί Wright πέτυχαν την πρώτη επανδρωμένη και ελεγχόμενη πτήση με μηχανή. |
| 1909 | Ο Louis Bleriot διέσχισε με το αεροσκάφος του το στενό της Μάγχης. |
| 1919 | Ο Glenn Curtiss στις ΗΠΑ κατασκεύασε υδροπλάνο που πέταξε με στάσεις από την Νέα Υόρκη στη Λισσαβώνα σε 13 μέρες. |
| 1927 | Ο Charles Lindberg πέταξε χωρίς στάση από την Νέα Υόρκη στο Παρίσι σε 34 ώρες. |
| 1947 | Το πειραματικό αεροσκάφος Bell X-1 έσπασε το φράγμα του ήχου. |
| 1962 | Το πειραματικό αεροσκάφος X-15 πέταξε με αριθμό Mach πτήσης 6.7 (το ρεκόρ κράτησε έως το 1981). |
| 1981 | Πτήση του αεροδιαστημοχήματος Columbia σε τροχιά γύρω από τη γη και επιστροφή του. |

Επιβατηγά Αεροσκάφη

- 1920-30 Η αρχή έγινε στην Ευρώπη κυρίως στην δεκαετία αυτή με κύριους κατασκευαστές τους Handley-Page, Junkers, Fokker. Κατασκευάστηκαν και επιβατηγά με πολλαπλές έλικες.
- 1930-40 Κατασκευαστές στις ΗΠΑ Ford, Curtiss και Boeing. Το Boeing 247D εισήγαγε τους ανασυρόμενους τροχούς. Το DC-3 είχε flaps και ελαφρότερη κατασκευή. Επίσης κατασκευάστηκαν και τα πρώτα υδροπλάνα που μπορούσαν να μεταφέρουν μέχρι και 40 επιβάτες (κύριοι κατασκευαστές Sikorsky και Martin).
- 1940-50 Εμφάνιση μεγάλων επιβατηγών με 50 επιβάτες, με 4 μηχανές όπως το Lockheed Constellation. Μεγαλύτερα ύψη πτήσης λόγω της χρήσης συμπιεστής καμπίνας.
- 1950-60 Εισαγωγή των αεροστροβιλομηχανών για πρόωση των αεροσκαφών. Αύξηση του αριθμού επιβατών σε περίπου 130 και της ταχύτητας πτήσης στα 550 mph. Τυπικά αεροσκάφη: Boeing 707, DC-8.
- 1960-70 Αεροσκάφη τζετ για μικρές αποστάσεις (Boeing 727, DC-9, Boeing 737). Μεγάλα επιβατηγά τζετ Boeing 747 (365 επιβάτες). Επίσης, DC-10 και Lockheed L-1011. Το υπερηχητικό επιβατηγό Concorde με αριθμό Mach πτήσης 2.

Στρατιωτικά Αεροσκάφη

- 1914-1918 Εμφάνιση και των τριών κύριων κατηγοριών αεροσκαφών για (1^{ος} Παγκόσμιος Πόλεμος) στρατιωτικούς σκοπούς: αναγνωριστικά, μαχητικά, βομβαρδιστικά.
- 1940-1945 Αεροσκάφη με υψηλότερες ταχύτητες πτήσης και εμφάνιση των (2^{ος} Παγκόσμιος Πόλεμος) αεροστροβιλομηχανών για πρόωση.
- 1950-60 Εδραίωση της χρήσης Turbojet μηχανών. Μεγάλα βομβαρδιστικά όπως το Boeing B-47 με έξι μηχανές Turbojet. Επίσης, υπερηχητική πτήση.
- 1970-80 Αεροσκάφη με μετακαυστήρα (afterburning turbofans). Εξέλιξη στα ηλεκτρονικά των αεροσκαφών.
- 1980-90 Υπερηχητικό βομβαρδιστικό B-1.

Πρόωση

- 1850 Πρόωση αερόστατου με ατμομηχανές που περιέστρεφαν έλικα.
- 1900 Χρήση μηχανής εσωτερικής καύσης για την περιστροφή έλικα αερόστατου από τον Santos-Dumont στη Γαλλία.
- 1903 Οι αδελφοί Wright χρησιμοποίησαν μια ελαφριά μηχανή εσωτερικής καύσης για να περιστρέφει δυο έλικες στο αεροσκάφος τους. Οι έλικες ήταν ειδικά σχεδιασμένοι για καλύτερη απόδοση.
- 1940 Οι von Ohain στην Γερμανία και ο Frank Whittle στη Μεγάλη Βρετανία εισήγαγαν τον αεροστρόβιλο για πρόωση των μαχητικών αεροσκαφών Heinkel και Gloster, αντίστοιχα.
- 1960 Η εισαγωγή των μηχανών turbofan από τους Pratt & Whitney (JT3D) μείωσε την κατανάλωση καύσιμου κατά περίπου 15% καθώς και τον θόρυβο μηχανής.
- 1980 Δοκιμή μηχανών prop-fans ή unducted fans για περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης καύσιμου.

Αεροδυναμική Αεροσκάφους

- 1800-10 Ο Cayley πρότεινε τη χρησιμοποίηση σταθερής πτέρυγας για παροχή άντωσης και διαίρεσε την αεροδυναμική δύναμη σε συνιστώσες άντωσης και αντίστασης. Επίσης δοκίμασε σχήματα αεροτομών χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενο βραχίονα.
- 1850-60 Χρησιμοποίηση αερόστατου με αεροδυναμικό σχήμα για πτήση. Εισαγωγή της ιδέας του ανεμόπτερου από τον Cayley.
- 1890-1900 Ο Otto Lilienthal δημοσίευσε το βιβλίο του "Bird Flight as the Basis of Aviation" το οποίο είχε πειραματικά δεδομένα για την αεροδυναμική πτέρυγας. Επίσης, πέταξε με ανεμόπτερα στα οποία χρησιμοποίησε καμπύλες αεροτομές για περισσότερη άντωση. Ο O. Chanute στις ΗΠΑ εισήγαγε ανεμόπτερα με δυο πτέρυγες (διπλάνα).
- 1900-10 Οι Wilbur και Orville Wright δοκίμασαν σε αεροσήραγγα διάφορα σχήματα αεροτομών. Εξέτασαν την καμπυλότητα και το πάχος των αεροτομών καθώς και το λόγο εκλέπτυνσης και το σχήμα της πτέρυγας.

- 1930-40 Αεροδυναμικό σχήμα σε ολόκληρο το αεροσκάφος και ειδικός σχεδιασμός για το κέλυφος μηχανής και την άτρακτο στο Boeing 247D επιβατηγό αεροσκάφος. Το DC-3 εισήγαγε τις υπεραντωτικές διατάξεις (flaps).
- 1940-50 Οπισθόκλιση πτέρυγας για υψηλές ταχύτητες πτήσης.

Δομικά Αεροσκάφους

- 1900s Αερόστατα Zeppelin με ελαστικό τοίχωμα
- 1915 Εισαγωγή μεταλλικής κατασκευής (με φύλλα αλουμινίου) και πακτωμένης πτέρυγας από τον Junkers.
- 1936 Το DC-3 εισήγαγε "stress-carrying skin" που μείωσε το βάρος της κατασκευής.
- 1940 Η πρώτη συμπίεσμένη καμπίνα στο αεροσκάφος της Boeing Stratoliner.

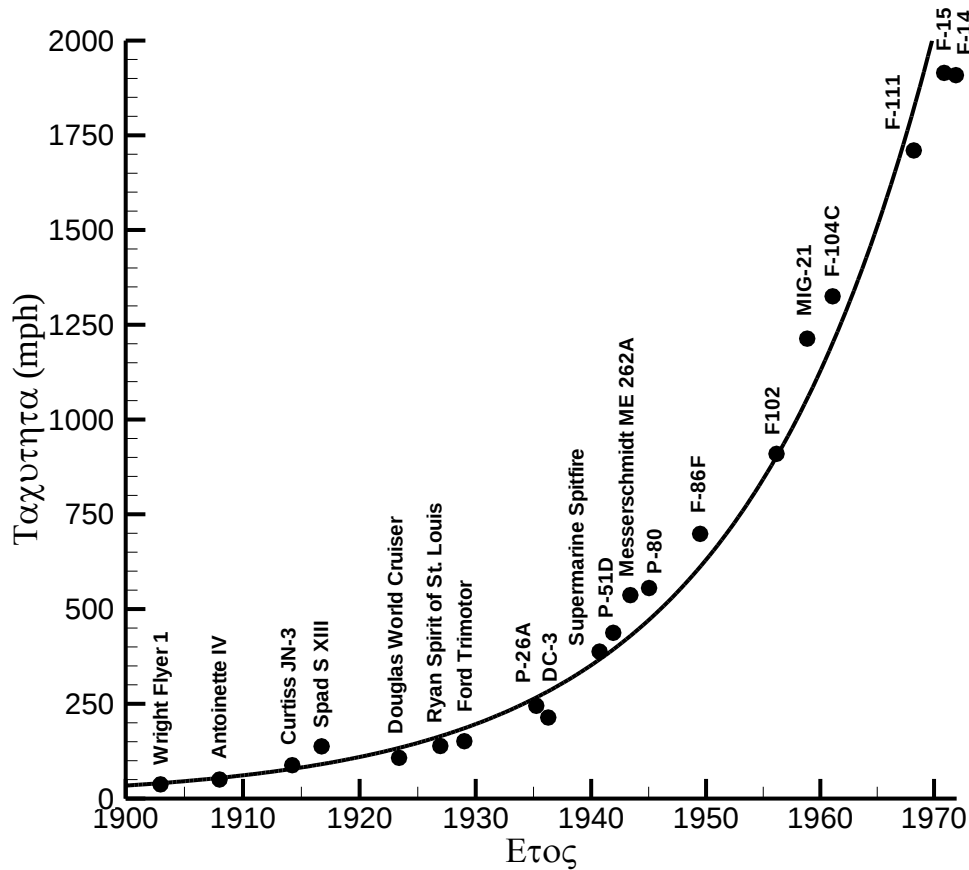
1.2 Ιστορική Εξέλιξη Χαρακτηριστικών Μεγεθών Πτήσης

Η εξέλιξη των επιδόσεων των αεροσκαφών είναι σημαντική για τη διαδικασία σχεδιασμού νέων. Οι επιδόσεις αυτές δείχνουν σε πρώτη φάση το τι είναι εφικτό να σχεδιαστεί.

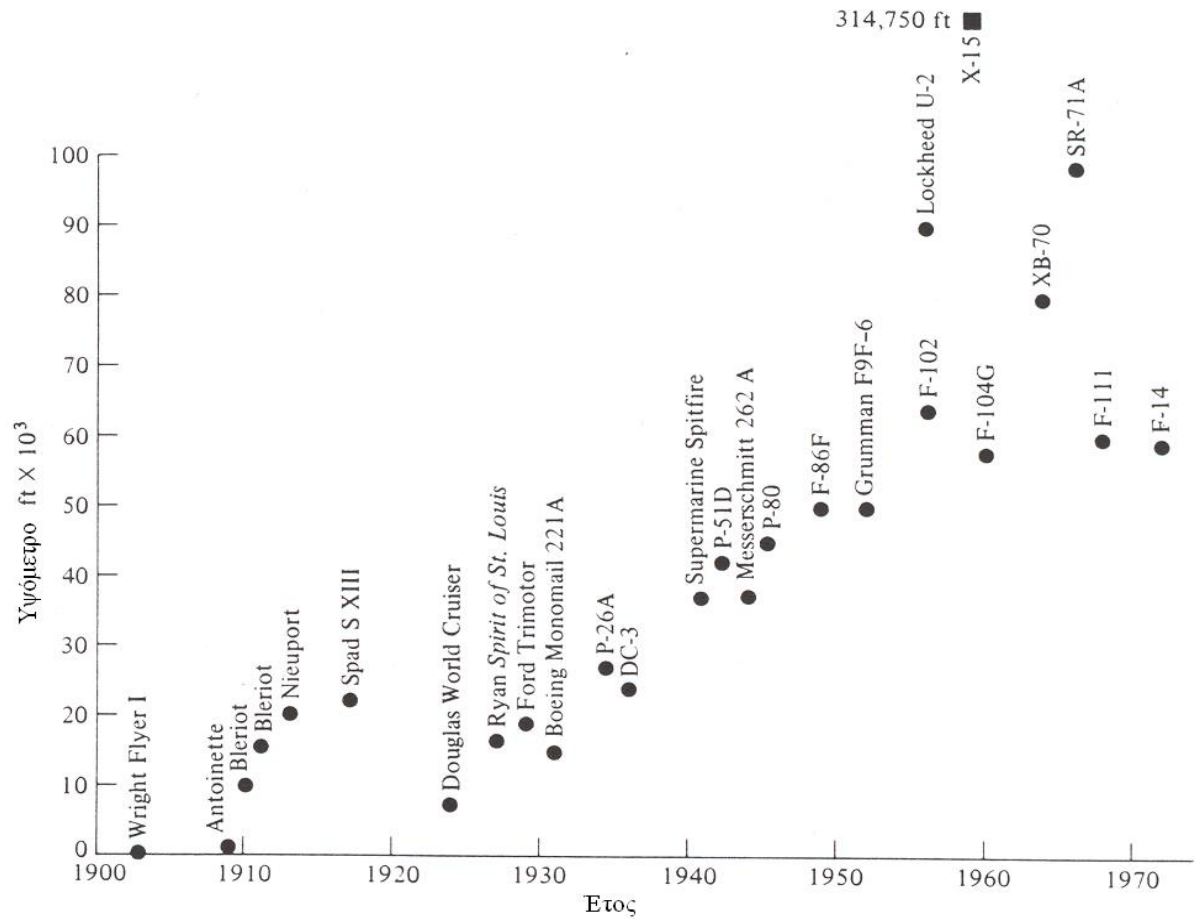
Στο διάγραμμα του Σχήματος 1.1 παρουσιάζεται η εξέλιξη της ταχύτητας των αεροσκαφών. Όπως φαίνεται, η υιοθέτηση των στροβιλομηχανών αύξησε σταδιακά την ταχύτητα πτήσης. Ανάλογη πορεία παρατηρείται και με το ανώτερο ύψος πτήσης των αεροσκαφών. Όπως σημειώνεται και στο διάγραμμα του Σχήματος 1.2, το ανώτερο υψόμετρο αυξήθηκε σημαντικά ειδικά με τη χρήση κατάλληλων προωστικών συστημάτων τόσο αερόβιων όσο και αναερόβιων.

Η χωρητικότητα σε επιβάτες ακολούθησε ανάλογη ανοδική πορεία. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αύξηση των επιδόσεων των κινητήρων σε συνδυασμό με τον αποδοτικότερο και πιο αξιόπιστο σχεδιασμό που επέτρεψε την αύξηση του μεγέθους των αεροσκαφών. Παράλληλα, η συσσώρευση εμπειρίας τόσο στο σχεδιασμό / κατασκευή όσο και στη χρήση των αεροσκαφών συμπίεσε το κόστος τους. Οι επιδόσεις αυτές βασίστηκαν στις τεχνολογικές καινοτομίες που σημειώθηκαν στην αεροδυναμική, την κατασκευή και τα προωστικά συστήματα των αεροσκαφών. Στο διάγραμμα του Σχήματος 1.3 φαίνεται η σταδιακή αντικατάσταση των εμβολοφόρων

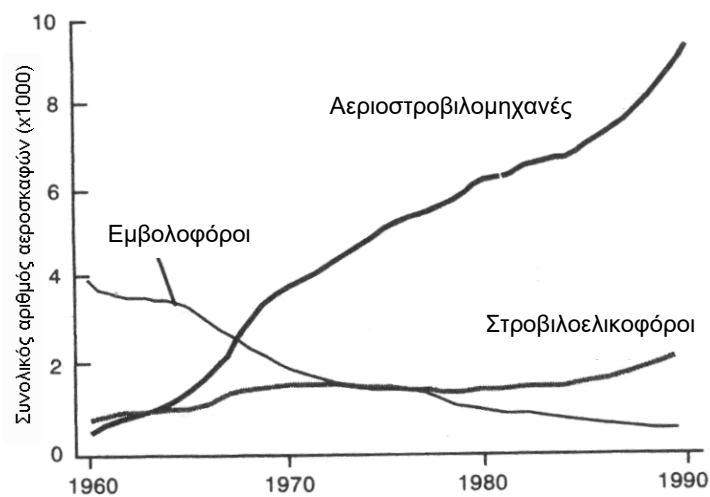
κινητήρων από τις στροβιλομηχανές. Η χρονολογική εξέλιξη του εκπετάσματος του αεροσκάφους φαίνεται στο διάγραμμα του Σχήματος 1.4. Τέλος, στο Σχήμα 1.5 παρατηρούμε τη σταδιακή αύξηση του ωφέλιμου φορτίου. Σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες που σημειώθηκαν στην εξέλιξη των επιβατηγών αεροσκαφών συνοψίζονται στον Πίνακα 1.1.



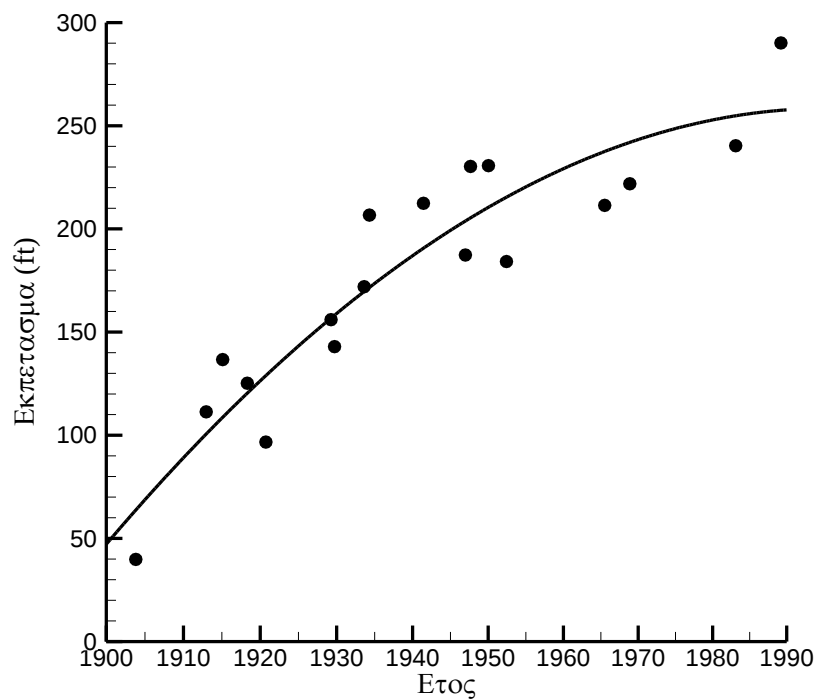
Σχήμα 1.1: Χρονολογική εξέλιξη των ταχυτήτων πτήσης αεροσκαφών [2].



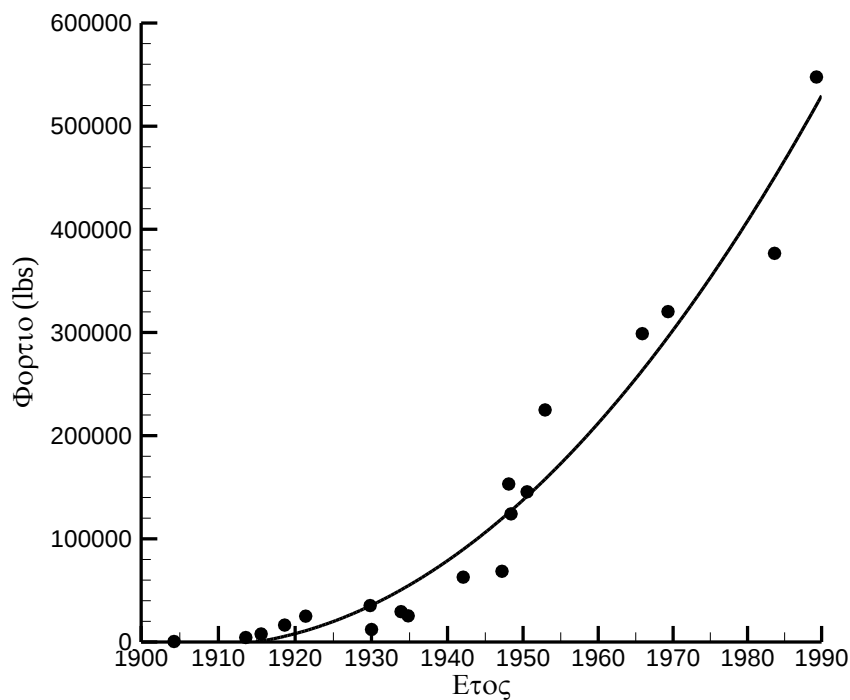
Σχήμα 1.2: Χρονολογική εξέλιξη των υψομέτρων πτήσης [2].



Σχήμα 1.3: Εξέλιξη της χρήσης προωστικών συστημάτων αεροσκαφών.



Σχήμα 1.4: Χρονολογική εξέλιξη του εκπετάσματος αεροσκάφους.



Σχήμα 1.5: Χρονολογική εξέλιξη του φορτίου αεροσκάφους.

Ιστορική Εξέλιξη Χαρακτηριστικών Μεγεθών Πτήσης

Χρονολογία (προσεγγιστικά)	Αεροσκάφος	Αριθμός μηχανών >1	Κέλυσος μηχανής	Υπεραντωτικές Διατάξεις		Πακτωμένη πτέρυγα	Ελαφριά κατασκευή πτέρυγας (stressed skin)	Αναδιπλούμενο σύστημα προσγείωσης	Συμπεριλαμβανόμενη καμπίνα
				Στην ακμή εκφυγής (flaps)	Στην ακμή προσβολής (slats)				
1927	Ford Trimotor	✓	-	-		-	-	-	-
1933	Boeing 247	✓	1/2	-	-	✓	1/2	✓	-
1936	DC-3	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-
1939	Stratoliner	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
1946	DC-4	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-
1947	Constellation/ DC-6/240/202/ Stratocruiser	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
1952	DC-7/1049	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
1955	Viscount/ Electra	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
1952	Comet	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
1958	707/DC-8 Turbojet	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
1961	707/DC-8 Turbofan	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓
1965	727/ DC-9-30/737	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Πίνακας 1.1: Τεχνολογικές καινοτομίες σε επιβατηγά αεροσκάφη [1].

Χρονολογία (προσεγγιστικά)	Αεροσκάφος	Μηχανές			Οπισθοκλινής πτέρυγα
		Turboprop	Turbojet	Turbofan	
1927	Ford Trimotor	-		-	-
1933	Boeing 247	-		-	-
1936	DC-3	-		-	-
1939	Stratoliner	-		-	-
1946	DC-4	-		-	-
1947	Constellation/ DC-6/240/202/ Sstratocruiser	-		-	-
1952	DC-7/1049	✓		-	-
1955	Viscount/ Electra	-		-	-
1952	Comet	-	✓	-	-
1958	707/DC-8 Turbojet	-	✓	-	✓
1961	707/DC-8 Turbofan	-	✓	✓	✓
1965	727/ DC-9-30/737	-	✓	✓	-

Πίνακας 1.1 (συνέχεια): Τεχνολογικές καινοτομίες σε επιβατηγά αεροσκάφη [1].

1.3 Προδιαγραφές στο Σχεδιασμό Αεροσκάφους

Οι προδιαγραφές που τίθενται κατά το σχεδιασμό ενός αεροσκάφους αφορούν σε πολλές παραμέτρους αυτού και οι απαιτήσεις που επιβάλλουν είναι συχνά αντικρουόμενες.

Διεθνείς οργανισμοί παραθέτουν μια σειρά από κανονισμούς για τις προδιαγραφές αεροσκαφών. Στις ΗΠΑ η Federal Aviation Agency (FAA) έχει τη σειρά των κανονισμών FAR. Αντίστοιχα, στην Ευρώπη η Joint Aviation Authorities (JAA) έχει παραθέσει τους κανονισμούς JAR οι οποίοι ως επί τω πλείστων είναι ταυτόσημοι των FAR. Οι κανονισμοί αυτοί αφορούν κυρίως τα πολιτικά αεροσκάφη ενώ στο χώρο των στρατιωτικών χρησιμοποιούνται συχνά οι κανονισμοί MIL-STD των ΗΠΑ. Προδιαγραφές αεροσκαφών μπορούν να είναι μερικές από τις ακόλουθες:

1. Προφίλ Πτήσης

- Εμβέλεια
- Χρόνος πτήσης
- Χρόνος αναμονής (Αυτονομία)

Στο Σχήμα 1.6 βλέπουμε κάποια συνηθισμένα προφίλ πτήσης επιβατηγών αεροσκαφών.

2. Φορτίο

- Αριθμός επιβατών
- Αποστάσεις μεταξύ καθισμάτων ανάλογα με την κατηγορία της θέσης (οικονομική, πρώτη, κλπ.)
- Εξωτερικό φορτίο

3. Εξωτερικές Διαστάσεις

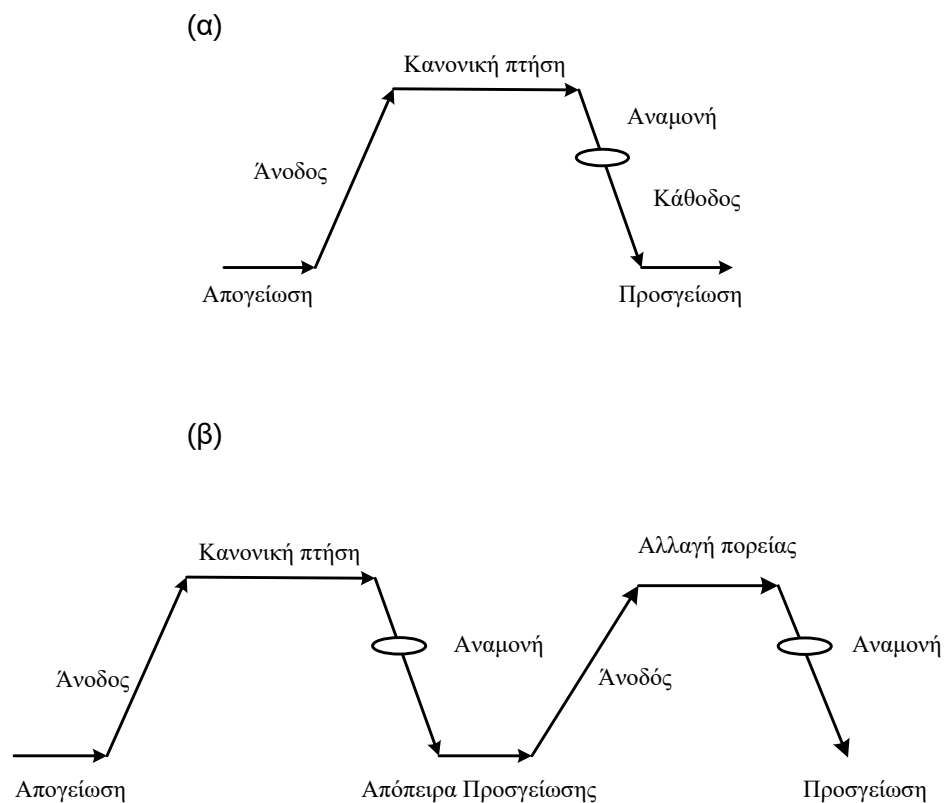
- Μήκος
- Εκπέτασμα Πτέρυγας
- Ύψος ουραίου τμήματος

4. Λειτουργικά Χαρακτηριστικά

- Ταχύτητα και ύψος πτήσης
- Κατανάλωση καύσιμου
- Μήκος απαιτούμενου διαδρόμου
- Θόρυβος
- Εκπομπές ρύπων

5. Αξιοπιστία και Συντήρηση

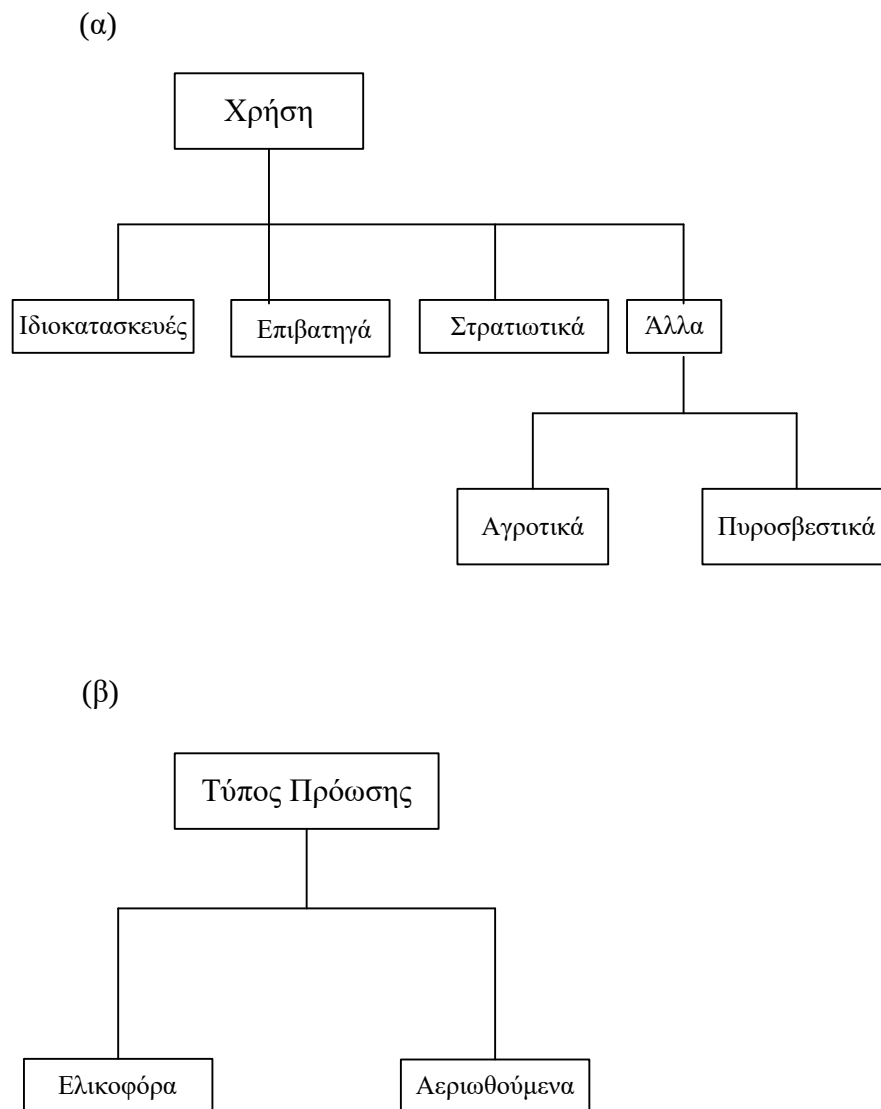
- Υλικά
- Τρόπος κατασκευής
- Συστήματα αεροσκάφους (συντήρηση, αντικατάσταση)
- Μηχανές αεροσκάφους (διάρκεια ζωής, συντήρηση)



Σχήμα 1.6: Παραδείγματα προφίλ πτήσης επιβατηγού αεροσκάφους: (α) απλή πτήση, (β) σύνθετη πτήση.

1.4 Κύριες Κατηγορίες Αεροσκαφών

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της προηγούμενης παραγράφου που ικανοποιούνται κατά περίπτωση, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα αεροσκάφη με διάφορους τρόπους, όπως χρήση (επιβατηγά, στρατιωτικά, αγροτικά) ή τύπος πρόωσης (ελικοφόρα, αεριωθούμενα) όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.7.



Σχήμα 1.7: Κατάταξη αεροσκαφών σύμφωνα με (α) τη χρήση τους και (β) τον τύπο πρόωσης τους.

Τελικά, μπορούμε να κατατάξουμε τα αεροσκάφη στις εξής κατηγορίες:

1. Ιδιοκατασκευές (Homebuilt)
2. Μονοκινητήρια με έλικα
3. Δικινητήρια με έλικα
4. Αγροτικά
5. Μικρά αεριωθούμενα (Business jets)
6. Επιβατηγά με έλικα κινούμενη από αεριοστρόβιλο (Turbo-prop)
7. Επιβατηγά αεριωθούμενα (Transport Jets)
8. Υπερηχητικά επιβατηγά
9. Στρατιωτικά μαχητικά και εκπαιδευτικά
10. Στρατιωτικά βομβαρδιστικά και μεταγωγικά
11. Υδροπλάνα – Αμφίβια

1.5 Βήματα στον Σχεδιασμό Αεροσκάφους

Η δημιουργία ενός αεροσκάφους χωρίζεται σε στάδια τα οποία πραγματοποιούνται διαδοχικά. Τα στάδια αυτά και τα επιμέρους τμήματά τους συνοψίζονται στη συνέχεια. Τα τυπικά στάδια περιλαμβάνουν τον *Βασικό Σχεδιασμό*, το *Προκαταρκτικό Σχεδιασμό*, τον *Λεπτομερή Σχεδιασμό*. Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την κατασκευή πρωτότυπων, καθώς και τις πτητικές δοκιμές όπως απεικονίζει το Σχήμα 1.8. Οι φάσεις αυτές δεν έχουν συγκεκριμένα όρια και εξαρτώνται από τον τρόπο οργάνωσης της κάθε αεροναυπηγικής εταιρείας.

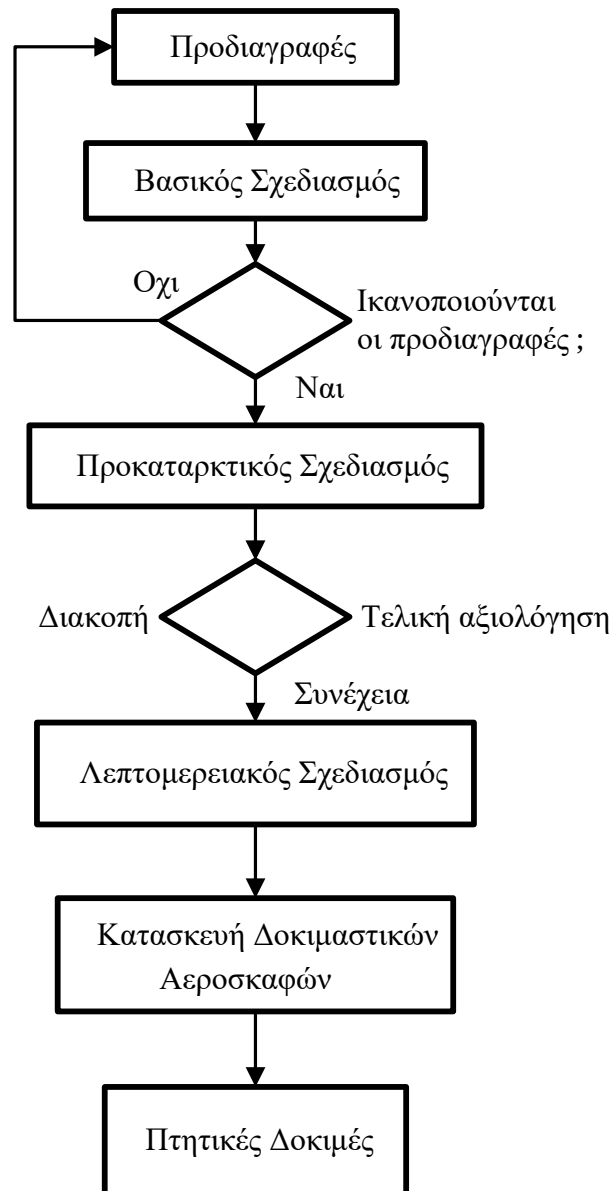
Ο Βασικός Σχεδιασμός είναι μια διαδικασία που καθορίζεται από τις προδιαγραφές. Σε μερικές περιπτώσεις οι προδιαγραφές δεν είναι εφικτές οπότε και πρέπει να επαναπροσδιοριστούν. Σε αυτή τη φάση, εξετάζονται συμβατικές και πρωτοποριακές διατάξεις ώστε να βρεθούν αυτές που είναι τεχνικά εφικτές και οικονομικά βιώσιμες. Στην αρχή του Βασικού Σχεδιασμού εξετάζονται όλες οι δυνατές επιλογές, όπως η συνολική διάταξη του αεροσκάφους, το σύστημα πρόωσης (τύπος, αριθμός και θέση), η διάταξη της καμπίνας και του πιλοτηρίου, τα κύρια συστήματα του αεροσκάφους, οι μέθοδοι κατασκευής και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, το επίπεδο τεχνολογίας που θα επιλέγει καθώς και οι γενικές διαδικασίες χρήσης. Το αποτέλεσμα αυτής της μελέτης είναι η γνώση της βιωσιμότητας των διαφόρων συνδυασμών και η εκτίμηση του μεγέθους των πιο πιθανών διατάξεων. Για συμβατικές διατάξεις και εξελίξεις αεροσκαφών που υπάρχουν ήδη, η εμπειρία από προηγούμενους σχεδιασμούς καθώς και από αεροσκάφη του ανταγωνισμού δίνουν μια καλή εκτίμηση του μεγέθους του αεροσκάφους. Για μη συμβατικές διατάξεις οι παραπάνω προσεγγιστικές μέθοδοι θα δώσουν λιγότερο αξιόπιστες εκτιμήσεις.

Όταν προσδιοριστούν τα βασικά μεγέθη του αεροσκάφους με τέτοιο τρόπο ώστε να πληρούν με εφικτό τρόπο τις προδιαγραφές, η διαδικασία προχωρεί στον Προκαταρκτικό Σχεδιασμό. Σε αυτή τη φάση γίνεται μια πιο λεπτομερή ανάλυση των βασικών μεγεθών από την καλύτερη διάταξη που προέκυψε από το Βασικό Σχεδιασμό, και γίνονται οι πρώτες αεροδυναμικές και δομικές δοκιμές καθώς και προσομοιώσεις με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η παραπάνω διαδικασία επιτρέπει την παραμετρική μελέτη διαφόρων μεγεθών και την λεπτομερή ανάλυση ευαισθησίας στις διάφορες σχεδιαστικές παραμέτρους σε συνδυασμό με την εξέλιξη της βασικής διάταξης. Με την ολοκλήρωση του σταδίου αυτού η σχεδίαση παγιώνεται και λαμβάνεται η απόφαση για το αν η σχεδίαση θα προχωρήσει στο στάδιο του Λεπτομερούς Σχεδιασμού. Σε αυτό το

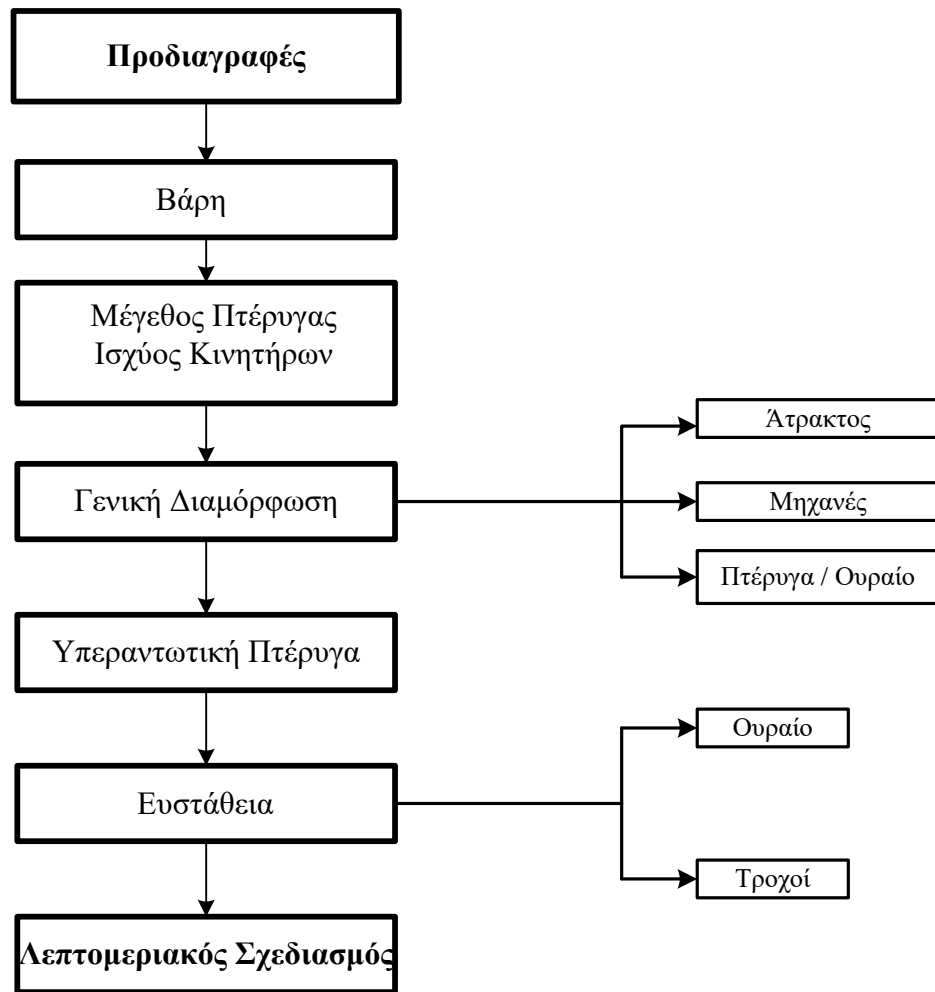
στάδιο η σχεδίαση του αεροσκάφους συνεχίζεται με ακόμα μεγαλύτερη λεπτομέρεια και οι διάφοροι υπολογισμοί επιβεβαιώνονται με επιμέρους δοκιμές και προσομοιώσεις.

Στο μάθημα αυτό θα ασχοληθούμε με το *Βασικό Σχεδιασμό*. Τυπικά βήματα της διαδικασίας αυτής παρουσιάζονται διαγραμματικά στο Σχήμα 1.9 και είναι:

1. Προκαταρκτική εκτίμηση του βάρους απογείωσης.
2. Εκτίμηση του φορτίου της πτέρυγας και της ισχύος της μηχανής.
3. Καθορισμός της γενικής διαμόρφωσης με το σχεδιασμό της ατράκτου και την επιλογή της διάταξης της πτέρυγας, της θέσης των μηχανών, καθώς και της διάταξης του ουραίου τμήματος.
4. Σχεδιασμός της πτέρυγας και των υπεραντωτικών διατάξεων αυτής.
5. Σχεδιασμός των ουραίων επιφανειών.
6. Σχεδιασμός του συστήματος προσγείωσης.



Σχήμα 1.8: Τυπικά στάδια σχεδιασμού αεροσκαφών.



Σχήμα 1.9: Βήματα του Βασικού Σχεδιασμού αεροσκαφών.

Βιβλιογραφία

1. R. S. Shevell, *"Fundamentals of Flight Second Edition"*, Prentice Hall, New Jersey, 1989.
2. D. Kuchemann, *"The Aerodynamic Design of Aircraft"*, Pergamon Press, Oxford, 1978.
3. J. P. Fielding, *"Introduction to Aircraft Design"*, Cambridge University Press, 1999.
4. F. H. Winter and F. R. van der Linder, *"100 Years of Flight. A Chronicle of Aerospace History 1903-2003"*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2003.
5. T. C. Corke, *"Design of Aircraft"*, Prentice Hall, New Jersey, 2003.