

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ



ΑΛΙΒΙΖΑΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ 7110)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΠΟΛΥΖΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΜΑΪΟΣ 2019  
ΠΑΤΡΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή μου Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας (Πάτρα) και αναλύει την συντήρηση των αεροσκαφών καθώς επίσης και την ανάλυση λειτουργίας των βοηθητικών συστημάτων. Η επιλογή του θέματος έγινε με γνώμονα την θέληση μου μετά την ολοκλήρωση των σπουδών μου να ασχοληθώ με το τμήμα των συντηρήσεων των αεροσκαφών.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Επιβλέπων Καθηγητή Δρ. Πολυζάκη Απόστολο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και μου ανέθεσε το παρόν θέμα καθώς επίσης τις πολύτιμες συμβουλές του με στόχο την άρτια εκπόνηση του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που ήταν δίπλα μου καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών στηρίζοντας κάθε μου βήμα και εγχείρημα.

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

Αλιβιζάτος Γεώργιος

.....

Υπογραφή

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύει και περιγράφει τη συντήρηση αεροσκαφών και ανάλυση λειτουργίας βοηθητικών συστημάτων.

Αρχικά στην εισαγωγή δίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή για την κατασκευή και τη δημιουργία των αεροσκαφών από τα πρώτα χρόνια που ο άνθρωπος προσπάθησε να μιμηθεί την κίνηση των πουλιών.

Το 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στη σχεδίαση της ατράκτου. Περιγράφεται και αναλύεται η εξωτερική διαμόρφωση της ατράκτου καθώς επίσης και η οπισθέλκουσα άτρακτο. Πραγματοποιείται ανάλυση της σχεδίασης της ατράκτου με κυλινδρικό κεντρικό τμήμα. Ακολουθούν οι κατηγορίες των αεροσκαφών που διαχωρίζονται σε επιβατικά, φορτηγά, μαχητικά και στρατιωτικά αεροσκάφη.

Το 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στα βασικά συγκροτήματα αεροσκάφους. Γίνεται ανάλυση των πτερύγων που είναι τα χαμηλοπτέρυγα, μεσοπτέρυγα και υψηλοπτέρυγα αεροσκάφη. Επιπλέον, δίνεται έμφαση στη θέση της πτέρυγας στο αεροσκάφος καθώς και στη θέση του προωθητικού συστήματος του αεροσκάφους που μπορεί να είναι εμβολοφόρα, υποχηητικά με αεριοστροβιλοκινητήρα, μονοκινητήρια υποχηητικά με αεριοστροβιλοκινητήρα και υπερχηητικά μαχητικά αεροσκάφη. Στη συνέχεια αναλύεται το ουραίο πτέρωμα πως διαμορφώνεται αλλά και η θέση του καθώς επίσης και το σύστημα προσγείωσης που οι τύποι και τα χαρακτηριστικά τους.

Τα 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στη κατασκευή δομής του αεροσκάφους. Αναλύονται τα πτέρυγα, η άτρακτος, το ουραίο πτέρωμα, η κυψελοειδής κατασκευή καθώς και η ατρακτίδα και οι βάσεις στήριξης των κινητήρων των αεροσκαφών.

Τα 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στο πλήρες αεροσκάφος. Συγκεκριμένα δίνεται έμφαση στην αλληλεπίδραση των τμημάτων του αεροσκάφους. Δηλαδή, αναλύεται η αλληλεπίδραση μεταξύ πτέρυγας και ατράκτου, αλληλεπίδραση μεταξύ ατράκτου πτέρυγας και οριζοντίου σταθερού καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ άλλων στοιχείων του αεροσκάφους.

Το 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στις φάσεις κατασκευής του αεροσκάφους. Συγκεκριμένα δίνεται η αρχική σχεδίαση, η θεωρητική μελέτη, η πειραματική μελέτη και κατασκευή και κλείνει με την συναρμολόγηση και δομική.

Το 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στις αρχές επισκευής δομής του αεροσκάφους. Αρχικά αναφέρονται στις βλάβες τις δομής του αεροσκάφους δίνοντας έμφαση στην επιθεώρηση των βλαβών καθώς και στη κατάταξη τους. Ακολουθούν οι βασικές αρχές επισκευής των μεταλλικών τμημάτων που διαχωρίζονται στον ακριβή προσδιορισμό κάθε βλάβης, τις οδηγίες που δίνονται από το εγχειρίδιο επισκευής της δομής του αεροσκάφους καθώς και τους τρόπους επισκευής. Ακολουθούν οι αρχές επισκευής μη μεταλλικών τμημάτων του αεροσκάφους επικεντρώνοντας των ενδιαφέρων στην επισκευή των σύνθετων υλικών και τις κυψελοειδής κατασκευές.

Το 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στο σύστημα των αεροσκαφών. Αρχικά περιγράφεται και αναλύεται το σύστημα έλεγχου πτήσης καθώς και οι τύπου των μέχρι σήμερα συστημάτων έλεγχου πτήσης. Ακολουθεί το σύστημα καυσίμου αναλύοντας τις δεξαμενές, αντλίες, βαλβίδες, φίλτρα, σωληνώσεις και προσαρμογές καυσίμου, προειδοποιητικά συστήματα καυσίμου καθώς και κάποια επιμέρους συστήματα. Στην συνέχεια αναλύεται το υδραυλικό σύστημα, η αρχή λειτουργίας του, τα υδραυλικά υγρά που χρησιμοποιούνται, οι βαλβίδες, οι αντλίες, οι τύποι των υδραυλικών συστημάτων. Έπειτα αναφέρονται τα πνευματικά συστήματα, η ταξινόμηση τους και τα βασικά τους στοιχεία. Ακολουθούν τα συστήματα προστασίας από πάγο και βροχή και πώς χρήζει αντιμετώπιση κάθε περίπτωση. Τα συστήματα συμπίεσης και κλιματισμού του αεροσκάφους και ο βασικός εξοπλισμός που τα αποτελούν αντίστοιχα. Ακλουθεί το σύστημα προσγείωσης, η περιγραφή, η ανατομία και οι

διάφοροι τύποι των συστημάτων αυτών. Ακολουθεί το σύστημα οξυγόνου, τα σωστικά μέσα του αεροσκάφους τα ηλεκτρικά και επιβραδυντικά συστήματα.

Τέλος, δύνονται τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε με στόχο την εκπόνηση της.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΤΡΑΚΤΟΥ .....	4
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	4
1.2. ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΟΠΙΣΘΕΛΚΟΥΣΑ ΑΤΡΑΚΤΟΥ .....	5
1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΜΕ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΤΜΗΜΑ.....	6
1.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ.....	7
1.4.1. ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ.....	7
1.4.2. ΦΟΡΤΗΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ .....	11
1.4.3. ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΦΟΡΤΗΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ .....	13
1.4.4. ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ.....	13
1.4.5. ΜΑΧΗΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ .....	16
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ .....	19
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	19
2.2. ΧΑΜΗΛΟΠΤΕΡΥΓΑ – ΜΕΣΟΠΤΕΡΥΓΑ – ΥΨΗΛΟΠΤΕΡΥΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ.....	19
2.2.1. ΥΨΗΛΟΠΤΕΡΥΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ .....	19
2.2.2. ΜΕΣΟΠΤΕΡΥΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ .....	20
2.2.3. ΧΑΜΗΛΟΠΤΕΡΥΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ.....	21
2.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΣΗΣ ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΣΤΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ .....	21
2.4. ΘΕΣΗ ΠΡΟΩΘΗΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	22
2.4.1. ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ.....	23
2.4.2. ΥΠΟΝΧΗΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	24
2.4.3. ΜΟΝΟΚΙΝΗΤΗΡΙΑ            ΥΠΟΝΧΗΤΙΚΑ            ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ            ΜΕ	
ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	25
2.4.4. ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΑ ΜΑΧΗΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ .....	25
2.5. ΟΥΡΑΙΟ ΠΤΕΡΩΜΑ .....	26
2.5.1. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΟΥΡΑΙΟΥ ΠΤΕΡΩΜΑΤΟΣ .....	27
2.5.2. ΘΕΣΗ ΟΥΡΑΙΟΥ ΠΤΕΡΩΜΑΤΟΣ .....	27
2.6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ .....	31
2.6.1. ΤΡΙΚΥΚΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΟΥΡΑΙΟ ΤΡΟΧΟ .....	32
2.6.2. ΤΡΙΚΥΚΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΡΙΝΑΙΟ ΤΡΟΧΟ .....	34
2.6.3. ΔΙΚΥΚΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ.....	36
2.6.4. ΛΟΙΠΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ.....	37
2.6.5. ΠΟΡΕΙΑΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ .....	37
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΜΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ.....	39
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	39
3.2. ΠΤΕΡΥΓΑ .....	39
3.3. ΑΤΡΑΚΤΟΣ.....	41
3.4. ΟΥΡΑΙΟ ΠΤΕΡΩΜΑ .....	44
3.5. ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	45

3.6.	ΑΤΡΑΚΤΙΔΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ .....	45
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΛΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ .....	46
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	46
4.2.	ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ - ΑΤΡΑΚΤΟΥ.....	46
4.3.	ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΤΡΑΚΤΟΥ - ΠΤΕΡΥΓΑΣ - ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ .....	48
4.4.	ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ - ΚΑΘΕΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ.....	48
4.5.	ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΛΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ .....	49
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ .....	50
5.1.	ΓΕΝΙΚΑ.....	50
5.2.	ΑΡΧΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ .....	50
5.3.	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ .....	50
5.4.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	51
5.5.	ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΙΣΗ - ΔΟΚΙΜΗ .....	53
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΡΧΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΔΟΜΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ .....	54
6.1.	ΓΕΝΙΚΑ.....	54
6.2.	ΒΛΑΒΕΣ ΔΟΜΗΣ.....	54
6.2.1.	ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΒΛΑΒΗΣ .....	54
6.2.2.	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΛΑΒΩΝ .....	55
6.3.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ .....	56
6.3.1.	ΑΚΡΙΒΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ.....	56
6.3.2.	ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ.....	56
6.3.3.	ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΕ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	58
6.4.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ.....	58
6.4.1.	ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	58
6.4.2.	ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	59
7.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ .....	60
7.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	60
7.2.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ .....	60
7.2.1.	ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ .....	61
7.2.2.	ΜΙΚΤΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ.....	63
7.2.3.	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ .....	63
7.2.4.	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ.....	64
7.2.5.	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ.....	65
7.3.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ .....	66
7.3.1.	ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ .....	66
7.3.2.	ΑΝΤΛΙΕΣ .....	68
7.3.3.	ΒΑΛΒΙΔΕΣ .....	69
7.3.4.	ΦΙΛΤΡΑ .....	69
7.3.5.	ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΙΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ .....	70
7.3.6.	ΕΝΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	70
7.3.7.	ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	71
7.3.8.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ .....	71
7.3.8.1.	Σύστημα Πλήρωσης .....	71
7.3.8.2.	Σύστημα Τροφοδοσίας.....	72
7.3.8.3.	Εναέριος Ανεφοδιασμός.....	73
7.3.8.4.	Σύστημα Εκκένωσης Καυσίμου .....	73
7.4.	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	74
7.4.1.	ΑΡΧΗ ΤΟΥ PASCAL ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ.....	74

7.4.2.	ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΓΡΑ.....	75
7.4.3.	ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	76
7.4.4.	ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ .....	77
7.4.5.	ΑΝΤΛΙΕΣ .....	78
7.4.6.	ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΠΙΕΣΗΣ .....	80
7.4.7.	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....	80
7.4.8.	ΒΑΛΒΙΔΕΣ .....	80
7.4.9.	ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	82
7.4.10.	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	82
7.4.11.	ΕΙΔΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	83
7.4.12.	ΑΠΛΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	84
7.4.13.	ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΓΚΗΣ.....	84
7.5.	ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	85
7.5.1.	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	85
7.5.2.	ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	86
7.5.3.	ΑΠΛΟ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	87
7.6.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΠΑΓΟ ΚΑΙ ΒΡΟΧΗ .....	87
7.6.1.	ΑΠΟΠΑΓΩΣΗ ΣΤΟ ΈΔΑΦΟΣ .....	88
7.6.2.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΠΑΓΩΣΗΣ ΜΕ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟ ΑΕΡΑ .....	89
7.6.3.	ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΠΑΓΩΣΗΣ.....	89
7.6.4.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΠΑΓΩΣΗΣ ΜΕ ΨΕΚΑΣΜΟ.....	91
7.6.5.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΠΑΓΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΠΑΓΩΣΗΣ ΑΛΕΞΗΝΕΜΩΝ .....	91
7.6.6.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗΣ ΒΡΟΧΗΣ.....	92
7.7.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ .....	93
7.7.1.	ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ .....	94
7.7.2.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ .....	95
7.7.3.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ .....	97
7.7.3.1.	Σύστημα Θέρμανσης .....	97
7.7.3.2.	Σύστημα Ψύξης.....	98
7.8.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ .....	99
7.8.1.	ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ.....	99
7.8.2.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ .....	100
7.8.3.	ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ.....	102
7.8.3.1.	Αποσβεστήρες Κρούσης .....	102
7.8.3.2.	Υποσύστημα Ανάσυρσης και Έκτασης.....	103
7.8.3.3.	Υποσυστήματα Πηδαλιούχησης .....	105
7.8.3.4.	Υποσύστημα Πέδησης .....	105
7.8.3.5.	Συγκρότημα Φρένων .....	107
7.8.3.6.	Υποσύστημα Αντιολίσθησης Φρένων .....	108
7.8.3.7.	Τροχοί και Ελαστικά .....	108
7.9.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ .....	109
7.9.1.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ .....	110
7.9.2.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΡΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ .....	110
7.10.	ΣΩΣΤΙΚΑ ΜΕΣΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ .....	111
7.10.1.	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΟΥ ΜΑΧΗΤΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ.....	111
7.10.2.	ΑΛΕΞΙΠΤΩΤΑ.....	112
7.10.3.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΛΕΙΨΗΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗ .....	113
7.11.	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	113

7.12. ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	115
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	118
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	119



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Συντελεστής οπισθέλκουσας συναρτήσει λόγου λεπτότητας.....	4
Σχήμα 2: Διαμόρφωση ατράκτου ελαφρού αεροσκάφους έξι καθισμάτων.....	7
Σχήμα 3: Ισορροπία δυνάμεων και ροπών σε οριζόντια θέση.....	26
Σχήμα 4: Περιοχές εγκατάστασης ουραίου πτερώματος.....	28
Σχήμα 5: Επιπρόσθετες διαμορφώσεις ουραίου πτερώματος.....	29
Σχήμα 6: Διάφοροι περιορισμοί στη γεωμετρική διαμόρφωση των συστημάτων προσγείωσης.....	38
Σχήμα 7: Κύρια στοιχεία κατασκευής ατράκτου τύπου δικτυώματος.....	42
Σχήμα 8: Κύρια στοιχεία δομής ουραίου πτερώματος.....	44
Σχήμα 9: Εξέλιξη $C_L$ συναρτήσει $C_D$ .....	47
Σχήμα 10: Αλληλεπίδραση Ατράκτου - Πτέρυγας - Οριζοντίου Σταθερού.....	48
Σχήμα 11: Σχηματική παράσταση μικτού συστήματος ελέγχου πηδαλίων.....	63
Σχήμα 12: Αρχή λειτουργίας ηλεκτρουδραυλικού κυλίνδρου ενέργειας.....	64
Σχήμα 13: Τυπική «υγρή» πτέρυγα.....	67
Σχήμα 14: Αρχή λειτουργίας υδραυλικού συστήματος.....	75
Σχήμα 15: Απεικόνιση συγκριτικής λειτουργίας υδραυλικής αντλίας και υδραυλικού κινητήρα.....	83
Σχήμα 16: Τυπικό σύστημα αντιπάγωσης με θερμαντήρες καύσης.....	90
Σχήμα 17: Τυπικό σύστημα συμπίεσης και κλιματισμού επιβατικού αεροσκάφους.....	95

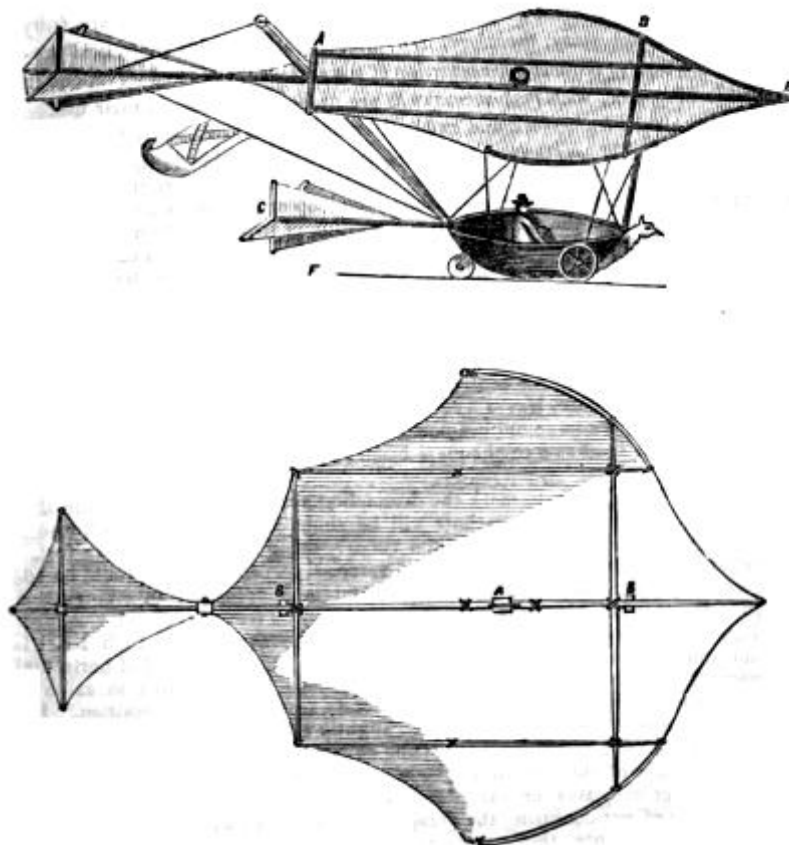
## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Πρώτο ανεμόπτερο από τον Cayley G. (1953) .....	1
Εικόνα 2: Ανεμόπτερο του Lilienthal O. (16 August 1894).....	2
Εικόνα 3: Το αεροπλάνο του Orville και Wilbur Wright (1903) .....	2
Εικόνα 4: Το αεροναυτικό τρίγωνο των Η.Π.Α (1866 -1921).....	3
Εικόνα 5: Επιβατικό αεροσκάφος της εταιρίας airbusμοντέλο A380 .....	10
Εικόνα 6: Εσωτερικό τμήμα αεροσκάφους της εταιρίας airbusμοντέλο A380.....	10
Εικόνα 7: Φορτηγό αεροσκάφος An-124 .....	12
Εικόνα 8: Φορτηγό αεροσκάφος An-124 .....	12
Εικόνα 9: Μεταφορικό στρατιωτικό αεροσκάφος C-130 Hercules της RAF.....	16
Εικόνα 10: Μαχητικό αεροσκάφος F 35, μονοθέσιο, μονοκινητήριο, χαμηλής παρατηρησιμότητας μαχητικό αεροσκάφος πέμπτης γενιάς.....	17
Εικόνα 11: Associated press, γαλλικό μαχητικό αεροσκάφος 4ης γενιάς. Σχεδιάστηκε και κατασκευάζεται από την Dassault Aviation.....	17

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

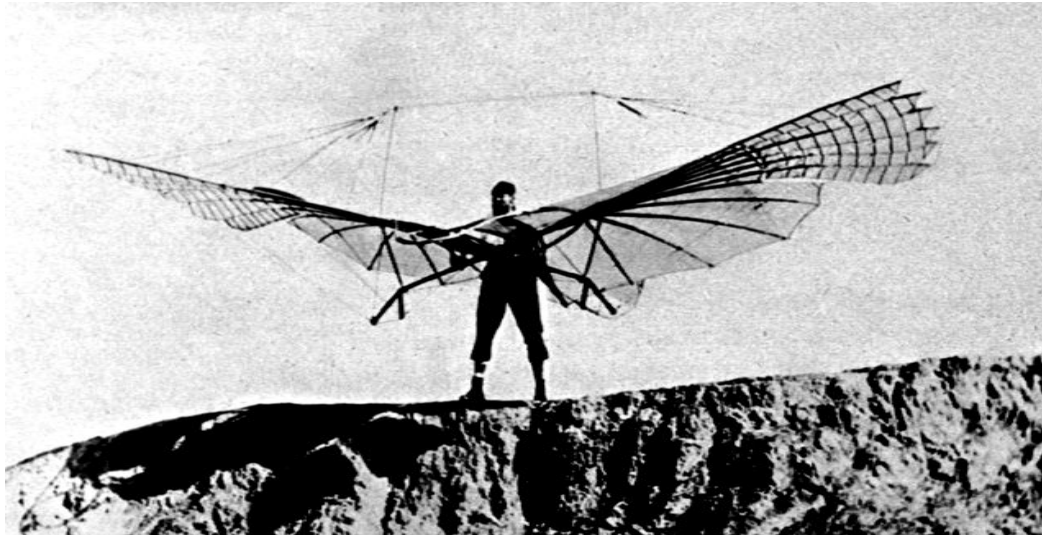
## Ιστορική Αναδρομή Αεροσκαφών

Οι κινήσεις των πουλιών έδωσαν τη βασική ιδέα στους ανθρώπους να αρχίσουν να μελετούν και να πειραματίζονται με στόχο να καταφέρουν να πετάξουν. Από την μυθολογία υπάρχουν διάφορες αναφορές που αναφέρουν το Δαίδαλό και τον Ικάρου να πετούν με φτερά, τα οποία τα σήριζαν από τα σανδάλια τους, κοντά στον ήλιο. Ακολουθούν το 1783 τα αδέλφια Montgolfier όπου κατασκεύασαν αερόστατο και με τη δύναμη της άντωση κατόρθωσαν να πετάξουν 5 λεπτά πάνω από το Παρίσι. Όμως η σύγχρονη μορφή των αεροπλάνων δίνεται από τον Cayley G., το 1799 όπου η κατασκευή του ολοκληρώνεται το 1853 δημιουργώντας το πρώτο ανεμόπτερο – μονοπλάνο που κάνει χρήση ανοδικών ρευμάτων αέρα με στόχο να πετάξει.



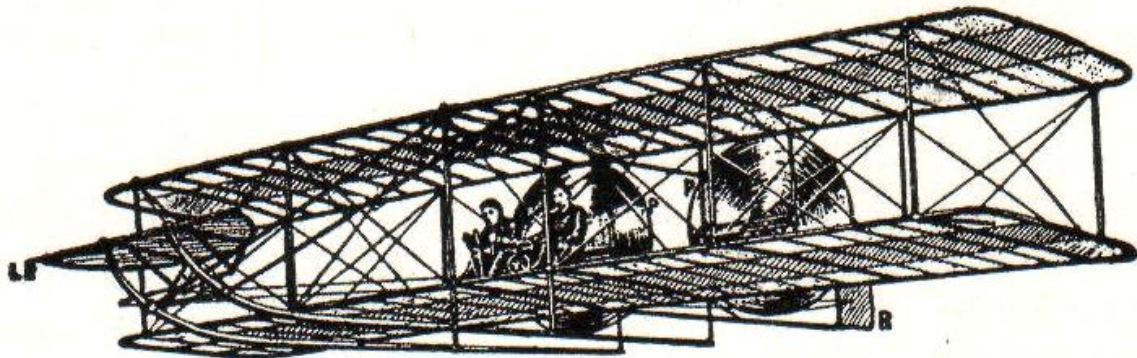
Εικόνα 1: Πρώτο ανεμόπτερο από τον Cayley G. (1799)

Οι δύο πρώτες πτήσεις, στην ιστορική αναδρομή που πραγματοποιήθηκε, με μηχανική τροφοδοσία πραγματοποιήθηκαν το 1774 από τον Tempe F.D. και το 1884 Mozhaiski A.F., όπου και οι δύο περιπτώσεις δεν είχαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα αφού δεν υπήρξε ελεγχόμενη συνεχή πτήση. Ωστόσο, σημαντική εξέλιξη στην ελεγχόμενη πτήση έγινε το 1911 από τον Lilienthal O. όπου πέταξε το πρώτο ελεγχόμενο ανεμόπτερο. Επιπλέον, ο Lilienthal O. από το 1891 έως και το 1896 πραγματοποίησε 2.500 πτήσεις με ανεμόπτερο, όπου έκανε χρήση καμπύλων σχημάτων αεροτομών στη πτέρυγα καθώς και κάθετα και οριζόντια ουραία τμήματα στο μπροστά και πίσω μέρος του με στόχο την ευστάθεια του. Τα ανεμόπτερα ήταν χειρός και ο έλεγχος πτήσης μπορούσε να πραγματοποιηθεί μετακινώντας το κέντρο βάρους του χειριστή κάτω από το ανεμόπτερο.



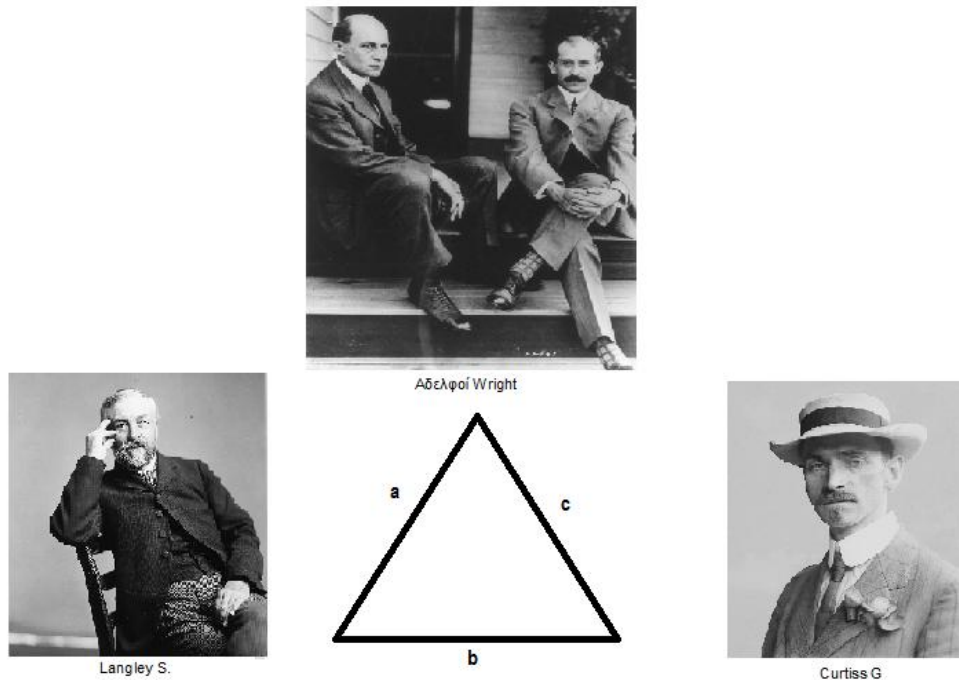
*Εικόνα 2: Ανεμόπτερο του Lilienthal O. (16 August 1894).*

Η συνέχεια και η εξέλιξη δίνεται το 1899 από τον Pilcher P., όπου για την απογείωση του Hawk χρησιμοποιείται μηχανή 4 Hp. Ωστόσο, όσο και αν αυτή η εξέλιξη ήταν κομβική είχε δυσάρεστα αποτελέσματα αφού στην δεύτερη επίδειξη ο Pilcher P. έχασε την ζωή του. Το 1903 οι Orville και Wilbur Wright πέτυχαν την πρώτη ελεγχόμενη, συνεχή, τροφοδοτούμενη, βαρύτερη από τον αέρα και επανδρωμένη πτήση που είχε πραγματοποιηθεί μέχρι τότε. Ο κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε ήταν 12 Hp και ήταν τοποθετημένος στην επάνω επιφάνεια της κάτω πτέρυγας και λίγο προς τα δεξιά του κέντρου.



*Εικόνα 3: Το αεροπλάνο του Orville και Wilbur Wright (1903)*

Ωστόσο, η ανάπτυξη της αεροναυπηγικής χρονολογείται μετά την επίδειξη των αδερφών Wright που πραγματοποιήθηκε στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α το 1908. Η «σκληρή» εργασία των αδερφών Wright, του Curtiss G. και η προγενέστερη εργασία του Langley S. δημιούργησαν το «αεροναυπηγικό τρίγωνο» που στην ουσία ήταν η εξέλιξη στην αεροναυπηγική πριν τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη πλήθος επιστημών οδηγήθηκαν στις εξελιγμένες ιπτάμενες μηχανές της σημερινής εποχής.



*Εικόνα 4: Το αεροναυπηγικό τρίγωνο των Η.Π.Α (1866 -1921)*

# 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΤΡΑΚΤΟΥ

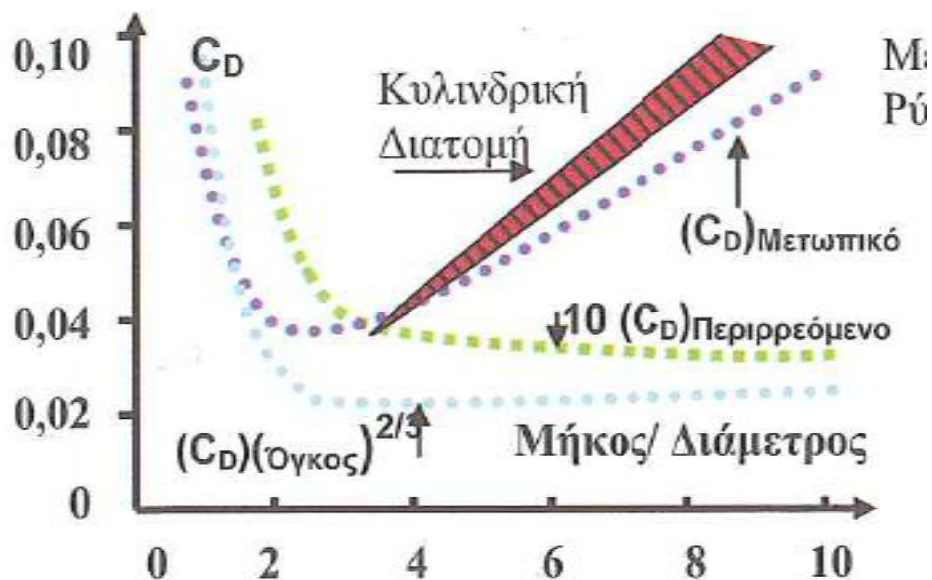
## 1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κύρια χαρακτηριστικά της ατράκτου είναι τα ακόλουθα:

- Είναι ο κύριος χώρος αποθήκευσης του ωφέλιμου φορτίου και εγκατάστασης των συστημάτων του αεροσκάφους και στα μαχητικά αεροσκάφη του προωθητικού συστήματος.
- Στο εμπρόσθιο τμήμα της εγκαθίσταται η καμπίνα διακυβέρνησης του αεροσκάφους.
- Συνδέει τα κύρια συγκροτήματα του αεροσκάφους.
- Αποθηκεύει καύσιμο και ορισμένες φορές τα σκέλη μετά την ανάλυση.

Η σχεδίαση της ατράκτου πρέπει να διασφαλίζει τα ακόλουθα:

- Ελαχιστοποιήσει της οπισθέλκουσας.
- Προσιτότητα, σύντομη και απλή φόρτωση - εκφόρτωση του ωφέλιμου φορτίου.
- Αντοχή και ακαμψία σε μεγάλο αριθμό ωρών πτήσης με το ελάχιστο βάρος.
- Προσιτότητα σε ελέγχους, επιθεωρήσεις και συντηρήσεις.
- Ελάχιστο λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης.



Σχήμα 1: Συντελεστής οπισθέλκουσας συναρτήσει λόγου λεπτότητας.

## 1.2. ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΟΠΙΣΘΕΛΚΟΥΣΑ ΑΤΡΑΚΤΟΥ

Η συνεισφορά της ατράκτου στο συντελεστή οπισθέλκουσας μηδενικής άντωσης του αεροσκάφους είναι αρκετά μεγάλη, της τάξης του 20% έως 30%. Η βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής διαμόρφωσης της ατράκτου είναι σημαντική ιδιαίτερα στα επιβατικά αεροσκάφη. Από το Σχήμα 1, στο οποίο απεικονίζεται η μεταβολή του συντελεστή οπισθέλκουσας της ατράκτου συναρτήσει του λόγου λεπτότητας  $\lambda_{ΑΤΡ}$ , προκύπτει ότι:

- Ο  $C_D$  αναφορικά προς τη περιρρεόμενη επιφάνεια, προσεγγίζει τις τιμές της επίπεδης πλάκας για πολύ λεπτά αεροδυναμικά διαμορφωμένα σώματα.
- Ο  $C_D$  αναφορικά προς τη μετωπική επιφάνεια ελαχιστοποιείται για
- Ο  $C_D$  της κυλινδρικής ατράκτου αυξάνεται για μεγάλες τιμές  $\lambda_{ΑΤΡ}$ .
- Ο  $C_D$  αναφορικά προς (όγκο ατράκτου)<sup>2/3</sup> ελαχιστοποιείται για  $4 < \lambda_{ΑΤΡ} < 6$
- Ο  $C_D$  αυξάνεται για τιμές του λόγου εκλέπτυνσης μικρότερες του 3.

Η άτρακτος, ακόμη και στα επιβατικά αεροσκάφη, δεν έχει τη βέλτιστη αεροδυναμική διαμόρφωση η οποία εμφανίζει πολύ ευρεία ποικιλία. Στη σχεδίαση της ατράκτου εκτός από την αεροδυναμική διαμόρφωση, λαμβάνονται υπόψη η βέλτιστη διαμόρφωση του χώρου επιβατών και φόρτωσης - εκφόρτωσης εμπορευμάτων, το κόστος κατασκευής, η προσιτότητα επιθεωρήσεων και ελέγχων, συντήρησης και επισκευής, κ.ά.. Στη φάση σχεδίασης της ατράκτου αποφασίζεται το κύριο κριτήριο διαμόρφωσης της, δηλαδή ελαχιστοποίηση οπισθέλκουσας (αεροδυναμική διαμόρφωση), απλοποίηση κατασκευής με κυκλική εγκάρσια διατομή στο κεντρικό τμήμα, ή επιμήκης και λεπτής άτρακτος, κ.ά..

Υπάρχουν γενικοί κανόνες σχεδίασης ατράκτου όχι όμως «έτοιμες» λύσεις. Στα επιβατικά αεροσκάφη ο όγκος του χώρου επιβατών ανέρχεται στο 60% - 70% του συνολικού όγκου της ατράκτου. Η κυλινδρική διατομή στο κεντρικό τμήμα της ατράκτου, διασφαλίζει βέλτιστη διαμόρφωση χώρου επιβατών – αποσκευών. Η άτρακτος έχει κυκλική διατομή στο κεντρικό τμήμα και μετακινούμενα διαχωριστικά τοιχώματα στο χώρο επιβατών. Τα περισσότερα επιβατικά αεροσκάφη έχουν κεντρικό τμήμα με κυκλική διατομή για τους ακόλουθους λόγους:

- Μειώνεται σημαντικά το κόστος κατασκευής της ατράκτου.
- Διασφαλίζει βέλτιστη αξιοποίηση του εσωτερικού χώρου και μέγιστη ευελιξία διεύθεσης των καθισμάτων, με την ελάχιστη απώλεια χώρου όγκου.

Με αυξανόμενο μήκος ατράκτου, μειώνεται το μέγεθος του ουραίου πτερύματος και αυξάνεται ο λόγος εκλέπτυνσης. Γενικά, στα επιβατικά αεροσκάφη η διαμόρφωση της ατράκτου υπαγορεύεται από τη βέλτιστη εξυπηρέτηση του ωφέλιμου φορτίου.

Τα εκπαιδευτικά και ελαφρά επιβατικά αεροσκάφη έχουν μικρό όγκο για το «ωφέλιμο» φορτίο. Σε περίπτωση διπλής σειράς καθισμάτων επιβατών ο  $\lambda_{ΑΤΡ}$  είναι της τάξης του έξι, ενώ σε περίπτωση απλής σειράς, τουλάχιστον οκτώ. Στα ανεμοπτερά επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση του  $C_D$  της ατράκτου, για δεδομένη διατομή του χώρου διακυβέρνησης του ανεμοπτερού. Ο  $\lambda_{ΑΤΡ}$  των ανεμοπτερών κυμαίνεται από 2.5 έως 4 ανάλογα με το οριακό στρώμα στο εμπρόσθιο τμήμα της ατράκτου.

Ο λόγος λεπτότητας του οπισθίου τμήματος της ατράκτου, μπορεί να είναι αρκετά μικρός χωρίς ραγδαία αύξηση της οπισθέλκουσας. Η μεταβολή της οπισθέλκουσας δε λαμβάνει υπόψη την επίδραση της πτέρυγας και του ουραίου πτερύματος που μπορεί να είναι πολύ ανεπιθύμητη.

Στα διηχητικά και υπερηχητικά αεροσκάφη η σχεδίαση της ατράκτου λαμβάνει υπόψη της των νόμο των επιφανειών (Whitcomb' sazeagule) με κατάλληλη διαμόρφωση και επιτυγχάνεται, στη διηχητική περιοχή, μείωση της συνολικής οπισθέλκουσας από 20% έως 25%. Η σχεδίαση της ατράκτου με βάση το νόμο των επιφανειών έχει αυξημένο κόστος κατασκευής και στα επιβατικά αεροσκάφη δυσχεραίνει την άνετη και κομψή διαμόρφωση του χώρου επιβατών και τη φορτοεκφόρτωση και αποθήκευση εμπορευμάτων.

Από πειράματα έχει προκύψει ότι για υποηχητικά αεροσκάφη η ελάχιστη τιμή της οπισθέλκουσας μηδενικής άντωσης επιτυγχάνεται για  $1/d=3$  και ότι με αυξανόμενο λόγο λεπτότητας αυξάνεται η οπισθέλκουσα μορφή. Στα υπερηχητικά αεροσκάφη η ελάχιστη τιμή της οπισθέλκουσας μηδενικής άντωσης επιτυγχάνεται για  $1/d=14$ . Στα υπερηχητικά επιβατικά αεροσκάφη Concorde και Turolev 144, οι τιμές του λόγου εκλέπτυνσης είναι 18.5 και 20 αντιστοίχως, δηλαδή μεγαλύτερες του 14. Το κεντρικό τμήμα της ατράκτου των αεροσκαφών αυτών έχει κυκλική εγκάρσια διατομή.

Τα υπερηχητικά μαχητικά αεροσκάφη εκτελούν επιχειρησιακές αποστολές, όπως π.χ., αερομαχίες, βομβαρδισμούς κ.ά. σε υποηχητικές ταχύτητες με συνέπεια ο λόγος λεπτότητάς τους να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 3 και 14. Οι τιμές αυτές διασφαλίζουν ελάχιστη οπισθέλκουσα μηδενικής άντωσης σε υποηχητικές και υπερηχητικές ταχύτητες αντιστοίχως. Η τιμή του λόγου λεπτότητας της ατράκτου, της μεγάλης πλειοψηφίας των σύγχρονων μαχητικών αεροσκαφών (π.χ. F- 15) κυμαίνεται από 8 έως 10.

### 1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΜΕ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

Η μεθοδολογία που περιγράφεται στην παράγραφο αυτή, αφορά αεροσκάφη με επίμηκες κεντρικό τμήμα κυκλικής διατομής, δηλαδή μεγάλα επιβατικά αεροσκάφη με τουλάχιστον 120 επιβάτες. Σε αεροσκάφη με λιγότερους από 120 επιβάτες, η μεθοδολογία είναι ίδια με την παραδοχή ότι το τμήμα της ατράκτου του χώρου επιβατών είναι σε όλο το μήκος του κυλινδρικό. Πολλά από τα επιμέρους βήματα της μεθοδολογίας εφαρμόζονται και σε μεγάλα φορτηγά αεροσκάφη, με τη σημείωση ότι η θέση εγκατάστασης της πόρτας φορτοεκφόρτωσης εμπορευμάτων αποτελεί κύριο παράγοντα σχεδίασης της ατράκτου.

Πολύ συνοπτικά ακολουθείται κατά βήματα η εξής μεθοδολογία:

- a) Επιλέγεται ο αριθμός των καθισμάτων ανά δυάδες, τριάδες ή συνδυασμό τους στη διατομή της κυλινδρικής ατράκτου και επιλέγονται οι διαστάσεις του χώρου αποθήκευσης εμπορευμάτων. Δεδομένου ότι ο αριθμός των επιβατών καθώς και ο όγκος των εμπορευμάτων είναι γνωστός, προσδιορίζεται η διάμετρος της κυκλικής ατράκτου.
- b) Σχεδιάζεται η γεωμετρία της εγκάρσιας διατομής με βάση τα τυποποιημένα στοιχεία των αεροπορικών κατασκευών (διαστάσεις - απόσταση καθισμάτων, συστήματα ασφάλειας, πλάτος και ύψος διαδρόμων, κ.τ.λ.). Γενικά τα αεροσκάφη με 150 - 200 επιβάτες έχουν δύο διαδρόμους με τρεις δυάδες /τριάδες καθισμάτων. Τα αεροσκάφη με λιγότερους από 120 επιβάτες έχουν, συνήθως ένα διάδρομο μεταξύ των δυάδων/ τριάδων καθισμάτων. Τα αεροσκάφη μέχρι 500 επιβάτες έχουν ένα δάπεδο, ενώ πάνω από 500 επιβάτες έχουν δύο δάπεδα (π.χ. A 380). Επίσης σχεδιάζεται ο χώρος των αποσκευών / εμπορευμάτων. Από τα ανωτέρω προκύπτει η εσωτερική γεωμετρία διαμόρφωση της εγκάρσιας διατομής της ατράκτου, η οποία είναι περίπου κυλινδρική ή αποτελείται από κυκλικά τόξα.
- c) Προσδιορίζεται η εξωτερική διαμόρφωση της ατράκτου, εκτιμώντας το πάχος της επικάλυψης, τα πλαίσια της ατράκτου, τις ταπετσαρίες, το πάχος μόνωσης κ.τ.λ.)
- d) Σχεδιάζεται η πλάγια όψη του εμπρόσθιου και οπίσθιου τμήματος της ατράκτου και ο χώρος διακυβέρνησης. Τα τμήματα αυτά δεν έχουν κυλινδρική διατομή, έχουν μικρό αριθμό επιβατών και οφείλουν να έχουν μικρό μήκος και όγκο.
- e) Μετά τη σχεδίαση της πλάγιας όψης, της διατομής της κυλινδρικής ατράκτου και της μετωπικής επιφάνειας του χώρου διακυβέρνησης, προσδιορίζονται τα εξής:
  - ✓ Οι κύριες διαστάσεις του χώρου διακυβέρνησης (cockpit) του αεροσκάφους.
  - ✓ Οι διαστάσεις και οι θέσεις των θυρών, παραθύρων και εξόδων κινδύνου, ο χώρος επιβίβασης αποβίβασης ή κένωσης του αεροσκάφους σε περίπτωση κινδύνου.

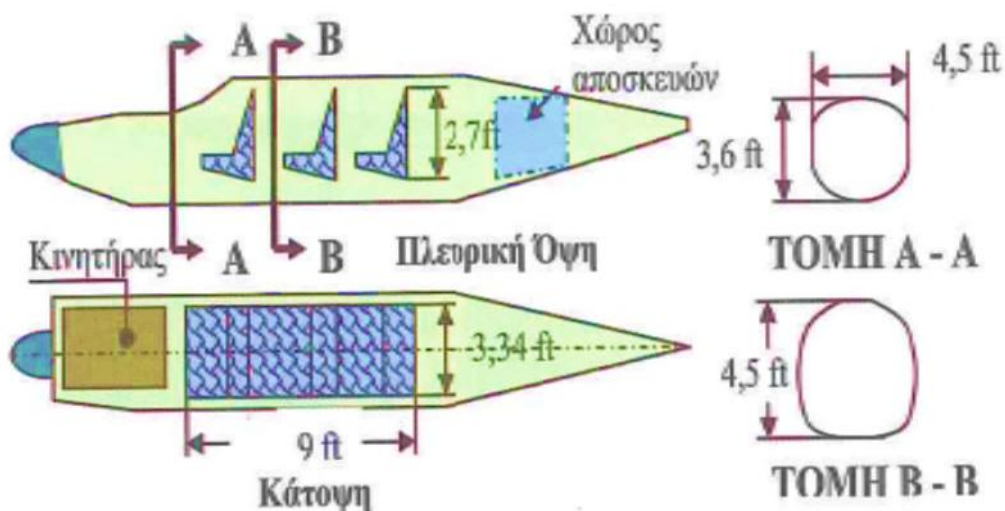


- ✓ Οι διαστάσεις του οπισθίου τμήματος της ατράκτου, με κύριο κριτήριο την αποφυγή αναστροφής του αεροσκάφους στη φάση της προσγείωσης και απογείωσης.
  - ✓ Οι θέσεις και ο όγκος των δομικών στοιχείων σύνδεσης πτέρυγας ατράκτου, των κινητήρων, των μηχανισμών ανάσυρσης του συστήματος προσγείωσης, του συστήματος συμπίεσης και κλιματισμού, των ηλεκτρικών - ηλεκτρονικών συστημάτων, κ.τ.λ.
  - ✓ Οι διαστάσεις του χώρου εμπορευμάτων και αποσκευών.
- f) Η σχεδίαση της ατράκτου επιτυγχάνεται με διαδοχική προσέγγιση, καθότι συνήθως προβλέπεται πύκνωση και αραίωση των καθισμάτων των επιβατών (τουριστική θέση, κανονική θέση και A θέση). Επιπρόσθετα τα περισσότερα αεροσκάφη σχεδιάζονται και για μεταφορά εμπορευμάτων ως φορηγά αεροσκάφη.

## 1.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

### 1.4.1. ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

Η διαμόρφωση της ατράκτου εξαρτάται κυρίως από την κατηγορία του αεροσκάφους.



Σχήμα 2: Διαμόρφωση ατράκτου ελαφρού αεροσκάφους έξι καθισμάτων.

Οι βασικές παράμετροι σχεδίασης της ατράκτου των επιβατικών αεροσκαφών είναι:

#### 1. Άνεση επιβατών και πυκνότητα ωφέλιμου φορτίου.

Η άνεση είναι βασική παράμετρος σχεδίασης του χώρου επιβατών και εξαρτάται κυρίως από τον τύπο και τη διαρρύθμιση καθισμάτων, διαστάσεις και αισθητική του χώρου επιβατών διαθέσιμο χώρο για τη μετακίνηση επιβατών, κλιματισμό, επίπεδο θορύβου από τους κινητήρες, εγκάρσιες και διαμήκεις επιταχύνσεις του αεροσκάφους ιδιαίτερα στη φάση πέδησης, κλίση του αεροσκάφους στη φάση αναρρίχησης και καθόδου, διάρκεια πτήσης, αριθμό και ποιότητα W.C, νιπτήρων και σαλονιού, εξυπηρέτηση επιβατών στη διάρκεια της πτήσης, κ.τ.λ. Η άνεση του επιβάτη στα αεροσκάφη, είναι αρκετά ικανοποιητική συγκριτικά προς τα άλλα μεταφορικά μέσα. Τα σύγχρονα αεροσκάφη, όπως το αεροσκάφος A 380, διαθέτουν θέσεις με αυξημένη άνεση καθώς και χώρους αναψυχής.

Η μέση πυκνότητα του ωφέλιμου φορτίου (μέση πυκνότητα επιβατών, εμπορευμάτων και αποσκευών των αεροσκαφών με βάρος απογείωσης μεγαλύτερο από 11.000 kg (25.000 lbs) παραμένει σταθερή. Στα επιβατικά αεροσκάφη ανέρχεται σε 5.0 – 5.5 [lbs/ ft<sup>3</sup>] ή 80 - 90 [Kg/m<sup>3</sup>] και στα μεγάλα επιβατικά αεροσκάφη (Boeing 747, Douglas DC-10, Lockheed I, Airbus A300B) σε 4.5 [lbs/ ft<sup>3</sup>] ή 70 [Kg/m<sup>3</sup>]. Στα μικρά έως μεσαία αεροσκάφη με βάρος απογείωσης μέχρι 11.000 KG ή 25.000 lbs η μέση πυκνότητα του ωφέλιμου φορτίου διαφοροποιείται από 5.0 έως 14 [lbs/ ft<sup>3</sup> (220 [Kg/ m<sup>3</sup>]).

## 2. Διαμόρφωση Χώρου Επιβατών.

Εγκάρσια Διατομή: Καθορίζεται ο αριθμός των παράλληλων σειρών (δυάδες, τριάδες) καθισμάτων σε μία εγκάρσια διατομή. Οι διαστάσεις και αποστάσεις των καθισμάτων και το πλάτος και ύψος των διαδρόμων μεταξύ των καθισμάτων είναι τυποποιημένα με διεθνείς προδιαγραφές. Ο αριθμός των καθισμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του αεροσκάφους, δε μπορεί να είναι μεγαλύτερος του τρία. Συνεπώς η εγκάρσια διατομή με περισσότερα από έξι καθίσματα, πρέπει να έχει δύο διάδρομους επιβατών. Το ελάχιστο ύψος του διαδρόμου ανέρχεται σε 12 ίντσες (308 mm). Στα αεροσκάφη που δεν αποθηκεύουν εμπορεύματα κάτω από το δάπεδο του χώρου επιβατών, το κάτω τμήμα της ατράκτου είναι επιπεδωμένο. Η διαμόρφωση αυτή είναι συνήθεις στα υψηλοπτέρυγα αεροσκάφη και μειώνει τις διαστάσεις και το βάρος του συστήματος προσγείωσης.

Στη συνέχεια σχεδιάζεται η εξωτερική γεωμετρία της ατράκτου με την προσθήκη ενός πάχους τοιχώματος της τάξης των 4 ιντσών (10 cm) για τα αεροσκάφη με συμπίεση. Το πάχος του τοιχώματος της μη συμπιεζόμενης ατράκτου ανέρχεται στο 2% του πλάτους της ατράκτου αυξημένο κατά μία ίντσα (25 mm). Τα αεροσκάφη αυτά έχουν συνήθως ορθογωνική διατομή ατράκτου, με στρογγυλεμένες ακμές και ελάχιστη μετωπική επιφάνεια.

Τα καθίσματα των επιβατών στερεώνονται σε ράγιες στο δάπεδο της ατράκτου. Οι ράγιες είναι τυποποιημένες και επιτρέπουν τη ρύθμιση της απόστασης των καθισμάτων με βήμα μίας ίντσας ανάλογα με τη θέση - κατηγορία ως ακολούθως:

- Πρώτη Θέση: 38 έως 40 ίντσες
- Τουριστική ή οικονομική θέση: 34 έως 36 ίντσες
- Υψηλής πυκνότητας ή οικονομικής θέσης: 30 έως 32 ίντσες

Στα μεσαία και μεγάλα αεροσκάφη, το δάπεδο του χώρου επιβατών είναι οριζόντιο στην πλευση, αλλά στα μικρά αεροσκάφη δεν είναι πάντοτε εφικτό. Όταν το δάπεδο είναι οριζόντιο η πτήση είναι ευχάριστη στους επιβάτες και διευκολύνεται η εξυπηρέτησή τους με ποτά και φαγητό. Η κατασκευή του δαπέδου, πρέπει να διασφαλίζει την αντοχή του στη μέγιστη πυκνότητα επιβατών. Στα επιβατικά αεροσκάφη που δεν προβλέπεται μεταφορά εμπορευμάτων - αποσκευών στο χώρο επιβατών, η επιτρεπόμενη φόρτιση του δαπέδου ανέρχεται σε 75 - 100 lbs/ft<sup>2</sup> (300 - 500 Kg/m<sup>2</sup>), ενώ στα αεροσκάφη που προβλέπεται μεταφορά εμπορευμάτων στο χώρο επιβατών ανέρχεται σε 200 lbs/ft<sup>2</sup> (1000 Kg/m<sup>2</sup>) Το πάχος του δαπέδου ανέρχεται συνήθως στο 5% της διαμέτρου της ατράκτου.

Οι διαστάσεις των καθισμάτων διαφέρουν ανάλογα με τη θέση - κατηγορία. Τα μεσαία και μεγάλα αεροσκάφη έχουν καθίσματα τριών κατηγοριών, και τοποθετούνται αντίστοιχα σε τρεις θέσεις - κατηγορίας με το ακόλουθο βήμα - απόσταση:

- Deluxe τύπος: Βήμα καθισμάτων 37 - 42 ίντσες
- Κανονικός τύπος: Βήμα καθισμάτων 32 - 36 ίντσες
- Οικονομικός τύπος: Βήμα καθισμάτων 28 - 31 ίντσες

Ο Deluxe τύπος καθίσματος χρησιμοποιείται στην A θέση, ο κανονικός τύπος στις συνήθεις πτήσεις των επιβατικών αεροσκαφών και ο οικονομικός στις θέσεις υψηλής πυκνότητας.

Για τον υπολογισμό της αντοχής των καθισμάτων λαμβάνεται ως βάρος επιβάτη 170 lb (77 kg). Τα καθίσματα και οι βάσεις στήριξής τους, είναι σχεδιασμένα να αντέξουν στα

φορτία που αναπτύσσονται, με συντελεστή ασφαλείας ως προς το όριο διαρροής 1.33 στις επιταχύνσεις που μπορεί να εμφανισθούν στις εξής ακραίες συνθήκες καταπόνησης τους.

### 3. Έξοδοι Κινδύνου Επιβατών, Πόρτες και Παράθυρα.

*Έξοδοι Κινδύνου:* Ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες. Ο τύπος I και II εγκαθίστανται στο ύψος του δαπέδου, ο τύπος II μπορεί να εγκατασταθεί και στην πτέρυγα και οι τύποι III και IV στην πτέρυγα. Επίσης, υπάρχουν έξοδοι διαφυγής στην κοιλιά και στον οπίσθιο τμήμα της ατράκτου. Ο ελάχιστος αριθμός τους εξαρτάται από τον αριθμό των καθισμάτων του αεροσκάφους. Οι έξοδοι κινδύνου μπορεί να είναι κινητά παράθυρα, πλευρικά τοιχώματα ή εξωτερικές πόρτες με ελάχιστη ελλειπτική επιφάνεια διαφυγής 19 - 26 ίντσες (463 - 660mm).

*Πόρτες και Παράθυρα Επιβατών:* Τα αεροσκάφη μέχρι και 70 - 80 επιβάτες έχουν μια πόρτα επιβίβασης - αποβίβασης επιβατών, ενώ τα αεροσκάφη από 80-200 επιβάτες δύο πόρτες. Οι πόρτες επιβατών είναι στην αριστερή πλευρά, ενώ οι πόρτες εξυπηρέτησης στη δεξιά πλευρά του αεροσκάφους. Τα στροβιλοφόρα αεροσκάφη έχουν πόρτες και από τις δύο πλευρές της ατράκτου. Οι πόρτες έχουν συνήθως ύψος 1.80 m και πλάτος 0.9 m, αλλά αυτό δεν είναι εφικτό στα μικρά αεροσκάφη. Η απόσταση των παραθύρων προσδιορίζεται κυρίως από την απόσταση των πλαισίων της ατράκτου. Συνήθως, το μέσο βήμα των πλαισίων της ατράκτου και των παραθύρων είναι της τάξης 0.50 m. Στα αεροσκάφη με συμπίεση, τα παράθυρα είναι κυκλικά ορθογώνια με στρογγυλεμένες ακμές, ελλειπτικά ή ωοειδή. Η άνω πλευρά του παραθύρου είναι περίπου στο ύψος των οφθαλμών του επιβάτη.

### 4. Χώρος Αποσκευών

Ο χώρος αποσκευών εξαρτάται από την κατηγορία του αεροσκάφους και τις πτήσεις που εκτελεί. Για τον προσδιορισμό του λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- Βάρος επιβάτη: 177 lb (77 Kg).
- Βάρος αποσκευών ανά επιβάτη : 35 lb (16 Kg) για πτήσεις μέσης διάρκειας και 40 lb (18 Kg) για πτήσεις μεγάλης διάρκειας.
- Αποτελεσματικότητα φόρτισης : 85% δηλαδή το 15% του χώρου δεν αξιοποιείται.

Το βάρος των φορτίων υπολογίζεται από τη μέση πυκνότητα του φορτίου που ανέρχεται σε 10 lb/ft<sup>3</sup> (160 Kg/ m<sup>3</sup>) και των αποσκευών σε 12.5 lb /ft<sup>3</sup> (200 Kg/m<sup>3</sup>)

Για τον έλεγχο της μετατόπισης του Κ.Β. του αεροσκάφους, τα φορτία αποθηκεύονται σε χώρους μπροστά και πίσω από την πτέρυγα. Στα αεροσκάφη με συμπίεση, ο χώρος εμπορευμάτων και αποσκευών έχει συμπίεση. Στα μεγάλα αεροσκάφη, τα φορτία και οι αποσκευές τοποθετούνται σε τυποποιημένα κοντέινερ και παλέτες.

### 5. Εγκαταστάσεις Εξυπηρέτησης

*Κουζίνα, Τουαλέτες και Ντουλάπες:* Τα W.C. εγκαθίστανται σε περιοχή μη άμεσα ορατή από τους επιβάτες, αλλά εύκολα προσιτή. Η κουζίνα εγκαθίσταται συνήθως στο εμπρόσθιο ή οπίσθιο τμήμα της ατράκτου. Στα μεγάλα επιβατικά στροβιλοφόρα αεροσκάφη εγκαθίσταται κάτω από το δάπεδο του χώρου επιβατών και διασφαλίζει βέλτιστη εκμετάλλευση του διατιθέμενου χώρου. Κατά την εξυπηρέτηση, φόρτωση και εκφόρτωση του αεροσκάφους μεταξύ των διαδοχικών πτήσεων, απαιτούνται:

- Πλήρωση της δεξαμενής πόσιμου νερού.
- Εκφόρτωση όλων των τροφών, αναψυκτικών - ποτών και απορριμμάτων από την κουζίνα και ανεφοδιασμό με τρόφιμα και αναψυκτικά ποτά.
- Εκφόρτωση αποσκευών και εμπορευμάτων και εν συνεχεία φόρτωση των νέων.
- Καθαρισμό τουαλετών και των αποβλήτων τους.
- Οι πόρτες επιβίβασης επιβατών και φορτοεκφόρτωσης εμπορευμάτων και οι θυρίδες εξυπηρέτησης του αεροσκάφους, δεν πρέπει να παρεμποδίζουν τη

λειτουργία των επιγείων οχημάτων εξυπηρέτησής του (όχημα για πόσιμο νερό, για απόβλητα W.C, εφοδιασμός κουζίνας, σκάλες επιβίβασης επιβατών, κ.τ.λ.).

**Συστήματα Χώρου Επιβατών:** Ο χώρος των επιβατών οφείλει να διαθέτει άπλετο φωτισμό, συνολικά και χωριστά για κάθε επιβάτη, σύστημα κλιματισμού με δυνατότητα ρύθμισης από τον επιβάτη, χώρο για μικρές αποσκευές χειρός ανά επιβάτη και παροχή οξυγόνου για πλεύση πάνω από 25.000 ft (7.620 m).

**Πλήρωμα Εξυπηρέτησης:** Ο ελάχιστος αριθμός του ιπτάμενου προσωπικού εξυπηρέτησης, καθορίζεται στην προδιαγραφή FAR 91,215, αλλά ο πραγματικός αριθμός εξαρτάται από την αεροπορική εταιρεία. Εμπειρικά ο μέσος αριθμός επιβατών ανά ιπτάμενο προσωπικό εξυπηρέτηση έχει ως ακολούθως:

**Άτρακτος μικρών Αεροσκαφών.** Ο λόγος λεπτότητας ατράκτου των μικρών αεροσκαφών, προσδιορίζεται από τον εξής εμπειρικό πρακτικό κανόνα:

$$\frac{\text{Διάμετρος ατράκτου}}{\text{Μήκος ατράκτου}} = \text{Σχετικό πάχος πτέρυγας (+5, -0)} \quad [1.1]$$

Το ελάχιστο πλάτος της ατράκτου ενός μονοθέσιου αεροσκάφους, ανέρχεται σε 0,61 m και της ατράκτου με δύο καθίσματα στην εγκάρσια διατομή ανέρχεται σε 1.05 m. Στο σχήμα 1.2, απεικονίζεται η άτρακτος ενός ελαφρού επιβατικού αεροσκάφους με έξι επιβάτες. Το πλάτος των καθισμάτων ανέρχεται σε 1.67 ft, το ύψος σε 2.7 ft και το βήμα σε 3 ft. Το οπίσθιο τμήμα της ατράκτου είναι ένας «απλός κώνος», με γωνία > 15° Η μεγάλη πλειοψηφία των ελαφρών επιβατικών αεροσκαφών, είναι υψηλοπτέρυγα.



Εικόνα 5: Επιβατικό αεροσκάφος της εταιρίας airbusμοντέλο A380



Εικόνα 6: Εσωτερικό τμήμα αεροσκάφους της εταιρίας airbusμοντέλο A380

#### 1.4.2. ΦΟΡΤΗΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

Νέα φορτηγά αεροσκάφη κατασκευάζονται ελάχιστα για τους εξής λόγους:

- a) Σημαντικό ποσοστό εμπορευμάτων μεταφέρεται με προγραμματισμένες πτήσεις επιβατών και με ειδικές πτήσεις διότι μειώνονται σημαντικά τα έξοδα μεταφοράς.
- b) Αξιοποιούνται σε μεγάλο ποσοστό οι ακόλουθες μεθοδεύσεις:
  - ✓ Ταχεία και απλή διαμόρφωση επιβατικού αεροσκάφους σε «φορτηγό».
  - ✓ Αξιοποίηση στρατιωτικών «φορτηγών» αεροσκαφών (π.χ. Lockheed C-130).
  - ✓ Αξιοποίηση παλαιών επιβατικών αεροσκαφών (π.χ. DC-6, Lockheed L-1049).

Ο κύριος παράγοντας επιλογής των διαστάσεων ενός νέου «φορτηγού» αεροσκάφους, είναι το άμεσο λειτουργικό κόστος το οποίο μειώνεται με αυξανόμενο μέγεθος αεροσκάφους.

*Πυκνότητα ωφέλιμου Φορτίου και Όγκος Εμπορευμάτων:* Το κόστος αερομεταφοράς εμπορευμάτων είναι αυξημένο συγκριτικά με αυτό των επιβατών. Ο χώρος αποθήκευσης εμπορευμάτων συνήθως δεν καλύπτεται πλήρως. Ο διαθέσιμος χώρος αποθήκευσης εμπορευμάτων μεγάλης σχετικής πυκνότητας, πληρούται σε μικρότερο ποσοστό συγκριτικά με προϊόντα μέσης σχετικής πυκνότητας.

Η μεγάλη πλειοψηφία των εμπορευμάτων έχει πυκνότητα 190 Kg/ m<sup>3</sup> (10 έως 12 lb / ft<sup>3</sup>). Ο όγκος του χώρου αποθήκευσης εμπορευμάτων προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{Καθαρός Όγκος} = \frac{\text{Περιοριστική πυκνότητα}}{\text{Μέση πυκνότητα εμπορευμάτων}} * \frac{\text{Μέγιστο επί πληρωμή φορτίο} \times \text{Μέσο επί τις \% φορτίο}}{\text{Συντελεστής αποθήκευσης}} \quad [1.2]$$

Το μέσο επί τις εκατό (%) φορτίο συγκρινόμενο με το μέσο συντελεστή φόρτωσης των επιβατικών αεροσκαφών, ανέρχεται σε 0.65. Η τιμή της περιοριστικής πυκνότητας ανέρχεται σε 1.20 έως 1.30 για τη διασφάλιση φόρτωσης εμπορευμάτων μικρότερης πυκνότητας από τη μέση πυκνότητα. Ο συντελεστής αποθήκευσης εκφράζει επί τις εκατό (%) την αναλογία του εκμεταλλευόμενου όγκου προς τον καθαρό όγκο. Εξαρτάται από τη γεωμετρία της ατράκτου και των φορτίων και ανέρχεται σε 0.70 - 0.85. Το μέγιστο επί πληρωμή φορτίο, προκύπτει για πυκνότητα μεγαλύτερη από τη μέση πυκνότητα.

*Συστήματα Φόρτωσης:* Η εσωτερική διαμόρφωση του χώρου αποθήκευσης της ατράκτου προσαρμόζεται για την υποδοχή των τυποποιημένων κοντέινερ και παλετών. Η φορτοεκφόρτωση των τυποποιημένων κοντέινερ και παλετών στα αεροσκάφη με ειδικά επίγεια μηχανήματα ελαχιστοποιεί το χρόνο φορτοεκφόρτωσης. Στο δάπεδο του αεροσκάφους υπάρχουν με περιστρεφόμενους κυλίνδρους, για τη μεταφορά των παλετών που οδηγούνται από ρυθμιζόμενες ράγες. Τα φορτία ασφαλίζονται με ταινίες και δίχτυα που προσδένονται σε κρίκους στο δάπεδο του αεροσκάφους.

*Προσιτότητα Χώρων Αποθήκευσης:* Οι βασικές διαμορφώσεις και θέσεις των θυρών φορτοεκφόρτωσης συνοπτικά είναι οι ακόλουθες:

- a) Πόρτα στο ρύγχος του αεροσκάφους, π.χ. Lockheed C-5A, κ.τ.λ. Αυξάνει την οπισθέλκουσα λόγω υπερύψωσης του χώρου διακυβέρνησης.
- b) Πόρτα στο ουραίο τμήμα της ατράκτου, π.χ. C-130, C-141, κ.τ.λ. Μειονέκτημά της είναι η απώλεια πίεσης σε συμπιεσμένη άτρακτο.
- c) Πόρτα στο ουραίο τμήμα της ατράκτου με σταθεροποιητή ουραίου πτερώματος (tailboom), π.χ. Noratlas, Fairchild C-82, κ.τ.λ. Διασφαλίζει βέλτιστη προσιτότητα φορτοεκφόρτωσης αλλά έχει αυξημένη οπισθέλκουσα.
- d) Κινητό ουραίο πτέρωμα, π.χ. Canadair CL-44. Διασφαλίζει πολύ καλή αεροδυναμική διαμόρφωση αλλά αυξάνει το βάρος της ατράκτου.
- e) Κινητό ρύγχος ατράκτου μαζί με το πιλοτήριο. Αυξάνει το βάρος της ατράκτου και δυσχεραίνει τη δρομολόγηση ηλεκτρικών καλωδιώσεων, κ.τ.λ.

- f) Πλευρική πόρτα στην άτρακτο. Τα περισσότερα επιβατικά αεροσκάφη που έχουν μετατραπεί σε φορηγά αεροσκάφη, έχουν πόρτες στα πλευρικά της ατράκτου.

Η βέλτιστη προσιότητα φορτοεκφόρτωσης επιτυγχάνεται με πόρτες στο εμπρόσθιο ή οπίσθιο μετωπικό τμήμα της ατράκτου. Η μέγιστη φόρτωση του δαπέδου ενός «φορηγού» αεροσκάφους ανέρχεται σε:

- a) Φορηγά αεροσκάφη πολιτικής αεροπορίας: 600 έως 1.500 Kg /m<sup>2</sup>
- b) Στρατιωτικά φορηγά αεροσκάφη: 1.100 έως 6.000 Kg/m<sup>2</sup>

Τα μέγιστα επιτρεπόμενα τοπικά φορτία ανέρχονται σε:

- a) Φορηγά αεροσκάφη πολιτικής αεροπορίας: 1.600 έως 4.000 Kg/m<sup>2</sup>
- b) Στρατιωτικά φορηγά αεροσκάφη: 1.300 έως 4.500 Kg/m<sup>2</sup>



Εικόνα 7: Φορηγό αεροσκάφος An-124



Εικόνα 8: Φορηγό αεροσκάφος An-124

### 1.4.3. ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΦΟΡΤΗΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

*Θέση Πιλότου προς Χειριστήρια και Όργανα:* Η θέση του πιλότου προς τα όργανα και χειριστήρια πρέπει να διασφαλίζει άνετο χειρισμό και έλεγχο του αεροσκάφους αλλά και ελάχιστο όγκο για μείωση της μετωπικής επιφάνειάς του. Στα περισσότερα αεροσκάφη τα καθίσματα του χώρου διακυβέρνησης είναι ρυθμιζόμενα καθ' ύψος και οριζοντίως και έχουν ρυθμιζόμενη πλάτη. Η πλάτη των καθισμάτων σε όρθια θέση, χρησιμοποιείται στην προσγείωση και απογείωση, ενώ η επικλινής θέση στην πλεύση.

*Ορατότητα Πιλότου:* Ο χώρος διακυβέρνησης οφείλει να διασφαλίζει στον πιλότο ορατότητα στον περιβάλλοντα χώρο και ελάχιστη οπτική γωνία στην απογείωση, πλεύση, προσγείωση και τροχοδρόμηση. Π.χ. για οριζόντια πτήση και μηδενική κλίση κεφαλής (οπτική ευθεία παράλληλη στη πορεία πτήσης) οφείλει να διασφαλίζει πλήρη ορατότητα  $17^{\circ}$  προς τα άνω και  $20^{\circ}$  προς τα κάτω. Στη φάση προσέγγισης και προσγείωσης το αεροσκάφος λαμβάνει τις μέγιστες κλίσεις του και περιορίζεται η οπτική γωνία του πιλότου. Η οπτική γωνία οφείλει να διασφαλίζει στον πιλότο πλήρη ορατότητα των φώτων της περιοχής προσγείωσης σε μία απόσταση, ίση με την απόσταση που διανύει το αεροσκάφος με την ταχύτητα προσγείωσης σε 3 λεπτά της ώρας όταν το αεροσκάφος.

- Έχει κλίση κατολίσθησης  $2^{\circ}$  και  $30^{\circ}$ . Έχει γωνία εκτροπής  $-10^{\circ}$  έως  $+10^{\circ}$
- Βρίσκεται σε ύψος 30.5 m από το σημείο επαφής με το διάδρομο προσγείωσης.
- Εκτελεί μία προσέγγιση με οπτική ορατότητα 365 στο διάδρομο προσγείωσης.
- Έχει ακραίες συνθήκες φορτίων βαρών και ακραία θέση κέντρου βάρους.

*Γεωμετρική Διαμόρφωση Χώρου Διακυβέρνησης:* Οι διαστάσεις διαμόρφωσης του χώρου διακυβέρνησης εξαρτώνται βασικά από την αποστολή και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό του αεροσκάφους. Ο ελάχιστος αριθμός του πληρώματος εξαρτάται από έργο με το οποίο είναι επιφορτισμένο και πολύ συνοπτικά αποτελείται από τις ακόλουθες δραστηριότητες: έλεγχο της πορείας πτήσης του αεροσκάφους, ναυτιλία, διατήρηση επαφής με τα διάφορα κέντρα ελέγχου και λειτουργία, επίβλεψη και έλεγχο των συστημάτων. Το έργο του πληρώματος, επηρεάζεται από τη διάρκεια πτήσης, τον αυτοματισμό και τα λειτουργικά όρια του αεροσκάφους. Τα επιβατικά αεροσκάφη έχουν διπλά χειριστήρια και πετούν με τουλάχιστον δύο πιλότους. Τα αεροσκάφη βραχείας έως μέσης εμβελείας, μπορούν να πετούν με δύο μόνο μέλη πληρώματος. Τα αεροσκάφη μεγάλης εμβελείας και ορισμένα μέσης εμβελείας οφείλουν να έχουν και τρίτο μέλος στο πλήρωμα του χώρου διακυβέρνησης. Ο χώρος διακυβέρνησης των αεροσκαφών τουριστικής κατηγορίας δεν υπερβαίνει τα 1.5 m, ενώ στα λοιπά αεροσκάφη τα 1.8 m.

### 1.4.4. ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

Τα «φορτηγά» στρατιωτικά αεροσκάφη χρησιμοποιούνται τόσο σαν επιβατικά όσο και για μεταφορά φορτίων. Είναι όμοια σχεδιαστικά με τα επιβατικά και «φορτηγά» αεροσκάφη της πολιτικής αεροπορίας με τις ακόλουθες επισημάνσεις:

- a) Απόρριψη εν πτήση φορτίων με αλεξίπτωτα.
- b) Μεταφορά στρατιωτών με ατομικό εξοπλισμό μεγάλης πυκνότητας φόρτωσης
- c) Μεταφορά και απόρριψη αλεξίπτωτιστών.
- d) Απογείωση - προσγείωση σε διαδρόμους «σκληρών» συνθηκών για το αεροσκάφος.
- e) Πτήσεις σε δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες από τα πολιτικά αεροσκάφη.

Στα μαχητικά αεροσκάφη το ωφέλιμο φορτίο αναρτάται κυρίως εξωτερικά της ατράκτου και ιδιαίτερα στις πτέρυγες και συνοπτικά είναι το ακόλουθο:

- a) Πυροβόλο με φυσίγγια και βλήματα και ρουκέτες
- b) Κλασσικές και κατευθυνόμενες βόμβες και κατευθυνόμενα βλήματα.

Τα σημεία ανάρτησης των εξωτερικών φορτίων της δομής της ατράκτου και της πτέρυγας είναι κατάλληλα ενισχυμένα για τη μεταφορά των αναπτυσσομένων δυνάμεων και ροπών. Στην άτρακτο των μαχητικών αεροσκαφών τοποθετείται το μεγαλύτερο ποσοστό καυσίμου, τα ηλεκτρονικά και τα διάφορα συστήματα του αεροσκάφους και η πυκνότητά τους είναι μεγαλύτερη από αυτήν των επιβατικών αεροσκαφών.

*Γεωμετρική Διαμόρφωση:* Τα μαχητικά αεροσκάφη είναι υπερηχητικά, αλλά ένα μεγάλο ποσοστό των αποστολών τους είναι στην υποχητική περιοχή. Έχουν αεροδυναμικά χαρακτηριστικά προσαρμοσμένα στην υπερηχητική ροή, με εκλέπτυνση στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου για αποφυγή αποχωρισμού της ροής, που έχει ως συνέπεια ραγδαία αύξηση του συντελεστού οπισθέλκουσας. Ορισμένες πολύ χαρακτηριστικές διαμορφώσεις της ατράκτου των μαχητικών αεροσκαφών, είναι τα ακόλουθες:

- a) Κώνος - Κύλινδρος: Απλοποιεί τον υπολογισμό του  $C_D$  ατράκτου.
- b) Ogive Κύλινδρος: Έχει μεγαλύτερο όγκο από τη διαμόρφωση κώνου.
- c) Μαθηματική Σειρά - Κύλινδρος: Για τη διαμόρφωση του ρύγχους ισχύει:

$$\frac{r}{\frac{d}{2}} = \left(\frac{x}{l}\right)^n \quad [1.3]$$

Όπου:

- r = η ακτίνα σε απόσταση
- x = η απόσταση από την κορυφή
- d = η διάμετρος της βάσης
- l = το ολικό μήκος του ρύγχους.

- d) Ogive von Karman : Συμμετρικό σώμα που δίδεται από την σχέση:

$$\left(\frac{r}{r_{\max}}\right)^2 = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{2x}{L} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{2x}{L}\right)^2} + \cos^{-1}\left(\frac{2x}{L}\right) \quad [1.4]$$

Ισχύει για:

$$-\frac{1}{2} < x < \frac{1}{2} \quad [1.5]$$

- e) Άτρακτος – Sears Heack : Η διαμόρφωση του σχήματος, δίδεται από την σχέση:

$$\left(\frac{r}{r_{\max}}\right)^2 = \left[1 - \left(\frac{2x}{L}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}} \quad [1.6]$$

Ισχύει για:

$$-\frac{1}{2} < x < \frac{1}{2} \quad [1.7]$$

και



$$\text{Όγκος} = \frac{3}{16} \cdot \pi \cdot L \cdot S_{\max} \quad [1.8]$$

Συστήματα: Ο προσδιορισμός της γεωμετρικής διαμόρφωσης της ατράκτου συνίσταται στον προσδιορισμό του όγκου των ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών συσκευών και συστημάτων του αεροσκάφους. Τα διάφορα συστήματα που επηρεάζουν τη γεωμετρική διαμόρφωση της ατράκτου, πολύ συνοπτικά είναι τα ακόλουθα:

- Χώρος Διακυβέρνησης Αεροσκάφους. Η μεγάλη πλειοψηφία των μαχητικών αεροσκαφών, είναι μονοθέσια με εξαίρεση τα βομβαρδιστικά που είναι διθέσια.
- Σύστημα Προσγείωσης. Στα μαχητικά αεροσκάφη είναι πτυσσόμενο.
- Πτέρυγες. Οι πτέρυγες των μαχητικών αεροσκαφών συγκριτικά με αυτές των επιβατικών, έχουν μεγαλύτερη καταπόνηση και μικρότερο σχετικό πάχος αεροτομής με συνέπεια το πάχος των δοκών της πτέρυγας στη ρίζα της να είναι μεγαλύτερο.
- Προωθητικό Σύστημα. Τα μαχητικά αεροσκάφη έχουν έναν ή δύο κινητήρες συνήθως αεροστροβιλοκινητήρες (jet) ή αεροστροβιλοκινητήρες με ανεμιστήρα. Στα μονοκινητήρια αεροσκάφη, ο κινητήρας είναι εξολοκλήρου τοποθετημένος στην άτρακτο. Στα δίκινητήρια αεροσκάφη, οι δύο κινητήρες μπορεί να εγκατασταθούν πλήρως στην άτρακτο (F-15) ή εν μέρει μέσα στην άτρακτο (F-4). Όταν ο κινητήρας είναι γνωστός, είναι εφικτός ο υπολογισμός των διαστάσεων της ατράκτου.
- Αεραγωγοί. Στα μαχητικά αεροσκάφη καταλαμβάνουν τμήμα της ατράκτου, επειδή οι κινητήρες είναι εξολοκλήρου ή εν μέρει ενσωματωμένοι σε αυτήν. Ο όγκος που καταλαμβάνουν προσεγγιστικά, ισούται με τον όγκο ενός κυλίνδρου με διάμετρο τη διάμετρο του συμπιεστή και μήκος το 60% του μήκους του κινητήρα.
- Ηλεκτρονικά. Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός περιλαμβάνει: τα συστήματα επικοινωνίας, αεροναυτιλίας, το ραντάρ, το σύστημα ελέγχου πυρός, βοηθήματα διεύθυνσης, τον αυτόματο πιλότο, αντίμετρα και τα όργανα. Καθορίζεται από τις απαιτήσεις των προμηθευτών ή από την εταιρεία σχεδίασης του αεροσκάφους. Το βάρος και ο όγκος των ηλεκτρονικών, προσδιορίζεται προσεγγιστικά από πίνακες. Όταν ο όγκος και το βάρος μίας ηλεκτρονικής συσκευής δεν είναι γνωστά, τότε λαμβάνεται μία μέση πυκνότητα ηλεκτρονικών 45 [lb/ ft<sup>3</sup>].
- Καύσιμο Ατράκτου. Ένα μεγάλο ποσοστό καυσίμου τοποθετείται στην άτρακτο ένα μικρότερο στην πτέρυγα και σε συγκεκριμένες αποστολές, αναρτώνται στο αεροσκάφος εξωτερικά απορριπτόμενες δεξαμενές καυσίμου. Η τελική αποθήκευση καυσίμου εξαρτάται πολύ από τις απαιτήσεις ζυγοστάθμισης και βάρους του αεροσκάφους. Στη φάση αυτή σχεδίασης θεωρείται ότι όλη η ποσότητα καυσίμου τοποθετείται στην άτρακτο.
  - ✓ Για το καύσιμο JP - 4 ισχύει:
  - ✓ Ένα γαλόνι ζυγίζει 6.5 [lb] και ένα κυβικό πόδι [ ft<sup>3</sup> ] ζυγίζει 48.6 [lb]
  - ✓ Για το καύσιμο JP - 5 ισχύει:
  - ✓ Ένα γαλόνι ζυγίζει 7.1 [lb] και ένα κυβικό πόδι [ ft<sup>3</sup> ] ζυγίζει 53 [lb]
  - ✓ Τέλος για την αεροπορική βενζίνη (AV GAS) ισχύει:
  - ✓ Ένα γαλόνι ζυγίζει 5.75 [lb] και ένα κυβικό πόδι [ ft<sup>3</sup> ] ζυγίζει 43 [lb]

Αφού υπολογισθούν οι απαιτούμενοι όγκοι καυσίμου της ατράκτου κατανέμονται κατά μήκος της και προσδιορίζονται οι διαστάσεις των εγκάρσιων διατομών της κατά μήκος του διαμήκη άξονα. Μετά από ανακυκλώσεις, προσδιορίζεται η διάμετρος και το μήκος της «κυλινδρικής» ατράκτου και κατά συνέπεια ο λόγος λεπτότητάς της.

Σημειώνεται ότι η μεγάλη πλειοψηφία των μαχητικών αεροσκαφών έχει εγκατάσταση ανεφοδιασμού εν πτήση.



Εικόνα 9: Μεταφορικό στρατιωτικό αεροσκάφος C-130 Hercules της RAF

#### 1.4.5. ΜΑΧΗΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

Η διασφάλιση ορατότητας στον πιλότο εξετάσθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Ο αριθμός των πιλότων (μονοθέσιο / διθέσιο) και οι διαστάσεις του πιλότου καθορίζουν τις διαστάσεις του χώρου διακυβέρνησης. Ο χώρος διακυβέρνησης της μεγάλης πλειοψηφίας των σύγχρονων μαχητικών αεροσκαφών προσδιορίζεται από τις σωματικές διαστάσεις των ανδρών πιλότων με ένα μέσο ύψος από 1.660 έως 1.860 mm, το οποίο καλύπτει το 5% έως 95% των ανδρών. Μία βασική διαφοροποίηση των μαχητικών από τα πολιτικά αεροσκάφη, είναι η εγκατάσταση εκτινασσόμενων καθισμάτων.

*Αριθμός Πιλότων:* Τα περισσότερα σύγχρονα μαχητικά αεροσκάφη είναι μονοθέσια. Η σχεδίαση του χώρου διακυβέρνησης τους οφείλει να διασφαλίζει το χειρισμό όλων των συσκευών και οργάνων από ένα χειριστή. Τα βασικά πλεονεκτήματα των διθέσιων αεροσκαφών οφείλονται στην αδυναμία της τεχνολογίας να μειώσει σημαντικά τον αριθμό των ταυτόχρονα εκτελουμένων λειτουργιών και αυτών που εκτελούνται στη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Υπάρχει ένα όριο στον αριθμό των παρεχομένων πληροφοριών που μπορεί ο πιλότος να αναγνωρίζει και να εκτελεί ταυτόχρονα. Ο αριθμός αυτός, είναι ο γνωστός μαγικός αριθμός επτά και επηρεάζει σημαντικά τον καθορισμό του αριθμού των πιλότων (ένας ή δύο) και τον εξοπλισμό.

Η σχεδίαση του χώρου διακυβέρνησης στα σύγχρονα μαχητικά αεροσκάφη επηρεάζεται από τις αυξημένες απαιτήσεις σε τακτικούς ελιγμούς, π.χ. συντελεστή φόρτου και από την προηγμένη τεχνολογία των ηλεκτρονικών που αφορούν, ιδιαίτερα πληροφορίες εχθρικών απειλών, αναγνώριση φίλιων-εχθρικών αντικειμένων και ηλεκτρονικών αντιμέτρων. Κύριο χαρακτηριστικό των σύγχρονων μαχητικών αεροσκαφών είναι η εγκατάσταση ηλεκτρονικού εξοπλισμού πολλαπλών χρήσεων και πλήρους αυτοματισμού.

Οι βασικές αρχές σχεδίασης του εξοπλισμού του χώρου διακυβέρνησης είναι:

- Ελαχιστοποίηση των εργασιών - ενεργειών ρουτίνας με αυτοματοποίηση.
- Ελαχιστοποίηση των παρεχόμενων πληροφοριών στον πιλότο.
- Ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων ενεργειών από το πλήρωμα.



*Εικόνα 10: Μαχητικό αεροσκάφος F 35, μονοθέσιο, μονοκινητήριο, χαμηλής παρατηρησιμότητας μαχητικό αεροσκάφος πέμπτης γενιάς.*



*Εικόνα 11: Associated press, γαλλικό μαχητικό αεροσκάφος 4ης γενιάς. Σχεδιάστηκε και κατασκευάζεται από την Dassault Aviation*

**Συντελεστής Φόρτου:** Ο συντελεστής φόρτου καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την ευελιξία του αεροσκάφους και διαχρονικά αυξάνεται με μέγιστο όριο σήμερα τα 10 «g». Κύριος ανασταλτικός παράγοντας αύξησης του συντελεστού φόρτου του αεροσκάφους, είναι η σωματική αντοχή του ανθρώπου. Καταβάλλονται προσπάθειες αύξησης της αντοχής του ανθρώπου σε μεγάλες τιμές συντελεστή φόρτου, με κατάλληλες «αντί g φόρμες» και μεγαλύτερες κλίσεις του καθίσματος χειριστού. Ένας πιλότος σε οριζόντια στάση αντέχει εκτεθειμένος για είκοσι δευτερόλεπτα (sec) με «αντί g φόρμα» τέσσερα g περισσότερα, συγκριτικά με την κατακόρυφη στάση.

Η καταπόνηση του πιλότου σε μεγάλα «g», μειώνεται με εγκατάσταση ανακλινόμενου καθίσματος. Η κεφαλή και ο λαιμός που πιλότου οφείλουν να είναι κάθετα στις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η ορατότητα του πιλότου και η δυνατότητα να κινεί με σχετική άνεση την κεφαλή του σε αυξημένα «g». Για να επιτευχθεί ικανοποιητική αύξηση της αντοχής του πιλότου σε αυξημένα «g», απαιτείται μία

γωνία κλίσης καθίσματος μεγαλύτερη από  $60^{\circ}$ . Σε γωνίες όμως μεγαλύτερες των  $45^{\circ}$ , δημιουργούνται προβλήματα στη σχεδίαση, λειτουργία και κατασκευή του εκτινασσόμενου καθίσματος.

Ένας βασικός παράγοντας που διαφοροποιεί σημαντικά τη διαμόρφωση του χώρου διακυβέρνησης του μαχητικού αεροσκάφους από το επιβατικό, είναι η απαίτηση δυνατότητας εγκατάλειψης του αεροσκάφους εν πτήση με εκτίναξη του καθίσματος. Η ασφαλής εγκατάλειψη απαιτεί εκτίναξη-θραύση της καλύπτρας, ικανοποιητική απόσταση του χειριστηρίου από τα γόνατα του πιλότου, συγκράτηση των κνημών του, κ.τ.λ.

## **2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ**

### **2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η γεωμετρική διαμόρφωση του αεροσκάφους εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του (επιβατικό μαχητικό), την ταχύτητα πτήσης (υπό- υπερηχητικό) και την κύρια αποστολή (αμφίβιο, υδροπλάνο, κ.τ.λ.). Μπορεί να ταξινομηθεί με βάση τη θέση της πτέρυγας προς την άτρακτο (υψηλοπτέρυγο, μεσοπτέρυγο, χαμηλοπτέρυγο), τον αριθμό πτερύγων (μονοπλάνο, διπλάνο κ.τ.λ.), τη θέση του ουραίου πτερώματος προς την άτρακτο, το είδος του προωθητικού συστήματος, το είδος του συστήματος προσγείωσης, κ.ά.. Τα κύρια συκροτήματα ενός αεροσκάφους είναι: άτρακτος, πτέρυγες, ουραίο πτέρωμα, ΣΠ και προωθητικό σύστημα.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται συνοπτικά τα βασικά συκροτήματα του αεροσκάφους με σκοπό τον προσδιορισμό της σχετικής θέσης τους στο αεροσκάφος, π.χ. θέση εγκατάστασης κινητήρων, είδος και θέση συστήματος προσγείωσης, κ.τ.λ..

### **2.2. ΧΑΜΗΛΟΠΤΕΡΥΓΑ – ΜΕΣΟΠΤΕΡΥΓΑ – ΥΨΗΛΟΠΤΕΡΥΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ**

Κύρια αποστολή της πτέρυγας είναι η ανάπτυξη της απαιτούμενης άντωσης. Η κατακόρυφη θέση της προς την άτρακτο, καθορίζεται βασικά από τις επιχειρησιακές απαιτήσεις. Τα χαμηλοπτέρυγα, μεσοπτέρυγα και υψηλοπτέρυγα αεροσκάφη εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στην αεροδυναμική τους συμπεριφορά και τη δομική τους κατασκευή. Η θέση της πτέρυγας καθ' ύψος επηρεάζει τη διαμόρφωση του χώρου επιβατών και εμπορευμάτων στα επιβατικά αεροσκάφη, την ευχέρεια φόρτωσης και εκφόρτωσής τους και την εξυπηρέτησή τους στο έδαφος.

#### **2.2.1. ΥΨΗΛΟΠΤΕΡΥΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ**

Η υψηλοπτέρυγη διαμόρφωση ελαχιστοποιεί την απόσταση της ατράκτου από το έδαφος και διευκολύνει τη φόρτωση και εκφόρτωση εμπορευμάτων και επιβίβαση επιβατών χωρίς την χρήση επιπρόσθετου επίγειου εξοπλισμού. Το δάπεδο των αεροσκαφών αυτών είναι 4 - 5 πόδια πάνω από το έδαφος, δηλαδή όσο είναι το ύψος της επιφάνειας των εν χρήσει οχημάτων μεταφοράς εμπορευμάτων στα αεροδρόμια.

Η απόσταση των προωθητικών συστημάτων από το έδαφος είναι αρκετά μεγάλη και συνεπώς το ύψος των σκελών και το βάρος του συστήματος προσγείωσης είναι μειωμένο. Η απόσταση των ακροπτερυγίων από το έδαφος σε πτέρυγες με αυξημένη γωνία βέλους είναι αρκετά μεγάλη και αποτρέπει την επαφή τους με το έδαφος σε προσγείωση με κλίση και μικρό ύψος σκελών. Στα αεροσκάφη μικρών ταχυτήτων χρησιμοποιούνται εξωτερικά στυλίδια στήριξης των πτερύγων με σκοπό τη μείωση του βάρους τους. Όταν η πτέρυγα τοποθετείται πάνω από την άτρακτο απλουστεύεται η κατασκευή στήριξης και μειώνεται το βάρος της ατράκτου, συγκριτικά με την πτέρυγα που διέρχεται μέσα από την άτρακτο, αυξάνεται όμως η «μετωπική» επιφάνεια και κατά συνέπεια η οπισθέλκουσα.

Η υψηλοπτέρυγη διαμόρφωση εμφανίζει αυξημένη ευστάθεια στην εγκάρσια κίνηση και κίνηση διατοιχισμού. Η θετική δίδρομος γωνία στα αεροσκάφη αυτά αυξάνει την εγκάρσια ευστάθεια και ευστάθεια διατοιχισμού. Όταν το αεροσκάφος εκτελεί περιστροφή, το διάνυσμα

της άντωσης παρεκκλίνει από την κατακόρυφο και το αεροσκάφος πλαγιολισθώνει στη διεύθυνση της χαμηλότερης πτέρυγας. Στην πτέρυγα με διέδρο γωνία, η επιπρόσθετη συνιστώσα της ταχύτητας ροής λόγω πλαγιολίσθησης αυξάνει την άντωση της χαμηλότερης πτέρυγας, με συνέπεια την τάση επαναφοράς του αεροσκάφους στην αρχική οριζόντια θέση ισορροπίας, δηλαδή αυξάνει την εγκάρσια ευστάθεια. Στα υψηλοπτέρυγα αεροσκάφη χωρίς διέδρο γωνία, η επιπρόσθετη συνιστώσα της ταχύτητας ροής που οφείλεται στην πλαγιολίσθηση δημιουργεί, όταν το αεροσκάφος εκτελεί περιστροφή, μία περιοχή αυξημένης πίεσης μεταξύ της ατράκτου και της κοιλιάς της χαμηλότερης πτέρυγας στην περιοχή της ρίζας της. Η αυξημένη αυτή πίεση στην κάτω επιφάνεια της χαμηλότερης πτέρυγας, τείνει να επαναφέρει το αεροσκάφος στην αρχική θέση ισορροπίας. Στην πραγματικότητα, η υψηλοπτέρυγη διαμόρφωση μπορεί να είναι τόσο ευσταθής, ώστε τελικά να καταστεί μειονέκτημα με συνέπεια την κατασκευή υψηλοπτέρυγων αεροσκαφών με αρνητική διέδρο γωνία για μείωση της εγκάρσιας ευστάθειας.

Η υψηλοπτέρυγη διαμόρφωση εμφανίζει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα στα αεροσκάφη βραχείας απογείωσης - προσγείωσης. Η θέση των πτερύγων επιτρέπει την εγκατάσταση πτερυγίων καμπυλότητας με μεγάλο εκπέτασμα, με συνέπεια την αύξηση του συντελεστού άντωσης. Το αυξημένο ύψος των πτερύγων από το έδαφος μειώνει την αύξηση της άντωσης λόγω της επίδραση του εδάφους καθώς το αεροσκάφος προσεγγίζει το έδαφος.

Τα κύρια μειονεκτήματα των υψηλοπτέρυγων αεροσκαφών είναι ότι ενισχύεται η άτρακτος και αυξάνεται το βάρος της διότι μειώνεται το βάρος του συστήματος προσγείωσης. Αυξάνεται η οπισθέλκουσα της ατράκτου διότι συχνά χρησιμοποιείται εξωτερικό περίβλημα στην άτρακτο για την είσοδο των σκελών σε θέση ανάσυρσης. Το κάτω τμήμα της ατράκτου είναι αρκετά επιπεδωμένο για να διασφαλισθεί το ύψος του δαπέδου από το έδαφος. Η κατασκευή αυτή έχει αυξημένο βάρος συγκριτικά με τη βέλτιστη κυκλική σχεδίαση. Όταν το άνω τμήμα της ατράκτου είναι κυκλικό, απαιτείται η εγκατάσταση αεροδυναμικών καλυμμάτων. Στα ελαφρά α μειώνεται η ορατότητα του πιλότου. Σε ορισμένα μικρά αεροσκάφη τοποθετείται διαφανής ημιοροφή. Στα μαχητικά αεροσκάφη ο περιορισμός της ορατότητας προς τα πίσω είναι ένα πάρα πολύ σημαντικό μειονέκτημα διότι η ορατότητα είναι το κλειδί της επιβίωσης στην αερομαχία.

Τέλος, η αυξημένη απόσταση του προωθητικού συστήματος από το έδαφος διασφαλίζει προστασία από «ιπτάμενα» ξένα αντικείμενα, ιδιαίτερα στα αεροσκάφη βραχείας απογείωσης - προσγείωσης, τα οποία προσγειώνονται και σε κακούς διαδρόμους.

## **2.2.2. ΜΕΣΟΠΤΕΡΥΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ**

Η διαμόρφωση αυτή διασφαλίζει σημαντικά μειωμένη οπισθέλκουσα σε υψηλές υποηχητικές ταχύτητες, συγκριτικά με τις άλλες δύο διαμορφώσεις στις οποίες τοποθετούνται αεροδυναμικά καλύμματα για μείωση της οπισθέλκουσας αλληλεπίδρασης. Η συνδεσμολογία πτέρυγας και κυκλικής συνήθως ατράκτου, σχηματίζει περίπου ορθή γωνία και ελαχιστοποιεί την οπισθέλκουσα αλληλοεπίδρασης σε όλες τις γωνίες προσβολής. Για τους ανωτέρω λόγους, η μεγάλη πλειοψηφία των εκπαιδευτικών και μαχητικών αεροσκαφών έχει μεσοπτέρυγη διαμόρφωση.

Η μεταφορά στην άτρακτο των αναπτυσσομένων στη ρίζα της πτέρυγας δυνάμεων και καμπτικών ροπών, είναι ιδιαίτερα δυσχερής. Τα καμπτικά φορτία της πτερύγας μεταφέρονται σε πολυάριθμα διαφράγματα και αυξάνουν το βάρος της ατράκτου. Στα υψηλοπτέρυγα και χαμηλοπτέρυγα αεροσκάφη, η πτέρυγα είναι «μονοπτέρυγα», «διέρχεται» από το άνω ή κάτω τμήμα της ατράκτου και απλοποιείται η μεταφορά των φορτίων στην άτρακτο. Η τοποθέτηση «μονοκόμματος» πτέρυγας στο μέσο ύψος της ατράκτου, είναι ανέφικτη στη μεγάλη πλειοψηφία των αεροσκαφών, ιδιαίτερα επιβατικών και μεταγωγικών, διότι θα διαπερνούσε τον χώρο των επιβατών ή εμπορευμάτων.. Στα περισσότερα μεγάλα επιβατικά αεροσκάφη η διάμετρος της ατράκτου είναι της τάξης των 20 [ft] και η «μονοκόμματος» πτέρυγα διέρχεται κάτω από το δάπεδο του χώρου επιβατών.

Η μεσοπτέρυγη διαμόρφωση εμφανίζει τα πλεονεκτήματα της υψηλοπτέρυγης διαμόρφωσης που προκύπτουν από το αυξημένο ύψος των πτερύγων από το έδαφος. Επίσης, εμφανίζει σημαντικό πλεονέκτημα σε ακροβατικούς ελιγμούς. Η διέδρος γωνία των χαμηλοπτέρυγων αεροσκαφών σε ανάστροφη πτήση μειώνει την ικανότητα ακροβατικών ελιγμών. Η διέδρος γωνία των χαμηλοπτέρυγων και υψηλοπτέρυγων αεροσκαφών, μειώνει την ικανότητα ελιγμών με μεγάλη πλαγιολίσθηση. Πολλά μαχητικά αεροσκάφη είναι μεσοπτέρυγα για να αυξήσουν το φορτίο ανάρτησης στις πτέρυγες.

### 2.2.3. ΧΑΜΗΛΟΠΤΕΡΥΓΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

Η χαμηλοπτέρυγη διαμόρφωση εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα. Το βασικό πλεονέκτημά της είναι η απλοποίηση του συστήματος προσγείωσης. Η βάση του πτυσσόμενου συστήματος προσγείωσης μπορεί να τοποθετηθεί απευθείας στην πτέρυγα, διότι η δομή της διασφαλίζει την απαραίτητη αντοχή απορρόφησης των φορτίων που αναπτύσσονται στα σκέλη. Τα σκέλη αποθηκεύονται στην πτέρυγα ή σε αεροδυναμικά καλύμματα της πτέρυγας ατράκτου ή σε ατρακτίδια. Η απαίτηση ελάχιστης απόστασης ασφαλείας του προωθητικού συστήματος και του έλικα από το έδαφος αυξάνει την απόσταση της ατράκτου από το έδαφος, η οποία επιτυγχάνεται με αύξηση του ύψους και συνεπώς του βάρους των σκελών. Η αυξημένη απόσταση της ατράκτου από το έδαφος, επιτρέπει μείωση της καμπύλης της οπίσθιας κάτω επιφανείας της ατράκτου (απαραίτητη για την αποφυγή επαφής της ατράκτου με το διάδρομο σε μεγάλες γωνίες προσβολής στην απογείωση με συνέπεια τη μείωση της οπισθέλκουσάς της.

Η χαμηλοπτέρυγη διαμόρφωση επιτρέπει τη φόρτο / εκφόρτωση μόνο των ελαφρών φορτηγών αεροσκαφών χωρίς επίγειο εξοπλισμό. Επιτρέπει τη χρήση ενός «μονοκόμματος» πτερυγίου καμπυλότητας στην περιοχή της ατράκτου. Απαιτεί θετική διέδρο γωνία για επίτευξη εγκάρσιας ευστάθειας και τοποθέτηση αεροδυναμικών καλυμμάτων για ελαχιστοποίηση της αλληλοεπίδρασης στην περιοχή σύνδεσης πτέρυγας ατράκτου, στην οποία τοποθετείται αεροδυναμικά διαμορφωμένο έλασμα για αποφυγή αποκόλλησης της ροής. Αποτρέπει την πρόσκρουση των ακροπτερυγίων στο διάδρομο σε περίπτωση «κακής» προσγείωσης. Η αύξηση της διέδρου γωνίας αυξάνει την επιφάνεια του καθέτου σταθερού. Το προωθητικό σύστημα και οι έλικες εγκαθίστανται πάνω από το επίπεδο της ράχης της πτέρυγας. Στη θέση αυτή των ελίκων αυξάνεται η αλληλοεπίδραση του έλικα και της πτέρυγας και κατά συνέπεια η κατανάλωση καυσίμου κατά την πλεύση. Γενικά τα κύρια πλεονεκτήματα της χαμηλοπτέρυγης διαμόρφωσης αφορούν τη δομική σχεδίαση και τη σχεδίαση του συστήματος προσγείωσης.

### 2.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΣΗΣ ΠΤΕΡΥΓΑΣ ΣΤΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ

#### ➤ *Εσωτερική Διαρρύθμιση Αεροσκάφους:*

Στα υψηλοπτέρυγα αεροσκάφη το δάπεδο της ατράκτου είναι συνήθως επιπεδωμένη, για να μειωθεί το ύψος από το διάδρομο στα 4 ft – 4.5 ft ( 1.2 - 1.4 m). Έτσι μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος αποθήκευσης εμπορευμάτων κάτω από το δάπεδο του χώρου επιβατών συγκριτικά με την κυκλική άτρακτο. Συνεπώς, αυξάνεται το μήκος της ατράκτου και ένα ποσοστό εξοπλισμού μεταφέρεται πάνω από το πάτωμα. Τα ανωτέρω έχουν ως άμεση συνέπεια την αύξηση της περιοχής διακύμανσης του κέντρου βάρους (αεροσκάφος χωρίς και με πλήρες εμπόρευμα). Σε ορισμένα ελαφρά υψηλοπτέρυγα αεροσκάφη ο διάδρομος είναι πιο κάτω από το δάπεδο καθισμάτων για να διασφαλίσει το απαιτούμενο ύψος από την οροφή. Στα χαμηλοπτέρυγα αεροσκάφη, τα σκέλη «αποθηκεύονται» στα ατρακτίδια των κινητήρων ή στην άτρακτο.

#### ➤ *Ασφάλεια:*

Στην χαμηλοπτέρυγη διαμόρφωση, ο κίνδυνος ανάφλεξης είναι μεγαλύτερος από τις άλλες διαμορφώσεις. Η πιθανότητα βλάβης των δεξαμενών καυσίμου των πτερύγων (ιδιαίτερα των ενσωματωμένων δεξαμενών) είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν των άλλων διαμορφώσεων. Σε βαριά προσθαλάσωση η άτρακτος των υψηλοπτέρυγων αεροσκαφών βυθίζεται και προβλέπεται έξοδος κίνδυνου από την οροφή.

➤ *Επιδόσεις και Χαρακτηριστικά Πτήσης:*

Η βασική διαφορά των υψηλοπτέρυγων και χαμηλοπτέρυγων αεροσκαφών, είναι η επίδραση εδάφους στη φάση απογείωσης και προσγείωσης, η οποία μειώνεται με αυξανόμενο ύψος πτέρυγας - εδάφους. Η επίδραση εδάφους μειώνει την επαγωγική οπισθέλκουσα και συνεπώς τη διαδρομή απογείωσης και αυξάνει τη διαδρομή προσγείωσης. Η χαμηλοπτέρυγη διαμόρφωση μειώνει το κατώρευμα στο οριζόντιο ουραίο πτέρωμα και δημιουργεί ροπή πρόνευσης που τείνει να κατεβάσει κεφαλή του αεροσκάφους. Συνεπώς απαιτείται μεγαλύτερη γωνία κλίσης των πηδαλίων ανόδου καθόδου κα ισχυρότερα πηδάλια ανόδου - καθόδου.

Στη φάση προσέγγισης προσγείωσης, μπορεί να απαιτηθεί ελάχιστη ροπή από τα πηδάλια ανόδου - καθόδου για τελική οριζοντίωση του αεροσκάφους, δηλαδή το αεροσκάφος να προσγειωθεί μόνο του. Η περίπτωση αυτή είναι εφικτή, όταν η πτέρυγα τοποθετηθεί τόσο χαμηλά, ώστε η επίδραση του εδάφους να αυξάνει σημαντικά την άντωση, ενώ ταυτόχρονα η ροπή πρόνευσης που τείνει να κατεβάσει κεφαλή είναι ίση με τη ροπή που δημιουργείται από την πτέρυγα και τείνει να ανεβάσει κεφαλή.

Γενικά, η υψηλοπτέρυγη διαμόρφωση διασφαλίζει μεγαλύτερη άντωση και μικρότερη οπισθέλκουσα από την χαμηλοπτέρυγη, πλην όμως με τοποθέτηση κατάλληλα διαμορφωμένων ελασμάτων και αεροδυναμικών καλυμμάτων οι διαφορές τους ελαχιστοποιούνται. Τα υψηλοπτέρυγα αεροσκάφη κατά κανόνα έχουν 20% μεγαλύτερο οριζόντιο ουραίο πτέρωμα από τα χαμηλοπτέρυγα. Τέλος για ακροβατικούς ελιγμούς τα χαμηλοπτέρυγα αεροσκάφη εμφανίζουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά.

➤ *Δομική Θεώρηση:*

Γενικά, η χαμηλοπτέρυγη διαμόρφωση εμφανίζει για όλες σχεδόν τις κατηγορίες αεροσκαφών, πλεονεκτήματα σχετικά με το κενό βάρος, αλλά και την απλότητα της σχεδίασης και κατασκευής.

## **2.4. ΘΕΣΗ ΠΡΩΘΗΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Το προωθητικό σύστημα αποτελεί αντικείμενο ξεχωριστής επιστήμης. Αφού πρώτα καθορισθεί το είδος του προωθητικού συστήματος (εμβολοφόρος, ελικοστροβιλοκινητήρας, αμιγής στροβιλοκινητήρας, στροβιλοκινητήρας διπλής ροής, κ.τ.λ.), εξετάζεται λεπτομερώς η εγκατάστασή του στο αεροσκάφος. Η θέση εγκατάστασης του προωθητικού συστήματος στην άτρακτο ή την πτέρυγα επηρεάζει τα ακόλουθα:

- Την αεροδυναμική και τις επιδόσεις του αεροσκάφους.
- Το ύψος των σκελών (απόσταση ασφαλείας του έλικα από το έδαφος)
- Τη θέση του κέντρου βάρους του αεροσκάφους και την ευστάθειά του.
- Τις διαστάσεις του ουραίου πτερώματος λόγω επίδρασης στη θέση του κέντρου βάρους.
- Το επίπεδο θορύβου στον χώρο των επιβατών και την ορατότητα των χειριστών.
- Την είσοδο ξένων σωματιδίων (F.O.D.) στον κινητήρα.
- Τη δομική ενίσχυση της περιοχής εγκατάστασης του κινητήρα (π.χ. πτέρυγα).
- Την ευχέρεια φόρτωσης και εκφόρτωσης επιβατών και εμπορευμάτων.

Η θέση εγκατάστασης του προωθητικού συστήματος εξαρτάται από το είδος του και για συγκεκριμένο είδος προωθητικού συστήματος, έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, όπως αναλύεται στις παραγράφους που ακολουθούν.



### 2.4.1. ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

Στα ελικοφόρα αεροσκάφη βασική απαίτηση είναι η τήρηση μίας απόστασης ασφαλείας του έλικα από το έδαφος. Ο εμβολοφόρος κινητήρας μπορεί να είναι έλξης ή ώθησης. Η μεγάλη πλειοψηφία των αεροσκαφών φέρει κινητήρες έλξης. Στον κινητήρα έλξης ο έλικας εγκαθίσταται μπροστά από το σημείο γης του, ενώ στον κινητήρα ώθησης πίσω. Οι εμβολοφόροι κινητήρες τοποθετούνται στο αεροσκάφος στις ακόλουθες διαμορφώσεις:

- a) Ένας μεγάλος κινητήρας στο ριναίο
- b) Δύο κινητήρες στις πτέρυγες

Εμβολοφόρα αεροσκάφη με τέσσερις κινητήρες, δεν κατασκευάζονται πλέον, διότι μετά τους 500 Hρ οι κινητήρες turboprop στην κατηγορία αυτή ισχύος είναι αποτελεσματικότεροι των εμβολοφόρων. Στην συνέχεια ακολουθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των κινητήρων έλξης και έχουν ως ακολούθως:

- Πλεονεκτήματα Διαμόρφωσης Έλξης
  - ✓ Το κέντρο βάρους του αεροσκάφους μετακινείται προς τα εμπρός, λόγω του βάρους του κινητήρα, με συνέπεια τη μείωση των διαστάσεων του ουραίου πτερώματος (ευστάθεια).
  - ✓ Ο έλικας λειτουργεί σε ελεύθερη ροή χωρίς διαταράξεις.
  - ✓ Η ροή του αέρα για την ψύξη του κινητήρα είναι αποτελεσματικότερη.
- Μειονεκτήματα Διαμόρφωσης Έλξης
  - ✓ Το ελικόρευμα διαταράσσει τη ροή στην πτέρυγα και την άτρακτο.
  - ✓ Η αυξημένη ταχύτητα και τύρβωση της ροής στην άτρακτο, λόγω του ελικορέυματος αυξάνει την τοπική επιφανειακή τριβή της ατράκτου.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των κινητήρων ώθησης και έχουν ως ακολούθως:

- Πλεονεκτήματα Διαμόρφωσης Ώθησης
  - ✓ Η ροή στην άτρακτο και στις πτέρυγες δεν επηρεάζεται από τον κινητήρα.
  - ✓ Ο οπίσθιος έλικας βελτιώνει τη ροή στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου και μειώνει την τάση αποκόλλησης της και συνεπώς μειώνει το μήκος της ατράκτου.
  - ✓ Μειώνεται ο θόρυβος του κινητήρα στο χώρο των επιβατών.
  - ✓ Διασφαλίζεται βελτιωμένη ορατότητα στον πιλότο.
  - ✓ Μειώνεται η οπισθέλκουσα τριβής του αεροσκάφους.
  - ✓ Στην περίπτωση εγκατάστασης πάνω από την άτρακτο, μειώνεται το εμβαδόν της περιρρεόμενης επιφάνειας.
- Μειονεκτήματα Διαμόρφωσης Ώθησης
  - ✓ Το κέντρο βάρους του αεροσκάφους μετακινείται προς τα πίσω, λόγω του βάρους του κινητήρα, με συνέπεια τη μείωση της διαμήκους ευστάθειας του αεροσκάφους.
  - ✓ Αυξημένη πιθανότητα βλάβης του έλικα στη φάση προσγείωσης από ιπτάμενα σωματίδια - αντικείμενα.
  - ✓ Αυξημένα προβλήματα ψύξης του κινητήρα.
  - ✓ Αυξάνεται το ύψος των σκελών προσγείωσης.

Οι κινητήρες τοποθετούνται στην πτέρυγα μόνο σε πολυκινητήρια αεροσκάφη. Η εγκατάσταση εμβολοφόρου κινητήρα μπροστά από το χείλος προσβολής της πτέρυγας, εμφανίζει τα περισσότερα αεροδυναμικά και δομικά πλεονεκτήματα. Το ελικόρευμα επηρεάζει θετικά τα χαρακτηριστικά απώλειας στήριξης του αεροσκάφους, ιδιαίτερα όταν είναι κατεβασμένα τα πτερώγια καμπυλότητας. Στα αεροσκάφη βραχείας απογείωσης προσγείωσης, επιδιώκεται η μέγιστη κατά μήκος του εκπετάσματος της πτέρυγας

εκμετάλλευση των ευνοϊκών επιδράσεων του ελικορεύματος. Η εγκατάσταση των εμβολοφόρων κινητήρων σε ατρακτίδιο στο χείλος προσβολής κάτω από την πτέρυγα είναι ευκολότερη στα υψηλοπτέρυγα, λόγω της απόστασης του έλικα από το διάδρομο. Η εγκατάσταση κινητήρων στην πτέρυγα μειώνει το βάρος της (μειωμένες καμπτικές ροπές στην πτήση) και την οπισθέλκουσα της ατράκτου. Σε περίπτωση κράτησης του κινητήρα δημιουργούνται προβλήματα ευστάθειας, λόγω ροπών περιστροφής και εκτροπής, με συνέπεια την αύξηση των διαστάσεων του καθέτου ουραίου πτερύματος,

Γενικά, οι ελικοστροβιλοκινητήρες εγκαθίστανται σε ατρακτίδια χαμηλότερα από την πτέρυγα, διότι ελαχιστοποιείται το βάρος της εγκατάστασης και μειώνεται το μήκος του αγωγού εξόδου καυσαερίων. Η εγκατάσταση κινητήρων στην πτέρυγα στην χαμηλοπτέρυγη διαμόρφωση αυξάνει το μήκος των σκελών και την αλληλεπίδραση πτέρυγας - έλικας ο οποίος ορισμένες φορές είναι πάνω από το επίπεδο της πτέρυγας.

Η εγκατάσταση κινητήρων σε ατρακτίδια πάνω από την άτρακτο και στο ουραίο πτέρωμα, συνηθίζεται σε αμφίβια αεροσκάφη και υδροπλάνα λόγω της απαίτησης αυξημένης απόστασης του έλικα από το νερό κατά την προσθαλάσωση και αποθαλάσωση.

#### 2.4.2. ΥΠΟΗΧΗΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

Η εγκατάσταση αεριοστροβιλοκινητήρων σε μαχητικά αεροσκάφη άρχισε μετά το 1948. Τα πρώτα μαχητικά στροβιλοφόρα αεροσκάφη ήταν μονοκινητήρια με κινητήρα στην άτρακτο. Στα πρώτα μεταγωγικά αεροσκάφη οι στροβιλοκινητήρες εγκαταστάθηκαν εξολοκλήρου στη ρίζα της πτέρυγας. Στη μεγάλη πλειοψηφία των σύγχρονων μαχητικών αεροσκαφών οι στροβιλοκινητήρες τοποθετούνται στην άτρακτο. Οι αμιγείς στροβιλοκινητήρες και στροβιλοκινητήρες διπλής ροής τοποθετούνται σε ατρακτίδια κάτω από την πτέρυγα. Η διαμόρφωση αυτή περιορίζεται από την ελάχιστη απόσταση εδάφους στη προσγείωση με μέγιστη κλίση  $5^{\circ}$  και την αυξημένη πιθανότητα εισόδου ξένων αντικειμένων στον αεραγωγό. Οι κινητήρες αυτοί τοποθετούνται και στο ουραίο πτέρωμα. Η εγκατάσταση του στροβιλοκινητήρα μερικώς ή και εξολοκλήρου στην άτρακτο μειώνει την οπισθέλκουσα αλλά καθιστά πολύπλοκη την κατασκευή της δομής και δύσκολη τη διασφάλιση ποιότητας ροής στον αεραγωγό.

Η τοποθέτηση κινητήρων σε ατρακτίδια αναρτημένα σε εξωτερικούς φορείς, εμφανίζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα.

- Διασφαλίζει αυξημένη ασφάλεια σε περίπτωση πυρκαγιάς.
- Διασφαλίζει βέλτιστες συνθήκες ροής στους αεραγωγούς εισόδου και εξόδου.
- Το βάρος του κινητήρα και του εξωτερικού φορέα, μειώνει τις καμπτικές ροπές της πτέρυγας και συνεπώς το βάρος της και σε περίπτωση ανάρτησης μπροστά από τον ελαστικό άξονα της πτέρυγας, βελτιώνει τα χαρακτηριστικά πτερυγισμού της,
- Επειδή οι τάσεις στο ατρακτίδιο είναι μικρές, επιτυγχάνεται βέλτιστη προσιτότητα στον κινητήρα (θυρίδες προσιτότητας) με πολύ μικρή αύξηση του βάρους του.
- Οι εξωτερικοί φορείς στις μεγάλες γωνίες προσβολής των οπισθοκλινών πτερυγών, λειτουργούν ως «φράκτες» και αυξάνουν τη διαμήκη ευστάθεια του αεροσκάφους.

Η βέλτιστη προσιτότητα στους κινητήρες από το διάδρομο διασφαλίζεται στην περίπτωση ανάρτησής τους κάτω από την πτέρυγα.

*Επίδραση στο κενό βάρος του αεροσκάφους:* Η θέση εγκατάστασης των κινητήρων, επηρεάζει το βάρος της δομής του αεροσκάφους. Συνοπτικά ισχύουν τα ακόλουθα:

- Οι κινητήρες στην πτέρυγα την αποφορτίζουν, διότι μειώνουν τις καμπτικές ροπές, με συνέπεια τη μείωση του βάρους της εσωτερικής δομής της πτέρυγας

- Οι κινητήρες στο ουραίο πτέρωμα αυξάνουν το βάρος του ουραίου πτερώματος και το μήκος της ατράκτου.
- Οι κινητήρες στην πτέρυγα σε μεγάλη απόσταση από τη ρίζα της, αυξάνουν τα φορτία κρούσης στην προσγείωση και τις διαστάσεις του καθέτου ουραίου πτερώματος.

*Ευελιξία φόρτωσης:* Εξαρτάται κυρίως από την σχετική θέση τοποθέτησης των φορτίων προς το κέντρο βάρους του αεροσκάφους. Γενικά η μέγιστη μετατόπιση του Κ.Β. του αεροσκάφους, λαμβάνει χώρα στα αεροσκάφη με κινητήρες στο ουραίο πτέρωμα. Τα αεροσκάφη με κινητήρες στις πτέρυγες, διαθέτουν τον πλέον εύχρηστο χώρο τοποθέτησης των φορτίων κάτω από το δάπεδο του χώρου των επιβατών και πίσω από τις πτέρυγες.

*Επιδόσεις:* Η εγκατάσταση κινητήρων στις πτέρυγες αυξάνει την επαγωγική οπισθέλκουσα και μειώνει ελαφρά τον κρίσιμο αριθμό Mach. Η οπισθέλκουσα που δημιουργείται από την ασυμμετρία λόγω κράτησης ενός κινητήρα, αυξάνεται με αυξανόμενη απόσταση του κινητήρα από το διαμήκη άξονα του αεροσκάφους, με συνέπεια να είναι μεγαλύτερη στα αεροσκάφη με κινητήρες εγκατεστημένους στις πτέρυγες.

*Χαρακτηριστικά πτήσης:* Στα αεροσκάφη με κινητήρες στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου, το ουραίο πτέρωμα είναι σχήματος T, δηλαδή το κάθετο ουραίο πτέρωμα είναι υπερωσμένο. Στα πολυκινητήρια αεροσκάφη με κινητήρες εγκατεστημένους στην πτέρυγα, η ροπή εκτροπής που δημιουργείται κατά την κράτηση ενός κινητήρα είναι μεγαλύτερη, με συνέπεια την αύξηση των διαστάσεων του καθέτου ουραίου πτερώματος.

*Εγκατάσταση κεντρικού κινητήρα:* Στα υποηχητικά επιβατικά και φορτηγά αεροσκάφη με 3 κινητήρες, ο ένας κινητήρας εγκαθίσταται συνήθως στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου. Όταν ο κινητήρας εγκαθίσταται εξολοκλήρου στην άτρακτο, αυξάνεται το μήκος του αεραγωγού εισόδου, ο οποίος καθίσταται καμπύλος με συνέπεια τη μείωση της αποτελεσματικότητάς του και την αύξηση του βάρους του. Όταν ο κινητήρας εγκαθίσταται σε ατρακτίδιο πάνω από την άτρακτο, απαιτείται διαμόρφωση του καθέτου ουραίου πτερώματος. Γενικά, η εγκατάσταση κεντρικού κινητήρα σε τρικινητήρια αεροσκάφη δημιουργεί πολλά επιπρόσθετα προβλήματα.

### **2.4.3. ΜΟΝΟΚΙΝΗΤΗΡΙΑ ΥΠΟΗΧΗΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΚΙΝΗΤΗΡΑ**

Ο κινητήρας στα αεροσκάφη αυτά είναι εγκατεστημένος εξολοκλήρου στην άτρακτο. Ο αεραγωγός εισόδου οφείλει να παρέχει σταθερή και καθαρή ροή αέρος, με ελάχιστη τύρβωση σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα και φάσεις πτήσης. Αυτό είναι εφικτό μόνο σε αεραγωγούς χωρίς καμπυλότητα, η κατασκευή των οποίων είναι δύσκολη και έχουν είτε πολύ αυξημένη διάμετρο ατράκτου στην είσοδό τους ή αυξημένο μήκος και συνεπώς αυξημένο βάρος και απώλεια ολικής πίεσης. Σε μεγάλες γωνίες προσβολής, η ροή καθίσταται ασταθής και αποκολλάται. Στα αεροσκάφη αυτά επιδιώκεται η κατασκευή «μονοκόμματης» πτέρυγας, δηλαδή μη διακοπτόμενης και διερχόμενης μέσα από την άτρακτο. Η σχεδίαση αεραγωγών εισόδου και εξόδου καυσαερίων αποτελεί ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο αεροδυναμικό πρόβλημα και εξετάζεται στο οικείο κεφάλαιο.

### **2.4.4. ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΑ ΜΑΧΗΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ**

Από τα δύο επιβατικά, υπερηχητικά αεροσκάφη το μεν Concorde έχει τέσσερις κινητήρες τοποθετημένους ανά δύο σε κάθε πτέρυγα το δε Tupolew Tu-144 έχει τέσσερις κινητήρες τοποθετημένους στην άτρακτο και στη ρίζα της πτέρυγας. Στα υπερηχητικά μαχητικά αεροσκάφη ο /οι κινητήρες τοποθετούνται είτε εξολοκλήρου στην άτρακτο ή συνήθως στην άτρακτο και την προέκτασή της στην πτέρυγα. Τα περισσότερα αεροσκάφη

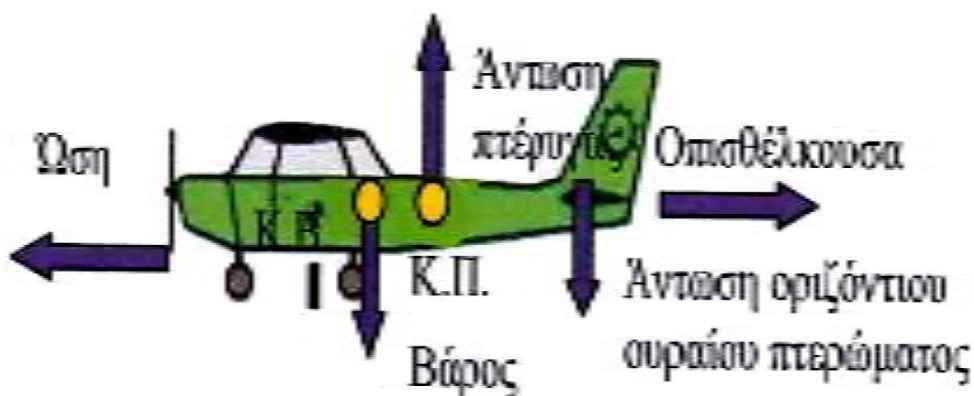
φέρουν δύο αεραγωγούς εισόδου πλευρικά της ατράκτου π.χ. F-18 και ορισμένα φέρουν έναν αεραγωγό κάτω από την άτρακτο, π.χ. F-16.

Γενικά, οι αεραγωγοί στο ρύγχος του αεροσκάφους με μικρό μήκος έχουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Οι αεραγωγοί κάτω από την άτρακτο ή τις πτέρυγες, έχουν αυξημένη αποτελεσματικότητα συγκριτικά με αυτούς πάνω από την πτέρυγα. Οι αεραγωγοί κυκλικής διατομής εμφανίζουν το πλεονέκτημα της απλούστερης κατασκευής και το μειονέκτημα της πολύπλοκης εγκατάστασης.

## 2.5. ΟΥΡΑΙΟ ΠΤΕΡΩΜΑ

Η βασική διαφορά του ουραίου πτερώματος από την πτέρυγα είναι ότι στην κλασική πτήση η αναπτυσσόμενη άντωση σε αυτό αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό μόνο του δυναμικού της. Παρέχει στο αεροσκάφος αντιστάθμιση, έλεγχο και ευστάθεια. Το κλασικό οριζόντιο ουραίο πτέρωμα αντισταθμίζει τις ροπές πρόνευσης της πτέρυγας στις διάφορες φάσεις πτήσης με αρνητικές γωνίες προσβολής της τάξης των  $3^{\circ}$ . Η άντωση του οριζόντιου ουραίου πτερώματος σε ένα κλασικό αεροσκάφος σε Ε.Ο.Π. είναι αρνητική (Σχήμα 3). Αυτό συμβαίνει διότι το σημείο εφαρμογής της άντωσης της πτέρυγας (κέντρο πίεσης, Κ.Π.) κείται πίσω από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους και δημιουργεί προς αυτό μία ροή πρόνευσης που τείνει να κατεβάσει το ρύγχος του αεροσκάφους. Η ροπή αυτή αντισταθμίζεται από τη ροπή της «αρνητική» άντωσης του οριζόντιου ουραίου πτερώματος.

Επειδή τα αεροσκάφη είναι συμμετρικά προς το κατακόρυφο επίπεδο, δεν απαιτείται αντιστάθμιση από το κάθετο ουραίο πτέρωμα σε συνθήκες συνθήκες πτήσης. Το κάθετο ουραίο πτέρωμα αντισταθμίζει τις ασύμμετρες ροπές που δημιουργούνται σε περίπτωση κράτησης ενός κινητήρα σε πολυκινητήριο αεροσκάφος. Ο έλικας προσδίδει στον αέρα που διέρχεται μέσα από αυτόν μία στροφορμή. Ο αέρας αυτός περιρρέει το κάθετο ουραίο πτέρωμα και δημιουργεί ροπή εκτροπής στο αεροσκάφος. Συνεπώς, κάθε μονοκινητήριο αεροσκάφος υφίσταται μία ροπή εκτροπής από το ουραίο πτέρωμα. Μία βασική λειτουργία του ουραίου πτερώματος είναι ο έλεγχος του αεροσκάφους και μάλιστα στις κρίσιμες συνθήκες πτήσης, όπως πτήση με χαμηλή ταχύτητα και με πτερύγια καμπυλότητας κάτω, ελιγμοί στη διηχητική περιοχή, κ.ά.. Τυπικές κρίσιμες συνθήκες για το κάθετο ουραίο πτέρωμα είναι η πτήση στην περίπτωση κράτησης ενός κινητήρα σε χαμηλή πτήση, πτήση με μέγιστο βαθμό περιστροφής και έξοδος από περιδίνηση. Η αποτελεσματικότητα ελέγχου εξαρτάται από το μέγεθος και τη μέθοδο κίνησης μίας επιφανείας για παράδειγμα κίνηση ολόκληρης της επιφάνειας. Ορισμένα επιβατικά αεροσκάφη φέρουν διπλά πηδάλια διεύθυνσης για να διασφαλίσουν τον έλεγχο σε περίπτωση κράτησης ενός κινητήρα. Ο έλεγχος αυτός επιτυγχάνεται με ένα μεγαλύτερο πηδάλιο. Ορισμένα μαχητικά αεροσκάφη (YF-12, F-107) έχουν «ολοκίνητο» κάθετο ουραίο πτέρωμα.



Σχήμα 3: Ισορροπία δυνάμεων και ροπών σε οριζόντια θέση.

### 2.5.1. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΟΥΡΑΙΟΥ ΠΤΕΡΩΜΑΤΟΣ

Διαχρονικά έχουν σχεδιασθεί αεροσκάφη με μία πολύ μεγάλη ποικιλία διαμορφώσεων του ουραίου πτερώματος. Το κλασσικό ουραίο πτέρωμα χρησιμοποιείται στα περισσότερα (άνω του 70%) αεροσκάφη και διασφαλίζει ευστάθεια και έλεγχο με ελάχιστο βάρος κατασκευής. Το T-ουραίο χρησιμοποιείται σε αρκετά αεροσκάφη. Στα επιβατικά αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρες επιτρέπει την εγκατάσταση των κινητήρων στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου. Έχει μεγαλύτερο βάρος από το αντίστοιχο κλασσικό. Το κάθετο τμήμα είναι μικρότερο και το οριζόντιο τμήμα αποτελεσματικότερο από το αντίστοιχο της κλασσικής κατασκευής. Η ρίπιση του οριζόντιου τμήματος είναι μειωμένη, με συνέπεια τη μείωση της κόπωσης της δομής του αεροσκάφους και του πιλότου. Το σταυρόμορφο ουραίο είναι μία ενδιάμεση σχεδίαση μεταξύ της κλασσικής και T-ουραίο με επίσης ενδιάμεσο βάρος μεταξύ των δύο αυτών διαμορφώσεων. Αποτρέπει τη ροή εξόδου καυσαερίων από τους κινητήρες να προσπέσει στο οριζόντιο τμήμα και διασφαλίζει ομαλή ροή αέρα χωρίς διαταραχές στο κάτω τμήμα του πηδαλίου διεύθυνσης σε πτήση με μεγάλη γωνία προσβολής.

Το H-ουραίο έχει μεγαλύτερο βάρος από το κλασσικό και χρησιμοποιείται όταν απαιτείται στο κάθετο τμήμα ροή χωρίς διαταραχές σε μεγάλες γωνίες προσβολής ή τα πηδάλια διεύθυνσης να μένουν μακριά από το απόρρευμα σε ένα πολυκινητήριο αεροσκάφος, για να διασφαλισθεί ο έλεγχός του, σε περίπτωση κράτησης ενός κινητήρα. Το H-ουραίο καθώς και όλα τα τριπλά ουραία μειώνουν το ύψος του αεροσκάφους, με σκοπό να είναι εφικτή η τοποθέτησή του σε υπάρχοντα υπόστεγα. Το V-ουραίο χρησιμοποιείται συνήθως σε ανεμοπλάνα και σπάνια σε αεροσκάφη. Έχει μειωμένη διαβρεχόμενη επιφάνεια συγκριτικά με τις άλλες διαμορφώσεις. Όταν το δεξί πηδάλιο κατεβαίνει, ανεβαίνει το αριστερό. Είναι γνωστό και ως ουραίο πτέρωμα πεταλούδας Butterfly και ανήκει στην κατηγορία των μικτών πηδαλίων ανόδου - καθόδου / διεύθυνσης (Ruddervators).

Το διπλό ουραίο (χωρίς δοκούς) στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου, επιτρέπει την τοποθέτηση των πηδαλίων διεύθυνσης μακριά από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους. Είναι συνήθως βαρύτερο από ένα ισοδύναμο σε εμβαδόν απλό ουραίο, αλλά κατά κανόνα περισσότερο αποτελεσματικό. Χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των σύγχρονων μεγάλων μοντέρνων μαχητικών αεροσκαφών, όπως F-1, F-15, F-18 και MIG-25.

Το Y-ουραίο είναι όμοιο με το V-ουραίο αλλά έχει μικρότερη δίδρο γωνία και μία τρίτη επιφάνεια κάθετα κάτω από το V. Η επιφάνεια V διασφαλίζει τον έλεγχο εκτροπής, ενώ η τρίτη κάθετη επιφάνεια έχει το πηδάλιο διεύθυνσης. Εμφανίζει μειωμένη οπισθέλκουσα αλληλεπίδρασης, συγκριτικά με την κλασσική κατασκευή. Ένα αντεστραμμένο Y-ουραίο χρησιμοποιείται στο αεροσκάφος F-4.

Το ουραίο πτέρωμα που είναι εγκατεστημένο σε δοκούς (boom) χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση κινητήρων ώθησης ή την εγκατάσταση ενός στροβιλοκινητήρα αυξημένου βάρους κοντά στο κέντρο βάρους του αεροσκάφους. Έχει αυξημένο βάρος συγκριτικά με το κλασσικό ουραίο πτέρωμα. Το οριζόντιο πτέρωμα είναι εγκατεστημένο είτε μεταξύ των δύο δοκών είτε υπερωσμένο. Ιδιαίτερα ευρεία εφαρμογή βρίσκει το πτέρωμα αυτό στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Το ουραίο σχήματος δακτυλίου δεν έχει ιδιαίτερη εφαρμογή και έχει χρησιμοποιηθεί μόνο στο αεροσκάφος JM -2.

### 2.5.2. ΘΕΣΗ ΟΥΡΑΙΟΥ ΠΤΕΡΩΜΑΤΟΣ

Η θέση του ουραίου πτερώματος προς την πτέρυγα επηρεάζει άμεσα τα χαρακτηριστικά απώλειας στήριξης του αεροσκάφους. Όταν το ουραίο πτέρωμα εισέρχεται στο απόρρευμα της πτέρυγας, στη φάση απώλειας στήριξης, τότε χάνεται ο έλεγχος και ανόρθωση της κεφαλής του αεροσκάφους είναι πολύ δύσκολη.

*Επίδραση του ταχύρευματος απορροής:* Το ταχύρευμα του κινητήρα εκτείνεται σε έναν κώνο με γωνία κορυφής  $12^{\circ}$  μέσα στον οποίο δεν επιτρέπεται να εισέρχεται το ουραίο πτέρωμα. Ένα ταχύρευμα απορροής πολύ κοντά στον οριζόντιο ή κάθετο σταθερό επηρεάζει τη διεύθυνση της ροής. Το ουραίο πτέρωμα πρέπει να απέχει πολύ από τον κινητήρα, διότι ο

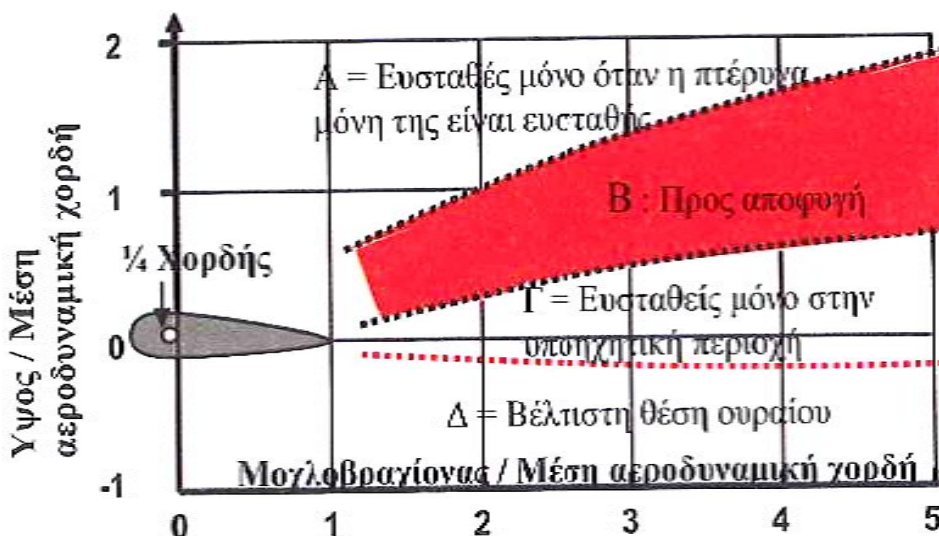
θόρυβος του κινητήρα μπορεί να προκαλέσει ακουστική κόπωση στη λεπτή επικάλυψη του ουραίου πτερώματος. Κάθε άλλο μέτρο προστασίας από ακουστική κόπωση, αυξάνει το βάρος του αεροσκάφους.

**Επιδράσεις ελικορεύματος:** Σε συμμετρική πτήση η κατανομή άντωσης στις πτέρυγες με εκτεταμένα πτερύγια καμπυλότητας, εξαρτάται από τις στροφές του κινητήρα. Το ίδιο ισχύει για το κατώρευμα και την κατανομή της τοπικής ταχύτητας στο ουραίο. Με μεταβαλλόμενη ταχύτητα και γωνία προσβολής, το ελικόρευμα μετακινείται κάθετα προ το οριζόντιο ουραίο και μεταβάλλεται η διαμήκης ευστάθεια του αεροσκάφους. Αυτό εξαρτάται και από τη θέση του οριζώντιου ουραίου καθ' ύψος. Η απώλεια σε στατική ευστάθεια είναι πολύ μικρή, όταν το οριζόντιο πτέρωμα τοποθετείται πολύ ψηλά ή πολύ χαμηλά. Όταν η αναλογία ισχύος προς ώση και ο μέγιστος συντελεστής άντωσης αυξάνονται, τότε αυξάνεται η επίδραση του ελικορεύματος και συνεπώς αυξάνονται οι διαστάσεις του ουραίου πτερώματος. Σε πτήση με έναν κινητήρα εκτός λειτουργίας, η ροπή εκτροπής αντισταθμίζεται με το πηδάλιο διεύθυνσης, η κατανομή της άντωσης στην πτέρυγα δεν είναι συμμετρική και το ουραίο πτέρωμα δέχεται πλευρικό απόρευμα, με συνέπεια την αύξηση της γωνίας εκτροπής. Η συνθήκη αυτή πτήσης, προσδιορίζει ένα κριτήριο για το κάθετο σταθερό και το πηδάλιο διεύθυνσης στην περίπτωση που ο κινητήρας είναι εγκατεστημένος στην πτέρυγα.

**Ευστάθεια και έλεγχος στη συνθήκη απώλειας στήριξης:** Η έξοδος από απώλεια στήριξης είναι βασική απαίτηση του αεροσκάφους και στη φάση των δοκιμών πιστοποίησης του προβλέπεται η επίδειξη της ταχύτητας απώλειας στήριξης.

Η διαμήκης ευστάθεια επηρεάζεται κυρίως από την «ακαμψία σε πρόνευση». Η αρνητική κλίση της καμπύλης αντιπροσωπεύει θετική στατική ευστάθεια, ενώ στη συνθήκη αντιστάθμισης, που επιτυγχάνεται με κλίση των πηδαλίων ανόδου - καθόδου, ισχύει  $C_M=0$ . Η θέση του ουραίου πτερώματος προς την πτέρυγα επηρεάζει άμεσα την ευστάθεια του αεροσκάφους. Η ροπή πρόνευσης της πτέρυγας στη φάση απώλειας στήριξης εξαρτάται από τη διαμόρφωσή της και κυρίως από τη γωνία βέλους και την επιμήκυνση. Η περιοχή ευσταθείας εξαρτάται από την αεροτομή, τη συστροφή της πτέρυγας, από φράγματα οριακού στρώματος, ατρακτίδια κινητήρων και υπεραντωτικές διατάξεις χείλους προσβολής. Τα όρια της περιοχής ευσταθείας καθορίζουν σε κάποιο βαθμό την επιμήκυνση των πτερύγων με μεγάλη γωνία βέλους.

Στο Σχήμα 4 απεικονίζονται τα όρια των θέσεων εγκατάστασης του οριζώντιου ουραίου πτερώματος που διασφαλίζουν έξοδο από απώλεια στήριξης. Η περιοχή Α καλύπτει τα ουραία πτερώματα σχήματος T, η περιοχή Β είναι απαγορευμένη διότι το οριζόντιο ουραίο εισέρχεται στο απόρευμα της πτέρυγας, η περιοχή Γ δεν εμφανίζει τα της Β, αλλά το αεροσκάφος ανορθώνει κεφαλή μόνο σε υψηλές υποηχητικές ταχύτητες και η περιοχή Δ θεωρείται ικανοποιητική για όλες τις γωνίες προσβολής.



Σχήμα 4: Περιοχές εγκατάστασης ουραίου πτερώματος

Η πλειοψηφία των αεροσκαφών εμφανίζει ευστάθεια σε πολύ μεγάλες γωνίες προσβολής στις οποίες η συνεισφορά της ουραίου πτερώματος στη διαμήκη ευστάθεια μπορεί να μειωθεί μέχρι 10 - 20 % της κανονικής της τιμής. Σε γωνίες προσβολής 30° - 40° το ουραίο πτέρωμα πέφτει σε απώλεια στήριξης. Στη συνθήκη  $C_M=0$  το αεροσκάφος είναι αντισταθμισμένο σε βαθιά απώλεια στήριξης. Στη συνθήκη αυτή, η ροπή πρόνευσης που δημιουργείται από τα πηδάλια ανόδου - καθόδου δεν είναι σε θέση να επαναφέρει το αεροσκάφος στην κανονική στάση και το αεροσκάφος είναι εγκλωβισμένο στην κατάσταση αυτή.

**Έξοδος από περιδίνηση:** Η έξοδος από περιδίνηση είναι βασική απαίτηση στη σχεδίαση ακροβατικών και εκπαιδευτικών αεροσκαφών και επιτυγχάνεται με σωστή σχεδίαση του κάθετου ουραίου πτερώματος. Στη φάση της περιδίνησης, το αεροσκάφος «πέφτει» σχεδόν κατακόρυφα σε ελικοειδή τροχιά, αυτοπεριστρεφόμενο με τις πτέρυγες σε πλήρη απώλεια στήριξης. Τυπικά, το αεροσκάφος κινείται με πολύ μεγάλη γωνία πλαγιολίσθησης.

Για να εισέλθει το αεροσκάφος σε περιδίνηση ο πιλότος οφείλει με το πηδάλιο ανόδου- καθόδου να πετύχει πλήρη απώλεια στήριξης και να αποκλίνει βίαια το πηδάλιο διεύθυνσης στην επιθυμητή φορά περιδίνησης. Για έξοδο του αεροσκάφους από περιδίνηση απαιτείται η έξοδος της πτέρυγας από την απώλεια στήριξης και εν συνεχεία μείωση της γωνίας προσβολής. Δηλαδή πρέπει να τερματισθεί η αυτοπεριστροφή και να μειωθεί η γωνία πλαγιολίσθησης, διαφορετικά το αεροσκάφος εισέρχεται αμέσως σε άλλη περιδίνηση. Τα πτερύγια ράχης βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα του ουραίου πτερώματος σε μεγάλες γωνίες προσβολής. Η καρίνα / καρίνες (κοιλιακά πτερύγια) παρεμποδίζουν την ανάπτυξη μεγάλων γωνιών προσβολής πλαγιολίσθησης και επιπρόσθετα χρησιμεύουν για την αποφυγή διαμήκης αστάθειας σε μεγάλες ταχύτητες πτήσης.

Ένας πρακτικός κανόνας για την επιλογή της θέσης του οριζοντίου πτερώματος, αναφορικά προς το κάθετο σταθερό, είναι ότι στη δυσμενέστερη περίπτωση, το ένα τρίτο του πηδαλίου διεύθυνσης πρέπει να παραμένει έξω από το απόρευμα. Τέλος, τα ουραία πτερώματα σχήματος V και ουραία με κάθετα σταθερά στα ακροπτερύγια του οριζοντίου ουραίου εμφανίζουν πλεονεκτήματα στην έξοδο από περιδίνηση.

**Μη κλασσικές διαμορφώσεις αεροσκαφών:** Στο σχήμα 5, απεικονίζονται διαμορφώσεις του ουραίου πτερώματος με εμπρόσθιες επιφάνειες ελέγχου (canard). Τα canard μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες δύο διαφορετικές κατηγορίες:

- Εμπρόσθια πτερύγια ελέγχου.
- Εμπρόσθια αντωτικά πτερύγια.



Σχήμα 5: Επιπρόσθετες διαμορφώσεις ουραίου πτερώματος

Στα αεροσκάφη με εμπρόσθια πτερύγια ελέγχου η άντωση αναπτύσσεται βασικά στις πτέρυγες και τα πτερύγια χρησιμοποιούνται κυρίως για έλεγχο, κατά αναλογία προς το ουραίο πτέρωμα. Τα πτερύγια λειτουργούν συνήθως σε πολύ μικρές γωνίες προσβολής και η συνεισφορά τους στη συνολική άντωση είναι αμελητέα. Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της γωνία προσβολής της πτέρυγας και την αντιστάθμιση της ροπής πρόνευσης στη φάση ενεργοποίησης των πτερυγίων καμπυλότητας Αντιθέτως, τα εμπρόσθια αντωτικά πτερύγια χρησιμοποιούνται σε κανονικές συνθήκες πτήσης, μαζί με την πτέρυγα, για την ανάπτυξη της άντωσης του αεροσκάφους. Έχουν μεγαλύτερη επιμήκυνση και καμπυλότητα αεροτομής από τα εμπρόσθια πτερύγια ελέγχου. Είναι αποτελεσματικότερα από το ουραίο πτέρωμα, διότι η άντωση που παράγουν έχει σαν συνέπεια τη μείωση των διαστάσεων και του βάρους της πτέρυγας και της επαγωγικής οπισθέλκουσάς της. Στα αεροσκάφη αυτά το κέντρο βάρους αναφορικά προς την πτέρυγα, κείται μπροστά από την αντίστοιχη θέση του ίδιου αεροσκάφους με ουραίο πτέρωμα. Τα κύρια μειονεκτήματα των εμπρόσθιων πτερυγίων είναι τα ακόλουθα:

- a) Η πτέρυγα μετακινείται προς τα πίσω συγκριτικά με την αντίστοιχη κλασική σχεδίαση με συνέπεια την αύξηση της ροπής πρόνευσης στη φάση λειτουργίας των πτερυγίων καμπυλότητας. Η ροπή αυτή πρόνευσης των πτερυγίων καμπυλότητας σε μικρές ταχύτητες πρέπει να αντισταθμισθεί από αυξημένη άντωση των εμπρόσθιων αντωτικών πτερυγίων. Για το λόγο αυτό, η μεγάλη πλειοψηφία των αεροσκαφών με εμπρόσθια αντωτικά πτερύγια δεν μπορεί χρησιμοποιήσει «έξυπνα» πτερύγια καμπυλότητας
- b) Τα εμπρόσθια πτερύγια ελέγχου είναι πιο κοντά στο κέντρο βάρους από το ουραίο πτέρωμα. Αυτό μειώνει την αποτελεσματικότητά τους σε αντιστάθμιση και έλεγχο και αυξάνει την επιφάνεια και οπισθέλκουσά τους σε πολύ μεγάλες γωνίες εκτροπής.

Στην πτέρυγα «τάντεμ» η άντωση της εμπρόσθιας πτέρυγας είναι περίπου ίση με αυτήν της οπίσθιας, με συνέπεια τη μείωση της επαγωγικής οπισθέλκουσα έως 50%. Η αποτελεσματικότητα της πτέρυγας «τάντεμ» αυξάνεται με την απομάκρυνση των δύο πτερυγίων, τόσο οριζοντίως όσο και καθέτως. Η μέγιστη άντωση επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση υπεραντωτικών διατάξεων, συνήθως στην εμπρόσθια πτέρυγα.

Η διαμόρφωση τριών επιφανειών έχει ουραίο πτέρωμα και εμπρόσθια αντωτικά πτερύγια. Τα εμπρόσθια αντωτικά πτερύγια μειώνουν την επαγωγική οπισθέλκουσα χωρίς τα μειονεκτήματα της διαμόρφωσης μόνο με εμπρόσθια πτερύγια. Θεωρητικά, η διαμόρφωση αυτή διασφαλίζει την ελάχιστη οπισθέλκουσα αντιστάθμισης, Τα εμπρόσθια πτερύγια ελέγχου και το ουραίο πτέρωμα, όταν παράγει άντωση για αντιστάθμιση, αυξάνουν την ολική επαγωγική οπισθέλκουσα. Στη διαμόρφωση των τριών επιφανειών οι επιδράσεις των εμπρόσθιων πτερυγίων και του ουραίου πτερώματος, σχετικά με την ολική κατανομή της άντωσης, αλληλοαναιρούνται. Η διαμόρφωση αυτή αυξάνει το βάρος, την πολυπλοκότητα κατασκευής και την οπισθέλκουσα αλληλοεπίδρασης.

Στη διαμόρφωση με επέκταση της πτέρυγας στο ουραίο, μία οριζόντια επιφάνεια ελέγχου είναι ενσωματωμένη στην επέκταση της πτέρυγας ή της ατράκτου. Η επιφάνεια αυτή ελέγχου χρησιμεύει κυρίως για την παρεμπόδιση ανόρθωσης κεφαλής, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κύρια επιφάνεια ελέγχου της ροπής πρόνευσης. Το αεροσκάφος χωρίς ουραίο πτέρωμα έχει συμβατική άτρακτο και μικρό κάθετο σταθερό. Γενικά, είναι σχεδιασμένο για υπερηχητικές ταχύτητες και φέρει πτέρυγα δέλτα. Οι κινητές επιφάνειες στο χείλος εκφυγής λειτουργούν ως πηδάλια ανόδου καθόδου, όταν εκτρέπονται στην ίδια κατεύθυνση και ως πηδάλια κλίσης, όταν εκτρέπονται σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Έχει το πλεονέκτημα του ελάχιστου βάρους και ελάχιστης οπισθέλκουσας συγκριτικά με τα αεροσκάφη που φέρουν ουραίο πτέρωμα.

Σε ένα ευσταθές χωρίς ουραίο πτέρωμα αεροσκάφους, οι πτέρυγες πρέπει να έχουν συστροφή για να παρέχουν φυσική (χωρίς ηλεκτρονικό υπολογιστή) ευστάθεια, με συνέπεια τη μείωση της αποτελεσματικότητάς τους. Σ' ένα ασταθές αεροσκάφος με σύστημα ελέγχου πτήσης ελεγχόμενο από Η/Υ δεν απαιτείται συστροφή της πτέρυγας. Ένα ασταθές χωρίς πτέρυγες αεροσκάφος μπορεί να είναι «αυτό αντισταθμιζόμενο», δηλαδή οι γωνίες εκτροπής



των πτερυγίων καμπυλότητας του χείλους εκφυγής που απαιτούνται για την αντιστάθμιση του αεροσκάφους στις διάφορες ταχύτητες πτήσης και γωνίες προσβολής, να είναι ακριβώς ίδιες με τις γωνίες εκτροπής των πτερυγίων καμπυλότητας για μέγιστη αναλογία L/D. Τα αεροσκάφη με τα χαρακτηριστικά αυτά εμφανίζουν γενικά ευαισθησία προς τη θέση του Κ.Β. (π.χ. Convaair B-58, Avto Vu1can, Lock heed YF-12A, Doug1as F-4D, Dassault Mirage, κ.τ.λ.

Το αεροσκάφος της διαμόρφωσης ιπτάμενης πτέρυγας αποτελείται αποκλειστικά από πτέρυγα, δηλαδή δεν έχει άτρακτο και ουραίο πτέρωμα και έχει μειωμένο βάρος και συντελεστή οπισθέλκουσας μηδενικής άντωσης. Ο συντελεστής οπισθέλκουσας μηδενικής άντωσης είναι της τάξης 0.008 - 0.011 ενώ των συμβατικών αεροσκαφών είναι 0.015 – 0.020. Η μέγιστη τιμή της αναλογίας  $(L/D)_{max}$  είναι αυξημένη περίπου 40% συγκριτικά προς τα συμβατικά αεροσκάφη. Η «ιπτάμενη πτέρυγα», συγκρινόμενη με ένα συμβατικό αεροσκάφος της ίδιας ποσότητας καυσίμου, του ίδιου βάρους απογείωσης και ταχύτητας πλεύσης, εμφανίζει μια αύξηση στην εμβέλεια της τάξης του 40%.

Η ευστάθεια συνθήκης αντιστάθμισης επιτυγχάνεται με τις εξής διαμορφώσεις:

- a) Η αεροδυναμική ροπή πρόνευσης σε μηδενική άντωση και μηδενική εκτροπή ελέγχου πρέπει να είναι θετική.
- b) Το κέντρο βάρους πρέπει να είναι μπροστά από το αεροδυναμικό κέντρο. Αυτό επιτυγχάνεται με πτέρυγες μεγάλης γωνίας βέλους, οι οποίες μετακινούν το αεροδυναμικό κέντρο προς τα πίσω με συνέπεια τη μετακίνηση του κέντρου βάρους προς τα εμπρός.

Η ιπτάμενη πτέρυγα εμφανίζει τη μεγαλύτερη δυσκολία επίτευξης ευστάθειας τόσο φυσικής όσο και με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο έλεγχος των αεροσκαφών αυτών επιτυγχάνεται αποκλειστικά από τις επιφάνειες ελέγχου των πτερυγίων ή από ελεγχόμενη ώση. Γενικά, εμφανίζει το πλεονέκτημα της μεγάλης αναλογίας άντωσης προς βάρος και μειωμένου βάρους δομής και δυσχέρειες σε πτητικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά.

Το αεροσκάφος με πτέρυγα έντονης κύρτωσης στα άκρα αποτελεί διαφοροποίηση της ιπτάμενης πτέρυγας για να διασφαλίσει την απαιτούμενη ασφάλεια και έλεγχο. Η κυρτωμένη πτέρυγα λειτουργεί όπως το V-ουραίο και παρέχει την απαιτούμενη ευστάθεια εκτροπής και περιστροφής με την εκτροπή του πηδαλίου διεύθυνσης. Η τοποθέτηση καθέτων πτερυγίων στα ακροπτερύγια αντικαθιστά λειτουργικά το κάθετο ουραίο σταθερό, αλλά η μετακίνησή τους αρκετά πίσω προς την άτρακτο, απαιτεί μεγάλες γωνίες βέλους ή τοποθέτηση εμπρόσθιων πτερυγίων ή και τα δύο.

## 2.6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται συνοπτικά τα είδη συστημάτων προσγείωσης των αεροσκαφών, από τη θεώρηση της σχεδίασης του αεροσκάφους και όχι της ανάλυσής τους ως συστήματα. Η κύρια αποστολή του συστήματος προσγείωσης των αεροσκαφών είναι:

- Απορρόφηση της κρουστικής ενέργειας τη στιγμή επαφής των σκελών με το διάδρομο στη φάση προσγείωσης.
- Απορρόφηση της κινητικής ενέργειας του αεροσκάφους με το σύστημα πέδησης του συστήματος προσγείωσης και μετατροπή της σε θερμική ενέργεια.
- Πηδαλιούχηση του αεροσκάφους στη φάση προσγείωσης και τροχοδρόμησης.
- Αποφυγή ολίσθησης των ελαστικών του αεροσκάφους με το σύστημα αντιολίσθησης.
- Στήριξη του αεροσκάφους κατά τη στάθμευση, ρυμούλκηση και τροχοδρόμησή του.

Τα υδροπλάνα δε έχουν σύστημα προσγείωσης και προσθαλασσώνονται - αποθαλασσώνονται με την άτρακτό τους που έχει διαμόρφωση καρίνας πλοίου. Τα ελαφρά υδροπλάνα έχουν κατάλληλους πλωτήρες. Τα αμφίβια αεροσκάφη προσγειώνονται και απογειώνονται σε διαδρόμους με σύστημα προσγείωσης και προσθαλασσώνονται - αποθαλασσώνονται με την άτρακτό τους.

Το σύστημα προσγείωσης είναι ένα από τα συστήματα του αεροσκάφους με τη μεγαλύτερη καταπόνηση, η οποία μάλιστα είναι και κρουστική. Τα συστήματα προσγείωσης διαφέρουν στα διάφορα αεροσκάφη ανάλογα με το αν είναι ανασυρόμενα ή όχι, με τη θέση εγκατάστασής τους στο αεροσκάφος και με τον αριθμό των τροχών. Με βάση τη δυνατότητα ανάσυρσης ή όχι διακρίνονται σε:

- Σταθερά ή μη ανασυρόμενα σκέλη. Παραμένουν συνεχώς εκτεταμένα σε όλες τις φάσεις πτήσης. Χρησιμοποιούνται συνήθως στα ελαφρά επιβατικά αεροσκάφη. Είναι απλά στην κατασκευή και έχουν μειωμένο κόστος κατασκευής και εγκατάστασης. Δυστυχώς αυξάνουν την ολική οπισθέλκουσα τους αεροσκάφους κατά τη διάρκεια της πτήσης.
- Ανασυρόμενα σκέλη. Μετά την απογείωση αναδιπλώνονται, ανασύρονται και «φωλιάζουν» σε κατάλληλες υποδοχές στην άτρακτο, τις πτέρυγες ή στα ατρακτίδια κινητήρων. Πριν την προσγείωση εκτείνονται και ασφαλίσουν. Η ανάσυρση και έκταση των σκελών γίνεται από το χειριστή με ειδική χειρολαβή η οποία ενεργοποιεί το σύστημα ανάσυρσης - έκτασης των σκελών του αεροσκάφους. Κατά την ανάσυρση κλείνουν αυτόματα οι ειδικές θυρίδες σκελών και καλύπτουν εξωτερικά τις υποδοχές τους. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η οπισθέλκουσα του αεροσκάφους στη διάρκεια της πτήσης. Τα περισσότερα σύγχρονα αεροσκάφη (επιβατικά και μαχητικά) έχουν ανασυρόμενα σκέλη. Επειδή το ανασυρόμενο σύστημα προσγείωσης έχει αυξημένο κόστος, βάρος και πολυπλοκότητα κατασκευής, ορισμένα ελαφρά συνήθως αεροσκάφη φέρουν σταθερά (μη συρόμενα) σύστημα προσγείωσης.

Τα συστήματα προσγείωσης με βάση τη διάταξη θέσης τους διακρίνονται σε:

- Τρίκυκλοσύστημα προσγείωσης (Tricycle Landing Gear)
- Δίκυκλο σύστημα προσγείωσης (Bicycle Landing Gear)
- Τετράκυκλοσύστημα προσγείωσης (Quadricycle Landing Gear)
- Πολύτροχοσύστημα προσγείωσης (Double – Dual Tandem Gear)

Η σχεδίαση του συστήματος προσγείωσης είναι μία δυσχερής εργασία, ιδιαίτερα για τα ανασυρόμενα σκέλη. Ο μηχανισμός ανάσυρσης είναι αρκετά βαρύς και χρήζει ιδιαίτερης μελέτης για να καταστεί ελαφρύς και απλός στην κατασκευή αλλά και αρκετά ανθεκτικός για να απορροφήσει την κρουστική ενέργεια στην προσγείωση. Τη μεγαλύτερη εφαρμογή έχει το τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης. Κάθε είδος συστήματος προσγείωσης έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, Υπάρχουν δύο βασικά είδη τρίκυκλου συστήματος προσγείωσης με ριναίο και ουραίο τροχό. Τα περισσότερα σύγχρονα μεσαία και μεγάλα αεροσκάφη έχουν τις τελευταίες δεκαετίες τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης με ριναίο τροχό.

### **2.6.1. ΤΡΙΚΥΚΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΟΥΡΑΙΟ ΤΡΟΧΟ**

Το με ουραίο τροχό ανήκει στην κατηγορία του τρίκυκλου συστήματος προσγείωσης έχει δύο κύρια σκέλη, ένα μπροστά από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους και ένα βοηθητικό τροχό στο ουραίο και είναι γνωστό ως συμβατικό επειδή χρησιμοποιήθηκε ευρέως στις πρώτες δεκαετίες της αεροπορίας. Η μεγάλη πλειοψηφία των ελαφρών αεροσκαφών έχει, ακόμη και σήμερα αυτό το σύστημα προσγείωσης αν και (θεωρείται απαρχαιωμένο). Η

γωνία προσβολής του αεροσκάφους κατά τη στάθμευσή του είναι λίγο μικρότερη από τη γωνία απώλειας στήριξης της πτέρυγας με εκτεταμένες τις υπεραντωτικές διατάξεις. Η κλίση του αεροσκάφους προς τον ορίζοντα σε θέση στάθμευσης, με πλήρες βάρος απογείωσης, ανέρχεται σε  $10^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ . Το κέντρο βάρους του αεροσκάφους σε στάθμευση οφείλει να κείται  $16^{\circ}$  -  $25^{\circ}$  πίσω από την κατακόρυφο της θέσης του κυρίου τροχού. Όταν το κέντρο βάρους του αεροσκάφους είναι πολύ μπροστά από  $16^{\circ}$  τείνει να ανατραπεί προς τα εμπρός και όταν είναι πολύ πίσω από  $25^{\circ}$  τείνει να ανατραπεί προς τα πίσω. Ο κύριος τροχός στη φάση εκτροπής του αποσβεστήρα κρούσης, οφείλει να παραμείνει σε μία περιοχή που ορίζεται από την κατακόρυφο και μία ευθείας γωνίας μέχρι  $5^{\circ}$  πίσω από την κάθετο.

Με τον αποσβεστήρα κρούσης συμπιεσμένο και τα λάστιχα των τροχών χωρίς αέρα, η ελάχιστη απόσταση του άκρου του έλικα από το έδαφος πρέπει να είναι 4 cm και η ελάχιστη απόσταση των πηδαλίων ανόδου καθόδου και των πτερυγίων καμπυλότητας τουλάχιστον 6.5 cm. Ο άξονας προσαρμογής του ουραίου τροχού οφείλει να έχει κλίση προς την κάθετο της τάξης των  $5^{\circ}$ . Η προέκταση του άξονα προσαρμογής του ουραίου τροχού οφείλει να τέμνει το έδαφος σε ένα σημείο μπροστά από τον τροχό και σε απόσταση τουλάχιστον 10% της διαμέτρου του τροχού. Ο ουραίος τροχός κατά την εκτροπή του αποσβεστήρα κρούσης, οφείλει να βρεθεί πίσω από την κάθετο στο έδαφος και μέχρι μέγιστη γωνία  $45^{\circ}$ . Η βέλτιστη γωνία είναι της τάξης των  $25^{\circ}$  -  $30^{\circ}$ . Γενικά ισχύει ότι για πολύ μεγάλες γωνίες αυξάνεται η πιθανότητα ανατροπής προς τα πίσω, ενώ για πολύ μικρές γωνίες προς τα εμπρός.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος προσγείωσης είναι, συνοπτικά, τα ακόλουθα:

- Ο ουραίος τροχός είναι μικρός, ελαφρύς και απλός στη σχεδίαση.
- Στήριξη του ουραίου σκέλους στην άτρακτο χωρίς τοπική ενίσχυση.
- Απλή προσαρμογή των κυρίων σκελών στην πτέρυγα.
- Καθιστά εφικτή την ταυτόχρονη επαφή όλων των τροχών στην προσγείωση θέτοντας το αεροσκάφος σε απώλεια στήριξης. Η αυξημένη οπισθέλκουσα επιβραδύνει το αεροσκάφος σε δυσμενείς συνθήκες διαδρόμου (π.χ. υγρό γρασίδι).
- Το αεροσκάφος κατεβάζει κεφαλή στην πέδηση. Αυτό αυξάνει την αντίδραση εδάφους στα κύρια σκέλη και τη τριβή και μειώνει τη πιθανότητα ανατροπής του αεροσκάφους
- Αυξημένη απόσταση του κινητήρα και του έλικα από το έδαφος.
- Το ουραίο σκέλος έχει μειωμένη οπισθέλκουσα από το αντίστοιχο ριναίο.

Τα βασικά μειονεκτήματα του συστήματος προσγείωσης με ουραίο τροχό, τα οποία οδήγησαν στην αντικατάστασή του από το τρίκυκλο σύστημα με ριναίο τροχό, είναι τα ακόλουθα:

- Η βίαιη πέδηση τείνει να ανατρέψει το αεροσκάφος προς τα εμπρός.
- Η προσγείωση με τα κύρια σκέλη προκαλεί αναπηδήσεις του αεροσκάφους.
- Η δύναμη που αναπτύσσεται στην πέδηση ασκείται μπροστά από το Κ.Β. του αεροσκάφους και το αποσταθεροποιεί καθώς κινείται με εκτροπή προς το ίχνος του.
- Δυσχερής τροχοδρόμηση του αεροσκάφους σε ισχυρό άνεμο.
- Η μεγάλη κλίση του διαδρόμου στα επιβατικά αεροσκάφη δεν είναι ευχάριστη στους επιβάτες και καθιστά δυσχερή τη φόρτωση και εκφόρτωση του αεροσκάφους.
- Η αυξημένη κλίση της ατράκτου σε γωνίες κλίσης του αεροσκάφους περιορίζει σημαντικά την ορατότητα του πιλότου.
- Η οπισθέλκουσα του αεροσκάφους είναι αυξημένη στην αρχική φάση της απογείωσης και αναρρίχησης μέχρι την «οριζοντίωση» του ουραίου.

Η θέση του σκέλους καθ' ύψος διασφαλίζει την επαφή πρώτα των κυρίων τροχών στο έδαφος ώστε η γωνία προσβολής της πτέρυγας για προσγείωση με  $(C_L)_{Max} = 0.9$  να μην υπερβαίνει τις  $15^\circ$ .

Η συνθήκη αποφυγής ανατροπής του αεροσκάφους στη φάση της πέδησης, προκύπτει από την ισορροπία των ροπών των δυνάμεων που ασκούνται στον τροχό προς το Κ.Β. του αεροσκάφους και είναι η ακόλουθη:

$$\text{Συντελεστής\_ανατροπής} = \frac{R h}{W a} = \frac{R}{W \tan \theta} \quad [2.1]$$

Όπου:

R = δύναμη πέδησης,

$$R = \mu \cdot W \quad [2.2]$$

Όπου:

$\mu$  = συντελεστής πέδησης όπου είναι 0.25,

W = βάρος αεροσκάφους,

Μία πολύ ικανοποιητική τιμή του συντελεστού ανατροπής είναι 0.7 έως 0.8. Κατά συνέπεια προκύπτει:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\mu}{0.7-0.8} \right) = 17^\circ \text{ έως } 19^\circ \quad [2.3]$$

Τέλος, η απόσταση των κυρίων τροχών πρέπει να είναι επαρκής για αποφυγή πρόσκρουσης των ακροπτερυγίων στο έδαφος σε ισχυρό εγκάρσιο άνεμο στη φάση προσγείωσης - απογείωσης. Για την προστασία του αεροσκάφους από ανατροπή απαιτείται οι κύριοι τροχοί να εγκατασταθούν σε μία γωνία  $25^\circ$  εγκάρσια από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους.

## 2.6.2. ΤΡΙΚΥΚΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΡΙΝΑΙΟ ΤΡΟΧΟ

Η μεγάλη πλειοψηφία των αεροσκαφών χρησιμοποιεί σήμερα τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης με ριναίο τροχό, που έχει καθιερωθεί και ως τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης φέρει δύο κύρια σκέλη πίσω από το κέντρο βάρους, του αεροσκάφους και ένα βοηθητικό ριναίο σκέλος μπροστά από το κέντρο βάρους. Είναι ευσταθές στο έδαφος και έχει τη δυνατότητα προσγείωσης με μεγάλη κλίση προς το διάδρομο. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του τρίκυκλου συστήματος προσγείωσης είναι αντίστροφα από αυτά του συστήματος προσγείωσης με ουραίο σκέλος.

Τα κύρια πλεονεκτήματα του τρίκυκλου συστήματος προσγείωσης είναι τα εξής:

- Επιτρέπει στον πιλότο - πλήρη πέδηση.
- Το αεροσκάφος σταθμευμένο στο έδαφος είναι περίπου οριζόντιο.
- Η ορατότητα του πιλότου κατά την τροχοδρόμηση του αεροσκάφους είναι πολύ καλή.
- Το ριναίο σκέλος προστατεύει το αεροσκάφος από ανατροπή στη φάση πέδησης.
- Στην αρχική φάση της απογείωσης η οπισθέλκουσα του αεροσκάφους είναι μειωμένη.

- Στη προσγείωση με δύο τροχούς, ο κύριος τροχός δημιουργεί ροπή πρόνευσης που κατεβάζει το ρύγχος του αεροσκάφους με συνέπεια την αποφυγή αναπηδήσεων.
- Η φόρτωση και εκφόρτωση του αεροσκάφους είναι εύκολη.

Η βαρύτητα των πλεονεκτημάτων αυτών, λόγω της συνεχούς αύξησης της ταχύτητας προσγείωσης των σύγχρονων αεροσκαφών, υπερισχύει των κάτωθι μειονεκτημάτων:

- Η πιθανή απαίτηση δομικής ενίσχυσης των βάσεων στήριξης του κυρίου συστήματος προσγείωσης.
- Δυσχέρεια «αποθήκευσης» του ανασυρόμενου ριναίου σκέλους.
- Το ριναίο σκέλος στη συνεχή πέδηση προσλαμβάνει φορτία από 20% έως 30% του ολικού βάρους του αεροσκάφους, δηλαδή πολύ μεγαλύτερα από το αντίστοιχο ουραίο σκέλος, με συνέπεια το βάρος του να είναι αυξημένο συγκριτικά προς αυτό.
- Απαιτείται ανασυρόμενο ριναίο σκέλος επειδή η οπισθέλκουσα του είναι μεγάλη και η αναλογία άντωσης / οπισθέλκουσας του αεροσκάφους μειωμένη.

Γενικά, το τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης διασφαλίζει βέλτιστη αποτελεσματικότητα πέδησης και απλούς ελιγμούς στη φάση προσγείωσης. Γενικά έχουμε:

- Η στατική δύναμη στο ριναίο τροχό οφείλει να ανέρχεται σε 8% - 15% του βάρους του αεροσκάφους. Όταν η στατική αντίδραση του ριναίου τροχού μειώνεται στο 5% του βάρους του αεροσκάφους, η πηδαλιούχηση καθίσταται ανέφικτη.
- Η επιτρεπόμενη γωνία μετακίνησης του στυλιδίου του ριναίου τροχού ανέρχεται σε  $10^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  με βέλτιστη τιμή  $7^{\circ}$ . Η σχεδίαση της βάσης στήριξης του ριναίου τροχού επιτρέπει την κίνηση του ριναίου τροχού μόνο προς τα επάνω και πίσω.
- Η γωνία ανατοπής είναι η γωνία που σχηματίζει το έδαφος και η ευθεία που συνδέει τον κύριο τροχό με το κέντρο βάρους του αεροσκάφους. Είναι ένα μέγεθος για την αξιολόγηση της τάσης ανατροπής του αεροσκάφους κατά την τροχοδρόμησή του σε κλειστή στροφή. Στη μεγάλη πλειοψηφία των αεροσκαφών δεν υπερβαίνει τις  $63^{\circ}$ , με εξαίρεση τα αεροσκάφη που προσγειώνονται σε αεροπλανοφόρα, για τα οποία ανέρχεται σε  $54^{\circ}$ .
- Η γωνία ανατροπής προς τα πίσω είναι η μέγιστη κλίση του αεροσκάφους (γωνία διαμήκη άξονα αεροσκάφους προς ορίζοντα), στην οποία με πλήρη εκτεταμένα σκέλη, το ουραίο πτέρωμα αγγίζει το έδαφος. Για αποφυγή πρόσκρουσης του ουραίου στο έδαφος, η γωνία της κατακόρυφου από τον τροχό και της ευθείας που συνδέει τον τροχό με το κέντρο βάρους του αεροσκάφους, πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη γωνία ανατροπής ή μεγαλύτερη των  $15^{\circ}$ . Στα αεροσκάφη των αεροπλανοφόρων υπερβαίνει συνήθως τις  $25^{\circ}$  για αποφυγή ανατροπής του αεροσκάφους προς τα πίσω κατά την κίνησή του στο κατάστρωμα του αεροπλανοφόρου, στη φάση απογείωσης και προσγείωσης σε υψηλή κυμάτωση θαλάσσης.

Σε περίπτωση αυξημένης δύναμης αντίδρασης, προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Απαιτείται αυξημένη αντωτική δύναμη και κατά συνέπεια ροπή από τα πηδάλια ανόδου - καθόδου για ανόρθωση της κεφαλής κατά την απογείωση.
- Μειώνεται η αποτελεσματικότητα του συστήματος πέδησης.
- Δυσκολία ελέγχου του αεροσκάφους από το πηδάλιο διεύθυνσης σε εγκάρσιο άνεμο.

Σε περίπτωση μειωμένης δύναμης αντίδρασης στο ριναίο προκύπτουν τα εξής:

- Δυσχέρεια πηδαλιούχησης του αεροσκάφους ιδιαίτερα σε εγκάρσιο άνεμο.
- Η αναλογία της δυναμικής προς την στατική φόρτιση του ριναίου αυξάνεται, με συνέπεια οι επιδόσεις του αποσβεστήρα κρούσης να καθίστανται κρίσιμες.

Η στατική γωνία πτώσης του ουραίου  $\theta_2$ , ανέρχεται σε  $10^\circ - 15^\circ$ .

### 2.6.3. ΔΙΚΥΚΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ

Στο σύστημα αυτό οι τροχοί που αποσβένουν τα κύρια κρουστικά φορτία είναι στο επίπεδο συμμετρίας του αεροσκάφους και οι βοηθητικοί τροχοί κάτω από τις πτέρυγες. Το δίκυκλο σύστημα προσγείωσης χρησιμοποιείται όταν δίνεται έμφαση στα εξής πλεονεκτήματα:

- Τα κύρια σκέλη έχουν την ίδια περίπου απόσταση μπροστά - πίσω από το κέντρο βάρους και απελευθερώνεται επαρκής χώρος στην περιοχή του κέντρου βάρους συγκριτικά με το τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στα βομβαρδιστικά αεροσκάφη και τα αεροσκάφη καθέτου απογείωσης, στα οποία τα φορτία και ο κινητήρας τοποθετούνται στην περιοχή του κέντρου βάρους.
- Μείωση βάρους και οπισθέλκουσας συγκριτικά με το τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης.
- Ανάσυρση κυρίων σκελών σε άτρακτο χωρίς διακοπή της δομής της πτέρυγας.

Τα κύρια μειονεκτήματα του δίκυκλου συστήματος είναι τα εξής:

- Τα βοηθητικά πλευρικά σκέλη, που σταθεροποιούν το αεροσκάφος στο έδαφος, αυξάνουν το βάρος του αεροσκάφους σε ποσοστό περίπου 1%. Στην περίπτωση τοποθέτησης δύο ζευγών τροχών στα κύρια σκέλη (B-52), μειώνεται το φορτίο των τροχών.
- Απαιτείται ακριβής έλεγχος της στάσης του αεροσκάφους για αποφυγή υπερφόρτισης των κυρίων σκελών (μεγάλη απόσταση κυρίου ουραίου σκέλους από το κέντρο βάρους αεροσκάφους).
- Απαιτείται ακριβής έλεγχος της κλίσης του αεροσκάφους για την αποφυγή υπερφόρτισης των πλευρικών βοηθητικών σκελών.
- Αναπήδηση του αεροσκάφους σε προσγείωση με ανορθωμένη κεφαλή.
- Απαιτείται αυξημένη ροπή πρόνευσης από τα πηδάλια ανόδου - καθόδου στην απογείωση και κατά συνέπεια, ενισχυμένο οριζόντιο πτέρωμα.
- Στην απογείωση απαιτείται αυξημένη άντωση με μικρή γωνία προσβολής λόγω της αυξημένης απόστασης του οπισθίου κυρίου σκέλους πίσω από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους.

Όταν τα κύρια σκέλη είναι σε απόσταση από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους μικρότερη της ακτίνας περιστροφής σε πρόνευση του αεροσκάφους, το σκέλος που έρχεται πρώτο σε επαφή με το έδαφος καταπονείται περισσότερο. Αντιθέτως, όταν είναι μπροστά από το κέντρο περιστροφής, τότε καταπονείται περισσότερο το σκέλος που έρχεται τελευταίο σε επαφή με το έδαφος. Τέλος, όταν τα κύρια σκέλη είναι στο κέντρο περιστροφής του αεροσκάφους σε πρόνευση, τα κρίσιμα φορτία στον εμπρόσθιο και οπίσθιο τροχό είναι ίσα και είναι τα ελάχιστα. Η ελάχιστη φόρτιση των πλευρικών βοηθητικών τροχών λαμβάνει χώρα, όταν αυτοί τοποθετούνται στο κέντρο περιστροφής του αεροσκάφους στην τροχοδρόμηση. Το κέντρο βάρους του αεροσκάφους οφείλει να είναι λίγο πίσω από το μέσο της απόστασης των σκελών.

#### 2.6.4. ΛΟΙΠΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ

*Κύριο μονό σκέλος:* Το κύριο μονό σκέλος προσγείωσης εγκαθίσταται στο εμπρόσθιο τμήμα της ατράκτου και χρησιμοποιείται συνήθως στα ανεμόπτερα και γενικά πολύ ελαφρά αεροσκάφη λόγω της απλότητας κατασκευής του. Ο κύριος τροχός μπορεί να εγκατασταθεί μπροστά από το κέντρο βάρους ή εναλλακτικά πίσω από το κέντρο βάρους με μία βακτηρία (skid) εγκατεστημένη κάτω από το πιλοτήριο. Σε ορισμένα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται και σκέλη αποφυγής πρόσκρουσης στο διάδρομο. Εγκαθίστανται στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου, όπως στο υπερηχητικό επιβατικό αεροσκάφος Concorde.

*Τετράκυκλο σύστημα προσγείωσης:* Είναι παρόμοιο με το δίκυκλο, με τη διαφορά ότι οι τροχοί είναι εγκατεστημένοι πλευρικά της ατράκτου. Απαιτεί οριζόντια περίπου προσγείωση και απογείωση. Χρησιμοποιείται στο αεροσκάφος B-52 και διάφορα μεταγωγικά αεροσκάφη, στα οποία απαιτείται μικρή απόσταση του δαπέδου του αεροσκάφους από το έδαφος. Τα κύρια σκέλη έχουν τουλάχιστον δύο τροχούς και όλοι οι τροχοί των κυρίων σκελών έχουν πέδησης. Τα σκέλη του τετράκυκλου σύστημα προσγείωση είναι συνήθως ανασυρόμενα. Τα κύρια σκέλη μετά την ανάσυρση «αποθηκεύονται» σε υποδοχές της ατράκτου και τα βοηθητικά σε υποδοχές της πτέρυγας. Το αεροσκάφος πηδαλιούχεται με τα εμπρόσθια κύρια σκέλη που έχουν διάταξη συγχρονισμένης πηδαλιούχησης. Οι βοηθητικοί τροχοί δε διαθέτουν σύστημα πέδησης και πηδαλιούχησης

*Τροχοφορέας:* Είναι μία διάταξη που προσαρμόζεται σε κάθε κύριο σκέλος και φέρει τέσσερις ή περισσότερους τροχούς εν σειρά κατά ζεύγη. Το αεροσκάφος έχει συνήθως ένα ριναίο σκέλος με δύο τροχούς και δύο τροχοφορείς με τέσσερις τροχούς ο καθένας, δηλαδή είναι ένα τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης με ριναίο σκέλος, στο οποίο τα κύρια σκέλη έχουν τροχοφορέα. Χρησιμοποιείται στα κύρια σκέλη μεγάλων αεροσκαφών. Το σύστημα προσγείωσης με τροχοφορέα δύο τροχών στο ριναίο σκέλος και τροχοφορείς τεσσάρων τροχών στα κύρια σκέλη, εμφανίζει τα βέλτιστα χαρακτηριστικά πέδησης και χρησιμοποιείται ευρέως στα σύγχρονα μεγάλα αεροσκάφη.

#### 2.6.5. ΠΟΡΕΙΑΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

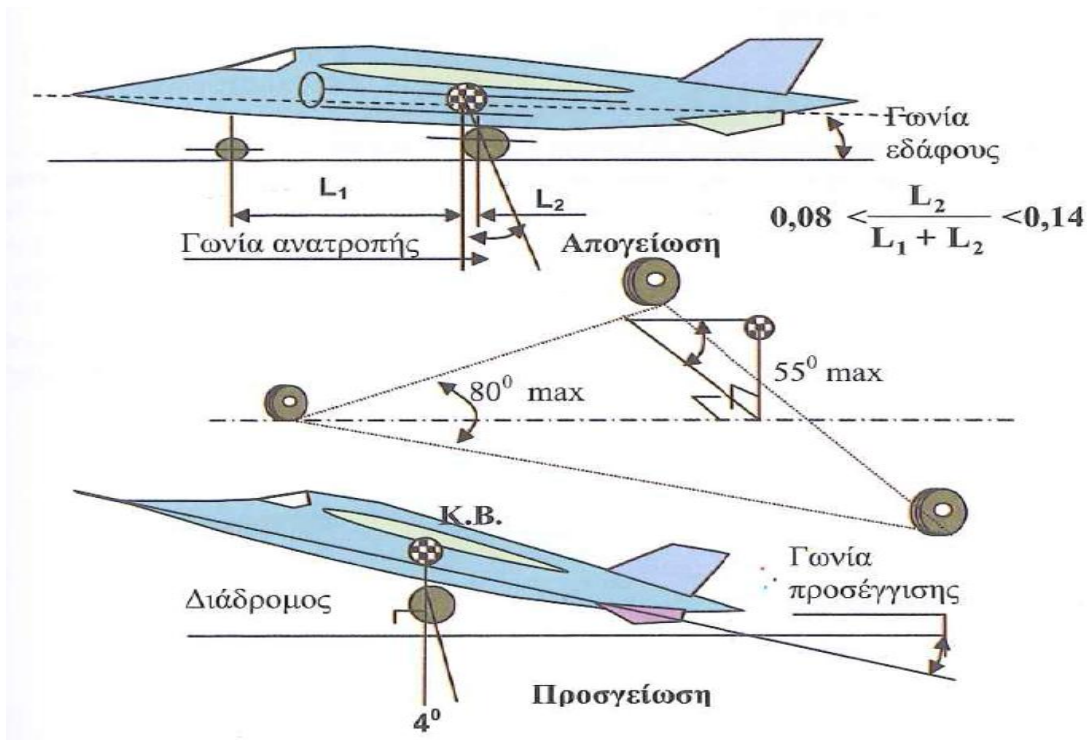
Κατά την τροχοδρόμηση και πέδηση του αεροσκάφους αναπτύσσονται στους τροχούς των κυρίων σκελών δυνάμεις τριβείς. οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν ροπή προς το κέντρο βάρους του αεροσκάφους και τείνουν να το εκτρέψουν από τη διεύθυνση κίνησής του. Για το λόγο αυτό τα αεροσκάφη πηδαλιούχονται με το ριναίο σκέλος. Η πορεία ευστάθεια του ριναίου σκέλους είναι θετική στην περίπτωση που, όταν το αεροσκάφος εκτρέπεται ελαφρά κατά την τροχοδρόμηση, η αναπτυσσόμενη δύναμη στα κύρια σκέλη επενεργώντας πίσω από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους, τείνει να το επαναφέρει.

Το ουραίο σύστημα πρόσδεσ έχει πορεία ευστάθεια. Το κύριο βάρος του αεροσκάφους παραλαμβάνεται από τα κύρια σκέλη, τα οποία είναι μπροστά από το Κ.Β του αεροσκάφους. Συνεπώς η εκτροπή και πλαγιολίσθησή τους, δημιουργεί αποσταθεροποιητική ροπή, η οποία επιδεινώνει την εκάστοτε ασταθή κατάσταση. Η αποσταθεροποιητική συμπεριφορά του ουραίου τροχού είναι εντονότερη όταν ο ουραίος τροχός είναι ελεύθερος. Όσο αυξάνεται το βάρος του αεροσκάφους, τόσο πιο επιτακτική είναι η αναγκαιότητα εγκατάστασης στον ουραίο τροχό ενός μηχανισμού εγκλωβισμού - ασφάλισης, που ενεργοποιείται στη φάση απογείωσης, προσγείωσης και τροχοδρόμησης.

Η αποσταθεροποιητική συμπεριφορά του συστήματος προσγείωσης με ουραίο τροχό βελτιώνεται εν μέρει, όταν οι κύριοι τροχοί έχουν κλίση προς τα έξω  $1^{\circ}$  -  $2^{\circ}$ . Έτσι το μεγαλύτερο ποσοστό βάρους του αεροσκάφους παραλαμβάνεται από τον εξωτερικό κύριο τροχό, ο οποίος λόγω της κλίσης του προς τα έξω τείνει να παραμείνει σε ευθεία πορεία. Η κλίση των κυρίων σκελών προς τα μέσα επιδεινώνει την αποσταθεροποιητική συμπεριφορά του αεροσκάφους.

Η θέση του κυρίου τροχού ή του κέντρου βάρους ενός συστήματος κυρίων τροχών προσδιορίζεται θεωρώντας ότι το σημείο επαφής των τροχών κείται  $4^\circ$  πίσω από την κάθετο στο διάδρομο που διέρχεται από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους (Σχήμα 6). Με αυξανόμενη μετατόπιση του τροχού προς τα πίσω, απαιτείται αύξηση της ροπής του πηδαλιού ανόδου - καθόδου για την ανόρθωση κεφαλής στην απογείωση και αυξημένη ροπή πρόνευσης στην προσγείωση. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο σε αεροσκάφη χωρίς ουραίο πτέρωμα. Η μεγάλη μετατόπιση του τροχού προς τα εμπρός μειώνει τη στατική ευστάθεια του αεροσκάφους στο έδαφος. Στα αεροσκάφη με ουραίο τροχό, το σημείο επαφής του τροχού οφείλει να κείται  $17^\circ$  αναφορικά προς την κάθετο στο έδαφος που διέρχεται από το κέντρο βάρους.

Η αναπτυσσόμενη δύναμη αντίδρασης στο ριναίο σκέλος οφείλει να είναι περίπου 10% του βάρους απογείωσης του αεροσκάφους. Εμπειρικά έχει αποδειχθεί ότι, όταν η δύναμη της αντίδρασης είναι μικρότερη του 8%, δημιουργούνται προβλήματα πηδαλιούχησης και ελιγμού του αεροσκάφους στο έδαφος, ενώ όταν είναι μεγαλύτερη του 14% αυξάνεται υπερβολικά το βάρος του ριναίου σκέλους και το αεροσκάφος καθίσταται ασταθές κατά την τροχοδρόμησή του στο έδαφος. Στο τρίγωνο που ορίζεται από τους τροχούς του αεροσκάφους στο έδαφος, η γωνία στο ριναίο τροχό οφείλει να μην υπερβαίνει τις  $80^\circ$ , για την αποφυγή ανατροπής του αεροσκάφους στην πέδηση και αστάθεια στην τροχοδρόμηση. Το κατακόρυφο επίπεδο που διέρχεται από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους και είναι παράλληλο στην ευθεία που συνδέει τους κύριους τροχούς (Σχήμα 6), τέμνει το τρίγωνο που ορίζεται από τους τροχούς του αεροσκάφους στο έδαφος, σε δύο σημεία. Τα δύο αυτά σημεία και το Κ.Β. του αεροσκάφους σχηματίζουν ένα ισοσκελές τρίγωνο, στο οποίο η γωνία των σκελών δεν πρέπει να υπερβαίνει τις  $55^\circ$ .



Σχήμα 6: Διάφοροι περιορισμοί στη γεωμετρική διαμόρφωση των συστημάτων προσγείωσης.



## 3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΜΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

### 3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σχεδίαση και κατασκευή της δομής του αεροσκάφους (ατράκτου, πτερύγων και πτερωμάτων), πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις της αεροδυναμικής και να παραλαμβάνει τα διάφορα φορτία. Πρέπει να είναι ελαφριά και πολύ ανθεκτική. Στις απαιτήσεις αυτές ανταποκρίνεται η λεπτή κελυφοειδής κατασκευή και πιο συγκεκριμένα η ημικελυφοειδής (semi-monocoque).

Τα δομικά στοιχεία της ημικελυφοειδούς κατασκευής είναι η επικάλυψη (Skin), τα διαμήκη στοιχεία ή διαμήκεις νευρώσεις (Spars - Stringers) και τα εγκάρσια στοιχεία ή εγκάρσιες νευρώσεις (Ribs - Frames). Αυτά συνδέονται μεταξύ τους με ήλους, κοχλίες και κολλήσεις ώστε να δημιουργούν μία κλειστή διατομή σύνθετης μορφής.

Χαρακτηριστικό της ημικελυφοειδούς κατασκευής είναι ότι οι επικαλύψεις δε φέρουν ορθές τάσεις επειδή έχουν μικρό πάχος, 1 έως 2 mm, αλλά μόνο διατμητικές τάσεις. Αυτό ισχύει για τα όλα σχεδόν τα επιβατικά αεροσκάφη. Στα μαχητικά αεροσκάφη και κυρίως στις πτέρυγες που έχουν μεγάλο πτερυγικό φόρτο και μικρά πάχη αεροτομής, δεν είναι δυνατή η παραδοχή αυτή. Στη περίπτωση αυτή οι επικαλύψεις έχουν μεγαλύτερο πάχος, ώστε να είναι ικανές να παραλάβουν και ορθές τάσεις.

### 3.2. ΠΤΕΡΥΓΑ

Οι πτέρυγες κατασκευάζονται με διάφορους τρόπους. Το μέγεθος και το σχήμα τους εξαρτάται από τις επιδόσεις και την κατηγορία του αεροσκάφους. Μπορεί να αποτελούνται από ένα ή περισσότερα τμήματα.

Η δομή της πτέρυγας αποτελείται από εγκάρσια και διαμήκη στοιχεία και την επικάλυψη. Τα εγκάρσια στοιχεία είναι οι εγκάρσιες νευρώσεις (Ribs). Έχουν το σχήμα της αεροτομής, είναι άκαμπτες, χρησιμεύουν στη διατήρηση της μορφής της αεροτομής και παραλαμβάνουν τα εξωτερικά φορτία. Μειώνουν το ελεύθερο μήκος της επικάλυψης και των διαμήκη νευρώσεων και την τάση λυγισμού της πτέρυγας. Οι εγκάρσιες νευρώσεις κατασκευάζονται συνήθως από πρεσσαριστά ελάσματα κράματος αλουμινίου, που φέρουν ελαφρυντικές οπές με εκτονωμένα χείλη, έτσι ώστε να διέρχονται ράβδοι, καλώδια, κ.ά., κατά μήκος της πτέρυγας. Κατασκευάζονται σε πολλά τμήματα αναλόγως του τύπου της πτέρυγας. Σε πτέρυγες με δύο δοκούς η εγκάρσια νευρώση χωρίζεται σε τρία τμήματα.

Υπάρχουν και εγκάρσιες νευρώσεις που δεν εκτείνονται κατά μήκος όλης της χορδής αλλά μόνο μεταξύ δοκών ή μεταξύ δοκού και χείλους προσβολής. Ο αριθμός των εγκάρσιων νευρώσεων σε ένα αεροσκάφος αυξάνεται όσο μειώνεται ο αριθμός των διαμήκων. Επειδή οι εγκάρσιες νευρώσεις πρέπει να είναι άκαμπτες στο επίπεδό τους, ενισχύονται με νευρώσεις που ηλώνονται πάνω σ' αυτές.

Τα διαμήκη στοιχεία της πτέρυγας είναι οι κύριες δοκοί (Spars) και οι διαμήκεις νευρώσεις (Stringers). Τα διαμήκη στοιχεία παραλαμβάνουν κυρίως την καμπτική καταπόνηση της πτέρυγας και δε διακόπτονται. Κατά μήκος του εκπετάσματος, οι δοκοί διέρχονται μέσα από τις εγκάρσιες νευρώσεις που διακόπτονται.

Οι δοκοί παραλαμβάνουν τα αεροδυναμικά φορτία από την επικάλυψη και τα μεταφέρουν στην άτρακτο. Καταπονούνται σε διατμητικά, εφελκυστικά και καμπτικά φορτία και σε στρέψη. Συνήθως τα καμπτικά φορτία στις ακραίες συνθήκες πτήσης, δηλαδή σε πτήσεις με το μέγιστο συντελεστή φόρτου είναι τα μεγαλύτερα. Συνήθως, έχουν διατομή

διπλού T. Το κατακόρυφο τμήμα της διατομής διπλού T (web) συνεισφέρει ελάχιστα στην αντοχή σε καταπόνηση σε κάμψη, εν αντιθέσει προς τα οριζόντια τμήματά της που χαρακτηρίζονται φλάντζες. Κατά κανόνα η πτέρυγα των αεροσκαφών έχει λόγο εκλέπτυνσης, δηλαδή η χορδή της αεροτομής στο ακροπτερύγιο είναι μικρότερη από τη χορδή στη ρίζα της. Κατά συνέπεια, η διατομή της δοκού δεν είναι σταθερή σε όλο το μήκος της αλλά μικρότερη στο ακροπτερύγιο και μεγαλύτερη στη ρίζα της.

Οι κύριες δοκοί αποτελούν τη σπονδυλική στήλη της πτέρυγας και τη συνδέουν με την άτρακτο. Στην περιοχή της σύνδεσης το πέλαμα των δοκών είναι πολύ αυξημένο για τη μεταφορά των φορτίων στο ενισχυμένο πλαίσιο της ατράκτου. Οι κύριοι δοκοί μπορεί να είναι ολοκληρωτικού τύπου χυτοπρεσσαριστοί από κράμα αλουμινίου (μαχητικά αεροσκάφη) ή διαφορικού τύπου, οι οποίοι κατασκευάζονται υπό ελάσματα τα οποία συνδέονται με ήλους και κοχλίες.

Οι διαμήκεις νευρώσεις (Stringers) έχουν συνήθως σταθερή διατομή (σε αντίθεση με τις δοκούς). Κατασκευάζονται στραντζαριστές ή με εξέλαση από ελάσματα κραμάτων αλουμινίου, συνήθως της σειράς 7.000 και 2.000. Οι διατομές τους έχουν διάφορα σχήματα και στερεώνονται με ήλους στην επικάλυψη.

Η επικάλυψη παραλαμβάνει τις αεροδυναμικές δυνάμεις και τις μεταβιβάζει στα άλλα δομικά στοιχεία. Όταν έχει μικρό πάχος δέχεται κυρίως τη διατμητική τάση που προέρχεται από κάμψη και στρέψη. Στα επιβατικά και μεταγωγικά αεροσκάφη οι επικαλύψεις κατασκευάζονται από ελάσματα αλουμινίου μικρού σχετικά πάχους, συνήθως από 0.6 έως 1.2 mm. Τα φύλλα κραμάτων αλουμινίου κατασκευής επικαλύψεων είναι alclad, δηλαδή έχουν προστατευτική επίστρωση συνήθως καθαρού αλουμινίου για αντιδιαβρωτική προστασία. Οι επικαλύψεις ηλώνονται στις κύριες δοκούς, διαμήκεις δοκίδες και εγκάρσιες νευρώσεις με ήλους. Στα ερασιτεχνικά μικρά αεροσκάφη καθώς και στα ανεμόπτερα, οι επικαλύψεις κατασκευάζονται από ελαφρά σύνθετα υλικά. Επίσης, έχουν χρησιμοποιηθεί και επικαλύψεις από κατάλληλα υφάσματα.

Χαρακτηριστικό της δομής της πτέρυγας είναι ο αριθμός των κύριων δοκών που εξαρτάται από την αποστολή του αεροσκάφους. Η μονόδοκος πτέρυγα έχει μία κύρια δοκό και οι εγκάρσιες νευρώσεις της αποτελούνται από δύο τμήματα. Οι μονόδοκες πτέρυγες είναι πολύ σπάνιες και χρησιμοποιούνται σε ερασιτεχνικά και μονοθέσια πολύ ελαφρά αεροσκάφη. Συνήθως η μονόδοκος διαμόρφωση με κάποιες τροποποιήσεις χρησιμοποιείται στις επιφάνειες ελέγχου και στα πτερύγια καμπυλότητας. Η συντριπτική πλειοψηφία των αεροσκαφών είναι πολύδοκης διαμόρφωσης.

Ο χώρος που ορίζεται από την άνω και κάτω επικάλυψη, τις δοκούς και τις εγκάρσιες νευρώσεις της πτέρυγας, χρησιμοποιείται συνήθως για την τοποθέτηση δεξαμενών καυσίμου. Επίσης, είναι δυνατή η τοποθέτηση καυσίμου μέσα στη δομή της, χωρίς δεξαμενή, αν αυτός ο χώρος κατασκευαστεί με στεγανές ηλώσεις. Στην περίπτωση αυτή η πτέρυγα ονομάζεται «υγρή πτέρυγα».

Η πτέρυγα μπορεί να έχει ανοίγματα για την προσαρμογή του συστήματος προσγείωσης, θυρίδες προσιτότητας στην κάτω και στην άνω επιφάνειά της και ειδικές οπές στην κάτω επιφάνεια για την αποστράγγιση της υγρασίας ή άλλων υγρών και για την απόρριψη καυσίμου. Στις πτέρυγες υπάρχουν ειδικές περιοχές που μπορεί να βαδίσει κανείς και περιοχές στην επιφάνειά της για την ανύψωση του αεροσκάφους σε γρύλους. Στα υπερηχητικά μαχητικά αεροσκάφη η υπερηχητική αεροδυναμική απαιτεί πτέρυγα μικρού πάχους με αιχμηρό χείλος προσβολής. Επειδή όμως το αιχμηρό χείλος προσβολής δημιουργεί προβλήματα στην υποηχητική πτήση συνηθίζεται η κατασκευή του χείλους προσβολής με πολύ μικρή ακτίνα καμπυλότητας και κατά προτίμηση κινητού.

Η απαίτηση μικρού σχετικού πάχους, συνδυαζόμενη με το μεγάλο πτερυγικό φόρτο των υπερηχητικών αεροσκαφών (αυξημένη άντωση λόγω μεγάλου συντελεστού φόρτου στις αερομαχίες) κάνει αναγκαία μία πτέρυγα με πολλές ενισχυμένες δοκούς και με πιο χονδρές επικαλύψεις ώστε να επιτευχθεί μετάλη ροπή αδράνειας που είναι απαραίτητη για να παραληφθεί κάμψη. Οι διαμήκεις νευρώσεις κατασκευάζονται με ολοκληρωτικό τρόπο. Η κατασκευή μίας πτέρυγας μαχητικού αεροσκάφους με τη φιλοσοφία τα φορτία να παραλαμβάνονται μόνο από τις δοκούς και η επικάλυψη να παραλαμβάνει μόνο διατμητικές τάσεις, δεν είναι εφικτή.

Οι επικαλύψεις των μαχητικών αεροσκαφών είναι «φέρουσες», δηλαδή παραλαμβάνουν διατμητικά και κάθετα (ορθά) φορτία εν αντιθέσει προς τις επικαλύψεις των επιβατικών αεροσκαφών που είναι «μη φέρουσες», δηλαδή παραλαμβάνουν μόνο διατμητικά φορτία. Συμμετέχουν άμεσα στη δομική αντοχή της πτέρυγας και παραλαμβάνουν ένα τμήμα από τα καμπικά και εφελκυστικά διατμητικά φορτία της πτέρυγας. Οι επικαλύψεις αυτές έχουν μεγάλο πάχος (συνήθως υπερβαίνει το δεκαπλάσιο) από τις κλασσικές επικαλύψεις που κατασκευάζονται από ελάσματα αλουμινίου πάχους μέχρι 0.8 mm. Το πάχος των επικαλύψεων είναι μεταβλητό και αυξάνεται από το ακροπερύγιο προς τη ρίζα της πτέρυγας. Το πάχος μεταβάλλεται όχι μόνο κατά μήκος του εκπετάσματος αλλά και κατά μήκος της χορδής. Οι επικαλύψεις των μαχητικών αεροσκαφών ενσωματώνουν τις διαμήκεις νευρώσεις (δοκίδες) σε μία ενιαία κατασκευή ολοκληρωτικού τύπου. Η επικάλυψη της πτέρυγας παραλαμβάνει διατμητικά και κάθετα φορτία (διατμητικές και ορθές τάσεις).

Η πτέρυγα στα ανεμόπτερα, ερασιτεχνικά ελαφρά αεροσκάφη και μη επανδρωμένα αεροσκάφη κατασκευάζεται σήμερα σχεδόν εξολοκλήρου από σύνθετα υλικά. Γενικά, τα σύνθετα υλικά ολοένα και περισσότερο αντικαθιστούν τα κράματα αλουμινίου. Ενδεικτικά, στο αεροσκάφος eurofighter το 50% περίπου της δομής είναι κατασκευασμένο από σύνθετα και συνθετικά υλικά.

Τα φορτία της πτέρυγας μεταφέρονται στην άτρακτο με διάφορους τρόπους. Η κλασσική σύνδεση - στήριξη της πτέρυγας στην άτρακτο γίνεται με τις κύριες δοκούς. Στη μέθοδο αυτή οι κύριες δοκοί καταλήγουν σε ενισχυμένα πέλματα, συνδέονται με τη βοήθεια κοχλιών ή βλήτρων με τα πλαίσια της ατράκτου. Οι συνδέσεις πτέρυγας ατράκτου με βλήτρα - κοχλίες στα πέλματα των κυρίων δοκών αντιπροσωπεύουν τις πιο καταπονούμενες περιοχές του αεροσκάφους. Μία διαφορετική μέθοδο σύνδεσης εφαρμόστηκε στο αεροσκάφος F-14. Στη μέθοδο αυτή η πτέρυγα αποτελείται από τρία τμήματα, τη δεξιά, την αριστερή την κεντρική πτέρυγα. Η κεντρική πτέρυγα είναι τύπου κιβωτίου. Οι δύο ακραίες πτέρυγες (δεξιά και αριστερή) συνδέονται στη ρίζα τους με την κεντρική πτέρυγα μέσω μίας σύνδεσης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στα αεροσκάφη με μεταβλητή γωνία βέλους.

Για την αποφυγή συγκέντρωσης τάσεων στα πέλματα των δοκών, σε ορισμένα αεροσκάφη, η πτέρυγα είναι «μονοκόμματη», δηλαδή αποτελείται από μία κεντρική πτέρυγα και δύο κύριες πτέρυγες συνδεδεμένες σε ένα ενιαίο συγκρότημα. Κλασικό παράδειγμα της «μονοκόμματης» πτέρυγας μαχητικού αεροσκάφους αποτελεί η πτέρυγα του αεροσκάφους F-5. Τέλος σημειώνεται ότι ένα μέρος της πτέρυγας στο οποίο δεν υπάρχει αρκετός χώρος για να διάφορα συστήματα μπορεί να είναι κυψελοειδής κατασκευής. Η κυψελοειδής χρησιμοποιείται κατεξοχήν στο ουραίο πτέρωμα και τις επιφάνειες ελέγχου.

### 3.3. ΑΤΡΑΚΤΟΣ

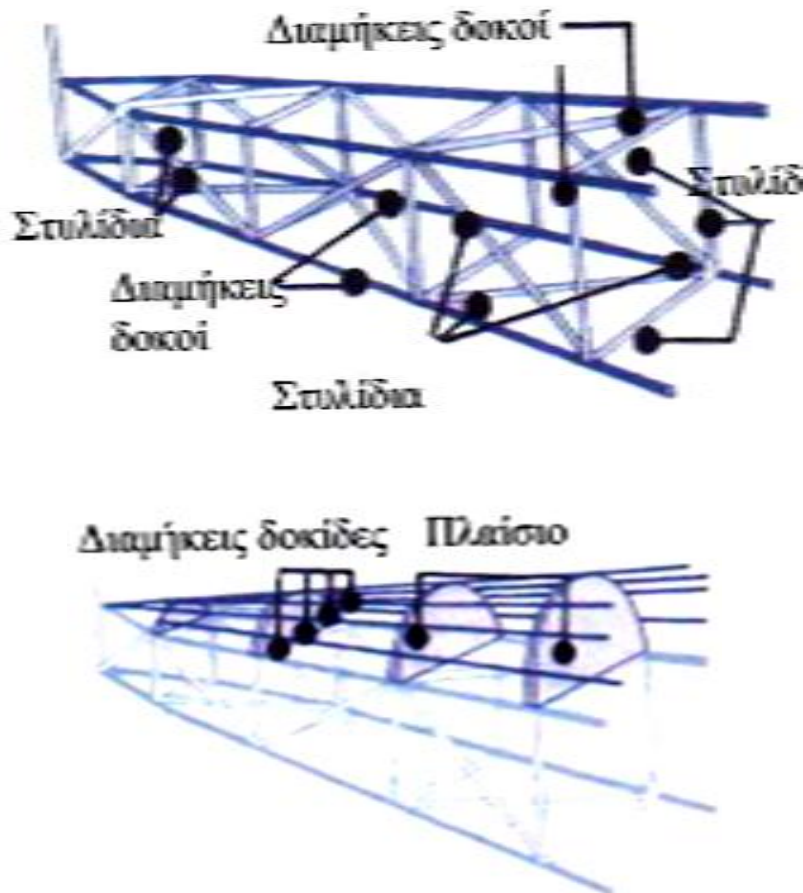
Η άτρακτος είναι το μεγαλύτερο τμήμα του αεροσκάφους με τη μικρότερη αεροδυναμική σημασία. Επάνω της στηρίζονται οι πτέρυγες, το ουραίο πτέρωμα, πολλές φορές οι κινητήρες, το κύριο σύστημα προσγείωσης και το ριναίο ή ουραίο σκέλος από τα οποία παραλαμβάνει μεγάλα συγκεντρωμένα φορτία. Το σχήμα της διατομής της ατράκτου εξαρτάται από τις απαιτήσεις σε χώρο και την κατηγορία του αεροσκάφους. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κατασκευής της δομής της ατράκτου: ο κελυφοειδής τύπος και ο τύπος δικτυώματος. Ο τύπος δικτυώματος χρησιμοποιείται, συνήθως σε μικρά αεροσκάφη.

Ο κελυφοειδής τύπος κατασκευής διακρίνεται στις εξής τρεις κατηγορίες καθαρή κελυφοειδής, ημικελυφοειδής και ενισχυμένου κελύφους. Η μεγάλη πλειοψηφία των αεροσκαφών είναι κελυφοειδούς τύπου και μάλιστα ημικελυφοειδούς.

#### ➤ *Άτρακτος Τύπου Δικτυώματος:*

Είναι μία στερεά και άκαμπτη κατασκευή ενός δικτυώματος από σωλήνες. Είναι ένα χωρικό δικτύωμα από διαμήκεις, διαγώνιες, κατακόρυφες και εγκάρσιες σωλήνες (Σχήμα 7). Συνήθως οι εγκάρσιοι, διαγώνιοι και κατακόρυφοι δοκοί χαρακτηρίζονται ως στυλίδα. Η πρώτη ύλη κατασκευής των σωλήνων μπορεί να είναι χάλυβας, αλλά συνήθως είναι κράματα

αλουμινίου. Οι χαλύβδινοι σωλήνες συνδέονται μεταξύ τους και με τα άλλα τμήματα του αεροσκάφους συνήθως με συγκολλήσεις. Οι σωλήνες από κράματα αλουμινίου συνδέονται μεταξύ τους και με τα άλλα τμήματα του (ύφους με ήλους. Γενικά, οι συγκολλήσεις έχουν μειωμένη αντοχή σε δυναμικά φορτία και ο τύπος της κατασκευής δικτυώματος έχει συχνότερες επιθεωρήσεις και ελέγχους από την ημικελυφοειδή κατασκευή. Οι σωλήνες καταπονούνται σε εφελκυστικά και θλιπτικά φορτία. Κύριο πλεονέκτημα της κατασκευής τύπου δικτυώματος είναι η απλότητα της σχεδίασης και κατασκευής.



Σχήμα 7: Κύρια στοιχεία κατασκευής ατράκτου τύπου δικτυώματος

➤ *Καθαρή κελυφοειδής Κατασκευή:*

Η δομή της ατράκτου στη καθαρή κελυφοειδή κατασκευή αποτελείται μόνο από εγκάρσια στοιχεία, όπως πλαίσια, διαφράγματα και σχηματιστές (Former, Rings Bulkheads, frames) και την επικάλυψη (Skin). Τα εγκάρσια στοιχεία, που γενικά χαρακτηρίζονται εγκάρσιες νευρώσεις, χρησιμεύουν για τη διατήρηση της γεωμετρίας της ατράκτου και η επικάλυψη είναι το μοναδικό «δομικό» στοιχείο που παραλαμβάνει τα φορτία που αναπτύσσονται στην άτρακτο. Τα πλαίσια που καταλαμβάνουν όλη τη διατομή ή το μεγαλύτερο τμήμα της, χαρακτηρίζονται διαφράγματα (Bulkheads). Κύριο μειονέκτημα της καθαρής κελυφοειδούς κατασκευής είναι η μικρή αντοχή στα φορτία που αναπτύσσονται στην άτρακτο. Η καθαρή κελυφοειδής κατασκευή δεν έχει διαμήκη στοιχεία. Το πάχος της επικάλυψης είναι αυξημένο διότι η επικάλυψη δεν παραλαμβάνει μόνο διαμητικές τάσεις αλλά και ορθές. Επίσης, το βάρος της είναι πολύ μεγαλύτερο συγκριτικά με την αντίστοιχη ημικελυφοειδή κατασκευή. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται πολύ σπάνια.

➤ *Ημικελυφοειδής Κατασκευή:*

Είναι ο κατεξοχήν τρόπος κατασκευής της ατράκτου των σύγχρονων αεροσκαφών. Έχει πολύ μεγαλύτερη αναλογία αντοχής προς βάρος συγκριτικά με τη καθαρή κελυφοειδή κατασκευή. Αποτελείται από διαμήκη στοιχεία ή νευρώσεις, δηλαδή δοκούς (longerons) και δοκίδες (stringers, stiffeners), και εγκάρσια στοιχεία ή εγκάρσιες νευρώσεις (Former, Rings, Bulkheads, frames) και την επικάλυψη (Skil). Η βασική αλλά σημαντική διαφορά της με την καθαρή κελυφοειδή κατασκευή είναι ότι έχει διαμήκη στοιχεία. Τα εγκάρσια στοιχεία, πλαίσια, διαφράγματα ή διαμορφωτές παραλαμβάνουν τα εξωτερικά φορτία και διατηρούν το σχήμα της ατράκτου. Οι δακτύλιοι, τα πλαίσια και οι σχηματιστές είναι παρόμοια σε διαμόρφωση, σχήμα και αντοχή εγκάρσια στοιχεία. Είναι πολύ περισσότερα σε αριθμό από τα διαφράγματα, συγκριτικά με τα οποία έχουν μειωμένη αντοχή και στιβαρότητα.

Τα διαφράγματα είναι ενισχυμένα εγκάρσια στοιχεία που καταλαμβάνουν όλη τη διατομή ή το μεγαλύτερο τμήμα της. Τοποθετούνται στις περιοχές της ατράκτου με αυξημένη καταπόνηση, όπως στις περιοχές που συνδέονται μεταξύ τους τα επιμέρους τμήματα της ατράκτου ή στις περιοχές που συνδέονται στην άτρακτο τα κύρια συγκροτήματα του αεροσκάφους (πτέρυγα, ουραίο, ατρακτίδια, κύρια σκέλη, κ.ά.). Τα κύρια φορτία παραλαμβάνονται από τα διαμήκη στοιχεία και μάλιστα από τις διαμήκεις δοκούς. Τα διαμήκη στοιχεία δε διακόπτονται καθώς διέρχονται από τα εγκάρσια στοιχεία. Ο αριθμός των δοκών είναι μικρός συγκριτικά με τον αριθμό των δοκίδων.

Οι κύριοι δοκοί είναι πολύ πιο ενισχυμένοι και στιβαροί από τις διαμήκεις δοκίδες. Τα διαμήκη στοιχεία και κυρίως οι δοκοί παραλαμβάνουν τα βασικά διαμήκη φορτία της ατράκτου και συγκρατούν τα εγκάρσια στοιχεία της. Η επικάλυψη είναι συνήθως κατασκευασμένη από έλασμα κράματος αλουμινίου, το πάχος της οποίας διαφέρει στους διάφορους τύπους αεροσκαφών ανάλογα με τις τάσεις που αναπτύσσονται στην άτρακτο. Μπορεί να διαφέρει και σε περιοχές της ίδιας ατράκτου. Τα εγκάρσια και διαμήκη στοιχεία της ατράκτου συνδέονται μεταξύ τους και με την επικάλυψη με κοχλίες και ήλους. Η σύνδεση των στοιχείων αυτών διασφαλίζει μία στιβαρή και άκαμπτη κατασκευή. Στην κατασκευή ενισχυμένου κελύφους η επικάλυψη είναι ενισχυμένη με διαμήκη στοιχεία, όπως στυλίδια και δοκίδες. Τα τμήματα της ατράκτου ενός αεροσκάφους μπορεί να διαφέρουν στην κατασκευή, δηλαδή να είναι κελυφοειδή, ημικελυφοειδή ή ενισχυμένου κελύφους. Η συντριπτική πλειοψηφία είναι ημικελυφοειδούς τύπου.

Η άτρακτος κατασκευάζεται σε πολλά τμήματα. Στα μικρά αεροσκάφη συνηθίζεται η κατασκευή της ατράκτου σε δύο ή τρία τμήματα, ενώ στα μεγάλα αεροσκάφη η κατασκευή γίνεται σε περισσότερα τμήματα μέχρι και έξι. Ο τρόπος αυτός κατασκευής σε πολλά τμήματα διευκολύνει, τόσο την κατασκευή τους όσο και τη συντήρησή τους. Τα επιμέρους τμήματα μπορούν να κατασκευασθούν σε διαφορετικά εργοστάσια.

Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζεται η ημικελυφοειδής άτρακτος είναι κυρίως κράματα αλουμινίου και ελάχιστα μαγνησίου. Στις περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται χαλυβοκράματα και κράματα τιτανίου. Στα σύγχρονα αεροσκάφη παρατηρείται σταδιακή αντικατάσταση των κραμάτων αλουμινίου από τα σύνθετα υλικά. Οι διαμήκεις δοκοί είναι συνήθως κατασκευασμένοι με σφυρηλάτηση, ενώ οι διαμήκεις δοκίδες είναι σφυρήλατες ή διαμορφωμένες από ελάσματα ή προϊόντα έλασης. Τα πλαίσια και τα διαφράγματα της ατράκτου συνήθως είναι ένα ενιαίο τεμάχιο ή αποτελείται από δύο τμήματα τα οποία συνδέονται με κοχλίες. Κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου υψηλής αντοχής, συνήθως της σειράς 7.000 ή 2.000 και είναι σφυρήλατα ή χυτοπρεσαριστά ή με μηχανουργική αφαίρεση υλικού. Στα ελαφρά αεροσκάφη κατασκευάζονται και από ελάσματα αλουμινίου με ψυχρή διαμόρφωση. Το πάχος της επικάλυψης εξαρτάται από την κύρια αποστολή του αεροσκάφους.

Η άτρακτος φέρει σε διάφορα σημεία θυρίδες προσιτότητας για τις προβλεπόμενες επιθεωρήσεις των διαφόρων συστημάτων και την εκτέλεση των εργασιών συντήρησής τους. Επίσης, σε πολλά αεροσκάφη τα σκέλη του συστήματος προσγείωσης μετά την ανάσυρση «αποθηκεύονται» στην άτρακτο. Σε πολλά μαχητικά αεροσκάφη οι αεραγωγοί είναι ενσωματωμένοι δομικά στην άτρακτο, δηλαδή η δομή τους αποτελεί τμήμα της δομής της ατράκτου.

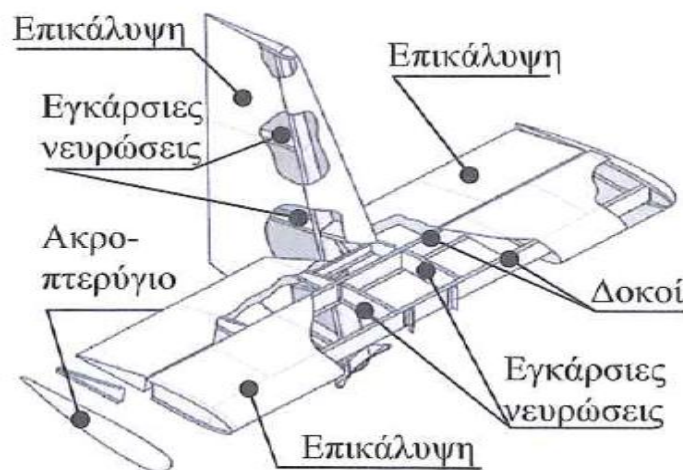
### 3.4. ΟΥΡΑΙΟ ΠΤΕΡΩΜΑ

Το ουραίο πτέρωμα αποτελείται από κινητές και σταθερές επιφάνειες που είναι προσαρμοσμένες σε έναν «κώνο» ως συνέχεια του οπισθίου τμήματος της ατράκτου. Η δομή του καθέτου σταθερού είναι όμοια με τη δομή της πτέρυγας. Είναι ένα συγκρότημα που συνδέεται με κοχλίες και βλήτρα στο άνω τμήμα του οπισθίου τμήματος της ατράκτου. Αποτελείται από εγκάρσια και διαμήκη στοιχεία και την επικάλυψη.

Στα ελαφρά επιβατικά αεροσκάφη το κάθετο σταθερό αποτελείται συνήθως από μία δοκό, εγκάρσιες νευρώσεις και την επικάλυψη. Οι δοκοί και οι εγκάρσιες νευρώσεις κατασκευάζονται συνήθως από έλασμα αλουμινίου της σειράς 2.000 και 7.000 με διαμόρφωση σε στράντζα και σε μαζική παραγωγή σε πρέσα με μεταλλικά καλούπια. Η επικάλυψη είναι έλασμα αλουμινίου της σειράς 2.000 και 7.000 πάχους συνήθως από 0.5 έως 0.7 mm. Η δοκός του καθέτου σταθερού προεξέχει και εισέρχεται στην άτρακτο όπου κοχλιώνεται σε κατάλληλη βάση στήριξης. Στα σύγχρονα ελαφρά αεροσκάφη καθώς και τα μη επανδωμένα αεροσκάφη τα σύνθετα υλικά αντικαθιστούν την κλασική μεταλλική κατασκευή από κράματα αλουμινίου. Συνήθως, μόνο η κύρια δοκός είναι κατασκευασμένη από κράματα αλουμινίου, ενώ οι εγκάρσιες νευρώσεις και η επικάλυψη κατασκευάζονται από σύνθετα υλικά. Οι επιφάνειες ελέγχου (πηδάλια κλίσης, και ανόδου καθόδου) κατασκευάζονται συνήθως από κυψελοειδές.

Η δομή του σταθερού των μεσαίων και μεγάλων επιβατικών αεροσκαφών είναι παρόμοια με αυτήν των ελαφρών αεροσκαφών. Η βασική διαφορά έγκειται στον αριθμό δοκών και εγκάρσιων νευρώσεων. Στα μαχητικά αεροσκάφη η δομή του καθέτου πτερώματος είναι πιο ενισχυμένη από τη δομή των επιβατικών αεροσκαφών, αλλά έχει την ίδια αρχή σχεδίασης, δηλ αποτελείται από δοκούς, δοκίδες, εγκάρσιες νευρώσεις και την επικάλυψη. Η καταπόνηση του καθέτου σταθερού είναι αυξημένη στη φάση πτήσεων με περιστροφή περί το διαμήκη άξονα. Ο αριθμός των νευρώσεων και δοκών ποικίλει στους διάφορους τύπους αεροσκαφών. Ο τρόπος κατασκευής είναι μικτός, αλλά στα σύγχρονα αεροσκάφη τα τμήματα με ολοκληρωτικό τρόπο κατασκευής είναι περισσότερα από ότι στα παλαιά αεροσκάφη της γενιάς του 70.

Η δομή του οριζόντιου σταθερού είναι όμοια με τη δομή της πτέρυγας και του καθέτου σταθερού (Σχήμα 8). Είναι ένα συγκρότημα που συνδέεται στη κλασική διαμόρφωση του ουραίου πτερώματος, με κοχλίες και βλήτρα, στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου του αεροσκάφους. Αποτελείται από εγκάρσια και διαμήκη στοιχεία και την επικάλυψη. Στο οπίσθιο τμήμα του οριζόντιου σταθερού συνδέονται τα πηδάλια ανόδου - καθόδου. Σε αρκετά μαχητικά αεροσκάφη το οριζόντιο ουραίο πτέρωμα είναι ολοκινούμενο. Στα σύγχρονα αεροσκάφη το οριζόντιο σταθερό κατασκευάζεται εν μέρει ή και ολόκληρο από σύγχρονα σύνθετα υλικά.



Σχήμα 8: Κύρια στοιχεία δομής ουραίου πτερώματος

### 3.5. ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Οι κυψελοειδείς κατασκευές χρησιμοποιούνται κατ' εξοχήν στις επιφάνειες ελέγχου των αεροσκαφών και σε περιοχές της πτέρυγας με μειωμένη καταπόνηση μέσα από τις οποίες δεν διέρχονται σωληνώσεις του υδραυλικού συστήματος, του συστήματος καυσίμου, κ.ά.. Κύριο πλεονέκτημα της κυψελοειδούς κατασκευής συγκριτικά με την ημικελυφοειδή κατασκευή είναι ότι η αναλογία της αντοχής προς το βάρος της είναι μεγαλύτερη. Επίσης, η εξωτερική επιφάνεια της είναι τελείως λεία επειδή δεν έχει ηλώσεις. Τα κύρια μειονεκτήματά της είναι ότι καταλαμβάνει πλήρως τον εσωτερικό διαθέσιμο χώρο, έχει μεγαλύτερο κόστος και δυσκολότερη κατασκευή και συντήρηση.

Μία τυπική κυψελοειδής κατασκευή αποτελείται από τον πυρήνα που είναι κυψελοειδές υλικό και τις εξωτερικές λεπτές επικαλύψεις. Χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή επιφανειών ελέγχου, οριζόντιων και καθέτων σταθερών, δαπέδων, τμημάτων πτερύγων, αντισταθμιστικών, διαφραγμάτων και τμημάτων του αεροσκάφους. Στα μεγάλα επιβατικά αεροσκάφη η κυψελοειδής κατασκευή χρησιμοποιείται για την κατασκευή πλαισίων και αντικαθιστά την επικάλυψη στην περιοχή του χείλους προσβολής.

Ο πυρήνας της κυψελοειδούς κατασκευής είναι συνήθως αλουμίνιο ή πλαστικό και οι επικαλύψεις πολύ λεπτά φύλλα πλαστικού, αλουμινίου ή ξύλου. Οι κυψελοειδείς κατασκευές έχουν διάφορες διαμορφώσεις, συνήθως όμως είναι σταθερού πάχους ή κωνικού πυρήνα.

### 3.6. ΑΤΡΑΚΤΙΔΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

#### ➤ *Ατρακτίδια κινητήρων:*

Η δομή τους είναι συνήθως παρόμοια με τη δομή της ατράκτου. Είναι συνήθως ημικελυφοειδής κατασκευή ή δικτύωμα με εξωτερική επικάλυψη. Η επικάλυψη των ατρακτιδίων κατασκευάζεται από ελάσματα κραμάτων αλουμινίου, ανοξείδωτο χάλυβα, κράματα μαγνησίου ή τιτανίου. Η σχεδίαση και κατασκευή των ατρακτιδίων των εμβολοφόρων αεροσκαφών διαφέρει σημαντικά από αυτή των αεροσκαφών με στροβιλοκινητήρα. Στα πολυκινητήρια εμβολοφόρα αεροσκάφη το ατρακτίδιο χρησιμεύει απλώς για την εγκατάσταση και προστασία του κινητήρα χωρίς την απαίτηση ο αέρας να διέρχεται δια μέσου του ατρακτιδίου. Αντιθέτως, στα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα ο αέρας διέρχεται μέσα από το ατρακτίδιο.

#### ➤ *Βάσεις στήριξης κινητήρων.*

Διαφέρει στους διάφορους τύπους κινητήρων και εξαρτάται και από τη θέση εγκατάστασης του κινητήρα στο αεροσκάφος. Ένα βασικό χαρακτηριστικό της σχεδίασης και κατασκευής της βάσης στήριξης του κινητήρα είναι ότι διασφαλίζει την απλή και σύντομη αφαίρεση και επανατοποθέτηση του κινητήρα στο αεροσκάφος. Στα μονοκινητήρια εμβολοφόρα αεροσκάφη η βάση στήριξης είναι συνήθως ένα απλό δικτύωμα. Ο κινητήρας προσαρμόζεται στη μετωπική επιφάνεια του δικτύωματος της βάσης στήριξής του. Το δικτύωμα της βάσης στήριξης είναι συνήθως κατασκευασμένο από συγκολλημένες σωλήνες χρωμιομολυβδενιούχου χάλυβα. Η βάση στήριξης του κινητήρα προσαρμόζεται, συνήθως σε αντιπυρικό διάφραγμα. Ο κινητήρας στερεώνεται στη βάση στήριξής του με βλήτρα ή κοχλίες και αντιδονιστικά έδρανα.

## 4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΛΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ

### 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε ότι ακολουθεί, σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξετάσουμε την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα διάφορα τμήματα του αεροσκάφους, επιμένοντας κυρίως στην αλληλεπίδραση πτέρυγας-ατράκτου, αεροσκάφους τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά της πτέρυγας, επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τις επιδόσεις του αεροσκάφους.

### 4.2. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΤΕΡΥΓΑΣ - ΑΤΡΑΚΤΟΥ

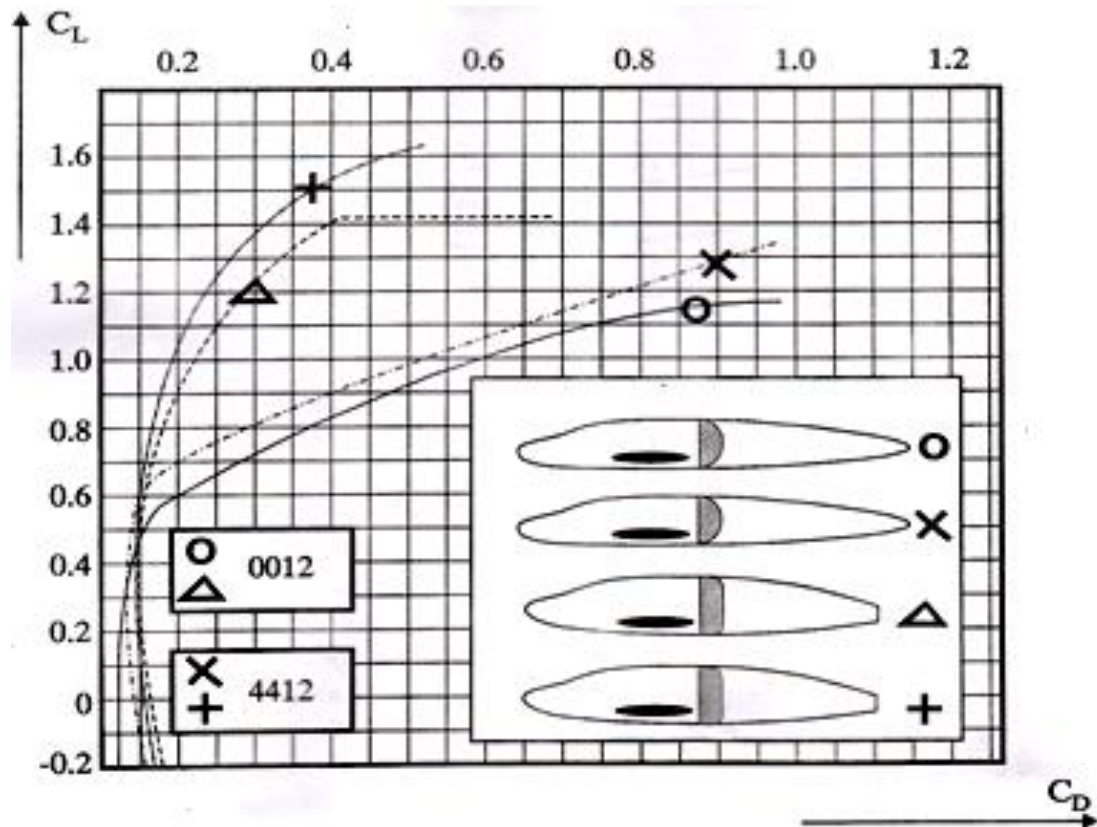
Θα θεωρήσουμε μια άτρακτο μόνη της μέσα στην ροή, με γωνία προσβολής  $\alpha$  (δηλαδή ο διαμήκης άξονας της σχηματίζει γωνία  $\alpha$  με την διεύθυνση της ροής). Η ταχύτητα ( $V$ ) της ροής, μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες ( $V_{\eta\mu\alpha}$ ) και ( $V_{\sigma\upsilon\nu\alpha}$ ) αντίστοιχα κάθετα και παράλληλα προς τον διαμήκη άξονα της ατράκτου. Μπορούμε έτσι να θεωρήσουμε ότι η άτρακτος βρίσκεται μέσα σε δύο ροές: μια διαμήκη, με ταχύτητα ( $V_{\sigma\upsilon\nu\alpha}$ ) και μια εγκάρσια με ταχύτητα ( $V_{\eta\mu\alpha}$ ).

Η εγκάρσια και η διαμήκης ροή θα επιταχύνονται, καθώς θα παρακάμπτουν την άτρακτο. Αν τώρα η άτρακτος αυτή ενωθεί με μια πτέρυγα, είναι προφανές ότι η πραγματική γωνία προσβολής της πτέρυγας, θα έχει διαφορετική τιμή απ' ότι αν δεν υπήρχε η άτρακτος και αυτό εξαιτίας της ύπαρξης της εγκάρσιας ροής. Η αλληλεπίδραση πτέρυγας-ατράκτου στις μικρές γωνίες προσβολής εκδηλώνεται κυρίως με τις μεταβολές στην κατάσταση των οριακών στρωμάτων τόσο της πτέρυγας όσο και της ατράκτου.

Όσο αυξάνει η γωνία προσβολής του αεροσκάφους η αποκόλληση του οριακού στρώματος στην περιοχή που ενώνεται η πτέρυγα με την άτρακτο αποτελεί το βασικό στοιχείο της αλληλεπίδρασης. Το τυρβώδες απόρρευμα που δημιουργείται από την αποκόλληση διαταράσσει επίσης την ροή πάνω από την άτρακτο. Η ύπαρξη των αποκολλήσεων συνδέεται με την μεταβολή της διατομής που συναντά ο αέρας στην περιοχή που ενώνεται η πτέρυγα με την άτρακτο, διατομή που εξαρτάται από το σχήμα σε τομή της ατράκτου, σε εκείνη την περιοχή, καθώς και από τη θέση της πτέρυγας. Το Σχήμα (9) δείχνει την εξέλιξη του συντελεστή  $C_L$ , σε συνάρτηση με το  $C_D$ , για ατράκτους διαφορετικών διατομών, στις οποίες οι πτέρυγες είναι τοποθετημένες σε διαφορετικές θέσεις.

Αυτές οι καμπύλες είναι αποτέλεσμα μετρήσεων μέσα σε αεροσήραγγα και το συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε είναι το εξής: εξ' αιτίας της καμπυλότητας της πτέρυγας, η ροή συναντά αυξημένες διατομές (αποκλίνον). Αυτό το αποκλίνον συμπληρώνεται από την καμπυλότητα του σχήματος της ατράκτου. Το αποτέλεσμα είναι η επιβράδυνση της ροής, άρα η αύξηση της στατικής πίεσης, με αποτέλεσμα την επιβράδυνση και τελικά την αποκόλληση του οριακού στρώματος. Μία λύση είναι να χρησιμοποιηθεί άτρακτος με ωειδή διατομή και πτέρυγα με διέδρο.





Σχήμα 9: Εξέλιξη  $C_L$  συναρτήσει  $C_D$

Στην περίπτωση αεροσκάφους σχετικά μικρής ταχύτητας, όπου οι πτέρυγες δίνουν μεγάλο  $C_L$ , επειδή βρίσκονται σε μεγάλη γωνία προσβολής, η διατομή της ατράκτου κατά τον διαμήκη άξονα της μεταβάλλεται, έτσι ώστε το σχήμα της (της ατράκτου) να είναι παρόμοιο με εκείνο των ρευματικών γραμμών γύρω από τη πτέρυγα για δεδομένο  $C_L$ . Έτσι, είναι δυνατόν η γωνία μηδενικής άντωσης να έχει περίπου σταθερή τιμή είτε θεωρήσουμε την πτέρυγα μόνη της, είτε μαζί με την ατράκτο. Για αεροσκάφη μεγάλων ταχυτήτων, συνήθως χρησιμοποιείται ατράκτος με μεγάλη εκλέπτυνση (δηλαδή μεγάλο λόγο μήκους / μέγιστου πλάτους, κυκλικής διατομής). Τώρα αν θεωρήσουμε, ότι η άντωση της πτέρυγας μεταβλήθηκε κατά  $L_n$  (εξ' αιτίας της παρουσίας της ατράκτου), τότε έχουμε:

α) Συνολική άντωση συστήματος πτέρυγας-ατράκτου για γωνία προσβολής  $\alpha$ :

$$L = L_n (1 + a)^2 \quad [4.1]$$

β) Άντωση πτέρυγας, μόνο:

$$L = L_n (1 + \sigma) \quad [4.2]$$

γ) Άντωση ατράκτου:

$$L = L_n \sigma (1 + \sigma)^2 \quad [4.3]$$

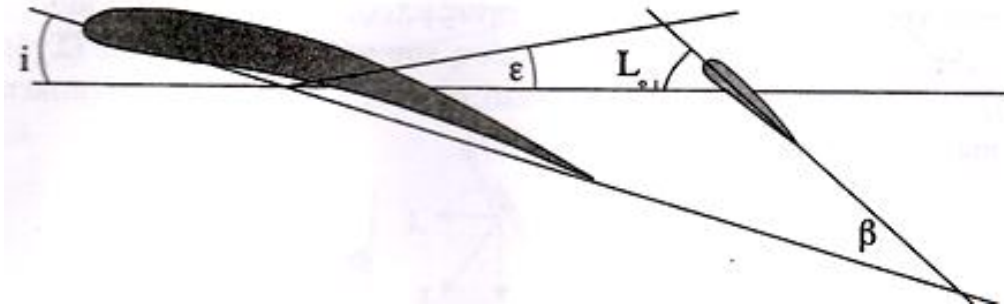
Όπου:

$\sigma$  = Πλάτος ατράκτου στο σημείο σύνδεση με την πτέρυγα.

Στον υπολογισμό των αντώσεων στις σχέσεις (4.1) και (4.2) έχει ληφθεί υπ' όψη και η αλληλεπίδραση.

#### 4.3. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΤΡΑΚΤΟΥ - ΠΤΕΡΥΓΑΣ - ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ

Η αλληλεπίδραση Ατράκτου - Οριζοντίου σταθερού, είναι ακριβώς, όπως εκείνη μεταξύ Ατράκτου - Πτέρυγας. Εξετάζοντας όμως ολόκληρο το αεροσκάφος, πρέπει να ληφθεί υπ' όψη και η διεύθυνση της ροπής πίσω από το χείλος εκφυγής της πτέρυγας, που εξαρτάται από το απόρρευμα. Το Σχήμα (10) συνοψίζει την κατάσταση:



Σχήμα 10: Αλληλεπίδραση Ατράκτου - Πτέρυγας - Οριζοντίου Σταθερού

Στο Σχήμα 10 διακρίνονται τα ακόλουθα:

- $L_{oi}$  = Γωνία ανάμεσα στην χορδή της πτέρυγας (ή όποιας άλλης ευθείας αναφοράς του αεροσκάφους) και της διεύθυνσης της αδιατάρακτης ροής
- $\varepsilon$  = Απόκλιση της ροής, από την αρχική της διεύθυνση, πίσω από την πτέρυγα εξ' αιτίας του κατωρεύματος
- $\beta$  = Γωνία σφήνωσης του οριζοντίου σταθερού (στην προκειμένη περίπτωση γωνία ανάμεσα στις χορδές της πτέρυγας και του οριζοντίου σταθερού)
- $L_{oi}$  = Γωνία σφήνωσης του οριζοντίου σταθερού.

Από το Σχήμα (4.2) βλέπουμε ότι:

$$L_{oi} = i - \varepsilon + \beta \quad [4.4]$$

Πρέπει εδώ να διευκρινιστεί, ότι το οριζόντιο σταθερό που εξετάστηκε βρισκόταν σε «κλασική» θέση στο πίσω άκρο της ατράκτου. Αν το οριζόντιο σταθερό που εξετάστηκε, βρίσκεται στην μέση ή στην κορυφή του κάθετου σταθερού, θα επηρεάζεται λιγότερο από την παρουσία της ατράκτου, τουλάχιστον στις μικρές γωνίες προσβολής, ενώ και η τιμή της  $\varepsilon$  θα είναι μικρότερη. Ο συλλογισμός όμως εξακολουθεί να ισχύει.

#### 4.4. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ - ΚΑΘΕΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ

Η ροή γύρω από το κάθετο σταθερό επηρεάζεται, όπως είναι φυσικό, από το οριακό στρώμα της ατράκτου, καθώς και από τα οριζόντια σταθερά κυρίως σε πτήση με μεγάλη

γωνία προσβολής. Σε αυτή την παράγραφο θα εξετάσουμε το ουραίο πτέρωμα σαν σύνολο και θα δούμε τις πιο συνηθισμένες του μορφές.

#### A. Ουραίο Πτέρωμα με Οριζόντια Σταθερά

Το οριζόντιο σταθερό αυξάνει την δραστικότητα του καθέτου σταθερού περίπου κατά 10% κατά μέσο όρο, σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα. Αυτή η αύξηση της δραστικότητας μπορεί να μειωθεί στο μισό, αν το οριζόντιο σταθερό βρίσκεται στη μέση του κάθετου σταθερού και να αυξηθεί στο μέγιστο δυνατό, αν το οριζόντιο σταθερό βρίσκεται στην κορυφή του κάθετου.

Αυτή η τελευταία διάταξη εξασφαλίζει, ότι το οριζόντιο σταθερό βρίσκεται μακριά από τις διαταραχές, που προκαλεί η πτέρυγα, καθώς και αυξημένη πορειακή ευστάθεια εξ' αιτίας του φαινομένου της διέδρου. Το μειονέκτημά της είναι ότι, επειδή ακριβώς το οριζόντιο σταθερό βρίσκεται μακριά από την διαταραχή που προκαλούν οι πτέρυγες, καθυστερεί την εμφάνιση των προειδοποιητικών σημάτων για Απώλεια Στήριξης.

#### B. Ουραίο Πτέρωμα Σχήματος "V" και "Y"

Το Ουραίο Πτέρωμα σχήματος "V" έχει, σε σχέση με τους προηγούμενους τύπους, το πλεονέκτημα μικρότερης αλληλεπίδρασης με την άτρακτο (εφόσον αποτελείται από ένα τμήμα λιγότερο), άρα μικρότερη οπισθέλκουσα. Το αεροσκάφος, ελέγχει την διεύθυνση και το ύψος του, χρησιμοποιώντας τα πηδάλια του ουραίου αυτού. Τα μειονέκτημα αυτού του Ουραίου είναι ότι οι δυνάμεις "L" τείνουν να το περιστρέφουν γύρω από τον διαμήκη άξονα του αεροσκάφους, καταπονώντας έτσι το πίσω μέρος της ατράκτου σε στρέψη. Το Ουραίο Πτέρωμα σχήματος "Y" είναι ένα Ουραίο Πτέρωμα σχήματος "V" τροποποιημένο έτσι ώστε, να απομακρυνθεί από το οριακό στρώμα της ατράκτου.

### 4.5. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΛΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

Πέρα από την άτρακτο και τις φέρουσες επιφάνειες υπάρχουν και άλλα στοιχεία του αεροσκάφους που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, επηρεάζοντας την ολική οπισθέλκουσα. Αυτά τα στοιχεία είναι οι υπεραντωτικές διατάξεις, όταν χρησιμοποιούνται, το σύστημα προσγείωσης, τα εξωτερικά φορτία, το ελικόρευμα της έλικας ή των ελίκων, κ.ά..

Η αεροδυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ όλων των στοιχείων του αεροσκάφους, επιδρά άμεσα στον έλεγχο και την ευστάθειά του, άρα στην πτητική του συμπεριφορά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατακόρυφη θέση των πτερυγίων ως προς την άτρακτο, αν δηλαδή, το αεροσκάφος είναι χαμηλοπτέρυγο, μεσοπτέρυγο ή υψηλοπτέρυγο. Αυτή η θέση επηρεάζει την εγκάρσια ευστάθεια του αεροσκάφους.

Εξ' αιτίας της αεροδυναμικής αλληλεπίδρασης, πτέρυγας - ουραίου, όπως είδαμε και προηγούμενα, επηρεάζεται η διαμήκης ευστάθεια, ενώ η αεροδυναμική αλληλεπίδραση πτέρυγας - καθέτου σταθερού επηρεάζει την πορειακή ευστάθεια.

## 5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

### 5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Για την κατασκευή ενός σύγχρονου αεροσκάφους απαιτείται η εφαρμογή όλης της σύγχρονης τεχνολογίας. Αυτό αποδεικνύεται και από ορισμένους αντιπροσωπευτικούς αριθμούς του κόστους προμήθειας του αεροσκάφους και του κόστους συντήρησης. Πιο συγκεκριμένα η αξία ενός σύγχρονου μαχητικού αεροσκάφους με πλήρη εξοπλισμό είναι περίπου 2.000 φορές μεγαλύτερη από ένα μέσο επιβατικό αυτοκίνητο. Η γενική επισκευή που περιλαμβάνει τους αναγκαίους ελέγχους, την επισκευή της δομής του και την αντικατάσταση προβληματικών τμημάτων και μηχανισμών του αεροσκάφους, απαιτεί περίπου 10.000 εργατοώρες.

Ανάλογα με το είδος του αεροσκάφους που πρόκειται να κατασκευασθεί (υποηχητικό, υπερηχητικό, κ.τ.λ.), διαφέρει και ο τρόπος υπολογισμού και κατασκευής του. Για την κατασκευή του πρωτότυπου αεροσκάφους, η εργασία μπορεί να κατανεμηθεί σε τέσσερις διαφορετικές φάσεις οι οποίες είναι:

- Αρχική σχεδίαση.
- Θεωρητική μελέτη.
- Πειραματική μελέτη - Κατασκευή.
- Συναρμολόγηση - Δοκιμή.

### 5.2. ΑΡΧΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ

Ειδικοί μηχανικοί, οι σχεδιαστές, εκπονούν τα πρώτα γενικά σχέδια του αεροσκάφους με τη βοήθεια στατιστικών στοιχείων, ατομικής εμπειρίας, αρχική προδιαγραφή και με βάση τους διεθνείς κανονισμούς της κατηγορίας (π.χ. FAR 23) του αεροσκάφους που πρόκειται να κατασκευασθεί. Η αρχική προδιαγραφή που συντάσσεται από τον κατασκευαστή ή από τους πελάτες περιλαμβάνει τις επιδόσεις, τα βάρη, τη γεωμετρία, τη χρήση, τον εξοπλισμό και άλλες σημαντικές παραμέτρους για την αρχική σχεδίαση του αεροσκάφους.

### 5.3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στη φάση αυτή εκτελείται θεωρητική μελέτη Αεροδυναμικής, Αντοχής, Μηχανικής πτήσεως, Αεροελαστικότητας και Συστημάτων στα ανάλογα τμήματα του εργοστασίου κατασκευής. Η θεωρητική μελέτη της αντοχής, έχει τη μεγαλύτερη σημασία και παρουσιάζει τη μεγαλύτερη δυσκολία σε σχέση με τις άλλες μελέτες. Ο λόγος είναι ότι στην αντοχή δεν υπάρχει θεωρία ομοιότητας. Συνεπώς, τα πειράματα αντοχής που πρέπει να γίνονται για λόγους ασφαλείας που επιβάλλουν οι κανονισμοί, πραγματοποιούνται σε αεροσκάφη πραγματικού μεγέθους και συγκεκριμένα στο πρωτότυπο ή στα πρωτότυπα αεροσκάφη.

Σε αντίθεση με τη θεωρητική μελέτη της αντοχής, η θεωρητική Αεροδυναμική μελέτη δεν έχει τόσο μεγάλη σημασία επειδή λόγω της ομοιότητας η πειραματική μελέτη γίνεται στην αεροσήραγγα με μικρό ομοίωμα αεροσκάφους. Εκτός αυτού, οι μεγάλες δυνάμεις (φορτία), ο μικρός στατικός συντελεστής ασφαλείας (1.5) και η πολυπλοκότητα της κατασκευής δημιουργούν δυσκολίες υπολογισμού σε βαθμό τέτοιο που ο υπολογισμός με κλασσικές

θεωρίες είναι πλέον αδύνατος. Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών (ταχύτητα, μνήμη, προγράμματα) και η χρησιμοποίηση κατάλληλων μεθόδων βασισμένων στη θεωρία των πινάκων (πεπερασμένα στοιχεία), αντιμετώπισε πλήρως το πρόβλημα της θεωρητικής μελέτης της αντοχής του αεροσκάφους.

Μπορεί η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και αριθμητικών μεθόδων να βοήθησαν πάρα πολύ, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι η εφαρμογή τους είναι κάτι απλό. Η γνώση και η εμπειρία της κλασσικής αντοχής του αεροσκάφους σε συνδυασμό με τους εξελιγμένους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και τις καινούργιες μεθόδους, αποτελούν σήμερα τον κορμό της δομικής σχεδίασης ενός αεροσκάφους.

Φυσικά για τη διεξαγωγή της θεωρητικής μελέτης της αντοχής, απαιτείται η γνώση των περιπτώσεων φόρτισης που δίνονται από ειδικό τμήμα του εργοστασίου κατασκευής. Αυτές οι περιπτώσεις φόρτισης, που εμφανίζονται και συνδυασμένα βασίζονται στις αεροδυναμικές δυνάμεις, στις δυνάμεις που αναπτύσσονται όταν το αεροσκάφος κινείται στο έδαφος, στις δυνάμεις που αναπτύσσονται από τον κινητήρα και στις αδρανειακές δυνάμεις που λαμβάνονται από το διάγραμμα ελιγμών (V - η) συμπληρωμένο με ριπές. Επειδή οι τιμές των δυνάμεων αυτών μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της πτήσης, επιλέγονται οι κρίσιμότερες τιμές τους (κρίσιμες περιπτώσεις φόρτισης).

Ανάλογα με το είδος του αεροσκάφους, μπορεί επιπλέον να παρουσιασθούν και καταπονήσεις λόγω διαφοράς θερμοκρασιών, συμπίεσης (τεχνητή ατμόσφαιρα), γυροσκοπικών και ηχητικών φαινομένων. Στη θεωρητική μελέτη αντοχής μπορεί να περιληφθεί και μελέτη αντοχής σε κόπωση (κυρίως πειραματική). Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί εκτενέστερα η τεράστια σημασία που έχει η κόπωση στη σχεδίαση και αντοχή των αεροσκαφών.

Η αεροδυναμική μελέτη, που γίνεται σχεδόν συνδυασμένα με τη μελέτη Μηχανικής Πτήσεως, έχει σκοπό την εύρεση των αντώσεων, των οπισθελκουσών και τον προσδιορισμό της κατανομής τους. Ο υπολογισμός των δυνάμεων αυτών επιτυγχάνεται με εφαρμογή διαφόρων μεθόδων, όπως π.χ. των φερουσών γραμμών και επιφανειών καθώς και με αριθμητικές μεθόδους. Κατά τη διάρκεια της πτήσης και αυτές οι δυνάμεις μεταβάλλονται σημαντικά. Η Μηχανική πτήσης ασχολείται βασικά με τον υπολογισμό των επιδόσεων, τον έλεγχο, την ευστάθεια και τους ελιγμούς του αεροσκάφους. Στο γενικό όρο «επίδοσεις», περιλαμβάνονται οι διάφορες ταχύτητες, η εμβέλεια η οροφή, η αυτονομία, το ωφέλιμο φορτίο, το μήκος του διαδρόμου από/προσγείωσης που χρειάζεται το αεροσκάφος. κ.ά..

#### **5.4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

Μετά τη διεξαγωγή της πρώτης και της δεύτερης φάσης, αρχίζει η πειραματική επιβεβαίωση της Αεροδυναμικής μελέτης και μερικώς της Μηχανικής Πτήσεως. Η πειραματική αυτή μελέτη γίνεται μέσα σε αεροσήραγγα. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται συμπαγές ομοίωμα (μοντέλο) του αεροσκάφους, που το μέγεθος του μικραίνει όσο η ταχύτητα του πραγματικού αεροσκάφους που θα κατασκευασθεί αυξάνει.

Για τα υποηχητικά αεροσκάφη κατασκευάζονται μοντέλα μερικών μέτρων, ενώ για τα υπερηχητικά το μήκος αυτό μπορεί να κατέβει ακόμα και σε εκατοστά. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τις δοκιμές στην αεροσήραγγα, ισχύουν και για το πραγματικό αεροσκάφος, αν το μοντέλο είναι γεωμετρικά και αεροδυναμικά όμοιο, με το πραγματικό αεροσκάφος. Γεωμετρικά όμοιο σημαίνει ότι κάθε διάσταση του πραγματικού αεροσκάφους είναι πολλαπλάσιο των διαστάσεων του μοντέλου, όπως π.χ. μήκος, εκπέτασμα, χορδή, μέγιστο πάχος αεροτομής, θέση μέγιστου πάχους, κ.τ.λ.

Αεροδυναμικό όμοιο σημαίνει ότι το μοντέλο και το πραγματικό αεροσκάφος πρέπει να έχουν βασικά τον ίδιο αριθμό Re και τον ίδιο αριθμό Mach. Τότε οι μετρήσεις που μας δίνει ο ζυγός των αεροσηράγγων, δηλ. οι τρεις συντελεστές δυνάμεων και οι τρεις συντελεστές ροπών, θα είναι οι ίδιοι και στο πραγματικό αεροσκάφος. Στο σημείο αυτό θεωρείται σκόπιμο να υπενθυμίσουμε ότι αριθμός Mach δίδεται από τη σχέση:

$$Ma = \frac{V}{a} \quad [5.1]$$

Όπου:

$V$  = η ταχύτητα πτήσης  
 $a$  = η ταχύτητα του ήχου στο ύψος πτήσης.

Ο αριθμός Reynolds δίδεται από τη σχέση:

$$Re = \frac{V \cdot c}{\nu} \quad [5.2]$$

Όπου:

$c$  = η χορδή της αεροτομής  
 $\nu$  = το κινηματικό ιξώδες.

Από τις σχέσεις αυτές συμπεραίνουμε ότι με την ίδια ταχύτητα του αεροσκάφους ο αριθμός  $Ma$  πτήσης μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος πτήσης, δηλ. με την ταχύτητα του ήχου  $a$ :

$$a = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad [5.3]$$

Όπου:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad [5.4]$$

Όπου:

$C_p$  = ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση  
 $C_v$  = ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο

Επίσης συμπεραίνουμε ότι μεγάλος αριθμός  $Re$  σημαίνει γρήγορο και μεγάλο αεροσκάφος.

Τα μεγάλα όπως π.χ. το A380 έχουν αριθμό  $Re$  μεγαλύτερο από  $130 \times 10^6$ , με αποτέλεσμα οι κλασικές αεροσήραγγες να μη μπορούν να επιτύχουν αριθμό ίδιο με αυτό του αεροσκάφους. Η επίτευξη του ίδιου αριθμού  $Re$  στις αεροσήραγγες έγινε μόνο με τη χρήση των κρυογεννητικών αεροσηράγγων. Στις αεροσήραγγες αυτές, η αύξηση του  $Re$  δεν προέρχεται μόνο από την αύξηση της ταχύτητας ή της χορδής, αλλά με μείωση του λόγου του (κινηματικό ιξώδες) του αερίου μέσου που χρησιμοποιείται και είναι:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [5.5]$$

Πιο συγκεκριμένα, αντί αέρας χρησιμοποιείται άζωτο σε θερμοκρασία  $180^\circ \text{C}$ .

Στη συνέχεια στη φάση αυτή αρχίζει η σχεδίαση των λεπτομερών κατασκευαστικών σχεδίων και ακολουθεί η παράλληλη κατασκευή των διάφορων τμημάτων του αεροσκάφους, όπως της πτέρυγας, των πηδαλίων, των τμημάτων της ατράκτου, κ.τ.λ..

Μετά την κατασκευή των διαφόρων τμημάτων ακολουθεί ο πειραματικός έλεγχος της αντοχής των τμημάτων αυτών που γίνεται κατά βάση με μέτρηση των αναπτυσσομένων τάσεων για τις διάφορες περιπτώσεις φορτίσεων. Η καταπόνηση επιτυγχάνεται συνήθως με υδραυλικούς κυλίνδρους και η μέτρηση των τάσεων και των παραμορφώσεων με επιμηκυσιόμετρα.

Στη συνέχεια, συναρμολογείται το αεροσκάφος και γίνεται έλεγχος αντοχής ολόκληρου του αεροσκάφους σε στατικά και δυναμικά φορτία καθώς και έλεγχος αντοχής σε κόπωση. Κατά τον έλεγχο αυτόν, το αεροσκάφος υπόκειται σε δυναμική εναλλασσόμενη καταπόνηση που αντιστοιχεί σε εξομίωση πτήσης δεκάδων χιλιάδων ωρών, όπως προβλέπεται από την προδιαγραφή.

Στην περίπτωση υπερηχητικών αεροσκαφών εκτελούνται επίσης δοκιμές ηχητικής κόπωσης. Χαρακτηριστική είναι η δοκιμή της ατράκτου για αντοχή σε τεχνητή ατμόσφαιρα. Η δοκιμή αυτή γίνεται ακόμα και σήμερα με εμβάπτιση της ατράκτου σε δεξαμενή νερού.

Φυσικά ανεξάρτητες δοκιμές γίνονται και στα διάφορα συστήματα και μέρη του αεροσκάφους, όπως στο σύστημα διασώσεως για τα μαχητικά αεροσκάφη με θρυμματισμό της καλύπτρας, έλεγχος της με καταιγισμό πτηνών και χαλάζι μεγάλης διαμέτρου, στο σύστημα προσγείωσης για διαπίστωση του βαθμού απόσβεσης του συστήματος προσγείωσης, στο σύστημα αποπαγωποίησης, κ.τ.λ..

## **5.5. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΙΣΗ - ΔΟΚΙΜΗ**

Στη τελική αυτή φάση τοποθετούνται στο αεροσκάφος τα επιμέρους τμήματα που δεν ήταν αναγκαία στη δοκιμή αντοχής, καθώς και τα επιμέρους συστήματα, μηχανισμοί και όργανα. Στη συνέχεια ακολουθεί η δοκιμή στο έδαφος και μετά σε πτήση. Οι δοκιμές πτήσης γίνονται με ένα ή περισσότερα πρωτότυπα και φτάνουν σε αρκετές χιλιάδες ώρες.

Αφού εκπληρωθούν οι όροι της προδιαγραφής και οι διεθνείς κανονισμοί κατασκευής και ασφαλείας, το αεροσκάφος παίρνει πιστοποιητικό πλοϊμότητας από την αρμόδια στρατιωτική ή πολιτική υπηρεσία ή και από τις δύο και στη συνέχεια παραδίδεται για εκμετάλλευση. Είναι χαρακτηριστικό ότι λόγω του ανταγωνισμού, τα αεροσκάφη σήμερα παίρνουν πιστοποιητικό πλοϊμότητας από περισσότερες από μία χώρες, θέλοντας με αυτόν τον τρόπο να βεβαιώσουν την ποιότητα και την αξιοπιστία τους.

Αξιοσημείωτο είναι ότι ένα αεροσκάφος συναρμολογείται σε ένα εργοστάσιο το οποίο κατασκευάζει ταυτόχρονα διάφορα τμήματα του και θεωρείται ο κατασκευαστής. Κατά κανόνα, συμμετέχουν ταυτόχρονα πολλά εργοστάσια στην κατασκευή διαφόρων τμημάτων και συστημάτων του αεροσκάφους. Τα τμήματα αυτά μεταφέρονται στο εργοστάσιο κατασκευής, ελέγχονται και συναρμολογούνται.

## **6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΡΧΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΔΟΜΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ**

### **6.1. ΓΕΝΙΚΑ**

Με βάση τη φιλοσοφία Fail Safe που εφαρμόζεται, κατά κανόνα στη σχεδίαση και κατασκευή των αεροσκαφών, στο αεροσκάφος κατά τη λειτουργία του προκαλούνται ρωγμές, διαβρώσεις και γενικά διάφορες αστοχίες. Οι αστοχίες αυτές πρέπει να αποκατασταθούν έγκαιρα με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή. Σε διαφορετική περίπτωση μειώνεται συνεχώς η αντοχή του αεροσκάφους. Πολλές περιπτώσεις αστοχιών της δομής του αεροσκάφους περιγράφονται στα τεχνικά εγχειρίδιά του. Τα εγχειρίδια που αφορούν την επισκευή της δομής είναι γνωστά ως «εγχειρίδια επισκευής δομής» (Structural Repair manual).

Το εγχειρίδιο επισκευής της δομής ενός αεροσκάφους περιγράφει λεπτομερώς και με κατασκευαστικά σχέδια τις μεθόδους, τις διαδικασίες, τα υλικά, τη σειρά των εργασιών επισκευής και τα απαιτούμενα ειδικά εργαλεία για τις διάφορες επισκευές της δομής του αεροσκάφους. Υπάρχουν βλάβες και «ευρήματα», όπως π.χ. ρωγμές, συνήθως σε κύρια δομικά στοιχεία του αεροσκάφους και σε κρίσιμες περιοχές, που σύμφωνα με το εγχειρίδιο αυτό δεν προβλέπεται η επισκευή τους από το τεχνικό προσωπικό της εταιρίας που εκμεταλλεύεται τον τύπο του αεροσκάφους. Συνήθως τα ευρήματα διαπιστώνονται κατά τη διάρκεια των προβλεπόμενων επιθεωρήσεων.

Όταν διαπιστωθούν «ευρήματα», όπως ρωγμές, διαβρώσεις ή όταν κάποιο εξάρτημα ή και συγκρότημα του αεροσκάφους υποστεί κακώσεις π.χ. από κάποια μικρή σύγκρουση στο έδαφος, τότε η πρώτη ενέργεια των μηχανικών και του τεχνικού προσωπικού είναι να συμβουλευθούν το εγχειρίδιο επισκευής της δομής του αεροσκάφους. Το τεχνικό προσωπικό, με την επίβλεψη των μηχανικών, προβαίνει σε επισκευή της βλάβης ακολουθώντας πιστά τις οδηγίες που αναφέρονται στο εγχειρίδιο αυτό.

### **6.2. ΒΛΑΒΕΣ ΔΟΜΗΣ**

#### **6.2.1. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΒΛΑΒΗΣ**

Ένα μεγάλο ποσοστό βλαβών της δομής εντοπίζεται κατά τις προγραμματισμένες επιθεωρήσεις του αεροσκάφους. Οι βλάβες αυτές αφορούν συνήθως διαβρώσεις και μικρές ρωγμές. Οι διαβρώσεις διακρίνονται, κατά κανόνα, με γυμνό μάτι χωρίς τη χρήση ειδικών συσκευών, ενώ οι ρωγμές εντοπίζονται και με μη καταστροφικούς ελέγχους με τη βοήθεια συσκευών και υγρών.

Κατά την επιθεώρηση των βλαβών από σύγκρουση του αεροσκάφους ή πτώση ξένου σώματος σ' αυτό, απαιτείται διεξοδικός έλεγχος και επιθεώρηση των στοιχείων του αεροσκάφους που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με αυτά που υπέστησαν ζημιά. Για παράδειγμα σε περίπτωση θραύσης ενός σκέλους του συστήματος προσγείωσης σε αναγκαστική προσγείωση μπορεί να υποστούν βλάβες, όπως παραμορφώσεις ή ρωγμές τα στηρίγματα των κινητήρων καθώς και τμήματα της ατράκτου και των πτερύγων.

Το κρουστικό φορτίο σε ένα στοιχείο του αεροσκάφους μεταφέρεται τόσο στα γειτνιάζοντα στοιχεία όσο και σε απομακρυσμένα στοιχεία που συνδέονται με αυτό. Τυχόν βλάβες της εσωτερικής δομής ενός συγκροτήματος του αεροσκάφους εξωτερικεύονται με



σπάσιμο του χρώματος στους ήλους. Για το λόγο αυτό αρχικά επιθεωρούνται προσεκτικά οι ήλοι στις επικαλύψεις του συγκροτήματος που έχει υποστεί κρούση π.χ. πτέρυγα. Σπασμένοι ήλοι ή ήλοι χωρίς χρώμα δηλώνουν εσωτερικές βλάβες της δομής.

## 6.2.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΒΛΑΒΩΝ

Οι βλάβες των στοιχείων της δομής ενός αεροσκάφους ταξινομούνται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

➤ *Κατηγορία 1<sup>η</sup>:*

**Αμελητέα Βλάβη:** Χαρακτηρίζεται η βλάβη που δεν επηρεάζει την πτητική ικανότητα του αεροσκάφους ή τη δομική αντοχή και ακεραιότητα του στοιχείου. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι αποκαθίσταται προσωρινά με πολύ απλές ενέργειες χωρίς την προσθήκη κάποιας επιπρόσθετης ενίσχυσης. Για παράδειγμα οι μικρές ρωγμές στο κεντρικό κάθετο τμήμα μίας διατομής διπλού T θεωρούνται αμελητέες και αποκαθίστανται με διάνοιξη οπών στα άκρα της, γνωστό ως stop - drill, που παρεμποδίζει την επέκταση της ρωγμής. Επίσης, μικρές κακώσεις σε επικαλύψεις αποκαθίστανται προσωρινά με σφυρηλάτηση καθώς και μικρές διαβρώσεις σε μη δομικά στοιχεία αποκαθίστανται με επάλειψη του προβλεπόμενου αντιδιαβρωτικού υγρού.

➤ *Κατηγορία 2<sup>η</sup>:*

**Επισκευάσιμη Βλάβη με Ενίσχυση:** Η βλάβη της κατηγορίας αυτής αποκαθίσταται με κατάλληλη ενίσχυση της αντοχής του στοιχείου. Το ενισχυτικό υλικό είναι συνήθως τμήμα ελάσματος ή ενισχυτική γωνιά κατάλληλου πάχους από το προβλεπόμενο κράμα αλουμινίου. Επιπλέον, προστίθενται οι οδηγίες επισκευής από το εγχειρίδιο συντήρησης του αεροσκάφους.

➤ *Κατηγορία 3<sup>η</sup>:*

**Επισκευάσιμη Βλάβη με Αποκατάσταση Μέρους:** Η βλάβη αυτή είναι σοβαρότερη των προηγούμενων κατηγοριών. Η αποκατάσταση της βλάβης επιτυγχάνεται με αποκοπή του μέρους του τμήματος που έχει υποστεί ζημιά και αντικατάστασή του από όμοιο γεωμετρικά και ισοδύναμο σε αντοχή τμήμα. Τα τεχνικά εγχειρίδια επισκευής της δομής του αεροσκάφους (Structural Repair manual) περιγράφουν πολυάριθμες περιπτώσεις επισκευών με λεπτομερή καταγραφή των εργασιών και υλικών επισκευής.

➤ *Κατηγορία 4<sup>η</sup>:*

**Βλάβη που απαιτεί Αντικατάσταση Δομικού Στοιχείου ή Τμήματος:** Η αντικατάσταση του εξαρτήματος που έχει υποστεί βλάβη απαιτείται συνήθως όταν:

- Η βλάβη του στοιχείου, συνήθως δομικού, είναι σοβαρή και πέρα από τις προβλεπόμενες ανοχές επισκευής.
- Η αντικατάσταση του στοιχείου είναι προσιτή και εύκολη.
- Δεν υπάρχει προσιτότητα επισκευής.

Υπάρχουν βλάβες, κυρίως σε δομικά υλικά του αεροσκάφους, η επισκευή των οποίων επιτρέπεται μόνο με μεθόδους και σχέδια που εκπονούν οι αρμόδιοι μηχανικοί της εταιρίας κατασκευής του. Σε περιπτώσεις μειζόνων ατυχημάτων, όπως αναγκαστικές προσγειώσεις εκτός διαδρόμου συνυπάρχουν όλες οι ανωτέρω κατηγορίες βλαβών.

Στην κατηγορία της βλάβης αυτής ανήκει και η αντικατάσταση του κάτω κελύφους ενός τμήματος της ατράκτου σε περίπτωση προσγείωσης με υποχώρηση του σκέλους του συστήματος προσγείωσης. Φυσικά η καταστροφή του κάτω κελύφους της ατράκτου προήλθε από το σύρσιμό της στο διάδρομο.

### 6.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ

#### 6.3.1. ΑΚΡΙΒΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ

Οι βλάβες της δομής του αεροσκάφους μπορεί να είναι εξωτερικές, δηλ. να έχουμε άμεση οπτική εικόνα τους και εσωτερικές, δηλ. να μην είναι ορατές. Οι εξωτερικές βλάβες διαπιστώνονται αμέσως, καθότι οφείλονται συνήθως σε προσκρούσεις του αεροσκάφους στο έδαφος, π.χ. στη φάση της προσγείωσης, ενώ οι εσωτερικές διαπιστώνονται συνήθως κατά τις προγραμματισμένες επιθεωρήσεις του αεροσκάφους με ελέγχους που ονομάζονται μη καταστροφικοί έλεγχοι (Νοη Destructive Inspection και σε συντόμηση N.D.I.), π.χ. με υπερήχους. Και στις δύο περιπτώσεις βλαβών αφαιρούμε τα διάφορα εξαρτήματα του αεροσκάφους μέχρι να έχουμε μία πλήρη εικόνα της βλάβης του και ελέγχεται η γεινιάζουσα περιοχή για τυχόν μη ορατές εσωτερικές βλάβες με μη καταστροφικούς ελέγχους από αρμόδιο τεχνικό προσωπικό. Με τον τρόπο αυτό καθορίζεται με ακρίβεια η έκταση της βλάβης και τα στοιχεία του αεροσκάφους που έχουν υποστεί ζημιά.

#### 6.3.2. ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

Ψάχνουμε και εντοπίζουμε στο εγχειρίδιο επισκευών τις οδηγίες επισκευής που αφορούν τη συγκεκριμένη περιοχή και το είδος βλάβης. Εάν η βλάβη είναι επισκευάσιμη, το εγχειρίδιο περιγράφει συνήθως, με λεπτομέρειες τη μέθοδο και τα υλικά επισκευής (σχήμα και διαστάσεις ενισχυτικών ελασμάτων, τύπους ήλων, υλικά επιφανειακής προστασίας, κ.τ.λ.). Στις επισκευές επιφανειών ελέγχου, επειδή τοπικά προστίθεται βάρος προβλέπεται, επιπρόσθετα και ζυγοστάθμιση της επιφανείας ελέγχου μετά την επισκευή.

Στα εγχειρίδια επισκευής της δομής σχεδόν όλων των τύπων αεροσκαφών, προβλέπεται το σταμάτημα της επέκτασης της ρωγμής με διάνοιξη οπών στα άκρα της, γνωστό ως stop – drill. Συνήθως χρησιμοποιείται τρυπάνι διαμέτρου 3/ 32 ή 1/ 8 της ίντσας. Το σταμάτημα της ρωγμής με διάνοιξη οπών στα άκρα της είναι πάντοτε μία προσωρινή επισκευή και πρέπει να ακολουθήσει κατάλληλη ενίσχυση της περιοχής της ρωγμής.

Για την επισκευή της δομής ενός αεροσκάφους πρέπει να τηρηθούν ορισμένες βασικές προϋποθέσεις που αναφέρονται παρακάτω:

##### ➤ Διατήρηση Αρχικής Αντοχής

Η επισκευή ενός στοιχείου της δομής αποσκοπεί στην απόκτηση της αρχικής του αντοχής και λειτουργικότητας με τα γεινιάζοντα στοιχεία. Δεν πρέπει να είναι μικρότερη, διότι υπάρχει η πιθανότητα δημιουργίας αρχικά μικρών ρωγμών και εν συνεχεία θραύσης των στοιχείων. Δεν πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη, διότι μειώνεται η ευκαμψία των στοιχείων και υπάρχει πιθανότητα ανάπτυξης ρωγμών σε άλλα σημεία του στοιχείου που επισκευάζουμε. Επίσης, η επισκευή ενός στοιχείου δεν πρέπει να επηρεάζει τα γεινιάζοντα στοιχεία με τα οποία συνδέεται.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των επισκευών γίνεται με ελάσματα, τα οποία είτε ηλώνονται στις επικαλύψεις που έχουν υποστεί ζημιά είτε διαμορφώνονται στη στράντζα σε ενισχυτικές γωνιές. Η πρώτη ύλη των ενισχυτικών ελασμάτων είναι πάντοτε ίδια με την πρώτη ύλη του στοιχείου που επισκευάζουμε.

Γενικά, η διατήρηση της ίδιας αντοχής επιτυγχάνεται με την ήλωση στο στοιχείο που επισκευάζουμε ενισχυτικών γωνιών ή επικαλύψεων του ίδιου εμβαδού και της ίδιας πάντοτε πρώτης ύλης κατασκευής με αυτό. Κατά κανόνα ισχύει η αρχή ότι, όταν η ενίσχυση είναι εξωτερική το πάχος του ενισχυτικού διαμορφωμένου ελάσματος πρέπει να είναι ίδιο με αυτό του στοιχείου. Όταν η ενίσχυση είναι εσωτερική το πάχος πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερο από αυτό του στοιχείου.

Η γενική αυτή αρχή ισχύει με ακρίβεια στην περίπτωση που το στοιχείο καταπονείται σε εφελκυσμό, θλίψη ή διάτμηση όχι όμως και στην περίπτωση της στρέψης και κάμψης. Όταν ένα στοιχείο καταπονείται σε στρέψη ή κάμψη τότε στις φλάντζες του αναπτύσσονται μέγιστες τάσεις και στο κάθετο τμήμα ελάχιστες. Επιπρόσθετα η φλάντζες συνεισφέρουν στην αντοχή του πολύ περισσότερο από το κάθετο τμήμα. Επειδή στις αιχμηρές γωνίες αναπτύσσονται ρωγμές, οι ενισχυτικές γωνίες και γενικά, τα ενισχυτικά στοιχεία που κατασκευάζονται από ελάσματα στη στράντζα πρέπει να έχουν καμπυλότητα.

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι επισκευής επικαλύψεων: η επικαθήμενη και η χωνευτή. Η επικαθήμενη επικάλυψη χρησιμοποιείται στα αεροσκάφη μικρής ταχύτητας (< 0,5 Ma). Είναι ένα έλασμα που λειαίνεται περιμετρικά, επικάθεται στην επικάλυψη του αεροσκάφους και ηλώνεται εξωτερικά σε αυτήν. Η χωνευτή επικάλυψη χρησιμοποιείται στα αεροσκάφη μεγαλύτερων ταχυτήτων. Φυσικά η διαφορά αυτή οφείλεται στην αύξηση της οπισθέλκουσας με το τετράγωνο της ταχύτητας. Το έλασμα που χρησιμοποιείται στις επισκευές επικαλύψεων είναι πάντοτε του ίδιου πάχους με αυτό της επικάλυψης του αεροσκάφους.

Συνήθως χρησιμοποιείται έλασμα κράματος αλουμινίου 2024 - T4 ή T81 Alclad και σπανιότερα 7075 - T6 Alclad. Στις επισκευές επικαλύψεων τα ελάσματα χρησιμοποιούνται ως έχουν, δηλαδή στην τελική τους θερμική κατεργασία, επειδή δεν απαιτείται διαμόρφωσή τους. Αντιθέτως, όταν τα ελάσματα διαμορφώνονται στη στράντζα, πρέπει να είναι μαλακά, δηλ. ανοπτημένα, διότι διαφορετικά δημιουργούνται ρωγμές κατά τη διαμόρφωσή τους. Μετά τη διαμόρφωση υφίστανται τη προβλεπόμενη θερμική κατεργασία. Οι κάθε είδους ενισχύσεις πριν την ήλωση ασταρώνονται.

Συνήθως, στο εγχειρίδιο επισκευής της δομής του αεροσκάφους καθορίζονται τα στοιχεία του ήλου που θα χρησιμοποιηθεί στην επισκευή δηλ. η πρώτη ύλη κατασκευής και η διάμετρος του. Επίσης καθορίζονται οι σειρές των ήλων της ήλωσης και ο αριθμός ήλων κάθε σειράς. Ο τύπος του ήλου (κοινός ή τυφλός) καθορίζεται από το εάν υπάρχει ή όχι προσιτότητα ήλωσης και από τις δύο πλευρές. Γενικά, προτιμούνται οι κοινοί ήλου έναντι των τυφλών. Ο αριθμός των ήλων σε μία επισκευή καθορίζει την αντοχή της σύνδεσης και εξαρτάται από το πάχος του ελασματος και την έκταση της ζημιάς.

Η διάμετρος του ήλου ανέρχεται συνήθως στο τριπλάσιο του πάχους της επικάλυψης του αεροσκάφους που επισκευάζεται και συγκεκριμένα ο πλησιέστερος αριθμός σε 1/32 της ίντσας είναι η διάμετρος του ήλου. Η πρώτη ύλη κατασκευής των ήλων, εάν δεν προσδιορίζεται στο εγχειρίδιο επισκευής της δομής του αεροσκάφους επιλέγεται να είναι η ίδια με αυτήν των ήλων που χρησιμοποιούνται στην ίδια θέση πριν την επισκευή.

#### ➤ *Διατήρηση του Αρχικού Σχήματος*

Σε κάθε επισκευή το σχήμα και οι διαστάσεις της περιοχής πριν και μετά την επισκευή πρέπει να είναι ίδιες. Στις απλές τοπικές επισκευές, αυτό είναι σχετικά εύκολο και απλό. Στις μεγάλες επισκευές, όπως σε περιπτώσεις μεγάλων ατυχημάτων που χαρακτηρίζονται ως μείζονα ατυχήματα δεν είναι τόσο απλό. Απαιτείται συνεχής έλεγχος των διαστάσεων του σχήματος σε τακτά βήματα των εργασιών επισκευής.

#### ➤ *Διατήρηση Ελάχιστου Επιπρόσθετου Βάρους*

Το βάρος που προστίθεται σε κάθε επισκευή πρέπει να είναι το ελάχιστο δυνατό. Τόσο οι διαστάσεις των ενισχυτικών ελασμάτων ή στοιχείων όσο και ο αριθμός των ήλων, κοχλιών και βλήτρων πρέπει να είναι όσο απαιτείται για την αντοχή της σύνδεσης. Η γνώση του είδους καταπόνησης των στοιχείων του αεροσκάφους είναι πολύ χρήσιμη στη μείωση του επιπρόσθετου βάρους επισκευής.

#### ➤ *Παράδειγμα*

Σε μία επισκευή δοκού της πτέρυγας αεροσκάφους που έχει υποστεί θραύση από κάποια σύγκρουση, εφόσον προβλέπεται επισκευή, μπορεί να μειώσει κανείς το επιπρόσθετο βάρος επισκευής ενισχύοντας μόνο τις φλάντζες της δοκού και όχι το κάθετο τμήμα της. Γενικά, στο κάθετο τμήμα της δοκού οι αναπτυσσόμενες τάσεις κάμψης είναι

μικρότερες και συγκεκριμένα στο μέσο είναι μηδενικές και δεν απαιτείται ενίσχυση. Για το λόγο αυτό στο κάθετο τμήμα ανοίγουμε ελαφρυντικές οπές.

Μία πολύ συχνή ελασματοουργική εργασία είναι η επισκευή των επιφανειών ελέγχου του αεροσκάφους. Το επιπρόσθετο βάρος της επισκευής αλλάζει την κατάσταση ζυγοστάθμισης των επιφανειών ελέγχου και απαιτείται εκ νέου ζυγοστάθμιση. Για το λόγο αυτό ζυγίζουμε την προς επισκευή επιφάνεια ελέγχου πριν και μετά την επισκευή και προσδιορίζουμε το επιπρόσθετο βάρος επισκευής.

Τέλος, μετά την ολοκλήρωση εκτεταμένων επισκευών σε ένα αεροσκάφος απαιτείται ζυγοστάθμισή του.

### **6.3.3. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΕ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

Τα τελευταία χρόνια άρχισαν να εφαρμόζονται τα σύνθετα υλικά στην επισκευή μεταλλικών δομών με τη χρήση ενισχυτικών επιθεμάτων. Τα επιθέματα επικολλούνται επάνω στην περιοχή που απαιτείται ενίσχυση λόγω ύπαρξης ρωγμών, διάβρωσης ή κάποιας άλλης αστοχίας. Η τεχνική αυτή ονομάζεται Composite Patch Repair. Έχει πολλά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους επισκευών, δηλ. των μεταλλικών επιθεμάτων με τη χρήση ήλων και κοχλιών.

Τα βασικά πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

- Δεν ανοίγονται οπές στην προς επισκευή δομή.
- Μειώνεται η συγκέντρωση τάσεων στην περιοχή της αστοχίας.
- Δεν απαιτείται προσιτότητα και από τις δύο πλευρές της δομής.
- Μειώνεται ο χρόνος επισκευής.
- Ελαχιστοποιείται η διάβρωση της περιοχής που επισκευάζεται.
- Αυξάνεται η στεγανότητα της επισκευής.
- Παρέχει λεία εξωτερική επιφάνεια και συνεπώς καλύτερη αεροδυναμική διαμόρφωση.

Τα βασικά μειονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

- Δεν υπάρχει δυνατότητα αποσυναρμολόγησης.
- Απαιτούνται αυστηρότατες περιβαλλοντολογικές συνθήκες επισκευής, όπως πολύ επιμελημένη καθαριότητα και ξηρό περιβάλλον.
- Δυσκολότερη επιθεώρηση και έλεγχος της περιοχής επισκευής.
- Δυσκολότερη αφαίρεση της επίστρωσης - ενίσχυσης.

Σημειώνεται ότι το πάχος της επίστρωσης με σύνθετα υλικά κυμαίνεται από 1/64 έως 1/2 της ίντσας.

## **6.4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ**

### **6.4.1. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

Στα σύγχρονα αεροσκάφη, όπως αναφέραμε σε ειδικό κεφάλαιο, η χρήση των σύνθετων υλικών αυξάνεται διαχρονικά. Τα τμήματα του αεροσκάφους που είναι κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά επισκευάζονται σε περίπτωση αστοχίας κατά κανόνα με σύνθετα υλικά.

Η διαδικασία επισκευής ενός εξαρτήματος κατασκευασμένου από σύνθετο υλικό με σύνθετα υλικά συνοπτικά συνίσταται στις ακόλουθες κατά βήματα εργασίες:

- Επιμελής αφαίρεση της περιοχής που έχει υποστεί αστοχία.
- Προεργασία της περιοχής επισκευής.
- Η αφαίρεση της περιοχής αστοχίας από το εξάρτημα γίνεται ανάλογα με την έκταση της ζημιάς είτε σύμφωνα με κατάλληλη κωνική διαμόρφωση των ακμών είτε κατά επιστρώσεις - «στρώματα».
- Είναι σημαντικό, η αφαίρεση του υλικού να γίνεται σε συγκεκριμένες επιστρώσεις του σύνθετου υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το προς επισκευή εξάρτημα.
- Κατά την αφαίρεση του υλικού δε λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση των ενισχυτικών ινών του.
- Κατά αναλογία προς τις επισκευές μεταλλικών εξαρτημάτων-στοιχείων απαιτείται το στρογγύλευμα των ακμών στην περιοχή αφαίρεσης υλικού. Επίσης, τα επιθέματα από τις επιστρώσεις του σύνθετου υλικού πρέπει να είναι στρογγυλευμένα περιμετρικά.

Ένας εμπειρικός κανόνας για τη διαμόρφωση των ακμών κατά την αφαίρεση υλικού είναι ότι η εκλέπτυνση κάθε επίστρωσης είναι της τάξεως των 12.5 mm (1/2 inch). Η απόσταση από την ακμή του υλικού που αφαιρείται κυμαίνεται από 20 έως 120 φορές του πάχους του. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται επισκευές εξαρτημάτων κατασκευασμένων από σύνθετα υλικά με μεταλλικά επιθέματα.

#### **6.4.2. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Όπως έχει αναφερθεί οι κυψελοειδείς κατασκευές χρησιμοποιούνται ευρέως στην κατασκευή πηδαλίων, διαφραγμάτων, καλυμμάτων κεραιών, τμημάτων της ατράκτου, κ.ά.. Η μέθοδος επισκευής μίας αστοχίας σε κυψελοειδή κατασκευή εξαρτάται βασικά από το μέγεθος της βλάβης και το πάχος του πυρήνα. Οι αρχές επισκευής μίας κυψελοειδούς κατασκευής είναι ανάλογες με αυτές των μεταλλικών εξαρτημάτων. Απαιτείται αφαίρεση του υλικού που έχει υποστεί βλάβη, δηλ. της επικάλυψης και του πυρήνα και η τοποθέτηση αντίστοιχων τεμαχίων επικάλυψης και πυρήνα με επιπρόσθετα ενισχυτικά επιθέματα.

## 7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

### 7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σύγχρονα πολιτικά και στρατιωτικά αεροσκάφη διαθέτουν ορισμένα βασικά συστήματα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία και την αποστολή τους. Τα συστήματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Σύστημα ελέγχου πτήσης.
2. Προωθητικό σύστημα.
3. Υδραυλικό σύστημα.
4. Σύστημα πεπιεσμένου αέρα (πνευματικό σύστημα).
5. Σύστημα προσγείωσης.
6. Ηλεκτρικό σύστημα.
7. Σύστημα καυσίμου.
8. Σύστημα οξυγόνου.
9. Σύστημα προστασίας από πάγο και βροχή.
10. Σύστημα πυρόσβεσης.
11. Σύστημα τεχνητής ατμόσφαιρας (σύστημα συμπίεσης).
12. Σύστημα αεροναυτιλίας.
13. Σύστημα οργάνων.
14. Σύστημα επιβράδυνσης
15. Σύστημα διάσωσης - επιβίωσης.

Τα μαχητικά αεροσκάφη έχουν επιπρόσθετα, λόγω της αποστολής τους, τα ακόλουθα δύο συστήματα:

- Οπλικό σύστημα
- Συστήματα αντιμέτρων.

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι το μηχανικό σύστημα έχει σαν πλεονέκτημα την αυξημένη ασφάλεια και το χαμηλό κόστος, ενώ σαν μειονέκτημα το αυξημένο βάρος, τη δυσκαμψία και το μειωμένο χρόνο απόκρισης. Για ορισμένα από τα συστήματα, τα αεροσκάφη διαθέτουν για λόγους ασφαλείας και εφεδρικό ή ακόμη και σύστημα ανάγκης.

### 7.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ

Με το σύστημα ελέγχου πτήσης (ΣΕΠ) του αεροσκάφους ο πιλότος ενεργοποιεί τις επιφάνειες ελέγχου πτήσης. Η ενεργοποίηση των επιφανειών ελέγχου επιτυγχάνεται με το χειριστήριο, τα ποδωστήρια και με διάφορους μοχλούς. Με τον όρο επιφάνειες ελέγχου πτήσης εννοούμε τα τρία είδη πηδαλίων, ανόδου-καθόδου κλίσης και διεύθυνσης, το κινούμενο οριζόντιο ή κάθετο ουραίο πτέρωμα, που έχουν ορισμένα αεροσκάφη, όλα τα είδη των υπεραντωτικών διατάξεων, τους φθορείς άντωσης, τα αντισταθμιστικά πτερύγια και τα αερόφρενα. Κατά την απόκλιση μίας επιφάνειας ελέγχου μεταβάλλονται οι αεροδυναμικοί συντελεστές ως εκ τούτου μεταβάλλεται η αεροδυναμική δύναμη  $F_A$  που αναπτύσσεται σ'

αυτήν και κατά συνέπεια η ροπή ( $M_A$ ) προς τον άξονα περιστροφής της επιφάνειας ελέγχου του αεροσκάφους. Η ροπή ( $M_A$ ) της αεροδύναμης δίδεται από τη σχέση:

$$M_A = F_A \cdot c_A \quad [7.1]$$

Όπου:

$F_A$  = αεροδυναμική δύναμη

$c_A$  = απόσταση του σημείου εφαρμογής της αεροδύναμης της επιφάνειας ελέγχου από τον άξονα περιστροφής της.

Η ροπή ( $M_A$ ) ως προς τον άξονα περιστροφής της επιφάνειας ελέγχου, ονομάζεται και ροπή γυγλισμού. Κάθε σύστημα ελέγχου πτήσης πρέπει να υπερνικάει τη εκάστοτε ροπή γυγλισμού, δηλαδή πρέπει να παράγει ροπή ίση και αντίθετη με την εκάστοτε ροπή γυγλισμού για να διατηρήσει την επιθυμητή απόκλιση στην επιφάνεια ελέγχου.

Η δραστηριότητα των επιφανειών ελέγχου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλη. Διαφέρει στις διάφορες κατηγορίες αεροσκαφών και εξαρτάται από το είδος της αεροτομής, από τις διαστάσεις και από την τροχιά κίνησης της επιφάνειας ελέγχου. Σε ορισμένο αεροσκάφος εξαρτάται μόνο από τη γωνία απόκλισης ( $\delta$ ) και από την ταχύτητα πτήσης ( $V$ ).

Στη σχεδίαση και κατασκευή των συστημάτων ελέγχου πτήσης επιδιώκεται ελαχιστοποίηση της ροπής γυγλισμού  $M_A$ . Δεδομένου ότι, όπως προαναφέραμε, η αεροδύναμη που ασκείται στην επιφάνεια ελέγχου καθορίζεται από τη γωνία απόκλισης, το τετράγωνο της ταχύτητας πτήσης, το μέγεθος και σχήμα της, από την εξίσωση (7.1) προκύπτει ότι η μείωση της ροπής γυγλισμού επιτυγχάνεται πρακτικά μόνο με μείωση της απόστασης.

Το σύστημα ελέγχου πτήσης μπορεί να είναι μηχανικό, υδραυλικό, ηλεκτρικό ή συνδυασμός τους ανάλογα με την κατηγορία του αεροσκάφους. Στα σύγχρονα πολιτικά και μαχητικά αεροσκάφη τα συστήματα ελέγχου πτήσης είναι ηλεκτρονικά - ηλεκτρικά και τελείως αυτόματα (Fly -By- Wire). Στο ίδιο αεροσκάφος μπορεί να συνυπάρχουν διαφορετικά είδη συστημάτων ελέγχου πτήσης για λόγους ασφαλείας. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται πολύ συνοπτικά τα διάφορα είδη των συστημάτων ελέγχου πτήσης.

### 7.2.1. ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ

Το μηχανικό σύστημα ελέγχου πτήσης είναι το πιο απλό. Χρησιμοποιήθηκε ευρέως από τα πρώτα χρόνια της αεροπορίας και χρησιμοποιείται ακόμη στα ελαφρά και αγροτικά αεροσκάφη. Οι βασικότεροι τύποι μηχανικών συστημάτων ελέγχου πτήσης είναι με: συρματόσχοινα, ράβδους έλξης - ώθησης και ράβδους περιστροφής. Σε πολλά αεροσκάφη υπάρχουν και οι τρεις τύποι των μηχανικών συστημάτων. Το πιο σύνηθες μηχανικό σύστημα ελέγχου πτήσης είναι με συρματόσχοινα.

#### ➤ Σύστημα ελέγχου πτήσης με συρματόσχοινα:

Αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά στοιχεία: συρματόσχοινα, τροχαλίες, εντατήρες, οδηγούς συρματόσχοινων, ρυθμιζόμενους εμποδιστήρες, μηχανισμούς συνδεσμολογίας, αποσβεστήρες επιφανειών ελέγχου, μηχανισμούς ασφάλισης, ενισχυτικούς μηχανισμούς πηδαλίων και ηλεκτρικούς ή υδραυλικούς μηχανισμούς ενεργοποίησης. Τα συρματόσχοινα χρησιμεύουν για την κίνηση των επιφανειών ελέγχου και γενικά για τη μεταφορά κίνησης στα συστήματα του αεροσκάφους. Οι εντατήρες διατηρούν και ρυθμίζουν την προβλεπόμενη τάση των συρματόσχοινων. Ο πιο συνήθης τύπος εντατήρα στα αεροσκάφη είναι ο αμφισύνδεσμος.

Η ένταση των συρματόσχοινων μειώνεται λόγω της διαφορετικής θερμικής διαστολής της δομής του αεροσκάφους και των συρματόσχοινων. Στα μεγάλα αεροσκάφη οι ρυθμιστές έντασης ρυθμίζουν αυτόματα την ένταση των συρματόσχοινων.

Οι οδηγοί συρματόσχοινων συγκρατούν τα συρματόσχοινα ευθύγραμμα. Τα παρεμβάσματα στεγανότητας διασφαλίζουν στεγανότητα όταν τα συρματόσχοινα διέρχονται από περιοχές του αεροσκάφους με συμπίεση καθώς και ομαλή γραμμική κίνηση των συρματόσχοινων. Οι τροχαλίες χρησιμεύουν για την αλλαγή της διεύθυνσης των συρματόσχοινων.

Οι μηχανισμοί συνδεσμολογίας συνδέουν τα χειριστήρια με τα συρματόσχοινα και τις επιφάνειες ελέγχου. Επίσης, μεταφέρουν την κίνηση ή αλλάζουν τη διεύθυνσή της σε επιμέρους τμήματα του συστήματος και αποτελούνται από ράβδους ελέγχου (έλξης-ώθησης), σωλήνες περιστροφής, τροχαλίες, μοχλούς και τύμπανα περιέλιξης συρματόσχοινων.

➤ *Σύστημα ελέγχου πτήσης με ράβδους έλξης – ώθησης:*

Το σύστημα αυτό αποτελείται βασικά από ράβδους ελέγχου, που είναι γνωστές ως ράβδοι έλξης - ώθησης, κιβώτια ελέγχου διεύθυνσης κίνησης, μοχλούς και βραχίονες διαφόρων διαμορφώσεων, ημικυκλικές τροχαλίες και τύμπανα περιελίξεων.

Οι ράβδοι ελέγχου (έλξης-ώθησης) είναι άκαμπτοι, ευθείς και ευθυγραμμισμένοι με τους βραχίονες που συνδέονται. Η σύνδεση με τα υπόλοιπα τμήματα του συστήματος ελέγχου πτήσης επιτυγχάνεται με κατάλληλους, συνήθως χαλύβδινους ράβδους που προσαρμόζονται στα άκρα τους. Κατασκευάζονται από μεταλλικά υλικά, όπως κράματα αλουμινίου και χαλυβοκράματα.

Στα μεσαία και μεγάλα αεροσκάφη καθώς και στα αεροσκάφη μεγάλων ταχυτήτων η ροπή γυγγλισμού είναι πολύ μεγάλη με συνέπεια να απαιτείται αυξημένη δύναμη στο χειριστήριο και στα ποδωστήρια για την κίνηση των επιφανειών ελέγχου. Η δύναμη που απαιτείται να ασκηθεί από τον πιλότο στο χειριστήριο δίδεται από την εξίσωση 7.4.

$$M_A = F_1 \cdot d \quad [7.2]$$

Η σχέση (7.2) ισούται με την σχέση (7.1), αφού πρώτα μέλη ίσα άρα και δευτέρα με συνέπεια να δίνεται η ακόλουθη εξίσωση:

$$F_1 \cdot b = F \cdot a \quad [7.3]$$

$$F = F_1 \cdot \frac{b}{a} = F_A \cdot c_A \cdot \frac{b}{a \cdot d} \quad [7.4]$$

Σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές οι δυνάμεις που απαιτούνται να ασκούνται από τον χειριστή, για τον έλεγχο των επιφανειών ελέγχου, δεν πρέπει να υπερβαίνουν ορισμένες μέγιστες τιμές. Η μείωση της δύναμης που απαιτείται να ασκείται από τον χειριστή επιτυγχάνεται με πολύπλοκα μηχανικά συστήματα ή συνήθως με υδραυλικά και ηλεκτρικά συστήματα.

➤ *Σύστημα ελέγχου πτήσης με ράβδους περιστροφής:*

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι ίδια με αυτή του συστήματος ελέγχου πτήσης με ράβδους έλξης - ώθησης. Η βασική διαφορά των δύο συστημάτων είναι ότι οι ράβδοι ή σωλήνες περιστροφής μεταφέρουν την κίνηση με περιστροφή τους, δηλ. ασκείται ροπή στα άκρα τους ενώ στις ράβδους έλξης - ώθησης ασκείται ελκτική ή ωθητική δύναμη.

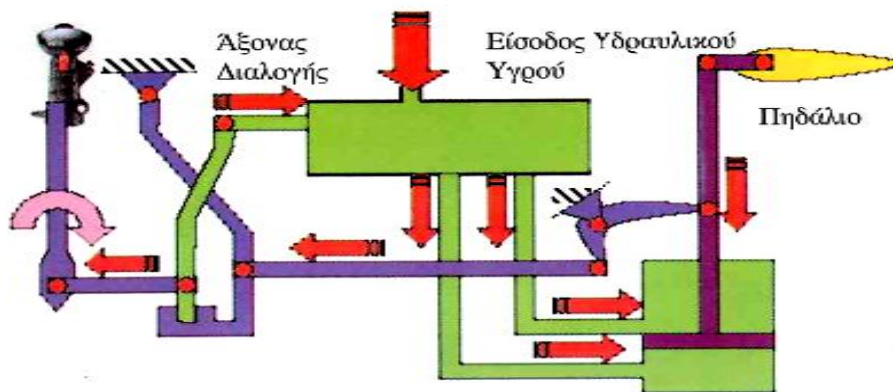
Για τη μετάδοση της κίνησης στα μηχανικά συστήματα ελέγχου πτήσης χρησιμοποιούνται, όπως προαναφέραμε διάφορα εξαρτήματα, όπως μοχλοί διαφόρων διαμορφώσεων (π.χ. αγκωνωτοί), γωνιοστρόφαλοι ημικυκλικές τροχαλίες, κ.ά.. Η μετατροπή της γραμμικής κίνησης σε περιστροφική και αντιστρόφως επιτυγχάνεται με πολλούς τρόπους, όπως π.χ. με τα κιβώτια ελέγχου διεύθυνσης.



Τα μηχανικά συστήματα ελέγχου πτήσης είναι απλά, έχουν μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας και μικρό κόστος κατασκευής και συντήρησης - λειτουργίας πλην όμως έχουν αυξημένο βάρος και είναι δύσχρηστα ιδιαίτερα στα μεγάλα αεροσκάφη.

### 7.2.2. ΜΙΚΤΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ

Επειδή τα μηχανικά συστήματα έχουν αυξημένη ασφάλεια, διατηρήθηκαν ακόμη και σε αεροσκάφη μεγάλων επιδόσεων, ιδιαίτερα πολιτικά, σε συνδυασμό με υδραυλικά ή ηλεκτρικά συστήματα. Έτσι προέκυψαν τα μικτά συστήματα, όπως αυτό του σχήματος 11.



Σχήμα 11: Σχηματική παράσταση μικτού συστήματος ελέγχου πηδαλίων.

Ο χειριστής με το χειριστήριο ενεργοποιεί ταυτόχρονα και τα δύο συστήματα (μηχανικό και υδραυλικό). Σε κανονική λειτουργία ο χειριστής καταβάλλει μία μικρή μόνο δύναμη στο χειριστήριο για την κίνηση των πηδαλίων. Ένα μικρό μόνο ποσοστό της απαιτούμενης δύναμης παραλαμβάνεται από το μηχανικό σύστημα, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό παραλαμβάνεται από το υδραυλικό σύστημα. Τα δύο συστήματα ενεργοποιούνται από το χειριστήριο ταυτόχρονα και, λειτουργούν εν σειρά. Σε περίπτωση βλάβης του υδραυλικού συστήματος, το όλο σύστημα λειτουργεί καθαρά μηχανικά και οι δυνάμεις που απαιτείται να ασκηθούν από τον χειριστή για την ενεργοποίησή του, είναι τότε πολύ μεγάλες.

Τα μικτά συστήματα χαρακτηρίζονται και ως συστήματα ενίσχυσης. Έχουν κατάλληλο μηχανισμό που επιτρέπει στον χειριστή να μεταβάλλει την αναλογία της μυϊκής δύναμης. Ο χειριστής με το μηχανισμό αυτό ρυθμίζει το βαθμό ενίσχυσης, δηλαδή το ποσοστό συμμετοχής του υδραυλικού συστήματος στο μικτό σύστημα. Με αυξανόμενο βαθμό ενίσχυσης μειώνεται η μυϊκή δύναμη του χειριστού επειδή αυξάνεται η συμμετοχή του υδραυλικού συστήματος. Τα μικτά συστήματα ελέγχου πτήσης έχουν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μηχανικών και υδραυλικών συστημάτων.

### 7.2.3. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ

Η μεγάλη πλειοψηφία των αεροσκαφών έχει υδραυλικό σύστημα ελέγχου πτήσης. Με την κίνηση του χειριστηρίου και των ποδωστηρίων ενεργοποιείται (κινείται) συνήθως ένα έμβολο στο άλλο άκρο του υδραυλικού συστήματος κοντά στην επιφάνεια ελέγχου. Η δύναμη που ασκείται στο έμβολο του υδραυλικού συστήματος κοντά στις επιφάνειες ελέγχου είναι εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη από τη δύναμη στο έμβολο που είναι κοντά στο χειριστήριο ή στα ποδωστήρια.

Στο υδραυλικό σύστημα η μυϊκή δύναμη του χειριστή είναι πάρα πολύ μικρή και περιορίζεται αποκλειστικά στην υπερνίκηση των τριβών του χειριστηρίου και των υδραυλικών τριβών. Επειδή η δύναμη είναι της τάξεως γραμμαρίων έχει σαν συνέπεια ο χειριστής να μην έχει την «αίσθηση» της δύναμης που είναι αναγκαία για να «αισθάνεται» την πτήση. Για το λόγο αυτό μεταξύ χειριστηρίων και υδραυλικού συστήματος παρεμβάλλεται μία διάταξη τεχνικής αίσθησης. Η διάταξη αυτή αυξάνει τη δύναμη στο χειριστήριο κατά την ενεργοποίηση των επιφανειών ελέγχου στα επιτρεπόμενα όρια ανάλογα με την ταχύτητα πτήσης του αεροσκάφους.

Τα υδραυλικά συστήματα ελέγχου πτήσης έχουν τα ακόλουθα κύρια πλεονεκτήματα:

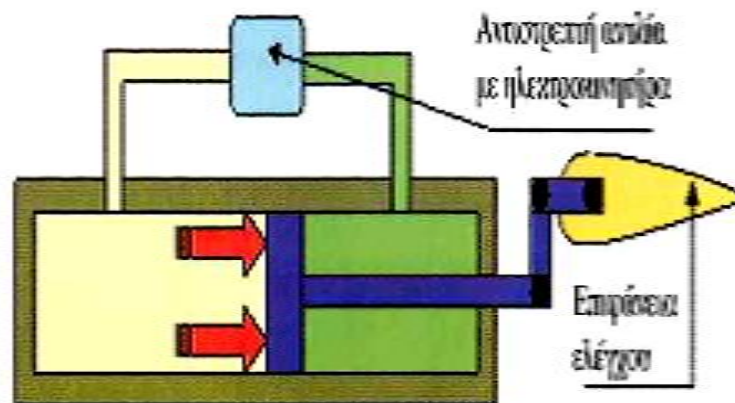
- Εύχρηστα
- Μεταφέρουν πολύ μεγάλες δυνάμεις ανεξάρτητα τις αποστάσεις
- Κατάλληλα για μεταβλητές ταχύτητες κινήσεως
- Κατάλληλα για αυτόματο προγραμματισμό κινήσεως
- Εγκατάστασή χαρακτηρίζεται από ευελιξία και απλότητα.

Τα κύρια μειονεκτήματα των υδραυλικών συστημάτων ελέγχου πτήσης είναι:

- Σχετικά μειωμένη ασφάλεια συγκριτικά προς τα μηχανικά συστήματα ελέγχου πτήσης
- Αυξημένο κόστος κατασκευής- εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης.

#### 7.2.4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ

Στο ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου πτήσης οι εντολές από τον χειριστή μεταφέρονται ηλεκτρικά σε έναν ηλεκτροκινητήρα. Ο ηλεκτροκινητήρας με σύστημα ατέρμονα κοχλία (actuator) θέτει σε κίνηση τις επιφάνειες ελέγχου του αεροσκάφους. Μεγάλη εφαρμογή στα ηλεκτρικά συστήματα ελέγχου πτήσης έχουν οι ηλεκτρουδραυλικοί κύλινδροι ενέργειας, η αρχή λειτουργίας των οποίων απεικονίζεται στο σχήμα



Σχήμα 12: Αρχή λειτουργίας ηλεκτρουδραυλικού κυλίνδρου ενέργειας

Το ηλεκτρικό σύστημα έχει επικρατήσει στη μεγάλη πλειοψηφία των σύγχρονων μαχητικών αεροσκαφών. Τα κύρια πλεονεκτήματα του ηλεκτρικού συστήματος ελέγχου πτήσης είναι συνοπτικά τα ακόλουθα:

- Εύχρηστο
- Απλό στην εγκατάσταση

- Απαιτεί μικρό χώρο εγκατάστασης
- Έχει μικρό βάρος
- Δέχεται μεταβλητές ταχύτητες κινήσεως
- Ιδιαίτερα κατάλληλο για αυτόματο προγραμματισμό κινήσεων
- Διασφαλίζει την ταχύτερη ανταπόκριση.

Τα κύρια μειονεκτήματά του ηλεκτρικού συστήματος ελέγχου πτήσης είναι τα ακόλουθα:

- Μειωμένη ασφάλεια συγκριτικά προς το μηχανικό σύστημα,
- Μειωμένη ικανότητα μεταφοράς μεγάλων δυνάμεων συγκριτικά προς το υδραυλικό σύστημα
- Αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

### 7.2.5. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ

Στα αεροσκάφη τρίτης γενιάς τα συστήματα ελέγχου πτήσης είναι ηλεκτρονικά. Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου πτήσης (EFCS) παίρνει διάφορα στοιχεία (ηλεκτρικά σήματα), όπως από την κίνηση του χειριστηρίου ή των ποδωστηρίων (εντολή πιλότου), την ταχύτητα και το ύψος πτήσης, τη γωνία προσβολής, καθώς και επιπρόσθετα στοιχεία από άλλους αισθητήρες. Ο κεντρικός ηλεκτρονικός υπολογιστής συνδυάζει όλα αυτά τα στοιχεία καθώς και την αντίδραση του αεροσκάφους και προβαίνει σε αποκλίσεις των επιφανειών ελέγχου που διασφαλίζουν στο αεροσκάφος τα βέλτιστα χαρακτηριστικά πτήσης. Το ηλεκτρονικό σύστημα έχει πάντοτε τεχνητή αίσθηση.

Τα σύγχρονα EFCS είναι γνωστά ως fly - by – wires systems ή fly - by – Light systems. Όλα τα σύγχρονα μαχητικά αεροσκάφη αλλά και τα πολιτικά έχουν ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου πτήσης, όπως το F-16, Mirage 2000, Airbus 340, κ.τ.λ..

Η χρήση ενός EFCS είναι αναγκαιότητα για ένα ασταθές μαχητικό αεροσκάφος με τις σημερινές του επιδόσεις. Με το σύστημα αυτό μπορεί να πει κανείς ότι ο χειριστής δίνει οδηγίες στο αεροσκάφος παρά ότι το πετάει ο ίδιος.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του συστήματος ελέγχου πτήσης (EFCS) είναι τα ακόλουθα:

- Εύκολος και απλός χειρισμός του αεροσκάφους. Από τη στιγμή που ο χειριστής έπαψε να είναι στοιχείο του βρόγχου πτήσης δεν ασχολείται και δεν ανησυχεί αν το αεροσκάφος ξεπερνάει τα όρια του και ασχολείται περισσότερο με τη στρατηγική της μάχης και λιγότερο με την εκτέλεσή της.
- Προσφέρει προστασία στον χειριστή, δομική, αεροδυναμική και βιολογική (ρυθμός και μέγιστα  $g' s$ ). Ακόμη και εάν ο χειριστής ζητήσει, μέσω του χειριστηρίου, αύξηση των  $g' s$ , το σύστημα παραβλέπει την εντολή, εάν επρόκειτο να βγει από τα όρια.
- Εκμεταλλεύεται πλήρως τα πλεονεκτήματα ενός ασταθούς αεροσκάφους (μεγαλύτερη μετατόπιση του κέντρου βάρους, βελτίωση των πτητικών χαρακτηριστικών και ιδιαίτερα αύξηση του  $C_L$  και μείωση του  $C_D$ ).
- Μείωση του βάρους του αεροσκάφους μέχρι και 20% (λιγότερη ώση, μικρότερη πτερυγική επιφάνεια. κ.α.).
- Αξιοπιστία. Με το να λειτουργούν πολλά κανάλια παράλληλα, π.χ. τέσσερα, ο υπολογιστής θέτει εκτός λειτουργίας το μη αξιόπιστο κανάλι.

### 7.3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η κινητική και δυναμική ενέργεια των αεροσκαφών στη διάρκεια της πτήσης παρέχεται από το καύσιμο που μεταφέρουν με τη βοήθεια του προωθητικού συστήματος. Στα σύγχρονα αεροσκάφη οι ενέργειες αυτές είναι μεγάλες επειδή τα αεροσκάφη έχουν μεγάλη μάζα και πετούν σε μεγάλα ύψη με μεγάλες ταχύτητες. Για το λόγο αυτό μία βασική διαφορά των αεροσκαφών με τα διάφορα επίπεδα μέσα μεταφοράς είναι ότι η αναλογία του βάρους του καυσίμου που μεταφέρουν προς το βάρος τους είναι πολύ μεγαλύτερη. Στα ελαφρά πολιτικά αεροσκάφη είναι τουλάχιστον της τάξεως του 10%, στα μαχητικά 20% και στα μεγάλα πολιτικά αεροσκάφη μεγαλύτερη του 30%. Ενδεικτικά, στο αεροσκάφος B - 747 η αναλογία αυτή είναι της τάξεως του 44% και στο B - 52 μπορεί να φθάσει ακόμη και το 62%.

Η κύρια αποστολή του συστήματος καυσίμου είναι η αποθήκευση και παροχή της απαραίτητης ποσότητας καυσίμου με την προβλεπόμενη πίεση στο προωθητικό σύστημα. Το σύστημα καυσίμου πρέπει να διασφαλίζει βασικές απαιτήσεις, οι οποίες καταγράφονται στη συνέχεια και είναι:

- Αξιόπιστη ροή καυσίμου με την απαιτούμενη εκάστοτε παροχή και πίεση σε όλα τα ύψη και τις φάσεις πτήσης και σε όλες τις καιρικές συνθήκες.
- Αξιόπιστη ένδειξη της εκάστοτε ποσότητας καυσίμου των επιμέρους δεξαμενών και της παροχής ροής καυσίμου.
- Παροχή στον χειριστή των απαραίτητων προειδοποιητικών σημάτων λειτουργίας του συστήματος καυσίμου.
- Ταχεία και ασφαλή πλήρωση του αεροσκάφους με καύσιμο. Στα αεροσκάφη με εμβολόφο κινητήρα χρησιμοποιείται βενζίνη 115/45, 100/130 και 91/96 οκτανίων, στα μαχητικά αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα κηροζίνη τύπου JP- 4 και 8 και στα αεροσκάφη της πολιτικής αεροπορίας JET A1 και JET A. Τα καύσιμα αυτά χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις επιδόσεις των κινητήρων.

Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος καυσίμου είναι: δεξαμενές, αντλίες, βαλβίδες, φίλτρα, σωληνώσεις, ενδεικτικοί και προειδοποιητικοί μηχανισμοί.

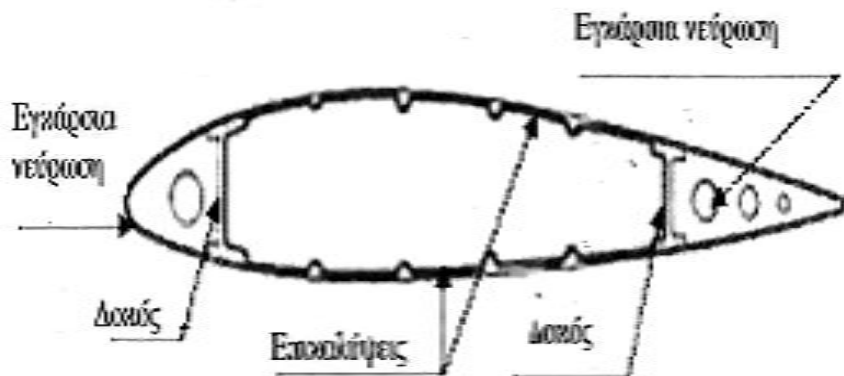
Το σύστημα καυσίμου αποτελείται από υποσυστήματα, τα κυριότερα των οποίων είναι: το σύστημα πλήρωσης με καύσιμο στο έδαφος και σε ορισμένα αεροσκάφη, όπως τα μαχητικά εν πτήση, το σύστημα τροφοδοσίας για τη μεταφορά καυσίμου μεταξύ των επιμέρους δεξαμενών και από αυτές στο προωθητικό σύστημα, το σύστημα προειδοποιητικών ενδείξεων και δοκιμής λειτουργίας και το σύστημα εκκένωσης για την απόρριψη καυσίμου.

#### 7.3.1. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι δεξαμενές καυσίμου μπορεί να είναι εσωτερικές ή εξωτερικές, όπως για παράδειγμα στα μαχητικά αεροσκάφη. Οι εσωτερικές μπορεί να είναι μεταλλικές, συνθετικές, αλεξισφαιρες και αυτοστεγανοποιούμενες. Είναι εγκατεστημένες στην άτρακτο και την πτέρυγα του αεροσκάφους. Η κατασκευή, η διαμόρφωση, το σχήμα, το μέγεθος και η θέση τους στο αεροσκάφος εξαρτάται από την αποστολή του αεροσκάφους καθώς και από τον χώρο που είναι διαθέσιμος στις πτέρυγες ή στην άτρακτο. Κατασκευάζονται από υλικά που δεν αντιδρούν χημικά με τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα, όπως για παράδειγμα τα κράματα αλουμινίου.

Σε ορισμένα αεροσκάφη, συνήθως πολιτικά, η δομή της πτέρυγας σχεδιάζεται και κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο που να σχηματίζει η ίδια δεξαμενή καυσίμου. Δηλ. δεν υπάρχει κάποια μεταλλική ή συνθετική δεξαμενή αλλά ο χώρος που περικλείεται από τις δοκούς, τις εγκάρσιες νευρώσεις και τις επικαλύψεις έχει πλήρη στεγανότητα, αποτελεί μέρος της δομής της πτέρυγας και είναι μία δεξαμενή καυσίμου. Ο τύπος αυτός της πτέρυγας είναι

γνωστός ως «υγρή» πτέρυγα. Στη ράχη της πτέρυγας πάνω από τη δεξαμενή υπάρχει θυρίδα προσιτότητας. Στο σχήμα 13 απεικονίζεται μία τυπική «υγρή» πτέρυγα.



Σχήμα 13: Τυπική «υγρή» πτέρυγα

➤ **Μεταλλικές και μη Μεταλλικές Κοινές Δεξαμενές**

Οι δεξαμενές αυτές έχουν το μέγεθος και τη διαμόρφωση του χώρου που τοποθετούνται. Οι μεταλλικές κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου, όπως για παράδειγμα της σειράς 6.000, ενώ οι κοινές μη μεταλλικές από συνθετικά ελαστικά. Οι μη μεταλλικές κοινές δεξαμενές δεν είναι αυτοστεγανοποιούμενες και προτιμούνται επειδή έχουν μικρότερο βάρος από αυτές καθώς και από τις αντίστοιχες μεταλλικές δεξαμενές.

➤ **Αυτοστεγανοποιούμενες Δεξαμενές**

Χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στο παρελθόν στα μαχητικά αεροσκάφη. Στεγανοποιούν αυτόματα τις οπές ή τις βλάβες από σφαίρες ή κτυπήματα, διασφαλίζουν την μη απώλεια καυσίμου και ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Συνήθως αποτελούνται από εσωτερικά και εξωτερικά στρώματα μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται το στεγανοποιητικό υλικό. Όταν ένα αντικείμενο (π.χ. βλήμα) διαπερνά το τοίχωμα της δεξαμενής, το στεγανοποιητικό υλικό της αντιδρά με το καύσιμο και κλείνει την οπή. Γενικά, σε μία τέτοια περίπτωση μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα αφαιρείται η δεξαμενή από το αεροσκάφος και επισκευάζεται. Κύρια μειονεκτήματα των αυτοστεγανοποιούμενων δεξαμενών είναι ότι έχουν μεγαλύτερο βάρος από τις μεταλλικές ή ελαστικές δεξαμενές του ίδιου όγκου, έχουν μικρότερη χωρητικότητα και απαιτούν περισσότερη συντήρηση.

➤ **Αλεξίσφαιρες Δεξαμενές**

Η ραγδαία εξέλιξη των σύνθετων υλικών είχε σαν συνέπεια την σταδιακή αντικατάσταση των αυτοστεγανοποιούμενων δεξαμενών με αλεξίσφαιρες δεξαμενές. Οι αλεξίσφαιρες δεξαμενές δεν εμφανίζουν τα μειονεκτήματα των αυτοστεγανοποιούμενων δεξαμενών.

➤ **Εξωτερικές Δεξαμενές**

Οι εξωτερικές δεξαμενές καυσίμου αναρτώνται στην άτρακτο, στην κοιλιά της πτέρυγας ή τα ακροπτερύγια. Συνήθως είναι απορριπτόμενες και χρησιμοποιούνται κυρίως στα μαχητικά αεροσκάφη. Έχουν αεροδυναμική διαμόρφωση για ελαχιστοποίηση της οπισθέλκουσας και φέρουν πτερύγια στο ουραίο τμήμα. Η χωρητικότητά τους εξαρτάται από τη θέση ανάρτησής τους στο αεροσκάφος. Οι μεγαλύτερες σε χωρητικότητα αναρτώνται στην άτρακτο και οι μικρότερες στα ακροπτερύγια. Το καύσιμο της δεξαμενής ωθείται στο σύστημα καυσίμου του αεροσκάφους από πεπιεσμένο αέρα που εισέρχεται στη δεξαμενή. Ο πεπιεσμένος αέρας παρέχεται από τον συμπιεστή του στροβιλοκινητήρα του αεροσκάφους.

Για την αποκατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης στη δεξαμενή, μετά την εκκένωση της, υπάρχουν βαλβίδες αποκατάστασης πίεσης.

Τα κύρια δομικά στοιχεία μίας εξωτερικής δεξαμενής καυσίμου είναι τα εγκάρσια στοιχεία (πλαίσια και διαφράγματα), τα διαμήκη στοιχεία στο κεντρικό της τμήμα που είναι κυλινδρικό και η επικάλυψη που είναι συνήθως από συγκολλησιμα κράματα αλουμινίου της σειράς 6.000 (ημικελυφοειδή κατασκευή). Εσωτερικά η δεξαμενή έχει τα βασικά εξαρτήματα και τις σωληνώσεις που έχουν οι εσωτερικές δεξαμενές.

#### ➤ **Βασικά Εξαρτήματα**

Τα κύρια εξαρτήματα μίας τυπικής δεξαμενής καυσίμου είναι τα ακόλουθα:

- Κυστίδα με βαλβίδα αποστράγγισης στο κατώτερο σημείο της και σωληνώσεις ατμοσφαιρικής αποκατάστασης στο επάνω μέρος. Οι βαλβίδες αποκατάστασης πίεσης διατηρούν την εσωτερική πίεση της δεξαμενής ίση με την εξωτερική πίεση στο εκάστοτε ύψος πτήσης.
- Διαφράγματα - πλαίσια με κατάλληλες οπές για την παρεμπόδιση της ταχείας μετατόπισης του καυσίμου κατά την αλλαγή της στάσης του αεροσκάφους. Σε ορισμένα αεροσκάφη, όπως το Mirage F-1CG οι δεξαμενές έχουν εσωτερικά κατάλληλο πορώδες υλικό για την παρεμπόδιση της μετατόπισης καυσίμου.
- Πώμα πλήρωσης, σωλήνα υπερχειλίσης, φίλτρο και βαλβίδες εκκένωσης. Οι βαλβίδες εκκένωσης ενεργοποιούνται από τον χειριστή για απόρριψη καυσίμου σε περίπτωση αναγκαστικής προσγείωσης, ή για μείωση του βάρους του αεροσκάφους κάτω από το επιτρεπόμενο βάρος προσγείωσης ή για αύξηση της ευελιξίας του.
  - Οι εξωτερικές δεξαμενές έχουν ειδικό ρυθμιστή πίεσης επειδή η μεταφορά του καυσίμου από αυτές προς τις κύριες δεξαμενές γίνεται με πεπιεσμένο αέρα.

### 7.3.2. ΑΝΤΛΙΕΣ

Ένα τυπικό σύστημα καυσίμου έχει τα ακόλουθα είδη αντλιών:

- Μηχανοκίνητη (Engine driven pump).
- Ενισχυτική (Booster pump)
- Χειροκίνητη αντλία (Hand pump).

#### ➤ *Μηχανοκίνητη Αντλία*

Παρέχει συνεχή ροή καυσίμου στον κινητήρα με την προβλεπόμενη πίεση για το εκάστοτε ύψος πτήσης. Συνήθως είναι τοποθετημένη στα παρελκόμενα του κινητήρα και παίρνει κίνηση από αυτόν μέσω συστήματος οδοντωτών τροχών. Επειδή η μηχανοκίνητη αντλία παρέχει περισσότερη ροή καυσίμου από αυτήν που χρειάζεται ο κινητήρας, η ροή ανακουφίζεται πριν εισέλθει στον αναμικτήρα από μία βαλβίδα ανακούφισης. Η πίεση στην οποία ανοίγει η βαλβίδα ανακούφισης εξαρτάται από την τάση του ελατηρίου και την πίεση του αέρα επάνω από το διάφραγμα. Η μηχανοκίνητη αντλία έχει ενσωματωμένη μία βαλβίδα παράκαμψης η οποία επιτρέπει τη ροή του καυσίμου απευθείας στον κινητήρα στη φάση εκκίνησης καθώς και σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας του.

#### ➤ *Ενισχυτική Αντλία*

Η κύρια αποστολή της είναι η παροχή καυσίμου με πίεση από μία ή και περισσότερες δεξαμενές στη μηχανοκίνητη αντλία. Επίσης, χρησιμεύει για τη μεταφορά καυσίμου από μία δεξαμενή σε άλλη και την παροχή καυσίμου με πίεση για την έκχυση και εκκίνηση του κινητήρα. Συνήθως προσαρμόζεται στην έξοδο ή στο εσωτερικό της δεξαμενής καυσίμου και είναι ηλεκτρική φυγοκεντρικού τύπου. Ο αέρας και ο ατμός διαχωρίζονται από το καύσιμο

στη δεξαμενή λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής της αντλίας. Ανέρχονται μέσα από το καύσιμο στο επάνω τμήμα της δεξαμενής και εξέρχονται στην ατμόσφαιρα από τη βαλβίδα ατμοσφαιρικής αποκατάστασης. Η ενισχυτική αντλία αντικαθιστά τη μηχανοκίνητη αντλία σε περίπτωση βλάβης της. Για το λόγο αυτό είναι ή δύο ταχυτήτων ή έχει μεταβλητό αριθμό στροφών.

➤ *Χειροκίνητη Αντλία*

Χρησιμοποιείται σε αρκετά αεροσκάφη και ενεργοποιείται από τη θέση χειριστού με κατάλληλα χειριστήρια και είναι συνήθως τύπου εμβόλου. Περισσότερα για αντλίες αναφέρονται στο υδραυλικό σύστημα.

### 7.3.3. ΒΑΛΒΙΔΕΣ

Ένα τυπικό σύστημα καυσίμου έχει απαραίτητα δύο είδη βαλβίδων:

➤ *Βαλβίδα Διαλογής (Selector valves):*

Διακόπτει τη ροή καυσίμου από τη δεξαμενή στον κινητήρα και χρησιμεύει για την επιλογή της μεταφοράς καυσίμου από μία δεξαμενή σε άλλη. Επίσης, χρησιμοποιείται σε σύστημα καυσίμου με διασταυρωτική τροφοδότηση. Έχει πολλά στόμια (εισόδους - εξόδους) ο αριθμός των οποίων εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του συστήματος καυσίμου. Λειτουργεί μηχανικά ή ηλεκτρικά. Η μηχανοκίνητη βαλβίδα ενεργοποιείται από τον χειριστή με μηχανική συνδεσμολογία και η ηλεκτρική με διακόπτες. Υπάρχουν τρεις (Βασικοί τύποι βαλβίδων διαλογής: τύπου παπαρούνας, κωνική και δίσκου. Η βαλβίδα τύπου παπαρούνας έχει σε κάθε είσοδο της ξεχωριστή βαλβίδα. Ένας έκκεντρος άξονας ενεργοποιεί τις βαλβίδες των στομιών μέσω ενός μηχανισμού επιλογής. Στην κωνική βαλβίδα περιστρέφεται ένας κώνος με περιμετρικές οπές σε αντίστοιχη υποδοχή του σώματος της βαλβίδας. Ένας μηχανισμός επιλογής διασφαλίζει την ευθυγράμμιση των οπών του κώνου με τα σίγμα του σώματος της βαλβίδας και τη συγκράτηση του κώνου στην κατάλληλη θέση. Στη βαλβίδα τύπου δίσκου, στο εσωτερικό κυλινδρικό τμήμα του σώματος της βαλβίδας, υπάρχει ένα στροφέιο. Το στροφέιο έχει μία μόνο οπή και ισάριθμους στεγανοποιητικούς δίσκους με τα στόμια της βαλβίδας. Με το μηχανισμό επιλογής περιστρέφεται το στροφέιο μέχρι να ευθυγραμμισθεί η οπή του με το επιθυμητό στόμιο του σώματος της βαλβίδας. Ταυτόχρονα, οι στεγανοποιητικοί δακτύλιοι φράζουν ερμητικά τα υπόλοιπα στόμια του σώματος της βαλβίδας με την πίεση των ελατηρίων τους.

➤ *Βαλβίδα Διακοπής (Shut - off valves):*

Είναι δύο θέσεων: ανοικτή και κλειστή. Χρησιμοποιείται κυρίως κατά την επισκευή και συντήρηση του συστήματος καυσίμου καθώς εμποδίζει την απώλεια καυσίμου όταν αφαιρείται ένα εξάρτημα ή όταν ένα εξάρτημα έχει βλάβη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον έλεγχο της μεταφοράς καυσίμου από μία δεξαμενή σε μία άλλη. Λειτουργεί μηχανικά ή ηλεκτρικά. Ορισμένα συστήματα καυσίμου έχουν ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες δύο θέσεων.

### 7.3.4. ΦΙΛΤΡΑ

Τα φίλτρα παγιδεύουν το νερό και συγκρατούν τα ξένα σωματίδια που υπάρχουν στο καύσιμο ή εισέρχονται στο σύστημα καυσίμου κατά την εξυπηρέτησή του. Είναι εγκατεστημένα σε διάφορα σημεία του συστήματος καυσίμου, όπως στα στόμια πλήρωσης, στις εξόδους των δεξαμενών και στις εισόδους των αναμικτήρων. Κάθε σύστημα καυσίμου έχει ένα κύριο φίλτρο που είναι τοποθετημένο στο χαμηλότερο σημείο του συστήματος. Συνήθως σε κάθε κινητήρα αντιστοιχεί ένα κύριο φίλτρο. Τα φίλτρα κατασκευάζονται από συρμάτινα πλέγματα τοποθετημένα σε κατάλληλα διαμορφωμένα μεταλλικά περιβλήματα

(σώμα του φίλτρου) με στρόφιγγα αποστράγγισης. Αποστραγγίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το πλέγμα αφαιρείται και καθαρίζεται όταν απαιτείται.

### 7.3.5. ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΙΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Τα διάφορα επιμέρους στοιχεία - εξαρτήματα του συστήματος καυσίμου συνδέονται με μεταλλικές σωληνώσεις και όπου απαιτείται μεγάλη ευκαμψία, με εύκαμπτες σωληνώσεις. Οι μεταλλικές σωληνώσεις κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου και οι εύκαμπτες από συνθετικό ελαστικό ή τεφλόν. Αναγνωρίζονται από έγχρωμες κωδικοποιημένες ταινίες τοποθετημένες στα άκρα τους. Οι σωληνώσεις στερεώνονται στη δομή του αεροσκάφους με κολάρα. Οι εύκαμπτοι σωλήνες σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες είναι αντιπυρικοί με επίστρωση ελαστομερών πυριτίου.

### 7.3.6. ΕΝΔΕΙΚΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι βασικοί ενδείκτες ενός τυπικού συστήματος καυσίμου είναι της ποσότητας, ροής, πίεσης και θερμοκρασίας του καυσίμου.

#### ➤ *Ενδείκτες Ποσότητας Καυσίμου*

Είναι συνήθως ηλεκτρικοί και ηλεκτρονικοί και δείχνουν την ποσότητα καυσίμου που υπάρχει στις δεξαμενές. Τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα ένδειξης ποσότητας καυσίμου δεν επηρεάζονται από την απόσταση μεταξύ οργάνων ένδειξης και δεξαμενής καυσίμου και επιτρέπουν την ένδειξη της ποσότητας καυσίμου πολλών δεξαμενών στο ίδιο όργανο. Το ηλεκτρικό κύκλωμα ένδειξης της ποσότητας καυσίμου αποτελείται από το όργανο ένδειξης στο χώρο διακυβέρνησης, μία ηλεκτρική καλωδίωση και έναν πλωτήρα στη δεξαμενή. Ο πλωτήρας ακολουθεί τη στάθμη του καυσίμου και μεταβάλλει το ηλεκτρικό σήμα που στέλνει στο όργανο. Ο ηλεκτρονικός ενδείκτης έχει μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία. Ο μεταβιβαστής είναι ουσιαστικά ένας απλός κυλινδρικός πυκνωτής η χωρητικότητα του οποίου εξαρτάται από την αναλογία καυσίμου και αέρα ή ατμού της δεξαμενής. Στα ελαφρά αεροσκάφη χρησιμοποιούνταν απλά μηχανικά συστήματα ένδειξης της ποσότητας καυσίμου.

#### ➤ *Ενδείκτης ή Μετρητής Ροής*

Δείχνει το ποσό της ροής καυσίμου (παροχή) στον κινητήρα ανά μονάδα χρόνου (lbs / h). Είναι ηλεκτρονικού τύπου. Το σύστημα αποτελείται από ένα μεταβιβαστή που είναι τοποθετημένος στην είσοδο καυσίμου του κινητήρα, μία ηλεκτρική καλωδίωση και το όργανο ένδειξης. Το σήμα του μεταβιβαστή δημιουργείται συνήθως από έναν περιστρεφόμενο κωνικό κύλινδρο με πτερύγια στη ροή του καυσίμου. Η ταχύτητα περιστροφής των κυλίνδρων αυξάνεται με την αύξηση της παροχής.

#### ➤ *Ενδείκτης Πίεσης Καυσίμου*

Είναι ένα μανόμετρο διαφορικής πίεσης που δείχνει τη διαφορά μεταξύ της πίεσης του καυσίμου που εισέρχεται στον αναμικτήρα και της πίεσης του αέρα στην είσοδο του αναμικτήρα. Τα μικρά αεροσκάφη έχουν ένα όργανο που δείχνει την πίεση του καυσίμου και του λαδιού και τη θερμοκρασία λαδιού. Τα σύγχρονα αεροσκάφη έχουν χωριστά όργανα για τις διάφορες ενδείξεις.

#### ➤ *Ενδείκτης Θερμοκρασίας Καύσιμo*

Είναι ένα διμεταλλικό θερμόμετρο που δείχνει τη θερμοκρασία καυσίμου στις δεξαμενές και στην είσοδο του κινητήρα. Χρησιμεύει κυρίως για τον έλεγχο της θερμοκρασίας καυσίμου των δεξαμενών σε συνθήκες υπερβολικού ψύχους, όπως σε πτήσεις σε μεγάλα ύψη, όπου υπάρχει κίνδυνος σχηματισμού κρυστάλλων πάγου στο καύσιμο.



### 7.3.7. ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα σύγχρονα αεροσκάφη έχουν προειδοποιητικά συστήματα ενδείξεων της δυσλειτουργίας του συστήματος καυσίμου. Τα προειδοποιητικά σήματα - ενδείξεις, αφορούν συνήθως την αστοχία στοιχείων του συστήματος καυσίμου (βλάβες από αντλίες, βαλβίδες, άδειασμα δεξαμενών, κ.τ.λ.). Συνήθως είναι φωτεινές και ηλεκτρονικές ενδείξεις. Σε πολλά σύγχρονα αεροσκάφη απεικονίζεται το σύστημα καυσίμου με το στοιχείο που έχει υποστεί βλάβη. Η πιθανότητα αστοχίας κάποιου στοιχείου του συστήματος καυσίμου, π.χ. μίας βαλβίδας διαλογής, είναι αυξημένη στα μεγάλα αεροσκάφη με πολλές δεξαμενές και πολύπλοκο σύστημα καυσίμου.

### 7.3.8. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

#### 7.3.8.1. Σύστημα Πλήρωσης

Το σύστημα καυσίμου αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα: το σύστημα πλήρωσης στο έδαφος, το σύστημα πλήρωσης εν πτήση και το σύστημα τροφοδοσίας. Στη μεγάλη πλειοψηφία των αεροσκαφών τα δύο πρώτα συστήματα συνδυάζονται σε ένα ενιαίο σύστημα για τη μείωση βάρους. Υπάρχουν δύο είδη συστημάτων πλήρωσης:

- το σύστημα πλήρωσης από ένα σημείο
- το σύστημα πλήρωσης κάθε δεξαμενής χωριστά.

Στην συνέχεια αναλύονται τα δύο ανωτέρω συστήματα πλήρωσης.

##### ➤ Σύστημα Πλήρωσης από ένα Σημείο

Η πλήρωση των σύγχρονων αεροσκαφών με καύσιμο γίνεται με πίεση από ένα σημείο, στο οποίο υπάρχει ένας διακόπτης αποσύνδεσης. Το καύσιμο παρέχεται από μία εξωτερική εγκατάσταση όχημα παροχής καυσίμου για παράδειγμα κηροζινοφόρο όχημα. Το καύσιμο εισέρχεται στις δεξαμενές καυσίμου του αεροσκάφους, μέσω των βαλβίδων εισόδου καυσίμου, οι οποίες κλείνουν βαθμιαία καθώς αυξάνεται η πίεση του αέρα στις δεξαμενές. Ταυτόχρονα, από την πίεση του αέρα των δεξαμενών καυσίμου, ενεργοποιείται ο διακόπτης αποσύνδεσης που αποσυνδέει αυτόματα το σωλήνα πλήρωσης του αεροσκάφους. Με τον τρόπο αυτό, το σύστημα πλήρωσης προστατεύεται από πιθανές ζημιές, λόγω υπερβολικής αύξησης της πίεσης όταν κλείνουν οι βαλβίδες εισόδου των δεξαμενών καυσίμου. Επιπρόσθετα, η πίεση της παροχής καυσίμου ρυθμίζεται σε χαμηλές τιμές, συνήθως μικρότερες από 500 P.S.I.

Το σύστημα πλήρωσης έχει δύο ειδών βαλβίδες, τις βαλβίδες εισόδου καυσίμου στις δεξαμενές, που χαρακτηρίζονται πρωτεύουσες και τις βαλβίδες στο σύστημα διανομής καυσίμου στις δεξαμενές που χαρακτηρίζονται δευτερεύουσες. Οι πρωτεύουσες κλείνουν όταν οι δεξαμενές γεμίζουν κατά βάρος και οι δευτερεύουσες όταν γεμίζουν κατά όγκο. Με τον τρόπο αυτό προστατεύεται το σύστημα πλήρωσης όταν το καύσιμο έχει χαμηλή ή υψηλή πυκνότητα, για παράδειγμα σε ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Η μεγάλη πλειοψηφία των σύγχρονων μαχητικών αεροσκαφών διαθέτει δύο σημεία πλήρωσης με καύσιμο, ένα σημείο για την πλήρωση στο έδαφος και ένα εν πτήση.

##### ➤ Σύστημα Πλήρωσης κάθε Δεξαμενής Χωριστά.

Όλα τα αεροσκάφη διαθέτουν σύστημα πλήρωσης κάθε δεξαμενής χωριστά. Η πλήρωση των δεξαμενών στο σύστημα αυτό είναι ανάλογη των αυτοκινήτων.

### 7.3.8.2. Σύστημα Τροφοδοσίας

Το σύστημα καυσίμου ενός αεροσκάφους και ως εκ τούτου και το σύστημα τροφοδοσίας εξαρτάται κυρίως από την κατηγορία του. Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται πολύ συνοπτικά τα βασικά, απλά συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου των αεροσκαφών.

#### ➤ *Σύστημα Τροφοδοσίας με Βαρύτητα*

Είναι το πιο απλό σύστημα τροφοδοσίας και χρησιμοποιείται σε αρκετά ελαφρά, υψηλοπτέρυγα αεροσκάφη. Οι δεξαμενές είναι εγκατεστημένες πιο ψηλά από τον αναμικτήρα και η ροή καυσίμου από τις δεξαμενές στον κινητήρα διασφαλίζεται από τη βαρύτητα. Το σύστημα αποτελείται από ένα φίλτρο με αποστράγγιση, μία αντλία προέκχυσης, μία βαλβίδα διακοπής και τις σωληνώσεις. Το καύσιμο από τις δύο δεξαμενές διέρχεται πρώτα από το φίλτρο καυσίμου, όπου καθαρίζεται από το νερό, ξένα σώματα και σκουπίδια πριν εισέλθει στον αναμικτήρα. Η βαλβίδα διακοπής παρέχει τη δυνατότητα διακοπής της ροής καυσίμου και επιπρόσθετα σε ορισμένα συστήματα και την επιλογή της δεξαμενής καυσίμου. Με την αποστράγγιση αφαιρούνται το νερό και τα κατακάθια που συγκρατούνται στο φίλτρο. Η αντλία προέκχυσης χρησιμεύει για την παροχή επιπρόσθετου καυσίμου κατά την εκκίνηση του κινητήρα.

#### ➤ *Σύστημα Τροφοδοσίας Καυσίμου Μονοκινητήριων Αεροσκαφών*

Τα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου των σύγχρονων μαχητικών και πολιτικών μονοκινητήριων αεροσκαφών είναι αρκετά πολύπλοκα. Η αρχή όμως λειτουργίας τους είναι απλή και ίδια για όλες τις κατηγορίες των αεροσκαφών αυτών. Για το λόγο αυτό εξετάζεται αρχικά ένα τυπικό απλό σύστημα τροφοδοσίας ενός μονοκινητήριου αεροσκάφους. Αποτελείται από δύο δεξαμενές καυσίμου που κάθε μία έχει τη δική της αντλία καυσίμου, σύστημα αποστράγγισης και εξαερισμού και όργανο μέτρησης της ποσότητας καυσίμου.

Η αντλία καυσίμου κάθε δεξαμενής στέλνει το καύσιμο μέσω των σωληνώσεων στην αντίστοιχη ενισχυτική αντλία. Το καύσιμο διέρχεται από τη βαλβίδα ελέγχου του συστήματος, περνάει από τη βαλβίδα διακοπής, φιλτράρεται στο κύριο φίλτρο του συστήματος και παρέχεται στον κινητήρα.

Τα μαχητικά αεροσκάφη αλλά και ορισμένα στρατιωτικά μεταγωγικά έχουν σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου για απορριπτόμενες εξωτερικές δεξαμενές.

Οι απορριπτόμενες δεξαμενές αναρτώνται στην κοιλιά της ατράκτου και στις πτέρυγες. Το σύστημα αυτό τροφοδοσίας αποτελεί ένα υποσύστημα του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου των εσωτερικών δεξαμενών στο οποίο είναι ενσωματωμένο. Το καύσιμο μεταφέρεται από και προς τις εξωτερικές δεξαμενές από μία πολλαπλή μεταφοράς καυσίμου. Το καύσιμο δε μεταφέρεται απευθείας στον κινητήρα αλλά στην κεντρική δεξαμενή καυσίμου της ατράκτου και εν συνεχεία στον κινητήρα.

#### ➤ *Σύστημα Τροφοδοσίας Καυσίμου Πολυκινητήριων Αεροσκαφών*

Στα πολυκινητήρια αεροσκάφη (δύο ή περισσότεροι κινητήρες) η απόσταση και ο αριθμός των δεξαμενών καυσίμου της ατράκτου και των πτερύγων είναι πολύ μεγαλύτερη από τα μονοκινητήρια αεροσκάφη. Το σύστημα τροφοδοσίας οφείλει να διασφαλίζει παροχή καυσίμου από κάθε δεξαμενή σε κάθε κινητήρα. Έτσι σε περίπτωση βλάβης ενός κινητήρα, το καύσιμο που προορίζονταν για τον κινητήρα αυτόν πρέπει να παρέχεται - διανέμεται στους άλλους κινητήρες. Υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι διανομής του καυσίμου από τις δεξαμενές προς τους κινητήρες, οι βασικότεροι των οποίων είναι με σύστημα διασταυρούμενης τροφοδότησης και σύστημα πολλαπλής.

Στο σύστημα της διασταυρούμενης τροφοδότησης οι βαλβίδες διαλογής των δεξαμενών τροφοδοτούν τους κινητήρες με καύσιμο από τις κύριες δεξαμενές. Μπορούν όμως, κατόπιν επιλογής, να παίρνουν καύσιμο και από τις βοηθητικές δεξαμενές. Η βαλβίδα διασταύρωσης μπορεί, μετά από επιλογή του χειριστού, να τροφοδοτήσει με καύσιμο τον έναν ή και τους δύο κινητήρες από τη δεξαμενή της ατράκτου σε διασταυρούμενη τροφοδότηση.

Το σύστημα τροφοδότησης με πολλαπλή είναι μία παραλλαγή του συστήματος διασταυρούμενης τροφοδότησης. Χρησιμοποιείται κυρίως σε αεροσκάφη με τέσσερις κινητήρες. Σε κάθε κινητήρα αντιστοιχεί μία κύρια δεξαμενή καυσίμου. Σε κανονική λειτουργία βαλβίδες διαλογής του συστήματος τροφοδοτούν με καύσιμο τους κινητήρες απευθείας από τις αντίστοιχες δεξαμενές. Το σύστημα έχει μία κεντρική σωλήνωση που χαρακτηρίζεται πολλαπλή και μία διάταξη επιλογής πολλαπλής τροφοδοσίας. Όταν ο χειριστής του αεροσκάφους επιλέγει την πολλαπλή τροφοδοσία, οι βαλβίδες διαλογής τροφοδοτούν με καύσιμο από όλες τις δεξαμενές την πολλαπλή, η οποία τροφοδοτεί όλους τους κινητήρες. Σε περίπτωση βλάβης ενός κινητήρα το καύσιμο διατίθεται αυτόματα στους υπόλοιπους τρεις κινητήρες και σε περίπτωση βλάβης μίας δεξαμενής καυσίμου ο αντίστοιχος κινητήρας τροφοδοτείται από το σύστημα της πολλαπλής. Το σύστημα τροφοδότησης με πολλαπλή εξασφαλίζει την πλήρωση ενός αεροσκάφους με καύσιμο υπό πίεση από ένα σημείο και μειώνει σημαντικά το χρόνο πλήρωσης επειδή επιτρέπει την παροχή καυσίμου με μεγάλη πίεση.

### **7.3.8.3. Εναέριος Ανεφοδιασμός**

Τα πρώτα πειράματα εναέριου ανεφοδιασμού πραγματοποιηθεί καν στη δεκαετία του 1920. Σήμερα υπάρχουν ειδικά διασκευασμένα αεροσκάφη μεταφοράς κηροζίνης και, ανεφοδιασμού εν πτήση αεροσκαφών (κατηγορία Κ). Οι πιο συνήθεις και εν χρήσει μέθοδοι σύνδεσης των δύο αεροσκαφών εν πτήση (εφοδιάζοντος και εφοδιαζόμενου) είναι με σύστημα βραχιόνων και σύστημα εύκαμπτου σωλήνα με ανεμούριο το οποίο συνήθως είναι γνωστό ως καλάθι.

Στο σύστημα με βραχίονα το αεροσκάφος μεταφοράς καυσίμου (tanker) φέρει συνήθως στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου ένα μακρύ, άκαμπτο, κοίλο άξονα. Ο άξονας στο τέλος του έχει συνήθως μία πτυσσόμενη προέκταση με μία βαλβίδα στο άκρο της για τον έλεγχο της ροής καυσίμου. Στην άκρη της πτυσσόμενης προέκτασης υπάρχουν μικρά πτερυγίδια που καθοδηγούν και διευκολύνουν την είσοδο της στο στόμιο πλήρωσης καυσίμου εν πτήση του ανεφοδιαζόμενου αεροσκάφους.

Το στόμιο πλήρωσης του ανεφοδιαζόμενου αεροσκάφους είναι συνήθως λίγο μπροστά ή λίγο πίσω από το χώρο διακυβέρνησης στο κάθετο επίπεδό του και είναι κατάλληλα διαμορφωμένο για την υποδοχή του ακροφυσίου της πτυσσόμενης προέκτασης του βραχίονα. Στη βάση του στομίου πλήρωσης υπάρχει μία βαλβίδα η οποία ανοίγει μόνο στη φάση ανεφοδιασμού και επιτρέπει την είσοδο του καυσίμου προς τις δεξαμενές του ανεφοδιαζόμενου αεροσκάφους.

Στο σύστημα ανεφοδιασμού εύκαμπτου σωλήνα με ανεμούριο (καλάθι), στο άκρο του εύκαμπτου σωλήνα που μεταφέρεται από το αεροσκάφος που ανεφοδιάζει με καύσιμο, υπάρχει μία βαλβίδα. Το αεροσκάφος που ανεφοδιάζεται φέρει ένα σωλήνα πλήρωσης με ακροφύσιο που συνήθως είναι σταθερό και προεξέχει πλευρικά της ατράκτου. Ο χειριστής του οφείλει να πλησιάζει το άκρο του εύκαμπτου σωλήνα μέχρι να εισέλθει στο ακροφύσιο του σωλήνα πλήρωσής του.

### **7.3.8.4. Σύστημα Εκκένωσης Καυσίμου**

Κάθε αεροσκάφος επιτρέπεται να απογειωθεί με ένα μέγιστο βάρος απογείωσης και να προσγειωθεί με ένα συγκεκριμένο μέγιστο βάρος προσγείωσης. Το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος απογείωσης είναι συνήθως μεγαλύτερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος προσγείωσης, Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να εμφανισθούν συνθήκες ανάγκης προσγείωσης του αεροσκάφους, για παράδειγμα προσγείωση λίγο μετά την απογείωση με ποσότητα καυσίμου που καθιστά το βάρος του αεροσκάφους μεγαλύτερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος προσγείωσης. Το σύστημα εκκένωσης καυσίμου επιτρέπει στο χειριστή, σε περιπτώσεις ανάγκης, την απόρριψη ποσότητας καυσίμου με σκοπό τη μείωση του βάρους του αεροσκάφους κάτω από το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος προσγείωσης. Κάθε πτέρυγα

έχει συνήθως το δικό της σύστημα εκκένωσης για να διατηρηθεί η εγκάρσια ευστάθεια του αεροσκάφους στη φάση εκκένωσης απορρίπτοντας περισσότερο καύσιμο από τη βαρύτερη πτέρυγα. Το σύστημα εκκένωσης αποτελείται από σωληνώσεις, βαλβίδες και προεκτάσεις εκκένωσης. Κάθε πτέρυγα έχει μία σταθερή ή εκτεινόμενη προέκταση για να διασφαλισθεί η εκκένωση καυσίμου μακριά από την πτέρυγα.

#### 7.4. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Τα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη από τα πρώτα στάδια της αεροναυπηγικής. Τα συστήματα πέδησης των πρώτων αεροσκαφών ήταν υδραυλικά. Τα υδραυλικά συστήματα των αεροσκαφών εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες των υγρών με την εφαρμογή πίεσης από κάποια πηγή ισχύος και γι' αυτό ονομάζονται συνήθως υδραυλικά συστήματα ισχύος. Το υδραυλικό σύστημα σε ένα σύγχρονο αεροσκάφος εκτελεί πολλές και διαφορετικές λειτουργίες, όπως για παράδειγμα ανάσυρση και έκταση του συστήματος προσγείωσης, κίνηση των πτερυγίων καμπυλότητας και των επιφανειών ελέγχου, πέδηση των τροχών, κίνηση των αερόφρενων άνοιγμα και κλείσιμο θυρών κ.ά.. Η χρήση του υδραυλικού συστήματος διαφέρει όχι μόνο στις διάφορες κατηγορίες αεροσκαφών αλλά και από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

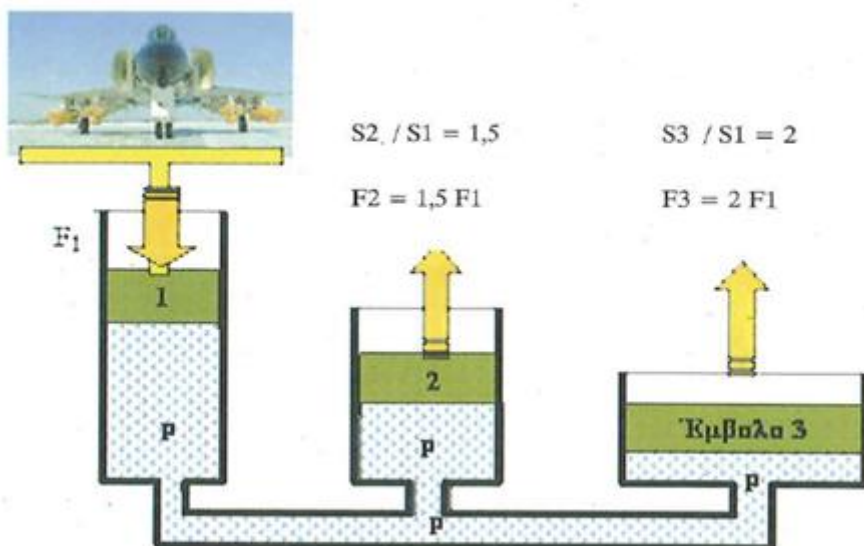
Τα υδραυλικά συστήματα εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων συστημάτων, για παράδειγμα μηχανικών, τα κυριότερα από τα οποία είναι η μεγάλη ταχύτητα αντίδρασης, η ακρίβεια ελέγχου, το μικρό βάρος κατασκευής και, εγκατάστασης, η απλότητα κατασκευής και επιθεώρησης, η μειωμένη απαίτηση συντήρησης, η ευχέρεια εγκατάστασης και η μεγάλη απόδοση. Ο βαθμός απόδοσής τους είναι σχεδόν 1 δεδομένου ότι η μέγιστη απώλεια λόγω τριβών είναι της τάξεως του 1%. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι ότι καθιστούν εφικτή τη μεταβίβαση μεγάλης ισχύος και την υπερνίκηση μεγάλων δυνάμεων με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.

##### 7.4.1. ΑΡΧΗ ΤΟΥ PASCAL ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ

Η αρχή λειτουργίας των υδραυλικών συστημάτων θεμελιώνεται στην αρχή του Γάλλου επιστήμονα Pascal σύμφωνα με την οποία: Η πίεση  $p$  που εφαρμόζεται σε ένα σημείο ενός ακίνητου ρευστού μεταδίδεται αμετάβλητη σε κάθε σημείο του ρευστού καθώς και στα τοιχώματα του δοχείου που το περιέχει. Η μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της πίεσης σε ένα σημείο ενός υδραυλικού συστήματος διαδίδεται με την ταχύτητα του ήχου του υδραυλικού υγρού η οποία είναι πάρα πολύ μεγάλη συγκριτικά με την ταχύτητα του ήχου του αέρα. Πρακτικά η μεταβολή της πίεσης μεταφέρεται ακαριαία σε όλο το σύστημα. Στην τεχνολογία τα υδραυλικά υγρά θεωρούνται ασυμπίεστα.

Γενικά, σε ένα υδραυλικό σύστημα με μία μικρή δύναμη και μεγάλο μήκος διαδρομής εμβόλου επιτυγχάνεται η άσκηση μίας μεγάλης δύναμης με μικρό μήκος διαδρομής εμβόλου, δηλ. στην έξοδό του υδραυλικού συστήματος επιτυγχάνεται πολλαπλασιασμός της δύναμης που ασκείται στην είσοδό του. Το χαρακτηριστικό αυτό των υδραυλικών συστημάτων είναι γνωστό ως μηχανικό πλεονέκτημα, σύμφωνα με το οποίο η αναλογία των εμβαδών των εμβόλων δύο κυλίνδρων ενός υδραυλικού συστήματος καθορίζει την αναλογία των δυνάμεων που επενεργούν στα έμβολα. Κλασσικό παράδειγμα είναι οι υδραυλικοί γρύλοι ανύψωσης. Τα υδραυλικά συστήματα των αεροσκαφών μεταφέρουν ισχύ από μία πηγή ενέργειας στα διάφορα απομακρυσμένα σημεία του αεροσκάφους όπου απαιτείται ισχύς.

Στο σχήμα 14 η δύναμη  $F_2$  που ασκείται στο έμβολο 2 είναι  $F_2 = 1.5 F_1$  επειδή το εμβαδόν του εμβόλου 2 είναι  $S_2 = 1.5 S_1$  και η δύναμη  $F_3$  που ασκείται στο έμβολο 3 είναι  $F_3 = 2 F_1$  επειδή το εμβαδόν του εμβόλου 3 είναι  $S_3 = 2 S_1$ .



Σχήμα 14: Αρχή λειτουργίας υδραυλικού συστήματος.

Μία τυπική εφαρμογή του μηχανικού πλεονεκτήματος αποτελεί το υδραυλικό σύστημα πέδησης με σιαγώνες των αυτοκινήτων. Η μικρή δύναμη που ασκεί ο οδηγός του αυτοκινήτου πιέζοντας με το πόδι του το φρένο, αυξάνει την πίεση του υδραυλικού συστήματος και τα έμβολα του κυλίνδρου ενέργειας πιέζουν τις σιαγώνες στα τύμπανα τροχοπέδησης με πολύ μεγάλη δύναμη, με συνέπεια την επιβράδυνση του αυτοκινήτου.

#### 7.4.2. ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΓΡΑ

Τα κύρια χαρακτηριστικά που καθορίζουν την καταλληλότητα των υδραυλικών υγρών στα υδραυλικά συστήματα των αεροσκαφών είναι η ρευστότητα, ασυμπίεστοτητα (θεωρούνται ασυμπίεστα) το ιξώδες, η χημική ευστάθεια, το σημείο ανάφλεξης και το σημείο καύσης. Γενικά ο τύπος του υγρού καθορίζεται από τον κατασκευαστή του υδραυλικού συστήματος με βασικούς παράγοντες τις συνθήκες και την πίεση λειτουργίας, τη θερμοκρασία μέσα και έξω από το σύστημα και τη χρήση.

##### ➤ Ιξώδες

Δημιουργεί την εσωτερική αντίσταση στη ροή του υγρού. Μειώνεται με αυξανόμενη θερμοκρασία. Το υδραυλικό υγρό οφείλει να παρέχει στεγανότητα στα στοιχεία του υδραυλικού συστήματος (αντλίες, βαλβίδες, έμβολα, κ.τ.λ.) και δεν πρέπει να έχει πολύ χαμηλό ιξώδες. Το μικρό ιξώδες αυξάνει τη φθορά των κινουμένων τμημάτων του υδραυλικού συστήματος ενώ το μεγάλο ιξώδες ρέει δύσκολα και αυξάνει τις απώλειες ισχύος και τις θερμοκρασίες λειτουργίας. Τα υδραυλικά υγρά των αεροσκαφών έχουν συνήθως χαμηλό ιξώδες.

##### ➤ Χημική ευστάθεια

Χημική ευστάθεια είναι η ικανότητα αντίστασης του υγρού σε οξειδωση και μόλυνση. Τα υδραυλικά υγρά είναι ανθεκτικά σε ανεπιθύμητες χημικές μεταβολές και δε διασπώνται όταν λειτουργούν σε αντίξοες συνθήκες για μεγάλο χρονικό διάστημα όπως υψηλές θερμοκρασίες, νερό, αλάτι, ή άλλους ρίπους. Τέλος δεν αντιδρούν χημικά με μέταλλα όπως το ψευδάργυρο, το μόλυβδο, τον κασσίτερο και το χαλκό. Η χημική αστάθεια προκαλεί σοβαρές βλάβες στο υδραυλικό σύστημα, όπως φράξιμο οπών, κόλλημα βαλβίδων και, εμβόλων διαρροές και ελλιπή λίπανση των κινουμένων μερών.

➤ *Σημείο Ανάφλεξης*

Σημείο ανάφλεξης είναι η θερμοκρασία στην οποία οι ατμοί του υδραυλικού υγρού αναφλέγονται παρουσία φλόγας. Τα υδραυλικά υγρά έχουν υψηλό σημείο ανάφλεξης.

➤ *Σημείο Καύσης*

Σημείο καύσης είναι η θερμοκρασία στην οποία οι ατμοί του υγρού αυταναφλέγονται και συνεχίζεται η καύση. Τα υδραυλικά υγρά έχουν υψηλό σημείο καύσης.

Στα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τρεις βασικοί τύποι υδραυλικών υγρών :

- Υδραυλικά Υγρά Βάσεως Φυτικού Λαδιού (MIL-H-7644). Χρησιμοποιούνται σπάνια και χρωματίζονται μπλε. Αποτελούνται από αλκοόλη και ρετσινόλαδο.
- Υδραυλικά Υγρά Βάσεως Πετρελαίου. Χρωματίζονται κόκκινα. Συνήθως είναι της προδιαγραφής MIL-H-6083 και χρησιμοποιείται σε βοηθητικά και δευτερεύοντα υδραυλικά συστήματα και ποτέ σε κύρια.
- Υδραυλικά Υγρά Συνθετικής Βάσεως. Στα στρατιωτικά αεροσκάφη συνηθίζονται υδραυλικά υγρά προδιαγραφής MIL-H-83282 και στα πολιτικά αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα προδιαγραφής MIL-H-8446. Αναγνωρίζονται από το χρώμα τους, όπως ελαφρά πράσινο στο Skydrol 7000, μπλε στο Skydrol 500, και ελαφρά κόκκινο στα Skydrol 500 A και 500 B

Μεγάλη σημασία στη λειτουργία ενός υδραυλικού συστήματος έχει η μόλυνση του υδραυλικού υγρού. Υπάρχουν τα ακόλουθα δύο είδη μόλυνσης υδραυλικών υγρών:

- Στερεά σωματίδια που εισέρχονται στο υδραυλικό σύστημα από το περιβάλλον όπως άμμος, σκόνη, ψήγματα συγκόλλησης και μεταλλικά ρινίσματα από μηχανικές κατεργασίες ή σκουριές.
- Αυτογενή, μη μεταλλικά σωματίδια, όπως παράγωγα οξειδωσης υδραυλικού υγρού, τεμάχια από φθαρμένα παρεμβάσματα και οργανικά εξαρτήματα.

Η μόλυνση προκαλεί σοβαρές βλάβες στο υδραυλικό σύστημα και εντοπίζεται με φίλτρα. Η ακριβής εκτίμηση της μόλυνσης του υδραυλικού υγρού επιτυγχάνεται με χημικές αναλύσεις δειγμάτων του. Τα υδραυλικά υγρά ελέγχονται συχνά για μόλυνση.

### **7.4.3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Ένα υδραυλικό σύστημα, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή ή τη σχεδίασή του, αποτελείται από βασικά στοιχεία τα κυριότερα από τα οποία είναι:

- Δεξαμενή υγρού που περιλαμβάνει το φίλτρο, τη βαλβίδα αποκατάστασης και τον ενδείκτη στάθμης.
- Αντλίες σταθερής και μεταβλητής παροχής που μπορεί να είναι κύριες και βοηθητικές, μηχανοκίνητες, ηλεκτροκίνητες ή χειροκίνητες διαφόρων τύπων.
- Ρυθμιστές πίεσης
- Διάφορα φίλτρα
- Υδραυλικούς συσσωρευτές
- Σωληνώσεις πίεσης από χάλυβα και τις σωληνώσεις επιστροφής από κράμα αλουμινίου
- Υδραυλικούς κινητήρες
- Κυλίνδρους ενέργειας
- Διάφορες βαλβίδες (μηχανικές, ηλεκτρικές)

Το εργαζόμενο υγρό του συστήματος είναι το υδραυλικό υγρό η πίεση του οποίου είναι συνήθως 2.000 και 3.000 PSI.

Η αρχή λειτουργίας των υδραυλικών συστημάτων γίνεται πολύ εύκολα κατανοητή στα δύο πολύ απλά υδραυλικά συστήματα που ενεργοποιούν μία επιφάνεια ελέγχου του αεροσκάφους. Το υδραυλικό σύστημα αποτελείται από μία χειροκίνητη αντλία, μία δεξαμενή υγρού, μία βαλβίδα ελέγχου, μία βαλβίδα διαλογής και ένα κύλινδρο ενέργειας. Η αντλία ωθεί το υγρό από τη δεξαμενή προς τον κύλινδρο ενέργειας μέσω της βαλβίδας ελέγχου και της βαλβίδας διαλογής. Η βαλβίδα ελέγχου ελέγχει την πίεση του υγρού για να ανταποκριθεί στη ζήτηση.

Συνήθως είναι μίας διεύθυνσης και εμποδίζει μερικώς ή ολικώς την κίνηση της ροής του υγρού στην αντίθετη κατεύθυνση. Όταν εμποδίζει ολικώς την κίνηση του υγρού στην αντίθετη κατεύθυνση, ακινητοποιεί το έμβολο του κυλίνδρου ενέργειας και κατά συνέπεια την επιφάνεια ελέγχου. Η βαλβίδα διαλογής ελέγχει τη διεύθυνση της ροής. Επιτρέπει τη ροή του υγρού προς τον κύλινδρο ενέργειας και από αυτόν προς τη δεξαμενή.

#### **7.4.4. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ**

Οι δεξαμενές περιέχουν το απαιτούμενο υγρό για τη λειτουργία του συστήματος καθώς και την κάλυψη μικρών διαρροών. Έχουν διάταξη για τη διαφυγή του παγιδευμένου αέρα και τον έλεγχο της στάθμης του υγρού καθώς και τον απαιτούμενο χώρο για τη διαστολή του υγρού. Η διάταξη ελέγχου της στάθμης του υγρού είναι συνήθως τύπου ράβδου ελέγχου ή πλευρικού υάλινου ενδείκτη ή ηλεκτρονικού τύπου.

Η δεξαμενή υγρού μπορεί να είναι απλή με ατμοσφαιρική αποκατάσταση είτε κλειστή και συμπιεζόμενη. Στην απλή δεξαμενή το υγρό φθάνει στην αντλία υπό την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης και της βαρύτητας. Είναι εγκατεστημένη πάντοτε ποιο ψηλά από την αντλία. Το σύστημα αυτό τροφοδοσίας με βαρύτητα εφαρμόζεται συνήθως σε ελαφρά αεροσκάφη.

Στα αεροσκάφη που πετούν σε μεγάλα ύψη η ατμοσφαιρική πίεση είναι χαμηλή, δεν επαρκεί για την τροφοδοσία της αντλίας και, απαιτείται συμπίεση της δεξαμενής. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη συμπίεση της δεξαμενής είναι δύο: με αέριο και με υγρό. Η συμπίεση με αέριο επιτυγχάνεται με την εισαγωγή αερίου πάνω από την επιφάνεια του υγρού.

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αέρας που παρέχεται συνήθως από τον κινητήρα ή από το σύστημα συμπίεσης του αεροσκάφους. Η πίεση του αέρα στη δεξαμενή διαφέρει στους διάφορους τύπους υδραυλικών συστημάτων και κυμαίνεται από 5 έως 15 p.s.i.

Στις συμπιεζόμενες δεξαμενές με υγρό, ένα εύκαμπτο διάφραγμα (μεμβράνη) τοποθετημένο στον εσωτερικό κύλινδρο σχηματίζει ένα δοχείο υγρού. Η πίεση του υγρού από το εξωτερικό σύστημα, συνήθως της τάξεως των 3.000 p.s.i. ωθεί το έμβολο και αυξάνει την πίεση του υγρού της δεξαμενής σε τιμές κανονικής λειτουργίας, περίπου 30 - 32 p.s.i. Όταν η πίεση του υγρού υπερβεί την πίεση που προαναφέρθηκε, ανοίγει η ανακουφιστική βαλβίδα και σταθεροποιεί την πίεση. Ο τύπος αυτός της δεξαμενής γεμίζει και απαερώνεται πλήρως. Η πίεση του υγρού από 3.000 p.s.i. στο στόμιο εισαγωγής της δεξαμενής, μειώνεται στα 50 p.s.i. στα δύο στόμια εξαγωγής καθότι η επιφάνεια του εμβόλου που είναι εκτεθειμένη σε πίεση 3.000 p.s.i. ανέρχεται στο 1/6 της επιφάνειας του εμβόλου που είναι εκτεθειμένη σε πίεση 50 p.s.i.

Το στόμιο πλήρωσης των δεξαμενών είναι πάντοτε λίγο κάτω από την κορυφή της δεξαμενής για την αποφυγή υπερπλήρωσης. Στο εσωτερικό των δεξαμενών υδραυλικού υγρού αλλά και στις εισόδους και εξόδους τους υπάρχουν διάφορα στοιχεία-εξαρτήματα για τη διατήρηση της ποιότητας του υγρού, τα κυριότερα των οποίων είναι τα ακόλουθα:

- Διαχωριστήρες ή και Πτερύγια: Εμποδίζουν την αναταραχή του υγρού το οποίο διαφορετικά θα άφριζε και ο αέρας θα έμπαινε στην αντλία.
- Φίλτρο Στομίου Πλήρωσης: Συγκρατεί τα ξένα σωματίδια κατά τη διάρκεια αφαίρεσης του πύματος του στομίου πλήρωσης για παράδειγμα κατά την πλήρωση με υγρό.
- Στοιχεία Φίλτρων: Καθαρίζουν τον αέρα συμπίεσης της δεξαμενής και το υγρό στο στόμιο εξόδου της παροχής καθώς και στο στόμιο επιστροφής του υγρού στη δεξαμενή. Στις δεξαμενές ατμοσφαιρικής αποκατάστασης τα φίλτρα αέρος είναι τοποθετημένα στην κορυφή της δεξαμενής πάνω από την επιφάνεια του υγρού και στις δεξαμενές με συμπίεση υγρού στο στόμιο εισόδου του υγρού συμπίεσης. Επίσης, φίλτρα τοποθετούνται στο στόμιο εξόδου της παροχής της δεξαμενής.
- Βαλβίδα Παράκαμψης: Ανοίγει και διασφαλίζει την απαιτούμενη παροχή υγρού στην αντλία όταν φράξει το φίλτρο.
- Σύνδεσμοι Σωληνώσεων Υδραυλικού Συστήματος Ανάγκης: Μερικά αεροσκάφη διαθέτουν υδραυλικά συστήματα ανάγκης που χρησιμοποιούνται σε περίπτωση βλάβης του κυρίου συστήματος. Τα δύο συστήματα τροφοδοτούνται συνήθως από την ίδια δεξαμενή. Το στόμιο τροφοδοσίας της αντλίας ανάγκης είναι ποιο χαμηλά (συνήθως στον πάτο της δεξαμενής) από αυτό του κυρίου υδραυλικού συστήματος.

#### 7.4.5. ΑΝΤΛΙΕΣ

Οι αντλίες δημιουργούν στο υδραυλικό σύστημα την απαραίτητη πίεση για τη μεταφορά του υγρού. Διακρίνονται με βάση την πηγή ενέργειας σε αντλίες ισχύος και σε χειροκίνητες αντλίες.

##### ➤ *Χειροκίνητες Αντλίες*

Χρησιμοποιούνται κυρίως στα αεροσκάφη παλαιάς τεχνολογίας. Στα σύγχρονα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται λιγότερο και αποκλειστικά στο εφεδρικό σύστημα ανάγκης και για τον έλεγχο του υδραυλικού συστήματος του αεροσκάφους στο έδαφος. Συνήθως είναι διπλής ενέργειας, τύπου εμβόλου και παρέχουν υγρό με πίεση και στις δύο διαδρομές του εμβόλου.

Αποτελούνταν από έναν κύλινδρο με έμβολο και στόμιο εισόδου και εξόδου στα τοιχώματά του, τουλάχιστον δύο βαλβίδες ελέγχου και έναν χειρομοχλό. Καθώς ο χειρομοχλός της αντλίας κινείται προς τα αριστερά αυξάνεται η πίεση του υγρού στην αντλία, κλείνει η βαλβίδα ελέγχου στο στόμιο εισόδου, σταματάει η είσοδος υγρού στην αντλία, ανοίγει η βαλβίδα ελέγχου στο εσωτερικό του εμβόλου και το υγρό εξέρχεται με πίεση από το στόμιο εξόδου. Αντιθέτως, καθώς ο χειρομοχλός της αντλίας κινείται προς τα δεξιά, ανοίγει η βαλβίδα ελέγχου στο στόμιο εισόδου, εισέρχεται υγρό στην αντλία, κλείνει η βαλβίδα ελέγχου στο εσωτερικό του εμβόλου, αυξάνεται η πίεση του υγρού στο εσωτερικό της αντλίας περιμετρικά και πίσω από τη κλειστή βαλβίδα ελέγχου και το υγρό εξέρχεται με πίεση από το στόμιο εξόδου.

##### ➤ *Αντλίες Ισχύος*

Χαρακτηρίζονται έτσι επειδή τροφοδοτούνται από εξωτερική πηγή ισχύος, μηχανική ή ηλεκτρική. Οι μηχανοκίνητες παίρνουν κίνηση από το κιβώτιο παρελκόμενων του κινητήρα και οι ηλεκτροκίνητες από ηλεκτροκινητήρα. Διακρίνονται σε αντλίες σταθερής και μεταβλητής παροχής. Σε ορισμένα αεροσκάφη υπάρχουν αντλίες, συνήθως ανάγκης, που κινούνται από τη ροή του αέρα με τη βοήθεια μίας πτερωτής.

1. Αντλίες Σταθερής Παροχής. Χαρακτηρίζονται και ως αντλίες μετατόπισης ή σταθερού όγκου: Οι αντλίες της κατηγορίας αυτής παραλαμβάνουν μία ποσότητα υγρού και το μετατοπίζουν αυξάνοντας την στατική πίεση του υγρού. Παρέχουν σταθερή ποσότητα



υγρού σε κάθε περιστροφή ανεξάρτητα από τη ζήτηση σε πίεση. Η απόδοσή τους εξαρτάται αποκλειστικά από τις στροφές. Για να διατηρηθεί η πίεση του υγρού σταθερή απαιτείται η εγκατάσταση ρυθμιστή πίεσης. Οι αντλίες αυτές χωρίζονται σε παλινδρομικές (εμβολοφόρα) και περιστροφικές, δια παράδειγμα οδοντοτροχούς.

2. Αντλίες Μεταβλητής Παροχής ή Δυναμικές Αντλίες: Οι αντλίες της κατηγορίας αυτής μεταβάλουν την κινητική κατάσταση του υγρού με αποτέλεσμα τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας σε στατική πίεση. Η παροχή τους επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες και μεταβάλλεται με τη ζήτηση σε πίεση. Οι αντλίες αυτές χωρίζονται σε φυγοκεντρικές και εμβολοαντλίες. Τα πλεονεκτήματα των αντλιών αυτών, σε σχέση με τις αντλίες της προηγούμενης κατηγορίας, είναι: μεγαλύτερη ασφάλεια, εργάζονται με μεγαλύτερο αριθμό στροφών, μικρό μέγεθος και βάρος, μικρό κόστος συντήρησης, μεταβλητή παροχή ακόμη και μηδενική για μικρό χρονικό διάστημα.

Οι αντλίες με βάση το μηχανισμό άντλησής τους διακρίνονται σε αντλίες με:

- Οδοντοτροχό
- Στροφεία
- Πτερύγια
- Έμβολα.

Οι αντλίες με οδοντοτροχό είναι σταθερής παροχής και έχουν ευρεία χρήση στα υδραυλικά συστήματα των αεροσκαφών. Η αρχή λειτουργίας της αντλίας με οδοντοτροχό είναι η εξής: Αποτελούνται από δυο συνεργαζόμενους οδοντωτούς τροχούς που εδράζονται στο κύριο σώμα της αντλίας. Τα διάκενα μεταξύ του κυρίου σώματος της αντλίας και των τροχών είναι πολύ μικρά. Ο τροχός που παίρνει κίνηση από εξωτερική πηγή ισχύος μεταφέρει την κίνηση στον άλλο τροχό. Το στόμιο εισόδου συνδέεται με τη δεξαμενή υδραυλικού υγρού και το στόμιο εξόδου με τη γραμμή πίεσης. Τα δόντια των τροχών καθώς διέρχονται από το στόμιο εισόδου παγιδεύουν το υγρό στο διάκενο μεταξύ αυτών και των εσωτερικών τοιχωμάτων της αντλίας και το μεταφέρουν (μετατοπίζουν) στο στόμιο της εξόδου. Οι αντλίες με οδοντοτροχούς χρησιμοποιούνταν για μικρές και μεσαίες πιέσεις.

Η αντλία τύπου πτερυγίων αποτελείται από το κύριο σώμα, ένα εσωτερικό χιτώνιο, τέσσερα πτερύγια και ένα στροφείο με εγκοπές για την υποδοχή των πτερυγίων τοποθετημένο έκκεντρα στο χιτώνιο. Ο όγκος των τεσσάρων τμημάτων του χιτωνίου μεταβάλλεται κατά την περιστροφή του στροφείου επειδή είναι έκκεντρα τοποθετημένο. Ο όγκος κάθε τμήματος μεταβάλλεται από μία ελάχιστη τιμή στη μέγιστη σε κάθε μισή στροφή. Στο στόμιο εισόδου έχει το μέγιστο όγκο και την ελάχιστη πίεση ενώ στο στόμιο εξόδου τον ελάχιστο όγκο και τη μέγιστη πίεση. Το υγρό σε κάθε τμήμα εισέρχεται στην αντλία, όταν διέρχεται από το στόμιο εισόδου και εξέρχεται, όταν διέρχεται από το στόμιο εξόδου.

Οι αντλίες με έμβολα χρησιμοποιούνται ευρέως και σχεδόν αποκλειστικά σε υδραυλικά συστήματα με μεγάλες πιέσεις, συνήθως μεγαλύτερες των 3.000 psi. Κύριο πλεονέκτημά τους είναι η ικανότητα δημιουργίας μεγαλύτερων πιέσεων από τους άλλους τύπους αντλιών. Είναι μηχανοκίνητες και αποτελούνται από πολλούς παράλληλους αξονικά τοποθετημένους κυλίνδρους με ένα έμβολο και μία βαλβίδα σε κάθε κύλινδρο. Ο αριθμός των κυλίνδρων είναι περιττός.

Συνήθως χρησιμοποιούνται αντλίες γωνιακής διάταξης εμβόλων. Η γωνιακή διάταξη αναγκάζει τα έμβολα να παλινδρομούν καθώς η αντλία περιστρέφεται. Όταν τα τρία έμβολα εξέρχονται στους κυλίνδρους τα άλλα τρία εισέρχονται. Στους κυλίνδρους με εξερχόμενα έμβολα μειωνόταν η πίεση και συνεπώς εισέρχεται υγρό στην αντλία ενώ στους κυλίνδρους με εισερχόμενα έμβολα, αυξάνεται η πίεση και το υγρό εξέρχεται από το στόμιο εξόδου. Η αντλία αυτή, όπως και η προηγούμενη, είναι επίσης σταθερής παροχής.

#### 7.4.6. ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΠΙΕΣΗΣ

Οι ρυθμιστές πίεσης διατηρούν την πίεση του συστήματος μεταξύ δύο προκαθορισμένων ορίων και διασφαλίζουν τη λειτουργία της αντλίας σταθερής παροχής χωρίς φόρτιση σε περίπτωση αστοχίας των μηχανισμών. Η παροχή της αντλίας διέρχεται από το ρυθμιστή πίεσης πριν φθάσει στο σύστημα. Οι ρυθμιστές δέχονται την πίεση του υγρού και από τα δύο στόμια. Μέχρι να ανοίξει η βαλβίδα του ρυθμιστή πίεσης στην προκαθορισμένη τιμή, το υγρό παρέχεται στο σύστημα. Όταν η πίεση υπερβεί τη προκαθορισμένη τιμή, το υγρό επιστρέφει στη δεξαμενή.

#### 7.4.7. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Οι υδραυλικοί συσσωρευτές είναι αποθήκες υγρού υπό πίεση με κύρια αποστολή την:

- α. Απόσβεση των ανεπιθύμητων διακυμάνσεων της πίεσης του συστήματος.
- β. Λειτουργία του συστήματος σε περίπτωση βλάβης της αντλίας ισχύος.
- γ. Υποστήριξη της αντλίας σε συνθήκες υπερβολικής φόρτισης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσσωρευτών οι βασικότεροι των οποίων είναι κυλινδρικού τύπου με έμβολο και σφαιρικού τύπου με διαφράγματα. Έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας. Έχουν ένα χώρο στο οποίο αποθηκεύεται αέριο με πίεση και ένα χώρο με υδραυλικό υγρό ο οποίος συνδέεται με το υδραυλικό σύστημα. Όταν αυξάνεται η πίεση του υδραυλικού συστήματος μειώνεται ο όγκος του αερίου και αυξάνεται η πίεση του και αντιστρόφως. Με τον τρόπο αυτό αποσβένονται αυξομειώσεις-διακυμάνσεις της πίεσης του συστήματος. Το αέριο μπορεί να τροφοδοτήσει με πίεση το υδραυλικό σύστημα και να το θέσει σε λειτουργία ορισμένες φορές σε περίπτωση βλάβης της αντλίας. Η αρχική πίεση πληρώσεως του συσσωρευτή με αέριο είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη πίεση λειτουργίας κάθε μηχανισμού.

#### 7.4.8. ΒΑΛΒΙΔΕΣ

Στα υδραυλικά συστήματα των σύγχρονων αεροσκαφών χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι βαλβίδων με συγκεκριμένη αποστολή. Οι πιο γνωστοί και με ευρεία χρήση τύποι βαλβίδων είναι:

➤ *Βαλβίδες Διαλογής (Selector Vaves)*

Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της διεύθυνσης κίνησης ενός μηχανισμού (π.χ. επιφάνειας ελέγχου) και την ασφάλιση της θέσεως του μέσω του κυλίνδρου ενέργειας. Διακρίνονται, με βάση τη ροή του υγρού στην ουδέτερη θέση τους, σε δύο κατηγορίες: ανοικτού και κλειστού κέντρου.

Χαρακτηρίζονται από τον αριθμό των στομιών τους, ο οποίος προσδιορίζεται από τις απαιτήσεις του συστήματος και οι περισσότερες βαλβίδες διαλογής έχουν τέσσερα στόμια. Το πρώτο στόμιο συνδέεται με την αντλία και το δεύτερο με τη γραμμή επιστροφής στη δεξαμενή. Τα άλλα δύο συνδέονται με δύο στόμια δεξιά και αριστερά του εμβόλου του κυλίνδρου ενέργειας για να είναι δυνατή η κίνηση του εμβόλου προς τα αριστερά ή δεξιά, ανάλογα με τη θέση επιλογής (π.χ. ανέβασμα - κατέβασμα πτερυγίου κλίσεως).

- Βαλβίδες Κλειστού Κέντρου. Όταν η βαλβίδα τίθεται σε θέση εκτός λειτουργίας (ουδέτερη θέση), τότε τα στόμια εισόδου και εξόδου κλείνουν και δεν εισέρχεται και

εξέρχεται υγρό από αυτήν. Στα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται ευρέως βαλβίδες διαλογής κλειστού κέντρου τεσσάρων στομίων με στροφείο ή έμβολο. Οι βαλβίδες κλειστού κέντρου έχουν τρεις θέσεις λειτουργίας, μία ουδέτερη θέση στην οποία η βαλβίδα είναι κλειστή και δύο θέσεις λειτουργίας αντίθετης φοράς και διεύθυνσης κίνησης, για βαλβίδα διαλογής με στροφείο.

- Βαλβίδες Ανοικτού Κέντρου. Όταν η βαλβίδα τίθεται σε θέση εκτός λειτουργίας (ουδέτερη θέση), τότε τα στόμια εισόδου και εξόδου είναι ανοικτά και το υγρό διέρχεται από τη βαλβίδα και επιστρέφει στη δεξαμενή. Κατά τα λοιπά η λειτουργία της είναι ίδια με αυτή του κλειστού κέντρου, για βαλβίδα διαλογής τεσσάρων στομίων με στροφείο.

Οι βαλβίδες διαλογής, όπως και τα άλλα είδη βαλβίδων, μπορεί να είναι ηλεκτρικές, π.χ. με σωληνοειδή.

➤ *Βαλβίδες Ανακούφισης (Relief Valve).*

Μειώνουν την πίεση του συστήματος όταν υπερβεί μία ορισμένη τιμή και προστατεύουν τις σωληνώσεις και τα στοιχεία του από ζημιές. Η αύξηση της πίεσης μπορεί να δημιουργηθεί ακόμη και από θερμικές διαστολές του υγρού. Η μείωση (ανακούφιση) της πίεσης επιτυγχάνεται με επιστροφή της απαιτούμενης ποσότητας υγρού στη δεξαμενή. Είναι βαλβίδες ασφαλείας που ρυθμίζονται να ανοίγουν σε προκαθορισμένη τιμή πίεσης αρκετά μεγαλύτερη της πίεσης λειτουργίας του. Τα κύρια υδραυλικά συστήματα των αεροσκαφών λειτουργούν συνήθως στα 3.000 p.s.i. και οι βαλβίδες ανακούφισης ρυθμίζονται να ανοίγουν στα 3,650 p.s.i. και να κλείνουν στα 3,190 p.s.i..

Υπάρχουν διάφοροι τύποι βαλβίδων ανακούφισης με βασικό στοιχείο, συνήθως ένα ελατήριο, του οποίου η μέγιστη ένταση καθορίζει την ενεργοποίηση της βαλβίδας. Οι πιο γνωστοί τύποι είναι η βαλβίδα σφαιρικού τύπου, τύπου χιτωνίου και τύπου παπαρούνας. Επίσης, υπάρχουν και οι βαλβίδες θερμικής ασφαλείας που ανακουφίζουν την πίεση του συστήματος σε περίπτωση θερμικής διαστολής του υγρού.

- Η βαλβίδα είναι σε θέση εκτός λειτουργίας (ουδέτερη). Το έμβολο κλείνει το στόμιο επιστροφής και τα δύο στόμια των κυλίνδρων ενέργειας και το υγρό δεν μπορεί να εισέλθει ή να εξέλθει από τη βαλβίδα.
- Το στόμιο της αντλίας και το στόμιο του κυλίνδρου ενέργειας 2 συνδέονται μεταξύ τους όπως και το στόμιο του κυλίνδρου 1 με το στόμιο επιστροφής. Συνεπώς λειτουργεί ο κύλινδρος 2.
- Το στόμιο της αντλίας και το στόμιο του κυλίνδρου ενέργειας 1 συνδέονται μεταξύ τους όπως και το στόμιο του κυλίνδρου 2 με το στόμιο επιστροφής. Συνεπώς λειτουργεί ο κύλινδρος 1.

➤ *Βαλβίδες Ελέγχου (Check Valves)*

Ελέγχουν με ακρίβεια την πίεση του συστήματος για να ανταποκριθεί στη ζήτηση, διασφαλίζουν σταθερή και ελεγχόμενη ροή. Είναι μίας διεύθυνσης, γι' αυτό χαρακτηρίζονται και ως βαλβίδες μίας διεύθυνσης και εμποδίζουν μερικώς ή ολικώς την κίνηση της ροής του υγρού στην αντίθετη κατεύθυνση. Συνήθως έχουν δύο στόμια και συνδέονται στο υδραυλικό σύστημα σε σειρά με τα υπόλοιπα στοιχεία. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι βαλβίδων ελέγχου, ο απλός και ο περιοριστικός τύπος. Ο απλός τύπος της βαλβίδας ελέγχου επιτρέπει απεριόριστη ροή σε μία μόνο κατεύθυνση. Το υγρό εισέρχεται από το στόμιο εισόδου και αποφράζει τη βαλβίδα πιέζοντας το ελατήριο. Τη στιγμή που σταματάει η ροή, κλείνει πλήρως η βαλβίδα και εμποδίζει ολικώς την αντίστροφη ροή μέσω της βαλβίδας. Η βαλβίδα ελέγχου περιοριστικού τύπου είναι ίδια με την απλή, με τη διαφορά ότι, όταν κλείνει, επιτρέπει περιορισμένη ροή στην αντίθετη κατεύθυνση. Είναι γνωστή και ως βαλβίδα απόσβεσης.

Η διεύθυνση της ροής στην απλή βαλβίδα επισημαίνεται με ένα μεγάλο βέλος στο κύριο σώμα της και στην περιοριστική με δύο βέλη εκ των οποίων το πιο έντονο δείχνει την ελεύθερη ροή και το λιγότερο έντονο την περιορισμένη.

➤ *Διάφοροι Τύποι Βαλβίδων*

Στα υδραυλικά συστήματα των σύγχρονων αεροσκαφών, εκτός από τους παραπάνω τύπους βαλβίδων, χρησιμοποιούνται και διάφοροι άλλοι τύποι με συγκεκριμένη αποστολή. Υπάρχουν βαλβίδες μείωσης πίεσης ή στραγγαλιστικές βαλβίδες για τη λειτουργία των υποσυστημάτων του κυρίου υδραυλικού συστήματος, βαλβίδες ρύθμισης για την ομοιόμορφη κίνηση των κυλίνδρων ενέργειας, βαλβίδες ασφαλείας για τη διακοπή της ροής σε περίπτωση διαρροής υγρού, βαλβίδες ταχείας αποσύνδεσης για την αποφυγή απώλειας υγρού σε περίπτωση αφαίρεσης στοιχείων του συστήματος στη διάρκεια εργασιών συντήρησης ή επισκευής, βαλβίδες διαδοχής για το συγχρονισμό των κινήσεων των θυρίδων του συστήματος προσγείωσης, του συστήματος εκτίναξης καθίσματος, κ.τ.λ..

Οι κύλινδροι ενέργειας μετατρέπουν το έργο συμπίεσης του υγρού σε κίνηση, δηλ. δημιουργούν την απαραίτητη δύναμη για τη γραμμική κίνηση ενός εξαρτήματος. Χρησιμοποιούνται ευρέως στα υδραυλικά συστήματα των αεροσκαφών, π.χ. για την κίνηση των επιφανειών ελέγχου. Αποτελούνται από το κύριο σώμα και από ένα ή περισσότερα έμβολα με διάφορα στόμια εισόδου και εξόδου του υγρού. Η στεγανότητα μεταξύ εμβόλων και κυλίνδρων καθώς και του βάκτρου εξασφαλίζεται με στεγανοποιητικούς δακτυλίους. Το κύριο σώμα του κυλίνδρου φέρει κατάλληλα διαμορφωμένες βάσεις στήριξης για την στήριξή του στο αεροσκάφος. Το άκρο του βάκτρου συνδέεται απευθείας με το εξάρτημα που θέτει σε κίνηση.

#### **7.4.9. ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Οι κύλινδροι ενέργειας μπορεί να είναι απλής ενέργειας, διπλής ενέργειας και ζυγοσταθμισμένου τύπου.

➤ *Κύλινδρος Απλής Ενέργειας*

Παρέχον κίνηση σε μία διεύθυνση. Έχει ένα στόμιο από το οποίο το υγρό εισέρχεται με πίεση και κινεί το έμβολο, ενώ ταυτόχρονα πιέζεται το ελατήριο. Όταν μειώνεται η πίεση του υγρού, μειώνεται και η δύναμη που ασκείται στο έμβολο και όταν γίνει μικρότερη από την αντίστοιχη δύναμη του ελατηρίου, το έμβολο επανέρχεται στην αρχική του θέση και ο αέρας εισέρχεται στο χώρο του ελατηρίου.

➤ *Κύλινδρος Διπλής Ενέργειας*

Έχει δύο στόμια εισόδου υγρού, συνεργάζεται συνήθως με μία βαλβίδα διαλογής τεσσάρων στομιών και παρέχει κίνηση σε δύο διευθύνσεις.

➤ *Κύλινδρος Ενέργειας Ζυγοσταθμισμένου Τύπου*

Είναι ένας κύλινδρος διπλής ενέργειας στον οποίο το βάκτρο εκτείνεται και στα δύο άκρα του κυλίνδρου. Καθιστά εφικτή την ταυτόχρονη κίνηση δύο εξαρτημάτων, όπως π.χ. τους καθαριστήρες αλεξηνέμων, την καθοδήγηση του ριναίου σκέλους κ.τ.λ..

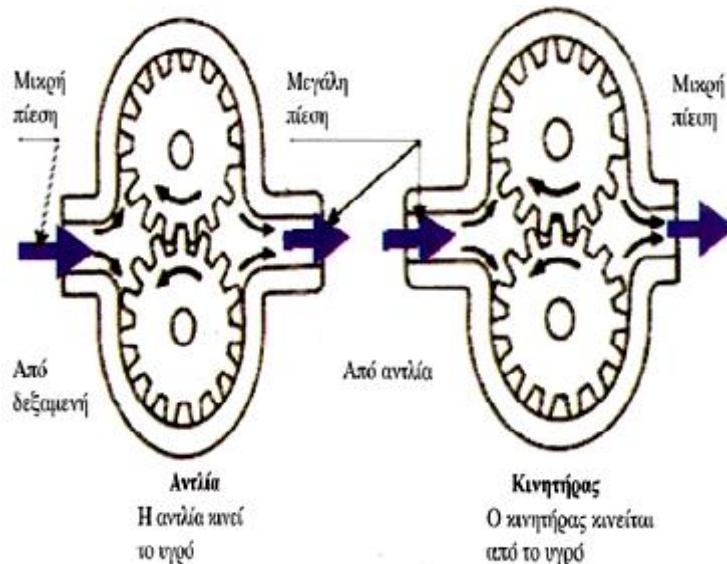
➤ *Διάφοροι Τύποι Κυλίνδρων Ενέργειας*

Στα σύγχρονα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται εξελιγμένοι τύποι κυλίνδρων ενέργειας με τρία στόμια και δύο έμβολα, και διάφοροι ηλεκτρικοί σερβομηχανισμοί.

#### **7.4.10. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

Ο υδραυλικός κινητήρας παράγει περιστροφική ισχύ από την πίεση του υδραυλικού συστήματος. Η αρχή λειτουργίας του είναι αντίστροφη αυτής της αντλίας τύπου οδοντοτροχού. Η διεύθυνση περιστροφής του κινητήρα ελέγχεται από μία βαλβίδα διαλογής. Η αντλία αυξάνει την πίεση και θέτει σε κίνηση το υδραυλικό υγρό ενώ ο κινητήρας λαμβάνει

την κίνηση του από το υδραυλικό υγρό. Το υγρό ασκεί πίεση στους οδοντοτροχούς του κινητήρα που μετακινούνται και περιστρέφουν τον άξονά του. Ο άξονας συνδέεται με το μηχανισμό που πρόκειται να κινηθεί, π.χ. έναν ατέρμονα για την κίνηση των πτερυγίων καμπυλότητας. Η εκκίνηση επιτυγχάνεται από μία βαλβίδα εκκίνησης. Στο σχήμα 15 απεικονίζεται συγκριτικά η λειτουργία μίας υδραυλικής αντλίας και ενός υδραυλικού κινητήρα.



Σχήμα 15: Απεικόνιση συγκριτικής λειτουργίας υδραυλικής αντλίας και υδραυλικού κινητήρα.

#### 7.4.11. ΕΙΔΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα υδραυλικά συστήματα των αεροσκαφών είναι ανοικτού ή κλειστού κέντρου και μπορεί να συνεργάζονται με πνευματικά συστήματα ανάγκης.

##### ➤ Υδραυλικό Σύστημα Ανοικτού Κέντρου

Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι έχει ροή υγρού, όταν λειτουργεί η αντλία, χωρίς όμως πίεση μέχρι να ενεργοποιηθεί κάποιος κύλινδρος ενέργειας του συστήματος. Ένα βασικό τυπικό σύστημα ανοικτού κέντρου, αποτελείται από: μία δεξαμενή, μία αντλία σταθερής παροχής, μία βαλβίδα ανακούφισης, μία ή περισσότερες βαλβίδες διαλογής ανοικτού κέντρου και ένα ή περισσότερους κυλίνδρους ενέργειας. Η βαλβίδα ανακούφισης του συστήματος περιορίζει την πίεση όταν λειτουργεί ο κύλινδρος και η βαλβίδα διαλογής. Δεν απαιτείται ρυθμιστής πίεσης.

##### ➤ Λειτουργία Συστήματος με Βαλβίδες Διαλογής σε Ουδέτερη (Κλειστή) Θέση

Στο σύστημα ανοικτού κέντρου με βαλβίδες διαλογής ανοικτού κέντρου σε ουδέτερη θέση το υγρό ωθείται από την αντλία στις σωληνώσεις, διέρχεται από όλες τις βαλβίδες διαλογής και επιστρέφει στη δεξαμενή χωρίς αύξηση της πίεσης. Οι βαλβίδες διαλογής του συστήματος συνδέονται εν σειρά ή παράλληλα.

##### ➤ Λειτουργία Συστήματος με μία Βαλβίδα Διαλογής σε Θέση Λειτουργίας

Όταν μία μόνο βαλβίδα διαλογής τίθεται σε θέση λειτουργίας, το υγρό μετακινείται με πίεση από την αντλία προς τον κύλινδρο ενέργειας αφού διέλθει ελεύθερα από την πρώτη βαλβίδα διαλογής που είναι σε ουδέτερη θέση. Καθώς το έμβολο του κυλίνδρου ενέργειας κινείται, το υγρό που βρίσκεται μπροστά από το έμβολο κινείται προς την επόμενη βαλβίδα διαλογής, διέρχεται μέσα από αυτήν καθώς είναι σε ουδέτερη θέση και επιστρέφει στη δεξαμενή. Όταν το έμβολο φθάσει στο τέλος της διαδρομής του κυλίνδρου ενέργειας, το

υγρό σταματάει να κινείται πλέον, αυξάνεται η πίεση του, ενεργοποιείται η βαλβίδα ανακούφισης και το υγρό επιστρέφει μέσω αυτής στη δεξαμενή. Όταν δύο ή τρεις βαλβίδες τεθούν σε θέση λειτουργίας, τότε λειτουργούν με βάση τη ζήτηση ισχύος των κυλίνδρων ενέργειας, δηλ. πρώτα λειτουργεί ο κύλινδρος με την ελάχιστη ζήτηση σε πίεση υγρού.

➤ *Υδραυλικό Σύστημα Κλειστού Κέντρου*

Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι το υγρό σε ολόκληρο το σύστημα έχει πίεση όταν λειτουργεί η αντλία και γι' αυτό χαρακτηρίζεται και ως άμεσο σύστημα. Ένα τυπικό, βασικό σύστημα κλειστού κέντρου αποτελείται από μία δεξαμενή, μία αντλία, μία βαλβίδα ανακούφισης, έναν ή περισσότερους κυλίνδρους ενέργειας και τρεις βαλβίδες διαλογής κλειστού κέντρου, η κάθε μία από τις οποίες ενεργοποιεί διαφορετικό κύλινδρο ενέργειας.

#### **7.4.12. ΑΠΛΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Κάθε αεροσκάφος έχει ένα κύριο υδραυλικό σύστημα που συνδέεται και συνεργάζεται με τα υδραυλικά συστήματα των επιμέρους συστημάτων του. Τα υδραυλικά κύρια συστήματα και υποσυστήματα των σύγχρονων αεροσκαφών είναι πολύπλοκα γιατί συνδυάζουν πολλές και διαφορετικές απαιτήσεις πιέσεων καθώς και συγχρονισμένες κινήσεις μηχανισμών και τμημάτων. Π.χ. στα ανασυρόμενα συστήματα προσγείωσης, τα υδραυλικά συστήματα πρέπει να διασφαλίζουν το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρών καθώς και την ασφάλισή τους στην άνω και κάτω θέση σε συγχρονισμό με την κίνηση των σκελών κατά τη φάση ανάσυρσης και έκτασης. Η περιγραφή των πολύπλοκων υδραυλικών συστημάτων των αεροσκαφών εκτιμάται ότι δεν αποτελεί αντικείμενο του παρόντος εγχειριδίου, δεδομένου μάλιστα ότι η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με αυτήν ενός απλού συστήματος.

Η λειτουργία ενός απλού κύριου υδραυλικού συστήματος ενός κλασσικού αεροσκάφους είναι η εξής: η αντλία του συστήματος, που είναι μεταβλητής παροχής και παίρνει κίνηση από τον κινητήρα του αεροσκάφους, αντλεί το υγρό από τη δεξαμενή και το ωθεί στα υδραυλικά επιμέρους υποσυστήματα της καλύπτρας, των πτερυγίων καμπυλότητας του χείλους εκφυγής, της πηδαλιούχησης του ριναίου σκέλους, του συστήματος προσγείωσης και των αερόφρενων. Το υγρό διέρχεται από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα παράκαμψης, η οποία για κάθε ένα από τα υποσυστήματα ενεργοποιείται, από τον χειριστή.

Το υγρό σε κάθε υποσύστημα ενεργοποιεί τους κυλίνδρους ενέργειας και επιστρέφει στον κεντρικό σωλήνα επιστροφής στη δεξαμενή. Μία ανακουφιστική βαλβίδα, συνδεδεμένη στο σύστημα μετά τη βαλβίδα παράκαμψης, εξασφαλίζει τη διατήρηση της πίεσης στα επιτρεπόμενα όρια. Μία χειροκίνητη αντλία διασφαλίζει τη λειτουργία του υδραυλικού συστήματος σε περίπτωση βλάβης της κύριας μηχανοκίνητης αντλίας.

#### **7.4.13. ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΓΚΗΣ**

Σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές τα στρατιωτικά και πολιτικά αεροσκάφη προβλέπεται να έχουν επιπρόσθετα τα εξής συστήματα ανάγκης: ένα υδραυλικό για την κίνηση των επιφανειών ελέγχου, ένα πνευματικό για τη λειτουργία του συστήματος πέδησης και ένα μηχανικό σύστημα για το κατέβασμα των σκελών.

Το υδραυλικό σύστημα ανάγκης πρέπει να είναι τελείως ανεξάρτητο από το κύριο υδραυλικό σύστημα. Η αντλία του συστήματος ανάγκης μπορεί να είναι χειροκίνητη ή να παίρνει κίνηση από ηλεκτροκινητήρα, ή στροβιλοκινητήρα. Οι σωληνώσεις του κυρίου υδραυλικού συστήματος και του συστήματος ανάγκης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο απομακρυσμένες. Οι δεξαμενές των δύο συστημάτων έχουν συνήθως το ίδιο στόμιο πλήρωσης.

Ένα τυπικό υδραυλικό σύστημα ανάγκης με ηλεκτροκινητήρα αποτελείται από μία αντλία, έναν ηλεκτροκινητήρα, ένα συσσωρευτή, μία ανακουφιστική βαλβίδα, ένα διακόπτη

τηλεχειρισμού από το χώρο διακυβέρνησης και ένα διακόπτη πίεσης. Η κύρια διαφορά του συγκριτικά με ένα κανονικό σύστημα είναι ότι η αντλία του τίθεται σε λειτουργία μόνο όταν απαιτηθεί αύξηση της πίεσης του συστήματος. Όταν η πίεση του συστήματος μειωθεί κάτω από μία προκαθορισμένη τιμή, ο διακόπτης πίεσης ενεργοποιεί τον κινητήρα ο οποίος παύει να λειτουργεί, όταν η πίεση αυξηθεί και λάβει την προκαθορισμένη τιμή. Η ανακουφιστική βαλβίδα προστατεύει το σύστημα από υπερβολική αύξηση της πίεσης και ο συσσωρευτής αποφορτίζει τον κινητήρα.

## 7.5. ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Τα πνευματικά συστήματα έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τα υδραυλικά, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούν ως μέσον εργασίας αέρα (αέριο), αντί υγρό. Επίσης, χρησιμοποιούν παρόμοια εξαρτήματα. Οι βασικές διαφορές του αέριου από το υγρό, ως μέσον εργασίας, είναι ότι το αέριο είναι συμπιεστό και έχει πολύ μικρό ιξώδες ενώ τα υγρά πρακτικά είναι σχεδόν ασυμπιέστα με πολύ μεγαλύτερο ιξώδες. Επιπλέον το ιξώδες στα υγρά μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ενώ στα αέρια συμβαίνει το αντίθετο. Τα πνευματικά συστήματα χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια στα αεροσκάφη ως κύρια συστήματα. Πολύ συχνά χρησιμοποιούνται ως συστήματα ανάγκης παροχής πίεσης για τη λειτουργία των υδραυλικών υποσυστημάτων των αεροσκαφών, όπως του συστήματος πέδησης, στις διατάξεις και στους μηχανισμούς ανάγκης, στους μηχανισμούς για το άνοιγμα και το κλείσιμο θυρών, εκκινητήρες, κ.τ.λ.

### 7.5.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα πνευματικά συστήματα των αεροσκαφών χαρακτηρίζονται με βάση την πίεση λειτουργίας τους και διακρίνονται σε συστήματα υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης. Η πίεση λειτουργίας τους εξαρτάται από τις απαιτήσεις του συστήματος.

#### ➤ *Συστήματα Υψηλής Πίεσης*

Στα συστήματα υψηλής πίεσης ο αέρας αποθηκεύεται συνήθως σε μεταλλικές χαλύβδινες φιάλες με πίεση από 1.000 έως 3.000 p.s.i. Επειδή η παροχή αέρα από φιάλες είναι περιορισμένη, χρησιμοποιούνται μόνο σαν εφεδρική πηγή λειτουργίας των συστημάτων ανάγκης, όπως του συστήματος προσγείωσης. Ορισμένα αεροσκάφη έχουν αεροσυμπιεστές για την πλήρωση των φιαλών εν πτήση, όταν απαιτηθεί. Ο αέρας μεταφέρεται με σωληνώσεις από τις φιάλες στις μονάδες ελέγχου πίεσης, όπου ρυθμίζεται η πίεση του στην επιθυμητή τιμή και εν συνεχεία μεταφέρεται στους κυλίνδρους ενέργειας.

#### ➤ *Συστήματα Μέσης Πίεσης*

Τα πνευματικά συστήματα αέρα μέσης πίεσης, λειτουργούν σε πιέσεις από 100 έως 150 p.s.i., δεν έχουν φιάλες και χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα. Ο αέρας αντλείται από το συμπιεστή του στροβιλοκινητήρα και με σωληνώσεις μεταφέρεται στους κυλίνδρους ενέργειας αφού πρώτα ρυθμισθεί η πίεση του στην επιθυμητή τιμή στις μονάδες ελέγχου πίεσης.

#### ➤ *Συστήματα Χαμηλής Πίεσης*

Τα πνευματικά συστήματα χαμηλής πίεσης, λειτουργούν σε πιέσεις από 1 έως 10 p.s.i. και χρησιμοποιούνται συνήθως σε αεροσκάφη με εμβολοφόρους κινητήρες. Ο αέρας παρέχεται από αντλίες που παίρνουν κίνηση από τους κινητήρες του αεροσκάφους ή από ηλεκτροκινητήρες.

## 7.5.2. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα πνευματικά συστήματα είναι όμοια με τα υδραυλικά, με τη βασική διαφορά ότι δεν έχουν χειραντλίες, δεξαμενές, συσσωρευτές και ρυθμιστές. Τα στοιχεία των πνευματικών συστημάτων έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με αυτά των υδραυλικών, πλην όμως διαφέρουν στην κατασκευή τους.

### ➤ *Φιάλες*

Χρησιμοποιούνται σε συστήματα υψηλής πίεσης. Έχουν δύο βαλβίδες, μία για πλήρωση από αεροσυμπιεστή στο έδαφος και μία για έλεγχο της λειτουργίας και διακοπής της παροχής αέρα μέχρι να λειτουργήσει το σύστημα.

### ➤ *Αεροσυμπιεστές*

Ορισμένα αεροσκάφη έχουν αεροσυμπιεστές για πλήρωση φιαλών εν πτήση, όταν απαιτηθεί. Είναι διαφόρων τύπων, όπως με έμβολα, κοχλιωτού τύπου, φυγοκεντρικοί και αξονικοί ανάλογα με την πίεση που δημιουργούν.

### ➤ *Αντλίες*

Χρησιμοποιούνται στα συστήματα χαμηλής πίεσης και είναι συνήθως τύπου πτερυγίων. Η αντλία τύπου πτερυγίων αποτελείται από το κύριο σώμα, τον άξονα περιστροφής και τα πτερύγια. Τα πτερύγια κινούνται μέσα στις σχισμές του άξονα προς τα τοιχώματα της αντλίας λόγω της φυγοκέντρου δύναμης. Επειδή ο άξονας είναι εκκεντρικά τοποθετημένος, τα πτερύγια δημιουργούν θαλάμους διαφορετικών διαστάσεων. Ο αέρας εισέρχεται πάντοτε στο μεγάλο θάλαμο της αντλίας και καθώς ο άξονας περιστρέφεται ο παγιδευμένος αέρας του εισέρχεται στον επόμενο θάλαμο που είναι μικρότερος, συμπιέζεται και εισέρχεται στον επόμενο θάλαμο και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το στόμιο εξόδου.

### ➤ *Ανακουφιστικές Βαλβίδες*

Προστατεύουν τα στοιχεία του συστήματος (π.χ. σωληνώσεις και παρεμβάσματα) από ζημιές περιορίζοντας την υπερβολική αύξηση της πίεσης. Συνήθως έχουν ένα ελατήριο που κλείνει τη βαλβίδα σε κανονική πίεση. Όταν η πίεση του αέρα αυξάνεται πέρα από μία προκαθορισμένη τιμή, το ελατήριο συμπιέζεται, ανοίγει η βαλβίδα και ο αέρας εκτονώνεται στην ατμόσφαιρα. Η βαλβίδα παραμένει ανοικτή έως ότου η πίεση του συστήματος λάβει την κανονική τιμή.

### ➤ *Βαλβίδες Ελέγχου*

Αποτελούνται συνήθως από το κύριο σώμα με δύο και περισσότερα στόμια και έμβολα με ελατήρια και μία μονάδα ελέγχου. Συνήθως είναι δυο θέσεων, τύπου «on» - «off». Στην κλειστή θέση «off» κρατούν τον αέρα παγιδευμένο με πίεση και στην ανοικτή θέση «on» τον αποδεσμεύουν. Ο μηχανισμός ελέγχου μπορεί να είναι μηχανικός, ηλεκτρικός ή και ηλεκτρομαγνητικός.

### ➤ *Βαλβίδες μη Επιστροφής*

Επιτρέπουν τη ροή σε μία μόνο κατεύθυνση, έχουν δύο στόμια και συνήθως η ροή στραγγαλίζεται από ένα έμβολο ή ένα πτερύγιο με ελατήριο ή μία σφαίρα. Το έμβολο, το πτερύγιο ή η σφαίρα επιτρέπουν στον πεπεισμένο αέρα να διέλθει μέσα από τη βαλβίδα όταν ο αέρας εισέρχεται από το ένα μόνο στόμιο της βαλβίδας. Αντιθέτως, όταν ο αέρας εισέρχεται από το άλλο στόμιο κλείνουν τη βαλβίδα και ο αέρας δε μπορεί να περάσει από αυτή.

### ➤ *Περιοριστήρες.*

Οι περιοριστήρες είναι ένα είδος βαλβίδων ελέγχου που χρησιμοποιούνται ευρέως στα πνευματικά συστήματα. Ελέγχουν την παροχή και την ταχύτητα της ροής του αέρα.



Διακρίνονται σε μίας κατεύθυνσης σταθερής παροχής, μίας κατεύθυνσης μεταβλητής παροχής, δύο κατευθύνσεων σταθερής παροχής και δύο κατευθύνσεων μεταβλητής παροχής.

➤ **Φίλτρα**

Προστατεύουν το σύστημα από την είσοδο και παραμονή «ξένων» σωματιδίων (π.χ. σκόνης, ρινίσματα, κ.τ.λ.) και ακαθαρσιών (π.χ. λάδι, νερό, κ.τ.λ.). Τα βασικότερα είδη φίλτρων είναι με διηθητικό χαρτί και με μεταλλικό πλέγμα. Τα φίλτρα αποτελούνται από το κύριο σώμα, δύο στόμια, ένα στοιχείο φίλτρου και μία βαλβίδα ανακούφισης. Η βαλβίδα ανακούφισης ανοίγει όταν το φίλτρο βουλώσει και διασφαλίζει την παροχή αφιλτράριστου πεπιεσμένου αέρα. Τα φίλτρα αυτά δεν καθαρίζονται αλλά αντικαθίστανται. Τα φίλτρα με μεταλλικό συρμάτινο πλέγμα (σήτα) έχουν συνήθως χειρολαβή για την αφαίρεση και τον καθαρισμό τους.

### **7.5.3. ΑΠΛΟ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Όπως αναφέρθηκε επανειλημμένα η αρχή λειτουργίας των πνευματικών συστημάτων είναι ίδια με αυτή των υδραυλικών. Το πνευματικό σύστημα ανάσυρσης - έκτασης του συστήματος προσγείωσης και του αερόφρενου σε περίπτωση βλάβης του κυρίου υδραυλικού συστήματος ενεργοποιείται από τη βαλβίδα ενεργοποίησης. Ο πεπιεσμένος αέρας από τη φιάλη εισέρχεται στη μηχανική βαλβίδα ελέγχου και ενεργοποιεί το πνευματικό υποσύστημα του ριναίου σκέλους και τα πνευματικά υποσυστήματα των κυρίων σκελών και του αερόφρενου. Η επιλογή ενεργοποίησης του υποσυστήματος των κυρίων σκελών και του αερόφρενου επιτυγχάνεται από τις αντίστοιχες βαλβίδες διαλογής. Ο συγχρονισμός των κινήσεων εξασφαλίζεται από τη βαλβίδα διαδοχής.

### **7.6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΠΑΓΟ ΚΑΙ ΒΡΟΧΗ**

Στην εξωτερική επιφάνεια του αεροσκάφους μπορεί να δημιουργηθεί πάγος όταν υπάρχει υγρασία στον αέρα και η θερμοκρασία του είναι κοντά ή κάτω από τη θερμοκρασία παγοποίησης. Τα τμήματα του αεροσκάφους που μπορεί να προσβληθούν από πάγο είναι τα ακόλουθα:

- Χείλος προσβολής πτερωμάτων (πτέρυγα, οριζόντιο και κατά-κόρυφο ουραίο).
- Αλεξήνεμα, παράθυρα, κεραίες και αποστραγγίσεις τουαλετών.
- Εισαγωγές αέρα στους κινητήρες και το σύστημα κλιματισμού.
- Πτερύγια μηχανισμού προειδοποίησης απώλειας στήριξης και σωλήνες Pitot.
- Χείλος προσβολής ελίκων, επιφάνειες ελέγχου πτήσεως και αναμικτήρες.

Ο πάγος, σε κρίσιμα μέρη του αεροσκάφους, όπως στα χείλη προσβολής των πτερωμάτων, της έλικας, στις επιφάνειες ελέγχου πτήσης, κ.ά. επηρεάζει δυσμενώς τις επιδόσεις του. Κατά κανόνα αυξάνει την οπισθέλκουσα και μειώνει την άντωση με συνέπεια τη μείωση της γωνίας προσβολής απώλειας στήριξης και στη φάση προσγείωσης και απογείωσης αυξάνει το μήκος του απαιτούμενου διάδρομου. Ο πάγος στις εισαγωγές του κινητήρα και τον αναμικτήρα μειώνει και τις επιδόσεις των κινητήρων. Η δημιουργία πάγου στις περιοχές των επιφανειών ελέγχου επηρεάζει άμεσα τη ροή του αέρα σε αυτές και δυσχεραίνει τον έλεγχο του αεροσκάφους. Οι επιφάνειες ελέγχου χάνουν τη ζυγοστάθμισή τους ή ακινητοποιούνται. Η ανομοιόμορφη κατανομή του πάγου, ιδίως στις πτέρυγες, προκαλεί καταστρεπτικές ταλαντώσεις αφενός λόγω της ανομοιόμορφης ροής και αφετέρου της ανομοιόμορφης κατανομής της μάζας του αεροσκάφους. Τέλος, αλλοιώνει τις ενδείξεις

των οργάνων που συνδυάζονται με το εξωτερικό περιβάλλον και εμποδίζει τις τηλεπικοινωνίες. Ο πάγος στα αλεξήνεμα περιορίζει την ορατότητα.

Στη διάρκεια της πτήσης δημιουργούνται τρεις τύποι πάγου: τραχύς πάγος, γυαλιστερός πάγος και συνδυασμός τους. Ο τραχύς πάγος σχηματίζει μία τραχιά επιφάνεια, επειδή το νερό παγώνει πριν προλάβει να διασκορπιστεί, λόγω της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας. Ο γυαλιστερός πάγος δημιουργείται όταν το νερό διασκορπίζεται πριν παγώσει. Αυτό συμβαίνει όταν η θερμοκρασία είναι λίγο χαμηλότερη από το σημείο παγοποίησης. Ο γυαλιστερός πάγος είναι μία λεία, μεγάλου σχετικά πάχους επίστρωση στα χείλη προσβολής των πτερωμάτων του αεροσκάφους. Τέλος, ο τύπος συνδυασμού πάχνης και γυαλιστερού πάγου σχηματίζεται όταν τα σταγονίδια της βροχής έχουν διαφορετικό μέγεθος ή όταν τα σταγονίδια της βροχής αναμιγνύονται με χιόνι ή σωματίδια πάγου.

Οι τρόποι προστασίας από το φαινόμενο της παγοποίησης είναι οι ακόλουθοι:

- Πρόληψη σχηματισμού πάγου, γνωστή και ως αντιπαγοποίηση.
- Αφαίρεση πάγου, γνωστή ως αποπαγοποίηση.

Οι βασικές μέθοδοι παρεμπόδισης ή ελέγχου της δημιουργίας πάγου είναι:

- Θέρμανση των επιφανειών με θερμό αέρα.
- Θέρμανση των επιφανειών με ηλεκτρικά στοιχεία.
- Σπάσιμο του πάγου με μηχανικό τρόπο, όπως τη διόγκωση ελαστικών επιφανειών.
- Έκχυση οινόπνευματος.

Γενικά, ο σχηματισμός πάγου σε μία επιφάνεια, μπορεί να αποτραπεί είτε εξατμίζοντας τους υδρατμούς και διατηρώντας την επιφάνεια ξηρή με θέρμανση είτε διατηρώντας την επιφάνεια υγρή σε θερμοκρασία υδρατμών μεγαλύτερη της παγοποίησης.

### 7.6.1. ΑΠΟΠΑΓΩΣΗ ΣΤΟ ΈΔΑΦΟΣ

Οι μέθοδοι αποπάγωσης ενός αεροσκάφους στο έδαφος εξαρτώνται από τα μέσα που διαθέτει το αεροδρόμιο. Η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος αποπάγωσης είναι η είσοδος και παραμονή του αεροσκάφους σε θερμαινόμενο υπόστεγο μέχρι να λιώσουν τα χιόνια και ο πάγος.

Μία συνήθης μέθοδος αποπαγοποίησης εκτός υπόστεγου, είναι με ψεκασμό αποπαγοποιητικού υγρού που περιέχει συνήθως αιθυλικήαλκοόλη. Ο ψεκασμός πρέπει να γίνει μέσα σε δύο ώρες από την προσγείωση. Γενικά, τα υγρά αποπάγωσης επηρεάζουν δυσμενώς το χρώμα και τα παράθυρα του αεροσκάφους και για το λόγο αυτό πρέπει να είναι τα προβλεπόμενα.

Σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος μεγαλύτερες από τη θερμοκρασία παγοποίησης το υγρό χιόνι αφαιρείται με σπάτουλα ή πινέλο. Γενικά η μηχανική αφαίρεση πάγου δεν ενδείκνυται και πρέπει να αποφεύγεται, όταν είναι δυνατό, διότι υπάρχει κίνδυνος να προκληθούν ζημιές στις εξωτερικές επιφάνειες που είναι καλυμμένες από το χιόνι. Ο καθαρισμός των αεραγωγών και των συμπιεστών των στροβιλοκινητήρων από χιόνι ή πάγο, επιτυγχάνεται με θερμό αέρα. Ιδιαίτερη σχολαστικότητα απαιτείται για τον έλεγχο και την απομάκρυνση υπολειμμάτων χιονιού ή πάγου στις περιοχές με διάκενα, στους γυγγλισμούς, στις οπές που είναι εγκατεστημένοι αισθητήρες πίεσης, στις αποστραγγίσεις, στους μηχανισμούς κίνησης των επιφανειών ελέγχου και του συστήματος προσγείωσης, στις θυρίδες και στο σύστημα πέδησης.

### 7.6.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΠΑΓΩΣΗΣ ΜΕ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟ ΑΕΡΑ

Τα συστήματα αποπάγωσης με πεπιεσμένο αέρα, χρησιμοποιούνται για την αποπάγωση της περιοχής του χείλους προσβολής των πτερύγων και του ουραίου πτερώματος. Στην περιοχή του χείλους προσβολής των πτερωμάτων του αεροσκάφους, ηλώνονται ή επικολλούνται ελαστικά που αποτελούνται από σειρές σωληνώσεων που διαστέλλονται, όταν ο πεπιεσμένος αέρας διέρχεται μέσα από αυτά και επανέρχονται στην αρχική τους μορφή όταν αφαιρείται ο αέρας. Με την περιοδική αυτή κίνηση (διαστολή - συστολή) του ελαστικού, που μοιάζει με αναπνοή, θρυμματίζεται ο πάγος και παρασύρεται από τον αέρα. Στα εμβολοφόρα αεροσκάφη, ο πεπιεσμένος αέρας παρέχεται από μία αντλία που παίρνει κίνηση από τους κινητήρες. Στα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα, ο αέρας παρέχεται από το συμπιεστή του στροβιλοκινητήρα. Η περιοδικότητα της κίνησης διαστολής-συστολής του ελαστικού, δηλ. η εφαρμογή της πίεσης ελέγχεται είτε από μία κεντρική βαλβίδα διανομής είτε από πολλές βαλβίδες διανομής, μία για κάθε ελαστικό σωλήνα. Το σύστημα αυτό αποπάγωσης χρησιμοποιείται μόνο σε αεροσκάφη με σχετικά μικρή ταχύτητα.

Ένα βασικό σύστημα αποπάγωσης με πεπιεσμένο αέρα, αποτελείται από τα ακόλουθα κύρια στοιχεία: τα ελαστικά, την πηγή του πεπιεσμένου αέρα, τις βαλβίδες διαφόρων τύπων (ασφαλείας, ανακούφισης, υποπίεσης, ρύθμισης ή διακοπής πίεσης, ελέγχου ή διανομής) και το χρονοστή διόγκωσης. Τα ελαστικά είναι κατασκευασμένα από μαλακό ελαστικό ή πλαστικοποιημένο ύφασμα και έχουν σειρές από σωληνώσεις αέρα. Τα ελαστικά είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες (βροχή, ζέστη, κ.ά.) και σε διάφορες χημικές ουσίες. Επίσης, είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού για να αποφεύγονται ηλεκτρικές εκκενώσεις από τυχόν συγκέντρωση στατικού ηλεκτρισμού. Στον κύκλο διόγκωσης και επαναφοράς του κεντρικού τμήματος και των πλευρικών τμημάτων του ελαστικού, ο πάγος θρυμματίζεται και απομακρύνεται. Τυχόν σχίσιμο του ελαστικού εν πτήση, λόγω κακής συντήρησης μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές ακόμη και ατύχημα, ιδίως όταν είναι στερεωμένο με ήλους. Τα ελαστικά πρέπει να προστατεύονται από πετρελαιοειδή, ακαθαρσίες και αιχμηρά αντικείμενα.

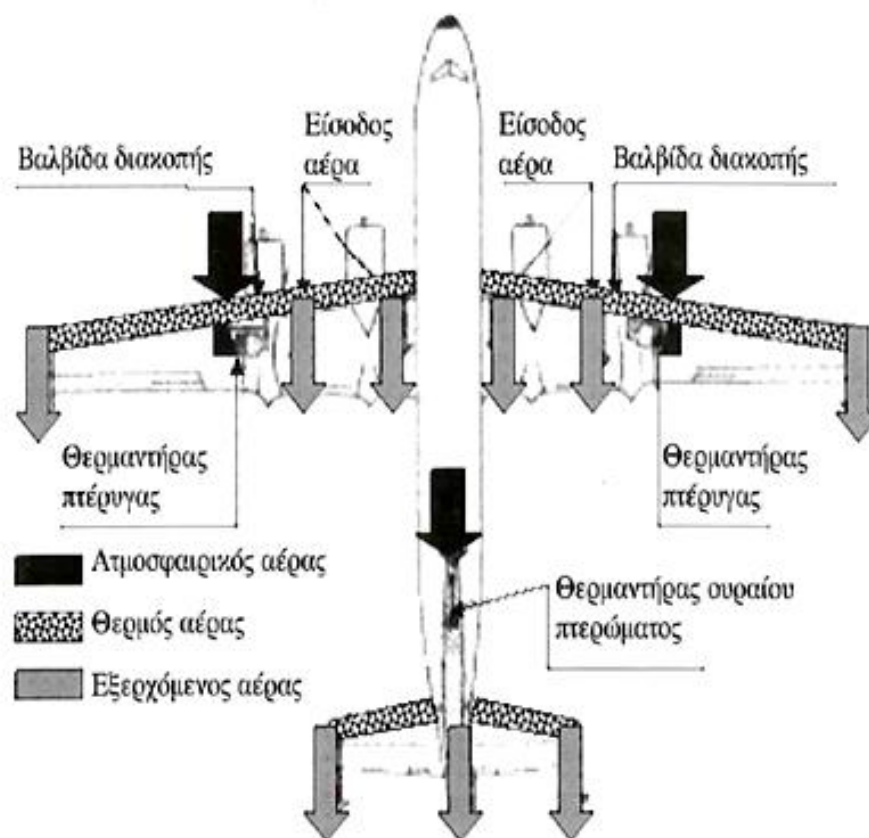
### 7.6.3. ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΠΑΓΩΣΗΣ

Η δημιουργία πάγου στα χείλη προσβολής των πτερωμάτων αλλά και σε άλλες κρίσιμες περιοχές του αεροσκάφους, μπορεί να αποφευχθεί με θέρμανση είτε με θερμό αέρα είτε με θερμικά στοιχεία, τα οποία είναι συνήθως ηλεκτρικά. Τα θερμικά συστήματα χρησιμεύουν και για την αντιπάγωση των κρίσιμων περιοχών του αεροσκάφους. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι παροχής θερμού αέρα και εξαρτώνται μεταξύ άλλων και από τον τύπο των κινητήρων του αεροσκάφους. Στα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα, ο αέρας είτε παρέχεται από προχωρημένες βαθμίδες του αεροσυμπιεστή είτε θερμαίνεται με θερμαντήρες. Στα εμβολοφόρα αεροσκάφη, η αντιπάγωση γίνεται συνήθως με τα καυσαέρια εξαγωγής των κινητήρων.

Η εσωτερική περιοχή του χείλους προσβολής των πτερωμάτων κατά μήκος του εκπετάσματος, έχει συνήθως διπλό τοίχωμα μέσα από το οποίο διέρχεται θερμός αέρας. Ο θερμός αέρας εξέρχεται στην ατμόσφαιρα συνήθως στο ακροπτερύγιο ή σε σημεία που είναι κρίσιμα για σχηματισμό πάγου, όπως τα χείλη προσβολής των επιφανειών ελέγχου. Στα σύγχρονα αεροσκάφη το θερμικό σύστημα αντιπάγωσης ελέγχει και ρυθμίζει την παροχή και τη θερμοκρασία του θερμού αέρα. Μπορεί επίσης, να διακόπτει ή να μειώνει την παροχή αέρα προς μία περιοχή και να αυξάνει την παροχή σε άλλες πιο κρίσιμες περιοχές ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις. Σε περίπτωση βλάβης ενός κινητήρα, έχει τη δυνατότητα να προβεί σε ανακατανομή του θερμού αέρα που παρέχουν οι υπόλοιποι κινητήρες. Τέλος, μπορεί να προβεί και σε αντιπάγωση επιλεγμένων περιοχών με αυτόματη ρύθμιση της παροχής θερμού αέρα.

➤ *Αντιπάγωση με Θερμαντήρες Καύσης:*

Όταν ο αέρας θερμαίνεται με θερμαντήρες, συνήθως, υπάρχει ξεχωριστό σύστημα με το θερμαντήρα του για κάθε πτέρυγα και το ουραίο πτερόμα. Οι θερμαντήρες χρησιμοποιούνται και στο σύστημα κλιματισμού του αεροσκάφους και είναι ηλεκτρικοί ή εσωτερικής καύσης. Η αρχή λειτουργίας των θερμαντήρων εσωτερικής καύσης είναι παρόμοια με αυτή των στροβιλοκινητήρων. Ο εισερχόμενος στο θερμαντήρα αέρας αναμιγνύεται με το καύσιμο, αναφλέγεται από σπινθηριστή και μετά την καύση εξέρχεται στην ατμόσφαιρα. Ο προς θέρμανση αέρας περιρρέει εξωτερικά τον εναλλάκτη του καυστήρα, θερμαίνεται και παρέχεται στο σύστημα αντιπάγωσης. Οι ηλεκτρικοί θερμαντήρες έχουν ενσωματωμένες ηλεκτρικές αντιστάσεις στις οποίες θερμαίνεται ο αέρας. Ένα τυπικό σύστημα αντιπάγωσης με θερμαντήρες εσωτερικής καύσεως απεικονίζεται στο σχήμα 16.



Σχήμα 16: Τυπικό σύστημα αντιπάγωσης με θερμαντήρες καύσης

Το σύστημα αντιπάγωσης ελέγχεται αυτόματα από διακόπτες υπερθέρμανσης, θερμικούς διακόπτες και διακόπτες ασφαλείας πίεσης αέρα στους αγωγούς.

➤ *Αντιπάγωση με Θερμαντήρες Καυσαερίων Εξαγωγής*

Στα εμβολοφόρα αεροσκάφη τα χείλη προσβολής των πτερυγών και του ουραίου πτερώματος προστατεύονται από πάγο με ελεγχόμενη παροχή θερμού αέρα από τα καυσαέρια εξαγωγής των κινητήρων. Οι εξαγωγές των καυσαερίων συγκεντρώνονται μέσω μίας πολλαπλής και ενώνονται σε έναν αγωγό εξαγωγής καυσαερίων μεγάλου μήκους που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Ένας δεύτερος ομοκεντρικός αγωγός περιβάλλει τον κεντρικό αυτό αγωγό εξαγωγής καυσαερίων. Ο αγωγός αυτός χαρακτηρίζεται συνήθως ως θερμαντήρας εξαγωγής καυσαερίων. Τα καυσαέρια του κινητήρα αναμιγνύονται στο θερμαντήρα εξαγωγής καυσαερίων με τον αέρα ψύξης του κινητήρα και το θερμό μίγμα αερίων διοχετεύεται μέσω αγωγών στα κρίσιμα σημεία σχηματισμού πάγου.

➤ *Αντιπάγωση με Θερμό Αέρα Συμπιεστή Στροβιλοκινητήρα*

Στα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα, ο θερμός αέρας του συστήματος αντιπάγωσης παρέχεται από το συμπιεστή του στροβιλοκινητήρα. Κύριο πλεονέκτημα της «αφαίμαξης» αέρα από το συμπιεστή, είναι η μεγάλη παροχή ροής θερμού αέρα. Στα σύγχρονα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα, το σύστημα αντιπάγωσης έχει βαλβίδες διακοπής και ρύθμισης της πίεσης του αέρα του συμπιεστή, αγωγούς, αισθητήρες θερμοκρασίας, θερμικούς διακόπτες και βαλβίδες ελέγχου της ροής. Ελέγχει και ρυθμίζει την παροχή και τη θερμοκρασία του θερμού αέρα ανάλογα με την απαίτηση για αντιπάγωση στις διάφορες περιοχές του αεροσκάφους. Διακόπτει την παροχή, όταν η θερμοκρασία της περιοχής υπερβαίνει μία προκαθορισμένη τιμή και προστατεύει τη δομή του αεροσκάφους από τυχόν υπερθέρμανση.

➤ *Αντιπάγωση Αναμικτήρα*

Ο αναμικτήρας και οι κινητήρες με ψεκασμό (injection) χρειάζονται προστασία από σχηματισμό πάγου, όταν το αεροσκάφος εκτελεί πτήση με χιόνι ή βροχή ή περνάει μέσα από σύννεφα με θερμοκρασία παγοποίησης. Στην περίπτωση σχηματισμού πάγου στην κύρια είσοδο αέρα του κινητήρα, ο πιλότος ανοίγει μία δεύτερη εναλλακτική είσοδο αέρα στον κινητήρα. Η αντιπάγωση και αποπάγωση του αναμικτήρα, επιτυγχάνεται είτε με θερμό αέρα είτε με ψεκασμό αντιπαγωτικού υγρού συνήθως αλκοόλης. Το σύστημα αντιπάγωσης και αποπάγωσης με Ψεκασμό αλκοόλης του αναμικτήρα, είναι συνήθως κοινό με το αντίστοιχο σύστημα των αλεξηνέμων.

➤ *Αντιπάγωση - Αποπάγωση με Ηλεκτρικά Θερμαντικά Στοιχεία*

Στα σύγχρονα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται ευρέως τα ηλεκτρικά θερμαντικά στοιχεία για την προστασία των κρίσιμων περιοχών από πάγο, όπως τις έλικες, τις εισόδους των αεραγωγών των κινητήρων, κ.ά.. Τα θερμαντικά ηλεκτρικά στοιχεία είναι ηλεκτρικές αντιστάσεις, συνήθως πλέγματα από νίκελ ή νίκελ - χρώμιο. Η κατασκευή τους, το σχήμα και η διαμόρφωσή τους διαφέρουν ανάλογα με τη θέση που τοποθετούνται. Είναι κατασκευές σάντουιτς με εξωτερικά το προστατευτικό στρώμα και εσωτερικά το μονωτικό. Ένα τυπικό ηλεκτρικό σύστημα αντιπάγωσης αποτελείται από την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, καλωδιώσεις, τα ηλεκτρικά θερμαντικά στοιχεία και διατάξεις ελέγχου του ηλεκτρικού συστήματος. Τα θερμαντικά στοιχεία είναι τοποθετημένα εσωτερικά ή εξωτερικά στον έλικα ή στον κώνο του έλικα.

#### **7.6.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΠΑΓΩΣΗΣ ΜΕ ΨΕΚΑΣΜΟ**

Το σύστημα αντιπάγωσης και αποπάγωσης με ψεκασμό αλκοόλης είναι συνήθως κοινό με το σύστημα αντιπάγωσης - αποπάγωσης και προστασίας από βροχή των αλεξηνέμων. Η αντιπάγωση του έλικα, συχνά επιτυγχάνεται με ψεκασμό αντιπαγωτικού υγρού στην περιοχή του χείλους προσβολής του έλικα. Το υγρό αντλείται από τη δεξαμενή από μία αντλία και μέσω σωληνώσεων οδηγείται στη ρίζα του έλικα, όπου και ψεκάζεται. Η φυγοκεντρική δύναμη του περιστρεφόμενου έλικα διασκορπίζει το αντιπαγωτικό υγρό κατά μήκος του χείλους προσβολής των πτερυγίων. Ένα τυπικό σύστημα αντιπάγωσης με ψεκασμό του έλικα απεικονίζεται στο σχήμα 14.80.

#### **7.6.5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΠΑΓΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΠΑΓΩΣΗΣ ΑΛΕΞΗΝΕΜΩΝ**

Η αποστολή του συστήματος αντιπάγωσης - αποπάγωσης αλεξηνέμων είναι να διατηρήσει τα αλεξήνεμα του αεροσκάφους καθαρά από πάγο, χιόνια, υγρασία και ομίχλη. Οι κυριότεροι τύποι συστημάτων αντιπάγωσης - αποπάγωσης που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα αεροσκάφη είναι:

- Υαλοκαθαριστήρες και ψεκασμός αντιπαγωτικού υγρού.
- Αλεξήνεμα διπλών τοιχωμάτων με ροή θερμού αέρα μεταξύ των τοιχωμάτων
- Αλεξήνεμα με ενσωματωμένα ηλεκτρικά θερμικά στοιχεία.

➤ *Υαλοκαθαριστήρες και Ψεκασμός Αντιπαγωτικού Υγρού*

Σε ορισμένα αεροσκάφη χρησιμοποιείται σύστημα ψεκασμού αντιπαγωτικού υγρού για την αφαίρεση πάγου από τα αλεξήνεμα. Συνήθως, το αντιπαγωτικό υγρό είναι αλκοόλη. Ένα βασικό σύστημα αποπάγωσης αλεξηνέμων αποτελείται από μία δεξαμενή αλκοόλης, μία αντλία υγρού, μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και σωληνώσεις. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ελέγχει την παροχή της αλκοόλης μέσω της αντλίας από τη δεξαμενή στα αλεξήνεμα. Το σύστημα ρυθμίζεται από το χειριστήριο με κατάλληλους μηχανικούς ή ηλεκτρικούς διακόπτες. Γενικά, όπως ήδη έχει αναφερθεί, το σύστημα αντιπάγωσης και αποπάγωσης με ψεκασμό αντιπαγωτικού υγρού χρησιμοποιείται επίσης, στις πτέρυγες, το ουραίο πτέρωμα, τους αναμικτήρες, τις έλικες, τους αεραγωγούς εισόδου των κινητήρων, κ.ά..

➤ *Αλεξήνεμα Διπλών Τοιχωμάτων με Ροή Θερμού Αέρα*

Είναι ανάλογο του συστήματος αντιπάγωσης - αποπάγωσης με θερμό αέρα του χείλους προσβολής των πτερωμάτων (πτέρυγας και ουραίου πτερώματος). Τα αλεξήνεμα έχουν διπλό τοίχωμα, μέσα από το οποίο διέρχεται ελεγχόμενος θερμαινόμενος αέρας.

➤ *Αλεξήνεμα με Ηλεκτρικά Θερμικά Στοιχεία*

Τα αλεξήνεμα των σύγχρονων αεροσκαφών προστατεύονται από πάγο και ομίχλη με τη θέρμανση ενσωματωμένων σε αυτά ηλεκτρικών θερμικών στοιχείων. Τα αλεξήνεμα είναι κατασκευασμένα από πολλά και διαφορετικά στρώματα μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται το αγώγιμο στρώμα, που είναι και το θερμαινόμενο στοιχείο, όπως. Το αγώγιμο στρώμα είναι συνήθως από διαφανές οξειδίο του κασσιτέρου που επικαλύπτεται από στρώμα διαφανούς πλαστικού από βινύλιο που το καθιστά άθραυστο και ανθεκτικό. Τα διάφορα στρώματα γυαλιού και πλαστικού είναι κολλημένα με πίεση εν θερμό.

Η αντοχή του αλεξήνεμου στα συμπιεζόμενα αεροσκάφη εξασφαλίζεται με τη χρήση στρώματος σκληρού γυαλιού. Το αγώγιμο υλικό θερμαίνεται ηλεκτρικά. Στα σύγχρονα αεροσκάφη, το σύστημα αντιπάγωσης αλεξηνέμων, ενεργοποιείται αυτόματα (χωρίς την επέμβαση του πιλότου), όταν η εξωτερική θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι πολύ χαμηλή ή όταν αρχίζει να σχηματίζεται πάγος. Το σύστημα αντιπάγωσης - αποπάγωσης ενεργοποιείται και από τον χειριστή με διακόπτες και παρέχει τις απαιτούμενες ενδείξεις και προειδοποιήσεις.

## 7.6.6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

Η απομάκρυνση και ιδιαίτερα η παρεμπόδιση επικάθισης της βροχής στα αλεξήνεμα των αεροσκαφών επιτυγχάνεται με:

➤ *Υαλοκαθαριστήρες*

Οι υαλοκαθαριστήρες κινούνται είτε ηλεκτρικά με ηλεκτροκινητήρες, όπως στα αυτοκίνητα είτε υδραυλικά με υδραυλικούς κυλίνδρους ενέργειας. Στα συστήματα ηλεκτρικών υαλοκαθαριστήρων, χρησιμοποιούνται ένας ή περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες και σε ορισμένα είναι ανεξάρτητοι, για να διασφαλισθεί επαρκής ορατότητα σε περίπτωση βλάβης ενός ηλεκτροκινητήρα. Η ταχύτητα των υαλοκαθαριστήρων ελέγχεται από το χειριστήριο. Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος είναι ίδια με αυτή των αυτοκινήτων.

Οι υδραυλικοί υαλοκαθαριστήρες κινούνται από κυλίνδρους ενέργειας που είναι συνδεδεμένοι με το κύριο υδραυλικό σύστημα του αεροσκάφους. Ένα βασικό υδραυλικό σύστημα υδραυλικών υαλοκαθαριστήρων αλεξηνέμου αποτελείται από: κυλίνδρους ενέργειας, βαλβίδα ελέγχου ταχύτητας, μονάδα ελέγχου και σωληνώσεις. Η βαλβίδα ελέγχου

ελέγχει και ρυθμίζει την ταχύτητα λειτουργίας των υαλοκαθαριστήρων και εκκινεί και διακόπτει τη λειτουργία τους. Η μονάδα ελέγχου ρυθμίζει τη διεύθυνση της ροής που υγρού και μετατρέπει την υδραυλική ενέργεια σε μηχανική με παλινδρομική κίνηση των κυλίνδρων ενέργειας. Το σύστημα ενεργοποιείται από τον χειριστή του αεροσκάφους με διακόπτες.

Οι υαλοκαθαριστήρες χρησιμοποιούνταν σε αεροσκάφη με μικρές έως μεσαίες ταχύτητες. Στις μεγάλες ταχύτητες δε λειτουργούν ικανοποιητικά, επειδή οι αεροδυναμικές δυνάμεις μειώνουν την πίεση τους στο αλεξήνεμο. Πρέπει να σημειωθεί, ότι το μειονέκτημα των υαλοκαθαριστήρων είναι ότι περιορίζουν την ορατότητα.

➤ *Εμφύσηση Αέρα*

Το σύστημα παρεμπόδισης επικάθισης της βροχής με εμφύσηση αέρα, εξελίχθηκε με την αύξηση της ταχύτητας πτήσης των αεροσκαφών με στροβιλοκινητήρα. Στο σύστημα αυτό εμφυσάτε, κατά μήκος του αλεξήνεμου, από κάτω προς τα πάνω, αέρας αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας που παρέχεται από το συμπιεστή του στροβιλοκινητήρα. Ο θερμός πεπιεσμένος αέρας δημιουργεί ένα προστατευτικό προκάλυμμα που δεν επιτρέπει τις σταγόνες της βροχής να πέσουν πάνω στην επιφάνεια του αλεξήνεμου.

➤ *Χημικές Ουσίες*

Όταν το νερό προσπίπτει σε καθαρό γυαλί, απλώνεται στην επιφάνειά του ακόμη και όταν το γυαλί είναι υπό γωνία ή κινείται. Αντιθέτως, όταν το γυαλί επικαλυφθεί με χημικό απωθητικό υγρό, το νερό δεν επικάθεται πλέον αλλά συμπεριφέρεται, όπως ο υδράργυρος. Το νερό συγκεντρώνεται σε σταγονίδια διαφόρων μεγεθών που καλύπτουν ένα τμήμα μόνο του γυαλιού ενώ η υπόλοιπη επιφάνεια του παραμένει στεγνή. Όταν το γυαλί κινείται, τα σταγονίδια αυτά απομακρύνονται πολύ εύκολα από τον αέρα που προσπίπτει σε αυτό. Στα αλεξήνεμα των αεροσκαφών που έχουν υποστεί επάλειψη με απωθητικό υγρό, τα σταγονίδια της βροχής απομακρύνονται από τη ροή του αέρα.

Το σύστημα απώθησης βροχής με επάλειψη χημικών ουσιών, αποτελείται από τη δεξαμενή του απωθητικού υγρού, μία αντλία, μία βαλβίδα και τις σωληνώσεις. Το απωθητικό υγρό εκτοξεύεται και ψεκάζεται στην επιφάνεια των αλεξήνεμων, κατά αναλογία προς το αντίστοιχο σύστημα των αυτοκινήτων. Το σύστημα ενεργοποιείται από τον χειριστή με διακόπτες. Η χρήση των απωθητικών υγρών απαγορεύεται σε στεγνά αλεξήνεμα καθώς αφενός περιορίζουν την ορατότητα και αφετέρου προκαλούν φθορές στον υαλοπίνακα.

## **7.7. ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Η πίεση, η πυκνότητα και η θερμοκρασία του αέρα μειώνονται με αυξανόμενο ύψος. Ιδιαίτερα η πίεση μειώνεται ραγδαία και στα 11 Km ανέρχεται στο 22% της πίεσης σε ύψος θαλάσσης. Η θερμοκρασία μειώνεται με αυξανόμενο ύψος στην τροπόσφαιρα ενώ στη στρατόσφαιρα παραμένει σταθερή και ανέρχεται στους  $-56.5^{\circ}\text{C}$  ή 216.66 K. Τα αεροσκάφη πετούν συνήθως στην τροπόσφαιρα που εκτείνεται μέχρι τα 11 Km και στο κατώτερο τμήμα της στρατόσφαιρας που εκτείνεται μέχρι τα 50 Km.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ένα μίγμα αερίων, η χημική σύσταση του οποίου παραμένει σταθερή μέχρι τα 105 Km περίπου. Αποτελείται κυρίως από άζωτο σε ποσοστό 78% και οξυγόνο σε ποσοστό 21% περίπου. Το άζωτο είναι αδρανές και δε συμμετέχει άμεσα στη διαδικασία της ζωής εν αντιθέσει προς το οξυγόνο, χωρίς το οποίο δεν υπάρχει ζωή στη μορφή που γνωρίζουμε στον πλανήτη μας.

Η μερική έλλειψη οξυγόνου επηρεάζει δυσμενώς τις σωματικές και πνευματικές διεργασίες και το βαθμό συνειδητότητας του ανθρώπου. Κύρια συμπτώματά της είναι η νωθρότητα του μυαλού του σώματος που ονομάζονταν υποξυγονία. Οι αιτίες της υποξυγονίας είναι πολλές, αυτή όμως που αφορά τη λειτουργία του αεροσκάφους, είναι η μείωση της πίεσης του οξυγόνου. Η μερική πίεση του οξυγόνου, επηρεάζει το ρυθμό με τον οποίο οι πνεύμονες απορροφούν οξυγόνο και ανέρχεται στο 1/5 περίπου της πίεσης του αέρα στο εκάστοτε ύψος της ατμόσφαιρας.

Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και η πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα μέχρι τα 2.400 m (8.000 ft) διασφαλίζουν πλήρη κορεσμό του αίματος σε οξυγόνο και συνεπώς κανονική σωματική και πνευματική λειτουργία. Σε μεγαλύτερα ύψη, το οξυγόνο στο αίμα μειώνεται κάτω από το επίπεδο κορεσμού. Ενδεικτικά στα 3.280 m (10.000 ft), ο κορεσμός του αίματος σε οξυγόνο ανέρχεται στο 90% και για μεγάλη παραμονή προκαλεί πονοκεφάλους και κούραση όταν δε ζει κανείς μόνιμα στο περιβάλλον αυτό. Στα 4.920 m (15.000 ft) ο κορεσμός ανέρχεται στο 81% και προκαλεί νύστα, πονοκέφαλο, μελάνιασμα στα χείλη και στα δάκτυλα, μη κανονική όραση και κρίση, ιδρώτα και ορισμένες φορές μεταβολές της προσωπικότητας. Στα 6.500 m (20.000 ft) ο κορεσμός ανέρχεται στο 61% και προκαλεί σπασμούς ενώ στα 8.200 m (25.000 ft) ο κορεσμός είναι 50% και παραμονή πέντε λεπτών της ώρας προκαλεί λιποθυμία.

Η πτήση των επιβατικών αεροσκαφών στα μεγάλα ύψη, είναι συμφέρουσα αφενός από οικονομικής άποψης, λόγω μείωσης των καυσίμων και αφετέρου λόγω των βελτιωμένων καιρικών συνθηκών. Από τα ανωτέρω προκύπτει, ότι τα αεροσκάφη που πετούν σε μεγάλα ύψη πρέπει να έχουν ένα σύστημα που να αποτρέπει την υποξυγονία. Πρακτικά σε ύψη πτήσης πάνω από 2.400 m (8.000 ft) η μερική πίεση του οξυγόνου, στα επιβατικά αεροσκάφη πρέπει να διατηρηθεί στα 0.8 bar. Η παροχή αέρα με σταθερή πίεση και περιεκτικότητα σε οξυγόνο, διασφαλίζεται από το σύστημα συμπίεσης. Η συμπίεση του αεροσκάφους συνδέεται με πολύπλοκα τεχνικά και οικονομικά προβλήματα. Το σημαντικότερο πρόβλημα είναι η κατασκευή της ατράκτου με τέτοιο τρόπο, ώστε αφενός να αντέξει στη μεγάλη διαφορική πίεση, δηλ. τη διαφορά μεταξύ της πίεσης καμπίνας και της εξωτερικής πίεσης και αφετέρου να είναι ελαφριά.

Σε αντίθεση με τη συμπίεση, ο κλιματισμός, δηλαδή η θέρμανση ή η ψύξη του αέρα στην καμπίνα του αεροσκάφους, δε δημιουργεί σημαντικά προβλήματα. Γενικά, η συμπίεση και ο κλιματισμός των ελικοφόρων αεροσκαφών είναι δυσκολότερος από ότι των αεροσκαφών με στροβιλοκινητήρα.

#### **7.7.1. ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Το σύστημα συμπίεσης ελέγχει, ρυθμίζει και διασφαλίζει σταθερή πίεση και περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο και ίση με την προβλεπόμενη. Το σύστημα κλιματισμού ρυθμίζει, ελέγχει και διασφαλίζει τη θερμοκρασία των χώρων που κλιματίζει να είναι η προβλεπόμενη. Το σύστημα συμπίεσης και κλιματισμού κλιματίζει, εκτός από τους χώρους των επιβατών και του πληρώματος, ορισμένους χώρους του αεροσκάφους για την αποφυγή υπερθέρμανσης του εξοπλισμού που είναι εγκατεστημένος σε αυτούς.

Ο βασικός εξοπλισμός ενός τυπικού συστήματος συμπίεσης και κλιματισμού είναι ο ακόλουθος:

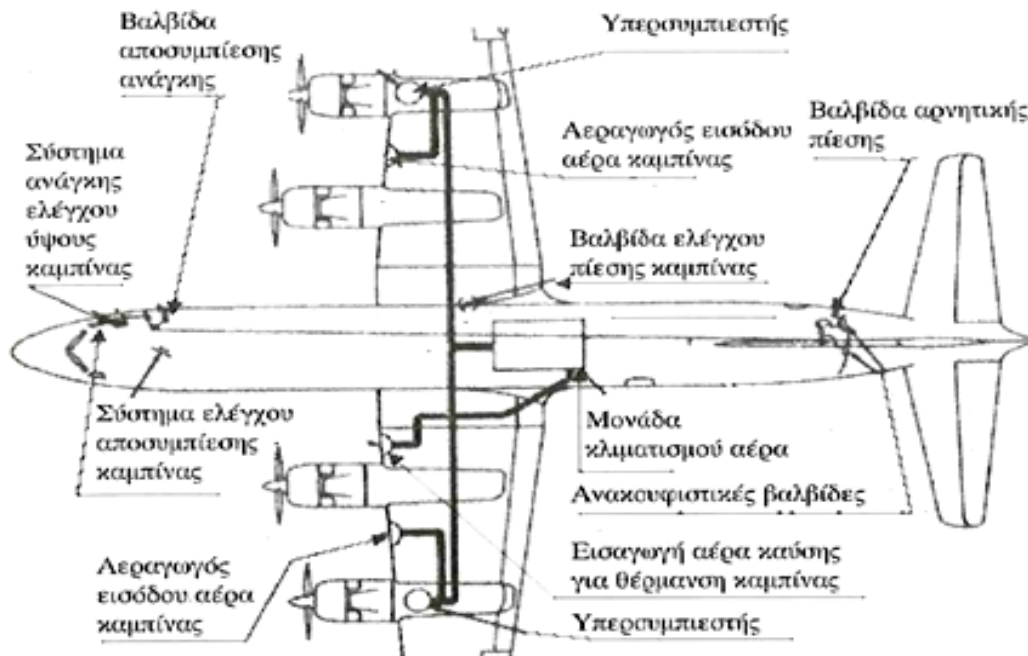
- Πηγή παροχής συμπιεσμένου αέρα, η οποία μπορεί να είναι ανεξάρτητοι συμπιεστές, ανεξάρτητοι υπερσυμπιεστές ή το προωθητικό σύστημα του αεροσκάφους.
- Μηχανισμοί και διατάξεις που περιορίζουν τη μέγιστη διαφορική πίεση μεταξύ συγκεκριμένων ορίων. Η διαφορική πίεση είναι η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής πίεσης στο συμπιεζόμενο χώρο του αεροσκάφους και της εξωτερικής πίεσης της ατμόσφαιρας στο ύψος πτήσης. Ο περιορισμός της διαφορικής πίεσης επιτυγχάνεται με βαλβίδες ανακούφισης, ταχείας εκκένωσης και βαλβίδες ασφαλείας κενού (αρνητικές).
- Ρυθμιστές πίεσης και βαλβίδες ροής αέρα για τη ρύθμιση και έλεγχο της πίεσης των συμπιεζόμενων χώρων και τον έλεγχο της ροής αέρα που εξέρχεται από τους συμπιεζόμενους χώρους.
- Μηχανισμοί και διατάξεις ρύθμισης της θερμοκρασίας του αέρα που διανέμεται στους συμπιεζόμενους χώρους του αεροσκάφους. Είναι βαλβίδες ελέγχου, εναλλάκτες θερμότητας, ηλεκτρικά στοιχεία θέρμανσης, σύστημα ψύξης και ελέγχου



θερμοκρασίας του χώρου επιβατών και πληρώματος. Συνήθως απαιτείται ψύξη και όχι θέρμανση.

Μια βασική προϋπόθεση για την εγκατάσταση συστήματος συμπίεσης και κλιματισμού σε ένα αεροσκάφος, είναι η αυξημένη αντοχή και στεγανότητα των χώρων που συμπιέζονται. Η διαφορική πίεση στους συμπιεζόμενους χώρους είναι μεγάλη στα μεγάλα ύψη πτήσης και οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις στη δομή του αεροσκάφους σημαντικές. Για τη μείωση της διαφορικής πίεσης, δηλ. για τη μείωση της πίεσης της ατράκτου, η πίεση στους χώρους συμπίεσης δεν είναι η «ιδανική» (1 bar) αλλά περίπου 0.8 bar.

Στο σχήμα 17 απεικονίζεται η αρχή λειτουργίας ενός τυπικού συστήματος συμπίεσης και κλιματισμού επιβατικού αεροσκάφους. Ο αέρας για τη συμπίεση αντλείται από υπερσυμπιεστές μέσω κατάλληλων αεραγωγών εισόδου αέρα. Οι υπερσυμπιεστές διασφαλίζουν μία σχετικά σταθερή παροχή ροής αέρα σε όλα τα ύψη πτήσεως. Η πίεση του αέρα στη συμπιεζόμενη καμπίνα ελέγχεται από τη βαλβίδα ελέγχου πίεσης και ο εξαερισμός της διασφαλίζεται από τη βαλβίδα εξαγωγής. Η ανακουφιστική βαλβίδα ανοίγει αυτόματα, όταν η διαφορική πίεση φθάσει μία προκαθορισμένη τιμή και η βαλβίδα αρνητικής πίεσης ανοίγει όταν η πίεση της ατμόσφαιρας υπερβεί μία προκαθορισμένη τιμή.



Σχήμα 17: Τυπικό σύστημα συμπίεσης και κλιματισμού επιβατικού αεροσκάφους.

### 7.7.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

Στα εμβολοφόρα αεροσκάφη, ο αέρας παρέχεται από τους υπερσυμπιεστές που κινούνται από τον κινητήρα ή από ανεξάρτητους αυτόνομους αεροσυμπιεστές. Στα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρες ο αέρας του συστήματος συμπίεσης παρέχεται από τους συμπιεστές των κινητήρων και συνήθως είναι καθαρός. Σε ορισμένα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα, χρησιμοποιούνται ανεξάρτητοι υπερσυμπιεστές που παίρνουν κίνηση από τον αέρα του συμπιεστή του στροβιλοκινητήρα. Οι υπερσυμπιεστές διακρίνονται σε:

- Φυγοκεντρικούς
- Μη φυγοκεντρικούς.

Οι υπερσυμπιεστές έχουν σύστημα ελέγχου που διατηρεί σταθερή την παροχή τους. Στα εμβολοφόρα αεροσκάφη αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της σχέσης μετάδοσης κίνησης από τους κινητήρες στα στροφέια των υπερσυμπιεστών. Στα σύγχρονα αεροσκάφη μία ηλεκτρονική βαλβίδα μειώνει αυτόματα την ταχύτητα περιστροφής του στροφείου, όταν αυτή υπερβεί μία προκαθορισμένη τιμή. Στην έξοδο του υπερσυμπιεστή ορισμένων αεροσκαφών υπάρχει μία βαλβίδα εκκένωσης και αντίθλιψης που μειώνει την πίεση όταν υπερβεί μία προκαθορισμένη τιμή. Η λειτουργία του υπερσυμπιεστή ελέγχεται από τον πίνακα οργάνων του χειριστή, όπου υπάρχουν όργανα με ενδείξεις θερμοκρασίας, ποσότητας και πίεσης λαδιού καθώς και προειδοποιητικά φώτα. Το βασικό όργανο του υπερσυμπιεστή, είναι ο ενδείκτης της ροής του αέρα που συνήθως μετράει τη διαφορά της πίεσης του αέρα στην έξοδο και είσοδό του

#### ➤ Βασικά Στοιχεία Συστήματος Συμπίεσης

- **Βαλβίδες Συμπίεσης:** Τα συστήματα συμπίεσης έχουν τους εξής τέσσερις βασικούς τύπους βαλβίδων:
- **Βαλβίδα Εξαγωγής:** Επιτρέπει τον εξαερισμό του αεροσκάφους μέσω οπών στη ρίζα της πτέρυγας ή στην επικάλυψη της ατράκτου. Λαμβάνει «σήματα» από το ρυθμιστή συμπίεσης και κλείνει ή ανοίγει ανάλογα με την απαιτούμενη συμπίεση. Είναι τοποθετημένη στο συμπιεζόμενο τμήμα της ατράκτου. Τα μικρά αεροσκάφη έχουν μία βαλβίδα εξαγωγής ενώ τα μεγάλα περισσότερες. Σε πολλά αεροσκάφη η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει ανοικτή από ένα διακόπτη που ενεργοποιείται από το σύστημα προσγείωσης. Μετά την απογείωση καθώς αυξάνεται το ύψος πτήσης, η βαλβίδα κλείνει βαθμιαία και περιορίζει τον εξερχόμενο αέρα.
- **Ανακουφιστική Βαλβίδα:** Ανοίγει αυτόματα όταν η διαφορική πίεση υπερβεί μία προκαθορισμένη τιμή. Μπορεί να είναι ενσωματωμένη στη βαλβίδα εξαγωγής αλλά μπορεί και να είναι ανεξάρτητη.
- **Βαλβίδα αρνητικής πίεσης:** Ανοίγει όταν, στο συμπιεζόμενο χώρο του αεροσκάφους, η εξωτερική πίεση είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική. Ουσιαστικά είναι μία αρνητική ανακουφιστική βαλβίδα. Μπορεί να είναι ενσωματωμένη στη βαλβίδα εξαγωγής, μπορεί όμως και να είναι ανεξάρτητη.
- **Χειροκίνητη βαλβίδα:** Είναι μία ανακουφιστική βαλβίδα που ενεργοποιείται σε περίπτωση αστοχίας όλων των άλλων μέσων ρύθμισης της πίεσης στο συμπιεζόμενο χώρο του αεροσκάφους. Χρησιμοποιείται κυρίως στις περιπτώσεις ταχείας αποσυμπίεσης σε περίπτωση πυρκαγιάς ή καθόδου ανάγκης.

#### ➤ Σύστημα Ελέγχου Συμπίεσης

Ένα βασικό σύστημα ελέγχου συμπίεσης αποτελείται από το ρυθμιστή συμπίεσης, τη βαλβίδα ασφαλείας, και το σύστημα διανομής αέρα. Ο ρυθμιστής πίεσης συνεργάζεται με τη βαλβίδα εξαγωγής καθώς και με επιπρόσθετα στοιχεία, όπως βαλβίδες διαφόρων τύπων και στοιχεία του συστήματος διανομής αέρα.

- **Ρυθμιστής Συμπίεσης:** Παρέχει τα απαραίτητα διορθωτικά σήματα για την επίτευξη του επιθυμητού βαθμού συμπίεσης. Ελέγχει κάθε μεταβολή στο σύστημα συμπίεσης και επαναρυθμίζει τη βαλβίδα εξαγωγής. Συνεργάζεται με διάφορες βαλβίδες, όπως τη βαλβίδα ρύθμισης πίεσης του συμπιεζόμενου χώρου, τη βαλβίδα εξαγωγής και ασφαλείας και τις βαλβίδες ανακούφισης. Είναι ένα όργανο παρόμοιο με το υψόμετρο με πολλές ρυθμίσεις.
- **Βαλβίδα Ασφαλείας:** Δεν επιτρέπει η εσωτερική πίεση να υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή της διαφορικής πίεσης και να γίνει μικρότερη από την εξωτερική. Μειώνει ραγδαία την εσωτερική πίεση του αεροσκάφους (εκκένωση) σε περίπτωση ανάγκης.

### ➤ Διανομή Αέρα Συστήματος Συμπύεσης

Ένα τυπικό σύστημα διανομής αέρα στους συμπιεζόμενους χώρους αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά στοιχεία:

- Συσκευές μέτρησης και αισθητήρες ελέγχου της μάζας της ροής του αέρα που εισέρχεται στο σύστημα ανά μονάδα χρόνου.
- Αγωγούς διανομής αέρα.
- Διάφορα φίλτρα.
- Εναλλάκτες Θερμότητας
- Βαλβίδες ελέγχου μη επιστροφής, διακοπής, ανακούφισης, κ.τ.λ.
- Σιγαστήρες
- Υγροποιητές

Οι διατομές των αγωγών διανομής αέρα διαφέρουν στις διάφορες περιοχές του αεροσκάφους, συνήθως όμως, είναι κυκλικές ή ορθογώνιες, εφόσον αυτό είναι εφικτό. Οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από κράματα αλουμινίου, ανοξείδωτου χάλυβα ή πλαστικό, ανάλογα με τη θερμοκρασία του αέρα που διανέμουν. Πρέπει να έχουν τη δυνατότητα επιμήκυνσης και συστολής χωρίς να χάνουν τη στεγανότητά τους διότι η θερμοκρασία τους μεταβάλλεται (πτήση) στάθμευση αεροσκάφους με αποτέλεσμα να διαστέλλονται - συστέλλονται.

### 7.7.3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

Το σύστημα κλιματισμού αποτελείται από το σύστημα θέρμανσης και το σύστημα ψύξης. Η βασική αποστολή του είναι η εξασφάλιση μίας άνετης και ομοιόμορφης κατανομής θερμοκρασίας στην καμπίνα του αεροσκάφους τόσο στη διάρκεια της πτήσης όσο και κατά την παραμονή του στο έδαφος. Συνήθως είναι σχεδιασμένο να διατηρεί μία θερμοκρασία αέρα από 21 έως 26 °C. Επίσης, ελέγχει και ρυθμίζει την υγρασία του αέρα, διατηρεί τη θερμοκρασία του δαπέδου και των πλευρικών τοιχωμάτων του χώρου των επιβατών και του πληρώματος σε ανεκτά επίπεδα και αποτρέπει τη δημιουργία ομίχλης στα παράθυρα. Οι κύριες λειτουργίες του συστήματος κλιματισμού είναι η παροχή θερμού αέρα, ψυχρού αέρα και αέρα εξαερισμού.

#### 7.7.3.1. Σύστημα Θέρμανσης

Το μεγαλύτερο ποσοστό των απαιτήσεων θέρμανσης του συμπιεζόμενου χώρου καλύπτεται από τον αέρα συμπύεσης. Πολλές φορές ο αέρας συμπύεσης παρέχει περισσότερη θέρμανση από την επιθυμητή και σε αρκετές περιπτώσεις απαιτείται ψύξη. Όταν απαιτείται επιπρόσθετη θέρμανση, από αυτή που παρέχει το σύστημα συμπύεσης, τότε χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες πηγές και μέθοδοι παροχής θέρμανσης:

- Θερμαντήρες καύσης με βενζίνη.
- Ηλεκτρικοί θερμαντήρες.
- Επανακυκλοφορία του συμπιεσμένου αέρα του συστήματος συμπύεσης.
- Εναλλάκτες θερμότητας με τη χρήση των καυσαερίων του κινητήρα.

Η αρχή λειτουργίας των θερμαντήρων καύσης είναι όμοια με αυτή των στροβιλοκινητήρων. Ο αέρας που εισέρχεται στο θερμαντήρα από το περιβάλλον για καύση, αναμιγνύεται με το ψεκαζόμενο καύσιμο, αναφλέγεται από σπινθηριστή και ακολουθεί καύση. Ο αέρας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, περιρρέει τον καυστήρα και

θερμαίνεται. Εν συνεχεία με κατάλληλους αγωγούς, διοχετεύεται στους κλιματιζόμενους χώρους και αναμιγνύεται με τον αέρα του συστήματος συμπίεσης. Τα καυσαέρια του θερμαντήρα εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Η λειτουργία του θερμαντήρα ελέγχεται από ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου που διακόπτει τη λειτουργία του καυστήρα όταν είναι επισφαλής.

Οι ηλεκτρικοί θερμαντήρες έχουν ενσωματωμένες ηλεκτρικές αντιστάσεις σε σχήμα αγωγού ή πλάκας. Ο προς θέρμανση αέρας περιρρέει τους αγωγούς με τις θερμές αντιστάσεις και θερμαίνεται. Οι θερμαντήρες σχήματος πλάκας τοποθετούνται συνήθως στο δάπεδο ή τα τοιχώματα του αεροσκάφους και θερμαίνουν με ακτινοβολία. Κύριο μειονέκτημά τους είναι η μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος και κύριο πλεονέκτημά τους η γρήγορη ανταπόκριση τους. Σε ορισμένα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα, ο θερμός, συμπιεσμένος αέρας που εξέρχεται από το συμπιεστή θαλάμου, οδηγείται στην είσοδο του συμπιεστή και επανασυμπιέζεται. Με τη διπλή συμπίεση ο αέρας αποκτά αρκετά υψηλή θερμοκρασία για να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω για θέρμανση.

Σε ορισμένα, συνήθως μεγάλα εμβολοφόρα αεροσκάφη, ως πηγή ενέργειας για τη θέρμανση του αέρα χρησιμοποιούνται τα καυσαέρια. Το σύστημα αυτό είναι πολύ παλιό και πολύ απλό. Οι εξαγωγές των καυσαερίων συνδέονται μέσω μίας πολλαπλής με έναν αγωγό εξαγωγής καυσαερίων μεγάλου μήκους που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Ο προς θέρμανση καθαρός αέρας του περιβάλλοντος, διέρχεται από έναν αγωγό που περιβάλλει τον κεντρικό αγωγό καυσαερίων και θερμαίνεται σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση της καμπίνας του αεροσκάφους. Ο αέρας που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση ή ψύξη του αεροσκάφους εισέρχεται από αεραγωγούς που είναι εγκατεστημένοι στις εμπρόσθιες ή κάτω επιφάνειές του ή μέσω άλλων ανοιγμάτων εξαερισμού της επικάλυψης.

### 7.7.3.2. Σύστημα Ψύξης

Το σύστημα ψύξης διασφαλίζει στην καμπίνα του αεροσκάφους την επιθυμητή θερμοκρασία και περιεκτικότητα υγρασίας. Συνεργάζεται μέσω αυτοματισμού με το σύστημα θέρμανσης. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συστημάτων ψύξης. Οι πιο συνήθεις τύποι που χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη είναι το σύστημα κύκλου αέρα και κύκλου ατμού.

#### ➤ Σύστημα Ψύξης Κύκλου Αέρα.

Το βασικό σύστημα ψύξης κύκλου αέρα αποτελείται από έναν εναλλάκτη θερμότητας, ένα στρόβιλο εκτόνωσης, βαλβίδες διαφόρων τύπων που ελέγχουν τη ροή αέρα στο σύστημα και αγωγούς διανομής αέρα. Από τον εναλλάκτη θερμότητας διέρχεται συμπιεσμένος αέρας από τη καμπίνα του αεροσκάφους και ψύχεται. Ως μέσον ψύξης στον εναλλάκτη χρησιμοποιείται ατμοσφαιρικός αέρας. Επειδή τόσο το μέσον ψύξης όσο και το ψυκτικό μέσον στον εναλλάκτη είναι αέρας, χαρακτηρίζεται ως εναλλάκτης αέρα - αέρα. Ο συμπιεσμένος αέρας που εξέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας, εισέρχεται σε έναν στρόβιλο εκτόνωσης και περιστρέφει το στροφέιο του. Στο στρόβιλο εκτόνωσης μειώνεται η πίεση, η ταχύτητα και ιδιαίτερα η θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα. Οι διάφορες βαλβίδες του συστήματος ρυθμίζουν και ελέγχουν τη ροή του συμπιεσμένου αέρα. Κύρια αποστολή των βαλβίδων είναι η αύξηση της ροής του αέρα περιβάλλοντος στον εναλλάκτη θερμότητας και η αύξηση της ψύξης στο στρόβιλο.

#### ➤ Σύστημα Ψύξης Κύκλου Ατμού

Χρησιμοποιείται συνήθως σε μεγάλα αεροσκάφη, έχει μεγαλύτερη ικανότητα ψύξης από το σύστημα ψύξης κύκλου αέρα και μπορεί να λειτουργεί όταν το αεροσκάφος είναι στο έδαφος χωρίς τους κινητήρες εν λειτουργία. Η λειτουργία του στηρίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία εξαέρωσης (βρασμού) ενός υγρού μειώνεται όταν μειώνεται η πίεση του.

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος ψύξης κύκλου ατμού, είναι ίδια με αυτήν ενός ψυγείου κουζίνας ή ενός κλιματιστικού. Ο κύκλος λειτουργίας του πολύ συνοπτικά είναι ο ακόλουθος: Από μία δεξαμενή υψηλής πίεσης ένα υγρό, που χαρακτηρίζεται ως ψυκτικό μέσον, ρέει μέσω μίας βαλβίδας εκτόνωσης, σε μία διάταξη στην οποία εξατμίζεται και γι'

αυτό χαρακτηρίζεται ως εξατμιστής. Η πίεση του υγρού στον εξατμιστή επιλέγεται να είναι τόσο χαμηλή ώστε η θερμοκρασία εξαερισμού του να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του προς ψύξη αέρα. Καθώς ο προς ψύξη αέρας περιρρέει εξωτερικά τον εξατμιστή ψύχεται, ενώ το ψυκτικό υγρό στο εσωτερικό του εξατμιστή θερμαίνεται, εξαερώνεται (βράζει) και μετατρέπεται σε ατμό (αέριο). Ο ψυχρός ατμός του ψυκτικού υγρού εισέρχεται στο συμπιεστή, όπου αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία εξαερισμού του. Μετά το συμπιεστή, ο ψυχρός ατμός διέρχεται από έναν συμπυκνωτή όπου ψύχεται, υγροποιείται και επιστρέφει στη δεξαμενή υψηλής πίεσης και η κύκλος επαναλαμβάνεται.

Ως ψυκτικό υγρό ή μέσον χρησιμοποιούνται υγρά με πολύ χαμηλή θερμοκρασία βρασμού. Το πιο κατάλληλο ψυκτικό υγρό θεωρείται το Freon που βράζει σε ατμοσφαιρική πίεση στους 40 °C.

## 7.8. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ

Το σύστημα προσγείωσης αποτελείται από υποσυστήματα, συγκροτήματα και ενδείκτες. Η κύρια αποστολή του συστήματος προσγείωσης (Σ/Π) των αεροσκαφών είναι:

- Η απορρόφηση της κρουστικής ενέργειας τη στιγμή επαφής των σκελών με το διάδρομο στη φάση προσγείωσης.
- Η απορρόφηση και μετατροπή της κινητικής ενέργειας του αεροσκάφους στους μηχανισμούς πέδησης με τριβή σε θερμική ενέργεια.
- Πηδαλιούχηση του αεροσκάφους στη φάση προσγείωσης και τροχοδρόμησης.
- Παρεμπόδιση και αποφυγή «ολίσθησης» των ελαστικών του αεροσκάφους.
- Στήριξη του αεροσκάφους κατά τη στάθμευση, ρυμούλκηση και τροχοδρόμηση του.

Τα υδροπλάνα δε διαθέτουν σύστημα προσγείωσης διότι προσθαλασσώνονται και αποθαλασσώνονται με την άτρακτό τους. Επιπλέον, τα αμφίβια αεροσκάφη προσγειώνονται και απογειώνονται σε διαδρόμους με τα γνωστά συστήματα προσγείωσης και προσθαλασσώνονται και αποθαλασσώνονται με την άτρακτό τους που έχει διαμόρφωση καρίνας πλοίου. Τα συστήματα προσγείωσης έχουν τη μεγαλύτερη καταπόνηση από όλα τα συστήματα του αεροσκάφους. Η κατασκευή τους, με την απαιτούμενη αντοχή και ασφάλεια, κατέστη εφικτή μετά τη δεκαετία του 30 με την εξέλιξη των αεροπορικών χαλυβοκραμάτων και την εξέλιξη της τριβολογίας. Για το λόγο αυτό, στη δεκαετία του 1920 - 1930 κατασκευάστηκαν τα μεγαλύτερα υδροπλάνα με αξιοσημείωτες επιδόσεις.

### 7.8.1. ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ

Τα συστήματα προσγείωσης διαφέρουν στα αεροσκάφη ανάλογα με το αν είναι ανασυρόμενα ή όχι, με τη θέση εγκατάστασής τους στο αεροσκάφος και με τον αριθμό των τροχών. Με βάση τη δυνατότητα ανασύρσης ή όχι διακρίνονται στις ακόλουθες δύο κατηγορίες:

- Σταθερά ή μη ανασυρόμενα σκέλη. Παραμένουν εκτεταμένα σε όλες τις φάσεις πτήσης. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε ελαφρά πολιτικά αεροσκάφη με μικρές σχετικά ταχύτητες πτήσης. Κύριο πλεονέκτημά τους είναι η απλότητα και το μικρό κόστος κατασκευής, εγκατάστασης και συντήρησης. Κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι αυξάνουν την οπισθέλκουσα του αεροσκάφους κατά την πτήση και στις μεγάλες ταχύτητες πτήσης περιορίζουν σημαντικά τις επιδόσεις του. Η μείωση της οπισθέλκουσας του σταθερού συστήματος προσγείωσης επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση αεροδυναμικών καλυμμάτων και τη χρήση στοιχείων με αεροδυναμικά διαμορφωμένη διατομή.

- Ανασυρόμενα σκέλη. Μετά την απογείωση αναδιπλώνονται ανασύρονται και «φωλιάζουν» σε υποδοχές στην άτρακτο, στις πτέρυγες ή στα ατρακτίδια κινητήρων. Πριν την προσγείωση εκτείνονται και ασφαλίζουν. Η ανάσυρση και έκτασή τους γίνεται από τον χειριστή με το ανέβασμα ή κατέβασμα μίας ειδικής χειρολαβής. Κατά την ανάσυρση των σκελών κλείνουν αυτόματα οι ειδικές θυρίδες τους με συνέπεια τη μείωση της οπισθέλκουσας του αεροσκάφους στη διάρκεια της πτήσης του. Η μεγάλη πλειοψηφία των σύγχρονων αεροσκαφών (πολιτικών και μαχητικών) και τα αεροσκάφη με αυξημένες επιδόσεις έχουν ανασυρόμενα σκέλη. Τα ανασυρόμενα συστήματα προσγείωσης έχουν μεγαλύτερο βάρος και είναι πιο πολύπλοκα από τα σταθερά. Στα ανασυρόμενα συστήματα προσγείωσης η οπισθέλκουσα των σκελών αφορά μόνο τις φάσεις προσγείωσης και απογείωσης.

Τα συστήματα προσγείωσης, με βάση τη διάταξη και θέση εγκατάστασής τους στο αεροσκάφος διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης (Tricycle Landing Gear).
- Δίκυκλο σύστημα προσγείωσης (Quadricycle Landing Gear).
- Πολύτροχο σύστημα προσγείωσης (Double - Dual Tandem Landing Gear).

### 7.8.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ

- Τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης (Tricycle Landing Gear)

Υπάρχουν δύο βασικά είδη τρικύκλου συστήματος προσγείωσης με ριναίο και ουραίο τροχό.

- *Τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης με ριναίο τροχό.*

Σχεδόν όλα τα μεσαία και μεγάλα αεροσκάφη τις τελευταίες δεκαετίες έχουν τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης με ριναίο τροχό. Τα αεροσκάφη με αυτό σύστημα προσγείωσης έχουν δύο κύρια σκέλη εγκατεστημένα πίσω από το κέντρο βάρους τους και ένα βοηθητικό ριναίο σκέλος μπροστά από το κέντρο βάρους.

Το κέντρο βάρους τους είναι μπροστά από τα κύρια σκέλη με συνέπεια να είναι ευσταθές στο έδαφος και να έχει τη δυνατότητα προσγείωσης με μεγάλη κλίση προς το διάδρομο.

Τα κύρια πλεονεκτήματα του τρικύκλου συστήματος προσγείωσης με ριναίο τροχό είναι:

- Η δύναμη πέδησης επενεργεί σταθεροποιητικά και επιτρέπει πλήρη πέδηση.
- Στο έδαφος το αεροσκάφος (δάπεδο του χώρου επιβατών) είναι περίπου οριζόντιο.
- Πολύ καλή ορατότητα του πιλότου κατά την τροχοδρόμηση.
- Μειωμένη οπισθέλκουσα του αεροσκάφους στην αρχική φάση της απογείωσης.

Γενικά, το τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης με ριναίο τροχό διασφαλίζει βέλτιστη αποτελεσματικότητα πέδησης και απλούς ελιγμούς στη φάση προσγείωσης. Τα κύρια σκέλη στηρίζονται συνήθως στην άτρακτο αλλά και σε αρκετά αεροσκάφη στις πτέρυγες. Το ριναίο σκέλος είναι εγκατεστημένο στο επίπεδο συμμετρίας στην περιοχή του ρύγχους του αεροσκάφους.

- *Τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης με Ουραίο Τροχό*

Έχει δύο κύρια σκέλη μπροστά από το κέντρο βάρους του αεροσκάφους και ένα βοηθητικό ουραίο τροχό. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε ευρέως στις τρεις πρώτες δεκαετίες της αεροπορίας. Πολλά ελαφρά αεροσκάφη έχουν ακόμη και σήμερα το σύστημα αυτό προσγείωσης αν και θεωρείται απαρχαιωμένο. Η γωνία κλίσης του αεροσκάφους κατά

τη στάθμευσή του είναι λίγο μικρότερη από τη γωνία απώλειας στήριξης της πτέρυγας με εκτεταμένες τις υπεραντωτικές διατάξεις.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του τρίκυκλου συστήματος προσγείωσης με ουραίο τροχό είναι συνοπτικά:

- Ο ουραίος τροχός είναι μικρός, ελαφρύς και απλός στη σχεδίαση - κατασκευή.
- Επιτρέπει την απλή προσαρμογή των κυρίων σκελών στις πτέρυγες.
- Σε προσγείωση με συνθήκες απώλειας στήριξης είναι εφικτή η ταυτόχρονη επαφή και των τριών τροχών με συνέπεια την αύξηση της οπισθέλκουσας και της επιβράδυνσης του αεροσκάφους σε δυσμενείς συνθήκες διαδρόμου (π.χ. υγρό γρασίδι).

Το βασικό μειονέκτημα του τρίκυκλου συστήματος προσγείωσης με ουραίο τροχό, το οποίο οδήγησε στην αντικατάστασή του από το τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης με ριναίο τροχό, είναι ότι σε βίαιη πέδηση τείνει να ανατρέψει το αεροσκάφος προς τα εμπρός.

➤ *Δίκυκλο σύστημα προσγείωσης (Bicycle Landing Gear)*

Στο δίκυκλο σύστημα προσγείωσης οι τροχοί που παραλαμβάνουν και αποσβένουν τα κύρια κρουστικά φορτία είναι εγκατεστημένοι στο επίπεδο συμμετρίας του αεροσκάφους και τα βοηθητικά σκέλη συμμετρικά κάτω από τις πτέρυγες. Τα βοηθητικά σκέλη παρέχουν πρόσθετη ευστάθεια κατά την τροχοδρόμηση. Τα κύρια σκέλη έχουν διπλούς τροχούς. Όλοι οι τροχοί διαθέτουν σύστημα πέδησης ενώ ο ριναίος τροχός διαθέτει επιπρόσθετα και σύστημα πηδαλιούχησης. Γενικά, το δίκυκλο σύστημα προσγείωσης χρησιμοποιείται σε αεροσκάφη με μειωμένο μήκος ατράκτου και μεγάλο λόγο διατάγματος καθώς και σε VTOL.

Το βασικό πλεονέκτημα του δίκυκλου συστήματος προσγείωσης είναι ότι διαθέτει, συγκριτικά προς το τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης, μεγαλύτερο τμήμα της ατράκτου στην περιοχή του κέντρου βάρους του αεροσκάφους, για την τοποθέτηση φορτίων. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο στα βομβαρδιστικά αεροσκάφη και τα αεροσκάφη καθέτου απογείωσης στα οποία τα «ωφέλιμα» φορτία και ο κινητήρας τοποθετούνται στην περιοχή αυτή.

➤ *Τετράκυκλο Σύστημα Προσγείωσης*

Το τετράκυκλο σύστημα προσγείωσης είναι παρόμοιο με το δίκυκλο με τη διαφορά ότι τα τέσσερα σκέλη του είναι εγκατεστημένα στην άτρακτο συμμετρικά προς το διαμήκη άξονα του αεροσκάφους. Τα αεροσκάφη με το τετράκυκλο σύστημα προσγείωσης πρέπει να προσγειώνονται και απογειώνονται περίπου οριζόντια. Χρησιμοποιήθηκε διαχρονικά σε ελάχιστα αεροσκάφη, κυρίως σε βαριά και ογκώδη βομβαρδιστικά αεροσκάφη, όπως στο αεροσκάφος B-52 και διάφορα μεταγωγικά αεροσκάφη στα οποία απαιτείται μικρή απόσταση του δαπέδου του αεροσκάφους από το έδαφος.

Κάθε κύριο σκέλος φέρει τουλάχιστον δύο τροχούς. Όλοι οι τροχοί των κυρίων σκελών έχουν σύστημα πέδησης. Τα κύρια σκέλη μετά την ανάσυρση «αποθηκεύονται» στην άτρακτο και τα βοηθητικά στην πτέρυγα. Το αεροσκάφος πηδαλιουχείται με τα εμπροσθία κύρια σκέλη που έχουν διάταξη συγχρονισμένης πηδαλιούχησης. Οι βοηθητικοί τροχοί δε διαθέτουν σύστημα πέδησης και πηδαλιούχησης. Επειδή τα αεροσκάφη με τετράκυκλο σύστημα προσγείωσης είναι ογκώδη με πολύ μεγάλη πτερυγική επιφάνεια, είναι ευαίσθητα στον εγκάρσιο άνεμο. Για την αποφυγή πιθανής εκτροπής ή ανατροπής σε από/προσγειώσεις με ισχυρό πλάγιο άνεμο, διαθέτουν συνήθως σύστημα αντιστάθμισης πλαγίου ανέμου. Το σύστημα αυτό ευθυγραμμίζει τα κύρια σκέλη με το διάδρομο προσγείωσης ενώ η διεύθυνση του διαμήκη άξονα του αεροσκάφους συμπίπτει με τη διεύθυνση του ανέμου.

➤ *Σύστημα Προσγείωσης με Τροχοφορέα.*

Παραλλαγή του τρικύκλου συστήματος προσγείωσης με ριναίο τροχό είναι το σύστημα προσγείωσης με τροχοφορέα. Στα βαριά αεροσκάφη, σε κάθε κύριο σκέλος προσαρμόζεται μία διάταξη με τέσσερις ή περισσότερους τροχούς εν σειρά, κατά ζεύγη, που χαρακτηρίζεται ως τροχοφορέας. Συνήθως το αεροσκάφος έχει ένα ριναίο σκέλος με δύο τροχούς και δύο τροχοφορείς με τέσσερις τροχούς ο καθένας. Το σύστημα αυτό προσγείωσης εμφανίζει τα

βέλτιστα χαρακτηριστικά πέδησης και χρησιμοποιείται ευρέως στα σύγχρονα μεγάλα αεροσκάφη.

➤ *Βοηθητικό σκέλος*

Σε ορισμένα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται και σκέλη αποφυγής πρόσκρουσης στο διάδρομο.

➤ *Σύστημα προσγείωσης υδροπλάνων και αμφίβιων αεροσκαφών*

Το κάτω τμήμα της ατράκτου των αεροσκαφών που προσγειώνονται και απογειώνονται σε νερό είναι διαμορφωμένο σε σχήμα καρίνας πλοίου. Τα αεροσκάφη αυτά είναι συνήθως υψολοπτέρυγα και κατά κανόνα έχουν πλωτήρες στα ακροπτερύγια. Ορισμένα αεροσκάφη από /και προσθαλασσώνονται με πλωτήρες ή «πέδιλα θαλάσσης» που τοποθετούνται ως επιπρόσθετος εξοπλισμός κάτω από συμβατικά σκέλη.

### 7.8.3. ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΓΕΙΩΣΗΣ

Το σύστημα προσγείωσης αποτελείται από διάφορα συγκροτήματα, όπως π.χ. είναι τα σκέλη, οι αποσβεστήρες κρούσης, οι τροχοί, τα φρένα, τα επίσωτρα καθώς και από υποσυστήματα που είναι π.χ. πέδησης, πηδαλιούχησης και ανάσυρσης. Επίσης, διαθέτει και διάφορους ενδείκτες και προειδοποιητικούς μηχανισμούς. Στις επόμενες παραγράφους θα ασχοληθούμε με τα βασικότερα από αυτά.

#### 7.8.3.1. Αποσβεστήρες Κρούσης

Οι αποσβεστήρες κρούσης παραλαμβάνουν και αποσβένουν τα κρουστικά φορτία που αναπτύσσονται στα σκέλη στην προσγείωση. Η βασική αρχή λειτουργίας των αποσβεστήρων κρούσης είναι η μετατροπή της ενέργειας κρούσης στη φάση επαφής των τροχών με το διάδρομο σε έργο συμπίεσης και σε θερμότητα ή σε έργο ελαστικής παραμόρφωσης ενός ελατηρίου ή μίας ελαστικής δοκού. Είναι βασικά στοιχεία του Σ/Π και υφίστανται μεγάλη καταπόνηση.

Οι διάφοροι τύποι αποσβεστήρων κρούσης διακρίνονται με βάση το «μέσον» απόσβεσης που χρησιμοποιούν που μπορεί να είναι ελατήριο, υγρό και συνδυασμός αερίου - υγρού.

➤ *Αποσβεστήρας ελατηρίου ή ελαστική δοκός*

Στα μικρά και ελαφρά αεροσκάφη και ιδιαίτερα στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, ο αποσβεστήρας κρούσης είναι μία κατάλληλα διαμορφωμένη ελαστική δοκός ή ελατήριο από μεταλλικό ή σύνθετο υλικό. Η κρουστική δύναμη που ασκείται στους τροχούς τη στιγμή επαφής τους με το διάδρομο, παραμορφώνει ελαστικά ένα ελατήριο ή μία ελαστική δοκό και αποσβένεται. Το ελατήριο ή η ελαστική δοκός αμέσως μετά την κρούση επανέρχεται στην κανονική της θέση. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι η απλότητα κατασκευής και εγκατάστασης και το μικρό βάρος και κόστος συντήρησης. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι η περιορισμένη κρουστική ενέργεια που μπορούν να αποσβένουν.

➤ *Αποσβεστήρας ελαίου - αερίου.*

Έχει πολλές παραλλαγές και την ευρύτερη χρήση. Αποτελείται από δύο τηλεσκοπικούς κυλίνδρους που συναρμολογημένοι συγκροτούν έναν κύλινδρο με δύο θαλάμους και ένα έμβολο. Ο κάτω θάλαμος του κυλίνδρου είναι γεμάτος πάντοτε με λάδι ενώ ο επάνω θάλαμος περιέχει πεπιεσμένο αέριο. Μεταξύ των δύο θαλάμων υπάρχει ένας περιοριστήρας ροής. Ο κύκλος εργασίας του αποσβεστήρα αρχίζει τη στιγμή επαφής των τροχών στο έδαφος. Το υγρό (λάδι) στον κάτω θάλαμο συμπιέζεται και μέσω του



περιοριστήρα εισέρχεται στον επάνω θάλαμο. Η παροχή της ροής του υγρού στη φάση της συμπίεσης δεν είναι σταθερή και ελέγχεται συνήθως από μία ρυθμιστική βαλβίδα με πείρο.

Ορισμένοι αποσβεστήρες κρούσης αντί της ρυθμιστικής βαλβίδας έχουν ρυθμιστικό σωλήνα πλην όμως η λειτουργία τους είναι ίδια. Η ενέργεια κρούσης στη φάση αυτή μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία του υγρού και σε έργο συμπίεσης του ελαίου - αερίου. Ταυτόχρονα, αυξάνεται η πίεση του αερίου στον επάνω θάλαμο και όταν υπερβεί μία συγκεκριμένη τιμή σταματάει η συμπίεση του. Το πεπιεσμένο αέριο λειτουργεί ως ελατήριο και πιέζει το υγρό που έχει συγκεντρωθεί στον επάνω θάλαμο.

Συνεπώς το υγρό αρχίζει να επιστρέφει στον κάτω θάλαμο. Έτσι αρχίζει η φάση της προέκτασης, δηλαδή το αέριο επαναφέρει τον αποσβεστήρα στην κανονική του θέση και τελειώνει ο κύκλος λειτουργίας του.

➤ *Αποσβεστήρας Υγρού.*

Στα συνήθη υδραυλικά συστήματα που λειτουργούν σε πίεση μέχρι 3.000 p.s.i. το υγρό θεωρείται ασυμπίεστο. Οι αναπτυσσόμενες πιέσεις στους αποσβεστήρες κρούσης είναι της τάξεως των 4.500 p.s.i. και ελάχιστα υγρά είναι ασυμπίεστα στις πιέσεις αυτές. Στους αποσβεστήρες υγρού ή υγρού ελατηρίου, ο κύλινδρος περιέχει υγρό μεγάλης συμπιεστότητας, όπως λάδι σιλικόνης. Η αρχή λειτουργίας του αποσβεστήρα υγρού ελατηρίου είναι ίδια με αυτήν του αποσβεστήρα ελαίου - υγρού ελατηρίου.

➤ *Διαμόρφωση Αποσβεστήρα*

Οι περισσότεροι αποσβεστήρες κρούσης έχουν στο κάτω τους άκρο άξονα για την εγκατάσταση των τροχών, ή κατάλληλα διαμορφωμένη διάταξη εύκολης και απλής προσαρμογής των τροχών. Στο άνω άκρο έχουν προσαρμογείς για την εγκατάστασή τους στην άτρακτο ή την πτέρυγα του αεροσκάφους και σύνδεσμο με στόμιο πλήρωσης υγρού και βαλβίδα πλήρωσης με πεπιεσμένο αέριο.

Τα κύρια σκέλη του Σ/Π έχουν διάφορα εξαρτήματα και διατάξεις οι βασικότερες από τις οποίες είναι: βραχίονες ή σύνδεσμοι ροπής, άξονες έδρασης και υποστηρίγματα, ράβδοι αντίστασης, ηλεκτρικές και υδραυλικές διατάξεις ανάσυρσης και ενδείκτες θέσης σκελών. Οι βραχίονες ροπής αποτελούνται από δύο βραχίονες που συνδέονταν μεταξύ τους με γυγγλισμό. Συγκρατούν το σκέλος σε ευθεία θέση αποτρέποντας τυχόν περιστροφή του εμβόλου προς τον κύλινδρο. Ο ένας βραχίονας συνδέεται στον κύλινδρο του αποσβεστήρα και ο άλλος στο έμβολο. Τα κύρια σκέλη στερεώνονται στην άτρακτο ή την πτέρυγα του αεροσκάφους με υποστηρίγματα σε βάση έδρασης με διάφορους τρόπους.

Ο μηχανισμός έδρασης και τα υποστηρίγματα επιτρέπουν περιστροφή του σκέλους στη φάση ρυμούλκησης του αεροσκάφους ή αιώρηση του σκέλους εμπρός - πίσω στη φάση ανάσυρσης των σκελών. Η στερέωση του σκέλους στη φάση ρυμούλκησης και η παρεμπόδιση της κίνησης του, εμπρός - πίσω, διασφαλίζεται συνήθως με μία ή δύο ράβδους αντίστασης γνωστές και ως ράβδοι οπισθέλκουσας. Σε πολλά αεροσκάφη η λειτουργία των ράβδων οπισθέλκουσας έχει αντικατασταθεί από το βραχίονα του μηχανισμού ανάσυρσης.

### **7.8.3.2. Υποσύστημα Ανάσυρσης και Έκτασης**

Τα συστήματα ανάσυρσης διασφαλίζουν την ανάσυρση και έκταση του συστήματος προσγείωσης με τον απαραίτητο χρονισμό, το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρίδων του και την ασφάλιση και απασφάλισή του συστήματος προσγείωσης στη θέση πλήρους ανάσυρσης και έκτασης.

➤ *Ηλεκτρικό σύστημα ανάσυρσης*

Τα συστήματα προσγείωσης των αεροσκαφών ανασύρονται ηλεκτρικά ή υδραυλικά ή με συνδυασμό τους. Τα κύρια στοιχεία ενός βασικού ηλεκτρικού υποσυστήματος ανάσυρσης είναι:

- Ένας ηλεκτροκινητήρας που παρέχει την ενέργεια για την κίνηση του σκέλους.
- Ένα υποσύστημα υποπολαπλασιασμού με οδοντοτροχούς για μείωση της ταχύτητας ανάσχυσης του σκέλους και αύξηση της ροπής περιστροφής.
- Οδοντοτροχούς για μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε ευθύγραμμη κίνηση έλξης - ώθησης.
- Μηχανική συνδεσμολογία ευθύγραμμης κίνησης έλξης - ώθησης με το σκέλος.

Όταν ο διακόπτης ανάσχυσης του συστήματος προσγείωσης είναι σε θέση «ΕΠΑΝΩ» (UP), ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει τους οδοντοτροχούς μέσω ενός ατέρμονα κοχλία. Οι οδοντοτροχοί συνδέονται με το σύστημα υποπολαπλασιασμού που μειώνει την ταχύτητα και αυξάνει τη ροπή περιστροφής στο σωλήνα ροπής του σκέλους. Ο σωλήνας ροπής μεταφέρει τη ροπή στη ράβδο αντίστασης και το σκέλος ανασύρεται και ασφαλίζει. Όταν ο διακόπτης ανάσχυσης του συστήματος προσγείωσης είναι στη θέση «ΚΑΤΩ» (DOWN), αντιστρέφεται η φορά περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα και το σκέλος κατεβαίνει και ασφαλίζει.

➤ *Υδραυλικό υποσύστημα ανάσχυσης*

Τα κύρια στοιχεία ενός βασικού υδραυλικού υποσυστήματος ανάσχυσης είναι: κύλινδροι ενέργειας, βαλβίδες διαλογής και χρονισμού, ασφάλειες άνω και κάτω θέσης, σωληνώσεις και διάφορα εξαρτήματα. Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι, όταν η βαλβίδα διαλογής τίθεται σε θέση «ΕΠΑΝΩ» το σκέλος ανασύρεται διότι λαμβάνουν χώρα τα ακόλουθα: Το υγρό ρέει στις σωληνώσεις του υποσυστήματος στη φορά του βέλους «Επάνω». Ενεργοποιεί τους κυλίνδρους ενέργειας των μηχανισμών ασφάλισης κάτω θέσης τόσο των κυρίων σκελών όσο και του ριναίου με συνέπεια την απασφάλισή τους. Ενεργοποιεί τους δύο κυλίνδρους ενέργειας των κυρίων σκελών και τον κύλινδρο ενέργειας του ριναίου σκέλους. Έτσι τα σκέλη αρχίζουν να ανασύρονται. Οι δύο βαλβίδες χρονισμού Γ και Δ είναι κλειστές και το υγρό δε μπορεί να διέλθει μέσα από αυτές προς τους κυλίνδρους ενέργειας των θυρίδων των κυρίων σκελών που παραμένουν κλειστές.

Η θυρίδα του ριναίου σκέλους που συνδέεται μοχλικά με αυτό, ακολουθεί το σκέλος και κλείνει σταδιακά καθώς το ριναίο σκέλος ανασύρεται. Καθώς τα κύρια σκέλη συνεχίζουν να ανασύρονται, το έμβολο πλησιάζει προς το άκρο του κυλίνδρου και το υγρό ρέει προς τις βαλβίδες χρονισμού Α και Β και μέσω της βαλβίδας διαλογής (θέση «ΚΑΤΩ») ρέει στη γραμμή επιστροφής. Όταν τα σκέλη ανασυρθούν πλήρως στην τελική τους θέση, ανοίγουν με μοχλική συνδεσμολογία, οι βαλβίδες χρονισμού Γ και Δ και ενεργοποιούνται οι κύλινδροι ενέργειας των θυρίδων και κλείνουν τις θυρίδες των σκελών που ασφαλίζονται στην «ΠΑΝΩ» θέση με τους κυλίνδρους ενέργειας που ενεργοποιούνται από τις χρονισμού Α και Β.

➤ *Υποσύστημα έκτασης ανάγκης*

Όλα τα αεροσκάφη έχουν υποσύστημα έκτασης ανάγκης για να κατεβάσουν τα σκέλη σε περίπτωση βλάβης του κυρίου συστήματος ισχύος. Σε ορισμένα αεροσκάφη ο χειριστής ελευθερώνει τους μηχανισμούς ασφάλισης των σκελών στην άνω θέση με μία χειρολαβή που είναι συνδεδεμένη μηχανικά με αυτούς. Η ελευθέρωση των μηχανισμών ασφάλισης στην άνω θέση σε άλλα αεροσκάφη γίνεται με πεπιεσμένο αέρα. Υπάρχουν αεροσκάφη στα οποία η έκταση των σκελών σε περίπτωση ανάγκης γίνεται βίαια. Τέλος υπάρχουν αεροσκάφη με υδραυλικό, ή πνευματικό ή μηχανικό σύστημα έκτασης των σκελών σε περίπτωση ανάγκης.

➤ *Ενδείξεις και προειδοποιήσεις σύστημα προσγείωσης*

Σε όλα τα αεροσκάφη με ανασυρόμενα συστήματα προσγείωσης υπάρχουν ενδείξεις της θέσης του συστήματος προσγείωσης και διατάξεις προειδοποίησης στη θέση του χειριστή. Οι ενδείξεις και οι διατάξεις προειδοποίησης του συστήματος προσγείωσης είναι ηχητικές και οπτικές. Όταν το σύστημα προσγείωσης δεν είναι στην προβλεπόμενη θέση ηχεί μία σειρήνα και ανάβει ένα προειδοποιητικό φως στη θέση χειριστού. Υπάρχουν πολλοί τύποι ένδειξης της θέσης του συστήματος προσγείωσης και διατάξεις προειδοποίησης.

### 7.8.3.3. Υποσυστήματα Πηδαλιούχησης

Ο ριναίος τροχός μπορεί να είναι ελεύθερος με μηχανισμό ευθυγράμμισης αλλά συνήθως είναι καθοδηγούμενος με περιστροφή μέχρι 40°. Όταν είναι ελεύθερος, η καθοδήγηση του αεροσκάφους στο διάδρομο γίνεται, με πέδηση του αριστερού ή δεξιού τροχού ή με κίνηση του πηδαλίου διεύθυνσης. Η καθοδήγηση στα πολυκινητήρα αεροσκάφη μπορεί να γίνει με μεταβολή της ώσης του αριστερού ή δεξιού κινητήρα. Το ριναίο σκέλος στα μεγάλα αεροσκάφη έχει υποσύστημα πηδαλιούχησης με πηγή ισχύος.

Υπάρχουν πολύ τύποι υποσυστημάτων πηδαλιούχησης πλην όμως έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας και αποτελούνται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ένα στοιχείο ελέγχου στη θέση χειριστού, π.χ. τροχό, χειρολαβή ή διακόπτη για τον έλεγχο της λειτουργίας του υποσυστήματος.
- Ένα σύστημα μεταφοράς των εντολών από το χειριστή του αεροσκάφους στη μονάδα ελέγχου πηδαλιούχησης που μπορεί να είναι υδραυλικό, ηλεκτρικό ή μηχανικό.
- Μονάδα ελέγχου, που συνήθως είναι ρυθμιστική βαλβίδα ή βαλβίδα ελέγχου.
- Πηγή ισχύος, που συνήθως είναι το υδραυλικό σύστημα του αεροσκάφους.
- Σωληνώσεις μεταφοράς υγρού από και προς το υδραυλικό σύστημα.
- Κυλίνδρους πηδαλιούχησης και μοχλική συνδεσμολογία μεταφοράς κίνησης
- Συγκρότημα διατήρησης σταθερής πίεσης στους κυλίνδρους πηδαλιούχησης.
- Συγκρότημα από οδοντοτροχούς, συρματοσχοίνα, ράβδους, τύμπανα και γωνιοστρόφαλα για την επαναφορά της μονάδας πηδαλιούχησης στην ουδέτερη θέση και τη διατήρηση του τροχού στη σωστή γωνία στροφής.
- Βαλβίδες ασφαλείας που διασφαλίζουν τη στρέψη των τροχών σε περίπτωση υδραυλικής βλάβης.

#### ➤ *Αποσβεστήρες Εκτροπής*

Το ριναίο σκέλος κάτω από ορισμένες συνθήκες στην τροχοδρόμηση, απογείωση ή προσγείωση μπορεί να εμφανίζει κραδασμούς και εκτροπές ικανές να προκαλέσουν βλάβες σε αυτό ή στη δομή στήριξής του στο αεροσκάφος. Ο αποσβεστήρας εκτροπής είναι ένα συγκρότημα που προσαρμόζεται εξωτερικά ή ενσωματώνεται στο ριναίο τροχό και αντιτίθεται σε κάθε τάση του για εκτροπή. Ελέγχει τους κραδασμούς ή την εκτροπή του ριναίου τροχού με υδραυλική απόσβεση. Σε πολλά αεροσκάφη οι διατάξεις αποφυγής εκτροπής είναι ενσωματωμένες στο υποσύστημα πηδαλιούχησης.

Οι βασικοί τύποι των αποσβεστήρων εκτροπής είναι ο τύπος εμβόλου, τύπος στροφείου ή πτερυγίου και τύπος ενσωματωμένος στο υποσύστημα ισχύος πηδαλιούχησης.

### 7.8.3.4. Υποσύστημα Πέδησης

Το υποσύστημα πέδησης επιβραδύνει το αεροσκάφος στη φάση προσγείωσης και πηδαλιούχησης, το ακινητοποιεί στη στάθμευση και το συγκρατεί κατά τη δοκιμή των κινητήρων. Μετατρέπει την κινητική ενέργεια του αεροσκάφους στη φάση προσγείωσης κυρίως σε θερμική ενέργεια. Τα φρένα λειτουργούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και η απόδοσή τους πρέπει να είναι ίδια. Είναι εγκατεστημένα σε κάθε κύριο τροχό και ελέγχονται με τα ποδωστήρια του πηδαλίου διεύθυνσης με τη μύτη των ποδιών. Με το δεξιό ποδωστήριο ελέγχονται τα φρένα του δεξιού κύριου σκέλους και με το αριστερό ποδωστήριο του αριστερού. Τα υποσυστήματα πέδησης χωρίζονται σε:

1. Ανεξάρτητα υποσυστήματα.
2. Υποσυστήματα φρένων με έλεγχο ισχύος.
3. Υποσυστήματα ενισχυμένης ισχύος.

Στην συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση των προαναφερόμενων.

➤ *Ανεξάρτητα υποσυστήματα πέδησης*

Χαρακτηρίζονται ανεξάρτητα, επειδή έχουν δική τους δεξαμενή υδραυλικού υγρού και είναι ανεξάρτητα από το υδραυλικό σύστημα του αεροσκάφους. Είναι όμοια με τα συστήματα πέδησης των αυτοκινήτων και χρησιμοποιούνται συνήθως στα μικρά αεροσκάφη. Ένα βασικό ανεξάρτητο υποσύστημα πέδησης αποτελείται από μία δεξαμενή υγρού, δύο κύριους κυλίνδρους ενέργειας (έναν σε κάθε σκέλος), μηχανική συνδεσμολογία που συνδέει κάθε κύριο κύλινδρο ενέργειας με το αντίστοιχο ποδωστήριο, σωληνώσεις υδραυλικού υγρού και δύο συγκροτήματα φρένων, ένα για κάθε κύριο τροχό.

Όταν με το ποδωστήριο διεγείρεται ο αντίστοιχος κύλινδρος ενέργειας, αυξάνεται η πίεση του υδραυλικού υγρού και το αντίστοιχο συγκρότημα φρένων του κυρίου σκέλους, επιβραδύνει την περιστροφική κίνηση των τροχών. Όταν το ποδωστήριο απελευθερώνεται, το υγρό από το συγκρότημα φρένων επιστρέφει στον κύριο κύλινδρο ενέργειας. Ο κύριος κύλινδρος είναι το κύριο στοιχείο του υποσυστήματος πέδησης, δεν παγιδεύεται ποτέ και δεν επιτρέπει τα φρένα να κολλήσουν.

➤ *Υποσύστημα πέδησης ελέγχου ισχύος*

Συνδέεται άμεσα με το κύριο υδραυλικό σύστημα του αεροσκάφους και συνήθως χρησιμοποιείται σε μεγάλα αεροσκάφη με μεγάλους τροχούς και συγκροτήματα φρένων. Αποτελείται από τα εξής βασικά στοιχεία:

- Βαλβίδα μη επιστροφής ή ελέγχου. Προλαβαίνει την απώλεια πίεσης του συγκροτήματος φρένων σε περίπτωση απώλειας του κυρίου υδραυλικού συστήματος.
- Υδραυλικός συσσωρευτής αποθηκεύει υγρό με πίεση και αποσβένει τα υπερβολικά φορτία στο υδραυλικό υποσύστημα φρένων.
- Βαλβίδες ελέγχου πέδησης κυβερνήτη και συγκυβερνήτη. Ρυθμίζουν και ελέγχουν τον όγκο και την πίεση του υγρού λειτουργίας των φρένων.
- Βαλβίδες μη επιστροφής και περιοριστικές βαλβίδες υδραυλικού υγρού γραμμών κυβερνήτη και συγκυβερνήτη.
- Ανακουφιστική βαλβίδα ανακούφισης πίεσης.
- Διαχωριστική βαλβίδα. Είναι εγκατεστημένη σε κάθε μία σωλήνωση φρένων και διαχωρίζει το κύριο υδραυλικό σύστημα από το υποσύστημα ανάγκης.
- Βαλβίδα ελέγχου ισχύος φρένων. Μειώνει και ρυθμίζει την πίεση του κυρίου συστήματος πέδησης και αποσβένει τις θερμικές διαστολές κατά την πέδηση
- Κύλινδροι μείωσης πίεσης υποσυστήματος πέδησης. Χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη με κύριο υδραυλικό σύστημα υψηλής πίεσης και υποσύστημα πέδησης χαμηλής πίεσης. Μειώνουν την πίεση του υδραυλικού υγρού από το κύριο σύστημα του αεροσκάφους προς το υποσύστημα πέδησης. Είναι εγκατεστημένοι στον αποσβεστήρα κρούσης.

➤ *Υποσύστημα πέδησης ενισχυμένης ισχύος*

Χρησιμοποιείται σε αεροσκάφη με μεγάλες ταχύτητες προσγείωσης και ανεξάρτητο υποσύστημα πέδησης. Έχει βάρος μικρότερο από το σύστημα πέδησης ισχύος και μεγαλύτερη απόδοση από το ανεξάρτητο σύστημα πέδησης. Χρησιμοποιεί το κύριο υδραυλικό σύστημα του αεροσκάφους αποκλειστικά και μόνο για την ενίσχυση των ποδωστηρίων με την ενεργοποίηση ενισχυτικών κυλίνδρων.

Το βασικό σύστημα πέδησης ενισχυμένου τύπου αποτελείται από μία δεξαμενή υδραυλικού υγρού, δύο κύριους ενισχυτικούς κυλίνδρους, δύο διαχωριστικές βαλβίδες και ένα συγκρότημα φρένων σε κάθε κύριο τροχό. Όταν ο χειριστής πατάει το ποδωστήριο φρένων, το υγρό κινείται από τους ενισχυτικούς κυλίνδρους, μέσω των διαχωριστικών βαλβίδων στα φρένα. Όταν τα ποδωστήρια απελευθερώνονται, το υγρό που είχε μετακινηθεί προς τα φρένα επιστρέφει στη δεξαμενή υγρού των φρένων η οποία συνδέεται με τη δεξαμενή υγρού του κυρίου υδραυλικού συστήματος του αεροσκάφους. Το υποσύστημα

πέδησης ανάγκης είναι πνευματικό και έχει μία φιάλη με πεπιεσμένο αέρα με ενδείκτη και βαλβίδα ελευθέρωσης πίεσης.

### 7.8.3.5. Συγκρότημα Φρένων

Το συγκρότημα φρένων έχει έναν, δύο ή πολλαπλούς δίσκους (δισκόφρενα), με τεμαχισμένα τακάκια στον περιστρεφόμενο δίσκο ή με σωλήνες που διαστέλλονται. Τα μικρά και ελαφρά αεροσκάφη έχουν συγκροτήματα φρένων με έναν ή δύο δίσκους και τα μεσαία και μεγάλα αεροσκάφη με πολλαπλούς δίσκους. Ο αριθμός των δίσκων εξαρτάται από το βάρος και την ταχύτητα προσγείωσης του αεροσκάφους.

#### ➤ *Φρένα ενός δίσκου*

Η αρχή λειτουργίας του φρένου με ένα δίσκο είναι ίδια με αυτή των αυτοκινήτων. Οι επιφάνειες των δύο πλευρών ενός περιστρεφόμενου δίσκου, που είναι εγκατεστημένος στο τροχό του σκέλους, τρίβονται σε σταθερές επιφάνειες και επιβραδύνουν την περιστροφική κίνηση του τροχού.

Όταν ο χειριστής πατάει το ποδωστήριο, η πίεση του υποσυστήματος αυξάνεται και ωθεί το έμβολο και το δίσκο τριβής προς τον περιστρεφόμενο δίσκο. Όταν το ποδωστήριο ελευθερώνεται, μειώνεται η πίεση του υγρού και το ελατήριο απομακρύνει το έμβολο και το δίσκο τριβής από τον περιστρεφόμενο δίσκο.

#### ➤ *Φρένα δύο Δίσκων*

Χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη με μεγαλύτερη τριβή πέδησης από αυτά ενός δίσκου με τα οποία είναι παρόμοια, με τη διαφορά ότι αντί ενός δίσκου έχουν δύο περιστρεφόμενους δίσκους.

#### ➤ *Φρένα πολλαπλών δίσκων*

Χρησιμοποιούνται σε συστήματα πέδησης ελέγχου ισχύος ή ενισχυμένης ισχύος και σε βαριά αεροσκάφη. Ένα βασικό συγκρότημα φρένων πολλαπλών δίσκων αποτελείται από ένα φορέα τριβέα, περιστρεφόμενους δίσκους που ονομάζονται στροφεία (rotors), σταθερούς δίσκους που ονομάζονται στάτες (stators), έναν κύλινδρο ενέργειας, έναν αυτόματο ρυθμιστή και διάφορα άλλα στοιχεία.

#### ➤ *Φρένα Τεμαχισμένου Περιστρεφόμενου Δίσκου*

Τα φρένα αυτά (segmented rotor brakes) χρησιμοποιούνται σε βαριά αεροσκάφη με υδραυλικά συστήματα υψηλής πίεσης, συστήματα πέδησης ελέγχου ισχύος ή ενισχυμένης ισχύος. Είναι όμοια με τα φρένα πολλαπλών δίσκων και έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας. Οι περιστρεφόμενοι δίσκοι είναι τεμαχισμένοι ενώ οι σταθεροί έχουν ενσωματωμένες επιφάνειες υλικού που τρίβεται (τακάκια - φερμουίτ) και στις δύο πλευρές τους. Το βασικό εξάρτημα του συγκροτήματος είναι ο φορέας του τριβέα.

#### ➤ *Φρένα διαστελλόμενων σωλήνων*

Τα φρένα αυτά είναι ελαφρά, με λίγα κινούμενα μέρη, με μεγάλη επιφάνεια τριβής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλα και μικρά αεροσκάφη με υδραυλικό σύστημα χαμηλής πίεσης. Αποτελούνται από το πλαίσιο, το διαστελλόμενο σωλήνα, τα πλακίδια, τα ελατήρια επιστροφής και το ρυθμιστή διακένου. Ο διαστελλόμενος σωλήνας περιβάλλει το πλαίσιο που προσαρμόζεται στο σκέλος. Το διάκενο μεταξύ των πλακιδίων ρυθμίζεται από το ρυθμιστή διακένου.

Όταν ο χειριστής πατάει το ποδωστήριο φρένων, αυξάνεται η πίεση του υγρού στο διαστελλόμενο σωλήνα που διαστέλλεται μόνο προς τα έξω. Τα πλακίδια που συγκρατούνται περιμετρικά στο πλαίσιο και δεν περιστρέφονται, ακολουθούν τη διαστολή του διαστελλόμενου σωλήνα και τρίβονται στο ταμπούρο του φρένου. Η τριβή είναι ανάλογη της αύξησης της πίεσης του υγρού στο διαστελλόμενο σωλήνα. Όταν τα ποδωστήρια

ελευθερώνονται, μειώνεται η πίεση του υγρού στο διασταλλόμενο σωλήνα ο οποίος συστέλλεται και τα πλακίδια απομακρύνονται από το ταμπόρο.

### 7.8.3.6. Υποσύστημα Αντιολίσθησης Φρένων

Το σύστημα πέδησης των αεροσκαφών έχει ενσωματωμένο υποσύστημα που ελέγχει και μειώνει την ολίσθηση των τροχών κατά αναλογία προς τα αυτοκίνητα. Το υποσύστημα αυτό είναι γνωστό ως υποσύστημα αντιολίσθησης. Αυξάνει την απόδοση των φρένων διότι όταν ο τροχός ολισθαίνει η δύναμη τριβής του με το έδαφος μειώνεται ραγδαία.

Το υποσύστημα αντιολίσθησης εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Έλεγχο ολίσθησης του τροχού σε κανονική λειτουργία, δηλ. όταν περιστρέφεται.
- Έλεγχο ολίσθησης του τροχού όταν δεν περιστρέφεται (πλήρες μπλοκάρισμα).
- Προστασία κατά την επαφή του τροχού στο διάδρομο στη φάση προσγείωσης.
- Προστασία από αστοχία του συστήματος πέδησης.

#### ➤ Έλεγχος Ολίσθησης σε Κανονική Λειτουργία

Το υποσύστημα ελέγχου ολίσθησης σε κανονική λειτουργία επεμβαίνει κατά την έναρξη της ολίσθησης και πριν την πλήρη ολίσθηση του τροχού. Ο έλεγχος και η προστασία ολίσθησης κάθε τροχού είναι ανεξάρτητη από τους άλλους τροχούς.

#### ➤ Έλεγχος Ολίσθησης σε Μπλοκαρισμένο Τροχό

Το υποσύστημα αντιολίσθησης ελευθερώνει σχεδόν πλήρως τον τροχό, όταν μπλοκάρει, για να αρχίζει να περιστρέφεται. Ο τροχός μπλοκάρει σε πάγο, όταν το υποσύστημα αντιολίσθησης κανονικής λειτουργίας δεν τον προστατεύει από πλήρη ολίσθηση. Το υποσύστημα ολίσθησης για μπλοκαρισμένο τροχό, είναι εκτός λειτουργίας για ταχύτητες μικρότερες από 25-30 Km/h.

#### ➤ Προστασία κατά την Επαφή του Τροχού στο Διάδρομο Προσγείωσης

Το υποσύστημα αυτό αποτρέπει την ενεργοποίηση των φρένων στη φάση επαφής με το διάδρομο προσγείωσης ακόμη και εάν τα ποδωστήρια είναι πατημένα από τον χειριστή. Τυχόν ενεργοποίηση των φρένων θα είχε σαν συνέπεια το μπλοκάρισμα των τροχών.

#### ➤ Προστασία από αστοχία του συστήματος πέδησης

Το υποσύστημα αυτό ελέγχει τη λειτουργία του υποσυστήματος αντιολίσθησης και σε περίπτωση αστοχίας το διακόπτει και το υποσύστημα λειτουργεί αποκλειστικά με τα ποδωστήρια του χειριστού.

### 7.8.3.7. Τροχοί και Ελαστικά

Οι τροχοί υφίστανται πολύ μεγάλη καταπόνηση και μάλιστα κρουσική με κυκλικές φορτίσεις. Επιθεωρούνται και ελέγχονται σε τακτά χρονικά διαστήματα διότι η θραύση στη φάση προσγείωσης μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες. Οι τροχοί κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου και μαγνησίου και είναι ολόσωμοι, διαιρούμενοι και με αποσυναρμολογούμενη στεφάνη.

Υπάρχουν τροχοί με ελαστικό και αεροθάλαμο και τροχοί χωρίς αεροθάλαμο. Οι ολόσωμοι τροχοί χρησιμοποιούνται με ελαστικά μεγάλης πίεσης, όπως στα μαχητικά αεροσκάφη και είναι πιο ενισχυμένοι από τους άλλους τύπους τροχών.

Οι διαιρούμενοι τροχοί έχουν τη μεγαλύτερη εφαρμογή στα ελαφρά, μεσαία και μεγάλα αεροσκάφη και τοποθετούνται σε όλα τα σκέλη (κύρια σκέλη, ριναίο και ουραίο σκέλος). Αποτελούνται από δύο τμήματα που είναι ζυγοσταθμισμένα στατικά και συναρμολογούνται σε ένα ενιαίο συγκρότημα με βλήτρα και στεγανοποιούνται με ενδιάμεσο δακτύλιο.

Οι τροχοί αποσυναρμολογούμενης στεφάνης χρησιμοποιούνται κυρίως στα κύρια σκέλη. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι η ταχεία αντικατάσταση του ελαστικού. Η αλλαγή του ελαστικού γίνεται με αφαίρεση της στεφάνης, τοποθέτηση του ελαστικού και ασφάλιση της στεφάνης με ασφαλιστικό δακτύλιο.

Οι διαστάσεις και το πλάτος του πέλματος των τροχών εξαρτώνται από την καταπόνηση του σκέλους. Οι τροχοί προσαρμόζονται στον άξονα περιστροφής του σκέλους με τριβείς, που συνήθως είναι κωνικοί κυλινδρικού τύπου και φωλιάζουν σε έδρανα τριβής. Στα αεροσκάφη με μεγάλες ταχύτητες προσγείωσης, η θερμοκρασία των τροχών και των ελαστικών αυξάνεται υπερβολικά. Για την αποφυγή υπερθέρμανσης των ελαστικών τοποθετούνται στους τροχούς εύτηκτα πώματα ασφαλείας που απελευθερώνουν τον αέρα των ελαστικών όταν η θερμοκρασία του υπερβεί προκαθορισμένη τιμή.

Τα ελαστικά, ανάλογα με τη χρήση τους, διακρίνονται στους ακόλουθους τύπους:

- Ελαστικά γενικής χρήσεως με άριστη πρόσφυση.
- Αντιολισθητικά ελαστικά με ελλειπτικό πέλμα.
- Αντιολισθητικά ελαστικά με ραβδώσεις.
- Ελαστικά κατάλληλα για σταθερό σύστημα προσγείωσης (μικρή οπισθέλκουσα).
- Ελαστικά κατάλληλα για ριναίο σκέλος (μικρό τρέμουλο).

Τα πολλαπλά στρώματα νάιλον - ελαστικού και οι εσωτερικές εγκάρσιες και διαμήκεις ενισχύσεις παρέχουν στα ελαστικά αυξημένη αντοχή κατά την προσγείωση και διατηρούν το σχήμα τους. Οι αυλακώσεις στα ελαστικά των αεροσκαφών, λόγω των μεγάλων ταχυτήτων προσγείωσης, είναι περιμετρικές και όχι εγκάρσιες για να αποφεύγεται η υδρολίσθηση των αεροσκαφών. Τα ελαστικά με και χωρίς αεροθάλαμο, είναι όμοια, με τη διαφορά ότι τα δεύτερα έχουν ελαστική εσωτερική επένδυση που στεγανοποιεί τον αέρα μεταξύ τροχού και ελαστικού. Το χείλος του ελαστικού με αεροθάλαμο στεγανοποιεί το ελαστικό με τον τροχό στα σημεία επαφής τους.

Τα ελαστικά χαρακτηρίζονται από την εξωτερική διάμετρο και το πλάτος του πέλματος. Είναι υλικά με όριο ζωής το οποίο εξαρτάται από τις συνθήκες αποθήκευσης. Είναι ευαίσθητα στο φως και ιδιαίτερα στο ηλιακό φως, στη βροχή, τον αέρα, τις μεταβολές της θερμοκρασίας και στο όζον που δημιουργείται σε αποθήκες με φθορίζοντα φωτισμό. Πρέπει να αποθηκεύονται σε χώρους σκοτεινούς, δροσερούς και χωρίς υγρασία, να μην έρχονται σε επαφή με λιπαντικά διαλυτικά, καύσιμα και γενικά με παράγωγα πετρελαίου.

## 7.9. ΣΥΣΤΗΜΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Τα αεροσκάφη, εκτός από το σύστημα συμπίεσης και κλιματισμού που διασφαλίζει τις απαραίτητες συνθήκες παραμονής στο αεροσκάφος χωρίς επιπρόσθετη παροχή οξυγόνου, έχουν και εφεδρικό σύστημα οξυγόνου. Η αποστολή του συστήματος οξυγόνου είναι η παροχή του απαιτούμενου οξυγόνου στους επιβάτες και το πλήρωμα του αεροσκάφους σε περίπτωση βλάβης του συστήματος συμπίεσης. Τα αεροσκάφη που πετούν σε μεγάλα σχετικά ύψη έχουν μόνιμη εγκατάσταση συστήματος οξυγόνου και φορητό εξοπλισμό για περιπτώσεις πρώτης ανάγκης. Τα μικρά και μεσαία αεροσκάφη που πετούν σε σχετικά μικρά ύψη έχουν μόνο φορητό εξοπλισμό.

Οι διάφοροι τύποι συστημάτων οξυγόνου εξαρτώνται κυρίως από την κατηγορία του αεροσκάφους, τις λειτουργικές απαιτήσεις και το σύστημα συμπίεσής του. Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων, τα συστήματα αερίου οξυγόνου που χρησιμοποιούνται στα πολιτικά και μεταφορικά στρατιωτικά αεροσκάφη και τα συστήματα υγρού οξυγόνου που χρησιμοποιούνται στα μαχητικά αεροσκάφη. Τα συστήματα αερίου οξυγόνου διακρίνονται σε συστήματα με συνεχή ροή οξυγόνου για το πλήρωμα και τους επιβάτες και σε σύστημα με ρυθμιζόμενη πίεση που χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεγάλα επιβατικά αεροσκάφη και αφορούν το πλήρωμα τους. Ορισμένα μεταφορικά αεροσκάφη έχουν σύστημα που

συνδυάζει τα ανωτέρω δύο συστήματα. Πολλά αεροσκάφη, ανεξάρτητα από το εάν διαθέτουν ή όχι μόνιμη εγκατάσταση συστήματος οξυγόνου, έχουν φορητό εξοπλισμό οξυγόνου.

### 7.9.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

#### ➤ *Σύστημα Συνεχούς Ροής*

Το βασικό σύστημα αερίου οξυγόνου συνεχούς ροής, αποτελείται από μία φιάλη οξυγόνου, σωληνώσεις, φίλτρα, βαλβίδες μείωσης πίεσης, βαλβίδες διακοπής, βαλβίδες μη επιστροφής, βαλβίδες πλήρωσης, ενδείκτες πίεσης και μάσκες οξυγόνου. Η βαλβίδα μείωσης πίεσης περιορίζει την πίεση της συνεχούς ροής όσο απαιτείται στη μάσκα οξυγόνου. Η διανομή οξυγόνου γίνεται είτε από το επάνω τμήμα της ατράκτου είτε από τα πλευρικά τοιχώματά της.

#### ➤ *Σύστημα Ρυθμιζόμενης Πίεσης*

Είναι ίδιο με το σύστημα συνεχούς ροής με τη βασική διαφορά ότι κάθε μέλος του πληρώματος μπορεί να ρυθμίζει το ρυθμιστή, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του. Το σύστημα ρυθμιζόμενης πίεσης χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στο πλήρωμα του αεροσκάφους.

Οι φιάλες αποθήκευσης οξυγόνου είναι υψηλής ή χαμηλής πίεσης σε διάφορα μεγέθη. Οι φιάλες υψηλής πίεσης έχουν πράσινο χρώμα με μέγιστη πίεση πλήρωσης 2.000 p.s.i. και οι φιάλες χαμηλής πίεσης έχουν ανοικτό κίτρινο χρώμα με μέγιστη πίεση πλήρωσης 450 p.s.i. Έχουν μία βαλβίδα στο στόμιο τους και δίσκο ασφάλειας ο οποίος σπάει όταν η πίεση υπερβεί μία ορισμένη τιμή. Οι σωληνώσεις έχουν ταινίες με κωδικοποιημένο χρώμα.

Στα συστήματα αερίου οξυγόνου χαμηλής πίεσης, χρησιμοποιούνται σωλήνες από κράματα αλουμινίου και στα υψηλής πίεσης από κράματα χαλκού. Συνδέονται μεταξύ τους με τα στοιχεία του συστήματος, με προσαρμογείς από κράμα αλουμινίου, χάλυβα ή μπρούντζου. Είναι δύο τύπων: για σύνδεση σωλήνων με και χωρίς εκχύλωση. Στα συστήματα αερίου οξυγόνου υψηλής πίεσης χρησιμοποιούνται συνήθως οι εξής τύποι βαλβίδων: πλήρωσης, μη επιστροφής, διακοπής, μείωσης πίεσης και ανακούφισης πίεσης. Στα συστήματα χαμηλής πίεσης χρησιμοποιούνται συνήθως οι, εξής τύποι βαλβίδων: πλήρωσης και μη επιστροφής.

Οι βασικοί τύποι ρυθμιστών είναι οι εξής δύο: ρυθμιστές διαλύτη κατά απαίτηση και ρυθμιστές συνεχούς ροής. Οι ρυθμιστές διαλύτη κατά απαίτηση, παρέχουν οξυγόνο στους πνεύμονες ανάλογα με την απαίτηση της αναπνοής. Οι ρυθμιστές συνεχούς ροής χρησιμοποιούνται τόσο για το πλήρωμα όσο και τους επιβάτες. Ρυθμίζονται αυτόματα ή χειροκίνητα. Οι μάσκες οξυγόνου είναι πολλών τύπων και διαφέρουν κυρίως στην εμφάνιση. Οι μάσκες των επιβατών είναι απλές, καλύπτουν συνήθως το στόμα και τη μύτη, είναι ελαστικές, προσαρμόζονται σε όλα τα πρόσωπα και διαθέτουν συνήθως μικρόφωνο. Τα μεγάλα επιβατικά αεροσκάφη έχουν συνήθως μάσκες καπνού στη θέση κάθε πληρώματος για χρήση σε καταστάσεις ανάγκης.

### 7.9.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΡΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Το σύστημα υγρού οξυγόνου αποθηκεύει και μετατρέπει το υγρό οξυγόνο, σε αέριο και εφοδιάζει το πλήρωμα του αεροσκάφους με αέριο οξυγόνο με βάση την εκάστοτε απαίτηση. Χρησιμοποιείται συνήθως στα μαχητικά αεροσκάφη. Είναι παρόμοιο με το σύστημα αερίου οξυγόνου με τη βασική διαφορά ότι έχει επιπρόσθετα και εναλλάκτη θερμότητας για τη μετατροπή του υγρού σε αέριο οξυγόνο. Αποτελείται από τη φιάλη αποθήκευσης υγρού οξυγόνου, το μετατροπέα, τον εναλλάκτη - θερμότητας, το ρυθμιστή διαλύτη κατά απαίτηση, τις σωληνώσεις παροχής οξυγόνου και απαερισμού, τη βαλβίδα ανακούφισης, τον προσαρμογέα της κύριας παροχής ανάγκης οξυγόνου, τους ενδείκτες παροχής, τα προειδοποιητικά φώτα και το διακόπτη ελέγχου του συστήματος. Ο



μετατροπέας αποθηκεύει και μετατρέπει το υγρό σε αέριο αναπνευστικό οξυγόνο διατηρώντας την πίεση του συστήματος. Η φιάλη υγρού οξυγόνου συνήθως είναι σφαιρική με διπλά τοιχώματα ενδιάμεσου κενού για μόνωση. Αφαιρείται και τοποθετείται εύκολα και γρήγορα.

Η βαλβίδα πλήρωσης και απαερισμού επιτρέπει τη διαφυγή του αέριου οξυγόνου στο περιβάλλον και τη μεταφορά του υγρού οξυγόνου με σωληνώσεις στο μετατροπέα. Επίσης, προστατεύει το σύστημα από μόλυνση. Η βαλβίδα ρύθμισης πίεσης συνήθως είναι ενσωματωμένη στο μετατροπέα, είναι ανοικτή σε κανονική λειτουργία και κλείνει όταν η πίεση υπερβεί μία προκαθορισμένη τιμή. Το πηνίο απαερισμού θερμαίνει το υγρό οξυγόνο, το οποίο μετατρέπεται σε αέριο με μεγάλη πίεση. Οι ανακουφιστικές βαλβίδες της φιάλης και του συστήματος είναι κλειστές σε κανονική λειτουργία και ανοίγουν όταν η πίεση του συστήματος υπερβεί μία προκαθορισμένη τιμή. Ο εναλλάκτης θερμότητας θερμαίνει το κρύο αέριο οξυγόνο που εξέρχεται από το μετατροπέα σε θερμοκρασία κατάλληλη για αναπνοή. Τα αεροσκάφη έχουν στο χώρο διακυβέρνησης πίνακα με ένδειξη παροχής οξυγόνου, προειδοποιητικά φώτα ελάχιστης ποσότητας οξυγόνου και διακόπτη ρύθμισης της παροχής οξυγόνου.

Οι μάσκες είναι δύο ειδών: μάσκες για ρυθμιστές συνεχούς ροής και μάσκες πίεσης. Έχουν μικρόφωνα, ρυθμιστές, ενισχυτές, κ.τ.λ. ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις. Επιπρόσθετα προστατεύουν το πρόσωπο από πυρκαγιά.

## **7.10. ΣΩΣΤΙΚΑ ΜΕΣΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ**

Τα σωστικά μέσα των αεροσκαφών αποσκοπούν στη διάσωση των επιβατών και του πληρώματος σε καταστάσεις ανάγκης, όπως αναγκαστική προσθαλάσωση ή ανώμαλη προσγείωση. Τα πολιτικά αεροσκάφη έχουν πόρτες διαφυγής ανάγκης, φουσκωτές «τσουλήθρες», λέμβους και ατομικά σωσίβια για τους επιβάτες και το πλήρωμα. Τα μαχητικά αεροσκάφη έχουν εκτινασσόμενο κάθισμα.

Τα πολιτικά αεροσκάφη είναι σχεδιασμένα να αντέχουν σε μικρούς συντελεστές φόρτου, π.χ. τα αεροσκάφη κανονικής κατηγορίας σε 3.8g, της γενικής κατηγορία σε 4.4g και τα ακροβατικά σε 6.0g. Οι ακραίες επιταχύνσεις στα πολιτικά και μεταφορικά αεροσκάφη εμφανίζονται πολύ σπάνια σε περιπτώσεις έντονων αναταράξεων του αέρα, δηλαδή στις ριπές. Τα σύγχρονα μαχητικά αεροσκάφη είναι σχεδιασμένα να αντέχουν σε συντελεστές φόρτου της τάξεως του 10. Στις αερομαχίες οι επιταχύνσεις των 4 g έως και 7 g είναι καθημερινή ρουτίνα. Οι συνθήκες πτήσης των μαχητικών αεροσκαφών είναι οριακές για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Οι χειριστές των μαχητικών αεροσκαφών έχουν ειδικό ατομικό εξοπλισμό που τους προστατεύει από τα αυξημένα «g» και διασφαλίζει τη διαφυγή και επιβίωσή τους σε περίπτωση εγκατάλειψης του αεροσκάφους. Γενικά, τα συστήματα διαφυγής και διάσωσης των χειριστών των μαχητικών αεροσκαφών είναι πολύπλοκα. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται ο ατομικός εξοπλισμός των χειριστών και τα συστήματα εγκατάλειψης των μαχητικών αεροσκαφών.

### **7.10.1. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΟΥ ΜΑΧΗΤΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ**

Ο ατομικός εξοπλισμός του χειριστή διασφαλίζει τις απαραίτητες συνθήκες χειρισμού του αεροσκάφους, τη διαφυγή του και την εν συνεχεία επιβίωσή του σε περίπτωση εγκατάλειψης. Ο τυπικός ατομικός εξοπλισμός του χειριστή ενός μαχητικού αεροσκάφους αποτελείται πολύ συνοπτικά από τα ακόλουθα:

➤ *Φόρμα «αντί G»*

Έχει διπλά αεροστεγή τοιχώματα, φουσκώνει -ξεφουσκώνει ανάλογα με τα εκάστοτε g και «σφίγγει» το κάτω τμήμα του σώματος του χειριστή. Αυξάνει την κυκλοφορία του αίματος στο κεφάλι του χειριστή επειδή αναγκάζει το αίμα να ανείβει προς τα επάνω. Αυξάνει το μέσον όρο της αντοχής του χειριστή κατά 2g περίπου, συγκριτικά με την αντοχή του χωρίς φόρμα. Η μέση αντοχή του χειριστή, μέχρι να χάσει στιγμιαία την όρασή του χωρίς φόρμα, είναι 4.5 έως 5.5 g, ενώ με τη φόρμα είναι 6.5 έως 7 g. Η διάρκεια της επιτάχυνσης καταπονεί περισσότερο τον χειριστή από ότι η έντασή της. Η αντί g φόρμα παρέχει προστασία σε συνεχείς επιταχύνσεις διάρκειας πάνω από 4 δευτερόλεπτα. Στις στιγμιαίες επιταχύνσεις του ενός δευτερολέπτου δεν προσφέρει προστασία. Η καταπόνηση του χειριστή σε ένα συνεχή ελιγμό με 7g, επί δεκαπέντε δευτερόλεπτα, είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι σε ένα στιγμιαίο ελιγμό με 10 g επί ένα δευτερόλεπτο. Η αντί g φόρμα κατασκευάζεται από πυρίμαχα υφάσματα που έχουν εσωτερικά κύστη από ύφασμα πολυουρεθανίου με επικάλυψη νάιλον.

➤ *Στολή Κορμού με Ιμάντες (Torso Harness)*

Οι στολές των χειριστών στα σύγχρονα αεροσκάφη είναι ολοκληρωτικού τύπου συστήματος ιμάντων. Ενσωματώνουν τους ιμάντες του αλεξιπτώτου, τους ιμάντες που συγκρατούν το χειριστή στο κάθισμα και τους ιμάντες ώμου. Ο χειριστής συγκρατείται στο κάθισμα με ζώνες, με ζώνες και ιμάντες ώμου και με ζώνες στους βραχίονες και στα πόδια.

➤ *Κάσκες και Μάσκες.*

Η κάσκα παρέχει προστασία στην κεφαλή του χειριστή από τυχόν προσκρούσεις και καλή ορατότητα και επικοινωνία με κέντρα εκτός αεροσκάφους. Κατασκευάζεται από σύνθετα υλικά μεγάλης αντοχής σε κρούση και σε υψηλές θερμοκρασίες. Η μάσκα παρέχει ρυθμιζόμενη ροή οξυγόνου στον χειριστή και έχει μικροφωνική εγκατάσταση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι από μάσκες και κάσκες. Είναι σχεδιασμένες να προσαρμόζονται η μία στη άλλη.

➤ *Εξοπλισμός Επιβίωσης Χειριστή*

Για την επιβίωση του χειριστή μετά την εγκατάλειψη του αεροσκάφους, ο ατομικός εξοπλισμός του έχει τα ακόλουθα βασικά μέσα: σωσίβιο, ασύρματο, φωτοβολίδες, πιστόλι με φυσίγγια, πυξίδα, υλικά για ψάρεμα, αναπτήρα, είδη διατροφής, φακό, μαχαίρι, σφυρίχτρα, κ.ά.. Τα σύγχρονα σωσίβια ανοίγουν αυτόματα μετά την επαφή του χειριστού με το νερό.

## **7.10.2. ΑΛΕΞΙΠΤΩΤΑ**

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι αλεξιπτώτων. Ο ένας τύπος αφορά τα αλεξίπτωτα οπισθέλκουσας που σε πλήρη νηνεμία πέφτουν κατακόρυφα και είναι ημισφαιρικά. Ο άλλος τύπος αφορά τα αλεξίπτωτα στα οποία αναπτύσσεται οπισθέλκουσα και άντωση και συνήθως έχουν σχήμα πτέρυγας αεροσκάφους. Τα αλεξίπτωτα αυτά σε πλήρη νηνεμία δεν πέφτουν κατακόρυφα.

Τα αλεξίπτωτα έχουν διάφορα σχήματα ανάλογα με την αποστολή τους και την ταχύτητα ανέωξής τους. Στα αλεξίπτωτα με δύο θόλους, πρώτα ανοίγει το αλεξίπτωτο υψηλής ταχύτητας και εν συνεχεία το χαμηλής ταχύτητας. Τα αλεξίπτωτα ανάγκης είναι συνήθως αλεξίπτωτα οπισθέλκουσας πλην ορισμένων τύπων που χρησιμοποιεί ο στρατός και έχουν δυνατότητα αλλαγής πορείας. Στα αλεξίπτωτα δύο στρωμάτων υφάσματος ο αέρας διέρχεται μεταξύ των στρωμάτων και αναπτύσσεται άντωση.

Τα αλεξίπτωτα έχουν συνήθως και εφεδρικό αλεξίπτωτο που ανοίγει αυτόματα σε περίπτωση αστοχίας του κυρίου αλεξιπτώτου. Ο μηχανισμός αυτόματης ανέωξης του αλεξιπτώτου λειτουργεί είτε με την πίεση του αέρα είτε με χρονομετρητή (ρολόι). Τα αλεξίπτωτα των χειριστών των σύγχρονων αεροσκαφών ανοίγουν αυτόματα μετά την εκτίναξη του καθίσματος και τον αποχωρισμό του χειριστή από το κάθισμα.

### 7.10.3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΛΕΙΨΗΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗ

Το σύστημα εγκατάλειψης του αεροσκάφους από τον χειριστή αποτελείται από δύο κύρια υποσυστήματα: της ανέωξης - θρυμματισμού ή εκτίναξης της καλύπτρας και της εκτίναξης του καθίσματος. Οι μεγάλες ταχύτητες πτήσης των σύγχρονων αεροσκαφών και η απαίτηση ταχείας και ασφαλούς εγκατάλειψης οδήγησαν μετά από πολλές και μακροχρόνιες προσπάθειες στα σύγχρονα πολύπλοκα συστήματα εγκατάλειψης. Η θραύση του αλεξηνέμου της καλύπτρας (θρυμματισμός) και η ταυτόχρονη εκτίναξή του, επιτυγχάνεται στα σύγχρονα αεροσκάφη με τη χρήση εκρηκτικής ύλης.

Η εκρηκτική ύλη, τοποθετείται περιμετρικά στο αλεξήνεμο ή στην καλύπτρα και θρυμματίζει το προχαραγμένο αλεξήνεμο ή απομακρύνει την καλύπτρα. Ορισμένα αεροσκάφη, όπως το F-16 και F-18, έχουν στο εμπρόσθιο χείλος του αλεξήνεμου πυραυλοκινητήρες που αφενός μειώνουν το χρόνο απομάκρυνσης του αλεξήνεμου και αφετέρου το απομακρύνουν από την πορεία που θα διαγράψει το εκτινασσόμενο κάθισμα με τον χειριστή.

Τα εκτινασσόμενα καθίσματα ολισθαίνουν σε δύο σταθερές ράγες του αεροσκάφους και επιταχύνονται – εκτινάσσονται από πυραυλοκινητήρες που είναι τοποθετημένοι στο κάθισμα. Τα σύγχρονα αεροσκάφη του δυτικού κόσμου έχουν συνήθως καθίσματα τύπου Martin & Baker. Σε πειραματικό στάδιο εξελίσσονται και δοκιμάζονται καθίσματα που εκτινάσσονται αυτόματα, ανεξάρτητα από τη βούληση του χειριστή.

Τα αλεξιπτώτα των σύγχρονων εκτινασσόμενων καθισμάτων ανοίγουν και διαχωρίζουν το κάθισμα από το χειριστή αυτόματα. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η αποφυγή εσφαλμένων ενεργειών του χειριστή και η περίπτωση αδυναμίας εκτέλεσης των προβλεπόμενων ενεργειών από το χειριστή, όπως π.χ. σε περίπτωση λιποθυμίας τραυματισμού του.

Ο αλεξιπτώτο του καθίσματος και του χειριστή, το εκτινασσόμενο κάθισμα και ο χειριστής αποτελούν, μετά την εγκατάλειψη, ένα ενιαίο σύνολο. Η χρονική σειρά ενεργοποίησης των διαφόρων μηχανισμών είναι ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια του χειριστή. Για παράδειγμα το άνοιγμα του αλεξιπτώτου του καθίσματος αμέσως μετά την εγκατάλειψη σε μεγάλα ύψη, όπου το οξυγόνο είναι μειωμένο, θα ήταν μοιραίο εάν κατά την εγκατάλειψη έχει υποστεί ζημιές η μάσκα του χειριστή.

Γενικά το σύστημα εγκατάλειψης των χειριστών στα σύγχρονα μαχητικά αεροσκάφη είναι πολύπλοκο και απαιτεί μεγάλη ακρίβεια στη χρονική σειρά των διαφόρων διαδικασιών ενεργοποίησης.

### 7.11. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Πάρα πολλά όργανα και συσκευές στα σύγχρονα αεροσκάφη, λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα. Επίσης, ρεύμα απαιτείται για τον εξωτερικό και εσωτερικό φωτισμό του αεροσκάφους, το σύστημα επικοινωνιών - αεροναυτιλίας και γενικά των ηλεκτρονικών του αεροσκάφους και την κίνηση διαφόρων συστημάτων, όπως των πηδαλίων, του συστήματος προσγείωσης, κ.τ.λ.. Για τις ανωτέρω λειτουργίες απαιτείται ηλεκτρικό ρεύμα συνεχές και εναλλασσόμενο με διάφορες τάσεις και περιόδους. Η κύρια αποστολή του ηλεκτρικού συστήματος του αεροσκάφους είναι η παραγωγή, διανομή και κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρικό σύστημα των σύγχρονων αεροσκαφών είναι πολύπλοκο και αποτελείται από πολλά ηλεκτρικά υποσυστήματα και κυκλώματα.

Τα βασικά μέρη ενός ηλεκτρικού κυκλώματος είναι γεννήτριες συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος, ηλεκτροκινητήρες, συσσωρευτές, ανορθωτές, μετασχηματιστές, διακόπτες, ρυθμιστές, ασφάλειες, λυχνίες, καλωδιώσεις, ρευματολήπτες, ρευματοδότες, κ.ά.. Το γενικό ηλεκτρικό σύστημα του αεροσκάφους ελέγχεται από ένα γενικό πίνακα ελέγχου.

#### ➤ Κατανάλωση ρεύματος

Γενικά τα στοιχεία κατανάλωσης ρεύματος στα αεροσκάφη είναι τα εξής:

- Οι ηλεκτρονικές συσκευές, οι ηλεκτρικές βαλβίδες και ορισμένοι κινητήρες λειτουργούν με συνεχές ρεύμα
- Το σύστημα θέρμανσης και ο φωτισμός λειτουργούν και με τα δύο είδη ρεύματος
- Τα παρελκόμενα (κυρίως οι κινητήρες) λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Ενδεικτικά το μαχητικό αεροσκάφος Eurofighter Typhoon, έχει δύο μηχανοκίνητες γεννήτριες των 30 KVA που παράγουν τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα 115/200 V, 400 HZ το οποίο μετατρέπεται σε συνεχές ρεύμα 28 V. Το πολιτικό αεροσκάφος Boeing 767 έχει δύο μηχανοκίνητες γεννήτριες των 90 kVA που παράγουν τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα 115/200 V, 400 HZ το οποίο μετατρέπεται σε συνεχές ρεύμα 28 V.

Οι γεννήτριες των αεροσκαφών είναι ανάλογες με τις επίγειες με τη διαφορά ότι έχουν μικρό όγκο και βάρος και μεγάλη αξιοπιστία ακόμη και σε ειδικές αντίζοες συνθήκες λειτουργίας. Γενικά έχουν μικρό λόγο βάρους/ισχύος και λειτουργούν στο χώρο του κινητήρα του αεροσκάφους σε υψηλές θερμοκρασίες της τάξεως των 2500 °C.

#### ➤ *Συσσωρευτές*

Κύρια αποστολή τους είναι η παροχή του απαραίτητου ρεύματος για τη λειτουργία των βασικών οργάνων και συσκευών του αεροσκάφους σε περίπτωση βλάβης της γεννήτριας συνεχούς ρεύματος. Είναι δηλ. βοηθητικές πηγές ενέργειας. Τα μονοκινητήρια αεροσκάφη έχουν έναν συσσωρευτή ενώ τα πολυκινητήρια συνήθως δύο. Οι συσσωρευτές των αεροσκαφών είναι συνήθως 12 και 24 V τύπου Νικελίου - Καδμίου με μεγάλο αριθμό αμπερωρίων.

#### ➤ *Καλώδια*

Ένα αεροσκάφος έχει δεκάδες χιλιόμετρα καλώδια. Ενδεικτικά το βομβαρδιστικό αεροσκάφος A - 7 H έχει είκοσι χιλιόμετρα καλώδια. Το αγώγιμο μέρος του καλωδίου είναι συνήθως από χαλκό ή αλουμίνιο και σπανίως από άργυρο. Το μονωτικό μέρος του καλωδίου εξαρτάται από το είδος της εγκατάστασης και είναι από πλαστικό, αμίαντο ή τεφλόν.

Οι καλωδιώσεις του ηλεκτρικού συστήματος σε κάθε αεροσκάφος έχουν πλήρη στοιχεία αναγνώρισης (Identification codes). Τα στοιχεία του κώδικα αναγνώρισης προσδιορίζουν επακριβώς το σύρμα του καλωδίου, το κύκλωμα στο οποίο ανήκει, τις διαστάσεις (μονάδες AMG), κ.τ.λ. Τα στοιχεία του κώδικα των καλωδίων αναγνώρισης αναγράφονται στο μονωτικό μέρος των καλωδίων και συνήθως αποτελούνται από συνδυασμό γραμμάτων και αριθμών. Το σύστημα κωδικοποίησης των στοιχείων αναγνώρισης των καλωδίων διαφέρει στους διάφορους κατασκευαστές αεροσκαφών. Π.χ. ένα καλώδιο με τον κωδικό αναγνώρισης P-24 δηλώνει ότι είναι το καλώδιο No 24 του κυκλώματος ισχύος (power circuit),

Τα στοιχεία αναγνώρισης είναι ευανάγνωστα και αναγράφονται ανά έξι πόδια κατά μήκος του καλωδίου με μέγιστη απόσταση από τα άκρα του καλωδίου τρεις ίντσες. Η πτώση της τάσης στα κύρια καλώδια ενέργειας δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το 2% της σταθεροποιημένης τάσης όταν η γεννήτρια παρέχει ρεύμα ονομαστικής τάσης. Τα καλώδια των επιμέρους ηλεκτρικών κυκλωμάτων συγκεντρώνονται σε δέσμες, τοποθετούνται σε σωληνώσεις και συνδέονται στα άκρα τους με ρευματολήπτες - ρευματοδότες. Οι σωληνώσεις μπορεί να είναι μεταλλικές ή μη, εύκαμπτες ή άκαμπτες. Στηρίζονται επάνω σε ειδικούς οδηγούς κατά διαστήματα με σφιγκτήρες για να αποφεύγονται ατυχήματα και φθορές από τριβές.

Τα καλώδια που συνδέονται με τερματικά κουτιά, μπάρες διανομής ή ηλεκτρικές συσκευές φέρουν στα άκρα τους ακροδέκτες. Οι ακροδέκτες διευκολύνουν σημαντικά τη σύνδεση και αποσύνδεση των καλωδίων. Κατασκευάζονται από χαλκό ή αλουμίνιο και είναι μονωμένοι ή όχι ανάλογα με τη χρήση τους. Διακρίνονται τρεις βασικοί τύποι ακροδεκτών, τύπου σημαίας, επίπεδοι και γωνιακοί.

#### ➤ *Γεφύρωση και Γείωση*

Τα ηλεκτρικά συστήματα του αεροσκάφους έχουν πολυάριθμες γεφυρώσεις και γειώσεις. Γεφύρωση είναι η ηλεκτρική σύνδεση δύο ή περισσότερων αγώγιμων υλικών που

δε συνδέονται άμεσα με άλλο τρόπο. Γείωση είναι η ηλεκτρική σύνδεση ενός αγώγιμου υλικού με το αεροσκάφος που διασφαλίζει επιστροφή στο ηλεκτρικό ρεύμα. Οι γεφυρώσεις και γειώσεις σε ένα αεροσκάφος διασφαλίζουν τα εξής:

- Προστατεύουν το αεροσκάφος και το προσωπικό από κεραυνούς.
- Προστατεύουν το προσωπικό από ηλεκτροπληξία.
- Διασφαλίζουν σταθερότητα ραδιοεκπομπής και λήψης.
- Προλαβαίνουν συσσώρευση στατικών φορτίων.

➤ *Ρευματολήπτες και Ρευματοδότες*

Οι ρευματολήπτες και ρευματοδότες (φίσες) διευκολύνουν τη συντήρηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων του αεροσκάφους καθότι συνδέονται και αποσυνδέονται εύκολα και είναι αεροπορικών προδιαγραφών, όπως AN και MS. Αναγνωρίζονται από τα στοιχεία κωδικοποίησης που αναγράφονται σε εμφανές σημείο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ρευματοληπτών και ρευματοδοτών που διαφέρουν στο σχήμα, τον αριθμό των υποδοχών, τον τύπο επαφής, την πόλωση, κ.τ.λ. ανάλογα με τη χρήση.

➤ *Λοιπά Στοιχεία Ηλεκτρικού Κυκλώματος*

Τα λοιπά στοιχεία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων των αεροσκαφών είναι παρόμοια με αυτά της γενικής χρήσεως με τη βασική διαφορά ότι έχουν μικρό όγκο, μικρό βάρος και μεγάλη αξιοπιστία.

➤ *Φωτισμός*

Το σύστημα φωτισμού του αεροσκάφους παρέχει φωτισμό για εσωτερική και εξωτερική χρήση. Τα εξωτερικά φώτα χρησιμεύουν για νυχτερινές προσγειώσεις, επιθεωρήσεις παγιοποιήσεις και προστασία από συγκρούσεις στον αέρα και στο έδαφος. Τα εσωτερικά φώτα χρησιμεύουν για το φωτισμό των οργάνων, του πιλοτηρίου, της καμπίνας επιβατών και των λοιπών χώρων του αεροσκάφους που χρησιμοποιούνται από τους επιβάτες και το πλήρωμα.

Τα εξωτερικά φώτα του αεροσκάφους συνοπτικά είναι τα ακόλουθα:

- Φωτά πορείας. Είναι ένα πράσινο φώς στο άκρο της δεξιάς πτέρυγας, ένα κόκκινο στο άκρο της αριστερής πτέρυγας και ένα άσπρο στο κάθετο σταθερό.
- Φώτα αποφυγής σύγκρουσης. Είναι, τύπου περιστρεφόμενης δέσμης και τοποθετούνται στην κορυφή της ατράκτου ή στην κορυφή του καθέτου σταθερού. Σπάνια τοποθετούνται στο κάτω τμήμα της ατράκτου.
- Φώτα προσγείωσης. Χρησιμεύουν για το φωτισμό του διαδρόμου κατά τις νυχτερινές προσγειώσεις. Είναι τοποθετημένα στο χείλος προσβολής της πτέρυγας ή χωνευτά στο ρύγχος του αεροσκάφους.
- Φώτα τροχοδρόμησης. Χρησιμεύουν για το φωτισμό κατά την τροχοδρόμηση ή ρυμούλκηση του αεροσκάφους. Στα αεροσκάφη με ριναίο σκέλος είναι τοποθετημένα στο εμπρόσθιο τμήμα του σκέλους.
- Φώτα επιθεώρησης πτερύγων. Ορισμένα αεροσκάφη έχουν φώτα για τον έλεγχο παγοποίησης των πτερύγων από το πλήρωμα.

## **7.12. ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Η επιβράδυνση των αεροσκαφών κρίνεται αναγκαία τόσο κατά τη φάση προσγείωσης όσο και την πτήση. Η απόσβεση της κινητικής ενέργειας του αεροσκάφους σε διαδρόμους προσγείωσης μικρού μήκους αλλά και σε περιπτώσεις ανάγκης επιτυγχάνεται με διάφορες διατάξεις και μέσα επιβράδυνσης που εξαρτώνται από το βάρος και το κόστος κατασκευής, εγκατάστασης και συντήρησης. Συνήθως χρησιμοποιούνται μηχανικά συστήματα, όπως

σύστημα πέδησης, αναστροφή ώσης του προωθητικού συστήματος, αεροδυναμικά συστήματα, όπως φθορείς άντωσης, αερόφρενα, αλεξίπτωτα οπισθέλκουσας ή συνδυασμός τους.

Το σύστημα πέδησης αποτελεί τον κλασικό, βασικό επιβραδυντικό εξοπλισμό για όλα τα αεροσκάφη και αξιοποιείται για την πέδηση κατά την τροχοδρόμηση και τους διάφορους ελιγμούς - κινήσεις στο έδαφος. Τα πιο γνωστά επιβραδυντικά συστήματα εκτός από το σύστημα πέδησης είναι τα ακόλουθα:

➤ *Αλεξίπτωτα Οπισθέλκουσας (Αλεξιπροχώρια).*

Στα αεροσκάφη με αυξημένο βάρος και μεγάλες ταχύτητες προσγείωσης, η απόσβεση της κινητικής ενέργειας αποκλειστικά με το σύστημα πέδησης είναι απαγορευτική. Η αξιοποίηση επιπρόσθετων επιβραδυντικών συστημάτων είναι επιβεβλημένη, όπως αλεξίπτωτα οπισθέλκουσας και αναστροφείς ώσης. Τα αλεξιπροχώρια χρησιμοποιούνται για μείωση της διαδρομής τροχοδρόμησης του αεροσκάφους στη φάση προσγείωσης. Είναι εγκατεστημένα σε κατάλληλη υποδοχή στο οπίσθιο τμήμα της ατράκτου και ενεργοποιούνται από τον χειριστή. Είναι αποτελεσματικά σε ταχύτητες προσγείωσης μεγαλύτερες των 70 Knots. Η οπισθέλκουσα που αναπτύσσεται στα αλεξιπροχώρια μεταφέρεται από τους μάντες σύνδεσης στην άτρακτο του αεροσκάφους και το επιβραδύνει με 0.25g έως 0.35 g. Η διάμετρός τους εξαρτάται κυρίως από το βάρος του αεροσκάφους. Στα περισσότερα αεροσκάφη το αλεξιπροχώριο απορρίπτεται στο τέλος της διαδρομής τροχοδρόμησης. Υπάρχουν και αεροσκάφη με διατάξεις αυτόματης επαναφοράς του αλεξιπροχωρίου όταν η ταχύτητα τροχοδρόμησης μειωθεί στα 60 έως 70 Knots.

Γενικά τα αλεξιπροχώρια αποτελούν συστήματα επιβράδυνσης με παγκόσμια αναγνώριση και ευρύτατη χρήση στα μαχητικά αεροσκάφη μεγάλων επιδόσεων. Χρησιμοποιούνται κυρίως στα αεροσκάφη με τρίκυκλο Σ/Π με ριναίο τροχό. Είναι απλά στην κατασκευή και πολύ ελαφρά. Ο συντελεστής οπισθέλκουσας για νάιλον αλεξίπτωτα ή αλεξίπτωτα τύπου ταινίας είναι περίπου 1.4.

➤ *Αναστροφή Βήματος Έλικας (Reverse Pitch Aircrew)*

Τα περισσότερα σύγχρονα ελικοφόρα αεροσκάφη έχουν σύστημα αναστροφής - αντιστροφής του βήματος του έλικα. Ο χειριστής με το σύστημα αυτό μεταβάλλει τη γωνία προσβολής των πτερυγίων του έλικα και θέτει τα πτερύγια σε αρνητική γωνία προσβολής. Αντιστρέφεται η φορά της προωθητικής δύναμης του έλικα με συνέπεια την επιβράδυνση του αεροσκάφους. Χρησιμοποιείται στην προσγείωση στο τέλος της φάσης τροχοδρόμησης ή στην ακινητοποίηση του αεροσκάφους. Το σύστημα αυτό έχει ελάχιστο βάρος και κόστος κατασκευής και συντήρησης. Ο συνδυασμός στροβιλοκινητήρα με έλικα παρέχει ανάστροφη ώση της τάξεως του 60% της στατικής ώσης και ο εμβολοφόρος κινητήρας της τάξεως του 40%. Οι έλικες αντιστρεπτού βήματος παρέχουν στο αεροσκάφος τη δυνατότητα κίνησης του αεροσκάφους στο έδαφος προς τα πίσω.

➤ *Σύστημα Αναστροφής Ωσης (Thrust Reverse System)*

Σχεδόν όλα τα σύγχρονα πολιτικά αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα, έχουν σύστημα αναστροφής ώσης. Το σύστημα αυτό, ενεργοποιείται μετά την επαφή των τροχών του αεροσκάφους με το διάδρομο και μεταβάλλει τη φορά κίνησης των καυσαερίων προς τα εμπρός υπό γωνία, διασφαλίζοντας μεγάλη επιβράδυνση στα σύγχρονα αεροσκάφη με στροβιλοκινητήρα με μεγάλη αξιοπιστία και μικρή επιβάρυνση στο κόστος συντήρησης.

Σε ορισμένα αεροσκάφη, όπως το DC-8 και C-5 οι αναστροφείς ώσης είναι ενσωματωμένοι στους κινητήρες και μπορούν να αξιοποιηθούν κατά την πτήση και ως αερόφρενα. Η ανάστροφη ώση ενός στροβιλοκινητήρα είναι της τάξεως του 40% έως 50% της ώσης απογείωσης. Το σύστημα ανάστροφης ώσης δεν χρησιμοποιείται στα μαχητικά αεροσκάφη επειδή είναι πολύ βαρύ. Ελάχιστα μαχητικά αεροσκάφη βραχείας απο / προσγείωσης, όπως το VIGGEN έχουν αναστροφέα ώσης, ο οποίος ενεργοποιείται αυτόματα με την επαφή των τροχών του αεροσκάφους στο έδαφος.

➤ *Συρματόσχοινα Ανάσχεσης.*

Στο άκρα του διαδρόμου προσγείωσης υπάρχουν εγκάρσια τοποθετημένα συρματόσχοινα ανάσχεσης. Τα περισσότερα Αμερικάνικα μαχητικά αεροσκάφη έχουν στο κάτω οπίσθιο τμήμα της ατράκτου άγκιστρο ανάσχεσης. Σε περιπτώσεις ανάγκης, όπως μη ικανοποιητική πέδηση ή προσγείωση σε αεροπλανοφόρα, ο χειριστής κατεβάζει το άγκιστρο το οποίο «πιάνει» στο συρματόσχοινο ανάσχεσης. Το συρματόσχοινο ανάσχεσης είναι συνδεδεμένο με ιμάντες σε μηχανισμό επιβράδυνσης (αδρανειακά τύμπανα επιβράδυνσης) εγκατεστημένο πλευρικά του διαδρόμου στον οποίο ξετυλίγεται ο ιμάντας. Καθώς ο ιμάντας ξετυλίγεται, το συρματόσχοινο επιβραδύνει το αεροσκάφος. Το γύρω και βασικό επιβραδυντικό σύστημα προσγείωσης των μαχητικών αεροσκαφών στα αεροπλανοφόρα, είναι το σύστημα ανάσχεσης με συρματόσχοινα. Το άγκιστρο ανάσχεσης του αεροσκάφους «πιάνει» στο συρματόσχοινο του συστήματος.

➤ *Δίκτυα Ανάσχεσης*

Ως διαδικασία έκτακτης προσγείωσης ανάγκης προβλέπεται η επιβράδυνση ενός μαχητικού αεροσκάφους, που δεν έχει άγκιστρο ανάσχεσης, σε ειδικά δίκτυα που είναι εγκατεστημένα στο τέλος του διαδρόμου κάθετα στο διάδρομο. Η προσγείωση σε δίκτυα δημιουργεί πολλές φορές βλάβες στη δομή του αεροσκάφους.

➤ *Αερόφρενα*

Κατά τη διάρκεια της πτήσης, η επιβράδυνση του αεροσκάφους επιτυγχάνεται με αερόφρενα. Τα αερόφρενα συνήθως είναι επίπεδες πλάκες, εγκατεστημένες συμμετρικά κατά ζεύγη στην άτρακτο και την πτέρυγα του αεροσκάφους και χρησιμεύουν για τον έλεγχο της ταχύτητάς του.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στόχευε στην ανάλυση και την περιγραφή της συντήρησης των αεροσκαφών καθώς και την ανάλυση της λειτουργίας βοηθητικών συστημάτων. Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής ο αναγνώστης επιθυμείται να κατανοήσει την πολυπλοκότητα των αεροσκαφών τόσο στην κατασκευή και στην δομή τους αλλά και στη συντήρηση και την λειτουργία των συστημάτων τους.

Η άρτια συντήρηση και λειτουργία των συστημάτων είναι καθοριστικός παράγοντας για την ασφάλεια των δρομολογίων που εκτελούνται από το κάθε αεροσκάφος. Αφού σε περιπτώσεις που κάτι δεν έχει πραγματοποιηθεί συμφωνά με τις προδιαγραφές ή δεν δόθηκε η απαραίτητη προσοχή μπορεί να οδηγήσει σε θανατηφόρο ατύχημα.

Για τους προαναφερόμενους λόγους απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των Μηχανικών Συντήρησης που θα πρέπει να κατέχουν σημαντική εμπειρία στη συντήρηση των αεροσκαφών καθώς επίσης και στην επίλυση βλαβών τους. Επιπλέον, το επιλεγμένο προσωπικό συντηρήσεων αεροσκαφών (Μηχανικοί) θα πρέπει να εκπαιδεύεται κατάλληλα με στόχο να μπορεί να ακολουθήσει τις εξελίξεις της τεχνολογίας και τις εξελίξεις που αφορούν την επιστήμη της αεροδυναμικής.

Ο απολογισμός της εργασίας έχει ως συμπεράσματα την δυνατότητα κατανόησης των φάσεων κατασκευής των αεροσκαφών, τις αρχές επισκευής των αεροσκαφών σε όλα τα τμήματα του μεταλλικά και μη μεταλλικά. Επιπλέον, την δυνατότητα γνωριμίας όλων των συστημάτων αεροσκαφών όπως του συστήματος ελέγχου πτήσης, του συστήματος καύσιμου, του υδραυλικού συστήματος, του πνευματικού συστήματος, των συστημάτων προστασίας από πάγο και βροχή, του συστήματος συμπίεσης και κλιματισμού, του συστήματος προσγείωσης, του συστήματος οξυγόνου καθώς επίσης και των ηλεκτρικών και επιβραδυντικών συστημάτων.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεώργιος Καρακιόζογλου, Αρχές Σχεδίασης Αεροσκαφών, εκδόσεις Ζαμπάρα
2. Γεωργαντόπουλος Γ., Κορρας Α. και Γεωργαντόπουλου, Αεροδυναμική II Εκδόσεις Συμμεών, ΑΘΗΝΑ 2006.
3. Κουλλίας Ι. και Καρακιόζογλου Γ., Στοιχεία Υπολογισμού, Κατασκευής Και Συντήρησης Αεροσκαφών, εκδόσεις Ζαμπάρα.
4. Γεωργαντόπουλου Χ.Γ. και Γεωργαντόπουλος Γ.Α., Εφαρμοσμένη αεροδυναμική, Εκδόσεις Τσότρας, Αθήνα 2015.
5. Ζορμπά Λ. και Τσάγκαλη Π., Συστήματα ελέγχου αεροσκαφών, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, Πτυχιακή Εργασία, Πάτρα 2018.
6. Πολυζάκης Α., Λειτουργίας αεροστροβίλων – Παραδείγματα ενέργειας – Προώθησης, Εκδόσεις Heat Cool Power, Αθήνα 2012
7. Πολυζάκης Α., Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Στροβιλομηχανές –Υδροδυναμικές Μηχανές, Εκδόσεις Heat Cool Power, Αθήνα 2016
8. Λιάπη Ι., Σύστημα πρόωσης αεροσκάφους, Τ.Ε.Ι. Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Πτυχιακή εργασία, Καβάλα, 2014
9. Δρυμώνης Π., Σχεδίαση με CAD (Οποιοδήποτε CAD) τουλάχιστον 3 διαφραγμάτων (Bulkheads) δηλαδή δομικών στοιχείων μαχητικού αεροσκάφους (F-35), ΤΕΙ Πειραιά, Πτυχιακή εργασία, Αιγάλεω 2016.
10. Διαδικτυακή εγκυκλοπαίδεια: <https://el.wikipedia.org/wiki/>
11. Πολεμική Αεροπορία Αεροσκάφη: <https://www.haf.gr/multimedia/photos/planes/>
12. Αεροσκάφη επιβατικά (Airbus): <https://www.airbus.com/>