



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΩΝ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

Μαρίνα Μπιλάς

ΑΜ: 70146225

Επιβλέπων καθηγητής: Ευάγγελος Χ. Παπακίτσος

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION
ENGINEERING**

Diploma Thesis

**Study of Properties of Light Materials for Usage in Constructing Robotic
and Remote-Controlled Vehicles**

Student name and surname: BILASH MARYNA

Registration Number:

70146225

Supervisor name and surname: Evangelos C. Papakitsos

Athens, October 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ
ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Τίτλος εργασίας

**Μελέτη των Ιδιοτήτων Ελαφρών Υλικών για Χρήση σε Κατασκευές Ρομποτικών
και Τηλεκατευθυνόμενων Οχημάτων**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική
Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Ε.Χ. ΠΑΠΑΚΙΤΣΟΣ	ΕΔΙΠ Α΄ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	
2	Ε.-Ο. ΣΚΛΑΒΟΥΝΟΥ	ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	
3	Α. ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ	ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαρίνα Μπιλάς του Volodimir, με αριθμό μητρώου 70146225, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς την συμβολή και πολύτιμη βοήθεια ορισμένων ατόμων, τα οποία θέλω να ευχαριστήσω.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Παπακίτσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας μου το θέμα και καθοδηγώντας με καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας διπλωματικής μελέτης.

Επίσης ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου, οι οποίοι τόσα χρόνια με έχουν στηρίξει.

Μαρίνα Μπιλάς

Περίληψη

Στην προτεινόμενη διπλωματική εργασία πραγματοποιείτε μια συγκριτική μελέτη των ιδιοτήτων ελαφρών υλικών, όπως νάιλον και πλεξιγκλάς, τόσο για χρήση σε επικάλυψη των εξωτερικών επιφανειών μικρών ρομποτικών και τηλεκατευθυνόμενων οχημάτων, όσο και για την κατασκευή μερών του σκελετού τους. Η σύγκριση αυτή θα διενεργηθεί τόσο με τα ίδια τα υλικά όσο και με αυτά που συνήθως χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό, κατά περίπτωση εφαρμογής (επιφάνειες, δομικά μέρη/σκελετός), όπως είναι τα πλαστικά, τα ανθρακονήματα, η μπάλσα και το αλουμίνιο. Έμφαση θα δοθεί σε ιπτάμενα μη-στελεχωμένα οχήματα, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του βάρους στα ιπτάμενα οχήματα και την αντοχή της κατασκευής. Οι ιδιότητες που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα είναι η αντοχή των υλικών, το ειδικό βάρος και η ηλεκτρομαγνητική τους συμπεριφορά.

Λέξεις – Κλειδιά

UAV, πλεξιγκλάς, νάιλον, Morpheus

STUDY OF THE PROPERTIES OF LIGHT MATERIALS FOR USE IN THE CONSTRUCTION OF ROBOTIC AND REMOTE VEHICLES

Abstract

In the proposed thesis a comparative study is carried out of the properties of lightweight materials, such as nylon and Plexiglas, both for use in coating the external surfaces of small robotic and remote-controlled vehicles, as well as for the manufacture of their frame parts. This comparison will be carried out both with the materials themselves and with those commonly used for this purpose, as applicable (surfaces, structural parts/frame), such as plastics, carbon fibers, balsa and aluminium. Emphasis will be placed on flying unmanned vehicles, in order to minimize the weight of the flying vehicles and the strength of the structure. The properties of particular interest are the strength of the materials, their specific gravity and their electromagnetic behavior.

Keywords

UAV (Unmanned Aerial Vehicle), Plexiglas, nylon, Morpheus

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΠΤΕΡΥΓΙΑ	10
1.1 Folding	10
1.2 Inflating.....	15
1.3 Nesting.....	19
1.4 Extending.....	20
1.5 Hybrid Desing Concepts.....	21
1.6 True Morphing.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ.....	25
2.1 Αρχικές Ιδέες Αεροσκαφών	25
2.1.1 Πτέρυγα Δέλτα	25
2.1.2 Ανυψωτικό Σώμα	26
2.1.3 Τηλεσκοπική Πτέρυγα	27
2.1.4 Πτυσσόμενο Φτερό	27
2.2 Έννοιες Μεταμόρφωσης Φτερών	28
2.2.1 Τηλεσκοπική Διαμόρφωση Πτερυγίων	28
2.2.2 Επιλογή Μηχανισμού Πτερυγίων	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: PLEXIGLASS.....	33
3.1 Ιστορική Αναδρομή Plexiglass	33
3.2 Χημική Δομή και παραγωγή του Plexiglass.....	34
3.3 Κατεργασίες του Plexiglass.....	35
3.4 Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του Plexiglass	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	38
4.1 Το Αλουμίνιο	38
4.1.1 Ιστορία του Αλουμινίου	38
4.1.2 Ιδιότητες του Αλουμινίου	40
4.2 Το Nylon.....	41
4.2.1 Χημική Σύσταση Nylon	42
4.2.2 Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα του Nylon	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	44
5.1 Κατασκευή Εσωτερικού Πτερυγίου	45
5.1.1 Πυρήνας Αφρού	46
5.1.2 Νευρώσεις	46
5.1.3 Σπαρ	46
5.1.4 Δέρμα από Υαλοάνθρακα	46

5.2 Κατασκευή Εξωλέμβιων Πτερυγίων.....	47
5.2.1 Δομικά στοιχεία.....	48
5.2.2 Φορτία πτερυγίων.....	51
5.3 Κατασκευή Ατράκτου	51
5.4 Μπλοκ Ουράς.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	55
6.1 Αλουμίνιο	55
6.2 Νάιλον	56
6.3 Plexiglass.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV) που μεταμορφώνεται είναι ένα αεροσκάφος υψηλών επιδόσεων, το οποίο έχει την ικανότητα να λειτουργεί αποτελεσματικά αλλάζοντας το εξωτερικό του σχήμα. Μορφοποίηση γενικά επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας είτε έξυπνα υλικά (υλικά που έχουν μια ή περισσότερες ιδιότητες που μπορούν να μεταβληθούν σημαντικά, με ελεγχόμενο τρόπο, από εξωτερικά ερεθίσματα) ή δομική μορφοποίηση. Η μορφοποίηση μπορεί να περιλαμβάνει πολλές πτυχές του σχεδιασμού του αεροσκάφους, περιλαμβανομένης της θέσης, του σχήματος, της περιοχής και της γωνίας των πτερών, της ουράς ή της ατράκτου. Το UAV σχεδιάστηκε για να μεταμορφώνεται μεταξύ τουλάχιστον δύο διαμορφώσεων κατά τη διάρκεια της πτήσης, χρησιμοποιώντας συνδυασμό μηχανισμών δομικής μορφοποίησης φτερού και ουράς.

Η εργασία περιλαμβάνει τις παρακάτω ενότητες:

Κεφάλαιο 1. Αρχικά πραγματοποιείται αναφορά στις διαθέσιμες επιλογές αναπτυσσόμενων πτερυγίων και τύπους σχεδίασης, όπως εύκαμπτοι έναντι άκαμπτων ή ριζική ανάπτυξη έναντι επέκτασης ανοίγματος. Οι επιλογές μπορούν να ενσωματωθούν ακατέργαστα σε έναν από τους ακόλουθους τύπους: Αναδιπλούμενο, Φουσκωτό, Ένθεσης ή Επέκτασης. Αν και η κατηγοριοποίηση είναι στοιχειώδης, εξυπηρετεί την ανάλυση των σχεδίων πτερυγίων με βάση τον τύπο ανάπτυξης.

Κεφάλαιο 2. Ακολούθησε αναφορά στις αρχικές ιδέες αεροσκαφών. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία ιδεών για πιθανές πλατφόρμες μορφή οι οποίες θα μπορούσαν να μορφοποιηθούν με σκοπό την ανάπτυξη του εύρους των επιφανειών. Ωστόσο τέσσερις από αυτές εξετάστηκαν για περαιτέρω ανάπτυξη, δηλαδή η έννοια των πτερυγίων δέλτα, του σώματος ανύψωσης, της τηλεσκοπικής πτέρυγας και το πτυσσόμενο φτερό. Ακολουθεί η ανάπτυξη των εννοιών μορφοποίησης πτερυγίων εξετάζοντας τη χρήση εσωτερικού ή εξωτερικού τηλεσκοπίου και τις κατάλληλες δομές στήριξης μηχανισμών.

Κεφάλαιο 3. Μελετάται η ιστορική αναδρομή του Plexiglass, δίνοντας έμφαση τόσο στη χημική δομή και παράγωγή του, τις κατεργασίες στις οποίες έχει τη δυνατότητα να υποβληθεί αλλά και στις φυσικές και χημικές του ιδιότητες.

Κεφάλαιο 4. Πραγματοποιείται αναφορά στο αλουμίνιο και το nylon. Συγκεκριμένα πραγματοποιείται αναφορά στην ιστορική αναδρομή των δύο υλικών, στη διαδικασία παραγωγής, τη χημική σύσταση και τις ιδιότητές τους.

Κεφάλαιο 5. Περιλαμβάνει την προκαταρκτική σχεδίαση του UAV Morpheus, λαμβάνοντας υπόψη την αεροδυναμική και δομική σχεδίαση των πτερυγίων, της ατράκτου και της πρόσφυσης. Εξετάστηκε ο σχεδιασμός του αεροσκάφους και τα συστήματα ελέγχου μηχανισμών μορφοποίησης κι ενσωματώθηκαν στον συνολικό σχεδιασμό του αεροσκάφους..

Κεφάλαιο 6. Παρουσιάζεται μια σύγκριση των ιδιοτήτων των τριών υλικών ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας, δηλαδή του αλουμινίου, του nylon και του Plexiglass.

Κεφάλαιο 7. Παρατίθενται τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΠΤΕΡΥΓΙΑ

1.1 Folding

Τα πτυσσόμενα φτερά μπορούν να είναι είτε άκαμπτα όταν οι πτυχές βρίσκονται σε διακριτές θέσεις μεντεσέδων είτε εύκαμπτα όπου η πτυχή είναι συνεχής κατά μήκος του ανοίγματος. Ορισμένα παραδείγματα φαίνονται στην Εικόνα 1.1. Όταν μιλάμε για άκαμπτα πτυσσόμενα φτερά εδώ, αναφερόμαστε σε επιφάνειες ανύψωσης που μπορούν να στοιβάζονται, επομένως δεν περιλαμβάνουν περύγια μεταβλητής γεωμετρίας ή μορφοποίησης, καθώς αυτά είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σε όλες τις φάσεις της πτήσης και δεν ικανοποιούν τις απαιτούμενες αυστηρές απαιτήσεις ανάπτυξης για ένα μικρό UAV (Skillin, 2007).

Ενώ τα σχέδια πτυσσόμενων φτερών έχουν λάβει λίγη προσοχή στη βιβλιογραφία λόγω της περιορισμένης χρήσης τους, έχουν μια πλούσια ιστορία τόσο σε επανδρωμένα όσο και σε μη επανδρωμένα οχήματα. Τα αναδιπλούμενα φτερά είναι κοινά μεταξύ των επανδρωμένων ναυτικών αεροσκαφών, αλλά περιλαμβάνουν επίσης ορισμένα αεροσκάφη ξηράς όπως το Su-47. Αν και ασυνήθιστο, σε ορισμένα αεροσκάφη έχουν ενσωματωθεί πτυσσόμενα στοιχεία στις κάθετες ουρές για να μειώσουν το ύψος ώστε να χωρέσουν σε υπόστεγα.



Εικόνα 1.1 Έννοιες άκαμπτων φτερών που περιλαμβάνουν SLAM-ER (πτύχωση με ψαλίδι), Coyote (δίπλωμα ψαλιδιού σε σειρά) και Alice (φτερό ταλάντευσης με εξωλέμβιο μεντεσέ) (Bovais, 1994).

Η πιο απλή ιδέα για το στοίβαγμα πτερυγίων αεροσκαφών μέσω αναδίπλωσης, χρησιμοποιεί αρθρωτά άκαμπτα τμήματα πτερυγίων που διπλώνουν για να μειώσουν την περιοχή στάθμευσης στα καταστρώματα μεταφοράς ή σε άλλες περιπτώσεις περιορισμένης περιοχής. Παραδείγματα περιλαμβάνονται στην Εικόνα 1.2. Οι έννοιες μιας άρθρωσης φαίνονται σε πρώιμα στρατιωτικά αεροσκάφη, αλλά και σε μοντέρνα σχέδια. Όπως δείχνουν οι εικόνες, το πλάτος/μήκος του αεροσκάφους μειώνεται μερικές φορές έως και $2/3$, ενώ το κατακόρυφο ύψος στοίβαγματος που απαιτείται για το αεροσκάφος μπορεί να αυξηθεί κατά 2 έως 3 φορές περισσότερο από αυτό της αναπτυσσόμενης διαμόρφωσης.

Το αυξημένο ύψος στοίβαγματος αντιμετωπίζεται με τη χρήση πολύπλοκων μηχανισμών αναδίπλωσης που επιτρέπουν στα φτερά να περιστρέφονται ενώ διπλώνουν στη θέση τους. Από την εικόνα του 1944 των μαχητικών Grumman F6F-3 "Hellcat" στην Εικόνα 1.3, μέχρι τα ιδιωτικά σχέδια πτυσσόμενων περύγων και τις ιδέες οδικών αεροσκαφών στην Εικόνα 1.4, τα διπλωμένα άκαμπτα φτερά χαμηλού προφίλ περιλαμβάνουν συνήθως τον μηχανισμό αναδίπλωσης στη ρίζα του φτερού, αντί πιο έξω κατά μήκος του ανοίγματος (Stiles, 1994). Αυτές οι διαμορφώσεις αναδίπλωσης συχνά περιορίζονται από το μήκος της ατράκτου και τις παρεμβολές

στην ουρά, αλλά εξαλείφουν επιτυχώς τον άχρηστο αποθηκευμένο όγκο μεταξύ των διπλωμένων φτερών στα σχέδια ενός μεντεσέ.

Μια επισκόπηση των απαιτήσεων για πτυσσόμενα φτερά σε UAV παρουσιάστηκε από τον Foch από την οπτική γωνία του NRL (Foch, 2007).



Εικόνα 1.2 de Havilland Sea Vixen (επάνω). Hawker Sea Fury, Hawker Sea Hawk, Douglas Skyraider (κέντρο). Super Hornet Strike Fighter (κέντρο)(Bovais, 1994)

Μέρος των απαιτήσεων σχεδιασμού που ταιριάζουν στις συνολικές εκτιμήσεις σχεδιασμού του οχήματος και τις απαιτήσεις αποστολής περιλαμβάνουν τον όγκο συσκευασίας, το σχήμα συσκευασίας, τη μάζα συσκευασίας και την αερομεταφερόμενη ανάπτυξη.

Οχήματα όπως το FLYRT και το FINDER επέδειξαν την ικανότητα να αναπτύσσονται από στοιβαγμένους όγκους που ήταν κλασματικά μεγαλύτεροι από την άτρακτο, σε σχετικά υψηλούς λόγους διαστάσεων. Μέσω της εμπειρίας, η NRL έμαθε ότι η διαμόρφωση του αεροσκάφους έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη και τη συσκευασία (σχήμα, μάζα, όγκος), αλλά έχει μικρό αντίκτυπο στην αεροδυναμική απόδοση του οχήματος. Όσον αφορά τη μηχανική σχεδίαση, οι μεντεσέδες και οι στροφείς αποδείχθηκαν πιο αξιόπιστοι από τα συρόμενα ή τηλεσκοπικά στοιχεία. Η αξιοπιστία του συστήματος είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον αριθμό των συμβάντων ανάπτυξης, επομένως αυτά περιορίζονταν όσο το δυνατόν περισσότερο, όταν η αξιοπιστία ήταν βασική απαίτηση απόδοσης. Σε πολλά από τα σχέδιά τους,

τόσο τα αεροδυναμικά όσο και τα αδρανειακά φορτία αξιοποιήθηκαν για να βοηθήσουν την ανάπτυξη, εξαλείφοντας την ανάγκη για πολύπλοκα μηχανικά, ηλεκτρομηχανικά ή χημικά συστήματα ανάπτυξης. Είναι σημαντικό ότι τα αεροσκάφη αναδιπλούμενης άκαμπτης δομής συσκευασίας περιορίζονται σε όγκο πριν περιοριστεί η μάζα, επομένως τα οχήματα δεν βελτιστοποιούνται ως προς το βάρος, αλλά περιορίζονται στον σχεδιασμό, λόγω του όγκου που παίρνουν τα στοιβαγμένα φτερά.

Στοιβαγμένοι όγκοι χαμηλού προφίλ έχουν επιτευχθεί για μικρά μη επανδρωμένα αεροσκάφη που αναπτύσσονται κατά την πτήση, χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενα φτερά με ξεδιπλωμένα τμήματα, όπως αυτά στο FLYRT, FINDER και ALICE (Bovais, 1994). Ξεκινώντας στις αρχές της δεκαετίας του 1990, το FLYRT έδειξε τη βιωσιμότητα της ιδέας, ενώ το FINDER συνεχίζει να χρησιμοποιείται και σήμερα. Ένα περιστρεφόμενο τμήμα κεντρικού ανοίγματος είναι περιορισμένο κατά μήκος, ξεδιπλώνοντας τα άκρα των φτερών που περίπου διπλασιάζουν το άνοιγμα των φτερών από αυτό του περιστρεφόμενου τμήματος, όπως φαίνεται παρακάτω. Μια παρόμοια ιδέα ανάπτυξης δύο σταδίων φαίνεται στο ALICE που εκτοξεύεται με αέρα, το οποίο περιλαμβάνει ένα περιστρεφόμενο τμήμα πτέρυγας με εκτεινόμενα πάνελ πτερυγίων.



Εικόνα 1.3 Μαχητικά Grumman F6F-3 "Hellcat" τα οποία προσγειώνονται και στοιβάζονται στο USS Enterprise, 1944 (Bovais, "Flight testing the Flying Radar Target (FLYRT)," AIAA-1994-2144, AIAA Biennial Flight, 1994).

Έχουν χορηγηθεί διάφορα διπλώματα ευρεσιτεχνίας για σχέδια πτυσσόμενων φτερών, ιδιαίτερα για οδικά οχήματα (αν και είναι συγκλονιστικό, δεν υπάρχει ακόμη επιτυχημένο ιπτάμενο αυτοκίνητο) (Stiles, 1994).

Για παράδειγμα, τα πτυσσόμενα φτερά μπορούν να οδηγηθούν σε ακραία σχέδια, χρησιμοποιώντας πολλαπλά αρθρωτά στοιχεία. Ένα σχέδιο χρησιμοποιεί ένα

πλαίσιο με ένα ζεύγος ανοιγόμενων δοκών στο μπροστινό και το πίσω άκρο, που απέχουν μεταξύ τους, από μία ή περισσότερες νευρώσεις κατά μήκος ενός εύκαμπτου υλικού κάλυψης πάνω από το πλαίσιο που καθορίζει το σχήμα του πτερυγίου. Κάθε τμήμα συνδέεται περιστροφικά με ένα παρακείμενο τμήμα σε μια άρθρωση και μια εύκαμπτη γραμμή ενεργοποίησης εκτείνεται πέρα από κάθε σύνδεσμο και συνδέεται σε ένα τμήμα της δοκού. Η τάση σε κάθε γραμμή διατηρεί το φτερό στην εκτεταμένη του διαμόρφωση, ενώ σταματά την περιστροφή. Ενώ ο αποθηκευμένος όγκος είναι μικρός, αυτό είναι ουσιαστικά ένα πτυσσόμενο φτερό ανεμόπτερου, επομένως τα σχήματα περιορίζονται σε λεπτές αεροτομές με σχετικές παραμορφώσεις υφάσματος με τις γραμμές τάνυσης να δημιουργούν απaráδεκτη ποσότητα οπισθέλκουσας για βέλτιστη αεροδυναμική.



Εικόνα 1.4 Ιδέες στοιβαγμένης διαμόρφωσης για την αποθήκευση ή τη ρυμούλκηση προσωπικού αεροσκάφους: παραδείγματα περιλαμβάνουν το Stits Playmate, το διθέσιο EuroFox και το υδραυλικό φτερό αεροσκάφους SYNERGY για οδήγηση (Bovais, "Flight testing the Flying Radar Target (FLYRT)," AIAA-1994-2144, AIAA Biennial Flight, 1994).

Η αεροελαστική απόκριση των άκαμπτων πτυσσόμενων αρθρωτών φτερών έχει εξεταστεί από τους Radcliffe και Cesnik (Radcliffe, 2001). Τα ημι-ανοίγματα των φτερών αφέθηκαν να περιστρέφονται γύρω από τους μεντεσέδες, έτσι ώστε τα αεροδυναμικά φορτία να διατηρούν το φτερό ίσιο. Διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη μεντεσέδων σε ένα φτερό άλλαξε σημαντικά την ταχύτητα με την οποία εμφανίζονται για πρώτη φορά οι αστάθειες, και η ακαμψία των μεντεσέδων παίζει σημαντικό ρόλο στις ταχύτητες πτερυγισμού. Μείωση της ακαμψίας του μεντεσέ (και συνδυάζοντας πιθανώς το βάρος της άρθρωσης) αυξάνουν τις ταχύτητες αστάθειας πρώτης κάμψης και στρέψης, αλλά οι τιμές των παραμέτρων υπάρχουν όπου οι δεύτεροι τρόποι αστάθειας εμφανίζονται με πολύ χαμηλότερες ταχύτητες από τον πρώτο τρόπο λειτουργίας. Τα φτερά εισέρχονται σε χαοτική ή οριακή ταλάντωση κύκλου με ταχύτητες κοντά στις ταχύτητες πτερυγισμού, γεγονός που περιορίζει την ενέργεια που προστίθεται στο σύστημα ενώ είναι σε ασταθή κατάσταση. Οι συμβατοί μηχανισμοί και ο ρόλος τους στα αναπτυσσόμενα εναέρια οχήματα ήταν το αντικείμενο της πρόσφατης διατριβής του Landon (Landon, 2007). Η συνολική συμμόρφωση των πτερυγίων και η προκύπτουσα επιλογή συσκευασίας τυλιγμένης ατράκτου φαίνονται στο MAV της Φλόριντα. Ολόκληρη η κατηγορία των μικρο-εναέριων οχημάτων (MAV) έχει δημιουργήσει νέες στρατηγικές συσκευασίας, χρησιμοποιώντας εύκαμπτα φτερά, όπως το MAV του Πανεπιστημίου της Φλόριντα που φαίνεται στην Εικόνα 1.5 (Ifju, 2002)(Johnson, 2007).



Εικόνα 1.5 MAV αντοχής με εύκαμπτο φτερό UF23 (Johnson, 2007).

Μια εναλλακτική λύση στην ανάπτυξη ενός συμπαγούς (χαμηλού προφίλ) αποθηκευμένου όγκου για μεμονωμένα αεροσκάφη σε μια αποστολή πολλαπλών μονάδων είναι η χρησιμοποίηση μιας στρατηγικής συσκευασίας για τον χρησιμοποιημένο όγκο, διαθέσιμο από μία στοιβαγμένη μονάδα για παρακείμενα συστήματα (Kahn). Το NRL CICADA χρησιμοποιεί μια τέτοια στρατηγική για τη συσκευασία μεγάλου αριθμού αναλώσιμων μικρών UAV (Εικ. 1.6). Πρόσθετα σχέδια αξιοποιούν μηχανισμούς αναδίπλωσης για να παρέχουν πλεονεκτήματα χωρίς πτήση ως αποθήκευση, όπως η παραγωγή ενέργειας με χρήση ηλιακής ενέργειας, μια διευρυμένη σειρά ηλιακών κυψελών στο σχέδιο MAV της DII (Εικ. 1.7).



Εικόνα 1.6 Συσκευασία NRL CICADA, πρωτότυπο και απεικόνιση κατά την πτήση (Johnson, 2007).



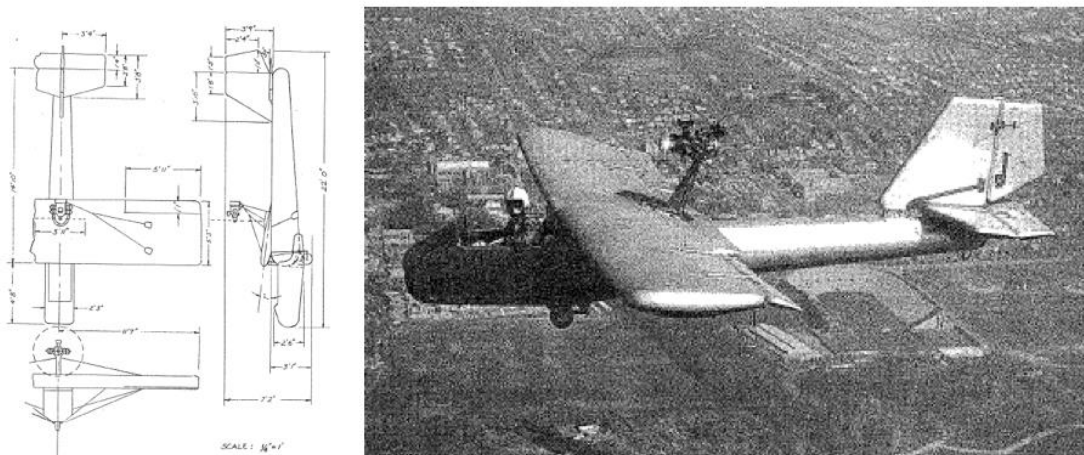
(α) ανοιχτή λειτουργία.

(β) κλειστό - λειτουργία πτήσης.

Εικόνα 1.7 Φτερά κελύφους ηλιακών κυττάρων DII MAV (Johnson, 2007).

1.2 Inflating

Η χρήση φουσκωτών κατασκευών για την επίτευξη ενός σημαντικού πλεονεκτήματος συσκευασίας αεροσκαφών έχει μακρά κληρονομιά που πηγάζει από τη δεκαετία του 1950 και το Goodyear Inflatorplane. Το αεροσκάφος που φαίνεται στην Εικόνα 1.8 συσκευάστηκε σε ένα κιβώτιο που είχε μήκος 6 πόδια, πλάτος 3 πόδια και ύψος 2 πόδια, ένας αποθηκευμένος όγκος 36 κυβικών ποδιών. Από τα σχέδια κλίμακας, μια εκτίμηση του αναπτυγμένου όγκου της διογκωμένης δομής είναι 202 κυβικά πόδια, με αποτέλεσμα μια αναλογία όγκου στοιβαγμένο προς αναπτυσσόμενο 0,178 (δηλαδή, 17,8%). Αυτή η εκτίμηση δεν λαμβάνει υπόψη τον κινητήρα και άλλα υποσυστήματα που βρίσκονται στο κιβώτιο, επομένως αυτή η αναλογία είναι μεγαλύτερη από ό,τι μια πιο ακριβής εκτίμηση θα παρήγαγε. Αυτή η μικρή αναλογία αποθήκευσης-todeployed οφείλεται στο ότι το Goodyear Inflatorplane είχε μόνο δύο άκαμπτες δομές: τη βάση κινητήρα και τη διεπαφή του συστήματος προσγείωσης (Baals, 2008). Σημειώστε ότι το στήριγμα πτερυγίων ενσωματώθηκε στο σχέδιο για να συμπληρώσει τη δομική ακαμψία του φουσκωτού φτερού.



Εικόνα 1.8. Διαστάσεις Inflatorplane Goodyear και κατά την πτήση (Comer, 1963).

Τα φουσκωτά φτερά διατηρούν τη δομική ακαμψία χρησιμοποιώντας εσωτερική πίεση για να αντέχουν τα ασκούμενα φορτία. Το πρωταρχικό κριτήριο για την αστοχία σε μια φουσκωτή κατασκευή είναι η μέγιστη βιώσιμη ροπή κάμψης. Για να είναι πρακτική λύση μια φουσκωτή πτέρυγα για ένα όχημα HALE, οι πιέσεις φουσκώματος που απαιτούνται για τη διατήρηση της κάμψης της ρίζας και άλλων σχετικών δυνάμεων στο φτερό (όπως η συστροφή) πρέπει να είναι αρκετά μικρές ώστε η σχεδίαση της πτέρυγας να μην επιβάλλει σοβαρές απαιτήσεις φουσκώματος και υλικού. Αυτό το όριο είναι κάπως αυθαίρετο, δεδομένου ότι εξαρτάται από τον σχεδιασμό των πτερυγίων και το σύστημα φουσκώματος. Στην πραγματικότητα, αυτό το όριο πρέπει να εξισορροπηθεί με άλλους περιορισμούς, όπως οι απαιτήσεις αντοχής και το διαθέσιμο βάρος. Φυσικά, Οι υψηλότερες πιέσεις θα αυξήσουν τον κίνδυνο αποστολής, μειώνοντας την αξιοπιστία των φουσκωτών εξαρτημάτων μέσω αυξημένων πιθανοτήτων διαρροών. Ενώ τα φαινόμενα διαρροής μπορούν να

αντιμετωπιστούν με αέριο καλλυντικών και ενσωματωμένους συμπιεστές, αυτά πρέπει να ληφθούν υπόψη ως αυξημένο βάρος κατά τη διάρκεια του τμήματος της εμπορικής μελέτης του σχεδιασμού του οχήματος.

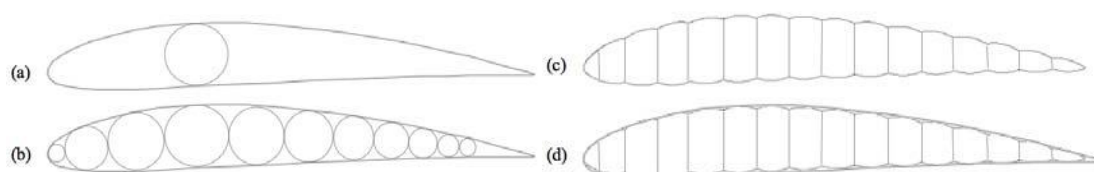
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με τις μεταλλικές ή σύνθετες άκαμπτες κατασκευές που είτε θα παραμορφωθούν πλαστικά είτε θα ραγίσουν, αντίστοιχα, μόλις επιτευχθεί η τάση διαρροής, η φουσκωτή δοκός θα λυγίσει, αλλά στη συνέχεια θα επιστρέψει άθικτη στην αρχική της κατάσταση μετά τη μείωση ή την αφαίρεση του φορτίου (Brown, 2001). Περαιτέρω αυξήσεις στο επιτρεπόμενο φορτίο κάμψης μπορούν να γίνουν εφαρμόζοντας την αρχή του εφελκυσμού, όπου τα στοιχεία τάσης και συμπίεσης σχεδιάζονται ενσωματωμένα με την δέσμη αέρα (Breuer, 2007).

Η απλούστερη σχεδίαση φουσκωτών πτερυγίων αποτελείται από έναν ενιαίο φουσκωτό σωλήνα που χρησιμοποιείται ως κύριος άξονας πτερυγίων γύρω από τον οποίο στηρίζεται η υπόλοιπη αεροτομή (Veldman, 2005). Ο θρυμματιζόμενος αφρός χρησιμοποιείται ως το υπόλοιπο του στηρίγματος πτερυγίων, το οποίο πρέπει να υποστηρίξει τα κατά χορδή δυναμικά φορτία πίεσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλές ράβδοι για να αυξηθεί η φόρτωση των φτερών και να χρησιμεύσουν ως το κουτί φτερών σύμφωνα με τη χορδή (Murray, 2005). Η χρήση κυλινδρικών δοκών, αν και απλός σχεδιασμός, έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση για πολύ υψηλή πίεση αερίου φουσκώματος, ενώ εξακολουθεί να επιτρέπει σημαντικές παραμορφώσεις στο άκρο όπως φαίνεται παρακάτω. Αυτά μπορούν να μειωθούν χρησιμοποιώντας ένα τεντωμένο δέρμα, αλλά τα βάρη του αερίου εξακολουθούν να είναι μη αμελητέα και επομένως επιβλαβή για μικρά UAV ή όπου αλλού οι περιορισμοί βάρους είναι αυστηροί.

Χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση πολλαπλών δοκών, η ακαμψία των φτερών υπαγορεύεται από την εσωτερική πίεση και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού συγκράτησης, και μπορεί να αυξηθεί μέσω της χρήσης υλικών υψηλότερης αντοχής και τέτοιον συντελεστή που να μπορούν να αντέξουν υψηλότερες εσωτερικές πιέσεις (Cadogan, 2003). Η διατομή αυτού του τύπου αεροτομής αποκαλύπτει ότι η γεωμετρία της πτέρυγας ορίζεται από μια σειρά τεμνόμενων κυλίνδρων. Η χρήση εσωτερικών δοκών για το διαχωρισμό των άνω και κάτω εξωτερικών συγκρατήσεων αποδίδει ένα πτερύγιο που βελτιστοποιεί τη ροπή αδράνειας διατομής του πτερυγίου, μεγιστοποιώντας την εσωτερική περιοχή υπό πίεση. Αυτό αποδίδει τη χαμηλότερη δυνατή εσωτερική πίεση που απαιτείται για το πτερύγιο, το οποίο με τη σειρά του αποδίδει χαμηλότερο δυναμικό διαρροής, χαμηλότερη μάζα συστήματος φουσκώματος και χαμηλότερο όγκο συσκευασίας. Ο σχεδιασμός επιτρέπει φουσκωτά φτερά που μπορούν να κατασκευαστούν για οποιαδήποτε πρακτική απαίτηση φόρτωσης πτερυγίων (W/S). Τα σημαντικά όρια περιλαμβάνουν τη μέγιστη ροπή κάμψης λόγω των αεροδυναμικών φορτίων και της πίεσης φουσκώματος. Σημειώστε ότι οι σχέσεις μπορεί να είναι μη γραμμικές, ανάλογα με τη σχεδίαση του πτερυγίου (Cadogan, 2003). Η ακαμψία των φτερών μετά την ανάπτυξη, χρησιμοποιώντας εποξειδικά εμποτισμένα μέσα στο ύφασμα των

φτερών, είναι επίσης δυνατή κι έχει αποδειχθεί εάν απαιτείται πρόσθετη αντοχή και εφάπαξ χρήση, αλλά αυτό δημιουργεί επίσης αύξηση στο βάρος του φτερού.

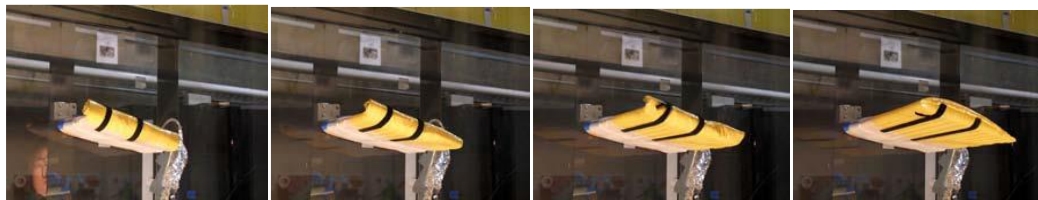
Αποδεδειγμένα σχέδια φτερών φαίνονται στο Σχ. 1.9 με βάση ένα προφίλ NACA 4412. Αυτά περιλαμβάνουν ένα μονοκυλινδρικό δοκάρι (Εικ. 1.9 α), πολλαπλές κυλινδρικές ράβδους (Εικ. 1.9 β), με διάφραγμα χωρίς δέρμα (Εικ. 1.9 γ) και μπερδεμένο με δέρμα (Εικ. 1.9 δ). Κάθε μία από αυτές τις έννοιες έχει αποδειχθεί κατά την πτήση με κάποια μορφή (Cadogan, 2003),(Murray, 1992),(Brown, 2001). Σε κάθε σχέδιο, η ακαμψία των φτερών καθορίζεται από την εσωτερική πίεση και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού. Δεδομένου ότι η φύση ενός φουσκωτού μαλακού προϊόντος είναι να έχει κυλινδρικό σχήμα, τα φουσκωτά δοκάρια στήριξης πρέπει να ενσωματωθούν στην αεροτομή. Στα σχέδια κυλινδρικής ράβδου (Εικ. 1.9 α και β), ο περιβάλλοντας χώρος είναι συνήθως γεμάτος με θρυμματιζόμενο αφρό. Αυτό το υλικό χρειάζεται μόνο να διατηρήσει τα φορτία της χορδής, ενώ το κύριο δοκάρι διατηρεί τα φορτία κάμψης και στρέψης. Η κύρια διάμετρος του δακτυλίου προσδιορίζεται από το μέγιστο πάχος της αεροτομής. Με τη χρήση πολλαπλών ραβδώσεων (Εικ. 1.9 β), το προφίλ της αεροτομής μπορεί να σκιαγραφηθεί απαιτώντας μικρότερη ποσότητα υλικού πλήρωσης και επίσης μειώνοντας την απαιτούμενη πίεση φουσκώματος. Σε μια επέκταση του Σχ. 1.9 β, τα επιμέρους διαφράγματα ορίζονται από τεμνόμενους κυλίνδρους μεγαλύτερης διαμέτρου. Η χρήση εσωτερικών δοκών για το διαχωρισμό των άνω και κάτω εξωτερικών συγκρατήσεων αποδίδει ένα πτερυγίο που βελτιστοποιεί τη ροπή αδράνειας διατομής του πτερυγίου, μεγιστοποιώντας την εσωτερική υπό πίεση περιοχή και επίσης ελαχιστοποιεί την ποσότητα υλικού πλήρωσης που απαιτείται, ώστε να αυξάνει την πιθανή αναλογία όγκου συσκευασίας (Cadogan, 2003).



Εικόνα 1.9 Παραδείγματα πιθανών διαμορφώσεων φουσκωτών φτερών για προφίλ NACA 4412. (α) Μονό σπάρ. (β) Πολλαπλοί σπάροι. (γ) Αμμηχανία. (δ) μπερδεμένο με δέρμα.

Το I2000 της NASA ήταν ένα μικρής κλίμακας φουσκωτό αεροσκάφος χωρίς τροφοδοσία που δοκιμάστηκε και αξιολογήθηκε στο Dryden το 2001 (Murray J. P., 2005). Το φουσκωτό φτερό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πρόγραμμα σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τη Vertigo, Inc. για το Ναυτικό. Αυτό το φουσκωτό φτερό 64 ιντσών περιέχει πέντε φουσκωτούς κυλινδρικούς κρίκους υψηλής πίεσης σε σχέση με το άνοιγμα από άκρη σε άκρη και η χορδή είναι 7,25 ίντσες. Ανάμεσα στις ράβδους και στο πίσω άκρο του πτερυγίου υπάρχει αφρός

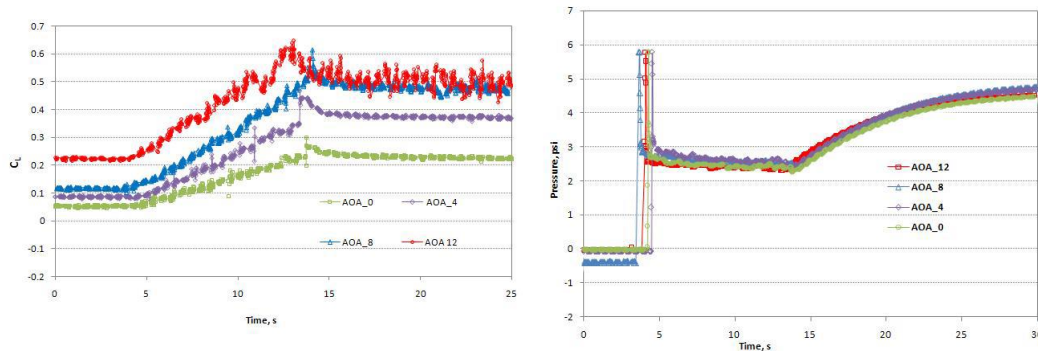
ανοιχτής κυφέλης συνδεδεμένος με τις ράβδους και σε ένα νάιλον εξωτερικό περίβλημα. Επιπλέον, ένα νεύρο σε κάθε άκρο συνδέει άκαμπτα όλα τα δοκάρια για να δημιουργήσει στρεπτική ακαμψία φτερών. Οι θερμικά ενεργοποιούμενες κόλλες χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση των σπαρτών, του αφρού και του νάιλον δέρματος σε μια συνεχόμενη δομή πτερυγίων. Το προφίλ αεροτομής είναι NACA 0021 και δεν περιέχει επιφάνειες ελέγχου, επομένως, ο πλήρης έλεγχος του άξονα επηρεάστηκε μόνο από την ουρά. Αυτό το φουσκωτό φτερό διαθέτει μια πολλαπλή στήριξη στο κέντρο της πτέρυγας για να συγκρατεί τα φτερά στη θέση τους. Ως πηγή δεξαμενής υψηλής πίεσης επιλέχθηκε μια μικρή εμπορική δεξαμενή off-the-shelf (COTS) με όγκο περίπου 35 κυβικές ίντσες. Το αέριο άζωτο επιλέχθηκε ως πηγή αερίου στα 1800 psig και μειώθηκε σε πίεση πτερυγίου μεταξύ 150 psig έως 300 psig, χρησιμοποιώντας έναν ρυθμιζόμενο ρυθμιστή πίεσης. Χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα φουσκώματος υψηλής πίεσης, το φουσκωτό φτερό αναπτύχθηκε γρήγορα κατά την πτήση μέσα σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο.



(α) $t = 0$ s. (β) $t = 2$ s. (γ) $t = 5$ s. (δ) $t = 9$ s.

Εικόνα 1.10 Φουσκωτό φτερό με έλεγχο ανάπτυξης $\alpha=12^\circ$ (S.L., 2005).

Η ταχεία ανάπτυξη μπορεί να μην είναι ούτε δυνατή ούτε επιθυμητή σε ορισμένες περιπτώσεις. Ωστόσο, εξισορροπώντας κάποια εξωτερική δύναμη συγκράτησης έναντι της εσωτερικής πίεσης, η ανάπτυξη μπορεί να ελεγχθεί. Το Σχ. 1.11 δείχνει την ελεγχόμενη ανάπτυξη μιας φουσκωτής πτέρυγας κάτω από αεροδυναμικά φορτία, χρησιμοποιώντας μηχανισμούς ελέγχου ανάπτυξης, σε αυτή την περίπτωση, Velcro (Loh, 2009). Το Σχ. 1.12 αποκαλύπτει τη σταδιακή κι ελεγχόμενη φύση της ανάπτυξης, με τη σταδιακή αύξηση της ανύψωσης κατά τη φάση σταθερής πίεσης στη μέγιστη τιμή της σε πλήρη ανάπτυξη.

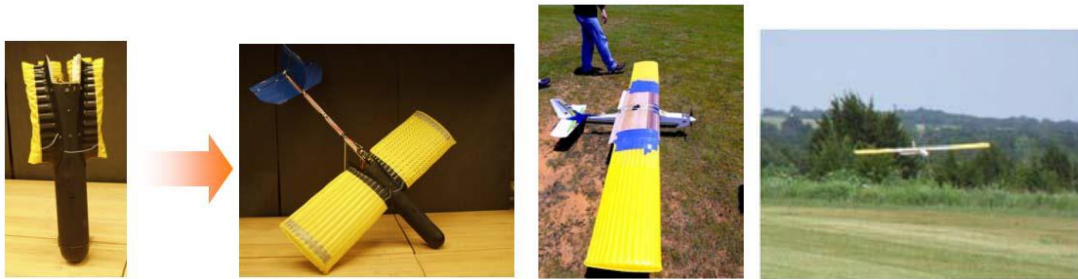


(α) Συντελεστής ανύψωσης.

(β) Ιστορικό πίεσης.

Εικόνα 1.11 Φουσκωτό φτερό με έλεγχο ανάπτυξης.

Παραδείγματα σχεδίων για μικρά UAV που χρησιμοποιούν φουσκωτά φτερά φαίνονται στο Σχήμα 1.12. Ένα σχέδιο ενός UAV με δυνατότητα σακιδίου με φουσκωτά φτερά φαίνεται στο Σχ. 1.12α. Αυτό το πρωτότυπο UAV επιτρέπει σε ένα όχημα 10+ lb με άνοιγμα 5 ποδιών να αποθηκεύεται σε χώρο πλάτους κάτω των 6 ιντσών. Η ανάπτυξη περιλαμβάνει 2 στάδια: ανάπτυξη της ουράς (μηχανική ή φουσκωτή) και φούσκωμα των πτερυγίων χρησιμοποιώντας είτε ενσωματωμένη δεξαμενή πεπιεσμένου αέρα είτε ξεχωριστή δεξαμενή ή συμπιεστή πεπιεσμένου αέρα. Η τελευταία επιλογή εξοικονομεί βάρος, προφανώς, αλλά επιτρέπει επίσης την ανάπτυξη πολλαπλών UAV, χρησιμοποιώντας ένα μόνο σύστημα «εκτόξευσης». Στο σχέδιο που παρουσιάζεται εδώ, η ουρά είναι άκαμπτη, αλλά μπορεί επίσης να κατασκευαστεί από φουσκωτά εξαρτήματα για να μειώσει περαιτέρω τον χώρο που απαιτείται από την ουρά, αυξάνοντας παράλληλα τη στιβαρότητα του ανοίγματος (Loh, 2009).



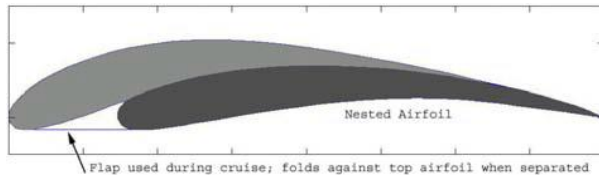
(α) UAV με σακίδιο πλάτης.

(β) Φουσκωτό UAV κατά την πτήση.

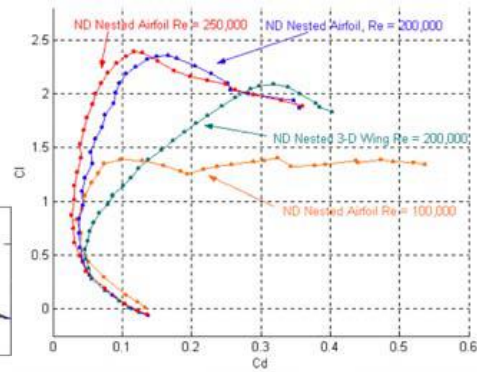
Εικόνα 1.12 Φουσκωτά φτερά πρωτότυπα οχήματα (Loh, 2009).

1.3 Nesting

Τα ένθετα φτερά είναι ένα υποσύνολο σχεδίων αναπτυσσόμενων πτερυγίων, που εμπίπτουν κάπου ανάμεσα σε ένα αναπτυσσόμενο σχέδιο και ένα σχέδιο που μεταμορφώνεται. Πολλαπλά φτερά είναι φωλιασμένα το ένα μέσα στο άλλο, έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα μόνο φτερό από τις ξεχωριστές κατασκευές, που αποσπάται όταν χρειάζεται. Μια προτεινόμενη αεροτομή διαμόρφωσης κλειστού ή ένθετου πτερυγίου σχεδιασμένη από τους Mueller και Noffke φαίνεται στο Σχ. 1.13α. Δύο ξεχωριστά φτερά έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να προσαρμόζονται σε πτήση υψηλής ταχύτητας και στη συνέχεια διαχωρίζονται κατακόρυφα σε διαμόρφωση διπλάνου για πτήση χαμηλής ταχύτητας. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε 3 διαφορετικούς αριθμούς Reynolds σε 2-D και σε $Re = 200.000$ για 3-D στο ένθετο σχέδιο φαίνονται στο Σχ. 1.13β (Yanof, 2003).



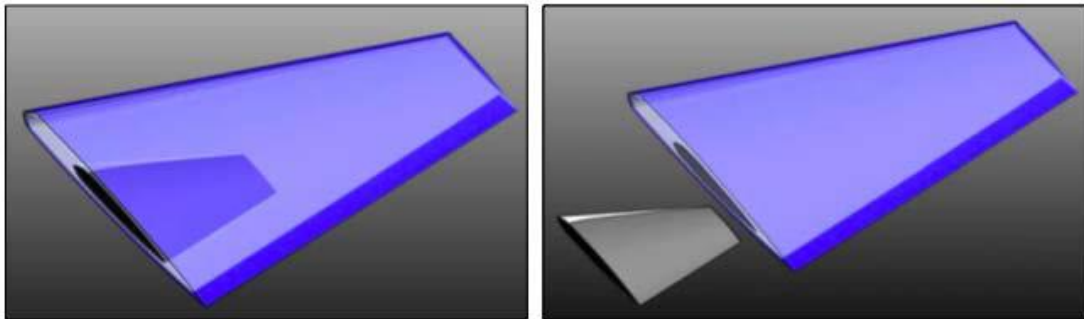
(α) Σχέδιο φτερού



β) Πολική οπισθέλκουσα.

Εικόνα 1.13 Σχέδιο με ένθετο φτερό (Yanof, 2003).

Η ιδέα της ενσωματωμένης πτέρυγας (Εικ. 1.14) είναι μια παραλλαγή της σχεδίασης ένθετων φτερών, εκτός από μια μικρότερη πτέρυγα (συνήθως για παύλα), είναι πλέον εντελώς εσωτερικό στο μεγαλύτερο φτερό loiter. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στον σχεδιασμό τόσο των προφίλ των φτερών όσο και των μορφών της κάτοψης, με τον περιορισμό ότι το πτερύγιο του ταμπλό πρέπει να είναι πλήρως ενσωματωμένο στην πτέρυγα loiter. Τα φορτία από το φτερό loiter μεταφέρονται στο δέρμα και τα σκληρά σημεία στο φτερό. Προστίθεται κάποια πολυπλοκότητα αφού το φτερό loiter πρέπει να εκτιναχθεί προς τα έξω προς το άκρο του φτερού και να κάνει μια καθαρή ανάπτυξη από το φτερό του ταμπλό. Αυτό είναι ένα ζήτημα μηχανικού σχεδιασμού και όχι περιορισμού της ιδέας.

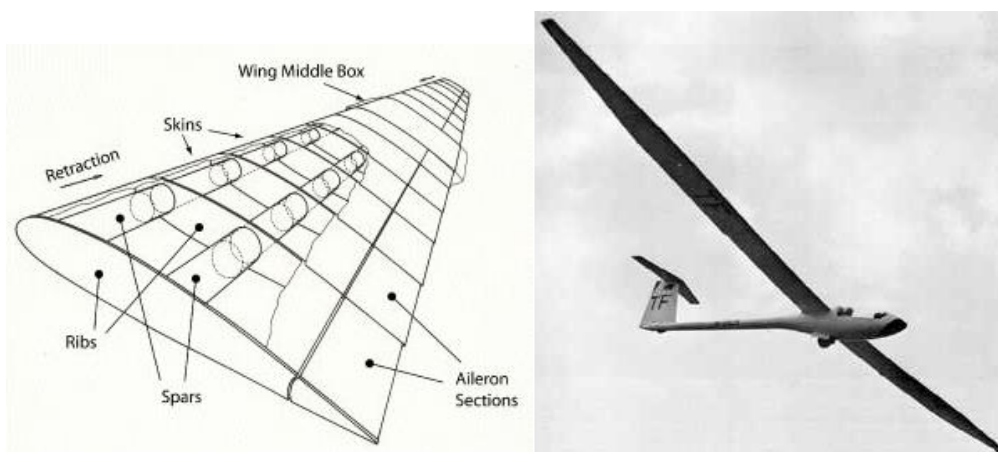


Εικόνα 1.14 Σχέδιο ενσωματωμένης πτέρυγας (Yanof, 2003).

1.4 Extending

Η μέθοδος επέκτασης ή τηλεσκοπικής ανάπτυξης έχει διερευνηθεί, τουλάχιστον εννοιολογικά, για μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως φαίνεται από τις πολυάριθμες πατέντες για οδικά οχήματα που χρησιμοποιούν αυτή την ιδέα ανάπτυξης πτερυγίων (Εικ. 1.15 α) (Stiles, 1994). Η πιο κοινή προσέγγιση χρησιμοποιεί πεπιεσμένα ή μηχανοκίνητα τηλεσκοπικά δοκάρια που οδηγούν είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά τμήματα πτερυγίων (συνήθως κοίλα κελύφη). Ο κύριος περιορισμός του σχεδιασμού είναι ότι ο μικρότερος μη αναπτυγμένος όγκος περιορίζεται από το μεγαλύτερο μέγεθος τμήματος πτερυγίων. Έτσι το ελάχιστο μέγεθος για ένα φτερό 2 τμημάτων είναι $b/2$, $b/3$ για πτέρυγα 3 τμημάτων, $b/4$ για πτέρυγα τεσσάρων τμημάτων, κ.λπ. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός του τμήματος, αυξάνεται και το βάρος

του πτερυγίου, λόγω της αύξησης των τηλεσκοπικών στοιχείων, αν και η προσθήκη συνήθως δεν είναι γραμμική. Η χορδή είναι επίσης περιορισμένη, έτσι ώστε $c_i < c_o$. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα στη σχεδίαση για να διασφαλιστεί ότι τα τηλεσκοπικά στοιχεία δεν δεσμεύονται υπό φορτίο όταν αναπτύσσονται και είναι το πιο σκληρό μηχανικό εμπόδιο σχεδιασμού. Το Πανεπιστήμιο του Maryland αναπτύσσει επί του παρόντος μια μικρής κλίμακας πτέρυγα μορφοποίησης αναλογίας διαστάσεων, χρησιμοποιώντας ένα φουσκωτό τηλεσκοπικό πτερύγιο που μπορεί να είναι δυνατό να αναπτύξει ένα UAV με φτερά μεταβλητής αναλογίας διαστάσεων (BondeauJ., 2003). Το τηλεσκοπικό πτερύγιο αποτελείται από τρεις ομόκεντρους κυκλικούς σωλήνες αλουμινίου φθίνουσας διαμέτρου και αυξανόμενου μήκους που αναπτύσσονται υπό πίεση για να δημιουργήσουν διάφορες διαμορφώσεις ανοίγματος φτερών. Αυτό το φτερό θα μπορούσε να επεκτείνει ή να αποσύρει το άνοιγμα του από 7 ίντσες σε 15 ίντσες. Ενώ τόσο η δέσμευση όσο και η τριβή είναι ζητήματα που μπορούν να ξεπεραστούν για ανάπτυξη κατά την πτήση, όπως φαίνεται από το ανεμοπλάνο Akaieg Stuttgart FS-29 που χρησιμοποίησε ένα τηλεσκοπικό φτερό που τροφοδοτείται από χειροκίνητο στρόφαλο κι επιτρέπει την αλλαγή του ανοίγματος από 13,3 m σε 19 m κατά την πτήση (AR από 21 σε 28,5), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.15β.



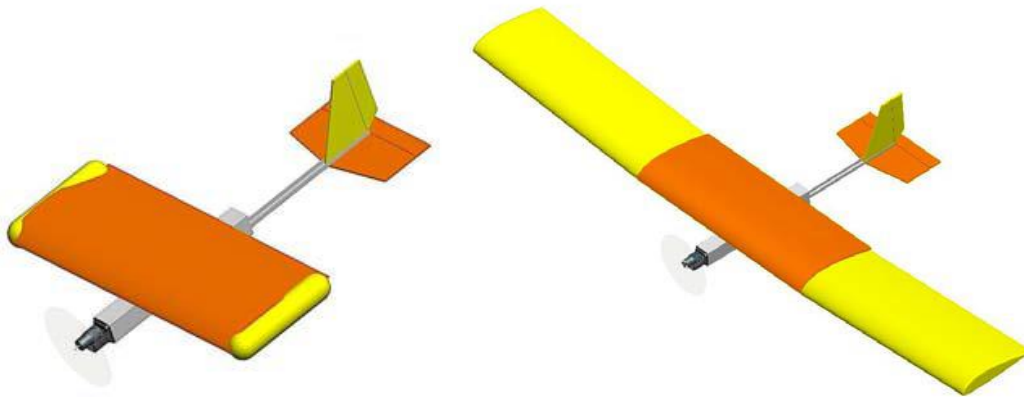
(α) Σχεδιασμός τηλεσκοπικής ράβδου AFA για ιπτάμενο αυτοκίνητο. (β) Ανεμοπλάνο FS-29 με εκτεινόμενα φτερά.

Εικόνα 1.15. Μέθοδος επέκτασης πτέρυγας (BondeauJ., 2003).

1.5 Hybrid Desing Concepts

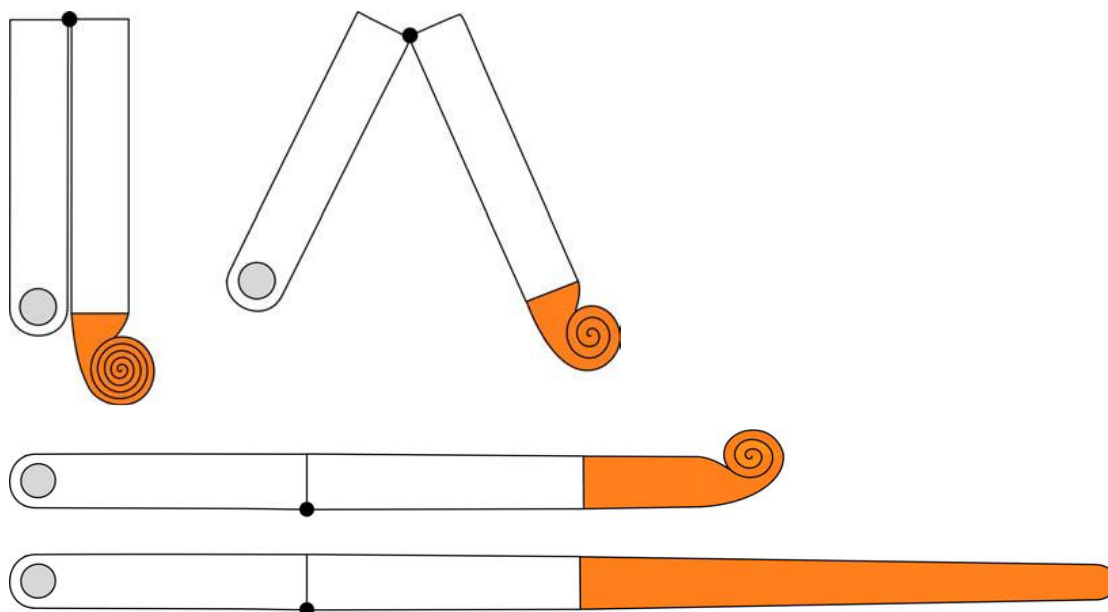
Τα υβριδικά concept συνδυάζουν στοιχεία πολλαπλών σχεδίων, όπως άκαμπτο και φουσκωτό. Τέσσερις ιδέες πτερυγίων έχουν διερευνηθεί για να επιτευχθεί αυξημένος υψηλός λόγος διαστάσεων, μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα την ικανότητα αποθήκευσης χαμηλού όγκου πτερυγίων και παρέχοντας πρόσθετη δομική ακαμψία της φουσκωτής δομής πτερυγίων. Επί του παρόντος, ορισμένες από τις ιδέες έχουν κατασκευαστεί με επιτυχία στο εργαστήριο για δοκιμές αεροδυναμικής

σήραγγας και πτήσης, ενώ άλλες βρίσκονται ακόμη στο στάδιο του εννοιολογικού σχεδιασμού. Κάθε έννοια θα εισαχθεί ξεχωριστά.



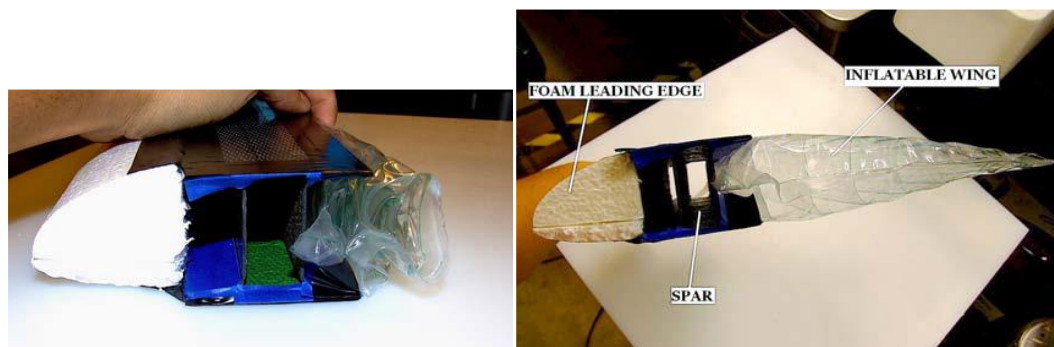
Εικόνα 1.16. Φουσκωτό φτερό προσαρτημένο στο άκαμπτο άκρο του φτερού (Loh, 2008).

Το απλούστερο υβριδικό αποτελείται από δύο τμήματα: ένα άκαμπτο εσωλέμβιο τμήμα πτερυγίου και το φουσκωτό εξωλέμβιο τμήμα πτέρυγας, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.16 με πορτοκαλί και κίτρινο χρώμα αντίστοιχα. Το άκαμπτο πτερύγιο έχει το ίδιο προφίλ αεροτομής με το φουσκωτό φτερό. Απαιτούνται αεροδυναμικά σχεδιασμένοι ελαφροί εξωτερικοί λοβοί για την αποθήκευση του τυλιγμένου φουσκωτού πτερυγίου, ενώ μειώνεται η οπισθέλκουσα κατά τη διάρκεια της πτήσης. Κατά την ανάπτυξη, το κάλυμμα του λοβού θα διαχωριστεί από το άκαμπτο φτερό. Με βάση τη δοκιμή ανάπτυξης της αεροσήραγγας, παρατηρήσαμε ότι το φουσκωτό φτερό ωθήθηκε προς τα πίσω από το ρεύμα αέρα κατά την ανάπτυξη (Loh, 2008). Το φουσκωτό φτερό διπλώθηκε στη μέση και στρώθηκε επίπεδο είτε στην κορυφή είτε στο κάτω μέρος του άκαμπτου φτερού, ενώ το φουσκωτό φτερό φουσκώνει αργά στο τελικό του σχήμα. Επομένως, χρειάζεται ένα σύστημα γρήγορου φουσκώματος που θα μπορούσε να γεμίσει την πτέρυγα μέσα σε ένα κλάσμα του δευτερολέπτου, για να ξεπεραστούν ή να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα ασταθούς πτήσης κατά την ανάπτυξη. Επιπλέον, η ανάπτυξη μπορεί να ελεγχθεί με τη χρήση συγκρατήσεων ενσωματωμένων στο φτερό, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως (Loh, 2008). Το Σχ. 1.12β δείχνει την ενσωμάτωση αυτών των αντιλήψεων σε ένα όχημα δοκιμής πτήσης. Μια πρόσθετη ιδέα είναι ο συνδυασμός ενός άκαμπτου πτυσσόμενου πτερυγίου ενσωματωμένου με ένα φουσκωτό φτερό. Αυτή η μέθοδος βοηθά στη μείωση του άκαμπτου ανοίγματος των φτερών αντικαθιστώντας μέρος του φτερού με ένα φουσκωτό τμήμα. Αυτός ο συνδυασμός βοηθά στην ελαχιστοποίηση του όγκου αποθήκευσης και στην αύξηση του ανοίγματος των φτερών μετά την ανάπτυξη και μπορεί να βελτιστοποιήσει τόσο τους περιορισμούς μάζας όσο και όγκου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.17, όπου ένα φουσκωτό φτερό είναι ενσωματωμένο με ένα άκαμπτο πτυσσόμενο φτερό.



Εικόνα 1.17 Υβριδικό πτυσσόμενο άκαμπτο φτερό με φουσκωτό τμήμα (Loh, 2008).

Άλλοι συνδυασμοί φουσκωτών και άκαμπτων στοιχείων είναι απλοί και προσφέρουν πολλές επιλογές. Όπως φαίνεται στο Σχ. 1.18 παρακάτω, μια υβριδική σχεδίαση πτερυγίων είναι ένας συνδυασμός τριών τμημάτων: ένα άκαμπτο τμήμα της πρόσφατης ακμής, ένα άκαμπτο άκρο και το φουσκωτό άκρο έλξης φτερού. Η ράβδος από ανθρακονήματα έχει σχήμα I-beam με κοίλο χώρο ενδιάμεσα που επιτρέπει στους εύκαμπτους σωλήνες αέρα και τα σερβουσώματα να περνούν σε όλο το άνοιγμα του πτερυγίου. Το σπαρ παρέχει επίσης αποθηκευτικό χώρο για την αποθήκευση του ξεφουσκωμένου φουσκωτού πτερυγίου. Για να βελτιώσετε τη σχεδίαση αυτής της υβριδικής πτέρυγας, το μπροστινό τμήμα της ακμής, ολόκληρο το τμήμα αφρού και σπαρ μπορεί να γίνει ένα κομμάτι, χρησιμοποιώντας φύλλα από ανθρακονήματα, χρησιμοποιώντας μια μέθοδο αρσενικού καλουπιού για να διαμορφώσει το περίγραμμά του. Αυτός ο βελτιωμένος σχεδιασμός μπορεί να προσφέρει περισσότερο χώρο αποθήκευσης για την αποθήκευση του ξεφουσκωμένου φουσκωτού πτερυγίου, διατηρώντας παράλληλα το σχήμα της πρόσοψης της αεροτομής και παρέχοντας δομική αντοχή.



(α) Στοιβαγμένο υβριδικό φτερό.

(β) Υβριδικό φτερό φουσκωμένο.

Εικόνα 1.18 Σχέδιο Υβριδικού Φτερού (Armando, 2007).

1.6 True Morphing

Ενώ η ανάπτυξη πτερυγίων μπορεί να θεωρηθεί ένας τύπος μεταμόρφωσης, η μορφοποίηση πτερυγίων με την αληθινή της έννοια αλλάζει το σχήμα της πτέρυγας συνεχώς κατά την πτήση. Ωστόσο, πολλές από τις τρέχουσες έννοιες μεταμόρφωσης υπό διερεύνηση εμφανίζουν παρόμοιες μεθόδους ανάπτυξης (Armando, 2007).

Καθώς η τεχνολογία μορφοποίησης πτερυγίων έχει κερδίσει ενδιαφέρον λόγω της αυξημένης χρήσης και των απαιτούμενων επιδόσεων μη επανδρωμένων οχημάτων, αεροσκαφών και στρατιωτικών αεροσκαφών, το Πρόγραμμα Morphing Aircraft Structure (MAS) της DARPA έχει χρηματοδοτήσει έργα proof-of-concept με τις εταιρείες Lockheed-Martin, Raytheon Missile System και NextGen Aeronautics.

Το Agile Hunter της Lockheed-Martin Skunk Works χρησιμοποίησε μια αναδιπλούμενη διαμόρφωση «z-wing» που έχει την ικανότητα να αλλάζει σημαντικά το άκαμπτο σχήμα φτερού για να τροποποιήσει τα χαρακτηριστικά απόδοσης πτήσης, ώστε να επιτρέψει μια ποικιλία αποστολών, συμπεριλαμβανομένων της μάχης και της αναγνώρισης. Ενώ δεν βρίσκεται πλέον υπό ενεργό ανάπτυξη, θα μπορούσε να πραγματοποιήσει μια αλλαγή 150% στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μεταμόρφωσης από την πλήρη επέκταση του ανοίγματος, σε μια θέση που μοιάζει με αυτή του διπλωμένου φτερού ενός πουλιού. Η NextGen Aeronautics ανέπτυξε και δοκίμασε μια ιδέα συρόμενης επιδερμίδας που παρουσίαζε αλλαγή στην περιοχή των φτερών κατά 145%, αλλαγές αναλογίας διαστάσεων 440% και αλλαγές πάχους/χορδής κατά 280% σε ένα τροποποιημένο Ryan Firebee Drone, όπως φαίνεται στην Εικ. 1.19. Και τα δύο έκαναν ουσιαστική χρήση συμβατικών μηχανισμών και υλικών.



(α) Lockheed-Martin.



(β) NextGen Aeronautics.

Εικόνα 1.19 Μορφοποίηση εννοιών (Schwarcz, 2012).

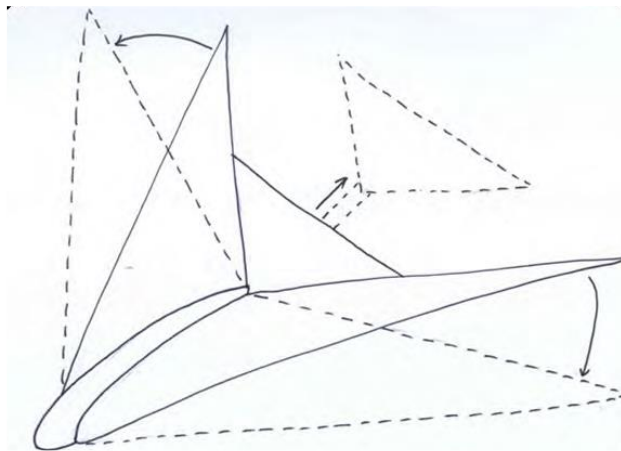
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ

2.1 Αρχικές Ιδέες Αεροσκαφών

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού περιλαμβάνει τη δημιουργία ιδεών για πιθανές πλατφόρμες μορφή που θα μπορούσαν να μεταμορφωθούν. Πολλές έννοιες ήταν αρχικά γενικές, όμως τέσσερις από αυτές εξετάστηκαν για περαιτέρω ανάπτυξη. Οι τέσσερις πλατφόρμες μορφοποίησης θεωρήθηκαν η έννοια των πτερύγων δέλτα, η έννοια του σώματος ανύψωσης, η έννοια τηλεσκοπικής πτέρυγας και το πτυσσόμενο φτερό (KevinChan, 2009).

2.1.1 Πτέρυγα Δέλτα

Μια ιδέα που έπρεπε να εξεταστεί ήταν ένα αεροσκάφος με ιπτάμενα φτερά με μια ουρά μονής μπούμας που θα μπορούσε να μεταμορφωθεί μεταξύ μιας συμβατικής διαμόρφωσης και μιας διαμόρφωσης πτέρυγας δέλτα, όπως φαίνεται στην Εικ. 2.0. Η μορφοποίηση φτερών επιτεύχθηκε μέσω μιας σειράς συρόμενων πλακών που περιστρέφονται περίπου στο σημείο όπου το πρόσθιο άκρο του φτερού συναντά την άτρακτο. Απαιτήθηκε και η ουρά να μορφοποιηθεί για να διατηρήσει τη σταθερότητα του αεροσκάφους και να δώσει το σχήμα πτέρυγας δέλτα. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω μιας τηλεσκοπικής ουράς μπούμας, επιτρέποντας στον βραχίονα ροπής ουράς να αλλάζει όπως απαιτείται (KevinChan, 2009).

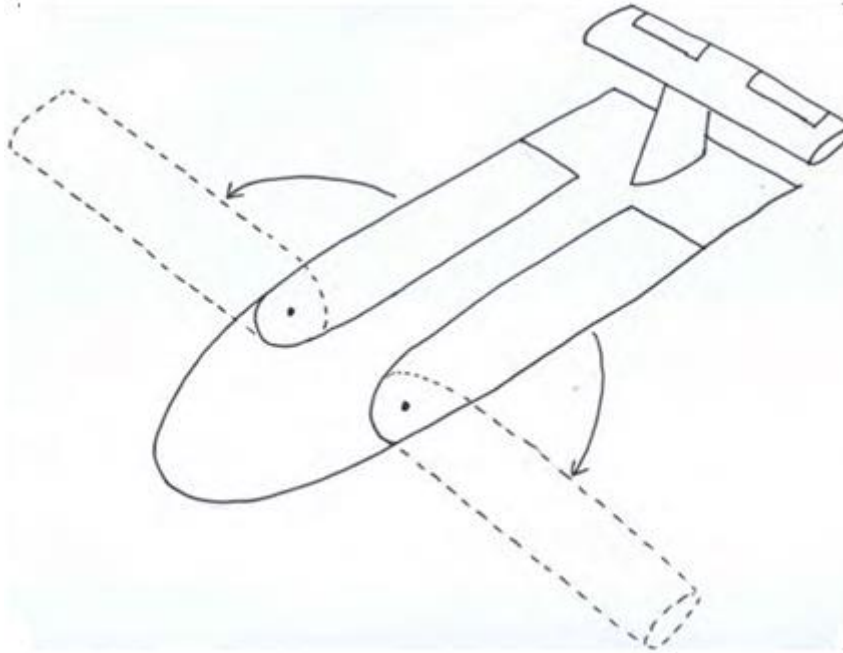


Εικόνα 2.0: Η ιδέα των συρόμενων πλακών με μηχανισμούς μορφοποίησης φτερών και ουρών τα οποία φαίνονται (KevinChan, 2009).

Υπήρχαν πολλά πλεονεκτήματα στο σχεδιασμό των συρόμενων πτερύγων, όπως το άνοιγμα και η περιοχή. Η γωνία άλλαξε σημαντικά μεταξύ των δύο ακραίων διαμορφώσεων. Αυτό επέτρεψε τη μορφοποίηση από μια συμβατική διαμόρφωση με μεγάλο άνοιγμα, μεγάλη επιφάνεια και χαμηλή σάρωση πτέρυγας, σε διαμόρφωση πτέρυγας δέλτα με χαμηλό άνοιγμα, μειωμένη επιφάνεια και υψηλή σάρωση. Ωστόσο, ένα ομαλό σχήμα αεροτομής δεν μπορούσε να επιτευχθεί λόγω της ουράς ακριβώς πίσω από την πτέρυγα (KevinChan, 2009).

2.1.2 Ανυψωτικό Σώμα

Η ιδέα περιλαμβάνει ένα αεροσκάφος ανύψωσης ατράκτου με εσωτερικά αποθηκευμένα βοηθητικά φτερά, όπως φαίνεται στην Εικ. 2.1. Το UAV μεταμορφώνεται μεταξύ δύο διαμορφώσεων, σαρώνοντας τα βοηθητικά φτερά από το εσωτερικό της ατράκτου σε μια ουδέτερη θέση σάρωσης έξω από την άτρακτο. Μια ουρά τοποθετημένη σε μπούμα κινείται κατά μήκος για να μεταβάλλει τη διαμήκη σταθερότητα του UAV (Kevin Chan, 2009).

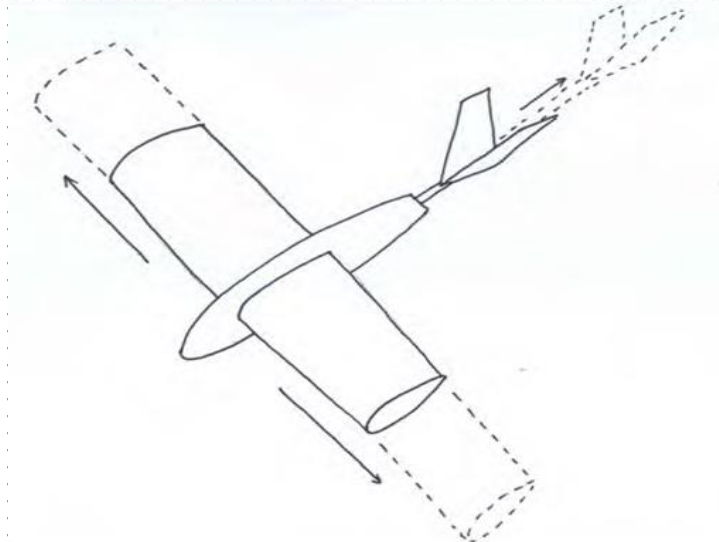


Εικόνα 2.1: Σκίτσο της έννοιας της μεταμόρφωσης του σώματος ανύψωσης (KevinChan, 2009).

Η διαμόρφωση σάρωσης είναι κατάλληλη για φάσεις πτήσης υψηλής ταχύτητας. Η μειωμένη μετωπιαία περιοχή μειώνει το προφίλ και την αντίσταση τριβής της επιφάνειας. Αυτή η διαμόρφωση μπορεί να επιτύχει καλύτερο ρόλο ευελιξίας από την unswept διαμόρφωση, μέσω του συνδυασμού μιας χαμηλότερης ροπής κύλισης αδράνειας και η χρήση τόσο των ανελκυστήρων όσο και η διαφορική σάρωση που έχουν οι βοηθητικές πτέρυγες για την επίτευξη πλευρικού ελέγχου. Η μη σαρωμένη διαμόρφωση είναι η καλύτερη επιλογή για φάσεις πτήσης χαμηλής ταχύτητας. Η αυξημένη περιοχή ανύψωσης μειώνει την ταχύτητα ακινητοποίησης του UAV, επιτρέποντας έτσι στο UAV να απογειώνεται και να προσγειώνεται σε μικρότερες αποστάσεις, καθώς και να επιτυγχάνει μεγαλύτερη περιπατητική αντοχή. Η ικανότητα ελιγμών του βήματος και των δύο διαμορφώσεων κυριαρχείται από τη θέση της ουράς (KevinChan, 2009).

2.1.3 Τηλεσκοπική Πτέρυγα

Η τηλεσκοπική ιδέα περιλαμβάνει τμήματα των εξωλέμβιων πτερυγίων που εκτείνονται και αποσύρονται στα εσωλέμβια τμήματα πτερυγίων. Η Εικ. 2.2 δείχνει ένα σκίτσο ενός αεροσκάφους τηλεσκοπικής μορφοποίησης.



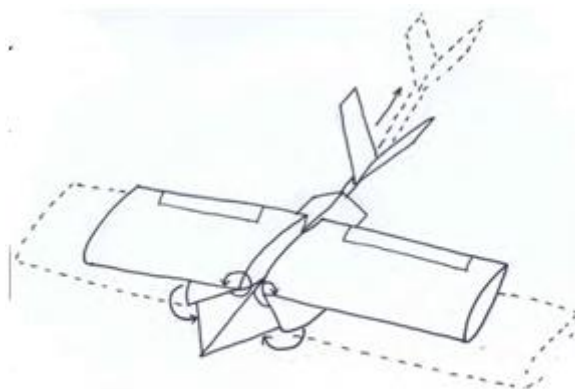
Εικόνα 2.2: Τηλεσκοπικό σκίτσο αεροσκάφους (KevinChan, 2009).

Η ανασυρόμενη διαμόρφωση ταιριάζει καλύτερα σε φάσεις πτήσης υψηλής ταχύτητας. Η μειωμένη μετωπιαία περιοχή μειώνει την αντίσταση του προφίλ και την αντίσταση τριβής της επιφάνειας. Η εκτεταμένη διαμόρφωση ταιριάζει καλύτερα σε φάσεις πτήσης χαμηλής ταχύτητας. Η αυξημένη περιοχή μειώνει το όριο ταχύτητας του UAV, επιτρέποντας έτσι στο UAV να προσγειώνεται σε μικρότερες αποστάσεις και πετυχαίνει μεγαλύτερη αντοχή σε περιπλανήσεις. Τόσο η διαμήκης όσο και η πλευρική σταθερότητα του UAV θα επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από την επέκταση και την απόσυρση των φτερών. Στην ανασυρόμενη διαμόρφωση, το UAV θα έχει μειωμένη πλευρική σταθερότητα λόγω μειωμένης ροπής αδράνειας κύλισης. Η επέκταση και η ανάκληση των φτερών θα αλλάξει τη θέση του αεροδυναμικού κέντρου, το οποίο μπορεί να αντισταθμιστεί με την επέκταση ή την απόσυρση της ουράς (KevinChan, 2009).

2.1.4 Πτυσσόμενο Φτερό

Η ιδέα της πτυσσόμενης πτέρυγας που φαίνεται στην Εικ. 2.3 περιλαμβάνει ένα UAV συμβατικής διαμόρφωσης που μεταμορφώνεται διπλώνοντας τα φτερά του και εκτείνοντας μια ουρά τοποθετημένη σε μπούμα. Το φτερό περιέχει έναν άξονα ρίζας και έναν άξονα μεσαίου ανοίγματος, που επιτρέπει στο UAV να διπλώνει τα φτερά του είτε πάνω είτε κάτω από την άτρακτο και ως εκ τούτου μεταβάλλεται η κάτοψη της πτέρυγας. Η διαχρονική έκταση της ουράς που είναι τοποθετημένη στη

μπούμα αλλάζει τη διαμήκη και κατευθυντική σταθερότητα του UAV (KevinChan, 2009).



Εικόνα 2.3: Έννοια αναδιπλούμενης πτέρυγας σε διπλωμένη διαμόρφωση (Kevin Chan, 2009).

Τόσο η διαμήκης όσο και η πλευρική σταθερότητα του UAV θα επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό από το αναδιπλούμενο φτερό μορφοποίησης. Στην αναδιπλωμένη διαμόρφωση, το UAV θα έχει μειώσει την πλευρική σταθερότητα, λόγω μειωμένης ροπής αδράνειας κύλισης και αυξημένης διαμήκους ευστάθειας, καθώς το ουδέτερο σημείο του UAV κινείται προς τα πίσω. Το αντίθετο θα συμβεί στο ξεδίπλωμα της διαμόρφωσης.

2.2 Έννοιες Μεταμόρφωσης Φτερών

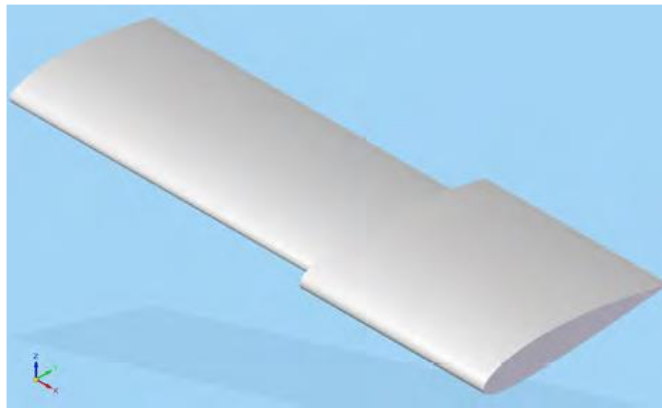
Η ανάπτυξη των εννοιών μορφοποίησης πτερυγίων εξέτασε τη χρήση εσωτερικού ή εξωτερικού τηλεσκοπίου και τις κατάλληλες δομές στήριξης των μηχανισμών.

2.2.1 Τηλεσκοπική Διαμόρφωση Πτερυγίων

Επινοήθηκαν τρία εφικτά σχήματα κάτοψης που ενσωματώνουν ένα τμήμα τηλεσκοπικής πτέρυγας. Υπάρχουν δύο κύριες διακρίσεις μεταξύ καθεμιάς από τις έννοιες: η εξωτερική ή η εσωτερική τηλεσκόπηση του τμήματος πτερυγίων και χρήση κωνικού πτερυγίου. Δεν βρέθηκε εφικτός σχεδιασμός που να ενσωματώνει τόσο εξωτερικό τηλεσκόπιο όσο και κωνικό. Κώνωση και των δύο εσωλέμβιων και τα τμήματα των εξωλέμβιων πτερυγίων εξετάστηκαν σε συνδυασμό με την εσωτερική τηλεσκοπική μέθοδο. Συνήχθη το συμπέρασμα ότι ένα κωνικό εξωλέμβιο τμήμα θα είχε ως αποτέλεσμα μια μεγάλη χορδή ασυνεχούς μήκους στη διασταύρωση μεταξύ του εσωτερικού και του εξωλέμβιου τμήματος, όταν το εξωλέμβιο τμήμα βρίσκεται σε ενδιάμεση θέση. Κατά συνέπεια, μόνο η κωνικότητά του λήφθηκε υπόψη για την εσωτερική κάτοψη. Αυτές οι αρχικές επιλογές οδήγησαν σε τρία κύρια σχέδια-έννοιες σχήματος: εξωτερικά τηλεσκοπικά τμήματα πτερυγίων με ορθογώνια κάτοψη, εσωτερικά τηλεσκοπικά τμήματα πτερυγίων με ορθογώνια κάτοψη και κωνικά εσωτερικά τμήματα πτερυγίων με εσωτερικά τηλεσκοπικά ορθογώνια τμήματα πτερυγίων.

Έννοια 1: Εξωτερικό τμήμα τηλεσκοπικής πτέρυγας με ορθογώνια κάτοψη

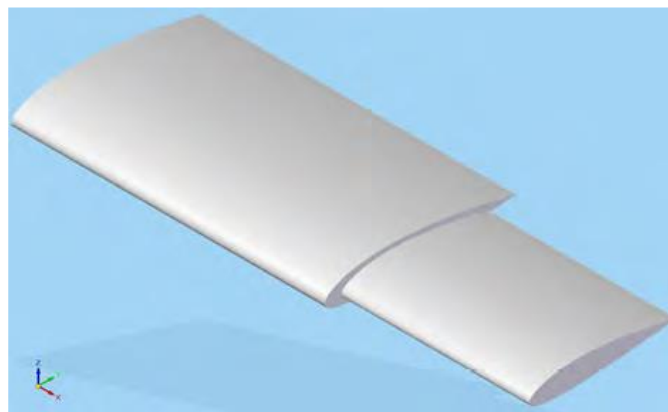
Αυτή η ιδέα περιλαμβάνει ορθογώνια εσωτερικά και εξωλέμβια τμήματα πτερυγίων, όπως φαίνεται στην Εικ. 2.4, επιτρέποντας ομοιόμορφες διατομές σε κάθε τμήμα πτερυγίου. Το εξωτερικό τμήμα πρέπει να έχει κοίλη διατομή για να επιτρέψει στο εξωλέμβιο τμήμα να γλιστρήσει πάνω από το εσωλέμβιο τμήμα. Αυτό θα μειώσει το δομικό βάρος της πτέρυγας στο εξωλέμβιο τμήμα, αλλά θα έχει επίσης ως αποτέλεσμα το εξωλέμβιο τμήμα να έχει μεγαλύτερη συγχορδία από το εσωτερικό τμήμα. Κατά συνέπεια, η αναλογία κωνικότητας για ολόκληρη την πτέρυγα θα ήταν μεγαλύτερη από τη μονάδα, με αποτέλεσμα αυξημένη παραγωγή ανύψωσης στο άκρο του φτερού.



Εικόνα 2.4: Εξωτερικό τμήμα τηλεσκοπικής πτέρυγας με ορθογώνια κάτοψη (Kevin Chan, 2009).

Έννοια 2: Εσωτερικό τηλεσκοπικό τμήμα πτερυγίου με ορθογώνια κάτοψη

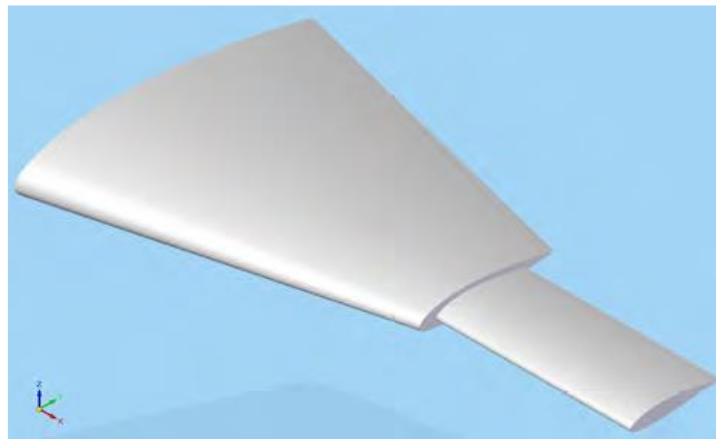
Αυτή η ιδέα περιλαμβάνει ορθογώνια εσωτερικά και εξωλέμβια τμήματα πτερυγίων που φαίνονται στην Εικ. 2.5, επιτρέποντας ομοιόμορφες διατομές σε κάθε τμήμα πτερυγίων. Το εσωλέμβιο τμήμα πρέπει να έχει μια κοίλη διατομή για το μεγαλύτερο, αν όχι ολόκληρο, το εσωλέμβιο άνοιγμα. Αυτή η διάταξη επιτρέπει στο εξωλέμβιο τμήμα να ανασυρθεί μέσα στο εσωτερικό τμήμα και η συνολική κάτοψη της πτέρυγας σχηματίζει μια κωνική αναλογία μικρότερη από τη μονάδα, λόγω της μείωσης της χορδής μεταξύ του εσωτερικού και του εξωλέμβιου τμήματος που απαιτούνται για δομικά στηρίγματα. Το κούφιο μέρος και η διατομή της εσωτερικής πτέρυγας θα έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη δομική ακεραιότητα.



Εικόνα 2.5: Εσωτερικό τηλεσκοπικό τμήμα χωρίς κωνικό (Kevin Chan, 2009).

Έννοια 3: Κωνική εσωτερική κάτοψη με εσωτερικό τηλεσκοπικό ορθογώνιο άκρο φτερού

Αυτή η ιδέα περιλαμβάνει ένα κωνικό εσωτερικό τμήμα και ένα ορθογώνιο τμήμα εξωλέμβιας πτέρυγας, όπως φαίνεται στην Εικ. 2.6, που απαιτεί ποικίλες διατομές εντός του εξωλέμβιου τμήματος του πτερυγίου. Το εσωλέμβιο τμήμα πρέπει να έχει κοίλη διατομή για το μεγαλύτερο μέρος, αν όχι ολόκληρο, το εσωλέμβιο άνοιγμα. Αυτή η διάταξη επιτρέπει στο εξωλέμβιο τμήμα να ανασύρεται εντός του εσωτερικού της τομής και δίνει μια συνολική αναλογία κωνικού σχήματος πτερυγίου μικρότερη από τη μονάδα. Ο κούφιος σταυρός στο τμήμα της εσωτερικής πτέρυγας θα έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη δομική ακεραιότητα. Ωστόσο, η αυξημένη χορδή της ρίζας θα βελτιώσει τη δομική ακεραιότητα του φτερού. Αυτή η πτέρυγα δεν θα επωφεληθεί από το συνηθισμένο δομικό όφελος της μείωσης του βάρους προς την άκρη του φτερού, λόγω της δομικής ενίσχυσης που απαιτείται για το τηλεσκοπικό εξωλέμβιο τμήμα.



Εικόνα 2.6 :Εσωτερική τηλεσκόπηση με κωνικό σχήμα (Kevin Chan, 2009).

Επιλογή διαμόρφωσης

Οι τηλεσκοπικές διατάξεις αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας κριτήρια επιλογής όπως η αεροδυναμική απόδοση, η δομική ακεραιότητα, η επίδραση της μορφοποίησης, η δυνατότητα κατασκευής και το κόστος και η αισθητική. Τα κριτήρια επιλογής επέτρεψαν να προσδιοριστεί και να επιλεγεί η έννοια 3 ως η πιο ευνοϊκή από τις τρεις έννοιες που αναλύθηκαν, λόγω της ευνοϊκής αεροδυναμικής του απόδοσης, της δομικής ακεραιότητας και της αισθητικής.

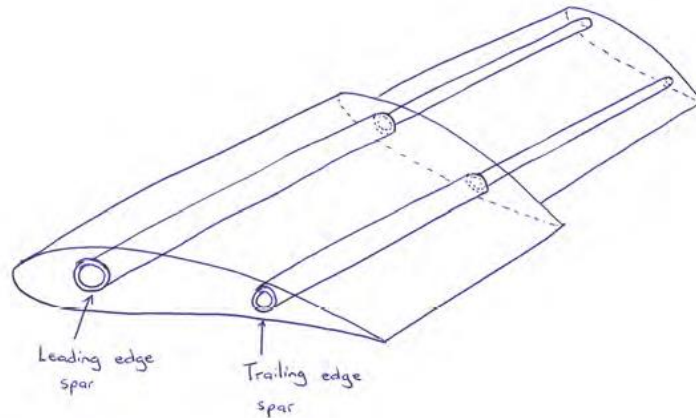
2.2.2 Επιλογή Μηχανισμού Πτερυγίων

Ο εννοιολογικός σχεδιασμός του μηχανισμού πτερυγίων περιλαμβάνει την ανάπτυξη της δομής στήριξης για την εξωλέμβια πτέρυγα, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση οδηγών σιδηροτροχιών και κυλίνδρων.

Ράγες

Η επιλογή ενός μηχανισμού που επεκτείνει και αποσύρει τα φτερά και την ουρά απαιτεί τη χρήση ενός σετ οδηγών σιδηροτροχιών. Και οι δύο ράγες τετράγωνης και κυκλικής διατομής έχουν ερευνηθεί. Οι ράγες τετράγωνης διατομής παρείχαν αυξημένη πιθανότητα δέσμμευσης των σιδηροτροχιών υπό φορτίο, εάν οι ράγες

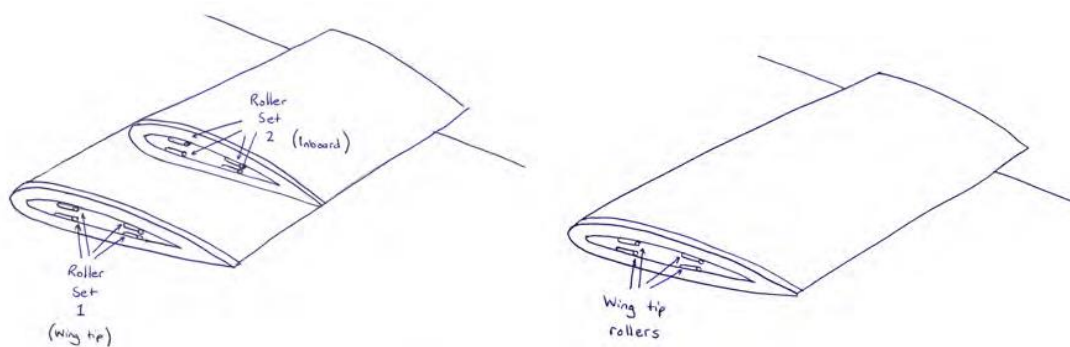
ήταν ελαφρώς κακώς ευθυγραμμισμένες. Επιπλέον βρέθηκε ότι το τετράγωνο στο υλικό διατομής ήταν πιο δύσκολο να βρεθεί, γεγονός που θα έκανε την προμήθεια των εξαρτημάτων πιο δύσκολη. Ως εκ τούτου, επιλέχθηκαν δύο σιδηροτροχιές κυκλικής διατομής στον σχεδιασμό, καθώς αυτή η διαμόρφωση χρησιμοποιεί άμεσα διαθέσιμα στοιχεία κι έχει υψηλότερη πιθανότητα επιτυχίας. Ο σχεδιασμός διπλής ράγας φαίνεται στην Εικ. 2.7.



Εικόνα 2.7: Έννοια διπλής ράγας (Kevin Chan, 2009).

Κύλινδροι

Καθορίστηκε ότι θα απαιτούνταν κύλινδροι για να καθοδηγούν τα φτερά και την ουρά κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μορφοποίησης. Δύο διαμορφώσεις κυλίνδρων διερευνήθηκαν σε όλο τον σχεδιασμό του μηχανισμού μορφοποίησης. Η πρώτη διαμόρφωση περιελάμβανε δύο σετ κυλίνδρων στην κάθε πτέρυγα, όπως φαίνεται στην Εικ. 2.8 α.



(α) Διπλό σετ κυλίνδρων

(β) Μονό σετ κυλίνδρων

Εικόνα 2.8: Έννοιες κυλίνδρων (Kevin Chan, 2009).

Το πρώτο σετ κυλίνδρων τοποθετήθηκε στο εσωτερικό νεύρο αιχμής φτερού και το δεύτερο σετ κυλίνδρων τοποθετήθηκε σε ένα νεύρο πιο εσωτερικά. Αν και το

δεύτερο σετ κυλίνδρων θα καθοδηγούσε το εξωλέμβιο φτερό με μεγαλύτερη ακρίβεια, ο σχεδιασμός έθετε αρκετές προκλήσεις λόγω της θέσης των κυλίνδρων μέσα στην πτέρυγα. Πρώτον, η θέση τους αύξησε τη δυσκολία εγκατάστασης, διότι δεν θα υπήρχε άμεση πρόσβαση στους κυλίνδρους κατά τη συναρμολόγηση του αεροσκάφους. Δεύτερον, εάν σε οποιοδήποτε στάδιο οι κύλινδροι απαιτούσαν συντήρηση ή επισκευή, θα προέκυπτε αδυναμία άμεσης πρόσβασης, κάτι το οποίο είναι σχεδόν αδύνατον. Αποδείχθηκε επίσης ότι δεν απαιτείται δεύτερο σετ κυλίνδρων για να λειτουργήσει επιτυχώς ο μηχανισμός μορφοποίησης και θα ήταν περιττό το σύστημα που προσθέτει περιττό βάρος και πολυπλοκότητα στο αεροσκάφος. Ως εκ τούτου, το δεύτερο επιλέχθηκε, χρησιμοποιώντας μόνο ένα σετ κυλίνδρων σε κάθε πλευρικό άκρο εσωλέμβιου πτερυγίου για τον τελικό σχεδιασμό, για απλότητα, ευκολία πρόσβασης και μειωμένο βάρος. Αυτό το σχέδιο φαίνεται στην Εικ. 2.8 β.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: PLEXIGLASS

3.1 Ιστορική Αναδρομή Plexiglass

Το πρώτο ακρυλικό οξύ δημιουργήθηκε το 1843. Το μεθακρυλικό οξύ, που προέρχεται από ακρυλικό οξύ, διαμορφώθηκε το 1865. Η αντίδραση μεταξύ μεθακρυλικού οξέος και της μεθανόλης έχει ως αποτέλεσμα τον εστέρα μεθακρυλικό μεθύλιο. Η δημιουργία του Plexiglass βασίζεται στον Γερμανό Otto Röhm, ο οποίος ανακάλυψε το 1877 ότι η διαδικασία πολυμερισμού μετατρέπει το μεθακρυλικό μεθύλιο σε πολυμεθακρυλικό μεθύλιο. Κατ' αυτόν τον τρόπο το πολυμερές διαχωρίζεται από το γυαλί ως διαφανές πλαστικό φύλλο, στο οποίο ο Röhm έδωσε το εμπορικό σήμα Plexiglas το 1933 από την εταιρεία Rohm and Haas. Έκτοτε το Plexiglass είναι γνωστό ως Acrylics και Lucite, αν και πρόκειται για το ίδιο υλικό (Schwarcz, 2012).



Εικόνα 3.0: Αρχικές αναφορές Plexiglass: U.S. Naval Historical Center Photograph (Schwarcz, 2012).

Το 1936 το Plexiglass έγινε ευρέως γνωστό στην εμπορία ως βιώσιμο ακρυλικό γυαλί ασφαλείας. Κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκόσμιου πολέμου χρησιμοποιήθηκε σε περισκόπια υποβρυχίων, ανεμοθώρακες, τέντες και πυργίσκους σε αεροπλάνα. Οι ποιότητες του Plexiglass ποικίλουν, ωστόσο οι

κυριότερες είναι τα χυτά (cast) και τα εξελασμένα (extruded). Τα χυτά υπάρχουν στην αγορά σε μορφή σωλήνων, ράβδων στρογγυλής και τετράγωνης διατομής, άλλα κυρίως φύλλων με πάχη που κυμαίνονται από 2 χιλ. έως και 200 χιλ. Παρουσιάζουν καλύτερες ιδιότητες με αποτέλεσμα και η τιμή τους να είναι υψηλότερη (Μπολλανός, 2013).

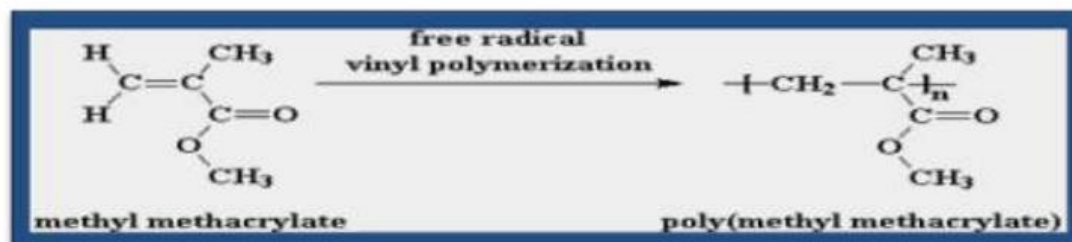
3.2 Χημική Δομή και παραγωγή του Plexiglass

Το Plexiglass σε επιστημονική ορολογία ονομάζεται πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (Polymethylmethacrylate ή PMMA), έτσι πολλές φορές ονομάζεται ακρυλικό γυαλί ή απλά ακρυλικό. Χαρακτηρίζεται για τη διάφανη μορφή του και τη θερμοπλαστική του ικανότητα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται πολλές φορές έναντι του γυαλιού και είναι ανθεκτικότερο κι ελαφρύτερο από το γυαλί.

Το PMMA αποτελεί μία οικονομικότερη λύση όταν οι απαιτήσεις δύναμης δεν είναι ισχυρές, μιας και κατεργάζεται εύκολα έναντι άλλων πολυκαρβονικών υλικών, ωστόσο σπάει εύκολα κάτω από πίεση. Επιπλέον το PMMA δεν περιέχει στη σύνθεση του την επιβλαβή ουσία βισφενόλη-Α και όταν καίγεται δεν παράγει διοξίνη.

Το PMMA είναι ένας εστέρας του μεθακρυλικού οξέος ($\text{CH}_2=\text{C}[\text{CH}_3]\text{CO}_2\text{H}$), ο οποίος ανήκει στην οικογένεια των ρητινών. Στη σύγχρονη παραγωγή προέρχεται κυρίως από προπυλένιο, μία ένωση εξευγενισμένη από τα ελαφρύτερα κράματα του αργού πετρελαίου. Προπυλένιο και βενζόλιο αντιδρούν μαζί για τον σχηματισμό κουμενίου ή ισοπροπυλοβενζολίου, οξειδώνεται προς κουμόλιο υδροϋπεροξειδίου, το οποίο υποβάλλεται σε επεξεργασία με οξύ για τον σχηματισμό της ακετόνης. Η ακετόνη με τη σειρά της μετατρέπεται σε μία διαδικασία τριών βημάτων σε μεθακρυλικό μεθύλιο ($\text{CH}_2=\text{C}[\text{CH}_3]\text{CO}_2\text{H}$), το οποίο είναι εύφλεκτο υγρό. Το μεθακρυλικό μεθύλιο σε υγρή μορφή μπορεί να ανασταλεί υπό μορφή λεπτών σταγονιδίων εντός ύδατος.

Πολυμερίζεται (μόρια που συνδέονται μαζί σε μεγάλους αριθμούς) υπό την επίδραση των ελεύθερων ριζών για τον σχηματισμό στερεού PMMA. Η δομή της μονάδας πολυμερούς επανάληψης είναι η παρακάτω:



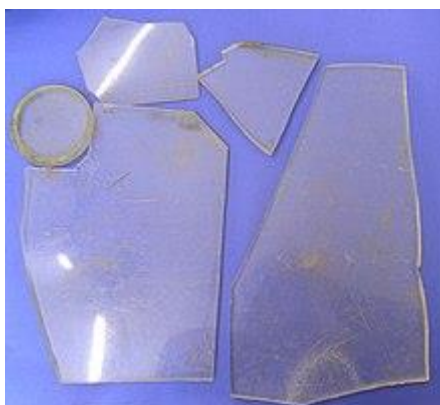
Εικόνα 3.1: Χημικός πολυμερισμός Plexiglass

Το PMMA αποτελεί ένα σκληρό και άκαμπτο πλαστικό, η μετάδοση του ορατού φωτός είναι σχεδόν τέλεια και μιας και οι ιδιότητες αυτές διατηρούνται έναντι χρόνου αποτελεί ιδανικό υποκατάστατο του γυαλιού (Hosch., n.d.).

3.3 Κατεργασίες του Plexiglass

Η κατεργασία του Plexiglass αποτελεί εύκολη διεργασία και ποικίλει σε μεθόδους, τις οποίες θα γνωρίσουμε παρακάτω:

1. Χρήση κοπτικών, τα οποία με επαναλαμβανόμενα περάσματα αφαιρούν μια μικρή ποσότητα υλικού και στη συνέχεια ασκώντας πίεση το υλικό σπάει κατά μήκος της κοπής. Ο τρόπος αυτός είναι πανομοιότυπος με την κοπή του γυαλιού, όπου όμως χρησιμοποιείται εργαλείο με κεφαλή από διαμάντι. Μεγάλη προσοχή απαιτείται όμως γιατί η σπασμένη ακμή είναι εξίσου κοφτερή με μια ακμή από σπασμένο γυαλί.
2. Χρήση ηλεκτρικών εργαλείων κοπής: σέγα, δισκοπρίονο, σοκοροκόφτη, φαλτσοκόφτη, παντογράφο. Προσοχή απαιτείται στην επιλογή του κοπτικού εργαλείου. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στη γεωμετρία των δοντιών κατά τη χρήση του δίσκου, ώστε να υπάρχει σωστό φινίρισμα κατά την κοπή και ώστε να μη δημιουργούνται σπασίματα στο κάτω μέρος της κοπής.
3. Χρήση Laser: Με την ευρεία διάδοση των κοπτικών laser κατέστη δυνατή η εύκολη και σε οποιοδήποτε σχήμα κοπή των πλαστικών υλικών, χωρίς να υπάρχουν ρινίσματα, τα οποία είναι συχνά υπαίτια για γρατζουνιές, αλλά και με φινίρισμα γυαλισμένο που δεν απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία. Κατά την κοπή με laser, το σημείο του υλικού που δέχεται την ισχύ της ακτίνας laser εξαχνώνεται χωρίς να αφήνει υπολείμματα (Andersen, 2015).



Εικόνα 3.2: Τμήματα του Plexiglass

Το Plexiglass όταν κόβεται με μηχανική κατεργασία ασπρίζει κατά μήκος της άκρης κοπής και πιθανόν να είναι απαραίτητο το γυάλισμά της. Αυτό μπορεί

να γίνει με τρίψιμο με γυαλόχαρτα μικρής κοκκομετρίας και κατόπιν με ύφασμα, με θέρμανση ή με γυάλισμα με διαμάντι.

4. Το Plexiglass μπορεί να κολληθεί χρησιμοποιώντας κυανοακρυλική κόλλα (τη γνωστή κόλλα στιγμής), με ζέσταμα σε θερμοκρασία γύρω στους 160 °C, κατά το οποίο οι προς κόλληση επιφάνειες λιώνουν και ενώνονται μεταξύ τους ή χρησιμοποιώντας διαλύτες για να διαλυθούν τα πλαστικά κατά μήκος της ακμής επαφής, να ενώνονται και μετά να στερεοποιηθεί η ένωση, δημιουργώντας μια σχεδόν αόρατη κόλληση. Οι γρατζουνιές (κάτι από το οποίο πάσχει το plexiglass) διορθώνονται με γυάλισμα ή με ζέσταμα της επιφάνειας του υλικού (Μπολλανός, 2013).

3.4 Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του Plexiglass

Το Plexiglass είναι ένα υλικό με μοναδικές φυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά απόδοσης. Τα ακρυλικά φύλλα κατασκευάζονται σε πάνω από 250 χρώματα, με πάχος από 0.30'' έως 4.25'', μεταδίδοντας το υπεριώδες φως ή φιλτράροντας το προς τα έξω, όπως απαιτείται. Συγκριτικά με το γυαλί ζυγίζει το μισό, όσο και το λεπτότερο οπτικό γυαλί, είναι όμως ίσο με αυτό στη διαύγεια και είναι έως και 17 φορές πιο ανθεκτικό στις κρούσεις.

Βασικές ιδιότητες παρουσιάζονται παρακάτω :

- A. Αντοχή στις καιρικές συνθήκες:** Παρά την έκθεση στις καιρικές συνθήκες, το καθαρό φύλλο δεν θα παρουσιάσει φθορές χρώματος ή κιτρίνισμα, μιας κι έχει εξαιρετικά καιρικά χαρακτηριστικά.
- B. Διαστολή και συστολή:** Όπως τα περισσότερα πλαστικά, έτσι και το ακρυλικό φύλλο ανταποκρίνεται στις αλλαγές της θερμοκρασίας με την επέκταση ή συρρίκνωση σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό απ' ότι το γυαλί.
- C. Ελαστικότητα:** Τα ακρυλικά φύλλα είναι πολύ πιο εύκαμπτα από πολλά γυαλιά ή άλλα οικοδομικά υλικά. Επομένως κατά τη χρήση τους, κυρίως σε μεγάλα φύλλα, είναι σημαντικό οι αρμοί ή τα κανάλια να είναι αρκετά βαθιά, ώστε να παρέχουν στήριξη ενάντια στους δυνατούς ανέμους.
- D. Χημική Αντοχή:** Τα ακρυλικά φύλλα έχουν εξαιρετική αντοχή στην επιρροή χημικών προϊόντων. Ωστόσο, επηρεάζονται σε διάφορους βαθμούς από βενζόλιο, τολουόλιο, τετραχλωράνθρακα, αιθυλική και μεθυλική αλκοόλη, αραιωτικά βερνικιού, αιθέρες, κετόνες κι εστέρες.
- E. Ηλεκτρική ικανότητα:** Τα ακρυλικά φύλλα είναι εξαιρετικά μονωτικά υλικά. Η επιφανειακή αντίσταση τους είναι υψηλότερη από εκείνη των

περισσότερων πλαστικών. Η συνεχής εξωτερική έκθεση έχει μικρή επίδραση στις ηλεκτρικές του ιδιότητες.

- F. **Μετάδοση του φωτός:** Τα άχρωμα ακρυλικά φύλλα έχουν μια ελαφριά μετάδοση του 92%. Έχει την ιδιότητα να διασκορπίζει το φως ομοιόμορφα και ομαλά, έτσι ώστε να είναι ιδανικό για όλους τους τύπους των φωτιστικών και σημείων. Συγκριτικά με το γυαλί είναι πιο καθαρό και δεν κιτρινίζει, ενώ είναι διαθέσιμο σε μια μεγάλη ποικιλία από διαφανή και ημιδιάφανα χρώματα.
- G. **Προφυλάξεις κατά της πυρκαγιάς:** Όλα τα ακρυλικά φύλλα είναι εύφλεκτα. Το εύρος αυτανάφλεξης της θερμοκρασίας είναι 830-860 °F (Μπολλανός, 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

4.1 Το Αλουμίνιο

Το αργίλιο ή αλουμίνιο είναι το χημικό στοιχείο το οποίο συμβολίζεται Al, με ατομικό αριθμό 13. Αποτελεί αργυρόλευκο μέταλλο, στοιχείο που ανήκει στην ομάδα IIIA (13) του περιοδικού συστήματος, μαζί με το βόριο. Είναι από τα πιο ελαφρά μεταλλικά στοιχεία σε ειδικό βάρος (π.χ. το 1/3 περίπου του χάλυβα). Βρίσκεται σε αφθονία στον φλοιό της Γης μιας και αποτελεί συνολικά το τρίτο (3ο) αφθονότερο χημικό στοιχείο στον πλανήτη μας, αφού και κατά βάρος αποτελεί περίπου το 8% του στερεού φλοιού μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Ωστόσο, είναι χημικώς πολύ δραστικό ώστε να βρίσκεται στη φύση ως ελεύθερο μέταλλο. Παρόλα αυτά δεν βρίσκεται ελεύθερο στην φύση, αλλά συνήθως ενωμένο σε περισσότερα από 270 διαφορετικά ορυκτά, με πρωταρχική πηγή για τη βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου τον βωξίτη (Shakhashiri, 2007).

Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί μέταλλα εδώ και περίπου 7 χιλιάδες χρόνια. Τα 200 χρόνια από τη βιομηχανική επανάσταση και τα περίπου 100 από τη βιομηχανική παραγωγή του αλουμινίου μοιάζουν σαν ένας κόκκος άμμου στην κλεψύδρα της ιστορίας. Σε αντίθεση με τον χαλκό, τον χρυσό και τον σίδηρο, το αλουμίνιο δεν υπάρχει στην φύση σε απλές χημικές ενώσεις εύκολα διασπάσιμες, επομένως η απομόνωση του μετάλλου αυτού καθυστέρησε ιδιαίτερα. Η ανακάλυψή του, αλλά και η παραγωγή του, έγινε δυνατή μόνο μετά την ανακάλυψη και ευρεία χρήση του ηλεκτρισμού και μόνο όταν η χημεία αποχωρίστηκε από το φάντασμα της αλχημείας.

4.1.1 Ιστορία του Αλουμινίου

Αν και το αλουμίνιο δεν έγινε γνωστό παρά μόνο στις αρχές του 19ου αιώνα, παρόλα αυτά χρησιμοποιήθηκε από την αρχαιότητα, με τη μορφή της αργίλου, ως πρώτη ύλη για την κατασκευή αγγείων, αλάτων περιέχοντα αλουμίνιο για βαφές και φαρμακευτικών παρασκευασμάτων. Οι αρχαίοι Κινέζοι, Αιγύπτιοι, Έλληνες και Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν το αλουμίνιο στις μορφές που βρίσκεται στη φύση, χωρίς κατά πάσα πιθανότητα να έχουν πλήρη γνώση της ύπαρξης ενός μετάλλου που έδινε τις ειδικές αυτές ιδιότητες στις δημιουργίες τους. Στον Μεσαίωνα, οι επιστήμονες-αλχημιστές της εποχής υποπτεύθηκαν την ύπαρξη ενός μετάλλου στην κοινή και τόσο φτηνή άργιλο, που θα τους έδινε την πολυπόθητη λύση δημιουργίας χρυσού με την μετάλλαξή του.

Έπρεπε να φθάσει το έτος 1761 για να προταθεί πρώτη φορά στην ιστορία το όνομα "alume", από τον de Morveau, ως η βάση του "alum", δηλαδή του μετάλλου που δεν υπήρχε ακόμη στην καθνή του μορφή. Αργότερα, το 1807, ο Sir Humphrey Davy πρότεινε το όνομα "aluminium" για το μέταλλο, αν και λίγο αργότερα συμφώνησε με το όνομα "aluminum", όρος που χρησιμοποιείται και σήμερα ακόμα για το αλουμίνιο στη βόρεια Αμερική. Λίγο αργότερα το όνομα "aluminium" (αλουμίνιο) καθιερώθηκε για να μη διαφέρει το όνομα του νέου μετάλλου από τα άλλα καθιερωμένα ονόματα των φυσικών στοιχείων που έχουν κατάληξη σε "-ium". Η διεθνής, λοιπόν, χημική ονομασία του νέου μετάλλου είναι "αλουμίνιο" μέχρι και

τις μέρες μας. Το ίδιο ίσχυσε και στις ΗΠΑ μέχρι το 1925, όταν η Αμερικανική Εταιρεία Χημείας αποφάσισε να αλλάξει το όνομα ξανά σε "aluminum", έτσι ακόμα και σήμερα οι Αμερικάνοι χρησιμοποιούν αυτή την ονομασία, σε αντίθεση με τον υπόλοιπο κόσμο.

Ας επιστρέψουμε, όμως, στην ιστορική μας διαδρομή. Ο Hans Christian Oersted ήταν ο πρώτος επιστήμονας που παρήγαγε καθαρό αλουμίνιο το 1825, με τη χρήση χλωριδίου του αλουμινίου (AlCl_3) και αμάλγαμα ποτάσας, ένα κράμα δηλαδή ποτάσας και ψευδαργύρου. Ο Oersted ανεβάζοντας τη θερμοκρασία του μίγματος, σε κατάσταση χαμηλής πίεσης, πέτυχε την απομάκρυνση του ψευδαργύρου, το εναπομείναν δε υλικό ήταν το αλουμίνιο.

Η ανακάλυψη αυτή δεν δημιούργησε παρά "ένα πολύτιμο" μέταλλο, μιας και ήταν πολύ δύσκολη και ακριβή η παραγωγή του. Όντως, γι' αρκετά χρόνια το αλουμίνιο θεωρούνταν πολύτιμο μέταλλο, που χρησιμοποιούσαν μόνον πάμπλοτοι για την κατασκευή, για παράδειγμα, των πιάτων τους, κάτι σαν πιάτα από χρυσάφι θα λέγαμε. Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερθεί η ανάπτυξη του μετάλλου και η κατάκτηση της βιομηχανίας από το πιο διαδεδομένο μέταλλο στη φύση, το αλουμίνιο.

Ας δούμε όμως με μια γρήγορη ματιά πώς εξελίχθηκε η παραγωγή του μετάλλου από τις αρχές του 19ου αιώνα:

- **1808:** Ο Βρετανός Davy ανακαλύπτει την ύπαρξή του.
- **1821:** Ο P. Berthier ανακαλύπτει κοντά στο χωριό Les Baux στη Γαλλία μια σκληρή, κοκκινωπή ουσία που περιέχει 52 % αλουμίνιο και την ονομάζει Βωξίτη.
- **1825:** Ο Δανός Hans Christian Oersted παράγει μια μικρή ποσότητα αλουμινίου, χρησιμοποιώντας διάλυμα ποτάσας.
- **1827:** Ο Γερμανός Friedrich Wohler ανακοινώνει την ανακάλυψή του για την παραγωγή αλουμινίου μέσω της αντίδρασης ποτάσας με άνυδρο χλωρίδιο του αλουμινίου.
- **1845:** Ο Wohler ανακάλυψε και κατέγραψε την πυκνότητα του αλουμινίου και μία από τις βασικές του ιδιότητες, την ελαφρότητα.
- **1854:** Ο Γάλλος Henri Saite-Claire Deville βελτιώνει τη μέθοδο του Wohler και παράγει βιομηχανικά αλουμίνιο, για πρώτη φορά στην ιστορία. Η τιμή του μετάλλου ξεπερνά αυτή του χρυσού και της πλατίνας.
- **1855:** Μία ράβδος αλουμινίου εκτίθεται στην Διεθνή Έκθεση των Παρισίων μαζί με άλλα πολύτιμα μέταλλα.
- **1886:** Δύο νέοι και άγνωστοι επιστήμονες, ο Γάλλος Paul Louis Toussaint Heroult και ο Αμερικάνος Charles Martin Hall εφευρίσκουν τη μέθοδο παραγωγής αλουμινίου μέσω της ηλεκτρόλυσης διαλύματος αλουμίνης. Οι δύο επιστήμονες εργάστηκαν ξεχωριστά, χωρίς να ξέρουν ο ένας την εργασία του άλλου.

- **1888:** Οι πρώτες εταιρείες παραγωγής αλουμινίου γεννήθηκαν στη Γαλλία, την Ελβετία και τις ΗΠΑ.
- **1889:** Ο Αυστριακός Friedrich Bayer, γιος του ιδρυτή της περίφημης εταιρείας χημικών ουσιών, εφευρίσκει τη μέθοδο παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων αλουμίνιας από τον βωξίτη.
- **1900:** Η ετήσια παραγωγή αλουμινίου σπάει κάθε ρεκόρ, φτάνοντας τους 8 τόνους σε ετήσια βάση. (www.alunet.gr, 2016)

4.1.2 Ιδιότητες του Αλουμινίου

Από τα πρώτα του χρόνια ο άνθρωπος, με σκοπό την επιβίωση και ανάπτυξή του, χρησιμοποίησε ένα πλήθος υλικών και μετάλλων, ανοίγοντας νέους ορίζοντες στις συνιστώσες της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η εφαρμογή των μετάλλων στην κατασκευή όπλων, κατοικιών και οικιακών σκευών άλλαξε δραματικά τους ανθρώπους και τις κοινωνίες. Τις τελευταίες δεκαετίες, η ανακάλυψη των ιδιοτήτων των μετάλλων και η βελτιστοποίηση των μεθόδων παραγωγής τους έδωσαν το έναυσμα για την τεράστια ανάπτυξη των εφαρμογών. Ωστόσο παρακάτω θα δοθεί έμφαση στις ιδιότητες του αλουμινίου, οι οποίες αποφέρουν τεράστια πλεονεκτήματα για το ευρύ φάσμα των εφαρμογών του.

Οι κυριότερες ιδιότητες του είναι:

- **Η αντοχή του σε διάβρωση.** Το αλουμίνιο ως χημικό στοιχείο και μέταλλο όταν έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο και την ατμόσφαιρα δημιουργεί ένα λεπτό προστατευτικό φύλλο στην επιφάνεια του που το προστατεύει από την διάβρωση. Αυτό το φαινόμενο και φυσική διεργασία ονομάζεται στην επιστημονική βιβλιογραφία σαν παθητικοποίηση και προσφέρει τεράστια πλεονεκτήματα τόσο στο ίδιο το υλικό όσο και σε σχέση με τα υπόλοιπα μέταλλα.
- **Το χαμηλό του βάρος.** Πολλά μέταλλα εμφανίζουν ισχυρή αντοχή αλλά ταυτόχρονα έχουν πολύ υψηλό ειδικό βάρος, γεγονός που δυσκολεύει τη χρήση τους σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Το αλουμίνιο παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε συνδυασμό με χαμηλό βάρος. Ο συνδυασμός αυτός επιφέρει τεράστια πλεονεκτήματα.
- **Η υψηλή αντοχή σε καταπονήσεις.**
- **Η δυνατότητα εύκολης κατεργασίας.** Το αλουμίνιο σα μέταλλο είναι αρκετά μαλακό κι ελαστικό. Αυτομάτως οι δυνατότητες χύτευσης και επεξεργασίας αυξάνουν το εύρος των επιθυμητών εφαρμογών.
- **Η δυνατότητα και η ευκολία δημιουργίας κραμάτων σε συνδυασμό με άλλα μέταλλα.** Η συνύπαρξη αλουμινίου και άλλων μετάλλων (όπως σιδήρου και χαλκού) επιφέρει μεταλλικά κράματα τα οποία έχουν συνδυαστικές μηχανικές και λειτουργικές ιδιότητες.
- **Η καλή θερμική αγωγιμότητα.**
- **Η καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα.**

(www.thealuminiumstory.com, 2018)

4.2 Το Nylon

Το νάιλον ανήκει στην οικογένεια των συνθετικών πολυμερών γνωστών και ως αλειφατικών πολυαμιδίων. Πρωτοδημιουργήθηκε στις 28 Φεβρουαρίου 1935, από τον Γουάλας Καράδερς (Εικ. 4.1), στις ερευνητικές εγκαταστάσεις της DuPont. Αποτελεί ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πολυμερή, με βασικούς αντιπροσώπους τα παρακάτω είδη: νάιλον-6,6, νάιλον-6, νάιλον-6,9, νάιλον-6,10, νάιλον-6,12, νάιλον-11, νάιλον-12 και νάιλον-4,6 (Landmarks, 2015)(Institute, 2015).



Εικόνα 4.1: Wallace Carothers

Το νάιλον αποτελεί ένα θερμοπλαστικό υλικό, που πρωτοχρησιμοποιήθηκε εμπορικά σε οδοντόβουρτσα με νάιλον τρίχα το 1938 και ακολούθησε ως ύφασμα το 1939, και σε διάσημες γυναικείες κάλτσες το 1940. Με αποτέλεσμα να είναι το πρώτο εμπορικά πετυχημένο συνθετικό θερμοπλαστικό πολυμερές (Palmer, 2001) (Wolfe, 2008).

Το νάιλον παρασκευάζεται από επαναλαμβανόμενες μονάδες συνδεμένες με αμιδικούς δεσμούς και αναφέρεται συχνά ως *πολυαμίδιο* (PA). Υπάρχουν δύο συνήθεις τρόποι παραγωγής νάιλον για εφαρμογές ινών. Στη μια προσέγγιση, τα μόρια με μια καρβοξυλομάδα (-COOH) σε κάθε άκρο αντιδρούν με μόρια που περιέχουν αμινομάδα (-NH₂) σε κάθε άκρο. Το τελικό νάιλον ονομάζεται με βάση τον αριθμό των ατόμων άνθρακα που χωρίζει τις δύο καρβοξυλομάδες και τις δύο αμινομάδες. Αυτές σχηματίζονται σε μονομερή ενδιάμεσης μοριακής μάζας, που έπειτα αντιδρούν για να σχηματίσουν μεγάλες πολυμερείς αλυσίδες.

Ο βασικός σκοπός του νάιλον αποσκοπούσε ώστε να γίνει ένα συνθετικό υποκατάστατο του μεταξιού, και πράγματι το υποκατέστησε σε πολλά διαφορετικά προϊόντα, καθώς και το μετάξι έγινε σπάνιο κατά τη διάρκεια του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου. Αντικατέστησε το μετάξι σε στρατιωτικές εφαρμογές, όπως στα αλεξίπτωτα και σε κάποια είδη αλεξίσφαιρων γιλέκων (Flak jacket), ενώ χρησιμοποιήθηκε σε πολλούς τύπους ελαστικών οχημάτων (ScienceHistoryInstitute, 2015).

Το νάιλον χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των υφασμάτων ρούχων, χαλιών, μουσικών χορδών, σωλήνων, χτένες μαλλιών και σε τμήματα μηχανών όπως σε βίδες μηχανών, γρανάζια και σε άλλα συστατικά χαμηλής έως μέτριας τάσης. Η επεξεργασία του νάιλον μηχανικής ποιότητας πραγματοποιείται με εξέλαση, χύτευση και χύτευση με έγχυση. Ο τύπος νάιλον-6,6 101 θεωρείται η πιο συνηθισμένη εμπορική ποιότητα του νάιλον ενώ το νάιλον-6 είναι η πιο συνηθισμένη εμπορική ποιότητα χυτευτού νάιλον (Clark, Jim. «Polyamides», 2015) (Youssef, Helmi A.· El-Hofy,, Hassan A.· Ahmed, Mahmoud H. , 2011)

4.2.1 Χημική Σύσταση Nylon

Τα νάιλον είναι πολυμερές συμπύκνωσης που σχηματίζεται με την αντίδραση ίσων μερών διαμίνης και δικαρβοξυλικού οξέος, έτσι ώστε τα αμίδια να σχηματίζονται και στα δύο άκρα κάθε μονομερούς σε μια διεργασία ανάλογη με τα βιοπολυμερή πολυπεπτιδίου.

Τα χημικά στοιχεία που περιλαμβάνονται είναι **άνθρακας, υδρογόνο, άζωτο και οξυγόνο**. Το αριθμητικό επίθημα καθορίζει τους αριθμούς των ανθράκων που δίνονται από τα μονομερή· πρώτα της διαμίνης κι έπειτα του οξέος. Η πιο συνηθισμένη παραλλαγή είναι το νάιλον-6,6, που αναφέρεται στο ότι η διαμίνη (εξαμεθυλενοδιαμίνη) και το δισόξινο (αδιπικό οξύ) δίνουν το καθένα 6 άνθρακες στην πολυμερή αλυσίδα. Όπως με τα άλλα κανονικά συμπολυμερή, όπως οι πολυεστέρες και οι πολυουρεθάνες, η «επαναλαμβανόμενη μονάδα» αποτελείται από ένα από κάθε μονομερές, έτσι ώστε να εναλλάσσονται στην αλυσίδα. Επειδή κάθε μονομερές σε αυτό το συμπολυμερές έχει την ίδια δραστική ομάδα σε κάθε άκρο, η κατεύθυνση του αμιδικού δεσμού αντιστρέφεται μεταξύ κάθε μονομερούς, αντίθετα με τις φυσικές πρωτεΐνες του πολυαμιδίου που έχουν γενική κατεύθυνση: τελικός C → τελικό N. Στο εργαστήριο, το νάιλον-6,6 μπορεί να παρασκευαστεί επίσης χρησιμοποιώντας διχλωροεξανodioϊκό οξύ αντί για αδιπικό οξύ.

Οι ιδιότητες του νάιλον-6 είναι μερικές φορές πανομοιότυπες με τις ιδιότητες του νάιλον-6,6 — εκτός από τη θερμοκρασία τήξης και κάποιες ιδιότητες της ίνας σε προϊόντα όπως χαλιά και υφάσματα. Υπάρχει επίσης το νάιλον-9. Το σημείο τήξης 428 °F (220 °C) του νάιλον-6 είναι χαμηλότερο από το σημείο τήξης των 509 °F (265 °C) του νάιλον-6,6.

4.2.2 Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα του Nylon

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του νάιλον περιλαμβάνουν:

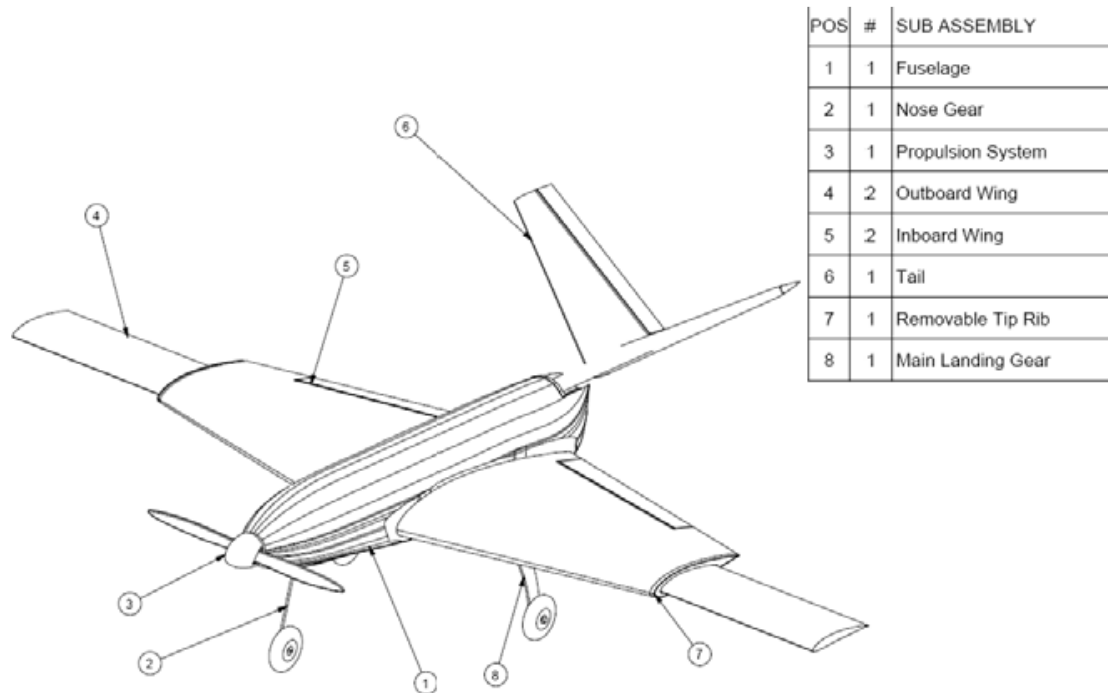
1. **Μεταβολή της στιλπνότητας:** το νάιλον έχει την ικανότητα να είναι πολύ γυαλιστερό, ημίστιλπο ή θαμπό.
2. **Σταθερότητα:** οι ίνες με την υψηλή ανθεκτικότητά τους χρησιμοποιούνται για ζώνες ασφαλείας, ελαστικά οχημάτων, στη βαλλιστική και σε άλλες χρήσεις.
3. **Μεγάλη επιμήκυνση.**
4. **Εξαιρετική αντίσταση διάβρωσης.**

5. Υψηλή ελαστικότητα.
6. Προετοιμάζει ενδύματα εύκολης φροντίδας.
7. Υψηλή αντίσταση σε έντομα, μύκητες, ζώα, μούχλα, σήψη και σε πολλά χημικά.
8. Χρήσης σε χαλιά και κάλτσες.
9. Τήκεται αντί να καίγεται.
10. Χρήση σε πολλές στρατιωτικές εφαρμογές.
11. Καλή ειδική αντοχή.
12. Διαφανές υπέρυθρο φως (-12dB).

(Bjarnason, J. E.; Chan, T. L. J.; Lee, A. W. M.; Celis, M. A.; Brown, E. R. , 2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Εδώ παρουσιάζεται ένα παράδειγμα κατασκευής, όπως αυτό του UAV Morpheus, που λαμβάνει υπόψη την αεροδυναμική και δομική σχεδίαση των πτερυγίων, της ατράκτου και της πρόσφυσης. Η συναρμολόγηση του αεροσκάφους περιλαμβάνει την εγκατάσταση της εσωτερικής δομής της ατράκτου, των εξωλέμβιων πτερυγίων και των μπλοκ ολίσθησης των φτερών, των εσωτερικών πτερυγίων, της πέδησης, του υποστρώματος και των ηλεκτρονικών. Η Εικ. 5.0 δείχνει ένα σχέδιο συναρμολόγησης ολόκληρου του αεροσκάφους (Laura Arrison, 2002-2003).



Εικόνα 5.0: Σχέδιο συναρμολόγησης UAV.

Ο σχεδιασμός του αεροσκάφους και τα συστήματα ελέγχου μηχανισμών μορφοποίησης εξετάστηκαν επίσης και ενσωματώθηκαν στον συνολικό σχεδιασμό του αεροσκάφους. Ο προκαταρκτικός και λεπτομερής σχεδιασμός των πτερυγίων απαιτήθηκε ώστε να ανταποκριθεί σε πολλές επιχειρησιακές, δομικές και αεροδυναμικές προδιαγραφές. Οι αεροδυναμικές προδιαγραφές σχετίζονται με το αεροσκάφος που επιτυγχάνει σταθερή και αποτελεσματική πτήση. Οι λειτουργικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν μεταφορά και απαιτήσεις συντήρησης. Οι κατασκευαστικές προδιαγραφές σχετίζονται με τα σχετικά πρότυπα σχεδιασμού και τα φορτία πτήσης. Οι ακόλουθες προδιαγραφές αντιμετωπίστηκαν και τηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, επεξεργασίας και διαδικασίας.

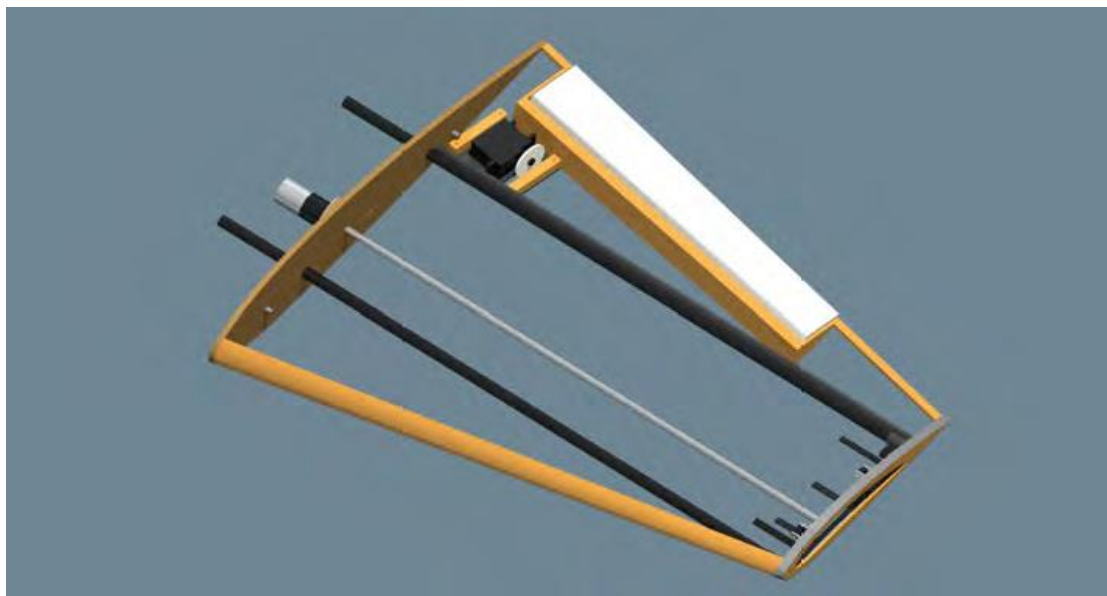
- Επιλογή κατάλληλων αεροτομών για την εσωτερική και την εξωλέμβια πτέρυγα για να παρέχουν $CL_{max} = 1.2$.
- Προσδιορισμός της απαιτούμενης εγκατεστημένης γωνίας πρόσπτωσης, i_w , ώστε να επιτευχθεί η οριζόντια στάση κατά τη διάρκεια της πτήσης και η ελαχιστοποίηση της αντίστασης.

- Υποστήριξη αεροσκάφους 8 κιλών κατά τη διάρκεια της πτήσης με κατάλληλους συντελεστές φορτίου και ασφάλειας.
- Αντοχή σε κανονικές συνθήκες χειρισμού και ελαφριές κρούσεις.
- Μεταφορά όλων των φορτίων στην άτρακτο.
- Διάθεση αποσπώμενων φτερών με σκοπό την μεταφορά.
- Ενσωμάτωση του μηχανισμού μορφοποίησης πτερυγίων.
- Ενσωμάτωση επιφανειών ελέγχου και ενεργοποιητήρες επιφάνειας ελέγχου.
- Δυνατότητα εσωτερικής πρόσβασης για συντήρηση.
- Όσο το δυνατόν πιο απλή στην κατασκευή (LauraArrison, 2002-2003).

Η δομική διάταξη της πτέρυγας σχεδιάστηκε για να ενσωματώνει τον μηχανισμό μορφοποίησης, τα δομικά μέλη και την εσωτερική πρόσβαση για συντήρηση. Η δομή του πτερυγίου αποτελείται από την εξωλέμβια πτέρυγα, το μπλοκ φτερού, την εισερχόμενη πτέρυγα και το εξάρτημα ατράκτου. Κάθε προκατασκευή σχεδιάστηκε ώστε να περιλαμβάνει δομικά μέλη που έφεραν φορτία στρέψης, κάμψης και διάτμησης.

5.1 Κατασκευή Εσωτερικού Πτερυγίου

Τα εσωτερικά φτερά αποτελούνταν από έναν πυρήνα αφρού, με ρίζα από κόντρα πλακέ, άκρο αλουμινίου, ανθρακονήματα κι ένα δέρμα από υαλοβάμβακα. Η Εικ. 5.1 δείχνει ένα συγκρότημα εσωλέμβιου πτερυγίου. Η εσωτερική πτέρυγα πρέπει να περιέχει ένα κοίλο τμήμα για την ανασυρόμενη εξωλέμβια πτέρυγα, να περιέχει ράγες οδήγησης και άλλα εξαρτήματα μηχανισμού στη νεύρωση κορυφής. Η εσωτερική σχεδίαση πτερυγίων πρέπει επίσης να επιτρέπει την εσωτερική πρόσβαση.



Εικόνα 5.1: Σχέδιο εσωλέμβιας διάταξης πτερυγίων (KevinChan, 2009).

5.1.1 Πυρήνας Αφρού

Χρησιμοποιήθηκε χειροκίνητη κοπή με θερμό σύρμα για την κοπή του αφρώδους πυρήνα για τα εσωτερικά φτερά. Λόγω της κωνικότητας των εσωλέμβιων (εσωτερικών) πτερυγίων, δύο διαφορετικά πρότυπα laminex υποβλήθηκαν σε κατεργασία CNC. Καθώς ο αφρός προερχόταν από φύλλα πάχους 50 mm και τα εσωτερικά φτερά ήταν παχύτερα από 50 mm, ένα πάνω μισό πτερύγιο και ένα κάτω μισό πτερύγιο συγκολλήθηκαν μαζί με εποξειδική ρητίνη, για να ληφθεί το κατάλληλο πάχος αφρού. Χρησιμοποιήθηκε χειροκίνητη κοπή με θερμό σύρμα για την κοπή των φτερών, καθώς είχε ήδη ανακαλυφθεί ότι η κοπή με θερμό σύρμα δεν παρήγαγε επαρκές φινίρισμα επιφάνειας.

Απαιτήθηκε μια κοιλότητα μέσα στην εσωτερική πτέρυγα για να γλιστρήσει η εξωλέμβια πτέρυγα κατά τη διαδικασία μορφοποίησης. Αυτό επιτεύχθηκε περνώντας το θερμό σύρμα μέσα από μια μικρή πιλοτική οπή που δημιουργήθηκε πριν από τη συγκόλληση των δύο μισών φτερών μεταξύ τους και με το θερμό σύρμα κόβοντας την κοιλότητα για να δημιουργηθεί ένα κοίλο εσωλέμβιο φτερό. Η κοιλότητα δημιουργήθηκε αφού το φτερό είχε επικαλυφθεί με υαλοβάμβακα, καθώς το φτερό δεν είχε δομική ακεραιότητα στο άκρο του φτερού πριν από τον υαλοπίνακα (Laura Arrison, 2002-2003).

5.1.2 Νευρώσεις

Οι εσωτερικές κι εξωτερικές νευρώσεις της ρίζας κατασκευάστηκαν από κόντρα πλακέ. Η εξωτερική πλευρά της ρίζας συγκολλήθηκε στον αφρό με εποξειδική ρητίνη και μικρομπαλόνια πριν από το γυαλί, έτσι ώστε η εξωτερική πλευρά της ρίζας να μπορεί να τοποθετηθεί στη θέση της. Η εσωτερική νεύρωση της ρίζας συνδέθηκε με την εξωτερική πλευρά της ρίζας μετά την ολοκλήρωση του υαλοπίνακα. Τα σύνθετα στηρίγματα για τη νεύρωση του άκρου από αλουμίνιο συγκολλήθηκαν στον αφρό και το υαλοβάμβακα με εποξική ρητίνη και αργότερα επιστρώθηκαν στη θέση τους. Το άκρο του νεύρου στερεώθηκε στα σύνθετα στηρίγματα με ορειχάλκινα μπουλόνια.

5.1.3 Σπαρ

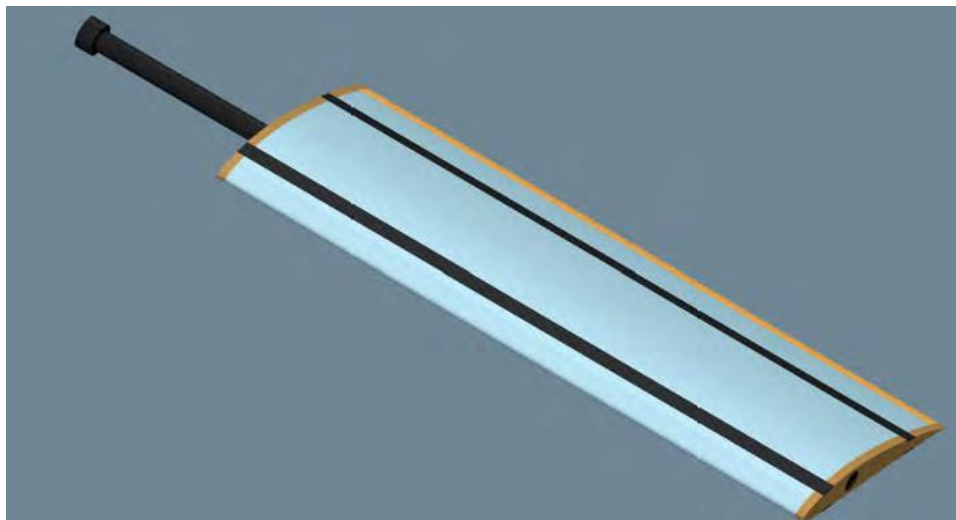
Τα λάστιχα φτερών από ανθρακονήματα κόπηκαν στο κατάλληλο μήκος με ένα σιδηροπρίονο και τρίφτηκαν έως ότου οι ράγες στο συρόμενο μπλοκ γλίστρησαν ελεύθερα πάνω από τα δοκάρια. Οι ράβδοι συγκολλήθηκαν στην εσωτερική πλευρά της ρίζας με ένα μείγμα εποξειδικής ρητίνης και τεμαχισμένης ίνας άνθρακα.

5.1.4 Δέρμα από Υαλοάνθρακα

Το εσωλέμβιο φτερό ήταν στρωμένο με τρία πολυκατευθυντικά στρώματα από υαλοβάμβακα 85 gsm. Το εσωτερικό άκρο του πτερυγίου παρέμεινε εύθραυστο λόγω της κοιλότητας στην εσωτερική πτέρυγα. Ως εκ τούτου, τρία πρόσθετα στρώματα ενίσχυσης από υαλοβάμβακα 85 gsm προστέθηκαν στις εσωλέμβιες άκρες των φτερών. Το αποτέλεσμα ήταν μια άκρη φτερού με αυξημένη αντοχή και αντοχή στη σύνθλιψη.

5.2 Κατασκευή Εξωλέμβιων Πτερυγίων

Τα εξωλέμβια φτερά και τα συρόμενα μπλοκ φτερών αποτελούνται από έναν πυρήνα αφρού, νευρώσεις από κόντρα πλακέ, ανθρακονήματα κι ένα δέρμα από υαλοβάμβακα. Η Εικ. 5.2 δείχνει ένα σχέδιο εξωλέμβιου πτερυγίου.



Εικόνα 5.2: Σχηματική δομική διάταξη της εξωλέμβιας πτέρυγας (KevinChan, 2009).

Η εξωλέμβια πτέρυγα απαιτείται να μεταφέρει αδρανειακά και αεροδυναμικά φορτία όταν βρίσκεται σε εκτεταμένη διαμόρφωση και να μεταφέρει αυτά τα φορτία στην άτρακτο. Η εξωλέμβια πτέρυγα απαιτείται επίσης να περιέχει λωρίδες κυλίνδρων κι ένα χιτώνιο ράβδου με σπείρωμα για την προστασία της εξωλέμβιας πτέρυγας από ζημιές από πρόσκρουση. Ο πυρήνας αφρού υποστηρίζει το σχήμα της αεροτομής και εμπεριέχει άλλα εξαρτήματα. Ο αφρός είναι ενισχυμένος στη ρίζα και την άκρη με νευρώσεις από κόντρα πλακέ που παρέχουν περαιτέρω στήριξη στα δομικά εξαρτήματα και προστασία από ζημιές κρούσης. Τέσσερις μονόδρομες λωρίδες άνθρακα 10 x 1,5 mm παρέχουν προστασία από την κρούση του κυλίνδρου, καθώς και φέροντα φορτία κάμψης και διάτμησης. Αυτές οι λωρίδες βρίσκονται σε θέσεις που αντιστοιχούν στη θέση χορδής των κυλίνδρων. Ο σωλήνας άνθρακα εξωτερικής διαμέτρου 12 mm λειτουργεί ως χιτώνιο για τη ράβδο με σπείρωμα και μεταφέρει τα φορτία κάμψης και διάτμησης των εξωλέμβιων πτερυγίων. Τα φορτία στρέψης μεταφέρονται από το δέρμα υαλοβάμβακα στη νεύρωση της ρίζας του κόντρα πλακέ που είναι συνδεδεμένο στο μπλοκ πτερυγίου. Τα φορτία στρέψης μεταφέρονται επίσης στο εσωλέμβιο φτερό μέσω των κυλίνδρων του μηχανισμού. Τα υλικά για τη δομή των πτερυγίων επιλέγονται με βάση τη συγκεκριμένη αντοχή, την ικανότητα κατασκευής, τη διαθεσιμότητα και το κόστος (Raymer, 2006). Απαιτείται επιπρόσθετη προσοχή για την αποφυγή της υπερβολικής χρήσης ανθρακονημάτων που μπορεί να οδηγήσει σε παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων. Ο Πίν. 5.3 παραθέτει τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα σχετικά συστατικά.

Material	Possible use
Extruded polystyrene foam	Wing core
E glass, Fibreglass	Skins
Carbon fibre	Guide rails Spars Roller strips Threaded rod sleeve Brackets Wing tongue
Plywood	Ribs Spars Servo hatches
Aluminium	Ribs Spars Brackets Wing tongue
Hardwood	Servo mounts
Epoxy-resin	Used in conjunction with fibreglass and carbon fibre Used as a bonding agent between components

Πίνακας 5.3: Υλικά εξαρτημάτων φτερού (KevinChan, 2009).

5.2.1 Δομικά στοιχεία

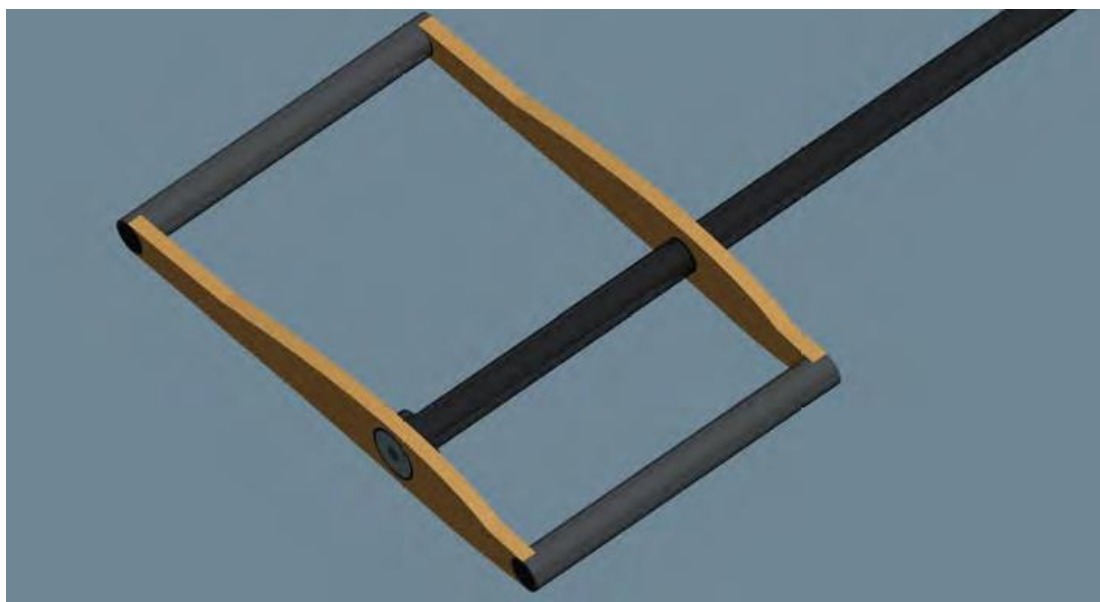
Η εσωτερική πρόσβαση στο εσωλέμβιο φτερό διευκολύνεται από αφαιρούμενη ακίδα, η οποία φαίνεται στην Εικ. 5.4. Το άκρο είναι βιδωμένο σε τέσσερις βραχίονες από ανθρακονήματα, τα οποία είναι κολλημένα με υαλοβάμβακα στο εσωτερικό του φτερού. Το αλουμίνιο θεωρήθηκε καταλληλότερο υλικό από το κόντρα πλακέ.



Εικόνα 5.4: Αφαιρούμενο άκρο (KevinChan, 2009).

Το μπλοκ πτερυγίων απαιτείται για τη μεταφορά φορτίων διάτμησης, κάμψης και ορισμένων φορτίων στρέψης στην εσωτερική πτέρυγα και τη δομή της ατράκτου, από την εξωλέμβια πτέρυγα. Το μπλοκ φτερού πρέπει επίσης να μπορεί να

ολισθαίνει στις ράγες οδήγησης του μηχανισμού. Η δομική διάταξη του μπλοκ πτερυγίων φαίνεται στην Εικ. 5.5.



Εικόνα 5.5: Σχήμα της δομικής διάταξης του μπλοκ πτερυγίων (KevinChan, 2009).

Στην Εικ. 5.6 φαίνεται η δομική διάταξη προσάρτησης ατράκτου. Η γλώσσα του πτερυγίου αποτελείται από δύο σωλήνες από ανθρακονήματα 12 mm, οι οποίοι είναι στερεωμένοι στην άτρακτο με συνολικά τέσσερις βραχίονες. Αυτοί οι σωλήνες μεταφέρουν φορτία διάτμησης και κάμψης στη δομή της ατράκτου. Οι βραχίονες τοποθετήθηκαν στο πλησιέστερο δυνατό σημείο προς το τοίχωμα της ατράκτου για να ελαχιστοποιηθεί η ροπή κάμψης της γλωττίδας και του πτερυγίου. Οι δοκοί κάθε εσωλέμβιου πτερυγίου εισάγονται μέχρι τη μέση μέσα στους σωλήνες γλώσσας πτερυγίων. Οι σωλήνες γλώσσας πτερυγίων περιορίζουν την κατακόρυφη και οριζόντια κίνηση, ενώ η αξονική κίνηση των φτερών περιορίζεται από ένα ζεύγος μπουλονιών. Τα φορτία στρέψης μεταφέρονται μέσω της γλωττίδας του πτερυγίου και των μπουλονιών στην εσωτερική δομή της ατράκτου.



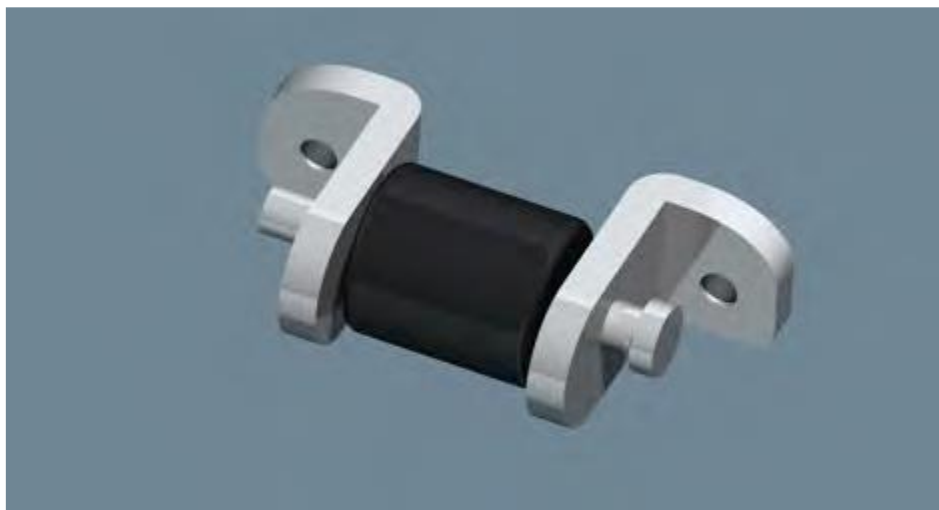
Εικόνα 5.6: Εξάρτημα ατράκτου (KevinChan, 2009).

Οι βραχίονες γλώσσας πτερυγίων, που φαίνονται στην Εικ. 5.7, σχεδιάστηκαν συντηρητικά από 6 mm πλάκας αλουμινίου, στερεωμένες στους διαμορφωτές με δύο ασφάλινα μπουλόνια 3 mm.



Εικόνα 5.7: Στηρίγματα γλώσσας φτερού (KevinChan, 2009).

Οι κύλινδροι που φαίνονται στην Εικ. 5.8 σχεδιάστηκαν για να τοποθετούνται σε αφαιρούμενη ακίδα. Οι θέσεις στερέωσης επιλέχθηκαν για να μεγιστοποιήσουν τον κατά χορδή διαχωρισμό μεταξύ των κυλίνδρων, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το μέγεθος των σημειακών φορτίων κατά τη στρέψη των εξωλέμβιων πτερυγίων.



Εικόνα 5.8: Μοντέλο κυλίνδρου (KevinChan, 2009).

Το Delrin επιλέχθηκε για το υλικό του στοιχείου κύλισης, καθώς είναι πιο μαλακό από τις λωρίδες από ανθρακονήματα στην εξωλέμβια πτέρυγα και είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό ρουλεμάν. Ο χάλυβας επιλέχθηκε για τον άξονα του κυλίνδρου ως υλικό υψηλής αντοχής, λόγω της μικρής διαμέτρου του άξονα που

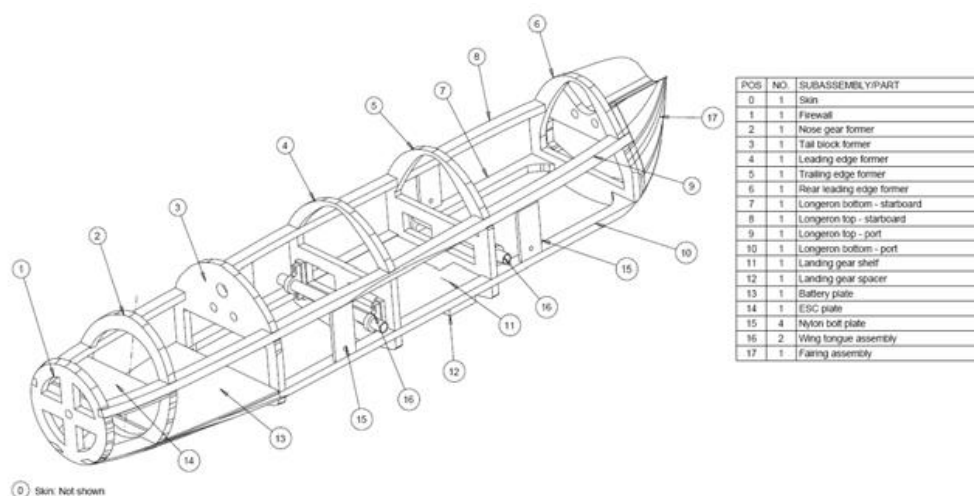
απαιτείται για την κάλυψη των γεωμετρικών περιορισμών του κυλίνδρου. Το αλουμίνιο, ο χάλυβας, το σύνθετο υλικό και το κόντρα πλακέ θεωρήθηκαν ως πιθανά υλικά στήριξης κυλίνδρων. Τα σύνθετα υλικά και το κόντρα πλακέ θεωρήθηκαν ακατάλληλα λόγω των μικρών αποστάσεων των άκρων που απαιτούνται από γεωμετρικούς περιορισμούς. Το αλουμίνιο επιλέχθηκε έναντι του χάλυβα για την υψηλή ειδική αντοχή του.

5.2.2 Φορτία πτερυγίων

Τα φτερά του αεροσκάφους υφίστανται διάτμηση, κάμψη, στρέψη και αξονικά φορτία που προκύπτουν από αεροδυναμικές δυνάμεις βάρους και δυνάμεις βάρους. Τα φορτία διάτμησης, κάμψης και στρέψης υπολογίζονται από τον μέγιστο συντελεστή φορτίου, την κατανομή ανύψωσης πτερυγίων και την κατανομή βάρους πτερυγίων. Αξονικά φορτία υποτίθεται ότι είναι αμελητέα για ένα μικρό UAV. Για κάθε περίπτωση υπάρχουν διαφορετικοί μέθοδοι υπολογισμού, η παρουσίαση των οποίων ξεφεύγει από τον σκοπό της παρούσας εργασίας.

5.3 Κατασκευή Ατράκτου

Η κατασκευή της ατράκτου συνίσταται στην κατασκευή βύσματος αφρού, fiberglass και εσωτερικής δομής. Η Εικ. 5.9 δείχνει ένα σχέδιο συναρμολόγησης της ατράκτου.



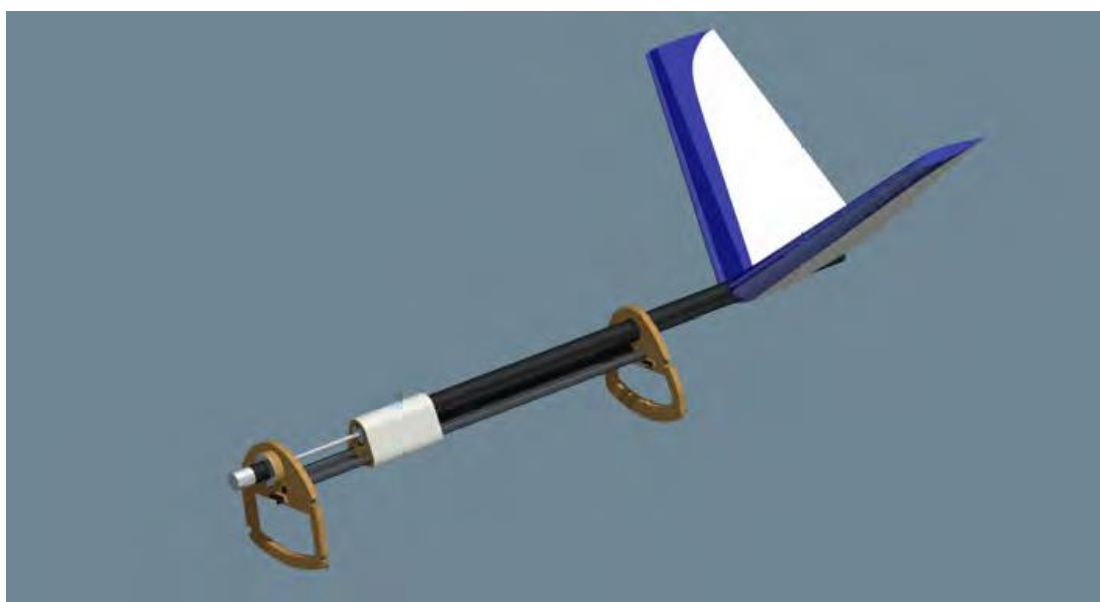
Εικόνα 5.9: Σχέδιο συναρμολόγησης ατράκτου (KevinChan, 2009).

Λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας της ατράκτου, ένα βύσμα κατασκευάστηκε από ένα μπλοκ εξωθημένου αφρού πολυστυρενίου. Καθώς ο αφρός προερχόταν από φύλλα πάχους 50 mm, πολλά φύλλα συγκολλήθηκαν μεταξύ τους με εποξειδική ρητίνη, για να δημιουργηθεί ένα συμπαγές μπλοκ κατάλληλο για κατεργασία. Το τελικό προϊόν ήταν ένα ακριβές αντίγραφο της ατράκτου που δημιουργήθηκε σε CAD. Ωστόσο, ορισμένες περιοχές του βύσματος είχαν λάκκους λόγω του ότι το μηχάνημα CNC έσπασε περιοχές αφρού. Αυτά τα ελαττώματα επιδιορθώθηκαν με τη συγκόλληση του αφρού πίσω στο βύσμα με εποξειδική ρητίνη. Ολόκληρο το βύσμα επιστρώθηκε με ένα λεπτό στρώμα εποξειδικής ρητίνης, για να μειωθεί το

πορώδες του αφρού. Οι διαμορφωτήρες της εσωτερικής δομής της ατράκτου κατασκευάζονται από κόντρα πλακέ.

5.4 Μπλοκ Ουράς

Ο σχεδιασμός της ουράς V, που φαίνεται στην Εικ. 5.10, χρησιμοποίησε μια δομή πυρήνα αφρού παρόμοια με αυτή των πτερυγίων, με τη διαφορά ότι ο αφρός και ο υαλοβάμβακας φέρουν όλα τα φορτία διάτμησης, κάμψης και στρέψης. Το μπλοκ ουράς μεταφέρει όλα τα φορτία στερέωσης από τον βραχίονα στις ράγες της ουράς. Περιέχει επίσης οδηγούς που επιτρέπουν στο μπλοκ να ολισθαίνει ομαλά κατά μήκος των σιδηροτροχιών της ουράς. Επιλέχθηκαν δύο σωλήνες από ανθρακονήματα εξωτερικής διαμέτρου 14 mm για να λειτουργήσουν ως οδηγοί μπλοκ ουράς. Αυτοί οι σωλήνες, μαζί με την ουρά μπούμα από ανθρακονήματα, μεταφέρουν φορτία κάμψης και διάτμησης μέσα στο μπλοκ. Τα φορτία στρέψης μεταφέρονται από τον αφρό και ένα μόνο στρώμα υαλοβάμβακα 85 gsm. Ο υαλοβάμβακας παρέχει επίσης προστασία χειρισμού στο μπλοκ ουράς. Επιλέχθηκε μια τριγωνική διάταξη, καθώς ελαχιστοποιούσε το ύψος και το πλάτος του απαιτούμενου μπλοκ της ουράς, επιτρέποντας τη στενότητα του πίσω μέρους της ατράκτου και μεγαλύτερο ωφέλιμο εσωτερικό όγκο.



Εικόνα 5.10: Μπούμα και V-ουρά τοποθετημένα στις ράγες της ουράς από το μπλοκ ουράς (KevinChan, 2009).

Η ουρά V και η μπούμα αντιμετωπίζουν φορτία κάμψης, διάτμησης και στρέψης. Τα υψηλότερα φορτία σε κάθε περίπτωση αντιστοιχούν σε πλήρη εκτροπή του πεδαλίου, με το αεροσκάφος να ταξιδεύει με τη μέγιστη ταχύτητα των 165 km/h. Τα μεγαλύτερα φορτία κάμψης και διάτμησης αντιστοιχούν σε έναν ελιγμό έλξης με πλήρη εκτροπή του πεδαλίου. Τα μεγαλύτερα φορτία στρέψης συμβαίνουν τη

στιγμή μιας πλήρους παραμόρφωσης του αεροπλάνου. Και οι δύο περιπτώσεις φορτίου συμβαίνουν με την ουρά στην εκτεταμένη της θέση.

Τα πτερύγια της ουράς αποτελούνται από τρία πολυκατευθυντικά στρώματα από υαλοβάμβακα 85 gsm. Η σύνδεση μεταξύ των πτερυγίων της ουράς και της μπούμας της ουράς απαιτεί ενίσχυση, καθώς η αντοχή του αφρού σε αυτή την περιοχή ήταν ανεπαρκής. Ως εκ τούτου, ένα μόνο στρώμα από υαλοβάμβακα 300 gsm προστέθηκε στη ρίζα της ουράς στην άνω και κάτω επιφάνεια της ουράς. Το αποτέλεσμα ήταν μια ουραία ρίζα με αυξημένη δύναμη.

Οι δομικές δοκοί και οι νευρώσεις θεωρήθηκαν περιττές λόγω των σημαντικά μικρότερων φορτίων διάτμησης και κάμψης που αντιμετωπίζει η ουρά V σε σύγκριση με τα φτερά. Επιλέχθηκε έτσι ένα δέρμα από υαλοβάμβακα. Δύο στρώσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη μεταφορά φορτίων κάμψης. Η ουρά-V συνδέεται απευθείας με τη μπούμα και διαθέτει προαιρετικά άκρα από μάλσα που οδηγούν και πίσω, εάν αυτό απαιτείται κατά την κατασκευή.

Ο βραχίονας κρότου έπρεπε να περιέχει μια ράβδο με σπείρωμα και προστατευτικά χιτώνια για τους σερβοαγωγούς του πηδαλίου. Τα προστατευτικά χιτώνια απαιτούσαν ελάχιστη εξωτερική διάμετρο 5 mm. Για να στεγαστούν αυτοί οι προστατευτικοί σωλήνες και μια ράβδος με σπείρωμα, παρέχοντας ταυτόχρονα επαρκή διάκενο για να μειωθεί η πιθανότητα να χτυπήσει η ράβδος με σπείρωμα στους προστατευτικούς σωλήνες, απαιτήθηκε ελάχιστη εσωτερική διάμετρος μπούμας 25 mm. Βραχίονες από ανθρακονήματα με εσωτερική διάμετρο 25 mm ήταν άμεσα διαθέσιμες, με εξωτερική διάμετρο 28 mm. Αυτές οι διαστάσεις του βραχίονα επιλέχθηκαν εν αναμονή μιας ανάλυσης τάσης, η οποία αργότερα επιβεβαίωσε την καταλληλότητα αυτού του στοιχείου. Οι προστατευτικοί σωλήνες βρίσκονταν και στις δύο πλευρές της ράβδου με σπείρωμα για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα να καταστραφούν και οι δύο σερβοαγωγοί ταυτόχρονα.

Οι ράγες ουράς μεταφέρουν όλα τα φορτία από την ουρά-V, η οποία είναι τοποθετημένη στην μπούμα, στην άτρακτο, εκτός από το ότι αποτελούν μέρος του μηχανισμού μορφοποίησης κρούσης. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκαν δύο σωλήνες από ανθρακονήματα εξωτερικής διαμέτρου 12 mm. Οι ράγες της ουράς στηρίζονται και στις τρεις κατευθύνσεις από διαμορφωτήρες ατράκτου.

Οι ράβδοι με σπείρωμα αλουμινίου, χάλυβα και νάilon θεωρήθηκαν ως υποψήφια υλικά και αναλύθηκαν με βάση το κόστος, το μέτρο ελαστικότητας, την αντοχή και το βάρος. Το νάilon ήταν το ελαφρύτερο υλικό, αλλά ήταν επίσης πιο πιθανό να λυγίσει κατά τη φόρτωση. Ο χάλυβας πρόσφερε τη μεγαλύτερη ακαμψία, αντοχή και χαμηλότερο κόστος, αλλά ήταν και ο πιο βαρύς. Το αλουμίνιο επιλέχθηκε ως συμβιβασμός μεταξύ των δύο υλικών. Τα υλικά στον Πίν. 5.11 θεωρήθηκαν κατάλληλα για χρήση στη δομή της στερέωσης.

Material	Possible use
Extruded polystyrene foam	Tail core
E glass, Fibreglass	Skins
Carbon fibre	Guide rails Spars
Plywood	Ribs Spars Servo hatches
Hardwood	Servo mounts
Epoxy-resin	Used in conjunction with fibreglass and carbon fibre Used as a bonding agent between components

Πίνακας 5.11: Υποψήφια υλικά στερέωσης (KevinChan, 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όπως φάνηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι ιδιότητες των υλικών είναι κρίσιμος παράγοντας για την επιλογή τους στις κατασκευές. Σχετικά παραδείγματα φαίνονται στους επόμενους πίνακες (Πίν. 6.1 & 6.2).

Αντοχή στον εφελκυσμό (N/mm ²)	Υλικό
1000-400	Χάλυβας
400-300	Σίδηρος
290-150	Αλουμίνιο, ελαφρά μέταλλα
100-50	Γυαλί

Πίνακας 6.1: Τιμές αντοχής στον εφελκυσμό (N/mm²) ορισμένων υλικών.

Αντοχή στην θλίψη (N/mm ²)	Υλικό
2000-800	Γυαλί
420-350	Χάλυβας
120-70	Αλουμίνιο

Πίνακας 6.2: Τιμές αντοχής στη θλίψη (N/mm²).

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι ιδιότητες τριών υλικών (αλουμίνιο, νάιλον και Plexiglass), τα οποία είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για κατασκευές μικρών ιπτάμενων και, κατά περίπτωση, υποβρύχιων οχημάτων.

6.1 Αλουμίνιο

Το Αλουμίνιο αποτελεί καλό αγωγό της θερμότητας και του ηλεκτρισμού, έχοντας το 62% της αγωγιμότητας του χαλκού, με μικρότερο ειδικό βάρος και χαμηλότερο κόστος απ' αυτόν. Με μαζικό αριθμό 27, διαθέτει 6 ραδιενεργά ισότοπα, από τα οποία μόνο το ένα είναι ευσταθές (²⁷Al) και βρίσκεται σε κάποιους μετεωρίτες, στους οποίους παράγεται από την κοσμική ακτινοβολία, ενώ χάρη στο μεγάλο χρόνο υποδιπλασιασμού του χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ραδιενέργειας ως πρότυπο και σε έρευνες διάβρωσης των κραμάτων.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

1. Χαμηλό βάρος.
2. Υψηλή αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις.
3. Αντοχή στην διάβρωση.
4. Μέσω της προσθήκης σιδήρου, χαλκού και άλλων στοιχείων κραμάτων βελτιώνονται οι μηχανικές του ιδιότητες.
5. Παρασκευάζεται εύκολα.
6. Καλός αγωγός θερμότητας και του ηλεκτρισμού.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Πυκνότητα / Ειδικό Βάρος (g.cm^{-3} at 20 °C)	2.70
Σημείο τήξης (°C)	660
Ηλεκτρική αγωγιμότητα στους 20°C (% επί της αγωγιμότητας του χαλκού)	62
Θερμική αγωγιμότητα ($\text{cal.sec}^{-1}\text{cm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	0.5
Ανακλαστικότητα (%)	90.0

Πίνακας 6.3: Ιδιότητες Αλουμινίου (ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ, 2009).

6.2 Νάιλον

Οι μηχανικές ιδιότητες του νάιλον περιλαμβάνουν αντοχή στον εφελκυσμό, αντοχή στη θλίψη, τη σκληρότητα, την κάμψη, την κάμψη με κρούση, την επαναφορά του και τη στρέψη. Τα μη ενισχυμένα πολυμερή έχουν σχετικά μικρή μηχανική αντοχή, ενώ τα ενισχυμένα πολυμερή μπορούν να συγκριθούν με ορισμένα άλλα υλικά. Οι μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών εξαρτώνται, εκτός από το μοριακό βάρος, και από τη διάταξη των μορίων στο χώρο, την πολικότητα και από τον βαθμό κρυστάλλωσης. Επιπλέον, εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, τον χρόνο που δρα η τάση, από τον βαθμό διόγκωσης και από την επίδραση στερεών μέσων πλήρωσης.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ NYLON

1. Μικρό ειδικό βάρος.
2. Πολύπλοκη ειδική συμπεριφορά.
3. Μικρή φθορά.
4. Καλές ηλεκτρικές ιδιότητες.
5. Μικρή θερμοαγωγιμότητα.
6. Οπτικές και ακουστικές ιδιότητες .
7. Ευκολία κατεργασίας και βαφή.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ NYLON

1. Μικρός συντελεστής αγωγιμότητας.
2. Μικρή συνοχή στην θερμότητα.
3. Μεγάλη επιμήκυνση κατά την θέρμανση.

Ως προς τις οπτικές ιδιότητες, παρουσιάζουν αντοχή στο φως, στις καιρικές συνθήκες και στην πάροδο του χρόνου, αντοχή στην ακτινοβολία και αντοχή στη φωτιά.

6.3 Plexiglass

Στον επόμενο σύνθετο πίνακα (Πίν. 6.4) φαίνονται οι ιδιότητες του Plexiglass.

Property	Approximate Value
Tensile strength	55 - 80 MN/m ²
Tensile Modulus	2-3 GN/m ²
Elongation at Break	<10 %
Flexural Strength	100 - 150 MN/m ²
Notched Impact Strength	< 3 kJ/m ²
Specific Heat	1.25 - 1.7 kJ/kg/°C

Glass Transition Temperature	100° C
Heat Deflection Temperature	<100° C
Coefficient of Thermal Expansion	5 - 10 x 10 ⁻⁵ /°C
Long Term Service Temperature	<100° C
Specific Gravity	1.0 to 1.2
Mould Shrinkage	0.001 - 0.005 m/m
Water Absorption	0.1 - 0.5 % (50% rh)
Transparency	Transparent

Πίνακας 6.4: Αναλυτικός πίνακας ιδιοτήτων Plexiglass (Μπολλανός, 2013).

Διαπερατότητα σε διάφορες ακτινοβολίες και συχνότητες.

- 1. Ακτινοβολίες Χ:** Όλα τα συνηθισμένα πάχη του άχρωμου Plexiglas αμέσως διαδίδουν ακτίνες-Χ. Επειδή το φύλλο Plexiglass έχει ουσιαστικά τον ίδιο συντελεστή απορρόφησης ακτινών-Χ όπως το νερό, οι ακτινογραφίες μπορούν να λαμβάνονται για να συνδέσουν το πλέγμα στα κατάγματα των οστών χωρίς απομάκρυνση των ακρυλικών ναρθήκων.
- 2. Ραδιοφωνικές συχνότητες:** Οι περισσότεροι σχηματισμοί άχρωμων Plexiglas διαδίδουν άμεσα τυποποιημένα κύματα εκπομπών, τηλεόρασης και τα περισσότερα κύματα ραντάρ του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
- 3. Υψηλή ενεργειακή ακτινοβολία:** Αν και το Plexiglas κατέχει μια ασυνήθιστη αντίσταση στον αποχρωματισμό από την έκθεση σε όλες τις συνήθεις πηγές φωτός, ειδικά τις πηγές που εκπέμπουν έντονη υψηλή ενεργειακή

ακτινοβολία, κι επιπλέον στο ορατό φως μπορεί με τον χρόνο να αποχρωματιστεί ακόμα και να κάνει ζημιά στο Plexiglas (Μπολλανός, 2013).

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ PLEXIGLASS

1. Ανθεκτικότητα.
2. Αντοχή στις καιρικές συνθήκες.
3. Καλές οπτικές ιδιότητες.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ PLEXIGLASS

1. Μειωμένη ελαστικότητα.
2. Εύθραυστο υπό συνθήκες κρούσης και η αστοχία πραγματοποιείται με θραύση.
3. Δύσκολη η χύτευση προϊόντων με λεπτά τοιχώματα, λόγω κακών καιρικών συνθηκών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται ευρέως σε πληθώρα εφαρμογών. Η χρήση του αλουμινίου για την κατασκευή προϊόντων έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, λόγω της χρήσης και της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται. Συγκεκριμένα, το αλουμίνιο βρίσκει συνεχώς αυξανόμενη εφαρμογή στην κατασκευή τρένων, αεροπλάνων, αυτοκινήτων, επιβατηγών πλοίων και διαστημικών οχημάτων, λόγω του ότι συνδυάζει χαμηλό βάρος και στιβαρότητα κατασκευής.

Το Plexiglass αποτελεί ένα υψηλής αντοχής υλικό με μεγάλο εύρος εφαρμογών. Παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά με αυτά του γυαλιού, ωστόσο σ' εφαρμογές οχημάτων υπερσχύει, τόσο για το γεγονός ότι είναι πιο οικονομικό στην παράγωγη του αλλά επειδή προσφέρει και ιδιότητες όπως η διαπερατότητα στις ακτινοβολίες-Χ, στις ραδιοφωνικές συχνότητες και στην υψηλή ενεργειακή ακτινοβολία, γεγονός που το κάνει να ξεχωρίζει, κυρίως στα εναέρια πολεμικά οχήματα.

Το Νάιλον, παρά την πολυμορφική του ικανότητα, αποτελεί ένα θερμοπλαστικό υλικό, το οποίο μπορεί να παρουσιάσει εύκολα μεταβολές υπό έντονες καιρικές συνθήκες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Clark, Jim. «Polyamides». (2015). *Chemguide*. Ανάκτηση από <https://www.chemguide.co.uk/organicprops/amides/polyamides.html>
- Andersen, H. J. (2015). *INDUFLEX*. Ανάκτηση June 2022, από http://www.support.induflex.dk/Plast_Laserskaering_acryl.aspx?Lang=en-GB#IblTensions
- Armando, R. (2007). *"Morphing aircraft technology survey."*.
- Baals, J. R. (2008). *Personal communication*.
- Bjarnason, J. E.; Chan, T. L. J.; Lee, A. W. M.; Celis, M. A.; Brown, E. R. . (2004). Ανάκτηση από <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie50723a005>
- Bondeau J., R. J. (2003). *"Design, Development and Testing of a Morphing Aspect Ration with using an Inflatable Telescope Spar."*.
- Bovais, C. S. (1994). *"Flight testing the Flying Radar Target (FLYRT)," AIAA-1994-2144, AIAA Biennial Flight*.
- Bovais, C. S. (1994). *"Flight testing the Flying Radar Target (FLYRT)," AIAA-1994-2144, AIAA Biennial Flight*.
- Breuer, J. O. (2007). *"An Inflatable Wing Using the Principle of Tensairity,"*.
- Brown, G. H. (2001). *"Inflatable Structures for Deployable Wings,"*.
- Cadogan, D. S. (2003). *"Inflatable and Rigidizable Wing Components for Unmanned"*.
- Comer, R. a. (1963). *"Deflections of an Inflated Circular Cylindrical Cantilever Beam,"* .
- E.K.Bolton. (1942). *ACS PUBLICATIONS*. Ανάκτηση από <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie50385a011>
- Foch, R. (2007). *"Deployable Aircraft Structures," DARPA Rapid Eye Industry Day Presentation*.
- GraphiteStore*. (2009). Ανάκτηση από <https://www.graphitestore.com/news>
- Hosch., W. L. (n.d.). *Brittanica*. Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/science/polymethyl-methacrylate>
- Ifju, P. G. (2002). *"Flexible-Wing-Based Micro Air Vehicles,"*.
- Institute, S. H. (2015). *Science History Institute* . Ανάκτηση από <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/wallace-hume-carothers>
- J. GILBERT KAUFMAN. (2016). *ASM INTERNATIONAL* . Ανάκτηση από ήμερα, η παραγωγή αλουμινίου ακολουθεί σε γενικές γραμμές την ακόλουθη διαδικασία:
- Johnson, B. C. (2007). *"Development of a Composite Bendable-Wing Micro Air Vehicle .*
- Kahn, A. a. (n.d.). *High Packing Efficiency EAV for Local Area Seeding,"*. Ανάκτηση από www.nrl.navy.mil/vrs/pdfs/06-1226-1085.pdf.
- Kevin Chan, C. F. (2009). 859 Design and build of a UAV with morphing configuration. Adelaide.

- Landmarks, A. C. (2015). *American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks*. Ανάκτηση από American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks
- Landon, S. (2007). *Development of Deployable Wings for Unmanned Aerial Vehicles Using Compliant Mechanisms*.
- Laura Arrison, K. B. (2002-2003). AE/ME Morphing Wing Design.
- Loh, W. K. (2009). "Behavior and Control of Dynamic Deployment of Inflatable Wings,".
- Loh, W. K. (2008). "In Flight Aspect Ratio Morphing Using Inflatable Wings,".
- Main, J. S. (1994). "Load-Deflection Behavior of Space-Based Inflatable Fabric Beams,,".
- Maljaars, J., Twilt, L., Fellingier, J. H. H., Snijder, H. H., & Soetens, F. (2010). *TU/e EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY*. Ανάκτηση από <https://research.tue.nl/en/publications/aluminium-structures-exposed-to-fire-conditions-an-overview>
- MatWeb. (2009). *MatWeb*. Ανάκτηση από <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=02ee5d43621e4c43982aece457a8abf8&ckck=1>
- Murray, J. M. (1992). "Piloted Simulation Study of a Balloon-Assisted Deployment of an Aircraft at High Altitude,".
- Murray, J. P. (2005). "Ground and Flight Evaluation of a Small Scale Inflatable-Winged Aircraft,".
- Palmer, R. J. (2001). *Encyclopedia Of Polymer Science and Technology*. Ανάκτηση από <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471440264.pst251>
- Photograph, U. N. (1958-59). *U.S. Naval Historical Center Photograph*. Ανάκτηση από <https://www.history.navy.mil/>
- Radcliffe, T. O. (2001). "Aeroelastic Response of Multi-Segmented Hinged Wings,". Ανάκτηση April
- Raymer, D. P. (2006). *American Institute of Aeronautics and Astronautics*.
- S.L., V. (2005). *Design and Analysis Methodologies for Inflated Beams," Ph.D. Dissertation, Delft*.
- Schwarcz, J. (2012). *Schwarcz, Joe*. Ανάκτηση από Schwarcz, Joe (6 November 2012), *The Right Chemistry: 108 Enlightening, Nutritious, Health-Conscious and Occasionally Bizarre Inquiries into the Science of Daily Life*, Doubleday Canada, p. 226, ISBN 978-0-385-67160-6, archived from the original on 20 April
- Science History Institute. (2015). *Conflicts in Chemistry: The Case of Plastics*. *Chemical Heritage Foundation*. Ανάκτηση από <https://www.sciencehistory.org/science-of-plastics>
- Shakhashiri, B. Z. (2007). *Science is Fun*. Ανάκτηση August 2013, από <https://www.webcitation.org/6HZyXW9z6?url=http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/Aluminum/ALUMINUM.html>

- Skillin, M. a. (2007). *“Modeling and Optimization for Morphing Wing Concept Generation,”*NASA/CR-2007-214860,.
- Stiles, P. (1994). *Roadable Aircraft From Wheels to Wings: A Flying Auto & Roadable Aircraft Patent Search, Custom Creativity,*.
- Veldman, S. L. (2005). *“Design and Analysis Methodologies for Inflated Beams,”*.
- Weisshaar, T. (2006). *“ Morphing Aircraft Technology – New Shapes for Aircraft Design,”*.
- Wolfe, A. J. (2008). *Nylon: A Revolution in Textiles*. Ανάκτηση από <https://www.sciencehistory.org/distillations/nylon-a-revolution-in-textiles?page=3>
- Wolfgang Griehl Djavaid Ruestem. (1970). *ACS PUBLICATIONS*. Ανάκτηση από <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie50723a005>
- www.alunet.gr. (2016). *alunet.gr*. Ανάκτηση από <https://www.alunet.gr/2015/12/1057v>
- www.thealuminiumstory.com. (2018). *Almost Infinite*. Ανάκτηση από <https://www.thealuminiumstory.com/>
- Yanof, J. a. (2003). *Glide and Wind Tunnel Testing and Mathematical Analysis of Wing Configurations For Morphing Wing Aircraft,”*.
- Youssef, Helmi A.· El-Hofy,, Hassan A.· Ahmed, Mahmoud H. . (2011). Ανάκτηση από https://books.google.gr/books?id=KGbNBQAAQBAJ&pg=PA350&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ, Ν. (2009). ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΑΚΟΥΛΑΣ ΕΝΣΑΚΙΣΗΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ.
- Μπολλανός, Β. (2013). *Επίδραση υδροθερμικής κατεργασίας στις μηχανικές ιδιότητες του Plexiglass*. Ηράκλειο.