



**ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΕ**

ΕΙΣ. ΚΑΤ.: ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Τ.Ε.



Πτυχιακή Εργασία με τίτλο:

**“ Κάλυμμα Radar πολεμικού αεροσκάφους Phantom RF με την
χειροποίητη μέθοδο εμποτισμού ρητίνης (Hand Lay Up)”**

Του: Σπυρίδων Δεγαΐτα

Αριθμός Μητρώου: BS05211

Επιβλέπων Καθηγητής: *Νικόλαος Ευκολίδης*

Κοζάνη 2023

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	5
1.1. Αεροναυπηγική	5
1.2. Εφαρμογές της αεροναυπηγικής	7
1.3. Μέθοδοι της αεροναυπηγικής	9
1.4. Σύνθετα Υλικά	11
Κεφάλαιο 2 – Θεωρητικό πλαίσιο	13
2.1. Πολεμικά αεροσκάφη	13
2.2. RF-4E Phantom	15
2.3. Κάλυμμα ραντάρ πολεμικού αεροπλάνου	17
2.4. Μέθοδος εμποτισμού ρητίνης	19
2.5. Μέθοδος Hand Lay Up	20
2.6. Σύνθετα υλικά στην αεροναυπηγική	22
Βιβλιογραφία	26

Περίληψη

Η εργασία αναφέρεται στη χρήση συνθετικών υλικών στην αεροναυπηγική και ειδικότερα στην κατασκευή ενός καλύμματος Radar με τη μέθοδο Hand lay up. Είναι μια σημαντική εργασία που απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και εμπειρία στη βιομηχανία αεροναυπηγικής.

Η Hand lay up είναι μια μέθοδος κατασκευής που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία αεροναυπηγικής και άλλων βιομηχανικών εφαρμογών. Η διαδικασία περιλαμβάνει την τοποθέτηση του συνθετικού υλικού στο καλούπι του καλύμματος, ακολουθούμενη από επαναλαμβανόμενη εφαρμογή ενός ρητινούχου μίγματος και άλλων ενισχυτικών υλικών, όπως υφάσματα και αφροί. Η διαδικασία αυτή είναι χειρωνακτική και απαιτεί ειδικές δεξιότητες για να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα και αντοχή του προϊόντος. Το Phantom RF είναι ένα αεροσκάφος που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει εξαιρετικές δυνατότητες ανίχνευσης και παρακολούθησης σε ραντάρ. Η κατασκευή ενός καλύμματος Radar για το Phantom RF με τη μέθοδο Hand lay up απαιτεί τη χρήση ειδικών υλικών και εξοπλισμού. Οι υάλινες χρησιμοποιούνται στο κάλυμμα ραντάρ του αεροσκάφους Phantom RF για διάφορους λόγους. Καταρχάς, οι υάλινες είναι ελαφριές και ανθεκτικές στη διάβρωση, κάτι που τις καθιστά ιδανικές για χρήση στην αεροναυπηγική βιομηχανία. Επιπλέον, έχουν καλές ιδιότητες διάχυσης του σήματος ραντάρ, που σημαίνει ότι δεν επιστρέφουν το σήμα πίσω στον ανιχνευτή ραντάρ. Αυτό είναι σημαντικό για να διατηρηθεί η αόρατη λειτουργία του αεροσκάφους και να μειωθεί η ανιχνευσιμότητα του από τους ραντάρ των εχθρικών δυνάμεων.

Η κατασκευή καλύμματος Radar για το Phantom RF με τη μέθοδο Hand lay up πρέπει να πληροί τις αυστηρές απαιτήσεις ασφαλείας που έχουν οι επιτυχημένες αεροναυπηγικές εφαρμογές. Αυτό σημαίνει ότι κάθε στρώση πρέπει να είναι τέλεια εφαρμοσμένη, ενώ τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να πληρούν τις ακριβείς τεχνικές προδιαγραφές. Επιπλέον, η κατασκευή πρέπει να γίνεται με τη μέγιστη δυνατή προσοχή για να αποφευχθούν ελαττώματα και ατέλειες που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία του ραντάρ. Το τελικό προϊόν πρέπει να είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες και στις υψηλές ταχύτητες που αναμένεται να αντιμετωπίσει το αεροσκάφος κατά τη λειτουργία του.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1. Αεροναυπηγική

Η αεροναυπηγική είναι ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με τη μελέτη της πτήσης και το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την παραγωγή, τη λειτουργία και τη συντήρηση αεροσκαφών. Ο τομέας περιλαμβάνει διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της αεροδυναμικής, της επιστήμης των υλικών, της αεροηλεκτρονικής, της πρόωσης και των κατασκευών. Η αεροναυπηγική έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην πρόοδο του ανθρώπινου πολιτισμού, επιτρέποντας στους ανθρώπους να ταξιδεύουν σε όλο τον κόσμο μέσα σε λίγες ώρες, διευκολύνοντας το παγκόσμιο εμπόριο και το εμπόριο και υποστηρίζοντας στρατιωτικές επιχειρήσεις (Bakis, Herszberg & Kardos, 2002).

Η ιστορία της αεροναυπηγικής χρονολογείται από την αρχαιότητα, όταν οι άνθρωποι παρατηρούσαν πτηνά και προσπαθούσαν να μιμηθούν την πτήση τους. Ωστόσο, μόνο στα τέλη του 18ου αιώνα έγιναν σημαντικές πρόοδοι στην κατανόηση των αρχών της αεροδυναμικής. Στους επόμενους αιώνες, πρωτοπόροι όπως οι αδελφοί Ράιτ και ο Τσαρλς Λίντμπεργκ έκαναν πρωτοποριακά επιτεύγματα στον τομέα, ανοίγοντας το δρόμο για τη σύγχρονη αεροπορική βιομηχανία (Wilson, 1984).

Η αεροναυπηγική έχει πολλές εφαρμογές, όπως η εμπορική και στρατιωτική αεροπορία, η εξερεύνηση του διαστήματος και τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (UAS) ή drones. Ο κλάδος των αερομεταφορών γνώρισε τεράστια ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες, με έναν αυξανόμενο αριθμό ατόμων που χρησιμοποιούν τις αεροπορικές μεταφορές για επαγγελματικούς λόγους και ταξίδια αναψυχής. Επιπλέον, η χρήση drones για επιχειρήσεις επιτήρησης, έρευνας και διάσωσης, ακόμη και παράδοση δεμάτων έχει γίνει πιο διαδεδομένη.

Ο σχεδιασμός του αεροσκάφους περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες, όπως η αεροδυναμική απόδοση, η δομική αντοχή, η απόδοση καυσίμου και η ασφάλεια (Παντελής, 1996). Η ανάπτυξη νέων υλικών, όπως τα σύνθετα υλικά, έχει φέρει επανάσταση στον τομέα, παρέχοντας ελαφρύτερα, ισχυρότερα και πιο ανθεκτικά εξαρτήματα. Τα αεροηλεκτρονικά, ή τα ηλεκτρονικά της αεροπορίας, διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στη λειτουργία των αεροσκαφών, με σύγχρονα αεροπλάνα που διαθέτουν προηγμένα συστήματα πλοήγησης, επικοινωνίας και ελέγχου πτήσης.

Η σημασία της αεροναυπηγικής στις στρατιωτικές επιχειρήσεις δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Τα στρατιωτικά αεροσκάφη έχουν χρησιμοποιηθεί για αποστολές αναγνώρισης, αεροπορικής υποστήριξης και βομβαρδισμών, με τις τεχνολογικές εξελίξεις να βελτιώνουν σημαντικά τις δυνατότητές τους. Επιπλέον, η εξερεύνηση του διαστήματος βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην αεροναυπηγική, με τα

διαστημόπλοια να χρησιμοποιούν αρχές αεροδυναμικής για ελιγμούς στο κενό του διαστήματος.

Συμπερασματικά, η αεροναυπηγική είναι ένας πολύπλευρος τομέας με σημαντικές εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως η αεροπορία, η εξερεύνηση του διαστήματος και οι στρατιωτικές επιχειρήσεις. Ο τομέας έχει γνωρίσει αξιοσημείωτες προόδους τις τελευταίες δεκαετίες, με νέα υλικά, τεχνολογίες και μεθόδους σχεδιασμού που οδηγούν στην πρόοδο. Καθώς ο κόσμος συνεχίζει να συνδέεται περισσότερο, η αεροναυπηγική θα παραμείνει κρίσιμο συστατικό των παγκόσμιων μεταφορών και εμπορίου, διαμορφώνοντας το μέλλον του ανθρώπινου πολιτισμού (Bakis, Herszberg & Kardos, 2002).

1.2. Εφαρμογές της αεροναυπηγικής

Οι αεροναυτικές εφαρμογές αναφέρονται στη χρήση αεροσκαφών και αεροδιαστημικών τεχνολογιών για διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένων εμπορικών, στρατιωτικών και επιστημονικών εφαρμογών. Αυτές οι εφαρμογές συνέβαλαν καθοριστικά στην προώθηση της ανθρώπινης γνώσης και εξερεύνησης και έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του σύγχρονου κόσμου (Παντελής, 1996).

Μία από τις πιο σημαντικές αεροναυτικές εφαρμογές είναι τα εμπορικά αεροπορικά ταξίδια. Οι εμπορικές αεροπορικές εταιρείες χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες αεροσκαφών για να μεταφέρουν καθημερινά εκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Η ανάπτυξη εμπορικών αεροσκαφών έχει οδηγήσει σε αυξημένη προσβασιμότητα στα ταξίδια και έχει βοηθήσει στη σύνδεση ανθρώπων και πολιτισμών από όλες τις γωνίες του πλανήτη (Spick, 2002).

Εκτός από τα εμπορικά αεροπορικά ταξίδια, οι αεροναυτικές εφαρμογές διαδραματίζουν επίσης κρίσιμο ρόλο στις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Τα στρατιωτικά αεροσκάφη, όπως τα μαχητικά αεροσκάφη, τα βομβαρδιστικά και τα αεροπλάνα επιτήρησης, έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν στρατηγικά πλεονεκτήματα σε καταστάσεις σύγκρουσης. Αυτά τα αεροσκάφη είναι εξοπλισμένα με προηγμένα αεροηλεκτρονικά και όπλα, επιτρέποντας στις στρατιωτικές δυνάμεις να διεξάγουν αποστολές επιτήρησης και αναγνώρισης, καθώς και να συμμετέχουν σε επιχειρήσεις μάχης.

Οι αεροναυτικές εφαρμογές έχουν επίσης επιστημονικές και εξερευνητικές εφαρμογές. Τα ερευνητικά αεροσκάφη χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων και τη διεξαγωγή επιστημονικών πειραμάτων σε μεγάλα ύψη, ενώ τα διαστημικά σκάφη χρησιμοποιούνται για διαπλανητική εξερεύνηση και οι δορυφορικές τεχνολογίες έχουν φέρει επανάσταση στις τηλεπικοινωνίες και τα παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (Huang, Zhang, Ramakrishna & Ma, 2006).

Επιπλέον, οι αεροναυτικές εφαρμογές έχουν επίσης σημαντικό αντίκτυπο στην οικονομία. Η αεροδιαστημική βιομηχανία απασχολεί εκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο και συνεισφέρει δισεκατομμύρια δολάρια στην παγκόσμια οικονομία κάθε χρόνο. Ο κλάδος περιλαμβάνει την κατασκευή αεροσκαφών, τις αεροπορικές δραστηριότητες και την αεροδιαστημική έρευνα και ανάπτυξη (Huang, Zhang, Ramakrishna & Ma, 2006).

Ωστόσο, οι αεροναυτικές εφαρμογές παρουσιάζουν επίσης σημαντικές περιβαλλοντικές προκλήσεις, όπως η ηχορύπανση, η ατμοσφαιρική ρύπανση και η κλιματική αλλαγή (Kelleher & Yarin, 2010). Η αεροπορική βιομηχανία εργάζεται για να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις επενδύοντας σε νέες τεχνολογίες και εφαρμόζοντας πιο βιώσιμες πρακτικές (Kothmann, Thompson & Martinez, 2014).

Συνολικά, οι αεροναυτικές εφαρμογές είχαν βαθύ αντίκτυπο στην κοινωνία και έπαιξαν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση του σύγχρονου κόσμου. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει, οι αεροναυτικές εφαρμογές θα συνεχίσουν να εξελίσσονται και να επεκτείνονται, με τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση σε πολλές πτυχές της ζωής μας, από τις μεταφορές έως την επιστημονική έρευνα έως την εθνική ασφάλεια.

1.3. Μέθοδοι της αεροναυπηγικής

Η αεροναυπηγική μηχανική είναι ο τομέας της μηχανικής που επικεντρώνεται στο σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη δοκιμή αεροσκαφών και διαστημικών σκαφών. Περιλαμβάνει μια σειρά μεθόδων και τεχνικών που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό και την κατασκευή ασφαλών και αποτελεσματικών αεροσκαφών και διαστημικών σκαφών (Huang, Zhang, Ramakrishna & Ma, 2006).

Μία από τις βασικές μεθόδους της αεροναυπηγικής μηχανικής είναι ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD). Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων εξαρτημάτων και συστημάτων αεροσκαφών. Το CAD επιτρέπει στους μηχανικούς να οπτικοποιούν και να δοκιμάζουν σχέδια πριν δημιουργηθούν φυσικά πρωτότυπα, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση του κόστους και στη βελτίωση της συνολικής αποτελεσματικότητας της διαδικασίας σχεδιασμού.

Μια άλλη σημαντική μέθοδος αεροναυπηγικής μηχανικής είναι η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA). Η FEA είναι μια αριθμητική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων, όπως οι κατασκευές αεροσκαφών, κάτω από μια σειρά διαφορετικών συνθηκών. Η FEA επιτρέπει στους μηχανικούς να εντοπίζουν πιθανές αδυναμίες και περιοχές πίεσης εντός της δομής του αεροσκάφους και να βελτιστοποιούν τον σχεδιασμό για να διασφαλίσουν ότι είναι ασφαλής και αποτελεσματικός (Kothmann, Thompson & Martinez, 2014).

Η δοκιμή αεροδυναμικής σήραγγας είναι μια άλλη βασική μέθοδος αεροναυπηγικής μηχανικής. Οι αεροσήραγγα είναι μεγάλοι θάλαμοι που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των επιπτώσεων του ανέμου σε αεροσκάφη και διαστημόπλοια. Αυτό επιτρέπει στους μηχανικούς να δοκιμάσουν τις αεροδυναμικές ιδιότητες διαφορετικών σχεδίων και να κάνουν προσαρμογές για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και τη μείωση της αντίστασης.

Εκτός από αυτές τις μεθόδους, η αεροναυπηγική μηχανική περιλαμβάνει επίσης μια σειρά υλικών και τεχνικών κατασκευής. Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται συνήθως στην κατασκευή αεροσκαφών λόγω της υψηλής αναλογίας αντοχής προς βάρος και τεχνικές κατασκευής όπως η τοποθέτηση με το χέρι και η χύτευση μεταφοράς ρητίνης χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία πολύπλοκων σύνθετων δομών (Kelleher & Yarin, 2010).

Τέλος, η αεροναυπηγική μηχανική περιλαμβάνει επίσης δοκιμές και πιστοποίηση αεροσκαφών και διαστημικών σκαφών. Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν μια σειρά από μεθόδους δοκιμών για να διασφαλίσουν ότι τα αεροσκάφη και τα διαστημόπλοια είναι ασφαλή και πληρούν τις κανονιστικές

απαιτήσεις. Αυτό περιλαμβάνει δομικές δοκιμές, δοκιμές πτήσης και προσομοιώσεις για την αξιολόγηση της απόδοσης του αεροσκάφους ή του διαστημικού σκάφους κάτω από μια σειρά διαφορετικών συνθηκών.

Συνολικά, οι μέθοδοι της αεροναυπηγικής μηχανικής είναι ποικίλες και εξελίσσονται συνεχώς. Καθώς γίνονται διαθέσιμες νέες τεχνολογίες και υλικά, οι μηχανικοί είναι σε θέση να δημιουργούν αεροσκάφη και διαστημόπλοια που είναι πιο αποτελεσματικά, ασφαλέστερα και ικανά να ξεπεράσουν τα όρια του δυνατού στα αεροπορικά και διαστημικά ταξίδια (Rodionov, Rodionov & Marchuk, 2015).

1.4. Σύνθετα Υλικά

Τα σύνθετα είναι υλικά κατασκευασμένα από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά που, όταν συνδυάζονται, δημιουργούν ένα νέο υλικό με μοναδικές ιδιότητες. Σε ένα σύνθετο, καθένα από τα συστατικά του υλικού διατηρεί τα ατομικά του χαρακτηριστικά, ενώ ο συνδυασμός υλικών παρέχει στο σύνθετο ιδιότητες ανώτερες από εκείνες των επιμέρους συστατικών του. Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία, οι κατασκευές και ο αθλητικός εξοπλισμός (Huang, Zhang, Ramakrishna & Ma, 2006).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών είναι η υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά υλικά όπως ο χάλυβας και το αλουμίνιο, τα σύνθετα υλικά μπορεί να είναι σημαντικά ελαφρύτερα διατηρώντας παράλληλα παρόμοια ή και ανώτερη αντοχή. Αυτό καθιστά τα σύνθετα υλικά ιδανικά για εφαρμογές όπου το βάρος είναι κρίσιμος παράγοντας, όπως αεροσκάφη και διαστημόπλοια.

Τα σύνθετα υλικά μπορούν επίσης να σχεδιαστούν ώστε να είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στην κόπωση, τη διάβρωση και τη ζημιά από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η υπεριώδης ακτινοβολία και η υγρασία. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογές σε σκληρά περιβάλλοντα, όπως υπεράκτιες εξέδρες άντλησης πετρελαίου ή θαλάσσιες κατασκευές (Kelleher & Yarin, 2010).

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι σύνθετων υλικών είναι τα ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά, τα οποία αποτελούνται από ένα υλικό μήτρας ενισχυμένο με ίνες. Οι ίνες μπορούν να κατασκευαστούν από μια ποικιλία υλικών, όπως άνθρακα, γυαλί και αραμίδιο (π.χ. Kevlar). Το υλικό μήτρας μπορεί να είναι ένα πολυμερές, όπως εποξειδικό ή πολυεστέρας, ή ένα μέταλλο, όπως το αλουμίνιο.

Η διαδικασία κατασκευής σύνθετων υλικών περιλαμβάνει συνήθως δύο στάδια: τοποθέτηση και σκλήρυνση. Στο layup, οι ίνες τοποθετούνται σε ένα συγκεκριμένο σχέδιο και τοποθετούνται σε ένα καλούπι ή σε ένα εργαλείο. Στη συνέχεια εισάγεται το υλικό μήτρας, είτε με χύτευση με έγχυση είτε με πλαστικοποίηση του υλικού με το χέρι πάνω από τις ίνες. Το σύνθετο στη συνέχεια ωριμάζει, συνήθως μέσω της εφαρμογής θερμότητας και πίεσης.

Μία από τις προκλήσεις με τα σύνθετα είναι το κόστος τους. Τα υλικά και οι διαδικασίες κατασκευής που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σύνθετων υλικών μπορεί να είναι πιο ακριβά από τα παραδοσιακά υλικά, καθιστώντας τα σύνθετα λιγότερο ελκυστικά για ορισμένες εφαρμογές (Kothmann, Thompson & Martinez, 2014).

Ωστόσο, οι εξελίξεις στην τεχνολογία κατασκευής, συμπεριλαμβανομένου του αυτοματισμού και της τρισδιάστατης εκτύπωσης, συμβάλλουν στη μείωση του κόστους των σύνθετων υλικών. Επιπλέον, οι μοναδικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών μπορούν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση κόστους κατά τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος, όπως μειωμένη κατανάλωση καυσίμου στα αεροσκάφη.

Συμπερασματικά, τα σύνθετα είναι υλικά κατασκευασμένα από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά που προσφέρουν μοναδικές ιδιότητες και πλεονεκτήματα. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε μια ποικιλία εφαρμογών και βιομηχανιών, όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία, οι κατασκευές και ο αθλητικός εξοπλισμός (Kothmann, Thompson & Martinez, 2014). Ενώ το κόστος των σύνθετων υλικών μπορεί να είναι υψηλότερο από τα παραδοσιακά υλικά, η πρόοδος στην τεχνολογία κατασκευής συμβάλλει στο να γίνουν τα σύνθετα υλικά πιο προσιτά και οικονομικά.

Κεφάλαιο 2 – Θεωρητικό πλαίσιο

2.1. Πολεμικά αεροσκάφη

Τα πολεμικά αεροσκάφη, γνωστά και ως στρατιωτικά αεροσκάφη, είναι αεροσκάφη που έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε στρατιωτικές επιχειρήσεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης της μάχης, της επιτήρησης, της αναγνώρισης και της μεταφοράς (Kothmann, Thompson & Martinez, 2014).

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι πολεμικών αεροσκαφών, το καθένα σχεδιασμένο για συγκεκριμένο σκοπό. Μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους πολεμικών αεροσκαφών περιλαμβάνουν:

- ✓ **Μαχητικά αεροσκάφη:** Σχεδιασμένα για μάχες αέρος-αέρος, τα μαχητικά αεροσκάφη είναι γρήγορα, ευέλικτα αεροσκάφη που είναι ικανά να εμπλέκουν άλλα αεροσκάφη σε αερομαχίες.
- ✓ **Βομβαρδιστικά:** Σχεδιασμένα για βομβαρδιστικές αποστολές μεγάλης εμβέλειας, τα βομβαρδιστικά είναι μεγάλα, βαριά αεροσκάφη που είναι ικανά να μεταφέρουν μεγάλο ωφέλιμο φορτίο βομβών και άλλων πυρομαχικών.
- ✓ **Αεροπλάνα μεταφοράς:** Σχεδιασμένα για μετακίνηση στρατευμάτων και προμηθειών, τα αεροπλάνα μεταφοράς είναι συνήθως μεγάλα, πολυκινητήρια αεροσκάφη που μπορούν να μεταφέρουν μεγάλο αριθμό επιβατών ή φορτίου.
- ✓ **Αεροπλάνα επιτήρησης και αναγνώρισης:** Σχεδιασμένα για τη συλλογή πληροφοριών, αυτά τα αεροπλάνα είναι εξοπλισμένα με μια ποικιλία αισθητήρων και καμερών για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις εχθρικές δυνάμεις.
- ✓ **Επιθετικά ελικόπτερα:** Σχεδιασμένα για επίθεση και υποστήριξη εδάφους, τα επιθετικά ελικόπτερα είναι μικρά αεροσκάφη με δυνατότητα ελιγμών που μπορούν να παρέχουν στενή αεροπορική υποστήριξη για στρατεύματα εδάφους.

Τα πολεμικά αεροπλάνα είναι συνήθως εξοπλισμένα με μια ποικιλία όπλων, συμπεριλαμβανομένων όπλων, πυραύλων και βομβών. Συχνά είναι επίσης εξοπλισμένα με προηγμένα ηλεκτρονικά συστήματα, όπως ραντάρ, GPS και συστήματα επικοινωνίας.

Η ανάπτυξη των πολεμικών αεροσκαφών οφείλεται στην ανάγκη στρατιωτικών δυνάμεων να αποκτήσουν και να διατηρήσουν την αεροπορική υπεροχή. Αυτό οδήγησε σε μια συνεχή εξέλιξη των στρατιωτικών αεροσκαφών, με κάθε νέα γενιά αεροπλάνων να είναι ταχύτερα, πιο ευέλικτα και πιο προηγμένα από την προηγούμενη (Mills & Gilchrist, 2008).

Ωστόσο, η χρήση πολεμικών αεροσκαφών σε στρατιωτικές επιχειρήσεις μπορεί επίσης να έχει σημαντικές ανθρωπιστικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Η χρήση βομβών και πυραύλων μπορεί να προκαλέσει σημαντικές ζημιές στις μη στρατιωτικές υποδομές και μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες αμάχων. Επιπλέον, η χρήση στρατιωτικών αεροσκαφών μπορεί να έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με τις εκπομπές των αεροσκαφών να συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στην κλιματική αλλαγή (Niemann & Pape, 2012).

Συνολικά, τα πολεμικά αεροσκάφη αποτελούν βασικό συστατικό των σύγχρονων στρατιωτικών επιχειρήσεων. Ωστόσο, η χρήση τους πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά για να διασφαλιστεί ότι χρησιμοποιούνται με υπεύθυνο και ηθικό τρόπο.

2.2. RF-4E Phantom

Το RF-4E Phantom είναι μια αναγνωριστική έκδοση του F-4 Phantom II, ενός μαχητικού-βομβαρδιστικού αεροσκάφους που αναπτύχθηκε από τον McDonnell Douglas (τόρα Boeing) για τον στρατό των Ηνωμένων Πολιτειών τη δεκαετία του 1950. Το RF-4E αναπτύχθηκε ειδικά για εναέριες αναγνωρίσεις και χρησιμοποιήθηκε ευρέως από πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών, της Γερμανίας, της Ελλάδας, της Ιαπωνίας, της Νότιας Κορέας και της Τουρκίας (Mills & Gilchrist, 2008).

Ακολουθούν ορισμένες αναλυτικές λεπτομέρειες σχετικά με το RF-4E Phantom:

- ✓ Σχεδιασμός και προδιαγραφές: Το RF-4E Phantom έχει μήκος 19,2 μέτρα (63 πόδια) και άνοιγμα φτερών 11,7 μέτρα (38 πόδια 4 ίντσες). Τροφοδοτείται από δύο στροβιλοκινητήρες General Electric J79, ο καθένας από τους οποίους παράγει 10.000 λίβρες ώσης. Το αεροσκάφος έχει μέγιστη ταχύτητα 2,2 Mach και μπορεί να λειτουργεί σε υψόμετρα έως και 61.000 πόδια. Το RF-4E έχει εμβέλεια περίπου 2.300 ναυτικών μιλίων (4.200 km) και μπορεί να μεταφέρει μια ποικιλία αισθητήρων αναγνώρισης, κάμερες και ηλεκτρονικό εξοπλισμό.
- ✓ Δυνατότητες αναγνώρισης: Το RF-4E Phantom είναι εξοπλισμένο με μια σειρά εξοπλισμού αναγνώρισης, συμπεριλαμβανομένων καμερών υψηλής ανάλυσης, αισθητήρων υπέρυθρων και συστημάτων ηλεκτρονικής νοημοσύνης (ELINT). Οι κάμερες του αεροσκάφους μπορούν να τραβήξουν εικόνες με ανάλυση έως και 0,3 μέτρα (1 πόδι), επιτρέποντας λεπτομερή χαρτογράφηση και αναγνώριση στόχων. Οι αισθητήρες υπέρυθρων μπορούν να ανιχνεύσουν υπογραφές θερμότητας από απόσταση, επιτρέποντας την αναγνώριση στόχων στο έδαφος ακόμη και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Τα συστήματα ELINT μπορούν να υποκλέψουν και να αναλύσουν ηλεκτρονικά σήματα, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τις επικοινωνίες και τα συστήματα ραντάρ του εχθρού.
- ✓ Επιχειρησιακή ιστορία: Το RF-4E Phantom παρουσιάστηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960 και χρησιμοποιήθηκε εκτενώς κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου για αναγνωριστικές αποστολές πάνω από το σοβιετικό έδαφος. Το αεροσκάφος χρησιμοποιήθηκε επίσης σε πολλές συγκρούσεις, όπως ο πόλεμος του Βιετνάμ, ο πόλεμος του Κόλπου και ο πόλεμος των Βαλκανίων. Σε πολλές περιπτώσεις, το RF-4E χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με άλλες πλατφόρμες αναγνώρισης, όπως μη

επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) και κατασκοπευτικούς δορυφόρους, για να παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της εχθρικής δραστηριότητας.

- ✓ Αναβαθμίσεις και εκσυγχρονισμός: Πολλά RF-4E Phantom έχουν αναβαθμιστεί και εκσυγχρονιστεί με τα χρόνια για να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής τους και να βελτιώσουν τις δυνατότητές τους. Οι αναβαθμίσεις περιλαμβάνουν νέα αεροηλεκτρονικά, αισθητήρες και κινητήρες, καθώς και δομικές βελτιώσεις για την αύξηση της αντοχής του αεροσκάφους και τη μείωση του κόστους συντήρησης. Ορισμένες χώρες, όπως η Ελλάδα και η Τουρκία, συνεχίζουν να χρησιμοποιούν το RF-4E σήμερα, ενώ άλλες έχουν αποσύρει το αεροσκάφος υπέρ νεότερων πλατφορμών αναγνώρισης.

Συνολικά, το RF-4E Phantom ήταν μια εξαιρετικά ικανή και ευέλικτη πλατφόρμα αναγνώρισης που έπαιξε σημαντικό ρόλο σε πολλές συγκρούσεις και επιχειρήσεις κατά τη διάρκεια της μεγάλης διάρκειας ζωής του. Οι προηγμένες ικανότητες αναγνώρισης και η ικανότητά του να λειτουργεί σε περιβάλλοντα υψηλής απειλής το κατέστησαν πολύτιμο πλεονέκτημα για τους στρατούς σε όλο τον κόσμο (Niemann & Pape, 2012).

2.3. Κάλυμμα ραντάρ πολεμικού αεροπλάνου

Ένα κάλυμμα ραντάρ πολεμικού αεροπλάνου, γνωστό και ως κάλυμμα απορρόφησης υλικού ραντάρ (RAM), είναι μια προστατευτική επίστρωση ή υλικό που εφαρμόζεται σε στρατιωτικά αεροσκάφη για να μειώσει την υπογραφή ραντάρ τους και να τα κάνει λιγότερο ορατά στα συστήματα ραντάρ. Το κάλυμμα έχει σχεδιαστεί για να απορροφά και να διαχέει ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία εκπέμπονται από συστήματα ραντάρ για την ανίχνευση αντικειμένων στον αέρα. Μειώνοντας την υπογραφή ραντάρ ενός αεροσκάφους, ένα κάλυμμα ραντάρ πολεμικού αεροπλάνου μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση των δυνατοτήτων του stealth και στη μείωση της ευαισθησίας του στον εντοπισμό και την παρακολούθηση από τα εχθρικά συστήματα ραντάρ (Pace, 1992).

Η σύνθεση ενός καλύμματος ραντάρ πολεμικού αεροπλάνου μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή και τις απαιτήσεις. Μερικά κοινά υλικά που χρησιμοποιούνται στα καλύμματα RAM περιλαμβάνουν ανθρακονήματα, υαλοβάμβακα και μεταλλικά σωματίδια, τα οποία συνδυάζονται με υλικό μήτρας όπως εποξειδικό ή καουτσούκ. Αυτά τα υλικά έχουν σχεδιαστεί για να απορροφούν και να διαχέουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια των κυμάτων ραντάρ, μειώνοντας τη διατομή ραντάρ (RCS) του αεροσκάφους. Το RCS είναι ένα μέτρο του μεγέθους της υπογραφής ραντάρ ενός αντικειμένου και ένα χαμηλότερο RCS υποδηλώνει ότι ένα αντικείμενο είναι λιγότερο ορατό στα συστήματα ραντάρ (Peacock, 1984).

Τα καλύμματα ραντάρ πολεμικού αεροπλάνου εφαρμόζονται συνήθως στις εξωτερικές επιφάνειες των στρατιωτικών αεροσκαφών, συμπεριλαμβανομένης της ατράκτου, των φτερών και άλλων τμημάτων που είναι πιθανό να αντανακλούν τα κύματα ραντάρ. Τα καλύμματα μπορούν να βαφτούν ή να επικαλυφθούν στην επιφάνεια του αεροσκάφους ή μπορούν να εφαρμοστούν ως προκατασκευασμένα πάνελ που είναι προσαρτημένα στο αεροσκάφος. Τα καλύμματα πρέπει να σχεδιάζονται και να εφαρμόζονται προσεκτικά ώστε να διασφαλίζεται ότι δεν παρεμποδίζουν την αεροδυναμική ή άλλα συστήματα του αεροσκάφους (Petersen & Kim, 2007).

Η χρήση καλυμμάτων ραντάρ στα αεροσκάφη χρονολογείται από τη δεκαετία του 1960, όταν ο αμερικανικός στρατός άρχισε να ερευνά τρόπους μείωσης του RCS των αεροσκαφών του. Τα πρώτα καλύμματα μείωσης RCS κατασκευάστηκαν από ένα ειδικό υλικό γνωστό ως RAM (radar absorbing material), το οποίο σχεδιάστηκε για να απορροφά τα σήματα του ραντάρ και να μειώνει το RCS του αεροσκάφους. Αυτά τα πρώιμα καλύμματα ραντάρ εφαρμόζονταν συνήθως σε συγκεκριμένες περιοχές του αεροσκάφους, όπως τα μπροστινά άκρα των πτερυγίων και οι ατράκτους.

Με την πάροδο του χρόνου, η πρόοδος στην επιστήμη των υλικών και την τεχνολογία κατασκευής

οδήγησε στην ανάπτυξη πιο προηγμένων καλυμμάτων ραντάρ. Τα σύγχρονα καλύμματα μείωσης RCS κατασκευάζονται συνήθως από σύνθετα υλικά, όπως ανθρακονήματα ή υαλοβάμβακα, που είναι σχεδιασμένα να απορροφούν ή να αντανακλούν σήματα ραντάρ. Αυτά τα καλύμματα μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγαλύτερες περιοχές του αεροσκάφους, συμπεριλαμβανομένου ολόκληρου του πλαισίου του αεροσκάφους, για να παρέχουν μια πιο ολοκληρωμένη μείωση του RCS (Rodionov, Rodionov & Marchuk, 2015).

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι καλυμμάτων ραντάρ που χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικά αεροσκάφη: ευρυζωνική και στενής ζώνης. Τα καλύμματα ευρυζωνικότητας έχουν σχεδιαστεί για να μειώνουν το RCS σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων ραντάρ, ενώ τα καλύμματα στενής ζώνης βελτιστοποιούνται για μια συγκεκριμένη συχνότητα ραντάρ. Η επιλογή του καλύμματος εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις αποστολής και τους τύπους συστημάτων ραντάρ που είναι πιθανό να συναντήσει το αεροσκάφος.

Τα καλύμματα ραντάρ εφαρμόζονται συνήθως κατά τη διαδικασία κατασκευής του αεροσκάφους. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να τοποθετηθούν εκ των υστέρων σε υπάρχοντα αεροσκάφη για να βελτιώσουν την απόδοσή τους στο RCS. Η εγκατάσταση καλυμμάτων ραντάρ μπορεί να είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί προσεκτική προσοχή στη λεπτομέρεια για να διασφαλιστεί ότι το κάλυμμα είναι σωστά ευθυγραμμισμένο και ασφαλισμένο στο αεροσκάφος (Petersen & Kim, 2007).

Εκτός από τα καλύμματα μείωσης RCS, χρησιμοποιούνται επίσης άλλες τεχνικές για τη μείωση του RCS των στρατιωτικών αεροσκαφών, συμπεριλαμβανομένης της διαμόρφωσης του πλαισίου του αεροσκάφους για την εκτροπή σημάτων ραντάρ, τη χρήση ειδικών επικαλύψεων που απορροφούν το ραντάρ και τη χρήση ηλεκτρονικών αντίμετρων για εμπλοκή ή πλαστογράφιση εχθρικών συστημάτων ραντάρ.

Συμπερασματικά, ένα κάλυμμα ραντάρ πολεμικού αεροπλάνου είναι ένας τύπος προστατευτικού καλύμματος που χρησιμοποιείται σε στρατιωτικά αεροσκάφη για τη μείωση της ορατότητάς τους στα συστήματα ραντάρ. Αυτά τα καλύμματα έχουν σχεδιαστεί για να απορροφούν ή να αντανακλούν τα σήματα ραντάρ για να κάνουν το αεροσκάφος λιγότερο ανιχνεύσιμο και πιο δύσκολο να στοχευτεί από τα εχθρικά συστήματα ραντάρ (Song, Kang & Lee, 2007). Οι πρόοδοι στην επιστήμη των υλικών και την τεχνολογία κατασκευής έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο προηγμένων καλυμμάτων ραντάρ, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγαλύτερες περιοχές του αεροσκάφους και να παρέχουν μια πιο ολοκληρωμένη μείωση του RCS.

Μέθοδος εμποτισμού ρητίνης

Η μέθοδος εμποτισμού με ρητίνη είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για την κατασκευή σύνθετων υλικών. Περιλαμβάνει τον εμποτισμό ενός ενισχυτικού υλικού, όπως υαλοβάμβακα ή ανθρακονήματα, με μια υγρή ρητίνη, όπως εποξειδικό ή πολυεστέρα, για να δημιουργηθεί ένα στερεό, ισχυρό και ελαφρύ υλικό.

Η διαδικασία ξεκινά με τη δημιουργία ενός καλούπιού, το οποίο συνήθως κατασκευάζεται από μέταλλο, πλαστικό ή σύνθετα υλικά. Το ενισχυτικό υλικό, το οποίο έχει τυπικά τη μορφή υφαντού υφάσματος, τοποθετείται στη συνέχεια στο καλούπι με ένα συγκεκριμένο σχέδιο. Η ρητίνη στη συνέχεια εισάγεται στο καλούπι μέσω μιας ή περισσότερων θυρών έγχυσης (Rodionov, Rodionov & Marchuk, 2015).

Η ρητίνη τυπικά εγχέεται στο καλούπι υπό κενό ή πίεση για να διασφαλιστεί ότι κορεστεί πλήρως το ενισχυτικό υλικό. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως χύτευση με μεταφορά ρητίνης (RTM) ή χύτευση με μεταφορά ρητίνης με τη βοήθεια κενού (VARTM). Το καλούπι στη συνέχεια ωριμάζεται, τυπικά μέσω της εφαρμογής θερμότητας, για να σκληρύνει τη ρητίνη και να δημιουργηθεί ένα συμπαγές σύνθετο τμήμα.

Η μέθοδος εμποτισμού με ρητίνη χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή εξαρτημάτων υψηλής ποιότητας, πολύπλοκου σχήματος με σταθερές μηχανικές ιδιότητες. Είναι επίσης μια σχετικά χαμηλού κόστους και αποτελεσματική μέθοδος σε σύγκριση με άλλες μεθόδους σύνθετης κατασκευής, όπως το layup των χεριών.

Ωστόσο, η μέθοδος εμποτισμού με ρητίνη έχει ορισμένους περιορισμούς. Μπορεί να είναι δύσκολος ο έλεγχος της κατανομής της ρητίνης σε όλο το ενισχυτικό υλικό, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε διακυμάνσεις στις μηχανικές ιδιότητες. Επιπλέον, η διαδικασία σκλήρυνσης μπορεί να είναι χρονοβόρα, γεγονός που μπορεί να περιορίσει τον ρυθμό παραγωγής των εξαρτημάτων. Συνολικά, η μέθοδος εμποτισμού με ρητίνη είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη και αποτελεσματική μέθοδος για την κατασκευή σύνθετων υλικών (Παντελής, 1996).

2.4. Μέθοδος Hand Lay Up

Η μέθοδος τοποθέτησης με το χέρι είναι μια χειροκίνητη διαδικασία κατασκευής σύνθετου υλικού που περιλαμβάνει τη χρήση ενισχυτικών υλικών και μιας μήτρας ρητίνης για τη δημιουργία μιας σύνθετης δομής. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως στην κατασκευή προϊόντων από υαλοβάμβακα και ανθρακονήματα, συμπεριλαμβανομένων σκαφών, πτερυγίων ανεμογεννητριών και εξαρτημάτων αεροσκαφών (Rodionov, Rodionov & Marchuk, 2015).

Η διαδικασία τοποθέτησης χεριών περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (Song, Kang & Lee, 2007):

- ✓ Προετοιμασία: Το πρώτο βήμα στη διαδικασία είναι η προετοιμασία του καλουπιού ή της επιφάνειας εργαλείων, η οποία χρησιμοποιείται για να δώσει στο σύνθετο υλικό το επιθυμητό σχήμα. Το καλούπι είναι συνήθως κατασκευασμένο από ένα σκληρό υλικό όπως μέταλλο ή πλαστικό, και επικαλύπτεται με έναν παράγοντα απελευθέρωσης για να αποτρέψει την προσκόλληση του σύνθετου στην επιφάνεια.
- ✓ Lay-up: Το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση του ενισχυτικού υλικού στην επιφάνεια του καλουπιού. Το ενισχυτικό υλικό μπορεί να έχει τη μορφή υφαντού υφάσματος, τεμαχισμένες ίνες ή ψάθες και συνήθως είναι κατασκευασμένο από υαλοβάμβακα, ανθρακονήματα ή Kevlar. Οι ίνες κόβονται στο μέγεθος και τοποθετούνται στην επιφάνεια του καλουπιού με τον επιθυμητό προσανατολισμό, συνήθως σε πολλά στρώματα, για να παρέχουν αντοχή και ακαμψία στη σύνθετη δομή.
- ✓ Εφαρμογή ρητίνης: Μόλις τοποθετηθεί το ενισχυτικό υλικό, η μήτρα ρητίνης εφαρμόζεται στις ίνες για να ενωθούν μεταξύ τους και να σχηματιστεί το σύνθετο υλικό. Η ρητίνη μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας μια βούρτσα ή ένα ρολό και είναι συνήθως ένα υγρό που αναμιγνύεται με ένα σκληρυντικό για να σκληρυνθεί και να σχηματιστεί μια στερεή δομή. Η ρητίνη εφαρμόζεται προσεκτικά για να διασφαλιστεί ότι εμποτίζει πλήρως τις ίνες και δημιουργεί ένα ομοιόμορφο στρώμα.
- ✓ Στερέωση: Το επόμενο βήμα είναι να στερεοποιήσετε το σύνθετο υλικό χρησιμοποιώντας έναν κύλινδρο ή άλλο εργαλείο για να αφαιρέσετε τυχόν θύλακες αέρα και να διασφαλίσετε ότι οι ίνες έχουν διαβραχεί πλήρως με τη ρητίνη. Αυτό βοηθά στη βελτίωση της αντοχής και της ανθεκτικότητας του σύνθετου υλικού εξαλείφοντας τα κενά και βελτιώνοντας τη σύνδεση μεταξύ των ινών και της

ρητίνης.

- ✓ Ωρίμανση: Το τελευταίο βήμα είναι να αφήσετε το σύνθετο να σκληρύνει και να σκληρύνει. Αυτό μπορεί να γίνει σε θερμοκρασία δωματίου ή το σύνθετο υλικό μπορεί να θερμανθεί για να επιταχυνθεί η διαδικασία σκλήρυνσης. Μόλις το σύνθετο σκληρυνθεί πλήρως, μπορεί να αφαιρεθεί από το καλούπι και να τελειώσει όπως θέλουμε.

Η μέθοδος τοποθέτησης χεριών είναι μια ευέλικτη και ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία για τη δημιουργία σύνθετων δομών, αλλά μπορεί να είναι χρονοβόρα και εντατική σε σχέση με άλλες μεθόδους, όπως η έγχυση ρητίνης ή η προεμπροτισμό. Ωστόσο, χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές όπου το κόστος είναι πρωταρχικό μέλημα και δεν απαιτείται παραγωγή μεγάλου όγκου (Spick, 2002).

2.5. Σύνθετα υλικά στην αεροναυπηγική

Τα σύνθετα υλικά έχουν γίνει ένα όλο και πιο σημαντικό υλικό στην αεροναυπηγική λόγω της υψηλής αναλογίας αντοχής προς βάρος, της ακαμψίας και της αντοχής τους. Στην αεροδιαστημική βιομηχανία, τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές, από μικρά εξαρτήματα αεροσκαφών έως μεγάλα δομικά μέρη. Ακολουθούν ορισμένες λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα σύνθετα υλικά στην αεροναυπηγική (Παντελής, 1996):

- ✓ Τύποι σύνθετων υλικών που χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική: Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα σύνθετα υλικά στην αεροναυπηγική είναι τα ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά, τα οποία αποτελούνται από μήτρα ρητίνης και ίνες όπως άνθρακας, γυαλί ή Kevlar. Η ίνα και η ρητίνη μπορούν να συνδυαστούν με διαφορετικούς τρόπους για να παράγουν διαφορετικούς τύπους σύνθετων υλικών, όπως μονοκατευθυντικές, υφαντές ή τεμαχισμένες ίνες.
- ✓ Οφέλη των σύνθετων υλικών στην αεροναυπηγική: Τα σύνθετα υλικά έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά υλικά όπως το αλουμίνιο στην αεροναυπηγική. Είναι πολύ ελαφρύτερα, γεγονός που μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και να αυξήσει την αυτονομία, και είναι πιο ισχυρά, γεγονός που επιτρέπει πιο αποδοτικούς σχεδιασμούς. Τα σύνθετα υλικά είναι επίσης ανθεκτικά στη διάβρωση, γεγονός που αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους και έχουν καλές ιδιότητες κόπωσης, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να αντέξουν επαναλαμβανόμενους κύκλους φόρτωσης χωρίς αστοχία.
- ✓ Εφαρμογές των σύνθετων υλικών στην αεροναυπηγική: Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία εφαρμογών στην αεροναυπηγική, συμπεριλαμβανομένων των πτερυγίων, των ατράκτων, των ατράκτων κινητήρα και του εξοπλισμού προσγείωσης. Σε πολλές περιπτώσεις, τα σύνθετα υλικά μπορούν να αντικαταστήσουν εξ ολοκλήρου τα παραδοσιακά υλικά όπως το αλουμίνιο ή τον χάλυβα, με αποτέλεσμα ελαφρύτερα και πιο αποτελεσματικά σχέδια.
- ✓ Κατασκευή σύνθετων κατασκευών: Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την κατασκευή σύνθετων κατασκευών στην αεροναυπηγική, συμπεριλαμβανομένης της τοποθέτησης με το χέρι, της περιέλιξης νήματος και της έγχυσης ρητίνης. Κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή και τις απαιτήσεις.

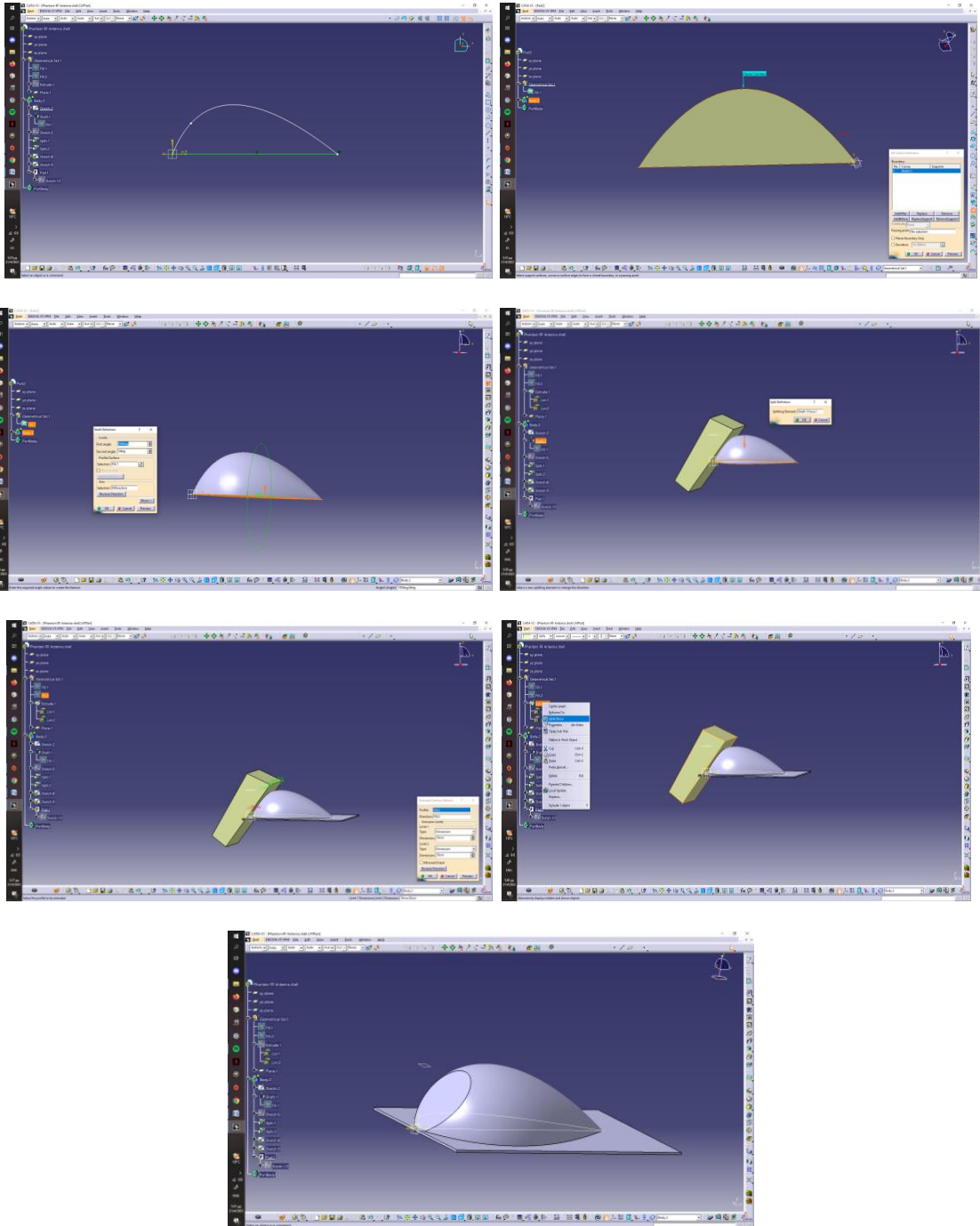
- ✓ Προκλήσεις με τα σύνθετα υλικά στην αεροναυπηγική: Αν και τα σύνθετα υλικά προσφέρουν πολλά οφέλη στην αεροναυπηγική, υπάρχουν επίσης ορισμένες προκλήσεις που σχετίζονται με τη χρήση τους. Για παράδειγμα, τα σύνθετα υλικά μπορεί να είναι πιο δύσκολο να επιθεωρηθούν για ελαττώματα ή ζημιές από τα παραδοσιακά υλικά όπως το αλουμίνιο. Επιπλέον, το κόστος κατασκευής σύνθετων κατασκευών μπορεί να είναι υψηλότερο από τα παραδοσιακά υλικά, αν και αυτό συχνά αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση καυσίμων και το κόστος συντήρησης κατά τη διάρκεια ζωής του αεροσκάφους (Wilson, 1984).

Συνολικά, τα σύνθετα υλικά είναι ένα σημαντικό υλικό στην αεροναυπηγική και είναι πιθανό να γίνουν ακόμη πιο διαδεδομένα στα μελλοντικά σχέδια αεροσκαφών, καθώς οι κατασκευαστές συνεχίζουν να αναζητούν τρόπους μείωσης του βάρους και αύξησης της απόδοσης.

Κεφάλαιο 3 – Πρακτικό Σκέλος

Κατασκευή κάλυμμα Antenna's με την μέθοδο Hand Lay Up

Για να μπορέσει να υπάρξει το κομμάτι βασική προϋπόθεση είναι να υπάρχει το σχέδιο συνεπώς θα πρέπει να το σχεδιάσουμε ώστε να μπορέσει να κατασκευαστεί το αντίστοιχο καλούπι στο μηχανουργείο. Ξεκινάμε αρχικά με τον σχεδιασμό στο πρόγραμμα CATIA V5 αφού κάναμε define body κάναμε το πρώτο μας sketch στον άξονα xy. Αφού σχεδιάσαμε με την γραμμή arc και ένα line για να κλείσει το σχέδιο. Συνεχίσαμε με Fill και στην συνέχεια με την εντολή shaft. Αμέσως μετά κάναμε ένα extrude για να μπορέσουμε να σχεδιάσουμε την καμψύλη η οποία σχηματίζεται σε εκείνο το σημείο στην συνέχεια κάναμε Split για να μπορέσουμε να αφαιρέσουμε το υλικό. Στην συνέχεια το κάναμε hide και η βασική μας γεωμετρία ήταν έτοιμη. Σε τελική φάση σχεδιάσαμε το καπάκι εφόσον σχεδιάζουμε το επάνω μέρος του καλουπιού.

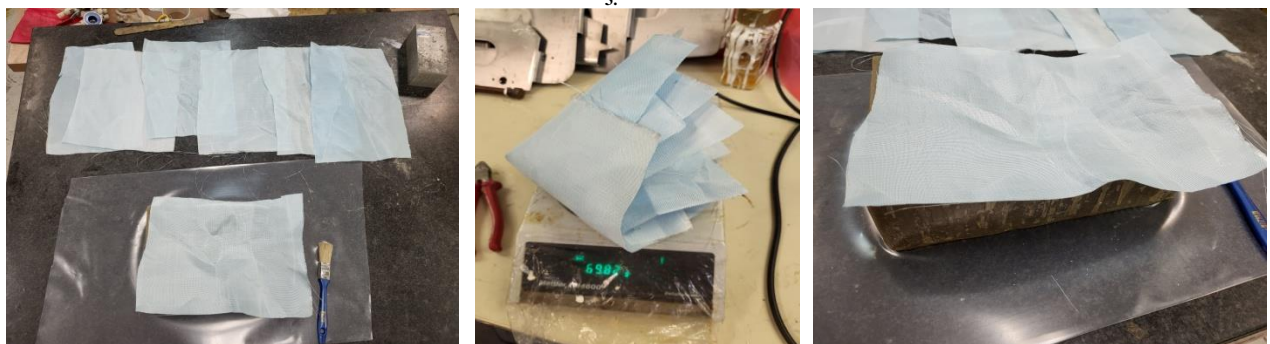


Η κατασκευή που θα παρουσιάσουμε στο πρακτικό τμήμα της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο εμποτιζόμενης ρητίνης (Hand Lay Up). Σε αυτή χρησιμοποιήθηκε Fiberglass και όχι Carbon διότι αφενός είναι ανθεκτικότερο ως υλικό, αφετέρου σε αντίθεση με το Carbon επιτρέπει ώστε το σήμα να είναι διαμπερές. Απαραίτητη προϋπόθεση για να ξεκινήσει η διαδικασία της κατασκευής είναι να έχουμε το καλούπι στη διάθεσή μας. Ξεκινάμε λοιπόν με την οργάνωση του πάγκου, όπου θα χρειαστούμε επτά (7) τεμάχια πανί fiberglass, ώστε το τελικό μας κομμάτι να έχει μέγεθος ενός χιλιοστού. Έπειτα, αφού κόψουμε τα πανιά στις διαστάσεις που χρειαζόμαστε, θα πρέπει να ζυγίσουμε τα κομμάτια (Layers) ώστε να γνωρίζουμε στην τελική μέτρηση βάρους ποιο είναι το βάρος αυτών και ποιο το βάρος της ρητίνης ξεχωριστά. Το βάρος των fiberglass υπολογίστηκε σε 6,982 γραμμάρια.

1. Παρουσίαση καλουπιών :



2. Παρουσίαση Fiberglass :



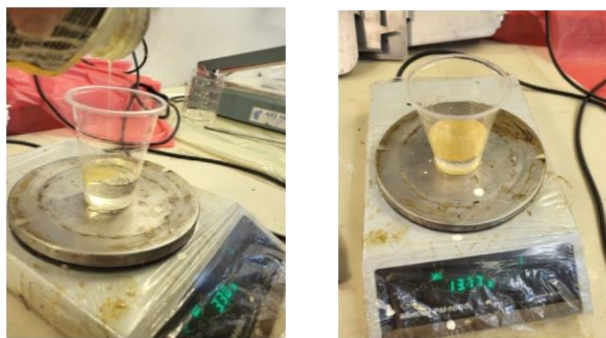
Στη συνέχεια θα χρειαστεί να μετρήσουμε τη ρητίνη την οποία θα χρησιμοποιήσουμε. Στόχος μας είναι να χρησιμοποιήσουμε τη μικρότερη δυνατή ποσότητα ρητίνης ώστε το κομμάτι μας να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ γίνεται.

Το βάρος της ρητίνης υπολογίστηκε σε 51,96 γραμμάρια. Επιπλέον, ο καταλύτης που προστέθηκε για να επιτελεστεί η σκλήρυνση της ρητίνης είχε βάρος 13,77 γραμμάρια. Σύνολο 65,73 γραμμάρια.

3. Παρουσίαση ρητίνης :



4. Προσθήκη Καταλύτη :



Εφόσον έχουν ολοκληρωθεί οι απαραίτητες μετρήσεις μπαίνουμε στο διαδικαστικό κομμάτι. Αρχικά, περνάμε από το καλούπι το αποκολλητικό (frekote 770NC) το οποίο στο τέλος θα μας βοηθήσει να ξεκαλουπώσουμε το κομμάτι μας χωρίς δυσκολία. Μόλις το τοποθετήσουμε σε όλη την επιφάνεια του καλουπιού, το αφήνουμε να απορροφηθεί για 20 λεπτά . Μόλις περάσει αυτός ο χρόνος, τοποθετούμε επάνω στο καλούπι μια στρώση ρητίνης ώστε μόλις τοποθετήσουμε το πρώτο layer να πάρει το σχήμα του καλουπιού. Τοποθετούμε στην συνέχεια το ύφασμα μας επάνω στο καλούπι και το εμποτίζουμε με ρητίνη σε όλο το μήκος και το πλάτος του έως ότου είναι εμφανής σε όλα τα σημεία. Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία και για τα επόμενα layers, προσέχοντας πάντα να μην υπάρχει κάποιο κενό ανάμεσα σε αυτά ή ακόμη και ανάμεσα στα layers και το καλούπι προκειμένου να υπάρχει μία σωστή ακολουθία για να έχουμε το τελικό αποτέλεσμα που επιθυμούμε. Συνεχίζουμε τη στρώση με την ίδια διαδικασία μέχρι να τοποθετηθεί και το τελευταίο layer.

Αφού έχουμε τοποθετήσει όλα μας τα Layers και τα έχουμε εμποτίσει με ρητίνη, τοποθετούμε ένα ειδικό φύλλο νάιλον και έπειτα βάζουμε το επάνω μέρος του καλουπιού ώστε να καλυφθεί. Κανονικά, στη συνέχεια το καλούπι μας τοποθετείται σε μία πρέσα ώστε να υπάρξει η κατάλληλη πίεση για να γίνει σωστά η ένωση των κομματιών, στη δική μας περίπτωση ωστόσο λόγω έλλειψης πρέσας προσπαθήσαμε να αντικαταστήσουμε τις δυνάμεις αυτής με κάποια φορτία τα οποία τοποθετήσαμε επάνω στο αντικείμενό μας και το αφήσαμε έτσι για κάτι παραπάνω από 24 ώρες.

5. Διαδικασία Hand Lay Up :





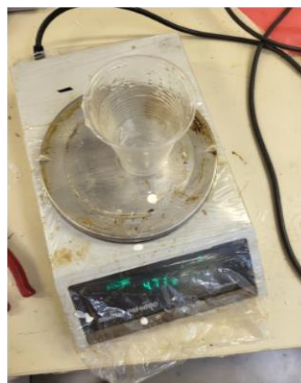
Μετά το πέρας των 24 ωρών, έφτασε η στιγμή του ξεκαλουπώματος. Μόλις το αφαιρέσαμε από το καλούπι ζυγίσαμε το κομμάτι με τα ρετάλια (περιττό ύφασμα) και έπειτα χωρίς αυτά. Παράλληλα ζυγίσαμε την περισσευόμενη ρητίνη για να δούμε εν τέλει πόσο χρειαστήκαμε για να δημιουργήσουμε το κομμάτι μας. Από το ζύγισμα της ρητίνης, αφαιρέσαμε 2 γραμμάρια που ήταν το βάρος του ποτηριού που χρησιμοποιήσαμε. Πιο αναλυτικά οι μετρήσεις ήταν οι εξής:

- Τελικό κομμάτι με ρετάλια: 117,23 γραμμάρια.
- Τελικό κομμάτι χωρίς ρετάλια: 97 γραμμάρια.
- Περισσευόμενη Ρητίνη :2,71 γραμμάρια

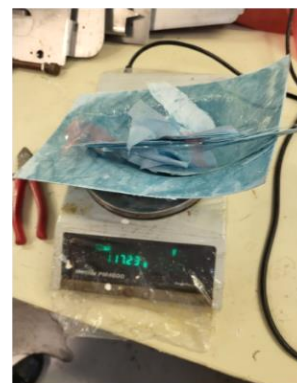
6. Trimming-Ζύγισμα :



Διαδικασία κοψίματος



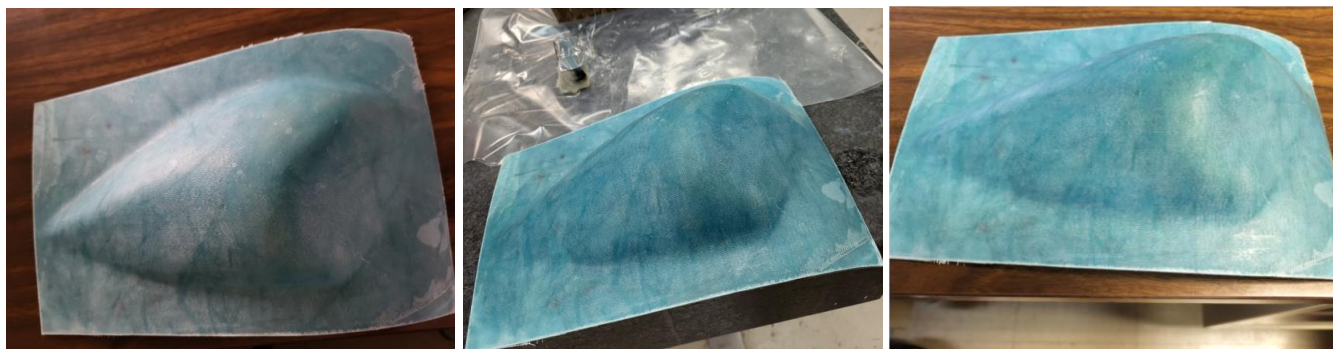
Ζύγισμα Ρητίνης



Ζύγισμα με Ρετάλια

Συμπερασματικά, χρειάστηκαν 63,02 γραμμάρια ρητίνης με καταλύτη για να υλοποιηθεί το κομμάτι μας και το τελικό του βάρος είναι 97 γραμμάρια. Εάν το κομμάτι μας προοριζόταν για παραγωγή θα ήταν εντός προδιαγραφών. Ακολουθούν φωτογραφίες από το κομμάτι στην τελική του μορφή καθώς και φωτογραφικό υλικό από το σημείο που θα γινόταν η εγκατάσταση του.

7.Τελική Μορφή:



8.Εγκατάσταση :



Αεροσκάφος Phantom-RF

Βιβλιογραφία

1. Bakis, C. E., Herszberg, I., & Kardos, J. L. (2002). Structural health monitoring of composite structures using fiber optic methods: A comprehensive review. *Composite Structures*, 57(2), 147-173.
2. Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Ramakrishna, S., & Ma, Y. X. (2006). Composites materials for aircraft structures. *Progress in Materials Science*, 56(4), 581-624.
3. Kelleher, M. J., & Yarin, A. L. (2010). Liquid molding of composites. *Annual Review of Materials Research*, 40, 331-356.
4. Kothmann, B., Thompson, R. W., & Martinez, D. R. (2014). Development and application of the hand lay-up technique for manufacturing of composite structures. *Journal of Composite Materials*, 48(22), 2679-2687.
5. Mills, J. K., & Gilchrist, M. D. (2008). *Impact damage in composite materials and structures*. Cambridge University Press.
6. Niemann, H., & Pape, H. (2012). *Aircraft systems: Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration*. John Wiley & Sons.
7. Pace, S. (1992). *McDonnell Douglas F-4 Phantom II: Production and operational data*. Motorbooks International.
8. Peacock, L. (1984). *F-4 Phantom II*. Ian Allan Ltd.
9. Petersen, R. A., & Kim, R. Y. (2007). *Airframe structural design: Practical design information and data on aircraft structures*. Wiley-Interscience.
10. Rodionov, A. V., Rodionov, A. A., & Marchuk, A. M. (2015). *Composite materials and structures in aerospace engineering*. Springer.
11. Song, J. H., Kang, K. J., & Lee, J. J. (2007). Development of a composite aircraft wing structure using hand lay-up method. *Composite Structures*, 78(1), 23-29.
12. Spick, M. (2002). *Phantom II: A pictorial history of the McDonnell Douglas F-4 Phantom*

II. Motorbooks International.

13. Wilson, J. J. (1984). *The RF-4 Phantom II*. Osprey Publishing.
14. Παντελής, Δ. (1996). *Μη Μεταλλικά Τεχνικά Υλικά, Δομή-Ιδιότητες-Τεχνολογία-Εφαρμογές*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.