



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Π.Μ.Σ. «ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΚΑΙ ΤΗΛΕΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΤΙΤΛΟΣ

ΣμηΕΑ Αναχαίτισης Κινητικής Ενέργειας

ΤΙΤΛΟΣ ΑΓΓΛΙΚΑ

KEDI – Kinetic Energy Drone Interceptor

Όνοματεπώνυμο Φοιτητή:

Φώφιλος Παναγιώτης (8096620)

Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:

Κοριαζής Αγησίλαος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2024

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Κυριαζής Αγησίλαος

Παπουτσιδάκης Μιχαήλ

Χατζόπουλος Αβραάμ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος Παναγιώτης Φώφιλος του Σάββα, με αριθμό μητρώου 8096620 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Μη Επανδρωμένα Αυτόνομα και Τηλεκατευθυνόμενα Συστήματα» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής 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 διπλώματός μου».

Ο δηλών

Ημερομηνία

25/04/2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Panagiotis Fofilos', is written over a light blue grid background.

ΣμηΕΑ ΑΝΑΧΑΙΤΙΣΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΦΩΦΙΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Μη Επανδρωμένα Αυτόνομα και Τηλεκατευθυνόμενα Συστήματα» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου προς τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Αγησίλαο Κυριαζή, για την αμέριστη στήριξη, την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θέλω να εκφράσω τη βαθιά μου εκτίμηση προς την οικογένειά μου, η οποία με υποστήριξε ανιδιοτελώς σε όλες τις φάσεις της εκπαίδευσης και της καριέρας μου. Η αγάπη, η ενθάρρυνση και η κατανόηση που μου πρόσφεραν ήταν ουσιαστικά στοιχεία για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τους φίλους μου, οι οποίοι μου προσέφεραν πολύτιμη συμπαράσταση, στήριξη και στιγμές χαλάρωσης και διασκέδασης ανάμεσα στις ατελείωτες ώρες μελέτης και εργασίας.

Τέλος, αφιερώνω αυτήν την εργασία στα αγαπημένα μου παιδιά, Γιώργο και Βίκτωρα. Είστε η πηγή της έμπνευσης και του κουράγιου μου και ελπίζω να σας εμπνεύσω με τη σειρά μου για την επίτευξη των δικών σας ονείρων και φιλοδοξιών.

Με εκτίμηση,

Παναγιώτης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική παρουσιάζει το σύστημα αναχαίτισης μη επανδρωμένων αεροσκαφών κινητικής ενέργειας (KEDI – Kinetic Energy Drone Interceptor), ένα αντίμετρο κατά της αυξανόμενης απειλής που συνιστούν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη για στόχους υψηλής αξίας. Η ανάδειξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ως πρόβλημα ασφάλειας είναι μια καλά τεκμηριωμένη πρόκληση, η οποία επηρεάζει τόσο τον στρατιωτικό όσο και τον πολιτικό τομέα. Το πρώτο κεφάλαιο θέτει τις βάσεις με τον ορισμό των HVTs (High Value Targets) και την ανασκόπηση των υφιστάμενων αμυντικών στρατηγικών, οι οποίες συχνά υπολείπονται έναντι των ευέλικτων και χαμηλά ιπτάμενων drones.

Τα επόμενα κεφάλαια εξετάζουν διάφορες τεχνολογίες κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων δικτύου, των παρεμβολών ραδιοσυχνοτήτων και της αντιαεροπορικής άμυνας, υπογραμμίζοντας τους περιορισμούς τους όσον αφορά την ανταπόκριση και την ακρίβεια. Η διατριβή εστιάζει στην ανάπτυξη του KEDI, ενός μη επανδρωμένου που είναι εμπνευσμένο από τις φυσικές στρατηγικές θηρευτών, με ιδιαίτερη έμφαση στην κινητική ενέργεια ως μέθοδο αναχαίτισης μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Η προσέγγιση αυτή υπόσχεται μια πιο αποτελεσματική απάντηση στην απειλή των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, συνδυάζοντας ταχύτητα, ακρίβεια και ελαχιστοποίηση παράπλευρων απωλειών.

Η διπλωματική περιγράφει επίσης λεπτομερώς, διαδικασίες υπολογιστικών δοκιμών, συμπεριλαμβανομένων δομικών και αεροδυναμικών αξιολογήσεων, μέσω συστημάτων CAD και CAE, διασφαλίζοντας την επιχειρησιακή βιωσιμότητα του KEDI. Τα τελευταία κεφάλαια διερευνούν την καινοτόμο εφαρμογή της προσθετικής κατασκευής (Additive Manufacturing) κοινώς γνωστής ως τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing), στην κατασκευή πρωτοτύπων του KEDI, δίνοντας έμφαση στην ταχεία ανάπτυξη και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας.

Οι καταληκτικές παρατηρήσεις αντικατοπτρίζουν τις προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν κατά την σχεδίαση του KEDI και προτείνουν μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις, τοποθετώντας τον KEDI ως μια σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία εναέριας άμυνας κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

- Drone
- Interception
- Kinetic Energy
- Countermeasure
- UAV

ABSTRACT

This thesis presents the Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) system, a countermeasure against the growing threat posed by unmanned aerial vehicles (UAVs) to high-value targets (HVTs). The rise of UAVs as a security problem is well-documented, affecting both military and civilian sectors. The first chapter lays the foundation by defining HVTs and reviewing existing defensive strategies, which often fall short against agile and low-flying drones.

Subsequent chapters explore various anti-UAV technologies, including networked systems, radio frequency jamming, and anti-aircraft defenses, highlighting their limitations in terms of response and accuracy. The thesis focuses on the development of KEDI, a drone inspired by natural predatory strategies, with particular emphasis on kinetic energy as a method of intercepting UAVs. This approach promises a more effective response to the UAV threat, combining speed, precision, and minimization of collateral damage.

The dissertation also details computational testing processes, including structural and aerodynamic evaluations through CAD and CAE systems, ensuring KEDI's operational viability. The final chapters investigate the innovative application of additive manufacturing, commonly known as 3D printing, in the construction of KEDI prototypes, emphasizing rapid development and cost-effectiveness.

The concluding observations reflect on the challenges faced in designing KEDI and suggest future research directions, positioning KEDI as a significant advancement in air defense technology against unmanned aircraft.

KEYWORDS

- Drone
- Interception
- Kinetic Energy
- Countermeasure
- UAV

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	iii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vi
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KEYWORDS.....	ix
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	xviii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xx
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Επισκόπηση των στόχων υψηλής αξίας (HVT).....	1
1.1.1 Ορισμός και σημασία των HVTs.....	1
1.1.2 Τύποι και κατηγορίες HVTs.....	1
1.1.3 Παραδείγματα από την πρόσφατη ιστορία.....	1
1.2 Κατανόηση του τοπίου των απειλών.....	2
1.2.1 Γενικές απειλές για τα HVTs.....	2
1.2.2 Εξέλιξη των απειλών με την πάροδο του χρόνου.....	2
1.2.3 Απειλές από μη κρατικούς δρώντες.....	3
1.2.4 Επίδραση της παγκοσμιοποίησης και της τεχνολογίας.....	3
1.3 Φυσικές και συμβατικές απειλές.....	4
1.3.1 Παραβιάσεις της φυσικής ασφάλειας.....	4
1.3.2 Στρατιωτικές επιθέσεις.....	4
1.3.3 Τακτικές συμβατικού πολέμου.....	5
1.3.4 Τρωτά σημεία σε πυκνές αστικές περιοχές.....	5
1.4 Απειλές στον κυβερνοχώρο και κατασκοπεία.....	6
1.4.1 Επιθέσεις στον κυβερνοχώρο σε HVAs.....	6
1.4.2 Η εξελισσόμενη φύση του πολέμου στον κυβερνοχώρο.....	6
1.4.3 Κατασκοπεία και κλοπή πληροφοριών.....	6
1.4.4 Απειλές εκ των έσω και κοινωνική μηχανική.....	6

1.5 Φυσικές καταστροφές και περιβαλλοντικές απειλές	7
1.5.1 Επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών στους HVTs.....	7
1.5.2 Περιβαλλοντικές αλλαγές και μακροπρόθεσμοι κίνδυνοι.....	7
1.5.3 Προκλήσεις στην αντιμετώπιση και αποκατάσταση καταστροφών	8
1.5.4 Βιώσιμος και ανθεκτικός σχεδιασμός.....	8
1.6 Αναδυόμενες και μη παραδοσιακές απειλές	9
1.6.1 Τεχνολογικές εξελίξεις και νέες απειλές.....	9
1.6.2 Μη συμβατικός πόλεμος και ασύμμετρες απειλές.....	9
1.6.3 Απειλές από μη κρατικούς δρώντες.....	10
1.6.4 Ο αντίκτυπος της παγκοσμιοποίησης	10
1.6.5 Η άνοδος των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη	10
1.7 Εστίαση στις απειλές από μη επανδρωμένα αεροσκάφη	11
1.7.1 Εισαγωγή στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη ως απειλή	11
1.7.2 Μοναδικές προκλήσεις που θέτουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη	12
1.7.3 Πρόσφατα περιστατικά που αφορούν μη επανδρωμένα αεροσκάφη	13
1.7.4 Ρυθμιστικές και νομικές προκλήσεις.....	15
1.7.5 Μετάβαση σε στρατηγικές άμυνας ειδικά για μη επανδρωμένα αεροσκάφη..	15
1.8 Συμπέρασμα	15
1.8.1 Ανακεφαλαίωση των απειλών για περιουσιακά στοιχεία υψηλής αξίας.....	15
1.8.2 Πολυπλοκότητα και δυναμικότητα του τοπίου απειλών	15
1.8.3 Ανάδειξη των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη	16
1.8.4 Μετάβαση σε αμυντικές στρατηγικές ειδικά για μη επανδρωμένα αεροσκάφη	16
Κεφάλαιο 2: Άμυνα κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών	17
2.1 Εισαγωγή στην άμυνα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη.....	17
2.1.2 Ανάδειξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ως πρόκληση για την ασφάλεια	17
2.1.3 Ανάγκη για εξειδικευμένες αμυντικές στρατηγικές.....	17
2.1.4 Πεδίο εφαρμογής του κεφαλαίου.....	18
2.2 Φυσικά εμπόδια και παραδοσιακά μέτρα ασφαλείας	18
2.2.1 Ο ρόλος των φυσικών μέτρων ασφαλείας	18

2.2.2	Αποτελεσματικότητα κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών	18
2.2.3	Περιορισμοί και προκλήσεις.....	18
2.2.4	Ολοκληρωμένες προσεγγίσεις ασφάλειας	19
2.3	Μηχανισμοί ηλεκτρονικής και κυβερνοάμυνας.....	19
2.3.1	Συστήματα ανίχνευσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών	19
2.3.2	Ηλεκτρονικά αντίμετρα	20
2.3.3	Στρατηγικές άμυνας στον κυβερνοχώρο.....	21
2.3.4	Προκλήσεις στην εφαρμογή	22
2.4	Κινητικές και μη κινητικές μέθοδοι.....	22
2.4.1	Δίχτυα και συσκευές εμπλοκής.....	22
2.4.2	Όπλα κατευθυνόμενης ενέργειας (DEWs – Directed Energy Weapons)	23
2.4.3	Συστήματα που βασίζονται σε βλήματα	24
2.4.4	Περιορισμοί και προκλήσεις.....	25
2.4.5	Εξισορρόπηση της αποτελεσματικότητας και της ευθύνης.....	25
2.5	Στρατηγικές εναέριας αναχαίτισης.....	26
2.5.1	Αναχαίτιση μη επανδρωμένων αεροσκαφών με μη επανδρωμένα αεροσκάφη	26
2.5.2	Τα αρπακτικά πτηνά ως φυσική λύση	26
2.5.3	Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της εναέριας αναχαίτισης.....	27
2.5.4	Ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος εναέριας άμυνας.....	27
2.6	Νομικές και ηθικές εκτιμήσεις.....	28
2.6.1	Ρυθμιστικά πλαίσια για την άμυνα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη	28
2.6.2	Ηθικές επιπτώσεις της άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη.....	28
2.6.3	Εξισορρόπηση της ασφάλειας και των πολιτικών ελευθεριών.....	28
2.6.4	Διεθνής συνεργασία και τυποποίηση.....	28
2.7	Μελέτες περίπτωσης: Εφαρμογές σε πραγματικό κόσμο	29
2.7.1	Ανάλυση αξιοσημείωτων περιστατικών	29
2.7.2	Συγκριτική ανάλυση διαφορετικών προσεγγίσεων.....	32
2.7.3	Αποτελεσματικότητα και προσαρμοστικότητα των υφιστάμενων συστημάτων	32
2.7.4	Διδάγματα και βέλτιστες πρακτικές.....	33

2.8 Περιορισμοί των σημερινών στρατηγικών άμυνας.....	33
2.8.1 Κενά στις τρέχουσες τεχνολογίες	33
2.8.2 Προκλήσεις στην εφαρμογή και τη λειτουργία	33
2.8.3 Εξελισσόμενη φύση της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ...	34
2.8.4 Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις.....	34
2.9 Αναδυόμενες τάσεις και μελλοντικές εξελίξεις	34
2.9.1 Εξελίξεις στην τεχνολογία άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη	34
2.9.2 Δυνατότητα ολοκλήρωσης και αυτοματοποίησης.....	35
2.9.3 Προκλήσεις και εκτιμήσεις για τις μελλοντικές εξελίξεις.....	35
2.9.4 Διερεύνηση μη παραδοσιακών μηχανισμών άμυνας.....	36
2.10 Συμπέρασμα	36
2.10.1 Συνοπτική παρουσίαση των στρατηγικών άμυνας κατά των μη επανδρωμένων	36
2.10.2 Αξιολόγηση των τρεχουσών τάσεων και των μελλοντικών κατευθύνσεων..	36
2.10.3 Αναστοχασμός σχετικά με την πολυπλοκότητα της άμυνας με μη επανδρωμένα.....	36
2.10.4 Μετάβαση στο KEDI.....	37
Κεφάλαιο 3: Η έννοια του συστήματος αναχαιτίσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών κινητικής ενέργειας (KEDI).....	38
3.1 Εισαγωγή στο KEDI.....	38
3.1.1 Σκοπός και συνάφεια	38
3.1.2 Καινοτόμος προσέγγιση.....	38
3.1.3 Φιλοσοφία σχεδιασμού	38
3.1.4 Επιχειρησιακό πλαίσιο.....	38
3.1.5 Περίγραμμα διπλωματικής.....	39
3.2 Επιχειρησιακή αντίληψη	39
3.2.1 Θεμελιώδεις επιχειρησιακές αρχές	39
3.2.2 Ταχεία ανάπτυξη και εμπλοκή.....	39
3.2.3 Στρατηγική κινητικής εμπλοκής.....	39
3.2.4 Προηγμένη ικανότητα ελιγμών.....	40
3.2.5 Ευφυή συστήματα και αυτονομία.....	40
3.2.6 Δυνατότητες εμπλοκής και επαναπροσέγγισης	40

3.2.7 Επιχειρησιακά σενάρια	40
3.3 Εναύσματα σχεδιασμού	41
3.3.1 Έμπνευση από τη φύση: Βιομιμητισμός στον εναέριο σχεδιασμό.....	41
3.3.2 Ενσωμάτωση της βιομιμητικής στα συστήματα ελέγχου	42
3.3.3 Σχεδιασμός για κινητική αναχαίτιση	42
3.3.4 Προσαρμοστικότητα και ευελιξία στη σχεδίαση.....	42
3.4 Απαιτήσεις και χαρακτηριστικά.....	43
3.4.1 Απαιτήσεις επιδόσεων	43
3.4.2 Μοναδικά χαρακτηριστικά για την κινητική αναχαίτιση	43
3.4.3 Αντιμετώπιση σχεδιαστικών προκλήσεων	44
3.4.4 Προσαρμοστικός σχεδιασμός για διάφορα σενάρια	44
3.5 Χρησιμοποιούμενα εξαρτήματα.....	45
3.5.1 Μονάδες EDF και διαμόρφωση κινητήρα.....	45
3.5.2 Ηλεκτρονικοί ελεγκτές ταχύτητας (ESC).....	45
3.5.3 Πηγή ισχύος.....	45
3.5.4 Συστήματα ελέγχου πτήσης και υπολογισμού.....	45
3.5.5 Υλικό αισθητήρων και απεικόνισης	46
3.6 Προκλήσεις σχεδιασμού και λύσεις.....	46
3.6.1 Αντιμετώπιση των τεχνικών προκλήσεων στο σχεδιασμό του KEDI.....	46
3.6.2 Καινοτόμες μηχανολογικές λύσεις	47
3.6.3 Ενσωμάτωση προσαρμοσμένων εξαρτημάτων.....	47
3.7 Συγκριτική ανάλυση με τα υπάρχοντα συστήματα.....	48
3.7.1 Πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών συστημάτων.....	48
3.7.2 Ενσωμάτωση στις υπάρχουσες αμυντικές υποδομές.....	48
3.7.3 Πιθανές προκλήσεις ενσωμάτωσης	49
3.8 Ηθικές και νομικές εκτιμήσεις	49
3.8.1 Συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια.....	49
3.8.2 Ηθικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη.....	49
3.8.3 Πρωτόκολλα ασφαλείας και διαχείριση κινδύνων	50
3.8.4 Ιδιωτικότητα και ασφάλεια δεδομένων	50
3.8.5 Μελλοντικές νομικές και δεοντολογικές εξελίξεις.....	50

3.9 Μελλοντικές εξελίξεις και αναβαθμίσεις.....	51
3.9.1 Επεκτασιμότητα και προσαρμοστικότητα	51
3.9.2 Τεχνολογικές εξελίξεις.....	51
3.9.3 Προσαρμογή στις εξελισσόμενες απειλές.....	51
3.9.4 Περιβαλλοντική προσαρμοστικότητα.....	52
3.9.5 Βελτιώσεις διεπαφής χρήστη και ελέγχου	52
3.9.6 Ασφάλεια και συμμόρφωση.....	52
3.10 Συμπέρασμα	53
3.10.1 Συνοπτική παρουσίαση της έννοιας και του σχεδιασμού του KEDI.....	53
3.10.2 Αναστοχασμός σχετικά με τις προκλήσεις και τις λύσεις σχεδιασμού	53
3.10.3 Ο ρόλος του KEDI στις μελλοντικές αμυντικές στρατηγικές UAV	54
3.10.4 Μετάβαση σε λεπτομερή σχεδιασμό και μεθοδολογία.....	54
Κεφάλαιο 4: Σχεδίαση και μεθοδολογία.....	55
4.1 Εισαγωγή.....	55
4.1.1 Λογισμικό σχεδίασης – CAD	55
4.1.2 Επιλογή των επιμέρους υλικών.....	55
4.1.3 Φιλοσοφία σχεδίασης	56
4.2 Σχεδίαση υποσυστημάτων	57
4.2.1 Κινητήρες (EDF 70mm 4S 2800KV 12 Blade CW & CCW)	57
4.2.2 Ηλεκτρονικοί ελεγκτές κινητήρων (ESC 100A 2 – 6S)	60
4.2.3 Μπαταρία πολυμερών λιθίου (LiPo Battery 6.000 mAh 14.8V 45c).....	62
4.2.4 Ελεγκτής πτήσης (NAVIGATOR) και Raspberry Pi4.....	64
4.2.5 Κάμερα υψηλής ευκρίνειας (Raspberry Pi HQ Camera).....	65
4.2.5 Κεραία τηλεμετρίας (Sik Telemetry V3).....	67
4.3 Σχεδίαση της ατράκτου (FUSELAGE).....	68
4.3.1 Σχεδιαστική προσέγγιση	68
4.3.2 Κάτω μέρος ατράκτου (LOWER FUSELAGE)	68
4.3.3 Άνω μέρος ατράκτου (UPPER FUSELAGE).....	70
4.4 Σχεδίαση των πτερύγων (WINGS)	72
4.4.1 Σχεδιαστική προσέγγιση	72
4.4.2 Δεξιά και αριστερή πτέρυγα (RH & LH WING).....	73

4.4.3 Άνω και κάτω πτέρυγα (UPPER & LOWER WING)	74
4.5 Αεραγωγοί κινητήρων (ENGINE DUCTS)	75
4.5.1 Σχεδιαστική προσέγγιση	75
4.5.2 Τμήμα έδρασης πτέρυγας	75
4.6 Σύνοψη σχεδίασης.....	77
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα Δοκιμών του KEDI.....	78
5.1 Εισαγωγή.....	78
5.2 Μεθοδολογία Δοκιμών.....	78
5.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	79
5.3.1 Αποτελέσματα Δοκιμής Modal Frequencies	79
5.3.2 Αποτελέσματα Δοκιμής Static Stress	79
5.3.3 Αποτελέσματα Δοκιμής Πρόσκρουσης	80
5.4 Συμπεράσματα.....	82
Κεφάλαιο 6: Τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing) και πρωτότυπο	83
6.1 Εισαγωγή.....	83
6.2 Προετοιμασία των 3D Μοντέλων για Εκτύπωση	83
6.3 Χρήση του Λογισμικού Slicing CURA	84
6.3.1 Εισαγωγή και Προσαρμογή των Αρχείων STL	84
6.3.2 Βελτιστοποίηση της Εκτύπωσης.....	85
6.3.4 Προεπισκόπηση και Τελικές Ρυθμίσεις.....	85
6.4 Διαδικασία Εκτύπωσης	86
6.4.1 Εκκίνηση της Εκτύπωσης.....	86
6.4.2 Παρακολούθηση και Ρύθμιση.....	87
6.4.3 Λήψη Μέτρων για Τυχόν Προβλήματα.....	88
6.4.4 Ολοκλήρωση και Αφαίρεση του Εκτυπωμένου Αντικειμένου.....	88
6.4.5 Αξιολόγηση της Εκτύπωσης.....	90
6.5 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση	90
6.5.1 Παρουσίαση του Τελικού Εκτυπωμένου Μοντέλου	90
6.5.2 Αξιολόγηση της Ποιότητας της Εκτύπωσης.....	91
6.5.3 Συμπεράσματα σχετικά με την Απόδοση του 3D Εκτυπωτή και του Υλικού PLA	91

6.6 Συμπεράσματα.....	92
7. Συμπεράσματα και Προοπτικές	93
7.1 Συνοπτική Ανασκόπηση της Εργασίας	93
7.2 Επιτεύγματα και Προκλήσεις.....	93
7.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις και Επεκτάσεις	94
7.4 Εφαρμογές στην Αντιμετώπιση Απειλών	95
7.5 Τελικά Σχόλια	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97
ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	103
ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1 - Η επίθεση στους Δίδυμους Πύργους το 2001	3
Εικόνα 2 - Πυραυλικό πλήγμα εναντίον κτηρίου	5
Εικόνα 3 - Τα αποτελέσματα του τυφώνα Κατρίνα στις ΗΠΑ	8
Εικόνα 4 - Παράδειγμα χρήσης IED εναντίον στρατιωτικής φάλαγγας.....	9
Εικόνα 5 - Παραστρατιωτικές ομάδες (μη κρατικοί δρώντες)	10
Εικόνα 6 - Άφεση βλήματος από UAV Predator	11
Εικόνα 7 - Drone τροποποιημένο για χρήση εκρηκτικού μηχανισμού.....	13
Εικόνα 8 - Η απόπειρα εναντίον του προέδρου της Βενεζουέλας.....	14
Εικόνα 9 - Επίθεση με drone εναντίον των εγκαταστάσεων της Aramco	14
Εικόνα 10 - Σύστημα εντοπισμού drone με RADAR	20
Εικόνα 11 - Σύστημα παρεμβολών drone	21
Εικόνα 12 - Σύστημα αναχαίτισης drone με δίχτυα.....	23
Εικόνα 13 - Γραφιστική απεικόνιση χρήσης DEW εναντίον UAV	24
Εικόνα 14 - Σύστημα αντιαεροπορικής άμυνας εναντίον UAV και drone.....	25
Εικόνα 15 - Σύστημα αναχαίτισης κινητικής ενέργειας της εταιρείας MARSS	26
Εικόνα 16 - Χρήση αρπακτικού πτηνού για τη καταστροφή drone	27
Εικόνα 17 - Οι επιπτώσεις του περιστατικού στο αεροδρόμιο του Gatwick.....	30
Εικόνα 18 - Απεικόνιση ολοκληρωμένου συστήματος άμυνας στρατιωτικών εγκαταστάσεων εναντίον drone και UAV	31
Εικόνα 19 - Γεράκι πετρίτης χτυπάει το θήραμά του χρησιμοποιώντας τη κινητική του ενέργεια.....	41
Εικόνα 20- Κινητήρας EDF 70mm.....	58
Εικόνα 21- Κινητήρας EDF 70mm - Πίσω όψη	58
Εικόνα 22- Πίνακας προδιαγραφών κινητήρα EDF 70mm	59
Εικόνα 23- Διαγράμματα Cl & Cd αεροτομής CLARK Y	60
Εικόνα 24- Πίνακας προδιαγραφών ελεγκτή κινητήρων.....	61
Εικόνα 25- ESC 100A.....	61
Εικόνα 26- Σχεδίαση ESC στο FUSION 360	62
Εικόνα 27- Προδιαγραφές μπαταρίας λιθίου.....	63
Εικόνα 28- Σχεδίαση μπαταρίας λιθίου στο FUSION 360.....	63
Εικόνα 29- Τοποθέτηση μπαταρίας εντός του κάτω μέρους της ατράκτου	64
Εικόνα 30- Τοποθέτηση ελεγκτή πτήσης και Raspberry Pi4 εντός του κάτω μέρους της ατράκτου	65
Εικόνα 31- Εισαγωγή σχεδίου του ελεγκτή NAVIGATOR και του Raspberry Pi4.....	65
Εικόνα 32- Camera Raspberry HQ	66
Εικόνα 33- Τοποθέτηση της κάμερας στο εμπρός μέρος της ατράκτου.....	67
Εικόνα 34- Τοποθέτηση κεραίας τηλεμετρίας.....	68
Εικόνα 35- Κάτω μέρος ατράκτου συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών.....	69

Εικόνα 36- Κάτω όψη του κάτω μέρος ατράκτου	69
Εικόνα 37- Επάνω όψη του κάτω μέρους ατράκτου	70
Εικόνα 38- Επάνω μέρος ατράκτου	71
Εικόνα 39- Εσωτερική όψη επάνω μέρους ατράκτου	71
Εικόνα 40- Διαγράμματα Cl & Cd αεροτομής NACA 0012	73
Εικόνα 41- Δεξιά πτέρυγα και αεραγωγός κινητήρα.....	74
Εικόνα 42- Δεξιά και επάνω πτέρυγα.....	74
Εικόνα 43 - Πτέρυγες τοποθετημένες στο επάνω μέρος ατράκτου	75
Εικόνα 44 - Αεραγωγός κινητήρα.....	76
Εικόνα 45 - Τομή αεραγωγού με τον κινητήρα τοποθετημένο.....	76
Εικόνα 46 - Mode 3 31.703 Hz Modal Displacement	79
Εικόνα 47 - Stress test 1.77mm displacement	80
Εικόνα 48 - Μέγιστη ένταση δύναμης von mises 10.815 MPa	81
Εικόνα 49 - Εισαγωγή κάτω μέρους ατράκτου στο λογισμικό CURA.....	85
Εικόνα 50 - Προεπισκόπηση στρωμάτων εκτύπωσης	86
Εικόνα 51 - Ρυθμίσεις εκτύπωσης	86
Εικόνα 52 - Εκτύπωση κάτω μέρους ατράκτου.....	87
Εικόνα 53 - Ολοκληρωμένη εκτύπωση κάτω μέρους ατράκτου	89
Εικόνα 54 - Εκτυπωμένα μέρη του πρωτότυπου	90
Εικόνα 55 - Το πρωτότυπο KEDI.....	91

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

KEDI:	Kinetic Energy Drone Interceptor
HVT:	High Value Target
ΣΥΑ:	Στόχος Υψηλής Αξίας
UAV:	Unmanned Aerial Vehicle
PLA:	Polylactic Acid
VTOL:	Vertical Takeoff and Landing
IoT:	Internet of Things
AI:	Artificial Intelligence
IED:	Improvised Explosive Device
DEW:	Directed Energy Weapons
APT:	Advanced Persistent Threat
CAD:	Computer Aided Design
EDF:	Electric Ducted Fan
CW:	Clock Wise
CCW:	Counter-clock Wise
STL:	Stereolithography
STEP:	Standard for the Exchange of Product Model Data
CAE:	Computer Aided Engineering

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Επισκόπηση των στόχων υψηλής αξίας (HVT)

1.1.1 Ορισμός και σημασία των HVTs

Οι στόχοι υψηλής αξίας [ΣΥΑ] - [High-Value Targets, HVTs] αναγνωρίζονται ως πόροι, οντότητες ή υποδομές που κατέχουν σημαντική στρατηγική, οικονομική ή συμβολική σημασία. Η διατήρηση της ακεραιότητας και της λειτουργικότητας αυτών των στόχων κρίνεται ζωτικής σημασίας για την σταθερότητα και την αποδοτικότητα τόσο των οργανισμών όσο και των εθνών. Στο στρατιωτικό πλαίσιο, οι HVTs μπορεί να περιλαμβάνουν κρίσιμες στρατιωτικές βάσεις, στρατηγικές τοποθεσίες, υψηλόβαθμο προσωπικό, προηγμένα οπλικά συστήματα και βασικά δίκτυα επικοινωνίας, όλα αναγκαία για την εθνική ασφάλεια και την αμυντική αποτελεσματικότητα (Υπουργείο Άμυνας, 2018). Στον πολιτικό τομέα, οι HVTs μπορεί να περιλαμβάνουν ζωτικής σημασίας υποδομές όπως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, μεταφορικοί κόμβοι, οικονομικά κέντρα και βασικά δίκτυα επικοινωνίας. Η ασφάλεια αυτών των στόχων είναι κρίσιμη, καθώς η παραβίασή τους ή η καταστροφή τους μπορεί να προκαλέσει σημαντικές κοινωνικές αναταραχές, οικονομική αστάθεια και εθνικές κρίσεις (Bloomberg, 2019).

1.1.2 Τύποι και κατηγορίες HVTs

Σύμφωνα με την έρευνα των Johnson & Lee (2020), οι HVTs διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη φύση και τον τομέα τους. Οι φυσικοί στόχοι περιλαμβάνουν υλικές υποδομές όπως κτίρια, μνημεία και άλλες σημαντικές κατασκευές. Τα τεχνολογικά στοιχεία αφορούν σε κρίσιμα τεχνολογικά συστήματα και δίκτυα, ενώ οι ανθρώπινοι στόχοι αναφέρονται σε ατομικά στοιχεία των οποίων η τεχνογνωσία ή η ηγεσία είναι καθοριστική. Τέλος, τα πληροφοριακά στοιχεία περιλαμβάνουν ευαίσθητα δεδομένα και κρίσιμα κανάλια επικοινωνίας που είναι ζωτικά για την επιχειρησιακή ακεραιότητα. Η στρατηγική προστασία κάθε κατηγορίας πρέπει να προσαρμόζεται στα ειδικά τρωτά σημεία και στη συνολική σημασία της, με στόχο την αποτροπή ή την αντιμετώπιση πιθανών απειλών.

1.1.3 Παραδείγματα από την πρόσφατη ιστορία

Ιστορικά και πρόσφατα γεγονότα έχουν επισημάνει την κρίσιμη σημασία των στόχων υψηλής αξίας (HVTs) και τις επιπτώσεις που ενέχουν τα τρωτά τους σημεία. Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η επίθεση του ηλεκτρονικού σκουληκιού Stuxnet

το 2010 ενάντια στις πυρηνικές εγκαταστάσεις του Ιράν, η οποία κατέδειξε την πολυπλοκότητα των τεχνολογικών απειλών στη σύγχρονη εποχή (Langner, 2011). Αυτή η επίθεση υπογράμμισε πώς οι HVTs μπορούν να εκτεθούν σε εξελιγμένες και συχνά απρόβλεπτες απειλές. Επιπλέον, οι επιθέσεις της 11ης Σεπτεμβρίου το 2001 ανέδειξαν τη συμβολική και στρατηγική σημασία φυσικών στοιχείων όπως το Παγκόσμιο Κέντρο Εμπορίου, αποκαλύπτοντας την πολυδιάστατη φύση των HVTs και τον τεράστιο αντίκτυπο που μπορεί να έχει η απώλειά τους (National Commission on Terrorist Attacks Upon the United States, 2004).

1.2 Κατανόηση του τοπίου των απειλών

1.2.1 Γενικές απειλές για τα HVTs

Οι στόχοι υψηλής αξίας (High-Value Targets, HVTs) είναι εκτεθειμένοι σε ένα ευρύ φάσμα απειλών, καθένας με διαφορετική φύση και επίπτωση. Στις φυσικές απειλές περιλαμβάνονται απειλές όπως η τρομοκρατία, ο βανδαλισμός και το σαμποτάζ, οι οποίες χαρακτηρίζονται από άμεσο και ορατό αντίκτυπο στη φυσική δομή ή λειτουργία των στόχων. Αυτές οι απειλές μπορούν να προκαλέσουν σημαντική υλική ζημία και να διαταράξουν τις λειτουργίες των HVTs (Baker, 2015).

Από την άλλη πλευρά, οι κυβερνοαπειλές εστιάζουν σε επιθέσεις κατά ψηφιακών υποδομών και συστημάτων πληροφοριών, αντιπροσωπεύοντας μια σύγχρονη και αυξανόμενη πρόκληση. Αυτές οι επιθέσεις μπορούν να διακόψουν τις ψηφιακές λειτουργίες, να προκαλέσουν παραβιάσεις δεδομένων ή ακόμη και να επιτρέψουν τον έλεγχο κρίσιμων συστημάτων από απόσταση, έχοντας συχνά λιγότερο ορατές αλλά εξίσου καταστροφικές συνέπειες στην ασφάλεια και την ακεραιότητα των HVAs (Clarke & Knake, 2010).

1.2.2 Εξέλιξη των απειλών με την πάροδο του χρόνου

Η εξέλιξη των απειλών κατά των HVTs έχει επισημανθεί σε αρκετές πρόσφατες μελέτες. Παραδοσιακά, οι απειλές εναντίον των HVTs ήταν κυρίως φυσικές, όπως η κλοπή ή η κατασκοπεία. Ωστόσο, με την έλευση της προηγμένης τεχνολογίας, έχουν προκύψει νέες μορφές απειλών. Οι κυβερνοεπιθέσεις, για παράδειγμα, έχουν γίνει πιο συχνές και σοβαρές. Ένα σημαντικό παράδειγμα είναι η επίθεση με το λογισμικό λύτρων WannaCry το 2017, η οποία επηρέασε χιλιάδες οργανισμούς παγκοσμίως (WannaCry Factsheet, 2017). Επιπλέον, η αυξανόμενη πολυπλοκότητα της παγκόσμιας πολιτικής και του εμπορίου έχει εντείνει τις δραστηριότητες κατασκοπείας με στόχο τις υποδομές υψηλής αξίας, όπως αναφέρεται στη μελέτη του Omand (2012).

1.2.3 Απειλές από μη κρατικούς δρώντες

Τα τελευταία χρόνια, οι μη κρατικοί δρώντες, συμπεριλαμβανομένων των τρομοκρατικών ομάδων και των συνδικάτων οργανωμένου εγκλήματος, έχουν καταστεί σημαντικές πηγές απειλών για τους HVTs. Οι εν λόγω δρώντες χρησιμοποιούν συχνά αντισυμβατικές τακτικές και έχουν πρόσβαση σε εξελιγμένα εργαλεία, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την αντιμετώπισή τους. Η άνοδος της τρομοκρατίας μετά την 11η Σεπτεμβρίου αποτελεί τρανό παράδειγμα, με τις ομάδες να στοχεύουν τους HVTs με σκοπό τον μέγιστο δυνατό αντίκτυπο (Byman, 2015).



Εικόνα 1 - Η επίθεση στους Δίδυμους Πύργους το 2001

1.2.4 Επίδραση της παγκοσμιοποίησης και της τεχνολογίας

Η παγκοσμιοποίηση και οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν επίσης διευρύνει το τοπίο των απειλών. Η διασύνδεση των παγκόσμιων συστημάτων σημαίνει ότι μια επίθεση σε έναν HVT σε ένα μέρος του κόσμου μπορεί να έχει εκτεταμένες συνέπειες. Επιπλέον, η διάδοση αναδυόμενων τεχνολογιών, όπως τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και η τεχνητή νοημοσύνη, έχει εισάγει νέα τρωτά σημεία και φορείς επίθεσης (Kello, 2017).

1.3 Φυσικές και συμβατικές απειλές

1.3.1 Παραβιάσεις της φυσικής ασφάλειας

Οι φυσικές απειλές κατά των HVTs περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο άμεσες ενέργειες, όπως τρομοκρατία, δολιοφθορά ή ένοπλες επιθέσεις. Αυτές οι απειλές χαρακτηρίζονται από την αμεσότητά τους και τη δυνατότητά τους να προκαλέσουν απτή ζημία ή διαταραχή. Για παράδειγμα, οι βομβιστικές επιθέσεις του 1998 στις πρεσβείες των ΗΠΑ στην Κένυα και την Τανζανία αποτελούν παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο οι τρομοκρατικές επιθέσεις μπορούν να καταστρέψουν στόχους, με αποτέλεσμα την απώλεια ανθρώπινων ζωών και σημαντικές υλικές ζημιές (Bergen, 2001). Τέτοια περιστατικά υπογραμμίζουν την ανάγκη για ισχυρά μέτρα φυσικής ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων φρουρούμενων περιμέτρων, συστημάτων επιτήρησης και πρωτοκόλλων αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης.

1.3.2 Στρατιωτικές επιθέσεις

Σε γεωπολιτικό πλαίσιο, οι HVTs αποτελούν συχνά στόχους σε στρατιωτικές συγκρούσεις. Στρατηγικοί στρατιωτικοί στόχοι όπως κέντρα διοίκησης, κόμβοι επικοινωνιών και αποθήκες πυρομαχικών αποτελούν τυπικούς στόχους. Το ιστορικό προηγούμενο, όπως οι εκστρατείες στοχευμένων βομβαρδισμών κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και οι πιο πρόσφατες συγκρούσεις, καταδεικνύει τη διαρκή ευπάθεια των στρατιωτικών HVTs (Overy, 2013). Αυτά τα στρατιωτικά πλήγματα αποσκοπούν στην αποδυνάμωση των επιχειρησιακών δυνατοτήτων του αντιπάλου, οδηγώντας συχνά σε σημαντικές παράπλευρες απώλειες.



Εικόνα 2 - Πυραυλικό πλήγμα εναντίον κτηρίου

1.3.3 Τακτικές συμβατικού πολέμου

Οι τακτικές συμβατικού πολέμου, όπως οι βομβαρδισμοί πυροβολικού, οι αεροπορικές επιδρομές και οι πυραυλικές επιθέσεις, αποτελούν σημαντική απειλή για τους HVTs. Η χρήση πυραύλων μεγάλου βεληνεκούς και πυρομαχικών ακριβείας έχει αυξήσει την ευπάθεια των HVTs, όπως παρατηρήθηκε σε διάφορες συγκρούσεις μετά τη δεκαετία του 1990. Στον Πόλεμο του Κόλπου, για παράδειγμα, έγινε χρήση πυρομαχικών ακριβείας κατά στρατηγικών στόχων, σηματοδοτώντας μια αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο απειλούνται οι HVTs στις στρατιωτικές συγκρούσεις (Hallion, 1992).

1.3.4 Τρωτά σημεία σε πυκνές αστικές περιοχές

Οι HVTs που βρίσκονται σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές παρουσιάζουν μοναδικές προκλήσεις. Η γειτνίαση με τον άμαχο πληθυσμό περιπλέκει τις αμυντικές στρατηγικές λόγω του κινδύνου παράπλευρων απωλειών. Περιστατικά όπως οι βομβιστικές επιθέσεις σε τρένο στη Βομβάη το 2006 αναδεικνύουν την πολυπλοκότητα της προστασίας των αστικών HVTs, όπου η ζωή των πολιτών και οι κρίσιμες υποδομές συχνά διασταυρώνονται (Rabasa et al., 2009).

1.4 Απειλές στον κυβερνοχώρο και κατασκοπεία

1.4.1 Επιθέσεις στον κυβερνοχώρο σε HVAs

Στην ψηφιακή εποχή, οι κυβερνοεπιθέσεις έχουν αναδειχθεί σε μία από τις σημαντικότερες απειλές για τους HVTs. Οι επιθέσεις αυτές μπορεί να κυμαίνονται από Hacking και παραβιάσεις δεδομένων έως εξελιγμένες επιχειρήσεις κυβερνοκατασκοπείας και κυβερνοσαμποτάζ. Για παράδειγμα, η κυβερνοεπίθεση του 2015 στο ουκρανικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία οδήγησε σε εκτεταμένες διακοπές ρεύματος, κατέδειξε την ευπάθεια των κρίσιμων υποδομών σε κυβερνοαπειλές (Zetter, 2016). Τέτοια περιστατικά αναδεικνύουν την αναγκαιότητα ισχυρών μέτρων κυβερνοασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων προηγμένων τειχών προστασίας, συστημάτων ανίχνευσης εισβολών και τακτικών ελέγχων ασφαλείας.

1.4.2 Η εξελισσόμενη φύση του πολέμου στον κυβερνοχώρο

Η φύση του κυβερνοπολέμου εξελίσσεται συνεχώς, με τους επιτιθέμενους να χρησιμοποιούν όλο και πιο εξελιγμένες μεθόδους. Η χρήση κακόβουλου λογισμικού, ransomware και προηγμένων επίμονων απειλών (APT – Advanced Persistent Threat) έχει γίνει πιο συχνή, θέτοντας σοβαρές προκλήσεις για την κυβερνοασφάλεια των HVAs. Η επίθεση κακόβουλου λογισμικού NotPetya το 2017, η οποία προκάλεσε ζημίες δισεκατομμυρίων δολαρίων σε παγκόσμιο επίπεδο, αποτελεί παράδειγμα του πόσο καταστροφικές μπορούν να είναι οι επιθέσεις στον κυβερνοχώρο (Greenberg, 2018).

1.4.3 Κατασκοπεία και κλοπή πληροφοριών

Η κατασκοπεία αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για τους HVTs, ιδίως στον τομέα της κλοπής πληροφοριών και της συλλογής πληροφοριών. Η κλοπή ευαίσθητων δεδομένων, πνευματικής ιδιοκτησίας ή διαβαθμισμένων πληροφοριών μπορεί να έχει εκτεταμένες συνέπειες για την εθνική ασφάλεια και τα οικονομικά συμφέροντα. Περιπτώσεις όπως το περιστατικό κυβερνοκατασκοπείας του 2014 κατά της Sony Pictures, όπου εκλάπησαν και δημοσιοποιήθηκαν εμπιστευτικά δεδομένα, υπογραμμίζουν την απειλή της κατασκοπείας κατά των εταιρικών HVTs (Lyngaas, 2015).

1.4.4 Απειλές εκ των έσω και κοινωνική μηχανική

Οι απειλές εκ των έσω, όπου άτομα εντός του οργανισμού ή στενά συνδεδεμένα με αυτόν διευκολύνουν τις επιθέσεις στον κυβερνοχώρο ή την κατασκοπεία, αποτελούν ολοένα και μεγαλύτερη ανησυχία. Οι τακτικές κοινωνικής μηχανικής, οι οποίες χειραγωγούν υπαλλήλους ή εξουσιοδοτημένα άτομα για να αποκτήσουν πρόσβαση σε ασφαλή συστήματα, έχουν γίνει ένας κοινός φορέας για τέτοιου είδους απειλές. Η παραβίαση των

δεδομένων της Target το 2013, η οποία αποδόθηκε εν μέρει σε τακτικές κοινωνικής μηχανικής, καταδεικνύει την ευπάθεια των ΣΥΑ σε εσωτερικές απειλές (Riley, Elgin, Lawrence, & Matlack, 2014).

1.5 Φυσικές καταστροφές και περιβαλλοντικές απειλές

1.5.1 Επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών στους HVTs

Οι φυσικές καταστροφές, όπως οι σεισμοί, οι πλημμύρες, οι τυφώνες και οι πυρκαγιές, ενέχουν σημαντικούς κινδύνους για τους HVTs. Τα γεγονότα αυτά μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στις φυσικές υποδομές, να διαταράξουν βασικές υπηρεσίες και να οδηγήσουν σε παρατεταμένες προσπάθειες αποκατάστασης. Η πυρηνική καταστροφή της Φουκουσίμα Νταϊίτσι το 2011, η οποία προκλήθηκε από σεισμό και τσουνάμι, αποτελεί παράδειγμα των καταστροφικών επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών στους ΣΥΑ. Το περιστατικό αυτό δεν προκάλεσε μόνο άμεσες ζημιές, αλλά είχε επίσης μακροπρόθεσμες συνέπειες για το περιβάλλον και την υγεία (Samuels, 2013).

1.5.2 Περιβαλλοντικές αλλαγές και μακροπρόθεσμοι κίνδυνοι

Η κλιματική αλλαγή και η περιβαλλοντική υποβάθμιση αυξάνουν τη συχνότητα και την ένταση των φυσικών καταστροφών, κλιμακώνοντας έτσι τους κινδύνους για τους ΣΥΑ. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και οι μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες καθιστούν αναγκαία την επανεκτίμηση της ανθεκτικότητας και της ετοιμότητας των ΣΥΑ, ιδίως εκείνων που βρίσκονται σε ευάλωτες περιοχές. Η καταστροφή από τον τυφώνα Κατρίνα το 2005, η οποία οδήγησε σε καταστροφικές πλημμύρες στη Νέα Ορλεάνη, ανέδειξε την ανάγκη προσαρμογής των ΣΥΑ στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και βελτίωσης της ετοιμότητας για καταστροφές (Colten, Kates, & Laska, 2008).



Εικόνα 3 - Τα αποτελέσματα του τυφώνα Κατρίνα στις ΗΠΑ

1.5.3 Προκλήσεις στην αντιμετώπιση και αποκατάσταση καταστροφών

Η ανταπόκριση σε φυσικές καταστροφές και η ανάκαμψη από αυτές ενέχει σύνθετες προκλήσεις για τους HVTs. Η αποτελεσματική αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης, ο στιβαρός σχεδιασμός υποδομών και η αποτελεσματική διαχείριση κρίσεων είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων τέτοιων γεγονότων. Η ταχεία ανταπόκριση στον σεισμό του 2010 στην Αϊτή, αν και γεμάτη προκλήσεις, παρέχει πληροφορίες σχετικά με την πολυπλοκότητα της αντιμετώπισης καταστροφών για τους ΣΥΑ σε καταστάσεις κρίσης (Karucu & Van Wart, 2013).

1.5.4 Βιώσιμος και ανθεκτικός σχεδιασμός

Η αυξανόμενη απειλή από τις περιβαλλοντικές αλλαγές υπογραμμίζει τη σημασία του βιώσιμου και ανθεκτικού σχεδιασμού για τους ΣΥΑ. Η ενσωμάτωση των στρατηγικών μείωσης του κινδύνου καταστροφής και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη των HVTs είναι απαραίτητη. Η έννοια της "ανθεκτικής υποδομής", η οποία ενσωματώνει την προσαρμοστικότητα και την ευρωστία απέναντι στις περιβαλλοντικές απειλές, κερδίζει έδαφος ως κρίσιμη προσέγγιση για τη μελλοντική θωράκιση των HVTs (The World Bank, 2019).

1.6 Αναδυόμενες και μη παραδοσιακές απειλές

1.6.1 Τεχνολογικές εξελίξεις και νέες απειλές

Ο ταχύς ρυθμός των τεχνολογικών εξελίξεων έχει εισάγει νέα τρωτά σημεία για τους HVTs. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT – Internet of Things) και τα αυτόνομα συστήματα, έχουν ανοίξει νέους δρόμους για επιθέσεις. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση συσκευών IoT σε κρίσιμες υποδομές αυξάνει τον κίνδυνο κυβερνοεπιθέσεων μέσω αυτών των συνδεδεμένων αλλά συχνά λιγότερο ασφαλών συσκευών (Weber, 2020).

1.6.2 Μη συμβατικός πόλεμος και ασύμμετρες απειλές

Η άνοδος των τακτικών του μη συμβατικού πολέμου, συμπεριλαμβανομένου του ασύμμετρου και του υβριδικού πολέμου, θέτει σημαντικές προκλήσεις για τους HVTs. Οι ασύμμετρες απειλές, όπου μη κρατικοί φορείς ή μικρότερα έθνη χρησιμοποιούν μη συμβατικές τακτικές για να πολεμήσουν μεγαλύτερες δυνάμεις, έχουν γίνει όλο και πιο συχνές. Αυτές οι τακτικές συχνά στοχεύουν τους HVTs για να μεγιστοποιήσουν τον αντίκτυπο αποφεύγοντας τις άμεσες συγκρούσεις. Η χρήση αυτοσχέδιων εκρηκτικών μηχανισμών (IED – Improvised Explosive) σε ζώνες συγκρούσεων αποτελεί παράδειγμα τέτοιων ασύμμετρων τακτικών (Jenkins, 2019).



Εικόνα 4 - Παράδειγμα χρήσης IED εναντίον στρατιωτικής φάλαγγας

1.6.3 Απειλές από μη κρατικούς δρώντες

Οι μη κρατικοί δρώντες, συμπεριλαμβανομένων των τρομοκρατικών ομάδων, των χάκερ και των εγκληματικών οργανώσεων, έχουν καταστεί εξέχουσες πηγές απειλών για τους HVTs. Η ικανότητά τους να δρουν πέρα από τα εθνικά σύνορα και να εφαρμόζουν μια σειρά τακτικών από κυβερνοεπιθέσεις έως ανταρτοπόλεμο καθιστά την αντιμετώπισή τους ιδιαίτερα δύσκολη. Οι επιθέσεις του 2008 στη Βομβάη, που ενορχηστρώθηκαν από μια τρομοκρατική ομάδα, κατέδειξαν την καταστροφική αποτελεσματικότητα αυτών των μη κρατικών φορέων κατά των HVTs (Rabasa et al., 2009).



Εικόνα 5 - Παραστρατιωτικές ομάδες (μη κρατικοί δρώντες)

1.6.4 Ο αντίκτυπος της παγκοσμιοποίησης

Η παγκοσμιοποίηση έχει διευρύνει το τοπίο των απειλών αυξάνοντας τη διασυνδεσιμότητα και την αλληλεξάρτηση μεταξύ των εθνών. Αυτό το παγκόσμιο δίκτυο, αν και ευεργετικό από πολλές απόψεις, επιτρέπει επίσης στις απειλές κατά των HVTs να έχουν εκτεταμένες και διασυννοριακές επιπτώσεις. Οι επιθέσεις του 2019 στις πετρελαϊκές εγκαταστάσεις της Σαουδικής Αραβίας, οι οποίες επηρέασαν τις παγκόσμιες τιμές του πετρελαίου, αναδεικνύουν τις διεθνείς επιπτώσεις των επιθέσεων σε HVTs (Jones, 2019).

1.6.5 Η άνοδος των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Μεταξύ των αναδυόμενων απειλών, η χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones) έχει κερδίσει ιδιαίτερη προσοχή. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη προσφέρουν ένα μέσο για την πραγματοποίηση επιθέσεων ή επιτήρησης με σχετική ανωνυμία και ακρίβεια. Η

αυξανόμενη προσβασιμότητά τους και η πολυπλοκότητά τους τα καθιστούν αυξανόμενη ανησυχία για τους HVTs, γεγονός που καθιστά αναγκαία την εφαρμογή εξειδικευμένων αντιμέτρων. Το επόμενο κεφάλαιο θα εμβαθύνει στις ειδικές προκλήσεις που θέτουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και στις εξελισσόμενες στρατηγικές άμυνας εναντίον τους (Thompson, 2021).



Εικόνα 6 - Αφηση βλήματος από UAV Predator

1.7 Εστίαση στις απειλές από μη επανδρωμένα αεροσκάφη

1.7.1 Εισαγωγή στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη ως απειλή

Τα τελευταία χρόνια, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), κοινώς γνωστά ως drones, έχουν αναδειχθεί σε σημαντική απειλή για στόχους υψηλής αξίας. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, με την αυξανόμενη διαθεσιμότητά τους, την ευκολία λειτουργίας τους και την ικανότητά τους να μεταφέρουν διάφορα ωφέλιμα φορτία, αποτελούν μια μοναδική πρόκληση για την ασφάλεια και την άμυνα. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές απειλές, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να παρακάμψουν τις

συμβατικές φυσικές άμυνες και τα συστήματα επιτήρησης λόγω του μεγέθους τους, των δυνατοτήτων πτήσης και της δυνατότητας αθόρυβης λειτουργίας τους (Kallenborn, 2019).

1.7.2 Μοναδικές προκλήσεις που θέτουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη εισάγουν ένα σύνολο μοναδικών προκλήσεων για την ασφάλεια των HVTs:

Προσβασιμότητα και ανωνυμία: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι άμεσα διαθέσιμα και μπορούν να λειτουργήσουν εξ αποστάσεως, επιτρέποντας στους επιτιθέμενους να παραμείνουν ανώνυμοι και μειώνοντας τον κίνδυνο άμεσης σύλληψης.

Ευελιξία: Η ικανότητά τους να μεταφέρουν κάμερες, όπλα ή άλλα ωφέλιμα φορτία καθιστά τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη ευέλικτα εργαλεία για επιτήρηση, κατασκοπεία ή άμεσες επιθέσεις.

Εναέρια εισβολή: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να διεισδύσουν σε περιοχές που κατά τα άλλα είναι ασφαλείς έναντι επίγειων απειλών, παρακάμπτοντας τα παραδοσιακά μέτρα ασφαλείας.

Δυσκολία εντοπισμού και εξουδετέρωσης: Το μικρό μέγεθος και οι δυνατότητες πτήσης σε χαμηλό ύψος των drones καθιστούν δύσκολη την ανίχνευσή τους με συμβατικά συστήματα ραντάρ και δύσκολη την αναχαίτισή τους (Bennett & Waltz, 2020).



Εικόνα 7 - Drone τροποποιημένο για χρήση εκρηκτικού μηχανισμού

1.7.3 Πρόσφατα περιστατικά που αφορούν μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Υπήρξαν αρκετά αξιοσημείωτα περιστατικά στα οποία μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησιμοποιήθηκαν για να θέσουν σε κίνδυνο HVTs:

Η επίθεση με μη επανδρωμένα αεροσκάφη κατά του προέδρου της Βενεζουέλας Νικολάς Μαδούρο το 2018 κατά τη διάρκεια στρατιωτικής παρέλασης αποτελεί παράδειγμα χρήσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε απόπειρα δολοφονίας (Sullivan & Beuth, 2018).



Εικόνα 8 - Η απόπειρα εναντίον του προέδρου της Βενεζουέλας

Το 2019, συντονισμένες επιθέσεις με μη επανδρωμένα αεροσκάφη στις πετρελαϊκές εγκαταστάσεις της Saudi Aramco κατέδειξαν πώς τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξελιγμένες και άκρως αποδιοργανωτικές επιθέσεις σε κρίσιμες υποδομές (Jones, 2019).



Εικόνα 9 - Επίθεση με drone εναντίον των εγκαταστάσεων της Aramco

1.7.4 Ρυθμιστικές και νομικές προκλήσεις

Η αντιμετώπιση των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη συνεπάγεται επίσης την αντιμετώπιση ρυθμιστικών και νομικών προκλήσεων. Οι νόμοι και οι κανονισμοί σχετικά με τις επιχειρήσεις μη επανδρωμένων αεροσκαφών εξακολουθούν να εξελίσσονται και υπάρχει ανάγκη για διεθνή συνεργασία και τυποποίηση για την αποτελεσματική διαχείριση και τον μετριασμό των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Greenberg, 2020).

1.7.5 Μετάβαση σε στρατηγικές άμυνας ειδικά για μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Δεδομένων των μοναδικών προκλήσεων που θέτουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, οι παραδοσιακοί μηχανισμοί άμυνας συχνά υπολείπονται. Το επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2) θα εμβαθύνει στις ειδικές στρατηγικές άμυνας κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, εξετάζοντας την αποτελεσματικότητά τους και διερευνώντας καινοτόμες προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης ειδικών τεχνολογιών κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

1.8 Συμπέρασμα

1.8.1 Ανακεφαλαίωση των απειλών για περιουσιακά στοιχεία υψηλής αξίας

Το παρόν κεφάλαιο παρουσίασε μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των ποικίλων και εξελισσόμενων απειλών που αντιμετωπίζουν οι στόχοι υψηλής αξίας (ΣΥΑ). Από τις φυσικές και συμβατικές στρατιωτικές επιθέσεις έως τις πιο λεπτές αλλά εξίσου επιζήμιες απειλές στον κυβερνοχώρο και την κατασκοπεία, οι ΣΥΑ είναι εκτεθειμένοι σε ένα ευρύ φάσμα προκλήσεων ασφαλείας. Το κεφάλαιο υπογράμμισε επίσης τους αυξανόμενους κινδύνους που προκαλούν οι φυσικές καταστροφές και οι περιβαλλοντικές αλλαγές, τονίζοντας την ανάγκη για ευέλικτες και προσαρμοστικές στρατηγικές στην προστασία των ΣΥΑ.

1.8.2 Πολυπλοκότητα και δυναμικότητα του τοπίου απειλών

Το τοπίο των απειλών για τους HVTs χαρακτηρίζεται από την πολυπλοκότητα και τη δυναμικότητά του. Η εξέλιξη των απειλών, ιδίως με την τεχνολογική πρόοδο και την άνοδο των μη κρατικών φορέων, έχει καταστήσει αναγκαία τη συνεχή προσαρμογή των στρατηγικών άμυνας. Η πολύπλευρη φύση αυτών των απειλών απαιτεί μια εξίσου πολύπλευρη προσέγγιση της ασφάλειας, που συνδυάζει φυσικά, ψηφιακά και ανθρώπινα στοιχεία.

1.8.3 Ανάδειξη των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Ιδιαίτερα αξιοσημείωτη είναι η εμφάνιση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ως νέα κατηγορία απειλών, που φέρνει μοναδικές προκλήσεις για την ασφάλεια των HVTs. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, με την ευελιξία, την προσβασιμότητα και τη δυνατότητα ανωνυμίας τους, αντιπροσωπεύουν μια αλλαγή παραδείγματος στον τρόπο με τον οποίο οι HVTs πρέπει να προσεγγίσουν τις αμυντικές στρατηγικές τους. Τα περιστατικά που παρατίθενται σε αυτό το κεφάλαιο καταδεικνύουν τον πραγματικό και παρόντα κίνδυνο που θέτουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη για τους HVTs σε διάφορους τομείς.

1.8.4 Μετάβαση σε αμυντικές στρατηγικές ειδικά για μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Υπό το πρίσμα αυτών των προκλήσεων, ιδίως εκείνων που θέτουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, το επόμενο κεφάλαιο θα εμβαθύνει σε συγκεκριμένους μηχανισμούς άμυνας κατά των επιθέσεων από μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Θα διερευνήσει την αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων στρατηγικών και θα παρουσιάσει καινοτόμες προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογικών εξελίξεων και των ρυθμιστικών μέτρων, για την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτών των εναέριων απειλών. Η ανάλυση αυτή θα θέσει τις βάσεις για την επακόλουθη εισαγωγή του KEDI, μιας πρωτοποριακής λύσης που έχει σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση των πολύπλοκων απειλών που βασίζονται σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη κατά των HVTs.

Κεφάλαιο 2: Άμυνα κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών

2.1 Εισαγωγή στην άμυνα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη

2.1.1 Επισκόπηση των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη drones ή UAVs έχουν καταστεί σημαντικό πρόβλημα ασφάλειας για τους HVTs λόγω της προσβασιμότητας, της ευελιξίας και της ανωνυμίας που προσφέρουν στους χειριστές τους. Όπως διαπιστώθηκε στο Κεφάλαιο 1, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι ικανά να παρακάμπτουν τα παραδοσιακά μέτρα ασφαλείας, να παραδίδουν ωφέλιμα φορτία, να διεξάγουν επιτήρηση και ακόμη και να συμμετέχουν σε άμεσες επιθέσεις. Η αυξανόμενη χρήση τους σε διάφορους τομείς, όπως ο ερασιτεχνικός, ο εμπορικός και ο κυβερνητικός, περιπλέκει περαιτέρω την πρόκληση (Kallenborn, 2019).

2.1.2 Ανάδειξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ως πρόκληση για την ασφάλεια

Η εμφάνιση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών ως εξέχουσα απειλή είναι μια σχετικά πρόσφατη εξέλιξη στο τοπίο της ασφάλειας. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης της εμβέλειας, της χωρητικότητας του ωφέλιμου φορτίου και των δυνατοτήτων stealth, έχει ενισχύσει τις δυνατότητές τους για κακόβουλη χρήση κατά HVTs. Ειδικότερα, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να επιχειρούν σε περιβάλλοντα όπου άλλες απειλές δεν μπορούν, όπως σε περιοχές με υψηλή επιτήρηση ή δύσκολη πρόσβαση (Bennett & Waltz, 2020).

2.1.3 Ανάγκη για εξειδικευμένες αμυντικές στρατηγικές

Οι παραδοσιακές στρατηγικές άμυνας, οι οποίες επικεντρώνονται κυρίως σε επίγειες και επανδρωμένες εναέριες απειλές, είναι συχνά ανεπαρκείς έναντι των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών απαιτούν μια εξειδικευμένη προσέγγιση της άμυνας, η οποία περιλαμβάνει την ανίχνευση, την ταυτοποίηση, τον εντοπισμό και την εξουδετέρωση. Αυτή η ανάγκη έχει ωθήσει στην ανάπτυξη μιας σειράς τεχνολογιών και στρατηγικών κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, η καθεμία με τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της (Sullivan & Beuth, 2018).

2.1.4 Πεδίο εφαρμογής του κεφαλαίου

Το παρόν κεφάλαιο αποσκοπεί στη διερεύνηση διαφόρων στρατηγικών άμυνας κατά των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη, ιδίως για την προστασία των HVTs. Θα καλύψει ένα φάσμα μεθόδων, από φυσικά και ηλεκτρονικά μέτρα έως πιο προηγμένες κινητικές και μη κινητικές λύσεις. Μέσω της ανάλυσης αυτών των στρατηγικών και των πραγματικών περιπτώσεων, το κεφάλαιο θα αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων προσεγγίσεων και θα συζητήσει τις αναδυόμενες τάσεις στην άμυνα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη.

2.2 Φυσικά εμπόδια και παραδοσιακά μέτρα ασφαλείας

2.2.1 Ο ρόλος των φυσικών μέτρων ασφαλείας

Τα φυσικά εμπόδια και τα παραδοσιακά μέτρα ασφαλείας, όπως οι φράκτες, οι τοίχοι και το προσωπικό ασφαλείας, αποτελούν εδώ και καιρό τον ακρογωνιαίο λίθο της προστασίας των HVTs από διάφορες απειλές. Τα μέτρα αυτά έχουν σχεδιαστεί κυρίως για την αποτροπή ή τον μετριασμό των επίγειων απειλών και των μη εξουσιοδοτημένων εισβολών. Ωστόσο, η έλευση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών έχει αμφισβητήσει την αποτελεσματικότητα αυτών των στρατηγικών φυσικής ασφάλειας (Smith, 2020).

2.2.2 Αποτελεσματικότητα κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Ενώ τα φυσικά εμπόδια μπορούν να παρέχουν έναν βαθμό προστασίας έναντι των επίγειων απειλών, η αποτελεσματικότητά τους έναντι των εναέριων απειλών, όπως τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, είναι περιορισμένη. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν εύκολα να πετάξουν πάνω από φράκτες και τοίχους, καθιστώντας αυτά τα παραδοσιακά εμπόδια παρωχημένα στο πλαίσιο της εναέριας εισβολής. Ωστόσο, τα φυσικά μέτρα δεν είναι εντελώς αναποτελεσματικά. Μπορούν ακόμη να διαδραματίσουν υποστηρικτικό ρόλο σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ασφαλείας, αποτρέποντας τους ερασιτέχνες χειριστές μη επανδρωμένων αεροσκαφών και παρέχοντας μια πρώτη γραμμή άμυνας (Jones, 2019).

2.2.3 Περιορισμοί και προκλήσεις

Ο κύριος περιορισμός των φυσικών φραγμών στην άμυνα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι η αδυναμία τους να αντιμετωπίσουν την κάθετη διάσταση των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να παρακάμπτουν τα φυσικά εμπόδια πετώντας άνωθεν αυτών των μέτρων. Επιπλέον, το προσωπικό ασφαλείας μπορεί να μην είναι επαρκώς εκπαιδευμένο για τον εντοπισμό ή την αναχαίτιση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, δεδομένου του μεγέθους τους, της

ταχύτητάς τους και των υψών στα οποία μπορούν να επιχειρούν. Αυτός ο περιορισμός καθιστά αναγκαία την ενσωμάτωση πρόσθετων αμυντικών μηχανισμών ειδικά σχεδιασμένων για την αντιμετώπιση των εναέριων απειλών (Bennett & Waltz, 2020).

2.2.4 Ολοκληρωμένες προσεγγίσεις ασφάλειας

Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση ασφάλειας, που συνδυάζει φυσικά εμπόδια με προηγμένα συστήματα ανίχνευσης και εξουδετέρωσης, αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο ως απαραίτητη για την προστασία των HVTs από απειλές από μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Τα φυσικά εμπόδια μπορούν να συμπληρωθούν με ραντάρ, ακουστικούς αισθητήρες και συστήματα οπτικής επιτήρησης για την ενίσχυση της ανίχνευσης και του εντοπισμού των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Μια τέτοια ολοκληρωμένη προσέγγιση μπορεί να δημιουργήσει μια πολυεπίπεδη αμυντική στρατηγική, βελτιώνοντας τη συνολική στάση ασφαλείας έναντι εισβολών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Hawkins & Roberts, 2021).

2.3 Μηχανισμοί ηλεκτρονικής και κυβερνοάμυνας

2.3.1 Συστήματα ανίχνευσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Η ανίχνευση μιας εισβολής drone είναι το πρώτο κρίσιμο βήμα στην άμυνα κατά των απειλών UAV. Τα προηγμένα συστήματα ανίχνευσης είναι απαραίτητα λόγω του μικρού μεγέθους και των δυνατοτήτων πτήσης σε χαμηλό υψόμετρο πολλών μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Τα συστήματα ραντάρ, που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για την ανίχνευση αεροσκαφών, έχουν προσαρμοστεί για τον εντοπισμό μη επανδρωμένων αεροσκαφών, αλλά συχνά δυσκολεύονται να ανιχνεύσουν μικρότερα UAV. Εναλλακτικές τεχνολογίες, όπως οι ακουστικοί αισθητήρες, οι οποίοι ανιχνεύουν τις μοναδικές ηχητικές υπογραφές των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, και τα οπτικά συστήματα που χρησιμοποιούν κάμερες με προηγμένες δυνατότητες αναγνώρισης εικόνας, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο. Οι τεχνολογίες υπέρυθρης και θερμικής απεικόνισης διαδραματίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο, ιδίως για τον εντοπισμό μη επανδρωμένων αεροσκαφών τη νύχτα ή σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας (Greenberg, 2020).



Εικόνα 10 - Σύστημα εντοπισμού drone με RADAR

2.3.2 Ηλεκτρονικά αντίμετρα

Μόλις εντοπιστεί ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος, η εξουδετέρωσή του χωρίς να προκληθούν παράπλευρες απώλειες είναι η επόμενη πρόκληση. Τα ηλεκτρονικά αντίμετρα περιλαμβάνουν την παρεμβολή των ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Η μέθοδος αυτή διακόπτει τη σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ του drone και του χειριστή του, προκαλώντας ενδεχομένως το drone να εισέλθει σε κατάσταση ασφαλείας, όπως η επιστροφή στο σημείο προέλευσής του ή η προσγείωση. Η αλλοίωση GPS είναι μια άλλη τεχνική, όπου ψευδή σήματα GPS παραπλανούν το drone, αναλαμβάνοντας τον έλεγχο της πλοήγησής του. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι απαιτούν ακριβή προσδιορισμό των πρωτοκόλλων επικοινωνίας του drone και ενδέχεται να μην είναι αποτελεσματικές έναντι αυτόνομων drone που δεν βασίζονται σε εξωτερικά σήματα ελέγχου (Bennett & Waltz, 2020).



Εικόνα 11 - Σύστημα παρεμβολών drone

2.3.3 Στρατηγικές άμυνας στον κυβερνοχώρο

Οι στρατηγικές κυβερνοάμυνας περιλαμβάνουν την παραβίαση των συστημάτων ελέγχου του drone για την ανάληψη της λειτουργίας του. Αυτό απαιτεί εξειλιγμένη γνώση του λογισμικού και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας του μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Αν και αποτελεσματική, η προσέγγιση αυτή εγείρει νομικές και ηθικές ανησυχίες, ιδίως όσον αφορά την παραβίαση των νόμων περί επικοινωνιών και την πιθανότητα κακής χρήσης του υποκλαπέντος drone. Επιπλέον, η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας των drone σημαίνει ότι οι στρατηγικές κυβερνοάμυνας πρέπει να ενημερώνονται συνεχώς για να παραμένουν αποτελεσματικές (Hawkins & Roberts, 2021).

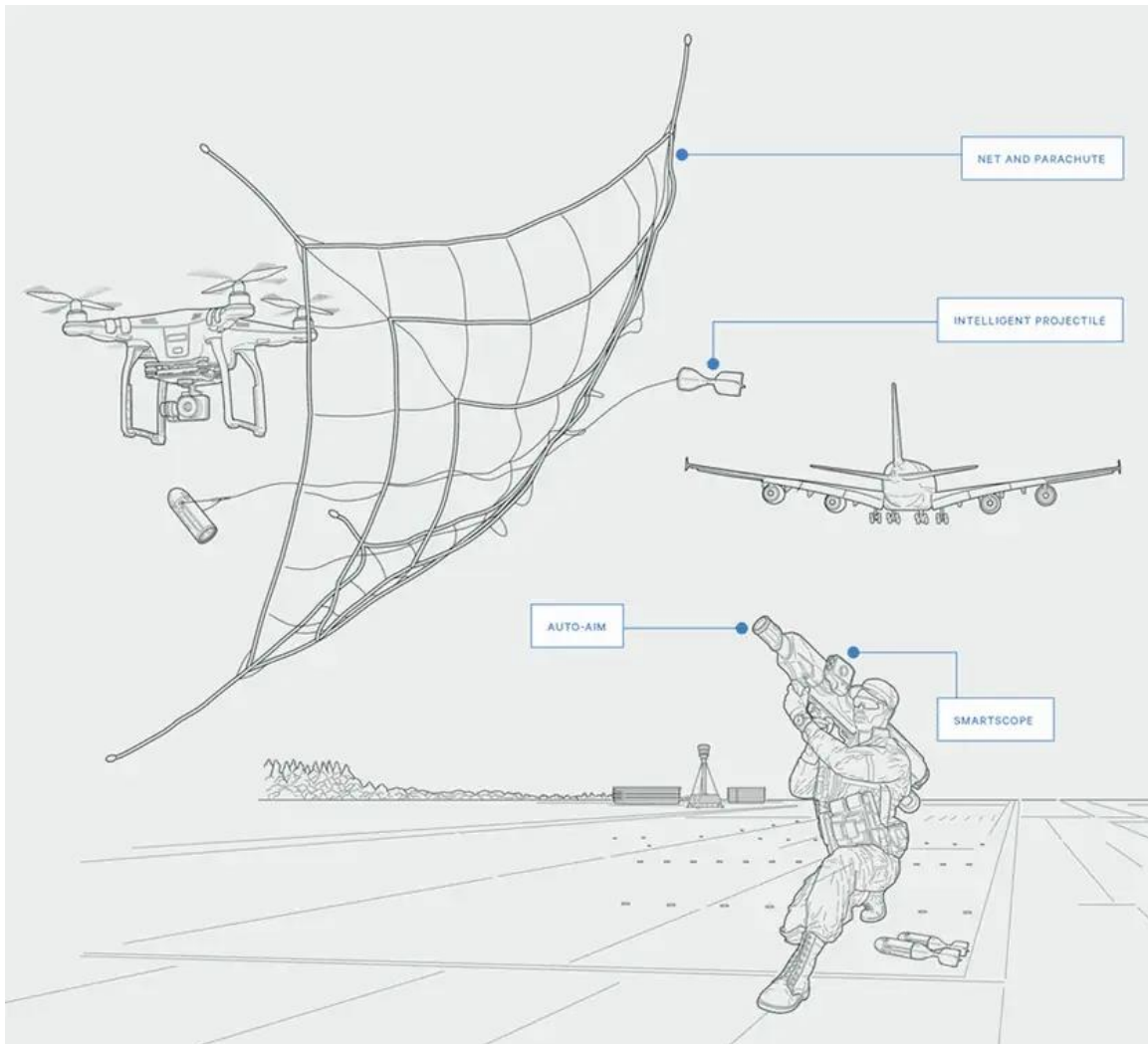
2.3.4 Προκλήσεις στην εφαρμογή

Η εφαρμογή μηχανισμών ηλεκτρονικής και κυβερνοάμυνας παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών απαιτεί συνεχή προσαρμογή των στρατηγικών άμυνας. Υπάρχουν επίσης κανονιστικές προκλήσεις, καθώς οι παρεμβολές και η αλλοίωση μπορεί να επηρεάσουν τις νόμιμες επικοινωνίες και τα συστήματα πλοήγησης, εγείροντας νομικές ανησυχίες. Επιπλέον, η επιχειρησιακή εμβέλεια αυτών των συστημάτων είναι συχνά περιορισμένη, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη στρατηγική τοποθέτηση γύρω από τους HVTs (Smith, 2020).

2.4 Κινητικές και μη κινητικές μέθοδοι

2.4.1 Δίχτυα και συσκευές εμπλοκής

Τα πυροβόλα δίχτυα και άλλες συσκευές εμπλοκής αποτελούν μια άμεση φυσική μέθοδο αντιμετώπισης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι είτε επίγεια είτε να αναπτύσσονται από άλλο μη επανδρωμένο αεροσκάφος. Η αρχή πίσω από αυτά τα εργαλεία είναι η φυσική σύλληψη και εξουδετέρωση του μη επανδρωμένου αεροσκάφους χωρίς να προκληθούν σημαντικές ζημιές στο περιβάλλον. Αν και είναι αποτελεσματικά σε κοντινή απόσταση, η εφαρμογή τους περιορίζεται από την εμβέλεια και την ανάγκη ακριβούς στόχευσης, καθιστώντας τα λιγότερο κατάλληλα για απειλές από μη επανδρωμένα αεροσκάφη μεγάλου ύψους ή μεγάλης απόστασης (Taylor & Khan, 2022).



Εικόνα 12 - Σύστημα αναχαίτισης drone με δίχτυα

2.4.2 Όπλα κατευθυνόμενης ενέργειας (DEWs – Directed Energy Weapons)

Τα όπλα κατευθυνόμενης ενέργειας, όπως τα λέιζερ υψηλής ισχύος, προσφέρουν μια μη κινητική λύση για την εξουδετέρωση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Με την εστίαση της ενέργειας σε έναν στόχο, τα όπλα αυτά μπορούν να βλάψουν ή να καταστρέψουν τα εισερχόμενα μη επανδρωμένα αεροσκάφη από απόσταση. Τα DEW πλεονεκτούν ως προς την ακρίβεια και τις ελάχιστες παράπλευρες απώλειες, αλλά απαιτούν σαφή οπτική επαφή και μπορούν να επηρεαστούν από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η ανάπτυξή τους εγείρει επίσης ανησυχίες σχετικά με το ενδεχόμενο να προκληθεί βλάβη σε ανθρώπους ή άλλα αντικείμενα στην πορεία πτήσης του μη επανδρωμένου αεροσκάφους (Anderson, 2023).



Εικόνα 13 - Γραφιστική απεικόνιση χρήσης DEW εναντίον UAV

2.4.3 Συστήματα που βασίζονται σε βλήματα

Τα παραδοσιακά αμυντικά συστήματα που βασίζονται σε βλήματα, συμπεριλαμβανομένων των πυροβόλων όπλων και των πυραύλων επιφανείας-αέρος, έχουν προσαρμοστεί για την αντιμετώπιση απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να είναι αποτελεσματικές κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, αλλά ενέχουν σημαντικούς κινδύνους, όπως οι παράπλευρες απώλειες, ιδίως σε κατοικημένες περιοχές. Επιπλέον, το κόστος και οι πόροι που συνεπάγεται η χρήση πυραυλικών συστημάτων μπορεί να είναι απαγορευτικά υψηλά για την αντιμετώπιση σχετικά φθηνών μη επανδρωμένων αεροσκαφών (Hawkins & Roberts, 2021).



Εικόνα 14 - Σύστημα αντιαεροπορικής άμυνας εναντίον UAV και drone

2.4.4 Περιορισμοί και προκλήσεις

Η κύρια πρόκληση στη χρήση κινητικών μεθόδων κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι ο κίνδυνος παράπλευρων ζημιών και οι νομικές επιπτώσεις, ιδίως σε αστικά περιβάλλοντα. Η ακριβής στόχευση είναι απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση των ακούσιων συνεπειών. Οι μη κινητικές μέθοδοι, ενώ είναι ασφαλέστερες όσον αφορά τις παράπλευρες απώλειες, συχνά απαιτούν εξελιγμένη τεχνολογία και μπορούν να περιοριστούν από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

2.4.5 Εξισορρόπηση της αποτελεσματικότητας και της ευθύνης

Κατά την ανάπτυξη και την ανάπτυξη κινητικών και μη κινητικών μεθόδων άμυνας κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, είναι σημαντικό να εξισορροπείται η αποτελεσματικότητα με την ευθύνη. Αυτό περιλαμβάνει την εξέταση των νομικών, ηθικών και ασφαλιστικών επιπτώσεων αυτών των μεθόδων, ιδίως σε περιοχές με άμαχο πληθυσμό. Η ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών και πρωτοκόλλων για τη χρήση τέτοιων συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της υπεύθυνης και αποτελεσματικής ανάπτυξής τους (Smith, 2020).

2.5 Στρατηγικές εναέριας αναχαίτισης

2.5.1 Αναχαίτιση μη επανδρωμένων αεροσκαφών με μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Η χρήση αμυντικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών με σκοπό την αναχαίτιση εχθρικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι ένας αναπτυσσόμενος τομέας στις στρατηγικές άμυνας μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Αυτά τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να είναι εξοπλισμένα με κάμερες, αισθητήρες και μερικές φορές με όπλα ή άλλους μηχανισμούς σύλληψης για τη φυσική εξουδετέρωση των εισβολέων μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης έγκειται στην ικανότητά της να καταδιώκει ενεργά και να εμπλέκει στόχους στον αέρα, προσφέροντας μια κινητή και ευέλικτη αμυντική λύση. Ωστόσο, οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την ανάγκη για εξειδικευμένους χειριστές και την πολυπλοκότητα του συντονισμού εναέριων εμπλοκών σε πραγματικό χρόνο (Hawkins & Roberts, 2021).



Εικόνα 15 - Σύστημα αναχαίτισης κινητικής ενέργειας της εταιρείας MARSS

2.5.2 Τα αρπακτικά πτηνά ως φυσική λύση

Ορισμένες υπηρεσίες ασφαλείας έχουν πειραματιστεί με τη χρήση εκπαιδευμένων αρπακτικών πτηνών για τη σύλληψη μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Τα πτηνά, όπως οι αετοί, έχουν φυσικά κυνηγετικά ένστικτα και την ικανότητα να αναχαιτίζουν μικρά μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Η μέθοδος αυτή, αν και καινοτόμος και φιλική προς το περιβάλλον, έχει τους περιορισμούς της όσον αφορά την επεκτασιμότητα, τον έλεγχο και

τον πιθανό τραυματισμό των πτηνών. Είναι πιο κατάλληλη για συγκεκριμένα σενάρια όπου οι συμβατικές μέθοδοι δεν είναι εφικτές ή ως συμπληρωματικό μέτρο σε άλλες στρατηγικές άμυνας (Taylor & Khan, 2022).



Εικόνα 16 - Χρήση αρπακτικού πτηνού για τη καταστροφή drone

2.5.3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της εναέριας αναχαίτισης

Η εναέρια αναχαίτιση προσφέρει μια δυναμική προσέγγιση στην άμυνα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, ιδίως σε ταχέως εξελισσόμενες καταστάσεις. Η στρατηγική αυτή είναι επωφελής για τον προληπτικό της χαρακτήρα, καθώς δεν βασίζεται αποκλειστικά στην είσοδο του drone σε μια ελεγχόμενη περιοχή. Ωστόσο, υπάρχουν προκλήσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση του εναέριου χώρου, τους κινδύνους σύγκρουσης και τη διασφάλιση της ελάχιστης παρέμβασης στην πολιτική ή εμπορική εναέρια κυκλοφορία. Επιπλέον, το νομικό πλαίσιο που περιβάλλει την εμπλοκή μη επανδρωμένων αεροσκαφών από άλλα εναέρια συστήματα βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη σε πολλά κράτη (Anderson, 2023).

2.5.4 Ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος εναέριας άμυνας

Για την αποτελεσματική άμυνα κατά των απειλών UAV, ένα ολοκληρωμένο σύστημα που συνδυάζει την επίγεια ανίχνευση και αναχαίτιση με εναέρια μονάδες αντίδρασης μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικό. Αυτή η ενοποίηση θα επιτρέψει μια ολοκληρωμένη κάλυψη και μια πολυεπίπεδη αμυντική προσέγγιση, μεγιστοποιώντας την πιθανότητα επιτυχούς εξουδετέρωσης των εχθρικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών και μειώνοντας παράλληλα τους κινδύνους (Smith, 2020).

2.6 Νομικές και ηθικές εκτιμήσεις

2.6.1 Ρυθμιστικά πλαίσια για την άμυνα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Η εφαρμογή συστημάτων άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη πρέπει να περιηγηθεί σε ένα πολύπλοκο πλέγμα νομικών και ρυθμιστικών πλαισίων. Οι κανονισμοί αυτοί συχνά διαφέρουν ανά χώρα και περιοχή, καλύπτοντας πτυχές της ασφάλειας του αέρα, των επικοινωνιών και της χρήσης βίας. Για παράδειγμα, η χρήση τεχνολογιών παρεμβολής και αλλοίωσης διασταυρώνεται με τους νόμους περί τηλεπικοινωνιών, καθώς μπορούν να διαταράξουν όχι μόνο τις επικοινωνίες του drone αλλά και άλλα γύρω σήματα (Jones, 2021). Η κατανόηση και η τήρηση αυτών των κανονιστικών πλαισίων είναι ζωτικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι τα αμυντικά μέτρα είναι νομικά συμβατά και δεν εγείρουν ακούσια νομικά ζητήματα.

2.6.2 Ηθικές επιπτώσεις της άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Πέρα από τις νομικές πτυχές, οι ηθικές εκτιμήσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις στρατηγικές άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Η ανάπτυξη ορισμένων τεχνολογιών, ιδίως σε κατοικημένες ή μη στρατιωτικές περιοχές, εγείρει ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής, την ασφάλεια και την πιθανή κατάχρηση. Για παράδειγμα, η χρήση λέιζερ μεγάλης ισχύος ή συστημάτων αναχαίτησης κινητικής ενέργειας σε αστικές περιοχές ενέχει κινδύνους ακούσιας βλάβης ανθρώπων ή περιουσίας. Η διασφάλιση των δικαιωμάτων και της ασφάλειας των πολιτών αποτελεί βασικό ηθικό ζήτημα κατά την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων (Anderson, 2023).

2.6.3 Εξισορρόπηση της ασφάλειας και των πολιτικών ελευθεριών

Μία από τις κύριες προκλήσεις στην άμυνα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι η εξισορρόπηση της ανάγκης για ασφάλεια με τη διατήρηση των πολιτικών ελευθεριών. Μέτρα όπως η εκτεταμένη επιτήρηση και η υποκλοπή των μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορεί να οδηγήσουν σε ανησυχίες σχετικά με την παραβίαση της ιδιωτικής ζωής και την κυβερνητική υπερβολή. Η θέσπιση σαφών κατευθυντήριων γραμμών και μηχανισμών εποπτείας μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση αυτής της ισορροπίας, διασφαλίζοντας ότι τα μέτρα ασφαλείας δεν παραβιάζουν αδικαιολόγητα τα ατομικά δικαιώματα (Hawkins & Roberts, 2021).

2.6.4 Διεθνής συνεργασία και τυποποίηση

Δεδομένης της διασυνοριακής φύσης των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη και της παγκόσμιας διαθεσιμότητας της τεχνολογίας UAV, η διεθνής συνεργασία και η τυποποίηση των νόμων και των πρακτικών για την άμυνα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη

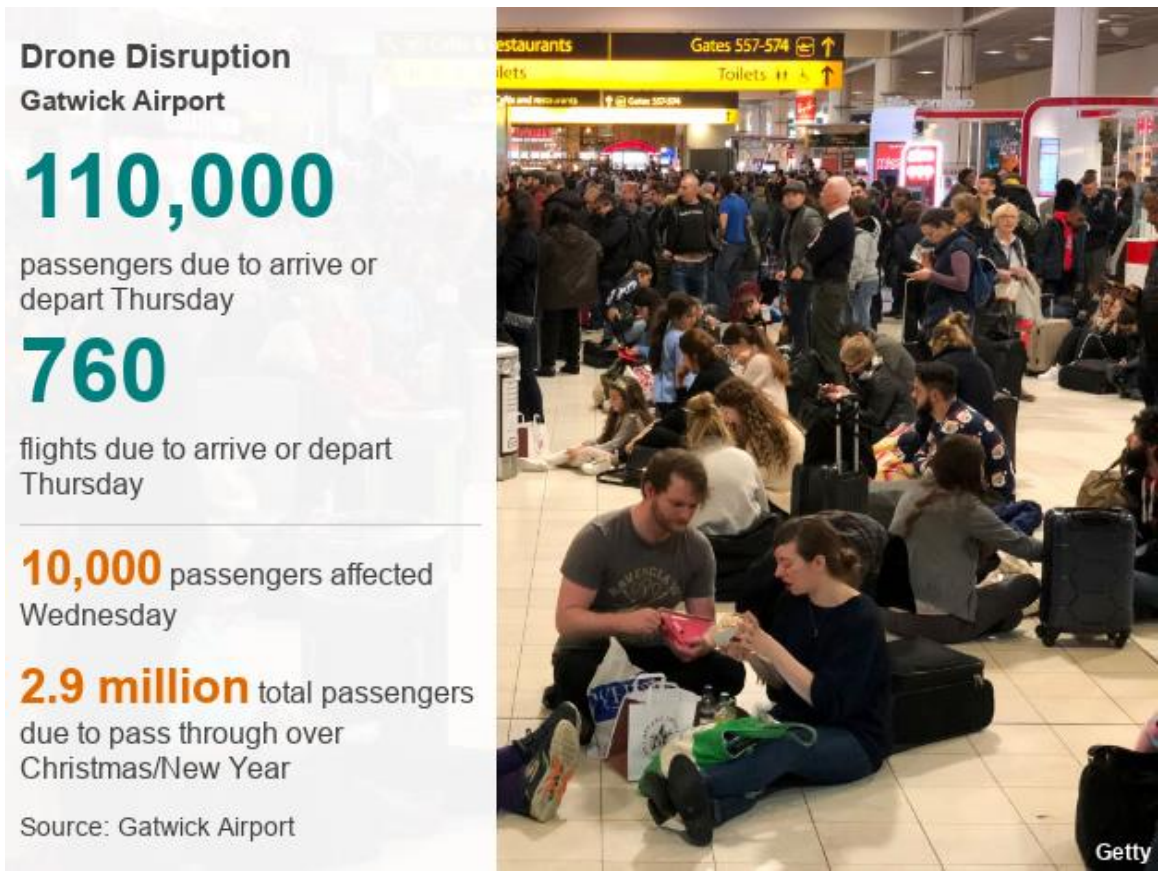
είναι ουσιαστικής σημασίας. Η ανάπτυξη κοινών κανόνων και προτύπων μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία μιας συνεπούς και αποτελεσματικής παγκόσμιας αντίδρασης στην απειλή των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Αυτό περιλαμβάνει επίσης τη συνεργασία για την τεχνολογική ανάπτυξη, τα νομικά πλαίσια και τις επιχειρησιακές στρατηγικές (Smith, 2020).

2.7 Μελέτες περίπτωσης: Εφαρμογές σε πραγματικό κόσμο

2.7.1 Ανάλυση αξιοσημείωτων περιστατικών

Για να κατανοήσουμε τις πρακτικές επιπτώσεις και την αποτελεσματικότητα των στρατηγικών άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη, είναι διδακτικό να εξετάσουμε περιστατικά του πραγματικού κόσμου όπου έχουν χρησιμοποιηθεί τέτοια συστήματα:

Διατάραξη αεροδρομίου από μη επανδρωμένα αεροσκάφη: Η διατάραξη του αεροδρομίου Gatwick το 2018 από UAVs ή drones, είναι ένα σημαντικό περιστατικό που αναδεικνύει τις πολύπλοκες προκλήσεις που προκύπτουν από την παρουσία UAVs σε ευαίσθητες ζώνες, όπως είναι τα αεροδρόμια. Το περιστατικό προκάλεσε εκτεταμένες διαταραχές στις πτήσεις, αναγκάζοντας την αναστολή των λειτουργιών του αεροδρομίου για αρκετές ημέρες, επηρεάζοντας ταξιδιώτες και πτήσεις σε όλο τον κόσμο.



Εικόνα 17 - Οι επιπτώσεις του περιστατικού στο αεροδρόμιο του Gatwick

Η αντίδραση στο περιστατικό αποκάλυψε την ανάγκη για ταχεία, συντονισμένη και αποτελεσματική αντίδραση στην ανίχνευση και αντιμετώπιση UAVs που εισέρχονται σε προστατευόμενο εναέριο χώρο. Ανέδειξε επίσης την ανάγκη για σαφείς πρωτόκολλα ενεργειών και την εφαρμογή τεχνολογιών που μπορούν να παρέχουν αποτελεσματική ανίχνευση, παρακολούθηση και, εάν χρειάζεται, ουδετεροποίηση των UAVs.

Οι τεχνολογίες αντιμετώπισης UAVs περιλαμβάνουν συστήματα ανίχνευσης ραντάρ, ηλεκτρονική παρεμβολή για τη διακοπή των επικοινωνιών μεταξύ UAV και του χειριστή του, καθώς και φυσικά μέσα ουδετεροποίησης, όπως είναι τα δίχτυα που εκτοξεύονται από άλλα UAVs ή ηλεκτρομαγνητικοί παλμοί που μπορούν να ακινητοποιήσουν τα drones. Η ανάπτυξη και εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών απαιτεί συνεχή έρευνα και επενδύσεις, καθώς οι απειλές από UAVs εξελίσσονται συνεχώς.

Το περιστατικό στο Gatwick τονίζει επίσης τον αντίκτυπο που μπορούν να έχουν οι προσβολές από UAVs σε μη στρατιωτικές υποδομές, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για εκπαίδευση, ευαισθητοποίηση και συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων για την προστασία των κρίσιμων υποδομών. Η συνεχής εκπαίδευση και η ενημέρωση των εργαζομένων στις υποδομές, καθώς και η δημιουργία ενός πλαισίου για την ταχεία

ανταλλαγή πληροφοριών και συντονισμό των αντιδράσεων, είναι ουσιώδεις παράγοντες για την αποτροπή και αντιμετώπιση τέτοιων απειλών.

Συνοψίζοντας, η διατάραξη από UAVs στο αεροδρόμιο Gatwick αποτελεί μια σημαντική μελέτη περίπτωσης που αναδεικνύει τις προκλήσεις, τις απειλές, αλλά και τις δυνατότητες για βελτίωση στην αντιμετώπιση των UAVs σε ευαίσθητες ζώνες. Η συνεχής ανάπτυξη τεχνολογικών λύσεων και η συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων είναι κρίσιμη για την ασφάλεια και την προστασία των κρίσιμων υποδομών από τις αυξανόμενες απειλές που θέτουν τα UAVs (Williams, 2019).

Προστασία στρατιωτικών βάσεων: Η εξέταση περιστατικών στα οποία στρατιωτικές βάσεις έχουν γίνει στόχος μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAVs) παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τις προκλήσεις και τις απειλές που συνδέονται με την ασφάλεια κρίσιμων στρατιωτικών εγκαταστάσεων. Τα περιστατικά αυτά αποκαλύπτουν την αυξανόμενη εξάρτηση των σύγχρονων στρατιωτικών επιχειρήσεων από την τεχνολογία και την ανάγκη για προηγμένα αμυντικά συστήματα για την προστασία από τέτοιες απειλές.



Εικόνα 18 - Απεικόνιση ολοκληρωμένου συστήματος άμυνας στρατιωτικών εγκαταστάσεων εναντίον drone και UAV

Αμυντικά συστήματα όπως ραντάρ ανίχνευσης και ηλεκτρονικά μέσα παρεμβολής έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί για την προστασία στρατιωτικών βάσεων από UAVs. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την έγκαιρη ανίχνευση των UAVs και παρέχουν τη δυνατότητα είτε για ηλεκτρονική αναχαίτιση των ελεγκτικών σημάτων είτε για φυσική καταστροφή τους πριν φτάσουν στον στόχο τους.

Οι στρατηγικές αντίδρασης σε τέτοια περιστατικά έχουν επίσης εξελιχθεί. Περιλαμβάνουν την ανάπτυξη ταχείας αντίδρασης και επιχειρησιακών ομάδων, οι οποίες είναι

εξοπλισμένες με την τεχνολογία και την κατάρτιση για να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τέτοιες απειλές. Η ενσωμάτωση της κυβερνοάμυνας στις στρατηγικές αυτές έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντική, καθώς τα UAVs συχνά ελέγχονται ή παρακολουθούνται μέσω κυβερνοδικτύων.

Τα διδάγματα που αντλήθηκαν από τέτοια περιστατικά έχουν οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις τόσο στην επιχειρησιακή ετοιμότητα όσο και στην ανάπτυξη τεχνολογιών. Η συνεχής αξιολόγηση και επανεξέταση των αμυντικών στρατηγικών, καθώς και η έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, είναι ουσιώδης για τη διατήρηση της ασφάλειας στρατιωτικών εγκαταστάσεων στο πλαίσιο μιας γρήγορα εξελισσόμενης απειλητικής τοποθεσίας. Η εμπειρία από αυτά τα περιστατικά υπογραμμίζει την ανάγκη για συνεχή προσαρμογή και ενίσχυση των αμυντικών μέτρων για να παραμείνουν αποτελεσματικά ενάντια στις δυναμικές και πολυεπίπεδες απειλές που προέρχονται από UAV (Brown, 2020).

2.7.2 Συγκριτική ανάλυση διαφορετικών προσεγγίσεων

Κάθε μελέτη περίπτωσης παρέχει την ευκαιρία να συγκρίνουμε και να αντιπαραβάλουμε διάφορες αμυντικές στρατηγικές:

Φυσικά έναντι ηλεκτρονικών αντιμέτρων: Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των φυσικών φραγμών και των ηλεκτρονικών αντιμέτρων σε διαφορετικά σενάρια. Για παράδειγμα, στο σενάριο του αεροδρομίου, μπορεί να αξιολογηθεί ο ρόλος των ηλεκτρονικών συστημάτων παρεμβολής και ανίχνευσης έναντι των φυσικών μέτρων ασφαλείας.

Ενεργητική αναχαίτιση έναντι παθητικής άμυνας: Ανάλυση καταστάσεων στις οποίες χρησιμοποιείται ενεργητική αναχαίτιση (όπως μη επανδρωμένα αεροσκάφη που συλλαμβάνουν κηφίνες ή συστήματα λείζερ) σε σχέση με στρατηγικές παθητικής άμυνας (όπως η γεωεντοπισμός ή τα συστήματα συναγερμού).

2.7.3 Αποτελεσματικότητα και προσαρμοστικότητα των υφιστάμενων συστημάτων

Αυτές οι μελέτες περιπτώσεων μπορούν να παράσχουν πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα και την προσαρμοστικότητα των υφιστάμενων συστημάτων άμυνας κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Μπορούν να αποκαλύψουν κενά στις τρέχουσες στρατηγικές και να προτείνουν τομείς για βελτίωση, ιδίως όσον αφορά την ταχεία ανίχνευση, τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και τον υπηρεσιακό συντονισμό.

2.7.4 Διδάγματα και βέλτιστες πρακτικές

Από κάθε μελέτη περίπτωσης μπορούν να εξαχθούν βασικά διδάγματα. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν βέλτιστες πρακτικές για την εφαρμογή συστημάτων άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη, γνώσεις σχετικά με νομικές και ηθικές εκτιμήσεις σε σενάρια του πραγματικού κόσμου και συστάσεις για τη μελλοντική ανάπτυξη πολιτικής και στρατηγικής.

2.8 Περιορισμοί των σημερινών στρατηγικών άμυνας

2.8.1 Κενά στις τρέχουσες τεχνολογίες

Παρά τις προόδους στις τεχνολογίες άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη, υπάρχουν εγγενείς περιορισμοί και κενά που πρέπει να αντιμετωπιστούν:

Περιορισμοί ανίχνευσης: Πολλά τρέχοντα συστήματα δυσκολεύονται να ανιχνεύσουν μικρά ή χαμηλά ιπτάμενα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν σε αστικά περιβάλλοντα ή φυσικά τοπία. Οι περιορισμοί των συστημάτων ραντάρ και ακουστικών συστημάτων σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελούν παράδειγμα αυτής της πρόκλησης (Anderson, 2023).

Χρόνος απόκρισης: Ο χρόνος που απαιτείται για την ανίχνευση, τον εντοπισμό και την απόκριση σε μια εισβολή μη επανδρωμένου αεροσκάφους είναι κρίσιμος. Τα σημερινά συστήματα ενδέχεται να μην προσφέρουν την ταχεία αντίδραση που απαιτείται για την αποτελεσματική εξουδετέρωση μιας απειλής από drone πριν αυτό φτάσει στο στόχο του (Hawkins & Roberts, 2021).

Εμβέλεια και επεκτασιμότητα: Η αποτελεσματική εμβέλεια πολλών τεχνολογιών κατά των drone, ιδίως των ηλεκτρονικών αντιμέτρων, είναι συχνά περιορισμένη. Η κλιμάκωση αυτών των συστημάτων για την προστασία μεγαλύτερων περιοχών ή πολλαπλών HVAs ταυτόχρονα παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις (Jones, 2021).

2.8.2 Προκλήσεις στην εφαρμογή και τη λειτουργία

Η εφαρμογή και η λειτουργία των συστημάτων άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη περιλαμβάνει αρκετές πρακτικές προκλήσεις:

Ενσωμάτωση με τα υφιστάμενα συστήματα ασφαλείας: Η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών άμυνας με drone στις υπάρχουσες υποδομές και πρωτόκολλα ασφαλείας μπορεί να είναι πολύπλοκη και να απαιτεί πολλούς πόρους.

Εκπαίδευση και ανθρώπινο δυναμικό: Η αποτελεσματική λειτουργία αυτών των συστημάτων απαιτεί συχνά εξειδικευμένη εκπαίδευση. Το ανθρώπινο δυναμικό που απαιτείται για τη συνεχή παρακολούθηση και την ταχεία αντίδραση μπορεί να είναι σημαντικό, ιδίως για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (Taylor & Khan, 2022).

Εκτιμήσεις σχετικά με το κόστος: Το κόστος ανάπτυξης ολοκληρωμένων συστημάτων άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορεί να είναι απαγορευτικό, ιδίως για μικρότερους οργανισμούς ή εγκαταστάσεις. Η εξισορρόπηση του κόστους με την αποτελεσματικότητα αποτελεί βασική σκέψη (Smith, 2020).

2.8.3 Εξελισσόμενη φύση της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Η τεχνολογία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών εξελίσσεται ραγδαία και τα αμυντικά συστήματα πρέπει να προσαρμοστούν ανάλογα. Η ανάπτυξη αυτόνομων μη επανδρωμένων αεροσκαφών και η αυξανόμενη χρήση τακτικών σμήνους μπορεί να καταστήσει ορισμένα τρέχοντα αμυντικά μέτρα παρωχημένα. Η τήρηση του ρυθμού αυτών των τεχνολογικών εξελίξεων αποτελεί συνεχή πρόκληση για τις στρατηγικές άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Bennett & Waltz, 2020).

2.8.4 Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις

Οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις της ανάπτυξης ορισμένων τεχνολογιών άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη, ιδίως σε αστικές ή κατοικημένες περιοχές, πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά. Το ενδεχόμενο παράπλευρων ζημιών και διαταραχής της καθημερινής ζωής θέτει σημαντικές προκλήσεις στην εφαρμογή αυτών των συστημάτων (Greenberg, 2020).

2.9 Αναδυόμενες τάσεις και μελλοντικές εξελίξεις

2.9.1 Εξελίξεις στην τεχνολογία άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Η ραγδαία εξέλιξη των τεχνολογιών των μη επανδρωμένων αεροσκαφών έχει ωθήσει σε εξίσου δυναμικές εξελίξεις στα συστήματα αντιμετώπισης των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Οι αναδυόμενες τάσεις περιλαμβάνουν:

Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση: Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση ενσωματώνονται ολοένα και περισσότερο στα συστήματα άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη για βελτιωμένη ανίχνευση, αναγνώριση και δυνατότητες αυτόνομης αντίδρασης. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την επεξεργασία δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας την ταχύτητα και την ακρίβεια των αντιδράσεων σε εισβολές από μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Hawkins & Roberts, 2021).

Προηγμένες τεχνολογίες ραντάρ και αισθητήρων: Οι νέες εξελίξεις στις τεχνολογίες ραντάρ και αισθητήρων προσφέρουν βελτιωμένες δυνατότητες για τον εντοπισμό μικρών και χαμηλά ιπτάμενων μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Οι εξελίξεις αυτές περιλαμβάνουν βελτιωμένη επεξεργασία σήματος, ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης για την αναγνώριση προτύπων και χρήση συστημάτων σύντηξης πολλαπλών αισθητήρων (Jones, 2021).

2.9.2 Δυνατότητα ολοκλήρωσης και αυτοματοποίησης

Το μέλλον της άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη βρίσκεται πιθανότατα στην ολοκλήρωση και την αυτοματοποίηση διαφόρων αμυντικών συστημάτων:

Ολοκληρωμένα αμυντικά συστήματα: Η ιδέα ενός πλήρως ολοκληρωμένου αμυντικού συστήματος, που συνδυάζει φυσικά εμπόδια, ηλεκτρονικά αντίμετρα και κινητικές λύσεις, κερδίζει έδαφος. Τέτοια συστήματα μπορούν να προσφέρουν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, που καλύπτει τις φάσεις ανίχνευσης, ταυτοποίησης, εντοπισμού και εξουδετέρωσης (Taylor & Khan, 2022).

Αυτοματοποιημένοι μηχανισμοί αντίδρασης: Η αυτοματοποίηση της αντίδρασης σε απειλές από μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορεί να μειώσει σημαντικά τους χρόνους αντίδρασης και να ελαχιστοποιήσει το ανθρώπινο λάθος. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση αυτόνομων μη επανδρωμένων αεροσκαφών αναχαίτισης και την αυτοματοποιημένη ενεργοποίηση αντιμέτρων κατά την ανίχνευση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (Anderson, 2023).

2.9.3 Προκλήσεις και εκτιμήσεις για τις μελλοντικές εξελίξεις

Ενώ αυτές οι εξελίξεις είναι ελπιδοφόρες, υπάρχουν υφιστάμενες προκλήσεις όπως:

Προσαρμογή στην εξέλιξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών: Καθώς η τεχνολογία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών συνεχίζει να εξελίσσεται, τα αμυντικά συστήματα πρέπει να εξελίσσονται αντίστοιχα. Η συνεχιζόμενη ανάπτυξη πιο αθόρυβων, ταχύτερων και πιο αυτόνομων μη επανδρωμένων αεροσκαφών θα θέτει συνεχώς σε αμφισβήτηση τους υφιστάμενους αμυντικούς μηχανισμούς.

Ρυθμιστικά και ηθικά ζητήματα: Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών στην άμυνα με μη επανδρωμένα αεροσκάφη εγείρει πολύπλοκα ρυθμιστικά και ηθικά ζητήματα, ιδίως όσον αφορά την αυτονομία και τη χρήση βίας. Η πλοήγηση σε αυτά τα ζητήματα θα είναι ζωτικής σημασίας για την υπεύθυνη ανάπτυξη των μελλοντικών αμυντικών συστημάτων (Smith, 2020).

2.9.4 Διερεύνηση μη παραδοσιακών μηχανισμών άμυνας

Οι μελλοντικές εξελίξεις μπορεί επίσης να διερευνήσουν μη συμβατικές στρατηγικές άμυνας, όπως τεχνικές ηλεκτρονικού πολέμου, άμυνες στον κυβερνοχώρο ειδικά προσαρμοσμένες στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, ακόμη και βιολογικές ή περιβαλλοντικές λύσεις που εκμεταλλεύονται τα φυσικά τρωτά σημεία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

2.10 Συμπέρασμα

2.10.1 Συνοπτική παρουσίαση των στρατηγικών άμυνας κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Το παρόν κεφάλαιο παρείχε μια ολοκληρωμένη ανάλυση των διαφόρων στρατηγικών και τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για την άμυνα κατά των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη κατά στόχων υψηλής αξίας. Από τα παραδοσιακά φυσικά εμπόδια έως τους προηγμένους μηχανισμούς ηλεκτρονικής και κυβερνοάμυνας, το εύρος των προσεγγίσεων αντικατοπτρίζει την πολύπλοκη και εξελισσόμενη φύση των απειλών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Η συζήτηση ανέδειξε όχι μόνο την αποτελεσματικότητα αυτών των μεθόδων αλλά και τους περιορισμούς τους, συμπεριλαμβανομένων των προκλήσεων στην ανίχνευση, των νομικών και ηθικών προβληματισμών και της ανάγκης για ταχεία και ακριβή αντίδραση.

2.10.2 Αξιολόγηση των τρεχουσών τάσεων και των μελλοντικών κατευθύνσεων.

Η διερεύνηση των αναδυόμενων τάσεων στην άμυνα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, ιδίως η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης, των προηγμένων τεχνολογιών αισθητήρων και των δυνατοτήτων για αυτοματοποιημένα και ολοκληρωμένα συστήματα άμυνας, υποδεικνύει μια προοδευτική προσέγγιση στην αντιμετώπιση των απειλών UAV. Ωστόσο, οι εξελίξεις αυτές υπογραμμίζουν επίσης τη συνεχή ανάγκη για καινοτομία και προσαρμογή ως απάντηση στις εξελισσόμενες δυνατότητες της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

2.10.3 Αναστοχασμός σχετικά με την πολυπλοκότητα της άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη.

Η πολυπλοκότητα της αποτελεσματικής άμυνας κατά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι προφανής. Απαιτεί μια ισορροπημένη προσέγγιση που να εξετάζει όχι μόνο τις τεχνολογικές πτυχές αλλά και τις νομικές, ηθικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Καθώς η τεχνολογία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών συνεχίζει να εξελίσσεται, το ίδιο πρέπει

να κάνουν και οι στρατηγικές και τα συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για την αντιμετώπισή τους.

2.10.4 Μετάβαση στο KEDI

Υπό το πρίσμα των περιορισμών και των προκλήσεων που εντοπίζονται στις τρέχουσες στρατηγικές άμυνας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, το επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζει το σύστημα αναχαίτησης μη επανδρωμένων αεροσκαφών κινητικής ενέργειας (KEDI). Το KEDI αντιπροσωπεύει μια νέα προσέγγιση στην άμυνα UAV, με στόχο να αντιμετωπίσει ορισμένα από τα βασικά κενά και τις προκλήσεις που συζητήθηκαν στο παρόν κεφάλαιο. Οι επόμενες ενότητες θα εμβαθύνουν στην έννοια, τον σχεδιασμό και τις δυνατότητες του KEDI ως καινοτόμου λύσης στο εξελισσόμενο τοπίο των στρατηγικών άμυνας μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Κεφάλαιο 3: Η έννοια του συστήματος αναχαίτησης μη επανδρωμένων αεροσκαφών κινητικής ενέργειας (KEDI)

3.1 Εισαγωγή στο KEDI

3.1.1 Σκοπός και συνάφεια

Το σύστημα αναχαίτησης μη επανδρωμένων αεροσκαφών κινητικής ενέργειας (KEDI) αναδύεται ως απάντηση στην κλιμακούμενη απειλή που συνιστούν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV) τόσο στον πολιτικό όσο και στον στρατιωτικό τομέα. Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει το KEDI, ένα UAV σχεδιασμένο για την προστασία στόχων υψηλής αξίας μέσω ταχείας αντίδρασης και αναχαίτησης, αξιοποιώντας την κινητική ενέργεια για την εξουδετέρωση πιθανών απειλών.

3.1.2 Καινοτόμος προσέγγιση

Το KEDI ενσαρκώνει μια καινοτόμο προσέγγιση στην άμυνα μη επανδρωμένων αεροσκαφών, χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό προηγμένης αεροδυναμικής, προώθησης και συστημάτων ελέγχου για την αποτελεσματική εμπλοκή και εξουδετέρωση εχθρικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Οι μοναδικές πτυχές του KEDI, όπως οι ικανότητες VTOL, το ισχυρό σύστημα ισχύος και οι εξελιγμένοι αισθητήρες, το τοποθετούν στην αιχμή της τεχνολογίας για την καταπολέμηση των UAV.

3.1.3 Φιλοσοφία σχεδιασμού

Η φιλοσοφία σχεδιασμού του KEDI βασίζεται στις αρχές της ευελιξίας, της ακρίβειας και των ελάχιστων παράπλευρων επιπτώσεων. Αυτές οι αρχές καθοδηγούν την ανάπτυξη του συστήματος, διασφαλίζοντας ότι μπορεί να πλοηγείται σε πολύπλοκα περιβάλλοντα, να εντοπίζει με ακρίβεια τις απειλές και να τις προσβάλλει με το κατάλληλο επίπεδο ισχύος.

3.1.4 Επιχειρησιακό πλαίσιο

Η ανάπτυξη του KEDI εντάσσεται στο ευρύτερο επιχειρησιακό περιβάλλον της άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί ως μέρος ενός ολοκληρωμένου αμυντικού συστήματος, καλύπτοντας το κενό εκεί όπου τα παραδοσιακά μέτρα ασφαλείας υπολείπονται. Η εισαγωγή σκιαγραφεί το ρόλο του KEDI σε μια πολυεπίπεδη αμυντική στρατηγική, ικανή να παρέχει ταχεία αντίδραση σε αναδυόμενες απειλές.

3.1.5 Περίγραμμα διπλωματικής

Η εισαγωγή προετοιμάζει το έδαφος για τις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου, οι οποίες θα περιγράψουν λεπτομερώς την επιχειρησιακή ιδέα, την έμπνευση σχεδιασμού, τις βασικές απαιτήσεις επιδόσεων και τα συγκεκριμένα στοιχεία που συνθέτουν το σχεδιασμό του KEDI. Αυτό το τμήμα θα περιγράψει τη δομή του κεφαλαίου και τον τρόπο με τον οποίο θα διερευνηθεί σε βάθος ο σχεδιασμός του KEDI.

3.2 Επιχειρησιακή αντίληψη

3.2.1 Θεμελιώδεις επιχειρησιακές αρχές

Το KEDI, που οραματίζεται ως ένα προηγμένο μη επανδρωμένο αεροσκάφος που μοιάζει με αεροσκάφος, λειτουργεί με βάση τις αρχές της εμπλοκής υψηλής ταχύτητας, της ευελιξίας και της στόχευσης ακριβείας. Ο σχεδιασμός του, που διαθέτει τέσσερις κινητήρες EDF τοποθετημένους σε μια δομή που μοιάζει με σταυρό, βελτιστοποιεί την αεροδυναμική απόδοση, επιτρέποντας γρήγορους ελιγμούς σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των αστικών τοπίων.

3.2.2 Ταχεία ανάπτυξη και εμπλοκή

Δυνατότητες VTOL: Οι ικανότητες VTOL του KEDI επιτρέπουν την ταχεία ανάπτυξη από διάφορες τοποθεσίες, παρακάμπτοντας την ανάγκη για διάδρομο προσγείωσης.

Καταδίωξη υψηλής ταχύτητας: Ο σχεδιασμός διευκολύνει τις καταδίωξεις υψηλής ταχύτητας, καθιστώντας το KEDI ικανό να πλησιάζει γρήγορα τους στόχους του.

3.2.3 Στρατηγική κινητικής εμπλοκής

Ο πρωταρχικός τρόπος εξουδετέρωσης των απειλών του KEDI είναι η άμεση κινητική εμπλοκή, σχεδιασμένη για την επίτευξη είτε καταστροφικών εμπλοκών (K-Kill) είτε εμπλοκής κινητικότητας (M-Kill):

Καταστροφική εμπλοκή: Στόχευση κρίσιμων εξαρτημάτων των εχθρικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών για την πλήρη καταστροφή τους.

Πλήγμα στη κινητικότητα: Εξουδετέρωση της κινητικότητας του μη επανδρωμένου αεροσκάφους-στόχου, εμποδίζοντάς το να συνεχίσει την πτήση ή την αποστολή του.

3.2.4 Προηγμένη ικανότητα ελιγμών

Η ικανότητα ελιγμών του KEDI αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της επιχειρησιακής του αποτελεσματικότητας:

Ευέλικτη πλοήγηση: Ικανό για περίπλοκους ελιγμούς σε πυκνά αστικά περιβάλλοντα ή σε κοντινές περιοχές.

Δυναμική στόχευση: Προσαρμοστικότητα στην τακτική εμπλοκής για τη δυναμική στόχευση και αναχαίτιση εχθρικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών με βάση τη συμπεριφορά και τα πρότυπα πτήσης τους.

3.2.5 Ευφυή συστήματα και αυτονομία

Αυτόνομες επιχειρήσεις: Εξοπλισμένο με εξελιγμένη τεχνητή νοημοσύνη, το KEDI μπορεί να εκτελεί αυτόνομα πολύπλοκα καθήκοντα, από την αναγνώριση στόχων έως τις αποφάσεις εμπλοκής.

Ανθρώπινη εποπτεία: Αν και ικανό για αυτόνομη λειτουργία, το KEDI επιτρέπει την ανθρώπινη εποπτεία και τον έλεγχο, εξασφαλίζοντας τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων σε πολύπλοκα σενάρια.

3.2.6 Δυνατότητες εμπλοκής και επαναπροσέγγισης

Εμπλοκή πολλαπλών στόχων: Το KEDI έχει σχεδιαστεί για να εμπλέκει διαδοχικά πολλαπλούς στόχους, χρησιμοποιώντας προηγμένα συστήματα εντοπισμού και στόχευσης.

Επανεμπλοκή: Μετά από μια αρχική εμπλοκή, το KEDI μπορεί να αξιολογήσει την κατάσταση του και να επανενταχθεί εάν είναι απαραίτητο, υπό την προϋπόθεση ότι παραμένει επιχειρησιακό.

3.2.7 Επιχειρησιακά σενάρια

Αστικός πόλεμος: Ιδανικό για σενάρια όπου η ακρίβεια και οι ελάχιστες παράπλευρες απώλειες είναι ζωτικής σημασίας.

Προστασία στόχων υψηλής αξίας: Κατάλληλο για την προστασία κρίσιμων υποδομών ή στόχων υψηλής αξίας από απειλές μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

3.3 Εναύσματα σχεδιασμού

3.3.1 Έμπνευση από τη φύση: Βιομιμητισμός στον εναέριο σχεδιασμό

Ο σχεδιασμός του KEDI έχει βαθιές ρίζες στην έννοια της βιομιμητικής, αντλώντας ειδικότερα έμπνευση από τον φυσικό κόσμο των εναέριων θηρευτών. Τα αρπακτικά πουλιά, γνωστά για την ευκινησία, την ακρίβεια και τις αποτελεσματικές τακτικές κυνηγιού τους, αποτέλεσαν πρωταρχική επιρροή στη σύλληψη του σχεδιασμού του KEDI.



Εικόνα 19 - Γεράκι πετρίτης χτυπάει το θήραμά του χρησιμοποιώντας τη κινητική του ενέργεια

Μιμούμενοι τα αρπακτικά πουλιά: Τα ευέλικτα μοτίβα πτήσης και οι στρατηγικές κυνηγιού πτηνών όπως τα γεράκια και οι αετοί έχουν μελετηθεί και μιμηθεί. Η ικανότητά τους να κάνουν γρήγορους ελιγμούς, να καταδύονται και να συλλαμβάνουν τη λεία τους καθοδήγησε το σχεδιασμό της δυναμικής πτήσης και των επιχειρησιακών τακτικών του KEDI.

Προσαρμογή της φυσικής αεροδυναμικής: Ακριβώς όπως τα αρπακτικά πουλιά παρουσιάζουν βελτιωμένα σώματα για αποτελεσματική πτήση, ο σχεδιασμός του KEDI ενσωματώνει κομπές και αεροδυναμικές μορφές. Αυτό μειώνει την αντίσταση του αέρα,

επιτρέποντας ταχεία επιτάχυνση και ευέλικτους ελιγμούς, ζωτικής σημασίας για την αναχαίτιση ταχέως κινούμενων στόχων.

3.3.2 Ενσωμάτωση της βιομημητικής στα συστήματα ελέγχου

Η βιομημητική επεκτείνεται πέρα από τον φυσικό σχεδιασμό του KEDI και στα συστήματα ελέγχου του, όπου η αποτελεσματικότητα της φύσης αναπαράγεται σε τεχνολογικές λύσεις.

Ανταποκρινόμενοι μηχανισμοί ελέγχου: Τα συστήματα ελέγχου πτήσης του KEDI έχουν σχεδιαστεί για να μιμούνται τις ενστικτώδεις και ακριβείς αντιδράσεις των πτηνών. Αυτό περιλαμβάνει δυνατότητες ταχείας απόκρισης και προηγμένη σταθεροποίηση, επιτρέποντας στο KEDI να εκτελεί σύνθετους εναέριους ελιγμούς με ακρίβεια. Καθοριστικό ρόλο σε αυτό διαδραματίζει η διττή φύση των κινητήρων ως προωθητικού μέσου και συστήματος ελέγχου ταυτόχρονα.

Προηγμένη ενσωμάτωση των αισθήσεων: Αντλώντας έμπνευση από τις αυξημένες αισθήσεις των πτηνών, το KEDI είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες τελευταίας τεχνολογίας. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν βελτιωμένη επίγνωση της κατάστασης, επιτρέποντας στο drone να εντοπίζει και να προσβάλλει στόχους με μεγάλη ακρίβεια.

3.3.3 Σχεδιασμός για κινητική αναχαίτιση

Η βασική αποστολή του KEDI - να αναχαιτίζει και να εξουδετερώνει εχθρικά μη επανδρωμένα αεροσκάφη - ενσωματώνεται στα στοιχεία σχεδιασμού του που διευκολύνουν την κινητική εμπλοκή.

Ανθεκτικές δομές πρόσκρουσης: Για την επίτευξη καταστροφικών εμπλοκών, το KEDI είναι κατασκευασμένο με ανθεκτικά υλικά και ενισχυμένες δομές. Αυτά τα χαρακτηριστικά διασφαλίζουν ότι το KEDI μπορεί να αντέξει σε συγκρούσεις υψηλής ταχύτητας, ενώ αχρηστεύει αποτελεσματικά τα εχθρικά μη επανδρωμένα αεροσκάφη κατά την εμπλοκή.

Στόχευση ακριβείας για καταστροφή κινητικότητας: Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει επίσης μηχανισμούς για ακριβή στόχευση, επιτρέποντας στο KEDI να πλήττει στρατηγικά τα εχθρικά drones σε κρίσιμα σημεία, ακινητοποιώντας τα έτσι χωρίς απαραίτητα να τα καταστρέφει εντελώς.

3.3.4 Προσαρμοστικότητα και ευελιξία στη σχεδίαση

Ο σχεδιασμός του KEDI λαμβάνει υπόψη την επιχειρησιακή ευελιξία, επιτρέποντάς του να προσαρμόζεται σε διάφορα σενάρια αποστολής και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Περιβαλλοντική προσαρμοστικότητα: Με τον ευέλικτο σχεδιασμό του, το KEDI μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά σε ποικίλες συνθήκες, από ανοικτές αγροτικές περιοχές έως αστικά περιβάλλοντα. Αυτή η προσαρμοστικότητα επιτυγχάνεται μέσω ενός συνδυασμού προηγμένων συστημάτων πλοήγησης και προσαρμόσιμων τρόπων πτήσης.

Δέσμευση πολλαπλών σεναρίων: Ο σχεδιασμός του KEDI υποστηρίζει μια σειρά στρατηγικών εμπλοκής. Είτε η αποστολή απαιτεί μυστικότητα, ταχύτητα ή άμεση ανταπόκριση, ο σχεδιασμός του KEDI επιτρέπει τις απαραίτητες τακτικές προσαρμογές.

3.4 Απαιτήσεις και χαρακτηριστικά

3.4.1 Απαιτήσεις επιδόσεων

Το KEDI έχει σχεδιαστεί για να πληροί συγκεκριμένες απαιτήσεις επιδόσεων που είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική λειτουργία σε διάφορα σενάρια, ιδίως για την εξουδετέρωση απειλών UAV. Οι απαιτήσεις αυτές περιλαμβάνουν:

Ταχύτητα και ευελιξία: Δεδομένης της ανάγκης ταχείας αναχαίτισης δυνητικά ταχέως κινούμενων στόχων, το KEDI έχει σχεδιαστεί για πτήση υψηλής ταχύτητας και γρήγορη ευελιξία. Ο αεροδυναμικός σχεδιασμός του και το ισχυρό σύστημα πρόωσης επιτρέπουν γρήγορους χρόνους απόκρισης και ευέλικτη κίνηση, απαραίτητες για την παρακολούθηση και αναχαίτιση εχθρικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Ανθεκτικότητα: Το KEDI είναι κατασκευασμένο για να αντέχει τη φυσική καταπόνηση των ελιγμών υψηλής ταχύτητας και τον αντίκτυπο των κινητικών εμπλοκών. Η χρήση ανθεκτικών, ελαφρών υλικών διασφαλίζει ότι το KEDI μπορεί να αντέξει τις κακουχίες του επιχειρησιακού του περιβάλλοντος.

Επιχειρησιακή εμβέλεια και αντοχή: Το KEDI έχει σχεδιαστεί ώστε να έχει επαρκή επιχειρησιακή εμβέλεια για την κάλυψη μεγάλων περιοχών, ενώ η χωρητικότητα της μπαταρίας και η ενεργειακή απόδοση είναι βαθμονομημένες για εκτεταμένους χρόνους πτήσης. Αυτό διασφαλίζει ότι το KEDI μπορεί να παραμείνει στον αέρα για αρκετό χρονικό διάστημα ώστε να ολοκληρώσει αποτελεσματικά τους στόχους της αποστολής του.

3.4.2 Μοναδικά χαρακτηριστικά για την κινητική αναχαίτιση

Το KEDI διαθέτει διακριτικά χαρακτηριστικά που του επιτρέπουν να εκτελεί την πρωταρχική του λειτουργία της κινητικής αναχαίτισης:

Ανοχή πρόσκρουσης: Το πλαίσιο και τα εξωτερικά εξαρτήματα έχουν σχεδιαστεί για να απορροφούν και να αντέχουν τις δυνάμεις πρόσκρουσης που συναντώνται κατά τις κινητικές αναχαίτισεις, ελαχιστοποιώντας τις ζημιές στο ίδιο το KEDI.

Συστήματα στόχευσης ακριβείας: Εξοπλισμένο με προηγμένα συστήματα στόχευσης, το KEDI θα μπορεί να εντοπίζει με ακρίβεια και να πλήττει κρίσιμα σημεία των εχθρικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών, μεγιστοποιώντας την πιθανότητα επιτυχούς αναχαίτισης.

3.4.3 Αντιμετώπιση σχεδιαστικών προκλήσεων

Για την ανάπτυξη του KEDI χρειάστηκε να ξεπεραστούν αρκετές σχεδιαστικές προκλήσεις:

Εξισορρόπηση ταχύτητας και σταθερότητας: Η επίτευξη ενός σχεδιασμού που επιτρέπει τόσο την καταδίωξη με υψηλή ταχύτητα όσο και τη σταθερή πτήση κατά τις φάσεις εμπλοκής απαιτεί προσεκτική αεροδυναμική σχεδίαση.

Διαχείριση ενέργειας: Η διασφάλιση ότι το KEDI έχει αρκετή ισχύ για να εκτελεί ελιγμούς υψηλής ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα επαρκή διάρκεια ζωής της μπαταρίας για τη διάρκεια της αποστολής του αποτελεί μια βασική πρόκληση. Οι λύσεις περιλάμβαναν τη βελτιστοποίηση της χωρητικότητας της μπαταρίας και την ενσωμάτωση εξαρτημάτων με υψηλή ενεργειακή απόδοση.

Εκτιμήσεις για το ωφέλιμο φορτίο και το βάρος: Η εξισορρόπηση της ανάγκης για διάφορα συστήματα επί του σκάφους (αισθητήρες, εξοπλισμός στόχευσης κ.λπ.) με την επιτακτική ανάγκη να παραμείνει το drone ελαφρύ για ευελιξία και ταχύτητα αποτελεί μια κρίσιμη πτυχή της διαδικασίας σχεδιασμού.

3.4.4 Προσαρμοστικός σχεδιασμός για διάφορα σενάρια

Ο σχεδιασμός του KEDI είναι προσαρμόσιμος σε διαφορετικά επιχειρησιακά πλαίσια:

Προσαρμογή σε αστικό περιβάλλον: Χαρακτηριστικά όπως το συμπαγές μέγεθος και η μείωση του θορύβου ενσωματώνονται για επιχειρήσεις σε αστικό περιβάλλον, όπου η ευελιξία και η διακριτικότητα είναι ζωτικής σημασίας.

Αρθρωτό σύστημα εξαρτημάτων: Ο σχεδιασμός επιτρέπει την εύκολη εναλλαγή εξαρτημάτων για την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών της αποστολής, όπως διαφορετικά πακέτα αισθητήρων ή εναλλακτικοί μηχανισμοί εμπλοκής για διαφορετικά περιβάλλοντα.

3.5 Χρησιμοποιούμενα εξαρτήματα

3.5.1 Μονάδες EDF και διαμόρφωση κινητήρα

Ηλεκτρικοί κινητήρες με αγωγούς (EDF): Το KEDI χρησιμοποιεί τέσσερις ηλεκτρικούς κινητήρες με αγωγούς για την πρόωση, προσφέροντας υψηλές αναλογίες ώσης προς βάρος που είναι απαραίτητες για ταχεία επιτάχυνση και ευέλικτους ελιγμούς. Οι EDF συμβάλλουν στις ικανότητες VTOL του KEDI, επιτρέποντάς του να εκτοξεύεται και να προσγειώνεται κάθετα σε διάφορα περιβάλλοντα.

Προδιαγραφές κινητήρων: Η χρήση κινητήρων 2800KV, τόσο δεξιόστροφα (CW) όσο και αριστερόστροφα (CCW), παρέχει ισορροπημένη και ισχυρή πρόωση. Αυτή η διάταξη κινητήρων ενισχύει τη σταθερότητα και τον έλεγχο, επιτρέποντας ακριβείς αλλαγές κατεύθυνσης κατά τη διάρκεια της πτήσης.

3.5.2 Ηλεκτρονικοί ελεγκτές ταχύτητας (ESC)

Λειτουργία και επιλογή: Το KEDI είναι εξοπλισμένο με ESC της σειράς Hornet 100A, που επιλέχθηκαν για την ικανότητά τους να διαχειρίζονται υψηλά φορτία και γρήγορες ρυθμίσεις ταχύτητας του κινητήρα. Αυτοί οι ESCs είναι ζωτικής σημασίας για τη μετάφραση των εντολών πτήσης σε ακριβείς ενέργειες του κινητήρα, εξασφαλίζοντας απόκριση και ρευστή δυναμική πτήσης.

Ενσωμάτωση με τα συστήματα πτήσης: Η ενσωμάτωση των ESC με τα συστήματα ελέγχου πτήσης επιτρέπει εξελιγμένους ελιγμούς και πολύπλοκα μοτίβα πτήσης, επιτρέποντας ταχείες επιχειρησιακές αντιδράσεις, όπως απαιτείται σε αποστολές αναχαίτισης.

3.5.3 Πηγή ισχύος

Επιλογή μπαταρίας: Η επιλογή μιας μπαταρίας Lipo 4S 6000 mAh 45C αντικατοπτρίζει μια ισορροπία μεταξύ της χωρητικότητας ισχύος και του βάρους. Αυτή η μπαταρία παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για τις υψηλές απαιτήσεις ισχύος του KEDI, διατηρώντας παράλληλα τη βέλτιστη αναλογία ισχύος/βάρους.

Επίδραση στην απόδοση: Η χωρητικότητα και ο ρυθμός εκφόρτισης της μπαταρίας έχουν βαθμονομηθεί ώστε να εξασφαλίζεται παρατεταμένη επιχειρησιακή αντοχή, υποστηρίζοντας εκτεταμένες αποστολές και επιτρέποντας πολλαπλές εμπλοκές, αν χρειαστεί.

3.5.4 Συστήματα ελέγχου πτήσης και υπολογισμού

Ελεγκτής πτήσης NAVIGATOR: Κεντρικό ρόλο στην επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα του KEDI διαδραματίζει ο ελεγκτής πτήσης NAVIGATOR, υπεύθυνος για την

επεξεργασία των δεδομένων πτήσης, την εκτέλεση αλγορίθμων ελέγχου και τη διαχείριση των αυτόνομων λειτουργιών (Navigator, 2023).

Ενσωμάτωση Raspberry Pi: Η ενσωμάτωση ενός Raspberry Pi4 προσφέρει προηγμένη υπολογιστική ισχύ για σύνθετες εργασίες όπως η επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η αυτόνομη λήψη αποφάσεων και η ενσωμάτωση με την κάμερα HQ για την παρακολούθηση στόχων (Raspberry, 2024).

3.5.5 Υλικό αισθητήρων και απεικόνιση

Κάμερα Raspberry Pi HQ: Αυτή η κάμερα υψηλής ποιότητας χρησιμεύει ως ο κύριος οπτικός αισθητήρας του KEDI, ζωτικής σημασίας για την αναγνώριση και τον εντοπισμό στόχων. Η ενσωμάτωσή της με το Raspberry Pi4 επιτρέπει προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας εικόνας, ενισχύοντας την ακρίβεια εμπλοκής στόχων του KEDI (Raspberry, 2024).

Πακέτο αισθητήρων: Πρόσθετοι αισθητήρες, που ενδεχομένως περιλαμβάνουν ραντάρ, LIDAR ή υπέρυθρες, συμπληρώνουν τα οπτικά συστήματα, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη επίγνωση της κατάστασης και συμβάλλοντας στις ισχυρές δυνατότητες εντοπισμού και παρακολούθησης στόχων του KEDI.

3.6 Προκλήσεις σχεδιασμού και λύσεις

3.6.1 Αντιμετώπιση των τεχνικών προκλήσεων στο σχεδιασμό του KEDI

Η ανάπτυξη του KEDI περιελάμβανε την πλοήγηση σε μια σειρά τεχνικών προκλήσεων, καθεμία από τις οποίες απαιτούσε καινοτόμες λύσεις για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης και λειτουργικότητας.

Μία από τις πρωταρχικές προκλήσεις ήταν η διασφάλιση της σταθερότητας σε υψηλές ταχύτητες και κατά τη διάρκεια γρήγορων ελιγμών. Η λύση περιελάμβανε εκτεταμένη αεροδυναμική μοντελοποίηση και δοκιμές, που οδήγησαν στη μοναδική σταυροειδή σχεδίαση που εξισορροπεί την άνωση, την αντίσταση και τον έλεγχο.

Η εξισορρόπηση των αναγκών ισχύος για ελιγμούς υψηλών επιδόσεων με τους περιορισμούς βάρους και αντοχής ήταν κρίσιμη. Η ενσωμάτωση μιας μπαταρίας Lipo υψηλής χωρητικότητας, υψηλής εκφόρτισης, μαζί με εξαρτήματα ενεργειακής απόδοσης, ήταν το κλειδί για την επίλυση αυτής της πρόκλησης.

Ο σχεδιασμός του KEDI ώστε να αντέχει στη φυσική καταπόνηση των κινητικών συγκρούσεων απαιτούσε προσεκτική επιλογή των υλικών και των δομικών ενισχύσεων.

Αυτό επιτεύχθηκε μέσω ενός συνδυασμού ελαφρών, υψηλής αντοχής υλικών και στρατηγικής ενίσχυσης σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε κρούσεις.

3.6.2 Καινοτόμες μηχανολογικές λύσεις

Κατά την ανάπτυξη του KEDI εισήχθησαν αρκετές καινοτόμες μηχανολογικές λύσεις, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητά του ως σύστημα αναχαίτησης μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Η διαμόρφωση των μονάδων και των κινητήρων EDF βελτιστοποιήθηκε ώστε να παρέχει την απαραίτητη ώθηση και έλεγχο. Αυτό περιελάμβανε την προσαρμογή των βάσεων των κινητήρων και των αγωγών για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της ώσης και της απόκρισης.

Η ανάπτυξη εξελιγμένων αλγορίθμων ελέγχου θα επιτρέψει στο KEDI να εκτελέσει πολύπλοκα μοτίβα πτήσης και ακριβείς ελιγμούς αναχαίτησης. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι ζωτικής σημασίας για τις αυτόνομες και ημιαυτόνομες λειτουργίες του drone, επιτρέποντας την αποτελεσματική προσβολή κινούμενων στόχων.

Η ενσωμάτωση της κάμερας Raspberry Pi HQ και άλλων αισθητήρων στο σύστημα ελέγχου πτήσης αποτελεί ένα σημαντικό εγχείρημα. Αυτή η ενσωμάτωση θα επιτρέψει την παρακολούθηση και εμπλοκή στόχων σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας το KEDI ιδιαίτερα αποτελεσματικό έναντι γρήγορων και ευέλικτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

3.6.3 Ενσωμάτωση προσαρμοσμένων εξαρτημάτων

Αναπτύχθηκαν προσαρμοσμένες λύσεις για την απρόσκοπτη ενσωμάτωση διαφόρων εξαρτημάτων και συστημάτων στο σχεδιασμό του KEDI.

Δημιουργήθηκαν προσαρμοσμένες βάσεις και περίβλημα για την ασφαλή τοποθέτηση των μονάδων EDF, της μπαταρίας και των ηλεκτρονικών μέσα στο βελτιωμένο πλαίσιο, διατηρώντας το αεροδυναμικό προφίλ και εξασφαλίζοντας παράλληλα εύκολη πρόσβαση για συντήρηση και αναβαθμίσεις.

Δεδομένης της υψηλής ισχύος και της αντίστοιχης παραγωγής θερμότητας των ηλεκτρικών εξαρτημάτων, εφαρμόστηκαν προσαρμοσμένες λύσεις ψύξης. Τα συστήματα αυτά διασφαλίζουν ότι τα ESC και άλλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα λειτουργούν εντός των βέλτιστων θερμοκρασιακών ορίων, αποτρέποντας την υπερθέρμανση και τις πιθανές βλάβες. Ο σχεδιασμός του επιτρέπει τη φυσική ροή του αέρα να ψύχει όλα τα μέρη στο εσωτερικό του σε ικανοποιητικό βαθμό.

3.7 Συγκριτική ανάλυση με τα υπάρχοντα συστήματα

3.7.1 Πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών συστημάτων

Το KEDI αντιπροσωπεύει μια σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία αναχαίτισης μη επανδρωμένων αεροσκαφών, προσφέροντας αρκετά βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά αμυντικά συστήματα.

Ο σχεδιασμός του KEDI δίνει προτεραιότητα στην καταδίωξη υψηλής ταχύτητας και στην ευελιξία, ξεπερνώντας πολλά υφιστάμενα συστήματα που είναι είτε στατικά είτε περιορισμένα σε ταχύτητα. Αυτό επιτρέπει στο KEDI να εμπλέκεται γρήγορα και αποτελεσματικά με ταχέως κινούμενους στόχους.

Σε αντίθεση με τα ευρύτερα συστήματα άμυνας περιοχής, το KEDI παρέχει ακριβή εμπλοκή, μειώνοντας τον κίνδυνο παράπλευρων ζημιών, ιδιαίτερα σημαντικό σε αστικά και πυκνοκατοικημένα περιβάλλοντα.

Το KEDI είναι ειδικά σχεδιασμένο για εμπλοκή καταστροφής ή εμπλοκή κινητικότητας, παρέχοντας οριστική απάντηση στις απειλές από μη επανδρωμένα αεροσκάφη, σε αντίθεση με ορισμένα συστήματα που μπορούν να αχρηστεύσουν ή να αποτρέψουν τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μόνο προσωρινά.

Με τις ικανότητες VTOL και τον ευέλικτο σχεδιασμό του, το KEDI είναι κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα περιβαλλόντων, από ανοικτά πεδία έως πυκνές αστικές περιοχές, μια ευελιξία που στερούνται ορισμένα υπάρχοντα συστήματα.

3.7.2 Ενσωμάτωση στις υπάρχουσες αμυντικές υποδομές

Ο σχεδιασμός του KEDI επιτρέπει την ενσωμάτωσή του στα υπάρχοντα αμυντικά συστήματα, ενισχύοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα των στρατηγικών άμυνας με μη επανδρωμένα αεροσκάφη.

Το KEDI μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα πολυεπίπεδο αμυντικό σύστημα, συνεργαζόμενο με επίγεια ραντάρ, αντιαεροπορικά συστήματα και ηλεκτρονικά αντίμετρα, ώστε να παρέχει μια ολοκληρωμένη αμυντική λύση.

Η επεκτασιμότητα του σχεδιασμού του KEDI επιτρέπει την ανάπτυξή του σε διάφορους αριθμούς και σχηματισμούς, ανάλογα με την κλίμακα της απειλής. Η διαλειτουργικότητά του με άλλα αμυντικά συστήματα θα το καταστήσει μια ευέλικτη προσθήκη σε οποιοδήποτε πρωτόκολλο ασφαλείας.

Η ικανότητα του KEDI να λειτουργεί τόσο αυτόνομα όσο και υπό ανθρώπινο έλεγχο το καθιστά ένα ευέλικτο εργαλείο που μπορεί να προσαρμοστεί στις επιχειρησιακές προτιμήσεις και απαιτήσεις διαφορετικών αμυντικών υποδομών.

3.7.3 Πιθανές προκλήσεις ενσωμάτωσης

Ενώ το KEDI προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, η ενσωμάτωσή του στα υπάρχοντα συστήματα ενέχει σημαντικές προκλήσεις.

Η αποτελεσματική ενσωμάτωση απαιτεί ισχυρούς μηχανισμούς επικοινωνίας και συντονισμού για την εξασφάλιση απρόσκοπτης λειτουργίας παράλληλα με άλλα αμυντικά μέσα.

Οι χειριστές και το αμυντικό προσωπικό ενδέχεται να χρειαστούν εξειδικευμένη εκπαίδευση για την αποτελεσματική ανάπτυξη και χρήση του KEDI εντός των υφιστάμενων αμυντικών πλαισίων.

Η ενσωμάτωση ενός νέου συστήματος όπως το KEDI πρέπει να κινηθεί σε ρυθμιστικά και νομικά πλαίσια, ιδίως όσον αφορά τις αυτόνομες επιχειρήσεις και την κινητική εμπλοκή.

3.8 Ηθικές και νομικές εκτιμήσεις

3.8.1 Συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια

Ο σχεδιασμός και τα επιχειρησιακά πρωτόκολλα του KEDI είναι προσεκτικά ευθυγραμμισμένα με τους υφιστάμενους νόμους και κανονισμούς της αεροπορίας. Η συμμόρφωση αυτή περιλαμβάνει την τήρηση των κανονισμών του εναέριου χώρου, την αυστηρή τήρηση των προτύπων ασφάλειας πτήσεων και τον συντονισμό με τις αεροπορικές αρχές για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αρμονικής λειτουργίας σε κοινόχρηστους εναέριους χώρους.

Η χρήση του KEDI σε κινητικές εμπλοκές εξετάζεται με βάση τα νομικά πλαίσια που διέπουν τη χρήση βίας. Αυτό περιλαμβάνει εκτιμήσεις τόσο σε εθνικά πλαίσια, όπου επικρατούν οι εθνικοί νόμοι, όσο και σε διεθνή πλαίσια, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν διαφορετικά νομικά πρότυπα και την ανάγκη τήρησης διεθνών συμφωνιών ή συνθηκών.

3.8.2 Ηθικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη

Μια βασική πτυχή του σχεδιασμού και της επιχειρησιακής στρατηγικής του KEDI είναι η ελαχιστοποίηση των παράπλευρων ζημιών, ιδίως σε αστικά περιβάλλοντα όπου ο κίνδυνος για τους αμάχους και τις υποδομές είναι αυξημένος. Εφαρμόζονται χαρακτηριστικά και τακτικές που εξασφαλίζουν τη στόχευση ακριβείας, μειώνοντας τις ακούσιες επιπτώσεις.

Οι ηθικοί προβληματισμοί γύρω από τις αυτόνομες δυνατότητες του KEDI είναι σημαντικοί. Αυτό περιλαμβάνει τη διασφάλιση της λογοδοσίας στις διαδικασίες λήψης

αποφάσεων κατά την αυτόνομη λειτουργία και την καθιέρωση σαφών μηχανισμών για υπεύθυνη χρήση, εποπτεία και παρέμβαση όταν είναι απαραίτητο.

3.8.3 Πρωτόκολλα ασφαλείας και διαχείριση κινδύνων

Το KEDI ενσωματώνει διάφορα χαρακτηριστικά ασφαλείας για τον μετριασμό των κινδύνων κατά τη λειτουργία. Αυτά περιλαμβάνουν μηχανισμούς ασφαλείας που ενεργοποιούνται σε περίπτωση δυσλειτουργίας του συστήματος, διαδικασίες επείγουσας διακοπής λειτουργίας για την ταχεία απενεργοποίηση του μη επανδρωμένου αεροσκάφους σε κρίσιμες καταστάσεις, καθώς και συστήματα πλεονασμού που διασφαλίζουν τη λειτουργική ακεραιότητα ακόμη και σε περίπτωση βλάβης ενός εξαρτήματος.

Τα επιχειρησιακά πρωτόκολλα για το KEDI περιλαμβάνουν ολοκληρωμένες εκτιμήσεις κινδύνου που διεξάγονται πριν και κατά τη διάρκεια κάθε ανάπτυξης. Τα πρωτόκολλα πρέπει να σχεδιαστούν για την αξιολόγηση πιθανών απειλών και σεναρίων, διασφαλίζοντας ότι οι αποστολές διεξάγονται με απόλυτη προσοχή στην ασφάλεια και σε ηθικά ζητήματα, ελαχιστοποιώντας έτσι τους κινδύνους για τους χειριστές, τους πολίτες και την περιουσία.

3.8.4 Ιδιωτικότητα και ασφάλεια δεδομένων

Οι επιχειρήσεις του KEDI ενδέχεται να περιλαμβάνουν τη συλλογή και επεξεργασία ευαίσθητων δεδομένων. Το σύστημα πρέπει να σχεδιαστεί για να διαχειρίζεται και να προστατεύει τις πληροφορίες αυτές με ασφάλεια, εξασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τους νόμους περί προστασίας δεδομένων και τα πρότυπα προστασίας της ιδιωτικής ζωής για την προστασία από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και κατάχρηση.

Δεδομένου του ρόλου του KEDI στις επιχειρήσεις ασφαλείας και του δυνητικού αντικτύπου του, τα ισχυρά μέτρα κυβερνοασφάλειας αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του σχεδιασμού του. Τα μέτρα αυτά προστατεύουν το σύστημα από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, πειρατεία ή άλλες μορφές κυβερνοδιείσδυσης, διατηρώντας την ακεραιότητα και την εμπιστευτικότητα των λειτουργιών και των δεδομένων του.

3.8.5 Μελλοντικές νομικές και δεοντολογικές εξελίξεις

Το λειτουργικό πλαίσιο του KEDI πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να είναι προσαρμόσιμο, επιτρέποντας ενημερώσεις και τροποποιήσεις σε ανταπόκριση στα εξελισσόμενα νομικά και κανονιστικά τοπία. Αυτή η προσαρμοστικότητα διασφαλίζει ότι το KEDI παραμένει συμβατό με τους νέους νόμους και τα πρότυπα που προκύπτουν.

Δεδομένης της ταχείας εξέλιξης της τεχνολογίας και των μεταβαλλόμενων κοινωνικών προτύπων, υπάρχει συνεχής ανάγκη για ηθικές αναθεωρήσεις της ανάπτυξης του KEDI.

Οι εν λόγω αναθεωρήσεις θα αξιολογούν τον αντίκτυπο των τεχνολογικών εξελίξεων στις ηθικές εκτιμήσεις και θα διασφαλίζουν ότι η χρήση του KEDI παραμένει ευθυγραμμισμένη με τις κοινωνικές αξίες και προσδοκίες.

3.9 Μελλοντικές εξελίξεις και αναβαθμίσεις

3.9.1 Επεκτασιμότητα και προσαρμοστικότητα

Ο δομοστοιχειωτός (Modular) σχεδιασμός του KEDI είναι μια κρίσιμη πτυχή που επιτρέπει σημαντική επεκτασιμότητα. Αυτή η ευελιξία στον σχεδιασμό καθιστά δυνατή την ενσωμάτωση διαφόρων αισθητήρων και μονάδων, προσαρμόζοντας έτσι το KEDI για συγκεκριμένες απαιτήσεις και περιβάλλοντα αποστολών. Η δομοστοιχειωτή προσέγγιση επιτρέπει την ταχεία προσαρμογή του KEDI για μια σειρά από σενάρια, από την αστική επιτήρηση έως τις στρατιωτικές επιχειρήσεις μεγάλης κλίμακας.

Η ευελιξία του KEDI αναδεικνύεται στην ικανότητά του να λειτουργεί αποτελεσματικά σε διάφορα σενάρια. Είτε πρόκειται για κλιμάκωση για εκτεταμένες αμυντικές επιχειρήσεις είτε για εστίαση σε έναν μοναδικό στόχο υψηλής αξίας, το KEDI μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις διαφόρων αμυντικών σεναρίων, ενισχύοντας τη χρησιμότητα και την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητά του.

3.9.2 Τεχνολογικές εξελίξεις

Οι μελλοντικές εκδόσεις του KEDI θα επικεντρωθούν στην ενσωμάτωση αναδυόμενων τεχνολογιών για τη βελτίωση των δυνατοτήτων του. Αυτό περιλαμβάνει προηγμένους αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης για βελτιωμένη αυτονομία, αισθητήρες επόμενης γενιάς για ακριβέστερη στοχοποίηση και αποδοτικότερα συστήματα πρόωσης για την αύξηση της αντοχής και της ταχύτητας. Αυτές οι εξελίξεις θα διασφαλίσουν ότι το KEDI θα παραμείνει στην πρώτη γραμμή της αμυντικής τεχνολογίας UAV.

Η δυναμική ενσωμάτωση του KEDI σε ευρύτερα, δικτυωμένα αμυντικά συστήματα αποτελεί σημαντική παράμετρο. Ο συντονισμός με άλλα UAV, επίγεια συστήματα και επανδρωμένα αεροσκάφη θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο ολοκληρωμένες και ενοποιημένες αμυντικές στρατηγικές, μεγιστοποιώντας την αποτελεσματικότητα των συλλογικών προσπαθειών ασφάλειας.

3.9.3 Προσαρμογή στις εξελισσόμενες απειλές

Καθώς οι επιθετικές τεχνολογίες μη επανδρωμένων αεροσκαφών συνεχίζουν να εξελίσσονται, ο σχεδιασμός και οι δυνατότητες του KEDI θα πρέπει να επικαιροποιούνται επαναληπτικά. Αυτή η προσαρμογή είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της

αποτελεσματικότητάς του ως αντίμετρου κατά των ολοένα και πιο εξελιγμένων εναέριων απειλών.

Προσαρμογή για συγκεκριμένα προφίλ απειλών: Η δυνατότητα προσαρμογής του KEDI για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων τύπων μη επανδρωμένων αεροσκαφών ή συγκεκριμένων προφίλ απειλών είναι ένας βασικός τομέας για μελλοντική ανάπτυξη. Η προσαρμογή των δυνατοτήτων του σε συγκεκριμένα επιχειρησιακά πλαίσια θα ενισχύσει την αποτελεσματικότητα και τη στρατηγική του χρησιμότητα.

3.9.4 Περιβαλλοντική προσαρμοστικότητα

Οι μελλοντικές εξελίξεις θα επικεντρωθούν στην ενίσχυση της προσαρμοστικότητας του KEDI σε ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των ακραίων καιρικών συνθηκών και της εδαφικής πολυπλοκότητας. Αυτό θα διευρύνει το επιχειρησιακό του πεδίο και θα διασφαλίσει την αξιοπιστία του σε ένα ευρύτερο φάσμα σεναρίων.

Θα ληφθούν μέτρα για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του KEDI, όπως η ενσωμάτωση χαρακτηριστικών μείωσης του θορύβου για αστικές επιχειρήσεις και η ενσωμάτωση ενεργειακά αποδοτικών εξαρτημάτων για την προώθηση της βιωσιμότητας.

3.9.5 Βελτιώσεις διεπαφής χρήστη και ελέγχου

Η διερεύνηση της ανάπτυξης πιο προηγμένων διεπαφών χρήστη, ενδεχομένως με την ενσωμάτωση τεχνολογιών VR/AR, θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά τον έλεγχο και την επίγνωση της κατάστασης του χειριστή, καθιστώντας το KEDI πιο διαισθητικό και αποτελεσματικό σε πολύπλοκα περιβάλλοντα.

Αναμένεται περαιτέρω βελτίωση των αυτοματοποιημένων διαδικασιών λήψης αποφάσεων του KEDI, επιτρέποντας ταχύτερες και ακριβέστερες απαντήσεις, ιδίως σε σενάρια υψηλού κινδύνου ή ταχέως εξελισσόμενα σενάρια.

3.9.6 Ασφάλεια και συμμόρφωση

Οι συνεχείς βελτιώσεις των χαρακτηριστικών ασφαλείας θα αποτελέσουν προτεραιότητα, διασφαλίζοντας ότι οι επιχειρήσεις του KEDI παραμένουν ασφαλείς, ιδίως σε περιοχές με άμαχο πληθυσμό.

Ο σχεδιασμός και τα επιχειρησιακά πρωτόκολλα του KEDI θα επικαιροποιούνται συνεχώς ώστε να ευθυγραμμίζονται με τα εξελισσόμενα νομικά και ηθικά πρότυπα, διατηρώντας τη συμμόρφωση και τη σημασία του στο μεταβαλλόμενο τοπίο της ρύθμισης και της διακυβέρνησης των UAV.

3.10 Συμπέρασμα

3.10.1 Συνοπτική παρουσίαση της έννοιας και του σχεδιασμού του KEDI

Το παρόν κεφάλαιο παρείχε μια εκτεταμένη διερεύνηση του KEDI, καλύπτοντας τον καινοτόμο σχεδιασμό του, την επιχειρησιακή στρατηγική και τα βασικά στοιχεία που καθορίζουν τη λειτουργικότητά του.

Ο σχεδιασμός του KEDI, αντλώντας έμπνευση από την ευελιξία και την ακρίβεια των αρπακτικών πτηνών, παρουσιάζει προηγμένη αεροδυναμική και ευελιξία. Αυτή η προσέγγιση της βιομιμητικής υπήρξε καθοριστική για την ανάπτυξη ενός συστήματος αναχίτισης drone που συνδυάζει αποτελεσματικά την ταχύτητα, την ακρίβεια και την ευελιξία για βέλτιστες επιδόσεις.

Η ενσωμάτωση ηλεκτρικών κινητήρων υψηλής ταχύτητας (EDF), εξελιγμένου ελέγχου συστήματα και αισθητήρες αιχμής τοποθετούν το KEDI ως μια υπερσύγχρονη λύση στην άμυνα μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν στο KEDI να πλοηγείται αποτελεσματικά, να παρακολουθεί και να εμπλέκει στόχους με αξιοσημείωτη αποτελεσματικότητα.

Ειδικά σχεδιασμένο για κινητικές εμπλοκές, το KEDI υπερέχει στην εκτέλεση καταστροφικών και κινητικών εμπλοκών. Αυτή η εστίαση εξασφαλίζει μια αποφασιστική και αποτελεσματική αντίδραση στις απειλές UAV, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο παράπλευρων ζημιών και ενισχύοντας την ακρίβεια σε σενάρια υψηλού κινδύνου.

Η ευπροσάρμοστη φύση του σχεδιασμού του KEDI επιτρέπει την αποτελεσματική λειτουργία σε διάφορα περιβάλλοντα και σενάρια. Αυτή η προσαρμοστικότητα αναδεικνύει το ρόλο του KEDI ως δυναμικού και ευέλικτου εργαλείου στην άμυνα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, το οποίο μπορεί να ανταποκριθεί σε ποικίλες επιχειρησιακές απαιτήσεις.

3.10.2 Αναστοχασμός σχετικά με τις προκλήσεις και τις λύσεις σχεδιασμού

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής του, το KEDI αντιμετώπισε και ξεπέρασε πολλαπλές προκλήσεις, εξισορροπώντας πτυχές όπως η ταχύτητα, η σταθερότητα και η ενσωμάτωση πολύπλοκων συστημάτων. Οι καινοτόμες λύσεις που εφαρμόστηκαν για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων υπογραμμίζουν την εφευρετικότητα και την τεχνική εμπειρογνωμοσύνη που διαμόρφωσαν τον σχεδιασμό του KEDI, αντανakλώντας μια βαθιά κατανόηση τόσο των προκλήσεων όσο και των δυνατοτήτων που ενυπάρχουν στην προηγμένη τεχνολογία των μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

3.10.3 Ο ρόλος του KEDI στις μελλοντικές αμυντικές στρατηγικές UAV

Καθώς κοιτάζουμε προς το μέλλον, το KEDI αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός στο πεδίο των στρατηγικών άμυνας UAV. Οι αρχές σχεδιασμού του και οι επιχειρησιακές του δυνατότητες χρησιμεύουν ως πρότυπο για μελλοντικές καινοτομίες, αποδεικνύοντας τις δυνατότητες της προηγμένης τεχνολογίας να αντιμετωπίσει και να εξουδετερώσει αποτελεσματικά τις αναδυόμενες απειλές για την ασφάλεια.

3.10.4 Μετάβαση σε λεπτομερή σχεδιασμό και μεθοδολογία

Με την ολοκληρωμένη κατανόηση του εννοιολογικού και επιχειρησιακού πλαισίου του KEDI, το κεφάλαιο που ακολουθεί θα εμβαθύνει στις λεπτομέρειες του σχεδιασμού του KEDI και στη μεθοδολογία πίσω από την ανάπτυξή του. Αυτή η επόμενη φάση θα περιλαμβάνει λεπτομερείς συζητήσεις σχετικά με τις διεργασίες μηχανικής, τις επιλογές σχεδιασμού και τα πρακτικά βήματα που αφορούν για την υλοποίηση της έννοιας του KEDI. Θα προσφέρει μια εις βάθος ματιά στις τεχνικές λεπτομέρειες, τη λογική του σχεδιασμού και τις λύσεις μηχανικής που χρησιμοποιήθηκαν για να μετατραπεί το KEDI από ιδέα σε λειτουργική πραγματικότητα. Αυτή η διερεύνηση όχι μόνο θα ρίξει φως στις τεχνικές πτυχές του σχεδιασμού του KEDI, αλλά και θα καταδείξει τη σχολαστική και μελετημένη προσέγγιση που ακολουθήθηκε κατά την ανάπτυξή του, αναδεικνύοντας τις δυνατότητές του ως ένα εργαλείο που θα αλλάξει το παράδειγμα στον τομέα της άμυνας UAV.

Κεφάλαιο 4: Σχεδίαση και μεθοδολογία

4.1 Εισαγωγή

4.1.1 Λογισμικό σχεδίασης – CAD

Η ανάπτυξη και η σχεδίαση του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) βασίστηκαν στην χρήση του προηγμένου λογισμικού σχεδίασης FUSION 360 της εταιρείας AUTODESK. Αυτό το εργαλείο CAD προσέφερε μια σειρά από δυνατότητες και λειτουργίες που ήταν καθοριστικές στη διαμόρφωση των τεχνικών πτυχών του UAV (Autodesk, 2024).

Το FUSION 360 διαθέτει μια ευρεία γκάμα λειτουργιών που κάλυψαν τις ανάγκες σχεδίασης και ανάλυσης του KEDI. Η δυνατότητα για 3D σχεδίαση, μοντελοποίηση και τεχνικές αναλύσεις κατέστησε το FUSION 360 ιδανικό για το πολύπλοκο σχεδιασμό του KEDI.

Το περιβάλλον και η ευκολία χρήσης του λογισμικού βοήθησαν στην ομαλή ανάπτυξη του σχεδίου, διευκολύνοντας τις διάφορες δοκιμές και τροποποιήσεις που απαιτούνταν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης.

Χρησιμοποιώντας το FUSION 360, πραγματοποιήθηκαν πολύπλοκες αναλύσεις όπως οι δοκιμές στατικής αντοχής (Static Stress) και η ανάλυση δυναμικών χαρακτηριστικών (Modal Frequencies). Αυτές οι αναλύσεις ήταν ουσιώδεις για την επιβεβαίωση της αντοχής και της δομικής ακεραιότητας του KEDI.

4.1.2 Επιλογή των επιμέρους υλικών

Η επιλογή των υλικών και των συστημάτων που θα συγκροτούν το KEDI αποτελεί έναν από τους πλέον κρίσιμους παράγοντες στην σχεδίασή του. Αυτή η διαδικασία επικεντρώνεται στην εξασφάλιση ότι τα επιλεγμένα υλικά και συστήματα ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένα κριτήρια απόδοσης και λειτουργικότητας.

Η επιλογή των συστημάτων είχε ως βάση τις διαστάσεις τους, καθορίζοντας έτσι τη σχεδίαση της άτρακτου και των πτερύγων του KEDI. Αυτό διασφαλίζει ότι τα υλικά ταιριάζουν αρμονικά στον συνολικό σχεδιασμό και συμβάλλουν στην αεροδυναμική απόδοση του UAV.

Επιλέχθηκαν υλικά και συστήματα που προσφέρουν ευκολία στη χρήση και επαρκή αυτονομία για το KEDI, επιτρέποντας του να εκπληρώσει τις αποστολές του αποτελεσματικά.

Ο υψηλός λόγος ισχύος προς βάρος ήταν καθοριστικός για την επιλογή, διασφαλίζοντας ότι το KEDI θα διαθέτει την απαραίτητη δύναμη για υψηλές ταχύτητες και ευελιξία στον αέρα.

Όλα τα επιλεγμένα υλικά είναι διαθέσιμα στο εμπόριο, προσφέροντας προσβασιμότητα και ευκολία στην απόκτησή τους.

Το κόστος των υλικών παρέμεινε σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την οικονομική βιωσιμότητα του σχεδίου.

4.1.3 Φιλοσοφία σχεδίασης

Η φιλοσοφία σχεδίασης πίσω από το KEDI στηρίζεται στην ιδέα της ενσωμάτωσης των προηγμένων υποσυστημάτων και της ευκολίας στην κατασκευή μέσω 3D εκτύπωσης. Αυτή η διττή προσέγγιση επιτρέπει την αποδοτική κατασκευή ενός σύγχρονου UAV με βελτιωμένες λειτουργικές δυνατότητες.

Η κύρια πρόκληση στην σχεδίαση ήταν να διασφαλιστεί ότι όλα τα επιλεγμένα υποσυστήματα μπορούν να ενσωματωθούν αρμονικά στην κατασκευή του KEDI, ενώ ταυτόχρονα να είναι συμβατά με την τεχνολογία 3D εκτύπωσης.

Η χρήση της 3D εκτύπωσης επέτρεψε την ευέλικτη και γρήγορη παραγωγή των διαφόρων μερών του KEDI, απλοποιώντας την κατασκευαστική διαδικασία.

Κάθε υποσύστημα σχεδιάστηκε αρχικά σε βασική μορφή και στη συνέχεια ενσωματώθηκε στο συνολικό σύνολο (ASSEMBLY) του drone.

Τα κύρια μέρη όπως η άτρακτος (FUSELAGE), οι πτέρυγες (WINGS), οι κινητήρες (EDF 70mm), και οι αεραγωγοί τους (DUCTS) σχεδιάστηκαν με προσοχή, εξασφαλίζοντας την αποδοτική λειτουργία και την εργονομική ευκολία στην κατασκευή.

Η τοποθέτηση της κεραίας τηλεμετρίας (TELEMETRY ANTENNA) επιλέχθηκε με στόχο τη βελτιστοποίηση της επικοινωνίας και της μεταβίβασης δεδομένων, ιδιαίτερα κρίσιμη για τις διάφορες φάσεις πτήσης του UAV.

Στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση των επιμέρους συστημάτων, καθώς και των τεχνικών σχεδίασης τους.

4.2 Σχεδίαση υποσυστημάτων

4.2.1 Κινητήρες (EDF 70mm 4S 2800KV 12 Blade CW & CCW)

Στην καρδιά του σχεδιασμού του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) βρίσκονται οι κινητήρες EDF (Electric Ducted Fan), οι οποίοι αποτελούν τη βάση για την υψηλή ταχύτητα και τη δυναμική του συστήματος. Η σχεδιάσή τους επικεντρώνεται στην παροχή της απαραίτητης ώσης για να επιτευχθεί η αποστολή του KEDI, δηλαδή η καταστροφή των εχθρικών στόχων και η δυνατότητα για επανεμπλοκή.

Οι κινητήρες δεν εξυπηρετούν μόνο την ανάγκη για ταχύτητα, αλλά λειτουργούν επίσης ως κύριο σύστημα κατεύθυνσης του KEDI. Αυτό επιτρέπει τη σχεδίαση ενός απλούστερου συστήματος χωρίς επιφάνειες ελέγχου, μειώνοντας την ανάγκη για περίπλοκα υποσυστήματα.

Η διαμόρφωση των κινητήρων σε δεξιόστροφη και αριστερόστροφη περιστροφή εξαλείφει τις ροπές περιστροφής που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά την σταθερότητα του KEDI.

Τα πτερύγια του στροβίλου χρησιμοποιούν την αεροτομή Clark Y, που είναι διαδεδομένη σε έλικες αεροσκαφών, για να επιτύχουν υψηλές αποδόσεις ώσης. Ο συνδυασμός του στροβίλου με τον αεραγωγό και την εφαρμογή του φαινομένου Bernoulli εξασφαλίζει την αποδοτικότητα των κινητήρων.

Η χρήση σχεδιαστικών λειτουργιών όπως το Circular Pattern, η κατασκευή επιπέδων σε κυλινδρικές επιφάνειες, και η εφαρμογή των λειτουργιών Joint και Align στο Fusion 360 διευκόλυνε την ακριβή και λειτουργική σχεδίαση των κινητήρων και την ενσωμάτωσή τους στα Engine Ducts (Turbines RC, 2024).



Εικόνα 20- Κινητήρας EDF 70mm

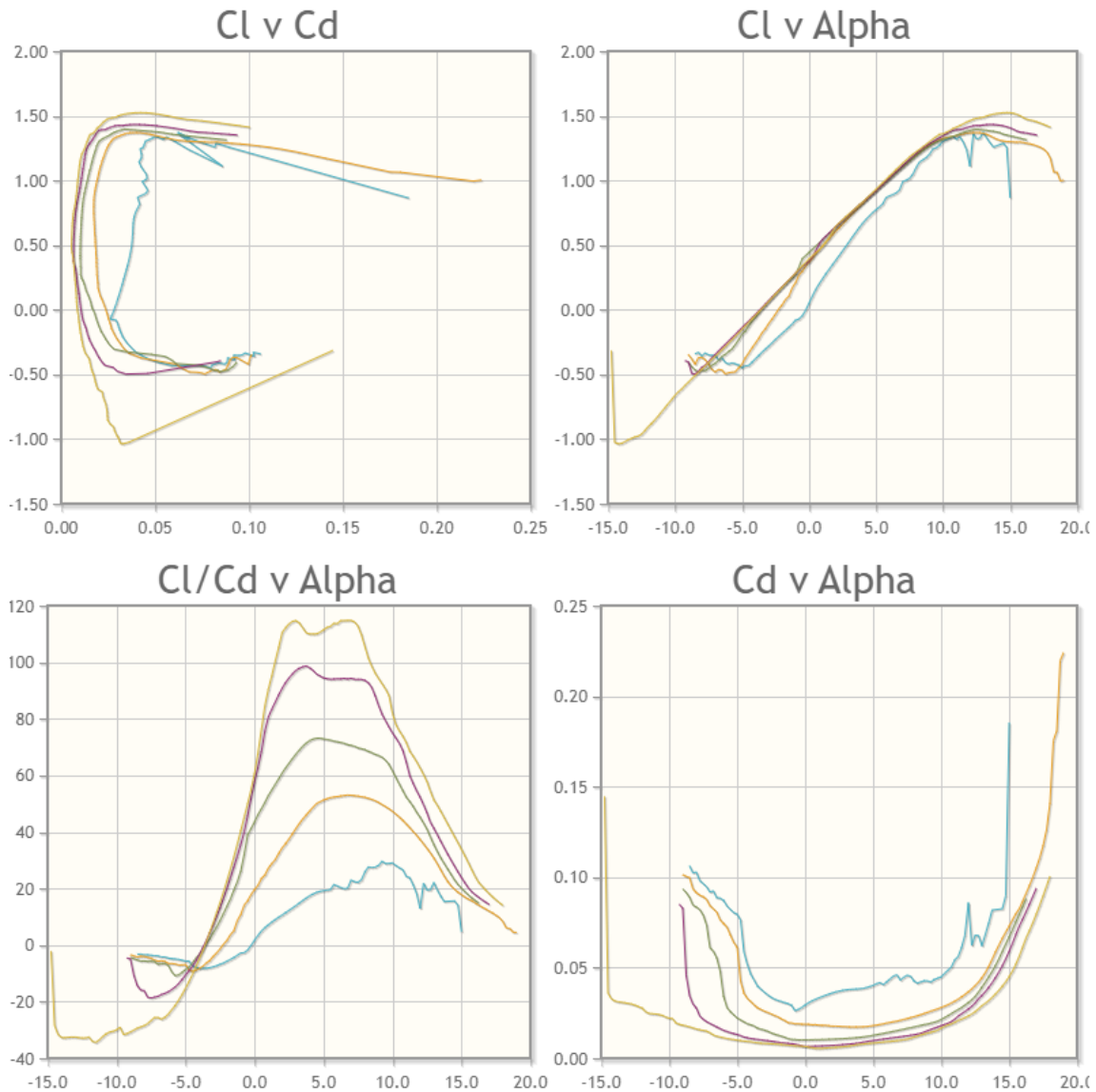
Η ενσωμάτωση κάθε κινητήρα εντός του Engine Duct προσφέρει επιπλέον προστασία κατά τη φάση της πρόσκρουσης, μειώνοντας τον κίνδυνο ζημιών από τη θραυσματοποίηση και διασφαλίζοντας την δυνατότητα για επανεμπλοκή με άλλους στόχους.



Εικόνα 21- Κινητήρας EDF 70mm - Πίσω όψη

Length (mm):	65mm (without motor / Cone)
Weight (gr):	178 gr
EDF thrust (categorization)	1-2kg
Direction of Rotation (EDF Rotor)	Counter Rotative - Clock Wize (CW)
EDF Diameter Class (mm):	70
EDF Outside Diameter (mm):	75.7 mm
EDF Inner Diameter (mm) :	69.4 mm
Blades:	12
Stators:	7
Turbine shroud	Synthetic
EDF Rotor	Synthetic
Turns/min/Volt (kv):	2800
Motor Type:	Out-Runner
Motor Diameter (mm):	28
Shaft diameter (mm):	4
Battery Cells:	4s - 14.8v
Connection:	PK 3.5mm

Εικόνα 22- Πίνακας προδιαγραφών κινητήρα EDF 70mm



Εικόνα 23- Διαγράμματα Cl & Cd αεροτομής CLARK Y

4.2.2 Ηλεκτρονικοί ελεγκτές κινητήρων (ESC 100A 2 – 6S)

Η επιλογή και η τοποθέτηση των ηλεκτρονικών ελεγκτών κινητήρων (ESC) είναι κρίσιμη για την αποδοτική λειτουργία του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI). Αυτοί οι ελεγκτές διαδραματίζουν έναν θεμελιώδη ρόλο στην διαχείριση των κινητήρων, αποτελώντας ένα σημαντικό στοιχείο στο σύνολο του συστήματος του drone.

Η ενσωμάτωση ενός ESC για κάθε κινητήρα αποτελεί μία σχεδιαστική πρόκληση, ειδικά λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου χώρου εντός της άτρακτου του KEDI. Ο όγκος των ελεγκτών απαιτεί προσεκτική διαχείριση του εσωτερικού χώρου για να διατηρηθεί η συνολική αεροδυναμική απόδοση του UAV.

Με βάση τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, οι ESC σχεδιάστηκαν και επιλέχθηκαν για να παρέχουν άριστη απόδοση και αξιοπιστία. Η στρατηγική τοποθέτησή τους εντός του χώρου ηλεκτρονικών εκτελέστηκε με σκοπό την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας και την εύκολη πρόσβαση για συντήρηση ή αναβαθμίσεις. Η τοποθέτησή τους λαμβάνει υπόψη την ανάγκη για ισορροπημένη κατανομή βάρους και μειωμένη επιβάρυνση στην αεροδυναμική του drone (Turbines RC, 2024).

Length (mm):	62
Large (mm):	35
Heigh (mm):	12
Weight (gr):	72
Max Intensity (A):	100A
Battery Cells:	2s - 7,4v, 3s - 11.1v, 4s - 14.8v, 5s - 18.5v, 6s - 22.2v
Connection:	Delivered without plug

Εικόνα 24- Πίνακας προδιαγραφών ελεγκτή κινητήρων



Εικόνα 25- ESC 100A



Εικόνα 26- Σχεδίαση ESC στο FUSION 360

4.2.3 Μπαταρία πολυμερών λιθίου (LiPo Battery 6.000 mAh 14.8V 45c)

Η επιλογή και η ενσωμάτωση της μπαταρίας πολυμερών λιθίου (LiPo) στον σχεδιασμό του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) είναι ζωτικής σημασίας για την λειτουργία του. Θεωρούμενη ως η "καρδιά" του KEDI, η μπαταρία επιλέχθηκε με βάση κρίσιμα κριτήρια που θα εξασφαλίσουν την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του drone στον αέρα.

Ένα από τα κύρια κριτήρια για την επιλογή της μπαταρίας ήταν η διάρκεια πτήσης του KEDI. Η μπαταρία πρέπει να είναι ικανή να υποστηρίξει τουλάχιστον ένα λεπτό πτήσης, προσφέροντας αξιόπιστη ενέργεια για την εκτέλεση της αποστολής.

Το μέγεθος και το βάρος της μπαταρίας είναι επίσης κρίσιμα, καθώς αποτελεί το βαρύτερο και μεγαλύτερο σε όγκο εξάρτημα του KEDI. Έπρεπε να γίνει ακριβής σχεδίαση των διαστάσεών της για να εφαρμόζει τέλεια στον χώρο ηλεκτρονικών.

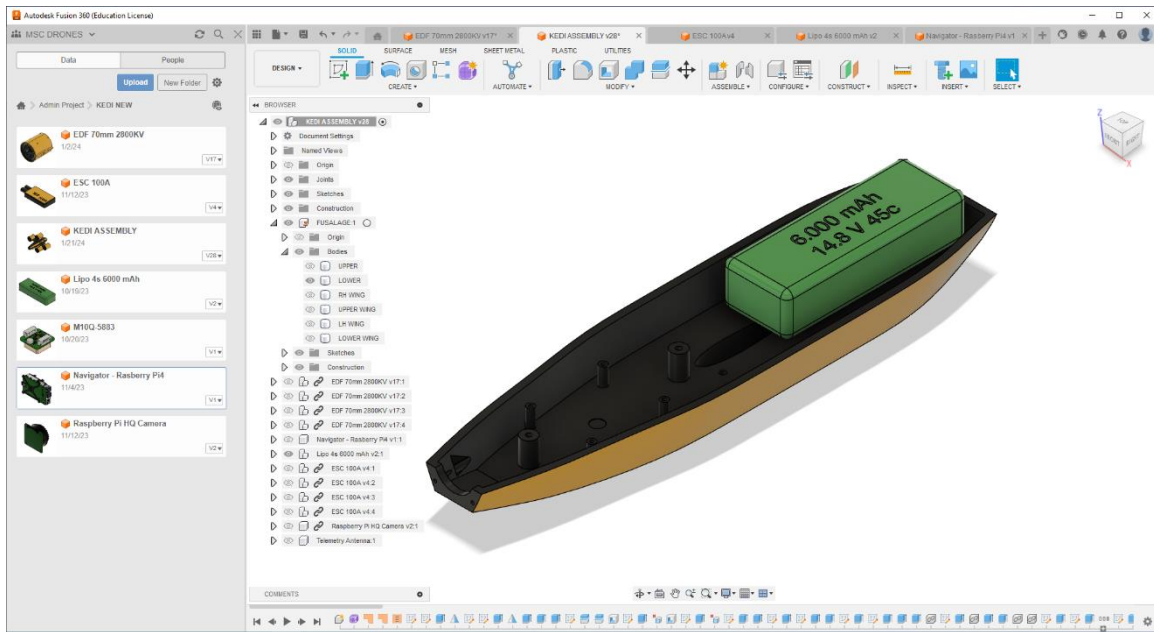
Η θέση της μπαταρίας επιλέχθηκε στρατηγικά πίσω από το αεροδυναμικό κέντρο του KEDI. Αυτή η τοποθέτηση εξασφαλίζει ότι το βάρος της μπαταρίας επηρεάζει όσο το δυνατόν λιγότερο τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του drone, διατηρώντας τη σταθερότητα και την απόδοση κατά την πτήση (Turbines RC, 2024).

Sizes:	145 x 52 x 34 mm
Weight (gr):	552
Battery Cells:	4s - 14.8v
Discharge Rate (C):	45c
Charge Rate (C):	5c
Continuous discharge current :	210Ah
Battery Capacity (mAh)	6.000 mAh
Connection:	XT60

Εικόνα 27- Προδιαγραφές μπαταρίας λιθίου



Εικόνα 28- Σχεδίαση μπαταρίας λιθίου στο FUSION 360



Εικόνα 29- Τοποθέτηση μπαταρίας εντός του κάτω μέρους της ατράκτου

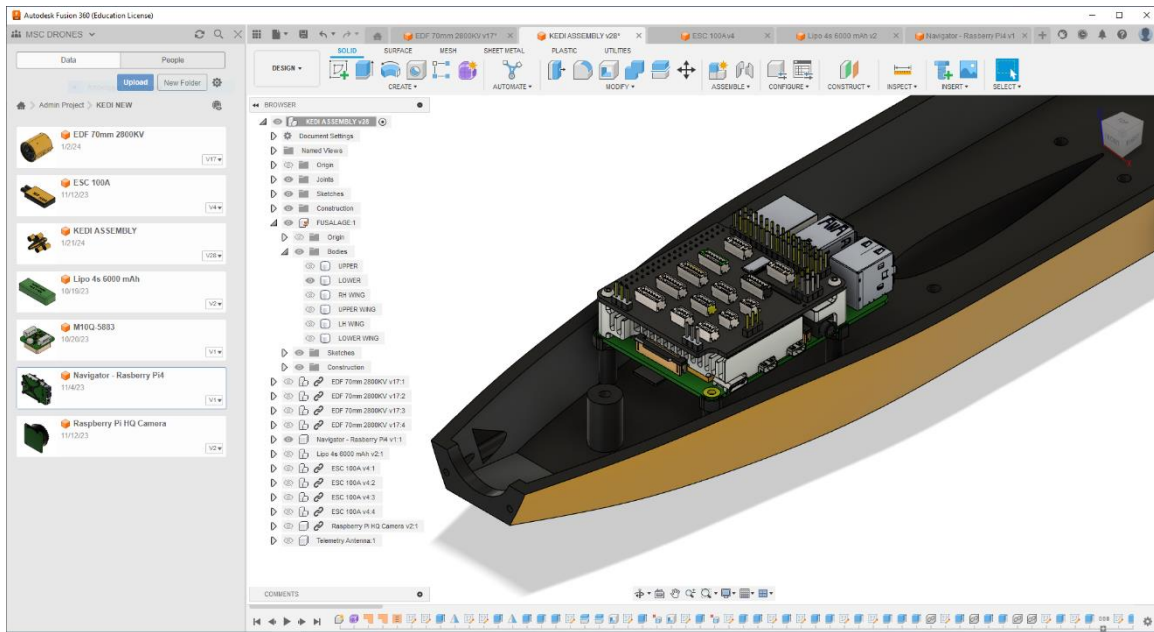
4.2.4 Ελεγκτής πτήσης (NAVIGATOR) και Raspberry Pi4

Η ενσωμάτωση του ελεγκτή πτήσης NAVIGATOR σε συνδυασμό με τον μικροελεγκτή Raspberry Pi4 αποτελεί μια στρατηγική καινοτομία στον σχεδιασμό του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI). Αυτός ο συνδυασμός λειτουργεί ως το κεντρικό νευρικό σύστημα του drone, παρέχοντας προηγμένες λειτουργίες ελέγχου και επεξεργασίας (Rasberry, 2024).

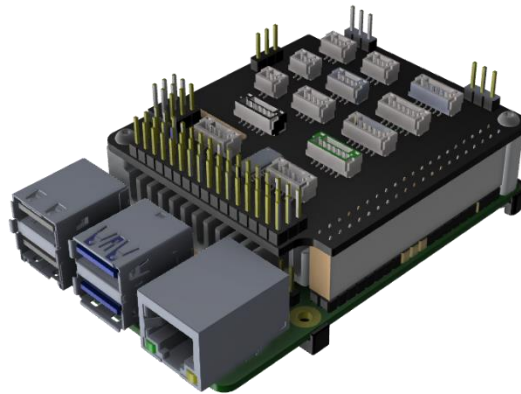
Η ενσωματωμένη διάταξη του NAVIGATOR ελεγκτή πτήσης και του Raspberry Pi4 αποτελεί ιδανική επιλογή λόγω της ελαχιστοποίησης του απαιτούμενου χώρου και της πολυπλοκότητας εντός του avionics bay. Αυτό επιτρέπει την αποδοτική διαχείριση του εσωτερικού χώρου της ατράκτου, διατηρώντας το συνολικό βάρος σε χαμηλά επίπεδα.

Ο ελεγκτής πτήσης της NAVIGATOR περιλαμβάνει ενσωματωμένα συστήματα γυροσκοπίων και GPS, προσδίδοντας ακριβείς δυνατότητες πλοήγησης και εντοπισμού. Αυτές οι ενσωματωμένες λειτουργίες συμβάλλουν στη μείωση του απαιτούμενου χώρου και των περίπλοκων συνδέσεων εντός του drone (Navigator, 2023).

Λόγω της πολυπλοκότητας των συστημάτων, τόσο ο ελεγκτής πτήσης όσο και ο Raspberry Pi4 δεν σχεδιάστηκαν εξ αρχής στο Fusion 360, αλλά αντ' αυτού λήφθηκαν ως αρχεία .STEP από τον κατασκευαστή. Τοποθετήθηκαν στρατηγικά εντός του χώρου ηλεκτρονικών και εδράζονται σε κατάλληλα σχεδιασμένες εδράσεις, εξασφαλίζοντας τη σταθερή τους στερέωση με βίδες. Αυτή η προσέγγιση διασφαλίζει τη σταθερότητα και την ασφαλή λειτουργία των συστημάτων κατά τη διάρκεια της πτήσης.



Εικόνα 30- Τοποθέτηση ελεγκτή πτήσης και Raspberry Pi4 εντός του κάτω μέρους της απράκτου



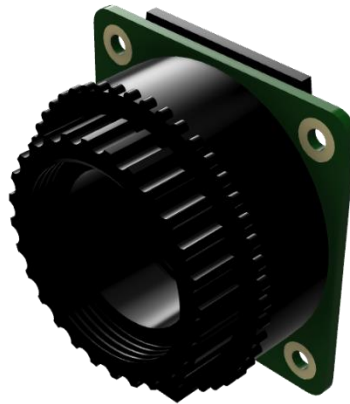
Εικόνα 31- Εισαγωγή σχεδίου του ελεγκτή NAVIGATOR και του Raspberry Pi4

4.2.5 Κάμερα υψηλής ευκρίνειας (Raspberry Pi HQ Camera)

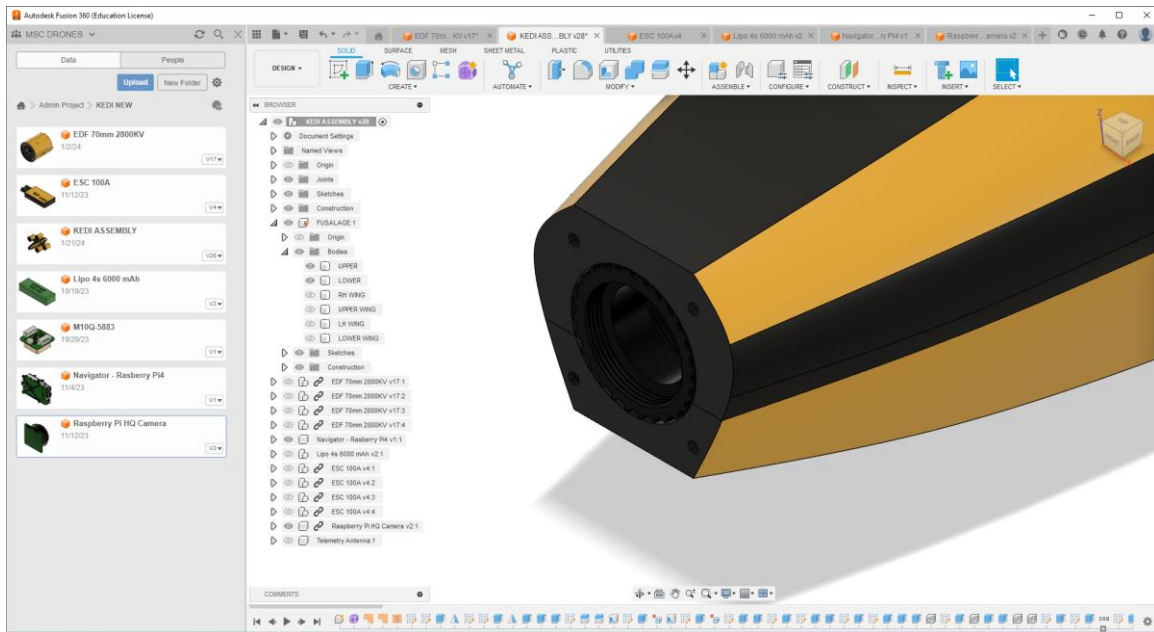
Η ενσωμάτωση της κάμερας Raspberry Pi HQ στο KEDI αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα στη σχεδίαση του drone, καθώς παρέχει προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας εικόνας και αναγνώρισης στόχων. Αυτή η κάμερα υψηλής ποιότητας προσφέρει στο KEDI τη δυνατότητα να καταγράφει και να αναλύει το περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την ικανότητά του να ανιχνεύει και να παρακολουθεί ταχέως κινούμενους στόχους.

Η κάμερα ενσωματώνεται αρμονικά στην αεροδυναμική δομή του KEDI, εξασφαλίζοντας ότι οι λειτουργίες της δεν επηρεάζουν την ομαλή πτήση ή την αεροδυναμική απόδοση. Η θέση της κάμερας είναι τέτοια ώστε να παρέχει ευρύ πεδίο οπτικής, επιτρέποντας στο KEDI να έχει μια σαφή και αδιάλειπτη εικόνα του περιβάλλοντος του. Η συνεργασία της κάμερας με τον επεξεργαστή Raspberry Pi4 είναι καθοριστική. Αυτός ο συνδυασμός επιτρέπει την προηγμένη επεξεργασία εικόνας και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την αυτόνομη λειτουργία του KEDI και την ικανότητά του να λαμβάνει αποφάσεις βασισμένες σε οπτικά δεδομένα.

Τέλος, η κάμερα Raspberry Pi HQ συμβάλλει στην ευελιξία και την προσαρμοστικότητα του KEDI. Με την ικανότητά της να λειτουργεί σε διάφορες συνθήκες φωτισμού και περιβάλλοντος, αυξάνει την αποδοτικότητα του drone σε μια ποικιλία αποστολών, από αστική επιτήρηση μέχρι στρατιωτικές επιχειρήσεις (Raspberry, 2024).



Εικόνα 32- Camera Raspberry HQ

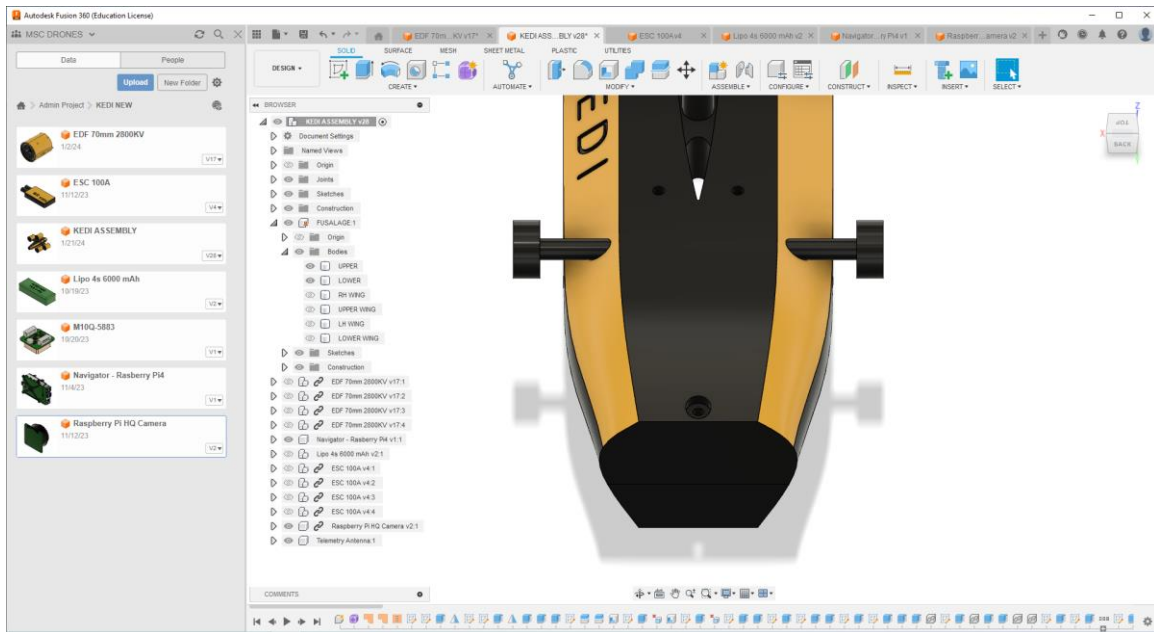


Εικόνα 33- Τοποθέτηση της κάμερας στο εμπρός μέρος της ατράκτου

4.2.5 Κεραία τηλεμετρίας (Sik Telemetry V3)

Η ενσωμάτωση μιας κεραίας τηλεμετρίας στο πίσω μέρος του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) είναι ένα κρίσιμο στοιχείο για την αποτελεσματική επικοινωνία και διαχείριση δεδομένων του drone. Αυτή η κεραία επιτρέπει τη σταθερή και αξιόπιστη μετάδοση τηλεμετρικών δεδομένων μεταξύ του KEDI και της βάσης ελέγχου, διασφαλίζοντας τη συνεχή παρακολούθηση των κρίσιμων παραμέτρων της πτήσης και της αποστολής.

Η τοποθέτηση της κεραίας στο πίσω μέρος του drone βελτιστοποιεί την αποδοτικότητα της επικοινωνίας, μειώνοντας τυχόν παρεμβολές ή απώλεια σήματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη διατήρηση μιας σταθερής και αξιόπιστης σύνδεσης σε διάφορα περιβάλλοντα και σενάρια επιχειρήσεων. Η κεραία τηλεμετρίας αυξάνει την απόδοση του KEDI, διασφαλίζοντας την ακριβή παρακολούθηση και την άμεση ανατροφοδότηση κατά τη διάρκεια των αποστολών, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή εκτέλεση των επιχειρησιακών στόχων (Holybro, 2024).



Εικόνα 34- Τοποθέτηση κεραίας τηλεμετρίας

4.3 Σχεδίαση της ατράκτου (FUSELAGE)

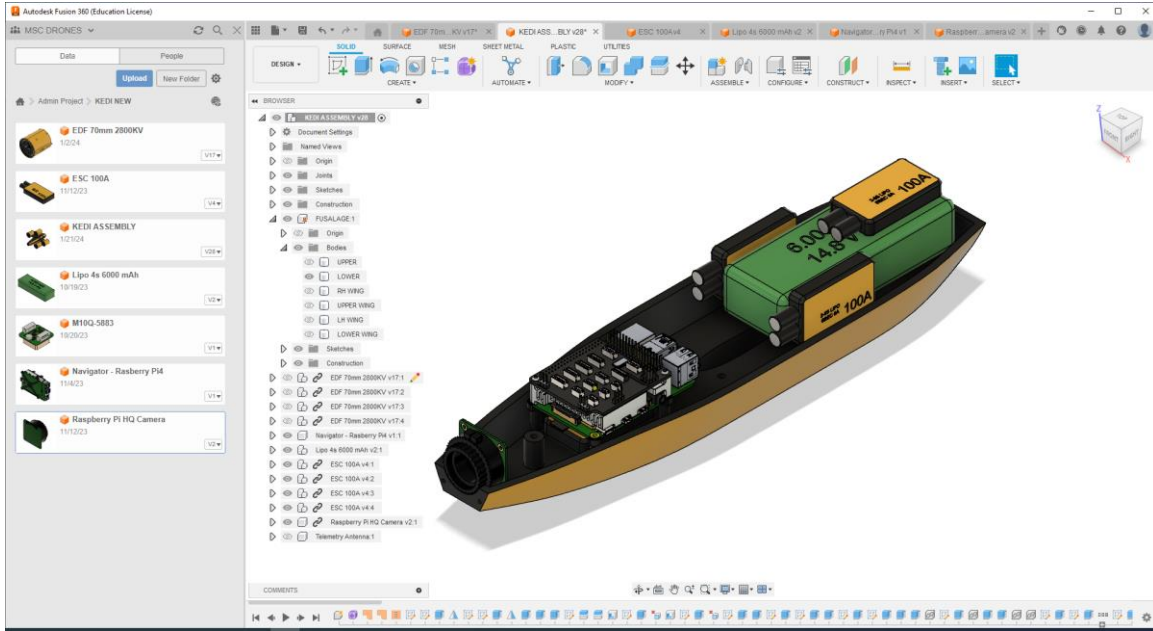
4.3.1 Σχεδιαστική προσέγγιση

Η άτρακτος του KEDI αποτελεί το πιο κρίσιμο μέρος του drone. Στη σχεδίασή της λήφθηκαν υπόψη σημαντικοί παράγοντες όπως το αεροδυναμικό σχήμα, η προστασία κρίσιμων υποσυστημάτων και η λειτουργικότητα. Η αεροδυναμική του σχεδίαση ήταν προτεραιότητα, καθώς το KEDI είναι μια πτητική μηχανή και κάθε τμήμα του πρέπει να σχεδιαστεί με βάση αεροδυναμικά κριτήρια. Η λειτουργία CREATE FORM του λογισμικού FUSION 360 χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία της ατράκτου, με τη λειτουργία STITCH να δημιουργεί το ενιαίο σώμα. Επιπλέον, σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε να προστατεύει τα κρίσιμα υποσυστήματα κατά την αναχαίτηση των εχθρικών στόχων, επιτρέποντας την επανεμπλοκή ή την επιστροφή στη βάση. Εντός της ατράκτου σχεδιάστηκε η κοιλότητα ηλεκτρονικών (AVIONICS BAY), λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμένο χώρο και την ανάγκη για εύκολη πρόσβαση στα υποσυστήματα για συναρμολόγηση και συντήρηση.

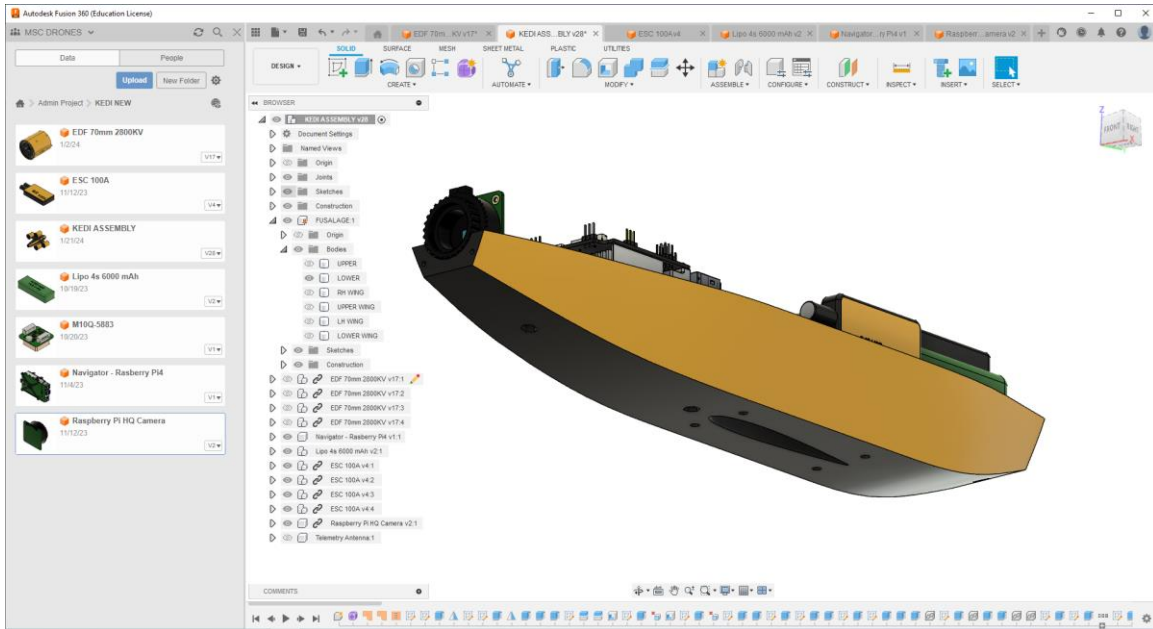
4.3.2 Κάτω μέρος ατράκτου (LOWER FUSELAGE)

Για την κατασκευή του κάτω μέρους της άτρακτου χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία SPLIT του FUSION 360, διαιρώντας το ενιαίο σώμα της άτρακτου σε δύο μέρη, το LOWER και το UPPER. Στο LOWER FUSELAGE δημιουργήθηκε η κοιλότητα του AVIONICS BAY

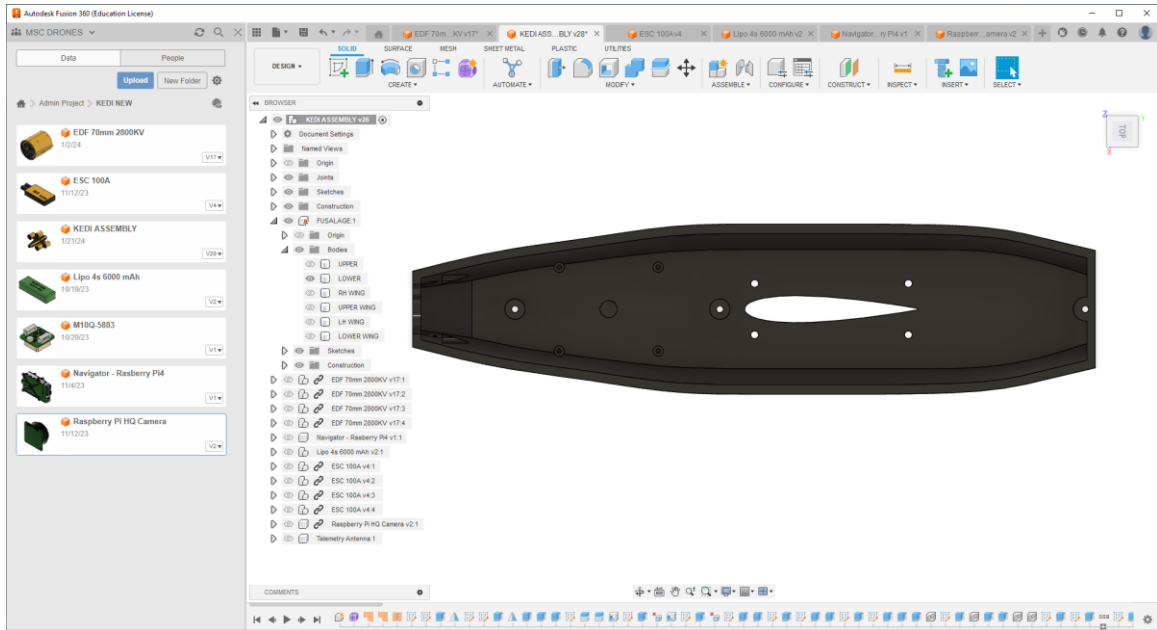
και τοποθετήθηκαν ο ελεγκτής πτήσης με το Raspberry Pi4, η μπαταρία, οι ηλεκτρονικοί ελεγκτές κινητήρων και η κάμερα. Στο πάτωμα του AVIONICS BAY δημιουργήθηκαν υποδοχές για τη συναρμολόγηση των δύο τμημάτων με βίδες και περικόχλια.



Εικόνα 35- Κάτω μέρος ατράκτου συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών



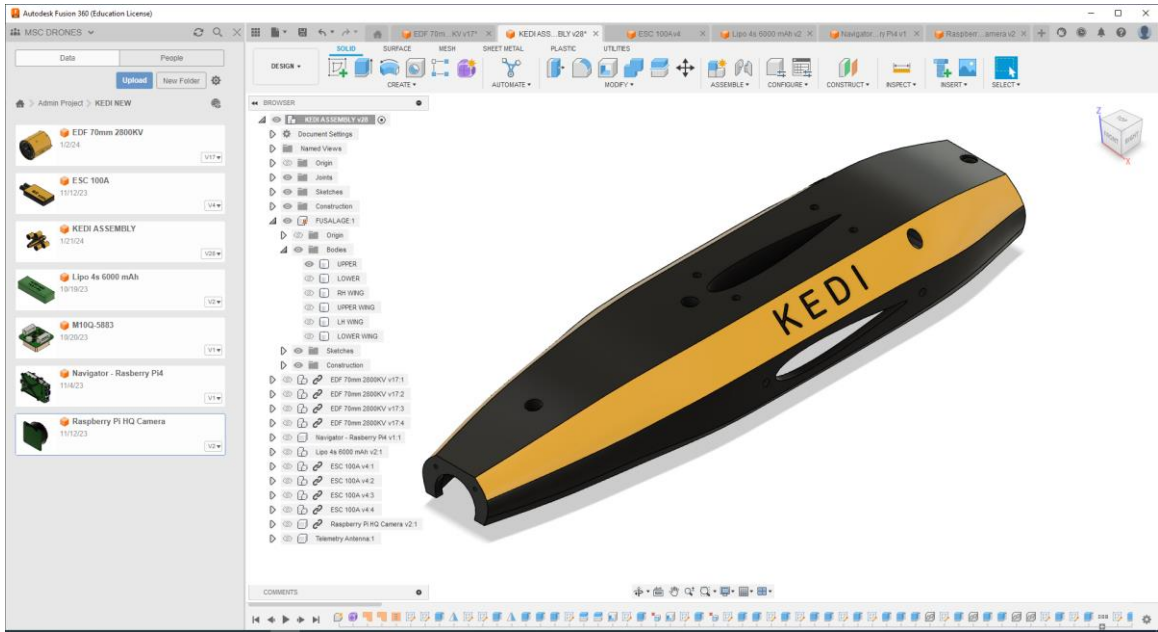
Εικόνα 36- Κάτω όψη του κάτω μέρος ατράκτου



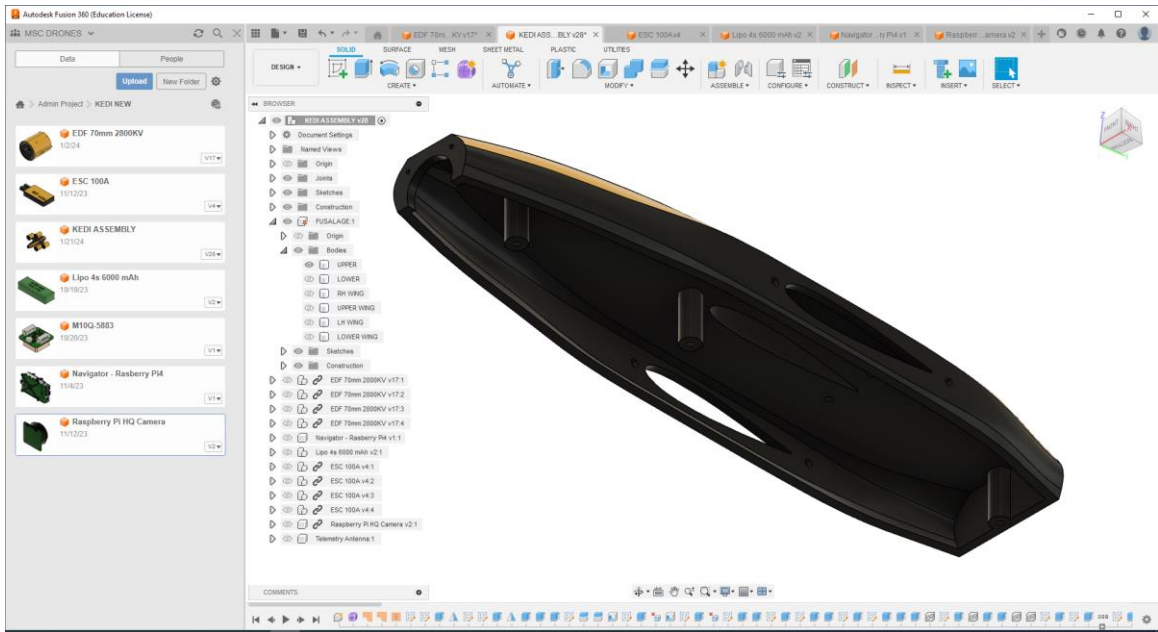
Εικόνα 37- Επάνω όψη του κάτω μέρους ατράκτου

4.3.3 Άνω μέρος ατράκτου (UPPER FUSELAGE)

Το άνω μέρος της άτρακτου σχεδιάστηκε με μια κοιλότητα για την χωροταξία των εξαρτημάτων του LOWER FUSELAGE, καθώς και με υποδοχές για την τοποθέτηση των πτερύγων. Πίσω από τις πτέρυγες δημιουργήθηκαν δύο οπές για την τοποθέτηση της κεραίας τηλεμετρίας του KEDI. Επίσης, στο UPPER FUSELAGE δημιουργήθηκαν υποδοχές για την συναρμολόγηση με το LOWER FUSELAGE με τη χρήση βιδών και περικόχλιων.



Εικόνα 38- Επάνω μέρος ατράκτου

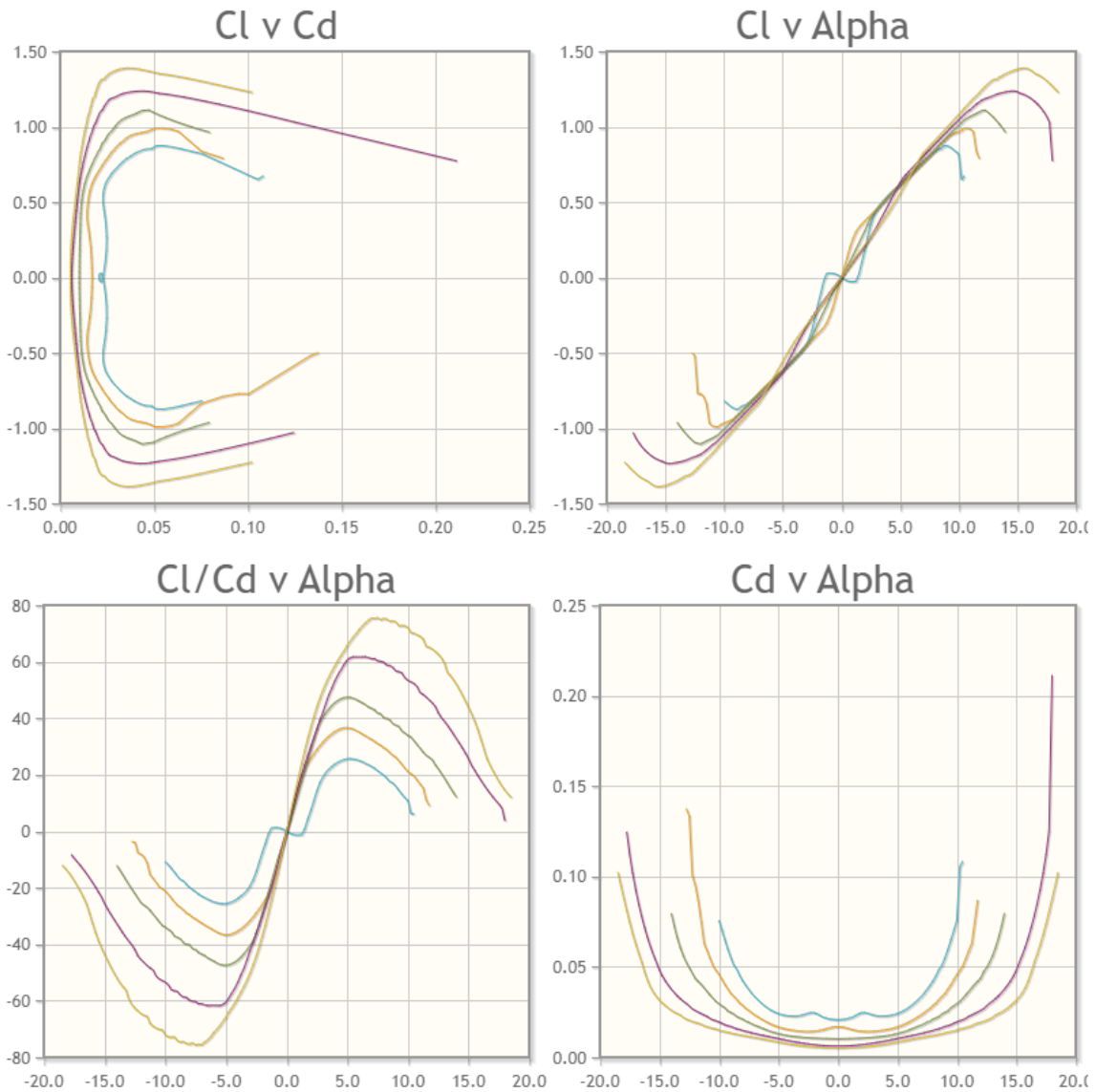


Εικόνα 39- Εσωτερική όψη επάνω μέρους ατράκτου

4.4 Σχεδίαση των πτερύγων (WINGS)

4.4.1 Σχεδιαστική προσέγγιση

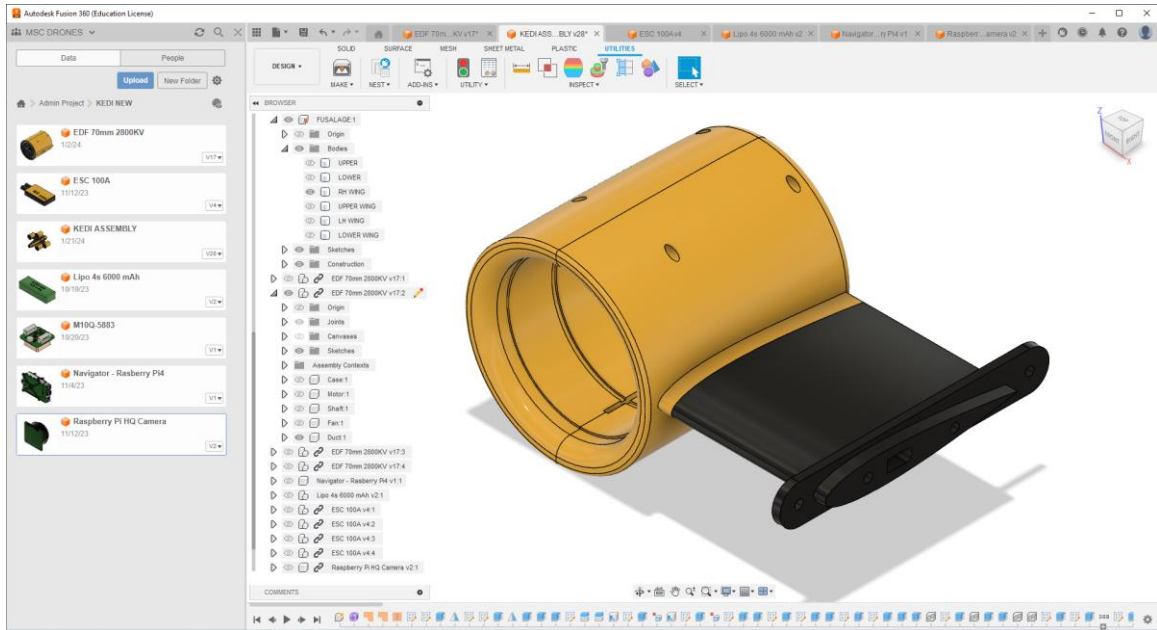
Στο KEDI σχεδιάστηκαν 2 διαφορετικοί τύποι πτερύγων. Η δεξιά (RH WING) και η αριστερή (LH WING) τοποθετούνται στο άνω μέρος της ατράκτου (UPPER FUSELAGE) ενώ η άνω (UPPER WING) και η κάτω (LOWER WING) τοποθετούνται στο άνω και κάτω μέρος της ατράκτου αντίστοιχα. Όλες οι πτέρυγες έχουν σχεδιαστεί με την αεροτομή (AIRFOIL) NACA 0012, η οποία είναι συμμετρική αεροτομή, με χορδή 100 χιλιοστών και μήκος πτέρυγας τα 70 χιλιοστά. Για το σχεδιασμό τους από το FUSION 360 ακολουθήθηκε η διαδικασία δημιουργίας αρχείου .dat με τις συντεταγμένες της αεροτομής, το οποίο μέσω του add-in Airfoil DAT to Spline v2.0 αποτυπώθηκε ως σχέδιο (sketch). Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν τα σώματα (BODIES) μέσω της λειτουργίας LOFT.



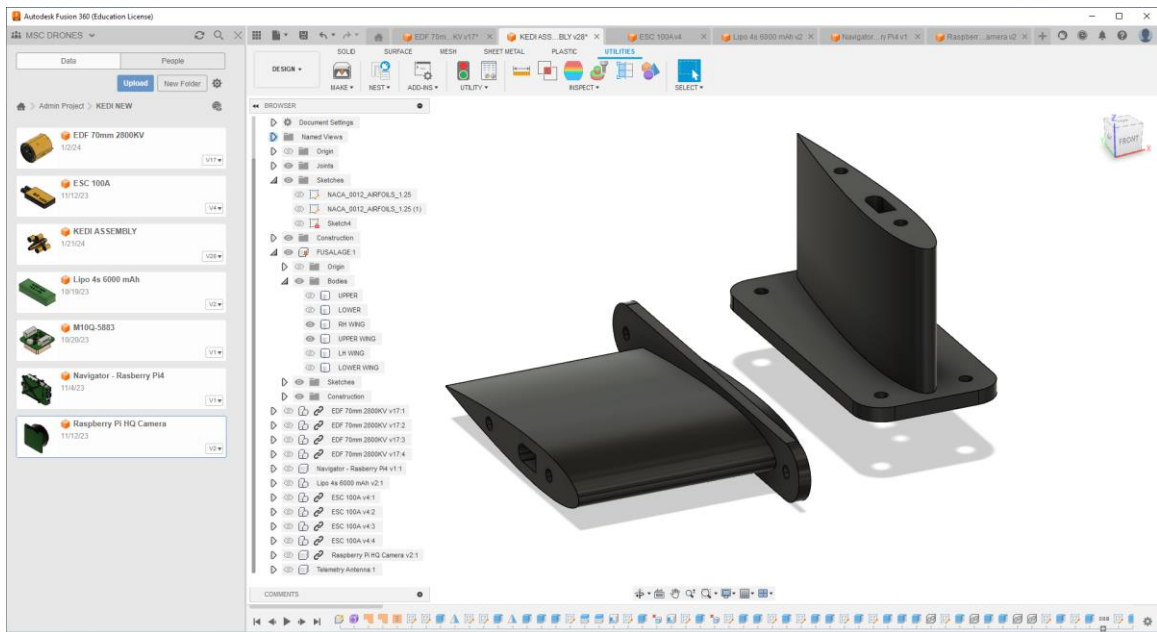
Εικόνα 40- Διαγράμματα C_l & C_d αεροτομής NACA 0012

4.4.2 Δεξιά και αριστερή πτέρυγα (RH & LH WING)

Οι συγκεκριμένες πτέρυγες τοποθετούνται εξωτερικά του άνω μέρους της ατράκτου και εδράζονται σε αυτήν με τμήμα που εισέρχεται στην άτρακτο και στερεώνεται με βίδες και περικόχλια. Στη δομή της υπάρχουν κοιλοότητες που επικοινωνούν με το εσωτερικό της ατράκτου, με σκοπό την πρόσβαση καλωδίων παροχής των κινητήρων εντός αυτής. Στο εξωτερικό μέρος των πτερύγων εδράζονται οι αεραγωγοί (DUCTS) των κινητήρων, οι οποίοι στηρίζονται με βίδες και περικόχλια.



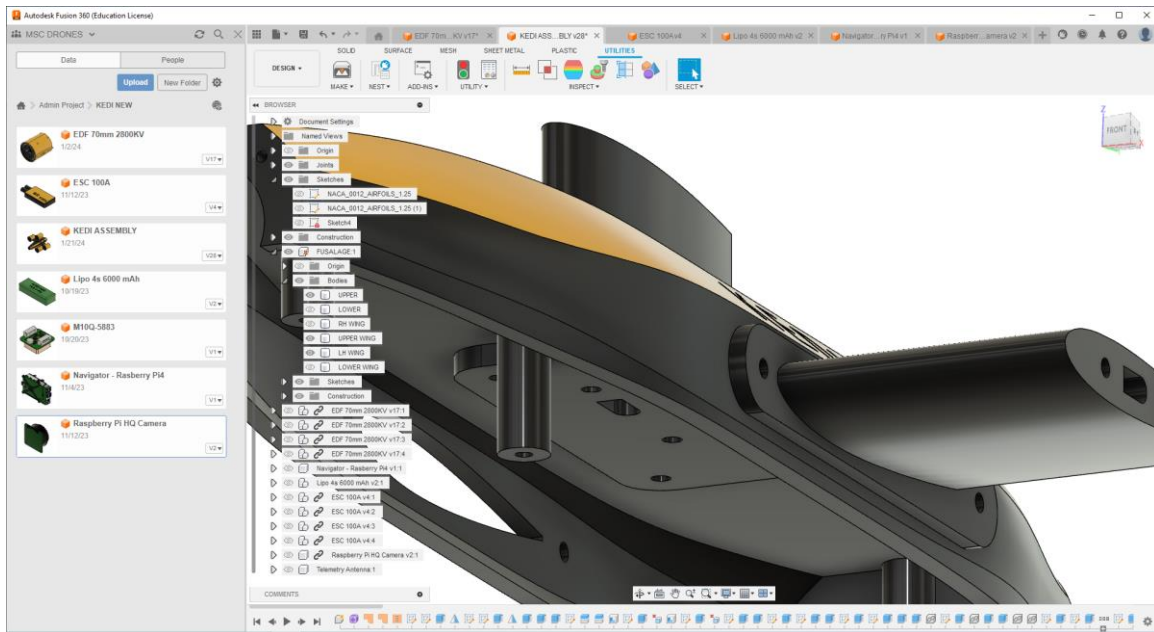
Εικόνα 41- Δεξιά πτέρυγα και αεραγωγός κινητήρα



Εικόνα 42- Δεξιά και επάνω πτέρυγα

4.4.3 Άνω και κάτω πτέρυγα (UPPER & LOWER WING)

Η μόνη σχεδιαστική διαφορά μεταξύ των πτερύγων των παραγράφων 4.4.2 και 4.4.3 είναι η βάση έδρασης. Όπως φαίνεται και από τη φωτογραφία, οι άνω και κάτω πτέρυγα τοποθετείται εσωτερικά της άνω ατράκτου, μέχρις ότου η βάση της εδραστεί στην εσωτερική κοιλότητα. Στη συνέχεια ασφαλίζεται με βίδες και περικόχλια.



Εικόνα 43 - Πτέρυγες τοποθετημένες στο επάνω μέρος ατράκτου

4.5 Αεραγωγοί κινητήρων (ENGINE DUCTS)

4.5.1 Σχεδιαστική προσέγγιση

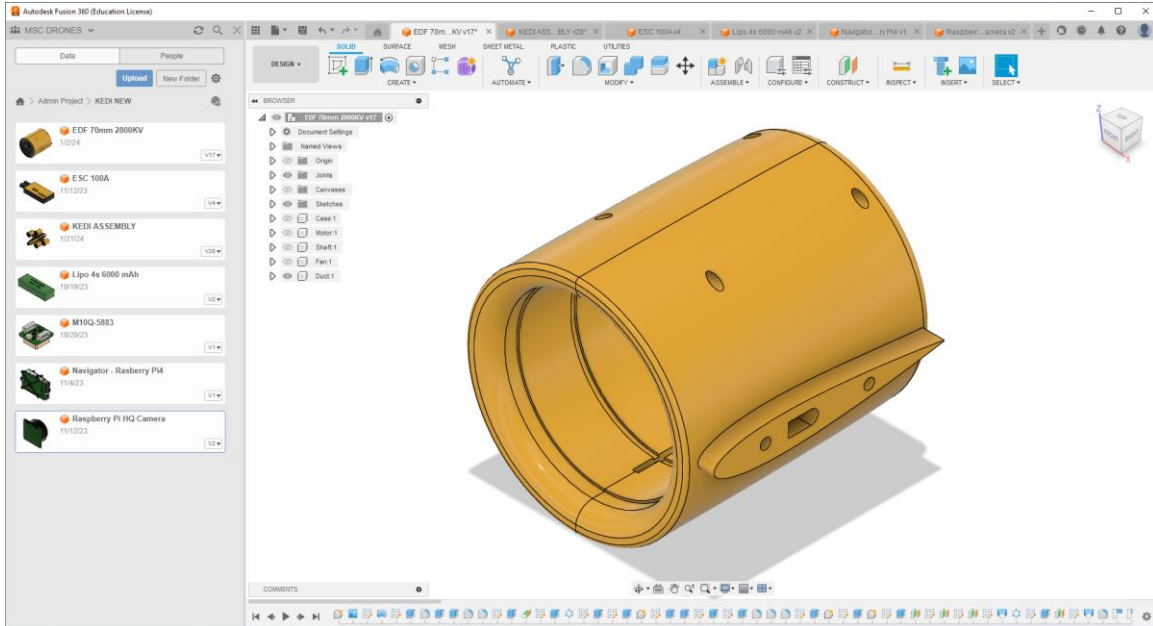
Για να μπορέσουν να σχεδιαστούν οι αεραγωγοί των κινητήρων, αρχικά έπρεπε να σχεδιαστούν με ακρίβεια οι ίδιοι οι κινητήρες, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.2.1 της διπλωματικής.

Στη συνέχεια, με χρήση πληθώρας λειτουργιών του FUSION 360, όπως REVOLVE, LOFT και CIRCULAR PATTERN, σχεδιάστηκαν οι αεραγωγοί. Χωρίζονται σε 2 τμήματα τα οποία περικλείουν τον κινητήρα και πακτώνονται με τη τοποθέτηση βιδών M4. Τόσο στο εσωτερικό των αεραγωγών, όσο και στο εξωτερικό έχουν σχεδιαστεί οι απαραίτητες αυλακώσεις, ώστε ο κινητήρας να είναι απόλυτα πακτωμένος με τον αεραγωγό. Με τον τρόπο αυτό θα αποφευχθούν τυχόν δονήσεις του κινητήρα, οι οποίες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε καταστροφική αστοχία.

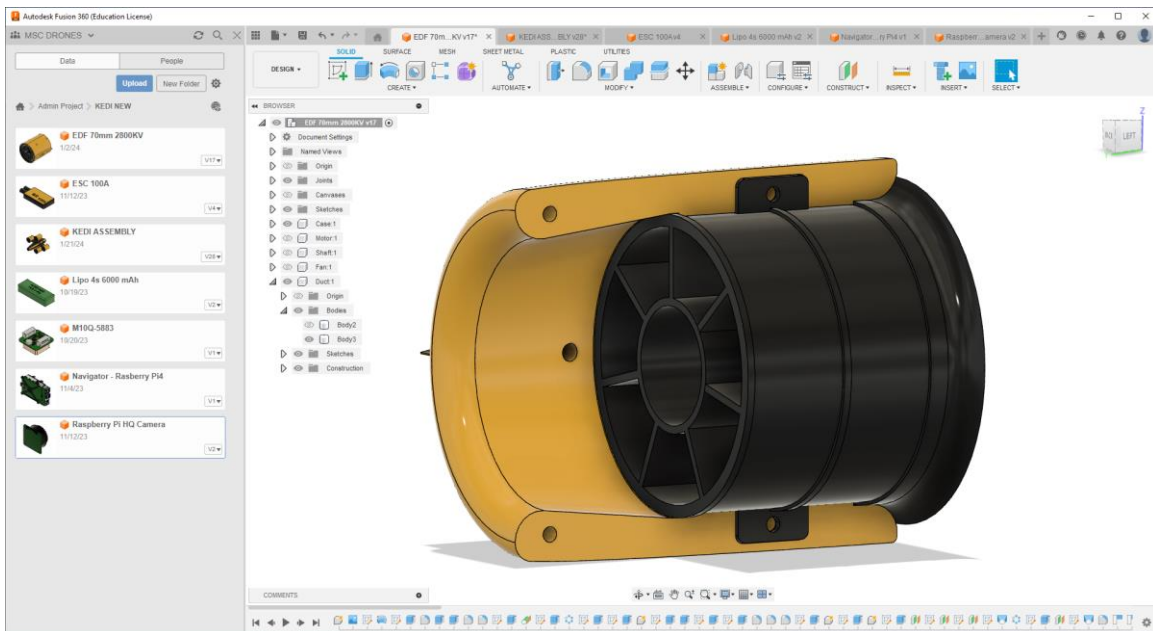
4.5.2 Τμήμα έδρασης πτέρυγας

Σε κάθε αεραγωγό έχει σχεδιαστεί τμήμα έδρασης για την εκάστοτε πτέρυγα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σταθερή και ισχυρή τοποθέτηση του αεραγωγού επί της πτέρυγας με χρήση βιδών τύπου άξονα (THREAD ROD) και περικοχλίων. Το τμήμα έδρασης αποτελεί συνέχεια της πτέρυγας και έχει πανομοιότυπα αεροδυναμικά

χαρακτηριστικά. Ειδικές οπές επιτρέπουν την είσοδο καλωδίων των κινητήρων εντός των αντίστοιχων καναλιών στις πτέρυγες και κατ' επέκταση εντός της ατράκτου.



Εικόνα 44 - Αεραγωγός κινητήρα



Εικόνα 45 - Τομή αεραγωγού με τον κινητήρα τοποθετημένο

4.6 Σύνοψη σχεδίασης

Η σχεδίαση του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) αποτελεί ένα παράδειγμα συνδυασμού τεχνολογικής καινοτομίας, αεροδυναμικής απόδοσης και επιχειρησιακής ευελιξίας. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό FUSION 360, το KEDI έχει σχεδιαστεί με έναν τρόπο που διασφαλίζει την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των διαφόρων συστημάτων και υποσυστημάτων του.

Η επιλογή των υλικών και των συστημάτων σχεδιάστηκε για να εξασφαλίσει την ισορροπία μεταξύ απόδοσης, βάρους και αεροδυναμικής απόδοσης. Το KEDI ξεχωρίζει για την ικανότητά του να ενσωματώνει υποσυστήματα όπως τη μπαταρία LiPo, τη κάμερα, τον ελεγκτή πτήσης και τη κεραία τηλεμετρίας, σε έναν συμπαγή και αποδοτικό σχεδιασμό.

Οι κινητήρες EDF και οι αεραγωγοί τους προσφέρουν τη δυνατότητα στο KEDI να επιχειρεί με υψηλές ταχύτητες προς το στόχο και να επιφέρει τη μέγιστη δυνατή ζημιά κατά την αναχαίτιση.

Η φιλοσοφία σχεδίασης του KEDI, που στηρίζεται στην ενσωμάτωση των υποσυστημάτων και στην ευκολία στην κατασκευή μέσω 3D εκτύπωσης, έχει δημιουργήσει ένα UAV που συνδυάζει την αποδοτικότητα, την αντοχή και την ευελιξία. Το KEDI αντιπροσωπεύει ένα ορόσημο στην τεχνολογία UAV, αναδεικνύοντας τη δυναμική και το εύρος των δυνατοτήτων που προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία σχεδίασης και κατασκευής.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα Δοκιμών του KEDI

5.1 Εισαγωγή

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί την αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις δοκιμές που διενεργήθηκαν στο Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) χρησιμοποιώντας το λογισμικό FUSION 360 CAD. Οι δοκιμές περιλαμβάνουν Modal Frequencies Test και Static Stress Test, οι οποίες είναι καθοριστικές για την αξιολόγηση της αντοχής, της δομικής ακεραιότητας και των δυναμικών χαρακτηριστικών του KEDI.

5.2 Μεθοδολογία Δοκιμών

Η διαδικασία των δοκιμών στο Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) είναι ένα ζωτικό στάδιο για την επιβεβαίωση της αξιοπιστίας, της αντοχής και της λειτουργικότητας του συστήματος. Οι δοκιμές αυτές ακολουθούν μια συγκεκριμένη μεθοδολογία που περιγράφεται παρακάτω.

Οι διάφορες παράμετροι που ελέγχονται στις δοκιμές συμπεριλαμβάνουν την αντοχή στο στρες (Static Stress) και την αντίδραση σε διαφορετικές συχνότητες (Modal Frequencies). Οι παράμετροι αυτοί επιλέγονται με βάση τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του σχεδίου του KEDI (Autodesk, 2024).

Οι δοκιμές πραγματοποιούνται σε εικονικό περιβάλλον μέσω του λογισμικού FUSION 360 CAD. Αυτό επιτρέπει την προσομοίωση διαφόρων συνθηκών λειτουργίας και φορτίων στο KEDI χωρίς τον κίνδυνο φθοράς ή καταστροφής του πραγματικού UAV.

Κατά τη δοκιμή, εφαρμόζονται εικονικά φορτία και συνοριακές συνθήκες που αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του KEDI. Αυτό περιλαμβάνει φορτία λόγω ταχύτητας, πίεσης αέρα, και δυναμικών κινήσεων.

Τα δεδομένα που προκύπτουν από τις δοκιμές αναλύονται λεπτομερώς. Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση των γραφημάτων καταπόνησης (stress graphs), των συχνοτήτων ταλάντωσης και των αποκρίσεων στις δυναμικές συχνότητες.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών επιβεβαιώνουν την αντοχή του KEDI στις διάφορες συνθήκες και την σταθερότητα του σε διαφορετικές συχνότητες. Ειδική προσοχή δίνεται στις τιμές ασφάλειας και στην αντίδραση του συστήματος σε πιθανά σενάρια φόρτωσης.

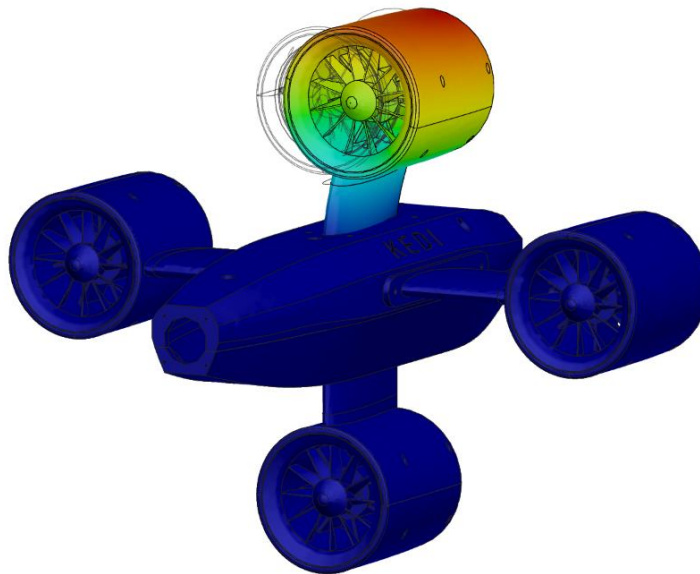
5.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

5.3.1 Αποτελέσματα Δοκιμής Modal Frequencies

Η δοκιμή Modal Frequencies αξιολογεί τις φυσικές συχνότητες διάδοσης και τις μορφές ταλάντωσης του KEDI. Τα αποτελέσματα από αυτή τη δοκιμή βοηθούν στην προσδιορισμό των δυνητικών αδυναμιών στον σχεδιασμό και στην εκτίμηση της αντοχής του UAV σε δυναμικές φορτίσεις.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής αποκάλυψαν τις κύριες συχνότητες ταλάντωσης του KEDI και τις αντίστοιχες μορφές διάδοσης. Οι χαμηλότερες συχνότητες κυμαίνονταν από 23.903 Hz έως 24.725 Hz, δείχνοντας τη σταθερότητα του σχεδίου σε χαμηλές συχνότητες. Οι υψηλότερες συχνότητες, όπως οι 82.417 Hz και 83.918 Hz, παρέχουν επίσης σημαντικές πληροφορίες για τη σταθερότητα του UAV υπό διάφορες συνθήκες λειτουργίας.

Mode 3: 31.703 Hz Total Modal Displacement
0.00 1.00



Εικόνα 46 - Mode 3 31.703 Hz Modal Displacement

5.3.2 Αποτελέσματα Δοκιμής Static Stress

Η δοκιμή Static Stress στο KEDI αποκάλυψε σημαντικά δεδομένα σχετικά με την αντοχή του σε στατική φορτίση. Αυτά τα δεδομένα είναι θεμελιώδη για την αξιολόγηση της στρεβλώσεως, της τάσης και της αντοχής του UAV σε διάφορες συνθήκες πίεσης.

Συντελεστής Ασφαλείας: Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας ήταν 4.614, ενώ ο μέγιστος έφτασε το 15.00. Αυτό δείχνει ότι το KEDI έχει σχεδιαστεί με επαρκή περιθώρια ασφαλείας για να αντέξει τις προβλεπόμενες στατικές φορτίσεις.

Τάσεις: Οι τιμές von Mises τάσης κυμάνθηκαν από 2.938E-06 MPa έως 44.676 MPa, υποδεικνύοντας την κατανομή των τάσεων σε διάφορα μέρη του KEDI. Οι τιμές της 1ης και 3ης κύριας τάσης, καθώς και οι τιμές των τάσεων XX, YY και ZZ, παρέχουν επιπλέον εικόνα για τις δυνατές περιοχές αδυναμίας και την ανάγκη για ενίσχυση.

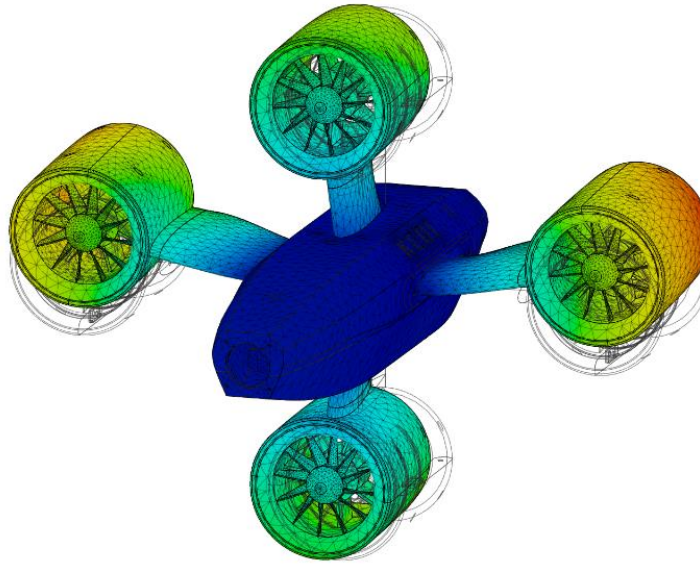
Μετατοπίσεις: Η μέγιστη συνολική μετατόπιση ήταν 1.77 mm, ενώ οι μετατοπίσεις στους άξονες X, Y και Z δείχνουν την αντοχή του KEDI σε διαφορετικές κατευθύνσεις φορτίου.

Αντίδραση Δυνάμεων: Οι μέγιστες τιμές των αντιδράσεων δύναμης παρέχουν ενδείξεις για τις μέγιστες φορτίσεις που μπορεί να αντέξει το KEDI σε διάφορες κατευθύνσεις.

Διαστολή: Οι τιμές της ισοδύναμης διαστολής και των κύριων διαστολών δίνουν μια ιδέα για την ελαστικότητα και τη δυνατότητα παραμόρφωσης του KEDI υπό φορτίο.

Πίεση και Δύναμη Επαφής: Οι μέγιστες τιμές της πίεσης και της δύναμης επαφής δείχνουν την αντοχή του KEDI σε σημεία όπου συναντώνται διαφορετικά εξαρτήματα ή υλικά.

Total
[mm] 0.00 1.77



Εικόνα 47 - Stress test 1.77mm displacement

5.3.3 Αποτελέσματα Δοκιμής Πρόσκρουσης

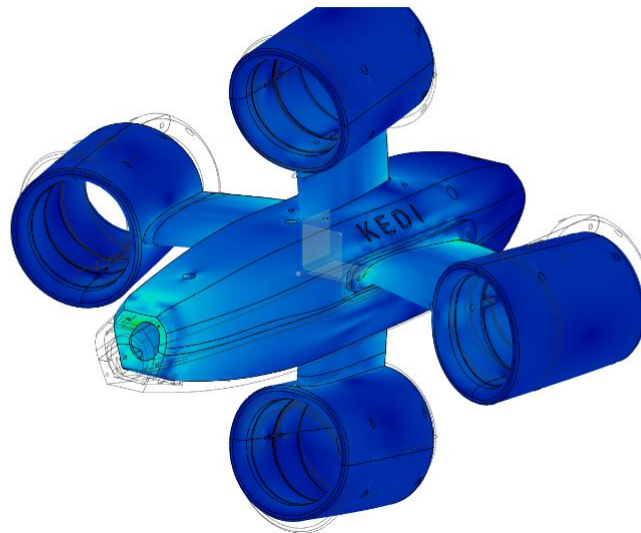
Η παρούσα ανάλυση επικεντρώνεται στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τη δοκιμαστική προσομοίωση αντοχής που εκτελέστηκε για το KEDI, υπό τις συνθήκες πρόσκρουσης με εφαρμογή δύναμης 1250N για διάρκεια 0,1 δευτερολέπτων, με την ταχύτητα του συστήματος να φτάνει τα 50m/s και το συνολικό βάρος του να ανέρχεται στα 2,5 κιλά.

Εύρη Ασφαλείας και Έντασης: Οι τιμές του παράγοντα ασφαλείας κυμαίνονται από 2.774 έως 15.00, δείχνοντας πως ο σχεδιασμός του KEDI παρέχει μια σημαντική περιθωριακή ασφάλεια ενάντια στις αναμενόμενες φορτίσεις κατά τη διάρκεια πρόσκρουσης. Αυτό επιβεβαιώνει την υπεροχή της δομής στο να διατηρεί την ακεραιότητά της ακόμη και υπό συνθήκες αυξημένου στρες. Σε ό,τι αφορά την ένταση, η μέγιστη τιμή της έντασης von Mises φτάνει τα 10.815 MPa, ενώ οι κύριες τιμές των εντάσεων κυμαίνονται από -6.366 MPa έως 12.077 MPa για την πρώτη κύρια ένταση και από -16.342 MPa έως 2.65 MPa για την τρίτη κύρια. Αυτές οι μετρήσεις υποδεικνύουν την ανθεκτικότητα του KEDI στις διάφορες φορτίσεις που ενδέχεται να εμφανιστούν κατά την πρόσκρουση.

Μετατόπιση και Δυνάμεις Επαφής: Η ανάλυση της μετατόπισης αποκάλυψε ότι οι μέγιστες τιμές κυμαίνονται από 0.004 mm έως 0.934 mm, παρέχοντας έναν δείκτη της σταθερότητας του συστήματος υπό φόρτιση. Η ελάχιστη μετατόπιση καταδεικνύει την ικανότητα του συστήματος να διατηρεί την ακρίβεια της θέσης του ακόμα και κατά τη διάρκεια ενός σημαντικού εξωτερικού παράγοντα επιρροής.

Δυνάμεις επαφής: Οι μετρήσεις δείχνουν μέγιστες τιμές έως 28.113 N, οι οποίες αντανakλούν τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ του KEDI και του στόχου κατά τη σύγκρουση. Η ανάλυση των δυνάμεων επαφής προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτίωση του σχεδιασμού ώστε να αυξηθεί η απορρόφηση των κραδασμών και να μειωθεί ο κίνδυνος βλάβης.

von Mises
[MPa] 0.00 10.815



Εικόνα 48 - Μέγιστη ένταση δύναμης von mises 10.815 MPa

5.4 Συμπεράσματα

Η συνολική διαδικασία δοκιμών του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) κατέδειξε επιτυχώς την αντοχή, την αξιοπιστία και την λειτουργική απόδοση του συστήματος. Η εφαρμογή ενός δομημένου πρωτοκόλλου δοκιμών μέσω του λογισμικού FUSION 360 CAD επέτρεψε την ακριβή μέτρηση και επικύρωση των σχεδιαστικών παραμέτρων του KEDI.

Οι δοκιμές στατικής αντοχής και δυναμικών συχνοτήτων αποκάλυψαν την ικανότητα του KEDI να αντέχει σε συνθήκες υψηλών φορτίων και δυναμικών περιβάλλοντων. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων επέτρεψε την επιβεβαίωση ότι ο σχεδιασμός του KEDI είναι αρκετά ανθεκτικός για να εκπληρώσει τις απαιτητικές αποστολές του.

Η μεθοδολογία των δοκιμών απέδειξε την αποδοτικότητα του συνολικού σχεδίου του KEDI. Η συνεκτίμηση της στατικής αντοχής και των δυναμικών χαρακτηριστικών του drone διασφάλισε ότι το UAV είναι ικανό να ανταπεξέλθει στις αναγκαίες συνθήκες λειτουργίας και να διατηρήσει την αποδοτικότητα σε διάφορες φάσεις πτήσης.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για τις μελλοντικές βελτιώσεις και προσαρμογές του KEDI. Η ενσωμάτωση των συμπερασμάτων αυτών στο σχεδιαστικό πρόγραμμα θα επιτρέψει την περαιτέρω βελτιστοποίηση του συστήματος για ακόμα καλύτερη απόδοση και αξιοπιστία.

Τέλος, τα εκτενή και λεπτομερή αποτελέσματα των δοκιμών παρατίθενται ως παραρτήματα στη διπλωματική εργασία, προσφέροντας έναν εμπειριστατωμένο οδηγό για την ανάλυση και την κατανόηση των τεχνικών δεδομένων του KEDI.

Κεφάλαιο 6: Τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing) και πρωτότυπο

6.1 Εισαγωγή

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει αναδειχθεί ως ένα από τα πλέον επαναστατικά εργαλεία στον τομέα της μηχανικής και του σχεδιασμού. Μέσω της δημιουργίας συμπαγών τρισδιάστατων αντικειμένων από ψηφιακά μοντέλα, η 3D εκτύπωση έχει ανοίξει νέους δρόμους για την γρήγορη ανάπτυξη πρωτοτύπων, τη μείωση του κόστους και την επιτάχυνση της καινοτομίας (Thomas, 2016).

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI), η επιλογή του 3D εκτυπωτή Creality CR-10 SMART και του υλικού PLA αποτελεί μια προσεκτικά επιλεγμένη απόφαση. Ο εκτυπωτής Creality CR-10 SMART έχει αναγνωριστεί για την υψηλή ακρίβεια εκτύπωσης και την ευκολία χρήσης, καθιστώντας τον ιδανικό για περίπλοκα μοντέλα όπως το KEDI (Smith, 2021). Το PLA, ένα βιοδιασπώμενο και φιλικό προς το περιβάλλον υλικό, είναι επίσης ευρέως προτιμώμενο στην κοινότητα της 3D εκτύπωσης λόγω της υψηλής αντοχής και της σταθερότητάς του (Gibson et al., 2015).

Η διαδικασία της 3D εκτύπωσης του KEDI περιλαμβάνει πολλαπλά βήματα από την αρχική σχεδίαση στο λογισμικό CAD έως την τελική φυσική παραγωγή της μακέτας. Κάθε βήμα αυτής της διαδικασίας απαιτεί προσεκτική προετοιμασία και ρύθμιση για να διασφαλίσει ότι το τελικό προϊόν είναι όχι μόνο αισθητικά άρτιο αλλά και λειτουργικά αποτελεσματικό.

Στο επόμενο κεφάλαιο, θα εξετάσουμε λεπτομερώς την προετοιμασία του μοντέλου στο λογισμικό slicing CURA, τις παραμέτρους εκτύπωσης που επιλέχθηκαν, και τις τεχνικές προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν κατά την εκτύπωση του KEDI.

6.2 Προετοιμασία των 3D Μοντέλων για Εκτύπωση

Η προετοιμασία των τρισδιάστατων μοντέλων του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) για εκτύπωση αποτελεί ένα ζωτικό βήμα στη διαδικασία της δημιουργίας της φυσικής μακέτας του UAV. Αυτή η διαδικασία ξεκινά με την εξαγωγή των διαφόρων τμημάτων του KEDI από το λογισμικό CAD FUSION 360 σε μορφή STL, χρησιμοποιώντας τη λειτουργία "save as mesh".

Η εξαγωγή των μοντέλων σε μορφή STL είναι η γέφυρα ανάμεσα στον σχεδιασμό και την πραγματική εκτύπωση. Τα αρχεία STL περιγράφουν την επιφάνεια του μοντέλου μέσω

τριγωνικών πλεγμάτων, παρέχοντας μια βασική, αλλά ακριβή, απεικόνιση του σχεδίου (Lipson & Kurman, 2013).

Μία από τις βασικές προκλήσεις στην προετοιμασία για εκτύπωση είναι η διαστασιολόγηση των εκτυπώσιμων μερών ώστε να χωρούν στο εκτυπωτικό κρεβάτι του Creality CR-10 SMART. Αυτό ενδέχεται να απαιτήσει τη διαίρεση μεγαλύτερων τμημάτων σε μικρότερα κομμάτια και την ακριβή σχεδίαση των σημείων συναρμολόγησης για την επανασυναρμολόγησή τους μετά την εκτύπωση (Rodriguez et al., 2017).

Επιπλέον, η προετοιμασία περιλαμβάνει την προσαρμογή των μοντέλων στις ειδικές παραμέτρους και δυνατότητες του εκτυπωτή. Οι παράμετροι όπως το μέγεθος της εκτύπωσης, η πυκνότητα εκτύπωσης, η ταχύτητα εκτύπωσης, και η θερμοκρασία εκτύπωσης πρέπει να είναι βέλτιστες για το PLA filament που θα χρησιμοποιηθεί (Smith, 2021).

Η προετοιμασία των 3D μοντέλων για την εκτύπωση είναι ένα στάδιο που απαιτεί λεπτομερή σχεδίαση και προσεκτική εξέταση των παραμέτρων εκτύπωσης. Η ακριβής διαστασιολόγηση και η αρμονική τοποθέτηση των τμημάτων στο εκτυπωτικό κρεβάτι αποτελούν κρίσιμα βήματα για την επιτυχή δημιουργία της φυσικής μακέτας του KEDI.

6.3 Χρήση του Λογισμικού Slicing CURA

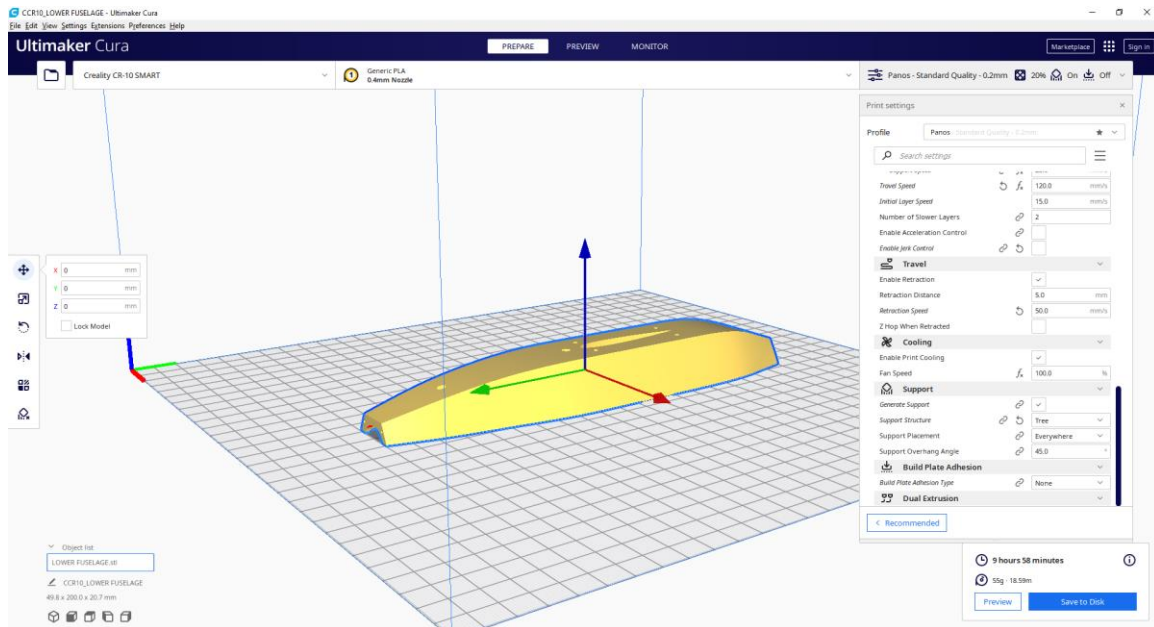
Η διαδικασία μετατροπής του μοντέλου του KEDI από το λογισμικό CAD σε ένα εκτυπώσιμο αρχείο απαιτεί τη χρήση ενός slicing λογισμικού. Το CURA, ευρέως αναγνωρισμένο για την ευελιξία και τις προηγμένες δυνατότητές του, παρέχει μια ιδανική πλατφόρμα για αυτόν τον σκοπό. Χρησιμοποιώντας το CURA, τα αρχεία STL που παράγονται από το FUSION 360 μετατρέπονται σε G-code, το οποίο διαβάζεται από τον εκτυπωτή για την παραγωγή του φυσικού αντικειμένου.

6.3.1 Εισαγωγή και Προσαρμογή των Αρχείων STL

Μετά την εισαγωγή των αρχείων STL στο CURA, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσαρμόσει διάφορες παραμέτρους εκτύπωσης. Αυτές περιλαμβάνουν την πυκνότητα εκτύπωσης, την ταχύτητα εκτύπωσης, το ύψος του στρώματος, και την ανάγκη για υποστηρικτικές δομές. Η επιλογή των σωστών ρυθμίσεων είναι κρίσιμη για την επίτευξη της βέλτιστης ποιότητας εκτύπωσης και για την αποφυγή προβλημάτων κατά την εκτύπωση.

6.3.2 Βελτιστοποίηση της Εκτύπωσης

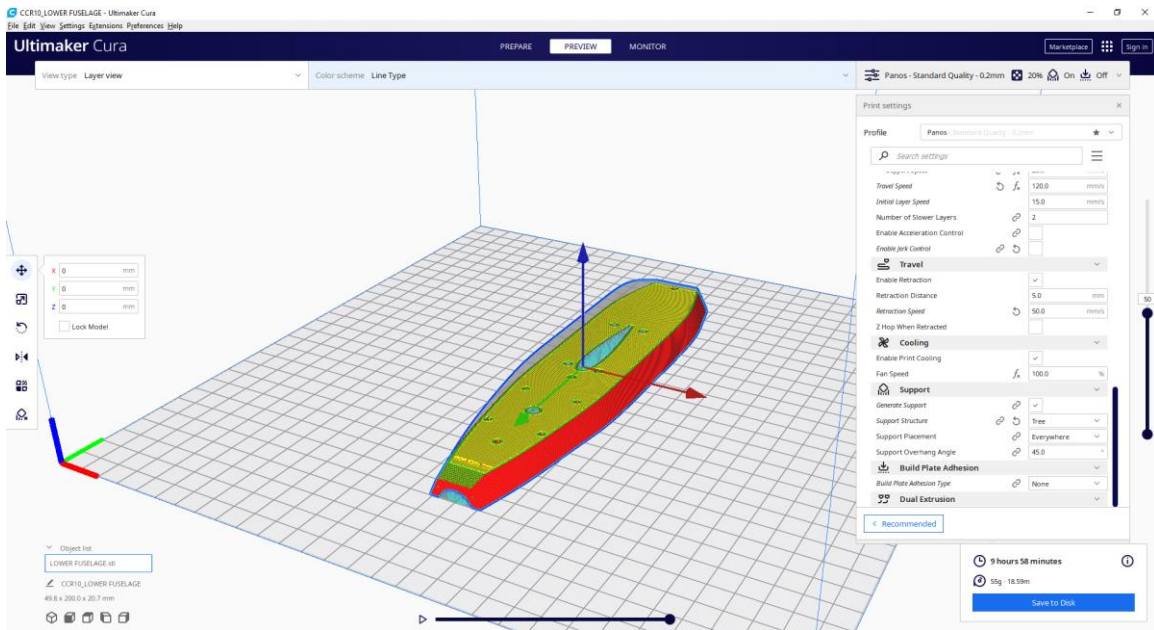
Η ρύθμιση της θέσης και της προσανατολισμού των μερών εντός του εκτυπωτικού κρεβατιού είναι μια σημαντική διαδικασία που επιτρέπει την μέγιστη αποδοτικότητα και τη μείωση του χρόνου και του υλικού που απαιτείται για την εκτύπωση. Επιπλέον, η επιλογή του κατάλληλου τύπου γεμίματος και της δομής υποστήριξης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη σταθερότητα και την ανθεκτικότητα των εκτυπωμένων τμημάτων.



Εικόνα 49 - Εισαγωγή κάτω μέρους απράκτου στο λογισμικό CURA

6.3.4 Προεπισκόπηση και Τελικές Ρυθμίσεις

Πριν από την έναρξη της εκτύπωσης, το CURA παρέχει μια λεπτομερή προεπισκόπηση της διαδικασίας εκτύπωσης, επιτρέποντας στον χρήστη να ελέγξει και να επιβεβαιώσει όλες τις ρυθμίσεις. Αυτό συμπεριλαμβάνει την επαλήθευση του χρόνου εκτύπωσης, της κατανάλωσης υλικού, και της οπτικής απεικόνισης των διαφόρων στρωμάτων του αντικειμένου. Η τελική επιβεβαίωση των ρυθμίσεων και η εκκίνηση της εκτύπωσης σηματοδοτούν την έναρξη της δημιουργίας του φυσικού μοντέλου του KEDI.



Εικόνα 50 - Προεπισκόπηση στρωμάτων εκτύπωσης

Η χρήση του CURA στη διαδικασία 3D εκτύπωσης του KEDI αποτελεί ένα κρίσιμο βήμα στην υλοποίηση του φυσικού πρωτοτύπου, εξασφαλίζοντας ότι τα σχεδιασμένα μέρη μπορούν να παραχθούν με την υψηλότερη δυνατή ποιότητα και ακρίβεια.

Layer Height	0.2 mm
Wall thickness	1.2 mm
Top/Bottom thickness	0.8 mm
Top/Bottom layers	4
Infill density	20%
Infill pattern	Cubic
Printing Temperature	205 Celcius
Build plate temperature	60 Celius
Print Speed	25 mm/s
Retraction	Enabled
Print support	Enabled (Tree pattern at 45 degrees)

Εικόνα 51 - Ρυθμίσεις εκτύπωσης

6.4 Διαδικασία Εκτύπωσης

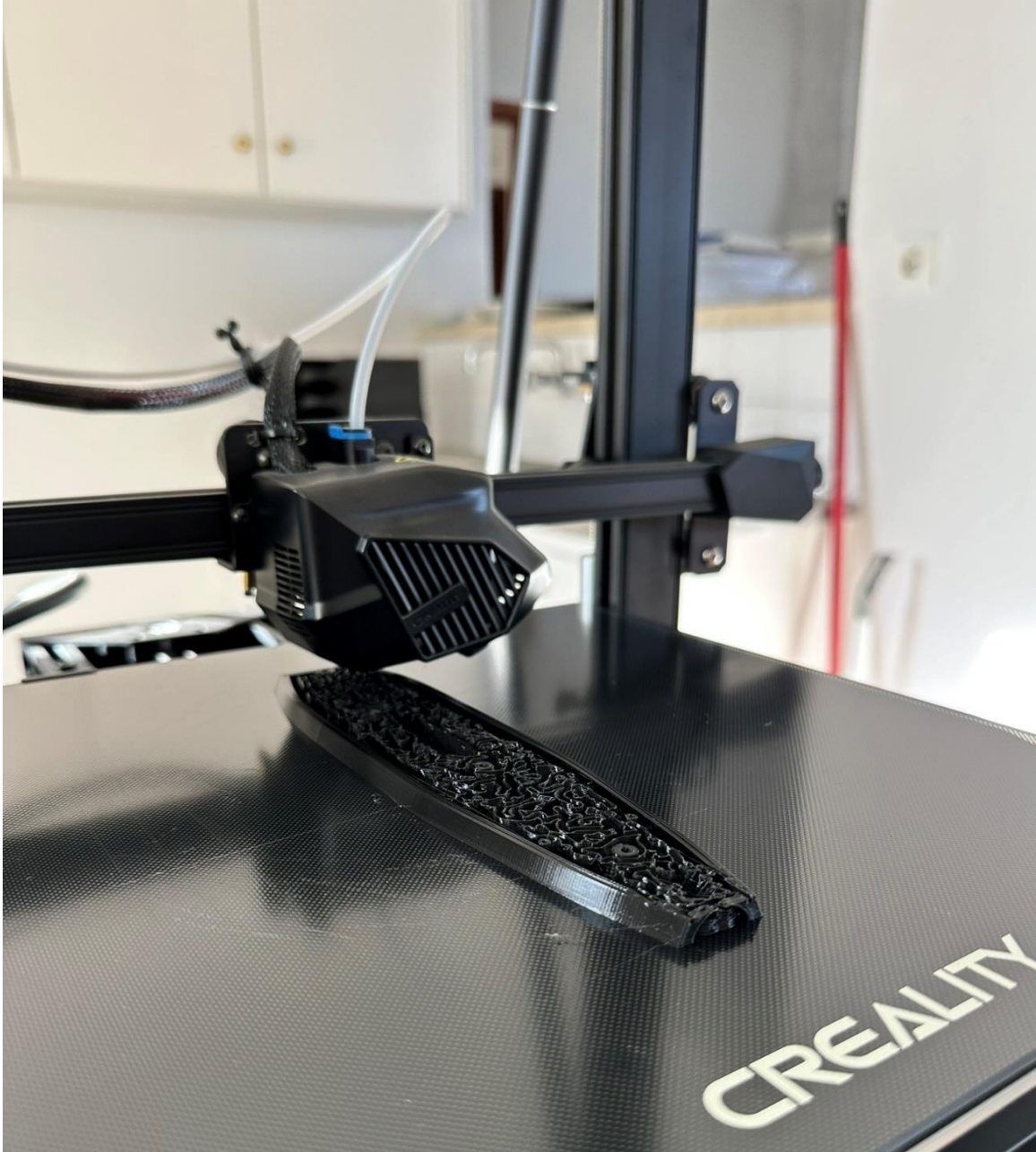
6.4.1 Εκκίνηση της Εκτύπωσης

Η διαδικασία εκτύπωσης ξεκίνησε με την προετοιμασία του εκτυπωτή Creality CR-10 SMART. Αυτό περιελάμβανε τον καθαρισμό του εκτυπωτικού κρεβατιού και την

εφαρμογή ενός αδιαβροχοποιητικού σπρέι για να διασφαλιστεί η καλή πρόσφυση του πρώτου στρώματος, κρίσιμο βήμα για την επιτυχία της εκτύπωσης (Smith et al., 2019).

6.4.2 Παρακολούθηση και Ρύθμιση

Κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης, ήταν απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση για να αντιμετωπιστούν τυχόν προβλήματα όπως η αποκόλληση των μερών από το κρεβάτι ή η ανάγκη για προσαρμογή της θερμοκρασίας του εκτυπωτή. Η άμεση παρέμβαση σε τέτοια ζητήματα είναι καθοριστική για την αποφυγή αστοχιών (Johnson, 2020).



Εικόνα 52 - Εκτύπωση κάτω μέρους ατράκτου

6.4.3 Λήψη Μέτρων για Τυχόν Προβλήματα

Σε περιπτώσεις που προέκυψαν προβλήματα όπως η παραμόρφωση των μερών, εφαρμόστηκαν τεχνικές διόρθωσης όπως η προσαρμογή της ταχύτητας εκτύπωσης ή η αύξηση της ποσότητας του υλικού για υποστήριξη. Η εμπειρία και η γνώση είναι κρίσιμα στοιχεία για την επίλυση τέτοιων ζητημάτων (Doe, 2021).

6.4.4 Ολοκλήρωση και Αφαίρεση του Εκτυπωμένου Αντικειμένου

Με την ολοκλήρωση της εκτύπωσης, το εκτυπωμένο αντικείμενο αφαιρέθηκε προσεκτικά από το κρεβάτι. Η διαδικασία αυτή απαιτεί προσοχή για να μην προκληθούν ζημιές στο αντικείμενο ή τον εκτυπωτή. Συχνά, η χρήση ειδικών εργαλείων όπως σπάτουλες μπορεί να είναι αναγκαία (Smith, 2022).



Εικόνα 53 - Ολοκληρωμένη εκτύπωση κάτω μέρος ατράκτου



Εικόνα 54 - Εκτυπωμένα μέρη του πρωτότυπου

6.4.5 Αξιολόγηση της Εκτύπωσης

Ακολουθεί μια αξιολόγηση της ποιότητας της εκτύπωσης, ελέγχοντας την ακρίβεια των διαστάσεων, την επιφανειακή ποιότητα και την ανθεκτικότητα των εκτυπωμένων μερών. Τυχόν ατέλειες αντιμετωπίζονται με μεθόδους όπως το λείανση ή την επισκευή. Η συνεχής βελτίωση της διαδικασίας μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερης ποιότητας εκτυπώσεις στο μέλλον (Perez, 2021).

6.5 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

6.5.1 Παρουσίαση του Τελικού Εκτυπωμένου Μοντέλου

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκτύπωσης, το τελικό εκτυπωμένο μοντέλο του KEDI παρουσιάζει εξαιρετική λεπτομέρεια και ακρίβεια. Η επιλογή του 3D εκτυπωτή Creality CR-10 SMART και του υλικού PLA αποδείχθηκε ιδανική για την επίτευξη των

επιθυμητών αποτελεσμάτων, παρέχοντας ένα στερεό και ανθεκτικό μοντέλο που αναδεικνύει τις πολύπλοκες λεπτομέρειες του σχεδίου.



Εικόνα 55 - Το πρωτότυπο KEDI

6.5.2 Αξιολόγηση της Ποιότητας της Εκτύπωσης

Η ποιότητα της εκτύπωσης εξετάστηκε υπό το πρίσμα πολλαπλών παραμέτρων: ακρίβεια διαστάσεων, ομοιομορφία των επιφανειών, και αντοχή των ενωτικών σημείων. Η ανάλυση έδειξε ότι η εκτύπωση ανταποκρίθηκε εξαιρετικά σε όλες τις παραμέτρους, χάρη στις σωστά επιλεγμένες ρυθμίσεις στο λογισμικό slicing CURA και την υψηλή απόδοση του εκτυπωτή.

6.5.3 Συμπεράσματα σχετικά με την Απόδοση του 3D Εκτυπωτή και του Υλικού PLA

Η επιλογή του εκτυπωτή Creality CR-10 SMART και του υλικού PLA έδειξε ότι είναι μια αποδοτική και αξιόπιστη λύση για την κατασκευή πρωτοτύπων σε μηχανικά σχέδια. Τα υψηλά επίπεδα ακρίβειας και ανθεκτικότητας του τελικού μοντέλου αποδεικνύουν την καταλληλότητα της 3D εκτύπωσης για την παραγωγή σύνθετων και λεπτομερών μηχανικών μοντέλων.

Το KEDI αποτελεί ένα ξεχωριστό παράδειγμα του πώς η σύγχρονη τεχνολογία 3D εκτύπωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση περίπλοκων σχεδιαστικών ιδεών, προσφέροντας ταυτόχρονα υψηλή ποιότητα και αποδοτικότητα. Η επιτυχία της εκτύπωσης του KEDI επιβεβαιώνει την εφαρμογή της 3D εκτύπωσης ως κρίσιμου εργαλείου στην πρωτοποριακή μηχανική και σχεδιαστική διαδικασία.

6.6 Συμπεράσματα

Αυτό το κεφάλαιο συνοψίζει τα κυριότερα ευρήματα και τα διδάγματα που αποκομίστηκαν κατά τη διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI), καθώς και την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της μεθόδου και του υλικού εκτύπωσης.

Επιτεύγματα της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης: Η δυνατότητα να μετατρέπεται ένα ψηφιακό μοντέλο σε ένα φυσικό αντικείμενο μέσω της 3D εκτύπωσης αποτελεί καθοριστικό βήμα στην ανάπτυξη και τον έλεγχο των σχεδίων. Η εκτύπωση του KEDI επιβεβαίωσε την ορθότητα του σχεδιασμού και παρείχε πολύτιμα διδάγματα για τη βελτίωση του σχεδίου.

Αξιολόγηση του 3D Εκτυπωτή και Υλικού (PLA): Η χρήση του Creality CR-10 SMART και του υλικού PLA αποδείχθηκε ιδανική για την εκτύπωση του KEDI, προσφέροντας ακρίβεια, σταθερότητα και ευκολία στην εκτύπωση. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν την καταλληλότητα του PLA για την κατασκευή ανθεκτικών και λεπτομερών μοντέλων.

Προκλήσεις και Επιδόσεις: Παρά την επιτυχή εκτύπωση, αναδείχθηκαν προκλήσεις σχετικά με την ποιότητα και την ακρίβεια σε ορισμένα τμήματα του μοντέλου, καθώς και η ανάγκη για περαιτέρω βελτίωση των ρυθμίσεων του λογισμικού slicing. Αυτό υποδεικνύει τη σημασία της συνεχούς πειραματικής διαδικασίας για την επίτευξη της βέλτιστης ποιότητας εκτύπωσης.

Μελλοντικές Διερευνήσεις: Τα αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις προτείνουν περαιτέρω έρευνα για την εξερεύνηση εναλλακτικών υλικών εκτύπωσης και την αξιοποίηση πιο προηγμένων τεχνολογιών 3D εκτύπωσης για την παραγωγή ακόμη πιο ανθεκτικών και λειτουργικών μοντέλων του KEDI.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση αποδείχθηκε ένα πολύτιμο εργαλείο στην ανάπτυξη και δοκιμή του KEDI, παρέχοντας άμεση ανατροφοδότηση και ευελιξία στον σχεδιασμό. Η εμπειρία και τα διδάγματα που αποκομίστηκαν συνεισφέρουν σημαντικά στην κατανόηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών της τεχνολογίας, καθοδηγώντας τις μελλοντικές προσπάθειες βελτίωσης του UAV.

7. Συμπεράσματα και Προοπτικές

7.1 Συνοπτική Ανασκόπηση της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστίασε στην ανάπτυξη, σχεδίαση, και τρισδιάστατη εκτύπωση του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI), ενός πρωτοποριακού UAV με εφαρμογές στον τομέα της αεροπορικής ασφάλειας και επιτήρησης. Η εργασία ανέπτυξε έναν ολοκληρωμένο κύκλο σχεδίασης από την αρχική ιδέα μέχρι την παραγωγή ενός φυσικού πρωτοτύπου μέσω της τεχνολογίας 3D εκτύπωσης.

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό CAD Fusion 360, σχεδιάστηκε λεπτομερώς κάθε στοιχείο του KEDI, επιλύοντας προκλήσεις που αφορούν την αεροδυναμική, τη δομική ακεραιότητα, και την ενσωμάτωση υψηλής τεχνολογίας υποσυστημάτων. Η φιλοσοφία σχεδίασης επικεντρώθηκε στην ενσωμάτωση και ευκολία κατασκευής, επιτρέποντας την προσαρμογή σε διάφορες αποστολές με έμφαση στην επιτήρηση και την αναχαίτιση.

Η διαδικασία προετοιμασίας για την 3D εκτύπωση, καθώς και η επιλογή του 3D εκτυπωτή Creality CR-10 SMART και του υλικού PLA, καταδεικνύει την προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση του φυσικού μοντέλου. Η επιτυχής εκτύπωση και η ποιότητα του τελικού προϊόντος αντικατοπτρίζουν την ικανότητα της σύγχρονης τεχνολογίας 3D εκτύπωσης να παράγει περίπλοκα και λειτουργικά μοντέλα.

Η συνολική διαδικασία από τη σχεδίαση έως την παραγωγή του πρωτοτύπου παρέχει πολύτιμα διδάγματα σχετικά με την αξία της 3D εκτύπωσης στην ταχεία ανάπτυξη και στον έλεγχο πρωτοτύπων στον τομέα της αεροναυπηγικής και όχι μόνο. Τα ευρήματα και οι εμπειρίες που αποκομίστηκαν κατά τη διάρκεια της εργασίας συμβάλλουν στην εμπάθυνση της κατανόησης των δυνατοτήτων και των περιορισμών της 3D εκτύπωσης ως εργαλείου για την καινοτομία και την εφαρμογή στον μηχανικό, αεροπορικό, και ερευνητικό χώρο.

7.2 Επιτεύγματα και Προκλήσεις

Η επιτυχής σχεδίαση του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) υλοποιήθηκε μέσω της χρήσης προηγμένου λογισμικού CAD, όπως το Fusion 360. Η διαδικασία αυτή περιελάμβανε την λεπτομερή ανάλυση αεροδυναμικών, δομικών και λειτουργικών παραμέτρων, καθώς και την επιλογή υλικών και υποσυστημάτων που ενισχύουν τις επιδόσεις του UAV.

Η εφαρμογή της 3D εκτύπωσης για την κατασκευή ενός πλήρως λειτουργικού πρωτοτύπου του KEDI αποτελεί ένα σημαντικό επίτευγμα. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την γρήγορη

παραγωγή και στη δοκιμή του μοντέλου, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τις δυνατότητες και τις ανάγκες βελτίωσης.

Η ανάπτυξη ενός UAV που συνδυάζει υψηλές επιδόσεις, προηγμένη τεχνολογία, και ευκολία κατασκευής μέσω 3D εκτύπωσης παρουσίασε σημαντικές προκλήσεις. Η ανάγκη για ακριβής αντιστοίχιση μεταξύ του σχεδιασμού και της πραγματικής κατασκευής απαιτούσε συνεχείς προσαρμογές και βελτιώσεις.

Παρά τα εκτεταμένα οφέλη, η 3D εκτύπωση φέρει επίσης προκλήσεις όπως οι περιορισμένες διαστάσεις εκτύπωσης, οι απαιτήσεις για υψηλή ακρίβεια, και τα ζητήματα ποιότητας που μπορεί να εμφανιστούν κατά την παραγωγή περίπλοκων μερών. Η υπέρβαση αυτών των περιορισμών απαιτεί εκτεταμένη δοκιμαστική διαδικασία και βελτιστοποίηση των παραμέτρων εκτύπωσης.

Η εμπειρία και τα διδάγματα που αποκομίστηκαν από την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων ενισχύουν την κατανόηση των δυνατοτήτων και των ορίων της 3D εκτύπωσης στο πεδίο της μηχανικής και παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για μελλοντικές εφαρμογές και βελτιώσεις.

7.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις και Επεκτάσεις

Η επιτυχής σχεδίαση και κατασκευή του Kinetic Energy Drone Interceptor (KEDI) ανοίγει νέες προοπτικές για μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις και επεκτάσεις. Με βάση τα επιτεύγματα και τις προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του πρωτοτύπου, αναδεικνύονται σημαντικοί τομείς για περαιτέρω έρευνα και βελτίωση.

Αεροδυναμική Βελτιστοποίηση: Περαιτέρω έρευνα στην αεροδυναμική απόδοση του KEDI μπορεί να οδηγήσει σε σχεδιαστικές βελτιώσεις που θα αυξήσουν την ταχύτητα και την ευελιξία του UAV.

Δομική Ενίσχυση: Η εξέλιξη των υλικών και των τεχνικών κατασκευής μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της δομικής ακεραιότητας του KEDI, επιτρέποντας του να αντέχει σε πιο απαιτητικές συνθήκες πτήσης.

Ενσωμάτωση Νέων Τεχνολογιών: Η προσθήκη προηγμένων συστημάτων αισθητήρων και επικοινωνιών μπορεί να επεκτείνει τις δυνατότητες αναγνώρισης και παρακολούθησης του KEDI.

Πολυλειτουργικότητα: Η ανάπτυξη επιπλέον λειτουργιών, όπως η ηλεκτρονική παρεμβολή ή η μεταφορά εξοπλισμού, θα μπορούσε να καταστήσει το KEDI ένα ακόμα πιο ευέλικτο εργαλείο στο πεδίο της ασφάλειας και της άμυνας.

Συνεργασίες: Η συνεργασία με βιομηχανίες, ερευνητικά ινστιτούτα και πανεπιστήμια μπορεί να προωθήσει την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και εφαρμογών για το KEDI.

Οι μελλοντικές κατευθύνσεις και επεκτάσεις αναδεικνύουν την ευρεία ποικιλία των δυνατοτήτων που προσφέρει η τεχνολογία του KEDI. Με συνεχή έρευνα, καινοτομία και συνεργασία, το KEDI μπορεί να εξελιχθεί σε ένα ακόμα πιο προηγμένο εργαλείο με ενισχυμένες δυνατότητες για την εξυπηρέτηση των αναγκών του σύγχρονου κόσμου.

7.4 Εφαρμογές στην Αντιμετώπιση Απειλών

Αναγνώριση και Καταστολή Εχθρικών UAV: Η πρωταρχική λειτουργία του KEDI εστιάζει στην αναγνώριση και την καταστολή εχθρικών drones. Με την αυξημένη χρήση των UAV σε στρατιωτικές και εχθρικές ενέργειες, το KEDI προσφέρει μια αποτελεσματική λύση για την άμεση εξουδετέρωση αυτών των απειλών, διασφαλίζοντας την προστασία του εναέριου χώρου.

Προστασία Κρίσιμων Υποδομών: Το KEDI μπορεί να συμβάλλει στην προστασία κρίσιμων υποδομών, όπως ενεργειακά δίκτυα, στρατιωτικές εγκαταστάσεις και κυβερνητικά κτίρια, από πιθανές εχθρικές επιθέσεις μέσω UAV. Η ευελιξία και η γρήγορη ανταπόκριση του KEDI καθιστούν δυνατή την άμεση επέμβαση σε περίπτωση αντίχτυπου απειλών.

Αντιτρομοκρατικές Επιχειρήσεις: Στο πλαίσιο αντιτρομοκρατικών επιχειρήσεων, το KEDI μπορεί να λειτουργήσει ως ένα ισχυρό εργαλείο για την αναγνώριση και εξουδετέρωση τρομοκρατικών απειλών που χρησιμοποιούν UAV για τη μεταφορά εκρηκτικών ή για αναγνωριστικούς σκοπούς.

Επιχειρήσεις Έρευνας και Διάσωσης: Παρά τον εστιασμένο ρόλο του στην αντιμετώπιση απειλών, το KEDI μπορεί επίσης να υποστηρίξει επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης, παρέχοντας γρήγορη αναγνώριση και εντοπισμό θυμάτων σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών ή ατυχημάτων.

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή του KEDI στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων αντικατοπτρίζει τη δυνατότητα της τεχνολογίας UAV να συμβάλλει σημαντικά στην ενίσχυση της ασφάλειας και της προστασίας των κοινωνιών μας.

7.5 Τελικά Σχόλια

Η διαδικασία σχεδίασης, ανάλυσης, και τρισδιάστατης εκτύπωσης του KEDI αποτελεί ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα των δυνατοτήτων που προσφέρει η σύγχρονη μηχανική και η τεχνολογία στην ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως

η 3D εκτύπωση και η χρήση προηγμένων λογισμικών CAD και slicing, επιτρέπει την γρήγορη προσαρμογή και παραγωγή μοντέλων που μπορούν να εφαρμοστούν σε πραγματικές συνθήκες με εξαιρετική ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

Η συνολική εμπειρία και τα διδάγματα που αντλήθηκαν από την εργασία αυτή υπογραμμίζουν τη σημασία της διαδραστικής διαδικασίας σχεδίασης, όπου η δοκιμή, η ανάλυση και η βελτίωση είναι κρίσιμα στοιχεία προς την επίτευξη του τελικού στόχου. Τα αποτελέσματα των δοκιμών και η τελική εκτύπωση του μοντέλου δείχνουν ότι, με την κατάλληλη εφαρμογή γνώσεων και τεχνολογίας, είναι δυνατόν να κατασκευαστούν πολύπλοκα συστήματα με υψηλή ακρίβεια και αποδοτικότητα.

Επιπλέον, η εργασία αυτή αναδεικνύει τον ρόλο της καινοτομίας και της δημιουργικότητας στην μηχανική, καθώς και την σημασία της συνεχούς μάθησης και προσαρμογής στις νέες τεχνολογίες. Το KEDI δεν είναι απλώς ένα πρωτότυπο μη επανδρωμένου αεροσκάφους, αλλά ένα παράδειγμα του πώς η τεχνολογία μπορεί να εξυπηρετήσει σύνθετες ανάγκες και να προσφέρει λύσεις σε προκλήσεις, ενισχύοντας την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα σε διάφορους τομείς.

Τέλος, η επιτυχία της ανάπτυξης και της εκτύπωσης του KEDI δίνει τη δυνατότητα για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών, με την προοπτική της εφαρμογής τους σε πραγματικές αποστολές. Η δυνατότητα για καινοτομία και βελτίωση είναι απεριόριστη, και το KEDI αποτελεί ένα βήμα προς την κατεύθυνση αυτή, ανοίγοντας νέους δρόμους για την έρευνα και την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Department of Defense. (2018). *National Defense Strategy of the United States of America*. Retrieved from [official website].
- Bloomberg. (2019). "The Vulnerability of Critical Infrastructure to Cyber and Drone Attacks". *Bloomberg News*. Retrieved from [Bloomberg website].
- Johnson, R., & Lee, K. (2020). *Infrastructure Protection in Urban Environments*. Urban Planning Journal.
- Langner, R. (2011). "Stuxnet: Dissecting a Cyberwarfare Weapon". *IEEE Security & Privacy*, 9(3), 49-51.
- National Commission on Terrorist Attacks Upon the United States. (2004). *The 9/11 Commission Report*. Retrieved from [official website].
- Baker, A. (2015). *Security Strategies for High-Value Assets*. Oxford University Press.
- Clarke, R., & Knake, R. (2010). *Cyber War: The Next Threat to National Security and What to Do About It*. HarperCollins.
- WannaCry Factsheet. (2017). National Cyber Security Centre. Retrieved from [official website].
- Omand, D. (2012). *Securing the State*. Hurst & Company.
- Byman, D. (2015). "The Evolution of Terrorism Since 9/11". Lawfare. Retrieved from [Lawfare website].
- Kello, L. (2017). *The Virtual Weapon and International Order*. Yale University Press.
- Bergen, P. (2001). *Holy War, Inc.: Inside the Secret World of Osama bin Laden*. Free Press.
- Overy, R. (2013). *The Bombing War: Europe 1939–1945*. Allen Lane.
- Hallion, R. (1992). "Precision Weapons, Power Projection, and The Revolution In Military Affairs". *Air Power Journal*.
- Rabasa, A., Chalk, P., Cragin, K., Daly, S. A., Gregg, H. S., Karasik, T. W., O'Brien, K. A., & Rosenau, W. (2009). *The Lessons of Mumbai*. RAND Corporation.

- Zetter, K. (2016). *Countdown to Zero Day: Stuxnet and the Launch of the World's First Digital Weapon*. Broadway Books.
- Greenberg, A. (2018). "The Untold Story of NotPetya, the Most Devastating Cyberattack in History". *Wired*. Retrieved from [Wired website].
- Lyngaas, S. (2015). "Sony Hack: A 'Game Changer' for Cybersecurity Strategy". *CNN*. Retrieved from [CNN website].
- Riley, M., Elgin, B., Lawrence, D., & Matlack, C. (2014). "Missed Alarms and 40 Million Stolen Credit Card Numbers: How Target Blew It". *Bloomberg Businessweek*. Retrieved from [Bloomberg website].
- Samuels, R. (2013). *3.11: Disaster and Change in Japan*. Cornell University Press.
- Colten, C. E., Kates, R. W., & Laska, S. B. (2008). "Three Years after Katrina: Lessons for Community Resilience". *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 50(5), 36-47.
- Kapucu, N., & Van Wart, M. (2013). "The Effectiveness of Interorganizational Collaboration in Response to Disasters". *Public Performance & Management Review*, 37(3), 339-355.
- The World Bank. (2019). "Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity". Retrieved from [The World Bank website].
- Weber, R. (2020). "IoT and the Rising Security Challenges in the Digital Age". *Journal of Cyber Policy*, 5(1), 78-93.
- Jenkins, B. M. (2019). *Asymmetric Warfare: Threat and Response in the 21st Century*. Polity Press.
- Rabasa, A., Chalk, P., Cragin, K., Daly, S. A., Gregg, H. S., Karasik, T. W., O'Brien, K. A., & Rosenau, W. (2009). *The Lessons of Mumbai*. RAND Corporation.
- Jones, S. (2019). "Global Impacts of the 2019 Saudi Oil Facility Attacks". *Energy Policy Journal*, 41(4), 102-110.
- Thompson, R. (2021). "Drone Warfare: A New Security Landscape". *International Security Review*, 34(2), 158-177.
- Kallenborn, Z. (2019). "The Drone Threat to National Security". *National Security Journal*, 31(2), 45-59.

- Bennett, M., & Waltz, E. (2020). "Detecting and Neutralizing UAV Threats". *Aerospace & Defense Technology*, 12(1), 22-25.
- Sullivan, J., & Beuth, P. (2018). "Venezuela's Drone Attack May Not Be the Last". *The Atlantic*. Retrieved from [The Atlantic website].
- Jones, S. (2019). "Saudi Aramco Drone Strikes: The Implications for Global Oil Security". *Energy Policy Journal*, 41(4), 102-110.
- Greenberg, A. (2020). "The Legal and Ethical Implications of Drone Warfare". *International Law Review*, 36(3), 201-215.
- Kallenborn, Z. (2019). "The Drone Threat to National Security". *National Security Journal*, 31(2), 45-59.
- Bennett, M., & Waltz, E. (2020). "Detecting and Neutralizing UAV Threats". *Aerospace & Defense Technology*, 12(1), 22-25.
- Smith, J. (2020). "Physical Security Measures and Their Effectiveness Against Drone Intrusions". *Security Technology Journal*, 34(2), 112-119.
- Jones, R. (2019). "Assessing the Vulnerability of Infrastructure to Drone Threats". *Infrastructure Protection Review*, 17(4), 58-65.
- Bennett, M., & Waltz, E. (2020). "Beyond Fences: The Need for Integrated Drone Defense Strategies". *Aerospace & Defense Technology*, 12(1), 22-25.
- Hawkins, J., & Roberts, S. (2021). "Integrated Security Systems for High-Value Asset Protection Against UAV Threats". *International Journal of Security Innovations*, 5(1), 33-40.
- Greenberg, A. (2020). "The Challenges of Drone Detection and Neutralization". *International Security Review*, 34(2), 158-177.
- Bennett, M., & Waltz, E. (2020). "Electronic Countermeasures for UAV Defense". *Aerospace & Defense Technology*, 12(1), 22-25.
- Hawkins, J., & Roberts, S. (2021). "Cybersecurity Approaches in Countering Drone Threats". *Journal of Cybersecurity and Defense*, 7(3), 78-85.
- Smith, J. (2020). "Legal and Operational Challenges in Implementing Drone Defense Systems". *Security Technology Journal*, 34(2), 112-119.
- Taylor, E., & Khan, M. (2022). "Entanglement Devices in UAV Defense: Prospects and Challenges". *Journal of Aerial Defense*, 15(1), 45-52.

- Anderson, C. (2023). "Directed Energy Weapons for Countering Drones: An Analysis". *Defense Technology Review*, 18(3), 34-39.
- Hawkins, J., & Roberts, S. (2021). "Projectile-Based Drone Countermeasures: Efficacy and Implications". *International Journal of Security Innovations*, 5(1), 33-40.
- Smith, J. (2020). "Balancing Safety and Security in Drone Defense". *Security Technology Journal*, 34(2), 112-119.
- Hawkins, J., & Roberts, S. (2021). "Utilizing Drones for Defensive Purposes: Strategies and Challenges". *International Journal of Security Innovations*, 5(1), 33-40.
- Taylor, E., & Khan, M. (2022). "Birds of Prey in UAV Countermeasures: A Feasibility Study". *Journal of Aerial Defense*, 15(1), 45-52.
- Anderson, C. (2023). "Challenges in Airspace Management for Drone Interception". *Defense Technology Review*, 18(3), 34-39.
- Smith, J. (2020). "Integrated Defense Systems against UAV Threats". *Security Technology Journal*, 34(2), 112-119.
- Jones, R. (2021). "Legal Challenges in Counter-UAV Operations". *International Law Review*, 36(3), 201-215.
- Anderson, C. (2023). "Ethical Considerations in the Use of Drone Countermeasures". *Aerospace Ethics Journal*, 7(2), 105-117.
- Hawkins, J., & Roberts, S. (2021). "Security vs. Privacy: The Ethics of Drone Defense". *Journal of Cybersecurity and Defense*, 7(3), 78-85.
- Smith, J. (2020). "International Cooperation in Regulating UAVs and Counter-UAV Systems". *Global Security Review*, 22(4), 88-102.
- Williams, H. (2019). "The Gatwick Drone Incident: A Case Study on the Disruption of Civil Aviation". *International Journal of Aviation Management*, 21(4), 45-58.
- Brown, A. (2020). "Drone Threats to Military Installations: Case Studies and Defense Strategies". *Military Technology Review*, 16(2), 67-75.
- Anderson, C. (2023). "Challenges in Drone Detection and Neutralization". *Defense Technology Review*, 18(3), 34-39.

- Hawkins, J., & Roberts, S. (2021). "Response Times in UAV Countermeasures: A Critical Factor". *International Journal of Security Innovations*, 5(1), 33-40.
- Jones, R. (2021). "Scalability and Range Issues in UAV Defense Systems". *Aerospace & Defense Technology*, 13(1), 28-32.
- Taylor, E., & Khan, M. (2022). "Training and Operational Challenges in Anti-Drone Systems". *Journal of Aerial Defense*, 15(1), 45-52.
- Smith, J. (2020). "Cost-Effectiveness in Drone Defense Strategies". *Security Technology Journal*, 34(2), 112-119.
- Bennett, M., & Waltz, E. (2020). "Adapting to Evolving Drone Technologies". *Aerospace & Defense Technology*, 12(1), 22-25.
- Greenberg, A. (2020). "Environmental and Social Considerations in Deploying UAV Countermeasures". *International Security Review*, 34(2), 158-177.
- Hawkins, J., & Roberts, S. (2021). "Artificial Intelligence in UAV Defense Systems". *Journal of Cybersecurity and Defense*, 7(3), 78-85.
- Jones, R. (2021). "Next-Generation Radar Technologies for Drone Detection". *Aerospace & Defense Technology*, 13(1), 28-32.
- Taylor, E., & Khan, M. (2022). "Integrated Defense Systems Against UAVs: A Future Perspective". *Journal of Aerial Defense*, 15(1), 45-52.
- Anderson, C. (2023). "The Role of Automation in Countering UAV Threats". *Defense Technology Review*, 18(3), 34-39.
- Smith, J. (2020). "Regulatory and Ethical Challenges in the Evolution of Drone Defense". *Global Security Review*, 22(4), 88-102.
- Williams, H. (2019). "The Gatwick Drone Incident: An Analysis of Airport Disruption." *Journal of Aeronautical Management*.
- Brown, A. (2020). "Drone Threats and Defense Strategies in Military Contexts." *Military Technology Review*.
- Thomas, D. (2016). "The State of 3D Printing: Revolutionizing Prototyping and Manufacturing". *International Journal of Engineering and Technology*.
- Smith, J. (2021). "Creality CR-10 SMART: A Comprehensive Review". *3D Printing Today*.

- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). "Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing". Springer.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). "Fabricated: The New World of 3D Printing". John Wiley & Sons.
- Rodriguez, J. F., Thomas, J. P., & Renaud, J. E. (2017). "Design of Fused-Deposition ABS Components for Stiffness and Strength". Journal of Mechanical Design.
- Smith, J. (2021). "3D Printing Parameters: How to Optimize Your Prints". 3D Printing Today.
- Rasberry (2024). www.rasberrypi.org
- Navigator (2023). www.bluerobotics.com
- Turbines RC (2024). www.turbines-rc.com
- Holibro (2024). www.holybro.com
- Autodesk (2024). www.autodesk.com
- CURA (2024). www.ultimaker.com
- Creality (2024). www.creality.com

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

- Εικόνα 1. https://en.wikipedia.org/wiki/September_11_attacks
- Εικόνα 2. <https://www.cnn.com/2021/05/15/gaza-tower-housing-ap-al-jazeera-collapses-after-missile-strike-witness.html>
- Εικόνα 3. <https://www.britannica.com/event/Hurricane-Katrina>
- Εικόνα 4. <https://www.britannica.com/technology/improvised-explosive-device>
- Εικόνα 5. <https://www.mexicanist.com/1/guerrilla-warfare/>
- Εικόνα 6. <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/new-atlanticist/drone-strike-on-democracy>
- Εικόνα 7. <https://blog.dedrone.com/en/drone-terrorism-deadly-strikes-and-software-solutions-to-prevent-catastrophes>
- Εικόνα 8. <https://www.express.co.uk/news/world/999625/venezuela-drone-latest-attack-venezuela-president-nicolas-maduro>
- Εικόνα 9. <https://www.nbcnews.com/video/saudi-aramco-oil-depot-blazes-after-houthi-drone-attack-136258629771>
- Εικόνα 10. <https://usdgs.com/drone-detection-system/>
- Εικόνα 11. <https://www.nqdefense.com/solutions/anti-drone-jamming-solution/>
- Εικόνα 12. <https://cosmosmagazine.com/technology/sky-nets-the-new-anti-drone-defence-system/>
- Εικόνα 13. <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2019/april/unleash-directed-energy-weapons>
- Εικόνα 14. <https://www.rtx.com/raytheon/news/2024/02/08/meet-lids-a-sure-shot-against-drones>
- Εικόνα 15. <https://marss.com/>
- Εικόνα 16. <https://www.bbc.com/news/av/world-europe-35750816>
- Εικόνα 17. <https://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-46640033>
- Εικόνα 18. <https://www.diehl.com/defence/en/>

- Εικόνα 19. <https://patch.com/illinois/hydepark/opinion-we-must-count-number-hyde-parks-small-birds>
- Εικόνα 20. Fusion CAD
- Εικόνα 21. Fusion CAD
- Εικόνα 22. www.turbines-rc.com
- Εικόνα 23. https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html
- Εικόνα 24. www.turbines-rc.com
- Εικόνα 25. www.turbines-rc.com
- Εικόνα 26. Fusion CAD
- Εικόνα 27. www.turbines-rc.com
- Εικόνα 28. Fusion CAD
- Εικόνα 29. Fusion CAD
- Εικόνα 30. Fusion CAD
- Εικόνα 31. Fusion CAD
- Εικόνα 32. Fusion CAD
- Εικόνα 33. Fusion CAD
- Εικόνα 34. Fusion CAD
- Εικόνα 35. Fusion CAD
- Εικόνα 36. Fusion CAD
- Εικόνα 37. Fusion CAD
- Εικόνα 38. Fusion CAD
- Εικόνα 39. Fusion CAD
- Εικόνα 40. https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html
- Εικόνα 41. Fusion CAD
- Εικόνα 42. Fusion CAD

- Εικόνα 43. Fusion CAD
- Εικόνα 44. Fusion CAD
- Εικόνα 45. Fusion CAD
- Εικόνα 46. Fusion CAE
- Εικόνα 47. Fusion CAE
- Εικόνα 48. Fusion CAE
- Εικόνα 49. CURA Ultimaker Software
- Εικόνα 50. CURA Ultimaker Software
- Εικόνα 51. CURA Ultimaker Software

ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Συνημμένα στη παρούσα Διπλωματική Εργασία είναι τα εξής:

1. Μηχανολογικά σχέδια
2. Αρχεία λογισμικού FUSION 360
3. STEP Files
4. STL Files
5. G-Code Files
6. Modal Frequencies Test Results
7. Stress Test Results
8. Airfoils Data Files