



Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας
Συστήματα Κινητού και Διάχυτου Υπολογισμού

Διπλωματική Εργασία

Drones: Τεχνολογίες, εφαρμογές, κανονιστικό πλαίσιο, δεξιότητες

Χρήστος Σκουρλής

Επιβλέπων καθηγητής: Αχιλλέας Καμέας

Πάτρα, Ιούνιος 2019

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Drones: Τεχνολογίες, εφαρμογές, κανονιστικό πλαίσιο, δεξιότητες

Χρήστος Σκουρλής

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αχιλλέας Καμέας

Αναπληρωτής Καθηγητής

Σχολή Θετικών Επιστημών και
Τεχνολογίας

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Χρήστος Γκουμόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Πάτρα, Ιούνιος 2019

«Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών Συστήματα Κινητού και Διάχυτου Υπολογισμού της Σχολής Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Αχιλλέα Καμέα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Καμέα για την βοήθεια και κατανόηση καθ' όλη τη διάρκεια της χρονιάς.

Θα επιθυμούσα ακόμη να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη διαχρονική συμπαράστασή τους, καθώς και την κόρη μου Ευαγγελία για την υπομονή που επέδειξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.»

Περίληψη

Η χρήση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, γνωστών και ως drones, αναπτύσσεται με ταχύτερους ρυθμούς τις τελευταίες δεκαετίες, καλύπτοντας μια μεγάλη γκάμα μη στρατιωτικών εφαρμογών, όπως επιθεώρηση κατασκευών και υποδομών, γεωργία ακριβείας, παρακολούθηση της οδικής κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, παράδοση αγαθών, εργασίες έρευνας και διάσωσης και παροχή ασύρματης σύνδεσης. Τα έξυπνα drones, που αποτελούν την επόμενη μεγάλη επανάσταση στην τεχνολογία των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, αναμένεται να δημιουργήσουν νέες ευκαιρίες εφαρμογών, ιδίως στις αστικές υποδομές.

Η χρήση των drones έχει εγείρει παράλληλα πολλές ανησυχίες, σχετικά με την ασφάλεια και την προστασία των προσωπικών δεδομένων, καθώς, από ό,τι φαίνεται, οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν φαίνεται να καλύπτουν όλες τις πτυχές της. Στη βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος αναφορών που ασχολείται με το θέμα της χρήσης των drones. Επομένως, θεωρείται αναγκαία μια ανάλυση του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου πάνω στο συγκεκριμένο θέμα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι η παρουσίαση της τεχνολογίας των drones και των εφαρμογών τους καθώς και η ανάλυση του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου σχετικά με τη χρήση τους. Βασικοί άξονες της εργασίας θα αποτελέσουν οι εφαρμογές των drones και οι προκλήσεις. Στη συνέχεια θα δοθεί μια σαφή εικόνα του κανονιστικού πλαισίου και θα γίνει μια προσπάθεια εντοπισμού των κενών στη νομοθεσία όσον αφορά τους κινδύνους για την ασφάλεια και την προστασία των προσωπικών δεδομένων που προκύπτουν από τη χρήση των drones. Τέλος, θα διερευνηθούν οι δεξιότητες και ικανότητες που απαιτούνται, ώστε να γίνει κάποιος ένας αποτελεσματικός χειριστής drone.

Λέξεις – Κλειδιά

Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, επιθεώρηση κατασκευών και υποδομών, γεωργία ακριβείας, παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, παράδοση αγαθών, εργασίες έρευνας και διάσωσης, παροχή ασύρματης σύνδεσης, προστασία προσωπικών δεδομένων, ανθρώπινα δικαιώματα, ιδιωτικότητα, κανονιστικό πλαίσιο, δεξιότητες, ικανότητες

Drones: Technologies, applications, regulatory framework, skills

Christos Skourlis

Abstract

The use of unmanned aerial vehicles, commonly known as drones, has been rapidly increasing in the last decades covering many non military application domains such as construction and infrastructure inspection, precision agriculture, real-time monitoring, delivery of goods, search and rescue operations and providing wireless coverage. Smart drones are expected to be the next big revolution in drone technology promising to provide new opportunities in different applications, especially in civil infrastructure.

A lot of concerns, such as security and protection of privacy and personal data, have been raised since EU regulation seems not to cover all of the aspects that the use of drones implies. Plenty of reports and studies in literature have been issued concerning the usage of drones. It is therefore worth analyzing the current regulatory framework on this issue.

The purpose of this thesis is to present the drone technology and its applications as well as a clear overview of the regulatory framework concerning its usage. Main subjects will be the presentation of drones applications and their challenges. This paper also provides a clear overview of the regulatory framework and identifies the gaps in legislation with regards to the privacy risks and personal data protection that arise from the use of drones. Finally, the skills and abilities needed to become an effective drone operator will be expanded.

Keywords

Unmanned Aerial Vehicles, construction and infrastructure inspection, precision agriculture, real-time monitoring, delivery of goods, search and rescue operations, providing wireless coverage data protection, human rights, privacy, regulatory framework, skills, abilities

Περιεχόμενα

Περίληψη	v
Abstract	vi
Περιεχόμενα.....	vii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	ix
Κατάλογος Πινάκων	xi
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Υπηρεσίες και πλεονεκτήματα.....	1
1.2 Προβληματισμοί και κίνδυνοι.....	2
1.3 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας.....	3
1.4 Δομή της πτυχιακής εργασίας.....	5
2 Μη Επανδρωμένα Οχήματα – Drones	6
2.1 Γενικά.....	6
2.2 Ιστορική εξέλιξη των drones	6
3 Ορισμοί, κατηγορίες και τεχνολογίες	17
3.1 Ορισμοί.....	17
3.2 Κατηγοριοποίηση των drones.....	17
3.3 Σύνθεση μη επανδρωμένου εναέριου συστήματος (UAS).....	24
3.3.1 Συστατικά μέρη ενός drone	26
3.3.2 Επίγειος σταθμός ελέγχου	30
4 Εφαρμογές drones	33
4.1 Η έννοια της έξυπνης πόλης	33
4.2 Χρήση των Drones στο αστικό περιβάλλον	34
4.2.1 Χρήση των drones στην επιθεώρηση κατασκευών και υποδομών.....	36
4.2.2 Προκλήσεις.....	39
4.3 Γεωργία ακριβείας.....	40
4.3.1 Χρήση των drones σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας	43
4.3.2 Προκλήσεις.....	44
4.4 Παρακολούθηση οδικής κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο	45
4.4.1 Χρήσεις drones σε εφαρμογές παρακολούθησης οδικών αρτηριών.....	46
4.4.2 Προκλήσεις.....	47
4.5 Παράδοση αγαθών.....	48
4.5.1 Παράδοση εμπορευμάτων με drones.....	50
4.5.2 Προκλήσεις.....	55
4.6 Έρευνα και διάσωση	57
4.6.1 Παραδείγματα έρευνας και διάσωσης με τη χρήση drones	60
4.6.2 Προκλήσεις.....	61
4.7 Παροχή ασύρματης κάλυψης	61
4.7.1 Χρήση drones για την παροχή ασύρματης κάλυψης.....	63
4.7.2 Προκλήσεις.....	67
5 Προκλήσεις Προστασίας της Ιδιωτικότητας	68
5.1 Προστασία προσωπικών δεδομένων.....	68
5.1.1 Η έννοια της ιδιωτικότητας.....	70

5.1.2	Η έννοια της προστασίας των προσωπικών δεδομένων	71
5.1.3	Νομοθεσία που εφαρμόζεται στην ΕΕ	72
5.2	Κίνδυνοι ιδιωτικότητας	74
5.3	Κίνδυνοι προστασίας προσωπικών δεδομένων	78
6	Κανονιστικά Πλαίσια	81
6.1	Ρυθμιστικές αρχές σε διεθνές επίπεδο	81
6.2	Ρυθμιστικές αρχές σε επίπεδο ΕΕ	81
6.3	Ρυθμιστικές αρχές σε εθνικό επίπεδο	83
6.4	Θέση των θεσμικών οργάνων, οργανισμών και υπηρεσιών της ΕΕ	83
6.4.1	Ευρωπαϊκή Επιτροπή	83
6.4.2	EASA.....	84
6.4.3	Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	85
6.4.4	Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο	86
6.5	Κανονισμός 216/2008/EC.....	87
6.6	Διακήρυξη της Ρίγας.....	87
6.7	Το κανονιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα	88
7	Δεξιότητες.....	92
7.1	Γενικά.....	92
7.2	Προϋποθέσεις που καθορίζονται από το κανονιστικό πλαίσιο	92
7.3	Χαρακτηριστικά ενός καλού χειριστή	93
7.4	Γνώσεις, δεξιότητες και ικανότητες των χειριστών Drones.....	95
7.5	Επιλογή κατάλληλου χειριστή drone	105
7.6	Ψηφιακή επάρκεια και το πλαίσιο DigComp.....	108
	Συμπεράσματα.....	109
	Βιβλιογραφία	112

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1: Το γυροσκόπιο του Λεονάρντο Ντα Βίντσι.	7
Εικόνα 2: Το σχέδιο Navicella Volante του Λεονάρντο Ντα Βίντσι.	8
Εικόνα 3: Το αερόστατο των αδερφών Μοντγκολφιέ.	9
Εικόνα 4: Ο βομβαρδισμός της Βενετίας από τους Αυστριακούς.	9
Εικόνα 5: Το ελικόπτερο του Ενρίκο Φορλανίνι. Έκθεμα του μουσείου επιστημών και τεχνολογίας του Μιλάνο.	10
Εικόνα 6: Το αεροπλάνο των αδερφών Ράιτ.	11
Εικόνα 7: Το πρώτο ηλεκτρονικό τηλεχειριστήριο.	12
Εικόνα 8: Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος των Sperry και Hewitt.	12
Εικόνα 9: Το Radioplane OQ-2.	13
Εικόνα 10: Το drone Ryan 147.	14
Εικόνα 11: Το MQ-1 Predator της General Atomics, εξοπλισμένο με πυράυλους.	15
Εικόνα 12: Το drone AR 1.0 της Parrot.	16
Εικόνα 13: Το drone Phantom 1 της DJI.	16
Εικόνα 14: Διάκριση των drones με βάση το βάρος, τη διάρκεια πτήσης και τις δυνατότητες προσγείωσης - απογείωσης.	18
Εικόνα 15: Κατηγοριοποίηση των οχημάτων UAV με βάση το υψόμετρο ή τον τρόπο πτήσης.	20
Εικόνα 16: Κατηγοριοποίηση των οχημάτων UAV των Singhal, Bansod και Mathew.	20
Εικόνα 17: Drone σταθερών πτερυγίων.	21
Εικόνα 18: Drone παλλόμενων πτερυγίων.	22
Εικόνα 19: Ducted fan drone.	23
Εικόνα 20: Δομή ενός UAS εννέα επιπέδων.	24
Εικόνα 21: Δομή ενός UAS τριών επιπέδων.	25
Εικόνα 22: Εξ αποστάσεως χειρισμός (τηλεχειρισμός) μικρότερων drone μέσω φορητού υπολογιστή και joystick.	31
Εικόνα 23: Μερίδιο της αγοράς drones ανά τομέα εφαρμογής.	35
Εικόνα 24: Ποσοστά που σχετίζονται με τον εξοπλισμό των UAVs.	35
Εικόνα 25: Πεδία εφαρμογών των UAVs.	36
Εικόνα 26: Τομείς επιθεώρησης υποδομών με τη χρήση UAVs.	36
Εικόνα 27: Χρήση των οχημάτων UAV σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας.	41
Εικόνα 28: Χρήση των drones ως παροχή πρώτων βοηθειών σε τοποθεσίες ατυχήματος μέχρι την άφιξη των ομάδων διάσωσης.	46
Εικόνα 29: Χρήση των drones ως ιπτάμενων μονάδων RSU.	47
Εικόνα 30: Χρήση των drones για αναγνώριση ύποπτης ή μη φυσιολογικής συμπεριφοράς οχημάτων.	47
Εικόνα 31: Διαδικασία για την παράδοση αγαθών με τη χρήση drones.	50
Εικόνα 32: Το Amazon Prime Air.	51
Εικόνα 33: Ποσοστά πωλήσεων της Amazon με βάση το βάρος και το χρόνο παράδοσης.	52
Εικόνα 34: Το drone της Google.	53
Εικόνα 35: Το drone Parcelcopter 4.0.	55
Εικόνα 36: Μοντέλο αερομεταφορών του Amazon για την ασφαλή ενσωμάτωση των συστημάτων UAS.	57

Εικόνα 37: Σμήνος από UAVs πετούν πάνω τοποθεσία που πιθανόν να βρίσκονται θύματα, προκειμένου να συγκεντρώσουν πληροφορίες σχετικά με την θέση τους και να τις μεταδώσουν στην ομάδα διάσωσης.	58
Εικόνα 38: Στάδια λειτουργίας ενός σμήνους UAVs σε μία επιχείρηση έρευνας και διάσωσης.	59
Εικόνα 39: Αρχιτεκτονική μίας πλατφόρμας υψηλού υψομέτρου για παροχή σύνδεσης.	62
Εικόνα 40: Παροχή πανταχού παρούσας κάλυψης.	64
Εικόνα 41: Παροχή ασύρματης σύνδεσης μεταξύ δύο ή περισσότερων απομακρυσμένων ασύρματων συσκευών, χωρίς αξιόπιστη άμεση επικοινωνιακή ζεύξη.	66
Εικόνα 42: Συλλογή δεδομένων μέσα από τη χρήση drones.	66
Εικόνα 43: Χαρακτηριστικά ενός ικανού χειριστή drone σύμφωνα με τους Crumley & Bailey.	96
Εικόνα 44: Χαρακτηριστικά με βάση την έρευνα των Pauline et al. και την αναθεώρηση των εμπειρογνομώνων.	104

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγορίες drones και χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας.	19
Πίνακας 2: Ταξινόμηση των drones βάσει του βάρους και της εμβέλειας πτήσης τους...24	
Πίνακας 3: Σύνοψη των προδιαγραφών, εφαρμογών και τεχνολογιών των drones που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές επιθεώρησης υποδομών.....	37
Πίνακας 4: Σύγκριση της χρήσης των drones, των παραδοσιακών επανδρωμένων αεροσκαφών και των δορυφορικών συστημάτων σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας....	41
Πίνακας 5: Σύνοψη των προδιαγραφών, εφαρμογών και τεχνολογίας των οχημάτων UAV στην γεωργία ακριβείας.....	42
Πίνακας 6: Τεστ που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα των Biggerstaff et al.	97
Πίνακας 7: Ικανότητες που απαιτούνται με βάση την έρευνα των Biggerstaff et al.	97
Πίνακας 8: Λίστα ικανοτήτων του Fleishman.	100
Πίνακας 9: Ικανότητες που απαιτούνται με βάση την έρευνα των Barnes et al.	101
Πίνακας 10: Δοκιμασίες του AFOQT.	102
Πίνακας 11: Δοκιμασίες του TBAS.	103
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά που απαιτούνται με βάση την έρευνα των Rose et al.	105
Πίνακας 13: Οι τομείς και οι ικανότητες που περιλαμβάνονται στο DigComp.	108

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

AFOQT	Air Force Officer Qualifying Test
ANPR	Automatic Number Plate Recognition
ARI	Army Research Institute
ATM	Air Traffic Management
AVO	Air Vehicle Operator
CCTV	Closed Circuit Television
CPBT	Cognitive-Behavioral Play Therapy
CS	Control Station
CWSI	Crop Water Stress Index
DSRC	Dedicated Short Range Communication
EASA	European Aviation Safety Agency
ECAC	European Civil Aviation Conference
ECHR	European Court of Human Rights
EP	External Pilot
FAA	Federal Aviation Administration
FSO	Free Space Optical
GCS	Ground Control Station
GIS	Geographic Information Systems
GPS	Global Positioning System
HALE	High Altitude, Long Endurance
HAPs	High-Altitude Platforms
HTOL	Horizontal Take-Off & Landing
ICAO	International Civil Aviation Organization
IoT	Internet of Things
IP	Internal Pilot
IP	Internet Protocol
ITS	Intelligent Transportation System
JARUS	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems
JASS	Job Assessment Software System
KSAOs	Knowledge, Skills, Abilities, and Other Characteristics
LALE	Low Altitude, Long Endurance

LAPs	Low-Altitude Platforms
LASE	Low Altitude, Short-Endurance
LoS	Line-of-Sight
LRE	Launch and Recovery Element
MALE	Medium Altitude, Long Endurance
MAV	Micro Air Vehicles
MCE	Mission Control Element
MPO	Mission Payload Operator
NAA	National Aviation Authority
NAV	Nano Air Vehicles
ONET	Occupational Information Network
RAeS	Royal Aeronautical Society
RPA	Remotely Piloted Aircraft
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems
RPASP	Remotely Piloted Aircraft Systems Panel
RPV	Remotely Piloted Vehicle
RSU	Road Side Unit
SARPs	Standards and Recommended Practices
SO	Sensor Operator
TBAS	Test of Basic Aviation Skills
TIR	Thermal InfraRed
UAS	Unmanned Aerial System
UASSG	Unmanned Air Systems Study Group
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
URT	Undergraduate Remote-Pilot Training
VGP	Video Game Player
VTOL	Vertical Take-Off & Landing

1 Εισαγωγή

1.1 Υπηρεσίες και πλεονεκτήματα

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV - Unmanned Aerial Vehicles) ή σύμφωνα με την πιο επίσημη ορολογία τους συστήματα RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), ευρέως γνωστά ως drones, είναι αεροσκάφη χωρίς ανθρώπινο πιλότο επί του σκάφους. Διαθέτουν διαφορετικό βαθμό αυτονομίας και αυτοματισμών και συνήθως λειτουργούν απομακρυσμένα μέσω τηλεχειρισμού από χειριστή (σε απόσταση της τάξεως μερικών μέτρων μέχρι πολλών χιλιομέτρων) ή αυτόνομα με υπολογιστές επί του σκάφους (Boucher, 2004).

Αν και αρχικά, η χρήση των drones ήταν προσανατολισμένη στους στρατιωτικούς σκοπούς, τα τελευταία χρόνια, τα drones χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο σε αστικές και εμπορικές εφαρμογές λόγω της ευκολίας χρήσης τους, του χαμηλού κόστους απόκτησης και συντήρησης τους, της υψηλής κινητικότητας και της δυνατότητας ελιγμών που παρουσιάζουν και φυσικά της ικανότητας τους να ίπτανται (Hayat et al., 2016). Οι εφαρμογές των drones καλύπτουν πλέον μια ευρεία γκάμα τομέων όπως η επιθεώρηση σημαντικών υποδομών, η διαχείριση φυσικών καταστροφών, οι επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης, η προστασία του περιβάλλοντος, η παράδοση αγαθών, η γεωργία ακριβείας, η παρακολούθηση της οδικής κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, η παροχή ασύρματης κάλυψης. Τα drones μπορούν να λειτουργήσουν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπου η ανθρώπινη παρέμβαση είναι είτε αδύνατη είτε δύσκολη. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να βοηθήσουν σε επιχειρήσεις ανθρωπιστικής βοήθειας, έρευνας και διάσωσης, σε περιπτώσεις πυρηνικού ατυχήματος ή φυσικών καταστροφών κ.λπ. (Chowdhury et al., 2017).

Η χρήση των drones έχει απασχολήσει και το βιομηχανικό τομέα, όπου μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις και ιδιωτικές εταιρείες έχουν παρουσιάσει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την κατασκευή, την πώληση και τη χρήση τους με σκοπό την παρακολούθηση των βιομηχανικών διεργασιών και διαδικασιών ή την παροχή υπηρεσιών (Rao et al., 2016). Εξάλλου, η διάθεσή τους στην αγορά σε σχετικά προσιτές τιμές, έχει οδηγήσει στην εκθετική αύξηση της χρήσης τους από ιδιωτικούς φορείς. Η τρέχουσα, αλλά και η προβλεπόμενη μελλοντική εξέλιξη των drones, δείχνει ότι μπορεί να επιδράσει θετικά στην ανάπτυξη της βιομηχανίας και των μικρών και μεσαίων επιχειρήσεων, ενώ έχει τη

δυνατότητα να δημιουργήσει γενικότερη ανάπτυξη και θέσεις εργασίας (Shakhatreh et al., 2019).

Στην εποχή του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT - Internet of Things), η χρήση των drones καθίσταται ακόμη πιο σημαντική. Τα drones είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες, σύστημα πλοήγησης και δυνατότητες ασύρματης δικτύωσης. Αυτό τα καθιστά ικανά να κινούνται προς συσκευές IoT, οι οποίες βρίσκονται σε απομακρυσμένες και δύσκολα προσβάσιμες περιοχές, να συλλέγουν και να μεταφέρουν δεδομένα (Mozaffari et al., 2017).

1.2 Προβληματισμοί και κίνδυνοι

Όπως συμβαίνει και με οποιαδήποτε άλλη αναπτυσσόμενη και εξελισσόμενη τεχνολογία, η χρήση των drones εγείρει κινδύνους που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη από τους αρμόδιους φορείς, τα θεσμικά όργανα αλλά και τους διεθνείς οργανισμούς και τους απλούς πολίτες, προκειμένου να αποφευχθούν, να ελαχιστοποιηθούν και να αντιμετωπιστούν οι όποιες πιθανές αρνητικές επιπτώσεις ορισμένων εφαρμογών της τεχνολογίας. Οι κίνδυνοι αυτοί μπορούν να γίνουν ακόμα πιο σοβαροί σε περίπτωση απουσίας κατάλληλου κανονιστικού πλαισίου ή/και όταν η χρήση των drones γίνεται παράνομα, χωρίς ασφάλεια και με ανεύθυνο τρόπο (Acheson et al., 2017).

Όσον αφορά τον κίνδυνο της προστασίας της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων, τα drones είναι εφοδιασμένα με βιντεοκάμερες και επιτρέπουν τον απομακρυσμένο χειρισμό τους. Οι εικόνες λήψης μπορούν πολύ εύκολα να καταγραφούν και να αποθηκευτούν, ακόμη και να μεταφορτωθούν στο Διαδίκτυο σε ελάχιστο χρόνο και χωρίς ιδιαίτερο κόπο. Με τον τρόπο αυτό, η ιδιωτική ζωή μπορεί να παραβιαστεί. Πέρα από την φωτογραφική μηχανή, τα drones μπορούν να εξοπλιστούν και με μια σειρά από άλλες συσκευές, η χρήση των οποίων μπορεί να υποβοηθήσει τη συλλογή και επεξεργασία προσωπικών δεδομένων, παραβιάζοντας την ισχύουσα νομοθεσία για τα δικαιώματα των πολιτών σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής και των δεδομένων (Friedewald et al., 2017).

Όσον αφορά την ασφάλεια, τα drones μπορεί να αποτελέσουν πηγή σημαντικών και σοβαρών κινδύνων. Κατά καιρούς, τα drones έχουν εντοπιστεί σε χώρους των αεροδρομίων ή κοντά σε αυτούς, δημιουργώντας προβλήματα στην πολιτική αεροπορία, πάνω από οικοδομικά κτίρια ιδιαίτερης σημασίας, όπως πρεσβείες ή τουριστικά

αξιοθέατα. Αρκετά ατυχήματα έχουν καταγραφεί, καθώς drones έχουν συντριβεί στο έδαφος ή έχουν πέσει, τραυματίζοντας ανθρώπους. Η αναμενόμενη αύξηση του αριθμού των drones που πραγματοποιούν πτήσεις σε διαφορετικά ύψη (συμπεριλαμβανομένου του εναέριου χώρου που προορίζεται σήμερα για την πολιτική αεροπορία), σε διαφορετικές κατευθύνσεις (καθώς η κίνησή τους μπορεί να αλλάζει πολλές φορές με βάση τις εντολές των χειριστών) και περιοχές, με διαφορετικό βάρος και ταχύτητα, πάνω από ανθρώπους και ιδιωτικές περιουσίες, δημιουργεί σοβαρές προκλήσεις. Το τεχνολογικό περιβάλλον για τη διασφάλιση της ασφαλούς ενσωμάτωσης των drones στο σύστημα της πολιτικής αεροπορίας δεν φαίνεται ακόμη να είναι ώριμο, καθώς οι επικοινωνίες μπορούν εύκολα να χαθούν ή να παραβιαστούν, συστήματα ανίχνευσης και αποφυγής συγκρούσεων δεν είναι εγκατεστημένα στα drones εκ κατασκευής και δεν υπάρχουν ακόμα συστήματα αποκλεισμού της πρόσβασής τους σε ζώνες που δεν πρέπει να πετάνε (geo-fencing). Η υπεύθυνη και αξιόπιστη χρήση των drones δεν είναι ακόμη εγγυημένη, καθώς η ταυτοποίηση των ιδιοκτητών ή των πιλότων δεν απαιτείται για τα περισσότερα κράτη μέλη της ΕΕ (Hartmann & Giles, 2016).

Ενδεχομένως, οι κίνδυνοι που μπορούν να προκληθούν από τη χρήση των drones και σχετίζονται με την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων, μπορούν να αντισταθμίσουν ή ακόμα και να υπερκεράσουν τις θετικές επιδράσεις που υπάρχουν από τη σωστή εφαρμογή τους. Για το λόγο αυτό, τα θέματα της ασφάλειας και της προστασίας της ιδιωτικότητας των ατόμων θα πρέπει να εξεταστούν σοβαρά. Η εξάπλωση των drones σε συνδυασμό με την τεχνολογική τους ανάπτυξη, καθιστούν αναγκαία την ενεργοποίηση των αρμόδιων αρχών, ώστε να προβούν σε ενέργειες υποστήριξης της θετικής συνεισφοράς των drones παράλληλα με την πρόληψη, ελαχιστοποίηση και αντιστάθμιση των αρνητικών επιπτώσεων και κινδύνων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Λύση σε αυτή την πρόκληση, μπορεί να αποτελέσει μια σειρά πρωτοβουλιών σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο που βρίσκονται σε εξέλιξη και στοχεύουν στη δημιουργία ενός κανονιστικού πλαισίου που να δίνει απαντήσεις σε όλα αυτά τα ζητήματα.

1.3 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Παρά τη συνεχόμενη αύξηση στη χρήση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, η αβεβαιότητα όσον αφορά την αυτοματοποίηση και την επέκταση της εμπορικής εφαρμογής τους δεν δείχνει να μειώνεται. Τα υψηλά επίπεδα συνδεσιμότητας με τη χρήση

κυψελοειδών δικτύων, Bluetooth και WiFi πρωτοκόλλων, σε συνδυασμό με την πανταχού παρουσία των smartphones και τη συνεχιζόμενη εξέλιξη του υλικού και του λογισμικού, έχουν οδηγήσει σε ταχεία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των drones. Αυτές οι τεχνικές δυνατότητες, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των τεχνολογιών της υπολογιστικής όρασης και του σχεδιασμού κίνησης έχουν κάνει την ανεξαρτησία και την αυτοματοποίηση των drones μια πραγματικότητα.

Λόγω του μεγάλου φάσματος δυνατοτήτων και της αυτονομίας στη λειτουργία των drones, έχει δημιουργηθεί πλήθος αντιδράσεων σχετικά με την ασφάλεια και την αξιοπιστία των εφαρμογών τους. Ο συνδυασμός του υλικού με το αντίστοιχο λογισμικό υποστήριξης επιτρέπει στα συστήματα αυτά να λειτουργούν αυτόνομα σε μεγάλο πλέον πλήθος εμπορικών χρήσεων. Ωστόσο, ο τρόπος με τον οποίο ρυθμίζονται, παρακολουθούνται και ελέγχονται τα drones εξακολουθεί να είναι υπό συζήτηση. Ιδιαίτερα, τα ζητήματα της προστασίας της ιδιωτικότητας, της εθνικής ασφάλειας, της παρακολούθησης του εναέριου χώρου και της αποφυγής εμποδίων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σύνταξη του κανονιστικού πλαισίου και την ανάπτυξη του λογισμικού και του υλικού για την επόμενη γενιά drones.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των προϋποθέσεων ομαλής ένταξης των drones στην καθημερινή ζωή των κατοίκων μιας έξυπνης πόλης. Στα πλαίσια αυτού του σκεπτικού θα γίνει καταγραφή της ιστορικής εξέλιξης των drones και της τρέχουσας τεχνολογικής στάθμης (state-of-the-art) αναφορικά με τις τεχνολογίες drones. Θα γίνει μια παρουσίαση των μη στρατιωτικών εφαρμογών των drones κυρίως σε αστικό περιβάλλον καθώς και των επιπτώσεων στην οργάνωση και τις υπηρεσίες της έξυπνης πόλης. Επίσης, θα παρουσιαστεί το κανονιστικό πλαίσιο που διέπει την χρήση drones σε Ελληνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο. Τέλος, θα διερευνηθούν οι σημαντικότερες δεξιότητες και ικανότητες που πρέπει να χαρακτηρίζουν έναν χειριστή drone.

Για τη συγγραφή της εργασίας θα γίνει βιβλιογραφική ανασκόπηση ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας. Για την αναζήτηση της βιβλιογραφίας θα χρησιμοποιηθούν οι βάσεις δεδομένων IEEE Xplore Digital Library, ResearchGate, Google Scholar όσο και ανασκοπήσεις από διάφορες μελέτες, άρθρα και πηγές μέσω του Διαδικτύου.

1.4 Δομή της πτυχιακής εργασίας

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας, για την μελέτη της τεχνολογίας των drones και των εφαρμογών τους, την ανάλυση του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου σχετικά με τη χρήση τους και τις δεξιότητες που απαιτούνται για τον χειρισμό τους επιλέχθηκε η ακόλουθη δομή.

Στο κεφάλαιο 2 δίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, αναφορικά με την ιστορική εξέλιξή τους.

Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται η ταξινόμηση των drones σε κατηγορίες, και περιγράφεται η σύνθεση των συστημάτων UAS (Unmanned Aerial System), τα σημαντικότερα μέρη των drones, των επίγειων σταθμών ελέγχου και της ζεύξης επικοινωνίας μεταξύ τους.

Το κεφάλαιο 4 περιλαμβάνει μια λεπτομερή ανάλυση ορισμένων μη στρατιωτικών εφαρμογών των drones κυρίως σε αστικό περιβάλλον.

Στο κεφάλαιο 5 θα παρουσιαστούν οι προκλήσεις και τα ζητήματα ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων τα οποία προκύπτουν από την χρήση των drones.

Στο κεφάλαιο 6 θα παρουσιαστεί το κανονιστικό πλαίσιο που διέπει την χρήση drones σε Ελληνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο.

Στο κεφάλαιο 7 θα παρουσιαστεί οι δεξιότητες που πρέπει να διακρίνουν έναν ικανό χειριστή ενός UAV.

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με κάποια συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη της τεχνολογίας των drones και των εφαρμογών τους, καθώς και την ανάλυση του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου σχετικά με τη χρήση τους.

2 Μη Επανδρωμένα Οχήματα – Drones

2.1 Γενικά

Αν και η χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών έχει ανθίσει τις τελευταίες δεκαετίες, με αποκορύφωμα τα τελευταία χρόνια, όπου η τεχνολογία είναι ανεπτυγμένη, η ιδέα χρήσης ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους προβληματίζε τον άνθρωπο αιώνες πριν, καθώς ακόμη και από την αρχαιότητα υπήρχαν σκέψεις και προσπάθειες υλοποίησης μίας τέτοιας συσκευής.

Στόχος βέβαια του ανθρώπου, δεν ήταν μόνο η κατασκευή μιας πτητικής μηχανής αλλά μιας μηχανής που θα βοηθούσε τον ίδιο να πετάξει, ενός επανδρωμένου δηλαδή αεροσκάφους. Συνεπώς, η ιστορική εξέλιξη των drones είναι σε ένα βαθμό παράλληλη με την ιστορική εξέλιξη των αεροπλάνων.

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια ιστορική αναδρομή στους προγόνους των σύγχρονων UAVs, από τη γέννηση των πρώτων ιδεών και τις πρώτες πτητικές μηχανές μέχρι και τη σημερινή εποχή.

2.2 Ιστορική εξέλιξη των drones

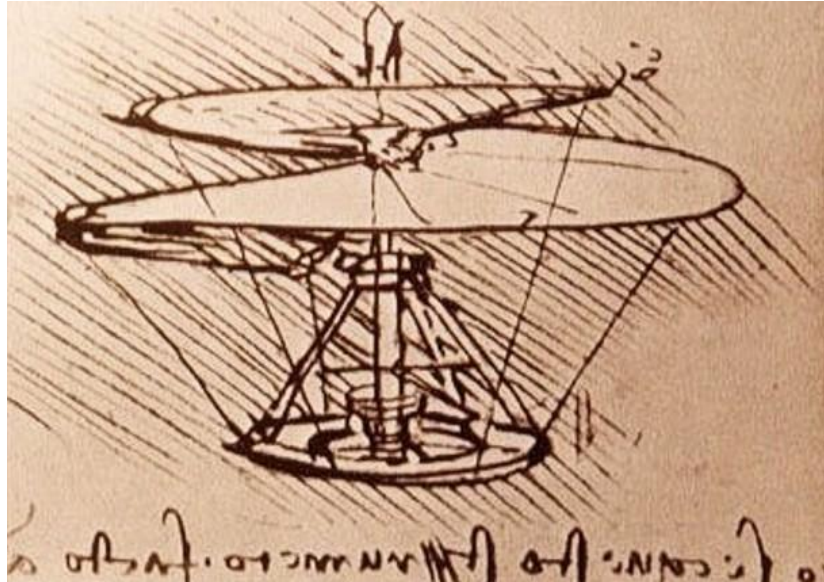
Τις πρώτες ιδέες δημιουργίας αυτόνομων ιπτάμενων μηχανών τις συναντάμε 2500 χρόνια πριν στην Ελλάδα και στην Κίνα. Η δημιουργία της πρώτης αυτόνομης ιπτάμενης μηχανής της ανθρωπότητας αποδίδεται στον πυθαγόρειο φιλόσοφο και μαθηματικό Αρχύτα, από τον Τάραντα. Ήταν αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος, πολιτικός, στρατηγός, αστρονόμος, μαθηματικός και μηχανικός και θεωρείται από τους μεγαλύτερους διανοητές της ελληνικής αρχαιότητας. Ήταν ο πρώτος που εφάρμοσε μαθηματικές αρχές στη μηχανική και ο πρώτος που χρησιμοποίησε την αρχή της δράσης αντίδρασης πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των πυραύλων και των αεριοθούμενων αεροπλάνων.

Σύμφωνα με τον Πλίνιο τον Πρεσβύτερο από το βιβλίο του «Φυσική Ιστορία», ο Αρχύτας το 425 π.Χ. επινόησε και κατασκεύασε ένα μηχανικό, αεριοπροωθούμενο πουλί που το ονόμασε «περιστέρι» ή «πετομηχανή». Ήταν μία μικρή συσκευή σε σχήμα αεροπλάνου φτιαγμένη από ξύλο και είχε στο εσωτερικό της μία κύστη ζώου σαν μπαλόνι, η οποία κατέληγε στο άκρο της συσκευής όπου συνδεόταν με αεραντλία. Κάθε φορά που η πίεση του αέρα περνούσε από αυτό το άνοιγμα, η πετομηχανή εκτοξευόταν λόγω του πεπιεσμένου αέρα που έβγαινε από πίσω με ορμή. Ουσιαστικά, λειτουργούσε σαν

αεριωθούμενο αεροπλάνο βάσει της αρχής δράσης - αντίδρασης. Το «περιστέρι» πέταξε για πρώτη φορά γύρω στα 200 μέτρα και έπεσε έχοντας εξαντλήσει όλη του την ενέργεια (Μαρκάτης, 2017).

Την ίδια περίπου χρονική περίοδο, στην Κίνα, γίνονται οι πρώτες προσπάθειες για κάθετες πτήσεις. Χαρταετοί, μπαλόνια που πετούσαν με τη χρήση ζεστού αέρα, αποδίδονται επίσης στους Κινέζους μηχανικούς στην προσπάθειά τους να κατακτήσουν τους ουρανούς. Αν και οι πρώτες ιπτάμενες μηχανές αυτής της περιόδου δημιουργήθηκαν κυρίως για ψυχαγωγία, λέγεται πως χρησιμοποιήθηκαν και για στρατιωτικούς σκοπούς.

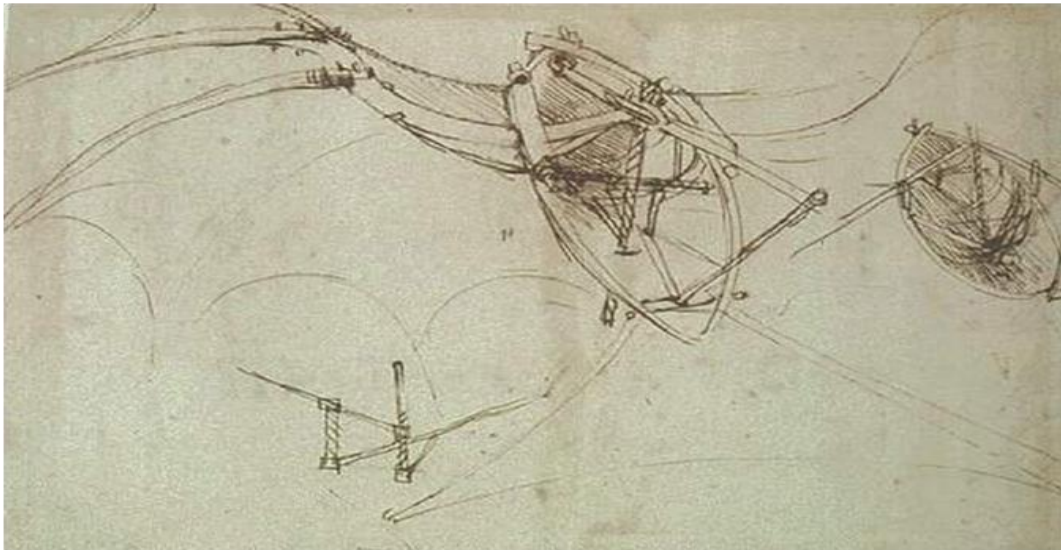
Το 1843, ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι, βασιζόμενος στην βίδα (κοχλία) νερού που είχε κατασκευάσει ο Αρχιμήδης, δημιούργησε μια μηχανή ικανή να υπερίπταται, την αερική βίδα ή γυροσκόπιο. Αποτελούνταν από μια ελικοειδή επιφάνεια διαμέτρου 5 μέτρων, κατασκευασμένη από σιδερένιο σύρμα και λινό η οποία στροβιλίζεται για να προκαλέσει ανύψωση. Ωστόσο, αν και στηρίζονταν σε ορθές αρχές της αεροδυναμικής, στερούνταν της κατάλληλης πηγής ενέργειας προκειμένου να ανυψωθεί. Το γυροσκόπιο θεωρείται κατά πολλούς ο πρόγονος του σημερινού ελικοπτερου (Εικόνα 1) (Μαρκάτης, 2017).



Εικόνα 1: Το γυροσκόπιο του Λεονάρντο Ντα Βίντσι.

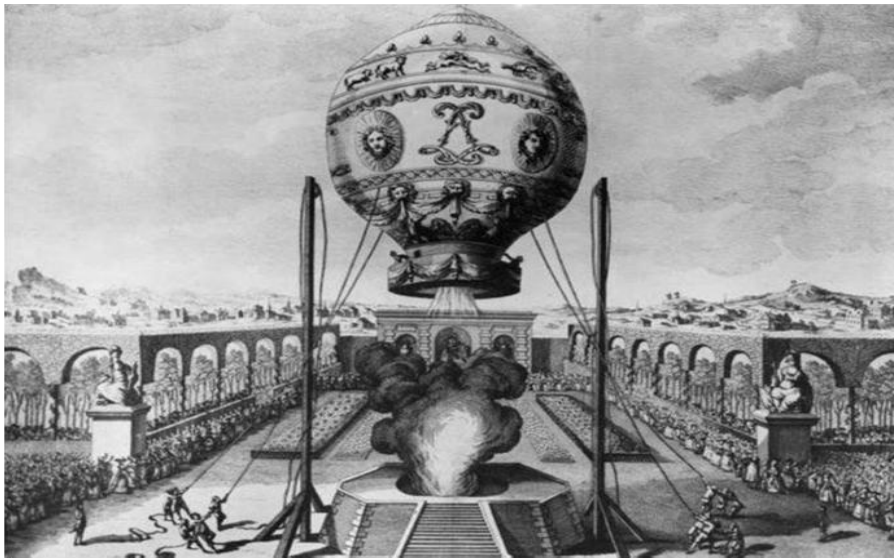
Ο Ντα Βίντσι δεν περιορίστηκε στην μελέτη των περιδινήσεων των ανέμων και τον παραλληλισμό τους με τις κινήσεις του νερού, οι οποίες οδήγησαν στην κατασκευή του γυροσκοπίου. Για μια περίοδο 15 ετών ασχολήθηκε με την μελέτη των κινήσεων των πουλιών και την κατασκευή μηχανικών πτερύγων με βάση εκείνα των νυχτερίδων, τη

φυσιολογία των οποίων θεωρούσε θεμελιακή για την κατασκευή μιας πτητικής μηχανής. Αντιγράφοντας τα φτερά των νυχτερίδων και των μεγάλων πουλιών, σχεδιάζει μηχανικά φτερά, τα οποία διαθέτουν αρθρωτή, αεροδυναμική δομή και εμφανίζουν σταθερότητα στο εσωτερικό τους, ενώ εξωτερικά είναι κινούμενα και εύκαμπτα. Τα φτερά αυτά προσαρμόζονται πάνω στο ανθρώπινο σώμα, αποτελώντας προέκταση και κομμάτι αυτού. Η μυϊκή ανθρώπινη δύναμη παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για να επιτευχθεί η κίνηση αυτών. Το πιο διάσημο ίσως σχέδιό του αποτελεί η περίφημη *Navicella Volante* (Εικόνα 2), ένα μικρό «απτάμενο πλοiάριο» από ξύλο και ύφασμα, με άτρακτο ωοειδούς σχήματος, μέσα στην οποία βρίσκεται η θέση του «πιλότου», καθώς και οι μηχανισμοί πλοiήγησης που ρυθμίζουν την κίνηση των δύο φτερών, όμοιων με φτερά νυχτερίδας (Μαρκάτης, 2017).



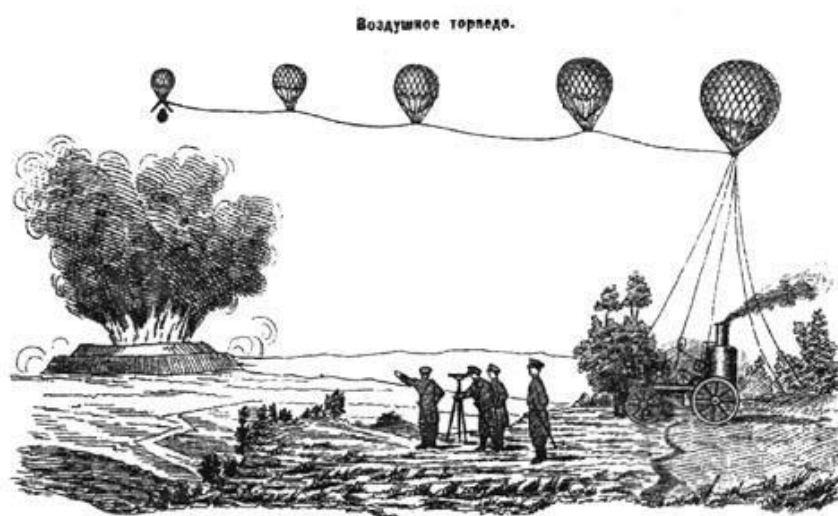
Εικόνα 2: Το σχέδιο *Navicella Volante* του Λεονάρντο Ντα Βίντσι.

Το 1783 αποτελεί έτος σταθμός για την κατάκτηση των αιθέρων καθώς έχουμε την πρώτη γνωστή επανδρωμένη πτήση με το αερόστατο που κατασκεύασαν οι αδερφοί Μοντγκολφιέ. Στην πρώτη αυτή επανδρωμένη απογείωση μετέφεραν ένα νεαρό γιατρό και ένα αξιωματικό του στρατού. Τα αερόστατα κυριάρχησαν στον τομέα των επανδρωμένων πτήσεων μέχρι και την χρησιμοποίηση των ελικοπτέρων (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Το αερόστατο των αδερφών Μονγκολφιέ.

Τα drones, όπως και πολλές άλλες σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες, έχουν στρατιωτικές ρίζες. Η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση αυτού που θεωρείται ως λειτουργία drone συνέβη το 1849 όταν οι Αυστριακοί εκτόξευσαν 200 μη επανδρωμένα αερόστατα εξοπλισμένα με βόμβες με στόχο τη Βενετία (Εικόνα 4) (Keane & Carr, 2013). Παρόμοια μπαλόνια χρησιμοποιήθηκαν και κατά την διάρκεια του αμερικανικού εμφυλίου μεταξύ 1861-1865. Αν και αυτά τα αερόστατα δεν πληρούν τις απαιτήσεις των σύγχρονων μη επανδρωμένων οχημάτων, ήταν η πρώτη προσπάθεια δημιουργίας ενός μη επανδρωμένου συστήματος ικανό να φέρει εις πέρας μια αποστολή.



Βομβαρδировка с аэростата. "Воздушное торпедо" О. С. Костовича.

Εικόνα 4: Ο βομβαρδισμός της Βενετίας από τους Αυστριακούς.

Ουσιαστικά, το πρώτο μη επανδρωμένο όχημα που χρησιμοποιήθηκε για μη στρατιωτικούς σκοπούς ήταν η κατασκευή του Ενρίκο Φορλανίνι το 1877, ενός πρώιμου μοντέλου ελικοπτέρου το οποίο τροφοδοτούνταν από μια ατμομηχανή. Έφτασε σε ύψος 13 μέτρων, όπου παρέμεινε για περίπου 20 δευτερόλεπτα, μετά από κατακόρυφη απογείωση σε πάρκο του Μιλάνο. Το όχημα αυτό δεν ήταν ευσταθές και δεν υπήρχε η δυνατότητα να πηδαλιουγηθεί (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Το ελικοπτερο του Ενρίκο Φορλανίνι. Έκθεμα του μουσείου επιστημών και τεχνολογίας του Μιλάνο.

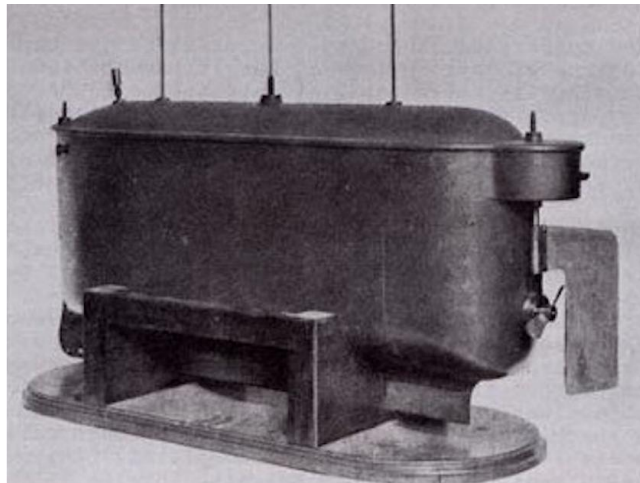
Το 1903 θεωρείται έτος σταθμός για την κατάκτηση των αιθέρων, καθώς στις 17 Δεκεμβρίου του 1903, πραγματοποιείται η πρώτη ελεγχόμενη, μηχανικά προωθούμενη και με διάρκεια, βαρύτερη από τον αέρα, ανθρώπινη πτήση. Οι Όρβιλ και Γουίλμπορ Ράιτ κατασκεύασαν το πρώτο επιτυχημένο αεροπλάνο στον κόσμο (Εικόνα 6), το διπλάνο Φλάιερ με το οποίο κατάφεραν να πραγματοποιήσουν την πρώτη ελεγχόμενη, μηχανικά προωθούμενη και βαρύτερη από τον αέρα πτήση. Με το διπλάνο τους Flyer 1, κατάφεραν να πραγματοποιήσουν τέσσερις συνολικά πτήσεις διάρκειας 12, 13, 15 και 59 δευτερολέπτων. Στην τελευταία πτήση διένυσαν απόσταση 260 μέτρων. Μέσα στα επόμενα δύο χρόνια, το αεροπλάνο των αδερφών Ράιτ θα εξελισσόταν στο πρώτο αεροσκάφος σταθερής πτέρυγας, το οποίο θα μπορούσε να κατευθυνθεί αποτελεσματικά.



Εικόνα 6: Το αεροπλάνο των αδερφών Ράιτ.

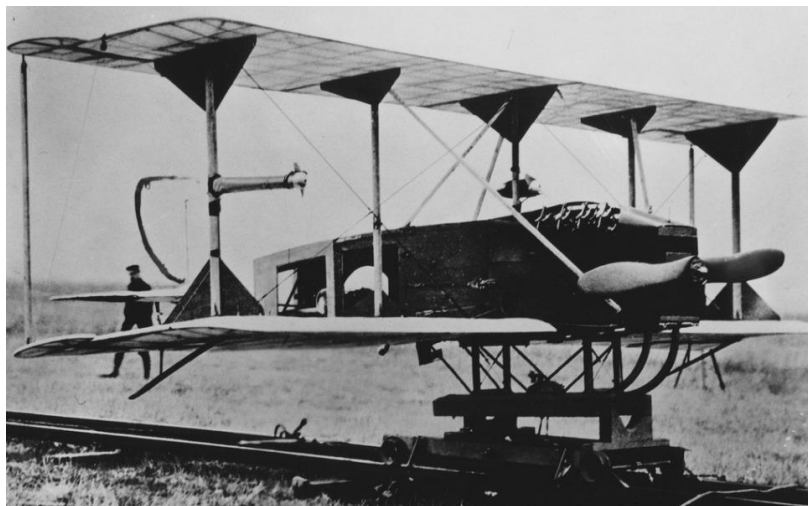
Μετά και την ανακάλυψη αυτή, το ενδιαφέρον των επιστημών στράφηκε στην κατασκευή επανδρωμένων αεροσκαφών ενώ τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είχαν να αντιμετωπίσουν πολλές τεχνολογικές προκλήσεις. Κυριότερες από αυτές, ήταν ο απομακρυσμένος έλεγχος του αεροσκάφους. Χωρίς τον τηλεχειρισμό, ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος μπορεί να χαρακτηριστεί κάλλιστα ως βλήμα ή πύραυλος.

Λύση σε αυτή την πρόκληση δόθηκε από το Nikola Tesla, ο οποίος αρχικά επέτυχε την ασύρματη επικοινωνία (1893), ενώ το 1898 σε έκθεση στην πλατεία Madison Square Garden της Νέας Υόρκης παρουσίασε το πρώτο τηλεκατευθυνόμενο εναέριο όχημα το οποίο εκινήτο μέσω ραδιοκυμάτων. Αργότερα, το ίδιο έτος, κατέθεσε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που περιγράφει λεπτομερώς τη νέα του συσκευή για τον έλεγχο της κίνησης ενός οχήματος με ραδιοσυχνότητες (Civric, 2011). Αυτή η συσκευή του Τέσλα έχει καθιερωθεί ως το πρώτο ηλεκτρονικό τηλεχειριστήριο (Εικόνα 7).



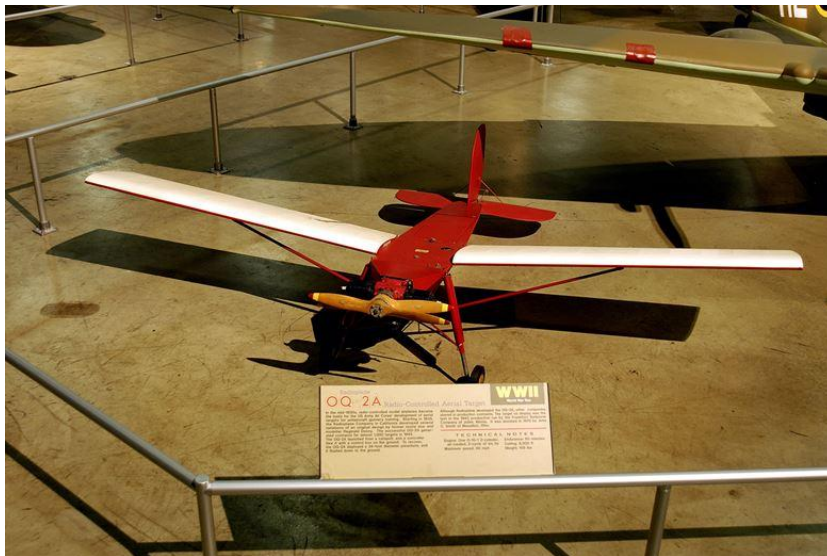
Εικόνα 7: Το πρώτο ηλεκτρονικό τηλεχειριστήριο.

Το έργο του Tesla έθεσε τις βάσεις για τη μελέτη των στρατιωτικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών από βρετανικές αλλά και αμερικανικές ομάδες. Το 1916, ο Βρετανός λοχαγός Archibald Low δημιούργησε ένα σύνολο ξύλινων αεροσκαφών εξοπλισμένων με εκρηκτικές κεφαλές που ήταν γνωστές ως “εναέριοι στόχοι”. Την ίδια εποχή, και με λίγο μεγαλύτερη επιτυχία, οι Elmer Sperry και Peter Hewitt ανέπτυξαν το “Hewitt-Sperry Automatic Airplane”. Το αεροπλάνο, γνωστό και ως “ιπτάμενη βόμβα”, μπορούσε να διανύσει μια απόσταση 50 μιλίων μεταφέροντας μια βόμβα 300 λιβρών χωρίς χειριστή επί του σκάφους. Αξιοσημείωτο στη λειτουργία του αεροσκάφους ήταν ότι χρησιμοποίησε την “γυροσκοπική πυξίδα”, εφεύρεση του Sperry, με σκοπό τη σταθεροποίηση της τροχιάς του μη επανδρωμένου αεροσκάφους (Whitmore, 2016). Το αεροσκάφος των Sperry και Hewitt (Εικόνα 8) θεωρείται ως ο πρόγονος του πυραύλου ανεμοπορείας (cruise missile) (Keane & Carr, 2013).



Εικόνα 8: Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος των Sperry και Hewitt.

Το επόμενο βήμα στην εξέλιξη της τεχνολογίας των drones έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, όταν ο Reginald Denny κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπήρχε ζήτηση για αεροσκάφη χαμηλού κόστους με δυνατότητα ελέγχου μέσω ραδιοσυχνοτήτων, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως στόχοι πρακτικής εξάσκησης των αντιαεροπορικών όπλων. Ο Denny πούλησε 15.000 αεροσκάφη Radioplane OQ-2 (Εικόνα 9) στο στρατό κατά τη διάρκεια του πολέμου και χιλιάδες περισσότερα τα επόμενα χρόνια (Whitmore, 2016).

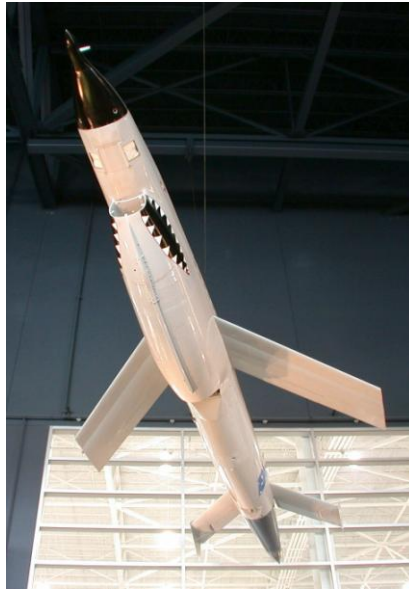


Εικόνα 9: Το Radioplane OQ-2.

Ωστόσο, ως πατέρας των σύγχρονων UAV έχει αναγνωριστεί ο Edward Sorensen, αφού η ευρεσιτεχνία του σχετικά με ένα τηλεχειριστήριο ραδιοσυχνοτήτων, το 1946, αποτελεί τη βάση των σύγχρονων ελεγχόμενων συστημάτων ραδιοσυχνοτήτων (Theilmann, 2015).

Αφορμή για την περαιτέρω εξέλιξη των drones, αποτέλεσε η κατάρριψη του αμερικανού πιλότου Francis Gary Powers κατά τη διάρκεια αναγνωριστικής πτήσης ενός U-2 αεροσκάφους στον εναέριο χώρο της ΕΣΣΔ, το 1960. Το περιστατικό οδήγησε τις ΗΠΑ στην επένδυση μεγάλων χρηματικών ποσών στην κατασκευή αεροσκαφών ικανών να συλλέγουν αυτόνομα πληροφορίες. Πιο συγκεκριμένα, η πολεμική αεροπορία των ΗΠΑ χορήγησε κεφάλαια στην εταιρεία Ryan Aeronautical Company, με σκοπό την τροποποίηση του μοντέλου “Firebee” που κατασκεύαζε η εταιρεία, σε drone αναγνώρισης. Το drone αναγνώρισης που δημιουργήθηκε πήρε την κωδική ονομασία “Red Wagon” ή “Ryan 136” (Maslen et al., 2018). Ακολούθησαν και μεταγενέστερα μοντέλα, τα οποία ακολούθησαν αυτό τον τρόπο λειτουργίας (Εικόνα 10). Αυτά τα drones, ευρύτερα γνωστά ως “Lightning Bug”, τα οποία εκτοξεύονταν από τα φτερά των

αεροσκαφών Lockheed Martin DC-130 Hercules, είχαν εκ των προτέρων προγραμματισμένα σχέδια πτήσης και ελέγχονταν από πιλότους επί του σκάφους. Τα συγκεκριμένα drones δεν μπορούσαν να προσγειωθούν και για το λόγο αυτό ήταν εξοπλισμένα με αλεξίπτωτα. Τα drones της Ryan χρησιμοποιήθηκαν κατά κόρον στο Βιετνάμ και τη νότια Κίνα από την πολεμική αεροπορία των ΗΠΑ, αποκλειστικά για αναγνωριστικούς σκοπούς. Η χρήση των Firebee δημιούργησε έντονες πολιτικές αντιδράσεις, ιδιαίτερα μετά την κατάρριψη ενός στη νότια Κίνα, γεγονός που οδήγησε τους Κινέζους να δηλώσουν ότι η κατάρριψη αυτή αποτέλεσε «σημαντική νίκη στον πόλεμο» (Shaw, 2016).



Εικόνα 10: Το drone Ryan 147.

Η τελευταία σημαντική καινοτομία όσον αφορά τη στρατιωτική χρήση των drones έγινε το 1995 με την εμφάνιση του MQ-1 Predator της General Atomics (Εικόνα 11), το οποίο αποτέλεσε το πρώτο ευρέως χρησιμοποιούμενο drone για στρατιωτικούς σκοπούς (Whittle, 2014). Το Predator άλλαξε για πάντα τη φύση του πολέμου επιτρέποντας την πραγματοποίηση επιθέσεων ακριβείας, χωρίς να διακινδυνεύεται η ζωή των στρατιωτών. Σημαντική καινοτομία του Predator αποτέλεσε η δυνατότητα να ελέγχεται εξ αποστάσεως από δορυφορικό αναμεταδότη και όχι από κάποιο κοντινό επίγειο σταθμό ελέγχου με σύνδεση οπτικής επαφής. Το drone αυτό μπορεί να λειτουργήσει σε αποστάσεις έως και 460 μίλια από τον σταθμό εκτόξευσης και να ίπταται για 14 ώρες συνεχόμενα. Τα Predators αποτελούν μια σχετικά φθηνή και ασφαλή εναλλακτική λύση των επίγειων επιχειρήσεων ή των αεροπορικών επιθέσεων με επανδρωμένα αεροσκάφη (Whittle, 2014).



Εικόνα 11: Το MQ-1 Predator της General Atomics, εξοπλισμένο με πυράλους.

Το 2010, το drone AR 1.0 της Parrot άλλαξε το μέλλον των μη στρατιωτικών οχημάτων UAV (Εικόνα 12). Παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στη διεθνή φήμη έκθεση Consumer Electronics Show του Λας Βέγκας και είχε δυνατότητες που μέχρι τότε δεν είχε ποτέ κανένα άλλο drone. Βασικό του στοιχείο ήταν οι τέσσερις έλικες που διέθετε, γεγονός που του έδωσε και την ονομασία Quadcopter. Μπορούσε να συνδεθεί με iPhone χρησιμοποιώντας την τεχνολογία WiFi για έλεγχο, ήταν εξοπλισμένο με δύο κάμερες που μπορούσαν να προβάλλουν την εικόνα τους μέσω εφαρμογών του iPhone και επέτρεπε στους χρήστες να λαμβάνουν φωτογραφίες και βίντεο χαμηλής ποιότητας (Piskorski et al., 2012). Το AR 1.0 ήταν εξοπλισμένο με αισθητήρες, οι οποίοι σε συνδυασμό με τον πολύπλοκο αλγόριθμο ελέγχου, του έδιναν τη δυνατότητα μεγάλης σταθερότητας κατά την πτήση, γεγονός που κατέστησε πιο προσιτή για τον καθένα την έννοια της αεροφωτογραφίας, αν και ο χρόνος πτήσης, το μέγιστο υψόμετρο και η ποιότητα των φωτογραφιών δεν μπορούσαν να θεωρηθούν τα δυνατά του σημεία.



Εικόνα 12: Το drone AR 1.0 της Parrot.

Ωστόσο, ο σημερινός ηγέτης της αγοράς των drones θεωρείται η κινεζική εταιρεία DJI, η οποία ιδρύθηκε από τον Frank Wang το 2006, με πρωταρχικό στόχο το σχεδιασμό του λογισμικού ελέγχου πτήσης πριν ξεκινήσει την παραγωγή των δικών της προϊόντων. Τον Ιανουάριο του 2013, η DJI εισήγαγε αυτό που πολλοί θεωρούν πρόδρομο της σύγχρονης τεχνολογίας των drones. Εφοδιασμένο με μια υψηλής ποιότητας φωτογραφική μηχανή GoPro προσαρτημένη σε βάση στήριξης gimbal, το drone Phantom 1 της DJI μπορούσε να ελέγχεται από έναν ελεγκτή ραδιοσυχνότητας και να αναμεταδίδει εικόνες ζωντανής ροής στον χρήστη μέσω εφαρμογής smartphone (Εικόνα 13). Το Phantom 1 παρουσίασε σημαντικές βελτιώσεις σταθερότητας, υψομέτρου και χρόνου πτήσης καθώς και ποιότητας εικόνας σε σύγκριση με το AR 1.0 της Parrot. Η εύκολη και αξιόπιστη χρήση του, σε συνδυασμό με τη λήψη εικόνων υψηλής ποιότητας, πυροδότησε την καταναλωτική και εμπορική μανία των drones (Theilmann, 2015).



Εικόνα 13: Το drone Phantom 1 της DJI.

3 Ορισμοί, κατηγορίες και τεχνολογίες

3.1 Ορισμοί

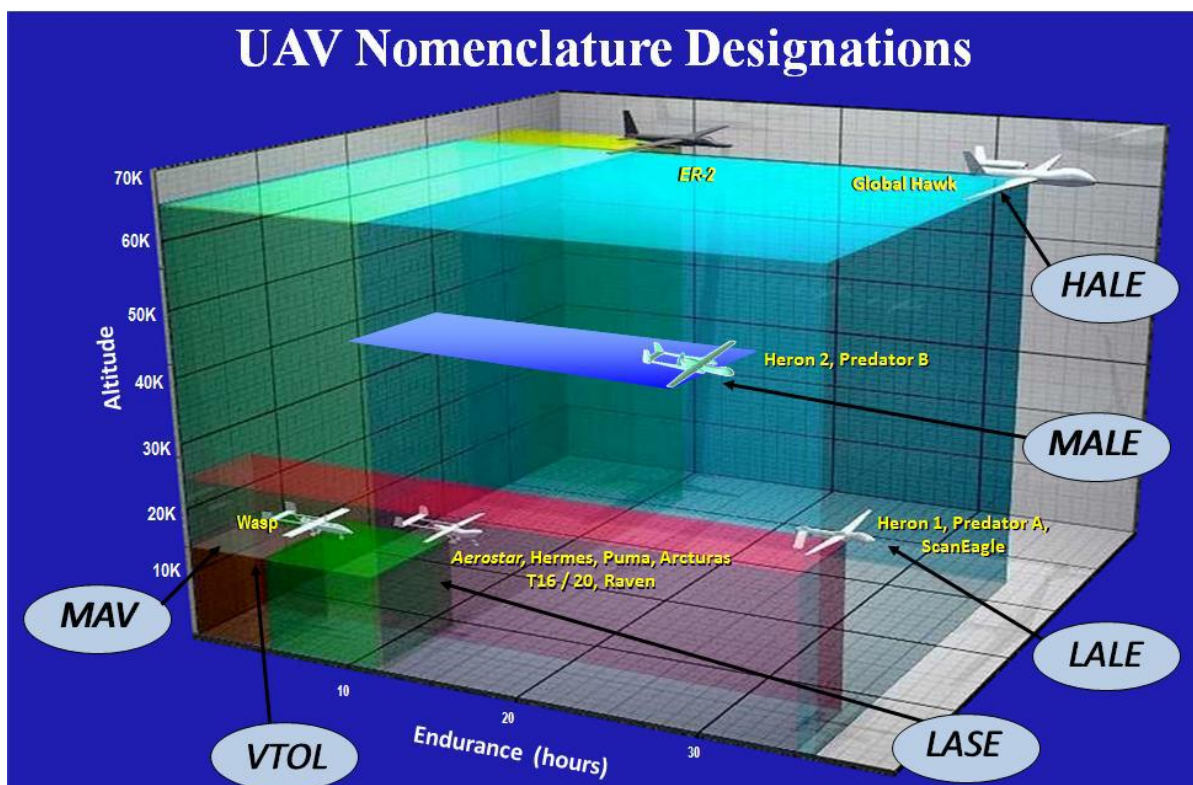
Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα είναι ευρέως γνωστά με τον όρο drones, λόγω της ομοιότητας του δυνατού ήχου των παλαιών στρατιωτικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών στόχων με τον ήχο που παράγει ένας κηφήνας. Παρά τη δημοτικότητά του, ο όρος drones δεν έχει γνωρίσει την αναγνώριση των επαγγελματιών του τομέα των αερομεταφορών και των κυβερνητικών ρυθμιστικών αρχών. Ο όρος μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στη δεκαετία του '80 για να περιγράψει τα αυτόνομα ή τηλεχειριζόμενα, εναέρια οχήματα πολλαπλών χρήσεων, που προωθούνται με τη βοήθεια των αεροδυναμικών δυνάμεων και είναι ικανά να μεταφέρουν ωφέλιμα φορτία (Rosser et al., 2018). Ο ορισμός αυτός παρουσιάζει την ακριβή διάκριση των οχημάτων UAV από άλλα εναέρια συστήματα, όπως οι βαλλιστικοί πύραυλοι, οι πύραυλοι ανεμοπορείας, τα ανεμόπτερα και τα αερόστατα. Ο περισσότερο αποδεκτός όρος στους επαγγελματικούς κύκλους, τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα (UAS - Unmanned Aerial System), αναφέρεται σε συστήματα που αποτελούνται από ένα ή περισσότερα μη επανδρωμένα οχήματα, τα οποία είναι εξοπλισμένα με ένα τερματικό δεδομένων, με συστοιχίες αισθητήρων και ηλεκτρονική σύνδεση δεδομένων (Gupta et al., 2013). Άλλοι όροι που χρησιμοποιούνται ως αναφορά στα drones είναι τα τηλεχειριζόμενα αεροσκάφη (RPV - Remotely Piloted Vehicle) και τα συστήματα τηλεκατευθυνόμενων εναέριων οχημάτων (Remotely Piloted Aircraft System - RPAS). Ο όρος RPV χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε στρατιωτικούς χώρους, ενώ το RPAS είναι ο πιο επίσημος και διεθνώς αποδεκτός όρος (Rosser et al., 2018).

3.2 Κατηγοριοποίηση των drones

Η κατηγοριοποίηση των drones είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία λόγω των πολλών διαφορών που παρουσιάζουν ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Χαρακτηριστικά όπως το βάρος, η έκταση του πτερυγίου, το φορτίο μεταφοράς, η εμβέλεια και η διάρκεια πτήσης, το μέγιστο υψόμετρο, η ταχύτητα, ο τύπος των κινητήρων καθώς και το κόστος παραγωγής, είναι σημαντικές παράμετροι σχεδιασμού που μπορούν να διακρίνουν διαφορετικούς τύπους drones και να παρέχουν πολλά και διάφορα συστήματα ταξινόμησης (Hassanalain & Abdelkefi, 2017).

Η ταξινόμηση των οχημάτων UAV χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στην κατανόηση των διαφορών των υφιστάμενων συστημάτων, αλλά παράλληλα έχει μεγάλη σημασία στη δημιουργία των εθνικών, ευρωπαϊκών και παγκόσμιων κανονιστικών πλαισίων. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι απίθανο να δημιουργηθούν ρυθμιστικοί κανόνες που να μπορούν να εφαρμοστούν σε όλα τα είδη των οχημάτων UAV και ως εκ τούτου η ταξινόμηση των drones μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία διαφορετικών απαιτήσεων, που να μπορούν να ικανοποιήσουν τις διαφορετικές κατηγορίες των οχημάτων UAV βάσει των χαρακτηριστικών τους (Dalamagkidis, 2015).

Στη βιβλιογραφία έχουν εμφανιστεί κατά καιρούς διαφορετικές ταξινομήσεις των drones βάσει πολλών και διαφορετικών παραμέτρων. Σύμφωνα με τους Watts, Ambrosia και Hinkley, τα drones διακρίνονται σε έξι κατηγορίες με βάση χαρακτηριστικά, όπως το μέγεθος, τη διάρκεια πτήσης και τις δυνατότητές τους (Εικόνα 14) (Watts et al., 2012).



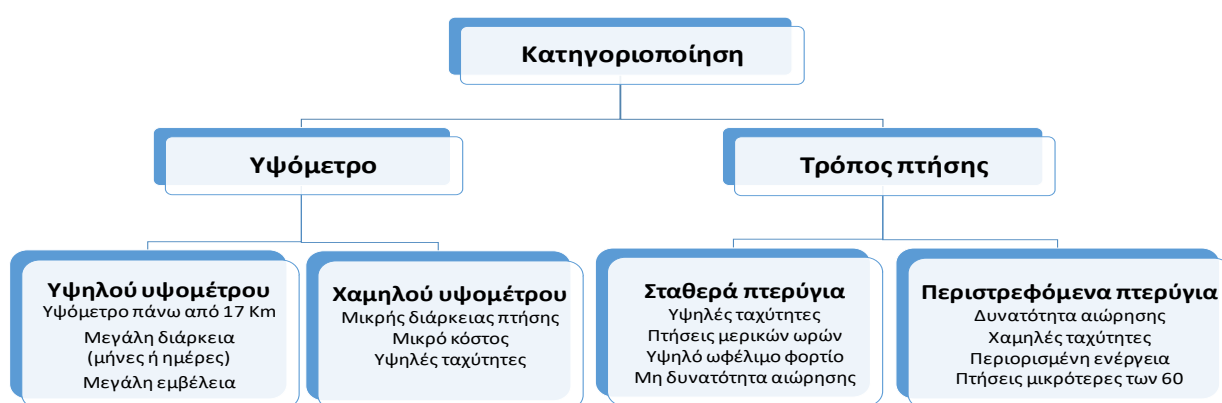
Εικόνα 14: Διάκριση των drones με βάση το βάρος, τη διάρκεια πτήσης και τις δυνατότητες προσγείωσης - απογείωσης.

Οι έξι αυτές κατηγορίες και τα χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας περιγράφονται στον Πίνακα 1 (Watts et al., 2012), (Homainejad & Rizos, 2015).

Κατηγορία	Χαρακτηριστικά
MAV or NAV (Micro Air Vehicles or Nano Air Vehicles)	Μικρό μέγεθος (η στρατιωτική έκδοση αυτής της κατηγορίας των drones, μπορεί να χωρλεσει ακόμη και σε ένα στρατιωτικό σακίδιο). Πτήσεις σε χαμηλό υψόμετρο (<330 μ.) με μικρή διάρκεια πτήσης (5 – 30 λεπτά).
VTOL (Vertical Take-Off & Landing)	Δεν απαιτείται ιδιαίτερος χώρος απογείωσης ή προσγείωσης και επομένως χρησιμοποιούνται σε καταστάσεις όπου οι περιορισμοί εδάφους απαιτούν αυτήν την εξειδικευμένη ικανότητα. Λειτουργούν σε διαφορετικά υψόμετρα, αλλά κατά κύριο λόγο πετούν σε χαμηλά υψόμετρα. Το μέγεθος των αεροσκαφών ποικίλει, αλλά επί του παρόντος το μικρό τους μέγεθος είναι το πιο δημοφιλές χαρακτηριστικό τους. Τα μικρότερα μεγέθους σκάφη αυτής της κατηγορίας έχουν περιορισμένο αριθμό μικροσκοπικών αισθητήρων, λειτουργούν με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και παρέχουν περιορισμένες λειτουργίες.
LASE (Low Altitude, Short-Endurance)	Γνωστά και ως sUAS (small unmanned aircraft systems) χαρακτηρίζονται από μικρή διάρκεια πτήσης (από 45 λεπτά έως 2 ώρες) σε χαμηλά σχετικά υψόμετρο (έως 450 μ.). Το βάρος τους είναι σχετικά χαμηλό (2 – 5 Kg) και το πλάτος των φτερών τους είναι συνήθως μικρότερο των 3 μέτρων. Τα αεροσκάφη αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν αστάθεια, ειδικά σε καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Συνήθως, συλλέγουν και αποθηκεύουν όλα τα δεδομένα επί του σκάφους, σε μια κάρτα SD. Ένα παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι το MAVinci SIRIUS.
LALE (Low Altitude, Long Endurance)	Αυτή η κατηγορία αεροσκαφών μπορεί να πετάξει για περιόδους ακόμη και μεγαλύτερες από 20 ώρες, αρκετά χιλιόμετρα μακριά από τους επίγειους σταθμούς ελέγχου, μεταφέροντας ωφέλιμο φορτίο αρκετών κιλών.
MALE (Medium Altitude, Long Endurance)	Τα drones αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται κυρίως σε στρατιωτικές εφαρμογές και είναι πολύ μεγαλύτερα σε μέγεθος από τα αεροσκάφη των προηγούμενων κατηγοριών. Λόγω των υψηλών επιχειρησιακών τους απαιτήσεων, διαθέτουν προηγμένα συστήματα αεροδυναμικής σχεδίασης και ελέγχου και μπορούν να λειτουργούν σε υψόμετρα άνω των 9000 μέτρων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πτήσεις μεγάλης διάρκειας (20 – 40 ώρες) και εκατοντάδων χιλιομέτρων μακριά από τους σταθμούς εδάφους. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας τα NASA Ikhana Predator-B και Heron IAI (Machatz-1). Παρέχουν σε πραγματικό σχεδόν χρόνο αεροφωτογραφίες με πολύ - φασματική απεικόνιση. Φέρουν μια ποικιλία εξεζητημένων αισθητήρων, όπως ηλεκτρο-οπτικούς (EO), υπέρυθρους (IR) καθώς και ραντάρ συνθετικής διάτρησης (SAR). Αυτό τα καθιστά ιδανικά όχι μόνο για επιχειρήσεις πυροπροστασίας αλλά και για οποιοδήποτε σενάριο καταστροφής.
HALE (High Altitude, Long Endurance)	Αποτελούν την κατηγορία με τα μεγαλύτερα και πιο σύνθετα UAVs, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ακόμη και ως δορυφόροι "πολύ χαμηλής τροχιάς" παραμένοντας σε υψόμετρο άνω των 14 χιλιομέτρων για ημέρες, εβδομάδες ή και μήνες. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι το Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk.

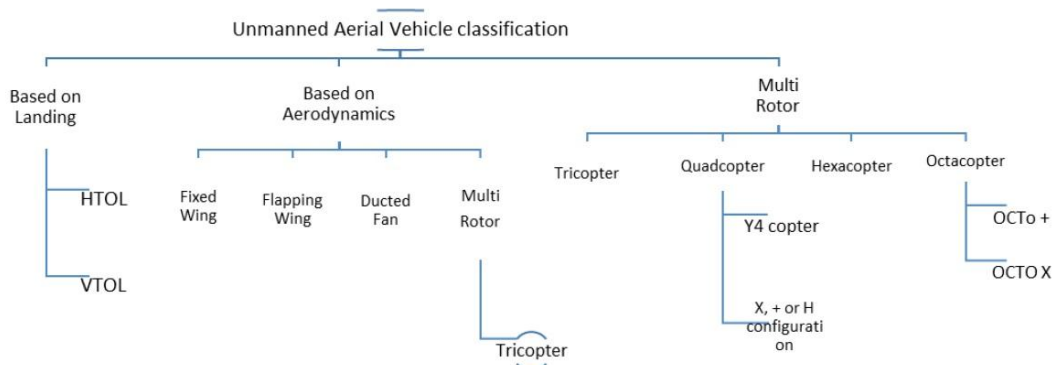
Πίνακας 1: Κατηγορίες drones και χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας.

Σύμφωνα με τους Mozaffari et al. (2019), τα drones κατηγοριοποιούνται με βάση δύο παραμέτρους: είτε το υψόμετρο στο οποίο εκείνα πετούν, υψηλό (HAPs - High Altitude Platforms) και χαμηλό (LAPs - Low Altitude Platforms), είτε τον τρόπο πτήσης, σταθερών πτερυγίων (fixed – wing) και περιστρεφόμενων πτερυγίων (rotary – wing). Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά προκύπτουν οι διάφορες λειτουργίες και δυνατότητες. Ο χρόνος πτήσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως: η πηγή ενέργειας (μπαταρία ή καύσιμο), το βάρος, ο τύπος, η ταχύτητα και η τροχιά (Εικόνα 15) (Mozaffari et al., 2019).



Εικόνα 15: Κατηγοριοποίηση των οχημάτων UAV με βάση το υψόμετρο ή τον τρόπο πτήσης.

Σύμφωνα με τους Singhal, Bansod και Mathew (2018), τα drones κατηγοριοποιούνται με βάση τον τρόπο απογείωσης και προσγείωσης, τον τρόπο εκμετάλλευσης των αεροδυναμικών δυνάμεων, το βάρος τους και την εμβέλεια πτήσης (Singhal et al., 2018) (Εικόνα 16).



Εικόνα 16: Κατηγοριοποίηση των οχημάτων UAV των Singhal, Bansod και Mathew.

Βάσει του τρόπου εκμετάλλευσης των αεροδυναμικών δυνάμεων, τα drones μπορούν να χωριστούν σε: σταθερών πτερυγίων (fixed wing), παλλόμενων πτερυγίων (flapping wing),

ducted fan και πολύ-ροτορικά (multi rotor), καθένα από τα οποία σχεδιάστηκε για συγκεκριμένη λειτουργία και παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα drones σταθερών πτερυγίων (Εικόνα 17) είναι πολύ απλά στο σχεδιασμό τους, αλλά η κατασκευή τους θεωρείται κορεσμένη λόγω της επιτυχούς εφαρμογής μεγαλύτερων αεροσκαφών σταθερών πτερυγίων στα οποία έχουν πραγματοποιηθεί μικρές τροποποιήσεις και βελτιώσεις. Βασικά στοιχεία ανύψωσης του συγκεκριμένου τύπου drones αποτελούν τα σταθερά πτερύγια συγκεκριμένης αεροτομής σε συνδυασμό με την απαιτούμενη ωστική ταχύτητα. Λόγω της αεροτομής των πτερυγίων, η γωνία του αέρα που ρέει πάνω και κάτω από αυτά, δημιουργεί διαφορά ροής αέρα και επομένως διαφορετική ταχύτητα αέρα. Με τον τρόπο αυτό, η πίεση του αέρα στο κάτω μέρος των πτερυγίων είναι μεγαλύτερη και το drone ανυψώνεται. Κατάλληλη ροή αέρα στα πτερύγια δημιουργείται από την παράλληλη κίνηση στον άξονα του drone με ταχύτητα που επιτυγχάνεται με την βοήθεια ενός κινητήρα και προπελών ή με τη βοήθεια μηχανής jet. Για την εκκίνηση πτήσης τα drones σταθερών πτερυγίων απαιτούν μεγαλύτερη αρχική ταχύτητα σε σχέση με άλλα είδη οχημάτων UAV και λόγο ώθησης προς φορτίο μικρότερο της μονάδας (Hassanalian & Abdelkefi, 2017). Σε σύγκριση με τα πολυ-ροτορικά drones για το ίδιο ποσό ωφέλιμου φορτίου, τα drones σταθερών πτερυγίων απαιτούν μικρότερη ισχύ και ωστική φόρτισης (thrust loading) μικρότερη της μονάδας. Τα πηδάλια κλίσης (ailerons), ανόδου-καθόδου (elevator) και διεύθυνσης (rudder) χρησιμοποιούνται αντίστοιχα για περιστροφή (roll), πρόνευση (pitch) και γωνιακή απόκλιση (yaw), βασικών στοιχείων ελέγχου της πτήσης των αεροσκαφών, στοιχεία που χρησιμοποιούνται και στον έλεγχο πτήσης ενός drone σταθερών πτερυγίων (Vogeltanz, 2019). Ως πλεονεκτήματα αυτού του είδους των οχημάτων UAV μπορούν να θεωρηθούν η ταχύτητα πτήσης, το μεγάλο φορτίο μεταφοράς και η καλή αντοχή υλικού. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται η ανάγκη αεροδιαδρόμου απογείωσης, η ανάγκη αρκετού χώρου για ελιγμούς και η αδυναμία αιώρησης (hovering).



Εικόνα 17: Drone σταθερών πτερυγίων.

Η λειτουργία των drones παλλόμενων πτερυγίων (Εικόνα 18) βασίζεται κυρίως στο πέταγμα εντόμων, όπως μικρά κολίβρια ή μεγάλες λιβελλούλες (Fenelon & Furukawa, 2010). Τα ελαφριά και εύκαμπτα πτερύγια τους σχεδιάστηκαν με βάση τα φτερά εντόμων και πτηνών που αποδεικνύουν περίτρανα τη μεγάλη σημασία που έχουν το βάρος και η ευελιξία των πτερυγίων στην αεροδυναμική. Ωστόσο, η δομή των drones παλλόμενων πτερυγίων είναι αρκετά πολύπλοκη λόγω της περίπλοκης αεροδυναμικής τους. Σε αντίθεση με τα drones σταθερών πτερυγίων, τα drones παλλόμενων πτερυγίων μπορούν να διατηρούν σταθερές πτήσεις σε περιπτώσεις δυνατών ανέμων. Η κίνηση στα πτερύγια δίνεται μέσω μηχανισμού ενεργοποίησης. Λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους, όπως η μη παραγωγή θορύβου λόγω ανυπαρξίας κινητήρα, η δυνατότητα αιώρησης σε σταθερό ύψος και η ικανότητα πραγματοποίησης δύσκολων ελιγμών κατά την πτήση, τα συγκεκριμένα drones έχουν γίνει αντικείμενο πολλών μελετών (Shyy et al., 2013). Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνεται η αδυναμία μεταφοράς φορτίου λόγω της σχεδιαστικής και κατασκευαστικής τους πολυπλοκότητας.



Εικόνα 18: Drone παλλόμενων πτερυγίων.

Υπάρχει μια κατηγορία drones τα οποία συνδυάζουν τα δύο είδη πτερυγίων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιεί σταθερά πτερύγια για τη δημιουργία ανύψωσης και παλλόμενα πτερύγια για την αιώρηση (Εικόνα 19). Ο σχεδιασμός αυτού του τύπου drones βασίζεται αποκλειστικά στη λιβελλούλα η οποία χρησιμοποιεί δύο ζεύγη φτερών για να ενισχύσει τις δυνάμεις ανύψωσης και ώθησης. Ο υβριδισμός των πτερυγίων αυξάνει τη συνολική απόδοση και την αεροδυναμική ισορροπία του drone (Hassanalian & Abdelkefi, 2017).



Εικόνα 19: Ducted fan drone.

Στα πολύ-ροτορικά drones, γνωστά και ως multicopter λόγω της ομοιότητάς τους με τα ελικόπτερα, η ώθηση που χρησιμοποιείται τόσο για την ανύψωση όσο και για την προώθηση, δημιουργείται από τις δύο ή περισσότερες λεπίδες (έλικες), οι οποίες περιστρέφονται γύρω από έναν σταθερό άξονα (ρότορα) του οχήματος UAV. Ο έλεγχος πτήσης των πολύ-ροτορικών drones πραγματοποιείται μέσω της ταχύτητας περιστροφής και της κλίσης του έλικα. Τα συγκεκριμένα drones έχουν δυνατότητα κάθετης απογείωσης και προσγείωσης (VTOL - Vertical Take-Off & Landing) και μπορούν να αιωρούνται, σε αντίθεση με τα οχήματα UAV σταθερών πτερυγίων (Joshi, 2015). Η ικανότητά τους να αιωρούνται και να διατηρούν την ταχύτητά τους τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογές επιτήρησης και παρακολούθησης. Το βασικό μειονέκτημά τους έγκειται στην ανάγκη περισσότερης κατανάλωσης ενέργειας, γεγονός που τους μειώνει την εμβέλεια πτήσης. Επίσης, παρουσιάζουν μικρή ταχύτητα πτήσης και περιορισμένη δυνατότητα μεταφοράς φορτίου. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των πολύ-ροτορικών drones αποτελεί ο αριθμός και η θέση των κινητήρων και των ελίκων στο πλαίσιο του σκάφους, που δημιουργεί μια μεγάλη ποικιλία τόσο στα συστήματα περιστροφής όσο και στις προσεγγίσεις στην διάταξη και τοποθέτηση των συστημάτων αυτών στο σώμα του drone. Αυτό το χαρακτηριστικό τα διαχωρίζει σε υποκατηγορίες, κάθε μια από τις οποίες έχει διαφορετική ονομασία και συγκεκριμένο τύπο εφαρμογής (Joshi, 2015). Έτσι τα πολύ-ροτορικά drones μπορούν να χωριστούν σε drones ενός (Monocopter), τριών (Tricopter), τεσσάρων (Quadcopter), έξι (Hexacopter) και οκτώ (Octacopter) ελίκων.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πολλοί μελετητές ταξινόμησαν τα drones βάσει του βάρους, της εμβέλειας και του τρόπου πτήσης τους (Singhal, 2018). Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται μια λίστα ταξινόμησης των drones με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά.

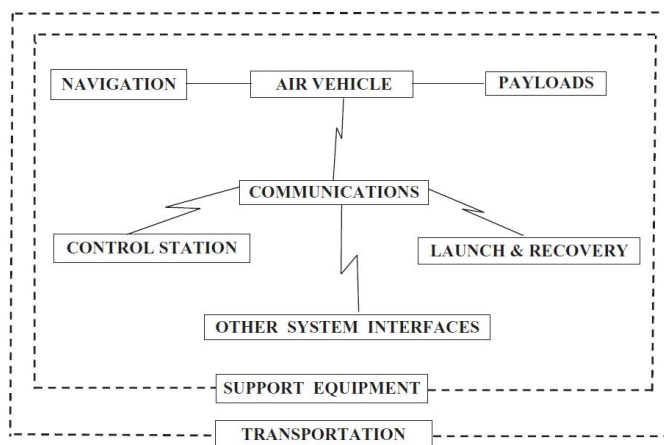
Τύπος	Μέγιστο Βάρος (Kg)	Μέγιστη Εμβέλεια Πτήσης (Km)	Τρόπος πτήσης
Nano	0,2	5	Fixed wing, multirotor
Micro	2	25	Fixed wing, multirotor
Mini	20	40	Fixed wing, multirotor
Light	50	70	Fixed wing, multirotor
Small	150	150	Fixed wing
Tactical	600	150	Fixed wing
MALE (Medium Altitude Long Endurance)	1000	200	Fixed wing
HALE (High Altitude Long Endurance)	1000	250	Fixed wing
Heavy	2000	1000	Fixed wing
Super Heavy	2500	1500	Fixed wing

Πίνακας 2: Ταξινόμηση των drones βάσει του βάρους και της εμβέλειας πτήσης τους.

3.3 Σύνθεση μη επανδρωμένου εναέριου συστήματος (UAS)

Από καθαρά τεχνικής άποψης, ένα σύστημα UAS περιλαμβάνει έναν αριθμό υποσυστημάτων, ένα εκ των οποίων είναι το drone. Σύμφωνα με τον Austin, τα βασικά μέρη (υποσυστήματα) ενός συστήματος UAS είναι τα εξής: ο σταθμός ελέγχου (Control Station - CS), το ωφέλιμο φορτίο (payload), το drone, το σύστημα πλοήγησης (Navigation system), ο εξοπλισμός δρομολόγησης, αποκατάστασης και ανάκτησης (Launch, recovery and retrieval equipment), οι επικοινωνίες (Communications), οι διεπαφές (Interfaces), ο εξοπλισμός υποστήριξης (Support Equipment) και η μεταφορά (Transportation) (Austin, 2011).

Η δομή ενός τυπικού συστήματος UAS παρουσιάζεται στην εικόνα 20.



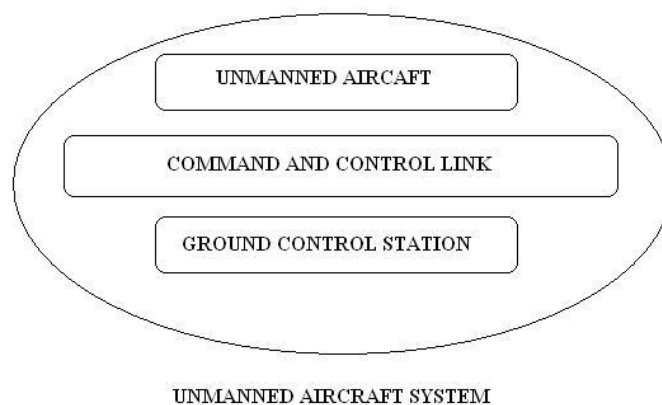
Εικόνα 20: Δομή ενός UAS εννέα επιπέδων.

Στη συγκεκριμένη δομή κάθε υποσύστημα του UAS θεωρείται ως αναπόσπαστο μέρος του συστήματος. Κανένα υποσύστημα δεν είναι πιο σημαντικό από τα άλλα, αν και κάποια, συνήθως το drone, έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο στο σχεδιασμό όλων των

υπόλοιπων υποσυστημάτων. Ενδεικτικό αυτής της αντίληψης είναι ότι στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης των UAVs, ορισμένα drones σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν χωρίς να ληφθεί υπόψη ο τρόπος με τον οποίο θα τοποθετηθούν τα ωφέλιμα φορτία πάνω σε αυτό, ο τρόπος απογείωσης ή προσγείωσης, ο τρόπος επικοινωνίας με το drone ή ο τρόπος λειτουργίας του όλου συστήματος ώστε να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση της χρήσης του drone στην εκάστοτε εφαρμογή. Οι μεταγενέστερες προσπάθειες που έγιναν ώστε να διορθωθούν τα λάθη του αρχικού σχεδιασμού του συστήματος ήταν καταδικασμένες σε αποτυχία ή το επιθυμητό αποτέλεσμα επιτυγχανόταν μετά από μη αποδεχτούς συμβιβασμούς ή υπερβολικό κόστος.

Ανάλογα με τον τύπο του συστήματος UAS, τα υποσυστήματα αυτά θα πρέπει να μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα, γεγονός που αυξάνει τη σημαντικότητα των διεπαφών τους. Τέλος, μεγάλη σημασία έχει και η αλληλεπίδραση του συστήματος UAS με το περιβάλλον καθώς παρουσιάζει μεγάλη εξάρτηση από τις καιρικές και τις περιβαλλοντικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής που χρησιμοποιείται (Austin, 2011).

Τα εννέα (9) αυτά υποσυστήματα μπορούν να ομαδοποιηθούν και να δημιουργήσουν τρία (3) μεγαλύτερα υποσυστήματα, τα οποία είναι: το drone, ο επίγειος σταθμός ελέγχου (GCS - Ground Control Station) και η ζεύξη επικοινωνιών, εντολών και ελέγχου του σταθμού GCS με το drone (Εικόνα 21) (Gupta et al., 2013).



Εικόνα 21: Δομή ενός UAS τριών επιπέδων.

3.3.1 Συστατικά μέρη ενός drone

Τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα drone δεν είναι ίδια για όλα τα διαφορετικά είδη των UAVs που έχουν κατασκευαστεί κατά καιρούς. Επομένως, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα γίνει μια αναφορά των συστατικών μερών ενός drone με βάση το σκεπτικό σχεδιασμού και κατασκευής του. Κατά τη μελέτη των συστατικών μερών ενός drone, αυτό που αρχικά ενδιαφέρει είναι η φυσική δομή του οχήματος UAV, δηλαδή ο τρόπος και τα υλικά κατασκευής του. Τις περισσότερες φορές ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός drone είναι παρόμοιος με αυτόν των επανδρωμένων αεροσκαφών. Το επόμενο στοιχείο αφορά τη μελέτη των συσκευών και των αισθητήρων με τα οποία είναι εξοπλισμένο ένα drone. Τέλος, σημαντικότερο ρόλο στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενός drone παίζει το θέμα της αυτονομίας.

Φυσική δομή

Η μελέτη της φυσικής δομής ενός drone αφορά το σχεδιασμό της ατράκτου, τη διαμόρφωση του ωφέλιμου φορτίου και τις τεχνολογίες μπαταριών του. Ο σχεδιασμός της ατράκτου αφορά τόσο τη μορφολογία όσο και την επιλογή του υλικού κατασκευής της. Και τα δύο στοιχεία επηρεάζουν το συντελεστή αντανάκλασης, την κατανάλωση ενέργειας και την αντοχή ενός οχήματος UAV. Για να επιτευχθεί μεγάλη αντοχή, τα οχήματα UAV κατασκευάζονται ή επικαλύπτονται από αυτοθεραπευόμενα υλικά (self-healing materials), δηλαδή από υλικά που μπορούν να δημιουργήσουν ξανά την δομική τους ακεραιότητα αφού προηγουμένως υποστούν κάποια ζημιά. Τέτοια υλικά θεωρούνται τα βιοπολυμερή και τα ισομερή (Demir et al., 2015).

Πολλοί τύποι UAVs παρουσιάζουν περιορισμούς στο ωφέλιμο φορτίο που μπορούν να μεταφέρουν, καθώς το ωφέλιμο φορτίο αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τη διάρκεια πτήσης. Για το λόγο αυτό, κατά το σχεδιασμό των drones γίνεται ένα είδος συμβιβασμού μεταξύ του ωφέλιμου φορτίου και της διάρκειας πτήσης ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες των χρηστών. Για παράδειγμα, ένα mini UAV δεν απαιτείται να είναι εξοπλισμένο με εξειδικευμένους αισθητήρες ανίχνευσης ή συσκευές μεγάλης επεξεργαστικής ικανότητας. Τα drones αυτού του τύπου μπορούν κάλλιστα να είναι εξοπλισμένα μόνο με συστήματα επικοινωνιακής ζεύξης και αισθητήρες απεικόνισης (Arfaoui, 2017).

Η μπαταρία είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία των οχημάτων UAV καθώς αποτελεί πηγή ενέργειας όλων των ηλεκτρονικών συστημάτων τους, όπως οι αισθητήρες ή

τα συστήματα ώθησης. Σήμερα, η διάρκεια πτήσης των drones είναι σχετικά περιορισμένη λόγω των περιορισμών που παρουσιάζουν οι σύγχρονες τεχνολογίες ενέργειας. Αυτό σημαίνει, ότι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες ώστε να υπάρξει ευρεία διάδοση των drones, είναι η τεχνολογία των μπαταριών, που θα πρέπει να εξελιχθεί ώστε να προσφέρει προϊόντα που να συνδυάζουν μικρό βάρος και κόστος και μεγάλη αυτονομία. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές μελέτες πάνω σε πιθανές εξελίξεις στο ζήτημα των ενεργειακών πόρων για τα drones. Για παράδειγμα, η χρήση μπαταριών Lithium-Polymer (LiPo) έφεραν την επανάσταση στις εφαρμογές των οχημάτων UAV, καθώς συνδυάζουν μικρό μέγεθος και βάρος με καλή απόδοση (Kardasz et al., 2016).

Συσκευές και αισθητήρες

Οι συσκευές και οι αισθητήρες με τους οποίους είναι εξοπλισμένο ένα drone ποικίλλουν ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία έχει σχεδιαστεί. Σε ορισμένες περιπτώσεις, εάν ο σχεδιασμός το επιτρέπει, το UAV μπορεί να εξοπλιστεί με επιπρόσθετες συσκευές και αισθητήρες εκτός από τους ήδη υπάρχοντες. Το μέγεθος και οι δυνατότητες των συσκευών και των αισθητήρων των drones ποικίλουν αρκετά για τους διαφορετικούς τύπους αεροσκαφών. Για παράδειγμα, οι απαιτήσεις σε συσκευές και αισθητήρες ενός drone HALE είναι αρκετά διαφορετικές από ότι αυτές ενός micro UAV. Από τη στιγμή που οι συσκευές και οι αισθητήρες αποτελούν το ωφέλιμο φορτίο ενός οχήματος UAV, όπως έχει ήδη αναφερθεί, το συνολικό τους βάρος θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο, ώστε το drone να μπορεί να επιτυγχάνει μεγαλύτερης διάρκειας πτήση.

Οι κυριότεροι αισθητήρες και συσκευές ενός οχήματος UAV μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες: ηλεκτρονικά συστήματα πλοήγησης και ελέγχου, αισθητήρες επιτήρησης, αισθητήρες πλοήγησης και συστήματα επικοινωνίας (Demir et al., 2015).

Τα ηλεκτρονικά συστήματα πλοήγησης χρησιμοποιούνται για αυτόματο έλεγχο πτήσης των drones. Ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από ένα υπολογιστή πτήσης που συλλέγει δεδομένα από αισθητήρες και εκτελεί τους κανόνες ελέγχου πτήσης μέσω των ενεργοποιητών. Δεδομένου ότι το ηλεκτρονικό σύστημα πλοήγησης αποτελεί το κεντρικό στοιχείο ενός UAV, θα πρέπει να ανταποκρίνεται σε σημαντικές απαιτήσεις, όπως ασφάλεια, ανθεκτικότητα και λειτουργία πραγματικού χρόνου (Boniol, 2013). Το ηλεκτρονικό σύστημα πλοήγησης θα πρέπει να διαθέτει επίσης επίπεδο ευφυΐας, το οποίο εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία έχει σχεδιαστεί το drone (Choudhary et al., 2018).

Ένας από τους κύριους σκοπούς χρήσης των drones είναι αναγνώριση και η επιτήρηση. Οι εφαρμογές αυτές αφορούν τη λήψη και συλλογή δεδομένων από αισθητήρες και την απεικόνισή τους με τη χρήση κάποια κάμερας. Οι αισθητήρες και οι κάμερες επιτήρησης λειτουργούν στο ορατό και υπέρυθρο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Στην κατηγορία των αισθητήρων επιτήρησης κατατάσσονται οι αισθητήρες ορατού φάσματος, οι πολυφασματικές κάμερες, οι υπερφασματικές κάμερες, οι κάμερες θερμικής απεικόνισης, οι σαρωτές λέιζερ και τα ραντάρ. Βασικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων επιτήρησης είναι η δυνατότητα απεικόνισης υψηλής ανάλυσης, μέσω της αύξησης του ρυθμού δειγματοληψίας και η ικανότητα των καμερών να ανιχνεύουν σε μεγάλο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Arfaoui, 2017).

Ένα drone είναι συνήθως εφοδιασμένο με ψηφιακή πυξίδα και δέκτη GPS για την εκτίμηση της θέσης, τρισδιάστατο επιταχυνσιόμετρο για την εκτίμηση της κατεύθυνσης, βαρόμετρο για την εκτίμηση των αλλαγών στο υψόμετρο και γυροσκόπιο για την εκτίμηση της σχετικής θέσης στο χώρο. Όλοι αυτοί οι αισθητήρες και συσκευές πλοήγησης παίζουν ξεχωριστό ρόλο στη σωστή λειτουργία ενός οχήματος UAV, συλλέγοντας σε μόνιμη βάση σημαντικές πληροφορίες για τη σταθερότητα, την αυτονομία, τη θέση, την ταχύτητα, το υψόμετρο κ.ά. Βασικό χαρακτηριστικό όλων αυτών των αισθητήρων και συσκευών πλοήγησης αποτελεί η μεγάλη τους ακρίβεια. Επίσης, δεδομένου ότι κανένας από αυτούς τους αισθητήρες δεν μπορεί από μόνος του να εξασφαλίσει την παροχή υψηλής απόδοσης χωρίς την υποστήριξη του επίγειου σταθμού ελέγχου, το σύστημα πλοήγησης επί του σκάφους θα πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία με τον επίγειο σταθμό ελέγχου για την αποστολή των συλλεγόμενων δεδομένων από τους αισθητήρες πλοήγησης (Demir et al., 2015).

Τα συστήματα επικοινωνίας σχετίζονται με την ανταλλαγή εντολών και δεδομένων μεταξύ των συστημάτων επί του σκάφους και των συστημάτων του επίγειου σταθμού ελέγχου. Βασικά στοιχεία της επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος UAV και του επίγειου σταθμού ελέγχου αποτελούν η διαχείριση του εύρους ζώνης, η αρχιτεκτονική του δικτύου και η ασφάλεια της ζεύξης επικοινωνίας. Η διαχείριση του εύρους ζώνης σχετίζεται με το εύρος ζώνης του φάσματος που χρησιμοποιείται για επικοινωνία. Καθώς η χρήση των drones αυξάνεται ολοένα και περισσότερο με την πάροδο του χρόνου, οι τρέχουσες πολιτικές διαχείρισης εύρους ζώνης περιορίζουν την αποτελεσματική χρήση των συστημάτων UAV. Για το λόγο αυτό, η ανάπτυξη νέων τεχνικών για την αύξηση της

απόδοσης των επικοινωνιακών συστημάτων, είναι επιτακτικής ανάγκης. Εξάλλου η σχέση μεταξύ των εφαρμογών των drones και των επικοινωνιών οχήματος UAV με τον επίγειο σταθμό ελέγχου είναι αμφίδρομη, καθώς κάθε εφαρμογή που σχεδιάζεται απαιτεί κάποια μορφής επικοινωνία με το UAV, ενώ ανάλογα με την εφαρμογή προκύπτουν και οι αντίστοιχες απαιτήσεις επικοινωνίας. Οι απαιτήσεις αυτές αφορούν κυρίως τη ταχύτητα μεταφοράς και την ακρίβεια των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ του οχήματος UAV και του επίγειου σταθμού ελέγχου.

Μελέτες πάνω στο ζήτημα των τεχνολογιών επικοινωνίας που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εξελιγμένων επικοινωνιακών συστημάτων, έχουν καταλήξει στη χρήση τεχνολογιών και πρωτοκόλλων όπως το WiFi, η ασύρματη οπτική μετάδοση (FSO - Free Space Optical), η τεχνολογία ZigBee κ.ά. Οι προσπάθειες αυτές φαίνεται να προσφέρουν καλές λύσεις σε περιπτώσεις όπου η απόσταση του επίγειου σταθμού ελέγχου είναι μικρότερη του 1 km. Για αποστάσεις μεγαλύτερες των 2 km, η επικοινωνία εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση για ερευνητές και βιομηχανία (Fotouhi et al., 2019).

Οι αρχιτεκτονικές δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των πρωτοκόλλων και των διεπαφών επικοινωνίας, θα πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτες ώστε να επιτρέπουν τη διαλειτουργικότητα. Για παράδειγμα, ένα όχημα UAV θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξει διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, ανάλογα με την απόσταση που έχει από τον επίγειο σταθμό ελέγχου. Εξίσου σημαντική είναι και η ασφάλεια της ζεύξης επικοινωνίας, καθώς μέσω αυτής μεταφέρονται εντολές πλοήγησης και ελέγχεται το drone. Ως μέθοδοι μείωσης των παρεμβολών και αύξησης της ασφάλειας της ζεύξης επικοινωνίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές βελτιστοποίησης της κατανομής του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων και κρυπτογράφησης των ανταλλασσόμενων σημάτων (Lagkas et al., 2018).

Αυτονομία UAV

Αυτονομία ενός UAV μπορεί να οριστεί ως η ικανότητά του στην εκτέλεση λειτουργιών και διαδικασιών όπως η λήψη και συλλογή πληροφοριών μέσω αισθητήρων, η διαχείριση της επικοινωνίας, ο σχεδιασμός της βέλτιστης διαδρομής, η αποφυγή συγκρούσεων, κ.α. (Shakhatreh et al., 2019).

Κύριο πλεονέκτημα της ύπαρξης αυτονομίας στα οχήματα UAV είναι η δυνατότητα πραγματοποίησης πτήσεων μεγάλης διάρκειας και εμβέλειας χωρίς την παρέμβαση του

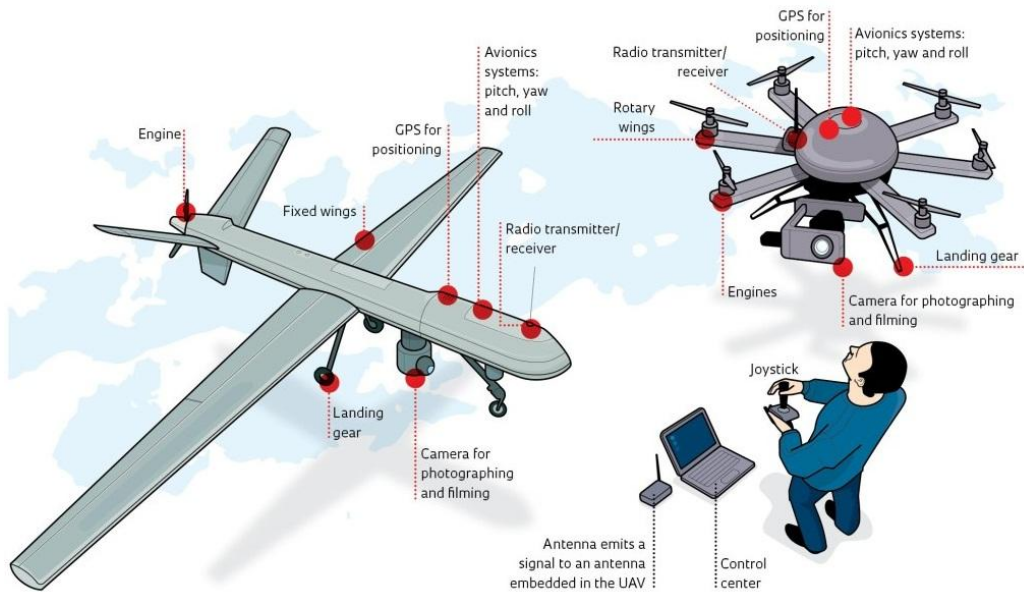
χειριστή. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα έγκαιρου ελέγχου πολλών οχημάτων UAV από έναν μόνο χειριστή. Επομένως, οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν επικεντρωθεί στην ενίσχυση του επιπέδου αυτονομίας των οχημάτων UAV (Shakhatreh et al., 2019). Ωστόσο, το αυξανόμενο επίπεδο αυτονομίας των οχημάτων UAV δημιουργεί πρόσθετες προκλήσεις όσον αφορά την αξιοπιστία, τη δυνατότητα συντήρησης και εφοδιασμού τους. Αυτό συνεπάγεται την αναγκαιότητα διατήρησης της ισορροπίας μεταξύ του επιπέδου αυτονομίας και των συναφών προκλήσεων κατά το σχεδιασμό των drones. Τα επίπεδα αυτονομίας καθορίζονται από την πολυπλοκότητα των εφαρμογών, τις περιβαλλοντικές δυσκολίες και την απαιτούμενη υποστήριξη ή παρέμβαση του χειριστή (Vidyadharan et al., 2017).

Πολλές από τις εφαρμογές των drones, όπως η εφαρμογή έρευνας και διάσωσης μπορούν να έχουν μεγαλύτερη απόδοση εάν πραγματοποιηθούν από μια ομάδα UAVs, παρά από τη χρήση ενός. Ως εκ τούτου, η χρήση σμήνους UAVs, δηλαδή πολλών drones τα οποία συνεργάζονται και συντονίζονται αυτόνομα, μπορεί να έχουν ταχύτερη και αποτελεσματικότερη εκτέλεση της εφαρμογής για την οποία προορίζονται. Αν και η ανάπτυξη ενός τέτοιου πλαισίου συντονισμού και συνεργασίας εξαρτάται από πολλούς περιβαλλοντικούς παράγοντες και πιθανά απροσδόκητα συμβάντα, το επίπεδο αυτονομίας των drones αποτελεί βασικό κριτήριο της επίτευξης αυτού του πλαισίου (Sariel-Talay et al., 2011). Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές μελέτες που ασχολούνται με το θέμα της δημιουργίας ενός πλαισίου συντονισμού και συνεργασίας μεταξύ των UAVs. Για παράδειγμα, η τεχνολογία σχηματισμού σμήνους UAVs μελετήθηκε από το École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) της Ελβετίας στα πλαίσια των ερευνητικών προγραμμάτων SMAVNET I και II. Στόχος των συγκεκριμένων προγραμμάτων είναι η δημιουργία ενός σμήνους drones τα οποία θα οργανώνονται και θα αναπτύσσονται αυτόματα σε μια περιοχή, για την παροχή κάλυψης επικοινωνίας WiFi στις επίγειες ομάδες διάσωσης (Groß et al., 2018).

3.3.2 Επίγειος σταθμός ελέγχου

Ο επίγειος σταθμός ελέγχου περιλαμβάνει τα συστήματα ελέγχου και τα συστήματα εκτόξευσης και ανάκτησης του drone. Ο επίγειος σταθμός ελέγχου αποτελεί ουσιαστικά το κέντρο ελέγχου της πτήσης του drone και έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας και προβολής των δεδομένων που λαμβάνονται από το UAV. Πρόκειται για μια σταθερή ή φορητή συσκευή παρακολούθησης και χειρισμού του UAV και η λειτουργία της

διευκολύνει την παρακολούθηση, το χειρισμό και την αξιοποίηση των πληροφοριών που μεταδίδει προς αυτή το drone (Colomina & Molina, 2014). Τα μικρότερου μεγέθους drones μπορούν να τηλεχειριστούν, δηλαδή ο χειρισμός τους να γίνει εξ αποστάσεως, μέσω ενός φορητού υπολογιστή και ενός μοχλού χειρισμού (joystick) (Εικόνα 22) (Singhal et al., 2018).



Εικόνα 22: Εξ αποστάσεως χειρισμός (τηλεχειρισμός) μικρότερων drone μέσω φορητού υπολογιστή και joystick.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι πληροφορίες αυτές μεταδίδονται από το UAV προς τον επίγειο σταθμό ελέγχου μέσω τεχνολογιών επικοινωνίας όπως RF, WiFi, FSO, ZigBee, κλπ. Εκτός από τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες του drone, οι αποσπελλόμενες αυτές πληροφορίες μπορεί να περιέχουν και στοιχεία αλλαγής κατεύθυνσης ή να είναι τα αποτελέσματα της υπολογιστικής επεξεργασίας των δεδομένων των αισθητήρων (Austin, 2011). Η επικοινωνία μεταξύ του drone και του επίγειου σταθμού ελέγχου είναι αμφίδρομη.

Τα drone HALE και MALE χρησιμοποιούν ενσωματωμένα συστήματα προσγείωσης. Ωστόσο, για τα μεσαίου και μικρού μεγέθους drones, απαιτούνται διαφορετικές τεχνικές εκτόξευσης και ανάκτησης. Τα συστήματα εκτόξευσης παρέχουν την απαιτούμενη αρχική ταχύτητα απογείωσης των UAV, ενώ τα συστήματα ανάκτησης βοηθούν στην προσγείωση. Αυτά τα συστήματα θα πρέπει να λειτουργούν κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Κατά το σχεδιασμό τους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη οποιαδήποτε ακραία περίπτωση, όπως για παράδειγμα ο διάδρομος

απογείωσης και προσγείωσης να είναι ιδιαίτερα περιορισμένος. Το ζήτημα αυτό έχει γίνει αντικείμενο πολλών μελετών. Πάντως επί του παρόντος, ορισμένες από τις μεθόδους απογείωσης και προσγείωσης χρησιμοποιούν συστήματα εκτόξευσης, συστήματα αλεξίπτωτων, κάθετα και σχεδόν κάθετα συστήματα, καθώς και συστήματα χειροκίνητης απογείωσης και χειροκίνητης προσγείωσης (Limnaios, 2014).

4 Εφαρμογές drones

4.1 Η έννοια της έξυπνης πόλης

Προσπαθώντας να οραματιστούμε την πόλη του μέλλοντος, πολλές φορές χρησιμοποιούνται έννοιες όπως έξυπνη πόλη, ψηφιακή πόλη ή βιώσιμη πόλη. Τι είναι όμως έξυπνη πόλη; Έχουν δοθεί κατά καιρούς πολλοί ορισμοί για την έννοια της έξυπνης πόλης. Κάποιοι από αυτούς τους ορισμούς δίνουν έμφαση στην τεχνολογία, ενώ άλλοι επιχειρούν μια διαφορετική προσέγγιση.

Σύμφωνα με τους Washburn et al. (2009), οι οποίοι δίνουν έμφαση στις έξυπνες τεχνολογίες, μία πόλη θεωρείται έξυπνη όταν χρησιμοποιεί τεχνολογίες της πληροφορικής ώστε να βελτιωθούν οι κρίσιμες υποδομές και υπηρεσίες της (σε τομείς όπως της υγείας, της εκπαίδευσης, της ασφάλειας και των μεταφορών), καθιστώντας τις περισσότερο έξυπνες, διασυνδεδεμένες και συνεπώς πιο αποδοτικές (Washburn et al., 2009).

Οι Giffinger et al. (2007), επισημαίνουν πως μια έξυπνη πόλη πρέπει να έχει καλή απόδοση μέσα από καινοτόμες προσεγγίσεις σε υπηρεσίες της οικονομίας, των μεταφορών, της διακυβέρνησης, του περιβάλλοντος και της διαβίωσης των πολιτών, βασισμένες σε έναν έξυπνο συνδυασμό των απαραίτητων τεχνολογικών επιτευγμάτων και αποφασιστικών, ανεξάρτητων και ενήμερων πολιτών (Giffinger et al., 2007).

Σύμφωνα με μία διαφορετική προσέγγιση, μία πόλη είναι έξυπνη όταν προσπαθεί να γίνει περισσότερο αποδοτική, εξελίξιμη, αμερόληπτη, ενεργή και ζωντανή (Nam & Pardo, 2011).

Πέρα από τον πρώτο ορισμό, και άλλοι ορισμοί δίνουν έμφαση στο κομμάτι της τεχνολογίας. Σύμφωνα λοιπόν με τον ορισμό των Hall et al. (2000), έξυπνη είναι μία πόλη η οποία μπορεί να επιβλέπει, έχοντας παράλληλα ενοποιήσει, τις σημαντικότερες από τις υποδομές της (από δρόμους, γέφυρες, σήραγγες, σταθμούς και δίκτυα μέσων μεταφοράς, υπηρεσίες ύδρευσης και ενέργειας, μέχρι και σημαντικά κτίρια). Με τον τρόπο αυτό η πόλη μπορεί να βελτιστοποιήσει τη χρήση των υποδομών της, να δράσει προληπτικά για την συντήρησή τους, να επιβλέπει θέματα ασφάλειας, μεγιστοποιώντας παράλληλα τις υπηρεσίες προς τους πολίτες της (Hall et al., 2000).

Σύμφωνα με τους Harisson et al. (2010), έξυπνη είναι η πόλη η οποία συνδέει τις φυσικές υποδομές, τις υποδομές της τεχνολογίας επικοινωνιών και πληροφοριών, τις κοινωνικές

υποδομές και τις επιχειρηματικές υποδομές, προκείμενου να βελτιώσει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων (Harisson et al., 2010)

Σύμφωνα με τον D. Topetta, έξυπνη πόλη είναι μία πόλη η οποία συνδυάζει τεχνολογίες ICT και Web2.0 με προσπάθειες (σε επίπεδο διαχείρισης και σχεδιασμού), ώστε να περιοριστεί ο χρόνος των γραφειοκρατικών διαδικασιών και να βρεθούν νέες, καινοτόμες λύσεις στην διαχείριση των πολύπλοκων προβλημάτων μιας πόλης, ώστε να βελτιωθεί η διαβίωση των πολιτών της μέσα σε αυτήν και να επιτευχθεί η διαρκής εξέλιξή της (Topetta, 2010).

Οι τελευταίοι δύο ορισμοί που συναντάμε ορίζουν την έξυπνη πόλη μέσα από ένα διαφορετικό πρίσμα. Σύμφωνα με την προσέγγιση του Rios, έξυπνη είναι η πόλη εκείνη η οποία εμπνέει τους πολίτες της, μοιράζεται με εκείνους πολιτισμό, γνώση και ζωή, δίνοντας τους το κίνητρο να δημιουργήσουν και να εξελιχθούν (Rios, 2012).

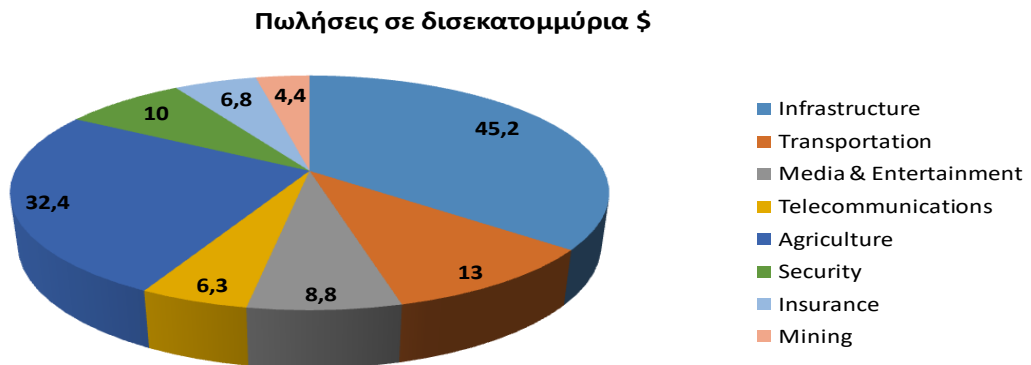
Τέλος, ο Partridge, μέσα από την μελέτη της πόλης Brisbane της Αυστραλίας, επισημαίνει πως μια έξυπνη πόλη, μέσα από τη χρήση τεχνολογιών επικοινωνιών και πληροφοριών, ενδυναμώνει την ελευθερία λόγου και καθιστά εύκολη την πρόσβαση σε πληροφορίες και υπηρεσίες, παρέχοντας ίσες ευκαιρίες στους πολίτες της (Partridge, 2004).

Συνοψίζοντας, λοιπόν, πλέον ο όρος έξυπνη πόλη αποτελεί μια εμφανή εξέλιξη των πόλεων και του πως θα είναι οι πόλεις στο άμεσο μέλλον. Θα ενσωματώνουν πολιτικές και τεχνολογίες στοχεύοντας στην αειφόρο ανάπτυξη, την δημοκρατία και την ευημερία για όλους τους πολίτες. Η χρήση UAVs, μπορεί να συμβάλλει στην κατεύθυνση αυτή.

4.2 Χρήση των Drones στο αστικό περιβάλλον

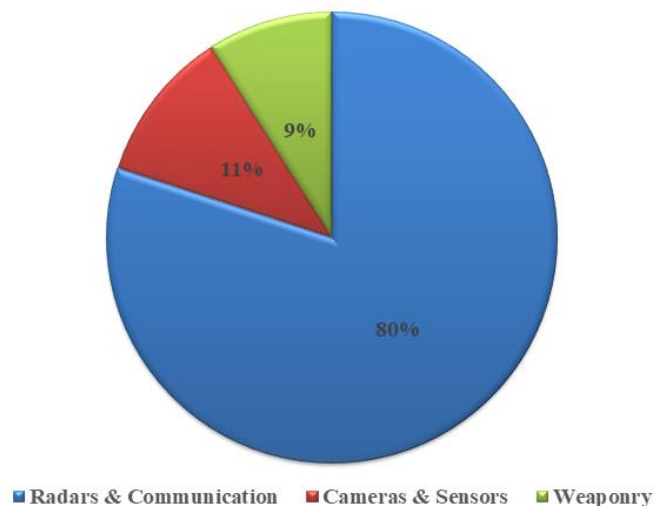
Εκτός από τις στρατιωτικές εφαρμογές για τις οποίες και δημιουργήθηκαν, μελέτες καταδεικνύουν τη χρησιμότητα των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων σε διάφορους τομείς μη στρατιωτικών εφαρμογών και ιδιαίτερα στο αστικό περιβάλλον. Οι τομείς των υποδομών, της γεωργίας και των μεταφορών είναι κάποιοι από αυτούς.

Το ποσό που εκτιμάται ότι σχετίζεται με την αγορά των UAVs, υπερβαίνει τα 127 δισεκατομμύρια \$, με το κομμάτι των επιθεώρησης υποδομών να αντιστοιχεί σε 45.2 δισεκατομμύρια \$ και της γεωργίας ακριβείας στα 32.4 δισεκατομμύρια \$, ακολουθούμενες από τον τομέα των μεταφορών και της ασφάλειας (Εικόνα 23) (Shakhatreh et al., 2019).



Εικόνα 23: Μερίδιο της αγοράς drones ανά τομέα εφαρμογής.

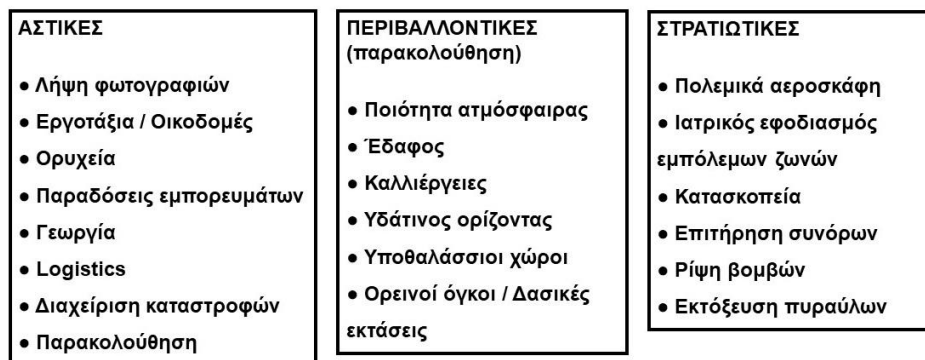
Μέχρι το 2025 εκτιμάται ότι θα έχουν προκύψει περισσότερες από 100.000 νέες θέσεις εργασίας, ενώ για να γίνει κάποιος χειριστής drone, θα πρέπει να παρακολουθήσει τα αντίστοιχα προγράμματα σπουδών σε πανεπιστήμια ή ειδικά εκπαιδευτικά κέντρα. Το κόστος του εξοπλισμού που θα φέρουν τα drones (κάμερες, αισθητήρες, συσκευές επικοινωνίας) εκτιμάται ότι μέχρι το 2027 θα προσεγγίσει τα 3 δισεκατομμύρια \$, με το μεγαλύτερο ποσοστό αυτού του ποσού να αφορά τις συσκευές ανίχνευσης και επικοινωνίας (περίπου 80%), ενώ το 11% να σχετίζεται με αισθητήρες και κάμερες (Εικόνα 24) (Shakhatreh et al., 2019).



Εικόνα 24: Ποσοστά που σχετίζονται με τον εξοπλισμό των UAVs.

Τα drones παρουσιάζουν σημαντική υπεροχή σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνολογίες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό. Τα πλεονεκτήματά τους οφείλονται στη λιγότερη κατανάλωση ενέργειας, στους λιγότερους κινδύνους που παρουσιάζουν για την ανθρώπινη ζωή, στην ευκολία συλλογής δεδομένων, στην αιώρηση και στην

εξαιρετικά υψηλή χωρική ανάλυση. Όλα αυτά τα καθιστούν μια εξαιρετική επιλογή για πλήθος εφαρμογών. Στην εικόνα 25 παρουσιάζονται πιθανές εφαρμογές των σύγχρονων UAV (Singhal et al., 2018).



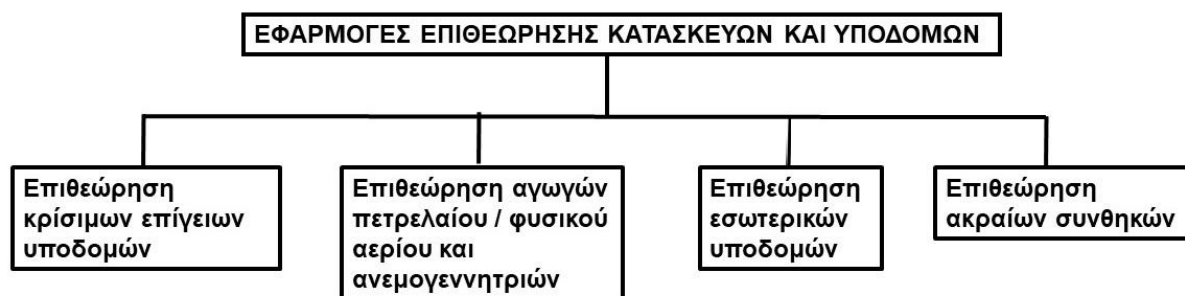
Εικόνα 25: Πεδία εφαρμογών των UAVs.

Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου, θα περιγραφούν μη στρατιωτικές εφαρμογές των οχημάτων UAV.

4.2 Επιθεώρηση κατασκευών και υποδομών

Η επιθεώρηση κατασκευών και υποδομών αποτελεί ένα από τα πλέον δημοφιλή πεδία εφαρμογών των drones. Στις εφαρμογές επιθεώρησης κατασκευών και υποδομών, τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παρακολούθηση των υποδομών αυτών σε πραγματικό χρόνο χωρίς να χρειάζεται απαιτείται η ανθρώπινη παρουσία στον χώρο των εργασιών (Gheisari et al., 2014).

Τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών επιθεώρησης υποδομών, όπως στην επιθεώρηση αγωγών πετρελαίου/φυσικού αερίου και ανεμογεννητριών, στην επιθεώρηση κρίσιμων επίγειων υποδομών (π.χ. σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας), στην επιθεώρηση εσωτερικών υποδομών (π.χ. αγωγών) και στην επιθεώρηση ακραίων συνθηκών (Εικόνα 26) (Shakhatreh et al., 2019).



Εικόνα 26: Τομείς επιθεώρησης υποδομών με τη χρήση UAVs.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται μια σύνοψη της χρήσης των drones σε εφαρμογές επιθεώρησης υποδομών. Πιο αναλυτικά, ο συγκεκριμένος πίνακας παρουσιάζει διάφορους τύπους drones που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές επιθεώρησης κατασκευών και υποδομών, το είδος των αισθητήρων που χρησιμοποιείται σε κάθε εφαρμογή και τις αντίστοιχες προδιαγραφές των UAV, όσον αφορά το ωφέλιμο φορτίο, το υψόμετρο και τη διάρκεια πτήσης (Shakhatreh et al., 2019).

Τύπος drone	Εφαρμογές	Ωφέλιμο φορτίο Υψόμετρο Διάρκεια πτήσης	Τύπος αισθητήρα
Parrot AR.Drone	Βελτίωση της ασφάλειας των εργοταξίων με την παροχή οπτικής προβολής του χώρου σε πραγματικό χρόνο	- 50m 12min	HD κάμερα επί του σκάφους Σύνδεση Wi-Fi
Multi Rotor	Συνδυασμός χρήσης του drone με μεθόδους επεξεργασίας εικόνας για ανίχνευση ρωγμών και αξιολόγηση της κατάστασης του εδάφους	100gr LAP 20min	Έγχρωμοι αισθητήρες εικόνας
MikroKopter L4-ME Quadcopter	Κάθετη επιθεώρηση κτιρίων μεγάλου ύψους, όπως φώτα δρόμου, πύργοι GSM ή ψηλά κτίρια	Μέχρι 500gr Μέχρι 247m 13-20min	Laser scanner
Quadrotor Helicopter	Επιθεώρηση γραμμών μεταφοράς υψηλής ισχύος	Λιγότερο από 1kg LAP Μικρότερη από 1h	Έγχρωμες & TIR κάμερες GPS Αισθητήρες IMU
Drone σταθερών περυγίων	Εικονική επιθεώρηση, εντοπισμός ελαττωμάτων σε γραμμές μεταφοράς ισχύος	Λιγότερο από 3kg Μέχρι 500m Μέχρι 50min (50km)	Έξτρα ευρυγώνια HD βιντεοκάμερα
Quadrotor	Συνεργατική χρήση drones για επιθεώρηση και διάγνωση της κατάστασης των ηλεκτρικών γραμμών	Λιγότερο από 6kg Μέχρι 200m Μέχρι 25min (10km)	TIR κάμερες GPS
Quadrotor (VTOL) small UAV	Απομακρυσμένη ανίχνευση διαρροής σε γραμμές μεταφοράς αερίου	- LAP 30-50min	Μονάδα ελέγχου αερίου GPS

Πίνακας 3: Σύνοψη των προδιαγραφών, εφαρμογών και τεχνολογιών των drones που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές επιθεώρησης υποδομών.

Τα drones μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την επιθεώρηση των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης. Drones αυτόνομης πλοήγησης χρησιμοποιήθηκαν για την επιθεώρηση των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για την ανίχνευση, επιθεώρηση και διάγνωση πιθανών βλαβών των υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας (Sampedro et al., 2014).

Οι Larrauri, Sorrosal και González (2013), σχεδίασαν και εφάρμοσαν ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα που βασίστηκε στη χρήση UAVs για επιθεώρηση των

γραμμών ισχύος σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα αυτό επεξεργάστηκε πλήθος εικόνων και δεδομένων που ανακτήθηκαν από τα drones, για τον προσδιορισμό των θέσεων των δέντρων και των κτιρίων που βρίσκονται κοντά στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τον υπολογισμό της μεταξύ τους απόστασης. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν κάμερες TIR (Thermal InfraRed) για την ανίχνευση των σημείων κακής αγωγιμότητας στα ηλεκτρικά καλώδια (Larrauri et al., 2013).

Τα drones μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση εγκαταστάσεων και υποδομών, όπως αγωγών φυσικού αερίου, πετρελαίου και ύδατος. Ο F. Mohamadi (2014), πρότεινε την ανάπτυξη ενός σμήνους μικρών drones, εξοπλισμένων με μονάδες ελέγχου αερίων για την ανίχνευση ύπαρξης αερίου στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το σύστημα παρείχε τη δυνατότητα απομακρυσμένης ανίχνευσης διαρροών αερίου σε αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου (Mohamadi, 2014).

4.2.1 Χρήση των drones στην επιθεώρηση κατασκευών και υποδομών

Πλείστα παραδείγματα χρήσης UAVs για επιθεώρηση κατασκευών και υποδομών υπάρχουν. Ενδεικτικά, παρατίθενται οι παρακάτω περιπτώσεις (Shakhatreh et al., 2019).

Το 2016, η εταιρεία Pacific Gas and Electric Company (PG & E) χρησιμοποίησε drones για την επιθεώρηση των υπηρεσιών ηλεκτρικού και αερίου, όσον αφορά την καλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία, έχοντας πάρει άδεια από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (Federal Aviation Administration - FAA) των ΗΠΑ. Οι επιθεωρήσεις επικεντρώθηκαν σε δύσβατες περιοχές συνολικής έκτασης 70.000 τετραγωνικών μιλίων για την ανίχνευση διαρροών μεθανίου.

Η Cyberhawk, μια από τις κορυφαίες εταιρίες πετρελαίου και φυσικού αερίου στον κόσμο, χρησιμοποιεί UAVs για επιθεώρηση των υποδομών της. Η εταιρεία έχει ολοκληρώσει περισσότερες από 5.000 διαρθρωτικές επιθεωρήσεις αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου, ανεμογεννητριών και εγκαταστάσεων διωλιστηρίων. Η επιθεώρηση μέσω drones των υποδομών της Cyberhawk περιλαμβάνει τη λήψη φωτογραφιών, καθώς και τη διενέργεια στενών οπτικών και θερμικών επιθεωρήσεων των ελεγχθέντων υποδομών.

Η βιομηχανία SkyWorks χρησιμοποιεί drones για την επιθεώρηση κτιριακών εγκαταστάσεων και αγωγών πετρελαίου/αερίου στη Βόρειο Αμερική. Επιπλέον, ένας ισχυρός αλγόριθμος μηχανικής μάθησης, ο BlueVu, έχει αναπτυχθεί για να χειριστεί

αποτελεσματικά τα δεδομένα που συλλέγονται. Οι εν λόγω επιθεωρήσεις αφορούν την επιθεώρηση των κτιριακών υποδομών και τη συλλογή δεδομένων, την προηγμένη επεξεργασία των δεδομένων με δισδιάστατες και τρισδιάστατες εικόνες και λεπτομερείς αναφορές των επιθεωρούμενων εγκαταστάσεων (δηλαδή σχολιασμούς, παρατηρήσεις επιθεωρητών και συστάσεις).

Η εταιρεία AT & T διαθέτει περίπου 65.000 σταθμούς κεραιές κινητής τηλεφωνίας οι οποίες χρήζουν επιθεώρησης και συντήρησης. Η τεχνική ομάδα της εταιρείας συνεργάστηκε με άλλες εταιρείες (π.χ., Intel, Qualcomm κ.λπ.) για την ανάπτυξη ταχύτερης, καλύτερης, αποτελεσματικότερης και πλήρως αυτοματοποιημένης επιθεώρησης των σταθμών βάσης με χρήση οχημάτων UAV. Μέσα από την εφαρμογή κατάλληλων αλγορίθμων (deep learning) σε βίντεο υψηλής ευκρίνειας (HD), είναι δυνατή η ανίχνευση βλαβών σε πραγματικό χρόνο.

Η υπηρεσία Honeywell InView, της Honeywell πραγματοποιεί επιθεωρήσεις κρίσιμων βιομηχανικών υποδομών, συνδυάζοντας το Intel Falcon 8+ UAV σύστημα με αεροδιαστημικές και βιομηχανικές τεχνολογικές λύσεις. Σκοπός των επιθεωρήσεων είναι η παροχή ασφάλειας στους εργαζομένους, η βελτιωμένη αποδοτικότητα και προηγμένη επεξεργασία δεδομένων.

Η εταιρεία Maverick παρέχει υπηρεσίες επιθεώρησης με χρήση drones σε βιομηχανικές υποδομές, σωληνώσεις, δεξαμενές και εξοπλισμό στο δυτικό Καναδά από το 1994.

Η εταιρεία Bluestream προσφέρει υπηρεσίες επιθεώρησης σε επίγειες και θαλάσσιες υποδομές χρησιμοποιώντας UAV. Οι υπηρεσίες της εταιρείας είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για: επιθεωρήσεις επίγειων και θαλάσσιων υποδομών διωλιστηρίων, καθώς και επιθεωρήσεις σε ιδιαίτερα δύσβατες περιοχές.

4.2.2 Προκλήσεις

Οι προκλήσεις της χρήσης των drones σε εφαρμογές επιθεώρησης αστικών υποδομών είναι αρκετές. Μερικές από αυτές αφορούν το σύντομο χρόνο πτήσης λόγω της περιορισμένης ισχύς της μπαταρίας των drones και τον περιορισμό των δυνατοτήτων επεξεργασίας (Shakhatreh et al., 2019).

Η περιορισμένη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου αποτελεί επίσης μεγάλη πρόκληση. Τα φορτία επί του αεροσκάφους θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν διαφορετικά είδη από

κάμερες και αισθητήρες (π.χ. ανίχνευσης αερίων), σύστημα GPS (Bretschneider & Shetti., 2015).

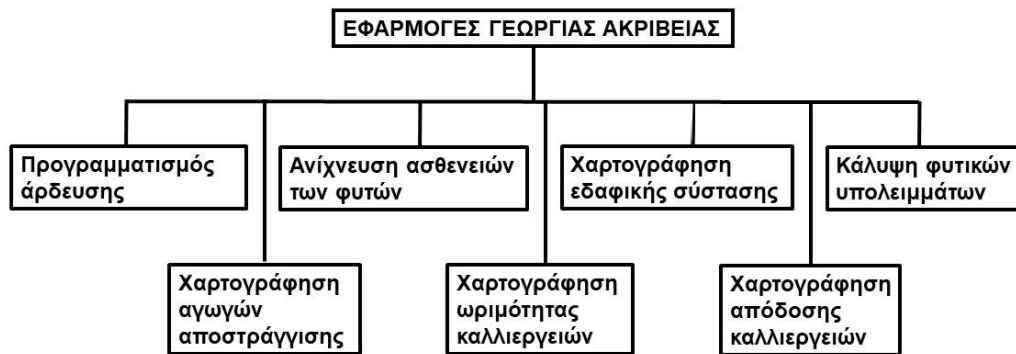
Μια εξίσου σημαντική πρόκληση είναι η χρήση αυτόνομων UAVs σε επιθεωρήσεις εσωτερικών χώρων, στους οποίους το σήμα GPS δεν υπάρχει ή είναι πολύ ασθενές (Dupont et al., 2017).

Παρατηρείται έλλειψη ερευνητικών τάσεων για τη χρήση σμήνους drones σε εφαρμογές επιθεώρησης κατασκευών και υποδομών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η συνεργατικότητα που παρουσιάζει ένα σμήνος drones είναι τέτοια που στις συγκεκριμένες εφαρμογές θα μπορούσε να προσφέρει ευρύτερο πεδίο επιθεώρησης, μεγαλύτερη ανοχή σφάλματος και μικρότερο χρόνο ολοκλήρωσης των επιθεωρήσεων (Shakhatreh et al., 2019).

4.3 Γεωργία ακριβείας

Η χρήση των drones σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας αφορά κυρίως την επιτήρηση των καλλιεργιών και τον ψεκασμό αυτών. Τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά σε μικρές καλλιεργημένες εκτάσεις μικρού υψομέτρου με μεγαλύτερη ακρίβεια και χαμηλότερο κόστος, σε σύγκριση με τα παραδοσιακά επανδρωμένα αεροσκάφη. Επιπλέον, τα drones μπορούν να παρέχουν εικόνες υψηλής ευκρίνειας των καλλιεργημένων εκτάσεων, με σκοπό τη σωστή διαχείριση των καλλιεργειών, ανιχνεύοντας την ύπαρξη ζιζανίων, την μεταβλητότητα των καλλιεργειών ως απόκριση στην άρδευση και μειώνοντας την ποσότητα ψεκασμού των ζιζανιοκτόνων (Huang, 2013). Συνεπώς, η χρήση UAVs στις εφαρμογές αυτές δημιουργεί μια οικονομικά αποδοτική τεχνολογία που συμβάλλει στην εξοικονόμηση χρόνου, στη βελτίωση των καλλιεργειών και την εκμετάλλευση της παραγωγικότητας και της κερδοφορίας των γεωργικών συστημάτων.

Ο προγραμματισμός άρδευσης, η ανίχνευση ασθενειών των φυτών, η χαρτογράφηση της εδαφικής σύστασης, η κάλυψη των φυτικών υπολειμμάτων, η χαρτογράφηση αγωγών αποστράγγισης, η χαρτογράφηση της ωριμότητας των καλλιεργειών και η χαρτογράφηση απόδοσης των καλλιεργειών, αποτελούν τις σημαντικότερες υπηρεσίες των εφαρμογών που σχετίζονται με επιθεώρηση των καλλιεργιών (Εικόνα 27) (Shakhatreh et al., 2019).



Εικόνα 27: Χρήση των οχημάτων UAV σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας.

Όσον αφορά τον ψεκασμό, εκείνος περιλαμβάνει τη ρίψη παρασιτοκτόνων και λιπασμάτων. Τα drones τείνουν να αντικαθιστούν τα παραδοσιακά επανδρωμένα αεροσκάφη, λόγω των πλεονεκτημάτων που εκείνα παρουσιάζουν, όπως: χαμηλότερο κόστος, λιγότερη απώλεια των υλικών ψεκασμού, καθώς οι ρίψεις γίνονται από χαμηλότερο ύψος (ακόμη και μερικών μέτρων), λιγότερος θόρυβος (Giyyenko & Cho, 2016).

Στον πίνακα 4, παρουσιάζεται μια σύγκριση της χρήσης των drones, των παραδοσιακών επανδρωμένων αεροσκαφών και των δορυφορικών συστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας με βάση το κόστος του συστήματος, την αντοχή, τη διαθεσιμότητα, το χρόνο εγκατάστασης, την περιοχή κάλυψης, τις καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες λειτουργίας, τη λειτουργική πολυπλοκότητα και τη χρήση των εφαρμογών (Shakhatreh et al., 2019).

Χαρακτηριστικό	Drones	Επανδρωμένα αεροσκάφη	Δορυφορικά συστήματα
Κόστος	Μικρό	Μεγάλο	Πολύ μεγάλο
Διάρκεια	Μικρή	Μεγάλη	Συνεχής
Διαθεσιμότητα	Όποτε απαιτούνται	Μερικές φορές	Συνεχής
Χρόνος Ανάπτυξης	Μικρός χρόνος	Απαιτεί αεροδιάδρομο	Πολύπλοκη
Περιοχή κάλυψης	Μικρή	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη
Καιρικές συνθήκες λειτουργίας	Μεγάλη ευαισθησία	Μικρή ευαισθησία	Απαιτούν καθαρό ουρανό για λήψη εικόνων
Ωφέλιμο Φορτίο	Μικρό	Μεγάλο	Μεγάλο
Επιχειρησιακή πολυπλοκότητα	Μικρή	Μικρή	Πολύ μεγάλη
Εφαρμογές και χρήσεις	Μεταφορά μικρών ψηφιακών, θερμικών καμερών και αισθητήρων	Ψεκασμός	Λήψη εικόνων υψηλής ευκρίνειας για συγκεκριμένες περιοχές

Πίνακας 4: Σύγκριση της χρήσης των drones, των παραδοσιακών επανδρωμένων αεροσκαφών και των δορυφορικών συστημάτων σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας.

Στον πίνακα 5 παρουσιάζεται μια σύνοψη των εφαρμογών γεωργίας ακριβείας με χρήση UAV. Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι των drones που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας, ο τύπος των αισθητήρων που αναπτύσσεται για κάθε εφαρμογή και οι αντίστοιχες προδιαγραφές των οχημάτων UAV όσον αφορά το ωφέλιμο φορτίο, το ύψος και την εμβέλεια πτήσης (Shakhatreh et al., 2019).

Τύπος drone	Εφαρμογές	Ωφέλιμο φορτίο Υψόμετρο Διάρκεια πτήσης	Τύπος αισθητήρα
Yamaha Aero Robot "R-50	Επιτήρηση καλλιεργειών και ψεκασμός	20 kg LAP 1 h	Σύστημα αισθητήρων DGPS
Yanmar KG-135, YH300 & AYH3	Ψεκασμός φυτοφαρμάκων καλλιεργειών	22,7 kg 1500 m 5 h	Σύστημα ψεκασμού με σύστημα αισθητήρων GPS
RC model fixed-wing airframe	Απεικόνιση μικρών χωραφιών για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας σιτηρών	Λιγότερο από 1kg LAP Λιγότερο από 1h	Ψηφιακή κάμερα αισθητήρων απεικόνισης
Vector-P UAV	Διαχείριση καλλιεργειών γεωργίας ειδικής χρήσης (π.χ. χειμερινό σιτάρι)	Λιγότερο από 1 kg 105 – 210 m 1 – 6 h (αναλόγως του ωφέλιμου φορτίου)	Ψηφιακή έγχρωμη – υπέρυθρη κάμερα
Drone σταθερών πτερυγίων	Εντοπισμός της μεταβλητότητας της απόκρισης των καλλιεργιών στην άρδευση (π.χ. βαμβακιού)	Ελαφριά κάμερα 90 m Λιγότερο από 1h	Θερμική κάμερα Αισθητήρες απεικόνισης TIR
Multi-rotor micro UAV	Διαχείριση καλλιεργειών και ανίχνευση ασθενειών εσπεριδοειδών	Λιγότερο από 1 kg 100 m 10 – 20 min	Αισθητήρες απεικόνισης πολλαπλών ζωνών 6-κάναλη πολυεστιακή κάμερα
Vario XLC helicopter	Διαχείριση ζιζανίων και μείωση του ποσοστού ζιζανίων μέσω χρήσης αεροφωτογραφιών καλλιεργειών	7 kg LAP 30 min	Προηγμένοι οπτικοί αισθητήρες 3D και πολυεστιακής απεικόνισης
VIPtero UAV	Διαχείριση καλλιεργειών και λήψη πολυφασματικών εικόνων υψηλής ανάλυσης για διαχείριση αμπελώνων	1 kg 150 m 10 min	Κάμερα Tetracam ADC-lite GPS
Fieldcopter	Εκτίμηση υδάτων και λήψη εικόνων υψηλής ανάλυσης για την κατάσταση του ύδατος σε αμπελώνες με σκοπό την υποβοήθηση των αρδευτικών διαδικασιών	Λιγότερο από 1kg LAP -	Πολυφασματικές και θερμικές κάμερες επί του σκάφους

Πίνακας 5: Σύνοψη των προδιαγραφών, εφαρμογών και τεχνολογίας των οχημάτων UAV στην γεωργία ακριβείας.

4.3.1 Χρήση των drones σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας

Η χρήση drones μπορεί να συμβάλλει στον κατάλληλο προγραμματισμό άρδευσης. Υπάρχουν τέσσερις παράγοντες που χρειάζονται παρακολούθηση προκειμένου να προσδιοριστεί η ανάγκη άρδευσης: η διαθεσιμότητα νερού στο έδαφος, η ποσότητα νερού που απαιτούν οι διάφορες καλλιέργειες, το ποσό της βροχόπτωσης και η αποδοτικότητα του συστήματος άρδευσης (Shakhatreh et al., 2019). Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να ποσοτικοποιηθούν με τη χρήση των οχημάτων UAV για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, της θερμοκρασίας των φυτών και της εξατμισοδιαπνοής (evapotranspiration). Για παράδειγμα, η εκτίμηση της χωρικής κατανομής της υγρασίας του εδάφους μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τις πολυφασματικές εικόνες υψηλής ευκρίνειας που λαμβάνονται από τα drones σε συνδυασμό με δειγματοληψία του εδάφους (Hassan-Esfahani et al., 2015). Επίσης, η εκτίμηση του δείκτη υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας (CWSI - Crop Water Stress Index), μπορεί να καθορίσει τις περιοχές που έχουν υποστεί ζημιά από το νερό χρησιμοποιώντας τις θερμικές εικόνες των drones (Gonzalez-Dugo et al., 2013).

Τα UAVs μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την έγκαιρη ανίχνευση ασθενειών των φυτών. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η λήψη έγκαιρων μέτρων μείωσης των απωλειών των καλλιεργειών από ασθένειες. Για παράδειγμα, θερμικές αεροφωτογραφίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση των πρώιμων σταδίων ανάπτυξης εδαφογενών μυκήτων (Calderón et al., 2013). Μόνο στις Η.Π.Α., το κόστος των απωλειών καλλιεργειών που προκαλούνται από ασθένειες των φυτών εκτιμάται σε περίπου 33 δισ. Δολάρια κάθε χρόνο (Shakhatreh et al., 2019).

Τα φυτικά υπολείμματα είναι απαραίτητα για τη διατήρηση του εδάφους, παρέχοντας ένα στρώμα προστασίας στα καλλιεργημένα χωράφια που προστατεύει το έδαφος από τον άνεμο και το νερό. Η ακριβής εκτίμηση των φυτικών υπολειμμάτων είναι απαραίτητη για την ορθή εφαρμογή των πρακτικών του οργώματος συντήρησης (Hively et al., 2018). Οι Eskandari, Navid και Rangzan (2016), απέδειξαν ότι οι θερμικές αεροφωτογραφίες μπορούν να εξηγήσουν περισσότερο από το 95% της διαφορετικότητας κάλυψης των φυτικών υπολειμμάτων, σε σύγκριση με το 77% της χρήσης οπτικών, σχεδόν IR εικόνων (Eskandari et al., 2016).

Τα συστήματα αποστράγγισης απομακρύνουν την περίσσεια ύδατος από τα χωράφια και ως εκ τούτου παρέχουν οικολογικά και οικονομικά οφέλη (Hofstrand, 2015). Μια αποτελεσματική παρακολούθηση των αγωγών αποστράγγισης μπορεί να βοηθήσει τους

αγρότες και τους διαχειριστές φυσικών πόρων να μετριάσουν με αποτελεσματικότερο τρόπο τις όποιες δυσμενείς περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις. Μετρώντας τις διαφορές θερμοκρασίας του εδάφους, οι θερμικές εικόνες των οχημάτων UAV μπορούν να παρέχουν περισσότερες πληροφορίες της κατάστασης των αγωγών αποστράγγισης (Woo et al., 2019).

Τα drones μπορεί να αποτελέσουν μια πρακτική τεχνολογία παρακολούθησης της ωριμότητας των καλλιεργειών ως προς τον προσδιορισμό του χρόνου συγκομιδής, ειδικά όταν η συγκομιδή δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί εντός του διαθέσιμου χρόνου. Για παράδειγμα, οπτικές και υπέρυθρες εικόνες από drones περιοχών στις οποίες δοκιμάζονταν παραγωγές κριθαριού στο Lundavra της Αυστραλίας, χρησιμοποιήθηκαν για να χαρτογραφήσουν τα δύο πρώτα στάδια ανάπτυξης του κριθαριού και απέδειξαν ακρίβεια ταξινόμησης της τάξης του 83,5% (Jensen et al., 2009).

4.3.2 Προκλήσεις

Οι προκλήσεις χρήσης UAVs σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας είναι πολλές. Οι θερμικές κάμερες διαθέτουν μικρή ανάλυση και κοστίζουν. Ανάλογα με την ποιότητα και τις λειτουργίες που παρέχουν, η τιμή τους κυμαίνεται από 2000 έως 50.000 δολάρια, ενώ η πλειοψηφία αυτών διαθέτει ανάλυση 640 x 480 pixels. Επιπλέον, οι θερμικές αεροφωτογραφίες μπορούν να επηρεαστούν από πολλούς παράγοντες, όπως η υγρασία στην ατμόσφαιρα, η απόσταση λήψης και τις εκπεμπόμενες ή ανακλώμενες θερμικές ακτινοβολίες από διάφορες πηγές (Khanal et al., 2017).

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας μέσω των αισθητήρων μπορούν να επηρεαστούν από τα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών. Στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου, όταν τα φυτά είναι μικρά και αραιά, οι μετρήσεις θερμοκρασίας μπορούν να επηρεαστούν από την ανάκλαση στην επιφάνεια του εδάφους (Khanal et al., 2017).

Οι καιρικές συνθήκες, αποτελούν μία πρόκληση για τη χρήση των drones. Σε περίπτωση δυσμενών καιρικών συνθηκών, όπως ακραίων ανέμων, βροχών και καταιγίδων, τα drones μπορεί να αποτύχουν στις αποστολές τους. Ως εκ τούτου, μικρά UAVs δεν μπορούν να λειτουργήσουν καθόλου σε ακραίες καιρικές συνθήκες ή να συλλέξουν τα απαραίτητα δεδομένα (Shakhatreh et al., 2019).

Το βάρος του ωφέλιμου φορτίου, αποτελεί μία από τις βασικές προκλήσεις και στις εφαρμογές ακριβείας στη γεωργία. Η αδυναμία των ελαφριών UAVs να μεταφέρουν

ωφέλιμο φορτίο μεγάλου βάρους, περιορίζει την ικανότητα των drones να μεταφέρουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα πολλών αισθητήρων και θερμικών καμερών υψηλής ανάλυσης (Anderson & Gaston., 2013).

Οι περιορισμοί ισχύος των UAVs αποτελεί ακόμη μία από τις προκλήσεις της χρήσης τους σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας. Η πρόκληση γίνεται εντονότερη ιδιαίτερα στην περίπτωση κατά την οποία τα drones που χρειάζονται να καλύψουν μεγάλες περιοχές, ώστε να συλλέξουν δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση, η επιστροφή του UAV πολλές φορές στο σταθμό φόρτισης για επαναφόρτιση είναι αναπόφευκτη (Shakhatreh et al., 2019).

4.4 Παρακολούθηση οδικής κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο

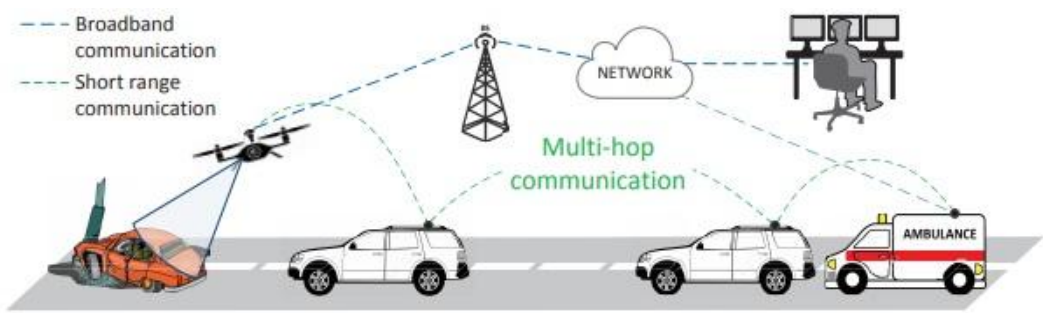
Τα drones μπορούν να βοηθήσουν στον τομέα των μεταφορών μέσα από την παρακολούθηση της οδικής κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο. Τα UAVs θεωρήθηκαν ως νέα τεχνολογία παρακολούθησης της οδικής κυκλοφορίας, συλλέγοντας πληροφορίες σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες στις οδικές αρτηρίες. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές συσκευές παρακολούθησης, όπως οι βιντεοκάμερες επιτήρησης και οι αισθητήρες μικροκυμάτων, τα drones είναι οικονομικά αποδοτικά και μπορούν να παρακολουθούν συνεχώς μεγάλα τμήματα ή να επικεντρώνονται σε συγκεκριμένα τμήματα των οδικών αρτηριών (Ke et al., 2016).

Πιθανές καταστροφές μπορεί να βλάψουν τον υπολογιστικό εξοπλισμό των παραδοσιακών συσκευών παρακολούθησης, τις επικοινωνιακές υποδομές ή τα συστήματα παροχής ενέργειας. Τέτοιες βλάβες μπορούν να οδηγήσουν σε πλήρη έλλειψη της ικανότητας ελέγχου και συλλογής δεδομένων σχετικά με το δίκτυο μεταφορών (Leitloff et al., 2014).

Η αναγνώριση των κινούμενων οχημάτων με τη χρήση drones εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση. Οι μέθοδοι ανίχνευσης των κινούμενων οχημάτων εξαρτώνται από την ακρίβεια των μεθόδων καταγραφής εικόνας, δεδομένου ότι η πλατφόρμα παρακολούθησης με drones αλλάζει συνεχώς. Οι μέθοδοι καταγραφής εικόνων με ακρίβεια απαιτούν εκτεταμένη υπολογιστική ισχύ, η οποία επηρεάζει την ικανότητα λειτουργίας των μεθόδων αυτών σε πραγματικό χρόνο (Qu et al., 2016).

4.4.1 Χρήσεις drones σε εφαρμογές παρακολούθησης οδικών αρτηριών

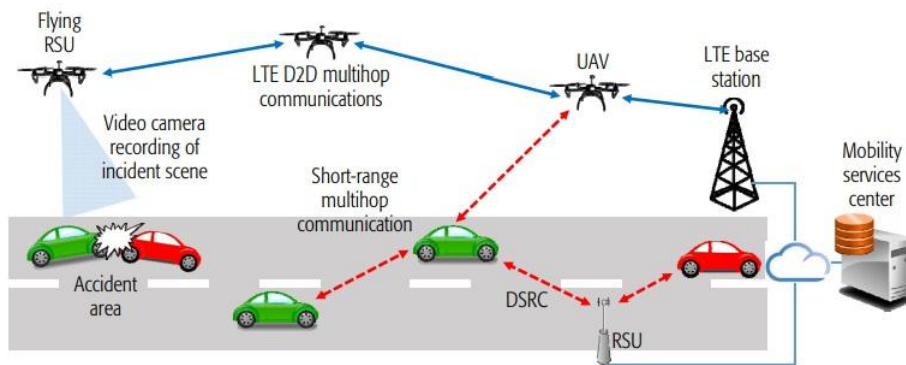
Οι κυριότερες εφαρμογές των drones στα συστήματα μεταφοράς και πιο συγκεκριμένα στην παρακολούθηση οδικών αρτηριών, περιλαμβάνουν επιτήρηση της ασφάλειας, παρακολούθηση της οδικής κυκλοφορίας και επιθεώρηση των έργων οδοποιίας (Zhou et al., 2014). Οι ομάδες διάσωσης μπορούν να χρησιμοποιήσουν drones για να φτάσουν γρήγορα στις τοποθεσίες όπου έγινε κάποιο ατύχημα. Drones μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παροχή πρώτων βοηθειών στις τοποθεσίες αυτές μέχρι την άφιξη των ομάδων διάσωσης (Εικόνα 28) (Menouar et al., 2017).



Εικόνα 28: Χρήση των drones ως παροχή πρώτων βοηθειών σε τοποθεσίες ατυχήματος μέχρι την άφιξη των ομάδων διάσωσης.

Τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να πετάξουν πάνω από τμήματα των οδικών αρτηριών με σκοπό την ανίχνευση αλλά και την πρόληψη οδικών παραβιάσεων. Έχουν τη δυνατότητα αλλαγής της ένδειξης του φωτεινού σηματοδότη καθώς και τη μετάδοση μηνύματος σε συγκεκριμένο όχημα για να σταματήσει την κίνησή του ώστε να αποφευχθεί η παραβίαση (Menouar et al., 2017).

Ένα drone μπορεί να εξοπλιστεί με σύστημα αποκλειστικής επικοινωνίας μικρής εμβέλειας (DSRC - Dedicated Short Range Communication -) ώστε να λειτουργήσει ως ιπτάμενη μονάδα RSU (Road Side Unit). Οι μονάδες αυτές μπορούν να πετούν σε μια συγκεκριμένη θέση για να εκτελέσουν μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ατυχήματος στον αυτοκινητόδρομο σε τμήμα που δεν υπάρχει επίγεια μονάδα RSU, το κέντρο διαχείρισης κυκλοφορίας μπορεί να ενεργοποιήσει ένα drone για να πετάξει κοντά στην τοποθεσία του ατυχήματος και να προσγειωθεί στην κατάλληλη θέση ώστε να μεταδώσει προειδοποιήσει τους οδηγούς των οχημάτων που πλησιάζουν για με το συγκεκριμένο περιστατικό (Εικόνα 29) (Menouar et al., 2017).



Εικόνα 29: Χρήση των drones ως ιπτάμενων μονάδων RSU.

Τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση ύποπτης ή μη φυσιολογικής συμπεριφοράς των οχημάτων που κινούνται σε μια οδική αρτηρία (Εικόνα 30) (Menouar et al., 2017).



Εικόνα 30: Χρήση των drones για αναγνώριση ύποπτης ή μη φυσιολογικής συμπεριφοράς οχημάτων.

Εκτός από τις προαναφερόμενες εφαρμογές, τα drones μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και σε ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών μεταφορών και προγραμματισμό εφαρμογών όπως: την παρακολούθηση των συνθηκών στους αυτοκινητοδρόμους, το συντονισμό του δικτύου σημάτων κυκλοφορίας, την έκτακτη καθοδήγηση οχήματος, τη μέτρηση της τυπικής χρήσης του δρόμου και την παρακολούθηση της χρήσης των χώρων στάθμευσης (Menouar et al., 2017).

4.4.2 Προκλήσεις

Οι προκλήσεις όσον αφορά τη χρήση των drones σε εφαρμογές παρακολούθησης της οδικής κυκλοφορίας είναι πολλές και σημαντικές. Η διαφύλαξη των προσωπικών ευαίσθητων πληροφοριών (π.χ. τοποθεσία) από άλλα οχήματα ή drones, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις (Menouar et al., 2017). Δεδομένου ότι συνήθως δεν

υπάρχει κρυπτογράφηση στα συστήματα επί του σκάφους των drones, οι πληροφορίες αυτές μπορούν να υποκλαπούν ακόμα και από απόσταση δύο χιλιομέτρων (Vattapparamban et al., 2016).

Η ανάπτυξη αλγορίθμων συντονισμού αποτελεί μία ακόμα πρόκληση που πρέπει να εξεταστεί για να καταστεί δυνατή η ενσωμάτωση των drones στα ευφυή συστήματα μεταφορών (ITS - Intelligent Transportation System). Σε αυτό τον τομέα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα drones αναπτύσσουν μικρότερες ταχύτητες σε σύγκριση με τα οχήματα στους αυτοκινητόδρομους. Μια εναλλακτική λύση του συγκεκριμένου ζητήματος είναι η αλλαγή του υπάρχοντος κανονιστικού πλαισίου ώστε να επιτρέπεται στα drones να πετούν σε μεγαλύτερο ύψος. Ένα drone το οποίο πετάει σε μεγαλύτερο ύψος μπορεί να επιβλέπει μεγαλύτερη επιφάνεια, αντισταθμίζοντας με τον τρόπο αυτό την μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με τα αυτοκίνητα. Η εύρεση του βέλτιστου ύψους πτήσης των drones θα μπορούσε να αποτελέσει μια ερευνητική πρόκληση για την υποστήριξη των εφαρμογών ITS (Menouar et al., 2017).

Άλλες εξίσου σημαντικές προκλήσεις αφορούν την περιορισμένη ενέργεια, τις δυνατότητες επεξεργασίας και το εύρος του σήματος μετάδοσης (Menouar et al., 2017).

Τέλος, οι πραγματικά αυτόνομες λειτουργίες σμήνους από UAVs αποτελούν μεγάλη πρόκληση, καθώς θα πρέπει να αναγνωρίζουν άλλα drones, ανθρώπους και εμπόδια για την αποφυγή συγκρούσεων. Επομένως, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη αλγορίθμων που θα αφορούν σμήνος από drones και θα επεξεργάζονται δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως αισθητήρες θέσης, αισθητήρες καιρού, επιταχυνσιόμετρα, γυροσκοπία, RADAR (Shakhatreh et al., 2019).

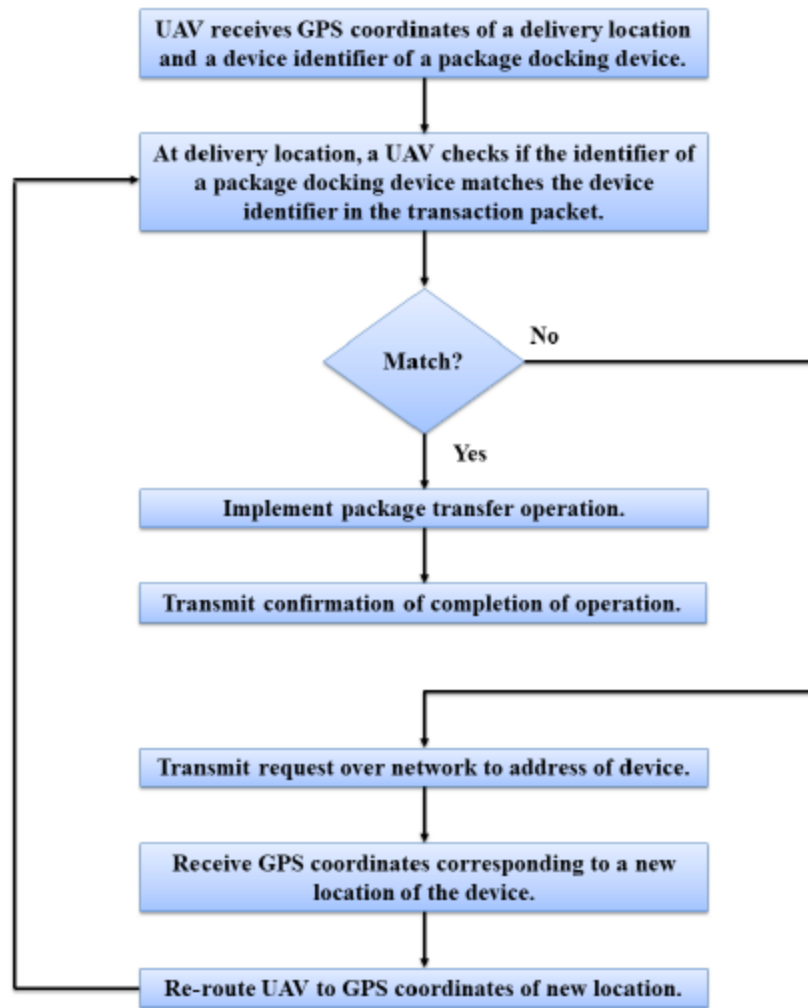
4.5 Παράδοση αγαθών

Η ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου, έχει δημιουργήσει πολλές προκλήσεις στον τομέα της παράδοσης αγαθών καθώς οι ηλεκτρονικές παραγγελίες διαρκώς αυξάνονται, ενώ ταυτόχρονα οι πελάτες προσδοκούν λιγότερο χρόνο για την παράδοση των προϊόντων που έχουν παραγγείλει. Από την άλλη πλευρά, το κυκλοφοριακό πρόβλημα στις μεγαλουπόλεις αναμένεται να οξυνθεί, κυρίως αν λάβουμε υπόψη μας και το γεγονός ότι μέχρι το 2050 το 65% του πληθυσμού θα ζει σε αστικό περιβάλλον (Yoo & Chankov., 2018). Συνεπώς, για να επιτευχθεί, ο λιγότερος δυνατός χρόνος παράδοσης αγαθών σε μία

μεγαλούπολη, θα πρέπει να αναζητηθούν εναλλακτικοί τρόποι, οι οποίοι περιλαμβάνουν τη χρήση drones.

Τα UAVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά τροφίμων, συσκευασιών και άλλων αγαθών. Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, τα drones μπορούν να παραδώσουν φάρμακα και δείγματα αίματος, ακόμη και σε απρόσιτες περιοχές. Μπορούν να μεταφέρουν γρήγορα ιατρικά όργανα εντός των κρίσιμων πρώτων λεπτών ενός αιφνίδιου προβλήματος υγείας (π.χ. μιας καρδιακής ανακοπής). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε υπηρεσίες συνεχούς ροής βίντεο, επιτρέποντας στο ιατρικό προσωπικό να παρατηρεί και να δίνει οδηγίες εξ αποστάσεως σε άτομα που βρίσκονται στο χώρο ενός ατυχήματος, σχετικά με τον τρόπο χρήσης των ιατρικών οργάνων (Scott & Scott, 2017).

Στο σύστημα παράδοσης αγαθών με χρήση UAVs, ένα drone μπορεί να κινηθεί μεταξύ του σημείου παραλαβής και του σημείου παράδοσης. Σε αυτή την περίπτωση το drone είναι εξοπλισμένο με επεξεργαστή ελέγχου και μονάδα GPS. Στο σημείο παραλαβής, λαμβάνει ένα πακέτο συναλλαγής που περιέχει τις συντεταγμένες GPS και το αναγνωριστικό της συσκευής τοποθέτησης πακέτου που σχετίζεται με την παραγγελία. Κατά την άφιξή του στο σημείο παράδοσης, ο επεξεργαστής ελέγχου ελέγχει εάν το αναγνωριστικό της συσκευής τοποθέτησης πακέτου ταιριάζει με το αναγνωριστικό του πακέτου συναλλαγής, εκτελεί τη διαδικασία μεταφοράς και στέλνει επιβεβαίωση ολοκλήρωσης της παραλαβής. Αν το αναγνωριστικό της συσκευής τοποθέτησης πακέτου δεν ταιριάζει με το αναγνωριστικό του πακέτου συναλλαγής, το drone μεταδίδει ένα αίτημα μέσω ενός δικτύου μικρής εμβέλειας, όπως Bluetooth ή WiFi. Το αίτημα μπορεί να περιέχει το αναγνωριστικό ή την IP διεύθυνση της συσκευής τοποθέτησης πακέτου. Με την προϋπόθεση ότι η συσκευή τοποθέτησης πακέτου δεν έχει μετακινηθεί εκτός της εμβέλειας επικοινωνίας του οχήματος UAV, η συσκευή έχοντας την IP διεύθυνση μεταδίδει ένα σήμα που περιέχει τη διεύθυνση μιας νέας τοποθεσίας. Η συσκευή τοποθέτησης πακέτου μπορεί στη συνέχεια να μεταδώσει ενημέρωση των συντεταγμένων GPS στο drone. Το drone μεταφέρεται στη νέα διεύθυνση με βάση τη νέα τοποθεσία (Εικόνα 31) (Shakhatreh et al., 2019).



Εικόνα 31: Διαδικασία για την παράδοση αγαθών με τη χρήση drones.

4.5.1 Παράδοση εμπορευμάτων με drones

Οι συνήθως αργές υπηρεσίες του συμβατικού ταχυδρομείου, εκτός από την μαζική ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου, οδήγησαν τις ταχυδρομικές εταιρείες σε νέες μεθόδους παράδοσης αγαθών. Διάφορες ταχυδρομικές εταιρείες έχουν πραγματοποιήσει δοκιμαστικές παραδόσεις με τη χρήση drones ώστε να ελέγξουν τη σκοπιμότητα και την κερδοφορία των υπηρεσιών παράδοσης μέσω αυτών. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα drones σε αυτές τις δοκιμές ήταν σκάφη Quadrotor (Park et al., 2018).

Η Amazon είναι ο μεγαλύτερος διαδικτυακός έμπορος λιανικής πώλησης με έσοδα ύψους 88,9 δισεκατομμύρια \$ το 2014 και πάνω από 200 δισεκατομμύρια \$ το 2018. Είναι από τις πρώτες εταιρείες που πειραματίστηκαν στην παράδοση αγαθών με τη χρήση drones. Έχει ήδη προτείνει το μοντέλο Amazon Prime Air (Εικόνα 32) και συνεργάζεται με την FAA για ρυθμιστικά πρότυπα και πρότυπα ασφαλείας. Το Amazon Prime Air έχει

σχεδιαστεί για να παραδίδει πακέτα βάρους έως 2.3 kg σε μόλις 30 λεπτά (Brar et al., 2015).



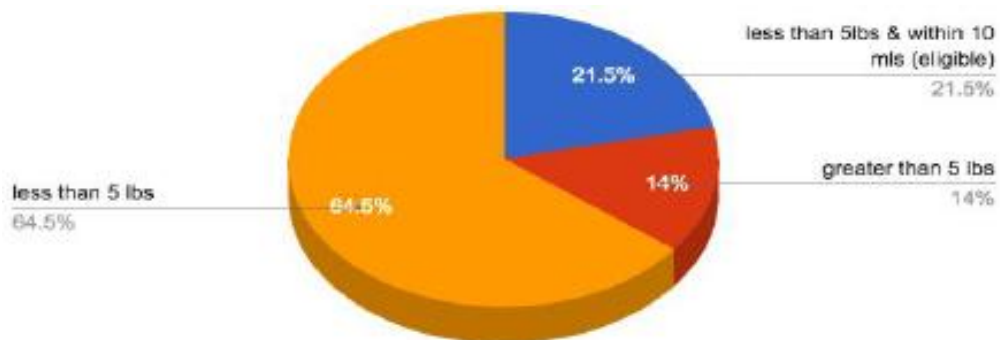
Εικόνα 32: Το Amazon Prime Air.

Τον Δεκέμβριο του 2016 πραγματοποιήθηκε η πρώτη παράδοση αγαθών με τη χρήση drone επί βρετανικού εδάφους, καθώς, η Μεγάλη Βρετανία ήταν η πρώτη χώρα όπου η Amazon δοκίμασε τα αεροσκάφη διανομής της (Amazon Prime Air), αφού κέρδισε την έγκριση της κυβέρνησης του Ηνωμένου Βασιλείου να άρει τους περιορισμούς των πτήσεων. Το πακέτο έφτασε με ασφάλεια στον προορισμό του στο Κέμπριτζ, 13 λεπτά μετά την παραγγελία του με ένα drone που πετούσε σε ύψος μέχρι 122 μέτρων.

Στα πλαίσια αυτής της συμφωνίας, τα drones της Amazon θα μπορούσαν να πετάξουν επτά ημέρες την εβδομάδα, πέρα από τα όρια αγροτικών και προαστιακών περιοχών, να πραγματοποιήσουν δοκιμές στους αισθητήρες αυτών, ενώ επιτρεπόταν παράλληλα στους χειριστές να ελέγχουν περισσότερα από ένα drone σε κάθε δοκιμαστική πτήση. Οι πτήσεις επιτρέπονταν μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και μόνο όταν το επέτρεπαν οι καιρικές συνθήκες.

Τα drones της Amazon μπορούν να απογειωθούν και να προσγειωθούν κατακόρυφα, ενώ μπορούν να καλύπτουν αποστάσεις έως και 10 μίλια σε υψόμετρο 400 ποδιών. Έχουν σχεδιαστεί για την παράδοση πακέτων που ζυγίζουν έως και 2,27 kg για πτήσεις που διαρκούν 30 λεπτά ή λιγότερο (McGoogan, C., 2016).

Αντίστοιχη έγκριση για πειραματικές πτήσεις έχει εξασφαλίσει η Amazon και στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής μετά από συμφωνία με την FAA τον Μάρτιο του 2015. Τα drones δεν θα έπρεπε να πετούν πέρα από το οπτικό πεδίο του χειριστή τους, ο οποίος θα έπρεπε να διαθέτει την αντίστοιχη άδεια χειρισμού UAV, καθώς και την αντίστοιχη ιατρική βεβαίωση. Πέρα από την κατ' οίκον παράδοση αγαθών, η Amazon εξέταζε την υπηρεσία Bring it to me, σύμφωνα με την οποία η παράδοση αγαθών θα γινόταν στην τρέχουσα τοποθεσία του χρήστη η οποία θα αναγνωριζόταν από το κινητό του τηλέφωνο. Σε ένα ποσοστό της τάξεως του 21.5% των συνολικών πακέτων που παραδίδονται μέσω της Amazon, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν drones (Brar et al., 2015) (Εικόνα 23).



Εικόνα 33: Ποσοστά πωλήσεων της Amazon με βάση το βάρος και το χρόνο παράδοσης.

Σύμφωνα, με τον Jeff Wilke, CEO της Amazon, η παράδοση προϊόντων με τη χρήση drones είναι πλέον θέμα μηνών, χωρίς να έχει διευκρινίσει πότε ακριβώς θα ξεκινήσει επίσημα αυτή η διαδικασία και σε ποιες ακριβώς χώρες (Lee., 2019). Ιδιαίτερη έμφαση έδωσε στην ασφάλεια που θα πρέπει να χαρακτηρίζει το όλο εγχείρημα, τονίζοντας πως οι πελάτες θα αισθάνονται άνετα να λαμβάνουν παραδόσεις με drones εάν το σύστημα είναι εξαιρετικά ασφαλές. Το νέο drone της Amazon, χρησιμοποιεί θερμικές φωτογραφικές μηχανές, φωτογραφικές μηχανές βάθους και σόναρς για την ανίχνευση κινδύνων. Με τη βοήθεια μοντέλων μηχανικής μάθησης, οι υπολογιστές επί του σκάφους μπορούν να αναγνωρίσουν αυτόματα τα εμπόδια και να τα αποφύγουν (Vincent & Gartenberg., 2019).

Τον Αύγουστο του 2014, η Google αποκάλυψε ότι τα τελευταία δύο έτη, έκανε έρευνες στον τομέα της παράδοσης προϊόντων με τη χρήση drones. Το έργο ονομάζεται Project Wing και διευθύνεται από το Google X, το ερευνητικό εργαστήριο της εταιρείας. Έχει πραγματοποιήσει πειραματικές πτήσεις στην Αυστραλία, καθώς οι κανονισμοί στην Αυστραλία σχετικά με τις πτήσεις των UAVs είναι λιγότερο περιοριστικοί σε σύγκριση τις ΗΠΑ. Κατά τη διάρκεια αυτής της αρχικής φάσης ανάπτυξης, η Google σχεδίασε ένα

υβριδικό μοντέλο αεροπλάνου - ελικοπτέρου που απογειώνεται κάθετα και στη συνέχεια περιστρέφεται σε οριζόντια θέση για να πετάξει (Εικόνα 34). Για την παράδοση, ένα εξάρτημα του οχήματος το οποίο περιέχει και το προς παράδοση πακέτο αποσπάται μέχρι το έδαφος. Όταν το πακέτο φτάσει στο έδαφος, το εξάρτημα αυτό αποσπάται από το πακέτο και τραβιέται πίσω στο σώμα του οχήματος (Brar et al., 2015).



Εικόνα 34: Το drone της Google.

Σύμφωνα με την Google, στόχος του Project Wing είναι η παροχή εναέριας βοήθειας μέσα από την παράδοση αγαθών, όπως φάρμακα και τρόφιμα, σε περιοχές του πλανήτη που είναι δύσκολα προσβάσιμες με άλλο τρόπο είτε έχουν πληγεί από φυσικές καταστροφές και πολέμους. Η εταιρεία, δεν αποκλείει και την εμπορική εκμετάλλευση του συγκεκριμένου project για την άμεση παράδοση προϊόντων μέσω ηλεκτρονικών αγορών (City., 2004).

Με μια απόφαση σταθμό τον Απρίλιο του 2019, η FAA έδωσε την έγκρισή της στα drones της Google ώστε να ξεκινήσουν υπηρεσίες παράδοσης προϊόντων για εμπορικούς σκοπούς. Πιο συγκεκριμένα, η FAA πιστοποίησε την Wing, θυγατρική της Alphabet, ως την πρώτη εταιρεία η οποία μπορεί να παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς προϊόντων στις ΗΠΑ με τη χρήση Drones (Levin, A., 2019)..

Προκειμένου να λάβει την ανωτέρω πιστοποίηση της FAA, η Wing απέδειξε ότι οι πτήσεις των drones της ήταν ασφαλείς, καθώς εκείνα μετρούσαν περισσότερες από 70.000 δοκιμαστικές πτήσεις και περισσότερες από 3.000 παραδόσεις στην Αυστραλία (Παλιούρης, Ι., 2019).

Οι πρώτες παραδόσεις εμπορευμάτων αναμένεται να ξεκινήσουν μέσα στο έτος και συγκεκριμένα σε δύο αγροτικές περιοχές (Blacksburg και Christiansburg) στην πολιτεία της Βιρτζίνια (Levin, A., 2019).

Στην Αυστραλία η Wing έχει επίσης πάρει έγκριση για την παράδοση αγαθών με τη χρήση drones. Οι πολίτες μπορούν να παραγγέλνουν αγαθά, όπως νωπά τρόφιμα, καφέ και φάρμακα, χρησιμοποιώντας εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα (Παλιούρης, Ι., 2019).

Η DHL, η μεγαλύτερη ταχυδρομική υπηρεσία της Ευρώπης με κύκλο εργασιών το 2014 ύψους 60.18 δις €, ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2014 στη Γερμανία την παράδοση αγαθών, όπως είδη πρώτης ανάγκης και φάρμακα (Brar et al., 2015). Πιο συγκεκριμένα, τα Drones της DHL με όνομα parcelcopters, παραδίδουν τα προϊόντα στο νησί Juist, το οποίο βρίσκεται στην Βόρειο θάλασσα και το οποίο αριθμεί 1.500 – 1.700 κατοίκους. Το πιλοτικό πρόγραμμα περιελάμβανε δύο πτήσεις την ημέρα, διάρκειας 15 – 30 λεπτών, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Οι πτήσεις γίνονταν σε υψόμετρο 100 ποδιών και η ταχύτητα των drones ήταν περίπου 40 km/h (Flashnews.gr., 2014).

Το 2018, η DHL σε συνεργασία με την γερμανική εταιρεία διεθνούς συνεργασίας GmbH και την γερμανική εταιρεία κατασκευής drones, Wingcopter, υλοποίησε το πιλοτικό πρόγραμμα Deliver Future. Το project αυτό είχε διάρκεια 6 μήνες και περιελάμβανε την παράδοση φαρμάκων σε απομακρυσμένες περιοχές με τη χρήση drones. Πιο συγκεκριμένα, ένα drone χρησιμοποιείτο για την παράδοση φαρμάκων στο νησί Ukerewe της λίμνης Victoria στην Ανατολική Αφρική. Το drone που χρησιμοποιήθηκε ήταν το DHL Parcelcopter 4.0 (Εικόνα 35), το οποίο διαθέτει σύστημα κάθετης απογείωσης και προσγείωσης, ελαχιστοποιώντας τις απαιτήσεις για πρόσθετες υποδομές. Κάθε πτήση διαρκούσε κατά μέσο όρο 40 λεπτά, για μία απόσταση 60 km. Συνολικά, διανύθηκαν 2.200 km σε 2.000 λεπτά πτήσης. Η ιατρική περίθαλψη για τους περίπου 400.000 κατοίκους της περιφέρειας του νησιού Ukerewe, είναι πολύ περιορισμένη λόγω των ελλειψών υποδομών και του ανάγλυφου του νησιού. Έξι ώρες χρειάζονται για να καλύψουν τη χερσαία διαδρομή των 240 γλμ. Αυτό καθιστά σχεδόν αδύνατη την παροχή φαρμάκων

έκτακτης ανάγκης. Μετά την παράδοση των φαρμάκων, το drone μπορούσε εύκολα να φορτωθεί με εργαστηριακά δείγματα (π.χ. αίμα) των κατοίκων του νησιού και κατόπιν να επιστρέψει στην ηπειρωτική χώρα.



Εικόνα 35: Το drone Parcelcopter 4.0.

Το project αυτό άνοιξε νέες δρόμους στην αντιμετώπιση του προβλήματος εφοδιασμού με φάρμακα δυσπρόσιτων περιοχών της Αφρικής. Στο μέλλον, το Parcelcopter θα μπορούσε όχι μόνο να βελτιώσει στον τομέα του εφοδιασμού αλλά και στην πρόληψη κρίσεων παγκοσμίως, επιβραδύνοντας την εξάπλωση ιογενών ασθενειών όπως ο Ebola (DHL., 2018).

4.5.2 Προκλήσεις

Οι προκλήσεις της χρήσης των drones σε εφαρμογές παράδοσης αγαθών αφορούν την υφιστάμενη νομοθεσία, την ασφάλεια αστικής ευθύνης, την εξασφάλιση για κλοπή, τις καιρικές συνθήκες και τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο κανονισμός της FAA μέχρι και τον Απρίλιο του 2019 και την έγκριση των drones της Google, είχε μπλοκάρει όλες τις προσπάθειες για εμπορική χρήση των UAVs. Υπό το υφιστάμενο κανονιστικό πλαίσιο των Ηνωμένων Πολιτειών, οι εταιρείες επιτρέπεται να χρησιμοποιούν τα drones για εμπορικούς σκοπούς, αλλά μόνο υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Τα drones πρέπει να ελέγχονται από χειριστή με ειδική άδεια και ο χειρισμός να γίνεται εντός της οπτικής εμβέλειάς του. Επίσης, οι πτήσεις των UAVs θα πρέπει να γίνονται μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τα drones διέπονται από περιορισμό μεγέθους, υψομέτρου και ταχύτητας και σε γενικές γραμμές δεν επιτρέπεται να πετάνε πάνω από ανθρώπους ή πέρα από την οπτική επαφή του χειριστή (Chen., 2016).

Μερικά drones ζυγίζουν μέχρι 25 κιλά και ταξιδεύουν με ταχύτητες που πλησιάζουν τα 45m/s. Κατά καιρούς έχουν αναφερθεί πολλές περιπτώσεις σοβαρών τραυματισμών, από ατυχήματα που προκλήθηκαν από drones. Εκτός από τον κίνδυνο τραυματισμών ή τη ζημιά σε κάποιου είδους ιδιοκτησία από τη συντριβή ενός UAV, η χρήση των drones μπορεί να δημιουργήσει και άλλα είδη ατυχημάτων, όπως συγκρούσεις αυτοκινήτων λόγω της αποσπάσεως της προσοχής από drones χαμηλής πτήσης, τραυματισμούς που οφείλονται σε πτώση φορτίου, αστική ευθύνη για κατεστραμμένα εμπορεύματα ή ατυχήματα που προκύπτουν από την πρόσκρουση κάποιου drone σε ιπτάμενο αεροσκάφος. Η αστική ευθύνη για τη χρήση των UAVs, δεν περιορίζεται μόνο σε ατυχήματα ή ζημιές ιδιοκτησίας, καθώς τα drones έχουν κατηγορηθεί ότι αποτελούν τεράστια απειλή για την ιδιωτικότητα (Nassi et al., 2019).

Οι κυριότερες ανησυχίες σχετικά με τη χρήση των drones για συλλογή δεδομένων και παράδοση αγαθών, αφορούν την ασφάλεια του κυβερνοχώρου και το hacking. Τα UAVs που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή ευαίσθητων πληροφοριών μπορεί να αποτελέσουν στόχους κακόβουλου λογισμικού, που επιδιώκει να υποκλέψει δεδομένα. Ένας χάκερ θα μπορούσε ακόμη και να πάρει τον έλεγχο του drone με σκοπό τη χρήση του σε παράνομες δραστηριότητες, όπως η κλοπή του φορτίου ή των αποθηκευμένων δεδομένων, εισβολή στην ιδιωτική ζωή ή λαθρεμπόριο (Shakhatreh et al., 2019).

Όπως συμβαίνει και με τα ελαφριά αεροσκάφη, τα drones δεν μπορούν να πετάνε σε όλες τις καιρικές συνθήκες, καθώς εκείνες καθορίζονται από τις προδιαγραφές του drone. Κατά τον προγραμματισμό της πτήσης, είναι σαφές ότι τα δεδομένα πρόγνωσης του καιρού διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στην εξασφάλιση ότι τα UAVs μπορούν να πετάξουν με ασφάλεια και να ολοκληρώσουν την παράδοση των αγαθών. Κατά τη διάρκεια της πτήσης, οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν την κατεύθυνση, το ύψος, τη διάρκεια καθώς και άλλες παραμέτρους που αφορούν την πτήση. Ειδικότερα, οι ταχύτητες του ανέμου αποτελούν βασικό στοιχείο για την ομαλή πτήση των UAVs και συνεπώς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον προγραμματισμό και κατά τη διάρκεια της πτήσης. Η ανάλυση των δεδομένων μετά την πτήση, μπορεί να βελτιώσει τις πτητικές λειτουργίες των drones ώστε να εξασφαλιστεί η επιτυχία μελλοντικών πτήσεων (Shakhatreh et al., 2019).

Ο έλεγχος της εναέριας κυκλοφορίας αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση σε περίπτωση που αρθούν οι περιορισμοί που ισχύουν για την παράδοση αγαθών μέσω drones για

εμπορικούς σκοπούς. Η Amazon έχει σχεδιάσει ένα μοντέλο αερομεταφορών για την ασφαλή ενσωμάτωση των διαφορετικών συστημάτων UAS όπως φαίνεται στην εικόνα 36. Σε αυτό το προτεινόμενο μοντέλο, η ζώνη “εντοπισμένης κίνησης χαμηλής ταχύτητας” προορίζεται για: α) λειτουργίες εκτός αερομεταφορών, όπως επιτόπια έρευνα, βιντεογραφία και επιθεώρηση, και β) λειτουργίες λιγότερο εξοπλισμένων drones. Η ζώνη “διέλευσης μεγάλης ταχύτητας” θα διατηρηθεί για καλά εξοπλισμένα UAVs, όπως θα καθορίζεται από το σχετικό κανονιστικό πλαίσιο. Η ζώνη “χωρίς πτήση” θα χρησιμεύσει ως μια απαγορευμένη περιοχή την οποία οι χειριστές των drones δεν θα επιτρέπεται να χρησιμοποιήσουν, εκτός από τις καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Τέλος, η ζώνη “προκαθορισμένου χαμηλού κινδύνου” θα περιλαμβάνει περιοχές στις οποίες οι περιορισμοί υψομέτρου και εξοπλισμού θα έχουν καθοριστεί εκ των προτέρων από τις αρχές αεροναυτιλίας (Air., 2015).

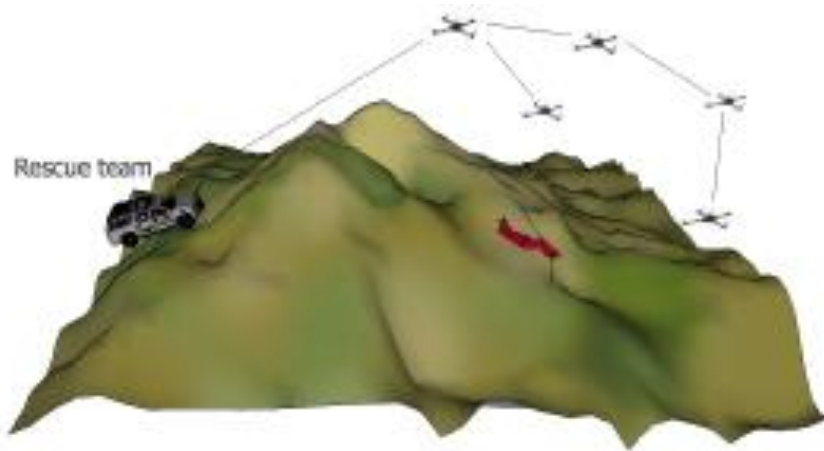


Εικόνα 36: Μοντέλο αερομεταφορών του Amazon για την ασφαλή ενσωμάτωση των συστημάτων UAS.

4.6 Έρευνα και διάσωση

Στις επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης, συναντούμε συνήθως πολλές αντιξοότητες και περιορισμούς. Οι σημαντικότερες εξ αυτών σχετίζονται με το χρόνο και το περιβάλλον. Συνήθως, ο χρόνος είναι περιορισμένος και οποιαδήποτε καθυστέρηση μπορεί να οδηγήσει σε δραματικές συνέπειες - ενδεχομένως ακόμη και ανθρώπινες απώλειες. Από την άλλη πλευρά, πολλές φορές το περιβάλλον στο οποίο διεξάγονται τέτοιες έρευνες είναι μη φιλικό και δύσκολα προσπελάσιμο (σκηνές καταστροφών, δάση, όρη κλπ).

Συνεπώς, η χρήση drones σε επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης, παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς εκείνα είναι ευκίνητα, γρήγορα, μπορούν να παρουσιάσουν αυτόνομη συμπεριφορά με αποτέλεσμα να μπορούν να εκτελέσουν εργασίες που είναι δύσκολο να εκτελεστούν από ανθρώπους, συνδυάζοντας παράλληλα χαμηλό λειτουργικό κόστος. Σε ένα τυπικό σενάριο, τα drones θα μπορούσαν να αναπτυχθούν σε ένα χώρο ενδιαφέροντος προκειμένου να συλλέξουν στοιχεία για την παρουσία θυμάτων και να μεταδώσουν τις πληροφορίες που συνέλεξαν σε έναν απομακρυσμένο επίγειο σταθμό ή ομάδα διάσωσης (Εικόνα 37) (Waharte & Trigoni, 2010).



Εικόνα 37: Σμήνος από UAVs πετούν πάνω τοποθεσία που πιθανόν να βρίσκονται θύματα, προκειμένου να συγκεντρώσουν πληροφορίες σχετικά με την θέση τους και να τις μεταδώσουν στην ομάδα διάσωσης.

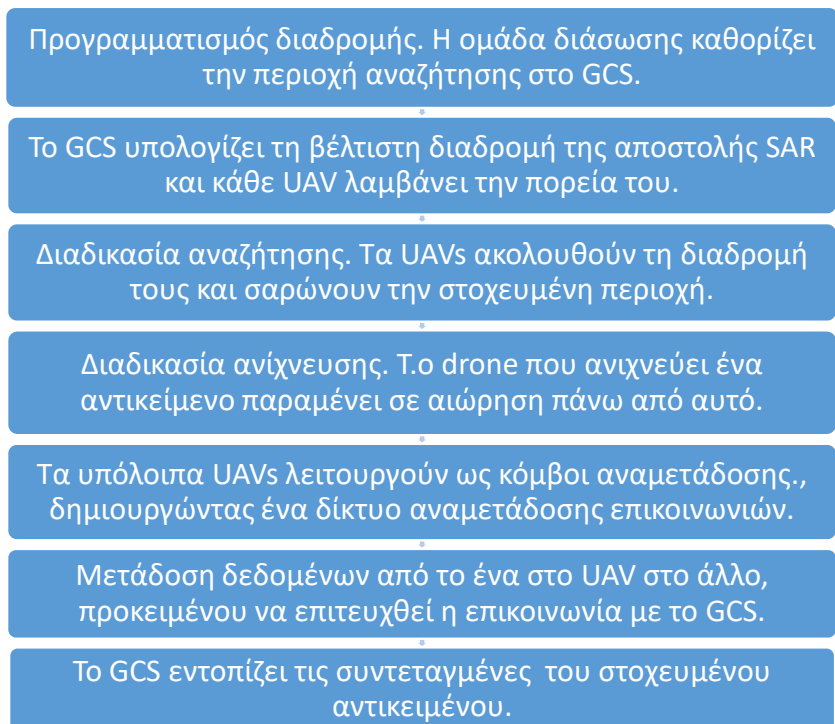
Επιπλέον, οι καταστροφές που επέρχονται από φυσικά φαινόμενα (π.χ. πλημμύρες, σεισμοί, τσουνάμι), αλλά και εκείνες που επέρχονται από μη φυσικά φαινόμενα (π.χ. τρομοκρατικές επιθέσεις) μπορεί να έχουν τεράστιες επιπτώσεις σε πολλές κρίσιμες υποδομές (από τα δίκτυα ύδρευσης και ενέργειας, μέχρι τα συστήματα μεταφοράς και τηλεπικοινωνιών) (Shakhatreh et al., 2019).

Οι επιπτώσεις αυτές απαιτούν την εύρεση άμεσων λύσεων για την παροχή επικοινωνίας με σκοπό την υποστήριξη των επιχειρήσεων διάσωσης (Hayat et al., 2016). Όταν τα δίκτυα επικοινωνιών καταρρέουν, τα drones μπορούν να συνδράμουν στην παροχή έγκαιρης προειδοποίησης για επερχόμενες καταστροφές ή να ενισχύσουν το έργο των ομάδων έρευνας και διάσωσης μέσα από την μεταφορά ιατρικής προμήθειας σε περιοχές που είναι δύσκολα προσπελάσιμες. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις καταστροφών, όπως η διαρροή δηλητηριωδών αερίων, οι πυρκαγιές, οι χιονοστιβάδες και οι έρευνες για επιζήσαντες ή αγνοούμενους, τα UAVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη

και την επιτάχυνση των επιχειρήσεων έρευνας και διάσωσης. Επιπλέον, τα UAVs μπορούν να παρέχουν γρήγορα κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής χωρίς ποτέ να διακινδυνεύσει η ασφάλεια του εμπλεκόμενου προσωπικού (Shakhatreh et al., 2019).

Ουσιαστικά δύο μοντέλα συστημάτων έρευνας και διάσωσης με τη χρήση UAVs υπάρχουν. Στο πρώτο, χρησιμοποιείται μόνο ένα UAV, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται ένα σμήνος από UAVs. Μια επιχείρηση έρευνας και διάσωσης με χρήση ενός drone, χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια. Στο πρώτο, μετά τον προσδιορισμό της περιοχής έρευνας από την ομάδα διάσωσης, ένα UAV εξοπλισμένο με οπτικές ή θερμικές κάμερες ξεκινά τη σάρωση της περιοχής. Στη συνέχεια, οι αεροφωτογραφίες και τα βίντεο που συγκεντρώθηκαν από το drone αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο στον επίγειο σταθμό ελέγχου. Κατόπιν, οι πληροφορίες αυτές αναλύονται από την ομάδα διάσωσης με σκοπό τη βέλτιστη οργάνωση των ενεργειών διάσωσης (Shakhatreh et al., 2019).

Στην περίπτωση σμήνους UAVs, χρησιμοποιούνται drones με ενσωματωμένους αισθητήρες απεικόνισης για τον εντοπισμό της θέσης των αγνοουμένων. Σε αυτή την περίπτωση, τα στάδια της επιχείρησης είναι περισσότερα και η σειρά αυτών απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα. (Shakhatreh et al., 2019).



Εικόνα 38: Στάδια λειτουργίας ενός σμήνους UAVs σε μία επιχείρηση έρευνας και διάσωσης.

4.6.1 Παραδείγματα έρευνας και διάσωσης με τη χρήση drones

Το 2006, δύο drones χρησιμοποιήθηκαν σε επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης ύστερα από τον καταστροφικό τυφώνα Κατρίνα (Waharte & Trigoni, 2010).

Στο project Alcedo, το οποίο ξεκίνησε το 2009, χρησιμοποιήθηκε ένα ελαφρύ Quadrotor εξοπλισμένο με ένα σύνολο εξαιρετικά εξελιγμένων αλγορίθμων εντοπισμού και πλοήγησης με σκοπό την υποβοήθηση στην εξεύρεση αγνοούμενων μέσα σε λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα (Silvagni et al., 2017).

Στο project Capstone, διερευνήθηκε η χρήση οχημάτων UAV για την υποστήριξη των επιχειρήσεων έρευνας και διάσωσης σε περιπτώσεις χιονοστιβάδων. Τα drones που χρησιμοποιήθηκαν, έκαναν χρήση θερμικής υπέρυθρης απεικόνισης και δεδομένων του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS - Geographic Information Systems). Σε περιπτώσεις χιονοστιβάδων, τα UAVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση θυμάτων ή αγνοούμενων (Shakhatreh et al., 2019).

Οι Jo και Kwon (2017) σχεδίασαν ένα UAV με δυνατότητα κάθετης απογείωσης και προσγείωσης. Στο drone προστέθηκε ένα προωθητικό σύστημα υψηλής ισχύος που επιτρέπει την ανύψωση φορτίων βάρους μέχρι 15 κιλών, τα οποία κάλλιστα θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν φάρμακα, τρόφιμα και νερό (Jo & Kwon, 2017).

Στις επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης στην Αιτή, ύστερα από τον καταστροφικό σεισμό των 7R στις 13/1/2010, ο οποίος προκάλεσε τον θάνατο 230.000 ανθρώπων και τεράστιες υλικές ζημιές, χρησιμοποιήθηκαν drones. Με τη χρήση αυτών, χαρτογραφήθηκε πολύ γρήγορα η περιοχή βοηθώντας τις ομάδες διάσωσης και τις αρχές να βελτιώσουν τις ζωές των θυμάτων (Καραμάνου & Γεωργιάδου, 2017).

Το Νοέμβριο του 2013, ο τυφώνας Χαϊγιάν (γνωστός ως Γιολάντα) έπληξε κυρίως τις Φιλιππίνες και θεωρείται ο ισχυρότερος τυφώνας που έχει καταγραφεί ποτέ σε ξηρά. Παρόλο που οι προετοιμασίες και οι έγκαιρες προειδοποιήσεις έσωσαν πολλές ζωές, 6.300 άνθρωποι πέθαναν και εκατομμύρια άλλοι χρειάστηκαν επείγουσα βοήθεια. Στις επιχειρήσεις που ακολούθησαν χρησιμοποιήθηκαν drones των εταιριών Danoffice και CorePhil DSI, τα οποία βοήθησαν στην δημιουργία ενημερωμένων χαρτών της περιοχής, στον προσδιορισμό των ελεύθερων δρόμων για παροχή βοήθειας, στην αξιολόγηση των ζημιών, εργασίες διάσωσης. Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν στη

συνέχεια από κυβερνητικές οργανώσεις των Φιλιππίνων και ανθρωπιστικές οργανώσεις για την παροχή βοήθειας (Καραμάνου & Γεωργιάδου, 2017).

4.6.2 Προκλήσεις

Οι προκλήσεις της χρήσης των drones σε εφαρμογές έρευνας και διάσωσης αφορούν την υφιστάμενη νομοθεσία, τις καιρικές συνθήκες και τους περιορισμούς ενέργειας.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η FAA δεν επιτρέπει επί του παρόντος τη χρήση σμήνους αυτόνομων UAVs για εφαρμογές εμπορικών σκοπών, κάτι το οποίο δύναται να αλλάξει στο εγγύς μέλλον, μέσω της τροποποίησης των υφιστάμενων κανονισμών. Κάτι τέτοιο προβλέπεται να πραγματοποιηθεί λόγω του ιδιαίτερα χρήσιμου συντονισμού που μπορούν να παρέχουν τα σμήνη UAVs στις επιχειρησιακές λειτουργίες των ομάδων έρευνας και διάσωσης (Smith, 2015).

Οι καιρικές συνθήκες αποτελούν πραγματική πρόκληση για τα drones καθώς μπορούν να ευθύνονται για ενδεχόμενη απόκλιση από τις προκαθορισμένες διαδρομές τους. Σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών (τσουνάμι, τυφώνες) ή ανθρωπογενών καταστροφών (τρομοκρατικές επιθέσεις), οι καιρικές συνθήκες αποτελούν πρωταρχική πρόκληση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα οχήματα UAV μπορεί να αποτύχουν στον σκοπό τους, ως αποτέλεσμα των δυσμενών καιρικών συνθηκών (Jordan, 2015).

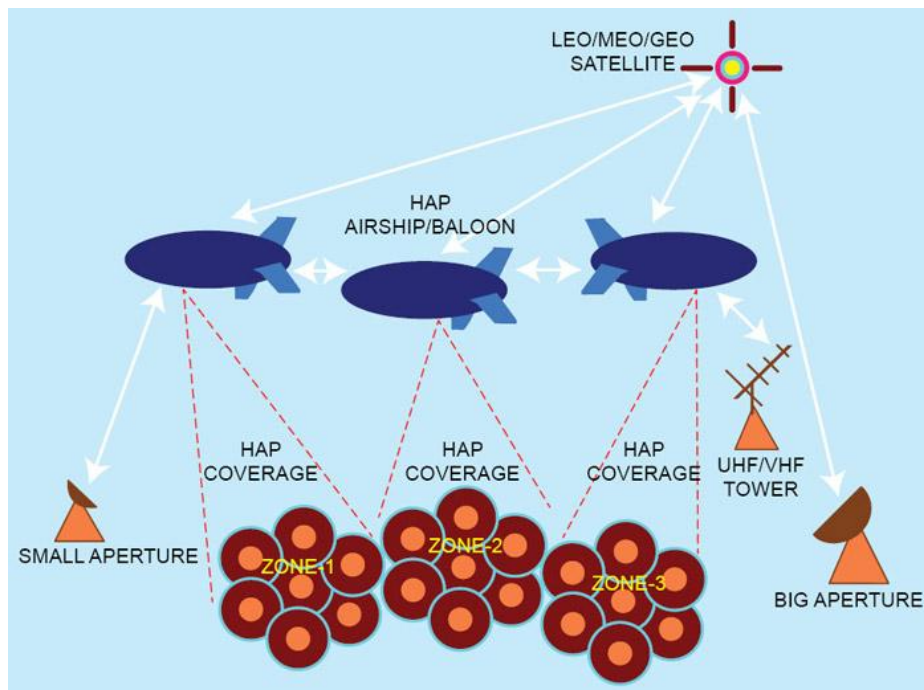
Η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί επίσης μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα UAVs, τα οποία συνήθως τροφοδοτούνται μέσω μπαταριών. Η ενέργεια που παρέχεται από τις μπαταρίες χρησιμοποιείται για την αιώρηση των drones, για την πραγματοποίηση ασύρματων επικοινωνιών, για την επεξεργασία και για την επί τους σκάφους ανάλυσή τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις επιχειρήσεων έρευνας και διάσωσης, τα drones πρέπει να λειτουργούν για παρατεταμένες χρονικές περιόδους πάνω από τις πληγείσες περιοχές. Λόγω των περιορισμών ισχύος, πρέπει να παίρνονται αποφάσεις σχετικά με το εάν τα UAVs θα πρέπει να αναλύουν τα δεδομένα επί του σκάφους και σε πραγματικό χρόνο ή θα πρέπει να τα αποθηκεύουν για μεταγενέστερη ανάλυση, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό την κατανάλωση ισχύος (Shakhatreh et al., 2019).

4.7 Παροχή ασύρματης κάλυψης

Η παροχή ασύρματης κάλυψης είναι ένα από τα πεδία στα οποία βρίσκουν ευρεία εφαρμογή τα drones, σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (π.χ. κατάρρευση του

κυψελοειδούς δικτύου λόγω μίας φυσικής καταστροφής) ή σε περιοχές που είναι αδύνατη η παροχή ασύρματης κάλυψης (απομακρυσμένες περιοχές με ορεινό ανάγλυφο). Στις περιπτώσεις αυτές ένα UAV μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναέριος ασύρματος σταθμός. Τα drones μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν παράλληλα με τους επίγειους σταθμούς του κυψελοειδούς δικτύου ώστε να παρέχεται στους χρήστες του δικτύου μεγαλύτερη κάλυψη και υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων (Shakhatreh et al., 2019).

Η χρήση UAVs τα οποία πετούν σε χαμηλό υψόμετρο δεν αποτελεί φυσικά τη μοναδική λύση στον τομέα της παροχής ασύρματης σύνδεσης, καθώς υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις μέσα από τη χρήση πλατφόρμων υψηλού υψομέτρου (HAPs - High-Altitude Platforms). Οι πλατφόρμες αυτές (σύγχρονα αερόστατα) βρίσκονται και λειτουργούν στη στρατόσφαιρα, δεκάδες χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης (Εικόνα 39).



Εικόνα 39: Αρχιτεκτονική μίας πλατφόρμας υψηλού υψομέτρου για παροχή σύνδεσης.

Οι επικοινωνίες με βάση τα HAPs παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις πλατφόρμες χαμηλού υψομέτρου (LAPs - Low-Altitude Platforms), οι οποίες βασίζονται στη χρήση UAVs, όπως ευρύτερη κάλυψη και μεγαλύτερη διάρκεια. Συνεπώς, σε περιπτώσεις πολύ μεγάλων γεωγραφικών περιοχών, προτιμώνται τα HAPs για την παροχή αξιόπιστης ασύρματης κάλυψης. Από την άλλη πλευρά, η χρήση UAVs για την παροχή ασύρματης σύνδεσης σε περιπτώσεις χαμηλού υψομέτρου (μερικών χιλιομέτρων πάνω από την επιφάνεια της Γης), παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με

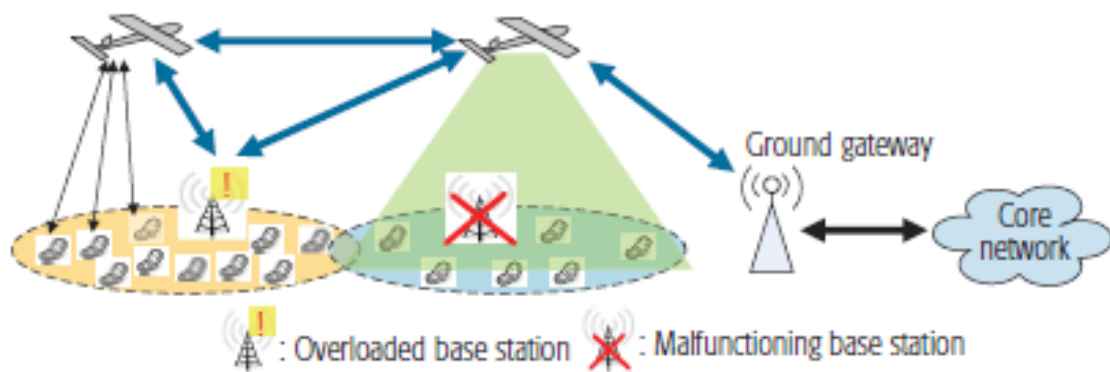
τεχνολογίες που βασίζονται είτε σε HAPs ή σε αυτές που βασίζονται σε επίγεια ή δορυφορικά συστήματα (Zeng et al., 2016).

Πιο συγκεκριμένα, η παροχή ασύρματης σύνδεσης με τη χρήση UAVs είναι πιο οικονομική και μπορεί να υλοποιηθεί πολύ πιο γρήγορα, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλη για έκτακτες ή χρονικά περιορισμένες περιπτώσεις. Επιπλέον, η δυνατότητα των UAVs να μετακινούνται γρήγορα, προσφέρει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της επικοινωνίας, καθώς εκείνα μπορούν να μετακινηθούν άμεσα και να μεταβούν στην τοποθεσία όπου η επικοινωνία βελτιστοποιείται. Τέλος, ο έλεγχος κινητικότητας ενός UAV σε συνδυασμό με την απόδοση της επικοινωνίας, μπορεί να συμβάλλει σε περαιτέρω βελτίωση αυτής. Για παράδειγμα, όταν ένα drone επιτυγχάνει υψηλής απόδοσης σύνδεση με τους τερματικούς σταθμούς εδάφους, εκτός από τη μετάδοση σε υψηλότερες ταχύτητες, μπορεί να μειώσει την ταχύτητά του ή να αιωρείται στην περιοχή αυτή προκειμένου να διατηρήσει καλή ασύρματη συνδεσιμότητα ώστε να μεταδώσει περισσότερα δεδομένα στους επίγειους τερματικούς σταθμούς (Zeng et al., 2016).

4.7.1 Χρήση drones για την παροχή ασύρματης κάλυψης

Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν drones για την παροχή ασύρματης κάλυψης. Η πρώτη περίπτωση αφορά τη χρήση των UAVs για πανταχού παρούσα κάλυψη (Εικόνα 40). Στην περίπτωση αυτή τα drones χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν το υπάρχον ασύρματο δίκτυο στην παροχή απρόσκοπτης κάλυψης ασύρματης σύνδεσης εντός της περιοχής εξυπηρέτησης. Η χρήση UAVs χαμηλού υψομέτρου (LAP) αποτελεί μία οικονομική λύση στην παροχή ασύρματης κάλυψης σε περιοχές με περιορισμένη κυψελοειδή υποδομή και σε έκτακτες περιπτώσεις, ενώ η χρήση UAVs υψηλού υψομέτρου παρέχει μία μακροπρόθεσμα βιώσιμη λύση για κάλυψη σε αυτές τις περιοχές (Mozaffari et al., 2019).

Δύο παραδείγματα της περίπτωσης αυτής είναι η ταχεία ανάκτηση ασύρματων υπηρεσιών μετά από φυσικές καταστροφές και η μη διαθεσιμότητα ή μη δυνατότητα των υπηρεσιών κυψελοειδούς δικτύου να εξυπηρετήσουν όλους τους χρήστες (Zeng et al., 2016).



Εικόνα 40: Παροχή πανταχού παρούσας κάλυψης.

Φυσικές καταστροφές, όπως σεισμοί, πλημμύρες, τυφώνες, ανεμοστρόβιλοι και χιονοθύελλες συχνά επιφέρουν καταστροφικές συνέπειες σε πολλές χώρες. Κατά τη διάρκεια των φυσικών καταστροφών, τα υφιστάμενα επίγεια δίκτυα επικοινωνιών μπορεί να υποστούν μερική ή ολική καταστροφή, καθιστώντας έτσι αδύνατη την επικοινωνία. Σε τέτοια σενάρια, η ανάγκη για επικοινωνία είναι ζωτικής σημασίας, κυρίως σε επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Κατά συνέπεια, η γρήγορη ανάπτυξη ενός αξιόπιστου δικτύου επικοινωνίας έκτακτης ανάγκης είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική επικοινωνία. Ένα τέτοιο αξιόπιστο σύστημα επικοινωνίας όχι μόνο θα συμβάλει στη βελτίωση της συνδεσιμότητας, αλλά και στην εξοικονόμηση ζωών.

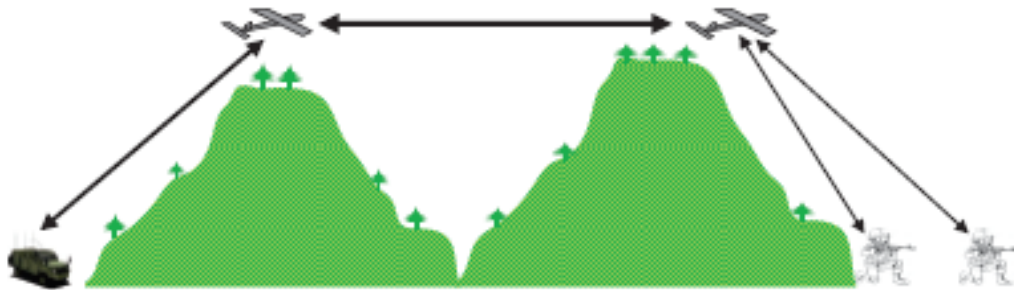
Λαμβάνοντας, όλα τα παραπάνω υπόψη, το 2012 στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, ιδρύθηκε η FirstNet η οποία είχε ως σκοπό τη δημιουργία ενός ευρυζωνικού δικτύου εθνικής και υψηλής ταχύτητας για την επικοινωνία δημόσιας ασφάλειας. Οι δυνητικές ευρυζωνικές ασύρματες τεχνολογίες για σενάρια δημόσιας ασφάλειας περιλαμβάνουν τεχνολογίες 4G (LTE), WiFi, τις δορυφορικές επικοινωνίες και τα ειδικά συστήματα δημόσιας ασφάλειας όπως το TETRA και το APCO25. Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες μπορεί να μην παρέχουν ιδιαίτερη ευελιξία, μικρή καθυστέρηση και γρήγορη προσαρμογή κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών. Συνεπώς, η χρήση δικτύων βασισμένων σε UAVs είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για την παροχή γρήγορων, ευέλικτων και αξιόπιστων ασύρματων επικοινωνιών σε σενάρια δημόσιας ασφάλειας. Με δεδομένο ότι τα UAVs δεν απαιτούν δαπανηρές και χρονοβόρες υποδομές (π.χ. καλώδια) και μπορούν εύκολα να πετάξουν, αλλάζοντας γρήγορα τοποθεσία για να παρέχουν επικοινωνίες κατά παραγγελία στους χρήστες εδάφους σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Στην πραγματικότητα, λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών των UAV, όπως η κινητικότητα, η ευέλικτη ανάπτυξη και η γρήγορη αναπροσαρμογή, μπορούν να δημιουργήσουν

αποτελεσματικά δίκτυα επικοινωνίας δημόσιας ασφάλειας. Για παράδειγμα, τα UAV μπορούν να αναπτυχθούν ως σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας για την παροχή ευρυζωνικής σύνδεσης σε περιοχές με κατεστραμμένη επίγεια ασύρματη υποδομή. Επιπλέον, τα αεροσκάφη μπορούν να κινούνται συνεχώς για να παρέχουν πλήρη κάλυψη σε μια δεδομένη περιοχή εντός ενός ελάχιστου δυνατού χρόνου. Ως εκ τούτου, η χρήση σταθμών βάσης UAV μπορεί να αποτελέσει την κατάλληλη λύση για γρήγορη και πανταχού παρούσα συνδεσιμότητα σε σενάρια δημόσιας ασφάλειας (Mozaffari et al., 2019).

Στη Νέα Ορλεάνη ύστερα από τον καταστροφικό τυφώνα Κατρίνα το 2005, ο οποίος προκάλεσε την κατάρρευση των δικτύων επικοινωνιών, η εταιρεία Verizon, τοπικός πάροχος δικτύου κινητής τηλεφωνίας, παρείχε τη δυνατότητα στις ομάδες διάσωσης καθώς και στο γενικό πληθυσμό δυνατότητα επικοινωνίας μέσα από τη χρήση drones (Tanzi et al., 2016).

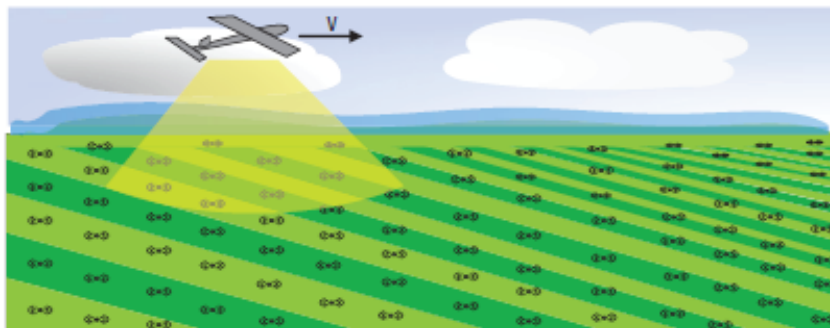
Στην περίπτωση της μη διαθεσιμότητας ή μη δυνατότητας των υπηρεσιών κυψελοειδούς δικτύου να εξυπηρετήσουν όλους τους χρήστες, η χρήση drones ίσως να αποτελεί την πλέον αποδοτική και οικονομικά βιώσιμη λύση, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που απαιτείται η παροχή ασύρματης σύνδεσης σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα και για μικρό χρονικό διάστημα (π.χ. σε ένα γεμάτο από θεατές στάδιο, κατά τη διάρκεια ενός αθλητικού γεγονότος) (Mozaffari et al., 2019). Drones σταθερών πτερυγίων και VTOL, όπως τα Viking και FALCON Quadrotor, αποτελούν την πλέον κατάλληλη λύση (Shakhatreh et al., 2019). Οι AT&T και Verizon έχουν ήδη ανακοινώσει πως σχεδιάζουν να χρησιμοποιήσουν drones προκειμένου να παρέχουν απρόσκοπτη ασύρματη σύνδεση στους θεατές τόσο του Super Bowl όσο και του Εθνικού Κολεγιακού πρωταθλήματος ποδοσφαίρου (Mozaffari et al., 2019).

Η δεύτερη περίπτωση αφορά τη χρήση των οχημάτων UAVs ως κόμβους αναμετάδοσης. Η χρήση αυτή αποσκοπεί στην παροχή ασύρματης σύνδεσης μεταξύ δύο ή περισσότερων απομακρυσμένων ασύρματων συσκευών, χωρίς άμεση αξιόπιστη επικοινωνιακή ζεύξη (π.χ. σε μία επιχείρηση έκτακτης ανάγκης, η επικοινωνία μεταξύ της πρώτης γραμμής και του κέντρου εντολών) (Εικόνα 41) (Zeng et al., 2016).



Εικόνα 41: Παροχή ασύρματης σύνδεσης μεταξύ δύο ή περισσότερων απομακρυσμένων ασύρματων συσκευών, χωρίς αξιόπιστη άμεση επικοινωνιακή ζεύξη.

Η επόμενη περίπτωση αφορά τη χρήση των drones ως μονάδες συλλογής δεδομένων και μετάδοσης πληροφοριών. Η περίπτωση αυτή αφορά τη συγκέντρωση πληροφοριών που παρουσιάζουν ανοχή στην καθυστέρηση, από ένα μεγάλο αριθμό κατανεμημένων ασύρματων συσκευών. Με την ταχεία ανάπτυξη των εφαρμογών του IoT και μέσα από τη χρήση αισθητήρων, είναι εύκολη πλέον η συλλογή δεδομένων, τα οποία μέσα από την κατάλληλη επεξεργασία οδηγούν στην λήψη των ορθότερων αποφάσεων (Aggarwal et al., 2019). Παράδειγμα αποτελεί η συλλογή δεδομένων με τη χρήση drones από τους ασύρματους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας (Εικόνα 42) (Zeng et al., 2016) αλλά και σε άλλες εφαρμογές.



Εικόνα 42: Συλλογή δεδομένων μέσα από τη χρήση drones.

Η τελευταία περίπτωση αφορά τη χρήση των οχημάτων UAV για παγκόσμια κάλυψη. Η δορυφορική επικοινωνία των UAVs αποτελεί βασικό στοιχείο για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου δικτύου μεταξύ διαστήματος, αέρα και εδάφους, για την παροχή δεδομένων υψηλών ταχυτήτων οπουδήποτε, οποτεδήποτε και απρόσκοπτα (Shakhatreh et al., 2019).

4.7.2 Προκλήσεις

Παρά τα πολλά υποσχόμενα οφέλη, η παροχή ασύρματης κάλυψης με τη χρήση Drones αντιμετωπίζει αρκετές νέες προκλήσεις, οι σημαντικότερες των οποίων είναι οι παρακάτω (Zeng et al., 2016).

Πρώτον, πέραν των συνηθισμένων επικοινωνιακών ζεύξεων που συναντάμε στα επίγεια συστήματα, σε σύστημα UAVs απαιτούνται συνδέσεις επιπρόσθετων επικοινωνιών ελέγχου και μη ωφέλιμων φορτίων (CNPC - Control and Non-Payload Communications) με πολύ αυστηρότερες απαιτήσεις όσον αφορά την ασφάλεια και τον χρόνο απόκρισης, ώστε να υποστηριχθούν με επιτυχία κρίσιμες λειτουργίες που αφορούν την ασφάλεια, όπως ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο και η αποφυγή συγκρούσεων κατά την μετάδοση δεδομένων και η κατάρρευση του δικτύου. Αυτό απαιτεί πιο αποτελεσματικούς μηχανισμούς διαχείρισης πόρων και ασφάλειας ειδικά σχεδιασμένους για συστήματα επικοινωνίας UAV.

Εκτός αυτού, το περιβάλλον υψηλής κινητικότητας των συστημάτων UAV γενικά έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό αραιών και διαρκώς μεταβαλλόμενων τοπολογιών δικτύου. Ως αποτέλεσμα, είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν αποτελεσματικά συστήματα συντονισμού πολλαπλών UAVs ή λειτουργίες που αφορούν σμήνος από UAVs, προκειμένου να εξασφαλιστεί αξιόπιστη συνδεσιμότητα δικτύου. Τα νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας θα πρέπει να σχεδιάζονται επίσης λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα αραιής και διακοπτόμενης σύνδεσης στο δίκτυο.

Μια άλλη κύρια πρόκληση προέρχεται από τους περιορισμούς μεγέθους, βάρους και ενέργειας των UAVs, οι οποίοι θα μπορούσαν να περιορίσουν την επικοινωνία, τις δυνατότητες υπολογισμού τους καθώς και τη διάρκεια πτήσης τους. Για την αντιμετώπιση τέτοιων ζητημάτων απαιτούνται μηχανισμοί για την έξυπνη διαχείριση της ενέργειας καθώς και τρόποι ανανέωσης της ενέργειας των drones.

Τέλος, εξαιτίας της κινητικότητας των UAVs καθώς και της έλλειψης σταθερών οπτικών συνδέσεων και κεντρικού ελέγχου, ο περιορισμός των παρεμβολών μεταξύ των γειτονικών κυψελοειδών δικτύων και των δικτύων που σχηματίζονται με τη χρήση UAVs αποτελεί μία ακόμη πρόκληση. Αποτελεσματικές τεχνικές διαχείρισης παρεμβολών ειδικά σχεδιασμένες για τέτοιου είδους δίκτυα απαιτείται.

5 Προκλήσεις Προστασίας της Ιδιωτικότητας

5.1 Προστασία προσωπικών δεδομένων

Πολλοί μελετητές έχουν επικρίνει την εισαγωγή νέων τεχνολογικών καινοτομιών, όπως τα drones, όσον αφορά τη διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής τους από τον καθαρά στρατιωτικό τομέα, σε άλλους βιομηχανικούς και εμπορικούς τομείς (Finn & Wright, 2012). Η χρήση τους έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον μεγάλου πλήθους εμπειρογνομώνων του τεχνολογικού τομέα, καθώς δείχνει να δημιουργεί πολλές προκλήσεις σχετικά με τις ατομικές ελευθερίες, όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται σε έγγραφο εργασίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Harrison, 2013). Οι ειδικοί στον τομέα της ιδιωτικότητας ισχυρίζονται ότι η ιδιωτικότητα είναι μια περίπλοκη έννοια, η οποία δεν έχει σαφή ορισμό, αλλά συνήθως αποτελείται από ποικίλες διαστάσεις όπως “ιδιωτικότητα του ατόμου, ιδιωτικότητα των προσωπικών δεδομένων, ιδιωτικότητα της προσωπικής συμπεριφοράς και της προσωπικής επικοινωνίας” (Solove, 2008). Η ιδιωτικότητα σχετίζεται συνήθως με την προστασία των προσωπικών δεδομένων και αποτελεί θέμα των ανθρωπίνων δικαιωμάτων.

Στη μελέτη τους, οι Finn και Wright (2012), αναφέρουν τις προκλήσεις που δημιουργεί η χρήση των drones σε εφαρμογές επιτήρησης στην ιδιωτικότητα. Οι συγγραφείς αποκαλύπτουν ότι, στα πλαίσια της ΕΕ, τα θέματα της προστασίας της ιδιωτικότητας δεν λαμβάνουν την πρέπουσα προσοχή από τα νομοθετικά ρυθμιστικά όργανα όσον αφορά τη χρήση των drones, εξαιτίας των πολλαπλών τεχνολογιών που περιλαμβάνουν (Finn & Wright, 2012)..

Το 2016, οι ίδιοι συγγραφείς ασχολήθηκαν με τα θέματα της ιδιωτικότητας, της προστασίας των προσωπικών δεδομένων και της δεοντολογίας που απορρέουν από τη χρήση της τεχνολογίας των drones. Αναφέρουν ότι η βιομηχανία των drones, λόγω των εμπορικών εφαρμογών τους που ελέγχονται από ιδιωτικούς φορείς, θέτει σε κίνδυνο την προστασία της ιδιωτικότητας, των προσωπικών δεδομένων και της δεοντολογίας. Οι προκλήσεις αυτές οφείλονται στην έλλειψη γνώσης και στην “αδιαφορία” ως προς το σχετικό κανονιστικό πλαίσιο της ΕΕ (Finn & Wright, 2016). Οι συγγραφείς, εξετάζοντας τις σχέσεις μεταξύ των drones και της προστασίας της ιδιωτικότητας, των προσωπικών δεδομένων και της δεοντολογίας, αναφέρουν ότι ο όρος ιδιωτικότητα συχνά συνδέεται με την τοποθεσία, τη συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του σώματος. Η ιδιωτικότητα

αυτή συχνά επηρεάζεται και από τη στάση των χειριστών των drones. Στη μελέτη, υπογραμμίζεται ότι με τη βοήθεια ενός drone, οι χειριστές των drones μπορούν να αντλήσουν μεγάλο πλήθος πληροφοριών σχετικά με τη θέση κάποιου, τις συνήθειές του και την εξωτερική του εμφάνιση, στοιχεία τα οποία συχνά αποθηκεύονται και μεταφορτώνονται στο Διαδίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο, και με τη βοήθεια των drones, οι χειριστές καθώς και οι ιδιωτικοί φορείς μπορούν να αντλήσουν, τις περισσότερες φορές ακόμα και ακούσια, προσωπικές πληροφορίες και δεδομένα, θέτοντας σε κίνδυνο θεμελιώδη δικαιώματα όπως η προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων, όπως κωδικοποιούνται στα άρθρα 7 και 8 του Χάρτη των Θεμελιωδών Δικαιωμάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Kindt, 2016).

Η χρήση των drones από μόνη της δεν προκαλεί κανένα πρόβλημα, αλλά οι εφαρμογές τους μπορούν να δημιουργήσουν ζητήματα όσον αφορά το δικαίωμα της ιδιωτικότητας του ατόμου. Ο λόγος είναι ένας και βασικός. Λόγω των δυνατοτήτων τους, ειδικά τα ελαφριά drones, μπορούν να πετάξουν ακόμα και σε μέρη που δεν έχουν καμία απολύτως νόμιμη πρόσβαση, όπως είναι ένα κτίριο. Στην περίπτωση αυτή, ο κόσμος εντός των κτιρίων δεν είναι σε θέση να γνωρίζει ότι καταγράφεται και δεν μπορεί να ελέγξει την επεξεργασία των βίντεο/ήχου. Επομένως, αυτό που προέχει είναι τα δεδομένα που συλλέγονται με τη χρήση της τεχνολογίας των drones να μην δημιουργούν προκλήσεις σε θέματα ιδιωτικότητας. Είναι επίσης ζωτικής σημασίας οι χειριστές και οι φορείς εκμετάλλευσης να γνωρίζουν αυτές τις προκλήσεις όσον αφορά την προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων. Όσον αφορά τη συλλογή προσωπικών δεδομένων μέσω καμερών ή άλλου τύπου αισθητήρων που είναι εγκατεστημένοι στο drone και με βάση την ισχύουσα νομοθεσία προστασίας δεδομένων, αν δεν έχει προηγηθεί συναίνεση, δεν έχουν παρθεί τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας ή δεν υπάρχει ανωνυμοποίηση δεδομένων, αυτός ο τύπος επιτήρησης όχι μόνο δεν είναι αποδεκτός αλλά φτάνει στο όριο της παρανομίας. Φυσικά οι χειριστές των drones, τις περισσότερες φορές δεν είναι εύκολο να έχουν τη συνειδητή συναίνεση του κόσμου σχετικά με τη συλλογή των προσωπικών τους δεδομένων. Επομένως, η όποια συλλογή δεδομένων εκμεταλλεύεται τα κενά της νομοθεσίας σχετικά με την τεχνολογία των drones. Οι χειριστές δεν υποχρεούνται να ενημερώσουν αλλά ούτε και να ειδοποιήσουν κανένα σχετικά με τη χρήση drone σε κάποια εφαρμογή. Κάτι τέτοιο αποτελεί έλλειψη ελέγχου σε

θέματα που αφορούν την προστασία της ιδιωτικότητας και της συλλογής προσωπικών δεδομένων.

Επιπλέον, οι χειριστές που συλλέγουν προσωπικά δεδομένα χρησιμοποιώντας drones πρέπει στη συνέχεια να τα αποθηκεύουν με ασφάλεια. Για τέτοιου είδους δεδομένα, συνιστάται η χρήση κάποιου είδους κρυπτογράφησης, έτσι ώστε να έχουν πρόσβαση μόνο άτομα με συγκεκριμένο κλειδί αποκρυπτογράφησης ή κωδικό πρόσβασης. Αυτοί οι τύποι νομικών ζητημάτων που σχετίζονται με την τεχνολογία των drones εμφανίζουν μεγάλη ομοιότητα με αυτά που αντιμετώπισε η υπηρεσία Google Street View Car. Η μόνη διαφορά είναι ότι, στην περίπτωση του Google Car, ο κόσμος είχε γνώση του αυτοκινήτου καθώς το έβλεπε να κινείται στους δρόμους και μπορούσε να λάβει τα μέτρα του. Εκτός αυτού, ήταν προφανές ότι το αυτοκίνητο συνέλλεγε εικόνες, λόγω της τεράστιας κάμερας που ήταν τοποθετημένη στην οροφή του. Επίσης, στην περίπτωση του Google Car, ο κόσμος είχε τη δυνατότητα να καταθέσει καταγγελίες στην αστυνομία ή να προσφύγει σε παράπονα στην εταιρεία βάσει των πινακίδων κυκλοφορίας του αυτοκινήτου. Παρόλο της ομοιότητάς της, δεδομένου ότι τόσο το Google Car όσο και το drone είναι εφοδιασμένα με κάμερες που συλλέγουν προσωπικά δεδομένα, η περίπτωση των drones φαίνεται να είναι πιο προβληματική από την άποψη ότι ένα drone δεν μπορεί να εντοπιστεί από τον κόσμο. Εκτός αυτού, σε περίπτωση ατυχήματος, τα drones δεν είναι ασφαλισμένα, καθιστώντας αδύνατη την αποζημίωση των ατόμων ή των αντικειμένων (Jones, 2017).

5.1.1 Η έννοια της ιδιωτικότητας

Πολλοί εμπειρογνώμονες του τομέα της ιδιωτικότητας στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν την έννοια του όρου, έχουν παρουσιάσει διαφορετικούς ορισμούς της ιδιωτικότητας (Solove, 2008). Σύμφωνα με τη μελέτη των Finn και Wright σχετικά με την προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων, υπάρχουν επτά διαστάσεις της ιδιωτικότητας που πρέπει να ληφθούν υπόψη όσον αφορά εργαλεία υψηλής τεχνολογίας όπως τα drones. Οι διαστάσεις αυτές αφορούν την ιδιωτικότητα του ατόμου, την ιδιωτικότητα της συμπεριφοράς, την ιδιωτικότητα της προσωπικής επικοινωνίας, την ιδιωτικότητα δεδομένων και εικόνας, την ιδιωτικότητα σκέψεων και συναισθημάτων, την ιδιωτικότητα της τοποθεσίας και, τέλος, το ιδιωτικό απόρρητο (Finn & Wright, 2016).

Ξεκινώντας από την πρώτη διάσταση της έννοιας, η ιδιωτικότητα του ατόμου συνδέεται με το δικαίωμα του ατόμου να διατηρεί σε προσωπικό επίπεδο τα χαρακτηριστικά του σώματός του. Δεύτερον, η ιδιωτικότητα της συμπεριφοράς αναφέρεται στην ελευθερία

του ατόμου να συμπεριφέρεται ελεύθερα χωρίς να υποβάλλεται σε κανενός είδους παρατήρηση. Τρίτον, το απόρρητο της προσωπικής επικοινωνίας περιλαμβάνει όλες τις μορφές επικοινωνίας, όπως μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, τηλεφωνήματα, SMS, επιστολές κ.λπ. Μια άλλη διάσταση είναι η ιδιωτικότητα δεδομένων και εικόνας, που συνήθως αναφέρεται ως προστασία δεδομένων, η οποία προστατεύει τα προσωπικά δεδομένα των ατόμων. Επιπλέον, υπάρχει η ιδιωτικότητα σκέψεων και συναισθημάτων, σύμφωνα με την οποία τα άτομα είναι ελεύθερα να κρατούν τις σκέψεις και τα συναισθήματά τους για τους ίδιους χωρίς να τα μοιράζονται με άλλους. Η έκτη διάσταση της ιδιωτικότητας, σύμφωνα με τους Finn και Wright αφορά την ιδιωτικότητα της τοποθεσίας και επιτρέπει στους ανθρώπους να αλλάζουν τη θέση τους από το ένα μέρος στο άλλο, χωρίς να παρακολουθούνται. Τέλος, το ιδιωτικό απόρρητο ασχολείται με θέματα που αφορούν την ελευθερία των ατόμων να συγκεντρώνονται σε ομάδες (Finn & Wright, 2016).

5.1.2 Η έννοια της προστασίας των προσωπικών δεδομένων

Η έννοια της προστασίας των προσωπικών δεδομένων είναι μια μάλλον νέα αντίληψη, καθώς προέκυψε από την εφεύρεση και την ευρεία χρήση των προσωπικών υπολογιστών. Δεδομένου ότι η έννοια της ιδιωτικότητας, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα, είναι αρκετά περίπλοκη, αναπτύχθηκε η έννοια της προστασίας των προσωπικών δεδομένων, σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης όλων των προκλήσεων που προέκυψαν και προκύπτουν συνεχώς τα τελευταία χρόνια, από τις τεχνολογικές εξελίξεις σε όλους τους τομείς. Η έννοια της προστασίας των προσωπικών δεδομένων δημιουργήθηκε με σκοπό την προστασία των ατόμων από ενδεχόμενες καταχρήσεις αρχών ή ιδιωτών όσον αφορά τη συλλογή, επεξεργασία και αποθήκευση των προσωπικών τους δεδομένων.

Αν και η προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων ομοιάζουν σε κάποιο βαθμό, ουσιαστικά διαφέρουν επειδή η έννοια της προστασίας της ιδιωτικότητας είναι πολύ ευρεία, ενώ η προστασία των προσωπικών δεδομένων ορίζεται καλύτερα, όπως θα φανεί και από το επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

Δεδομένου ότι η ΕΕ επιδιώκει να προωθήσει τις αξίες της, η χρήση των drones στις εφαρμογές που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι απαραίτητο να μπει σε ένα κανονιστικό πλαίσιο με τέτοιο τρόπο που να μην παρεμβαίνει στα θεμελιώδη δικαιώματα του ατόμου, ιδίως όσον αφορά την προστασία της ιδιωτικότητας και των

προσωπικών του δεδομένων. Το κανονιστικό πλαίσιο που προστατεύει αυτά τα θεμελιώδη δικαιώματα στην ΕΕ αποτελείται από το ευρωπαϊκό αλλά και το εθνικό δίκαιο.

5.1.3 Νομοθεσία που εφαρμόζεται στην ΕΕ

Η έννοια της προστασίας των προσωπικών δεδομένων κέντρισε το ενδιαφέρον πολλών μελετητών και αποτέλεσε αντικείμενο πολλών νομικών μέσων (legal instruments). Τον Απρίλιο του 2014, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπέβαλε ένα έγγραφο που περιλάμβανε νέα μέτρα όσον αφορά τη χρήση των drones. Στόχος αυτών των νέων μέτρων ήταν η διασφάλιση της ασφάλειας, της προστασίας της ιδιωτικότητας και της προστασίας των προσωπικών δεδομένων των πολιτών της ΕΕ. Τον Ιούνιο του 2015, κατατέθηκε έκθεση στην Επιτροπή Μεταφορών και Τουρισμού σχετικά με την ασφαλή χρήση των drones, η οποία δύο μήνες αργότερα, στις 29 Οκτωβρίου 2015, εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Ένα χρόνο αργότερα, στις 8 Δεκεμβρίου 2015, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε την αναθεωρημένη έκδοση του Βασικού Κανονισμού 216/2008 του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Ασφάλειας της Αεροπορίας (EASA - European Aviation Safety Agency), προκειμένου να παράσχει κανόνες ασφαλείας στους χειριστές των drones. Μέσα στον ίδιο μήνα, ο EASA δημοσίευσε μια Τεχνική Γνωμοδότηση σχετικά με τη νομοθεσία των εφαρμογών χαμηλού κινδύνου των συστημάτων UAS, η οποία είναι πολύ πιθανό να τροποποιηθεί. Αν και ορισμένα κράτη μέλη της ΕΕ, όπως η Ολλανδία, η Γερμανία, η Πολωνία και η Ρουμανία, έχουν ήδη λάβει ορισμένα μέτρα στον τομέα αυτό, θα πρέπει να συμμορφωθούν με τη νέα νομοθεσία της ΕΕ. Αργότερα τον Απρίλιο του 2016, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε νέο κανονισμό και οδηγία για την προστασία των δεδομένων, τα οποία στις 4 Μαΐου 2016 δημοσιεύθηκαν επίσημα στην Επίσημη Εφημερίδα της ΕΕ. Ο Κανονισμός 2016/679 σχετικά με την επεξεργασία των προσωπικών δεδομένων τέθηκε σε ισχύ στις 24 Μαΐου 2016 και εφαρμόζεται από τις 25 Μαΐου 2018. Η Οδηγία 2016/680 για την προστασία των φυσικών προσώπων, όσον αφορά την επεξεργασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα από τις αρμόδιες αρχές, τέθηκε σε ισχύ στις 5 Μαΐου 2016. Όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ πρέπει να συντάξουν νόμους εθνικού επιπέδου, που να βασίζονται σε αυτή την οδηγία της ΕΕ το αργότερο έως τις 6 Μαΐου 2018.

Επιπρόσθετα, το Άρθρο 8 της Σύμβασης για τα Ανθρώπινα Δικαιώματα του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου εξασφαλίζει στους πολίτες της ΕΕ το δικαίωμα σεβασμού της “ιδιωτικής και οικογενειακής τους ζωής, της κατοικίας τους και της αλληλογραφίας τους”. Τα

δικαιώματα που εγγυάται το Άρθρο 8 είναι τα ίδια με αυτά που κωδικοποιούνται στο Άρθρο 7 του Χάρτη Θεμελιωδών Δικαιωμάτων της ΕΕ. Σύμφωνα με το άρθρο 52 παράγραφος 3, το δικαίωμα αυτό είναι το ίδιο με το αντίστοιχο άρθρο του Ευρωπαϊκού Δικαστηρίου Ανθρωπίνων Δικαιωμάτων (ECHR - European Court of Human Rights).

Το Άρθρο 8 του Χάρτη Θεμελιωδών Δικαιωμάτων της ΕΕ αφορά την προστασία των προσωπικών δεδομένων. Η προστασία των προσώπων στο πλαίσιο της επεξεργασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα κωδικοποιείται επίσης στη Σύμβαση 108 του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου. Η Σύσταση R (87)15 της Επιτροπής Υπουργών ασχολείται με περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται προσωπικά δεδομένα στον αστυνομικό τομέα. Τα προσωπικά δεδομένα προστατεύονται επίσης από τη Σύσταση CM/Rec (2010)13 της Επιτροπής Υπουργών.

Η Οδηγία 95/46/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 24ης Οκτωβρίου 1995 αναφέρει ότι τα άτομα προστατεύονται όσον αφορά την επεξεργασία των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και την ελεύθερη κυκλοφορία των δεδομένων αυτών. Στις 27 Νοεμβρίου 2008 τέθηκε σε ισχύ η Απόφαση-Πλαίσιο 2008/977/JHA του Συμβουλίου, η οποία προστατεύει τα δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα που εξετάζονται σε ποινικές υποθέσεις. Οι αποφάσεις και οι οδηγίες βασίστηκαν στον Κανονισμό (EC) 45/2001 της 18ης Δεκεμβρίου 2000 (επεξεργασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα από τους οργανισμούς της ΕΕ) και στην Οδηγία 2002/58/EC της 12ης Ιουλίου 2002, γνωστή και ως Οδηγία “ιδιωτικότητα και ηλεκτρονικές επικοινωνίες”. Η Οδηγία 95/46/EC μπορεί να εφαρμοστεί στο πλαίσιο της επεξεργασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα που συλλέγονται από drones, τόσο από ιδιωτικούς όσο και από δημόσιους φορείς. Εάν τα προσωπικά δεδομένα δημοσιοποιούνται στα κοινωνικά δίκτυα, σύμφωνα με την Οδηγία αυτή, αυτοί που έκαναν την κοινοποίηση μπορούν να προσαχθούν στο δικαστήριο. Τα προσωπικά δεδομένα που συλλέγονται από δημόσιους χώρους δεν αποτελούν εξαίρεση αυτής της Οδηγίας και, ως εκ τούτου, εμπίπτουν στον νόμο της ΕΕ για την προστασία των δεδομένων.

Υπάρχουν περισσότερα άρθρα και οδηγίες που εγγυώνται την προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων των ιδιωτών όσον αφορά τη χρήση των drones, όπως το Άρθρο 4, παράγραφος 2, TEU ή οι εξαιρέσεις που προβλέπονται στο Άρθρο 9 και στην Αιτιολογική Σκέψη 17 της Οδηγίας 95/46/EC, που όμως δεν ισχύουν

για ιδιώτες, αλλά για σκοπούς μέσω ενημέρωσης και δημοσιογράφων, εθνικές υπηρεσίες πληροφοριών ή για εμπορικούς/επαγγελματικούς σκοπούς.

5.2 Κίνδυνοι ιδιωτικότητας

Οι σπουδαιότεροι κίνδυνοι που αντιμετωπίζει η ιδιωτικότητα των πολιτών από τη χρήση των drones, αφορούν την υπέρβαση λειτουργίας, την ελευθερία συμπεριφοράς, την απανθρωποίηση, την υποχρέωση λογοδοσίας και το απόρρητο θέσης.

Σύμφωνα με τον R. Clarke (2014), το φαινόμενο της υπέρβασης λειτουργίας συμβαίνει όταν τα drones χρησιμοποιούνται για σκοπούς εκτός αυτών που προορίζονται. Για παράδειγμα, οι κτηματομεσίτες ή οι ιδιωτικοί φορείς αγοράζουν ένα drone για τη βιντεοσκόπηση αυτού που θέλουν να πουλήσουν, όπως ένα διαμέρισμα, στούντιο, σπίτι, κτίριο κ.α., αλλά και να παρουσιάσουν τη γειτονιά για να ενισχύσουν τις πιθανότητες πώλησής τους. Αυτό σημαίνει ότι άτομα, οχήματα και σπίτια καταγράφονται επίσης σε βίντεο χωρίς τη συγκατάθεσή τους (Clarke, 2014). Ένα άλλο παράδειγμα αποτελεί η χρήση των drones από την αστυνομία για εφαρμογές επιτήρησης και παρακολούθησης, στις οποίες καταγράφονται βίντεο και λαμβάνονται εικόνες για την άντληση πληροφοριών σχετικά με τροχαία ατυχήματα ή εγκλήματα. Εκτός αυτού, στα αρχεία που λαμβάνονται μέσω των drones, η αστυνομία μπορεί επίσης να εντοπίσει οχήματα που υπερβαίνουν το όριο ταχύτητας, με βάση τους αριθμούς των πινακίδων τους. Αυτή η χρήση των drones, δεν αποτελεί το βασικό σκοπό χρήσης της και επομένως υπερβαίνει τη λειτουργία τους (Finn & Wright, 2016).

Σύμφωνα με τη μελέτη των Finn και Wright (2016), οι άνθρωποι που γνωρίζουν ότι παρακολουθούνται, αρχίζουν να συμπεριφέρονται διαφορετικά από ότι συνήθως. Η περίπτωση των drones δεν αποτελεί εξαίρεση αυτής της παρατήρησης, η οποία έχει αποδειχθεί επιστημονικά από φιλοσόφους όπως ο J. Bentham και ο M. Foucault (Finn & Wright, 2016). Το πρόβλημα της παρακολούθησης αμφισβητεί το δικαίωμα των ατόμων να ασκούν τις πολιτικές τους ελευθερίες. Για παράδειγμα, μια οικογένεια που έχει προσκαλέσει τους φίλους της για να ψήσουν στην αυλή του σπιτιού της, παρατηρεί ότι ένα drone τους παρακολουθεί. Από τη στιγμή που τα άτομα της σύναξης δεν είναι σε θέση να γνωρίζουν ποιος τους παρακολουθεί και για ποιο σκοπό, αρχίζουν να αλλάζουν ενστικτωδώς τις ενέργειες και τις κινήσεις τους. Ο Clarke (2014), σε μελέτη σχετικά με τις επιπτώσεις των drones, αναφέρει ότι η αλλαγή της συμπεριφοράς των ατόμων

αποτελεί ίσως τη μεγαλύτερη πρόκληση όσον αφορά την παραβίαση της ιδιωτικότητας από τη χρήση των drones (Clarke, 2014).

Τα υπάρχοντα συστήματα CCTV (Closed Circuit Television) που χρησιμοποιούνται σε δημόσιους χώρους, όπως μπροστά από τράπεζες ή σε σταθμούς λεωφορείων, θα αντικατασταθούν στο μέλλον από drones εξοπλισμένα με έξυπνες κάμερες που μπορούν να ανιχνεύσουν άτομα που συμπεριφέρονται ασυνήθιστα ή διαφορετικά. Με αυτόν τον τρόπο, η δημόσια ασφάλεια θα αυξηθεί και η πιθανότητα για παράδειγμα μελλοντικών τρομοκρατικών επιθέσεων θα μειωθεί. Ταυτόχρονα όμως, αυτό σημαίνει ότι οι άνθρωποι στους δημόσιους χώρους θα είναι υπό μόνιμη επιτήρηση. Από τη στιγμή που τα drones δεν μπορούν εύκολα να εντοπιστούν από το έδαφος, οι άνθρωποι δεν θα έχουν ιδέα ότι παρακολουθούν μέσω μικροφώνων, καμερών, αισθητήρων αναγνώρισης κλπ. Με άλλα λόγια, οι πολίτες δεν είναι σε θέση να γνωρίζουν ότι επιτηρούνται. Επιπλέον, ακόμα κι αν μπορούσαν να παρατηρήσουν την παρουσία του drone, δεν θα μπορούσαν να γνωρίζουν το ποιος το χειρίζεται ή ποιος είναι ο φορέας εκμετάλλευσής του, όπως κάποια εταιρεία μάρκετινγκ, φορέας επιβολής του νόμου ή ένα απλό άτομο που το χρησιμοποιεί για άλλους λόγους.

Παρόλο που τα drones από τη φύση τους λειτουργούν χωρίς πιλότο επί του σκάφους, χρειάζονται έναν χειριστή που να τα κατευθύνει στις εφαρμογές που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτό σημαίνει ότι οι χειριστές, που συνήθως βρίσκονται σε απόσταση χιλιομέτρων, δεν εμπλέκονται σωματικά και ψυχολογικά στη διαδικασία παρατήρησης. Για παράδειγμα, σε επιχειρήσεις που αποσκοπούν στην παρακολούθηση ατόμων και των δραστηριοτήτων τους, χρειάζονται αρκετά άτομα ώστε να εκτελεστούν. Μια τέτοια επιχείρηση μπορεί κάλλιστα να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια ενός drone, το οποίο μπορεί να πετάξει στην περιοχή ενδιαφέροντος, καταγράφοντας ό, τι συμβαίνει εκεί. Το drone, επίσης, μπορεί να εισέλθει εντός οποιουδήποτε κτιρίου χωρίς να γίνει αντιληπτό. Αυτό σημαίνει ότι η χρήση των drones μπορεί να λειτουργήσει ως προϊόν απανθρωποίησης (dehumanization), καθώς η σωματική και ψυχολογική ανθρώπινη παρέμβαση δεν είναι πλέον αναγκαία (Clarke, 2014). Εκτός αυτού, η χρήση των drones ειδικά σε τέτοιου είδους αποστολές αναμένεται να αυξηθεί, ιδίως στον τομέα της επιβολής του νόμου. Οι αρχές θα χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ως αποδεικτικά στοιχεία και θα τα παρουσιάσουν ενώπιον των δικαστηρίων, αλλά σε αυτή την περίπτωση

θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι ενδέχεται να εμφανιστούν σφάλματα ή άλλα προβλήματα που σχετίζονται με το λογισμικό.

Λόγω του μικρού τους μεγέθους, τα drones είναι σχεδόν αόρατα όταν χρησιμοποιούνται σε δημόσιους χώρους για τη λήψη εικόνων, βίντεο ή την παρακολούθηση τηλεφωνικών κλήσεων. Με αυτόν τον τρόπο, η επιτήρηση καθίσταται αόρατη και η έλλειψη διαφάνειας συνεπάγεται ότι τα drones που χρησιμοποιούνται για επιτήρηση προκαλούν ανησυχίες διαφάνειας. Εκτός από τα θέματα διαφάνειας, ένας άλλος κίνδυνος για την προστασία της ιδιωτικότητας που προκαλείται από τη χρήση των drones σχετίζεται με την υποχρέωση λογοδοσίας (accountability), καθώς οι χειριστές του drone δεν μπορούν να αναγνωριστούν εύκολα από αυτούς που παρακολουθούνται. Σε αυτό το πλαίσιο, όλοι οι χειριστές ενός drone εξοπλισμένου με βιντεοκάμερα μπορούν να παρακολουθήσουν όποιον θέλουν, χωρίς να δώσουν λόγο σε κανένα. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, είναι απολύτως απαραίτητο τα drones να καταχωρούνται στις εθνικές αεροπορικές αρχές, ώστε να είναι δυνατή η νόμιμη λειτουργία τους (Bowman et al., 2017).

Παρόλα αυτά, η χρήση drones επηρεάζει και την ιδιωτικότητα των ατόμων, καθώς αρκετοί χειριστές τα χρησιμοποιούν για λόγους ηδονοβλεψίας. Οι περισσότεροι χειριστές χρησιμοποιούν συνήθως τα drones για χόμπι και ως εκ τούτου δεν υπάρχει ανάγκη έκδοσης άδειας εντός της ΕΕ επί του παρόντος. Σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς της ΕΕ, οι χειριστές των drones δεν χρειάζονται άδεια για αυτές τις δραστηριότητες και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο πολλοί αγοράζουν drones για παρενόχληση (harassment) και παρενοχλητική παρακολούθηση (stalking).

Μία από τις διαστάσεις της ιδιωτικότητας αφορά τη σωματική προστασία της ιδιωτικότητας και προκαλείται από τις εφαρμογές των drones, όπως η αναγνώριση προσώπου, η αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων, η αναγνώριση της ίριδας του ματιού, η γεωμετρία των χεριών κ.λπ. Τα drones, που διαθέτουν εξοπλισμό για να χρησιμοποιηθούν σε τέτοιου είδους εφαρμογές αποτελούν αδιαμφισβήτητη πρόκληση της σωματικής ιδιωτικότητας. Στην Ολλανδία, ο Υπουργός Ασφάλειας και Δικαιοσύνης δήλωσε το 2014, κατά τη διάρκεια μιας συνόδου του Tweede Kamer, ότι δεν αποκλείει ένα μέλλον με drones που είναι εξοπλισμένα κατάλληλα για αναγνώριση προσώπου. Η βιομετρική ανάλυση χρησιμοποιείται ήδη από το Facebook και το LinkedIn και πολλοί άλλοι τομείς θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν αυτήν την τεχνολογία. Για παράδειγμα,

τα drones θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στον εμπορικό τομέα για την αναγνώριση των καταναλωτών, με βάση το πρόσωπο ή την ίριδα τους, και να τους συστήσουν προϊόντα που σχετίζονται με παλαιότερες αγορές τους (Bowman et al., 2017).

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, πολλά drones είναι εξοπλισμένα με συστήματα GPS, αυτόματης αναγνώρισης πινακίδων κυκλοφορίας (ANPR - Automatic Number Plate Recognition) ή βιντεοκάμερες που είναι σε θέση να μεταδίδουν άμεσα βίντεο, παραβιάζοντας έτσι την ιδιωτικότητα της τοποθεσίας που βρίσκονται τα άτομα. Το απόρρητο της θέσης ή πιο γνωστό ως ιδιωτικότητα του χώρου, αναφέρεται στο δικαίωμα των ατόμων να αλλάζουν ελεύθερα την τοποθεσία τους, χωρίς να ταυτοποιούνται ή να παρακολουθούνται (Finn & Wright, 2016). Δεδομένου ότι τα drones μέσω των εφαρμογών τους μπορούν να παρακολουθούν άτομα και να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τη γεωγραφική τους θέση σε διαφορετικά σημεία και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, ο χειριστής του drone μπορεί να παρακολουθήσει τις κινήσεις τους χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό. Επιπλέον, η συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις μετακινήσεις ενός ατόμου μπορεί να οδηγήσει σε ζήτημα ιδιωτικού απορρήτου, αλλά και σε ζήτημα απορρήτου προσωπικών δεδομένων.

Μια άλλη διάσταση της ιδιωτικότητας αφορά το σωματειακό ιδιωτικό βίο (associational privacy). Ο όρος αναφέρεται στην ελευθερία του συνεταιρίζεσθαι και είναι ένας δυνητικός κίνδυνος που μπορεί να αυξηθεί από τη χρήση των drones. Δεδομένου ότι τα drones είναι εξοπλισμένα με GPS και κάμερες και μπορούν να εντοπίσουν άτομα, ή ακόμα και ομάδες ατόμων που εκτελούν ορισμένες δραστηριότητες. Για παράδειγμα, έστω ότι ένα άτομο αγοράζει ένα drone το οποίο και σκοπεύει να χρησιμοποιήσει για τον εντοπισμό αντικοινωνικών δραστηριοτήτων στην περιοχή της κατοικίας του, που διαπράττονται από εφήβους. Ο χειριστής σε αυτήν την περίπτωση παρακολουθεί την ομάδα των εφήβων που συγκεντρώνονται στο δρόμο κάθε βράδυ και με τη βοήθεια του drone, αποφασίζει να τους εντοπίσει για να ταυτοποιήσει τον τόπο διαμονής τους. Λόγω του μικρού μεγέθους του drone, οι έφηβοι δεν γνωρίζουν το γεγονός ότι παρακολουθούνται.

Ως γενικό συμπέρασμα προκύπτει ότι ο εξοπλισμός που διαθέτουν τα drones μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα προστασίας της ιδιωτικότητας του ατόμου εξαιτίας των δυνατοτήτων ανίχνευσης, εντοπισμού και παρακολούθησης. Ως εκ τούτου, οι χειριστές των drones που τα χρησιμοποιούν για ψυχαγωγία ή χόμπι πρέπει επίσης να

λάβουν υπόψη αυτά τα θέματα, καθώς μπορούν να αμφισβητήσουν το δικαίωμα της ιδιωτικότητας των ατόμων.

5.3 Κίνδυνοι προστασίας προσωπικών δεδομένων

Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι που αντιμετωπίζει η προστασία των προσωπικών δεδομένων των πολιτών αφορούν την αόρατη συλλογή δεδομένων, τη μαζική συλλογή δεδομένων, τη δημοσιοποίηση και τη δημιουργία προφίλ.

Λόγω του μεγέθους τους, τα drones μπορεί να συλλέγουν δεδομένα χωρίς να γίνονται αντιληπτά από τα άτομα που παρακολουθούνται. Τα drones εκτός από την παρακολούθηση των ατόμων, μπορούν να συλλέγουν και προσωπικά δεδομένα, όπως φωτογραφίες, βίντεο ή ήχο, τα οποία μπορούν επίσης να μεταφέρουν ταυτόχρονα. Αυτή η διαδικασία είναι αόρατη, καθώς ο χειριστής του drone μπορεί να είναι εκατοντάδες μέτρα ή ακόμα και χιλιόμετρα μακριά από το μέρος της παρακολούθησης. Τα περισσότερα από τα άτομα που παρακολουθούνται δεν γνωρίζουν ότι προσωπικά τους δεδομένα έχουν συλλεχθεί, επεξεργαστεί και πολλές φορές μοιραστεί με τρίτους.

Δεδομένου ότι τα drones μπορούν να έχουν πρόσβαση σχεδόν σε οποιοδήποτε σημείο, είναι σε θέση να συλλέγουν τεράστιο όγκο προσωπικών δεδομένων. Παρόλο που τα drones χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένους σκοπούς, τις περισσότερες φορές συλλέγουν ταυτόχρονα, ίσως και κατά λάθος, πολλά δεδομένα που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι προσωπικά δεδομένα ατόμων. Για παράδειγμα, ένα drone που χρησιμοποιείται στον τομέα των κατασκευών, εκτός από το σκοπό της παρακολούθησης της εξέλιξης της κατασκευής, συλλέγει επίσης εικόνες ατόμων κοντά στο κτίριο που βρίσκεται υπό κατασκευή. Παρόλο που ο σκοπός της κάμερας, με την οποία είναι εξοπλισμένο το drone, είναι να παρακολουθεί διαφορετικά μέρη του κτιρίου, στο βάθος μπορεί να δει κανείς την αυλή του γείτονα, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως προσωπικό δεδομένο. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση της παραβίασης της ιδιωτικότητας, οι εικόνες που συλλέγονται από το drone και χρησιμοποιούνται από την αστυνομία για να καταγράψουν τις στιγμές ενός αυτοκινητιστικού δυστυχήματος μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αργότερα για την έκδοση κλίσεων ταχύτητας σε άλλους οδηγών που δεν συμμορφώθηκαν με τους κανόνες κυκλοφορίας.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η χρήση της τεχνολογίας των drones για τη συλλογή δεδομένων, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε δύο στοιχεία: τη σύνδεση Wi-Fi και το

χειριστή. Οι κίνδυνοι της συλλογής των προσωπικών δεδομένων που συλλέγονται μέσω των εφαρμογών των drones, όσον αφορά τη δημοσιοποίηση, αυξάνονται δραματικά λόγω αυτών των δύο στοιχείων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, μέσω της ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ του drone και του χειριστή, τα προσωπικά δεδομένα των ατόμων μπορούν να τεθούν σε κίνδυνο, για παράδειγμα, από τους δορυφόρους ή τους χάκερ. Παρόλο που μέχρι τώρα δεν έχουν αναφερθεί πολλές περιπτώσεις στις οποίες οι χάκερ να έχουν πάρει τον έλεγχο των drones και των δεδομένων που συλλέγονταν, αυτά τα σενάρια μπορούν να συμβούν και ο εντοπισμός των χάκερ είναι πολύ δύσκολος ή και αδύνατος. Το δεύτερο στοιχείο που προαναφέρθηκε είναι ο χειρισμός των drones από ιδιώτες, καθώς στην περίπτωση αυτή δεν γνωρίζουν τους κινδύνους που δημιουργούνται στην περίπτωση που αποκαλυφθούν τα προσωπικά δεδομένα που συλλέχθηκαν. Καθώς τα περισσότερα από τα σύγχρονα drone είναι εξοπλισμένα με κάμερες GoPro για καλύτερη ποιότητα εικόνας, στην περίπτωση που τεχνολογίες όπως η αναγνώριση προσώπου ή ίριδας γίνουν πιο προσιτές για το ευρύτερο κοινό, τα πράγματα μπορεί να γίνουν ανεξέλεγκτα. Σύμφωνα με μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με την προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων, η απάντηση σε αυτό το δίλημμα είναι ότι ο αριθμός των drones που είναι εφοδιασμένα με τέτοιο εξοπλισμό θα αυξηθεί, μια αύξηση που θα συμπαρασύρει τον αριθμό των παραβιάσεων και των προβλημάτων δημοσιοποίησης (Bowman et al., 2017).

Ένας άλλος κίνδυνος για την προστασία των προσωπικών δεδομένων είναι η δημιουργία “προφίλ” των δεδομένων αυτών. Σύμφωνα με τον Schermer, τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω των συστημάτων UAS μπορούν να συγκριθούν με τα δεδομένα που είναι ήδη αποθηκευμένα σε βάσεις δεδομένων, προκειμένου να εντοπιστούν πρόσωπα ή αντικείμενα (Schermer, 2011). Αυτού του είδους η σύγκριση μπορεί να πραγματοποιηθεί στον εμπορικό τομέα ή ακόμη και για την καταπολέμηση της τρομοκρατίας. Για παράδειγμα, τα drones μπορεί να χρησιμοποιηθούν για εμπορικούς σκοπούς, προσδιορίζοντας τους πελάτες με βάση τις προηγούμενες αγορές τους. Επιπλέον, οι εταιρείες πώλησης θα μπορούσαν να χρησιμοποιούν drones εξοπλισμένα με κάμερες, GPS και αναγνώριση προσώπου για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό των πελατών τους, με βάση τα αυτοκίνητα που οδηγούν και τις διευθύνσεις τους, προκειμένου να πραγματοποιήσουν στοχευμένη διαφήμιση.

Ως γενικό συμπέρασμα προκύπτει, ότι τα drones που είναι εξοπλισμένα με κάμερες και άλλα συστήματα, όπως το GPS και η αναγνώριση προσώπου ή ίριδας, δημιουργούν σοβαρά προβλήματα προστασίας των προσωπικών δεδομένων, λόγω των δυνατοτήτων τους να εντοπίζουν τα άτομα για διάφορους σκοπούς. Ως εκ τούτου, οι χειριστές θα πρέπει να γνωρίζουν αυτά τα θέματα, καθώς μπορούν να αμφισβητήσουν το δικαίωμα προστασίας των προσωπικών δεδομένων.

6 Κανονιστικά Πλαίσια

6.1 Ρυθμιστικές αρχές σε διεθνές επίπεδο

Από τις αρχές του εικοστού αιώνα, η αεροπλοΐα αποτελεί διεθνές ζήτημα. Ο Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO - International Civil Aviation Organization) ιδρύθηκε το 1944, με την υπογραφή της Σύμβασης για τη Διεθνή Πολιτική Αεροπορία, γνωστή και ως Σύμβαση του Σικάγου.

Ο ICAO είναι ένας διεθνής οργανισμός που δημιουργεί Πρότυπα και Συνιστώμενες Πρακτικές (SARPs - Standards and Recommended Practices), με στόχο την παροχή υποστήριξης στα κράτη κατά τη σύνταξη των εθνικών κανονισμών στον τομέα της αεροπλοΐας. Κάθε μέλος του ICAO διαθέτει τουλάχιστον μία εθνική υπηρεσία πολιτικής αεροπορίας (NAA - National Aviation Authority) που ασχολείται με πρακτικές πολιτικής αεροπορίας, όπως αδειοδότηση πιλότων ή παροχή υπηρεσιών διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας (ATM - Air Traffic Management).

Σύμφωνα με το Άρθρο 8 της Σύμβασης του Σικάγου, κανένα είδος drone δεν επιτρέπεται να πετάξει πάνω από το έδαφος άλλου κράτους, χωρίς την άδειά του, ανεξάρτητα από το μέγεθος, το βάρος και τη μορφή του.

Η ομάδα μελέτης UASSG (Unmanned Air Systems Study Group), η οποία συστάθηκε από τον ICAO τον Απρίλιο του 2007, απαρτιζόταν από εμπειρογνώμονες σε θέματα αεροπορίας από τα κράτη μέλη, ενδιαφερόμενους και βιομηχανικούς ομίλους, οι οποίοι ανέλυναν τις προκλήσεις που θέτει η χρήση των drones στους κανονισμούς για τις αεροπορικές μεταφορές. Λόγω της γρήγορα αναπτυσσόμενης χρήσης των drones, το Νοέμβριο του 2014, η ομάδα UASSG αποκάλυψε ότι μέχρι το τέλος του 2018, θα αντικατασταθεί από την ομάδα RPASP (Remotely Piloted Aircraft Systems Panel) προκειμένου να διατηρήσει το επίπεδο ασφάλειας των αεροπορικών δραστηριοτήτων, με τη δημιουργία εγχειριδίου σχετικά με τη χρήση των drones.

6.2 Ρυθμιστικές αρχές σε επίπεδο ΕΕ

Ο οργανισμός EASA ιδρύθηκε το 2003 στην Κολωνία της Γερμανίας και έχει ως σκοπό την δημιουργία ρυθμιστικών κανόνων για οποιεσδήποτε δραστηριότητες των drones εντός της ΕΕ. Σύμφωνα με τον Κανονισμό 216/2008 της ΕΕ, ο EASA έχει το δικαίωμα να ασχολείται μόνο με drones των οποίων το βάρος υπερβαίνει τα 150 κιλά. Τα drones κάτω

των 150 κιλών υπόκεινται στους κανονισμούς που εκπονούνται από τις κρατικές υπηρεσίες NAA των κρατών μελών. Ο EASA εκτελεί τα καθήκοντά του με τη βοήθεια άλλων δύο οργανισμών, του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Ασφάλεια της Αεροναυτιλίας (EUROCONTROL) και του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Εξοπλισμού Πολιτικής Αεροπορίας (EUROCAE).

Ο EUROCONTROL αντιπροσωπεύει έναν διακυβερνητικό οργανισμό που απαρτίζεται από κράτη μέλη (Comprehensive Agreement States). Στόχος του οργανισμού είναι να δημιουργήσει με τους εταίρους του έναν Ενιαίο Ευρωπαϊκό Ουρανό, βοηθώντας την ευρωπαϊκή αεροπορία να υπερισχύσει των προκλήσεων που αφορούν την ασφάλεια, την ικανότητα και τις επιδόσεις. Οι ενέργειες εναέριας κυκλοφορίας που πραγματοποιούνται εντός της ευρωπαϊκής επικράτειας πρέπει να γίνονται με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα, χωρίς να βλάπτεται το περιβάλλον.

Ο EUROCAE είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που ιδρύθηκε το 1963 στην Ελβετία και εστιάζει στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό των αεροσκαφών, παρέχοντας πρότυπα αεροναυπηγικής για εναέρια και επίγεια συστήματα. Οι προδιαγραφές για τον αερομεταφερόμενο ηλεκτρονικό εξοπλισμό που ανέπτυξε ο EUROCAE εγκρίθηκαν από το Ευρωπαϊκό Συνέδριο Πολιτικής Αεροπορίας (ECAC - European Civil Aviation Conference) το 1967. Το ECAC αποφάσισε ότι οι προδιαγραφές που προτείνει ο EUROCAE είναι σχετικές και από τότε αποτελούν τη βάση της εθνικής νομοθεσίας. Επιπλέον, ο Κανονισμός (EC) Νο 552/2004 της 10ης Μαρτίου 2004, υποστηρίζει τον EUROCAE στη διαχείριση των ευρωπαϊκών προτύπων αεροπορίας.

Επιπλέον, ο οργανισμός JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems) αποτελείται από έναν αριθμό εμπειρογνομόνων από τα κράτη μέλη της ΕΕ, τις κρατικές υπηρεσίες NAA και τις διοικήσεις FAA, οι οποίοι συνεργάζονται για την εκπόνηση προτάσεων σχετικά με τεχνικές απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργίας της χρήσης των συστημάτων UAS. Ο οργανισμός συμβουλεύει τον EASA προκειμένου να αναπτύξει ευρωπαϊκά πρότυπα σχετικά με τη χρήση των συστημάτων UAS. Από αυτή την άποψη, ο JARUS αποτελεί μια ακόμα ρυθμιστική αρχή των οχημάτων UAV σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

6.3 Ρυθμιστικές αρχές σε εθνικό επίπεδο

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η κανονιστική ρύθμιση για τα drones με βάρος κάτω των 150 κιλών δεν αποτελεί πλέον ευθύνη του EASA, δεδομένου ότι αυτού του είδους οι κανονισμοί εμπίπτουν στη δικαιοδοσία των κρατών μελών. Όλα τα κράτη μέλη έχουν δικές τους κρατικές υπηρεσίες NAA που ρυθμίζουν τις λειτουργίες των αεροσκαφών.

Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος των drones που χρησιμοποιούνται για μη στρατιωτικούς σκοπούς εμπίπτει στην κατηγορία κάτω των 150 κιλών, όπου ο EASA δεν έχει αρμοδιότητα, οι υπηρεσίες NAA των κρατών μελών έχουν τους δικούς τους κανονισμούς σχετικά με τη χρήση των οχημάτων UAV. Από την άποψη αυτή, σύμφωνα με την Βασιλική Αεροναυτική Εταιρεία (RAeS - Royal Aeronautical Society), η αύξηση των αρμοδιοτήτων του EASA θα μπορούσε να αποτελέσει μια πολύ καλή λύση, καθώς έτσι όλα τα drones της ίδιας κατηγορίας θα μπορούσαν να εμπίπτουν υπό τους ίδιους ρυθμιστικούς κανόνες με την υπόλοιπη ΕΕ (European Union Committee, 2015).

6.4 Θέση των θεσμικών οργάνων, οργανισμών και υπηρεσιών της ΕΕ

6.4.1 Ευρωπαϊκή Επιτροπή

Για σχεδόν τρεις δεκαετίες, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προωθεί τη βιομηχανία των drones και επιδιώκει μια ισχυρή ευρωπαϊκή αεροπορική αγορά. Αυτή τη στιγμή, η ΕΕ θεωρείται ο ηγέτης όσον αφορά τους φορείς εκμετάλλευσης των μη στρατιωτικών drones, καθώς οι περισσότεροι από αυτούς βρίσκονται σε χώρες όπως η Γαλλία, η Γερμανία ή το Ηνωμένο Βασίλειο. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η βιομηχανία των drones θα συνεχίσει να αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς, έτσι ώστε, βάσει των εκτιμήσεών της, μετά από 10 χρόνια θα αποφέρει περίπου 15 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι η βιομηχανία των drones θα ενισχύσει την απασχόληση και θα δημιουργηθούν περισσότερες από 150.000 θέσεις εργασίας, προκειμένου να διατηρηθεί η ανάπτυξη της (Jensen et al., 2016)

Το 2014, σε ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο αναφέρθηκε ότι: “Μια νέα εποχή για τις αερομεταφορές ξεκινάει με το άνοιγμα της αγοράς στη χρήση των συστημάτων τηλεχειριζόμενων αεροσκαφών με ασφαλή και βιώσιμο τρόπο”. Στη συγκεκριμένη ανακοίνωση αναφέρεται επίσης ότι: “τα οχήματα UAV είναι μια αναδυόμενη αγορά για τη δημιουργία θέσεων

εργασίας και ανάπτυξης”, δίνοντας ως παράδειγμα την αύξηση του αριθμού των Ιαπώνων χειριστών drones που 18πλασιάστηκε στην περίοδο 1993-2005, φθάνοντας σχεδόν τους 14.000 χειριστές (Gleave, 2014). Ως εκ τούτου, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προτρέπει τη θέσπιση κοινού ρυθμιστικού πλαισίου που να φορά τα drones και παρέχει επίσης στρατηγική προκειμένου να υποστηριχθεί η αγορά αεροπορικών μεταφορών της ΕΕ για την αξιοποίηση του δυναμικού της. Σύμφωνα με την άποψη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η βιομηχανία των drones έχει ανάγκη από κανονισμούς σε επίπεδο ΕΕ, ώστε τα οχήματα UAV να μπορεί να χρησιμοποιηθούν εύκολα σε ολόκληρο τον εναέριο χώρο της ΕΕ, χωρίς να περιπλέκονται άλλα πρότυπα ασφάλειας εθνικού επιπέδου.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έθεσε επίσης το θέμα της ασφάλισης σε περίπτωση ατυχήματος που προκαλείται από drones λόγω χειριστικού λάθους και τονίζει ότι η προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων καθώς και η ασφάλεια των πολιτών της ΕΕ, πρέπει να προστατεύονται και να συμπεριληφθούν στο κανονιστικό πλαίσιο, προκειμένου να εξασφαλιστεί η δημόσια αποδοχή προς την κατεύθυνση της χρήσης των drones (Stöcker et al., 2017).

Τέλος, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δηλώνει ότι η ΕΕ πρέπει να παροτρύνει την ανάπτυξη της βιομηχανίας των drones, αναφέροντας ότι μια τέτοια ισχυρή βιομηχανία θα προσφέρει μακροπρόθεσμα πολλά οικονομικά οφέλη για την ΕΕ. Από την άλλη πλευρά, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τονίζει επίσης τη σημασία μιας νομικής προσέγγισης βασισμένης στους κινδύνους, που θα εξετάζει τα ζητήματα της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας.

6.4.2 EASA

Ο οργανισμός EASA είναι ο κύριος ρυθμιστής φορέας των drones στην Ευρωπαϊκή Ένωση και είναι υπεύθυνος για τη θέσπιση τεχνικών κανόνων και προτύπων ασφάλειας για τη λειτουργία τους. Εκτός αυτού, ο EASA επικουρεί την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε τεχνικά, διοικητικά και επιστημονικά θέματα που σχετίζονται με τον τομέα των drones στον πολιτικό εναέριο χώρο της ΕΕ.

Σύμφωνα με πρόσφατο έγγραφο του EASA που αφορά τα drones, “Η εισαγωγή ενός κανονιστικού πλαισίου για τη λειτουργία των drones” που δημοσιεύθηκε στις 12 Μαΐου 2017, καθίσταται σαφές ότι ο οργανισμός θέλει να δημιουργήσει κανονιστικό πλαίσιο για όλα τα είδη των drones, ανεξάρτητα από το μέγεθος και το βάρος, και ζητεί την καθιέρωση ενός κοινού ευρωπαϊκού ρυθμιστικού πλαισίου, το οποίο να προστατεύει την

ιδιωτικότητα και τα προσωπικά δεδομένα των πολιτών καθώς και να εξασφαλίζει την ασφάλειά τους.

Τον Μάιο του 2015, ο EASA είχε δημοσιεύσει ένα φυλλάδιο με τίτλο “Έννοια των λειτουργιών των drones: Προσέγγιση ρυθμιστικού πλαισίου βασισμένη στον κίνδυνο”, στο οποίο προσδιορίζονται τρεις κατηγορίες ελέγχου της πτήσης των drones: η ανοιχτή κατηγορία, η ειδική κατηγορία λειτουργίας και η πιστοποιημένη κατηγορία (Hodgkinson & Johnston, 2018). Η ανοιχτή κατηγορία αναφέρεται σε λειτουργίες και εφαρμογές χαμηλού κινδύνου, η ασφάλεια των οποίων μπορεί να εξασφαλιστεί μέσω μαζικών περιορισμών, προτύπων ασφαλείας της ΕΕ και μερικών ελάχιστων κανόνων λειτουργίας. Η έκδοση άδειας για την ειδική κατηγορία λειτουργίας των drones θα πρέπει να παρέχεται μόνο από τις κρατικές υπηρεσίες NAA, έτσι ώστε ο φορέας εκμετάλλευσης να μπορεί να εκπονεύει αξιολόγηση κινδύνου. Τέλος, η λεγόμενη πιστοποιημένη κατηγορία είναι η πιο περίπλοκη, καθώς οι απαιτήσεις της πρέπει να αντιμετωπίζονται παρόμοια με αυτές των επανδρωμένων πτήσεων. Εκτός αυτού, ο EASA προτείνει ότι τα drones που εμπίπτουν στην κατηγορία αυτή πρέπει να προσαρμόζονται με το κανονιστικό πλαίσιο των κυβερνητικών υπηρεσιών αλλά και του EASA.

Ο EASA αναγνώρισε επίσης την ανάγκη καλύτερων ρυθμίσεων όσον αφορά την προστασία της ιδιωτικότητας των πολιτών και, κατά συνέπεια, πρότεινε ότι οι φορείς εκμετάλλευσης ή οι χειριστές θα πρέπει να καταχωρούν τα drones που χρησιμοποιούν στις τοπικές αρχές, έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα στα άτομα που πιστεύουν ότι παραβιάζεται το ιδιωτικό τους απόρρητο από άλλους με τη χρήση των οχημάτων UAV, να μπορούν να κάνουν καταγγελίες εντοπισμού του εκάστοτε φορέα εκμετάλλευσης ή χειριστή.

Μετά από αίτημα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για παροχή συνδρομής, ο EASA δημοσίευσε τον Δεκέμβριο του 2015 το έγγραφο “Εισαγωγή κανονιστικού πλαισίου για τη λειτουργία μη επανδρωμένων αεροσκαφών”. Το έγγραφο περιείχε τις τρεις κατηγορίες του εγγράφου του Μαΐου 2015 καθώς και πρόσθετες είκοσι επτά διαφορετικές προτάσεις για τη ρύθμιση των λειτουργιών των drones χαμηλού κινδύνου, ανεξαρτήτως μεγέθους.

6.4.3 Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Επίσημοι των τομέων μεταφορών, ενέργειας και τηλεπικοινωνιών που συνέρχονται στο Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης συνιστούν μια προσέγγιση της ΕΕ για τη μελλοντική

χρήση των drones, προκειμένου να καταστεί δυνατή η πλήρης επάρκεια της εν λόγω βιομηχανίας. Σύμφωνα με το ανακοινωθέν τύπου της 3335ης συνόδου του Συμβουλίου, η πλειονότητα των υπουργών Μεταφορών, Ενέργειας και Τηλεπικοινωνιών των κρατών μελών πρότεινε την εισαγωγή των drones στον κανονικό εναέριο χώρο, αλλά με την προϋπόθεση βελτίωσης των κανονισμών ασφαλείας. Εκτός αυτού, κάποιες αντιπροσωπίες δήλωσαν ότι οι κανόνες προστασίας των προσωπικών δεδομένων και ιδιωτικού απορρήτου επαρκούν για την εισαγωγή των τηλεχειριζόμενων αεροσκαφών στον κανονικό εναέριο χώρο. Επιπλέον, μερικές αντιπροσωπίες ανέφεραν ότι η εισαγωγή των drones θα πρέπει να γίνει προοδευτικά βάσει των προδιαγραφών τους λόγω της ύπαρξης πολλών διαφορετικών τύπων. Επομένως, η αδειοδότηση θα πρέπει πρώτα να εγκριθεί για τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα.

Γενικότερα το Συμβούλιο της ΕΕ έχει υπογραμμίσει την ύπαρξη μιας γενικής ευρωπαϊκής προσέγγισης σχετικά με τα μη στρατιωτικά drones και πρότεινε τον EASA για τη θέσπιση τεχνικών προδιαγραφών και προδιαγραφών ασφάλειας και την έκδοση αδειών και πιστοποιητικών. Για τη θέσπιση κοινοτικών κανόνων σχετικά με τη χρήση των drones, ο EASA θα πρέπει επίσης να λάβει υπόψη τους εθνικούς κανόνες των κρατών μελών και να προσπαθήσει να τους συμπληρώσει. (Stöcker et al., 2017).

6.4.4 Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο

Η Επιτροπή Μεταφορών και Τουρισμού του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου δημοσίευσε το 2015 την “Έκθεση για την ασφαλή χρήση των συστημάτων αεροσκαφών με τηλεχειρισμό (RPAS), γνωστών και ως μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV), στον τομέα της πολιτικής αεροπορίας”. Η έκθεση, η οποία κυκλοφόρησε με πρωτοβουλία του ίδιου του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, διαρθρώθηκε με βάση τη Διακήρυξη της Ρίγας (Riga Declaration) και την πρόταση της Επιτροπής όσον αφορά την κατάργηση του κανόνα των 150 κιλών του βάρους των drones και την ανάπτυξη ενός κοινού συνόλου κανόνων της ΕΕ για τη χρήση των οχημάτων UAV. Ωστόσο, η Επιτροπή Μεταφορών και Τουρισμού αναγνώρισε την αρμοδιότητα του EASA όσον αφορά τη δημιουργία κανονιστικού πλαισίου για τα drones σε ευρωπαϊκό επίπεδο και πρότεινε την επέκταση των αρμοδιοτήτων του EASA πάνω στον τομέα αυτό (Stöcker et al., 2017).

6.5 Κανονισμός 216/2008/EC

Ο Κανονισμός 216/2008/EC είναι γνωστός ως “Κοινοί κανόνες στον τομέα της πολιτικής αεροπορίας” και αφορά κανονισμούς μόνο για αεροσκάφη άνω των 150 κιλών. Με βάση τον συγκεκριμένο Κανονισμό, δεν είναι αρμοδιότητα της ΕΕ η δημιουργία κανονιστικού πλαισίου για αεροσκάφη με βάρος μικρότερο των 150 κιλών, πράγμα που σημαίνει ότι τα περισσότερα drones, δεδομένου ότι έχουν βάρος μικρότερο αυτού, ελέγχονται νομικά μόνο από τα κράτη μέλη της ΕΕ. Έτσι, τα drones με βάρος άνω των 150 kg υπόκεινται στο δίκαιο της ΕΕ και διέπονται από τον EASA, ενώ κανονιστικά πλαίσια για τον έλεγχο των drones με βάρος κάτω των 150 kg είναι αρμοδιότητα των κρατών μελών. Μέχρι στιγμής μόνο λίγα κράτη μέλη (Γερμανία, Ολλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο, Πολωνία, Δανία, Γαλλία, Ρουμανία, Σουηδία, Ιταλία και Ισπανία) έχουν συντάξει νόμους εθνικής εμβέλειας σχετικά με τη χρήση των drones, λαμβάνοντας υπόψη τους κινδύνους περί προστασίας της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων. Όσον αφορά τις λειτουργίες ασφάλειας και τις συνθήκες χειρισμού ενός drone, οι νόμοι αυτοί διαφέρουν από κράτος σε κράτος, αλλά η κοινή συνισταμένη αφορά την έκδοση άδειας για τον χειρισμό των drones. Επιπλέον, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, λόγω της διαφορετικότητας που υπάρχει στα κανονιστικά πλαίσια των κρατών μελών σχετικά με τη χρήση των drones, παρεμποδίζεται η συνολική ανάπτυξη της τεχνολογίας (Finn & Wright, 2016).

Δεδομένου ότι μόνο λίγα κράτη μέλη έχουν θεσπίσει κανονιστικά πλαίσια σχετικά με τη χρήση των drones, στα υπόλοιπα κράτη μέλη η χρήση των οχημάτων UAV κάτω των 150 κιλών δεν ελέγχεται μέσω της νομοθεσίας, δημιουργώντας έτσι πολλές ανησυχίες μεταξύ των πολιτών όσον αφορά το δικαίωμα στην προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων. Τα ζητήματα αυτά θα πρέπει να καλυφθούν από άλλα νομοθετικά όργανα, έτσι ώστε οι πολίτες να μπορούν να προστατεύονται από το νόμο σε περίπτωση που τα ανθρώπινα δικαιώματά τους παραβιάζονται.

6.6 Διακήρυξη της Ρίγας

Τον Μάρτιο του 2015, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, εθνικές αρχές, μέλη των οργανώσεων πολιτικής αεροπορίας και κατασκευαστές drones ενέκριναν τη Διακήρυξη της Ρίγας για τα Τηλεχειριζόμενα Αεροσκάφη – “Καθορισμός του μέλλοντος της αεροπορίας”. Η συγκεκριμένη διακήρυξη περιέχει νέες ιδέες για τους μελλοντικούς κανονισμούς σχετικά

με τη χρήση των drones, καθώς οι συνεχώς εξελισσόμενες εφαρμογές τους πρέπει να υποστηρίζουν υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας και να σέβονται το απόρρητο των ατόμων. Σύμφωνα με τη Διακήρυξη της Ρίγας, τα drones που δεν χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως νέα είδη αεροσκαφών και, ως εκ τούτου, πρέπει να αναπτυχθούν ειδικά κανονιστικά πλαίσια, καθώς ο χειρισμός τους με μη ασφαλή και νόμιμο τρόπο μπορεί να δημιουργήσει δυνητικούς κινδύνους για την προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων. Τα κανονιστικά πλαίσια δεν θα πρέπει να περιορίζονται μόνο στη χρήση αλλά θα πρέπει να επεκτείνονται και στην παραγωγή των drones. Με τον τρόπο αυτό, οι κατασκευαστές οχημάτων UAV πρέπει να επενδύσουν στην παραγωγή drones που να μπορούν να εφοδιαστούν με εξοπλισμό ο οποίος δεν θα θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια των πολιτών. Μόνο έτσι, τα drones μπορούν να ενσωματωθούν πλήρως στον ευρωπαϊκό εναέριο χώρο. Εκτός αυτού, η ΕΕ πρέπει να αναπτύξει κανόνες ασφαλείας μέσω των οποίων τα drones θα μπορούν να συμπεριληφθούν στην ευρωπαϊκή πολιτική αεροπορία.

Από τα σημαντικότερα σημεία που αναδείχθηκαν κατά τη διάρκεια της Διακήρυξης της Ρίγας είναι ότι ο χειριστής του drone πρέπει να είναι υπεύθυνος για τις ενέργειές του, συμπεριλαμβανομένων των ατυχημάτων που προκαλούνται από αυτό. Επίσης, ο χειριστής ή ο φορέας εκμετάλλευσης του drone είναι υπεύθυνος για την ασφάλισή του, έτσι ώστε σε περίπτωση τυχόν ατυχημάτων που προκαλούνται από χρησιμοποιούμενο drone, θα μπορεί να υπάρξει η αντίστοιχη και ανάλογη αποζημίωση.

6.7 Το κανονιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Μέχρι και το 2016, στην Ελλάδα δεν υπήρχε νομοθετικό πλαίσιο που να καλύπτει την πτήση των drones. Μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2016 βρισκόταν σε ισχύ ο Κανονισμός που αφορούσε την πτήση των αερομοντέλων γενικότερα (ΦΕΚ Β9 2010). Από την 1η Ιανουαρίου 2017, όμως τέθηκε σε ισχύ το γενικό νομικό πλαίσιο των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών της Ελληνικής Επικράτειας, όπως αυτό καθορίζεται σε δυο φύλλα της Εφημερίδας της Κυβέρνησης: “Κανονισμός πτήσεων Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών” (ΦΕΚ 3152/Β/30-9-2016) και “Κανονισμός Εκπαιδευτικών Κέντρων Ρυθμιστικών και Αδειοδότησης χειριστών UAS” (ΦΕΚ 4527/Β/30-12-2016).

Δεδομένης της πολλαπλότητας των χρήσεων των drones, ο χειριστής ή ο φορέας εκμετάλλευσης έχει την υποχρέωση να δηλώσει τη χρήση του (εμπορική, επιστημονική,

ψυχαγωγική, κλπ.). Σε περίπτωση, που η εμβέλεια τηλεχειρισμού υπερβαίνει τα 50 μέτρα, ο χειριστής υποχρεούται να εγγραφεί σε ειδικό Μητρώο που τηρείται από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ). Στο Μητρώο αυτό, επίσης, είναι υποχρεωτική και η εγγραφή των ελεγκτών κατασκευής και των εκπαιδευτών των οχημάτων UAV.

Στο ΦΕΚ 3152/Β/30-9-2016, καθορίζονται τρεις βασικές κατηγορίες drones, βάσει του φυλλαδίου με τίτλο “Έννοια των λειτουργιών των drones: Προσέγγιση ρυθμιστικού πλαισίου βασισμένη στον κίνδυνο”, που εκδόθηκε το 2015 από τον EASA. Στο συγκεκριμένο ΦΕΚ καθορίζονται: η ανοικτή κατηγορία (UAS Open Category), η ειδική κατηγορία (UAS Specific Category) και η πιστοποιημένη κατηγορία (UAS Certified Category). Στην ανοικτή κατηγορία ανήκουν τα drones, των οποίων η πτητική λειτουργία διεξάγεται με απευθείας οπτική επαφή του χειριστή και αφορά μικρά οχήματα UAV με μέγιστη μάζα απογείωσης κάτω των 25 κιλών εντός ασφαλούς απόστασης από πρόσωπα στο έδαφος. Στην ειδική κατηγορία ανήκουν τα drones των οποίων η πτητική λειτουργία είναι πιθανόν να ενέχει σημαντικούς κινδύνους για τα πρόσωπα υπεράνω των οποίων εκτελείται. Στην πιστοποιημένη κατηγορία ανήκουν τα drones των οποίων η πτητική λειτουργία διεξάγεται με απαιτήσεις ανάλογες εκείνων που ισχύουν για τα επανδρωμένα αεροσκάφη, δηλαδή με προηγούμενη εξασφάλιση αδειών και πιστοποιητικών αεροπλοΐας. Ανάλογα με την κατηγορία, η πραγματοποίηση πτήσεων διέπεται από συγκεκριμένους κανόνες και απαγορεύσεις.

Οι τρεις αυτές κατηγορίες καθορίστηκαν βάσει κριτηρίων που αφορούν τη μέγιστη μάζα απογείωσης, το είδος χρήσης, το ύψος πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ή της θάλασσας που επιτρέπεται να ίπτανται τα drones, τις περιοχές όπου ίπτανται, τις τεχνικές δυνατότητες εκάστου drone καθώς και την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας του drone.

Σε γενικότερο πλαίσιο, οι κανονισμοί εναέριας κυκλοφορίας των drones που αφορούν το ύψος πτήσης τους δημιουργούν τρεις ζώνες πτήσης: α) κάτω από το όριο κυκλοφορίας των επανδρωμένων αεροσκαφών (μέγιστο ύψος 120μ) πάνω από το έδαφος ή την επιφάνεια της θάλασσας), β) πάνω από το ανώτερο όριο κυκλοφορίας των επανδρωμένων αεροσκαφών (140 - 14.000 μέτρα) και γ) εντός προσωρινών αποκλειστικών περιοχών ίχνους και ύψους που καθορίζονται από την ΥΠΑ. Οι κανονισμοί αυτοί, εκτός από το ύψος πτήσης των drones, καθορίζουν και απαγορευτικές ζώνες πτήσης οι οποίες περιλαμβάνουν την πτήση σε απόσταση μικρότερη των 8km από την περίμετρο

αεροδρομίου, την πτήση οχημάτων UAV ανοικτής κατηγορίας επάνω από συγκεντρώσεις πολιτών και την πτήση για μεταφορά επικίνδυνων υλικών.

Στο ΦΕΚ Β-4527/30.12.2016, καθορίζονται οι διάφορες κατηγορίες αδειοδότησης των χειριστών των drones με κριτήριο τη μέγιστη μάζα απογείωσής του. Οι κατηγορίες αδειοδότησης είναι πέντε (5) και πιο συγκεκριμένα:

- Κατηγορία Α (για drones βάρους έως 1kg)
- Κατηγορία Β (για drones βάρους 1 - 4kg)
- Κατηγορία Γ (για drones βάρους 4 - 25kg)
- Κατηγορία Δ (για drones βάρους 25 - 150kg)
- Κατηγορία Ε (για drones βάρους άνω των 150kg)

Οι τρεις πρώτες κατηγορίες (ως 25 kg) αποτελούν υποκατηγορίες της ανοικτής κατηγορίας drones.

Στο ίδιο ΦΕΚ αναγνωρίζονται, επίσης, οι ειδικότητες χειριστή drones που αφορούν: τον εξεταστή χειριστών, τον εκπαιδευτή χειριστών, τον πιλότο επί του εδάφους, τον πιλότο επί του σκάφους, τον χειριστή σε απόσταση με επέκταση οπτικής επαφής, τον χειριστή σε απόσταση πέραν της οπτικής επαφής, τον χειριστή εναέριων εργασιών, τον χειριστή νυχτερινών πτήσεων και των χειριστή πτήσεων πάνω από συγκεντρώσεις ατόμων.

Ως προϋποθέσεις για την απόκτηση άδειας χειρισμού ορίζονται η συμπλήρωση του ορίου ηλικίας των δεκαοκτώ (18) ετών, το ικανοποιητικό επίπεδο θεωρητικών γνώσεων σε θέματα πολιτικής αεροπορίας, η ύπαρξη πιστοποιητικού υγείας (Class 3 Medical Fitness) σε ισχύ, στην ειδική και πιστοποιημένη κατηγορία, η πρακτική εξέταση (skill test) που πρέπει να περιλαμβάνει την επιτυχή πραγματοποίηση μέχρι και τεσσάρων (4) απογειώσεων/προσγειώσεων του drone ενώπιον πιστοποιημένου εξεταστή χειριστών, καθώς και η πολύ καλή γνώση αγγλικής γλώσσας επιπέδου ICAO English Proficiency Standard levels 4 ή ανώτερο για πτήσεις drones ειδικής και πιστοποιημένης κατηγορίας. Βάσει των προϋποθέσεων αυτών, για την απόκτηση άδειας χειρισμού, ο υποψήφιος πρέπει να περάσει από θεωρητική και πρακτική εκπαίδευση, η οποία παρέχεται από αδειοδοτημένα Εκπαιδευτικά Κέντρα και να ολοκληρώσει επιτυχημένα την ενδεδειγμένη θεωρητική και πρακτική εξέταση. Σε περίπτωση αποτυχίας κατά την εξέταση, ο υποψήφιος έχει τη δυνατότητα περαιτέρω εκπαίδευσης στο αντικείμενο που απέτυχε και

επανεξέτασης μετά την πάροδο τουλάχιστον δέκα ημερών. Η ανανέωση της άδειας πραγματοποιείται ανά τριετία, εφόσον ο χειριστής σε αυτά τα τρία χρόνια έχει δέκα πιστοποιημένες ώρες πτήσης και τα απαραίτητα πιστοποιητικά υγείας και γλωσσομάθειας σε ισχύ. Αν δεν πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις, τότε, για την ανανέωση της άδειας, είναι απαραίτητη η εκ νέου πρακτική εξέταση. Η ανάκληση ή η αναστολή της άδειας, είναι δυνατή, αν ο κάτοχος ή ο χειριστής του drone εμπλακεί σε ατύχημα, αν δεν κατέχει πιστοποιητικό υγείας και γνώσης των απαραίτητων αγγλικών σε ισχύ ή τέλος, έπειτα από αιτιολογημένη απόφαση του Διοικητή της ΥΠΑ.

Ο χειριστής ή ο φορέας εκμετάλλευσης οφείλει να ασφαλίζει το drone για ζημιές έναντι τρίτων και ειδικότερα έναντι υλικών ζημιών τρίτων έως 150.000 ευρώ και για σωματικές βλάβες έως 1.000.000 ευρώ. Όσον αφορά στην προστασία των προσωπικών δεδομένων, οι κυρώσεις που επιβάλλονται στους παραβάτες καθορίζονται από τη σχετική, ισχύουσα νομοθεσία (Ν. 2472/1997).

7 Δεξιότητες

7.1 Γενικά

Τα drones έχουν εισβάλλει πλέον στη ζωή μας και στο μέλλον η παρουσία τους θα αυξάνεται διαρκώς στην καθημερινότητα των πολιτών.

Το ποσοστό ατυχημάτων σε πτήσεις drones είναι υψηλότερο σε σχέση με τις πτήσεις των επανδρωμένων αεροσκαφών. Σε ένα σημαντικό ποσοστό των ατυχημάτων με drones σχετίζεται ο ανθρώπινος παράγοντας (Hobbs & Herwitz, 2005). Αν και στόχος μπορεί να είναι η αυτόνομη λειτουργία τους, η ανθρώπινη παρέμβαση και ο έλεγχος αυτών, σε έναν βαθμό τουλάχιστον, είναι τις περισσότερες φορές απαραίτητα συστατικά για την επιτυχή λειτουργία τους. Η διασφάλιση λειτουργιών πλοήγησης, ο έλεγχος του υψομέτρου αλλά και περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, είναι μερικοί από τους λόγους που καθιστούν απαραίτητη την παρουσία ενός χειριστή (Williams & Harris, 2002). Ο χειριστής ενός drone έχει επιφορτιστεί με πρόσθετες απαιτήσεις σε σχέση με τον πιλότο ενός επανδρωμένου αεροσκάφους (όπως π.χ. τη συντήρηση του εξοπλισμού και του λογισμικού), καθιστώντας τον περισσότερο επιβλέποντα της όλης λειτουργίας παρά πιλότο. Αυτή η αλλαγή πρακτικά σημαίνει ότι η εργασία του χειριστή όχι μόνο δεν έχει μειωθεί αλλά αντιθέτως έχει αυξηθεί, καθώς απαιτεί γνώσεις και δεξιότητες που πρέπει να εφαρμόζονται σε ένα διαφορετικό σύνολο περιπτώσεων (Wheatcroft et al., 2017).

Για να αποκτήσει κάποιος άδεια ως χειριστής drone, απαιτούνται μία σειρά από προϋποθέσεις. Πέρα όμως από τα τυπικά προσόντα, υπάρχει ένα πλήθος δεξιοτήτων που πρέπει να διακρίνει τον χειριστή ενός UAV, ώστε να εξασφαλίζεται μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας μίας πτήσης ελαχιστοποιώντας παράλληλα τους κινδύνους που μία πτήση εγκυμονεί. Όλα αυτά αναλύονται στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου.

7.2 Προϋποθέσεις που καθορίζονται από το κανονιστικό πλαίσιο

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, σύμφωνα με το κανονιστικό πλαίσιο της Ελλάδας, για την απόκτηση άδειας χειρισμού πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- Ηλικία μεγαλύτερη των 18 ετών
- Ικανοποιητικό επίπεδο θεωρητικών γνώσεων σε θέματα πολιτικής αεροπορίας

- Πιστοποιητικού υγείας (Class 3 Medical Fitness) σε ισχύ, στην ειδική και πιστοποιημένη κατηγορία
- Επιτυχή πρακτική εξέταση (skill test), η οποία περιλαμβάνει την επιτυχή πραγματοποίηση μέχρι και τεσσάρων (4) απογειώσεων/προσγειώσεων του drone ενώπιον πιστοποιημένου εξεταστή χειριστών
- Πολύ καλή γνώση αγγλικής γλώσσας επιπέδου ICAO English Proficiency Standard levels 4 ή ανώτερο για πτήσεις drones ειδικής και πιστοποιημένης κατηγορίας

Η ανανέωση της άδειας έχει τριετή ισχύ, εφόσον ο χειριστής σε αυτά τα τρία χρόνια έχει δέκα πιστοποιημένες ώρες πτήσης και τα απαραίτητα πιστοποιητικά υγείας και γλωσσομάθειας είναι ακόμη σε ισχύ. Αν δεν πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις, τότε, για την ανανέωση της άδειας, είναι απαραίτητη η εκ νέου πρακτική εξέταση. Η ανάκληση ή η αναστολή της άδειας, είναι δυνατή, αν ο κάτοχος ή ο χειριστής του drone εμπλακεί σε ατύχημα, αν δεν κατέχει πιστοποιητικό υγείας και γνώσης των απαραίτητων αγγλικών σε ισχύ ή τέλος, έπειτα από αιτιολογημένη απόφαση του Διοικητή της ΥΠΑ.

7.3 Χαρακτηριστικά ενός καλού χειριστή

Σύμφωνα με την εταιρεία DARTdrones, η οποία έχει εκπαιδεύσει χιλιάδες νέους χειριστές drones, ένας πιλότος drone πρέπει να διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Marzani, A., 2018):

Να δίνει σημασία στις λεπτομέρειες. Η επιτυχής πλοήγηση ενός drone απαιτεί μία σειρά από ενέργειες, οι οποίες πρέπει να ακολουθούνται με ευλάβεια. Ο έλεγχος και η συντήρηση του drone και του λογισμικού του, η ενημέρωση για τις καιρικές συνθήκες και γενικότερα τις συνθήκες κάτω από τις οποίες θα διεξαχθεί μία πτήση, αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για μία επιτυχή και ασφαλή πτήση. Κάποιος ο οποίος παραλείπει βήματα δεν είναι πιθανό να γίνει ένας αποτελεσματικός και ασφαλής πιλότος.

Να είναι επικοινωνιακός και να διαθέτει αυτοπεποίθηση με τον κόσμο. Πολύ συχνά οι χειριστές των drones, προσεγγίζονται από το κοινό και γίνονται δέκτες πολλών ερωτήσεων (για τον εξοπλισμό, πως λειτουργεί, τι κάνουν, πως μπορούν και εκείνοι να γίνουν χειριστές). Κάποιος που νιώθει άβολα σε τέτοιες καταστάσεις, ίσως δυσκολευτεί να ολοκληρώσει την αποστολή του.

Να μπορεί να παραμείνει ήρεμος και συγκεντρωμένος. Το να χειρίζεσαι ένα drone είναι μία δύσκολη και αγχωτική διαδικασία. Δυσλειτουργία του εξοπλισμού και άλλα απροσδόκητα γεγονότα μπορούν να συμβούν κατά τη διάρκεια μίας πτήσης. Ιδιαίτερα αν η πτήση πραγματοποιείται μπροστά σε κοινό, τίθενται και θέματα ασφάλειας που κάνουν την όλη διαδικασία ακόμη πιο αγχωτική. Σε τέτοιου είδους καταστάσεις, κάποιος πρέπει να παραμείνει ψύχραιμος και συγκεντρωμένος, χωρίς να καταληφθεί από το άγχος και τον πανικό.

Να είναι πειθαρχημένος. Ένα drone, παρά το ενδεχόμενο μικρό του μέγεθος, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι αποτελεί έναν τύπο αεροσκάφους και οι πτήσεις αυτού υπάγονται σε κάποιους κανονισμούς. Ο χειριστής θα πρέπει να πειθαρχεί στους κανονισμούς και να αντιλαμβάνεται την ευθύνη που έχει, καθώς και τις συνέπειες των πράξεων του.

Να είναι ακριβής. Σε αρκετές περιπτώσεις, σκοπός μίας πτήσης είναι η συλλογή δεδομένων από ένα μέρος ή η λήψη βίντεο ή φωτογραφίας μίας τοποθεσίας μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ένας χειριστής θα πρέπει να φτάσει στον τόπο εγκαίρως ώστε να εκτελέσει όλες αυτές τις διαδικασίες που απαιτούνται πριν την πτήση, όπως να αξιολογήσει την κατάσταση και τις καιρικές συνθήκες, να ανιχνεύσει την περιοχή, να εντοπίσει πιθανούς κινδύνους και να ελέγξει τον εξοπλισμό του. Εάν ο χειριστής δεν είναι ακριβής, είναι πιθανό να παραλείψει σημαντικά βήματα της προ πτήσης διαδικασίας, αυξάνοντας την πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος.

Να είναι οργανωτικός. Προκειμένου να ακολουθηθεί με απόλυτη συνέπεια η διαδικασία που απαιτείται για μία ασφαλή και επιτυχημένη πτήση κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες, ένας χειριστής θα πρέπει να είναι οργανωτικός, δημιουργώντας σχολαστικά ένα πλάνο για κάθε αποστολή καθώς και ένα πρόγραμμα για τη συντήρηση του εξοπλισμού του.

Να μην είναι αλαζόνας και υπερόπτης. Ο χειρισμός ενός drone είναι μια δύσκολη και επικίνδυνη διαδικασία. Ένας χειριστής που υπερεκτιμά τις ικανότητες του, θεωρώντας πως είναι απίθανο να υποπέσει σε κάποιο σφάλμα, είναι πιθανό να προκαλέσει ατύχημα ή ζημιά. Ένας χειριστής θα πρέπει να γνωρίζει ότι ατυχήματα είναι δυνατόν να συμβούν ακόμη και στον καλύτερο χειριστή και να επιδεικνύει αυτοπεποίθηση αλλά όχι έπαρση.

Να αντιμετωπίζει με ενθουσιασμό το αντικείμενό του. Ο τομέας των UAVs είναι σχετικά νέος, με τεράστια δυναμική και δυνατότητες εξέλιξης. Οι τεχνολογίες διαρκούν αλλάζουν. Ο χειριστής ενός drone, πρέπει να διακρίνεται από ενθουσιασμό και πάθος για το

αντικείμενο αυτό, να ενημερώνεται διαρκώς και να βελτιώνεται. Αν χάσει τον ενδιαφέρον του, είναι πιθανό να τον προλάβουν οι εξελίξεις και να καταλήξει ένας ανεπαρκής χειριστής.

Να διακρίνεται από έντονο ενδιαφέρον να μάθει πράγματα για κάθε πτήση. Ο χειριστής ενός drone, πρέπει όπως και αυτό να είναι διατεθειμένος να συλλέγει δεδομένα. Θα πρέπει να αξιολογήσει μια θέση πτήσης, να συγκεντρώσει πληροφορίες σχετικά με διάφορους παράγοντες και να λάβει τις τελικές αποφάσεις σχετικά με τις ιδιαιτερότητες του κατάλληλου σχεδίου πτήσης. Ένας πιλότος ο οποίος συλλέγει πληροφορίες σχετικά με την πτήση του, έχει πολύ μεγαλύτερες πιθανότητες να κάνει ασφαλείς και επιτυχημένες πτήσεις σε σχέση έναν πιλότο που αντιμετωπίζει κάθε πτήση σαν την προηγούμενη.

Να διαθέτει αυτογνωσία και αυτοέλεγχο. Ένας χειριστής πρέπει να γνωρίζει τις δυνατότητές του, τις αδυναμίες του καθώς και τα όρια του. Πρέπει να μπορεί να αναλύει την τρέχουσα κατάσταση, να ζυγίζει τις δυνατότητές του και να αποφασίζει πότε δεν πρέπει να γίνει μία πτήση.

Να είναι αποφασιστικός. Ο χειριστής είναι εκείνος ο οποίος θα πρέπει να λαμβάνει την τελική απόφαση για το αν πραγματοποιηθεί μία πτήση ή όχι, αν θα σταματήσει πρόωρα μία αποστολή, ακόμη και αν υπάρχουν αντίθετες απόψεις. Θα πρέπει ακόμη να θέτει όρια ή περιορισμούς, όταν οι απαιτήσεις μίας αποστολής το επιβάλλουν.

7.4 Γνώσεις, δεξιότητες και ικανότητες των χειριστών Drones

Τα χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα αποτελούν την εκτίμηση μιας εταιρείας με εμπειρία ετών στην εκπαίδευση χειριστών drones. Στην βιβλιογραφία, υπάρχουν μια σειρά από επιστημονικές έρευνες οι οποίες εξετάζουν τις γνώσεις, δεξιότητες, ικανότητες και άλλα χαρακτηριστικά (Knowledge, Skills, Abilities, and Other Characteristics - KSAOs) που πρέπει να διακρίνουν τον χειριστή ενός UAV. Οι περισσότερες από αυτές περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν και πολύ περισσότερα, καθώς βασίζονται σε μία σειρά από δοκιμασίες στις οποίες υπεβλήθησαν πεπειραμένοι ή εκπαιδευόμενοι χειριστές drones. Τα σημαντικότερα πορίσματα κάποιων από αυτές τις έρευνες, αναλύονται στην παρούσα ενότητα.

Ο Howse (2011), μελετώντας πάνω από 200 έρευνες, κατέληξε σε 8 οι οποίες περιγράφουν μια σειρά από KSAOs που πρέπει να χαρακτηρίζουν τον χειριστή ενός drone. Σύμφωνα με τους Crumley & Bailey, η πρώτη απόπειρα διεξήχθη το 1979, από τον

Αμερικανικό Στρατό και πιο συγκεκριμένα από το Ινστιτούτο Έρευνας για τις Συμπεριφοριστικές και Κοινωνικές Επιστήμες (ARI - Army Research Institute) και προσπάθησε να καθορίσει το σύνολο των χαρακτηριστικών που έπρεπε να διακρίνουν έναν χειριστή drone. Εκείνες τις εποχές βέβαια, ο αριθμός χειριστών ήταν περιορισμένος και στην έρευνα χρησιμοποιήθηκαν πιλότοι αεροσκαφών (AVOs - AirVehicle Operators) και χειριστές ωφέλιμου φορτίου ή χειριστές αισθητήρων (MPOs - Mission Payload Operators ή Sos - Sensor Operators). Η έρευνα αποτελούταν από 27 ερωτήσεις τύπου Likert καθώς και ανοικτού τύπου ερωτήσεις. Οι συνολικά 15 συμμετέχοντες στις συνεντεύξεις υπηρετούσαν στην ομάδα ανάπτυξης για το σύστημα Aquila. Από τις απαντήσεις που δόθηκαν καταγράφηκαν 8 χαρακτηριστικά που πρέπει να διακρίνουν τους χειριστές UAVs, τα οποία φαίνονται στην εικόνα 43. Δεν δόθηκε από τους συγγραφείς καμία περιγραφή των χαρακτηριστικών αυτών (Howse, 2011).

Skills	
1	Map Reading
2	Photo Interpretation
Abilities	
3	Oral Comprehension
4	Situational Awareness
5	Oral Expression
6	Multilimb Coordination
Other Characteristics	
7	Affinity for Planning and Logic
8	Affinity for Uncertainty

Εικόνα 43: Χαρακτηριστικά ενός ικανού χειριστή drone σύμφωνα με τους Crumley & Bailey.

Το 1998 και μετά από 19 χρόνια απουσίας οιασδήποτε προφανής απόπειρας προσδιορισμού KSAOs για χειριστές αεροσκαφών, οι Biggerstaff et al., (1998) διεξήγαγαν μία έρευνα για να προσδιορίσουν τα χαρακτηριστικά ενός πιλότου drone, αν και το πεδίο εφαρμογής τους περιοριζόταν στον ρόλο του εξωτερικού πιλότου (EP - External Pilot). Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημάνουμε πως μπορούμε να διακρίνουμε τους πιλότους των UAVs σε δύο κατηγορίες. Σε αυτούς που ασχολούνται κατά τη φάση της απογείωσης και της προσγείωσης ενός UAV (LRE - Launch and Recovery Element) και χαρακτηρίζονται ως εξωτερικοί και σε αυτούς που χειρίζονται το αεροσκάφος ακριβώς μετά την απογείωση και πριν την προσγείωση, κατά της φάση δηλαδή της αποστολής (MCE - Mission Control Element) και αναφέρονται σαν εσωτερικοί πιλότοι (IPs - Internal Pilots) (Rose et al., 2013).

Τα αντίστοιχα τεστ CPBT (Cognitive-Behavioral Play Therapy) που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι ικανότητες που εξετάζουν, φαίνονται στον πίνακα 6. Οι δοκιμασίες αυτές δεν είναι ανεξάρτητες, καθώς μπορούν να δοκιμαστούν συνδυαστικά (π.χ. το PMT με το DLT, το HT με το DC και το Manikin με το TET) και με συγκεκριμένη σειρά (Howse., 2011).

Test	Ability
PMT - Psychomotor Test	Multilimb Coordination
DLT - Dichotic Listening test	Divided Attention
HT - Horizontal Tracking	Perceptual Motor Tracking
DC - Digit Cancellation	Reaction Time & Short-Term Memory
Manikin	Mental Rotation & Short-Term Memory
TET - Time Estimation	Perceptual Tracking

Πίνακας 6: Τεστ που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα των Biggerstaff et al.

Ο παραγόμενος κατάλογος χαρακτηριστικών (Πίνακας 7), σύμφωνα με τους συγγραφείς, συνίστατο αποκλειστικά από 5 δεξιότητες, καθώς δεν συμπεριλήφθηκαν συγκεκριμένες γνώσεις, ικανότητες ή άλλα χαρακτηριστικά. Οι παράγωγες δεξιότητες ήταν πιθανόν αναφερόμενες ως τέτοιες, επειδή η πηγή τους ήταν δείγμα πλήρως καταρτισμένων, επιτυχημένων επαγγελματιών και όχι υποψηφίων. Ως εκ τούτου, θεωρούνται ότι υπάρχουν προσωπικές ιδιότητες που προσδίδονται από προηγούμενες διαδικασίες επιλογής και κατάρτισης.

Skills
Mental reversals/rotation
Estimation of time to contact
Eye-hand coordination
Selective auditory attention
Multitasking (psychomotor + visual)

Πίνακας 7: Ικανότητες που απαιτούνται με βάση την έρευνα των Biggerstaff et al.

Κάποιες από τις υπόλοιπες έρευνες, βασίστηκαν στη λίστα ικανοτήτων του Fleishman (1984) και περιελάμβαναν πολύ περισσότερα χαρακτηριστικά. Ο Fleishman είχε εντοπίσει, περιγράψει και απομονώσει ένα σύνολο 52 γνωστικών ικανοτήτων που μπορεί να θεωρηθούν ως οι γνωστικοί πόροι που είναι διαθέσιμοι σε ένα άτομο για την εκτέλεση οποιουδήποτε έργου (Πίνακας 8).

Ability	Definition
Oral comprehension	Ability to understand spoken English words and sentences.
Written comprehension	Ability to understand written sentences and paragraphs.
Oral expression	Ability to use English words or sentences in speaking so others will understand.
Written expression	Ability to use English words or sentences in writing so others will understand.
Fluency of ideas	Ability to produce a number of ideas about a given topic.
Originality	Ability to produce unusual or clever ideas about a given topic or situation. It is the ability to invent creative solutions to problems or to develop new procedures to situations in which standard operating procedures do not apply.
Memorization	Ability to remember information, such as words, numbers, pictures, and procedures. Pieces of information can be remembered by themselves or with other pieces of information.
Problem sensitivity	Ability to tell when something is wrong or is likely to go wrong. It includes being able to identify the whole problem as well as the elements of the problem.
Mathematical reasoning	Ability to understand and organize a problem and then to select a mathematical method or formula to solve the problem. It encompasses reasoning through mathematical problems to determine appropriate operations that can be performed to solve problems. It also includes the understanding or structuring of mathematical problems. The actual manipulation of numbers is not included in this ability.
Number facility	Involves the degree to which adding, subtracting, multiplying, and dividing can be done quickly and correctly. These can be steps in other operations, such as finding percentages and taking square roots.
Deductive reasoning	Ability to apply general rules to specific problems to come up with logical answers. It involves deciding if an answer makes sense.
Inductive reasoning	Ability to combine separate pieces of information, or specific answers to problems, to form general rules or conclusions.
Information gathering	Ability to follow correctly a rule or set of rules to arrange things or actions in a certain order. The rule or sets of rules used must be given. The things or actions to be put in order can include numbers, letters, words, pictures, procedures, sentences, and mathematical or logical operations.
Category flexibility	Ability to produce many rules so that each rule tells how to group a set of things in a different way. Each different group must contain at least two things from the original set of things.
Speed of closure	Involves the degree to which different pieces of information can be combined and organized into one meaningful pattern quickly. It is not known beforehand what the pattern will be. The material may be visual or auditory.
Flexibility of closure	Ability to identify or detect a known pattern (such as a figure, word, or object) that is hidden in other material. The task is to pick out the disguised pattern from the background material.
Spatial orientation	Ability to tell where you are in relation to the location of some object or to tell where the object is in relation to you.

Visualization	Ability to imagine how something will look when it is moved around or when its parts are moved or rearranged. It requires the forming of mental images of how patterns or objects would look after certain changes, such as unfolding or rotation. One has to predict how an object, set of objects or pattern will appear after the changes are carried out.
Perceptual speed	Involves the degree to which one can compare letters, numbers, objects, pictures or patterns, quickly and accurately. The things to be compared may be presented at the same time or one after the other. This ability also includes comparing a presented object with a remembered object.
Control precision	Ability to move controls of a machine or vehicle. This involves the degree to which these controls can be moved quickly and repeatedly to exact positions.
Multiple coordination	Ability to coordinate movements of two or more limbs (for example, two arms, two legs or one leg and one arm), such as in moving equipment controls. Two or more limbs are in motion while the individual is sitting, standing or lying down.
Response orientation	Ability to choose between two or more movements quickly and accurately when two or more different signals (lights, sounds, pictures) are given. The ability is concerned with the speed with which the right response can be started with the hand, foot or other parts of the body.
Rate control	Ability to adjust an equipment control in response to changes in the speed and/or directions of a continuously moving object or scene. The ability involves timing these adjustments in anticipating these changes. This ability does not extend to situations in which both the speed and direction of the object are perfectly predictable.
Reaction time	Ability to give one fast response to one signal (sound, light, picture) when it appears. This ability is concerned with the speed with which the movement can be started with the hand, foot or other parts of the body.
Arm-hand steadiness	Ability to keep the hand or arm steady. It includes steadiness while making an arm movement as well as while holding the arm and hand in one position. This ability does not involve strength or speed.
Manual dexterity	Ability to make skillful coordinated movements of one hand, a hand together with its arm, or two hands to grasp, place, move or assemble objects, such as hand tools or blocks. This ability involves the degree to which these arm-hand movements can be carried out quickly. It does not involve moving machine or equipment controls, such as levers.
Finger dexterity	Ability to make skillful coordinated movements of the fingers of one or both hands and to grasp, place or move small objects. This ability involves the degree to which these finger movements can be carried out quickly.
Wrist-finger speed	Ability to make fast, simple repeated movements of the fingers, hands and wrists. It involves little, if any, accuracy or eye-hand coordination.
Speed of limb movement	Involves the speed with which a single movement of the arms or legs can be made. This ability does not include accuracy, careful control or coordination of movement.
Selective attention	Ability to concentrate on a task one is doing. This ability involves concentrating while performing a boring task and not being distracted.
Time sharing	Ability to shift back and forth between two or more sources of information.
Static strength	Ability to use muscle force in order to lift, push, pull or carry objects. It is the maximum force that one can exert for a brief period of time.
Explosive strength	Ability to use short bursts of muscle force to propel oneself or an object. It requires gathering energy for bursts of muscle effort over a very short time period.

Dynamic strength	Ability of the muscles to exert force repeatedly or continuously over a long time period. This is the ability to support, hold up or move the body's own weight and/or objects repeatedly over time. It represents muscular endurance and emphasizes the resistance of the muscles to fatigue.
Trunk strength	Involves the degree to which one's stomach and lower back muscles can support part of the body repeatedly or continuously over time. The ability involves the degree to which these trunk muscles do not fatigue when they are put under such repeated or continuous strain.
Extent flexibility	Ability to bend, stretch, twist, or reach out with the body, arms or legs.
Dynamic flexibility	Ability to bend, stretch, twist, or reach out with the body, arms and/or legs, both quickly and repeatedly.
Gross body coordination	Ability to coordinate the movement of the arms, legs and torso together in activities in which the whole body is in motion.
Gross body equilibrium	Ability to keep or regain one's body balance or stay upright when in an unstable position. This ability includes maintaining one's balance when changing direction while moving or standing motionlessly.
Stamina	Ability of the lungs and circulatory systems of the body to perform efficiently over long time periods. This is the ability to exert oneself physically without getting out of breath.
Near vision	Capacity to see close environmental surroundings.
Far vision	Capacity to see distant environmental surroundings.
Visual color discrimination	Capacity to match or discriminate between colors. This capacity also includes detecting differences in color purity (saturation) and brightness (brilliance).
Night vision	Ability to see under low light conditions.
Peripheral vision	Ability to perceive objects or movements towards the edges of the visual field.
Depth perception	Ability to distinguish which of several objects is more distant from or nearer to the observer or to judge the distance of an object from the observer.
Glare sensitivity	Ability to see objects in the presence of glare or bright ambient lighting.
General hearing	Ability to detect and to discriminate among sounds that vary over broad ranges of pitch and/or loudness.
Auditory attention	Ability to focus on a single source of auditory information in the presence of other distracting and irrelevant auditory stimuli.
Sound localization	Ability to identify the direction from which an auditory stimulus originated relative to the observer.
Speech hearing	Ability to learn and understand the speech of another person.
Speech clarity	Ability to communicate orally in a clear fashion understandable to the listener.

Πίνακας 8: Λίστα ικανοτήτων του Fleishman.

Το 2000, οι Barnes et al., χρησιμοποιώντας το Σύστημα Λογισμικού Αξιολόγησης Εργασίας (JASS - Job Assessment Software System), προσπάθησαν να διερευνήσουν εναλλακτικές λύσεις για τους χειριστές UAVs. Τα 50 KSAOs που είχαν οριστεί στην εφαρμογή JASS, προέρχονταν από τη λίστα ικανοτήτων του Fleishman. Τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν ήταν γνωστικές δεξιότητες και ικανότητες που κρίνονται ότι σχετίζονται με την απογείωση και προσγείωση του αεροσκάφους (EP) και τα καθήκοντα πτήσης και πλοήγησης ενός UAV (IP και EP). Αξιολογητές ήταν 30 ειδικευόμενοι στα drones Hunter (AVOs και MPOs) και για την έρευνα σχετικά με τις ικανότητες των IP 16 στρατιωτικοί πιλότοι. Η δομή JASS κατηγοριοποιεί τις ικανότητες που προέρχεται από τον Fleishman σε οκτώ ευρύτερες περιοχές: α) επικοινωνία (communication), β) αντίληψη (conceptual), γ) αιτιολόγηση (reasoning), (δ) ταχύτητα (speed loaded) (ε) όραση (vision), (στ) ακρόαση (audition), (ζ) ψυχοκινητική (psychomotor), και (η) κινητικές δεξιότητες (gross motor). Τα αποτελέσματα της έρευνας απεικονίζονται στον πίνακα 9. Η μελέτη δεν βρήκε στοιχεία που να υποστηρίζουν την αντικατάσταση των ειδικευόμενων EVO από έμπειρους πιλότους, αλλά επισήμανε προτάσεις για την καλύτερη εκπαίδευση και κατάρτιση ως την καλύτερη μέθοδο προσαρμογής στις αλλαγές σχεδιασμού (Rose et al., 2013).

Abilities	UAV	EP
Communication	+++	
Conceptual	++	+++
Reasoning	++	
Speed loaded		
Vision	+	+++
Audition	+	
Psychomotor		+++
Gross motor	+	

Πίνακας 9: Ικανότητες που απαιτούνται με βάση την έρευνα των Barnes et al.

Σύμφωνα με τον Caretta (2013), 139 υποψήφιοι πιλότοι drones (URT - Undergraduate Remote-Pilot Training) κατά τα έτη 2009 - 2012, υπεβλήθησαν σε δύο κατηγορίες δοκιμασιών: τα AFOQT (Air Force Officer Qualifying Test) και TBAS (Test of Basic Aviation Skills). Το πρώτο αποτελείται από 11 δοκιμασίες που εξετάζουν την αντίληψη του δοκιμαζόμενου καθώς και μια δοκιμασία αξιολόγησης της προσωπικότητας (Πίνακας 10). Το δεύτερο τεστ, το οποίο σε αντίθεση με το πρώτο γίνεται μέσω υπολογιστή, αποτιμά τις ικανότητες των εκπαιδευόμενων πιλότων. Αποτελείται από 8

υποδοκιμασίες, οι οποίες εκτιμούν τις ψυχοκινητικές δεξιότητες, την ικανότητα του ανθρώπου να ασχολείται με πολλά αντικείμενα ταυτόχρονα καθώς και τον χωρικό προσανατολισμό (Πίνακας 11). Τα δύο tests απέδειξαν καλή προβλεπτική ισχύ, καθώς οι υποψήφιοι οι οποίοι βρίσκονταν στο 25% των χαμηλότερων επιδόσεων απέτυχαν στις εξετάσεις σε ποσοστό 52.2%. Αντίθετα, το ποσοστό αποτυχίας σε εκείνους που βρίσκονταν στο 25% των υψηλότερων επιδόσεων, ήταν μόλις 7.8% (Carretta, 2013).

Test	Description
Verbal Analogies	This test measures the ability to reason and see relationships among words. Examinees must choose the word that best completes the analogy presented.
Arithmetic Reasoning	This test assesses the ability to solve arithmetic problems.
Word Knowledge	This test measures knowledge of words and their meanings. Examinees are presented with a target word and must choose the closest synonym from a list of five alternatives.
Math Knowledge	This test assesses knowledge of mathematical principles and terminology.
Instrument Comprehension	This test measures the ability to determine the position of an airplane in flight from reading instruments showing its compass heading, amount of climb or dive, and degree of bank to right or left.
Block Counting	This test measures spatial reasoning. A 3-dimensional pile of blocks is shown. Examinees must determine how many blocks are touched by a designated block.
Table Reading	This test measures the ability to read a table quickly and accurately.
Aviation Information	This test measures aviation knowledge and principles.
General Science	This test assesses knowledge of scientific principles.
Rotated Blocks	This test measures the ability to visualize and manipulate objects in space. Examinees are shown a target block and must choose the alternative that can be manipulated to look like it.
Hidden Figures	This test assesses the ability to determine which simple figure among five alternatives is embedded in a complex drawing.
Self-Description Inventory	This test measures the Big Five personality domains of Neuroticism, Extraversion, Openness, Agreeableness, and Conscientiousness and several of their underlying facets.

Πίνακας 10: Δοκιμασίες του AFOQT.

Subtest	Description
3 Digit Listening (3 DIG)	Examinees are presented with numbers and letters via headphones; must respond to three specified target numbers.
5 Digit Listening (5 DIG)	Examinees are presented with numbers and letters via headphones; must respond to five specified target numbers.
Airplane Tracking (ATT)	Examinees use a control stick to keep a gun sight on an airplane as it moves at a constant rate. The airplane changes directions randomly during the task.
Horizontal Tracking (HTT)	Examinees use rudder pedals to keep a box over an airplane as it moves horizontally at the bottom of the screen.
ATT and HTT	Examinees simultaneously perform the Airplane Tracking and Horizontal Tracking tasks.
ATT, HTT, and 3 DIG	Examinees simultaneously perform the Airplane Tracking, Horizontal Tracking, and 3 Digit Listening tasks.
ATT, HTT, and 5 DIG	Examinees simultaneously perform the Airplane Tracking, Horizontal Tracking, and 5 Digit Listening tasks.
Emergency Scenarios	Examinees simultaneously perform the Airplane Tracking and Horizontal Tracking tasks while responding to an emergency situation presented by an audio signal.
UAV Test	A UAV is shown flying in a given direction with a map view of the ground. Examinees must identify targets indicated on the map.

Πίνακας 11: Δοκιμασίες του TBAS.

Με βάση μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, οι Paullin et al. (2011), αναγνώρισαν 10 δεξιότητες, 25 ικανότητες και 12 άλλα χαρακτηριστικά για πιλότους RPA (Remotely Piloted Aircraft) και χειριστές αισθητήρων (SOs), τα οποία στη συνέχεια αναθεωρήθηκαν από διάφορους εμπειρογνώμονες, συμπεριλαμβανομένων πιλότων επανδρωμένων αεροσκαφών, πιλότων drones, ειδικούς εκπαιδευτές των SOs και ψυχολόγους σχετικούς με την αεροπλοΐα. Μετά την αναθεώρηση των εμπειρογνομένων ο κατάλογος περιορίστηκε σε 22 χαρακτηριστικά που κρίθηκαν πιο σημαντικά. Ο κατάλογος που προκύπτει (Εικόνα 44) ήταν παρόμοιος για τους πιλότους RPA και τους SO αλλά και για πιλότους επανδρωμένων αεροσκαφών (Carretta, 2013).

Skills	Abilities	Non-Cognitive
Critical Thinking Judgment and Decision-Making Teamwork	Oral Comprehension Oral Expression Number facility Working Memory Task Prioritization Selective Attention Time Sharing Perceptual Speed Spatial Orientation Visualization Pattern Recognition Control Precision Situational Awareness	Initiative Assertiveness Decisiveness Self-Control Stress Tolerance Adaptability

Εικόνα 44: Χαρακτηριστικά με βάση την έρευνα των Pauline et al. και την αναθεώρηση των εμπειρογνομώνων.

Τέλος, οι Rose et al. (2013), παρουσίασαν τα αποτελέσματα μίας έρευνας η οποία περιλαμβάνει μία λίστα από χαρακτηριστικά που πρέπει να διακρίνει τον χειριστή ενός UAV, η οποία βασίζεται στην κατηγοριοποίηση ONET (Occupational Information Network) (Rose et al., 2013).

Abilities	
Time Sharing	Ability to efficiently shift back and forth between two or more activities or sources of information
Auditory Attention	Ability to focus on a single source of auditory information in the presence of other distracting sounds
Sound Localization	Ability to tell direction from which a sound originated
Control Precision	Ability to quickly and repeatedly make precise adjustments in moving the controls or vehicle to exact positions
Multilimb Coordination	Ability to coordinate movements of two or more limbs together while sitting, standing, or lying down
Rate Control	Ability to time the adjustments of a movement or equipment control in anticipation of changes in the speed or direction of a continuously moving object or scene
Memorization	Ability to remember information such as words, numbers, pictures, and procedures
Flexibility of Closure	Ability to identify or detect a known pattern that (figure, object, word, or sound) that is hidden in other distracting material
Perceptual Speed	Ability to quickly and accurately compare letters, numbers, objects, pictures, or patterns
Speed of Closure	Ability to quickly make sense of information that seems to be without meaning; involves quickly combining information into meaningful pattern

Mathematical Reasoning	Ability to understand and organize problem and then select mathematical method to solve problem
Reaction Time	Ability to quickly respond to a signal (e.g., sound) when it appears
Spatial Orientation	Ability to know one's location in relation to environment, or know where other objects are in relation to oneself
Visualization	Ability to imagine how something will look after it is moved around or when its parts removed/rearranged
Written Comprehension	Ability to read and understand information and ideas presented in writing
Knowledge	
Mathematics Knowledge	Knowledge of numbers, their operations, and interrelationships, including arithmetic, algebra, geometry, calculus, statistics, and their applications.
Skills	
Critical Thinking	Using logic and analysis to identify the strengths and weaknesses of different approaches.
Mathematics	Using mathematics to solve problems.
Reading Comprehension	Understanding written sentences and paragraphs in work-related documents.
Work style	
Achievement/Effort	Job requires establishing and maintaining personally challenging achievement goals and exerting effort toward task mastery.
Adaptability/Flexibility	Job requires being open to change and to considerable variety in the workplace.
Attention to Detail	Job requires being careful about detail and thorough in completing work tasks.
Cooperation	Job requires being pleasant with others on the job, displaying a good natured, cooperative attitude, and encouraging people to work together.
Dependability	Job requires being reliable and responsible, and dependable, and fulfilling obligations.
Leadership Orientation	Job requires a willingness to lead, take charge, and offer opinions and direction.
Stress Tolerance	Job requires accepting criticism and dealing calmly and effectively with high stress situations.

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά που απαιτούνται με βάση την έρευνα των Rose et al.

7.5 Επιλογή κατάλληλου χειριστή drone

Οι ώρες πτήσης των drones έχουν αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία είκοσι χρόνια. Ενδεικτικά, το 1996, υπολογίζονταν σε μερικές χιλιάδες, ενώ το 2005 σε 115.000. Δυστυχώς, η αυξημένη χρήση drones δεν έχει συνοδευτεί από ανάλογη αύξηση στην εκπαίδευση νέων χειριστών drones. Η αναμενόμενη αύξηση χρήση των drones σε στρατιωτικές και μη εφαρμογές, θα οξύνει ακόμη περισσότερο το πρόβλημα αυτό. Στο ερώτημα, αν υπάρχει κάποια ομάδα ανθρώπων που υπερτερεί στο να γίνει χειριστής drone, η απάντηση είναι ναι, καθώς έρευνες των τελευταίων ετών έχουν αποδείξει ότι οι χρήστες ηλεκτρονικών παιχνιδιών (VGPs - Video Game Players), υπερτερούν έναντι των

πολιτών που δεν έχουν εμπειρία στα ηλεκτρονικά παιχνίδια και στην πλοήγηση ενός αεροσκάφους. Μάλιστα, σε κάποιες από τις δεξιότητες που απαιτούνται για τον χειρισμό ενός drone ακόμη υπερτερούν ακόμη και έναντι πιλότων επανδρωμένων αεροσκαφών.

Συνοπτικά, μπορούμε να διακρίνουμε κάποια χαρακτηριστικά που διακρίνουν τους VGPs και τους καθιστούν ικανούς υποψήφιους χειριστές UAVs (Techsmart.gr, 2017).

Multitasking (Πολυεπεξεργασία). Η ικανότητα να επικεντρώνεται κάποιος σε πολλά αντικείμενα, εκτελώντας περισσότερες από μία ξεχωριστές λειτουργίες ταυτόχρονα. Η πλοήγηση ενός drone με σκοπό π.χ. τη λήψη μιας φωτογραφίας, απαιτεί έλεγχο του drone, την αποφυγή εμποδίων, την παρακολούθηση του χώρου και τον κατάλληλο της φωτογραφικής μηχανής για ώστε να επιτευχθεί η τέλεια λήψη.

Εμπειρία με τις διεπαφές χρήστη. Οι ελεγκτές των σύγχρονων drones μοιάζουν σε έναν βαθμό στους ελεγκτές μιας κονσόλας παιχνιδιών, προσφέροντας ένα πλεονέκτημα στους VGPs, όσον αφορά τον έλεγχο του drone. Παράλληλα, οι gamers παιχνιδιών μαχητικών αεροσκαφών ή παιχνιδιών προσομοίωσης πτήσης, έχουν ένα επιπλέον πλεονέκτημα.

Γρήγορος συντονισμός ανάμεσα σε χέρι και μάτι. Συνήθως, οι VGPs χρησιμοποιούν τα δάχτυλα τους χωρίς να βλέπουν το πληκτρολόγιο ή το joystick, αφού γνωρίζουν που βρίσκονται όλα τα κουμπιά. Ο έλεγχος του drone απαιτεί καλό και γρήγορο συντονισμό ανάμεσα στα χέρια και στα μάτια, κρατώντας το βλέμμα στο drone ενώ τα δάχτυλα ελέγχουν την πλοήγηση του drone.

Υπομονή, ψυχραιμία και συγκέντρωση. Ένα παιχνίδι χωρίς δράση και το οποίο δεν κρατά σε αγωνία τους παίκτες, απαιτώντας την απόλυτη προσοχή τους, συνήθως καταντά ανιαρό, με αποτέλεσμα να μην είναι δημοφιλές. Οι VGPs, συνηθίζουν να επιδεικνύουν υψηλούς βαθμούς υπομονής, ψυχραιμίας και συγκέντρωσης, συνήθως υπό συνθήκες πίεσης, προκειμένου να επιτύχουν στην αποστολή τους. Αντίστοιχες αρετές απαιτούνται και για τους χειριστές ενός drone.

Οι McKinley et al. (2011), στην έρευνά τους, χρησιμοποίησαν 30 εθελοντές τους οποίους διαχώρισαν σε 3 ομάδες (των 10 ατόμων η καθεμία). Η πρώτη ομάδα αποτελείτο από έμπειρους πιλότους επανδρωμένων αεροσκαφών, η δεύτερη από έμπειρους VGPs, ενώ την τρίτη ομάδα αποτελούσαν εθελοντές που δεν είχαν καθόλου ή ελάχιστη εμπειρία στα ηλεκτρονικά παιχνίδια και καμία εμπειρία στην πλοήγηση ενός αεροσκάφους. Η εμπειρία στα ηλεκτρονικά παιχνίδια αξιολογήθηκε με βάση το είδος του ηλεκτρονικού παιχνιδιού,

τη συχνότητα ενασχόλησης και τον συνολικό χρόνο ενασχόλησης (απαιτείτο ενασχόληση τουλάχιστον μίας ώρας, για τουλάχιστον 3 με 4 ημέρες την εβδομάδα και για μία περίοδο των τελευταίων 6 μηνών). Κάθε ένας από τους εθελοντές κατείχε τις βασικές γνώσεις χειρισμού ηλεκτρονικών υπολογιστών και εκπαιδεύτηκε σε 8 γνωστικά αντικείμενα που αφορούν τον χειρισμό ενός drone (McKinley et al., 2011). Η αξιολόγηση περιελάμβανε 8 δοκιμασίες (UAV Landing Task, Warship Commander, MAT-B, Delayed Matching to Sample, Rapid Visual Processing, Spatial Recognition Memory, Motion Inference, and Precision Timing).

Στη διαδικασία προσγείωσης του UAV (Landing Test), οι VGPs επέδειξαν αντίστοιχη απόδοση με τους πιλότους, ενώ υπερτερούσαν σε σχέση με τους εξεταζόμενους της τρίτης ομάδας.

Στο Warship Commander Test, οι VGPs, επέδειξαν την καλύτερη επίδοση από όλες τις ομάδες. Το συγκεκριμένο τεστ, σχετίζεται με τη λήψη σύνθετων γνωστικών αποφάσεων. Το αποτέλεσμα ήταν σχετικά αναμενόμενο καθώς το περιβάλλον ήταν οπτικό και απαιτούσε την παρακολούθηση πολλαπλών στόχων και γρήγορα αντανακλαστικά. Προηγούμενες έρευνες, έχουν άλλωστε δείξει ότι οι VGPs, διαθέτουν υψηλή αντίληψη του χώρου, γρήγορα αντανακλαστικά, πολύ καλό συντονισμό μεταξύ των ματιών και των χεριών, υψηλή ικανότητα να παρακολουθούν αντικείμενα ακόμη και αν αυτά κινούνται με αυξανόμενη ταχύτητα, χωρίς παράλληλα να αποσπάται η προσοχή τους.

Το MAT-B τεστ εξέταζε τις ικανότητες κρίσης, βραχυπρόθεσμης μνήμης, ακουστικές ικανότητες και οπτικής παρακολούθησης. Σε αυτό το τεστ, η πρώτη ομάδα επέδειξε καλύτερες επιδόσεις. Αυτό ίσως να οφείλεται στην εμπειρία τους ως πιλότοι, καθώς οι απαιτήσεις της συγκεκριμένης δοκιμασίας μοιάζουν με εκείνες μίας πραγματικής πτήσης.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα έδειξαν πως σε λειτουργίες που απαιτούν πολυσύνθετες ικανότητες, οι πιλότοι έχουν σαφές πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων εξεταζόμενων. Σε λειτουργίες που σχετίζονται την αναγνώριση και παρακολούθηση αντικειμένων, οι VGPs, υπερτερούν. Τέλος, στη λειτουργία της προσγείωσης, οι πιλότοι και οι VGPs, παρουσιάζουν παρόμοιες επιδόσεις, καλύτερες συγκριτικά με τα μέλη της τρίτης ομάδας McKinley et al., (2011).

7.6 Ψηφιακή επάρκεια και το πλαίσιο DigComp

Ζώντας, σε έναν ψηφιακό κόσμο, είναι απαραίτητο κάθε πολίτης να είναι ψηφιακά επαρκής, να κατέχει δηλαδή ένα σύνολο ψηφιακών δεξιοτήτων, προκειμένου να έχει ευκαιρίες στην μάθηση, στην εργασία, στη δημιουργία και να εξελίσσεται ζώντας σε μια κοινωνία η οποία χαρακτηρίζεται από την ψηφιακή τεχνολογία. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2013, δημιούργησε ένα πλαίσιο το οποίο καθορίζει τι σημαίνει ο όρος ψηφιακά επαρκής. Το πλαίσιο αυτό ονομάζεται DigComp (European Digital Competence Framework). Το DigComp αφορά τους πολίτες και δεν επικεντρώνεται σε συσκευές ή λογισμικό. Στόχος του είναι να ενθαρρύνει τους πολίτες στην χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας, με υπευθυνότητα, κριτική σκέψη και εμπιστοσύνη. Το πλαίσιο περιλαμβάνει μία περιεκτική περιγραφή των γνώσεων, δεξιοτήτων και χαρακτηριστικών που ένας πολίτης χρειάζεται σε 5 τομείς και 21 ικανότητες, προκειμένου να είναι ψηφιακά επαρκής.

Information and Data Literacy	<ul style="list-style-type: none"> • Browsing, searching and filtering data, information and digital content • Evaluating data, information and digital content • Managing data, information and digital content
Communication and Collaboration	<ul style="list-style-type: none"> • Interacting through digital technologies • Sharing through digital technologies • Engaging in citizenship through digital technologies • Collaborating through digital technologies • Netiquette • Managing digital identity
Digital Content Creation	<ul style="list-style-type: none"> • Developing digital content • Integrating and re-elaborating digital content • Copyright and licences • Programming
Safety	<ul style="list-style-type: none"> • Protecting devices • Protecting personal data and privacy • Protecting health and well-being • Protecting the environment
Problem Solving	<ul style="list-style-type: none"> • Solving technical problems • Identifying needs and technological responses • Creatively using digital technologies • Identifying digital competence gaps

Πίνακας 13: Οι τομείς και οι ικανότητες που περιλαμβάνονται στο DigComp.

Άρκετες από τις δεξιότητες που θα πρέπει να χαρακτηρίζουν έναν ικανό χειριστή drone σχετίζονται με όλους τους τομείς και περισσότερες από τις ικανότητες που περιλαμβάνονται στο DigComp. Άμεσα συσχετιζόμενος είναι ο τομέας της ασφάλειας, καθώς όλες οι επιμέρους ικανότητες που υπάγονται σε αυτόν είναι ύψιστης σημασίας και πρέπει να διακρίνουν τον χειριστή ενός drone.

Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση των προϋποθέσεων ομαλής ένταξης των drones στην καθημερινή ζωή των κατοίκων μιας έξυπνης πόλης. Στα πλαίσια αυτού του σκεπτικού έγινε μια καταγραφή της ιστορικής εξέλιξης των drones και της τρέχουσας τεχνολογικής στάθμης (state-of-the-art) αναφορικά με τις τεχνολογίες drones. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν, μη στρατιωτικές εφαρμογές των drones κυρίως σε αστικό περιβάλλον. Η ανάλυση της χρήσης drones σε “παραδοσιακές” δραστηριότητες και επαγγέλματα καθώς και ο βαθμός αποδοχής τους στα επαγγέλματα αυτά παρουσιάστηκε μέσα από την εκτεταμένη αναφορά των εφαρμογών των drones. Στη συνέχεια παρουσιάστηκε η έννοια της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων και με ποιο τρόπο απειλούνται από τη χρήση των drones. Στη συνέχεια παρουσιάστηκε το κανονιστικό πλαίσιο που διέπει την χρήση drones σε Ελληνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο. Τέλος, καταγράφηκαν οι δεξιότητες που απαιτούνται για τη χρήση των drones μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση διάφορων ερευνών.

Η χρήση των drones σε αστικό περιβάλλον συνδράμει σε μέγιστο βαθμό στην καθημερινή ζωή των κατοίκων μιας έξυπνης πόλης. Οι εφαρμογές τους εκτείνονται σε μια τεράστια γκάμα τομέων, από υπηρεσίες παράδοσης εμπορευμάτων σε ώρες αιχμής μέχρι την επιτήρηση και παρακολούθηση απρόσιτων περιοχών. Τα drones σε όλες αυτές τις εφαρμογές έχουν αποδειχτεί κρίσιμης σημασίας ιδιαίτερα σε περιπτώσεις και περιοχές όπου οι άνθρωποι δεν μπορούν να προσεγγίσουν ή δεν μπορούν να εκτελέσουν επικίνδυνα καθήκοντα με έγκαιρο και αποτελεσματικό τρόπο. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας παρουσιάστηκαν με αναλυτικό τρόπο οι εφαρμογές των drones σε αστικό περιβάλλον αλλά και οι προκλήσεις που δημιουργούν αυτές σε τομείς μη στρατιωτικών εφαρμογών, όπως η επιθεώρηση κατασκευών και υποδομών, η γεωργία ακριβείας, η έρευνα και διάσωση, η παράδοση αγαθών, η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και η παροχή ασύρματης κάλυψης. Οι βασικές προκλήσεις που απορρέουν από τη χρήση των drone σε αστικό περιβάλλον αφορούν κυρίως στους περιορισμούς ενέργειας, την αύξηση του ωφέλιμου φορτίου, την υφιστάμενη νομοθεσία, τη δικτύωση και την ασφάλεια.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν σχετικά με τις εφαρμογές των drones σε αστικό περιβάλλον, προκύπτει το βασικό συμπέρασμα της ανάγκης δημιουργίας ενός πλήρους κανονιστικού πλαισίου που να θέτει τις βάσεις της σωστής νομικής ρύθμισης των

χρήσεων των drones ώστε να είναι εφικτή η παγκόσμια εξάπλωσή τους σε όλους τους τομείς, αναδεικνύοντας με τον τρόπο αυτό όλα τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα UAVs. Βάσει αυτού του συμπεράσματος, καταγράφηκε το κανονιστικό πλαίσιο που υφίσταται αυτή τη στιγμή για τα drones όσον αφορά την ΕΕ και καθορίστηκε εάν αυτό σέβεται τα ανθρώπινα δικαιώματα όπως η προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων.

Η ανάλυση που παρουσιάστηκε σε αυτή την εργασία αποκαλύπτει ότι το ισχύον ρυθμιστικό πλαίσιο της ΕΕ για τα drones σέβεται σε μάλλον οριακό επίπεδο το δικαίωμα των πολιτών για προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων των ατόμων. Παρά την ύπαρξη αρκετών νομικών πλαισίων, εξακολουθούν να υπάρχουν κενά στις νομοθεσίες που πρέπει να καλυφθούν.

Κάτι τέτοιο προσπάθησε να εφαρμοστεί με τον προσδιορισμό νομοθετικών έργων ανάλογα με τον τύπο των drones που χρησιμοποιούνται σε κάθε εφαρμογή. Εντός της ΕΕ, ο EASA είναι υπεύθυνος μόνο για τον νομοθετικό έλεγχο των drones με βάρος άνω των 150 κιλών, πράγμα που σημαίνει ότι οι κίνδυνοι σχετικά με την προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων που δύνανται να δημιουργήσουν οι χειριστές των οχημάτων UAV κάτω των 150 κιλών δεν ήταν ευθύνη του EASA. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι οι χειριστές ή οι φορείς εκμετάλλευσης των drones δεν υπόκεινται στο κοινοτικό δίκαιο και, ως εκ τούτου, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της εφαρμογής της νομοθεσίας της ΕΕ σχετικά με την ιδιωτικότητα και την προστασία των προσωπικών δεδομένων. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας προέκυψε ότι η κατάσταση στην πράξη είναι πιο περίπλοκη, καθώς τα νομικά όργανα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση εξαρτώνται από τον τύπο της εκάστοτε εφαρμογής των drones. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μάλιστα, είναι σχεδόν αδύνατο να εφαρμοστεί η νομοθεσία της ΕΕ καθώς ο φορέας εκμετάλλευσης δεν μπορεί να εντοπιστεί. Στο πλαίσιο αυτό, για τις τρεις κατηγορίες drones που έχει προτείνει ο EASA και έχουν υιοθετηθεί και από την ελληνική νομοθεσία, τα όποια νομικά κενά θα μπορούσαν να συμπληρωθούν ως εξής: ο EASA θα πρέπει να είναι υπεύθυνος για την ανοιχτή κατηγορία, η εκάστοτε υπηρεσία για την ειδική κατηγορία, ενώ για την πιστοποιημένη κατηγορία υπεύθυνοι μπορεί να είναι και οι δύο φορείς.

Επιπλέον, δεδομένου ότι η προστασία της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων δεν είναι μόνο θεμελιώδη δικαιώματα της ΕΕ αλλά και θεμελιώδη ανθρώπινα δικαιώματα,

η ανάλυση που έγινε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αποδεικνύει ότι τα ανθρώπινα δικαιώματα δεν καλύπτονται πλήρως από την ισχύουσα νομοθεσία της ΕΕ. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να γίνουν προσπάθειες βελτίωσης του υφιστάμενου κανονιστικού πλαισίου, ώστε να είναι εφικτή η ευρύτερη χρήση των drones με παράλληλη πλήρης προστασία των δικαιωμάτων ιδιωτικότητας και προσωπικών δεδομένων των πολιτών.

Εκτός από τη νομοθεσία, η θέσπιση νέων κανονισμών είναι απολύτως αναγκαία για την αντιμετώπιση των κινδύνων της προστασίας της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων που θέτει η χρήση των drones. Οι βασικές ιδέες για νέους κανονισμούς που θα μπορούσε να αναπτύξει η ΕΕ περιλαμβάνουν: την καταγραφή των drones μη στρατιωτικών εφαρμογών, την υποχρέωση των κατασκευαστών να παράγουν drones που να σέβονται τα πρότυπα προστασίας της ιδιωτικότητας και των προσωπικών δεδομένων καθώς και την ενημέρωση των χειριστών και των φορέων εκμετάλλευσης σχετικά με τις νομικές συνέπειες σε περίπτωση παραβίασης των δικαιωμάτων προστασίας προσωπικών δεδομένων. Επιπλέον, η ΕΕ θα μπορούσε να αποτρέψει την επεξεργασία δεδομένων, απαγορεύοντας στους κατασκευαστές να εξοπλίζουν τα drones με εξοπλισμό βιομετρικής τεχνολογίας ή ανίχνευσης συμπεριφοράς. Οι κατασκευαστές των drones θα μπορούσαν επίσης να συμπεριλαμβάνουν αυτόματα συστήματα θόλωσης, έτσι ώστε να μειωθεί η πιθανότητα επεξεργασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα.

Επίσης, κάθε drone θα μπορούσε να είναι εφοδιασμένο με φυσικές και ηλεκτρονικές ετικέτες, έτσι ώστε να μπορεί να αναγνωριστεί εύκολα ο χειριστής του. Μια φυσική ετικέτα με τη μορφή πινακίδας κυκλοφορίας που να περιέχει τον αύξοντα αριθμό του drone και μια ηλεκτρονική ετικέτα, ένα RFID chip, θα μπορούσαν να επιτρέψουν στις αρχές να προσδιορίσουν τον τύπο δεδομένων που συλλέγονται από το drone. Μια άλλη ιδέα νέας ρύθμισης θα μπορούσε να είναι η κρυπτογράφηση δεδομένων, έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η πρόσβαση από μη εξουσιοδοτημένα άτομα.

Βιβλιογραφία

- Acheson, R., Bolton, M., Minor, E., & Pytlak, A. (2017). The Humanitarian Impact of Drones. Women's International League for Peace and Freedom; International Disarmament Institute, Pace University; Article 36.
- Aggarwal, S., Shojafar, M., Kumar, N., & Conti, M. (2019, May). A new secure data dissemination model in Internet of drones. In ICC 2019-2019 IEEE International Conference on Communications (ICC) (pp. 1-6). IEEE.
- Air, A. P. (2015). Revising the airspace model for the safe integration of small unmanned aircraft systems. Amazon Prime Air.
- Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146.
- Arfaoui, A. (2017). Unmanned aerial vehicle: Review of onboard sensors, application fields, open problems and research issues. *Int. J. Image Process*, 11(1), 12-24.
- Austin, R. (2011). *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment* (Vol. 54). John Wiley & Sons.
- Boniol, F. (2013). New challenges for future avionic architectures. In *Modeling Approaches and Algorithms for Advanced Computer Applications* (pp. 1-1). Springer, Cham.
- Boucher, P. (2015). Domesticating the drone: the demilitarisation of unmanned aircraft for civil markets. *Science and engineering ethics*, 21(6), 1393-1412.
- Bowman, D. M., Stokes, E., & Rip, A. (Eds.). (2017). *Embedding New Technologies Into Society: A Regulatory, Ethical and Societal Perspective*. CRC Press.
- Brar, S., Rabbat, R., Raithatha, V., Runcie, G., & Yu, A. (2015). *Drones for Deliveries*. Sutardja Center for Entrepreneurship & Technology, University of California, Berkeley, Technical Report, 8, 2015.
- Bretschneider, T. R., & Shetti, K. (2015). UAV-based gas pipeline leak detection. In *Proc. of ARCS*.
- Calderón, R., Navas-Cortés, J. A., Lucena, C., & Zarco-Tejada, P. J. (2013). High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of *Verticillium*

wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, 139, 231-245.

Carretta, T. R. (2013). Predictive validity of pilot selection instruments for remotely piloted aircraft training outcome. *Aviation, space, and environmental medicine*, 84(1), 47-53.

Chen, G. Y. (2016). Reforming the Current Regulatory Framework for Commercial Drones: Retaining American Businesses' Competitive Advantage in the Global Economy. *Nw. J. Int'l L. & Bus.*, 37, 513.

Choudhary, G., Sharma, V., You, I., Yim, K., Chen, R., & Cho, J. H. (2018, June). Intrusion Detection Systems for Networked Unmanned Aerial Vehicles: A Survey. In 2018 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC) (pp. 560-565). IEEE.

Chowdhury, S., Emelogu, A., Marufuzzaman, M., Nurre, S. G., & Bian, L. (2017). Drones for disaster response and relief operations: A continuous approximation model. *International Journal of Production Economics*, 188, 167-184.

City. (2014, August 30). Retrieved from <https://city.sigmalive.com/article/2014/8/30/enaerio-delivery-me-drones-poy-etoimazei-i-google/>

Civric, Z. (2011). Elements of the Concept of Sustainability in the Works of Nikola Tesla. In Proceedings ECOS Conference, Novi Sad.

Clarke, R. (2014). The regulation of civilian drones' impacts on behavioural privacy. *Computer Law & Security Review*, 30(3), 286-305.

Clarke, R. (2014). Understanding the drone epidemic. *Computer Law & Security Review*, 30(3), 230-246.

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 92, 79-97.

Dalamagkidis, K. (2015). Classification of uavs. *Handbook of unmanned aerial vehicles*, 83-91.

Demir, K. A., Cicibas, H., & Arica, N. (2015). Unmanned aerial vehicle domain: areas of research. *Defence Science Journal*, 65(4), 319-329.

DHL. (2018, October 4). Rapid response from the air: medicines successfully delivered using a parcel drone in East Africa. Retrieved from

<https://www.dpdhl.com/content/dam/dpdhl/en/media-relations/press-releases/2018/pr-dhl-parcelcopter-tanzania-20181004.pdf>

Dupont, Q. F., Chua, D. K., Tashrif, A., & Abbott, E. L. (2017). Potential applications of UAV along the construction's value chain. *Procedia Engineering*, 182, 165-173.

Eskandari, I., Navid, H., & Rangzan, K. (2016). Evaluating spectral indices for determining conservation and conventional tillage systems in a vetch-wheat rotation. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 93-98.

European Commission. (2015). European Digital Competence Framework for Citizens (DigComp). Retrieved from <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1315&langId=en>

Fenelon, M. A., & Furukawa, T. (2010). Design of an active flapping wing mechanism and a micro aerial vehicle using a rotary actuator. *Mechanism and Machine Theory*, 45(2), 137-146.

Finn, R. L., & Wright, D. (2012). Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. *Computer Law & Security Review*, 28(2), 184-194.

Finn, R. L., & Wright, D. (2016). Privacy, data protection and ethics for civil drone practice: A survey of industry, regulators and civil society organisations. *Computer Law & Security Review*, 32(4), 577-586.

Flashnews. (2014, September 28). DHL: Ξεκινά παράδοση μέσω drones. Retrieved from <https://flashnews.gr/post/193478/dhl-ksekina-paradosi-meso-drones>

Fotouhi, A., Qiang, H., Ding, M., Hassan, M., Giordano, L. G., Garcia-Rodriguez, A., & Yuan, J. (2019). Survey on UAV cellular communications: Practical aspects, standardization advancements, regulation, and security challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.

Friedewald, M., Burgess, J. P., Čas, J., Bellanova, R., & Peissl, W. (Eds.). (2017). *Surveillance, Privacy and Security: Citizens' Perspectives*. Taylor & Francis.

- Gheisari, M., Irizarry, J., & Walker, B. N. (2014, May). UAS4SAFETY: The potential of unmanned aerial systems for construction safety applications. In Construction Research Congress.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., & Kalasek, R. (2007). Pichler-Milanovic. Smart Cities Ranking of European Medium-Sized Cities.
- Giyenko, & Y. Im Cho, "Intelligent UAV in smart cities using IoT", In Control, Automation and Systems (ICCAS), 2016 16th International Conference on (pp. 207-210), IEEE, 2016.
- Gleave, S. D. (2014). Study on the third-party liability and insurance requirements of remotely piloted aircraft systems (RPAS). Final Report, 22603201.
- Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P., Nicolás, E., Nortes, P. A., Alarcón, J. J., Intrigliolo, D. S., & Fereres, E. (2013). Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. *Precision Agriculture*, 14(6), 660-678.
- Groß, R., Kolling, A., Berman, S., Frazzoli, E., Martinoli, A., Matsuno, F., & Gauci, M. (Eds.). (2018). *Distributed Autonomous Robotic Systems: The 13th International Symposium (Vol. 6)*. Springer.
- Gupta, S. G., Ghonge, M. M., & Jawandhiya, P. M. (2013). Review of unmanned aircraft system (UAS). *International journal of advanced research in computer engineering & technology (IJARCET)*, 2(4), 1646-1658.
- Hall, R. E., Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & Von Wimmersperg, U. (2000). The vision of a smart city (No. BNL--67902; 04042). Brookhaven National Lab., Upton, NY (US).
- Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., & Williams, P. (2010). Foundations for smarter cities. *IBM Journal of research and development*, 54(4), 1-16.
- Harrison, G. J. (2013). Unmanned Aircraft Systems (UAS): Manufacturing Trends (p. 2). Congressional Research Service.

- Hartmann, K., & Giles, K. (2016, May). UAV exploitation: A new domain for cyber power. In 2016 8th International Conference on Cyber Conflict (CyCon) (pp. 205-221). IEEE.
- Hassanalian, M., & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131.
- Hassanalian, M., & Abdelkefi, A. (2017). Design, manufacturing, and flight testing of a fixed wing micro air vehicle with Zimmerman planform. *Meccanica*, 52(6), 1265-1282.
- Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., Jensen, A., & McKee, M. (2015). Assessment of surface soil moisture using high-resolution multi-spectral imagery and artificial neural networks. *Remote Sensing*, 7(3), 2627-2646.
- Hayat, S., Yanmaz, E., & Muzaffar, R. (2016). Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: A communications viewpoint. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(4), 2624-2661.
- Hively, W., Lamb, B., Daughtry, C., Shermeyer, J., McCarty, G., & Quemada, M. (2018). Mapping Crop Residue and Tillage Intensity Using WorldView-3 Satellite Shortwave Infrared Residue Indices. *Remote Sensing*, 10(10), 1657.
- Hobbs, A., & Herwitz, S. R. (2005). Human factors in the maintenance of unmanned aircraft.
- Hodgkinson, D., & Johnston, R. (2018). *Aviation Law and Drones: Unmanned Aircraft and the Future of Aviation*. Routledge.
- Hofstrand, D. (2015). Economics of tile drainage. *Ag Decision Maker Newsletter*, 14(9), 3.
- Homainejad, N., & Rizos, C. (2015). Application of Multiple Categories of Unmanned Aircraft Systems (UAS) in Different Airspaces for Bushfire Monitoring and Response. The University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering, Sydney, (Vol. 4, pp. 55-60). XL-1.
- European Union Committee. (2015) *Civilian Use of Drones in the EU*.

- Howse, W. R. (2011). Knowledge, skills, abilities, and other characteristics for remotely piloted aircraft pilots and operators (No. DAS-2011-04). DAMOS AVIATION SERVICES INC GURNEE IL.
- Huang, Y., Thomson, S. J., Hoffmann, W. C., Lan, Y., & Fritz, B. K. (2013). Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 6(3), 1-10.
- Jensen, K., Skriver, M., & Schultz, U. P. (2016). Drone Identification and Tracking in Denmark. Syddansk Universitet. Mærsk Mc-Kinney Møller Institutet.
- Jensen, T., Apan, A., & Zeller, L. (2009). Crop maturity mapping using a low-cost low-altitude remote sensing system. In *Proceedings of the 2009 Surveying and Spatial Sciences Institute Biennial International Conference (SSC 2009)* (pp. 1231-1243). Surveying and Spatial Sciences Institute.
- Jo, D., & Kwon, Y. (2017). Development of Rescue Material Transport UAV (Unmanned Aerial Vehicle). *World Journal of Engineering and Technology*, 5(04), 720.
- Jones, A. (2017). Autonomous Cars: Navigating the Patchwork of Data Privacy Laws That Could Impact the Industry. *Catholic University Journal of Law and Technology*, 25(1), 6.
- Jordan, B. R. (2015). A bird's-eye view of geology: The use of micro drones/UAVs in geologic fieldwork and education. *GSA Today*, 25(7), 50-52.
- Joshi, P. M. (2015). Wing analysis of a flapping wing Unmanned aerial vehicle using CFD. *Development*, 2(5).
- Kardasz, P., Doskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P., & Zarzycki, H. (2016). Drones and Possibilities of their Using. *Journal of Civil Environmental Engineering*, 6(3), 1-7.
- Ke, R., Li, Z., Kim, S., Ash, J., Cui, Z., & Wang, Y. (2016). Real-time bidirectional traffic flow parameter estimation from aerial videos. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(4), 890-901.
- Keane, J. F., & Carr, S. S. (2013). A brief history of early unmanned aircraft. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 32(3), 558-571.

- Khanal, S., Fulton, J., & Shearer, S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 22-32.
- Kindt, E. J. (2016). *Privacy and data protection issues of biometric applications* (Vol. 1). Springer.
- Lagkas, T., Argyriou, V., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. (2018). UAV IoT Framework Views and Challenges: Towards Protecting Drones as “Things”. *Sensors*, 18(11), 4015.
- Larrauri, J. I., Sorrosal, G., & González, M. (2013, May). Automatic system for overhead power line inspection using an Unmanned Aerial Vehicle—RELIFO project. In *2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 244-252). IEEE.
- Lee, D. (2019, June 5). Amazon to deliver by drone 'within months'. Retrieved from <https://www.bbc.com/news/technology-48536319>
- Leitloff, J., Rosenbaum, D., Kurz, F., Meynberg, O., & Reinartz, P. (2014). An operational system for estimating road traffic information from aerial images. *Remote Sensing*, 6(11), 11315-11341.
- Levin, A. (2019, April 23). Google Spinoff's Drone Delivery Business First to Get FAA Approval. Retrieved from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-23/alphabet-s-drone-delivery-business-cleared-for-takeoff-by-faa>
- Limnaios, G. (2014). Current usage of unmanned aircraft systems (UAS) and future challenges: a mission oriented simulator for UAS as a tool for design and performance evaluation. *J. Comput. Model*, 4(1), 167-188.
- Marzani, A. (2018, March 5). 11 Qualities of a Great Commercial Drone Pilot: DARTdrones Drone Pilot School. Retrieved from <https://www.dartdrones.com/blog/qualities-commercial-drone-pilot/>
- Maslen, S., Weizmann, N., Homayounnejad, M., & Stauffer, H. (2018). *Drones and Other Unmanned Weapons Systems Under International Law*. Brill.
- McGoogan, C. (2016, December 14). Amazon makes first drone delivery to house in Cambridge. Retrieved from <https://www.telegraph.co.uk/technology/2016/12/14/amazon-makes-first-drone-delivery-house-cambridge/>

- McKinley, R. A., McIntire, L. K., & Funke, M. A. (2011). Operator selection for unmanned aerial systems: comparing video game players and pilots. *Aviation, space, and environmental medicine*, 82(6), 635-642.
- Menouar, H., Guvenc, I., Akkaya, K., Uluagac, A. S., Kadri, A., & Tuncer, A. (2017). UAV-enabled intelligent transportation systems for the smart city: Applications and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 55(3), 22-28.
- Mohamadi, F. (2014). Vertical takeoff and landing (VTOL) small unmanned aerial system for monitoring oil and gas pipelines. U.S. Patent No. 8,880,241. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., & Debbah, M. (2017). Mobile unmanned aerial vehicles (UAVs) for energy-efficient internet of things communications. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16(11), 7574-7589.
- Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., Nam, Y. H., & Debbah, M. (2019). A tutorial on UAVs for wireless networks: Applications, challenges, and open problems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011, June). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times* (pp. 282-291). ACM.
- Nassi, B., Shabtai, A., Masuoka, R., & Elovici, Y. (2019). SoK-Security and Privacy in the Age of Drones: Threats, Challenges, Solution Mechanisms, and Scientific Gaps. arXiv preprint arXiv:1903.05155.
- Park, J., Kim, S., & Suh, K. (2018). A comparative analysis of the environmental benefits of drone-based delivery services in urban and rural areas. *Sustainability*, 10(3), 888.
- Partridge, H. L. (2004). Developing a human perspective to the digital divide in the 'smart city'.
- Paullin, C., Ingerick, M., Trippe, D. M., & Wasko, L. (2011). Identifying best bet entry-level selection measures for US Air Force remotely piloted aircraft (RPA) pilot and sensor operator (SO) occupations (No. HRRO-FR-11-64). HUMAN RESOURCES RESEARCH ORGANIZATION ALEXANDRIA VA.

Piskorski, S., Brulez, N., Eline, P., & D'Haeyer, F. (2012). *Ar. drone developer guide*. Parrot, sdk, 1.

Qu, Y., Jiang, L., & Guo, X. (2016, April). Moving vehicle detection with convolutional networks in UAV videos. In *2016 2nd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)* (pp. 225-229). IEEE.

Rao, B., Gopi, A. G., & Maione, R. (2016). The societal impact of commercial drones. *Technology in Society*, 45, 83-90.

Rios, P. (2012). *Creating the smart city*. Ph.D. dissertation.

Rose, M. R., Arnold, R. D., & Howse, W. R. (2013). Unmanned aircraft systems selection practices: Current research and future directions. *Military Psychology*, 25(5), 413-427.

Rosser Jr, J. C., Vignesh, V., Terwilliger, B. A., & Parker, B. C. (2018). Surgical and Medical Applications of Drones: A Comprehensive Review. *JSLs: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 22(3).

Sampedro, C., Martinez, C., Chauhan, A., & Campoy, P. (2014, July). A supervised approach to electric tower detection and classification for power line inspection. In *2014 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 1970-1977). IEEE.

Sariel-Talay, S., Balch, T. R., & Erdogan, N. (2011). A generic framework for distributed multirobot cooperation. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 63(2), 323-358.

Schermer, B. W. (2011). The limits of privacy in automated profiling and data mining. *Computer Law & Security Review*, 27(1), 45-52.

Scott, J., & Scott, C. (2017, January). Drone delivery models for healthcare. In *Proceedings of the 50th Hawaii international conference on system sciences*.

Shakhatreh, H., Sawalmeh, A. H., Al-Fuqaha, A., Dou, Z., Almaita, E., Khalil, I., ... & Guizani, M. (2019). Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges. *IEEE Access*, 7, 48572-48634.

Shaw, I. G. (2016). *Predator empire: Drone warfare and full spectrum dominance*. U of Minnesota Press.

Shyy, W., Aono, H., Kang, C. K., & Liu, H. (2013). *An introduction to flapping wing aerodynamics* (Vol. 37). Cambridge University Press.

- Silvagni, M., Tonoli, A., Zenerino, E., & Chiaberge, M. (2017). Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), 18-33.
- Singhal, G., Bansod, B., & Mathew, L. (2018). Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges: A Review.
- Smith, M. L. (2015). Regulating law enforcement's use of drones: The need for state legislation. *Harv. J. on Legis.*, 52, 423.
- Solove, D. J. (2008). *Understanding privacy* (Vol. 173). Cambridge, MA: Harvard university press.
- Stöcker, C., Bennett, R., Nex, F., Gerke, M., & Zevenbergen, J. (2017). Review of the current state of UAV regulations. *Remote sensing*, 9(5), 459.
- Tanzi, T. J., Chandra, M., Isnard, J., Camara, D., Sebastien, O., & Harivelo, F. (2016, July). Towards "drone-borne" disaster management: future application scenarios. In XXIII ISPRS Congress, Commission VIII (Volume III-8) (Vol. 3, pp. 181-189). Copernicus GmbH.
- Techsmart.gr. (2017, May 26). 5 δεξιότητες που κάνουν τους gamers, τους καλύτερους πιλότους Drone. Retrieved from <https://techsmart.gr/5-δεξιότητες-που-κάνουν-τους-gamers-τους-καλ/>
- Theilmann, C. A. (2015). Integrating autonomous drones into the national aerospace system. Master of Science, University of Pennsylvania.
- Toppeta, D. (2010). The smart city vision: how innovation and ICT can build smart, "livable", sustainable cities. The Innovation Knowledge Foundation. Think.
- Vattapparamban, E., Güvenç, İ., Yurekli, A. İ., Akkaya, K., & Uluagaç, S. (2016, September). Drones for smart cities: Issues in cybersecurity, privacy, and public safety. In 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC) (pp. 216-221). IEEE.
- Vidyadharan, A., Philpott, R., Kwasa, B., & Bloebaum, C. (2017). Analysis of Autonomous Unmanned Aerial Systems Based on Operational Scenarios Using Value Modelling. *Drones*, 1(1), 5.

Vincent, J., & Gartenberg, C. (2019, June 5). Here's Amazon's new transforming Prime Air delivery drone. Retrieved from

<https://www.theverge.com/2019/6/5/18654044/amazon-prime-air-delivery-drone-new-design-safety-transforming-flight-video>

Vogeltanz, T. (2019). Conceptual design and control of twin-propeller tail-sitter mini-UAV. *CEAS Aeronautical Journal*, 1-18.

Waharte, S., & Trigoni, N. (2010, September). Supporting search and rescue operations with UAVs. In *2010 International Conference on Emerging Security Technologies* (pp. 142-147). IEEE.

Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R. A., Hayes, N., & Nelson, L. E. (2009). Helping CIOs understand “smart city” initiatives. *Growth*, 17(2), 1-17.

Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4(6), 1671-1692.

Wheatcroft, J. M., Jump, M., Breckell, A. L., & Adams-White, J. (2017). Unmanned aerial systems (UAS) operators’ accuracy and confidence of decisions: Professional pilots or video game players?. *Cogent Psychology*, 4(1), 1327628.

Whitmore, B. A. (2016). Evolution of unmanned aerial warfare: a historical look at remote airpower-a case study in innovation. *US Army Command and General Staff College Fort Leavenworth United States*.

Whittle, R. (2014). *Predator: the secret origins of the drone revolution* (No. 484). Macmillan.

Williams, W., & Harris, M. (2002). *The challenges of flight-testing unmanned air vehicles* (Doctoral dissertation, Systems Engineering Society of Australia)

Woo, D. K., Song, H., & Kumar, P. (2019). Mapping subsurface tile drainage systems with thermal images. *Agricultural Water Management*, 218, 94-101.

Yoo, H. D., & Chankov, S. M. (2018, December). Drone-delivery Using Autonomous Mobility: An Innovative Approach to Future Last-mile Delivery Problems. In *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1216-1220). IEEE.

Zeng, Y., Zhang, R., & Lim, T. J. (2016). Wireless communications with unmanned aerial vehicles: Opportunities and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 54(5), 36-42.

Zhou, H., Kong, H., Wei, L., Creighton, D., & Nahavandi, S. (2014). Efficient road detection and tracking for unmanned aerial vehicle. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 16(1), 297-309.

Καραμάνου, Α., & Γεωργιάδου, Ξ. (2017). Η εφαρμογή των Drones στη Διαχείριση των Καταστροφών. 11ο Ετήσιο Συνέδριο «Αερομεταφορές – Παρόν & Μέλλον». doi: 10.6084/m9.figshare.8262491

Μαρκάτης, Κ. (2017). Drone technology & data in research journalism. Διπλωματική Εργασία.

Παλιούρης, Ι. (2019, April 30). Τα drones της Google ξεκινάνε το... delivery και αλλάζουν τα logistics. Retrieved from <http://www.fdlgroup.gr/τα-drones-της-google-ξεκινανε-το-delivery-και-αλλαζουν-τα/>

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.