



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΗΠΕΙΡΟΣ
2014-2020

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΗΠΕΙΡΟΣ 2014-2020»

Πράξη: «Ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής δεδομένων με σκοπό τη δημιουργία χρονοσειρών, μοντέλων και ενημερώσεων σχετικά με τις πλημμύρες στην πόλη της Ηγουμενίτσας»

Υποέργο 1: Ανάπτυξη και αξιολόγηση συστήματος και Διάχυση αποτελεσμάτων της Πράξης

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1.2.2

Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας και ψηφιακό μοντέλο εδάφους, μοντέλο και χάρτες πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής μελέτης και προτάσεις για βέλτιστες θέσεις σταθμών μέτρησης

ΑΡΤΑ 2019



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΗΠΕΙΡΟΣ
2014-2020

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΗΠΕΙΡΟΣ 2014-2020»

Πράξη: «Ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής δεδομένων με σκοπό τη δημιουργία χρονοσειρών, μοντέλων και ενημερώσεων σχετικά με τις πλημμύρες στην πόλη της Ηγουμενίτσας»

Υποέργο 1: Ανάπτυξη και αξιολόγηση συστήματος και Διάχυση αποτελεσμάτων της Πράξης

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1.2.2

Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας και ψηφιακό μοντέλο εδάφους, μοντέλο και χάρτες πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής μελέτης και προτάσεις για βέλτιστες θέσεις σταθμών μέτρησης

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ - ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Δρ. Βάρρας Γρηγόριος, Αν. Καθηγητής Παν/μίου Ιωαννίνων

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ

Καλογρηάς Αναστάσιος

Ζάγκας Δημήτριος

Κολιοπάνος Χρήστος

Γαλιδάκη Γεωργία

Χρυσάφη Ειρήνη

Λάγκας Θωμάς

<https://fipep.ioa.teiep.gr>

ΑΡΤΑ 2019



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΗΠΕΙΡΟΣ
2014-2020

Πίνακας περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1	Αντικείμενο του έργου	7
1.2	Δομή του έργου	9
1.3	Λειτουργικότητα Πράξης και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων	10
2	ΨΗΦΙΑΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ	11
2.1	Εισαγωγή	11
2.2	Σημαντικότερα στάδια εξέλιξης της φωτογραμμετρίας	11
2.2.1	Πλεονεκτήματα μεθόδου	12
2.2.2	Μειονεκτήματα μεθόδου	12
2.3	Βασικά βήματα φωτογραμμετρικής διαδικασίας	12
2.3.1	Εσωτερικός προσανατολισμός	14
2.3.2	Εξωτερικός προσανατολισμός	16
2.4	Ψηφιακά παράγωγα φωτογραμμετρίας	17
2.4.1	Ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων	17
2.4.2	Ορθοφωτοχάρτες - ορθοφωτογραφίες	18
3	ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ & UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)	19
3.1	Εισαγωγή	19
3.2	Ιστορική εξέλιξη αεροφωτογραφίας	20
3.3	Τύποι αεροφωτογραφιών	20
3.4	Unmanned Aerial Vehicles (UAV)	23
3.4.1	Ταξινόμηση – Κατηγοριοποίηση των UAV	24
3.4.2	Εξαρτήματα UAV	28
3.4.3	Πλεονεκτήματα χρήσης UAV	29
3.4.4	Περιορισμοί χρήσης των UAV	29
3.4.5	Ισχύουσα Νομοθεσία	30
3.4.5.1	Κανόνες Εναέριας Κυκλοφορίας – Που απαγορεύονται οι πτήσεις drones	31



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΗΠΕΙΡΟΣ
2014-2020

3.4.5.2	Ειδικό Μητρώο των ΣμηΕΑ ή Νηολόγηση	32
3.4.6	Πεδία Εφαρμογής UAV	32
4	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΤΗΣΗΣ.....	35
4.1	Εισαγωγή.....	35
4.2	Σχεδιασμός και είδη Πτήσεων	35
4.3	Μεταβλητές σχεδιασμού πτήσης	38
4.3.1	Αισθητήρας	39
4.3.2	Ύψος πτήσης	40
4.3.3	Ανάλυση εικόνων (GSD – Ground Sample Distance).....	40
4.3.4	Επικάλυψη φωτογραφιών	41
4.3.5	Γεωμετρία κάμερας - Προβολές φωτογραφιών	41
4.4	Διαδικασία Γεωαναφοράς	43
4.4.1	Άμεση Γεωαναφορά (Direct Georeference)	43
4.4.2	Έμμεση Γεωαναφορά (Indirect Georeference)	43
4.4.3	Σημεία ελέγχου (Ground Control Points, GCPs)	44
5	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	45
5.1	Εξοπλισμός.....	45
5.2	Προγραμματισμός.....	45
5.3	Συλλογή	46
5.4	Σημεία ελέγχου (GCPs)	47
5.5	Επεξεργασία.....	49
5.6	Παραγόμενα στοιχεία	50
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	53
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	55
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου	57
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β -Τεχνικές προδιαγραφές εξοπλισμού	69



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων



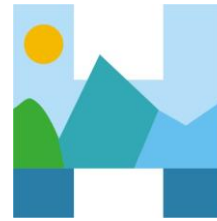
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΗΠΕΙΡΟΣ
2014-2020

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1-1 Περιοχή μελέτης εντός του Δήμου Ηγουμενίτσας (υπόβαθρο Google Earth)	9
Εικόνα 2-1: Διάγραμμα ροής φωτογραμμετρικής διαδικασίας (Λαζαρίδου και Πάτιος, 2010)	13
Εικόνα 2-2: Απεικόνιση αντικειμένου σε διαδοχικές εικόνες μιας αεροφωτοληψίας. Πηγή: (Πέτσα, 2000)	14
Εικόνα 2-3: Βασικές παράμετροι εσωτερικού προσανατολισμού. Πηγή: (Πέτσα, 2000).....	15
Εικόνα 2-4: Σχετικός και απόλυτος προσανατολισμός στερεοζεύγους. Πηγή: (Πέτσα, 2000).....	16
Εικόνα 3-1 Ασπρόμαυρη παγχρωματική (αριστερά) και Υπέρυθρη αεροφωτογραφία της ίδιας περιοχής (Μπαντέκας, 1980).....	20
Εικόνα 3-2: Τύποι αεροφωτογραφιών ανάλογα με την κλίση του οπτικού άξονα (Δούκαρη, 2015)	23
Εικόνα 3-3: Ταξινόμηση UAV με βάση την εμβέλεια και το υψόμετρο (Peter van Blyenburgh,1999).Μετάφραση από: (Eisenbeiss and Grün 2009,από Δούκαρη, 2015).....	25
Εικόνα 3-4: Ταξινόμηση UAV με βάση το ύψος πτήσης και την εμβέλεια. Πηγή: (E.Commission 2007, από Δούκαρη, 2015)	26
Εικόνα 3-5: Χαρακτηριστικά παραδείγματα υψομέτρου και διάρκειας πτήσεως των UAV (Watts, et. al., 2012)	26
Εικόνα 3-6: Ταξινόμηση μεθόδων αποτύπωσης με συσχέτιση της ακρίβειας και του μεγέθους της περιοχής μελέτης. Μετάφραση από: (Eisenbeiss 2011, από Δούκαρη, 2015)	27
Εικόνα 3-7: Διάγραμμα κανονισμού μη Επανδρωμένων Σκαφών	31
Εικόνα 3-8: Εφαρμογές με τη χρήση UAV. Μετάφραση από: (Ritzinger 2014, από Δούκαρη, 2015)	33
Εικόνα 4-1: Σχεδιασμός πτήσης (DRONES AND AERIAL OBSERVATION, 2015, από Δούκαρη, 2015)	36
Εικόνα 4-2: Πλέγμα σχεδίου πτήσης (Δούκαρη, 2015)	36
Εικόνα 4-3: Πλέγμα διπλού σχεδίου πτήσης (Δούκαρη, 2015).....	37
Εικόνα 4-4: Πτήση μονής (αριστερά) και διπλής (δεξιά) πορείας.	37
Εικόνα 4-5: Διπλό σχέδιο πτήσης (Τσαρούχας, 2017).....	38
Εικόνα 4-6: Πολλαπλή σάρωση περιοχής (Τσαρούχας, 2017)	38
Εικόνα 4-7: Είδη αισθητήρων για UAV (Δούκαρη, 2015).....	39



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΗΠΕΙΡΟΣ
2014-2020

Εικόνα 4-8: Υπολογισμός ανάλυσης εικόνας (Δούκαρη, 2015)	41
Εικόνα 4-9: Τρόποι λήψης εικόνων Δούκαρη, 2015)	42
Εικόνα 4-10: Φωτογραφία κατακόρυφης λήψης (αριστερά) και πλάγιας λήψης (δεξιά) (Δούκαρη, 2015)	42
Εικόνα 5-1: Άποψη του eBee	45
Εικόνα 5-2: Θέση αποθήκευσης φωτογραφικής μηχανής και μπαταρίας του eBee.....	46
Εικόνα 5-3: Επίγειος σταθμός ελέγχου.....	47
Εικόνα 5-4: Στόχοι – σημεία ελέγχου στο έδαφος	48
Εικόνα 5-5: Διάταξη σημείων (φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου), σε όλο το εύρος της περιοχής μελέτης.....	49
Εικόνα 5-6: Νέφος σημείων (dense point cloud) για τμήμα της περιοχής έρευνας.....	51
Εικόνα 5-7: Νέφος σημείων (point cloud) για τμήμα της περιοχής έρευνας	51
Εικόνα 5-8: Πυκνό νέφος σημείων	51
Εικόνα 5-9: Ταξινόμηση νέφους σημείων	52
Εικόνα 5-10: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους	52
Εικόνα 5-11: Ορθοφωτογραφία	52

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 3-1: Σύγκριση χαρακτηριστικών έγχρωμης φωτογραφίας σε φυσικά χρώματα και έγχρωμης φωτογραφίας υπερέυθρου, σύμφωνα με τον Sabins 1987.....	22
Πίνακας 3-2: Κατηγοριοποίηση των UAVs σύμφωνα με το αμερικάνικο Υπουργείο Εθνικής Άμυνας	28
Πίνακας 6-1: Κατηγοριοποίηση του κινδύνου Πλημμύρας για την περιοχή έρευνας.....	54

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο του έργου

Τα τελευταία χρόνια οι φυσικές καταστροφές σε παγκόσμιο επίπεδο παρουσιάζουν αυξητική τάση και απειλούν τις σύγχρονες κοινωνίες προκαλώντας απώλειες τόσο σε οικονομικό επίπεδο όσο και σε ανθρώπινες ζωές. Το γεγονός αυτό έχει προκαλέσει την ανάγκη εξεύρεσης νέων τρόπων και μεθόδων που να μπορέσει ο άνθρωπος να κατανοήσει τον κίνδυνο από τις φυσικές καταστροφές και να προβλέψει την ένταση και την κατανομή των καταστροφικών φαινομένων.

Οι πλημμύρες αποτελούν μία από τις βασικές αιτίες καταστροφών που οφείλονται σε φυσικά αίτια (Οδηγία 2007/60/EC) και αναμένεται να ενταθούν στο μέλλον. Σύμφωνα με τα μοντέλα ανάλυσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθήνας (Γιαννακόπουλος, 2015) τα βορειοδυτικά τμήματα της Ελλάδας αναμένεται να παρουσιάσουν αύξηση στη συνολική χειμερινή βροχόπτωση έως και 10% έως το 2050, ενώ άλλες μελέτες αναφέρουν έως και τριπλασιασμό του οικονομικού αντίκτυπου από πλημμύρες στην περιοχή μελέτης (Bank of Greece, 2011). Στο πλαίσιο αυτό οι τοπικές κοινωνίες πρέπει να οργανώσουν τρόπους καταγραφής των σχετικών παραμέτρων, πρόβλεψης πλημμυρικών επεισοδίων και ειδοποίησης για σχετικούς κινδύνους (Σύμφωνο των Δημάρχων για το Κλίμα και την Ενέργεια, 2017).

Με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ θεσπίστηκε το πλαίσιο για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες. Η Οδηγία έχει ενσωματωθεί στο Εθνικό Δίκαιο με την Κ.Υ.Α. Η.Π. 31822/1542/Ε103/2010 (ΦΕΚ Β' 1108/21.07.2010) όπως τροποποιήθηκε και ισχύει με την ΚΥΑ 177772/924 (ΦΕΚ Β' 2140/22.06.2017). Η γεωγραφική μονάδα εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας είναι η Περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού (Υδατικό Διαμέρισμα), ίδια γεωγραφική μονάδα με αυτή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για τα Νερά.

Η εφαρμογή των απαιτήσεων της Ευρωπαϊκής οδηγίας πραγματοποιήθηκε σε τρία (3) στάδια:

1ο Στάδιο: Προκαταρκτική εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στις λεκάνες απορροής των ποταμών και τις αντίστοιχες παράκτιες ζώνες και προσδιορισμός των περιοχών όπου υπάρχουν δυνητικοί σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα (Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας), (Άρθρο 4 & 5).

2ο Στάδιο: Κατάρτιση Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας και Χαρτών Κινδύνων Πλημμύρας για τις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (Άρθρο 6).

3ο Στάδιο: Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (Άρθρο 7). Τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας καλύπτουν όλες τις πτυχές της διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας εστιαζόμενα στη πρόληψη, την προστασία και την ετοιμότητα συμπεριλαμβανομένων των προβλέψεων πλημμυρών και συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης λεκάνης ή υπολεκάνης απορροής του ποταμού.

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας / ΕΓΥ (ΥΠΕΚΑ, 2017α) έχει αναπτύξει ειδικό διαδικτυακό τόπο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. Σε αυτόν υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία για:

- το περιεχόμενο της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ και των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας και την ΚΥΑ 31822/2010 με την οποία ενσωματώθηκε η Οδηγία στο Ελληνικό δίκαιο.
- την Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας (ΠΑΚΠ) που υλοποίησε η Ειδική Γραμματεία Υδάτων του Υ.Π.Ε.Κ.Α.
- τους Χάρτες Επικινδυνότητας και Χάρτες Κινδύνων Πλημμύρας για τις περιοχές που υπέδειξε η ΠΑΚΠ σε όλα τα Υδατικά Διαμερίσματα και τις Λεκάνες Απορροής Ποταμού της χώρας

Στα πλαίσια της Οδηγίας 2007/60 έχει εκπονηθεί το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου, τα οποία έχει εγκριθεί με την υπ. αριθμ. ΥΠΕΝ/ΓΡΕΓΥ/41368/326 Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων (ΦΕΚ 2684/Β/06-07-2018).

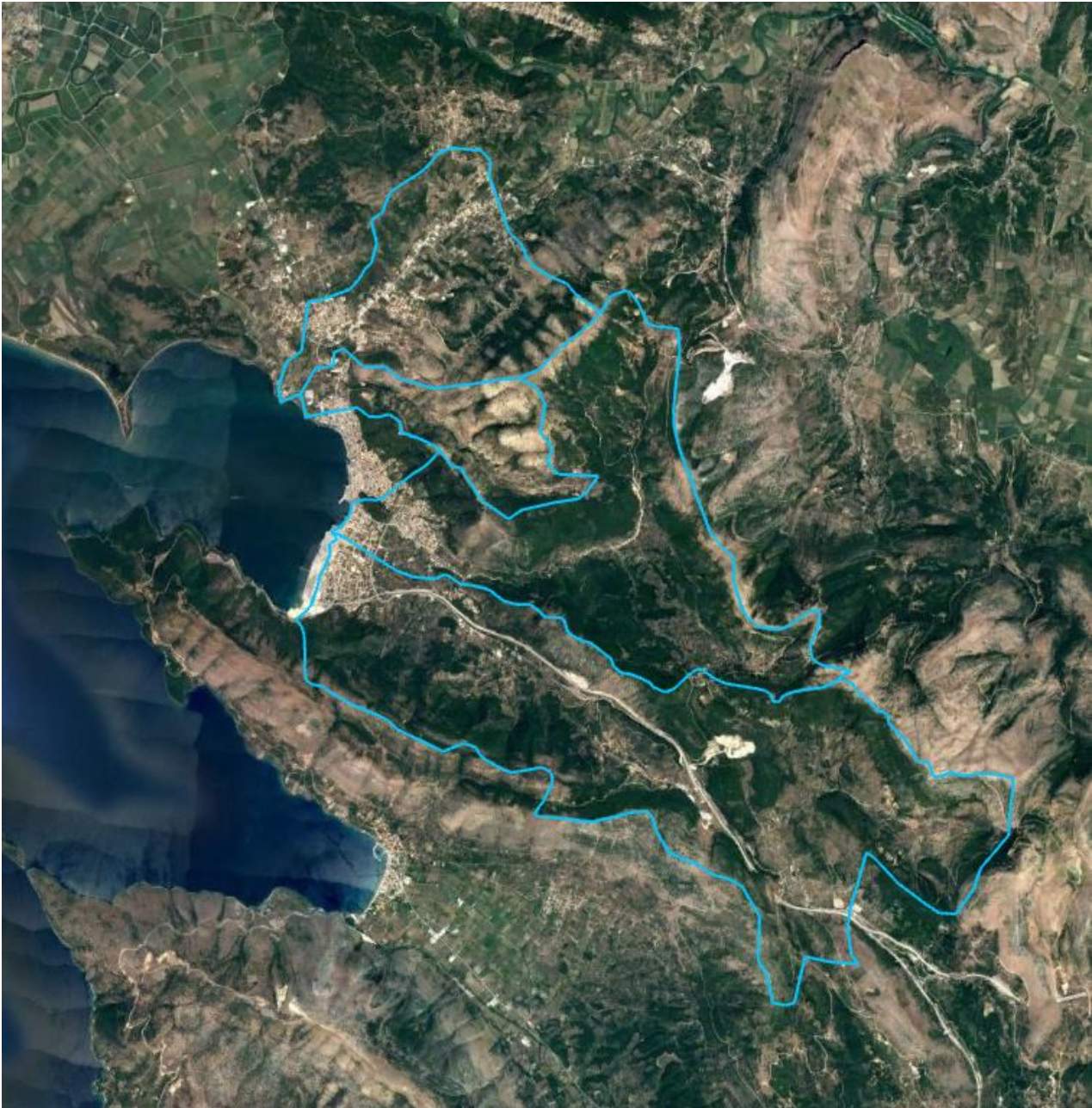
Το παρόν έργο λαμβάνοντας υπόψη και την πρόσφατη απόφαση σχετικά με την εξειδίκευση περιεχομένου Περιφερειακών Σχεδίων για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ) (ΥΠΕΚΑ, 2017β), αποσκοπεί στην εφαρμογή και αξιολόγηση μίας ολοκληρωμένης λύσης για καταγραφή δεδομένων στάθμης και παροχής σε ρέματα και αγωγούς ομβρίων που σχετίζονται άμεσα με αστικές περιοχές και την συσχέτιση των υδρολογικών πληροφοριών με την πράσινη υποδομή σε αστικό και περιαστικό επίπεδο. Η Πράξη έχει πιλοτική εφαρμογή στην πόλη της Ηγουμενίτσας και αφορά την προμήθεια του κατάλληλου εξοπλισμού, την εγκατάσταση και συντήρηση του τηλεμετρικού δικτύου, τη μεθοδολογία μέτρησης και αξιοποίησης των πληροφοριών καθώς και την επικοινωνία των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Περιφερειακή Ενότητα Θεσπρωτίας, στην ευρύτερη υδρολογική Λεκάνη απορροής ποταμού (ΛΑΠ) Καλαμά (EL12, 2523 km² σύμφωνα με ΕΓΥ, 2018) και ειδικότερα στην εκβολή της στο όρμο Ηγουμενίτσας (EL0512C0003H, σύμφωνα με ΕΓΥ, 2018). Στην Ηγουμενίτσα από τα βόρεια προς τα νότια υπάρχουν το �έμα Μαυρουδίου-Νέας Σελεύκειας, το Ρέμα Τσιμπουρίκι, το Ρέμα Ξηροποτάμου και το �έμα Λάκκας.

Η περιοχή που αφορά άμεσα η πράξη έχει έκταση περίπου 70km² (Εικόνα 1-1). Στην πόλη της Ηγουμενίτσας έχουν γίνει αντιπλημμυρικά έργα τα οποία όμως παρουσιάζουν αστοχίες που οφείλονται κυρίως στη ραγδαία ανάπτυξη της πόλης και τη δημιουργία του νέου λιμανιού (ΙΓΜΕ, 2016). Η έρευνα που έγινε στο πλαίσιο προετοιμασίας της πρότασης έδειξε ότι σύμφωνα με την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας Υδροσκόπιο (2017) στην περιοχή του προτεινόμενου έργου λειτουργεί μόνο ο ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ του ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως "Μη ενεργός, Συμβατικός" (<http://main.hydroscope.gr/stations/d/1822/>) ενώ σύμφωνα με την ΕΜΥ (Κλιματικός Άτλαντας Ελλάδας, 2017), στην περιοχή δεν λειτουργεί κανένας μετεωρολογικός ή βροχομετρικός σταθμός. Το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (Τμ. Φυσικής) έχει εγκατεστημένο σταθμό στην περιοχή: <http://www.riskmed.net/about.asp> αλλά παρουσιάζει ασυνέχειες ως προς τη λήψη δεδομένων ενώ υπάρχουν και 2 ερασιτεχνικοί σταθμοί, ένας που είναι ενταγμένος στο δίκτυο του meteoclub (Φιλοθέη - περιοχή των ρεμάτων Λάκκας και Ξηροποτάμου, <http://igoumenitsa.meteoclub.gr/>) και ένας που είναι ενταγμένος στο δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθήνας / meteo.gr (Μαυρούδι - περιοχή του ρέματος Μαυρουδίου – Νέας Σελεύκειας, <http://penteli.meteo.gr/stations/igoumenitsa/>).

Να σημειωθεί ότι σύμφωνα με μελέτη (ΙΓΜΕ, 2016) υπάρχει πρακτικά απόλυτη έλλειψη χρονοσειρών υδρολογικών και μετεωρολογικών μετρήσεων στην περιοχή, γεγονός που κάνει

πολύ δύσκολη την τεκμηρίωση των μοντέλων και την λήψη αποφάσεων για την πρόληψη κινδύνων.



Εικόνα 1-1 Περιοχή μελέτης εντός του Δήμου Ηγουμενίτσας (υπόβαθρο Google Earth)

1.2 Δομή του έργου

Η Πράξη συντίθεται από δύο υποέργα ως εξής:

- ✓ Υποέργο 1: Ανάπτυξη και αξιολόγηση συστήματος και Διάχυση αποτελεσμάτων
 - ✓ Πακέτο εργασίας 1.1: Ανάπτυξη και αξιολόγηση συστήματος - Καταγραφή παροχών, μοντελοποίηση και αξιολόγηση πλημμυρικού κινδύνου σε ρέματα που διατρέχουν αστικές περιοχές

- ✓ Πακέτο εργασίας 1.2.: Ανάπτυξη και αξιολόγηση συστήματος - Καταγραφή ανάγλυφου και εδαφοκάλυψης περιαστικών περιοχών με σκοπό την μοντελοποίηση του πλημμυρικού κινδύνου
- ✓ Πακέτο εργασίας 1.3.: Διάχυση αποτελεσμάτων
- ✓ Υποέργο 2: Προμήθεια εξοπλισμού
 - ✓ Πακέτο εργασίας 2.1.: Προμήθεια εξοπλισμού
- ✓ Υποέργο 3: Προμήθεια εξοπλισμού
 - ✓ Πακέτο εργασίας 3.1: Προμήθεια εξοπλισμού

1.3 Λειτουργικότητα Πράξης και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων

Η προτεινόμενη Πράξη αναφέρεται σε ερευνητικό τομέα αιχμής, έχει σημαντική επιστημονική απήχηση και πληροί κριτήρια υψηλής επιστημονικής ποιότητας. Με την εφαρμογή της αναμένεται να υπάρξει πρόοδος της Περιφέρειας όσο αφορά της απαιτήσεις της Οδηγίας 2007/60/EC (ΕΓΥ, 2018) για τις πλημμύρες όσο και ως προς αυτές της Οδηγίας 2000/60/EC και το σχετικό Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων για την Περιφέρεια Ηπείρου (ΕΓΥ, 2017) σύμφωνα στους σκοπούς των οποίων είναι και η συμβολή στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες. Με την ολοκλήρωση της Πράξης θα υπάρχουν διαθέσιμα:

1. Λειτουργικό δίκτυο τηλεμετρικών σταθμών υδρολογικών δεδομένων και διαδικτυακή εφαρμογή πρόσβασης στα σχετικά δεδομένα και πληροφορία καθώς και σύστημα ειδοποίησης για κίνδυνο υπερχείλισης ρεμάτων και αγωγών ομβρίων.
2. Υλικό τεκμηρίωσης σχετικά με την αρχική επιλογή θέσεων εγκατάστασης, την αξιολόγηση και την πιλοτική λειτουργία του συστήματος καθώς και πρωτόκολλα και εργαλεία παρακολούθησης, μέτρησης και προειδοποίησης.
3. Ορθοεπίπεδες, ψηφιακό μοντέλο επιφανείας και ψηφιακό μοντέλο εδάφους, μοντέλο και χάρτες πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής μελέτης για διάφορα σενάρια.
4. Υλικό από τις εκδηλώσεις διάδοσης των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα της προτεινόμενης Πράξης είναι σημαντικά τόσο για την προώθηση των σκοπών της πρόσκλησης «Ανάπτυξη συστημάτων για την παρακολούθηση, αξιολόγηση και δημιουργία μοντέλων για την εξέλιξη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε επιμέρους υψηλής σημαντικότητας περιοχές». Αναμένεται δε να αξιοποιηθούν ως μοντέλο για την ανάπτυξη παρόμοιων εφαρμογών και σε άλλες περιοχές της Ηπείρου.

2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Η Φωτογραμμετρία αποτελεί την “τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία για την απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον, μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων αλλά και προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας” (ASP, 1980, Δούκαρη, 2015).

Είναι μια επιστήμη καταγραφής και τεκμηρίωσης των γεωμετρικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών αντικειμένων, του πραγματικού κόσμου. Έτσι εμφανίζει πολλές ομοιότητες με επιστήμες όπως η τοπογραφία, η χαρτογραφία, και η τηλεπισκόπηση, με τη διαφορά ότι οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις γίνονται έμμεσα και όχι άμεσα. Ως εκ τούτου, αποτελούν έμμεσους τρόπους καταγραφής της θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων των αντικειμένων, καθώς δεν χρησιμοποιούν απευθείας μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο, αλλά τη μετρική πληροφορία που συλλέγεται πάνω σε μια φωτογραφική εικόνα.

Η μετρική πληροφορία εμπεριέχει και την αναγνώριση του αντικειμένου, αλλά κυρίως έχει ως περιεχόμενο τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο, σε σχέση με άλλα αντικείμενα ή σε σχέση με ένα σύστημα αναφοράς και τον ακριβή προσδιορισμό γεωμετρικών στοιχείων όπως μήκη, πλάτη, ύψη, γωνίες κ.α.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της φωτογραμμετρίας είναι ότι οι μεθοδολογίες της διαμορφώνονται ακολουθώντας στενά την εξέλιξη της τεχνολογίας της ψηφιακής πληροφορίας. Έτσι απαιτείται συνεχής εκπαίδευση και ενημέρωση πάνω σε διάφορα θέματα όπως η επεξεργασία ψηφιακών εικόνων, συστημάτων πληροφοριών κ.α. (Πατιάς 1991).

2.2 Σημαντικότερα στάδια εξέλιξής της φωτογραμμετρίας

Η φωτογραμμετρία διακρίνεται σε αναλυτική, αναλογική και σε ψηφιακή. Αναλογική, όπου με χρήση των οπτικομηχανικών μέσων κατέστη δυνατή η εξαγωγή της θέσης στις τρεις διαστάσεις λεπτομερειών ενός εικονιζόμενου αντικειμένου σε ένα στερεοζεύγος φωτογραφιών, οι οποίες έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις με σημαντική επικάλυψη.

Αναλυτική φωτογραμμετρία, όπου οι φωτογραμμετρικές διαδικασίες γίνονται με υπολογιστικά μέσα, ενώ για πρώτη φορά χρησιμοποιούνται Η/Υ για τον υπολογισμό των παραμέτρων των φωτογραφικών εικόνων και των προσανατολισμών τους, καθώς και ο προσδιορισμός στον τρισδιάστατο χώρο της θέσης των λεπτομερειών των αντικειμένων.

Ψηφιακή φωτογραμμετρία, που σημαίνει το τέλος της επεξεργασίας των αναλογικών φωτογραφιών, αφού πλέον γίνεται με υπολογιστικά μέσα σε ψηφιακές απεικονίσεις (σκαναρισμένες εικόνες ή πρωτογενείς ψηφιακές εικόνες) όχι μόνο του ορατού φάσματος της Η/Μ ακτινοβολίας αλλά και άλλων προτύπων της όπως πχ στο μήκος κύματος των μικροκυμάτων, υπέρυθρων ακτινών κλπ.

Πλέον η φωτογραμμετρία βρίσκεται στο επόμενο στάδιο εξέλιξής της, όπου σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που προσφέρει η υπολογιστική όραση (Computer Vision) - ένα από τα πιο γρήγορα εξελισσόμενα πεδία της επιστήμης των υπολογιστών - μπορεί να παράγει με τη χρήση φωτογραφιών, πλήρη τρισδιάστατα αντικείμενα και ορθοφωτογραφίες. Τα λογισμικά, έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται μεγάλο αριθμό φωτογραφιών και να παράγουν προϊόντα που χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ακριβείας. Οι περισσότερες διαδικασίες για την παραγωγή τους, πραγματοποιούνται αυτόματα χωρίς την παρέμβαση του χρήστη.

2.2.1 Πλεονεκτήματα μεθόδου

Η Φωτογραμμετρία ως επιστήμη συλλογής στοιχείων από το φυσικό κόσμο έχει μεγάλη σχέση με αντίστοιχες επιστήμες συλλογής πρωτογενών δεδομένων όπως η τοπογραφία και η Γεωδαισία. Ωστόσο, η σημαντική διαφορά ανάμεσα στη Φωτογραμμετρία και τις άλλες επιστήμες είναι ότι οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις είναι έμμεσες και γίνονται πάνω σε κάποιο μέσο, όπου αποτυπώνεται ο φυσικός κόσμος και όχι απευθείας στον ίδιο τον φυσικό κόσμο. Από τη διαφορά αυτή πηγάζουν όλα τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας, μερικά από τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια (Πατιάς, 1991). Μερικά από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας είναι:

Ταχύτητα. Η παραγωγή χαρτών με φωτογραμμετρικές μεθόδους είναι ταχύτερη από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία που στηρίζεται σε επίγειες μετρήσεις. Με μία λήψη π.χ. από ύψος πτήσης 1,5 km καλύπτεται μία περιοχή μεγαλύτερη από 5 km², ενώ η αντίστοιχη περιοχή θα απαιτούσε προφανώς πάρα πολύ μεγάλο χρόνο για να καλυφθεί από επίγειες μετρήσεις. —

Οικονομία. Στενά συνδεδεμένο με την ταχύτητα της συλλογής δεδομένων είναι και το κόστος τους. Αυτός είναι και ο λόγος που σε περιοχές που υπήρξε η ανάγκη μαζικής χαρτογράφησης (π.χ. μεγάλες εκτάσεις του Καναδά και της Αυστραλίας, χώρες του Τρίτου Κόσμου κ.α.), η πάγια τακτική ήταν, και είναι, να χρησιμοποιούνται φωτογραμμετρικές διαδικασίες ως οι πιο ενδεδειγμένες από άποψη ταχύτητας και κόστους.

Προσπελασιμότητα εδάφους. Ένα σαφές πλεονέκτημα των φωτογραμμετρικών έναντι των επίγειων μετρήσεων είναι η δυνατότητα εφαρμογής τους σε περιπτώσεις δύσκολης ή απαγορευτικής προσπελασιμότητας του εδάφους όπως αρκτικές περιοχές πυκνής βλάστησης, απόκρημνα μέρη, έρημοι, ηφαιστιογενείς περιοχές κ.α.

Συνεχής απεικόνιση. Ενώ οι επίγειες μετρήσεις έχουν ως σκοπό τον προσδιορισμό των συντεταγμένων διακριτών σημείων λεπτομερειών, η φωτογραφία είναι μία συνεχής απεικόνιση του φυσικού κόσμου και μπορεί να αποδοθεί σαν τέτοια. Η υπεροχή της Φωτογραμμετρίας γίνεται εύκολα κατανοητή αν αναλογιστεί κανείς, για παράδειγμα, τη χαρτογραφική απόδοση της όψης ενός κτιρίου. Ο αριθμός των λεπτομερειών που πρέπει να αποτυπωθούν με επίγειες μετρήσεις είναι απαγορευτικά μεγάλος, ενώ, αντίθετα, όλη αυτή η πληροφορία υπάρχει σε μία φωτογραφία.

2.2.2 Μειονεκτήματα μεθόδου

Στα σημαντικότερα μειονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας συγκαταλέγονται τα εξής:

Πολλές πηγές σφαλμάτων: απαιτούνται πολυπλοκότερες μεθοδολογίες επεξεργασίας για την απαλοιφή των σφαλμάτων και για την παραγωγή αποτελεσμάτων ακριβείας.

Απαίτηση σημείων ελέγχου: η φωτογραμμετρία βασίζει τις μεθοδολογίες της σε κάποια ήδη υπάρχουσα πληροφορία. Είναι δηλαδή απαραίτητη η ύπαρξη γνωστών σημείων στο έδαφος. Η μεθοδολογία εξαρτάται από το αποτέλεσμα προηγούμενων επίγειων μετρήσεων.

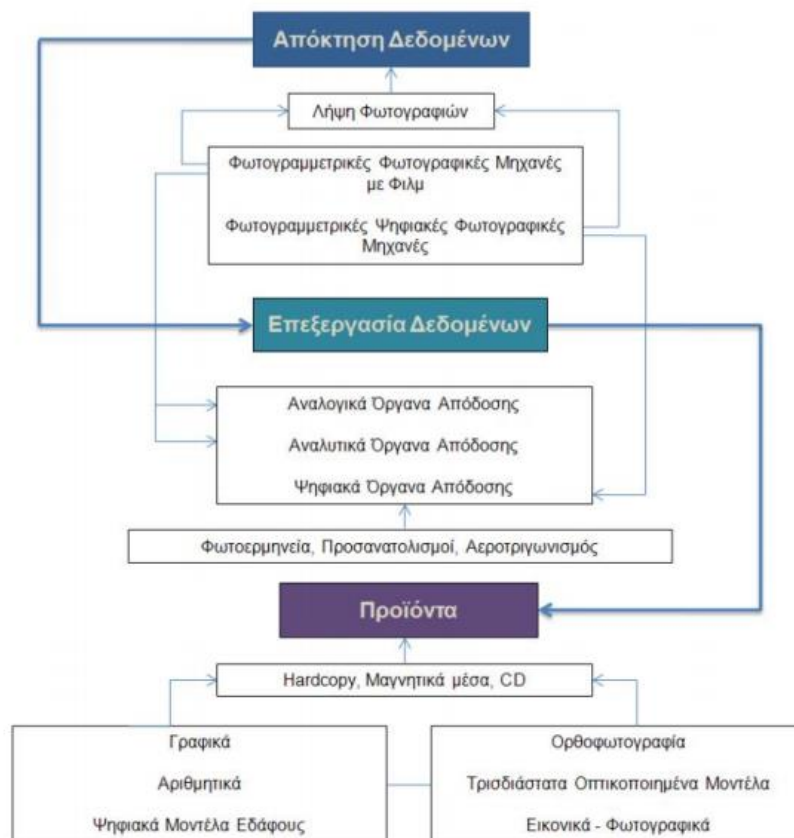
2.3 Βασικά βήματα φωτογραμμετρικής διαδικασίας

Η φωτογραμμετρική διαδικασία περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια (Εικόνα 2-1) (Λαζαρίδου και Πάτμιος, 2010, Βαβίας, 2011).

- ✓ την απόκτηση των δεδομένων μέσω διάφορων μεθοδολογιών. Περιλαμβάνει την λήψη πληροφοριών όσον αφορά τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικών επιφανειών και

αντικειμένων, η οποία αποκτάται χωρίς την άμεση επαφή τους. Οι διατάξεις με τις οποίες αποκτούνται τα δεδομένα ονομάζονται αισθητήρες. Οι αισθητήρες αποτελούνται από ένα οπτικό σύστημα και ένα σύστημα ανιχνευτή, τα οποία, συνήθως, τοποθετούνται πάνω σε πλατφόρμες. Η τυπική μορφή ενός τέτοιου συστήματος είναι η φωτογραφική μηχανή, η οποία χρησιμοποιείται ως αισθητήρας.

- ✓ την επεξεργασία των δεδομένων. Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται σε συνάρτηση με τα τελικά προϊόντα που θέλουμε να έχουμε και πραγματοποιείται με κατάλληλο εξοπλισμό και όργανα.
- ✓ την απόκτηση των προϊόντων. Τα προϊόντα που προκύπτουν από τις φωτογραμμετρικές διεργασίες μπορούν να είναι γραφικά, αριθμητικά, καθώς και εικονικά – φωτογραφικά.



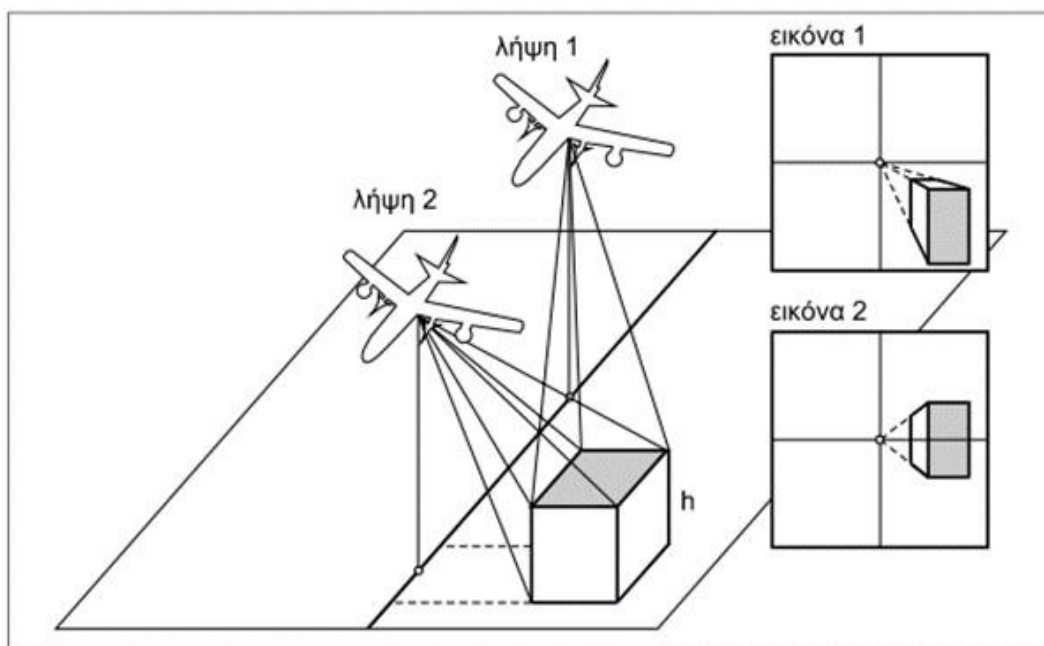
Εικόνα 2-1: Διάγραμμα ροής φωτογραμμετρικής διαδικασίας (Λαζαρίδου και Πάτιος, 2010)

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η φωτογραμμετρία ορίζεται ως ένα σύνολο τεχνικών που αποσκοπούν στην 'απόδοση', δηλαδή στον πιστότερο γεωμετρικό προσδιορισμό αντικειμένων του τρισδιάστατου χώρου, από μετρήσεις σε εικόνες. Αρχικά γίνεται ο σχεδιασμός λήψης των εικόνων, λαμβάνοντας υπόψη τα διατιθέμενα μέσα, όπως τον τύπο της μηχανής λήψης. Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η συλλογή των εικόνων, με λήψεις αεροφωτογραφιών, επίγειες λήψεις ή και με δορυφορικές εικόνες. Ακολουθεί η επεξεργασία των εικόνων λήψης, με υπολογισμό των σημείων του χώρου, καθώς και των γεωδαιτικών συντεταγμένων τους.

Τα σημεία του τρισδιάστατου χώρου απεικονίζονται στην εικόνα μέσω μιας δέσμης ακτίνων προβολής, που συντρέχουν στο κέντρο προβολής της εικόνας και κάθε σημείο βρίσκεται πάνω στην ακτίνα που του αντιστοιχεί, χωρίς όμως να είναι γνωστή η ακριβής του θέση. Έτσι γίνεται

σαφές ότι με τη χρήση μιας μόνο εικόνας, δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός ή η αποτύπωση του τρισδιάστατου χώρου. Χρειάζονται λοιπόν τουλάχιστον δύο διαδοχικές εικόνες, που έχουν ληφθεί από διαφορετικό σημείο. Οι διαφορετικές προοπτικές απεικονίσεις που προκύπτουν, επιτρέπουν τη δημιουργία συνθηκών τεχνητής στερεοσκοπικής όρασης, στην οποία στηρίζεται το μεγαλύτερο μέρος των φωτογραμμετρικών εφαρμογών.

Για τον σωστό προσδιορισμό των τρισδιάστατων σημείων, ως αλληλοτομίες δύο δεσμών ακτινών, αυτές θα πρέπει να έχουν προηγουμένως, τοποθετηθεί και προσανατολιστεί σωστά στον χώρο. Αυτό προϋποθέτει την εξασφάλιση ότι οι δέσμες είναι κεντρικές προβολές, δηλαδή ότι έχουν προσανατολιστεί εσωτερικά (ανάπλαση δέσμης ακτινών) και εξωτερικά (αποκατάσταση θέσης της δέσμης στον χώρο)



Εικόνα 2-2: Απεικόνιση αντικειμένου σε διαδοχικές εικόνες μιας αεροφωτοληψίας. Πηγή: (Πέτσα, 2000)

2.3.1 Εσωτερικός προσανατολισμός

Εσωτερικός προσανατολισμός, ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία αποκαθίσταται η πορεία της φωτεινής ακτίνας μέσα στη μηχανή, κατά τη στιγμή της λήψης. Δηλαδή αναφέρεται στην εσωτερική γεωμετρία της φωτομηχανής κατά τη στιγμή λήψης της κάθε φωτογραφίας. Ο εσωτερικός προσανατολισμός μιας εικόνας ουσιαστικά αποτελεί μια διαδικασία ανάπλασης της δέσμης των ακτίνων στο εσωτερικό της μηχανής. Αποτελεί δηλαδή την διαδικασία εύρεσης της θέσης του σημείου λήψης ως προς το επίπεδο του αρνητικού, έτσι ώστε η σύνδεση του σημείου αυτού με τα εικονοσημεία να αναπαράγει την σωστή δέσμη ακτίνων. Η διαδικασία εύρεσης της διαφοράς στην γεωμετρία της εικόνας σε μια φωτογραφική κάμερα σε σχέση με την γεωμετρία μιας κεντρικής προοπτικής προβολής αποτελεί την βαθμονόμηση της κάμερας. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού ονομάζεται βαθμονόμηση μηχανής (camera calibration).

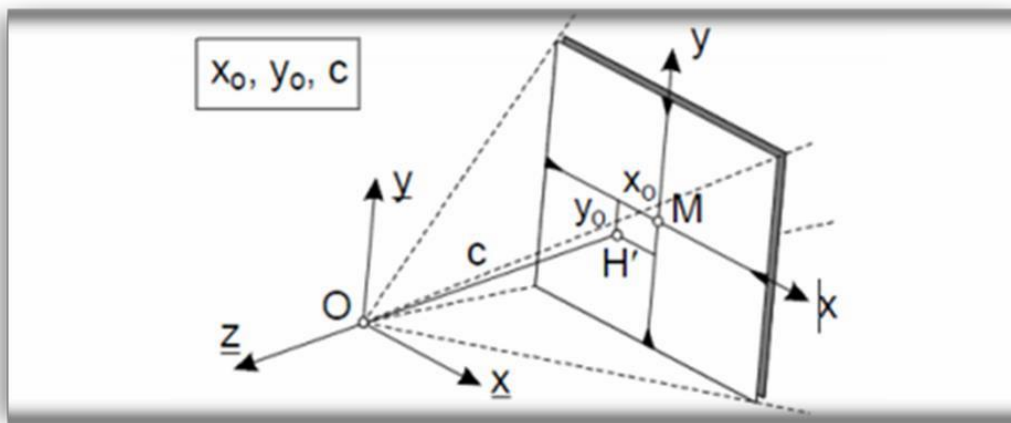
Βαθμονόμηση μιας μετρικής μηχανής είναι η διαδικασία προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών είναι απαραίτητη, αν οι φωτογραφίες που θα ληφθούν με τη μηχανή αυτή, πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ακριβείς

μετρήσεις αντικειμένων του φυσικού κόσμου ή την κατασκευή χαρτών. Τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού που προσδιορίζονται, είναι η βαθμονομημένη εστιακή απόσταση c , οι συντεταγμένες x_0, y_0 του πρωτεύοντος σημείου, οι συντεταγμένες των εικονοσημάτων, όταν υπάρχουν, στο σύστημα του φωτογραφικού επιπέδου και η ακτινική παραμόρφωση των φακών (Δr).

Οι δύο βασικές μέθοδοι βαθμονόμησης μηχανής, είναι:

Εργαστηριακή βαθμονόμηση: Αφορά τις μετρικές μηχανές και πραγματοποιείται από τον κατασκευαστή ή σε ειδικά εργαστήρια, με προϊόν το πρωτόκολλο βαθμονόμησης που περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία.

Βαθμονόμηση πεδίου: Πρόκειται για αμιγώς φωτογραμμετρική διαδικασία, όπου (σε μία ή περισσότερες εικόνες, ανάλογα με την μέθοδο) μετρούνται και συν ορθώνονται σημεία με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες ('πεδίο ελέγχου φωτοσταθερών σημείων') είτε και άγνωστες ('αυτοβαθμονόμηση' ή 'αυτορρύθμιση'). Η βαθμονόμηση πεδίου είναι δυνατόν να προηγηθεί της καθαυτής φωτογραμμετρικής λήψης ('προβαθμονόμηση') ή να διεξαχθεί κατά την φωτογραμμετρική εργασία. Σήμερα χρησιμοποιείται συχνά η έννοια της βαθμονόμησης συστήματος (System Calibration), καθώς εκτός από τη μηχανή λήψης των φωτογραφιών, γίνεται χρήση και άλλων συσκευών. Αυτή αποτελεί πολύ σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας του άμεσου ή ολοκληρωμένου προσανατολισμού της μηχανής (direct or integrated sensor orientation). Ο προσανατολισμός αισθητήρα (sensor orientation) έχει αντικαταστήσει την έννοια του προσανατολισμού εικόνας (image orientation) και περιλαμβάνει τον εσωτερικό και εξωτερικό προσανατολισμό, καθώς και τις παραμέτρους βαθμονόμησης του συστήματος (Heipke et al. 2002). Η ταυτόχρονη επεξεργασία των στοιχείων του GPS με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τις εικόνες, για τον προσδιορισμό του εξωτερικού προσανατολισμού σε ένα πρόγραμμα αεροτριγωνισμού, αναφέρεται ως Ολοκληρωμένος Προσανατολισμός Αισθητήρων (ISO) (Jacobsen, K., & Schmitz 1996).



Εικόνα 2-3: Βασικές παράμετροι εσωτερικού προσανατολισμού. Πηγή: (Πέτσα, 2000)

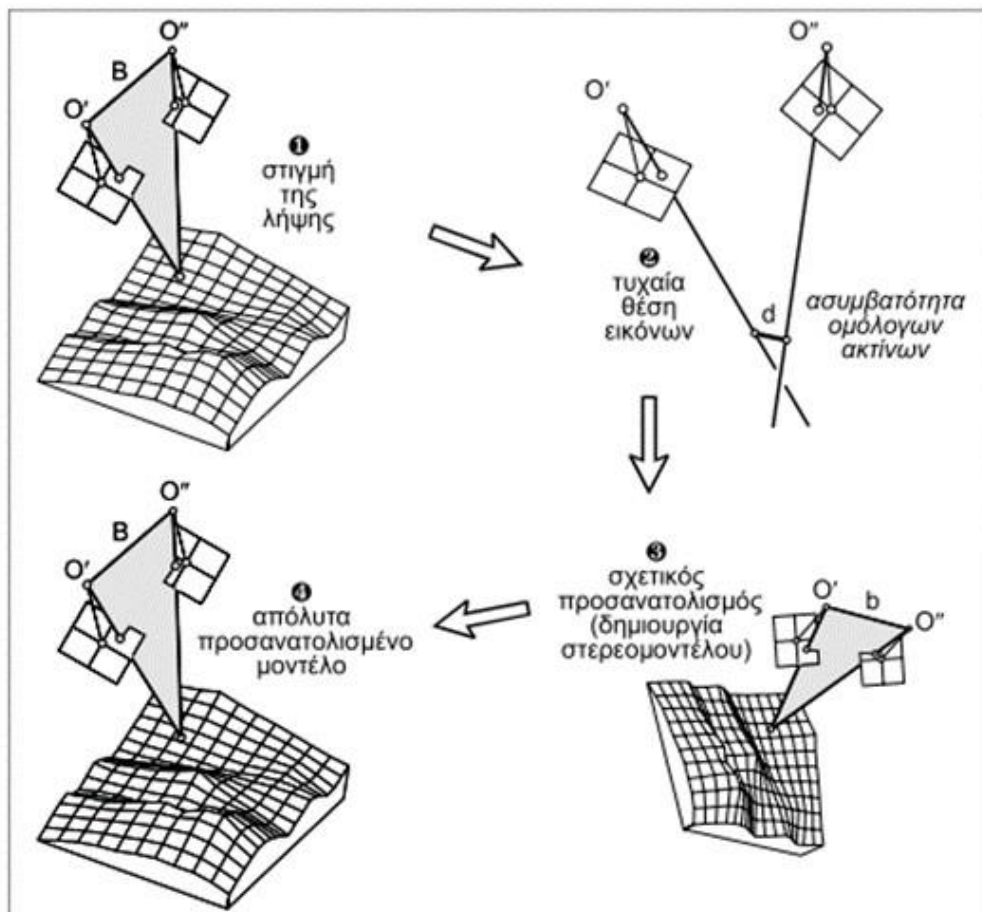
Η γνώση του εσωτερικού προσανατολισμού συνεπώς, επιτρέπει τη γεωμετρική ανακατασκευή της δέσμης των προβολικών ακτίνων, η οποία θα πρέπει εν συνεχεία να ενταχθεί στο σύστημα του χώρου (γεωδαιτικό σύστημα). Η αποκατεστημένη δέσμη συνιστά στην πραγματικότητα ένα στερεό σώμα, επομένως υπόκειται στους βαθμούς ελευθερίας ενός στερεού σώματος. Αυτοί είναι έξι: τρεις μεταθέσεις κατά την διεύθυνση των τριών αξόνων XYZ και τρεις στροφές περί τους

άξονες αυτούς. Κατά συνέπεια, έξι είναι και οι παράμετροι του εξωτερικού προσανατολισμού μιας εικόνας (μιας δέσμης), μέσω των οποίων αυτή εντάσσεται στο σύστημα του χώρου. (Πέτσα 2000)

2.3.2 Εξωτερικός προσανατολισμός

Η γνώση του εσωτερικού προσανατολισμού επιτρέπει, την γεωμετρική ανακατασκευή της δέσμης των προβολικών ακτίνων, η οποία βέβαια θα πρέπει εν συνεχεία να ενταχθεί στο σύστημα του χώρου (γεωδαιτικό σύστημα).

Με τον όρο εξωτερικός προσανατολισμός μιας φωτογραφίας εννοούμε την σχέση ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων της φωτογραφίας και σε κάποιο επίγειο σύστημα συντεταγμένων (αυθαίρετο ή μη). Δηλαδή έχουμε αποκατάσταση της θέσης της δέσμης των ακτίνων στο χώρο. Επιτυγχάνεται μέσω δύο διαδικασιών: τον σχετικό και τον απόλυτο προσανατολισμό. Ο σχετικός προσανατολισμός λαμβάνει χώρα μετά τον εσωτερικό προσανατολισμό και πριν τον απόλυτο. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως μπορούν να λυθούν ταυτόχρονα ο σχετικός και ο απόλυτος προσανατολισμός (Πατιάς 1994).



Εικόνα 2-4: Σχετικός και απόλυτος προσανατολισμός στερεοζεύγους. Πηγή: (Πέτσα, 2000)

Ο εξωτερικός προσανατολισμός αναφέρεται στη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο σύστημα συντεταγμένων της φωτογραφίας και σε ένα αυθαίρετο επίγειο σύστημα συντεταγμένων. Δηλαδή, ο εξωτερικός προσανατολισμός μιας φωτογραφίας κατά τη διάρκεια λήψης της, ορίζεται

από τη θέση του σημείου λήψης στο χώρο και από τον προσανατολισμό του οπτικού άξονα. Η θέση του σημείου λήψης ορίζεται από τις τρεις γεωδαιτικές συντεταγμένες του (X_0, Y_0, Z_0) στο επίγειο σύστημα αναφοράς, ενώ ο προσανατολισμός του οπτικού άξονα από τρεις γωνίες ω, ϕ και κ . Ο υπολογισμός τους βασίζεται σε μια μαθηματική σχέση, τη συνθήκη συγγραμμικότητας, η οποία συνδέει σημεία πάνω στη φωτογραφία, με τα αντίστοιχα σημεία στο έδαφος. Αφού πρόκειται για ένταξη στο γεωδαιτικό σύστημα, απαιτείται η γνώση κάποιων στοιχείων του χώρου, συνήθως σημείων με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες που ονομάζονται φωτοσταθερά σημεία.

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων του εξωτερικού προσανατολισμού είναι απαραίτητος για την εξαγωγή αξιόπιστης τρισδιάστατης πληροφορίας από μετρήσεις σε φωτογραφίες. Ο εξωτερικός επιτυγχάνεται με τον σχετικό και τον απόλυτο προσανατολισμό.

Σχετικός προσανατολισμός, ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία οι δύο επικαλυπτόμενες φωτογραφίες ενός στερεοζεύγους σχετίζονται μεταξύ τους σε κάποιο αυθαίρετο χώρο, έτσι ώστε η σχέση τους αυτή να είναι η ίδια που υπήρχε κατά τη στιγμή λήψης. Για τον υπολογισμό του χρειάζεται ο προσδιορισμός πέντε παραμέτρων. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ο σχηματισμός ενός τρισδιάστατου μοντέλου της πραγματικότητας σε αυθαίρετο χώρο και σε αυθαίρετη κλίμακα.

Το σχετικά προσανατολισμένο ζεύγος φωτογραφιών έχει μια αυθαίρετη σχέση με το επίγειο σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία αποκατάστασης της πραγματικής σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στο τρισδιάστατο μοντέλο και στο έδαφος, ονομάζεται απόλυτος προσανατολισμός. Κατά τη διαδικασία αυτή προσδιορίζονται 7 παράμετροι και είναι η κλίμακα του μοντέλου, οι τρεις μεταθέσεις και οι τρεις στροφές του.

Ο απόλυτος προσδιορισμός αποτελεί την διαδικασία εκείνη που αποκαθιστά την αυθαίρετη σχέση του στερεοζεύγους που έχει προκύψει από τον σχετικό προσανατολισμό με το επίγειο σύστημα αναφοράς. Τα στοιχεία του απόλυτου προσανατολισμού είναι επτά: η κλίμακα του στερεομοντέλου (κ), τρεις μετατοπίσεις (X_0, Y_0, Z_0) και τρεις γωνίες στροφής (ω, ϕ, κ). Ουσιαστικά πρόκειται για τον μετασχηματισμό από το τρισδιάστατο σύστημα του στερεομοντέλου στο γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων. Ο εξωτερικός προσανατολισμός μιας φωτογραφίας είναι συνήθως άγνωστος και υπολογίζεται με την χρήση φωτοσταθερών. Η σχέση που χρησιμοποιείται για την επίλυση του εξωτερικού προσανατολισμού και την εύρεση των έξι αγνώστων $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$ είναι η συνθήκη συγγραμμικότητας.

2.4 Ψηφιακά παράγωγα φωτογραμμετρίας

Ως παράγωγα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας μπορούμε να έχουμε Ψηφιακά Μοντέλα Υψομέτρων, ορθοφωτογραφίες, ορθοφωτοχάρτες κ.α.

2.4.1 Ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων

Η μαθηματική μοντελοποίηση του εδάφους αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέρος της φωτογραμμετρικής διαδικασίας. Τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων (ΨΜΥ) στην ουσία είναι ψηφιακές μαθηματικές αναπαραστάσεις αντικειμένων και του περιβάλλοντος τους. Ο όρος ΨΜΥ είναι γενικός και μπορεί να αναφέρεται είτε στο υψόμετρο της επιφάνειας του εδάφους, είτε σε επιφάνειες πάνω από αυτό το επίπεδο όπως κτίρια. Όταν οι πληροφορίες είναι περιορισμένες σε υψόμετρα εδάφους τότε το ΨΜΥ αποκαλείται Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) και μας δίνει μετρητικές πληροφορίες για το υψόμετρο σημείων στην επιφάνεια εδάφους και νερού. Αντίθετα

τα Ψηφιακά Μοντέλα Επιφάνειας αναπαριστούν τα μέγιστο υψόμετρο στο δεδομένο σημείο το οποίο μπορεί να είναι οτιδήποτε στο φυσικό και τεχνητό περιβάλλον, έδαφος είτε κτίρια, φυτά κ.λ. Τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων χρησιμοποιούνται ευρέως σε χαρτογραφήσεις, υδρολογικές μελέτες, προετοιμασία χαρτογραφικών χαρακτηριστικών όπως ισοΰψεις και σε προετοιμασία για τη δημιουργία ορθοφωτογραφιών (Kasser and Egels, 2002).

2.4.2 Ορθοφωτοχάρτες - ορθοφωτογραφίες

Οι ορθοφωτογραφίες αποτελούν εικόνες στις οποίες έχουν απαλειφθεί οι εκτροπές των σημείων που οφείλονται στον προσανατολισμό του αισθητήρα ή της κάμερας, στο ανάγλυφο και σε λάθη σχετικά με την λήψη και επεξεργασία της εικόνας. Η ορθοφωτογραφία και αντίστοιχα ο ορθοφωτοχάρτης έχουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός χάρτη και ταυτόχρονα την ποιότητα μίας εικόνας. Ο ορθοφωτοχάρτης διαφοροποιείται από την ορθοφωτογραφία λόγω της επιπλέον πληροφορίας που περιέχει σε μορφή χαρτογραφικών στοιχείων όπως τοπωνύμια, διανυσματικά στοιχεία κλ.

3 ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ & UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)

3.1 Εισαγωγή

Ως αεροφωτογραφία χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε φωτογραφία της γήινης επιφάνειας (ξηράς ή θάλασσας) έχει ληφθεί από αέρος, δηλαδή από πτητικό μέσο, (αεροπλάνο, ελικόπτερο, αερόστατο κ.λπ.). Ανάλογα της διεύθυνσης του σημείου λήψης προς τον ορίζοντα αυτή διακρίνεται σε κατακόρυφη, κεκλιμένη και πλάγια αεροφωτογραφία.

Πάνω σε μια αεροφωτογραφία σημειώνονται συνήθως διάφορα πληροφοριακά στοιχεία. Συγκεκριμένα, κατά τη στιγμή της λήψης μιας αεροφωτογραφίας, φωτογραφίζονται και αποτυπώνονται στο περιθώριο αυτής ορισμένα όργανα όπως πυξίδα, βαρόμετρο, οριζόντια αεροστάθμη, ρολόι και πινακίδα πληροφοριών. Τα όργανα αυτά δίνουν στοιχεία σχετικά με την κατεύθυνση της πτήσης, το ύψος πτήσης του αεροπλάνου από την επιφάνεια της θάλασσας, την απόκλιση του αεροπλάνου από την οριζόντια θέση κατά τη στιγμή της λήψης της αεροφωτογραφίας, την εστιακή απόσταση του φακού, καθώς και την περιοχή, την ημερομηνία και τον υπεύθυνο αεροφωτογράφισης. Επίσης, στο άκρο της αεροφωτογραφίας αναγράφονται διάφορα άλλα στοιχεία, όπως ο αύξοντας αριθμός της αεροφωτογραφίας, ο κωδικός αριθμός του ρολού του φιλμ και της γραμμής πτήσης και πολλές φορές ορισμένα από τα στοιχεία των παραπάνω οργάνων. Πάντως θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει τυποποίηση στην αναγραφή των στοιχείων, τα οποία σε μερικές περιπτώσεις είναι ελλιπή, πράγμα που δημιουργεί προβλήματα χρησιμοποίησης των αεροφωτογραφιών.

Κάθε κλασική αεροφωτογραφία έχει σχήμα τετραγώνου με διάσταση συνήθως 23cm. Πάνω σε αυτή την αεροφωτογραφία μπορούν να εντοπιστούν και να σημειωθούν διάφορα χαρακτηριστικά σημεία, τα οποία είναι απαραίτητα στις φωτογραμμετρικές και χαρτογραφικές διαδικασίες. Πιο συγκεκριμένα:

- ✓ Σημείο λήψης λέγεται το σημείο από το οποίο έχει ληφθεί η αεροφωτογραφία.
- ✓ Γεωμετρικό κέντρο ή κύριο σημείο λέγεται η ορθή προβολή του σημείου λήψης στην αεροφωτογραφία.
- ✓ Άξονας λήψης αεροφωτογραφίας λέγεται η ευθεία που ενώνει το σημείο λήψης με το κύριο σημείο της αεροφωτογραφίας.
- ✓ Ναδύρ αεροφωτογραφίας λέγεται το σημείο τομής μεταξύ της κατακόρυφου, η οποία διέρχεται από το σημείο λήψης και της αεροφωτογραφίας. Το αντίστοιχο σημείο στο έδαφος λέγεται Ναδύρ εδάφους.
- ✓ Ισόκεντρο ονομάζεται το μέσο της γραμμής που ενώνει το κύριο σημείο με το ναδύρ. Από το σημείο αυτό περνά κάθετα η τομή των επιπέδων της κατακόρυφης και λίγο πλάγιας αεροφωτογραφίας, οι οποίες λαμβάνονται από την ίδια ακριβώς θέση.
- ✓ Ύψος λήψης αεροφωτογραφίας λέγεται το ύψος του σημείου λήψης από το έδαφος.
- ✓ Ύψος πτήσης λέγεται το ύψος του σημείου λήψης από την επιφάνεια της θάλασσας.
- ✓ Βάση λήψης είναι η απόσταση στο έδαφος μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων λήψης.
- ✓ Συζυγή κύρια σημεία ονομάζονται οι θέσεις των κέντρων της προηγούμενης και της επόμενης αεροφωτογραφίας της ίδιας σειράς.

Πάνω στην αεροφωτογραφία μπορεί επίσης να σημειωθούν τα φωτοσταθερά ή σημεία προσαρμογής. Αυτά είναι σημεία λεπτομερειών του εδάφους, των οποίων είναι γνωστές οι οριζόντιες θέσεις και τα υψόμετρα και τα οποία μπορεί να εντοπιστούν εύκολα πάνω στην αεροφωτογραφία, όπως οι διασταυρώσεις δρόμων. Χρησιμοποιούνται τόσο ως σημεία προσανατολισμού κατά και μετά τη φωτογράφιση.

3.2 Ιστορική εξέλιξη αεροφωτογραφίας

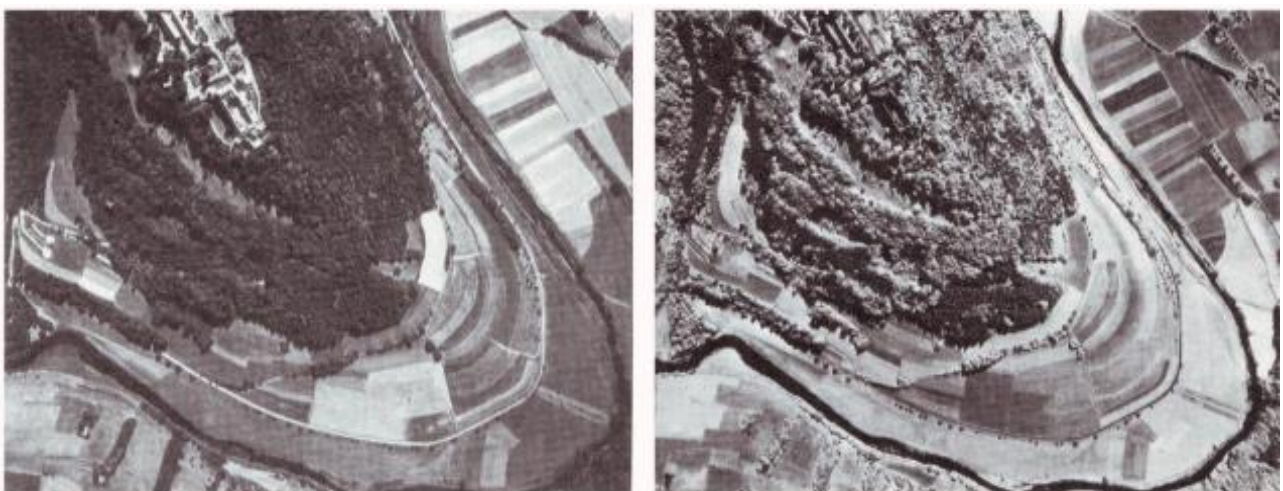
Για πρώτη φορά, λήψη αεροφωτογραφίας έγινε το 1858 από αερόστατο από τον Gaspard - Félix Toupinchon (ο επωνομαζόμενος Nadar) στη Γαλλία. Το 1883, οι Γερμανοί Sturm και Hauck διατυπώνουν τη σχέση ανάμεσα στην προβολική γεωμετρία και τη φωτογραφία μετά από φωτογραφικές λήψεις από αερόστατο και χαρταετούς. Στη διάρκεια του μεσοπολέμου η χρήση της αεροφωτογραφίας για ειρηνικούς σκοπούς άρχισε να επεκτείνεται σε πολλούς τομείς εναέριας έρευνας, όπως στη χαρτογραφία, τοπογραφία, μετακινήσεις ζώων, εκθέσεις φυσικών καταστροφών κ.τ.λ. Σήμερα, η εναέρια φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί αεροσκάφος με ενσωματωμένη μετρητική μηχανή, για την λήψη φωτογραφιών. Τα τελευταία χρόνια η σημαντική εξέλιξη των φωτογραμμετρικών μεθόδων και της τεχνικής λήψης φωτογραφιών με τη χρήση μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος UAV, ευνόησε πολύ την εφαρμογή της φωτογραμμετρίας, αφού παλαιότερα, το κόστος για τη πτήση ενός αεροσκάφους ήταν αρκετά μεγάλο. Αντιθέτως η χρήση του τηλεκατευθυνόμενου εναέριου οχήματος, μετά την αγορά του, έχει μηδαμινό κόστος και η συλλογή πληροφοριών γίνεται ταχύτατα.

3.3 Τύποι αεροφωτογραφιών

Οι αεροφωτογραφίες ανάλογα με τον τύπο του φιλμ ή/και του ψηφιακού αισθητήρα που χρησιμοποιείται, διακρίνονται στους παρακάτω τύπους (Μωυσιάδης, 2015):

A) ασπρόμαυρες παγχρωματικές

Είναι οι αεροφωτογραφίες που χρησιμοποιούνται περισσότερο. Το φιλμ που χρησιμοποιείται για την αποτύπωσή τους είναι ευαίσθητο στο ορατό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στις ασπρόμαυρες παγχρωματικές αεροφωτογραφίες είναι δυνατόν να διακριθούν αντικείμενα που έχουν στην πραγματικότητα διαφορετικό χρώμα. Είναι δύσκολο όμως να διακριθούν, με βάση μόνο τον τόνο του γκρι, χαρακτηριστικά όπως οι διάφοροι τύποι βλάστησης, γιατί η ευαισθησία του φιλμ στην πράσινη ακτινοβολία δεν είναι μεγάλη. Μετρήσεις επιφανειών, υψών αντικειμένων κ.λπ. είναι δυνατόν να γίνουν με αποδεκτή ακρίβεια, εφόσον η κλίμακα των αεροφωτογραφιών βρίσκεται εντός ορισμένων ορίων. Επίσης, μπορούν να συλλέγουν αρκετές πληροφορίες μέσα από τις σκιαζόμενες επιφάνειες και από το νερό.



Εικόνα 3-1 Ασπρόμαυρη παγχρωματική (αριστερά) και Υπέρυθρη αεροφωτογραφία της ίδιας περιοχής (Μπαντέκας, 1980)

Β) ασπρόμαυρες υπέρυθρες

Στις αεροφωτογραφίες αυτές αποτυπώνεται το ορατό και ένα μέρος του υπέρυθρου φάσματος στους τόνους του γκρι. Οι ασπρόμαυρες υπέρυθρες αεροφωτογραφίες είναι πολύ σημαντικές για τη χαρτογράφηση του περιβάλλοντος, αφού σε αυτές αποτυπώνονται με μεγάλη σαφήνεια οι διαφορετικοί τύποι βλάστησης. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-1, η πλατύφυλλη βλάστηση ανακλά περισσότερη υπέρυθρη ακτινοβολία από την κωνοφόρα βλάστηση και αποτυπώνεται με πιο φωτεινούς τόνους από τα κωνοφόρα, που αποτυπώνονται σκουρότερα. Επίσης, η προσβεβλημένη από ασθένειες πλατύφυλλη βλάστηση αποτυπώνεται με σκουρότερους τόνους από την υγιή. Περιοχές με καθαρό νερό καταγράφονται με πολύ σκούρο τόνο και έτσι γίνεται εύκολη η αποτύπωση και χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου και άλλων υδάτινων επιφανειών. Τέλος, οι σκιές των αντικειμένων είναι σχεδόν μαύρες στις υπέρυθρες αεροφωτογραφίες.

Με χρήση κατάλληλου φίλτρου που εμποδίζει τη διέλευση ακτινοβολίας από το ορατό φάσμα, είναι δυνατή η παραγωγή αεροφωτογραφίας σε ένα περιορισμένο τμήμα του **υπεριώδους φάσματος** (από 0.3 ως 0.4 μm). Το υπεριώδες εκτείνεται από τα 3 nm ως τα 0.4 μm , όμως ως τα 0.3 μm η ατμοσφαιρική σκέδαση είναι τόσο έντονη ώστε να μην είναι δυνατή η παραγωγή αξιόπιστης εικόνας σε αυτήν τη ζώνη. Οι αεροφωτογραφίες στη ζώνη του υπεριώδους έχουν αξιοποιηθεί σε μικρή κλίμακα, κυρίως στην ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων, η ανακλαστικότητα των οποίων στο υπεριώδες είναι μεγαλύτερη από αυτήν του νερού.

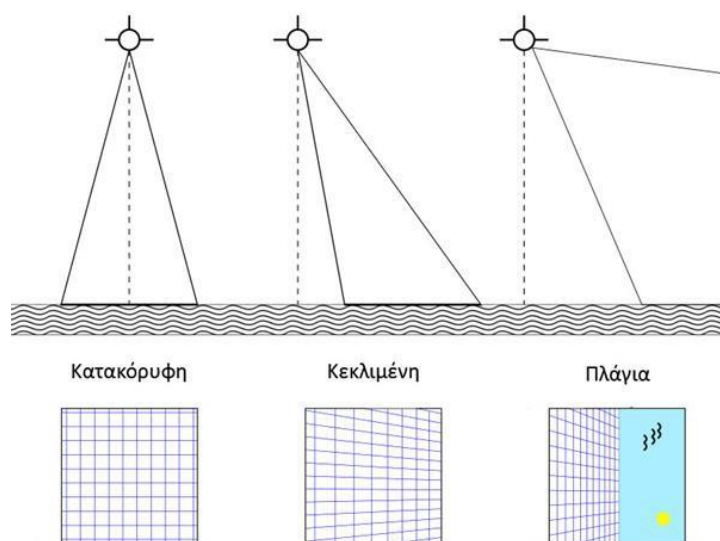
Ατμοσφαιρική σκέδαση δεν εκδηλώνεται μόνο στο υπεριώδες αλλά και στο ορατό φάσμα, κυρίως στη ζώνη του μπλε. Αυτό δεν ευνοεί την παραγωγή αεροφωτογραφιών με καλή αντίθεση τονικότητας, επομένως ούτε και τη διαυγή αποτύπωση στόχων ενδιαφέροντος. Σε αυτό το σημείο πλεονεκτούν οι **ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες υπέρυθρου**, που παράγονται για μήκη κύματος 0.7 ως 0.9 μm (εγγύς υπέρυθρο). Επί πλέον, στο εγγύς υπέρυθρο η ανακλαστικότητα της βλάστησης είναι ιδιαίτερα υψηλή και παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις για διαφορετικούς τύπους βλάστησης. Για το λόγο αυτό οι ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες υπέρυθρου αξιοποιούνται στην καταγραφή της φυτοκάλυψης της γήινης επιφάνειας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των αεροφωτογραφιών αυτών είναι ότι καθώς οι υδάτινες μάζες απορροφούν έντονα την υπέρυθρη ακτινοβολία, εκδηλώνονται στη φωτογραφία με πολύ σκοτεινούς τόνους, σε αντίθεση με την ξηρά, που έχει σχετικά φωτεινότερη τονικότητα. Ως εκ τούτου στις αεροφωτογραφίες υπέρυθρου εκδηλώνεται ευκρινώς η θέση της ακτογραμμής, σε αντίθεση με τις παγχρωματικές αεροφωτογραφίες, όπου η διάκριση μεταξύ ξηράς και θάλασσας δεν είναι ιδιαίτερα διαυγής, καθώς ο βυθός των ρηχών νερών ανακλά σημαντικά την ακτινοβολία ορατού φάσματος που διαπερνά το νερό.

Οι **έγχρωμες αεροφωτογραφίες υπέρυθρου**, ή αλλιώς **ψευδέγχρωμα σύνθετα** (False Color Composites, FCC) παράγονται από φιλμ που είναι ευαίσθητα τόσο στο ορατό όσο και στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Αντικείμενα που ανακλούν έντονα στο υπέρυθρο εμφανίζονται με ερυθρούς τόνους. Αντικείμενα που αντανακλούν έντονα στο φυσικό ερυθρό και στο πράσινο εκφράζονται με πράσινους και με μπλε τόνους, αντίστοιχα. Κατά συνέπεια το οπτικό αποτέλεσμα μιας έγχρωμης φωτογραφίας υπέρυθρου διαφέρει από αυτό μιας έγχρωμης φωτογραφίας στα φυσικά χρώματα. Στον παρακάτω Πίνακα 3-1 συνοψίζονται σε αντιπαραβολή τα οπτικά χαρακτηριστικά των έγχρωμων φωτογραφιών υπέρυθρου και των φυσικών έγχρωμων φωτογραφιών.

Με βάση την κλίση του οπτικού άξονα, οι αεροφωτογραφίες διακρίνονται σε κατακόρυφες (vertical), κεκλιμένες (low oblique) και πλάγιες (high oblique) ή πανοραμικές (Δούκαρη, 2015). Στην παρακάτω Εικόνα 3-2, παρουσιάζονται οι τρεις αυτοί τύποι αεροφωτογραφιών. Στην κατακόρυφη αεροφωτογραφία η κλίση του οπτικού άξονα με την κατακόρυφο δεν ξεπερνά τις 5 μοίρες. Στην κεκλιμένη αεροφωτογραφία, η κλίση ξεπερνά τις 5 μοίρες, χωρίς όμως να φαίνεται ο ορίζοντας. Τέλος στις πλάγιες αεροφωτογραφίες, η κλίση είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να φαίνεται ο ορίζοντας.

Πίνακας 3-1: Σύγκριση χαρακτηριστικών έγχρωμης φωτογραφίας σε φυσικά χρώματα και έγχρωμης φωτογραφίας υπερύθρου, σύμφωνα με τον Sabins 1987

Αντικείμενο	Χρωματική απόδοση σε έγχρωμη φωτογραφία (φυσικά χρώματα)	Χρωματική απόδοση σε έγχρωμη φωτογραφία υπερύθρου
Υγιής βλάστηση πλατύφυλλου τύπου	Πράσινο	Ερυθρό προς ματζέντα
Υγιής βλάστηση βελονοειδούς τύπου	Πράσινο	Ερυθρό-καφέ προς πορφυρό
Βλάστηση σε μαρασμό, πρώιμο στάδιο	Πράσινο	Ροζ προς Κυανό
Βλάστηση σε μαρασμό, προχωρημένο στάδιο	Κίτρινο-πράσινο	Κυανό
Φθινοπωρινά φύλλα	Κόκκινο-κίτρινο	Κίτρινο-λευκό
Καθαρό νερό	Μπλε-πράσινο	Μπλε σκούρο προς μαύρο
Λασπώδες νερό	Ελαφρό πράσινο	Ελαφρό μπλε
Υγρό έδαφος	Κάπως πιο σκοτεινό	Διάφοροι σκοτεινοί τόνοι
Διαπερατότητα στο νερό	Καλή	Διαπερνούν το νερό η ερυθρή και η πράσινη ζώνη, όχι η ζώνη υπερύθρου
Σκιές	Μπλε με ορατές λεπτομέρειες	Μαύρο με λίγες ορατές λεπτομέρειες
Επαφή μεταξύ ξηράς και υδάτων	Ασαφής και δυσδιάκριτη η οριοθέτηση	Σαφής οριοθέτηση
Εμφανίσεις ερυθρών πετρωμάτων	Ερυθρό	Κίτρινο



Εικόνα 3-2: Τύποι αεροφωτογραφιών ανάλογα με την κλίση του οπτικού άξονα (Δούκαρη, 2015)

3.4 Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Ο όρος μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs), χρησιμοποιείται συνήθως στην επιστήμη των υπολογιστών, της ρομποτικής και τεχνητής νοημοσύνης, καθώς και στους τομείς της φωτογραμμετρίας και της τηλεπισκόπησης. Τα UAV είναι εναέρια οχήματα πολλαπλών χρήσεων, τα οποία ελέγχονται εξ' αποστάσεως και μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να είναι αυτόνομα, ημιαυτόνομα ή με συνδυασμό αυτών των δυνατοτήτων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς, ενώ πλέον η χρήση τους εξαπλώνεται σε πολλούς επιστημονικούς τομείς.

Μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (Unmanned Aerial Vehicle - UAV, Unmanned Aerial System - UAS ή Remotely Piloted Aircraft System - RPAS), ονομάζονται τα κάθε είδους ιπτάμενα οχήματα που δεν έχουν χειριστή στην άτρακτό τους, αλλά πραγματοποιούν πτήσεις είτε αυτόνομα είτε μέσω τηλεκατεύθυνσης. Οι προαναφερθείσες ονομασίες αναφέρονται στους ορισμούς που κατά καιρούς έχουν δοθεί για την περιγραφή αυτών των οχημάτων.

Συχνά, χρησιμοποιείται και ο όρος συστήματα μη επανδρωμένων οχημάτων (UAS). Ένα UAS (Unmanned Aircraft System), αποτελείται από ένα σύνολο τεχνολογιών (Δούκαρη, 2017). Ο όρος UAV περιγράφει μόνο το χωρίς χειριστή αεροσκάφος. Ο όρος UAS περιλαμβάνει όλες τις συσκευές, το προσωπικό και τις διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου το μη επανδρωμένο αεροσκάφος να θεωρείται ως ολοκληρωμένο σύστημα. Τα κύρια μέρη ενός τέτοιου συστήματος, είναι το εναέριο μη επανδρωμένο όχημα (UAV), το ωφέλιμο φορτίο του (payload) και το επίγειο σύστημα ελέγχου (ground control station), που αποτελείται συνήθως από μεταφερόμενες συσκευές - υπολογιστές (hardware/ software) για την παρακολούθηση και την προώθηση εντολών στο όχημα, καθώς και τη σύνδεση επικοινωνίας δεδομένων μεταξύ τους, η οποία είναι πολύ σημαντική για τον χειρισμό και τον έλεγχο του οχήματος.

Τέλος, ο όρος RPAS καθιερώθηκε σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και με την ανάγκη όλες οι πτήσεις μη επανδρωμένων αεροσκαφών να έχουν τουλάχιστον έναν επιβλέποντα πιλότο στο έδαφος. Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα συνήθως έχουν τη μορφή μικρού αεροπλάνου ή ελικοπτέρου με έναν ή περισσότερους κινητήρες και έλικες συντονισμένους για πλήρως ελεγχόμενη πτήση από ειδικό πρόγραμμα ή χειριστήριο εδάφους.

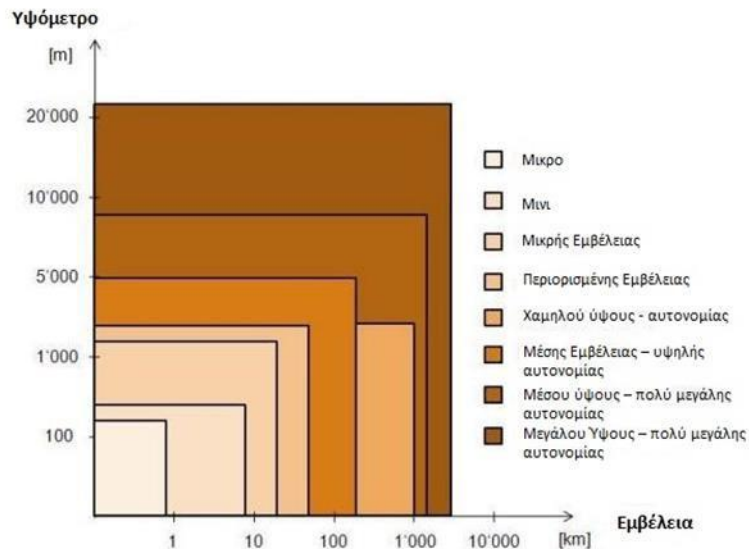
Υπάρχουν πολλές κατηγορίες τέτοιων οχημάτων, είδη και κατασκευαστές, που διαφέρουν ως προς το βάρος, την τιμή, την εμβέλεια, την αντοχή, την ευελιξία, την εξάρτηση από τον καιρό (π.χ. άνεμο) και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, καθώς και ως προς τη λειτουργία του συστήματος, το εύρος, τα ύψη που καλύπτει και τις εφαρμογές. Η επιλογή ενός τέτοιου εναέριου οχήματος, εξαρτάται από τις απαιτήσεις του χρήστη και των εφαρμογών που θα χρησιμοποιηθεί. Τα UAV επιτρέπουν την καταγραφή και παρακολούθηση της θέσης και του προσανατολισμού των εφαρμοζόμενων αισθητήρων σε τοπικό ή παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλης και μικρής κλίμακας εφαρμογές.

Τα τελευταία χρόνια, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), έχουν αναπτυχθεί για την απόκτηση υψηλής ανάλυσης αεροφωτογραφιών και χρήση τους σε πολλούς επιστημονικούς τομείς. Αρχικά τοποθετήθηκαν αισθητήρες πλοήγησης και χαρτογράφησης σε τηλεκατευθυνόμενες πλατφόρμες για την απόκτηση υψηλής ανάλυσης εικόνων, σε χαμηλό ύψος. Η ανταπόκριση ήταν μικρή, ωστόσο οι ανάγκες των χρηστών καθώς και η εξέλιξη στην τεχνολογία των μπαταριών, των συστημάτων αυτόματου πιλότου και των ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών, επέτρεψαν την ανάπτυξη των οχημάτων αυτών και τελικά την χρήσης τους σε όλο και περισσότερους τομείς και εφαρμογές.

3.4.1 Ταξινόμηση – Κατηγοριοποίηση των UAV

Η ανάπτυξη όλο και περισσότερων συστημάτων UAV, τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα με τα στοιχεία των συσκευών που τα αποτελούν, οδήγησε στην ανάγκη κατηγοριοποίησης τους, η οποία γίνεται συνήθως με βάση το εναέριο όχημα που χρησιμοποιούν. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, οι κατηγορίες αυτές διαφοροποιούνται συχνά. Για αυτό το λόγο υπάρχουν πολλές και διαφορετικές διαθέσιμες ταξινομήσεις, χρησιμοποιώντας παραμέτρους, όπως για παράδειγμα εάν τα οχήματα είναι μηχανοκίνητα ή μη, ελαφρύτερα ή βαρύτερα από τον αέρα και ευέλικτα, σταθερών ή περιστρεφόμενων πτερυγίων (VTOL).

Μια διαθέσιμη ταξινόμηση από τον van Blyenburgh (1999), φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 3-3, όπου τα UAV έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με το μέγεθος/ βάρος, την αυτονομία, το μέγιστο ύψος πτήσης και διάρκεια πτήσης τους σε μικρο (micro), μίνι (mini), με μέγιστο ωφέλιμο φορτίο τα 5 κιλά, μικρής, περιορισμένης, μέσης εμβέλειας, χαμηλού, μέσου και μεγάλου ύψους, καθώς και αυτονομίας. Η εμβέλεια τους επηρεάζεται από την διαθεσιμότητα της ασύρματης σύνδεσης για τον έλεγχο του οχήματος, καθώς και από την αυτονομία της πτήσης η οποία σχετίζεται με την ικανότητα των μπαταριών, του πρόσθετου καυσίμου και του κινητήρα.



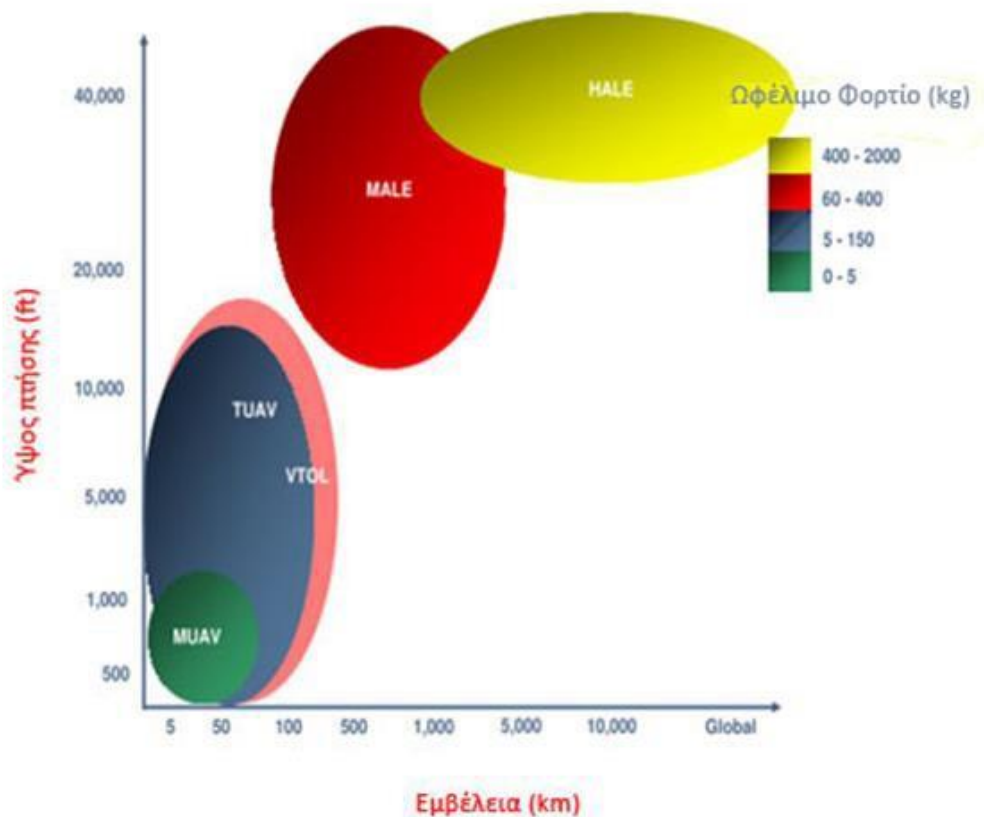
Εικόνα 3-3: Ταξινόμηση UAV με βάση την εμβέλεια και το υψόμετρο (Peter van Blyenburgh, 1999). Μετάφραση από: (Eisenbeiss and Grün 2009, από Δούκαρη, 2015)

Στο «Unmanned aircraft systems», της R. Austin, αναφέρονται κατηγορίες συστημάτων, με φάσμα που καλύπτει χρήση αεροσκαφών με άνοιγμα πτερύγων 35 μ. και μεγαλύτερο (HALE), μέχρι μικρού μεγέθους πτητικά μέσα (NAV), με άνοιγμα έκτασης μόλις 40 χιλ. Πιο συγκεκριμένα, οι κατηγορίες είναι (Μπάτσης, 2018, Δούκαρη, 2015):

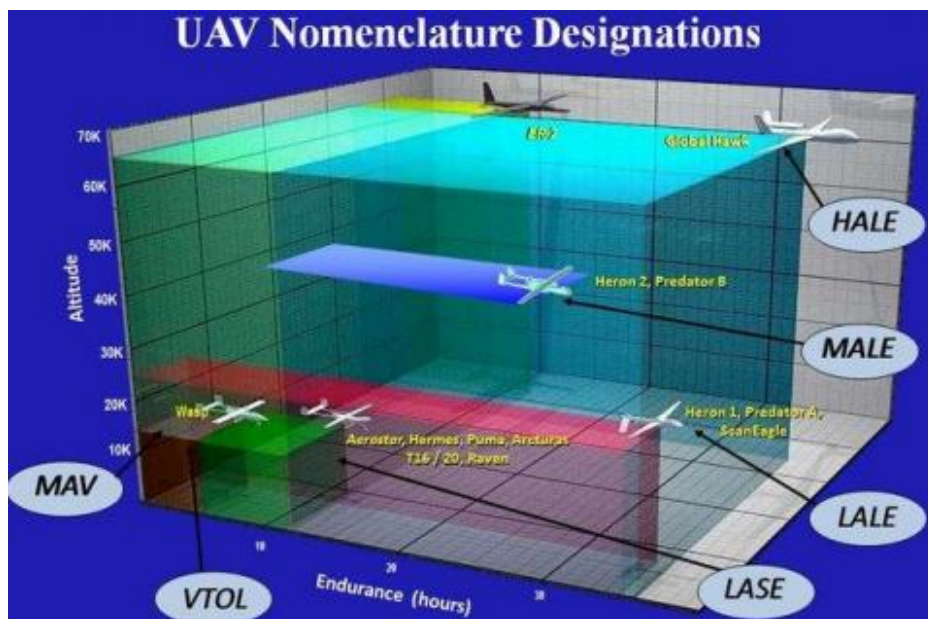
- ✓ Τα HALE (High altitude – long endurance) συστήματα, με δυνατότητα ύψους πτήσης πάνω από 15000μ. και 24ωρη αυτονομία. Πραγματοποιούν εξαιρετικά μεγάλης εμβέλειας πτήσεις με όλο και μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο. Συνήθως χρησιμοποιούνται από την πολεμική αεροπορία, με τη χρήση σταθερών βάσεων.
- ✓ Τα MALE (Medium altitude – long endurance) συστήματα, με ύψος πτήσης 5000-15000μ. και 24ωρη αυτονομία. Οι δυνατότητες τους είναι παρόμοιες με αυτές των HALE συστημάτων, με λίγο μικρότερο εύρος αλλά άνω των 500 χιλμ.
- ✓ Τα TUAV (Medium Range or Tactical UAV) με εύρος 100-300 χιλμ. Τα οχήματα αυτών των συστημάτων είναι μικρότερα και απλούστερα από ότι τα παραπάνω. Συνήθως χρησιμοποιούνται για εφαρμογές του ναυτικού.
- ✓ Τα συστήματα μικρής εμβέλειας (Close - range), χρησιμοποιούνται για εφαρμογές εδάφους και για στρατιωτικούς σκοπούς. Η εμβέλεια τους φτάνει τα 100χιλμ. και είναι ιδιαίτερα παραγωγικά σε μεγάλο εύρος εφαρμογών.
- ✓ Τα MUAV ή Mini UAV, χρησιμοποιούνται επίσης για στρατιωτικούς σκοπούς αλλά και σε άλλες εφαρμογές. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν χειροκίνητα σε αποστάσεις μέχρι 30 χιλμ. περίπου.
- ✓ Τα Micro UAV ή MAV (Micro-air vehicle) συστήματα, με άνοιγμα πτερύγων έως 150χιλ. χρησιμοποιούνται συχνά σε αστικά περιβάλλοντα καθώς και σε εσωτερικούς χώρους, έχουν πολύ μικρή εμβέλεια και χρόνο πτήσης.
- ✓ Τέλος τα NAV (Nano-air vehicle), έχουν πολύ μικρό μέγεθος και χρησιμοποιούνται συνήθως κατά σμήνη.

Στην παρακάτω Εικόνα 3-4, ταξινομούνται οι κατηγορίες που αναφέρθηκαν, με βάση το ύψος πτήσης και την εμβέλεια τους, με χρωματική διαφοροποίηση σύμφωνα με το βάρος του

ωφέλιμου φορτίου τους. Επίσης στην Εικόνα 3-5 δίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα υψομέτρου και διάρκειας πτήσεως των UAV (Watts, et. al., 2012)

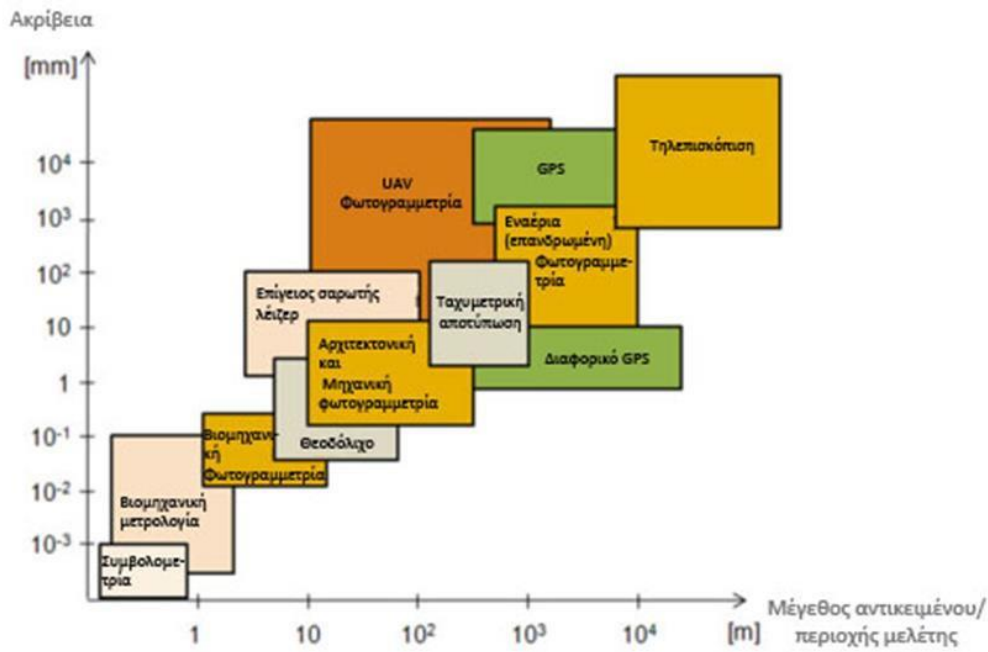


Εικόνα 3-4: Ταξινόμηση UAV με βάση το ύψος πτήσης και την εμβέλεια. Πηγή: (E.Commission 2007, από Δούκαρη, 2015)



Εικόνα 3-5: Χαρακτηριστικά παραδείγματα υψομέτρου και διάρκειας πτήσεως των UAV (Watts, et. al., 2012)

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις των UAV σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της υπολογιστικής όρασης, εισάγουν ένα νέο τρόπο κατηγοριοποίησης στις φωτογραμμτρικές πλατφόρμες. Ένας διαφορετικός τρόπος ταξινόμησης αναφέρεται από τον H.Eisenbeiss (1999), όπου παρουσιάζει την κατηγοριοποίηση του Luhmann, et al., 2006, με τις υπάρχουσες τεχνικές αποτύπωσης - μέτρησης, όπου συσχετίζει το μέγεθος του μετρούμενου αντικειμένου σε σχέση με την απαιτούμενη ακρίβεια μέτρησης.



Εικόνα 3-6: Ταξινόμηση μεθόδων αποτύπωσης με συσχέτιση της ακρίβειας και του μεγέθους της περιοχής μελέτης. Μετάφραση από: (Eisenbeiss 2011, από Δούκαρη, 2015)

Αυτή η κατηγοριοποίηση περιλαμβάνει σχεδόν όλες τις τεχνικές, χωρίς να αναφέρει την απόδοση του κάθε συστήματος σε διαφορετικές συνθήκες. Στην πραγματικότητα, λαμβάνοντας υπόψη το ύψος ορισμένων αντικειμένων, κάποιες από τις μεθόδους ίσως δεν καλύπτουν το σύνολο του αντικειμένου με την παρουσιαζόμενη ακρίβεια. Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται όλες οι εναέριες και επίγειες πλατφόρμες μέτρησης, καθώς και η εισαγωγή της εναέριας φωτογραμμετρίας με χρήση UAV (H.Eisenbeiss, 2009), μια νέας εναέριας μεθόδου, κοντινών αποστάσεων, δίνοντας μια πληρέστερη εικόνα των μεθόδων μέτρησης. Κατά συνέπεια, η μέθοδος της 'UAV φωτογραμμετρίας' προστέθηκε, συνδυάζοντας όλες τις κατηγορίες των μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε μια ειδική κατηγορία, καθιστώντας την ταξινόμηση των μεθόδων φωτογραμμετρικής αποτύπωσης, περισσότερο κατανοητή και σαφέστερη στο πλαίσιο των πρόσφατων εξελίξεων.

Τα UAVs μπορούν να είναι τόσο ελαφρά και μικρά όσο ένα έντομο, ή τόσο μεγάλα όσο ένα μικρό επανδρωμένο αεροσκάφος. Λόγω της ποικιλίας στις χρήσεις των UAVs, είναι δύσκολο να κατηγοριοποιηθούν με τον ίδιο τρόπο για όλες τις εφαρμογές και ως εκ τούτου, πολλοί οργανισμοί έχουν φτιάξει τις δικές τους κατηγορίες, όπως η UVS International ή η US military. Αυτοί οι οργανισμοί έχουν κατηγοριοποιήσει τα UAVs με διαφορετικούς τρόπους σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους (μέγεθος, βάρος, εμβέλεια, ταχύτητα, αποστολές, κ.λπ.). Πρόσφατα ωστόσο οι περισσότεροι οργανισμοί έχουν αρχίσει να ακολουθούν την κατηγοριοποίηση του Υπουργείου

Εθνικής Άμυνας των Η.Π.Α. (US Department of Defense), η οποία κατηγοριοποιεί τα UAVs σε πέντε κατηγορίες όπως φαίνονται στον Πίνακα 3-2. Ερευνητές, ακαδημαϊκοί και πολίτες, χρησιμοποιούν UAVs της κατηγορίας 1 τα οποία αναφέρονται και ως μικρά μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (small/micro UAVs).

Πίνακας 3-2: Κατηγοριοποίηση των UAVs σύμφωνα με το αμερικάνικο Υπουργείο Εθνικής Άμυνας

Κατηγορία	Μέγιστο Βάρος (Kgr)	Τυπικό ύψος πτήσεων (m)	Ταχύτητα (Km/h)
1	< 9	< 365 AGL	< 185
2	9 – 25	< 1065 AGL	< 463
3	< 600	< 5485 MSL	
4	> 600	< 5485 MSL	Οποιαδήποτε
5		> 5485 MSL	
<p><i>Σημείωση: AGL - Above Ground Level</i></p> <p><i>MSL – Mead Sea Level</i></p>			

3.4.2 Εξαρτήματα UAV

Το μοντέλο του παραδοσιακού συστήματος τηλεκατευθυνόμενου UAV περιλαμβάνει έναν χειριστή ο οποίος ελέγχει πλήρως την πορεία του UAV χρησιμοποιώντας ένα απλό σύστημα μετάδοσης/λήψης. Σήμερα όμως τα UAVs λειτουργούν ως ένα βαθμό αυτόνομα αξιοποιώντας τα διαφορετικά ηλεκτρονικά συστήματα που ενσωματώνουν. Τα κύρια εξαρτήματα ενός UAV είναι (Johnson, 2015):

Frame (Σκελετός): Το υλικό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ αλλά ταυτόχρονα και ανθεκτικό. Για τα μικρά UAV χρησιμοποιείται κυρίως το πλαστικό και τα παράγωγά του (φελιζόλ), ενώ για τα μεγάλα UAV το αλουμίνιο και τα ανθρακονήματα.

Motor (Κινητήρας): Παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διάρκεια και την ταχύτητα πτήσης αλλά και στο βάρος που μπορεί να μεταφέρει.

Flight Control System (Υπολογιστής Πτήσης): Είναι ο εγκέφαλος του UAV. Ελέγχει τόσο την ταχύτητα όσο και τα πτερύγια του αεροσκάφους.

Avionics (Σύστημα Πλοήγησης): Το ηλεκτρονικό σύστημα που κατευθύνει το UAV.

Radar: Τα μεγάλα UAV διαθέτουν radar για την ανίχνευση στόχων.

Gimbal Control (Σύστημα Ευστάθειας): Είναι το σύστημα ευστάθειας της φωτογραφικής μηχανής το οποίο βελτιώνει την ποιότητα των φωτογραφιών.

Sensors (Αισθητήρες): Είναι κυρίως φωτογραφικές μηχανές και συστήματα Lidar (Light Detection and Ranging) το οποίο βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας για την διενέργεια μετρήσεων.

Datalink (Σύστημα Απομακρυσμένης Επικοινωνίας): Είναι το σύστημα ώστε να επιτυγχάνεται η απομακρυσμένη επικοινωνία του UAV με τον χειριστή. Όσο πιο μεγάλο και εξεζητημένο είναι το UAV και ικανό να πετάει ακόμα και εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από τον χειριστή, αντιστοίχως είναι και το σύστημα datalink.

3.4.3 Πλεονεκτήματα χρήσης UAV

Η χρήση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, αυξάνεται συνεχώς λόγω των πλεονεκτημάτων τους σε σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους φωτογραμμετρίας, τοπογραφίας, χαρτογράφησης και άλλων μεθόδων αποτύπωσης και τρισδιάστατης απεικόνισης. Καθώς συνδυάζει τις εναέριες με τις επίγειες μετρήσεις και εισάγει εναλλακτικές λύσεις χαμηλού κόστους. Η μέθοδος αποτύπωσης με UAV, θεωρείται συμπληρωματική μέθοδος, καθώς σε συνδυασμό με επίγειες μετρήσεις δίνει ακριβή αποτελέσματα, σε σύντομο χρονικό διάστημα. Σε αρκετές εφαρμογές, θεωρείται ότι μπορεί να αποκαταστήσει πλήρως τις παραδοσιακές μεθόδους αποτύπωσης. Το μικρό κόστος είναι ένα ακόμη θετικό στοιχείο αυτής της μεθόδου, καθώς μετά την αγορά τους, το κόστος χρήσης και συντήρησης είναι μηδαμινό. Κάποια επιπλέον πλεονεκτήματα της χρήσης των εναέριων οχημάτων, είναι η ταχύτητα λήψης των πληροφοριών - μετρήσεων, η συλλογή πολλών χωρικών δεδομένων, ο αυτοματοποιημένος τρόπος ανάκτησης τους, καθώς και η ικανότητα χαρτογράφησης δυσπρόσιτων και επικίνδυνων περιοχών, αφού οι μετρήσεις γίνονται από απόσταση, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους χαρτογράφησης. Τα UAV μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καταστάσεις υψηλού κινδύνου, χωρίς να βάλουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές, δίνοντας τη δυνατότητα καταγραφής αντικειμένων/ περιοχών σε μικρή απόσταση (από χαμηλό ύψος), όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις περιοχών που έχουν υποστεί φυσικές καταστροφές (εκρήξεις ηφαιστειών, πλημμύρες, σεισμούς, ατυχήματα). Η εφαρμογή των GPS / INS συστημάτων καθώς και τα συστήματα σταθεροποίησης και πλοήγησης προσφέρουν ακριβείς πτήσεις, εξασφαλίζοντας, αφενός, την επαρκή κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος και επιτρέποντας στο χρήστη να εκτιμήσει την ακρίβεια του αναμενόμενου αποτελέσματος πριν την πτήση.

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων καθώς και το πλήθος των πληροφοριών που λαμβάνονται από αυτή, την καθιστούν μια ευέλικτη μέθοδο, καθώς οι εναέριες φωτογραφίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ορθοφωτοχάρτων υψηλής ανάλυσης, ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DSM) και τριαδιάστατων μοντέλων, με τη χρήση ειδικών λογισμικών αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Τα αποτελέσματα αυτά στη συνέχεια, σε συνδυασμό με τα συστήματά γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για εξαγωγή χαρτών, σχεδίων, για την ερμηνεία μιας κατάστασης και σύγκριση με παλαιότερα δεδομένα.

3.4.4 Περιορισμοί χρήσης των UAV

Μειονέκτημα της χρήσης των UAV, μπορούν να θεωρηθούν τα καιρικά φαινόμενα καθώς και ο φωτισμός, που ίσως να μην επιτρέπουν την πραγματοποίηση της πτήσης ή να συμβάλλουν στην παραγωγή μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων. Επίσης η χρήση τους σε απομακρυσμένες περιοχές, προϋποθέτει προσοχή στην ανθεκτικότητα και διάρκεια ζωής της μπαταρίας, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων για τη φόρτιση και την απόδοση σε ακραίες θερμοκρασίες (Δούκαρη, 2015). Ο περιορισμός των ωφέλιμων φορτίων, σε βάρος και διαστάσεις, ειδικά στα χαμηλού κόστους εναέρια οχήματα, επιτρέπει τη χρήση μικρού ή μεσαίου μεγέθους αισθητήρων. Έτσι είναι απαραίτητη η λήψη μεγάλου αριθμού εικόνων με σωστή επικάλυψη, για την αποτύπωση όλης της περιοχής ενδιαφέροντος. Επίσης, οι μικρού κόστους αισθητήρες είναι λιγότερο σταθεροί, με αποτέλεσμα οι φωτογραφίες να έχουν χαμηλότερη ποιότητα, και να περιορίζεται το ύψος πτήσης του οχήματος. Ακόμα και αν τα UAV μπορούν να πραγματοποιήσουν μια πτήση αυτόνομα, δεν μπορούν να αντιδράσουν σε απρόσμενες καταστάσεις και είναι απαραίτητο ο χειριστής να βρίσκεται πάντα σε ετοιμότητα να παρέμβει οποιαδήποτε στιγμή. Οι παρεμβολές σημάτων στο σύστημα επικοινωνίας του χρήστη με το σύστημα, μπορούν επίσης να προκαλέσουν προβλήματα κατά την διάρκεια μιας πτήσης.

3.4.5 Ισχύουσα Νομοθεσία

Τα τελευταία 15 χρόνια, η χρήση των τηλεκατευθυνόμενων αεροπορικών συστημάτων RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), ευρύτερα γνωστών ως μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα UAV (Unmanned Aerial Vehicles) ή «drones (International Civil Aviation Organization-Cir 328 AN/190, n.d.) στα αγγλικά ή κηφήνες ,σημειώνει ραγδαία ανάπτυξη . Η συγκεκριμένη τεχνολογία, ενώ αναπτύχθηκε αρχικά για στρατιωτικούς σκοπούς, πλέον έχει και εμπορική χρήση, γεγονός που θέτει υπό πίεση τα τεχνολογικά και νομοθετικά όρια. Σήμερα τα RPAS που χρησιμοποιούνται σε επαγγελματικό πλαίσιο παρέχουν σημαντικά οφέλη για διάφορες χρήσεις, των οποίων η προστιθέμενη αξία αυξάνεται με την απόσταση μεταξύ της συσκευής και του χειριστή ,λαμβάνοντας υπόψη ότι σε αυτές τις χρήσεις, οι οποίες παρουσιάζουν ευρύτατη ποικιλία και δυνατότητα περαιτέρω εξέλιξης στο μέλλον, περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων επιθεωρήσεις ασφάλειας και έλεγχο υποδομών, εκτίμηση φυσικών καταστροφών, δραστηριότητες ακριβείας στον τομέα της γεωργίας, παραγωγή περιεχομένου από MME, θερμογραφία αέρα ή παράδοση δεμάτων σε απομονωμένες περιοχές ή αναμετάδοση σήματος στις Τηλεπικοινωνίες (Foster, 2015). Τα RPAS θα μπορούσαμε να τα τοποθετήσουμε σε δύο κατηγορίες χρήσης : RPAS επαγγελματικής και RPAS ψυχαγωγικής χρήσης με την δυνατότητα να χειρίζονται εξ” αποστάσεως ή να ύπτανται αυτόματα με προγραμματισμένες ενέργειες και την ικανότητα να εξοπλίζονται με κάμερα καταγραφής (εικόνας ,ήχου) προκειμένου είτε να χειρίζονται είτε να καταγράφουν. Η πλέον διαδεδομένη χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων εμπορικής κοινής χρήσης είναι τα λεγόμενα τετρακόπτερα ,βασικό χαρακτηριστικό τους οι τέσσερις έλικες, αλλά και η ικανότητά τους να προσαρμόζουν και να μεταφέρουν αντικείμενα.

Το γενικό πλαίσιο πτήσεων Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών- ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems – UAS), όπως εγκρίθηκε με την απόφαση Δ/ΥΠΑ/21860/1422 της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας.

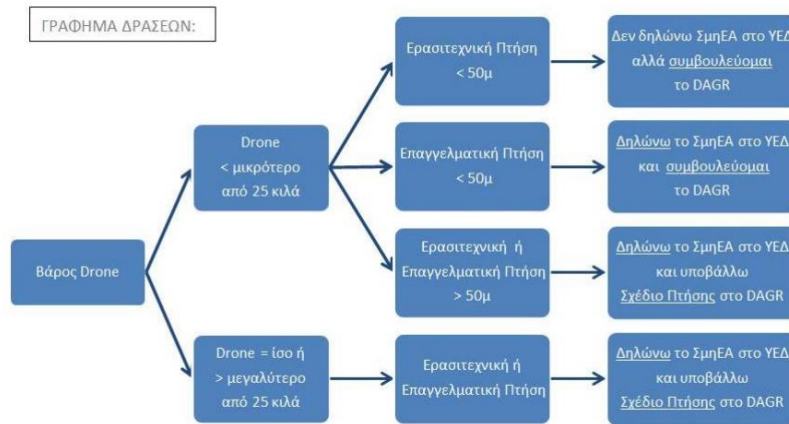
Με τον Κανονισμό καθορίζονται για πρώτη φορά οι όροι και οι προϋποθέσεις για την εκτέλεση πτήσεων των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft Systems – UAS), ελεύθερων ή προσδεδεμένων (free or tethered) στο ATHINAI FIR / HELLAS UIR.

Οι ρυθμίσεις του Κανονισμού, οι οποίες τίθενται σε ισχύ από 1η Ιανουαρίου 2017, αφορούν σε όλες τις κατηγορίες Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών – ΣμηΕΑ όπως καθορίζονται σε αυτόν. Στο πεδίο εφαρμογής του παρόντος Κανονισμού δεν εμπίπτουν τα Αερομοντέλα, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς ή άλλους κρατικούς σκοπούς από τους αντίστοιχους κρατικούς φορείς (ένοπλες δυνάμεις, σώματα ασφαλείας κλπ) και τα ελεύθερα ή προσδεδεμένα μπαλόνια (tethered or free balloons).

Ο Κανονισμός προβλέπει ότι ο Εκμεταλλεούμενος/Ιδιοκτήτης/Χειριστής Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών συγκεκριμένων κατηγοριών, αλλά και κάθε κατηγορίας/ υποκατηγορίας σε περίπτωση χρήσης για επαγγελματικούς σκοπούς, οφείλει να ασφαλίζει το ΣμηΕΑ για ζημίες έναντι τρίτων και ειδικότερα έναντι υλικών ζημιών τρίτων έως 150.000 και για σωματικές βλάβες έως 1.000.000. Παράλληλα, ειδική μέριμνα υπάρχει στον Κανονισμό αναφορικά με ζητήματα προστασίας προσωπικών δεδομένων.

Συγκεκριμένα, ο Κανονισμός προβλέπει ότι στην περίπτωση που κατά την εκτέλεση των δραστηριοτήτων (αεροπορικών εργασιών ή άλλων χρήσεων) του ΣμηΕΑ πραγματοποιείται επεξεργασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα, πρέπει αυτή να είναι σύμφωνη με την ισχύουσα σχετική νομοθεσία. Η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, εφόσον ενημερωθεί σχετικά, γνωστοποιεί στην Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα ζητήματα που

ανακύπτουν σχετικά με την προστασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα από την χρήση των ΣμηΕΑ. Κυρώσεις επιβάλλονται στους παραβάτες σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 2472/1997 περί προστασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα.



Εικόνα 3-7: Διάγραμμα κανονισμού μη Επανδρωμένων Σκαφών

3.4.5.1 Κανόνες Εναέριας Κυκλοφορίας – Που απαγορεύονται οι πτήσεις drones

Ο Κανονισμός περιλαμβάνει συγκεκριμένους κανόνες για την Εναέρια Κυκλοφορία για τη Διεξαγωγή των Πτήσεων ΣΜηΕΑ (UAS).

Μεταξύ άλλων, προβλέπεται ότι η Διεξαγωγή Πτήσεων ΣΜηΕΑ (UAS) επιτρέπεται γενικά σε εναέριο χώρο διαχωρισμένο (segregated) από τον εναέριο χώρο που χρησιμοποιείται από τα επανδρωμένα αεροσκάφη. Ειδικότερα τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) επιτρέπεται να ίπτανται:

- ✓ κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών με κανόνες πτήσεως διά οργάνων (IFR) ή/και εξ όψεως (VFR), με μέγιστο ύψος τα 400 πόδια (FT) επάνω από το έδαφος ή την επιφάνεια της θάλασσας (AGL,MSL).
- ✓ επάνω από τα ανώτερα όρια του ελεγχόμενου Εναερίου Χώρου για την κυκλοφορία επανδρωμένων αεροσκαφών (Επίπεδο Πτήσεως 460- 46.000FT).
- ✓ εντός Προσωρινών Αποκλειστικών Περιοχών (Temporary Segregated Areas TSA) που προσδιορίζονται από τις υπηρεσίες Εναέριας Κυκλοφορίας της ΥΠΑ για πτήσεις ΣΜηΕΑ (UAS).
- ✓ σε καθορισμένα ίχνη και ύψη που προσδιορίζονται με ειδικές άδειες των Υπηρεσιών Εναέριας Κυκλοφορίας της ΥΠΑ.
- ✓ Ανίθετα, η διεξαγωγή Πτήσεων ΣΜηΕΑ (UAS) απαγορεύεται γενικά σε εναέριο χώρο:
- ✓ όπου διενεργούνται πτήσεις επανδρωμένων αεροσκαφών με κανόνες πτήσεως διά οργάνων (IFR) ή και εξ όψεως (VFR).
- ✓ εντός των Ζωνών Κυκλοφορίας των αεροδρομίων (ATZ), και ούτως ή άλλως σε απόσταση μικρότερη από 8 χλμ. από την περίμετρο του αεροδρομίου και από τα ίχνη προσγείωσης / απογείωσης από / προς το αεροδρόμιο.
- ✓ στις «Απαγορευμένες Περιοχές για τις πτήσεις συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών», όπως ορίζονται από τους αρμόδιους φορείς και δημοσιεύονται με απόφαση της ΥΠΑ.

- ✓ εντός των απαγορευμένων και περιορισμένων περιοχών (Prohibited, Restricted Areas) εντός των οποίων απαγορεύονται ή περιορίζονται οι πτήσεις των επανδρωμένων αεροσκαφών οι οποίες ορίζονται από τις υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας και περιγράφονται στο AIP Ελλάδος.

3.4.5.2 Ειδικό Μητρώο των ΣμηΕΑ ή Νηολόγηση

Σύμφωνα με το άρθρο 10 του Κανονισμού, ο Ιδιοκτήτης/εκμεταλλεούμενος ΣμηΕΑ των οποίων η πτήση διεξάγεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 μ. από τον χειριστή, έχει την υποχρέωση να δηλώσει εγγράφως τα στοιχεία του ΣμηΕΑ και τα στοιχεία ταυτότητας Ιδιοκτήτη, Χειριστή και Εκμεταλλεομένου, με επικύρωση ταυτοπροσωπίας σε ΚΕΠ ή άλλο αρμόδιο φορέα συμπληρώνοντας την ειδική ηλεκτρονική φόρμα που υπάρχει στον ιστότοπο της ΥΠΑ και να τα αποστέλλει με ηλεκτρονικό τρόπο (email/FAX) στην ΥΠΑ.

Με απόφαση της ΥΠΑ/Δ2 και σε σχέση και με την χρήση και το επιχειρησιακό περιβάλλον τους, μετά από αίτηση των ενδιαφερομένων, τα ΣμηΕΑ κατηγοριοποιούνται στην «Ανοικτή» ή την «Ειδική» Κατηγορία και εντάσσονται στο Ειδικό Μητρώο ΣμηΕΑ της ΥΠΑ, ενώ τα ΣμηΕΑ τα οποία κατηγοριοποιούνται από την ΥΠΑ στην «Πιστοποιημένη» Κατηγορία, εγγράφονται στο Τμήμα ΣμηΕΑ του Μητρώου Ελληνικών πολιτικών αεροσκαφών, που τηρείται στην ΥΠΑ και λαμβάνουν στοιχεία εθνικότητας και νηολόγησης (Nationality and Registration Marks).

3.4.6 Πεδία Εφαρμογής UAV

Οι πρόσφατες εξελίξεις στα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), τους αισθητήρες, και τις τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας σε πολλούς επιστημονικούς τομείς, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα λύσεων για διαφορετικές εφαρμογές που σχετίζονται με την απόκτηση πληροφορίας για αντικείμενα, κατασκευές ή φαινόμενα πάνω στη γη, καθώς και παρατηρήσεις στην επιφάνεια των θαλασσών. Η σχέση κόστους - αποτελεσματικότητας σε σύγκριση με επανδρωμένα οχήματα καθώς και άλλες μεθόδους, την καθιστούν ελκυστική λύση, ιδίως αν ληφθεί υπόψη ότι τα UAV μπορούν να εξοπλιστούν με διάφορους αισθητήρες, όπως μεσαίου ή μικρού μεγέθους κάμερα, καθώς και εξειδικευμένες συσκευές όπως σύστημα LIDAR και θερμική ή υπέρυθρη κάμερα. Ο τεράστιος όγκος των δεδομένων που παρέχονται από τα UAV, αντιπροσωπεύει μια νέα πρόκληση για την εξέλιξη των τεχνικών επεξεργασίας, μεταφοράς και αποθήκευσης τους.

Η απεικόνιση του ανάγλυφου του εδάφους, οι ορθοφωτογραφίες και τα τρισδιάστατα μοντέλα που προκύπτουν, από εναέριες φωτογραφίες, αποτελούν χρήσιμο εργαλείο σε πολλές εφαρμογές, όπως σε περιπτώσεις κινδύνων και φυσικών ή περιβαλλοντικών καταστροφών, ατυχημάτων, καθώς και για τη δημιουργία μέτρων προστασίας, σε περιπτώσεις επιχειρήσεων έρευνας και διάσωσης, για την καταπολέμηση πυρκαγιών, ζημιές καλλιεργειών, κατολισθήσεις και άλλα. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν τρισδιάστατες αποτυπώσεις του περιβάλλοντος, μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς και τοπογραφίας. Επίσης αποτελούν κίνητρο για τη χρήση τους σε έργα μηχανικής, που απαιτούν υποδομές παρακολούθησης, όπως χαρτογράφηση γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας, παρακολούθηση και καταγραφή κτηματολογικών στοιχείων, επιθεώρηση αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου, οδικών και σιδηροδρομικών δικτύων, μεταφορές.



Εικόνα 3-8: Εφαρμογές με τη χρήση UAV. Μετάφραση από: (Ritzinger 2014, από Δούκαρη, 2015)

Οι λεπτομερείς πληροφορίες που παρέχονται για κάθε εφαρμογή καθώς και η δυνατότητα περαιτέρω επεξεργασίας τους, καθιστούν τα UAV, ένα σημαντικό μέσο ανάπτυξης και έρευνας σε πολλούς τομείς της επιστήμης, καθώς και μέσο προστασίας των πολιτών και του περιβάλλοντος.

Ο M. Ritzinger (2014), συγκεντρώνει σχηματικά τις δυνατές εφαρμογές με τη χρήση UAV, πέρα από τις στρατιωτικές επιχειρήσεις, που τα χρησιμοποιούσαν συχνά για τις εφαρμογές τους. Πιο συγκεκριμένα κατηγοριοποιεί τις εφαρμογές στους τομείς: επιστημονικής έρευνας, πρόληψης και διαχείρισης καταστροφών, προστασίας του περιβάλλοντος, εγχώριας ασφάλειας, τηλεπικοινωνιών και προστασίας υποδομών. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας καλύπτει όλο και περισσότερες εφαρμογές, χωρίς να αντικαθιστά απαραίτητα άλλες μεθόδους, αλλά ως συμπληρωματική μέθοδος, σε περιπτώσεις κινδύνου, αλλά και όταν απαιτείται εξοικονόμηση χρόνου, γρήγορων ενεργειών και ποιοτικών αποτελεσμάτων.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους τομείς δραστηριότητας: δραστηριότητες απόκτησης δεδομένων σε δυσπρόσιτες περιοχές, μεταφορά αντικειμένων, παρακολούθηση καλλιεργειών, εθνικών πάρκων και άγριων ζώων, δραστηριότητες ψυχαγωγίας (βιντεοσκόπηση), στρατιωτικές εφαρμογές, συνοριακός έλεγχος, έλεγχος υδραγωγείων και φραγμάτων, επιθεωρήσεις γραμμών υψηλής τάσης κλπ.

Ανάλογα με το πεδίο χρήσης τους, τα drones μπορούν να εξοπλιστούν με διάφορες συσκευές: κάμερες, θερμικές κάμερες, τηλεμετρία, ραντάρ, αισθητήρες, συστήματα GPS, απομακρυσμένη απόκτηση δεδομένων μέσω tablet ή smartphone. Με την εμφάνιση νέων τεχνολογιών, αναπτύσσονται νέες εφαρμογές των drones, ιδιαίτερα σε βιομηχανικές εφαρμογές, με προβολή εικόνων σε πραγματικό χρόνο, απόκτηση δεδομένων και εξοπλισμό ελέγχου λειτουργίας με βάση τις πληροφορίες που μεταδίδονται μέσω των drones.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας των drones σε διάφορους τομείς δραστηριοτήτων αυξάνεται διαρκώς. Η επαγγελματική χρήση των drones τείνει να επιβάλλει νέες απαιτήσεις πρακτικής και θεωρητικής γνώσης των νέων τεχνολογιών, από τη λειτουργία και τη συντήρηση των drones μέχρι την επεξεργασία και τη χρήση των πληροφοριών που συλλέγονται. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν κατάλληλες δομές για την ανάπτυξη δεξιοτήτων στην επαγγελματική χρήση των drones. Ένα παράδειγμα της επιτυχούς χρήσης της τεχνολογίας των drone είναι στη δασοκομία. Η τεχνολογία των drones χρησιμοποιείται για τη μελέτη περιοχών που έχουν πληγεί από αποψίλωση ή πυρκαγιά καθώς και για τη φύτευση δέντρων. Οι δυσπρόσιτες περιοχές ανιχνεύονται χρησιμοποιώντας τα drones για τη συλλογή πληροφοριών και τη δημιουργία τρισδιάστατων χαρτών. Με βάση τα δεδομένα που αποκτήθηκαν, δημιουργείται το πιο κατάλληλο μοντέλο εδάφους, που ονομάζεται σχέδιο σπόρων. Τα drones που χρησιμοποιούνται είναι εξοπλισμένα με εξειδικευμένο λογισμικό καθοδήγησης και ελέγχου, ένα λογισμικό το οποίο επιτρέπει την κατανομή των σπόρων στο έδαφος και την παρακολούθηση της ανάπτυξης των δέντρων.

Η τεχνολογία drone χρησιμοποιείται ως εναλλακτική μέθοδος για την επιθεώρηση των πεδίων των φωτοβολταϊκών πάνελ, την αναγνώριση πιθανών ελαττωμάτων ή ζημιών ή την αναγνώριση ηλιακών κυψελών χαμηλής απόδοσης που ανιχνεύονται με θερμική σάρωση. Τα τελευταία χρόνια ιδρύθηκαν ερευνητικά ιδρύματα και πολυάριθμες εταιρείες για την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών για τα αεροσκάφη.

4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΤΗΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Ο προγραμματισμός πτήσης αναφέρεται στο σύνολο των αποφάσεων που πρέπει να ληφθούν, πριν από κάθε πτήση και αφορούν μεταξύ άλλων, στην επιλογή του κατάλληλου εναέριου οχήματος, της κατάλληλης φωτογραφικής μηχανής, τη γεωμετρία της λήψης, τον αριθμό και τη θέση των απαιτούμενων φωτογραφιών, την επικάλυψη μεταξύ τους και άλλα. Αυτοί οι παράγοντες συνδέονται μεταξύ τους και αλληλοεπηρεάζονται. Καθώς επίσης μπορεί να ποικίλλουν από τη μια εφαρμογή στην άλλη. Ως εκ τούτου, απαιτείται προσεκτική μελέτη και γνώση των πραγματικών συνθηκών της περιοχής μελέτης, για τη λήψη καλύτερων αποφάσεων. Ο σωστός σχεδιασμός πτήσης είναι από τις σημαντικότερες παραμέτρους της αποτύπωσης με UAV, καθώς από αυτόν εξαρτώνται η ποιότητα και ακρίβεια των αποτελεσμάτων, καθώς και η ασφαλής πτήση του οχήματος.

Αρχικά γίνεται επιλογή του τρόπου πτήσης, δηλαδή αν θα γίνει με αυτόματο τρόπο, βασιζόμενη στο ενσωματωμένο GPS του οχήματος ή αν θα καθοδηγείται από τον χειριστή. Ανάλογα με τον σκοπό της αποτύπωσης, σε εφαρμογές περιοχών μεγάλης ή μεσαίας κλίμακας, με σκοπό την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών, προτιμάται ο σχεδιασμός αυτόματης πτήσης. Σε περιπτώσεις αποτύπωσης συγκεκριμένου αντικειμένου ή κατασκευής, όπου υπάρχει η ανάγκη λήψης και πλάγιων φωτογραφιών εκτός από κατακόρυφες, πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του χειριστή. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται εμπειρία χειρισμού και ετοιμότητα για καταστάσεις ανάγκης και την ασφαλή ολοκλήρωση της πτήσης. Καθώς παρεμβολές στο σύστημα GPS, κακές καιρικές συνθήκες, ή τεχνικά λάθη μπορεί να προκαλέσουν αλλοπρόσαλλη συμπεριφορά στα UAV.

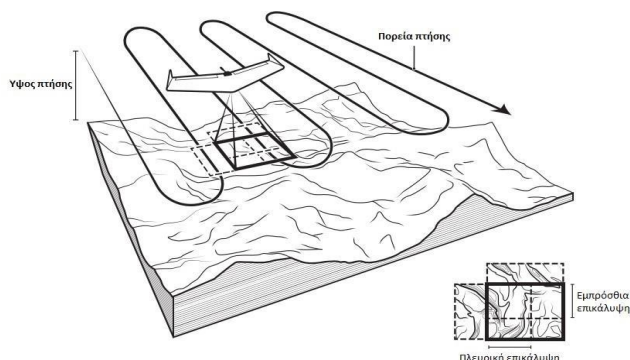
Σε κάθε περίπτωση πριν τον σχεδιασμό πτήσης, σημαντική είναι η προσεκτική έρευνα της περιοχής μελέτης, ώστε να εντοπιστούν επικίνδυνα σημεία, εμπόδια, απαγορευμένες περιοχές και άλλα καθώς και ο εντοπισμός ή τοποθέτηση και μέτρηση σημείων ελέγχου στο έδαφος (GCPs), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια, για τον έλεγχο ακριβείας των αποτελεσμάτων και τη πραγματοποίηση της διαδικασίας γεωαναφοράς τους, σε κάποιο συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων (Δούκαρη, 2015)

4.2 Σχεδιασμός και είδη Πτήσεων

Το ιδανικό σχέδιο λήψης της εικόνας εξαρτάται από το είδος του εδάφους / αντικειμένου που πρόκειται να ανακατασκευαστεί. Με βάση το ανωτέρω διακρίνονται διάφορες περιπτώσεις (Τσαρούχας, 2017):

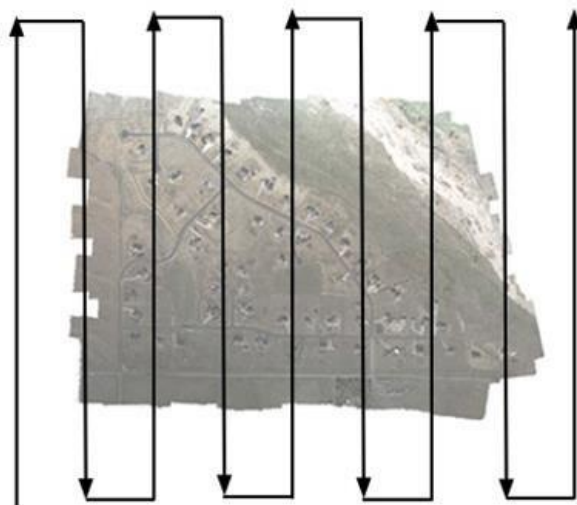
- ✓ Γενική περίπτωση. Για τα έργα που δεν περιλαμβάνουν δάση, χιόνι, λίμνες, αγρούς και / ή άλλα εδάφη που είναι δύσκολο να ανακατασκευαστούν.
- ✓ Δάσος και πυκνή βλάστηση. Για έργα σε τομείς που καλύπτονται από δάση ή πυκνή βλάστηση.
- ✓ Επίπεδο έδαφος για τομείς της γεωργίας. Για επίπεδο έδαφος με ομοιογενή οπτικό περιεχόμενο, όπως στους τομείς της γεωργίας.
- ✓ Ανασηματισμός κτιρίου. Για 3D μοντέλα κτιρίων
- ✓ Ειδικές περιπτώσεις. Για το χιόνι, την άμμο, και υδάτινες επιφάνειες (ωκεανοί, λίμνες, ποτάμια, κλπ).
- ✓ Χαρτογράφηση διαδρόμου. Για έργα με γραμμική περιοχή ενδιαφέροντος (δρόμοι, ποτάμια, κλπ).
- ✓ Πολλαπλές πτήσεις. Για έργα με εικόνες που λαμβάνονται με τη χρήση πολλαπλών πτήσεων

Ο σχεδιασμός της πορείας της πτήσης αποτελεί σημαντική παράμετρο κατά τον προγραμματισμό πτήσης για τη χαρτογράφηση με UAV και συνήθως πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών λογισμικών.



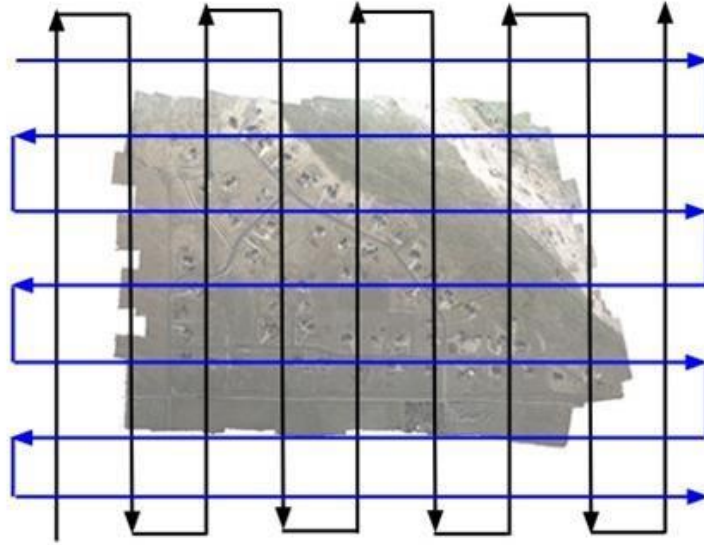
Εικόνα 4-1: Σχεδιασμός πτήσης (DRONES AND AERIAL OBSERVATION, 2015, από Δούκαρη, 2015)

Οι πτήσεις συνήθως απεικονίζονται με ένα μοτίβο παράλληλων γραμμών που συνδέονται μεταξύ τους και αποτελούν πρότυπο απεικόνισης για την εξασφάλιση λήψης αρκετού αριθμού επικαλυπτόμενων εικόνων, οι οποίες απαιτούνται για την επεξεργασία τους και την παραγωγή ποιοτικών χαρτών ακριβείας. Περιοχές με πολύπλοκο ανάγλυφο, απαιτούν μεγαλύτερη επικάλυψη μεταξύ των εικόνων, όπως για παράδειγμα πυκνά δάση, χιονισμένες περιοχές, λίμνες, για την πλήρη αποτύπωση των λεπτομερειών του ανάγλυφου της περιοχής μελέτης (Δουκέρη, 2015).



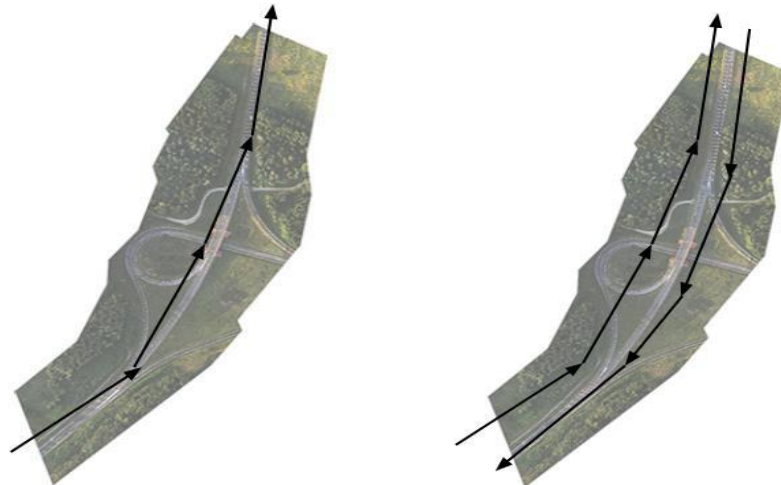
Εικόνα 4-2: Πλέγμα σχεδίου πτήσης (Δούκαρη, 2015)

Για μέγιστη ποιότητα, συχνά χρησιμοποιούνται δύο επικαλυπτόμενα μοτίβα πτήσης σε διαφορετικά ύψη, με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται συλλογή περισσότερων δεδομένων και λύνονται προβλήματα μεγάλης διαφοροποίησης υψομέτρων των γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται συχνά σε περιοχές με βουνά, ή με ψηλά κτίρια. Συνήθως η πρώτη πτήση γίνεται με το προκαθορισμένο ύψος πτήσης και την επιθυμητή ανάλυση εικόνων (GSD), ενώ η δεύτερη 1.5 έως 2 φορές, την αρχική ανάλυση (DroneMapper n.d.).



Εικόνα 4-3: Πλέγμα διπλού σχεδίου πτήσης (Δούκαρη, 2015)

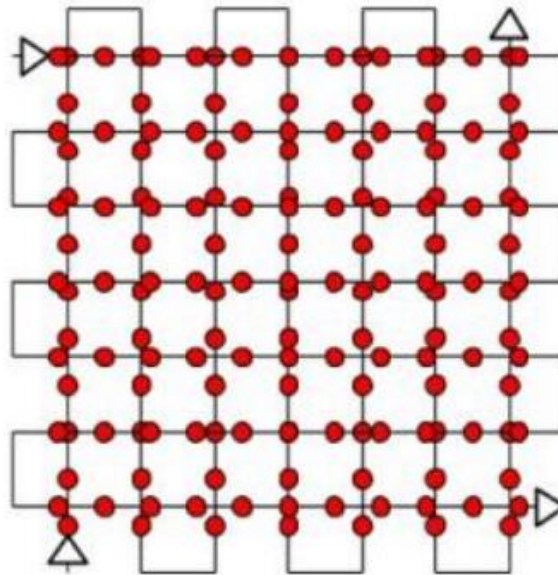
Σε περιπτώσεις αποτύπωσης γραμμικού αντικείμενου (δρόμος, ποτάμι, σιδηροδρομικό δίκτυο), μπορεί να πραγματοποιηθεί μια μόνο πορεία πτήσης, εφόσον καλύπτεται όλο το αντικείμενο, από αυτή. Λόγω έλλειψης πλευρικής επικάλυψης, ίσως δημιουργούνται προβλήματα σε διαδικασίες και στην παραγωγή των τελικών προϊόντων (γεωαναφορά, παραγωγή dem). Για το λόγο αυτό προτείνεται επικάλυψη έως 90%. Ένας άλλος τρόπος βελτίωσης των διαδικασιών αυτών, είναι ο σχεδιασμός διπλής διαδρομής, όπου παρέχει πλευρική επικάλυψη στις φωτογραφίες (Δούκαρη, 2015).



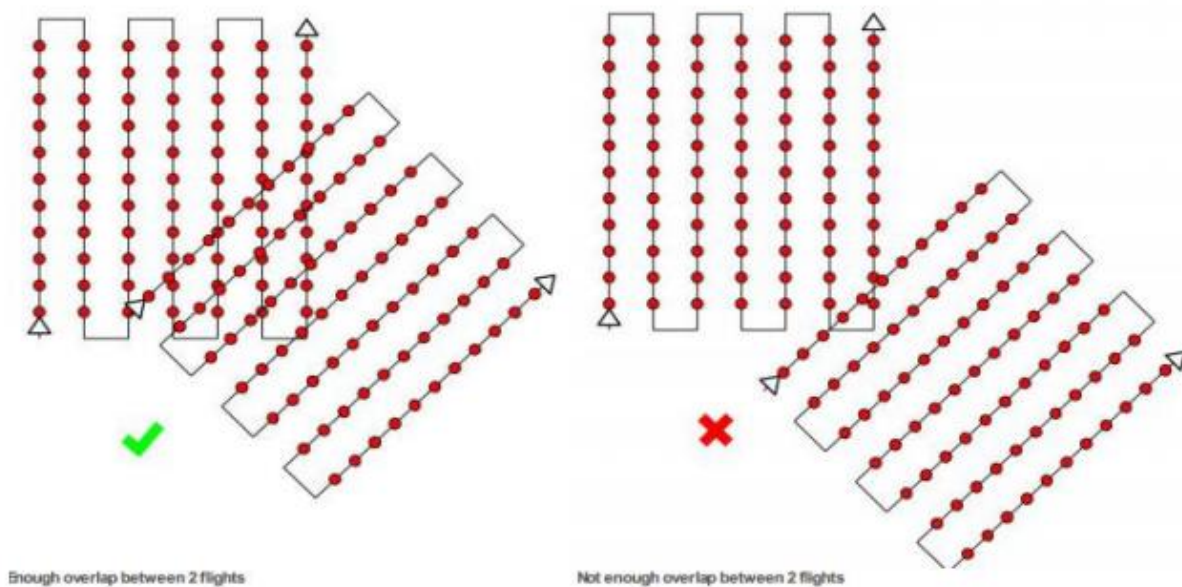
Εικόνα 4-4: Πτήση μονής (αριστερά) και διπλής (δεξιά) πορείας.

Ο σχεδιασμός πτήσης μπορεί να γίνει απευθείας στο πεδίο, με σύνδεση του υπολογιστή στο σύστημα ελέγχου πτήσης του UAV, είτε να έχει ήδη σχεδιαστεί και να συνδεθεί με το όχημα, πριν την πραγματοποίηση της πτήσης. Ο χειριστής ορίζει την περιοχή μελέτης με ένα πολύγωνο, στο κατάλληλο λογισμικό καθώς και το μοντέλο της κάμερας που θα χρησιμοποιηθεί, το υψόμετρο

πτήσης και τις παραμέτρους ενεργοποίησης της μηχανής, για τη λήψη των φωτογραφιών. Στη συνέχεια το λογισμικό ορίζει την πορεία της πτήσης, την εκτιμώμενη ανάλυση στο έδαφος, τον απαιτούμενο αριθμό φωτογραφιών και άλλες χρήσιμες πληροφορίες. Στις παρακάτω Εικόνα 4-5 και Εικόνα 4-6 δίνονται σχέδια Διπλών σχεδίων πτήσης και πολλαπλής σάρωσης, που χρησιμοποιούνται συνήθως στην αποτύπωση 3D κτηρίων.



Εικόνα 4-5: Διπλό σχέδιο πτήσης (Τσαρούχας, 2017)



Εικόνα 4-6: Πολλαπλή σάρωση περιοχής (Τσαρούχας, 2017)

4.3 Μεταβλητές σχεδιασμού πτήσης

Για σωστό σχεδιασμό πτήσης απαραίτητος είναι ο καθορισμός κάποιων σημαντικών μεταβλητών, η επιλογή των οποίων εξαρτάται από το είδος της κάθε εφαρμογής καθώς και από τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αναλύονται παρακάτω οι πιο σημαντικές, για τον προγραμματισμό της πτήσης,

μεταβλητές όπως η επιλογή κατάλληλου αισθητήρα, ύψους πτήσης, επικάλυψης μεταξύ των φωτογραφιών και τρόπος λήψης τους, καθώς και η επιθυμητή ανάλυση Παρακάτω δίνονται αναλυτικά οι κυριότερες μεταβλητές πτήσης από τη Δούκαρη, (2015).

4.3.1 Αισθητήρας

Η επιλογή κατάλληλης κάμερας για την εφαρμογή αποτύπωσης με τη χρήση UAV, αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Καθώς από την ποιότητα των φωτογραφιών που λαμβάνονται, εξαρτάται η ποιότητα και ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται κοινές κάμερες, μικρού βάρους και μάζας, ώστε να προσαρμόζονται σωστά επάνω στο εναέριο όχημα και να μην δημιουργούνται προβλήματα κατά την πτήση. Επίσης πρέπει να διαθέτουν τη δυνατότητα προγραμματισμού ώστε να λαμβάνουν φωτογραφίες σε τακτά χρονικά διαστήματα ή να ελέγχονται από απόσταση. Κάμερες με ευρυγώνιους φακούς, δημιουργούν στρεβλώσεις στις φωτογραφίες και επομένως εισάγουν σφάλματα κατά την επεξεργασία. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητη η προ-επεξεργασία των εικόνων, για απομάκρυνση των στρεβλώσεων.



Εικόνα 4-7: Είδη αισθητήρων για UAV (Δούκαρη, 2015)

Εκτός από τις μεσαίου ή μικρού μεγέθους κάμερες, τα UAV μπορούν να εξοπλιστούν με εξειδικευμένους αισθητήρες, όπως θερμική ή υπέρυθρη κάμερα, εναέριο σύστημα LIDAR ή συνδυασμό αυτών.

Η μεγάλη πληθώρα στους τύπους αισθητήρων απεικόνισης, είναι δυνατόν ομαδοποιηθεί σύμφωνα με τους Colomina & Molina σε μεγάλες κατηγορίες, στις οποίες το κύριο χαρακτηριστικά κατάταξης των αισθητήρων απεικόνισης είναι το είδος της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την καταγραφή, όπως επίσης και τα επίπεδα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στα οποία λειτουργούν. Συνεπώς, οι κατηγορίες αισθητήρων απεικόνισης που προτείνονται στα πλαίσια της εν λόγω εργασίας είναι (Colomina and Molina, 2014):

- ✓ Στην πρώτη κατηγορία, ανήκουν οι αισθητήρες απεικόνισης του ορατού φάσματος, του εγγύς υπέρυθρου (NIR) και οι πολυφασματικοί, οι οποίοι τις περισσότερες φορές εκτός από το ορατό φάσμα λειτουργούν και στο υπέρυθρο
- ✓ Στη δεύτερη κατηγορία, ανήκουν οι υπερφασματικοί (hyper-spectral) αισθητήρες απεικόνισης. Οι υπερφασματικοί αισθητήρες απεικόνισης ασχολούνται με την απεικόνιση

ενός μεγάλου αριθμού στενών φασματικών ζωνών, πάνω σε μία συνεχή περιοχή του φάσματος, τόσο στο ορατό όσο και στο υπέρυθρο. Σε αντίθεση, οι πολυφασματικοί αισθητήρες, παράγουν διακριτές ζώνες του φάσματος και συνήθως έχουν χαμηλότερη διαχωριστική ικανότητα από τους υπερφασματικούς.

- ✓ Στη Τρίτη κατηγορία, ανήκουν οι θερμικοί αισθητήρες απεικόνισης, οι οποίοι λειτουργούν στο φάσμα του θερμικού υπέρυθρου και ασχολούνται με τη παραγωγή θερμικών εικόνων από την επιφάνεια της γης.
- ✓ Στη τέταρτη κατηγορία, ανήκουν οι αισθητήρες απεικόνισης τύπου 'laserscanner', οι οποίοι παράγουν εικόνες στα ίδια φάσματα όπως και οι δυο πρώτες κατηγορίες, με τη διαφορά όμως ότι προφέρουν επιπλέον χωρική-μετρική πληροφορία (ύψος των αντικειμένων από την επιφάνεια της γης).
- ✓ Τέλος, στη πέμπτη κατηγορία ανήκουν οι αισθητήρες απεικόνισης των εικονοληπτικών ραντάρ τύπου SAR (SAR: Synthetic Aperture Radar (Ραντάρ Συνθετικού Διαφράγματος), οι οποίοι λειτουργούν στις ζώνες των μικροκυμάτων ή ραδιοφωνικών κυμάτων. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν το πλεονέκτημα έναντι των παραπάνω που παρουσιάστηκαν, της λειτουργίας ανεξάρτητα από το ηλιακό φωτισμό και κατά κανόνα δεν είναι ευαίσθητοι στις καιρικές συνθήκες και τη νεφοκάλυψη. Ακόμα, είναι κατάλληλοι για τη παρακολούθηση δυναμικών φαινομένων με μακροχρόνιες εξελίξεις (καταγραφή της μορφολογίας του εδάφους της γης) όπου απαιτούνται επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν.

4.3.2 Ύψος πτήσης

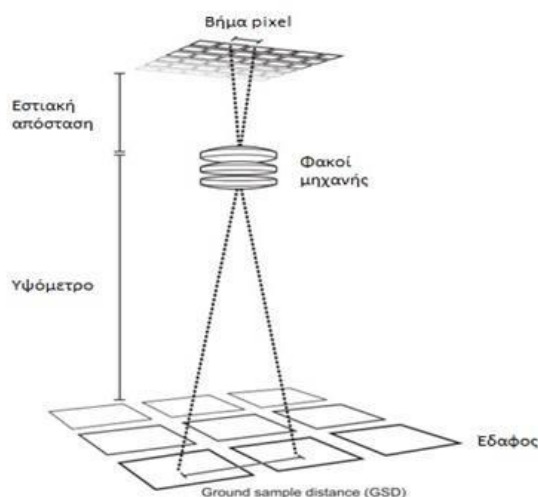
Το ύψος πτήσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα κατά το σχεδιασμό μιας αποστολής, καθώς επηρεάζει την ανάλυση και την ποιότητα των φωτογραφιών και κατά συνέπεια και των τελικών αποτελεσμάτων. Η επιλογή του κατάλληλου υψομέτρου εξαρτάται από το διαθέσιμο εναέριο όχημα, την φωτογραφική μηχανή, το είδος της εφαρμογής, την επιθυμητή ανάλυση και λαμβάνοντας πάντα υπόψη την ασφάλεια και τη νομιμότητα. Ακόμα και αν σε κάποιες περιοχές δεν υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με το ύψος πτήσης ενός UAV, η επιλογή του πρέπει να γίνεται με σύνεση και βεβαιότητα ότι δεν θα επηρεαστεί η πορεία ενός άλλου αεροσκάφους ή δε θα παραβιαστούν άλλοι κανονισμοί.

4.3.3 Ανάλυση εικόνων (GSD – Ground Sample Distance)

Ο υπολογισμός της ανάλυσης των εικόνων (GSD – Ground Sample Distance) ή αλλιώς 'μέγεθος εικονοστοιχείου' (pixel), εξαρτάται από την εστιακή απόσταση της κάμερας (focal length), το μέγεθος της συστοιχίας CCD (sensor), το επιλεγμένο ύψος πτήσης του UAV (altitude) και άλλες ρυθμίσεις της μηχανής.

$$[GSD = (\text{μέγεθος εικονοστοιχείου} \times \text{υψόμετρο}) / \text{εστιακή απόσταση}]$$

Η ανάλυση στην αεροφωτογράφιση, αποτελεί το μήκος στο έδαφος που αντιστοιχεί στην πλευρά του ενός pixel της εικόνας, ή την απόσταση μεταξύ των κέντρων των pixel, που μετρήθηκε στο έδαφος.



Εικόνα 4-8: Υπολογισμός ανάλυσης εικόνας (Δούκαρη, 2015)

Μεγαλύτερη ανάλυση δίνει λιγότερες λεπτομέρειες και χαμηλότερης ποιότητας φωτογραφίες, σε αντίθεση με την μικρή ανάλυση. Από τον υπολογισμό της ανάλυσης, το λογισμικό εξάγει στη συνέχεια τις διαδρομές πτήσης και την απόσταση μεταξύ τους, έτσι ώστε να καλύπτεται όλη η περιοχή μελέτης. Σε περιπτώσεις όπου η ανάλυση των εικόνων έχει προ αποφασισθεί, πραγματοποιείται εισαγωγή της επιθυμητής ανάλυσης στο λογισμικό και υπολογίζονται στη συνέχεια, το ύψος πτήσης και τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία.

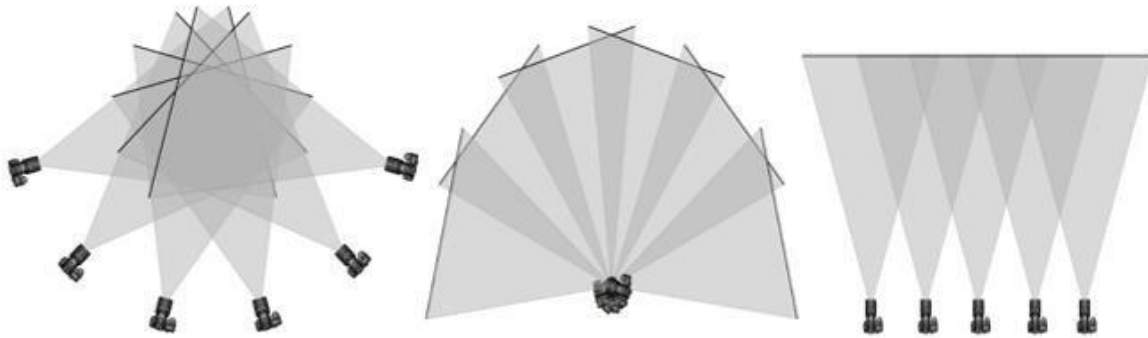
4.3.4 Επικάλυψη φωτογραφιών

Η επαρκής εμπρόσθια και πλευρική επικάλυψη μεταξύ των αεροφωτογραφιών, αποτελεί εξίσου σημαντικό παράγοντα για το σωστό σχεδιασμό μιας πτήσης. Η επιλογή της κατάλληλης επικάλυψης για τη συλλογή όλων των απαραίτητων πληροφοριών συμβάλει στη σωστή επεξεργασία τους στη συνέχεια, με τον εντοπισμό των απαραίτητων κοινών χαρακτηριστικών σημείων, μεταξύ τους. Η επιλογή της επικάλυψης αφορά την κάθε εφαρμογή χωριστά και δεν υπάρχει συγκεκριμένο πρότυπο (προτείνεται 60 - 80%). Για παράδειγμα σε περιοχές με έντονη βλάστηση ή ομοιόμορφο μοτίβο (πχ νερό, άμμο), όπου ο εντοπισμός χαρακτηριστικών σημείων στις φωτογραφίες είναι δύσκολος, προτείνεται μεγαλύτερη επικάλυψη, η οποία απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο πτήσης, για την κάλυψη όλης της περιοχής.

4.3.5 Γεωμετρία κάμερας - Προβολές φωτογραφιών

Η γεωμετρία της κάμερας, δηλαδή ο τρόπος λήψης των φωτογραφιών καθώς και ο τρόπος επικάλυψης μεταξύ τους, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για μια επιτυχή αποτύπωση. Κάποια γνωστά είδη γεωμετρίας, φαίνονται στην παρακάτω εικόνα και πραγματοποιούνται με συγκλίνουσες, με αποκλίνουσες και με παράλληλες φωτογραφίες, με τη θέση της μηχανής κάθετα προς το αντικείμενο (ναδίρ) ή σε γωνία με αυτό. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου γεωμετρίας, εξαρτάται από την εφαρμογή και συνήθως παραμένει σταθερή. Επίσης επηρεάζει σημαντικά την επικάλυψη και την παράλλαξη, μεταξύ των φωτογραφιών. Λιγότερο κατάλληλη γεωμετρία, θεωρείται η αποκλίνουσα, καθώς εισάγει τα περισσότερα σφάλματα και δυσκολεύει την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Για μεγαλύτερες περιοχές, η παράλληλη λήψη είναι ίσως η πιο

αποτελεσματική, ενώ για μικρότερες περιοχές ή μεμονωμένα αντικείμενα, η συγκλίνουσα λήψη παράγει τα καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 4-9: Τρόποι λήψης εικόνων Δούκαρη, 2015)

Οι δύο πιο συχνοί τρόποι λήψης των φωτογραφιών (προβολές) στην χαρτογράφηση με UAV, είναι γνωστές ως κατακόρυφη (ναδίρ) και πλάγια. Οι κατακόρυφες λαμβάνονται ακριβώς πάνω από το αντικείμενο αποτύπωσης, δηλαδή η κάμερα είναι τοποθετημένη σε ευθεία προς τα κάτω, χωρίς στροφές. Στις επίπεδες επιφάνειες, προτείνεται η χρήση των κατακόρυφων φωτογραφιών, καθώς παρέχουν καλύτερη κάλυψη και καλύτερη κάθετη ανάλυση στο τελικό μοντέλο. Οι πλάγιες φωτογραφίες, λαμβάνονται υπό γωνία με το αντικείμενο αποτύπωσης. Μπορούν να ληφθούν υπό μεγάλη ή μικρή γωνία, λαμβάνοντας πληροφορίες για το αντικείμενο ή την περιοχή μελέτης, που δεν μπορούν να αποτυπωθούν με τις κατακόρυφες φωτογραφίες (σκιάσεις δέντρων, τοιχία, κτίρια κ.α). Στις κάθετες επιφάνειες/ αντικείμενα, οι πλάγιες φωτογραφίες δημιουργούν ένα πληρέστερο τρισδιάστατο μοντέλο. Κατά τη διάρκεια της κάθε πτήσης, η γωνία της κάμερας δεν πρέπει να αλλάζει, καθώς αυτό δημιουργεί δυσκολίες κατά την επεξεργασία των εικόνων που προκύπτουν, καθώς και εισάγει περισσότερα σφάλματα προς επίλυση.



Εικόνα 4-10: Φωτογραφία κατακόρυφης λήψης (αριστερά) και πλάγιας λήψης (δεξιά) (Δούκαρη, 2015)

Οι φωτογραφίες που λαμβάνονται και με τους δύο τρόπους, μπορούν να επεξεργαστούν μαζί σε κατάλληλο λογισμικό, δημιουργώντας ένα ενιαίο τρισδιάστατο μοντέλο, χωρίς κενά, το οποίο θα περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες λεπτομέρειες από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Ένας άλλος

παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή του τρόπου λήψης των φωτογραφιών, είναι τα προϊόντα που θα παραχθούν. Αν σκοπός της εφαρμογής είναι η δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM), προτείνεται η λήψη κατακόρυφων φωτογραφιών. Σε περιπτώσεις εξαγωγής νεφών σημείων (point clouds) ή 3D τριγωνικών επιφανειών (mesh), καλύτερο αποτέλεσμα δίνουν οι πλάγιες φωτογραφίες.

4.4 Διαδικασία Γεωαναφοράς

Γεωαναφορά είναι η διαδικασία ανάθεσης χωρικών συντεταγμένων σε δεδομένα που είναι χωρικά αλλά δεν ανήκουν σε κάποιο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για τη συσχέτιση των δεδομένων, με τον πραγματικό κόσμο, δίνοντας τη δυνατότητα πραγματοποίησης μετρήσεων σε αυτά. Δηλαδή τα προϊόντα που εξάγονται από την επεξεργασία των εναέριων φωτογραφιών, ανήκουν σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων και διαθέτουν αυθαίρετη κλίμακα. Σε εφαρμογές όπου το εξαγόμενο προϊόν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις ή παραγωγή χαρτών, απαραίτητη είναι η γεωαναφορά του.

Για την πραγματοποίηση της διαδικασίας αυτής, είναι απαραίτητη η χρήση σημείων γνωστών συντεταγμένων στο έδαφος, τα οποία μετρούνται προηγουμένως με χρήση GPS, γεωδαιτικού σταθμού κ.α. Αυτά αποτελούν σημεία ελέγχου στο έδαφος (GCPs- Ground Control Points), αφού με τη χρήση των θέσεων τους, δίνονται συντεταγμένες και στα υπόλοιπα σημεία του χώρου.

Σε αρκετά λογισμικά επεξεργασίας των εναέριων φωτογραφιών, δεν είναι απαραίτητη η χρήση σημείων ελέγχου στο έδαφος, καθώς υπάρχει η δυνατότητα συσχέτισης των θέσεων του UAV σε κάθε λήψη, με το χρόνο λήψης κάθε φωτογραφίας. Η μέθοδος αυτή είναι αποδεκτή σε κάποιες εφαρμογές και δίνει ακρίβεια μερικών μέτρων.

4.4.1 Άμεση Γεωαναφορά (Direct Georeference)

Οι ενσωματωμένοι δέκτες GPS, που διαθέτουν τα περισσότερα UAV πλέον, εκτός από την χρήση τους για πλοήγηση και έλεγχο του οχήματος, χρησιμοποιούνται συχνά και για την καταγραφή των θέσεων του εναέριου οχήματος, σε κάθε λήψη. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η άμεση γεωαναφορά των πληροφοριών που συλλέγονται κατά την πτήση. Σε άλλες περιπτώσεις φωτογραφικές μηχανές διαθέτουν την δυνατότητα καταγραφής της θέσης λήψης κάθε φωτογραφίας, οι οποίες στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την γεωαναφορά κάθε φωτογραφίας, με χρήση κάποιου ειδικού λογισμικού. Οι δύο αυτές μέθοδοι ανήκουν στην διαδικασία της άμεσης γεωαναφοράς και τα αποτελέσματά τους έχουν μικρότερη ακρίβεια (μερικών μέτρων), από αυτά της έμμεσης γεωαναφοράς.

4.4.2 Έμμεση Γεωαναφορά (Indirect Georeference)

Η έμμεση γεωαναφορά απαιτεί χρήση σημείων ελέγχου στο έδαφος, γνωστών συντεταγμένων, με μεθόδους ακριβείας μερικών εκατοστών. Η ακρίβεια της έμμεσης γεωαναφοράς, επηρεάζεται άμεσα από τη διανομή των σημείων ελέγχου στην περιοχή μελέτης, καθώς και από την ακρίβεια μέτρησης των συντεταγμένων τους. Η τοποθέτηση τους στην περιοχή μελέτης καθώς και η μέτρηση τους, γίνεται πριν την πραγματοποίηση της πτήσης. Τα σημεία ελέγχου τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το εύρος της περιοχής μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη και τις υψομετρικές διαφορές του εδάφους. Η σήμανση τους πρέπει να είναι ευδιάκριτη στις εναέριες φωτογραφίες, για τον εύκολο εντοπισμό τους και εξαρτάται από το ύψος πτήσης που έχει ήδη επιλεγεί, καθώς και από την ανάλυση και την εστιακή απόσταση της

φωτογραφικής μηχανής. Η μέτρηση τους γίνεται συνήθως με τη χρήση της μεθόδου δορυφορικής πλοήγησης, RTK (Real Time Kinematic), η οποία ενισχύει την ακρίβεια δεδομένων θέσης, που προέρχονται από τα συστήματα εντοπισμού θέσης, μέσω δορυφόρου. Οι μετρήσεις στηρίζονται σε ένα σταθμό αναφοράς, τοποθετημένο σε σημείο γνωστών συντεταγμένων, ο οποίος παρέχει διορθώσεις σε πραγματικό χρόνο, με ακρίβεια μερικών εκατοστών. Όσα περισσότερα σημεία ελέγχου χρησιμοποιηθούν σε μια εφαρμογή, τόσο πιο ακριβή αποτελέσματα αναμένονται.

4.4.3 Σημεία ελέγχου (Ground Control Points, GCPs)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για την δημιουργία χαρτών ακριβείας, από γεωχωρικά δεδομένα, με τη χρήση οικονομικών εναέριων οχημάτων, απαιτείται η χρήση σημείων ελέγχου στο έδαφος. Κάθε σημείο ελέγχου αποτελεί ένα στόχο, τοποθετημένο στην περιοχή μελέτης, με γνωστές συντεταγμένες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των θέσεων των υπόλοιπων σημείων. Ο αριθμός των σημείων ελέγχου, εξαρτάται κάθε φορά από το μέγεθος της περιοχής μελέτης, ενώ ο ελάχιστος αριθμός που απαιτείται από τα λογισμικά επεξεργασίας, είναι πέντε. Όσο περισσότερα σημεία ελέγχου τοποθετηθούν, τόσο πιο ακριβή αποτελέσματα προκύπτουν. Η διάσπαρτη διανομή τους στην περιοχή μελέτης και η τοποθέτηση κοντά σε σημεία απότομων υψομετρικών διαφορών, δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Για τη σήμανση τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικοί μαύροι στόχοι σε λευκό υπόβαθρο ή σταθερά σημεία όπως καρφιά ή σπρέι, για πιο μόνιμη επισήμανση. Το μέγεθος των στόχων εξαρτάται από την κλίμακα της φωτογραφίας (ύψος πτήσης), ώστε να είναι εύκολα εύκολα διακριτά στις εναέριες φωτογραφίες, κατά την επεξεργασία τους.

Σε περιοχές όπου δεν υπάρχει πρόσβαση σε σύστημα GNSS (Global Navigation Satellite System), για μέτρηση των σημείων ή δεν είναι εύκολη η τοποθέτηση επίγειων σημείων, μπορεί να γίνει χρήση χαρακτηριστικών σημείων της περιοχής, των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές από κάποιο χάρτη, ή από υπηρεσίες διαδικτυακών χαρτών, ακόμη κι από σημεία τα οποία έχουν ήδη μετρηθεί στην περιοχή, για κάποια άλλη εφαρμογή παλαιότερα.

5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την περιοχή μελέτης των ρεμάτων της Ηγουμενίτσας περιελάμβανε αναλυτικά:

- ✓ Αερομοντέλο της εταιρίας senseFly του ομίλου Parrot, μοντέλο eBee, με τα παρελκόμενά του (για τεχνικά χαρακτηριστικά βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Το ενδιαφέρον για το συγκεκριμένο αερομοντέλο, τύπου σταθερών πτερύγων, είναι ότι ο χειρισμός του δεν απαιτεί τηλεχειριστήριο, ενώ οι κινήσεις και οι ελιγμοί, που εκτελεί και απαιτούνται να γίνουν, ελέγχονται από τον προηγμένης τεχνολογίας αυτόματο πιλότο, που το πλαισιώνει.
- ✓ Υπολογιστής τύπου windows tablet για έλεγχο και παραμετροποίηση των δεδομένων της πτήσης σε πραγματικό χρόνο με χρήση του λογισμικού eMotion 3.
- ✓ Φωτογραφική μηχανή Canon IXUS 127 HS, εστιακής απόστασης 4,3 mm, με ωφέλιμα 15,93 megarixel (για τεχνικά χαρακτηριστικά βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).
- ✓ Γεωδαιτικό GPS με τα παρελκόμενά του.
- ✓ Φωτοσταθερά σημεία και υλικά σήμανσης



Εικόνα 5-1: Άποψη του eBee

5.2 Προγραμματισμός

Αρχικά, εξετάστηκε η περιοχή μελέτης στο γραφείο, χρησιμοποιώντας υφιστάμενο υλικό (ορθοφωτοχάρτες ΕΚΧΑ ΑΕ, δορυφορικές εικόνες Google Earth), με σκοπό την εξοικείωση με την περιοχή. Για το λόγο αυτό, ελέγχθηκε το ανάγλυφο, η έκταση και η προσβασιμότητα της περιοχής. Στη συνέχεια, ακολούθησαν επισκέψεις στην εν λόγω περιοχή για διαπίστωση, σύγκριση και επαλήθευση της υφιστάμενης κατάστασης. Λόγω της φύσης της μεθόδου, κρίθηκε πλέον απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα σχέδιο πτήσης.

Το σχέδιο πτήσης (flight plan), αφορά τη διαδρομή και εν γένει τις αυτοματοποιημένες κινήσεις, που απαιτείται να εκτελέσει το UAV από την ώρα απογείωσής του, έως και τη στιγμή της προσγείωσής του. Αφού σχεδιαστεί το σχέδιο πτήσης στον υπολογιστή, καταγράφεται στην πλακέτα του αυτόματου πιλότου του UAV και μόλις αυτό ενεργοποιηθεί στο πεδίο, ξεκινάει η εκτέλεση του σχεδίου πτήσης. Ο ορθός προγραμματισμός του σχεδίου πτήσης αποτελεί έναν από

τους σημαντικότερους παράγοντες της μεθόδου αυτής και ένα μεγάλο μέρος της επιτυχίας της πτήσης οφείλεται, αναμφισβήτητα, σε αυτόν.

Με τη χρήση του λογισμικού eMotion 3, η οργάνωση του σχεδίου πτήσης ήταν σχετικά μία εύκολη διαδικασία, καθώς το λογισμικό ήταν κατασκευασμένο εξ' αρχής γύρω από το συγκεκριμένο αερομοντέλο. Έτσι λοιπόν, χρησιμοποιώντας τα παρελκόμενά του, οι απαραίτητες ρυθμίσεις, που πρέπει να ληφθούν υπόψη, ήταν ελάχιστες.

Στην προκειμένη περίπτωση, επιλέχθηκε η φωτογραφική μηχανή Canon IXUS 127 HS, ειδικά τροποποιημένη για χρήση της από τον αυτόματο πιλότο του eBee, η οποία υπάρχει στις προεπιλογές του προγράμματος. Στη συνέχεια, δόθηκε η επιθυμητή επικάλυψη των φωτογραφιών (70% κατά τη φορά πτήσης και 65% πλαγίως), ενώ το ύψος πτήσης ορίστηκε στα εκατόν τριάντα (120) μέτρα.

Για κάθε ένα από τα τέσσερα κύρια ρέματα της περιοχής πραγματοποιήθηκε μια πτήση ώστε οι αεροφωτογραφίες που θα παραχθούν και τα στοιχεία να έχουν όσο γίνεται μικρότερο μέγεθος και να είναι εύκολα επεξεργάσιμα. Ο ορισμός της περιοχής αποτύπωσης για κάθε ρέμα έγινε με σχεδιασμό ενός τετραγώνου, το οποίο περιέκλειε την εν λόγω περιοχή και του οποίου μετακινούνταν οι κορυφές στις επιθυμητές θέσεις με κινήσεις τύπου drag ή drop. Έπειτα, εφαρμόστηκε μία λειτουργία του προγράμματος, που αφορά την προσαρμογή του ύψους πτήσης, ανάλογα με το ύψος του αναγλύφου της περιοχής. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει υψομετρική πληροφορία από το SRTM17 και να τη χρησιμοποιεί, προκειμένου το eBee (κατά την εκτέλεση του σχεδίου πτήσης) να διατηρεί, μονίμως, το επιθυμητό ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια, επιλέχθηκε το επιθυμητό σημείο προσγείωσης και οι επιθυμητές γωνίες προσέγγισης. Τέλος, κατά τον προγραμματισμό, σημαντικό ήταν ότι, το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μέθοδο, διαφέρει σημαντικά στον τρόπο προσγείωσης και απογείωσης σε σχέση τετρακόπτερα, διότι είναι τύπου αεροπλάνου. Η διαφορά αυτή, έγκειται στο γεγονός ότι, για την προσγείωσή του απαιτήθηκε μια περιοχή απαλλαγμένη από εμπόδια και αντικείμενα μεγάλου ύψους, σε απόσταση 10 έως 20 μ, κατά τη διεύθυνση προσγείωσης και προς το σημείο αυτής.

5.3 Συλλογή

Αρχικά, και αφού ελέγχθηκε ο εξοπλισμός στο γραφείο, πραγματοποιήθηκε μετάβαση στο σημείο απογείωσης.



Εικόνα 5-2: Θέση αποθήκευσης φωτογραφικής μηχανής και μπαταρίας του eBee

Στη συνέχεια, ακολούθησαν οι εργασίες συναρμολόγησης του αερομοντέλου, στις οποίες περιλαμβάνονταν η τοποθέτηση των πτερύγων, της έλικας, της μπαταρίας και της φωτογραφικής μηχανής, η οποία τοποθετείται, γενικά, εντός του σώματος του eBee για να προστατεύεται κατά την προσγείωση (Εικόνα 5-2).

Έπειτα, τέθηκε σε εφαρμογή το tablet με το πρόγραμμα επικοινωνίας και ελέγχου του eBee (eMotion 3) και ελέγχθηκε η επικοινωνία μεταξύ τους. Οι τυχόν τροποποιήσεις, που πιθανόν να προέκυψαν στο σχέδιο πτήσης, εξαιτίας των συνθηκών του πεδίου, μπόρεσαν πάρα πολύ εύκολα να εφαρμοστούν, ενώ πλέον το όχημα ήταν έτοιμο για απογείωση, σύμφωνα με τις υποδείξεις του χειριστή (Εικόνα 5-3).



Εικόνα 5-3: Επίγειος σταθμός ελέγχου

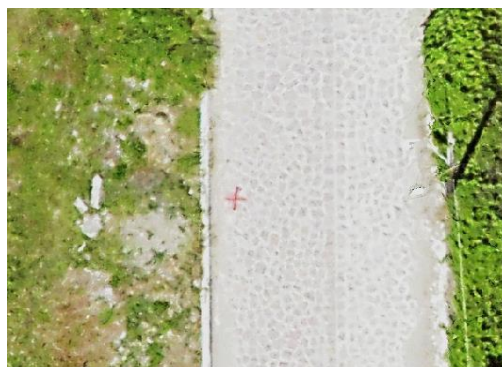
5.4 Σημεία ελέγχου (GCPs)

Πριν την απογείωση του οχήματος όμως, έπρεπε να τοποθετηθούν και να αποτυπωθούν, με ακρίβεια, τα φωτοσταθερά και τα σημεία ελέγχου, μια διαδικασία, που ακολουθήθηκε για τα φωτοσταθερά και τα σημεία ελέγχου, που ελήφθησαν υπόψη. Η διαδικασία αυτή διήρκεσε δύο ώρες ακριβώς για κάθε ρέμα, καθώς υπήρξε δυσκολία κατά τη μετάβαση από σημείο σε σημείο, εξαιτίας της έντονης βλαστήσεως. Η μετρήσεις των φωτοσταθερών σημείων πραγματοποιήθηκαν με δείκτη GNSS και πιο συγκεκριμένα με το LEICA GS08 με τη μέθοδο RTK. Η συνδρομή του δείκτη για την επίλυση των ασαφιών φάσης ήταν στο δίκτυο SMARTNET της εταιρίας METRICA A.E. Οι καιρικές συνθήκες και στην περίπτωση αυτή, ήταν αρκετά ευνοϊκές, καθώς ο καιρός κατά τις πτήσεις (06-11/05/2019) ήταν αίθριος με θερμοκρασία περίπου 22 βαθμών Κελσίου, ενώ ο άνεμος είχε ταχύτητα έως 2 Μποφόρ.

Οι συνθήκες πτήσης κρίθηκαν άκρως ιδανικές, καθώς το eBee ήταν σε θέση να πραγματοποιήσει όλους τους ελιγμούς του και το σχέδιο πτήσης του, χωρίς να παραστεί οποιοδήποτε πρόβλημα. Το eBee ήταν ρυθμισμένο με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε, λίγο πριν τη λήψη της κάθε προγραμματισμένης φωτογραφίας, ύψωνε το ρύγχος του κατά επτά μοίρες, έκλεινε τη μηχανή του και μόλις το ρύγχος επανερχόταν, έδινε την εντολή στον αυτόματο πιλότο στη φωτογραφική μηχανή να εκτελέσει τη λήψη της φωτογραφίας. Με αυτόν τον τρόπο, επιτεύχθηκε, όσο ήταν

δυνατό, η βέλτιστη σταθερότητα κατά τη λήψη των φωτογραφιών, αυξάνοντας την καθαρότητά τους. Στη συνέχεια, ο κινητήρας επανεκκινούνταν και πάλι και το όχημα συνέχιζε προς την επόμενη θέση. Προφανώς, όσο μικρότερη η ταχύτητα του ανέμου, τόσο πιο εύκολο ήταν να εκτελεστούν οι απαραίτητοι ελιγμοί του οχήματος. Τέλος, εκτός των άλλων, ένα σημαντικό πλεονέκτημα του eBee ήταν το γεγονός ότι, η φωτογραφική μηχανή ελέγχονταν άμεσα από τον αυτόματο πιλότο, με αποτέλεσμα, οι τελικές συλλεχθείσες φωτογραφίες, που τελικά προέκυψαν να είναι ακριβώς αυτές που είχαν οριστεί από το αρχικό σχέδιο πτήσης.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, απαραίτητη προϋπόθεση για την γεωαναφορά της περιοχής μελέτης, είναι η γνώση σημείων γνωστών συντεταγμένων, σε αυτή. Για αυτό το λόγο, πριν την πραγματοποίηση των πτήσεων, πραγματοποιήθηκαν επιτόπου επισκέψεις για τη χωροθέτηση των φωτοσταθερών σημείων. Σκοπός της χωροθέτησης αυτών ήταν η όσο το δυνατό καλύτερη κατανομή τους στο χώρο και η ορατότητά τους από το ιπτάμενο σκάφος. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην αξιολόγηση της θέσεις γραμμών ηλεκτρισμού στην περιοχή ώστε να αποτραπούν τυχόν φαινόμενα που μπορούν να οδηγήσουν σε πτήση του σκάφους. Επίσης έμφαση δόθηκε στην αξιολόγηση του φυσικού αναγλύφου της περιοχής και του υψομέτρου των ορεινών όγκων που περικλείουν τα ρέματα, ώστε η πτήση του σκάφους να είναι σε μεγαλύτερο ύψος από τους όγκους.

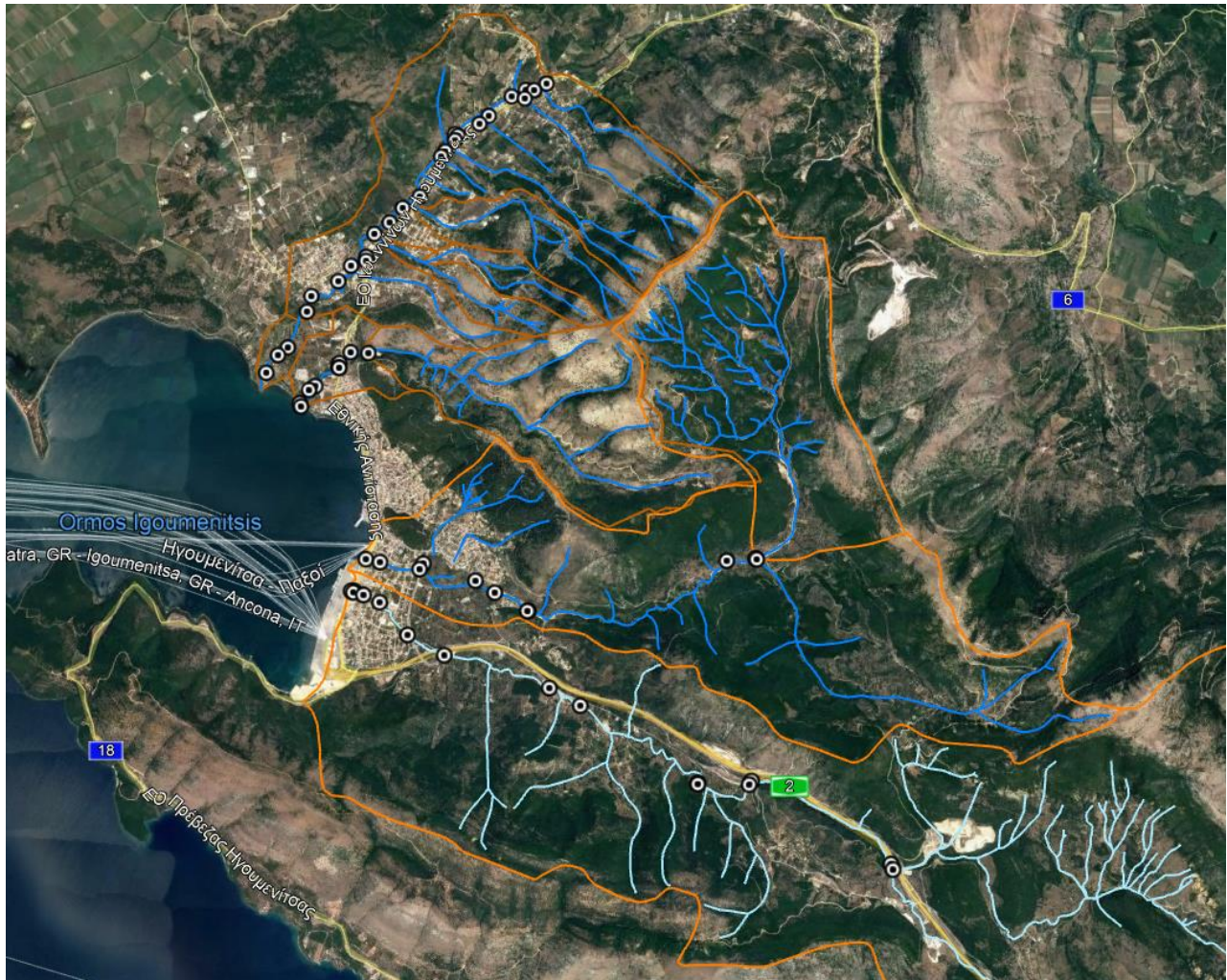


Εικόνα 5-4: Στόχοι – σημεία ελέγχου στο έδαφος

Η σήμανση πραγματοποιήθηκε σε δρόμους ή βράχους, όπου ήταν δυνατή η μόνιμη επισήμανση, χρησιμοποιήθηκαν καρφιά με σπρέι, ενώ σε σημεία που δεν ήταν δυνατή η τοποθέτηση καρφιών, δημιουργήθηκαν στόχοι σε σχήμα σταυρού με κόκκινο σπρέι, σε κατάλληλο μέγεθος ώστε να είναι ευδιάκριτοι στις αεροφωτογραφίες.

Η τοποθέτηση των σημείων έγινε, κατά μήκος του άξονα των ρεμάτων, με τρόπο ώστε να

καλύπτεται όλη η περιοχή μελέτης, καθώς και να υπάρχουν 3 τουλάχιστον κοινά σημεία, μεταξύ των διαδοχικών πτήσεων. Στο Παράρτημα δίνονται οι θέσεις των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου για κάθε ρέμα, καθώς επίσης και ενδεικτικές φωτογραφίες των φωτοσταθερών. Το προβολικό σύστημα στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, ήταν το ΕΓΣΑ87.



Εικόνα 5-5: Διάταξη σημείων (φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου), σε όλο το εύρος της περιοχής μελέτης

5.5 Επεξεργασία

Μετά τη λήξη των εργασιών πεδίου, ακολούθησαν οι εργασίες γραφείου, κατά την έναρξη των οποίων, μεταφορτώθηκαν, πρωτίστως, οι φωτογραφίες από την κάμερα στον υπολογιστή και εν συνεχεία, οι μετρήσεις των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου, καθώς και το αρχείο καταγραφής της πτήσης. Κατόπιν, εξετάστηκε η ποιότητα των μετρήσεων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου, με αποτέλεσμα να διαπιστωθεί ότι ήταν απολύτως αποδεκτές. Στη συνέχεια, το επόμενο στάδιο ήταν η επεξεργασία των φωτογραφιών, που πραγματοποιήθηκε με σχετικά εύκολες και γρήγορες διεργασίες. Το αρχείο καταγραφής πτήσης και ο φάκελος, που περιείχε τις φωτογραφίες, εισήχθηκαν στο λογισμικό eMotion 3 και με μερικά απλές κινήσεις πραγματοποιήθηκε, τελικά, η γεωσήμανση (geotagging) των εικόνων.

Από αυτό το σημείο και έπειτα εκπονήθηκε το κύριο μέρος της επεξεργασίας. Στο στάδιο αυτό, οι φωτογραφίες δε χρειάστηκε να ελεγχθούν για την πιθανότητα ύπαρξης τυχόν περιττών

φωτογραφιών, διότι από τη στιγμή που η φωτογραφική μηχανή ελέγχθηκε πλήρως από τον αυτόματο πιλότο του οχήματος, η πρώτη και η τελευταία φωτογραφία ελήφθησαν στις θέσεις όπου είχαν προκαθοριστεί κατά το σχέδιο πτήσης. Παρόλα αυτά, έγινε έλεγχος για τυχόν ακατάλληλες φωτογραφίες, οι οποίες δεν πληρούν τα κριτήρια οπτικής αρτιότητας. Γενικά, με τον τρόπο που ελήφθησαν οι φωτογραφίες από το όχημα, η φύρα ήταν ελάχιστη και περιορίστηκε σε θέματα φωτεινότητας ή έντονης ανακλαστικότητας. Κατά τη διαδικασία γεωσήμανσης των εικόνων με τη χρήση του προγράμματος eMotion 3 διαπιστώθηκε ότι το πρόγραμμα ήταν σε θέση να δημιουργήσει ένα αρχείο, το οποίο περιείχε τα απαραίτητα δεδομένα για την εκκίνηση της διαδικασίας επεξεργασίας των φωτογραφιών στο πρόγραμμα Pix4Dmapper ή σε κάποιο αντίστοιχο πρόγραμμα, το οποίο θα μπορούσε να διαχειριστεί το συγκεκριμένο είδος αρχείων.

Στη συνέχεια, ακολούθησε η διαδικασία επεξεργασίας των φωτογραφιών στο πρόγραμμα Pix4Dmapper, όπου ανοίχθηκε το παραγόμενο, από το λογισμικό eMotion 3, αρχείο. Ανοίγοντας το εν λόγω αρχείο, διαπιστώθηκε ότι οι φωτογραφίες είχαν ήδη φορτωθεί στο πρόγραμμα και ήταν γεωσημασμένες. Το επόμενο βήμα, που ακολούθησε ήταν η εισαγωγή του αρχείου με τα φωτοσταθερά και τα σημεία ελέγχου. Έπειτα, ακολούθησε η διαδικασία για τη δημιουργία του πρωτογενούς και χαμηλού πλήθους νέφους σημείων (Ray Cloud), το οποίο βοήθησε στον εντοπισμό των φωτοσταθερών, αλλά και στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων της φωτογραφικής μηχανής. Μόλις δημιουργήθηκε το Ray Cloud, ανοίγοντας το GCP Editor, επιλέχθηκε να γίνει εντοπισμός και διόρθωση της θέσης των φωτοσταθερών με τη χρήση του Ray Cloud Editor. Εκεί πλέον, με το που επιλέχθηκε το κάθε ένα φωτοσταθερό, το πρόγραμμα υπέδειξε μόνο τις φωτογραφίες, στις οποίες αυτό εντοπιζόνταν, παρουσιάζοντας παράλληλα και την εκτιμηθείσα θέση του πάνω σε αυτές. Κατόπιν, με κινήσεις τύπου Drag & Drop, διορθώθηκε η θέση αυτού, έτσι ώστε να συμπίπτει με την απεικονιζόμενη.

Μετά το πέρας της προαναφερθείσης διαδικασίας, έγινε επιστροφή στο παράθυρο του Local Processing από-επιλογή του Initial Processing και επιλογή, πλέον του Point Cloud Densification και του DSM & Orthomosaic Generation. Αφήνεται επιλεγμένο το Full Processing και η εκκίνηση ξεκινάει, πατώντας το κουμπί της εκκίνησης (Start). Με τον τρόπο αυτόν και με ελάχιστη παρέμβαση από τον χρήστη, μετά το πέρας και των τελευταίων διαδικασιών, το συγκεκριμένο πρόγραμμα έδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα αποκλειστικά και μόνο με τις βασικές του ρυθμίσεις. Αν ο χρήστης ήθελε να εισέλθει σε πιο λεπτομερή έλεγχο των ρυθμίσεων και να παραμετροποιήσει όσες αυτός επιθυμούσε, μπορούσε από το παράθυρο του Local Processing να επιλέξει το κουμπί Options και κατόπιν να προβεί στους επιθυμητούς ελέγχους και στις επιθυμητές παραμετροποιήσεις. Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε μόνο ο οπτικός έλεγχος των παραμέτρων, διότι επιθυμητό ήταν να ελεγχθεί η ποιότητα των αποτελεσμάτων, τα οποία παράγονται, ακολουθώντας τη γρηγορότερη διαδικασία προετοιμασίας και ρυθμίσεων. Το μόνο που τροποποιήθηκε από τις αυτόματες ρυθμίσεις ήταν το πλήθος των πολυγώνων, τα οποία σχημάτισαν το πλέγμα τριγώνων, που παράχθηκε από το «νέφος σημείων».

5.6 Παραγόμενα στοιχεία

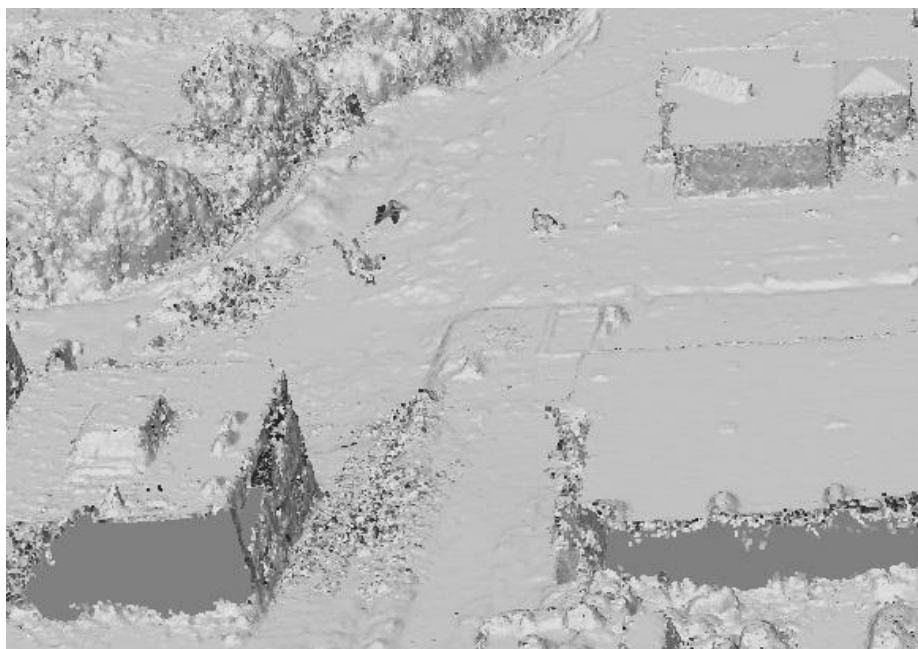
Στις παρακάτω Εικόνα 5-6 έως Εικόνα 5-10 δίνονται ενδεικτικά άποψη από τα παραγόμενα στοιχεία από την επεξεργασία των εικόνων όπως αυτές αποτυπώθηκαν από τις πτήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα δίνονται τμήμα από το παραγόμενο νέφος σημείων, το πυκνό νέφος σημείων, την ταξινόμηση του νέφους σημείων, το ψηφιακό μοντέλο αναφλύφου και τον ορθοφωτοχάρτη της περιοχής.



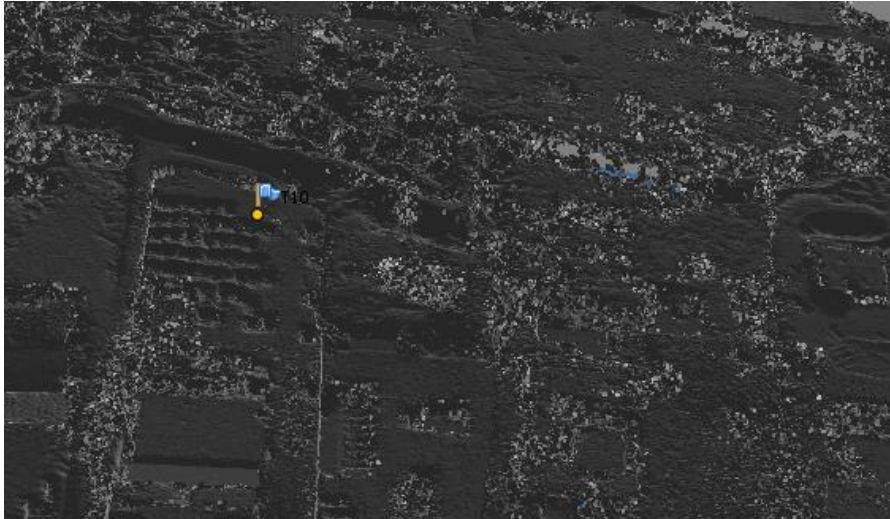
Εικόνα 5-6: Νέφος σημείων (dense point cloud) για τμήμα της περιοχής έρευνας



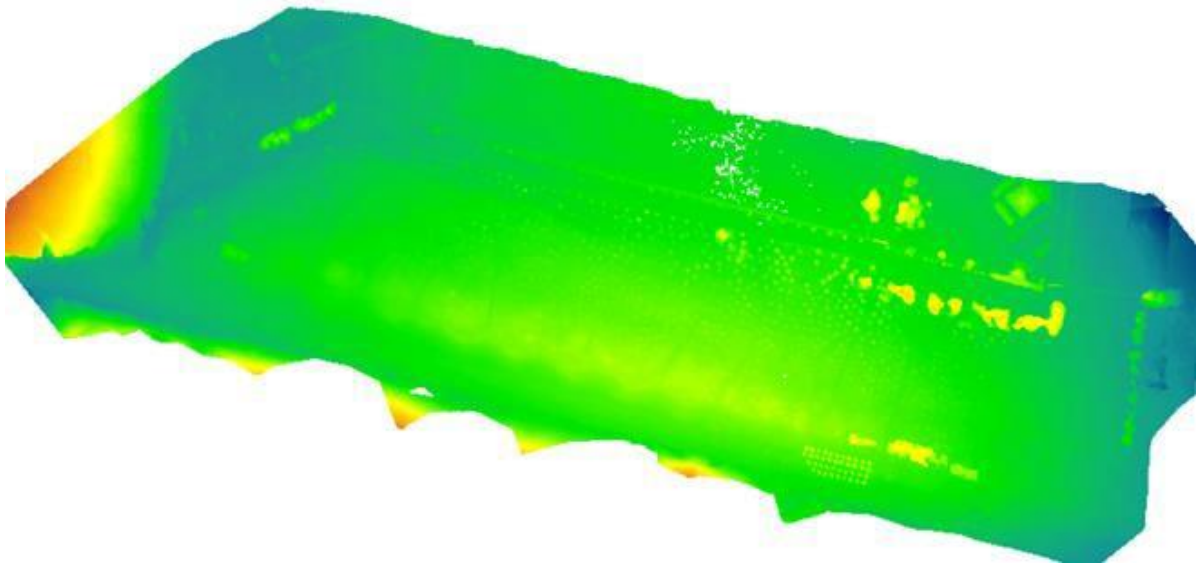
Εικόνα 5-7: Νέφος σημείων (point cloud) για τμήμα της περιοχής έρευνας



Εικόνα 5-8: Πυκνό νέφος σημείων



Εικόνα 5-9: Ταξινόμηση νέφους σημείων



Εικόνα 5-10: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους



Εικόνα 5-11: Ορθοφωτογραφία

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση την ανωτέρω ανάλυση για κάθε ρέμα προσδιορίστηκαν τα κάτωθι στοιχεία σε ψηφιακή μορφή.

- ✓ Δεδομένα DENSE_CLOUD
- ✓ Δεδομένα ELEVATION
- ✓ Δεδομένα ORTHOMOSAIC
- ✓ Δεδομένα POINT_CLOUD
- ✓ Δεδομένα THUMBNAILS

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα δημιουργήθηκαν για κάθε ρέμα το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου και το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας το οποίο δίνεται στους συνημμένους χάρτες. Συγχρόνως για τα κάτωθι σενάρια, όπως αυτά προσδιορίστηκαν στο Παραδοτέο 1.1.3 πραγματοποιήθηκε η σύνταξη χαρτών Κινδύνων Πλημμύρας:

- A. Μέσες υδρολογικές συνθήκες (διάρκεια βροχόπτωσης $d=12h$)
- Γ. Clima1 (αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 20%, διάρκεια βροχόπτωσης $d=12h$)
- Δ. Clima2 (αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 30%, διάρκεια βροχόπτωσης $d=12h$)
- Ε. Clima3 (αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 40%, διάρκεια βροχόπτωσης $d=12h$)
- Z. Clima3+20%CN (αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 40%, και αύξηση του συντελεστή CN κατά 20%, διάρκεια βροχόπτωσης $d=12h$)

Για την απόδοση της έντασης της πλημμύρας και του βαθμού επιρροής της στο μέγεθος της ζημιάς χρησιμοποιείται κριτήριο συναρτήσεως του βάθους και της ταχύτητας του νερού, το οποίο εφαρμόζεται ενιαία για όλες τις χρήσεις/ δραστηριότητες, με σκοπό (ΕΓΥ, 2018):

- ✓ να απεικονίζει κατά το δυνατόν την ελληνικά πραγματικότητα χωρίς να υπερτιμά το hazard
- ✓ να χρησιμοποιεί συνδυαστικά τις παραμέτρους d , v που αποτελούν συνήθη πρακτική στη βιβλιογραφία (όπως στα συστήματα του USBR, Flo-2D, Γαλλικό, Priest)
- ✓ να αποφευχθεί ο υπολογισμός διαφορετικών κριτηρίων για κάθε κατηγορία επίπτωσης (ασφάλεια, οικονομικές, περιβαλλοντικές, πολιτιστικές) που περιπλέκει τις επεξεργασίες
- ✓ να ενσωματωθούν τα κριτήρια για τις καλλιέργειες στα κρίσιμα βάθη $d2m$.

Με το προτεινόμενο κριτήριο η επικινδυνότητα πλημμύρας (Flood Hazard) κατατάσσεται σε πέντε κλάσεις όπως δίνεται στον πίνακα και στο σχήμα που ακολουθούν:

- ✓ VL: very low (πολύ χαμηλός)
- ✓ L: low (χαμηλός)
- ✓ M: medium (μέτριος)
- ✓ H: high (υψηλός)
- ✓ VH: very high (πολύ υψηλός)

Πίνακας 6-1: Κατηγοριοποίηση του κινδύνου Πλημμύρας για την περιοχή έρευνας

ΒΑΘΟΣ d (m)	Ταχύτητα ροής v (m/sec)			
	v < 0,5	0,5 < v < 2,0	2,0 < v < 4,0	v > 4,0
d < 0,2	VL	VL	VL	L
0,2 < d < 0,5	L	L	M	M
0,5 < d < 1,0	L	M	H	H
1,0 < d < 1,5	M	M	H	VH
1,5 < d < 2	H	H	VH	VH
d > 2	VH	VH	VH	VH

Αναφορικά με την αξιολόγηση των θέσεων εγκατάστασης των σταθμών μέτρησης διαπιστώνεται πως οι θέσεις εντοπίζονται στα κατάντη των ρεμάτων κοντά στις εξόδους τους. Οι θέσεις παρουσιάζουν επαρκή τεχνικά χαρακτηριστικά και κρίνονται επαρκείς σε σχέση με την αξιοπιστία και την ασφάλειά τους.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bank of Greece, 2011. The environmental, economic and social impacts of climate change in Greece. Climate Change Impacts Study Committee
- Colomina, I. and Molina, P. (2014) Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.
- Eisenbeiss, H. & Grün, A., 2009. UAV Photogrammetry. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Doctor of(18515), p.201. Available at: http://www.igpdata.ethz.ch/berichte/blau_berichte_pdf/105.pdf [Accessed July 24, 2015].
- Eisenbeiss, H., 2011. The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping. *Photogrammetrische Woche*, Heidelberg, pp.135–145. Available at: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/140Eisenbeiss.pdf>.
- Heipke, C. et al., 2002. Test goals and test set up for the OEEPE test “Integrated Sensor Orientation.” Test Report and Workshop Proceedings, Official Publication, 43, pp.11–18. Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Test+goals+and+test+set+up+for+the+OEEPE+test+“Integrated+sensor+orientation”#0>.
- Jacobsen, K., & Schmitz, M., 1996. A New Approach of Combined Block Adjustment Using GPS-Satellite Constellation.
- Johnson M, 2015, Components for Creating an Unmanned Aerial Vehicle, Michigan State University.
- Johnson M, 2015, Components for Creating an Unmanned Aerial Vehicle, Michigan State University.
- Ritzinger, M., 2014. Practical Aspects & Upcoming Developments of European Regulations for UAS below 150 kg in Context with Austrian Rulemaking. (September).
- Sabins, F. F., 1987: Remote Sensing. Principles and interpretation. W. H. Freeman and Company.
- Watts, A., Ambrosia, V. and Hinkley, E. (2012). Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*, 4(6), pp.1671-1692.
- Watts, A., Ambrosia, V. and Hinkley, E. (2012). Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*, 4(6), pp.1671-1692.
- ΒΑΒΙΑΣ, Σ. (2011) Φωτογραμμετρικές και Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι σε θέματα παράκτιων περιοχών, Μεταπτυχιακή Εργασία Π.Μ.Σ. «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Γιαννακόπουλος Χ., 2015. Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις στη γεωργία στον ελλαδικό χώρο.
- Δούκαρη, 2015, Διερεύνηση μεθόδων απεικόνισης τρισδιάστατης γεωχωρικής πληροφορίας, μικρής κλίμακας, με αξιοποίηση μεθόδων UAV και τεχνολογιών υπολογιστικής όρασης, Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, σελ 126.
- ΕΓΥ, 2018. Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (EL05) και της αντίστοιχης Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, (ΦΕΚ 2684/Β/2018)
- Ινστιτούτο Γεωλογιών & Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), 2016. Εκτίμηση πλημμυρικού κίνδυνου με τη χρήση Γ.Σ.Π. στην ευρύτερη υδρολογική λεκάνη της Ηγουμενίτσας. Ομάδα εργασίας: Μπαρσάκη Β., Γαλανάκης Δ., και Γεωργίου Χαρ.
- Λαζαρίδου, Μ. και Πατμιός, Ε. (2010) Φωτογραμμετρία - Γεωπληροφοριακά Συστήματα, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Τεύχος 1ο , Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Μωυσιάδης, Α. 2015. Στοιχεία Φωτογραμμετρίας - Φωτοερμηνείας. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Περάκης, Κ., Μωυσιάδης, Α., Φαρασλής, Ι. 2015. Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 2. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/1842>.

Πατιάς Π. (1994). Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη

Πατιάς, Π., 1991. *Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη

Πέτσα, Έ., 2000. Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας.

Τσαρούχας, Δ., 2017, Μεθοδολογία τρισδιάστατης απεικόνισης κτηρίων με χρήση αυτόνομων συσκευών (DRONES), Μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 69.

ΥΠΕΚΑ 2017α. Διαδικτυακός τόπος Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων. Διαθέσιμος στο: <http://floods.ypeka.gr/index.php>. Προσπελάστηκε: 1/2/2017.

ΥΠΕΚΑ 2017β, ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ Αριθ. οικ.: 11258 Εξειδίκευση περιεχομένου Περιφερειακών Σχεδίων για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ), σύμφωνα με το άρθρο 43 τουν. 4414/2016 (Α' 149). ΦΕΚ 873 Β 16/3/2017.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - Φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου

Α. Ρέμα Τιμπουρίκι

Πίνακας 1 Φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου για το ρέμα Τιμπουρίκι

Σημείο	X	Y	Z	Χαρακτηρισμός
TS.1	177795	4379938	3.184	Φωτοσταθερό
TS.2	177807.9	4379902	2.524	Φωτοσταθερό
TS.3	177892.3	4380075	7.323	Φωτοσταθερό
TS.4	177958.7	4380115	10.397	Φωτοσταθερό
TS.5	178210.1	4380303	24.624	Φωτοσταθερό
TS.6	178212.1	4380352	26.772	Φωτοσταθερό
TS.7	178205	4380307	24.774	Φωτοσταθερό
TS.8	178332.9	4380466	37.268	Φωτοσταθερό
TS.9	178518.7	4380452	41.696	Φωτοσταθερό



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Τιμπουρίκι



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Τσιμπουρίκι



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Τσιμπουρίκι



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Τσιμπουρίκι



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Τσιμπουρίκι

Β. Ρέμα Νέα Σελεύκεια - Μαυρούδι

Πίνακας 2 Φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου για το ρέμα Νέας Σελεύκειας

Σημείο	X	Y	Z	Χαρακτηρισμός
T1	177443.203	4380267.881	2.346	Φωτοσταθερό
T2	177567.183	4380452.568	4.996	Φωτοσταθερό
T3	177671.616	4380531.992	5.882	Φωτοσταθερό
T4	177874.196	4380909.067	13.043	Φωτοσταθερό
T5	177921.199	4381073.975	15.236	Φωτοσταθερό
T6	178206.466	4381227.304	19.530	Φωτοσταθερό
T7	178342.301	4381390.580	23.182	Φωτοσταθερό
T8	178501.592	4381439.008	28.738	Φωτοσταθερό
T9	178504.801	4381482.106	29.402	Φωτοσταθερό
T10	178591.039	4381727.437	30.163	Σημείο ελέγχου
T11	178753.868	4381846.322	31.974	Σημείο ελέγχου
T12	178894.520	4382000.266	37.863	Σημείο ελέγχου
T13	179077.755	4382118.610	39.503	Σημείο ελέγχου
T14	179308.433	4382547.886	49.102	Σημείο ελέγχου
T15	179352.946	4382602.715	52.928	Σημείο ελέγχου
T16	179458.081	4382721.918	52.717	Σημείο ελέγχου
T17	179459.093	4382789.477	54.431	Σημείο ελέγχου
T18	179489.515	4382768.693	53.400	Σημείο ελέγχου
T19	179721.735	4382895.661	57.482	Σημείο ελέγχου
T20	179822.001	4382980.362	59.930	Σημείο ελέγχου
T21	180069.448	4383186.499	67.981	Σημείο ελέγχου
T22	180220.066	4383256.011	73.646	Σημείο ελέγχου
T23	180208.804	4383161.045	75.711	Σημείο ελέγχου
T24	180310.313	4383250.407	75.484	Σημείο ελέγχου
T25	180444.692	4383319.030	80.658	Σημείο ελέγχου



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Νέας Σελεύκειας – Μαυρουδίου



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Νέας Σελεύκειας - Μαυρουδίου



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Νέας Σελεύκειας – Μαυρουδίου



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Νέας Σελεύκειας - Μαυρουδίου



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Νέας Σελεύκειας - Μαυρουδίου

Γ. Ρέμα Λάκκας

Πίνακας 3 Φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου για το ρέμα Λάκκας και Ξηροπόταμου

Σημείο	X	Y	Z	Χαρακτηρισμός
Fot1	178485.245	4378282.66	2.552	Φωτοσταθερό
Fot2	178476.317	4378286.648	2.650	Φωτοσταθερό
Fot3	178622.989	4378252.534	6.406	Φωτοσταθερό
Fot4	178449.051	4377916.029	5.076	Φωτοσταθερό
Fot5	179074.253	4378227.303	21.951	Φωτοσταθερό
Fot6	179034.662	4378169.565	20.665	Φωτοσταθερό
Fot7	179613.202	4378036.365	37.524	Φωτοσταθερό
Fot8	179812.167	4377908.109	36.635	Φωτοσταθερό
Fot9	180146.293	4377711.162	53.993	Φωτοσταθερό
Fot10	180158.099	4377710.041	54.307	Σημείο ελέγχου
Fot11	182542.486	4378190.485	172.285	Σημείο ελέγχου
Fot12	182530.008	4378202.858	173.225	Σημείο ελέγχου
Fot13	182230.353	4378183.542	164.402	Σημείο ελέγχου
Fot14	178902.127	4377492.920	14.312	Σημείο ελέγχου
Fot15	179280.177	4377274.546	20.155	Σημείο ελέγχου
Fot16	180361.552	4376913.558	36.816	Σημείο ελέγχου
Fot17	180677.436	4376725.788	44.948	Σημείο ελέγχου
Fot18	181868.536	4375912.592	82.793	Σημείο ελέγχου
Fot19	181869.170	4375898.620	84.372	Σημείο ελέγχου
Fot20	182397.382	4375882.551	123.647	Σημείο ελέγχου
Fot21	182422.344	4375917.352	122.325	Σημείο ελέγχου
Fot22	183843.381	4374992.930	255.574	Σημείο ελέγχου
Fot23	183824.309	4375047.088	255.937	Σημείο ελέγχου
Fot24	178615.995	4377835.952	6.037	Σημείο ελέγχου
Fot25	178344.209	4377944.995	3.168	Σημείο ελέγχου
Fot26	178351.406	4377961.109	3.179	Σημείο ελέγχου
Fot27	178321.656	4377960.490	3.223	Σημείο ελέγχου



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Λάκκας



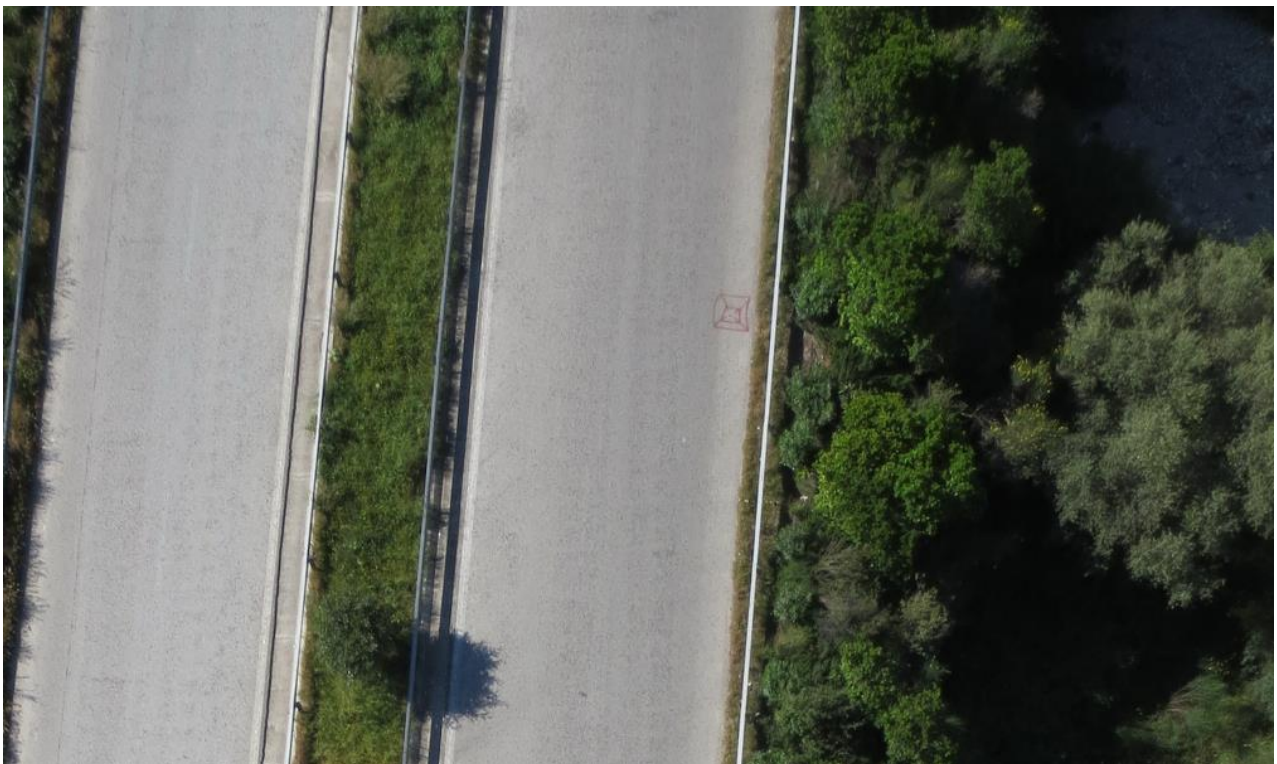
Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Λάκκας



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Λάκκας



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Λάκκας



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Λάκκας

Δ. Ρέμα Ξηροπόταμος

Πίνακας 4 Φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου για το ρέμα Λάκκας και Ξηροπόταμου

Σημείο	X	Y	Z	Χαρακτηρισμός
Fot1	178485.245	4378282.66	2.552	Φωτοσταθερό
Fot2	178476.317	4378286.648	2.650	Φωτοσταθερό
Fot3	178622.989	4378252.534	6.406	Φωτοσταθερό
Fot4	178449.051	4377916.029	5.076	Φωτοσταθερό
Fot5	179074.253	4378227.303	21.951	Φωτοσταθερό
Fot6	179034.662	4378169.565	20.665	Φωτοσταθερό
Fot7	179613.202	4378036.365	37.524	Φωτοσταθερό
Fot8	179812.167	4377908.109	36.635	Φωτοσταθερό
Fot9	180146.293	4377711.162	53.993	Φωτοσταθερό
Fot10	180158.099	4377710.041	54.307	Σημείο ελέγχου
Fot11	182542.486	4378190.485	172.285	Σημείο ελέγχου
Fot12	182530.008	4378202.858	173.225	Σημείο ελέγχου
Fot13	182230.353	4378183.542	164.402	Σημείο ελέγχου
Fot14	178902.127	4377492.920	14.312	Σημείο ελέγχου
Fot15	179280.177	4377274.546	20.155	Σημείο ελέγχου
Fot16	180361.552	4376913.558	36.816	Σημείο ελέγχου
Fot17	180677.436	4376725.788	44.948	Σημείο ελέγχου
Fot18	181868.536	4375912.592	82.793	Σημείο ελέγχου
Fot19	181869.170	4375898.620	84.372	Σημείο ελέγχου
Fot20	182397.382	4375882.551	123.647	Σημείο ελέγχου
Fot21	182422.344	4375917.352	122.325	Σημείο ελέγχου
Fot22	183843.381	4374992.930	255.574	Σημείο ελέγχου
Fot23	183824.309	4375047.088	255.937	Σημείο ελέγχου
Fot24	178615.995	4377835.952	6.037	Σημείο ελέγχου
Fot25	178344.209	4377944.995	3.168	Σημείο ελέγχου
Fot26	178351.406	4377961.109	3.179	Σημείο ελέγχου
Fot27	178321.656	4377960.490	3.223	Σημείο ελέγχου



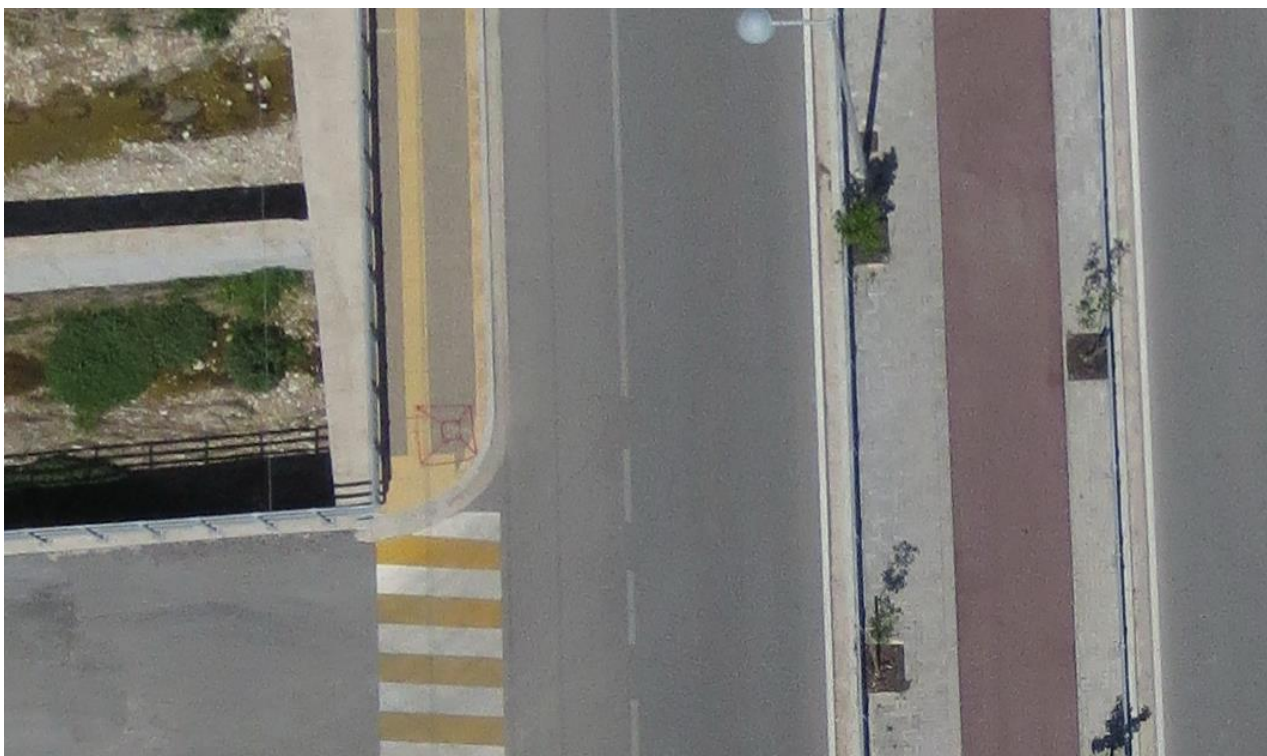
Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Ξηροπόταμος



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Ξηροπόταμος



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Ξηροπόταμος



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Ξηροπόταμος



Φωτοσταθερά πλησίον του ρέματος Ξηροπόταμος

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β -Τεχνικές προδιαγραφές εξοπλισμού

Τεχνικά χαρακτηριστικά senseFly eBee

Technical specifications

Hardware

Weight (inc. supplied camera)	Approx. 0.69 kg (1.52 lbs)
Wingspan	96 cm (38 in)
Material	EPP foam, carbon structure & composite parts
Propulsion	Electric pusher propeller, 160 W brushless DC motor
Battery	11.1 V, 2150 mAh
Camera (supplied)	WX (18.2 MP)
Cameras (optional)	S110 RGB, thermoMAP
Carry case dimensions	55 x 45 x 25 cm (21.6 x 17.7 x 9.8 in)

Operation

Maximum flight time	50 minutes
Nominal cruise speed	40-90 km/h (11-25 m/s or 25-56 mph)
Radio link range	Up to 3 km (1.86 miles)
Maximum coverage (single flight)	12 km ² / 4.6 mi ² (at 974 m / 3,195 ft altitude AGL)
Wind resistance	Up to 45 km/h (12 m/s or 28 mph)
Ground Sampling Distance (GSD)	Down to 1.5 cm (0.6 in) per pixel
Relative orthomosaic/3D model accuracy	1-3x GSD
Absolute horizontal/vertical accuracy (w/GCPs)	Down to 3 cm (1.2 in) / 5 cm (2 in)
Absolute horizontal/vertical accuracy (no GCPs)	1-5 m (3.3-16.4 ft)
Multi-drone operation	Yes (inc. mid-air collision avoidance)
Automatic 3D flight planning	Yes
Linear landing accuracy	Approx. 5 m (16.4 ft)

Package contents

- eBee foam body (inc. all electronics & built-in autopilot)
- Pair of detachable wings
- WX still camera (inc. 16 GB SD card, battery, USB cable & charger)
- 2.4 GHz USB radio modem for data link (inc. USB cable)
- Two Lithium-Polymer battery packs & charger
- Spare propeller
- Carry case with foam protection
- Remote control & accessories (for safety pilots)
- User manual
- Software included: eMotion (flight planning & control) & Postflight Terra 3D (professional photogrammetry)



Τεχνικά χαρακτηριστικά Leica GPS 08 Rover

Technical Specifications

Leica Viva NetRover	
CS10 Field Controller	
Operating System	Microsoft Windows CE 6.0
Processor	Freescale iMX31 533 MHz ARM Core with 512 MB DDR SDRAM
Display	8.9 cm (3.5") 640 x 480 pixel (VGA) colour touch screen, sunlight-readable, backlight
Keyboard	26 keys, numeric keypad, fully illuminated
Data storage	1 GB Internal flash, SD-card slot, CF-card Type I / II slot, USB connector port
Audio	Integrated sealed speaker and microphone
Camera	Integrated 2 Megapixel fixed focus camera
Integrated wireless connectivity	Bluetooth® 2.0 Class 2, Wireless LAN 802.11b/g (option), high speed broadband 3.5G GSM & UMTS (option)
Application Software	Leica SmartWorX Viva LT
Standard Software	Internet Explorer Mobile, File Explorer, Word Mobile, Windows Media Player, Camera Software, Online Help
GS08 SmartAntenna	
GNSS technology	Leica SmartTrack technology: • Advanced measurement engine • Jamming resistant measurements • High precision pulse aperture multipath correlator for pseudorange measurements
No. of channels	72 channels
Satellite signals tracking	GPS: L1, L2, L2C (C/A, P, C Code) GLONASS: L1, L2 (C/A, P narrow Code)
User Interface	On / Off key, Satellite tracking, Bluetooth® communication & battery power LED status Indicators
Communication ports	Bluetooth® 2.0 Class 2, 8-pin Lemo combined USB / power port
Field controller connection	By Bluetooth® or with GEV237 Lemo plug cable
Accuracy and reliability ¹	
RTK Static mode	Horizontal: 5 mm + 0.5 ppm (rms) Vertical: 10 mm + 0.5 ppm (rms)
RTK Moving mode	Horizontal: 10 mm + 1 ppm (rms) Vertical: 20 mm + 1 ppm (rms)
Post Processing static mode	Horizontal: 3 mm + 0.5 ppm (rms) Vertical: 6 mm + 0.5 ppm (rms)
Reliability	Better than 99,99 % using Leica SmartCheck technology
Time for Initialisation	Typically 8 sec ²
Network specifications	
RTK data formats	Leica proprietary formats (Leica, Leica 4G), CMR+, RTCM2x, RTCM3x, full support of RTCM 3.1 transformation message
Position update rate	1 Hz standard, Optional 5 Hz (0.2 sec)
Network positioning	VRS, FKP, IMAX, MAX, Nearest Station
Physical specifications	
Weight of pole setup	2.80 kg for complete rover setup, including batteries and telescopic pole
Temperature, operating	-30°C to +60°C [-22°F to +140°F], GS08 only: -40°C to +65°C [-40°F to +149°F] ³
Temperature, storage	-40°C to +80°C [-40°F to +176°F] ³
Humidity	100 % ⁴
Sealed against water, sand and dust	IP67: Temporary submersion into water (max. depth 1m) Protected against blowing rain and dust
Vibration	Withstands vibrations in compliance with ISO9022-36-08
Drops	Withstands 1 m drop onto hard surface
Topple over	Withstands topple over from a 2 m survey pole onto hard surface
Functional shock	No loss of lock to satellite signals when used on a pole setup and submitted to pole bumps up to 150 mm
Power management	
Supply Voltage	Nominal 12V DC, Range 10.5 – 28V DC
Internal power supply	Removable & rechargeable Li-Ion battery, 2.6 Ah / 7.4 V (1x in CS10 and 1x in GS08)
Operation time	7 hours using Bluetooth® and 3.5G devices ⁵
Battery charging	2 hours with GKL211 charger or with GEV235 field controller power supply

¹ Measurement precision, accuracy and reliability are dependent upon various factors including number of satellites, geometry, obstructions, observation time, ephemeris accuracy, ionospheric conditions, multipath etc. Figures quoted assume normal to favorable conditions. GPS and GLONASS can increase performance and accuracy by up to 30% relative to GPS only.

² May vary due to atmospheric conditions, multipath, obstructions, signal geometry and number of tracked signals.

³ Compliance with ISO9022-10-08, ISO9022-11-special and MIL-STD-810F Method 502.4-II, MIL-STD-810F Method 501.4-II

⁴ Compliance with ISO9022-13-06, ISO9022-12-04 and MIL-STD-810F Method 507.4-I

⁵ May vary with temperature, battery age and transmit power of data link device.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Canon IXUS 127 HS

Specifications	
Camera Effective Pixels	Approx. 16.1 million pixels
Lens Focal Length	5x zoom: 4.3 (W) – 21.5 (T) mm (35mm film equivalent: 24 (W) – 120 (T) mm)
LCD Monitor	7.5 cm (3.0 in.) color TFT LCD Effective Pixels: Approx. 461,000 dots
File Formats	Design rule for Camera File system, DPOF (version 1.1) compliant
Data Types	Still Images: Exif 2.3 (JPEG) Movies: MOV (H.264 video data, Linear PCM (2 channel monaural) audio data)
Interfaces	Hi-speed USB HDMI output Analog audio output (monaural) Analog video output (NTSC/PAL)
Power	Battery Pack NB-11L AC Adapter Kit ACK-DC90
Dimensions (Based on CIPA Guidelines)	93.2 x 57.0 x 20.0 mm (3.67 x 2.24 x 0.79 in.)
Weight (Based on CIPA Guidelines)	Approx. 135 g (approx. 4.76 oz.; including batteries and memory card) Approx. 120 g (approx. 4.23 oz.; camera body only)