



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΜΣ «ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑ - ΧΩΡΟΤΑΞΙΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΔΟΜΗΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAV»

Ζούπης Κων. Δημήτριος

Επιβλέπων καθηγητής:
Δρ. Σαπουνάκης Αριστείδης

Βόλος, Φεβρουάριος 2018



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ-
ΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

ΠΜΣ «ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑ - ΧΩΡΟΤΑΞΙΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΔΟΜΗΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ UAV»**

Ζούπης Κων. Δημήτριος

Επιβλέπων καθηγητής:
Δρ. Σαπουνάκης Αριστείδης

Βόλος, Φεβρουάριος 2018

Δήλωση

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του ΤΜΧΠΠΑ και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κλπ, τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ ή και του ΤΜΧΠΠΑ.

Ημερομηνία: 8 Φεβρουαρίου 2018

Όνοματεπώνυμο: Δημήτριος Ζούπης

Υπογραφή:

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έννοια του χώρου απασχόλησε πληθώρα μελετητών τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς μέσα σε αυτόν ζει και δραστηριοποιείται η ανθρώπινη κοινωνία. Αυτή η προσπάθεια της πρέπουσας κατανόησης του χώρου συνεχίζεται ακόμη και σήμερα σε μια σειρά ακαδημαϊκών πεδίων.

Ωστόσο, στον κλάδο της χαρτογραφίας, ο χώρος αποτυπώνεται σε χάρτες, αποκλύπτοντας δυνατότητες του χώρου που δεν είναι διαθέσιμες στο καθημερινό βλέμμα: περιγράφουν, αλλά και δημιουργούν τον περιβάλλοντα κόσμο. Γι' αυτόν το λόγο, η αποτύπωση αποτελεί μία ζωτικής σημασίας μέθοδο τεκμηρίωσης και ένα αναπόσπαστο εργαλείο στα χέρια των μηχανικών, παρέχοντας μια πληθώρα πλεονεκτημάτων. Τις μεθόδους αποτύπωσης φιλοδοξεί να επαναστατικοποιήσει το πάντρεμα μεταξύ δυο ανερχόμενων τεχνολογιών: αφενός, ο κλάδος της «υπολογιστικής όρασης» και κατ' επέκταση των σύγχρονων αλγοριθμικών διαδικασιών, αφετέρου αυτός των ΣμηΕΑ.

Οι δυνατότητες αυτές, λοιπόν, που αφορούν την αποτύπωση του δομημένου χώρου με τη χρήση εξελιγμένων μεθοδολογιών και τεχνικών, είναι κι αυτές που μελετήθηκαν και υλοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

χώρος, ακρίβεια αποτύπωσης, δομή από κίνηση, ΣμηΕΑ, πλάγια φωτοληψία, φωτογραμμετρία, υπολογιστική όραση

ABSTRACT

The concept of space has occupied plenty of scholars in recent decades, since this is where human society lives and operates. This attempt of properly understanding space continues even now, in a multitude of academic fields.

However, space is mapped, in the field of cartography, revealing spatial potentialities that are not available to the everyday view; they describe and create the surrounding world. For this reason, surveying is a vital documenting method and an integral tool in the hands of engineers, providing a plethora of advantages. The fusion between two emerging technologies aspires to revolutionize the methods of surveying. On the one hand, the field of "computer vision" and, by extension, modern imaging techniques and algorithmic processes; on the other hand, the field of UAS.

These potentials, which are related to the mapping of the built environment using sophisticated methodologies and techniques, are what have been examined, studied and implemented in this thesis.

KEY WORDS:

space, survey accuracy, structure from motion, UAV, oblique imagery, photogrammetry, computer vision

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ.....	ix
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΙΕΣ ΧΩΡΟΥ.....	2
1.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	2
1.2 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ	14
2.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ	14
2.1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ	15
2.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	15
2.1.3 ΕΙΔΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ.....	18
2.2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ.....	20
2.2.1 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ	21
2.2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ – ΕΙΔΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ	22
2.3 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ	23
2.3.1 ΤΥΠΟΙ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ.....	25
2.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ.....	25
2.3.3 ΠΛΑΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ (OBLIQUE IMAGERY).....	27
2.3.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΛΑΓΙΑΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ.....	31
2.3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΛΑΓΙΑΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ	33
2.3.6 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΛΑΓΙΑΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ	34
2.3.7 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	34
2.3.8 ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΔΕΣΜΗΣ).....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: COMPUTER VISION	38

3.1 STRUCTURE FROM MOTION (SfM) – MULTI-VIEW STEREO (MVS)	39
3.1.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ SfM-MVS	41
3.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ SfM-MVS	42
3.1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ SfM-MVS	43
3.1.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ SIFT & RANSAC	45
3.1.5 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ SIFT	45
3.1.6 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ RANSAC	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ (ΣμηΕΑ)	50
4.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΣμηΕΑ	50
4.2 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	54
4.3 ΤΑ ΣμηΕΑ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ	58
4.3.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ (UAS MAPPING)	59
4.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΟΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΜηΕΑ	60
4.3.3 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	62
4.4 ΠΟΛΙΤΙΚΟΙ ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΣμηΕΑ	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣμηΕΑ	67
5.1 ΓΕΝΙΚΑ	67
5.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	67
5.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ	71
5.4 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣμηΕΑ	72
5.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΤΗΣΗΣ	74
5.6 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΤΗΣΗΣ	80
5.7 ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	81
5.8 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ – ΕΠΙΛΥΣΗ	84
5.9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	109

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση Κατηγοριών για τα UAV.....	61
Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες κορυφών περιοχής μελέτης.....	70
Πίνακας 5.2: Πίνακας σφαλμάτων γεωαναφοράς	87
Πίνακας 5.3: Πίνακας εκτιμώμενης χρήσης μνήμης RAM για εικόνες ανάλυσης 12 MPix για την κατασκευή dense point cloud	88
Πίνακας 5.4: Συγκριτικά Στοιχεία.....	93
Πίνακας Π.1: Αρίθμους φωτοσταθερών και σημείων ελέγχου μετά τη γεωαναφορά του μοντέλου (οι μπλε γραμμές υποδηλώνουν τα φωτοσταθερά.....	102

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Κατακόρυφη (vertical) και πλάγια (oblique) λήψη εικόνων.....	28
Εικόνα 2.2: Λήψη πλάγιων εικόνων - Καταγραφή των στεγών και των βάσεων (building footprints) των κτιρίων (ναδίρ και πλάγιας κάμερας)	33
Εικόνα 2.3: Συλλογή δεδομένων από λήψη (α) κάθετων εικόνων (ναδίρ κάμερας) και από (β) πλάγιων εικόνων (ναδίρ και πλάγιας κάμερας)	35
Εικόνα.5.1: Ευξεινούπολη Μαγνησίας.....	68
Εικόνα 5.2: Απόσπασμα τροποποίησης Ρυμοτομικού Σχεδίου Ευξεινούπολης (1990).....	69
Εικόνα 5.3: Phantom 4 Pro.....	74
Εικόνα 5.4: Pix4dCapture, Διαθέσιμα Μοτίβα.....	76
Εικόνα 5.5: Pix4dCapture, Ρυθμίσεις.....	78
Εικόνα 5.6: Παράδειγμα Φωτοσταθερού Σημείου.....	81
Εικόνα 5.7: Φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου	82
Εικόνα 5.8: Tie Points/Key Points (Agisoft Photoscan).....	85
Εικόνα 5.9: Θέσεις Φωτοληψίας μετά την βελτιστοποίηση (Agisoft Photoscan)	86
Εικόνα 5.10: Τρισδιάστατο Πυκνό Νέφος Σημείων (Agisoft Photoscan)	89
Εικόνα 5.11: Τριγωνικό πλέγμα (Agisoft Photoscan)	90
Εικόνα 5.12: Ταξινόμηση τρισδιάστατου πυκνού νέφους σημείων σε δύο κλάσεις, έδαφος μη έδαφος (Agisoft Photoscan)	90
Εικόνα 5.13: Θέσεις φωτοσταθερών και σημείων (με κόκκινο χρώμα οι θέσεις των φωτοσταθερών)	92

Εικόνα 5.14: 3D Point Cloud (αριστερά) – Απόδοση Υφής/Texture (δεξιά). Εμφανής η μη απόδοση του σταυρού στον τρούλο του Ιερού Ναού.....	93
Εικόνα 5.15: Επαλήθευση μήκους πλευράς κτηρίου ορόρου Ιερού Ναού	94
Εικόνα 5.16: Αδυναμία αναδόμησης σημείου λεπτομέρειας (δόντι επί της πλευράς του κτηρίου 0,15μ).....	95
Εικόνα 5.17: Επίθεση παραγόμενου ορθοφωτοχάρτη σε στοιχεία υφιστάμενου τοπογραφικού διαγράμματος.....	96
Εικόνα 5.18: Σύγκριση στοιχείων τοπογραφικής αποτύπωσης (μπλε χρώμα) με παραγόμενο ορθοφωτοχάρτη (υπόβαθρο)	97
Εικόνα 5.19: Αφαίρεση κινούμενου αντικειμένου από ορθοφωτοχάρτη	98
Εικόνα Π.1: Στοιχεία Βαθμονόμησης φωτομηχανής	103
Εικόνα Π.2: Ειδικότερες ρυθμίσεις κατά τη ροή εργασιών στο λογισμικό Photoscan..	104
Εικόνα Π.3: Τελικός Ορθοφωτοχάρτης	105
Εικόνα Π.4: DEM.....	106
Εικόνα Π.5: Ορθή απόδοση μήκους πρόσοψης αλλά μη απόδοση εσωτερικής πλευράς κτίσματος	107

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1: Αλγοριθμικές διαδικασίες της μεθόδου SfM	49
Σχήμα 4.1: Μεθοδολογία Εργασιών	64
Σχήμα Π.1: Τυπική ροή εργασιών στην παραγωγή γεωαναφερμένων πυκνών νεφών σημείων από σύνολα εικόνων και φωτοσταθερών. Οι είσοδοι και οι έξοδοι εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα.....	103

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

3D	Three Dimensions
ALS	Airborne Laser Scanner
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight
CAD	Computer Aided Design
DEM	Digital Elevation Model
dGPS	Differential Global Positioning System
DSM	Digital Surface Models
DTMs	Digital Terrain Models

EDM	Electronic Distance Measurement
EVLOS	Extended Visual Line of Sight
GCP's	Ground Control Points
GIS	Geographic Information System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sampling Distance
GUIs	Graphical User Interfaces
INS	Inertial Navigation System
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
LiDAR	Light Detection And Ranging
LiPo	Lithium Polymer
LIS	Land Information System
MTOM	Maximum Take Off Mass
MTOW	Maximum Take Off Weight
MVP	Multi-View Photogrammetry
MVS	Multi-View Stereo
RAM	Random Access Memory
RPA	Remotely Piloted Aircraft
RPAS	Remotely Piloted Air System
RTK	Real Time Kinematic
SFM	Structure From Motion
TLS	Terrestrial Laser Scanner
TS	Total Station
TSA	Temporary Segregated Areas
UAS	Unmanned Aircraft System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCAS	Unmanned Combat Aerial System
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
ΑΓ	Ανθρωπιστική Γεωγραφία
ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ΔΠΠ	Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος
ΕΓΣΑ	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς
ΚΟΚ	Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας

ΠΠΠ	Πρώτος Παγκόσμιος Πόλεμος
ΣμηΕΑ	Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία των ΣμηΕΑ (Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών) έχει εισχωρήσει στην καθημερινότητα. Οι χρήσεις ποικίλουν, από ψυχαγωγία και επαγγελματικές εφαρμογές, σε έρευνα, διάσωση και στρατιωτικές επιχειρήσεις.

Η σημαντικότητα του χώρου για την ανθρώπινη φύση, είναι πλέον αντιληπτή και οι ερμηνείες, η χρήση, η διαχείριση, ποικίλουν εξαιτίας αυτής τους της σημαντικότητας αλλά και της πολυπλοκότητας. Η διαρκής προσπάθεια για ερμηνεία, αρτιότερο σχεδιασμό και ενσωμάτωση, καθιστά την αποτύπωσή του, δηλαδή την όσο το δυνατόν βέλτιστη τεκμηρίωσή του, κρίσιμο παράγοντα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των εργαλείων αποτύπωσης, παράλληλα με την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων και μεθόδων συμβάλλουν καθοριστικά στην πιο ολοκληρωμένη τεκμηρίωση του δομημένου χώρου.

Η δυνατότητα της χρήσης αλγορίθμων υπολογιστικής όρασης σε συνδυασμό με φωτογραμμετρικές τεχνικές, εμπορικές φωτομηχανές και οικονομικά προσιτά ΣμηΕΑ, έχει δημιουργήσει νέες προκλήσεις στην τεκμηρίωση του δομημένου χώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΙΕΣ ΧΩΡΟΥ

1.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

Ο χώρος αποτελεί έννοια πρωτεύεική. Έννοια την οποία χρησιμοποιούν και προσπαθούν να διασαφηνίσουν πολλοί κλάδοι και υποκλάδοι της γνώσης, λιγότερο ή περισσότερο συγγενικοί μεταξύ τους (Λαμπριανίδης, 2001). Η χρήση του όρου, στο πλαίσιο της καθημερινής -μη τεχνικής- ομιλίας, παρουσιάζει ακόμη μεγαλύτερη ποικιλιομορφία (Harvey, 2004). Ένα ερώτημα που προκύπτει από αυτή την πολλαπλότητα των προσεγγίσεων της έννοιας του χώρου είναι το εξής: το νόημα της λέξης καθορίζεται πλήρως από το πλαίσιο μέσα στο οποίο αυτή χρησιμοποιείται ή υπάρχει μια αρχική και απόλυτα βασική προσέγγιση, από την οποία θα έπρεπε ιδανικά να εκπορεύονται οι υπόλοιπες, λιγότερο βασικές, θεωρήσεις; (Μαλούτας, 1986). Αν όντως συμβαίνει το δεύτερο, μπορούμε να γνωρίζουμε ποια από τις θεωρητικές προσεγγίσεις του όρου αποτυπώνει την πραγματικότητα ακριβέστερα από τις άλλες; Θέτοντας το ζήτημα αυτό διαφορετικά, μπορούμε να αναρωτηθούμε αν, και σε ποιο βαθμό, είναι δυνατή η ιεράρχηση των ερμηνειών του χώρου. Για παράδειγμα, είναι ο τρόπος με τον οποίον ερμηνεύει η σύγχρονη φυσική το χώρο πιο ακριβής από τον τρόπο, με τον οποίον τον ερμηνεύουν οι ανθρωπιστικές επιστήμες; Ή μήπως τα επίπεδα ανάλυσης είναι -εν πολλοίς- ανεξάρτητα μεταξύ τους και η αναγωγή του ενός στο άλλο είναι, όχι μόνο μη επιθυμητή σε πρακτικό επίπεδο, αλλά και αδύνατη καταρχήν.

Ο Μαλούτας,(1986) εξετάζοντας το θέμα από φιλοσοφική και συγκεκριμένα από φαινομενολογική σκοπιά, θέτει το ζήτημα με όρους οντολογικής θεμελίωσης της έννοιας του χώρου, υποστηρίζοντας πως η οντολογική ανάλυση είναι η μήτρα από την οποία εκπορεύονται όλες οι επιμέρους προσεγγίσεις. Δυνατότητα οντολογικής κρίσης έχει μόνο η φιλοσοφία, σε αντίθεση με την κοινή, κατά τον ίδιο, αντίληψη, πως είναι οι επιστήμες, και δη οι φυσικές, αυτές που μας παρέχουν γνώση για το τι υπάρχει. Η επιστήμη συνολικά, αλλά και κάθε κλάδος της ξεχωριστά, λόγω της μερικότητας της προσέγγισής της, δεν μπορεί να παράσχει η ίδια την οντολογική θεμελίωση των θεωρητικών εννοιών της. Όπως το θέτει ο ίδιος (1986, σελ.287): «Η επιστημονική θεωρία σχετίζεται συνεπώς με τη χρηστική λειτουργία του αντικειμένου της και τις άμεσες προεκτάσεις της: δεν αποτελεί οντολογία, η οποία είναι αποκλειστική λειτουργία της φιλοσοφίας».

Η κριτική του Μαλούτα (1986) έχει ως στόχο την άποψη πως η γεωμετρική αντίληψη του χώρου, όπως αυτή προκύπτει μέσα από την έρευνα της φυσικής και των μαθηματικών, είναι η πρωταρχική και επομένως αυθεντική σημασία του. Κάτι τέτοιο θα σήμαινε πως πάνω σε αυτή θεμελιώνεται η «ανθρώπινη χωρητικότητα», δηλαδή η χωρική κατανόηση των κοινωνικοπολιτισμικών φαινομένων, με την οποία καταπιάνονται οι κοινωνικές επιστήμες. Η άρνηση της πρωταρχικότητας αυτής, ωστόσο, δεν αποτελεί άρνηση της χρησιμότητας της γεωμετρικής αντίληψης του χώρου στην κατανόηση κοινωνικών φαινομένων. Το σημείο πάνω στο οποίο επιμένει η φαινομενολογική κριτική του Μαλούτα (1986, σελ.291), όπως και γενικότερα η κριτική που άσκησε η Ανθρωπιστική Γεωγραφία (ΑΓ) σε θετικιστικές και ποσοτικές προσεγγίσεις, είναι η «πρωταρχικότητα της ανθρώπινης χωρικής εμπειρίας, της ανθρώπινης χωρικότητας με τη μορφή της πρόσληψης συγκεκριμένων τόπων». Στο σημείο αυτό γίνεται φανερή η εννοιολογική διχοτόμηση μεταξύ χώρου και τόπου, μεταξύ σημασιοδοτημένου και αφηρημένου χώρου. Όπως αναφέρει ο Cresswell (2004) στο βιβλίο του, «Place: A Short Introduction»: Η ανάπτυξη της ανθρωπιστικής γεωγραφίας ήταν, εν μέρει, μια αντίδραση στη νέα έμφαση που έδωσε η χωρική επιστήμη στο χώρο.

Για τους επηρεασμένους από τη φαινομενολογική παράδοση, θεωρητικούς της ΑΓ, η έννοια του τόπου, μια έννοια οικουμενική και υπερ-ιστορική (Cresswell, 2004), εκφράζει την αίσθηση του δεσίματος που αισθάνεται το άτομο προς μια περιοχή. Παραδειγματική περίπτωση θετικά νοηματοδοτημένου χώρου, δηλαδή τόπου, αποτελεί η έννοια του σπιτιού. Είναι, άλλωστε, αυτή η θετική νοηματοδότηση που μετατρέπει τον αφηρημένο γεωγραφικό χώρο σε τόπο (The dictionary of human geography, 2009; Warf, 2006). Όπως το θέτει ο Tuan (2001), ένας από τους γνωστότερους εκπροσώπους της ΑΓ, προσπαθώντας να περιγράψει την εμπειρία της πρόσληψης του χώρου: Ο τόπος είναι ασφάλεια, ο χώρος είναι ελευθερία: είμαστε δεμένοι με τον ένα και προσδοκούμε τον άλλο [...] ο «χώρος» είναι πιο αφηρημένος από τον «τόπο». Ότι ξεκινάει ως αδιαφοροποίητος χώρος, μετατρέπεται σε τόπο, καθώς τον γνωρίζουμε καλύτερα και του αποδίδουμε αξία. [...] Οι ιδέες του «τόπου» και του «χώρου» απαιτούν η μία την άλλη για να οριστούν. Μέσω της ασφάλειας και της σταθερότητας του τόπου, φτάνουμε να αντιληφθούμε την ανοιχτότητα, την ελευθερία και την απειλή του χώρου. και το αντίστροφο. Επιπρόσθετα, αν σκεφτούμε το χώρο ως αυτόν που επιτρέπει την κίνηση, τότε ο τόπος αποτελεί στάση. Κάθε στάση της κίνησης, δίνει τη δυνατότητα μετατροπής της γεωγραφικής θέσης σε τόπο.

Έτσι, για τον θεωρητικό αυτής της σχολής, η πολυδιάστατη και δυναμική ανθρώπινη εμπειρία, στην οποία πρέπει να εδράζεται η κατανόηση του χώρου, έχει όψεις με σωματικά, αισθητικά, συναισθηματικά, γνωστικά και υπερ-ατομικά στοιχεία, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τις θεωρίες μας, και τα οποία οι ποσοτικές προσεγγίσεις αφήνουν αναγκαστικά εκτός της ανάλυσής τους, εφόσον δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν αντικειμενικά. Επιπρόσθετα, ένα ακόμα σημείο απόκλισης είναι η πεποίθηση της ποσοτικής γεωγραφίας πως ο ερευνητής, καθώς αναλύει τα αντικείμενα της έρευνάς του, μπορεί να σταθεί «εκτός πλάνου», απ' όπου έχει μια πανοραμική έποψη των φαινομένων, να επιτύχει ουσιαστικά μια «θέα από το πουθενά» (Nagel, 1986), χωρίς ο ίδιος να επηρεάζει τα φαινόμενα ή να επηρεάζεται ο ίδιος (οπότε και η θεωρία του) από αυτά. Ενάντια σε αυτή την αντίληψη, η ΑΓ θεωρεί πως το σημείο εκκίνησης της έρευνας, είναι η εμπειρία του ίδιου του ερευνητή και η δυναμική αλληλεπίδρασή του με το βασικό αντικείμενο της έρευνάς του.

Η κριτική αυτής της θεωρητικοποίησης του χώρου έρχεται από διάφορες κατευθύνσεις. Αφενός, από τη μεριά των θεωρητικών που ως σωστή μεθοδολογία αντιλαμβάνονται την ποσοτική μέθοδο ανάλυσης των χωρικών φαινομένων και εναντίων των οποίων στρέφεται κυρίως η επιχειρηματολογία της ανθρωπιστικής σχολής, αφετέρου, από παραδόσεις που πιθανότατα βρίσκονταν πιο κοντά στην ανθρωπιστική σχολή απ' ό,τι στη θετικιστική. Ωστόσο συνολικά, μένουν ανικανοποίητες από τα όσα αυτή προσφέρει. Η ερμηνευτική προσέγγιση της ΑΓ, όπως και οι πολλές και διαφορετικές πηγές άντλησης (ποιοτικών) δεδομένων, είναι ακατανόητη για τις ποσοτικές μεθόδους γεωγραφικής ανάλυσης, εφόσον δεν μπορεί να εγγυηθεί την αντικειμενικότητα, και επομένως την ορθότητα των πορισμάτων και των ερμηνειών της (Seamon and Lundberg, 2017).

Γράφοντας από μια φεμινιστική σκοπιά, πολλοί θεωρητικοί, έσπευσαν να επισημάνουν, πως η ανθρωπιστική έρευνα ουσιαστικά προέβη σε μια ουσιοκρατική ανάλυση της έννοιας του τόπου, παρά τις διακηρύξεις της περί δυναμικότητας και αναγνώρισης της διαφοράς. Για παράδειγμα, ταυτίζοντας το σπίτι, τον οικογενειακό οίκο, με την έννοια του τόπου, ο οποίος γεννάει συναισθήματα ασφάλειας, θαλπωρής κλπ, η ΑΓ δεν λαμβάνει υπόψη την εμπειρία κοινωνικών ομάδων και ατόμων, πχ πολλών γυναικών, για τα οποία ο οικογενειακός οίκος είναι περισσότερο χώρος καταπίεσης και υποταγής (Cresswell, 2004). Αυτός ο συνδυασμός ανιστορικότητας και αχωρικότητας στον καταρτισμό των εννοιών, οδηγεί, υπό μια έννοια, στη δημιουργία αυτού που οι Foucault και Miskowiec (1986) αποκαλούν «Ουτοπία». Οι ουτοπίες είναι τοποθεσίες που δεν

αντιστοιχούν σε κανέναν πραγματικό τόπο. Είναι τοποθεσίες που έχουν μια γενική σχέση άμεσης ή αντεστραμμένης αναλογίας με τον πραγματικό χώρο της Κοινωνίας. Παρουσιάζουν την ίδια την κοινωνία σε μια τελειοποιημένη μορφή, ή διαφορετικά, την κοινωνία αναποδογυρισμένη, αλλά σε κάθε περίπτωση, αυτές οι ουτοπίες είναι θεμελιωδώς μη-πραγματικοί χώροι.

Η κριτική αυτή ισχυρίζεται, εξάλλου, πως αγνοώντας την ποικιλία της ανθρώπινης εμπειρίας, η ΑΓ αποτυγχάνει να δώσει μια συνεπή εξήγηση των κοινωνικών σχέσεων, του φύλου, της τάξης, της παραγωγής, της εξουσίας κοκ. Έτσι, η φεμινιστική γεωγραφία, προσπαθεί να δείξει με ποιον τρόπο κοινωνικά παραγόμενες και αναπαραγόμενες κατηγορίες, όπως οι έμφυλοι ρόλοι, με τη σειρά τους παράγουν και αναπαράγουν χωρικές κατανοήσεις, όπως για παράδειγμα την ανακήρυξη του σπιτιού σε κατεξοχήν παράδειγμα τόπου ανεξαρτητως φύλου, τάξης κλπ ή το χαρακτηρισμό της οικιακής εργασίας ως μη-παραγωγικής. Με αυτό τον τρόπο, η φεμινιστική μέθοδος, φιλοδοξεί να ισχυροποιήσει μια προγραμματική αρχή της ίδιας της ΑΓ, ότι δηλαδή, δεν υπάρχει «θέα από το πουθενά» και κάθε γνώση υφίσταται εντός ενός συγκεκριμένου πλαισίου (Warf, 2006).

Η φεμινιστική γεωγραφία, έχει ως κύριο αναλυτικό εργαλείο της, την έννοια του φύλου και τον τρόπο με τον οποίο αυτό επηρεάζει και επηρεάζεται από την αντίληψη των ανθρώπων για τη χωρικότητα. Μια άλλη τάση, μεγάλο μέρος της οποίας είναι επηρεασμένη από το μαρξισμό, προκρίνει ως βάση της χωρικής της ανάλυσης την κατηγορία της τάξης. Οι δυο γνωστότεροι εκπρόσωποι αυτής της αντίληψης είναι, μάλλον, οι Lefebvre και Harvey. Ο πρώτος προτείνει μια τριπλή κατανόηση του χώρου. Αφενός, τον υλικό χώρο της αισθητηριακής αντίληψης. Αφετέρου, το χώρο της αναπαράστασης, δηλαδή τον χώρο, όπως συλλαμβάνεται και αναπαρίσταται από τη διάνοια και τέλος, τους χώρους της αναπαράστασης. Το βιωμένο χώρο, δηλαδή, της φαντασίας, των συναισθημάτων και των νοημάτων, με τα οποία επενδύεται (Harvey, 2004).

Ο Lefebvre, ξεχωρίζει επίσης, ανάμεσα στον αφηρημένο και το συγκεκριμένο χώρο. Συγκεκριμένος είναι ο βιωμένος χώρος της καθημερινότητας. Αφηρημένος, αντίθετα, είναι ο χώρος, όπως συλλαμβάνεται στα σχέδια, τους χάρτες και τις προθέσεις των σχεδιαστών, των γραφειοκρατών και των επιχειρηματιών. Όπως υποστηρίζει, υπήρξε κατά τη νεοτερικότητα, μια καταδυνάστευση του βιωμένου χώρου από τον αφηρημένο και στόχος μιας προοδευτικής πολιτικής, είναι η επανάκτηση των χώρων της καθημερινής ζωής από της ομογενοποιητικές τάσεις του κεφαλαίου και του κράτους. Οι κοινωνικές σχέσεις παραγωγής στον καπιταλισμό, για να έχουν τη δυνατότητα να ανα-

παράγουν τον εαυτό τους, πρέπει να δημιουργήσουν συγκεκριμένους χωρικούς σχηματισμούς παραγωγής κι επένδυσης του κεφαλαίου. Έτσι, οι κοινωνικές σχέσεις και ο χώρος βρίσκονται σε μια διαλεκτική σχέση, κατά την οποία οι μιν συμβάλλουν στη διαμόρφωση του δε και το αντίστροφο (D'Arcus, 2006).

Για χωρικά μορφώματα του κεφαλαίου, κατά τη διαδικασία της συσσώρευσης, μιλάει και ο Harvey (2006), τονίζοντας, επίσης, την ανάγκη για διαρκή αναδιοργάνωση αυτών των μορφωμάτων, μέσω κύκλων επένδυσης κι ανάπτυξης - αποεπένδυσης και κρίσεων. Η πρώτη εκφράζεται με τη συγκέντρωση σε συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο του εργατικού δυναμικού, των πρώτων υλών, τη δημιουργία υποδομών, άρα και την εξασφάλιση της υπεραξίας από μεριάς του κεφαλαίου, ενώ το δεύτερο έγκειται στην απουσία των παραπάνω (Γκιάλης και Herod, 2015). Αυτή η ευέλικτη μορφή συσσώρευσης βρήκε την πιο εκτεταμένη εφαρμογή της μέσω του νεοφιλελεύθερου μοντέλου που επικράτησε από το '70 και έπειτα (Harvey, 2006).

Έτσι, ο Harvey, όπως και ο Lefebvre, προτείνει κι αυτός μια αρχικά τριμερή κατανόηση του χώρου. Ο «απόλυτος» χώρος που γίνεται κατανοητός ως ένα είδος αυθύπαρκτου «δοχείου», στο οποίο υπάρχουν τα πράγματα και λαμβάνουν χώρα όλες οι υπαρκτές διεργασίες. Ο «σχετικός» χώρος που η ύπαρξή του βασίζεται στην ύπαρξη των αντικειμένων και στις μεταξύ τους σχέσεις και ο «σχεσιακός» χώρος, ο οποίος ενυπάρχει στα αντικείμενα, τα οποία, υπό αυτή την έννοια, υπάρχουν μόνο, εφόσον περιέχουν και αναπαριστούν, εντός τους, τις σχέσεις τους προς τα άλλα αντικείμενα.

Κάνοντας αυτόν το διαχωρισμό, ο Harvey (2004), προτείνει να θεωρηθούν οι κατηγορίες αυτές του χώρου, όχι ως οντολογικά ιεραρχημένες, αλλά διαλεκτικά αλληλοσυγκροτούμενες, στο βαθμό που βοηθούν στη σκέψη και ερμηνεία διαφορετικών γεωγραφικά φαινομένων και διεργασιών. Τα παραδείγματα που δίνει είναι τα εξής: Ο απόλυτος χώρος, κατανοημένος ως προϋπάρχουσα, στατική ουσία ή ως κανάβος δεκτικός στη μέτρηση και τον υπολογισμό, αποτελεί το χώρο του μηχανικού, του χαρτογράφου κλπ. Από την άλλη, στο κοινωνικό πεδίο, ο απόλυτος χώρος και οι αυστηρές διαχωριστικές γραμμές που δημιουργεί, δίνει έναν τρόπο σκέψης για την ατομική ιδιοκτησία και άλλες κοινωνικές πρακτικές οριοθέτησης (κράτη κα). Αντίθετα, όσον αφορά τις μεταφορικές σχέσεις, χρειάζεται μια διαφορετική κατανόηση του χώρου από αυτή που υιοθετείται συνήθως για την κατανόηση των ιδιοκτησιακών σχέσεων. Ο χώρος των μεταφορών και της κίνησης, είναι σχετικός, εφόσον γίνονται αντιληπτές οι αποστάσεις συναρτήσκει άλλων εννοιών, όπως ο χρόνος, το χρήμα και η ενέργεια. Τέλος, βάσει του σχεσιακού χώρου, ένα σημείο οφείλει την ταυτότητά του σε ό,τι έχει προηγηθεί και σε

ό,τι συμβαίνει γύρω του. Έτσι, όπως γράφει ο Harvey (2004), ερωτήσεις τύπου «Τι σημαίνει πλατεία Tiananmen;» μπορούν να απαντηθούν μόνο με σχεσιακούς όρους. Σπεύδει να τονίσει ωστόσο, πως αυτές οι τρεις επόψεις του χώρου, μπορούν να ισχύουν ταυτόχρονα. Ένα σπίτι, μπορεί ταυτόχρονα να είναι μια ορισμένη φυσική θέση στον απόλυτο χώρο, μπορεί να κατέχει μια σχετική θέση στο σχετικό χώρο σε σχέση με διάφορους τόπους αναψυχής ή να αποκτά ένα συγκεκριμένο νόημα, βάσει της παγκόσμιας αγοράς ακινήτων, προσωπικών ή συλλογικών αναμνήσεων κ.ο.κ.

Η οπτική αυτή προσπαθεί να απαγκιστρωθεί από την αντίληψη του χώρου ως αυθύπαρκτου και στάσιμου, ως κάτι δοσμένου και περιέχοντος όλα τα υπόλοιπα. Ο χώρος, ή καλύτερα οι χώροι, είναι παραγόμενοι και παραγωγικοί. Ως τέτοιοι, θα πρέπει να γίνονται αντιληπτοί μέσω των δυναμικών συμβάντων από τα οποία συγκροτούνται και τις σχέσεις που αυτά κρύβουν. Θα πρέπει επίσης να γίνονται αντιληπτοί ως σχηματισμοί που προκρίνουν συγκεκριμένες κοινωνικές σχέσεις έναντι άλλων. Δεν αποτελούν αναλλοίωτες ουσίες, ούτε κάποιου είδους ουδέτερο υπόστρωμα, στο οποίο εντοπίζονται πράγματα και συμβάντα. Όπως, μάλιστα, τονίζει ο Harvey (1996), αυτός ακριβώς είναι ο λόγος για τον οποίο θα πρέπει να δίνεται μεγάλη σημασία στις σχετικές και προσωρινές αποκρυσταλλώσεις της κίνησης, των ροών και των διαδικασιών, τις οποίες αντιλαμβανόμαστε ως σταθεροποιήσεις (permanences). Η διαλεκτική κατανόηση του χώρου, και κατ' επέκταση όλης της πραγματικότητας, προτείνει ο Harvey (1996), δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή ως εξωτερική των συγκεκριμένων υλικών συνθηκών του κόσμου στον οποίο βρίσκουν οι άνθρωποι τους εαυτούς τους. Εφόσον αυτές οι υλικές συνθήκες της καθημερινότητας παρουσιάζουν μια σταθερότητα, τότε, κατ' ανάγκην, θα πρέπει να αναγνωριστεί και γίνει αποδεκτή η σπουδαιότητα και η σημασία της. Οι σταθεροποιήσεις αυτές είναι το πεδίο του νοήματος, και στο βαθμό που υπάρχουν χωρικές σταθεροποιήσεις, υπάρχουν και τόποι. Έτσι, η σύλληψη των σταθεροποιήσεων εμπεριέχει τη δυνατότητα επηρεασμού της κίνησης, της κατεύθυνσης των ροών και, εν τέλει, της συμβολής στην παραγωγή νέων σταθεροτήτων, νέων τόπων. Αυτό είναι το πεδίο της πολιτικής, το πεδίο της μετάβασης από τον αφηρημένο στον βιωμένο χώρο. Όπως γράφει ο Harvey (1996), ο γεωμετρικά ορισμένος χώρος του χωρικού σχεδιασμού μετατρέπεται σε τόπο από τους πεζούς.

Ένας άλλος δυισμός, τον οποίο προσπαθούν να ξεπεράσουν συγγραφείς, όπως ο Harvey και ο μαθητής του, Neil Smith (1990), αντηχώντας παρόμοιες θέσεις του Lefebvre (Lefebvre and Enders, 1976), είναι αυτός μεταξύ φύσης και κοινωνίας. Το περιβάλλον, ή καλύτερα τα περιβαλλοντικά συστήματα (μέρος των οποίων είναι και οι

ανθρώπινες κοινωνίες), αποτελούν μια ενότητα και, όπως και οι χώροι, βρίσκονται σε σχέση εμμένειας με τα πολύπλοκα δίκτυα πρακτικών, αντικειμένων, συμβάντων και των μεταξύ τους σχέσεων που τη συγκροτούν. Έτσι, λοιπόν, για τον Harvey, είναι οι κεφαλαιοκρατικές σχέσεις παραγωγής που σε μεγάλο βαθμό καθορίζουν το χαρακτήρα των παραγόμενων τόπων και οικοσυστημάτων, σε διαφορετικούς τόπους και χρόνους. Η αλλαγή των δευτέρων περνάει από την αλλαγή των πρώτων. Κατάληξη του επιχειρήματος περί συνεχούς παραγωγής, και αναπαραγωγής, τόπων και φύσης, είναι πως το μέλλον τους είναι εγγενώς κοινωνικό, δηλαδή πολιτικό.

Όπως το έθεσε ο Lefebvre: υπάρχει πολιτική του χώρου, γιατί ο χώρος είναι πολιτικός. Αυτή η διακήρυξη του Lefebvre, επιτίθεται στις συχνά υπόρρητες παραδοχές του διαδεδομένου, τη δεκαετία του '60, θετικιστικού κινήματος στον κλάδο του χωρικού σχεδιασμού. Οι παραδοχές αυτές, είχαν να κάνουν με την άποψη πως υπάρχει μια αγνή, επιστημονική έννοια του χώρου (η τυπική/γεωμετρική) και πως δεδομένου ότι ο κλάδος του χωρικού σχεδιασμού έχει ως αντικείμενό του αυτή την έννοια του χώρου, συμπεραίνεται πως ο κλάδος αυτός αποτελεί ουδέτερη, αντικειμενική επιστήμη. Ασφαλώς, αυτό που αγνοείται από τη συγκεκριμένη άποψη, είναι οι κοινωνική και αξιακή όψη του σχεδιασμού, πώς και σε ποιο βαθμό οι ανάγκες και οι επιθυμίες του κόσμου εκπληρώνονται από τις εκ των άνω πολεοδομικές και χωροταξικές αποφάσεις. Την επιστημολογική αβεβαιότητα του σχεδιασμού, που θίγει ο Lefebvre, περιγράφει εύγλωττα στην ανασκόπησή του ο Λ. Βασενχόβεν (2004, σελ.15): «Το αντικείμενο λοιπόν του σχεδιασμού του χώρου, της πολεοδομίας και χωροταξίας, δηλαδή οι πόλεις και οι περιφέρειες, είχε ήδη ερευνηθεί από πολλές θεωρητικές οπτικές γωνίες διαφόρων επιστημών. Όμως ο ίδιος ο σχεδιασμός, το planning; Ο σχεδιασμός ως διαδικασία, ως πορεία σκέψης και δράσης, ως συνεχής κύκλος προγραμματισμού και πράξης, είχε θεωρία; Η απάντηση σ' αυτό το ερώτημα ήταν αρνητική και αυτή ακριβώς η ενοχλητική διαπίστωση ήταν που οδήγησε στην προσπάθεια των δεκαετιών του 1960 και 1970 να οικοδομηθεί μια θεωρία σχεδιασμού, στηριγμένη στην θεωρία συστημάτων και στην παράδοση του ρασιοναλισμού».

Η αναζήτηση αυτή, οδηγεί πρώτα στις ΗΠΑ, στον ταυτόχρονο σχεδιασμό μεταφορών και χρήσεων γης, με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης και ηλεκτρονικών υπολογιστών. Όπως, παραστατικά, γράφει ο Βασενχόβεν (2004, σελ.15): «Εκεί ίσως γίνεται το μοιραίο λάθος να πιστευθεί ότι το πολύπλοκο σύστημα "πόλης - περιφέρειας" μπορεί πλέον να αναπαραχθεί στο εργαστήριο ή στο γραφείο σχεδιασμού και ότι δεν υπάρχει παράμετρος που να υπερβαίνει τις νέες προσομοιωτικές και υπολο-

γιστικές δυνατότητες. Το σύστημα σχεδιασμού κλείνεται κατά κάποιο τρόπο στον δικό του κόσμο και οι planners δείχνουν πεπεισμένοι ότι έχουν στα χέρια τους ένα εργαλείο "για όλες τις εποχές" ή "παντός καιρού", ένα εργαλείο έξω από τις ιστορικές και κοινωνικές συγκυρίες».

Σύμφωνα με τον Βασενχόβεν, στις δεκαετίες που ακολούθησαν, παρά τη σφοδρή κριτική που δέχτηκε το ορθολογικό μοντέλο σχεδιασμού, όπως αποκαλείται, διάφορα στοιχεία της μεθοδολογικής του πρότασης βρήκαν, μάλλον, ευρεία αποδοχή. Βασισμένη στη Γενική Θεωρία Συστημάτων, η πρόταση αυτή, αντιλαμβάνεται την πόλη, ως πολύπλοκο σύστημα. Τα μέρη αυτού του συστήματος, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, σχετίζονται όλα μεταξύ τους, πράγμα που σημαίνει, πως η αλλαγή σε κάποιο υποσύστημα, οδηγεί σε αλλαγές και στα υπόλοιπα, αλλάζοντας έτσι το σύνολο του συστήματος. Απόρροια αυτής της αντίληψης, αποτελεί το γεγονός, πως ο σχεδιασμός δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί αποσπασματικά. Για παράδειγμα, δεν έχει νόημα μια προσπάθεια ρύθμισης της κυκλοφοριακής λειτουργίας, χωρίς να ληφθεί υπόψη, για παράδειγμα, η δομή των χρήσεων γης. Έτσι, η έννοια του καθολικού σχεδιασμού φαίνεται αναπόφευκτη. Δεδομένου του γεγονότος, βέβαια, πως τα πολύπλοκα συστήματα είναι ανοικτά συστήματα και η αβεβαιότητα αποτελεί εγγενές χαρακτηριστικό τους, η καθολικότητα του σχεδιασμού δεν επαρκεί για την επίτευξη των στόχων του. Αυτός ο δυναμικός χαρακτήρας των πολύπλοκων συστημάτων είναι το στοιχείο που αναγκάζει τους θεωρητικούς του καθολικού σχεδιασμού να επεκτείνουν την καθολικότητα και στη διάσταση του χώρου, κάνοντας λόγο για «συνεχιζόμενο σχεδιασμό» ο οποίος αναπροσαρμόζεται βάσει της καθημερινής εξέλιξης του οικισμού (Αραβαντινός, 1997/1998).

Το κατά πόσο οι αρχές αυτές εφαρμόζονται στην πράξη είναι ένα ζητούμενο, όπως, άλλωστε, και το θέμα της «αποκέντρωσης» του σχεδιασμού, μέσω της συμπερίληψης στη διαδικασία σχεδιασμού περισσότερων φορέων και ενδιαφερόμενων ομάδων. Ένα αποτέλεσμα της κριτικής, που δέχτηκε ο επιστημονισμός της ορθολογικής μεθόδου, ο οποίος προσπάθησε, είτε να αγνοήσει είτε να αποκρύψει την πολιτική πτυχή του σχεδιασμού, υπήρξε η στροφή προς περισσότερο «συμμετοχικές» και «συνεργατικές» προσεγγίσεις (Τασοπούλου, 2011). Κατά πόσο αυτή η στροφή έχει αγγίξει και την πράξη, πέρα από τη θεωρία και τη ρητορική, είναι ένα άλλο ζητούμενο, το οποίο, όμως, δεν θα εξεταστεί εδώ. Αξίζει, παρόλα αυτά, να γίνει μια αναφορά στους τρόπους με τους οποίους η τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει προς αυτή την κατεύθυνση.

1.2 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

Ο σχεδιασμός έχει ως ορίζοντα το μέλλον. Το μέλλον εμπεριέχει μέσα του τη διαφορά. Το διαφορετικό, το συλλαμβάνουμε με τη φαντασία. Το 1959, ο C. W. Mills, γράφοντας για το ρόλο της κοινωνιολογίας, αναφέρθηκε επίσης στο αίσθημα αδιεξόδου που νιώθουν πολλοί άνθρωποι στις σύγχρονες κοινωνίες. Ως αιτία, προσδιόρισε την αδυναμία συγχώνευσης, σε μια συνεπή αφήγηση, των προσωπικών βιογραφιών των μεμονωμένων ατόμων και των γενικότερων συστημικών αλλαγών που κάνουν αυτές τις βιογραφίες, δυνατές και ενίοτε αναπόφευκτες. Έτσι, έγραφε: Στη βάση αυτού του αισθήματος παγίδευσης βρίσκονται οι φαινομενικά υπερπροσωπικές αλλαγές που συντελούνται στην κοινωνία. [...]. Ωστόσο, σπάνια οι άνθρωποι βλέπουν το σύνδεσμο που υπάρχει ανάμεσα στα προσωπικά τους βάσανα, από την μια, και στις ιστορικές αναταραχές και τις θεσμικές αντιθέσεις από την άλλη. [...]. Ό,τι τους λείπει δεν είναι η πληροφορία: σ' αυτόν τον Αιώνα των Γεγονότων η πληροφορία καταδυναστεύει την προσοχή τους και τσακίζει την ικανότητα τους να την αφομοιώνουν. Δεν είναι μόνο η λογική επιδεξιότητα που χρειάζονται, αν και ο αγώνας για να την αποκτήσουν εξαντλεί το περιορισμένο ηθικό δυναμικό τους. Αυτό που χρειάζονται είναι μια ιδιότητα του πνεύματος που θα τους βοηθήσει να μεταχειριστούν τις πληροφορίες και να αναπτύξουν τη λογική τους έτσι ώστε να σχηματίσουν μια ευκρινή εικόνα για αυτό που συμβαίνει στον κόσμο κι αυτό που μπορεί να συμβαίνει στον ίδιο τον εαυτό τους. [...]. Αυτή είναι η ιδιότητα του πνεύματος που μπορεί να ονομαστεί κοινωνιολογική φαντασία (Mills, 1985).

Η φαντασία, δίνει τη δυνατότητα στους ανθρώπους να αντιληφθούν την υφιστάμενη κατάστασή τους διαφορετικά, ενώ το να δούνε την τωρινή κατάστασή τους αλλιώς, τους δίνει τη δυνατότητα και να την οραματιστούν με έναν διαφορετικό τρόπο. Ορμώμενοι από τον Mills, πολλοί γεωγράφοι θέλησαν να μιλήσουν για Γεωγραφική Φαντασία, δίνοντας στον όρο ποικίλες σημασίες.

Κατά τον Harvey (2005), η Γεωγραφική Φαντασία, επιτρέπει στο άτομο να αναγνωρίζει το ρόλο του χώρου και του τόπου, στην προσωπική του βιογραφία, να σχετιστεί με τους χώρους τους οποίους βλέπει γύρω του και να αναγνωρίζει, πώς οι συναλλαγές μεταξύ των ατόμων, αλλά και οι συναλλαγές μεταξύ των οργανισμών, επηρεάζονται από το χώρο που τους χωρίζει. Έτσι τΤου επιτρέπει να αναγνωρίσει τη σχέση που υπάρχει μεταξύ του ίδιου και της γειτονιάς του, της περιοχής του [...] και του επιτρέπει να κρίνει τη σημασία των γεγονότων σε άλλους τόπους. [...]. Επίσης, του επιτρέπει να

διαμορφώσει και να χρησιμοποιήσει το χώρο δημιουργικά και να εκτιμήσει το νόημα των χωρικών μορφών που έχουν δημιουργήσει άλλοι.

Κατά μια έννοια, λοιπόν, η γεωγραφική φαντασία, αποτελεί την ικανότητα που κάνει δυνατές τις διάφορες μορφές γεωγραφικής γνώσης. Μια τέτοια μορφή είναι, για παράδειγμα, η χαρτογραφία. Ακολουθώντας τις Ντελεξιανές προσεγγίσεις των Kim Dovey - Mirjana Ristic και James Corner, θα προσπαθήσουμε να δούμε με ποιον τρόπο ένας χάρτης αποτελεί κάτι πολύ παραπάνω, κάτι διαφορετικό, από μια ακριβή γραφική αναπαράσταση της υφιστάμενης κατάστασης μιας χωρικής επιφάνειας. Ένας πρώτος γενικός ορισμός, που δίνεται για το χάρτη από τους Dovey and Ristic (2017), είναι ότι ο χάρτης αποτελεί γραφική απεικόνιση της χωρικής οργάνωσης μιας περιοχής.

Τι περιλαμβάνει όμως αυτή η απεικόνιση; Ποια είναι η λογική της; Σε τι συνίσταται η διαδικασία της χαρτογράφησης; Όπως χαρακτηριστικά γράφει ο Corner (2011), η χαρτογράφηση ανακαλύπτει νέους κόσμους, στον κόσμο του παρόντος και του παρελθόντος, όσο περιγράφει τον κόσμο, άλλο τόσο τον δημιουργεί. Τι μπορεί να σημαίνει, ωστόσο, ότι ο χάρτης δημιουργεί ή ότι δεν αναπαριστά επακριβώς το χώρο; Πρόκειται για μια αυθαίρετη διαδικασία; Ακολουθώντας τους Deleuze and Guattary, οι Dovey and Ristic, διαχωρίζουν μεταξύ χάρτη και ίχνους. Ενώ το ίχνος, αποτελεί μια απλή αναπαράσταση του πραγματικού, ο χάρτης αποκαλύπτει χωρικές δυνατότητες και κατανοήσεις, οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες στο καθημερινό βλέμμα. Το ίχνος, παρόλα αυτά, αποτελεί την πρώτη ύλη της χαρτογραφικής διαδικασίας. Μπορεί η ουσιαστικότερη και χρησιμότερη λειτουργία του χάρτη να μην είναι η αναπαράσταση, αλλά αποτελεί απαραίτητο συστατικό του. Στο βαθμό που ο χάρτης διαστρεβλώνει τον εμπειρικό χώρο, χάνει σε ισχύ. Έτσι, εν τέλει, ο χάρτης αποτελείται από πολλαπλά ίχνη, δηλαδή από πολλαπλά στοιχεία του εμπειρικού χώρου. Πρόκειται για πειραματισμό με το πραγματικό.

Από την άλλη, ως ουσιωδώς αφαιρετική διαδικασία, η χαρτογράφηση εμπλέκεται σε διαδικασίες επιλογής, απομόνωσης, συνδυασμού, παράλειψης κλπ (Dovey and Ristic, 2017). Σε αυτό έγκειται και η δημιουργική/παραγωγική φύση της χαρτογράφησης, εφόσον οι δυνατότητες διαχείρισης διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας είναι πρακτικά απεριορίστες και προσαρμόζονται στους στόχους και τις προθέσεις του κάθε ατόμου. Στο βαθμό, μάλιστα, που χαρτογραφικοί μηχανισμοί, όπως η κλίμακα, ο προσανατολισμός, η προβολή κοκ, παράγουν απεικονίσεις, οι οποίες δεν μπορούν να συλληφθούν άμεσα μέσω των απλών αισθητικών λειτουργιών του ανθρώπου, και οι οποίες τον αναγκάζουν να αισθανθεί, να σκεφτεί και να νοηματοδοτήσει τον εμπειρικό χώρο

διαφορετικά, μπορεί με ασφάλεια να μιλήσει για την παραγωγή γνώσης. Ο Corner (2011), μάλιστα, μιλάει για παραγωγή γεωγραφίας. Βάσει της σχεσιακής κατανόησης της χαρτογραφικής διαδικασίας, η γεωγραφία δεν είναι κάτι δοσμένο το οποίο αναπαρίσταται από το χάρτη, αλλά κάτι το οποίο παράγεται μέσω της χαρτογράφησης. Μέσω, δηλαδή, μιας διπλής διαδικασίας, που από τη μια μεριά, βρίσκει και εκθέτει δεδομένα και από την άλλη τα συνδυάζει, τα συνδέει και τα δομεί με νέους τρόπους, οι οποίοι είναι προφανώς δυνατοί, αλλά από την άλλη, παραμένουν απλώς δυνητικοί μέχρι κάποιος να τους πραγματώσει, μέσω της χαρτογραφικής πράξης¹.

Στον κλάδο του σχεδιασμού, είναι συχνή η αντιμετώπιση των χαρτών ως απλού εργαλείου αναπαράστασης της υπάρχουσας γεωμετρικής δομής του χώρου και η αγνόησή της δυνατότητας που προσφέρουν για κοινωνική αλλαγή. Παρόμοια είναι και η αντιμετώπισή τους από τη μεριά των υπόλοιπων ανθρωπιστικών επιστημών. Ωστόσο, η χαρτογραφία, και κυρίως οι νέες μορφές της, όπως τα GIS (ΓΣΠ - Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών), μπορεί και πρέπει να γεφυρώσει το κενό μεταξύ των επιπέδων (χωρικού/μαθηματικού και κοινωνικού/ποιοτικού) (Dovey and Ristic, 2017).

Όπως αναφέρει ο Eric Sheppard (2005), η εκταταμένη υιοθέτηση των ΓΣΠ από τον κλάδο της γεωγραφίας, κατά τα τέλη της δεκαετίας του '80 και στις αρχές της δεκαετίας του '90, δίχασε την κοινότητα. Από τη μια μεριά υπήρχαν όσοι, προερχόμενοι κυρίως από μια ανθρωπιστική κατεύθυνση, θεώρησαν πως η φύση της νέας τεχνολογίας είναι εγγενώς ποσοτική και εμπειρική κι έτσι συμβάλει στην επιστροφή των θετικιστικών λογικών. Ενώ, από την άλλη, υπήρχε η ομάδα όσων έβρισκαν αυτή την κριτική, απλοϊκή και απαισιόδοξη. Η ένταση αυτή οδήγησε, εν τέλει, ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του '90 στην ώσμωση μεταξύ των δυο πλευρών.

Πίσω από την κριτική, περί ποσοτικών μεθόδων, βρίσκεται η άποψη πως τέτοιες μέθοδοι είναι κατ' ανάγκη θετικιστικές. Ωστόσο, έχει δειχθεί πολλάκις, πως μια τέτοια

¹ Ένας χρήσιμος παραλληλισμός που ίσως μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση αυτής της άποψης για τη φύση του χάρτη και της χαρτογραφικής πρακτικής, αποτελεί η άποψη του Wittgenstein για τη φύση του μαθηματικών. Προσπαθώντας να δείξει την κενότητα του μαθηματικού πλατωνισμού, ο Wittgenstein περιγράφει τη διαδικασία επινόησης, και όχι ανακάλυψης, των μαθηματικών. Τονίζει πως το ότι είναι δυνατή η χάραξη μιας γραμμής μεταξύ δυο σημείων, δε σημαίνει πως αυτή η γραμμή υπάρχει πριν κάποιος τη χαράξει. Βασισμένος στην απόρριψη της μετατροπής της δυνατότητας σε πραγματικότητα, κριτικάρει τις απόψεις που μιλάνε για τα άπειρα σύνολα αριθμών ως υπαρκτές σειρές άπειρων αριθμών. Αντίθετα, προτείνει πως φράσεις όπως «οι φυσικοί αριθμοί είναι άπειροι», και γενικά η έννοια του απείρου στα μαθηματικά, πρέπει να κατανοούνται ως αναφορές στην απεριόριστη τεχνική επέκταση των σειρών. Υπάρχει μια πραγματική, και απεριόριστη στην εφαρμογή της, τεχνική επινόησης αριθμών, αλλά δεν υπάρχουν άπειροι αριθμοί. Μέχρι να εφαρμόσει κάποιος την τεχνική και να παράξει κάτι, αυτό το κάτι δεν είναι πραγματικότητα (Wittgenstein, 1998).

αναγκαία σύνδεση μεταξύ των δυο είναι αβάσιμη, εφόσον μια τεχνική συλλογής δεδομένων (η οποία αποτελεί μόνο ένα μέρος των σημερινών ΓΣΠ), συγχέεται με ένα επιστημολογικό δόγμα περί του τι μπορεί να γνωσθεί (Kwan, 2002). Επίσης, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το ουσιαστικότερο χαρακτηριστικό της χαρτογραφίας είναι η δημιουργική πτυχή της, η οποία στηρίζεται στις προθέσεις και τους στόχους αυτού που την εξασκεί. Το σημαντικό είναι πως η δομή των ΓΣΠ είναι δεκτική σε ποιοτικές και μικτές χρήσεις.

Η ικανότητα των ΓΣΠ να συνδυάζουν διάφορα είδη και επίπεδα δεδομένων, είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την ανάπτυξη της γεωγραφικής και κοινωνιολογικής φαντασίας για την οποία έγινε λόγος νωρίτερα. Οι πολλαπλές τεχνικές πειραματισμού με τα δεδομένα δίνει την ευκαιρία για την ανάδειξη και κατανόηση του «υπερπροσωπικού» πλαισίου στο οποίο εκτυλίσσονται οι προσωπικές ιστορίες των ατόμων. Η δυνατότητα θέασης φαινομένων σε διαφορετικές γεωγραφικές κλίμακες, όπως και η ευελιξία στην επιλογή των μέσων αναπαράστασής τους (πχ γραφήματα, κείμενο, ήχος, εικόνες κλπ) πολλαπλασιάζει τις δυνατότητες του χρήστη.

Το πώς ο σχεδιασμός, και οι ανθρωπιστικές επιστήμες γενικότερα, μπορούν να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες της σύγχρονης τεχνολογίας εξερεύνησης των χωρικών φαινομένων, έχει συγκεντρώσει αρκετό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Αυτή η ενασχόληση έχει οδηγήσει σε έννοιες όπως: Critical GIS (Sheppard, 2005), Qualitative GIS (Cope and Ellwood, 2009), Spatial Humanities (Bodenhamer et al, 2010). Επιπρόσθετα, τα ΓΣΠ ανοιχτού κώδικα, τα συμμετοχικά ΓΣΠ και υπηρεσίες, όπως το cloud GIS, επιτρέπουν όλο και περισσότερο την προσέγγιση θεωρίας και πράξης, όσον αφορά το συμμετοχικό/συνεργατικό σχεδιασμό. Τέλος, η παραγωγή χωρικών δεδομένων, δηλαδή η πρώτη ύλη για κάθε μορφή χωρικής γνώσης και σχεδιασμού, είναι ευκολότερα προσβάσιμη από ποτέ σε ομάδες δρώντων που παραδοσιακά ήταν αποκλεισμένες από παρόμοιες διαδικασίες. Μέρος της τεχνολογίας που συνεισφέρει σε αυτή την εξέλιξη, αποτελούν τα ΣμηΕΑ που τα τελευταία χρόνια η χρήση τους έχει εξαπλωθεί σε πολλούς διαφορετικούς κλάδους, ενώ με το πέρασμα του χρόνου γίνονται διαθέσιμα σε όλο και μεγαλύτερο αριθμό άτομα. Αυτό το θέμα θα παρουσιαστεί με περισσότερες λεπτομέρειες στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ

2.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ

Η αποτύπωση (surveying) αποτελεί ένα από τα βασικότερα στοιχεία που χαρακτηρίζουν όλα τα έργα των μηχανικών, καθώς συμβάλλει σημαντικά στην εξελικτική πορεία του κάθε τεχνικού έργου. Ουσιαστικά, αποτελεί το μοναδικό εργαλείο, που συνδέει μεταξύ τους όλα τα επιμέρους στοιχεία ενός έργου, από τη σύλληψη του έργου, μέχρι το σχεδιασμό, την κατασκευή του, αλλά και την αντοχή του στο χρόνο. Σε έναν πολύ μεγάλο βαθμό, όλα τα παραπάνω εξαρτώνται κυρίως από τις κατάλληλες έρευνες που διεξάγονται σε κάθε περίπτωση.

Ωστόσο, σε ένα γενικό πλαίσιο, ως αποτύπωση ορίζεται η τέχνη της λήψης/απόκτησης μετρήσεων ή διαστάσεων (περίγραμμα, θέση, όρια, περιοχή, ύψος κλπ) των σχετικών θέσεων των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης και της παρουσίασης αυτών των πληροφοριών με γραφικό ή αριθμητικό τρόπο. Ανάλογα με τον τύπο της έρευνας που διεξάγεται και το βαθμό της απαιτούμενης ακρίβειας, οι αποτυπώσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν θεωρητικές εφαρμογές, καθώς και αρχές και τεχνικές γεωδαισίας, φωτογραμμετρίας και χαρτογράφησης (Survey Services, 2014).

Η αποτύπωση, λοιπόν, αποτελεί τον κυρίαρχο τρόπο με τον οποίο μπορούν να υπολογιστούν τα όρια των εδαφικών εκτάσεων και όλων των χαρακτηριστικών (φυσικών ή ανθρωπογενών) που παρατηρούνται επάνω στη γήινη επιφάνεια. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο, η συμβολή της αποτύπωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς χωρίς αυτήν θα ήταν αδύνατον να ανεγερθούν οικοδομήματα, να κατασκευαστούν οδικοί και σιδηροδρομικοί άξονες και να οριοθετηθούν οι εδαφικές ιδιοκτησίες (Myrayama, 2017).

Όσον αφορά τις ιδιωτικές κτήσεις, μάλιστα, απαιτείται ο ακριβής προσδιορισμός των ορίων τους, σε σχέση με τις γειτνιάζουσές τους, γεγονός που δεν είναι δυνατό να διευθετηθεί χωρίς τη βοήθεια των μεθόδων αποτύπωσης. Μέσω, λοιπόν, ενός σχεδίου έρευνας ο μελετητής αποτυπώνει τη θέση, το μέγεθος και το σχήμα της ακίνητης περιουσίας, καθώς και τις διαστάσεις και τις αποστάσεις μεταξύ των ορίων των κτιρίων ή οποιωνδήποτε άλλων χαρακτηριστικών που βρίσκονται εντός της ιδιοκτησίας. Έτσι, από αυτό το σχέδιο αποτύπωσης της ιδιοκτησίας οριοθετούνται και οι ιδιοκτησίες, αλλά

προστατεύονται και τα δικαιώματα αυτών, γεγονός που αποδεικνύει για άλλη μια φορά τη μεγάλη σημασία που έχει η αποτύπωση ως μέθοδος τεκμηρίωσης (Mriti, 2017).

2.1.1 ANTIKEIMENO THΣ AΠOTYΠΩΣHΣ

Η αποτύπωση αποτελεί το μέσο προσδιορισμού της σχετικής θέσης των σημείων και των αποστάσεων πάνω στην επιφάνεια της γης και χρησιμοποιείται σε όλα τα τεχνικά έργα των μηχανικών. Ωστόσο, το αντικείμενο της αποτύπωσης εξαρτάται κάθε φορά από τον τύπο του εκάστοτε τεχνικού έργου και γι' αυτόν το λόγο ο τοπογράφος (ή γενικότερα ο αρμόδιος μηχανικός) κάθε έργου καλείται να προσδιορίσει εξ αρχής το αντικείμενο της εκάστοτε αποτύπωσης.

Σε γενικές γραμμές όμως, τα κύρια *αντικείμενα* μιας αποτύπωσης είναι:

- Ο προσδιορισμός της σχετικής θέσης οποιωνδήποτε αντικειμένων ή σημείων της γης.
- Ο προσδιορισμός της απόστασης και της γωνίας μεταξύ διαφορετικών αντικειμένων.
- Η δημιουργία ενός χάρτη ή ενός σχεδίου που θα παρουσιάζει μια περιοχή σε οριζόντιο επίπεδο.
- Η ανάπτυξη μεθόδων, με σκοπό τη χρήση τους στο πεδίο, μέσω της σύγχρονης επιστήμης, της γνώσης και της τεχνολογίας.
- Η επίλυση προβλημάτων μέτρησης με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (Civil Engineering, 2017).

2.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η γνώση της αποτύπωσης αποτελεί ένα πολύ μεγάλο και σημαντικό πλεονέκτημα σε πολλές περιπτώσεις του μηχανικού τομέα και αποτελεί εργαλείο ζωτικής σημασία σε οποιοδήποτε μηχανικό έργο.

Η πρώτη ανάγκη για τη χρήση της αποτύπωσης έγκειται στην προετοιμασία ενός σχεδίου μιας συγκεκριμένης περιοχής, στην οποία θα υλοποιηθεί ένα τεχνικό έργο. Μέσα από αυτούς τους χάρτες που θα προκύπτουν από τη διαδικασία της αποτύπωσης μπορεί στη συνέχεια να υπολογιστεί η καλύτερη δυνατή ευθυγράμμιση, ο αριθμός των χωματουργικών εργασιών και να προσδιοριστούν όλες οι απαραίτητες λεπτομέρειες ανάλογα με τη φύση του κάθε έργου. Επομένως, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση όλων των τεχνικών έργων, όπως οι σιδηρόδρομοι, αυτοκινητόδρομοι, σήραγγες, έργα άρδευ-

σης, φράγματα, δεξαμενές, υδροηλεκτρικά έργα, αποχετευτικά έργα, αεροδρόμια, λιμάνια κλπ, βασίζονται στις μετρήσεις των αποτυπώσεων.

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ενός έργου κάθε μέγεθος κατασκευάζεται κατά μήκος των γραμμών και των σημείων που καθορίζονται από την αποτύπωση, ενώ ακόμα και οι μετρήσεις του εδάφους και ο καθορισμός των εδαφικών ορίων, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς τη βοήθεια της αποτύπωσης. Επιπλέον, η οικονομική δυνατότητα για την επίτευξη ενός τεχνικού έργου δεν μπορεί να εξακριβωθεί σωστά χωρίς πρώτα να διεξαχθούν οι κατάλληλες εργασίες αποτύπωσης. Ακόμη και η υλοποίηση μιας υδρογραφικής ή και ωκεανογραφικής χαρτογράφησης απαιτεί την απαραίτητη αποτύπωση, όπου είναι και αυτή που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία κάθε τοπογραφικού χάρτη μιας επιφάνειας της γης (Civil Engineering, 2017).

Με βάση όλα τα παραπάνω, η αποτύπωση αποτελεί το πιο σημαντικό εργαλείο για το μηχανικό, καθώς βοηθάει σε μια πληθώρα εφαρμογών, οι πιο σημαντικές από τις οποίες δίνονται παρακάτω και είναι οι εξής:

1) Η δημιουργία τοπογραφικών χαρτών, οι οποίοι παρουσιάζουν τα φυσικά και τα ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης:

Η τοπογραφική αποτύπωση, η οποία αναλύεται εκτενέστερα στη συνέχεια, αποτελεί ένα σημαντικό τύπο επίγειας αποτύπωσης, που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση και χαρτογράφηση των ισοϋψών καμπυλών του εδάφους, καθώς και των υπαρχόντων χαρακτηριστικών που βρίσκονται επάνω στην επιφάνεια της γης, όπως είναι τα δέντρα, τα κτίρια, τα ρέματα κλπ. Έτσι, προτού ξεκινήσει οποιοδήποτε είδους οικοδομική δραστηριότητα σε μια περιοχή, το σημαντικότερο είναι να πραγματοποιηθεί μια τοπογραφική αποτύπωση αυτής, προκειμένου να υπάρξει μια ακριβής καταγραφή των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή. Ο σκοπός μιας τοπογραφικής αποτύπωσης λοιπόν είναι η συλλογή των δεδομένων, που αφορούν τα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά, καθώς και τα υψόμετρα μιας περιοχής, με σκοπό να κατασκευαστούν οι αντίστοιχοι τοπογραφικοί χάρτες που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια από τους αρχιτέκτονες, τους μηχανικούς και τους κατασκευαστές.

2) Η δημιουργία κτηματολογικών χαρτών, οι οποίοι παρουσιάζουν τα όρια των ιδιοκτησιών και των άλλων δικαιωμάτων χρήσης γης:

Ο κτηματολογικός χάρτης είναι ένας χάρτης που παρέχει αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τις ιδιοκτησίες μιας συγκεκριμένης περιοχής. Μια απλή περίπτωση ενός τέτοιου χάρτη μπορεί να είναι ένας χάρτης ενός χωριού που να δείχνει τα όρια όλων των γηπέδων ή των οικοπέδων μέσα στο χωριό. Χάρτες σαν αυτόν δε δείχνουν μόνο τα

όρια, αλλά και τις διαστάσεις των οικοπέδων, καθώς επίσης παρέχουν και πληροφορίες σχετικά με τα ιδιοκτησιακά δικαιώματα. Επιπλέον, οι χάρτες αυτοί μπορεί να περιγράψουν λεπτομερώς τις διάφορες χρήσεις γης, έτσι ώστε όποιος ενδιαφέρεται για τα μοντέλα χρήσης γης να μπορεί εύκολα να εντοπίσει τις περιοχές ενδιαφέροντος. Μέσω αυτών των χαρτών λοιπόν, καθορίζονται με ακρίβεια τα όρια και η χρήση γης των ιδιοκτησιών, που εκτός των άλλων συμβάλλουν και στην αντιμετώπιση νομικών ζητημάτων που αφορούν διαφωνίες σχετικά με τα ιδιοκτησιακά όρια των περιουσιών.

3) Η δημιουργία χαρτών (engineering map), οι οποίοι παρουσιάζουν με ακρίβεια τις λεπτομέρειες που αφορούν μηχανικά έργα, όπως αυτοκινητόδρομοι, σιδηρόδρομοι, δεξαμενές κλπ:

Ένας χάρτης σαν κι αυτόν παρέχει σημαντικές πληροφορίες για το σχεδιασμό ενός τεχνικού έργου, την εξέλιξή του και την εκτίμηση του κόστους αυτού, αποτελώντας ένα χρήσιμο εργαλείο για τους μηχανικούς και τους εργολάβους που εμπλέκονται στην κατασκευή του έργου.

4) Η δημιουργία χαρτών ισοϋψών καμπυλών, για τον καθορισμό των πρσανών απότομης ή ήπιας κλίσης:

Ένας χάρτης ισοϋψών είναι ένας χάρτης, πάνω στον οποίο απεικονίζονται οι ισοϋψείς γραμμές, οι οποίες δείχνουν τις κοιλάδες και τους λόφους, την απότομη ή την ήπια κλίση των πρσανών. Για αυτόν το λόγο, οι χάρτες αυτοί είναι εξαιρετικά χρήσιμοι για διάφορα τεχνικά έργα, καθώς με βάση αυτούς εντοπίζονται οι κατάλληλες τοποθεσίες για την ανέγερση των έργων αυτών.

5) Ο καθορισμός των οριζόντιων και κάθετων θέσεων των σημείων ελέγχου, κατά την έρευνα ελέγχου που απαιτείται για την ακριβή αποτύπωση:

Μια έρευνα ελέγχου πραγματοποιείται προκειμένου να επιτευχθεί η υψηλότερη δυνατή ακρίβεια. Ο οριζόντιος και ο κάθετος έλεγχος γίνεται ώστε να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο γύρω από το οποίο θα πραγματοποιηθούν όλες οι έρευνες. Ένα σημείο ελέγχου είναι ένα σημείο στο έδαφος ή σε οποιαδήποτε μόνιμη δομή, του οποίου η οριζόντια και η κάθετη θέση είναι γνωστή, με αποτέλεσμα τα σημεία ελέγχου να χρησιμοποιούνται ως σημείο εκκίνησης κάθε είδους αποτύπωσης. Τα επιπρόσθετα σημεία ελέγχου καθορίζονται επί τόπου εάν απαιτείται να εξασφαλιστεί η ακρίβεια τους και η σύνδεσή τους με το εθνικό δίκτυο.

6) Οι αποτυπώσεις που απαιτούνται για τις κατασκευές, την εγκαθίδρυση σημείων, γραμμών, βαθμίδων, για την παρακολούθηση των τεχνικών εργασιών:

Οι τοπογράφοι είναι οι πρώτοι άνθρωποι σε κάθε εργοτάξιο, που μετρούν και χαρτογραφούν την επιφάνεια του εδάφους. Αυτές οι βασικές μετρήσεις χρησιμοποιούνται στη συνέχεια από τους αρχιτέκτονες για να κατανοήσουν και να αξιοποιήσουν στο έπακρο το τοπίο της περιοχής κατά το σχεδιασμό, και τους πολιτικούς μηχανικούς για να σχεδιάζουν με ακρίβεια και ασφάλεια τις κατασκευές, εξασφαλίζοντας ότι τα κτίρια ταιριάζουν στο τοπίο και είναι εφικτό να κατασκευαστούν. Ο επιβλέπων της κατασκευής παρακολουθεί τα σημεία αναφοράς και δημιουργεί δείκτες που καθοδηγούν την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων. Ο σχεδιασμός όλων των τεχνικών έργων, όπως η κατασκευή αυτοκινητόδρομων, γεφυρών, σηράγγων, φραγμάτων κλπ. βασίζονται σε τοπογραφικές μετρήσεις, για αυτόν το λόγο η παρουσία του τοπογράφου, κατά τη διάρκεια της κατασκευής ενός έργου, είναι άκρως απαραίτητη. Εξάλλου, κατά την εκτέλεση, ένα έργο οποιουδήποτε μεγέθους κατασκευάζεται με βάση τα σημεία και τις γραμμές που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της αποτύπωσης (Mriti, 2017).

7) Η αποτύπωση είναι απαραίτητη για τη δημιουργία στρατιωτικών χαρτών, που βοηθάνε στην οργάνωση του στρατηγικού σχεδιασμού.

8) Η αποτύπωση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εξερεύνηση του ορυκτού πλούτου, καθώς επίσης είναι απαραίτητη και στον καθορισμό των γεωλογικών στρωμάτων του φλοιού της γης.

9) Οι αποτυπώσεις, τέλος, χρησιμοποιούνται για την ανεύρεση αρχαιολογικών οικισμών και αντικειμένων, συμβάλλοντας σημαντικά στον τομέα της αρχαιολογίας (Civil Engineering, 2017).

Συνεπώς, υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου η αποτύπωση του εδάφους είναι πολύ σημαντική και οι περισσότερες από αυτές εξαρτώνται από αυτήν, προκειμένου να εξασφαλιστεί η τάξη στον περιβάλλοντα φυσικό χώρο. Χωρίς λοιπόν τις τοπογραφικές αποτυπώσεις, η οριοθέτηση των ιδιοκτησιών γης, καθώς και η ανέγερση των οικοδομημάτων, θα ήταν αδύνατο να λάβει χώρα.

2.1.3 ΕΙΔΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ

Υπάρχουν πολλοί τύποι αποτύπωσης, η ταξινόμηση των οποίων βασίζεται κυρίως στην περιγραφή μιας συγκεκριμένης τοπογραφικής δραστηριότητας, όπως είναι για παράδειγμα οι κατασκευαστικές έρευνες. Μερικές φορές πάλι, η ταξινόμηση καθορίζεται από τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεσή της (δηλαδή γεω-

δαιτικές έρευνες). Παρακάτω δίνονται μερικά από τα είδη της αποτύπωσης, που είναι τα εξής:

- Γεωδαιτικές αποτυπώσεις (Geodetic Surveys): Είναι οι αποτυπώσεις που λαμβάνουν υπόψη το πραγματικό σχήμα της γης και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη δημιουργία δικτύων ελέγχου σε ένα μαθηματικό σύστημα αναφοράς, που προσεγγίζει πολύ καλά το σχήμα της γης. Η εισαγωγή του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS) και του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) έκανε αυτό το είδος αποτύπωσης απαραίτητο για τα περισσότερα έργα.
- Επίπεδες αποτυπώσεις (Plane Surveys): Είναι οι αποτυπώσεις για τις οποίες γίνεται η υπόθεση ότι η γη είναι επίπεδη, με την υπόθεση αυτή να απλουστεύει τις διαδικασίες και τους υπολογισμούς των σχεδίων αποτύπωσης. Για μικρά, απομονωμένα και τοπικά έργα, αυτή η υπόθεση μπορεί να εισάγει μόνο μικρά και αμελητέα σφάλματα.
- Αποτυπώσεις ελέγχου (Control Surveys): Μέσω αυτών των αποτυπώσεων μπορούν να καθοριστούν οι οριζόντιες ή οι κατακόρυφες θέσεις αυθαίρετων σημείων που χρησιμοποιήθηκαν ή θα χρησιμοποιηθούν ως σημεία αναφοράς σε προηγούμενες ή μελλοντικές αποτυπώσεις.
- Αποτύπωση ιδιοκτησιών (Property Surveys): Είναι οι αποτυπώσεις που περιλαμβάνουν την επαναχάραξη και την οριοθέτηση των ιδιοκτησιακών ορίων συμπεριλαμβανομένης και της οδού στην οποία έχει πρόσβαση η ιδιοκτησία. Αυτές οι αποτυπώσεις είναι επίσης γνωστές και ως land or boundary surveys².
- Τοπογραφικές αποτυπώσεις (Topographic Surveys): Είναι οι αποτυπώσεις που προσδιορίζουν τη διαμόρφωση του εδάφους.
- Αποτυπώσεις Μηχανικής (Engineering Surveys): Είναι οι αποτυπώσεις που πραγματοποιούνται για το σχεδιασμό και τον υπολογισμό του κόστους των προκαθορισμένων έργων.
- Αποτυπώσεις οδοποιίας (Route Surveys): Είναι οι αποτυπώσεις που πραγματοποιούνται για τον εντοπισμό, το σχεδιασμό και την κατασκευή εγκαταστάσεων μεταφορών.

² Αποτύπωση ορίων (Boundary Survey): Είναι η αποτύπωση μέσω της οποίας προσδιορίζεται το μήκος και η κατεύθυνση των χερσαίων γραμμών, καθώς και η θέση αυτών των γραμμών στο έδαφος (Myrayama, 2017).

- Κατασκευαστικές αποτυπώσεις (Construction Surveys): Είναι οι αποτυπώσεις κατά τις οποίες τοποθετούνται πάσσαλοι στο έδαφος και άλλα σημεία αναφοράς, σε γνωστές οριζόντιες και κατακόρυφες θέσεις για τον καθορισμό της θέσης και το μέγεθος των σταθερών στοιχείων της προκαθορισμένης εργασίας, καθιστώντας τα ικανά για τον έλεγχο των στοιχείων αυτών και χρησιμοποιώντας ως βάση για την πλήρωση της εργασίας.
- Υδρογραφικές αποτυπώσεις (Hydrographic Surveys): Είναι οι αποτυπώσεις που καθορίζουν τη διαμόρφωση του κατώτατου σημείου του υδροφόρου ορίζοντα.
- Εναέρια αποτύπωση ή φωτογραμμετρία (Aerial Survey or Photogrammetry): Η οποία αποτελεί μια μέθοδο μέτρησης, η οποία εφαρμόζεται σε διάφορες τοπογραφικές δραστηριότητες. Συνήθως, χρησιμοποιεί αεροφωτογραφίες και εξειδικευμένο εξοπλισμό γραφείου για τη μηχανική, την τοπογραφική ή και άλλες αποτυπώσεις (Survey Services, 2014).
- Αποτύπωση ορίων (Boundary Survey): Είναι η αποτύπωση μέσω της οποίας προσδιορίζεται το μήκος και η κατεύθυνση των χερσαίων γραμμών, καθώς και η θέση αυτών των γραμμών στο έδαφος.
- Μεταλλευτική αποτύπωση (Mining Survey): Με την αποτύπωση αυτή γίνεται ο έλεγχος, ο εντοπισμός και η χαρτογράφηση των υπόγειων και επιφανειακών εργασιών, που σχετίζονται με την εξορυκτική δραστηριότητα.
- Αστρονομική αποτύπωση (Astronomical Survey): Η αποτύπωση αυτή περιλαμβάνει την απεικόνιση ή "χαρτογράφηση" περιοχών του ουρανού με τη χρήση τηλεσκοπίων (Myrayama, 2017).

2.2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ

Ο όρος *τοπογραφία* αναφέρεται στην περιγραφή ή την αναπαράσταση των φυσικών χαρακτηριστικών και ανθρωπογενών κατασκευών - επεμβάσεων της επιφάνειας της γης πάνω σε ένα χάρτη, χρησιμοποιείται δηλαδή, προκειμένου να καθοριστεί η διαμόρφωση του εδάφους. Κατ' επέκταση, η *τοπογραφική αποτύπωση* περιλαμβάνει τον καθορισμό των ισοϋψών και του μεσοδιαστήματος της επιφάνειας της γης πάνω και κάτω από τη στάθμη της θάλασσας με βάση ένα συγκεκριμένο σύστημα ελέγχου. Οι αποτυπώσεις αυτές της επιφάνειας της γης μπορούν να γίνουν με εναέριο, φωτογραμμετρικό ή και επίγειο τρόπο και περιλαμβάνουν την καταγραφή των φυσικών χαρακτηρι-

στικών της επιφάνειας της γης, όπως είναι οι λόφοι, τα ρέματα, οι κοιλάδες κλπ, αλλά και των ανθρωπογενών κατασκευών - επεμβάσεων, όπως είναι οι δρόμοι, οι γέφυρες, οι σιδηρόδρομοι κλπ. Οι αποτυπώσεις αυτές χρησιμοποιούνται εν συνεχεία για την παραγωγή αντίστοιχων τοπογραφικών χαρτών (Survey Services, 2014).

Έτσι, ένας τοπογραφικός χάρτης είναι το σχέδιο που δείχνει τα φυσικά και τεχνητά χαρακτηριστικά μιας περιοχής, ενώ η τοπογραφική έρευνα διεξάγεται για την απόκτηση των δεδομένων που απαιτούνται για την προετοιμασία του τοπογραφικού χάρτη (NavyBRM, 2017).

Έτσι λοιπόν, ενώ η συνηθισμένη εδαφική αποτύπωση ασχολείται πρωτίστως με τη χάραξη των ορίων ενός γηπέδου, μια τοπογραφική έρευνα ασχολείται αρχικά με την παρατήρηση των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών του ίδιου του εδάφους, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν λόφους, χαράδρες, ρέματα, δέντρα, φράχτες, κτίρια κι άλλες ανθρώπινες κατασκευές. Μια τοπογραφική έρευνα δείχνει τη θέση, το μέγεθος και το ύψος αυτών των κατασκευών, καθώς και τις υψομετρικές διαφορές του εδάφους (ισοϋψείς καμπύλες).

Σε αντίθεση με την αποτύπωση μιας αστικής περιοχής, μια τοπογραφική αποτύπωση επικεντρώνεται περισσότερο στις μετρήσεις του υψομέτρου, παρά στις οριζόντιες μετρήσεις. Οι περισσότερες από αυτές τις μετρήσεις λαμβάνονται είτε με GNSS συστήματα υψηλής ακρίβειας, είτε με ολοκληρωμένους ηλεκτρονικούς γεωδαιτικούς σταθμούς (Total Station - ηλεκτρονικό ταχύμετρο), με τα αποτελέσματα της τοπογραφικής αποτύπωσης να σχεδιάζονται ως ισοϋψείς γραμμές επάνω σε ένα χάρτη. Σήμερα, εξελιγμένα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών επιτρέπουν τις ψηφιακές μορφές αυτών των χαρτών, καθώς και τις διαδραστικές υψομετρικές προβολές. Τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σχεδιαστικά προγράμματα CAD, όπου μπορούν να χειριστούν από μηχανικούς, αρχιτέκτονες κά με την τοπογραφία να βελτιώνεται διαρκώς (Point to Point Land Surveyors, 2018).

2.2.1 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Οι τοπογραφικές εδαφικές αποτυπώσεις χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, κάποιες από τις οποίες περιγράφονται παρακάτω.

Έτσι λοιπόν, σχεδόν όλα τα κατασκευαστικά έργα ξεκινούν με μια τοπογραφική αποτύπωση, η οποία περιγράφει την αρχική κατάσταση της εδαφικής έκτασης, πάνω στην οποία θα κατασκευαστούν στη συνέχεια τα τεχνικά αυτά έργα, ενώ επίσης οι απο-

τυπώσεις υλοποιούνται προκειμένου να προσδιοριστούν τα ακριβή όρια των ιδιοκτησιών, προσδιορίζοντας τα πραγματικά όρια του ακινήτου/οικοπέδου.

Ακόμη, μια τοπογραφική αποτύπωση είναι πολύ χρήσιμη για ορισμένες περιοχές που χαρακτηρίζονται από πολύ απότομα πρανή, η ύπαρξη των οποίων περιορίζει σημαντικά την αξιοποίηση αυτών των εδαφών, με οποιονδήποτε τρόπο. Για αυτόν το λόγο, μια ακριβής τοπογραφική αποτύπωση στην περίπτωση αυτή, είναι σε θέση να διασφαλίσει ότι η κατασκευή οποιουδήποτε τεχνικού έργου θα ταιριάζει και θα εναρμονίζεται απόλυτα στους περιορισμούς που θέτει μια περιοχή σαν κι αυτή (Newman, 2013).

Οι πολιτικοί μηχανικοί και οι αρχιτέκτονες χρησιμοποιούν τις αποτυπώσεις αυτές ως βοήθημα για το σχεδιασμό κτιρίων, καθώς και για τις άλλες κατασκευές που μπορεί να βρίσκονται μέσα στο εκάστοτε ακίνητο, καθώς τα υπάρχοντα χαρακτηριστικά του ακινήτου μπορούν να επηρεάσουν το σχεδιασμό και τις αποφάσεις, σχετικά με το πού μπορούν ή όχι να κατασκευαστούν τα νέα κτήρια μέσα στην ιδιοκτησία.

Επιπλέον, οι τοπογραφικές αποτυπώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη δημιουργία σχεδίων για τάφρους αποστράγγισης, δημιουργία αναβαθμίδων ή άλλων χαρακτηριστικών, χρησιμοποιώντας το φυσικό τοπίο ως βάση για την υλοποίηση των έργων αυτών.

Επιπρόσθετα, οι τοπογραφικές αποτυπώσεις ενδέχεται να απαιτούνται από τις κυβερνητικές υπηρεσίες για διάφορους λόγους, όπως για παράδειγμα, ως ρυθμιστικές απαιτήσεις για κατασκευαστικούς κώδικες ή ως συστατικό μέρος των έργων περιβαλλοντικής αποκατάστασης.

Τέλος, οι τοπογραφικές αποτυπώσεις είναι χρήσιμες όταν αναπλάθεται ένα γήπεδο, το οποίο χρησιμοποιούνταν κατά το παρελθόν και πρόκειται να χρησιμοποιηθεί εκ νέου (πχ ένα εγκαταλελειμμένο λατομείο ή ένας χώρος υγειονομικής ταφής, ένας χώρος στον οποίο κατεδαφίστηκε ένα κτίριο ή σε έναν τόπο όπου αλλάζουν τα τοπογραφικά δεδομένα). Σε αυτές τις περιπτώσεις, μια τοπογραφική έρευνα παρέχει μια ακριβή εικόνα του τρόπου με τον οποίο έχει αλλάξει η χρήση γης των συγκεκριμένων αγροτεμαχίων, επιτρέποντας τον καλύτερο προγραμματισμό για τη μελλοντική τους χρήση (Point to Point Land Surveyors, 2018).

2.2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ – ΕΙΔΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Τα είδη της τοπογραφικής αποτύπωσης είναι δύο και είναι γνωστά ως (α) συμβατική/παραδοσιακή μέθοδος αποτύπωσης και (β) εναέρια μέθοδος αποτύπωσης.

Πιο συγκεκριμένα, μια συμβατική τοπογραφική αποτύπωση πραγματοποιείται πάνω στην επιφάνεια της γης από τοπογράφους, συνήθως με ένα όργανο που ονομάζεται «ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός», με τους τοπογράφους σήμερα, να χρησιμοποιούν όργανα GNSS για την υλοποίηση αυτού του τύπου αποτύπωσης. Είτε με τον ένα τρόπο, είτε με τον άλλο, αυτό αποτελεί μια χειρωνακτική εργασία, κατά την οποία ο τοπογράφος πρέπει να περπατήσει το σύνολο της έκτασης που αποτυπώνει, λαμβάνοντας μετρήσεις (οριζόντια θέση και υψόμετρο) σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, προκειμένου να ικανοποιήσει τις ακρίβειες που απαιτεί το εκάστοτε έργο.

Από την άλλη πλευρά, μια εναέρια τοπογραφική αποτύπωση γίνεται από αεροφωτογραφίες που λαμβάνονται από αεροπλάνο ή ελικόπτερο σε ορισμένη απόσταση από το έδαφος. Οι αεροφωτογραφίες έπειτα, προβάλλονται από κοινού για να σχηματίσουν ένα στερεοζεύγος που επιτρέπει στο χαρτογράφο να «απεικονίσει» την επιφάνεια του εδάφους. Ο τρόπος με τον οποίο εξετάζονται δύο επικαλυπτόμενες αεροφωτογραφίες, έγκειται ακριβώς στον τρόπο, με τον οποίο αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος νους το βάθος χρησιμοποιώντας και τα δύο του μάτια. Ένα κοινό σημείο φαίνεται από δύο διαφορετικές θέσεις, με αποτέλεσμα ο ανθρώπινος εγκέφαλος να μπορεί να αντιληφθεί τη σχετική απόσταση (βάθος) μακριά από τα μάτια του και για αυτόν το λόγο με μόνο μία φωτογραφία ή ένα μάτι ανοιχτό, κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει αντιληπτό.

Συνήθως λοιπόν, όταν απαιτείται μεγάλη υψομετρική και οριζοντιογραφική ακρίβεια χρησιμοποιείται η συμβατική μέθοδος, καθώς η διαδικασία της εναέριας χαρτογράφησης είναι πιο περιορισμένη σε ακρίβεια, τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφη θέση των σημείων στην επιφάνεια της γης. Το τελικό προϊόν μιας τοπογραφικής αποτύπωσης είναι ένας χάρτης (σε ηλεκτρονική μορφή πλέον), στον οποίο απεικονίζονται όλα τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά που καταγράφηκαν μαζί με τις ισούψεις που αντιπροσωπεύουν τις υψομετρικές διαβαθμίσεις του εδάφους (Newman, 2013).

2.3 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ

Η φωτογραμμετρία αποτελεί μια μέθοδο αποτύπωσης και χαρτογράφησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών, όπως η τοπογραφική χαρτογράφηση, ο χωροταξικός σχεδιασμός, η εκτίμηση του όγκου χωματουργικών έργων για προ-

τεινόμενες οδούς, η δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEM) και η κατασκευή ορθοφωτοχάρτων³ (Pillay, 2015).

Πιο συγκεκριμένα, ο όρος *φωτογραμμετρία* προέρχεται από τις λέξεις "φωτογραφία" και "μετρητής", εννοώντας τις μετρήσεις που προέρχονται από τις φωτογραφίες. Ο κλασικός ορισμός που έχει δοθεί για την έννοια αυτή χαρακτηρίζει τη φωτογραμμετρία ως την τέχνη, την επιστήμη και την τεχνολογία της απόκτησης αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με τα φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον, μέσω διαδικασιών καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας αυτών από φωτογραφίες. Η φωτογραμμετρία ορίζεται λοιπόν ως «τέχνη», διότι η απόκτηση αξιόπιστων μετρήσεων, που πρέπει να γίνει από ένα άτομο, απαιτεί από αυτόν συγκεκριμένες δεξιότητες, τεχνικές, αλλά και κριτική ικανότητα. Επιπλέον, ορίζεται ως «επιστήμη», αλλά και «τεχνολογία», καθώς μέσω αυτής, λαμβάνεται μια εικόνα, η οποία επεξεργάζεται με τη βοήθεια της τεχνολογίας, δίνοντας τελικά σημαντικές πληροφορίες. Η σύγχρονη φωτογραμμετρία μάλιστα, περιλαμβάνει εκτός από τις αεροφωτογραφίες και άλλες πηγές εικόνας, όπως είναι οι εικόνες ραντάρ.

Η φωτογραμμετρική διαδικασία αποτελείται από το σχεδιασμό της μελέτης, την απόκτηση της εικόνας, την επεξεργασία της εικόνας, τον έλεγχο των δεδομένων για τον προσανατολισμό της εικόνας, τη συλλογή των δεδομένων και την παρουσίαση ενός τελικού προϊόντος. Το τελικό προϊόν της φωτογραμμετρικής διαδικασίας μπορεί να συνδυάζει τιμές μεμονωμένων σημείων, μια γραφική αναπαράσταση της επιφάνειας του εδάφους (τοπογραφικός χάρτης) ή μια διορθωμένη εικόνα της επιφάνειας του εδάφους με χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του χάρτη (ορθοφωτογραφία).

Οι εικόνες που χρησιμοποιούνται στη φωτογραμμετρία μπορεί να προέρχονται από μια ειδική (μετρική) κάμερα, μία απλή κάμερα ή από ψηφιακούς αισθητήρες. Η εικόνα μπορεί να καταγραφεί από μια συσκευή τοποθετημένη σε δορυφόρο, σε αεροπλάνο ή πτητική πλατφόρμα (συμπεριλαμβανομένων των ελικοπτέρων και των ΣμηΕΑ) ή σε τρίποδο (επίγεια φωτογραμμετρία) που έχει τοποθετηθεί στο έδαφος. Πλέον όμως, η φωτογραμμετρία αποτελεί μια τεχνική τηλεπισκόπησης, όπου έπειτα από τις τελευ-

³ Η ορθοφωτογραφία είναι μια αεροφωτογραφία η οποία έχει υποστεί διόρθωση λόγω αναγλύφου (ορθοδιόρθωση) με συνέπεια να αποκτήσει ενιαία κλίμακα και γεωαναφορά (είναι δηλαδή ενταγμένη σε ένα σύστημα συντεταγμένων). Μια ορθοφωτογραφία προέρχεται από τη συνένωση ορθοδιορθωμένων αεροφωτογραφιών. Ο ορθοφωτοχάρτης αποτελείται από ορθοφωτογραφίες επί των οποίων έχουν προστεθεί και διανυσματικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα υψομετρικές καμπύλες, περιγράμματα δρόμων ή ιδιοκτησιών, τοπωνύμια κλπ. Τόσο οι ορθοφωτογραφίες όσο και οι ορθοφωτοχάρτες διατίθενται με στοιχεία γεωαναφοράς και κατ' επιλογήν με υψομετρικά δεδομένα (Geomatics, 2012).

ταίες καινοτομίες που έλαβαν χώρα στον τομέα αυτό, χρησιμοποιεί μια εναέρια κάμερα υψηλής ανάλυσης με κίνηση προς τα μπροστά (with forward motion compensation), καθώς και την τεχνολογία των GNSS για την πιλοτική καθοδήγηση σχετικά με την καθορισμένη λήψη ζευγών φωτογραφιών. Γι' αυτόν το λόγο, η φωτογραμμετρία αποτελεί τη βάση πολλών μελετών που στηρίζονται σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και Σύστημα Πληροφοριών Γης (LIS) (Survey Services, 2014).

2.3.1 ΤΥΠΟΙ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Η φωτογραμμετρία διακρίνεται σε δύο τύπους, που είναι η Εναέρια Φωτογραμμετρία (Aerial Photogrammetry) και η Επίγεια Φωτογραμμετρία (Terrestrial Photogrammetry) (κοντινής εμβέλειας). Πιο συγκεκριμένα:

- η ψηφιακή εναέρια φωτογραμμετρία, που χρησιμοποιείται συχνά στην τοπογραφική χαρτογράφηση, πραγματοποιείται με ψηφιακές φωτογραφίες ή βίντεο, που λαμβάνονται από μια φωτογραφική μηχανή που είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος ενός αεροπλάνου. Το αεροπλάνο αυτό πετάει συχνά πάνω από την περιοχή κάνοντας μια ελικοειδή διαδρομή πτήσης, προκειμένου να λάβει επικαλυπτόμενες φωτογραφίες ή βίντεο ολόκληρης της περιοχής, έχοντας μια πλήρη κάλυψη
- η κοντινής εμβέλειας ή η επίγεια ψηφιακή φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί συχνά φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από κοντινή απόσταση από κάμερες χειρός ή κάμερες που είναι τοποθετημένες επάνω σε τρίποδο. Οι φωτογραφίες κοντινής εμβέλειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, αλλά δεν χρησιμοποιούνται συνήθως στην τοπογραφική χαρτογράφηση. Αυτός ο τύπος φωτογραμμετρίας είναι χρήσιμος για την 3D μοντελοποίηση πολλών αντικειμένων ή περιοχών, όπως είναι τα κτίρια, οι σκηνές αυτοκινητιστικών ατυχημάτων ή σκηνές κινηματογραφικών ταινιών (Pillay, 2015).

2.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Οι αποτυπώσεις που γίνονται μέσω εναέριας φωτογραμμετρίας παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, συγκριτικά με επίγειες μεθόδους αποτύπωσης.

Έτσι λοιπόν, τα πλεονεκτήματα της εναέριας φωτογραμμετρίας είναι τα εξής:

1. Οι φωτογραφίες παρέχουν μια μόνιμη καταγραφή των υφισταμένων συνθηκών του εδάφους κατά το χρόνο λήψης της φωτογραφίας.
2. Οι φωτογραφίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση πληροφοριών στο ευρύ κοινό, αλλά και σε άλλες ομοσπονδιακές, κρατικές ή τοπικές υπηρεσίες.
3. Η τοπογραφική χαρτογράφηση και τα DTMs (Digital Terrain Model) μεγάλων περιοχών μπορούν να επιτευχθούν σχετικά γρήγορα, πιο επιμελώς και με χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους αποτύπωσης.
4. Η εναέρια φωτογραμμετρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές που είναι δύσκολο ή αδύνατο να υπάρξει πρόσβαση από την επιφάνεια του εδάφους (CDOT, 2015).
5. Η λήψη των φωτογραφιών βοηθά επίσης στην ελαχιστοποίηση της εργασίας πεδίου. Με αυτόν τον τρόπο, εάν λείπουν κάποια δεδομένα ή πληροφορίες που πρέπει να επανεκτιμηθούν, δεν είναι απαραίτητη η επιστροφή και επανεξέταση στο πεδίο, καθώς οι απαιτούμενες μετρήσεις μπορούν να γίνουν στο γραφείο χρησιμοποιώντας ως βάση την ίδια τη φωτογραφία. Έτσι, αυτές οι νέες πληροφορίες αποκτώνται ταχύτερα, καθώς περιορίζεται η εργασία στο πεδίο.
6. Όταν απαιτείται αναλυτική αποτύπωση των αυτοκινητόδρομων, ωστόσο δεν είναι δυνατόν να κλείσουν οι δρόμοι ή να διαταραχθεί η ελεύθερη ροή της κυκλοφορίας, αλλά ούτε και να βρίσκεται η ομάδα ατόμων που θα κάνει την αποτύπωση για μεγάλο χρονικό διάστημα στο δρόμο διακινδυνεύοντας την ασφάλειά της, τα οδικά χαρακτηριστικά και τα σημαντικά δεδομένα για την αποτύπωση αυτή μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα στο γραφείο μέσω των κατάλληλων μετρήσεων που μπορούν να προκύψουν από τις φωτογραφίες.
7. Η ορατότητα μεταξύ των σημείων ελέγχου και της περιοχής που ερευνάται δεν είναι απαραίτητη, με αποτέλεσμα αυτό να ελαχιστοποιεί τις επιπλέον έρευνες και έτσι κάθε σημείο εντός της χαρτογραφημένης περιοχής να μπορεί να προσδιοριστεί χωρίς επιπλέον οικονομικό κόστος (Pillay, 2015).

Όσον αφορά τα *μειονεκτήματα* της εναέριας φωτογραμμετρίας, αυτά αναφέρονται στα εξής:

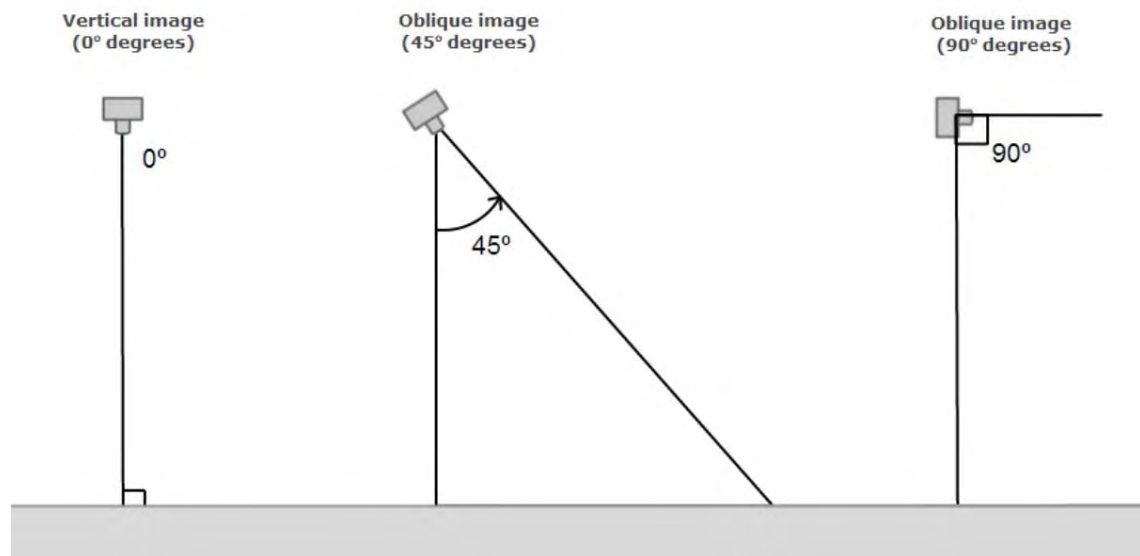
1. Οι εποχιακές συνθήκες, συμπεριλαμβάνοντας σε αυτές τις καιρικές συνθήκες, τη βλάστηση και τις σκιάσεις του εδάφους, μπορούν να επηρεάσουν τόσο το σχέδιο πτήσης και τη λήψη των φωτογραφιών, όσο και την τελική ποιότητα της μέτρησης. Σε περιπτώσεις όπου το έδαφος καλύπτεται από χιόνι, οι μετρήσεις

- δίνουν μια ψευδή αναπαράσταση του εδάφους, ενώ εάν το έδαφος δεν είναι ορατό στη φωτογραφία, δεν είναι δυνατό να χαρτογραφηθεί.
2. Η συνολική ακρίβεια των μετρήσεων σχετίζεται με την ποιότητα της κάμερας, καθώς και το ύψος της πτήσης. Τα υψόμετρα που προκύπτουν από τη φωτογραμμετρία είναι λιγότερο ακριβή από τις επίγειες αποτυπώσεις (σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους ή τις επίγειες μεθόδους αποτύπωσης GNSS με κατάλληλες διαδικασίες ανύψωσης).
 3. Η ταυτοποίηση των χαρακτηριστικών της επιφάνειας μπορεί να καταστεί πολλές φορές δύσκολη ή και αδύνατη (πχ τύπος αναβαθμίδας και υδρορροής, τύπος περιφράξεων και πληροφορίες σχετικά με τα επίγεια σημάδια).
 4. Τα υπόγεια χαρακτηριστικά δεν μπορούν να εντοπιστούν, να μετρηθούν ή να αναγνωριστούν.
 5. Τα μνημεία, τα όρια του οδοστρώματος και των ιδιοκτησιών, δεν μπορούν να εντοπιστούν, να μετρηθούν ή να αναγνωριστούν εύκολα, ωστόσο αυτό εξαρτάται από το ύψος της πτήσης και από την ακρίβεια των εδαφικών σημείων ελέγχου.
 6. Δεδομένου ότι τα φωτογραμμετρικά χαρακτηριστικά συλλέγονται από την κάτοψη των φωτογραφιών, τα κτίρια μετρώνται από τις προεξοχές και τα άκρα της στέγης και όχι από τη βάση τους, επηρεάζοντας τα αποτελέσματα του DTM στις περιοχές κάτω από τις προεξοχές των κτιρίων, τις στέγες και των περιοχών που βρίσκονται κάτω από γέφυρες. Έτσι, όταν το έδαφος κρύβεται από δομές, όπως είναι τα κτίρια και η βλάστηση, η χαρτογράφησή τους δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια.
 7. Τέλος, σε γενικές γραμμές η εναέρια φωτογραμμετρία δεν μπορεί να παράγει το ίδιο επίπεδο ακρίβειας με αυτό των παραδοσιακών μεθόδων αποτύπωσης που λαμβάνουν χώρα στο πεδίο μελέτης (CDOT, 2015; Pillay, 2015).

2.3.3 ΠΛΑΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ (OBLIQUE IMAGERY)

Η *πλάγια αερομεταφερόμενη – εναέρια φωτογραμμετρία* (Oblique airborne photogrammetry) έχει ήδη αρχίσει να εισέρχεται με γρήγορους ρυθμούς στη ροή εργασιών πολλών μελετών, προσπαθώντας να αντικαταστήσει την παραδοσιακή μέθοδο, που βασίζεται μόνο στη λήψη κάθετων εικόνων (Εικόνα 2.1). Έτσι, πολλές εφαρμογές ενστερνίζονται τα πλεονεκτήματα της εναέριας κεκλιμένης γεωμετρικής προβολής, η

οποία είναι πολύ κοντά στην ανθρώπινη αντίληψη, όσον αφορά στις εικόνες που βλέπει κάποιος όταν στέκεται όρθιος στο έδαφος (Remondino and Gerke, 2015).



Εικόνα 2.1: Κατακόρυφη (vertical) και πλάγια (oblique) λήψη εικόνων

(Πηγή: Pix4D (2011-2018))

Τα τελευταία χρόνια πολλές μελέτες αναγνώρισαν αυτά τα πλεονεκτήματα της χρήσης των πλάγιων εναέριων φωτογραφιών (airborne oblique images) για τη δημιουργία τρισδιάστατων (3D) μοντέλων πόλεων, που αποτελούν και από τις πρώτες εφαρμογές στις οποίες και χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες αυτές, με τις πλάγιες αεροφωτογραφίες να θεωρούνται ως επί το πλείστον, πηγή δεδομένων για τις αστικές περιοχές (Ostrowski, 2016). Το μεγάλο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, αλλά και των προγραμματιστών (software developers) στη χρήση εναέριων πλάγιων εικόνων για την κατασκευή των 3D μοντέλων έκανε τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής ιδιαίτερα εμφανή. Κατά συνέπεια, η μέθοδος ξεκίνησε να χρησιμοποιείται δοκιμαστικά από το 2008 έως το 2009, ωστόσο, η πρόσφατη ενσωμάτωση των *computer vision* αλγορίθμων σε κοινά λογισμικά εργαλεία, αυξάνουν σημαντικά τις δυνατότητες της μεθόδου αυτής (Aicardi et al., 2016).

Η δυνατότητα επέκτασης της διδιάστατης απεικόνισης στην τρίτη διάσταση είναι μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις, που έλαβαν χώρα τα τελευταία χρόνια, στην τεχνολογία των GIS. Η μοντελοποίηση αντικειμένων σε τρισδιάστατη μορφή, ήταν πολύ χρήσιμη για ορισμένες αστικές εφαρμογές, όπως ο προγραμματισμός, η διαχείριση, η αναπαράσταση των αστικών περιοχών κλπ. Γι' αυτό το λόγο, τα μοντέλα αυτά δια-

δραματίζουν όλο και πιο σημαντικό ρόλο στο GIS, αποτελώντας πλέον ένα από τα πιο αναπτυσσόμενα ερευνητικά θέματα στην τεχνολογία της φωτογραμμετρίας (Yalcin and Selcuk, 2014).

Όσον αφορά ένα 3D μοντέλο μιας αστικής περιοχής, ο πυκνός συνδυασμός (υψηλή επικάλυψη) των πλάγιων εικόνων επιτρέπει να συμπεριληφθεί σε αυτό το μοντέλο και η πρόσοψη, αλλά και το «ίχνος» (footprint)⁴ των κτιρίων, γεγονός που βελτιστοποιεί την αναπαράσταση των κτιρίων αυτών, σε σύγκριση με τη μέχρι πρότινος αναπαράσταση τους από απλά ψηφιακά μοντέλα επιφάνειας εδάφους (Digital Surface Models – DSM).

Η χρήση αυτών των πιο σύνθετων 3D μοντέλων, είναι μια ιδιαίτερα χρήσιμη τεχνική για τη βελτίωση της ανάλυσης των εικόνων, που εξυπηρετεί διάφορους σκοπούς, που σχετίζονται με την πολιτική, την πολεοδομία, τη διαχείριση των πόλεων κλπ, επιτρέποντας τη συλλογή περίπλοκων και ολοκληρωμένων πληροφοριών σε σύντομο χρονικό διάστημα, αποτελώντας ένα μεγάλο πλεονέκτημα χαρτογράφησης και τεκμηρίωσης. Επιπλέον, η μέθοδος είναι απολύτως μη επεμβατική, καθώς επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων από απομακρυσμένες περιοχές, χωρίς να χρειάζεται η άμεση επαφή με την τοποθεσία που μελετάται, ενώ όσον αφορά τα κτίρια, επιτρέπει την πρόσβαση και αποτύπωση των ανωτέρων τμημάτων αυτών, τα οποία είναι δύσκολο να καταγραφούν με άλλες τεχνικές, όπως για παράδειγμα με έναν επίγειο σαρωτή λέιζερ (Terrestrial Laser Scanner – TLS) (Aicardi et al., 2016).

Όταν οι πλάγιες αυτές απεικονίσεις εφαρμόζονται στη γεωμετρία των κτιρίων η οποία έχει αποδοθεί σε ένα 3D μοντέλο, αυτές παρέχουν υφές που προσδίδουν φωτορεαλιστικά μοντέλα του δομημένου αστικού περιβάλλοντος, με τις εικόνες να είναι πιο λεπτομερείς, χωρίς όμως να αυξάνεται η γεωμετρική πολυπλοκότητα (Lemmens, 2014).

Για τη δημιουργία τέτοιων μοντέλων, σε πολλές έρευνες, έχουν χρησιμοποιηθεί εικόνες που έχουν ληφθεί από πτήσεις μεγάλων υψομέτρων, που επιτυγχάνουν ακρίβειες κατάλληλες για συνήθη χαρτογράφηση και ανάλυση σε αστική κλίμακα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα, που προήλθαν από πλάγιες εικόνες για τη δημιουργία 3D μοντέλων, χρησιμοποιώντας μια παραμετρική προσέγγιση.

Ωστόσο, οι παραπάνω τεχνικές δεν είναι αποτελεσματικές στις περιπτώσεις που απαιτείται πολύ μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια αποτύπωσης, γεγονός που επι-

⁴ Το 2010 οι Nyaruhuma et al., πρότειναν μια αυτοματοποιημένη μέθοδο επαλήθευσης των διανυσματικών δεδομένων του αποτυπώματος (footprint) των κτιρίων. Αυτοί εφάρμοσαν έναν αλγόριθμο ψηφιακής προσαρμογής των προσόψεων των κτιρίων, ο οποίος επέτρεψε την ανίχνευση της περιοχής κατεδάφισης ενός κτιρίου.

τυγχάνεται με την απόκτηση αντίστοιχων φωτογραφιών από μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Unmanned Aerial Vehicle – UAV), οι οποίες επιτρέπουν τη δημιουργία εξαιρετικά λεπτομερών DSMs των εξεταζόμενων αντικειμένων.

Στη σημερινή εποχή, η φωτογραμμετρική απόκτηση εικόνων από UAVs είναι αρκετά καλά εγκαθιδρυμένη, δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια των ετών πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές για την επίτευξη βέλτιστων πρακτικών ακριβείας. Ωστόσο, στην περίπτωση των πλάγιων εικόνων, η επιλογή του καλύτερου σχεδιασμού πτήσης, που να είναι σε θέση να καλύψει ολόκληρο το αντικείμενο μελέτης στον ελάχιστο χρόνο πτήσης, παραμένει ακόμη το κύριο πρόβλημα στις περιπτώσεις αυτές. Στην προκειμένη, μπορούν να αξιολογηθούν διαφορετικές προσεγγίσεις, καθώς η χρήση πλάγιων εικόνων μπορεί να επιτρέψει την παρατήρηση των κατακόρυφων δομών, παρ' όλα αυτά πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι διαφωνίες που δημιουργούνται σχετικά με το ζήτημα αυτό (Aicardi et al, 2016).

Για το λόγο αυτό, διαφορετικές διατάξεις της φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποιείται στις αποτυπώσεις αυτές, έχουν αξιολογηθεί από την επιστημονική κοινότητα, κατά τη διάρκεια των ετών. Αυτά τα συστήματα πολλαπλών φωτογραφικών μηχανών, που χρησιμοποιούνται για τη λήψη πλάγιων φωτογραφιών (oblique multi-camera systems), υπάγονται σε διαφορετικές διατάξεις, στις οποίες μεταβάλλεται ο αριθμός των αισθητήρων, η μορφή, η διάταξη, ο τρόπος απόκτησης, η φασματική ευαισθησία κλπ και διακρίνονται ως εξής:

- Διάταξη Maltese-cross: είναι η πιο συνηθισμένη διάταξη και αποτελείται από μία μόνο φωτογραφική μηχανή nadir και τέσσερις κάμερες με κλίση προς τις κύριες κατευθύνσεις κατά 40° - 50° . Αυτή η διάταξη μπορεί να φιλοξενήσει μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους κάμερες.
- Διάταξη ανεμιστήρων: αποτελείται κυρίως από δύο κάμερες, με την πιο καινοτόμο λύση που προσφέρεται από το VisionMap (αισθητήρας A3) (είναι ένα σύστημα σάρωσης το οποίο απαθανατίζει μέχρι και 64 εικόνες ανά σάρωση που αντιστοιχεί σε οπτικό πεδίο 109°).
- Διάταξη μπλοκ: οργανώνει τις κάμερες σε ένα μπλοκ, όπως συμβαίνει στα συστήματα ανεμιστήρων, και μια επαρκής αλληλεπικάλυψη μεταξύ μεμονωμένων πλαισίων επιτρέπει τη διόρθωση και τη συρραφή για να σχηματίσουν ένα απλό κοντινό πλαίσιο ευθύγραμμου σχήματος.

Η πιο κοινή σήμερα στρατηγική για την απόκτηση δεδομένων πλάγιων εικόνων σχετίζονται με το σύστημα καμερών της εταιρείας *Pictometry*, που ακολουθεί τη διάτα-

ξη του Μαλτέζικου Σταυρού, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα από πέντε κάμερες που υποδεικνύουν την κύρια και μια κάθετη κατεύθυνση. Δεδομένου ότι το σύστημα χρησιμοποιείται σε αεροσκάφη, τα δεδομένα εικόνας συνδέονται πάντα με δεδομένα GNSS/INS προκειμένου να έχουν τη σωστή θέση σε κάθε εικόνα.

Ωστόσο, αν και η χρήση της πλάγιας απεικόνισης έχει καθιερωθεί πλέον σε πολλές εφαρμογές χαρτογράφησης χάρη στην ανάπτυξη των αερομεταφερόμενων ψηφιακών συστημάτων πολλαπλών φωτογραφικών μηχανών, σε πολλές περιπτώσεις, όπως είναι πολλές υπηρεσίες χαρτογράφησης εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ο παραδοσιακός τρόπος που βασίζεται στην κάθετη φωτογραφία, με τις αλλαγές να πραγματοποιούνται με σχετικά αργούς ρυθμούς.

Το αδιαμφισβήτητο όμως προτέρημα της πλάγιας φωτογραφίας έγκειται στην απλότητα της ερμηνείας και της κατανόησής της (πχ μπορεί να αποκαλύψει τις προσόψεις των κτιρίων, αλλά και τα ίχνη αυτών). Κατά συνέπεια, με τη μέθοδο αυτή καθίσταται ευκολότερη η ερμηνεία των δεδομένων, ακόμη και για τους μη εξειδικευμένους χρήστες (Remondino and Gerke, 2015).

2.3.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΛΑΓΙΑΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Η χρήση των εικόνων αυτών σε 3D μοντέλα αυξάνεται ολοένα και περισσότερο, καθώς αυτά τα μοντέλα διαδραματίζουν όλο και μεγαλύτερο ρόλο στη διαχείριση των πόλεων και στην αστική ανάπτυξη. Για αυτόν το λόγο, ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός πόλεων και εταιρειών έχουν κατασκευάσει 3D μοντέλα, τα οποία εξυπηρετούν διάφορες ανάγκες της πόλης, όπως είναι:

- το κτηματολόγιο, η πολεοδομία και η διαχείριση των ακινήτων
- ο τουρισμός και οι πληροφορίες που αφορούν την πόλη
- στην παρακολούθηση των μαζικών εκδηλώσεων
- η αρχιτεκτονική των κτιρίων
- η διαχείριση καταστροφών και οι περιβαλλοντικές προσομοιώσεις
- η διαχείριση των οδικών αξόνων και ο τομέας μεταφορών
- ο τομέας της γεωπληροφορικής, των γεωεπιστημών και του διαδικτύου
- οι υπηρεσίες εντοπισμού θέσης
- η άμυνα του κράτους
- η εκπαίδευση και η μάθηση (Yalcin and Selcuk, 2014; Lemmens, 2014; Remondino and Gerke, 2015).

Εκτός αυτού, η χρήση των πλάγιων εικόνων που λαμβάνονται από ένα UAV είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο ακόμα και για την έρευνα αντικειμένων Πολιτιστικής Κληρονομιάς, τα οποία χαρακτηρίζονται από περιορισμένη προσβασιμότητας και απαιτούν λεπτομερή καταγραφή, ταχύτητα απόκτησης δεδομένων με συχνά μειωμένους προϋπολογισμούς (Aicardi et al., 2016).

Τα μοντέλα τρισδιάστατων πόλεων χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν κτίρια, συνοικίες πόλεων, αστικές περιοχές, πόλεις, περιφέρειες, καθώς και άλλα αντικείμενα όπως κτίρια, δέντρα, τεχνητά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, υποδομές, βλάστηση και έδαφος. Ανάλογα με τις τεχνικές απόκτησης δεδομένων, την επεξεργασία δεδομένων και τον επιδιωκόμενο σκοπό του μοντέλου πόλης επιτυγχάνονται ή απαιτούνται διαφορετικά επίπεδα ποιότητας δεδομένων. Διαφορετικοί βαθμοί ποιότητας δεδομένων αντικατοπτρίζονται στην έννοια του «Επιπέδου Λεπτομέρειας (LoD), με το CityGML⁵ να ορίζει πέντε διαφορετικά επίπεδα ποιότητας για τα 3D μοντέλα πόλεων:

- Επίπεδο Λεπτομέρειας 0 (LoD0): ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) + εναέρια εικόνα κεραίας
- Επίπεδο Λεπτομέρειας 1 (LoD1): δέσμη (μπλοκ) μοντέλων κτιρίων
- Επίπεδο Λεπτομέρειας 2 (LoD2): στέγες, υφές
- Επίπεδο Λεπτομέρεια 3 (LoD3): λεπτομερείς δομές των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων των μπαλκονιών και της βλάστησης
- Επίπεδο Λεπτομέρειας 4 (LoD4): εσωτερικές δομές όπως δωμάτια, πόρτες, σκάλες και έπιπλα.

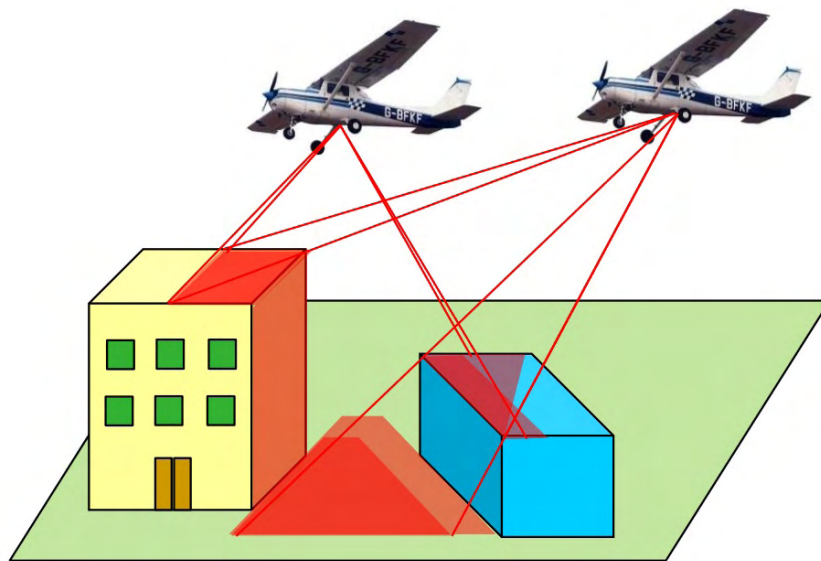
Τα επίπεδα αυτά απαιτούν διαφορετικούς τύπους συλλογής δεδομένων. Έτσι για παράδειγμα, τα μοντέλα με LoD0 έως LoD2 μπορούν να παραχθούν από αεροφωτογραφίες, ενώ οι εσωτερικές δομές εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα λεπτομερών ερευνών ή αρχιτεκτονικών αρχείων (Yalcin and Selcuk, 2014).

⁵ Το CityGML είναι ένα ανοιχτό τυποποιημένο μοντέλο δεδομένων για την αποθήκευση ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων και τοπίων. Ορίζει τρόπους για να περιγράψει τα περισσότερα κοινά τρισδιάστατα χαρακτηριστικά και αντικείμενα που βρίσκονται στις πόλεις (όπως κτίρια, δρόμοι, ποτάμια, γέφυρες, βλάστηση) και τις σχέσεις μεταξύ τους. Επίσης, ορίζει διαφορετικά πρότυπα επίπεδα λεπτομέρειας (LoDs) για τα 3D αντικείμενα, τα οποία επιτρέπουν την απεικόνιση αντικειμένων για διαφορετικές εφαρμογές και σκοπούς (CityGML, 2018).

2.3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΛΑΓΙΑΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

Η χρήση των πλάγιων εικόνων αποτελούν σήμερα μια ισχυρή πηγή γεωδομημένων με διάφορες εφαρμογές και δυνατότητες, ιδιαίτερα για τις αστικές περιοχές, καθώς επιτρέπουν:

- Την ευκρίνεια γεωγραφικών πληροφοριών και την ευκολότερη (ή βελτιωμένη) αναγνώριση/ερμηνεία αντικειμένων (πχ «αποτυπώματα» κτιρίων – building footprints, αριθμός ορόφων κλπ), καθώς καταγράφουν τόσο τις στέγες, όσο και τα «ίχνη» των κτιρίων, σε αντίθεση με την παραδοσιακή προσέγγιση, η οποία είναι σε θέση να καταγράψει μόνο το επάνω μέρος των κτιρίων (Εικόνα 2.2)



Εικόνα 2.2: Λήψη πλάγιων εικόνων - Καταγραφή των στεγών και των βάσεων (building footprints) των κτιρίων (ναδίρ και πλάγιας κάμερας)
(Πηγή: Nex (2016))

- Την ακόμα μεγαλύτερη αξιοπιστία
- Τη δημιουργία πυκνών 3D νεφών σημείων, ακόμη και σε κάθετα στοιχεία, με μεγαλύτερη αξιοπιστία σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία λεπτομερέστερων τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων
- Τον υπολογισμό των υψών, των μηκών και των περιοχών απευθείας από τις μεμονωμένες εικόνες
- Τη γρήγορη δημιουργία πραγματικών ορθοφωτογραφιών
- Την επέκταση των παραδοσιακών 2D GIS δεδομένων (Remondino and Gerke, 2015; Nex, 2016).

2.3.6 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΛΑΓΙΑΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

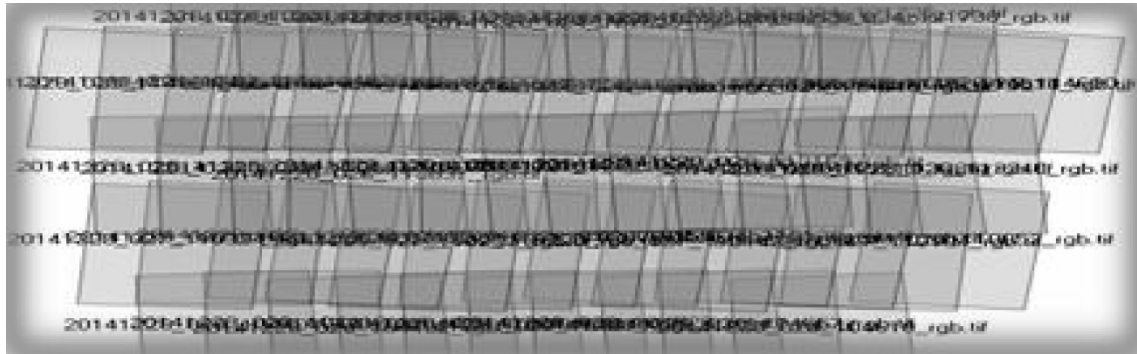
Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνικής αναφέρονται:

- Στις περισσότερες παρεκτροπές (περιορισμένες από πολλαπλές εικόνες και επικαλύψεις)
- Στη μεταβαλλόμενη κλίμακα / GSD
- Στις μεγάλες αλλαγές του φωτισμού
- Στην ανάγκη για ειδική επεξεργασία (Nex, 2016).

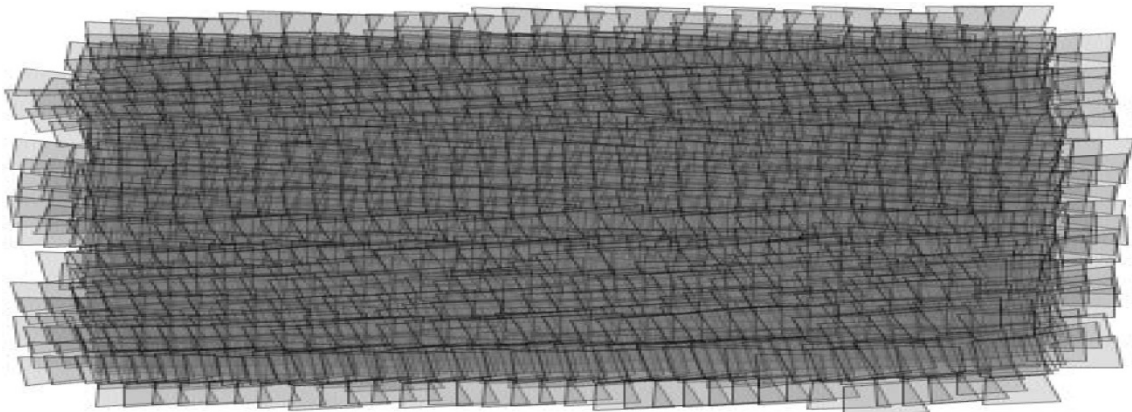
2.3.7 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όσον αφορά τη συλλογή των δεδομένων, στην περίπτωση της χρήσης των πλάγιων εικόνων, αυτή γίνεται πλέον με έναν προηγμένο τρόπο κατά τον οποίο λαμβάνονται πέντε (5) εικόνες για κάθε «θέση εντοπισμού», δημιουργώντας μία δέσμη εικόνων μεγάλου μεγέθους, συγκριτικά με την παραδοσιακή τεχνική, κατά την οποία λαμβάνονται μόνο κάθετες εικόνες (Εικόνα 2.3).

Έπειτα από τη λήψη των πλάγιων εικόνων, εάν απαιτείται η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου 3D μοντέλου της αστικής περιοχής που μελετάται είναι απαραίτητο να επιλεγούν, οι σωστές επικαλύψεις μεταξύ των εικόνων. Το πλάτος των δρόμων και το ύψος των κτιρίων, μάλιστα, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον προγραμματισμό μιας επιτυχημένης έρευνας για τη δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου καθώς, όσο πιο υψηλή είναι η αρχιτεκτονική των κτιρίων, τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η γωνία πρόσπτωσης της κάμερας που χρησιμοποιείται. Για αυτόν το λόγο, σε αυτές τις περιπτώσεις, θα πρέπει να βρεθεί μια συμβιβαστική λύση μεταξύ της ρύθμισης της κλίσης της κάμερας, της εστιακής απόστασης, του μεγέθους του αισθητήρα, της επικάλυψης και της γεωμετρίας της περιοχής.



(α)



(β)

Εικόνα 2.3: Συλλογή δεδομένων από λήψη (α) κάθετων εικόνων (ναδίρ κάμερας) και από (β) πλάγιων εικόνων (ναδίρ και πλάγιας κάμερας) (Πηγή: Nex (2016))

Σε επόμενο στάδιο, η επεξεργασία των δεδομένων αυτών, η οποία διαφέρει από τις προσεγγίσεις του παραδοσιακού τρόπου επεξεργασίας, χαρακτηρίζεται από:

- ❖ τη λήψη συγκεντρωτικών εικόνων
- ❖ τη μεταβαλλόμενη κλίμακα / ανάλυση της εικόνας
- ❖ τις μεγάλες οπτικά παραμορφώσεις
- ❖ το μεγάλο χρόνο επεξεργασίας
- ❖ τις διαφορετικές οπτικές και φωτισμούς σε διάφορες όψεις της εικόνας
- ❖ την απόκτηση τελικών αποτελεσμάτων, τα οποία θα είναι χωρισμένα σε τμήματα, χωρίς να υπάρχει αρχικά μια καλή συνένωση των εικόνων
- ❖ το γεγονός ότι βασίζεται σε GNSS/INS δεδομένα
- ❖ τη δημιουργία ενός συνδετικού χάρτη / γραφήματος
- ❖ τη χρήση περιορισμών, όπως: επικάλυψη, κατεύθυνση, ελάχιστο αριθμό των αποσπόμενων σημείων σύνδεσης
- ❖ την αξιοποίηση της μεγάλης πληθώρας των παρατηρήσεων.

Επιπλέον, για τη δημιουργία ενός νέφους σημείων σημαντική είναι (α) η χρησιμοποίηση του συνδετικού χάρτη / γραφήματος, (β) η χρήση μόνο των εικόνων με ίδια κατεύθυνση (look direction) και μεγάλες επικαλύψεις στη διαδικασία αντιστοίχισης, (γ) το φιλτράρισμα του νέφους σημείων και (δ) η συγχώνευση των πολλαπλών σημείων από κάθε κατεύθυνση (Nex, 2016).

Συνοψίζοντας, γίνεται πλέον ιδιαίτερα κατανοητό το γεγονός ότι οι πλάγιες εικόνες αποτελούν ένα απαραίτητο εργαλείο για πολλές διαφορετικές χρήσεις. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση 3D δομών και κτιρίων, κάνοντας πιο ρεαλιστικά τα αντικείμενα σε μια τρισδιάστατη απεικόνιση, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν κατ' επέκταση στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS).

2.3.8 ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΔΕΣΜΗΣ)

Ο αεροτριγωνισμός αποτελεί μια μέθοδο προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων μιας εδαφικής περιοχής με βάση τις αεροφωτογραφίες. Ο σκοπός του αεροτριγωνισμού είναι να δημιουργήσει ένα πιο πυκνό γεωδαιτικό δίκτυο, έτσι ώστε να παρέχει φωτογραφίες με τα σημεία ελέγχου που είναι απαραίτητα για την σύνταξη τοπογραφικών χαρτών και για την επίλυση διαφόρων τεχνικών προβλημάτων. Ο αεροτριγωνισμός μπορεί να είναι τρισδιάστατος ή οριζόντιος, ανάλογα με το αν προσδιορίζονται και οι τρεις συντεταγμένες ενός σημείου ή μόνο οι δύο από αυτές, οι οποίες χαρακτηρίζουν τη θέση ενός σημείου στο οριζόντιο επίπεδο.

Η απαίτηση του 3D αεροτριγωνισμού είναι η κατασκευή ενός γενικού μοντέλου του απεικονιζόμενου εδάφους σε συγκεκριμένες φωτογραφίες και ο μετέπειτα προσανατολισμός του σε σχέση με ένα γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων. Το ζήτημα αυτό μπορεί να επιλυθεί με τον απόλυτο προσανατολισμό των φωτογραφιών, δηλαδή με την κατάταξη των φωτογραφιών με τέτοιο τρόπο ώστε να τέμνονται οι αντίστοιχες ακτίνες προβολής και οι συντεταγμένες των εδαφικών σημείων ελέγχου να ισούνται με τις καθορισμένες τιμές τους (The Free Dictionary, 2013 – 2018).

Ωστόσο, οι αποκλίσεις στις παρατηρήσεις της εικόνας θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ανακριβή αποτελέσματα, ενώ ακόμη η γεωμετρία των πολύπλοκων δικτύων των πλάγιων εικόνων και η μη γραμμικότητα του μοντέλου επιβάλλουν την ανάγκη ορθών αρχικών προσεγγίσεων για όλες τις άγνωστες παραμέτρους. Έτσι, η ρύθμιση δέσμης (bundle adjustment) με ένα σύστημα πολλαπλών φωτογραφικών μηχανών πρέπει

να χειρίζεται διαφορετικές κάμερες με διαφορετικές εσωτερικές (interior orientation – IO) και εξωτερικές παραμέτρους προσανατολισμού (exterior orientation – EO).

Οι παράμετροι της κάμερας μπορούν να ανακτηθούν χωρίς περιορισμούς, δηλαδή κάθε εικόνα προσανατολίζεται χρησιμοποιώντας ανεξάρτητη εξωτερική παράμετρο για κάθε απόκτηση, ή με πρόσθετους περιορισμούς, όπου εξισώσεις που περιγράφουν τις σχετικές περιστροφές και μετατοπίσεις μεταξύ των καμερών προστίθενται στο μαθηματικό μοντέλο, περιορίζοντας τον αριθμό άγνωστων παραμέτρων και σταθεροποιώντας τη λύση της δέσμης (bundle solution). Μία προϋπόθεση, ωστόσο, για να προκύψει ένας αποτελεσματικός περιορισμός είναι η συγχρονισμένη λήψη της κάμερας, η οποία δεν είναι πάντοτε εγγυημένη, ειδικά σε ημι-επαγγελματικά συστήματα.

Τέλος, οι εσωτερικές παράμετροι κάθε κάμερας μπορούν να θεωρηθούν γνωστές από μια εργοστασιακή βαθμονόμηση ή ταυτόχρονα υπολογισμένες στη λύση της δέσμης με αυτο-βαθμονόμηση. Η μεγάλη πληθώρα των παρατηρήσεων στις πλάγιες εικόνες βοηθά στην επιλογή των καλύτερων αντιστοιχιών και στην επίτευξη υψηλής ακρίβειας σε 3D ανακατασκευές (Remondino, 2015).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: COMPUTER VISION

Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τα μάτια και το μυαλό τους για να δουν και να αισθανθούν οπτικά τον κόσμο γύρω τους. Η *computer vision* είναι η επιστήμη που στοχεύει να δώσει μια παρόμοια, αν όχι καλύτερη, ικανότητα σε ένα μηχάνημα ή έναν υπολογιστή.

Πιο συγκεκριμένα, η *computer vision*, που στα ελληνικά καλείται ως *μηχανική όραση*, *υπολογιστική όραση* ή *τεχνική όραση* αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο, το οποίο αναζητά τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαν να κατασκευαστούν οι υπολογιστές, ώστε να είναι σε θέση να λαμβάνουν και να αναλύουν υψηλού επιπέδου δεδομένα από ψηφιακές εικόνες ή βίντεο. Με άλλα λόγια, επιχειρεί να αναπαράγει αλγοριθμικά την αίσθηση της όρασης, συνήθως σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ή ρομπότ. Από την άποψη της μηχανικής, επιδιώκει να αυτοματοποιήσει τα καθήκοντα που μπορεί να επιτελέσει το ανθρώπινο οπτικό σύστημα.

Η μηχανική όραση ασχολείται με την αυτόματη εξαγωγή, την ανάλυση και την κατανόηση χρήσιμων πληροφοριών από μία μόνο εικόνα ή από μια ακολουθία εικόνων, περιλαμβάνοντας την ανάπτυξη μιας θεωρητικής και αλγοριθμικής βάσης για την αυτόματη οπτική κατανόηση.

Έτσι λοιπόν, η μηχανική όραση περιλαμβάνει μεθόδους απόκτησης, επεξεργασίας, ανάλυσης και κατανόησης των ψηφιακών εικόνων, καθώς και μεθόδους εξαγωγής δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο με σκοπό την παραγωγή αριθμητικών ή συμβολικών πληροφοριών. Η μηχανική όραση μελετά και περιγράφει τα τεχνητά συστήματα όρασης που εφαρμόζονται σε λογισμικό ή/και σε υλικό υπολογιστών, σε αντίθεση με τη βιολογική όραση η οποία αφορά την οπτική αντίληψη στα έμβια όντα.

Ως επιστημονικός κλάδος, η μηχανική όραση ασχολείται με τη θεωρία πίσω από τα τεχνητά συστήματα που εξάγουν πληροφορίες από εικόνες. Τα δεδομένα των εικόνων μπορούν να λάβουν πολλές μορφές, όπως είναι οι ακολουθίες βίντεο, οι προβολές από πολλές κάμερες, ή τα πολυδιάστατα δεδομένα από ιατρικό σαρωτή. Από την άλλη πλευρά, ως τεχνολογικός κλάδος, επιδιώκει να εφαρμόσει τις θεωρίες και τα μοντέλα του για τη δημιουργία συστημάτων ηλεκτρονικής όρασης.

Οι επιμέρους τομείς της μηχανικής όρασης περιλαμβάνουν την αναπαράσταση/κατανόηση σκηνών, την ανίχνευση γεγονότων, την παρακολούθηση βίντεο, την ευρε-

τηριοποίηση, την αναγνώριση αντικειμένων, τη δημιουργία 3D μοντέλων αντικειμένων, την ανίχνευση της κίνησης και την αποκατάσταση της εικόνας.

Όσον αφορά τη μηχανική όραση, συγκρινόμενη με άλλα παρεμφερή γνωστικά αντικείμενα, αυτή διαφοροποιείται, καθώς η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας ασχολείται με αλγορίθμους οι οποίοι δέχονται ως είσοδο, αλλά παράγουν και ως έξοδο, εικόνες ή βίντεο, ενώ τα γραφικά του υπολογιστή εξετάζουν αλγορίθμους, οι οποίοι δέχονται συμβολικές περιγραφές οπτικών σκηνών και παράγουν εικόνες ή βίντεο, συμβάλλοντας ή μη ο χρήστης στη διαδικασία αυτή. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή εξετάζει αλγορίθμους οι οποίοι δέχονται εικόνες ή βίντεο και παράγουν συμβολικές περιγραφές των εν λόγω οπτικών σκηνών, ενώ επίσης εξετάζει και αλγορίθμους, οι οποίοι δέχονται δεδομένα κάθε τύπου, τα οποία τα ταξινομούν σε ομάδες (BMVA, 2017; Wikipedia, 2018).

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε μια πληθώρα εφαρμογών, όπως είναι η γεωργία, η επαυξημένη πραγματικότητα, τα αυτόνομα οχήματα, στις βιολογικές αναλύσεις, στην αναγνώριση χαρακτήρων, στον ιατροδικαστικό τομέα, στην επιθεώρηση της βιομηχανική ποιότητας, στην αναγνώριση προσώπων, στην ανάλυση χειρονομιών, στις γεωεπιστήμες, στην αποκατάσταση της εικόνας, στην ανάλυση ιατρικών εικόνων, στην παρακολούθηση της ρύπανσης, στη διαδικασία ελέγχου, στην τηλεπισκόπηση, στη ρομποτική, στην ασφάλεια, την επιτήρηση και τις μεταφορές (BMVA, 2017).

3.1 STRUCTURE FROM MOTION (SFM) – MULTI-VIEW STEREO (MVS)

Η μέτρηση των τοπογραφικών δεδομένων αποτελεί θεμελιώδη χαρακτηριστικό πολλών εφαρμογών γεωμορφικών ερευνών, κυρίως εκείνων που περιλαμβάνουν την παρακολούθηση της μορφολογίας του εδάφους και τη διερεύνηση των τοπογραφικών αλλαγών. Ο γεωμορφολογικός τρόπος προσέγγισης για την απόκτηση τοπογραφικών δεδομένων αποτελεί ένα αξιοσημείωτο τεχνολογικό άλμα, στη σημερινή εποχή, που αναφέρεται στη σημαντική αύξηση της συχνότητας της τρισδιάστατης αποτύπωσης του εδάφους, καθώς και στην ευκολία με την οποία μπορούν να εφαρμοστούν οι αντίστοιχες σχετικές μέθοδοι.

Παραδοσιακά λοιπόν, η τοπογραφική έρευνα επικεντρώνεται στην κατασκευή ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEMs) χρησιμοποιώντας φωτογραμμετρικά και διαφορικά παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (dGPS). Ωστόσο τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται ευρέως, τόσο αερομεταφερόμενοι όσο και επίγειοι ανιχνευτές λέιζερ (LiDAR), για τη συλλογή δεδομένων, υψηλής ποιότητας και ανάλυσης. Παρ' όλα αυτά,

οι περισσότερες τεχνικές τοπογραφικής αποτύπωσης υψηλής ανάλυσης απαιτούν ακόμη σχετικά υψηλού κόστους τεχνολογίες (εξοπλισμό) ή/και εξειδικευμένη εμπειρία από την πλευρά των χρηστών, προκειμένου να είναι σε θέση να επεξεργάζονται και να βελτιώνουν την ποιότητα των δεδομένων, με το κόστος να αυξάνεται ακόμα περισσότερο λόγω της απόστασης και της περιορισμένης πρόσβασης στο αντίστοιχο πεδίο συλλογής των δεδομένων.

Ωστόσο, μια επαναστατική, χαμηλού κόστους και φιλική προς το χρήστη φωτογραμμετρική τεχνική, που χρησιμοποιείται για την απόκτηση δεδομένων υψηλής ανάλυσης σε μια ευρεία κλίμακα, είναι η λεγόμενη, *Structure from Motion (SfM)* (γνωστή και ως *Structure-and-Motion*) ή στα ελληνικά Δομή από Κίνηση, η οποία εξαλείφει τους παραπάνω περιορισμούς επιτρέποντας τη χρήση εύχρηστων ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών υψηλής ποιότητας (consumer grade digital cameras), παρέχοντας την ευκαιρία για τρισδιάστατη απόκτηση δεδομένων πολύ χαμηλού κόστους και ιδιαίτερα αυτοματοποιημένης επεξεργασίας αυτών, χωρίς να απαιτείται σημαντική εξειδίκευση και εποπτεία των χρηστών. Η SfM αναφέρεται σε ένα σύνολο αλγορίθμων από την επιστήμη του computer vision (υπολογιστική όραση) που βοηθούν τη φωτογραμμετρία μέσω της αυτόματης ανίχνευσης και αντιστοίχισης των χαρακτηριστικών πολλαπλών εικόνων, κατόπιν του τριγωνισμού θέσεων. Η τεχνική αυτή αναφέρεται πολλές φορές και με εναλλακτικούς όρους, όπως είναι η «φωτογραμμετρία πολλαπλών προβολών» (Multi-View Photogrammetry – MVP) (Peterson et al, 2015).

Η ικανότητα αυτή της μεθόδου να εξάγει άμεσα και αυτοματοποιημένα υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας χωρικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας σχετικά οικονομικές ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές για τον σκοπό αυτό, είναι ιδιαίτερα αξιόλογη, καθώς θα μπορούσε να δώσει απάντηση σε μια σειρά από νέα ερευνητικά ερωτήματα, γεγονός που προκαλεί αναπόφευκτα το μεγάλο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, που ασχολείται με τις γεωμορφολογικές μελέτες (Westoby et al, 2012; Micheletti et al, 2015). Η μέθοδος αυτή έχει αναδειχθεί ήδη από τη δεκαετία του '80 σε ένα πολύτιμο εργαλείο για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων από δισδιάστατες εικόνες, κυρίως μαζί και με την ανάπτυξη των γραφικών διεπαφών χρήστη (graphical user interfaces – GUIs).

Σε αντίθεση με την παραδοσιακή φωτογραμμετρία, η SfM χρησιμοποιεί αλγόριθμους για την αναγνώριση των χαρακτηριστικών που ταιριάζουν σε μια συλλογή επικαλυπτόμενων ψηφιακών εικόνων και υπολογίζει τη θέση της κάμερας και τον προσανατολισμό από τις διαφορικές θέσεις των πολλαπλών αντιστοιχισμένων χαρακτηριστι-

κών. Με βάση αυτούς τους υπολογισμούς, οι αλληλεπικαλυπτόμενες εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανασυγκρότηση ενός «αραιού» ή «coarse / sparse» 3D μοντέλου νέφους σημείων του φωτογραφικού αντικειμένου ή μιας επιφάνειας. Αυτό το 3D μοντέλο που προκύπτει από τη μέθοδο SfM είναι συνήθως εξευγενισμένο σε μια υψηλότερη ανάλυση, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους του *Multi-View Stereo (MVS)*, ολοκληρώνοντας με αυτόν τον τρόπο την πλήρη SfM-MVS ροή εργασίας (Carrivick et al., 2016).

3.1.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ SfM-MVS

Ουσιαστικά η SfM σχετίζεται με την απόκτηση εικόνων από πολλές διαφορετικές θέσεις του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Ο μελετητής αναγνωρίζει, στη συνέχεια, τα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται σε πολλές εικόνες και ορίζει τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των αρχικών θέσεων της κάμερας σε ένα αυθαίρετο και ασταθές σύστημα συντεταγμένων. Τότε, χρησιμοποιείται μια προσαρμογή δέσμης (bundle adjustment) αυτοβαθμονόμησης (καλιμπράρισμα) για τη βαθμονόμηση της κάμερας και παράγει ένα αραιό σύνολο συντεταγμένων για την απεικόνιση του αντικειμένου. Στη συνέχεια, η πυκνότητα των σημείων αυξάνεται χρησιμοποιώντας τεχνικές «πολλαπλής στερεοσκοπικής προβολής» (Multi-View Stereo – MVS), για να δημιουργηθεί ένα νέφος σημείων πολύ υψηλής ανάλυσης, που είναι χρωματικά κωδικοποιημένο χρησιμοποιώντας τα αρχικά δεδομένα της εικόνας (Chandler and Buckley, 2016).

Έτσι δηλαδή, μέσω της SfM παράγεται αρχικά ένα αραιό νέφος σημείων, η πυκνότητα του οποίου αυξάνεται (τουλάχιστον δυο τάξεις μεγέθους) με την MVS, στόχος της οποίας είναι να παρέχει μια ολοκληρωμένη τρισδιάστατη αναπαράσταση του αντικειμένου που μελετάται από μια συλλογή εικόνων των γνωστών εσωτερικών και εξωτερικών παραμέτρων της κάμερας. Ουσιαστικά, η MVS αναλαμβάνει τη γνωστή βαθμονόμηση (καλιμπράρισμα) της κάμερας (εσωτερική και εξωτερική), δηλαδή τις θέσεις της κάμερας, ενώ η SfM υπολογίζει τις θέσεις της κάμερας μαζί με την αναπαράσταση του περιβάλλοντος.

Η μέθοδος SfM-MVS αντιπροσωπεύει την τελευταία σημαντική πρόοδο στην ψηφιακή τοπογραφία και χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ως ένα από τα πλέον σημαντικά εργαλεία του γεωεπιστήμονα.

Η μέθοδος αυτή είναι μια ροή εργασιών που αξιοποιεί πολλαπλές (επικαλυπτόμενες) εικόνες μιας περιοχής του εδάφους, που έχουν ληφθεί με μια φωτογραφική μη-

χανή από πολλές οπτικές γωνίες για την αναπαράσταση ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή φωτογραμμετρία, η γεωμετρία της εικόνας που καταγράφεται, οι θέσεις της κάμερας και ο προσανατολισμός ανακτώνται ταυτόχρονα από την SfM-MVS, χωρίς να απαιτείται να είναι γνωστά εξ αρχής η θέση της κάμερας, τα στοιχεία βαθμονόμησης ή η θέση των φωτισταθερών (Ground Control Points – GCPs). Ωστόσο, η SfM-MVS απαιτεί τη χρήση GCPs για διορθώσεις κλίμακας και εφαρμογή γεωαναφοράς στα σύνολα φωτογραφιών με υψηλό βαθμό αλληλοεπικάλυψης, οι οποίες αποτυπώνουν την πλήρη τρισδιάστατη μορφή της περιοχής ενδιαφέροντος (Carrivick et al, 2016).

3.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ SfM-MVS

Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι αποτελεί μια οικονομική μέθοδο, συγκριτικά με άλλες μεθόδους αποτύπωσης, καθώς δεν απαιτεί ιδιαίτερο εξοπλισμό και λογισμικό. Το μόνο που απαιτεί δηλαδή είναι μια φωτογραφική μηχανή και έναν επιτραπέζιο ηλεκτρονικό υπολογιστή, με το λογισμικό που χρειάζεται να είναι ελεύθερα διαθέσιμο. Αντίθετα, ένας επίγειος σαρωτής λέιζερ (Terrestrial Laser Scanner – TLS) κοστίζει δεκάδες χιλιάδες ευρώ και απαιτεί αδειοδοτημένο λογισμικό και συχνή επαγγελματική συντήρηση.

Επιπλέον, οι SfM-MVS αποτυπώσεις είναι σχετικά εύκολο να διεξαχθούν, καθώς οι κάμερες χειρός δεν παρουσιάζουν προβλήματα φορητότητας στο πεδίο, σε αντίθεση με τους επίγειους λέιζερ σαρωτές που ζυγίζουν μερικές δεκάδες χιλιόγραμμα.

Η μέθοδος SfM-MVS μπορεί να εφαρμοστεί με εικόνες που λαμβάνονται από μια κάμερα τοποθετημένη σε έναν από τους πολλούς τύπους πλατφορμών και μπορούν να επεξεργαστούν με μια πληθώρα εμπορικών λογισμικών ή λογισμικού ανοικτού κώδικα.

Μια άλλη αξιοσημείωτη διαφορά της SfM-MVS σε σύγκριση με άλλες ψηφιακές μεθόδους αποτύπωσης είναι ότι η SfM-MVS παράγει πλήρως τρισδιάστατα δεδομένα, κάτι το οποίο είναι εφικτό, σε διαφορετική περίπτωση, μόνο με τη χρήση TLS.

Τα νέφη σημείων και οι ανάγλυφες επιφάνειες που προέρχονται από την SfM-MVS είναι εκ φύσεως πολυδιάστατες (x , y , z , προσανατολισμός σημείων, χρώμα, υφή) και μετασχηματίζονται σχετικά εύκολα σε ορθοφωτογραφίες και σε ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEMs).

Επιπρόσθετα, η SfM-MVS είναι μια ροή εργασίας που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο εύρος χωρικής κλίμακας που κυμαίνεται από 10^{-2} έως 10^6 m² (Smith and Vericat, 2015), με τη ροή εργασίας να παραμένει ουσιαστικά πανομοιότυπη ανεξάρτητα από τις εξεταζόμενες χωρικές και χρονικές κλίμακες, αν και η επιτεύξιμη ποιότητα της αποτύπωσης εξαρτάται από το εύρος της αποτύπωσης.

Με προσεκτική εφαρμογή, ειδικά στην απόκτηση GCPs (η οποία απαιτεί ειδικές γνώσεις TS ή dGPS), η SfM-MVS μπορεί να παρέχει ακρίβεια συγκρίσιμη με την καλύτερη ακρίβεια, που επιτυγχάνεται με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο τοπογραφικής αποτύπωσης, άμεση ή έμμεση (Carrivick et al, 2016).

3.1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ SfM-MVS

Από την άλλη πλευρά όμως, η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σαφώς και αρκετά μειονεκτήματα, συγκριτικά με τις άλλες ψηφιακές μεθόδους αποτύπωσης, όπως το γεγονός ότι παρουσιάζει προκλήσεις στην απόκτηση και επεξεργασία δεδομένων σε μεγάλες χωρικές κλίμακες.

Επιπλέον, η τρισδιάστατη ακρίβεια των δεδομένων που προέρχονται από την SfM-MVS εξαρτάται από εξωτερικούς παράγοντες, που δεν ελέγχονται από τον ερευνητή, γεγονός που εγείρει ζητήματα επαναληψιμότητας.

Ακόμη, η SfM-MVS παράγει μόνο τρισδιάστατα δεδομένα, με αποτέλεσμα κατά την ώρα της αποτύπωσης να μην είναι γνωστό εάν ένα νέφος σημείων θα παραχθεί επιτυχώς ή ποια χαρακτηριστικά (έκταση, ανάλυση, ποιότητα 3D σημείων) θα έχει.

Επιπρόσθετα, η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να διακρίνει τα σημεία θέσεων ή τους τύπους των σημείων, ούτε και να αναλύσει αυτόματα τις πληροφορίες του νέφους σημείων.

Τέλος, η απεικόνιση των δεδομένων SfM-MVS δεν είναι πάντα αποτελεσματική, παρουσιάζοντας ορισμένα προβλήματα. Για να είναι αποτελεσματική, οι εικόνες πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας (δηλ. να είναι αρκετά εστιασμένες, να μην είναι θολές λόγω κίνησης) και να αποκτώνται από τοποθεσίες που παρέχουν κατάλληλη κάλυψη (κάθε επιθυμητό σημείο στο αντικείμενο πρέπει να εμφανίζεται τουλάχιστον σε τρία πλάνα) και με κατάλληλη γεωμετρία (δηλ. οι εικόνες πρέπει να αποκτηθούν από διαφορετικές χωρικά θέσεις. Η αδυναμία επίτευξης του τελευταίου είναι ιδιαίτερα προβληματική, για πολλούς χρήστες που χρησιμοποιούν UAVs για την απόκτηση κατακόρυφων

αεροφωτογραφιών ενός αντικειμένου. Αυτή η διάταξη που δημιουργεί εικόνες, που έχουν εγγενώς αδύναμη γεωμετρία και ανακρίβειες στη βαθμονόμηση (καλιμπράρισμα) της κάμερας, θα δημιουργήσουν τελικά ανακρίβειες και μέσα στο ίδιο το αντικείμενο. Αυτό μπορεί να μην είναι πάντοτε ανιχνεύσιμο, αλλά θα εκδηλωθεί εν τέλει ως μια ιδιαίτερα θολωτή επιφάνεια. Τέλος, καθώς η φωτογραμμετρία SfM βασίζεται σε πανομοιότυπα χαρακτηριστικά που βρίσκονται μεταξύ πολλαπλών εικόνων, οι επιφάνειες αντικειμένων με ομοιόμορφο χρώμα ή υφή ενδέχεται να μην είναι κατάλληλες για τη δημιουργία 3D δεδομένων, σε αντίθεση με την μέθοδο του TLS (Chandler and Buckley, 2016).

Έτσι, η SfM-MVS δεν αποτελεί ένα πλήρες υποκατάστατο για τις άλλες ψηφιακές μεθόδους αποτύπωσης, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις (πχ η ακριβής βυθομετρία των ποταμών σε μικρές περιοχές) η αποτύπωση TS ή dGPS είναι πολύ καλύτερη από την αποτύπωση με SfM-MVS. Ωστόσο, σε άλλες περιπτώσεις, ιδιαίτερα όταν απαιτείται κλίμακα ($\sim 10^1 \text{ m}^2$) (Smith & Vericat, 2015) ή ακρίβεια κλίμακας δεκατόμετρου περίπου σε έκταση 1 km^2 γυμνού εδάφους, η SfM-MVS είναι πιο αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτικότερη μέθοδος αποτύπωσης. Από αυτήν την άποψη, η SfM-MVS έρχεται σε αντίθεση τόσο με τα ALS (airborne laser scanner) όσο και με τους TLS (terrestrial laser scanner), οι οποίες είναι δαπανηρές λύσεις αποτύπωσης που παράγουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων, οι οποίες πρέπει στη συνέχεια να αποδεκατιστούν για την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων εδάφους (Carrivick et al, 2016).

Μάλιστα, όσον αφορά τους TLS η ταχύτητα απόκτησης είναι σημαντικά πιο αργή σε αυτούς, από ότι στην SfM για συγκρίσιμες αναλύσεις δεδομένων, ωστόσο, οι TLS προσφέρουν πλεονεκτήματα σχετικά με την ακρίβεια, την επαναληψιμότητα και την αξιοπιστία και εξακολουθούν να θεωρούνται ως το «χρυσό πρότυπο» για τις τρισδιάστατες μετρήσεις. Από την άλλη πλευρά, η SfM ως οικονομικά αποδοτική και αυτοματοποιημένη μέθοδος που επιτρέπει συνεχή καταγραφή της γεωμετρίας της εικόνας, υποδηλώνει ότι είναι σε θέση να ανταγωνιστεί την επίγεια σάρωση με λείζερ για πολλές εφαρμογές, ενώ και οι δύο τεχνικές μπορούν να δημιουργήσουν νέφη σημείων πολύ υψηλής ανάλυσης αποτελούμενα από εκατομμύρια τρισδιάστατα σημεία (Chandler and Buckley, 2016).

Μελλοντικές προοπτικές αναμένουν καλύτερους αισθητήρες και παραγωγή δεδομένων πολύ υψηλότερης ανάλυσης, καλύτερες εναλλακτικές λύσεις απόκτησης εικόνων (ειδικά σχετικά με τις σημαντικές δυνατότητες των UAVs) και βελτιωμένους αλγόριθμους. Έτσι, μέσω των εξελίξεων αυτών, η φωτογραμμετρία της SfM θα γίνεται

ολοένα και πιο προσιτή στους μη εξειδικευμένους χρήστες. Παρ' όλα αυτά, η αναγνώριση των παραδοσιακών φωτογραμμετρικών αρχών παραμένει κρίσιμη για την επιτυχή εφαρμογή της SfM. Έκτος των άλλων, όπως συμβαίνει με την εφαρμογή κάθε τεχνικής, η εμπειρία που αποκτήθηκε μέσω πειραματισμού είναι απαραίτητη, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι προσδοκίες αυτές είναι ρεαλιστικές και πραγματοποιήσιμες (Micheletti et al, 2015).

Γίνεται κατανοητό λοιπόν, ότι η SfM-MVS εξακολουθεί να είναι σε νηπιακό στάδιο, ειδικά στις γεωεπιστήμες, για αυτόν το λόγο, θα πρέπει να γίνουν περισσότερες τεχνικές έρευνες, ώστε να κατανοηθεί καλύτερα η ποιότητα των παραγόμενων δεδομένων και να μετριαστούν μερικά από τα μειονεκτήματά της, μέσω της εκμάθησης από τις εξελίξεις που λαμβάνουν χώρα στους συγγενικούς της κλάδους (Carrivick et al, 2016).

3.1.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ SIFT & RANSAC

Με δεδομένες τις φωτογραφίες, στις οποίες απεικονίζεται το αντικείμενο που επιθυμείται να ανακατασκευαστεί, είναι εφικτό να εξαχθούν οι πρώτες πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια της διαδικασίας ανακατασκευής. Έτσι λοιπόν, ένας περιορισμένος αριθμός αντιστοιχισμένων σημείων είναι επαρκής για να καθορίσει τις γεωμετρικές σχέσεις ή τους περιορισμούς πολλαπλών όψεων μεταξύ των εικόνων.

Ωστόσο, όλα τα σημεία δεν είναι πάντα κατάλληλα για να διεξαχθεί η συσχέτιση μεταξύ αυτών, με αποτέλεσμα το πρώτο βήμα να είναι η επιλογή διάφορων σημείων ενδιαφέροντος ή σημείων χαρακτηριστικών δομών. Για αυτόν το λόγο, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν είτε μεμονωμένα σημεία, είτε άλλες χαρακτηριστικές δομές, όπως είναι οι ευθείες, οι καμπύλες, τα επίπεδα επί της σκηνής ή και οι τυχαίες επιφάνειες (Φακά, 2010).

Παρακάτω λοιπόν, παρουσιάζονται δύο από τους αλγορίθμους αυτούς, οι οποίοι είναι και αυτοί που ενδιαφέρουν στην παρούσα εργασία.

3.1.5 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ SIFT

Ο πρώτος από τους αλγορίθμους αυτούς είναι ο αλγόριθμος SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) που αποτελεί μια μέθοδο που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση διακριτών, αμετάβλητων χαρακτηριστικών σημείων της εικόνας, τα οποία μπορούν εύκολα να συνδυαστούν είτε για την εκτέλεση εργασιών, όπως είναι η ανί-

χνευση και αναγνώριση αντικειμένων, είτε για τον υπολογισμό γεωμετρικών μετασχηματισμών μεταξύ των εικόνων (OpenSIFT, 2018).

Αν και για την ανίχνευση αντικειμένων χρησιμοποιούνται διάφοροι «ανιχνευτές», παρ' όλα αυτά, ευρύτερα χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος SIFT, ο οποίος επιτρέπει τη σημαντική μετατόπιση της σχετικής θέσης ενός χαρακτηριστικού, με μικρές μόνο αλλαγές στον περιγραφέα/αναλυτή (descriptor). Επιπλέον, ο SIFT είναι ένας «δυνατός» αλγόριθμος απέναντι στις αλλαγές της 3D οπτικής για μη επίπεδες επιφάνειες, ωστόσο, ο SIFT δεν είναι πλήρως αμετάβλητος, γεγονός που θα ήταν πιο χρήσιμο για την αντιστοίχιση των επιπέδων επιφανειών κάτω από μεγάλες μεταβολές στην εικόνα. Για αυτόν το λόγο, έχει προταθεί ένας συνδυασμός του SIFT με άλλους χαρακτηριστικούς τύπους, γεγονός που θα παρείχε περισσότερες αντιστοιχίσεις στις εικόνες κάτω από διαφορετικές συνθήκες και πιθανότατα θα εφαρμόζονταν σε μελλοντικά συστήματα.

Έτσι λοιπόν, με λίγα λόγια, ο αλγόριθμος SIFT ακολουθεί τέσσερα (4) σημαντικά στάδια που είναι τα εξής:

1. Ανίχνευση ακραίων χωρικών καταστάσεων: αυτό το πρώτο βήμα του SIFT περιλαμβάνει μια αποτελεσματική αναγνώριση των θέσεων και των κλιμάκων που μπορούν να αποδοθούν επανειλημμένα στο ίδιο αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές. Ανιχνεύονται λοιπόν, τοποθεσίες που είναι ανεξάρτητες από τις μεταβολές της κλίμακας και τον προσανατολισμό της εικόνας, αναζητώντας σταθερά χαρακτηριστικά, με τη χρήση της Gaussian συνάρτησης.
2. Εντοπισμός Χαρακτηριστικών Σημείων (Keypoint localization): στη συνέχεια, ο SIFT εκτελεί μια λεπτομερή εφαρμογή μιας 3D τετραγωνικής συνάρτησης για κάθε υποψήφιο βασικό σημείο (keypoint), προκειμένου να προσδιοριστεί η θέση, η κλίμακα και η αναλογία των κύριων καμπυλών.
3. Καθορισμός προσανατολισμού (Orientation assignment): έπειτα ακολουθεί ο προσανατολισμός των σημείων μέσω της ανάλυσης των τοπικών κατευθύνσεων κλίσεων της εικόνας.
4. Αναλυτής βασικών σημείων (keypoint descriptor): στο τελευταίο στάδιο, απαιτείται η περιγραφή των χαρακτηριστικών κάθε βασικού σημείου με υπολογισμό των τοπικών κλίσεων γύρω από το σημείο, σύμφωνα με την επιλεγμένη κλίμακα, έτσι ώστε να επιτρέπεται η τοπική παραμόρφωση σχημάτων, καθώς και οι αλλαγές στο φωτισμό. Έτσι λοιπόν, ένα αντικείμενο αναγνωρίζεται σε νέα εικόνα, συγκρίνοντας κάθε χαρακτηριστικό του με αυτά που βρίσκονται αποθηκευμένα στη βάση, με αποτέλεσμα να προκύπτουν πιθανά σημεία με βάση την ευ-

κλείδεια απόσταση των διανυσματικών χαρακτηριστικών τους. Από τις αντιστοιχίες που προκύπτουν, ξεχωρίζουν τα σημεία εκείνα που ταιριάζουν με το αντικείμενο, τη θέση του, την κλίμακα και τον προσανατολισμό της νέας εικόνας (Δουκαρή, 2015; Carrivick et al., 2016).

3.1.6 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ RANSAC

Ο δεύτερος αλγόριθμος που ενδιαφέρει στην προκειμένη περίπτωση, είναι ο αλγόριθμος RANSAC (RANdom SAmpling Consensus), ο οποίος αποτελεί μια επαναληπτική μέθοδο για τον υπολογισμό παραμέτρων ενός μαθηματικού μοντέλου από ένα σύνολο δεδομένων, ο οποίος χωρίζει το σύνολο των αντιστοιχιών σε inliers (αριθμός ορθών αντιστοιχιών) και outliers (αριθμός λανθασμένων αντιστοιχιών), χωρίς να είναι γνωστή η σωστή λύση. Ο αλγόριθμος αυτός χαρακτηρίζεται ως ένας μη-ντετερμινιστικός αλγόριθμος υπό την έννοια ότι παράγει ένα λογικό αποτέλεσμα μόνο με μια συγκεκριμένη πιθανότητα, η οποία αυξάνει με τον αριθμό των επαναλήψεων. Είναι απλός και λειτουργεί άριστα στην πράξη χωρίς ωστόσο, να είναι απαραίτητο να γίνουν υποθέσεις για τα δεδομένα εισόδου του.

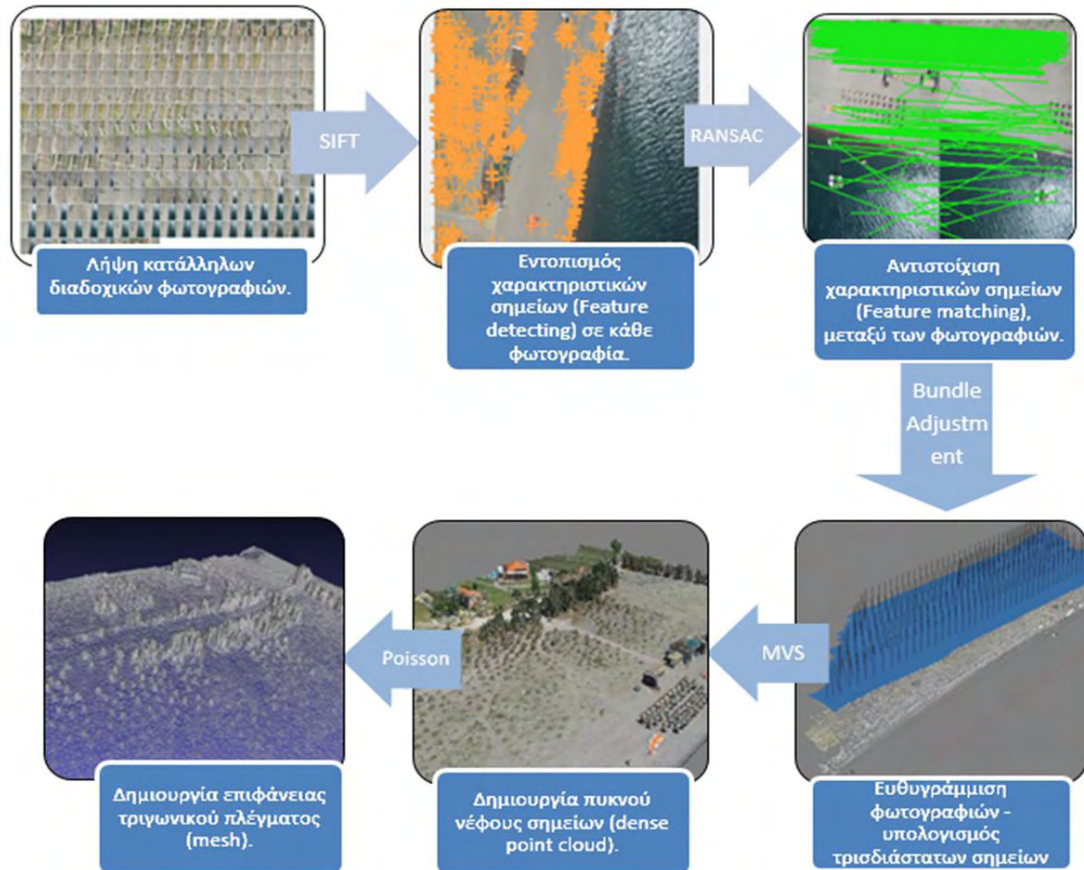
Τα δεδομένα που λαμβάνει υπόψη ο RANSAC είναι οι αντιστοιχίες σημείων, οι οποίες και αποτελούνται από «inliers» και «outliers». Όσον αφορά τα outliers, ο RANSAC θεωρεί ότι μπορεί να προέρχονται από δεδομένα επηρεασμένα από θόρυβο, από λανθασμένες μετρήσεις ή ακόμα και από λανθασμένες υποθέσεις σχετικά με την ερμηνεία των δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, υποθέτει ότι δίνοντας ένα μικρό αριθμό inliers, υπάρχει διαδικασία υπολογισμού των παραμέτρων ενός μοντέλου στο οποίο ταιριάζουν αυτά, με αποτέλεσμα, ακόμα και αν ο θόρυβος έχει επηρεάσει πληθώρα δεδομένων εισόδου, ο αλγόριθμος RANSAC είναι ικανός να βρει τη λύση.

Ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί λαμβάνοντας ως είσοδο ένα υποσύνολο αντιστοιχιών (σύνολο δεδομένων), στα οποία προσπαθεί να ταιριάξει κάποιες παραμέτρους εμπιστοσύνης. Οι παράμετροι αυτοί διαδραματίζουν έναν πάρα πολύ σημαντικό ρόλο, με κύριες από αυτές να είναι (α) η πιθανότητα (p) να επιλέξει ο αλγόριθμος σε μια επανάληψη αντιστοιχίες σημείων που είναι όλες inliers, (β) ο αριθμός των επαναλήψεων του αλγορίθμου και (γ) ο αριθμός των επαναλήψεων του αλγορίθμου για την εύρεση ενός μη εκφυλισμένου συνόλου δεδομένων, δηλαδή ενός συνόλου που δεν μπορεί να ταιριάξει στο υποσύνολο των δεδομένων εισόδου.

Εν κατακλείδι, ο αλγόριθμος RANSAC ακολουθεί την ακόλουθη διαδικασία:

1. Σε κάθε επανάληψη επιλέγεται ένα τυχαίο σύνολο από 8 ζεύγη σημείων του αρχικού συνόλου ζευγών, τα οποία θεωρούνται υποθετικά ως inliers. Τα 8 αυτά σημεία δεν είναι τυχαία, αλλά είναι τα ελάχιστα που απαιτούνται για τον υπολογισμό του πίνακα (F) των δεδομένων εισόδου.
2. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο πίνακας αυτό από τα υποθετικά inliers μέσω του αλγορίθμου 8-σημείων.
3. Έπειτα, για τα υπόλοιπα ζεύγη αντιστοιχιών που δεν έχουν επιλεγεί ως υποθετικά inliers για τον σχηματισμό του πίνακα F, εξετάζεται η πιθανότητα να ταιριάζουν μέσω της απόστασης Sampson που εκφράζει την απόσταση των πραγματικών σημείων από τις προβολές τους μέσω του πίνακα F. Αν για κάποιο ζεύγος σημείων η απόσταση αυτή είναι πολύ μικρή και κάτω από ένα όριο τότε θεωρείται ότι και αυτό το ζεύγος ανήκει στα υποθετικά inliers.
4. Εάν ένας σχετικά μεγάλος αριθμός αντιστοιχιών σημείων αποτελούν υποθετικά inliers, τότε ο πίνακας αυτός θεωρείται αρκετά καλός .
5. Σε επόμενο στάδιο, ο πίνακας F αξιολογείται, αθροίζοντας το σφάλμα όλων των ζευγών σημείων, δηλαδή υπολογίζοντας την απόσταση των πραγματικών σημείων από τις προβολές τους που προκύπτουν από την λύση της επιπολικής γεωμετρίας με τον πίνακα F που υπολογίστηκε. Ένα σημείο είναι κοινό σε δύο εικόνες και ο πίνακας μετασχηματισμού του είναι ο F, εφόσον ισχύει η εξίσωση $x_1^T F x_2 = 0$.
6. Τελικά, επιλέγεται ως βέλτιστος πίνακας ο πίνακας F με την μικρότερη τιμή σφάλματος και στη συνέχεια επαναπροσδιορίζεται από όλα τα υποθετικά inliers αφού είχε υπολογιστεί μόνο για το αρχικό σύνολο των 8 σημείων (Φακά, 2010).

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο αυτό παρατίθεται το παρακάτω διάγραμμα ροής (Σχήμα 3.1), στο οποίο απεικονίζονται παραστατικά και εν συντομία τα βασικά βήματα που ακολουθεί η μέθοδος SFM, για την δημιουργία και επεξεργασία τρισδιάστατης πληροφορίας μιας περιοχής ενδιαφέροντος και τα οποία αναλύθηκαν εκτενέστερα στο κεφάλαιο αυτό.



Σχήμα 3.1: Αλγοριθμικές διαδικασίες της μεθόδου SfM (Πηγή: Δουκαρή (2015))

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ (ΣμηΕΑ)

4.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΣμηΕΑ

Το ζήτημα της ονομασίας αυτού που στην καθημερινή χρήση της γλώσσας έχει επικρατήσει να αποκαλείται «drone», είναι κάπως μπερδεμένο. Σύμφωνα με την ηλεκτρονική έκδοση του λεξικού Merriam-Webster, η λέξη «drone» χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά για μη επανδρωμένο αεροσκάφος το 1946. Μέχρι τότε, όπως αναφέρεται στο ίδιο άρθρο, η λέξη είχε δυο νοήματα. Από τη μία, σήμαινε την αρσενικού γένους μέλισσα, το γνωστό κηφήνα, και, από την άλλη, τον «μονότονο, παρατεταμένο ήχο». Μάλιστα, πριν την πρώτη χρήση της λέξης, σε ένα από τα πιο γνωστά μέχρι τότε μοντέλα μη επανδρωμένου αεροσκάφους, είχε δοθεί όνομα που επίσης παρέπεμπε στη μέλισσα, το de Havilland DH82B Queen Bee. Ίσως, λοιπόν, αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με τους λόγους που αναφέρει το άρθρο του Merriam-Webster, να οδήγησε στην υιοθέτηση του ονόματος αυτού. Ο πρώτος λόγος που αναφέρεται στο άρθρο είναι πως τα μη-επανδρωμένα αεροσκάφη, κατά μια έννοια, μιμούνται τον τρόπο ζωής των κηφήνων. Έναν «ανόητο», καθοδηγούμενο τρόπο ζωής, που ως μόνη λειτουργία εντός της κυψέλης έχει τη γονιμοποίηση της «βασίλισσας». Ο δεύτερος λόγος είναι ο ήχος που παρήγαγαν αυτά τα αεροσκάφη, ο οποίος, επίσης, ομοιάζε με αυτόν των μελισσών όταν πετάνε (Merriam-Webster, 2017).

Ένας πιο τεχνικός όρος, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως, είναι το αρκτικόλεξο UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Εξίσου συχνά συναντάται κι ο όρος UAS (Unmanned Aircraft System). Οι όροι RPA (Remotely Piloted Aircraft) και RPAS (Remotely Piloted Air System) βρίσκονται επίσης σε χρήση. Στα ελληνικά, το όνομα που έχει επισήμως υιοθετηθεί είναι το αντίστοιχο του UAS, δηλαδή το ΣμηΕΑ ή Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους. Το κοινό σημείο αναφοράς όλων αυτών των ονομασιών είναι, βέβαια, το μη επανδρωμένο αεροσκάφος. Η πτήση ενός τέτοιου αεροσκάφους μπορεί να είναι είτε προκαθορισμένη, οπότε ουσιαστικά δεν υπάρχει χειριστής, είτε κατευθυνόμενη εξ αποστάσεως (Remotely Piloted), σε πραγματικό χρόνο. Ο τηλεχειρισμός αυτός είναι δυνατός μέσω του σταθμού ελέγχου και του λογισμικού πλοήγησης. Για την περιγραφή όλων αυτών των στοιχείων υιοθετείται ο όρος «σύστημα» (Valavanis and Vachtsevanos, 2015).

Η πρόοδος της αεροπλοΐας στον εικοστό αιώνα υπήρξε τρομακτική. Στις αρχές του αιώνα όμως, όταν γίνονταν τα πρώτα σημαντικά βήματα, τα προβλήματα δεν ήταν και τόσο διαφορετικά όσον αφορά τα επανδρωμένα και μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Τα πρώτα σύγχρονα μη επανδρωμένα αεροσκάφη χρησίμευαν, κυρίως κατά τη διάρκεια του Μεσοπολέμου και του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, είτε ως «έξυπνες» εναέριες τορπίλες (Curtiss–Sperry Aerial Torpedo (1918), Kettering Bug (1918) κα), οι οποίες αποτέλεσαν τον πρόδρομο των μετέπειτα κατευθυνόμενων πυραύλων, είτε ως στόχοι για την εξάσκηση σε αντιαεροπορικές επιχειρήσεις (RAE Target 1921 (1924), de Havilland DH82B Queen Bee (1933), Radioplane OQ-2 (1939)).

Η εναέρια τορπίλη των Curtiss και Sperry είχε τη δυνατότητα να κρατάει σταθερή πορεία δίχως ανθρώπινη παρέμβαση, χάρις στο γυροσκόπιο που εφηύραν από το 1914. Ο ίδιος μηχανισμός έδινε τη δυνατότητα στο αεροσκάφος να διακόψει την πορεία του μετά από το πέρας ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος, πέφτοντας έτσι, μαζί με τα εκρηκτικά, στον επιλεγμένο στόχο. Η κύρια δυσκολία που αντιμετώπισε τα επόμενα χρόνια ο Sperry με τα αεροσκάφη που κατασκεύασε για το αμερικανικό ναυτικό είχαν να κάνουν με την αρχική απογείωση του αεροσκάφους.

Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος του Kettering, από την άλλη, είχε τη δυνατότητα να μετράει τον αριθμό των στροφών της προπέλας, κι έπειτα από έναν προκαθορισμένο αριθμό, να διακόπτει τη λειτουργία της μηχανής, ώστε να συντριβεί στο στόχο του. Παρότι ο αμερικανικός στρατός είχε παραγγείλει την κατασκευή εκατό τέτοιων αεροσκαφών, ώστε να τα χρησιμοποιήσει κατά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, η λήξη του πολέμου ήρθε νωρίτερα. Ταυτόχρονα με τη λήξη επήλθε και μια μείωση του ενδιαφέροντος για τη συγκεκριμένη τεχνολογία που είχε ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της έρευνας μέχρι την αναζωπύρωσή της τη δεκαετία του τριάντα.

Προς το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου (ΔΠΠ), το Radioplane υπήρξε το πρώτο μαζικά παραγόμενο μη επανδρωμένο αεροσκάφος, σημάδι ίσως της επιθυμίας για ανάπτυξη και περαιτέρω εκμετάλλευση της τεχνολογίας (Sloggett, 2015).

Μια βασική διαφορά αυτών των μη επανδρωμένων αεροσκαφών με τα σημερινά είναι ο μη-επαναχρησιμοποιήσιμος χαρακτήρας τους. Ο χαρακτήρας αυτός έχει τονιστεί (βλ. Dalamagkidis, 2015) ώστε να είναι δυνατός ο διαχωρισμός μεταξύ των σημερινών UAV και των σύγχρονων κατευθυνόμενων πυραύλων.

Με το πέρας του ΔΠΠ και την έναρξη του Ψυχρού Πολέμου, η Αμερική βάσισε πάνω στα μοντέλα του Denny, τη δημιουργία του πρώτου μη επανδρωμένου αναγνωρι-

στικού (SD-1), το οποίο έτυχε επίσης μαζικής παραγωγής. Η πτήση του πλέον δεν ήταν προκαθορισμένη, όπως των περισσότερων προκατόχων του. Χάρη στην ανάπτυξη της ραδιοτεχνολογίας, υπήρχε η δυνατότητα απομακρυσμένου χειρισμού του αεροσκάφους, το οποίο έφερε πάνω του φωτογραφική κάμερα, με την οποία μπορούσε να συλλέξει στρατηγικές πληροφορίες. Η διάρκεια της πτήσης του έφτανε τα τριάντα λεπτά. Με το πέρασμά τους, το αεροσκάφος επέστρεφε στη βάση, ενώ η κάμερα διασωζόταν με αλεξιπτώτο. Τις δεκαετίες του 1960 και 1970 η παραγωγή διάφορων μοντέλων μη επανδρωμένων αναγνωριστικών αεροσκαφών, με πιο γνωστή ίσως τη σειρά «Lightning Bug», συνεχίστηκε εντατικά και σε βάρος διαφορετικών χωρών (Κίνα, Βιετνάμ, Β. Κορέα). Τα αεροσκάφη αυτά χρησιμοποιούνταν για ποικίλες εργασίες και είχαν για παράδειγμα, διαφορετικό ύψος πτήσης και έφεραν διαφορετικούς τύπους φιλμ.

Την ίδια περίοδο, το αμερικανικό πολεμικό ναυτικό κατασκεύασε κι ένα μοντέλο μη επανδρωμένου ελικοπτερου, ενώ από τις αρχές της δεκαετίας του '60, και η Σοβιετική Ένωση απέκτησε τα δικά της αναγνωριστικά. Ο Καναδάς και η Αγγλία χρηματοδότησαν επίσης προγράμματα μη επανδρωμένων αεροσκαφών, τα οποία χρησιμοποιήσαν τόσο η Γαλλία όσο και η Γερμανία, ενώ το Ισραήλ, που αρχικά προμηθεύτηκε αμερικανικά μοντέλα, αργότερα ανέπτυξε τη δική του τεχνολογία.

Περνώντας στη σημερινή τεχνολογία, όσον αφορά σε στρατιωτική χρήση, οι κύριες διαφορές των σύγχρονων ΣμηΕΑ με τα παλαιότερης τεχνολογίας, είναι η μεγαλύτερη δυνατότητα ενεργής συμμετοχής των ΣμηΕΑ στη μάχη (Neuron, Barracuda, Sky-X, BAE Mantis κα). Τα συγκεκριμένα αεροσκάφη είναι γνωστά με τα ακρωνύμια UCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle) και UCAS (Unmanned Combat Aerial System). Παρατηρείται, επίσης, ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ΣμηΕΑ μεγαλύτερης αντοχής και αυτονομίας, αλλά και μεγαλύτερης δυνατότητας πτήσης σε μεγάλα υψόμετρα. Η αυτονομία τους, τους επιτρέπει να πετάνε συνεχόμενα για μέρες, δίνοντας τους έτσι τη δυνατότητα να καλύπτουν τεράστιες αποστάσεις. Το QinetiQ Zephyr 7, το οποίο, σύμφωνα με την εταιρία κατασκευής, είναι κάτι μεταξύ παραδοσιακού ΣμηΕΑ και δορυφόρου, κατέχει το ρεκόρ συνεχόμενης πτήσης με 336 ώρες συνεχούς πτήσης, ενώ κατέχει επίσης, το ρεκόρ υψομέτρου, αφού έφτασε τα 21.562 μέτρα, με την ενέργειά του, να προέρχεται αποκλειστικά από συλλέκτες ηλιακής ενέργειας (Airbus Defence and Space, 2017).

Μια άλλη κατηγορία σύγχρονων, μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι τα αεροσκάφη που χρησιμοποιούν, ελαφρύτερα από τον αέρα, αέρια για την ανύψωσή τους,

όπως, για παράδειγμα, τα αερόπλοια. Πρόκειται, μάλιστα, για αεροσκάφη με μεγάλη διάρκεια πτήσης, ιδανικά για εργασίες εναέριας επιτήρησης και παρακολούθησης.

Πέρα από την εξέλιξη των ΣμηΕΑ στις στρατιωτικές εφαρμογές, ραγδαία είναι η εξέλιξη της χρήσης τους και σε άλλους τομείς. Τα ΣμηΕΑ έχουν βρει πολλαπλές πολιτικές, καλλιτεχνικές, επιστημονικές και εμπορικές εφαρμογές και η πορεία χρήσης τους είναι ανοδική. Αυτό κατέστη δυνατό λόγω της ελαχιστοποίησης των διαστάσεων των παραδοσιακών ΣμηΕΑ και της ταυτόχρονης ελαχιστοποίησης των διαστάσεων άλλων τεχνολογικών συσκευών, όπως οι κάμερες, οι διαφόρων ειδών αισθητήρες, οι μπαταρίες κλπ (Gurta et al, 2013).

Όπως και στα μεγαλύτερου μεγέθους ΣμηΕΑ, έτσι και στα μικρότερου, συναντώνται αεροσκάφη σταθερών πτερύγων, τα οποία, τυπικά, βασίζονται στην οριζόντια κίνηση για την απογείωση και την προσγείωσή τους, οι οποίες επιτυγχάνονται μέσω κάποιου διαδρόμου, ενώ είναι ικανά για μεγάλες ταχύτητες και αυτονομία. Τα αεροσκάφη περιστρεφόμενων πτερύγων από την άλλη (ελικόπτερα, για παράδειγμα), απογειώνονται και προσγειώνονται κάθετα, ενώ η κίνηση τους προς όλες τις κατευθύνσεις και, γενικότερα, η ικανότητα τους στους ελιγμούς, τα κάνει ιδανικά στις αστικές/πολιτικές εφαρμογές. Ο αριθμός και η διάταξη των ελίκων τους ποικίλει. Λιγότερο διαδεδομένα είναι τα ορνιθόπτερα, των οποίων οι έλικες μιμούνται την κίνηση των πτερών των πτηνών και των εντόμων (Gurta et al, 2013).

Οι πολιτικές χρήσεις των ΣμηΕΑ, μεταξύ άλλων, περιλαμβάνουν:

- ❖ Διαχείριση της κυκλοφορίας (Puri, 2005)
- ❖ Αλιεία (Ahilan et al, 2015)
- ❖ Διαχείριση καταστροφών (Adams and Friedland, 2011)
- ❖ Γεωργία (Xiang and Tian, 2011)
- ❖ Δασοκομία (Torresan et al, 2016)
- ❖ Διαχείριση υποδομών ενέργειας (Pagnano et al, 2013)
- ❖ Επιτήρηση συνόρων (Kingston et al, 2008)
- ❖ Περιβαλλοντική επιτήρηση (Dunbabin and Marques, 2012)
- ❖ Χαρτογράφηση (Remondino et al, 2011).

4.2 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το γενικό νομικό πλαίσιο των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) της Ελληνικής Επικράτειας, καθορίζεται κυρίως σε δυο φύλλα της Εφημερίδας της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 3152/Β/30-9-2016 & ΦΕΚ Β-4527/30.12.2016). Στο παρόν υποκεφάλαιο θα γίνει επισκόπηση μερικών βασικών ορισμών και κανονισμών.

Ο επίσημος ορισμός που δόθηκε για το «Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους - ΣμηΕΑ» (Unmanned Aircraft System - UAS), είναι ο εξής:

«Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους - ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft System-UAS) ορίζεται το μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UA) μαζί με όλο τον σχετικό εξοπλισμό που αφορά στην υποστήριξη αυτού (σταθμός ελέγχου, δυνατότητες σύνδεσης δεδομένων και τηλεχειρισμού, εξοπλισμός πλοήγησης κλπ) ο οποίος είναι απαραίτητος για τη λειτουργία του μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Τα ΣμηΕΑ είναι είτε ελεύθερα (free UAS) ή είναι δυνατόν να είναι προσδεδεμένα (tethered UAS) σε σταθερές ή κινητές βάσεις. Στην κατηγορία των συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών - ΣμηΕΑ (Unmanned Aircraft System - UAS) περιλαμβάνονται και τα τηλεχειριζόμενα αεροσκάφη (Remotely - Piloted Aircraft RPA) και τα τηλεχειριζόμενα Συστήματα Αεροσκαφών (Remotely-Piloted Aircraft Systems RPAS), καθώς και τα αυτόνομα αεροσκάφη (autonomous aircraft)».

Στον ορισμό αυτό, δε συμπεριλαμβάνονται τα «αερομοντέλα», τα «ελεύθερα ή προσδεδεμένα μπαλόνια (tethered or free balloons)», ενώ από τους κανονισμούς που αφορούν στα ΣμηΕΑ, όπως αυτοί περιγράφονται στα δυο προαναφερθέντα ΦΕΚ, εκπίπτουν «επανδρωμένα αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς ή άλλους κρατικούς σκοπούς από τους αντίστοιχους κρατικούς φορείς (ένοπλες δυνάμεις, σώματα ασφαλείας κλπ)».

Δεδομένης της πολλαπλότητας των χρήσεων των ΣμηΕΑ, ο εκμεταλλευόμενος (φυσικό ή νομικό πρόσωπο) του αεροσκάφους έχει την υποχρέωση να δηλώσει τη χρήση του (εμπορική, επιστημονική, ψυχαγωγική, αεροπορικές εργασίες). Σε περίπτωση, μάλιστα, που χειρίζεται ΣμηΕΑ με εμβέλεια τηλεχειρισμού άνω των 50μ., εγγράφεται σε ειδικό Μητρώο που τηρείται από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας. Εξάλλου, σε Μητρώο είναι υποχρεωτική και η εγγραφή των ελεγκτών κατασκευής και εκπαιδευτών ΣμηΕΑ.

Στο ΦΕΚ 3152/Β/30-9-2016, βάσει των παρακάτω κριτηρίων:

- μέγιστη μάζα απογείωσης (MTOM)

- είδος χρήσης
- ύψος πάνω από την επιφάνεια της γης ή της θάλασσας που επιτρέπεται να ίπτανται
- περιοχές (αποκλειστικές ή μη) όπου ίπτανται
- τεχνικές δυνατότητες εκάστου ΣμηΕΑ
- πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας του ΣμηΕΑ

Καθορίζονται οι κάτωθι κατηγορίες ΣμηΕΑ:

A. Η «ανοικτή» κατηγορία (UAS Open Category)

B. Η «ειδική» κατηγορία (UAS Specific Category)

Γ. Η «πιστοποιημένη» κατηγορία (UAS Certified Category)

Οι ορισμοί που δίδονται για αυτές τις τρεις κατηγορίες ΣμηΕΑ είναι:

1. Ανοικτή κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Open Category).

Κατηγορία ΣμηΕΑ των οποίων η πτητική λειτουργία διεξάγεται με απευθείας οπτική επαφή του χειριστή μικρών μη επανδρωμένων αεροσκαφών με MTOM κάτω των 25 κιλών εντός ασφαλούς απόστασης από πρόσωπα στο έδαφος.

2. Ειδική κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Specific Category).

Κατηγορία ΣμηΕΑ των οποίων η πτητική λειτουργία είναι πιθανόν να ενέχει σημαντικούς κινδύνους για τα πρόσωπα υπεράνω των οποίων εκτελείται.

3. Πιστοποιημένη κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Certified Category).

Κατηγορία ΣμηΕΑ των οποίων η πτητική λειτουργία διεξάγεται με απαιτήσεις ανάλογες εκείνων που ισχύουν για τα επανδρωμένα αεροσκάφη, δηλαδή με προηγούμενη εξασφάλιση αδειών και πιστοποιητικών αξιοπλοΐας.

Ανάλογα με την κατηγορία, η πραγματοποίηση πτήσεων ΣμηΕΑ διέπεται από συγκεκριμένους κανόνες και απαγορεύσεις. Σε γενικότερο πλαίσιο, οι κανονισμοί εναέριας κυκλοφορίας των ΣμηΕΑ είναι οι εξής:

- Κάτω από το όριο κυκλοφορίας των επανδρωμένων αεροσκαφών (μέγιστο ύψος 400 πόδια (120μ) πάνω από το έδαφος ή την επιφάνεια της θάλασσας)
- Πάνω από το ανώτερο όριο κυκλοφορίας των επανδρωμένων αεροσκαφών (460-46.000 πόδια)
- Εντός Προσωρινών Αποκλειστικών Περιοχών (Temporary Segregated Areas TSA), όπως και σε καθορισμένα ίχνη και ύψη, προσδιορισμένα από την ΥΠΑ.

Μερικές επιπρόσθετες απαγορεύσεις στις πτήσεις των ΣμηΕΑ περιλαμβάνουν την:

- πτήση σε απόσταση μικρότερη από 8 χλμ. από την περίμετρο αεροδρομίου
- πτήση ΣμηΕΑ «ανοικτής» κατηγορίας επάνω από συγκεντρώσεις προσώπων
- πτήση για μεταφορά επικίνδυνων υλικών.

Οι κατηγοριοποίηση των ΣμηΕΑ, όσον αφορά την αδειοδότηση των χειριστών και όπως αναφέρεται στο ΦΕΚ Β-4527/30.12.2016, γίνεται με κριτήριο τη μέγιστη μάζα απογείωσης (Maximum Take Off Mass) του ΣμηΕΑ. Έτσι οι κατηγορίες είναι:

- UAS Pilot A, MTOM μέχρι 1 kg
- UAS Pilot B, MTOM από 1 kg μέχρι 4 kg
- UAS Pilot C, MTOM από 4 kg μέχρι 25 kg
- UAS Pilot D, MTOM από 25 kg μέχρι 150 kg
- UAS Pilot E, MTOM από 150 kg και άνω

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

Στο ίδιο ΦΕΚ αναγνωρίζονται, επίσης, οι παρακάτω ειδικότητες χειριστή ΣμηΕΑ:

- Εξεταστής χειριστών ΣμηΕΑ
- Εκπαιδευτής χειριστών ΣμηΕΑ
- Εξωτερικός πιλότος (External Pilot)
- Εσωτερικός πιλότος (Internal Pilot)
- Ειδικότητα πτήσεων σε απόσταση με επέκταση οπτικής επαφής (Extended Visual Line of Sight-EVLOS)
- Ειδικότητα πτήσεων σε απόσταση πέραν οπτικής επαφής (Beyond Visual Line of Sight - BVLOS)
- Ειδικότητα εναέριων εργασιών
- Ειδικότητα νυχτερινών πτήσεων
- Ειδικότητα πτήσεων πάνω από συγκεντρώσεις ατόμων

Επίσης, αναγνωρίζονται διακριτές ικανότητες:

- Ικανότητα επί αεροπλάνου (Airplane)
- Ικανότητα επί ελικοπτερου (Helicopter)
- Ικανότητα επί πολυκοπτερου (Multi-rotor)
- Ικανότητα επί τύπου
- Ικανότητα εξειδικευμένων εργασιών

Ως προϋποθέσεις για την απόκτηση άδειας χειρισμού ΣμηΕΑ ορίζονται οι:

- Συμπλήρωση ορίου ηλικίας δεκαοκτώ (18) ετών.
- Ικανοποιητικό επίπεδο θεωρητικών γνώσεων σε θέματα πολιτικής αεροπορίας.
- Πιστοποιητικό υγείας (Class 3 Medical Fitness) σε ισχύ, στην ειδική και πιστοποιημένη κατηγορία
- Πρακτική εξέταση (skill test) που να περιλαμβάνει την επιτυχή εκτέλεση μέχρι και τεσσάρων (4) απογειώσεων/προσγειώσεων ΣμηΕΑ, ενώπιον πιστοποιημένου εξεταστή χειριστών ΣμηΕΑ
- Πολύ καλή γνώση Αγγλικής γλώσσας επιπέδου ICAO English Proficiency Standard levels 4 ή ανώτερο για πτήσεις με ΣμηΕΑ ειδικής και πιστοποιημένης κατηγορίας.

Έτσι, για την απόκτηση άδειας χειρισμού, ο υποψήφιος πρέπει να περάσει από θεωρητική και πρακτική εκπαίδευση, η οποία παρέχεται από αδειοδοτημένα Εκπαιδευτικά Κέντρα, και να ολοκληρώσει επιτυχημένα την ενδεδειγμένη θεωρητική και πρακτική εξέταση. Ενδεικτικά, η πρακτική εκπαίδευση του υποψήφιου, ανάλογα με τον τύπο της άδειας, ανέρχεται σε:

- UAS Pilot A, τρεις (3) ώρες πτήσης
- UAS Pilot B, επτά (7) ώρες πτήσης
- UAS Pilot C, δώδεκα (12) ώρες πτήσης
- UAS Pilot D, δεκαοκτώ (18) ώρες πτήσης

Σε αυτές τις ώρες πτήσεις μπορεί να περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων:

- Προετοιμασία πτήσης, χειρισμοί προ-πτήσεως. Επιθεώρηση και εξυπηρέτηση του μη-επανδρωμένου αεροσκάφους και του σταθμού εδάφους, ανεφοδιασμός, έλεγχοι επικοινωνιών και επιβεβαίωση λειτουργιών, διαμόρφωση, φόρτωση και επιβεβαίωση πληροφοριών σχεδίου πτήσης, διασφάλιση αδειών από υπηρεσίες ελέγχου εναερίου κυκλοφορίας
- Επαναφορά από ασυνήθιστες στάσεις με βοήθεια οργάνων ή κάμερας πτήσης
- Απογειώσεις και προσγειώσεις χωρίς ή και με άνεμο.

Σε περίπτωση αποτυχίας κατά την εξέταση, ο υποψήφιος έχει τη δυνατότητα περαιτέρω εκπαίδευσης στο αντικείμενο που απέτυχε και επανεξέτασης μετά την πάροδο τουλάχιστον δέκα ημερών. Η ανανέωση της άδειας πραγματοποιείται ανά τριετία, εφόσον ο χειριστής σε αυτά τα τρία χρόνια έχει δέκα πιστοποιημένες ώρες πτήσης και

τα απαραίτητα πιστοποιητικά υγείας και γλωσσομάθειας σε ισχύ. Αν δεν πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις, τότε, για την ανανέωση της άδειας, είναι απαραίτητη η εκ νέου πρακτική εξέταση.

Η ανάκληση ή η αναστολή της άδειας, από την άλλη, είναι δυνατή, αν ο κάτοχος ΣμηΕΑ εμπλακεί σε ατύχημα ως χειριστής, αν δεν κατέχει πιστοποιητικό υγείας και γνώσης των απαραίτητων αγγλικών σε ισχύ ή τέλος, έπειτα από αιτιολογημένη απόφαση του Διοικητή της Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας.

Ο εκμεταλλευόμενος «οφείλει να ασφαρίζει το ΣμηΕΑ για ζημιές έναντι τρίτων και ειδικότερα έναντι υλικών ζημιών τρίτων έως 150.000 και για σωματικές βλάβες έως 1.000.000». Όσον αφορά στην προστασία των προσωπικών δεδομένων, οι κυρώσεις που επιβάλλονται στους παραβάτες καθορίζονται από τη σχετική, ισχύουσα νομοθεσία (Ν. 2472/1997).

4.3 ΤΑ ΣμηΕΑ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Μια σχηματική παρουσίαση ενός σύγχρονου συστήματος μη επανδρωμένου αεροσκάφους, περιλαμβάνει τρία βασικά μέρη.

- ❖ Το αεροσκάφος, το οποίο περιλαμβάνει τον εξοπλισμό πλοήγησης (πχ GPS), τον εξοπλισμό αποτύπωσης (πχ Μη-μετρική, ψηφιακή κάμερα) και την πηγή ενέργειας (πχ μπαταρία)
- ❖ Τον επίγειο σταθμό ελέγχου (πχ laptop), ο οποίος περιλαμβάνει το λογισμικό όπου σχεδιάζεται και παρακολουθείται η πτήση και οι λεπτομέρειές της σε πραγματικό χρόνο
- ❖ Ο πομπός της ραδιοζεύξης, από τον οποίο μπορεί να ελεγχθεί χειροκίνητα η πτήση και ο οποίος, ως δέκτης, λαμβάνει βασικές πληροφορίες για την κατάσταση του αεροσκάφους (Gurta et al, 2013).

Η ταυτόχρονη τεχνολογική πρόοδος και στα τρία προαναφερθέντα μέρη των ΣμηΕΑ, έχει συμβάλλει στη διεύρυνση των επιλογών για τη διεκπεραίωση σχετικών εργασιών. Συγκεκριμένα, η πρόοδος αυτή αντικατοπτρίζεται στα εξής:

- Στη μείωση των διαστάσεων των ΣμηΕΑ, η οποία συμβάλλει στη φορητότητά τους, επομένως και στο εύρος των εφαρμογών τους, στο μειωμένο κόστος κά

- Στις ολοένα βελτιούμενες επιδόσεις των ΣμηΕΑ όσον αφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Για παράδειγμα, τη διαχείριση της ενέργειας, τη σταθερότητα στην πτήση κλπ
- Στη βελτίωση της τεχνολογίας των μπαταριών (πολυμερών λιθίου - LiPo)
- Στη μείωση των διαστάσεων των οργάνων μέτρησης και αποτύπωσης, όπως, για παράδειγμα, τα GPS, τα LiDAR και οι φωτογραφικές μηχανές, αλλά και των αισθητήρων ανίχνευσης φυσικών μεγεθών. Άμεση συνέπεια αυτού του γεγονότος, πέρα από τη σταδιακή μείωση του κόστους τους, είναι η δυνατότητα συνδυασμού τους με μικρού μεγέθους ΣμηΕΑ για εναέριες εργασίες που παραδοσιακά απαιτούσαν ογκώδη και ακριβό εξοπλισμό
- Στην ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού, είτε ανοιχτού κώδικα είτε εμπορικού, για τις εργασίες πεδίου και γραφείου.

Όλα τα παραπάνω, έχουν βοηθήσει στην αλματώδη αύξηση της έρευνας, της παραγωγής και της χρήσης των ΣμηΕΑ. Σύμφωνα με τους Colomina and Molina (2014) αυτό είναι εμφανές και στον τομέα της φωτογραμμετρίας και τηλεπισκόπησης. Βάσει των στοιχείων που παρουσιάζουν, στο τετραετές συνέδριο της Διεθνούς Κοινωνίας Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ISPRS congress) το 2004 στην Κωνσταντινούπολη, παρουσιάστηκαν τρεις επιστημονικές μελέτες σχετιζόμενες με τα ΣμηΕΑ και καμιά ξεχωριστή συνεδρία επί του θέματος. Στο αντίστοιχο συνέδριο του 2012 στην Μελβούρνη, οι επιστημονικές εργασίες που σχετίζονταν με τα ΣμηΕΑ έφτασαν τις πενήντα, ενώ έλαβαν χώρα και εννιά συνεδρίες αποκλειστικά αφιερωμένες σε αυτό. Παρόμοια αύξηση στον αριθμό των επιστημονικών εργασιών παρουσιάζεται, βεβαίως, και σε άλλους κλάδους. Εξάλλου, σύμφωνα με άρθρο του Business Insider (BI), οι πωλήσεις ΣμηΕΑ αναμένεται να ξεπεράσουν τα \$22δισ. από τα \$8,5δισ. του 2016. Το μεγαλύτερο τζίρο της συγκεκριμένης βιομηχανίας συγκεντρώνει ο στρατιωτικός κλάδος, με τις εμπορικές/επαγγελματικές χρήσεις, ωστόσο, να αναπτύσσονται με μεγάλο ρυθμό κάθε χρόνο (Joshi, 2017).

4.3.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ (UAS MAPPING)

Το παρόν υποκεφάλαιο εξετάζει τις δυνατότητες που προσφέρονται από τη νέα τεχνολογία στον τομέα της αποτύπωσης και της χαρτογράφησης. Μερικές από τις ονομασίες με τις οποίες συναντώνται συχνά στην ξένη βιβλιογραφία οι συγκεκριμένες διαδικασίες, είναι «UAV/UAS Mapping», «UAV/UAS Photogrammetry» και «UAV/UAS

Surveying». Όπως αναφέρει ο Eisenbeiss (2011, σελ. 1 - 2): «Τα ΣμηΕΑ μπορούνε να χρησιμοποιηθούν ως πλατφόρμες χαρτογράφησης. Αυτές οι πλατφόρμες είναι εξοπλισμένες με συστήματα φωτογραμμετρικών μετρήσεων, συμπεριλαμβανομένων, αλλά όχι αποκλειστικά, μικρού ή μεσαίου μεγέθους φωτογραφικές ή βίντεο κάμερες, συστήματα θερμικών ή υπέρυθρων καμερών, πολυφασματικών καμερών, στερεοσκοπικές κάμερες, αισθητήρες LiDAR, ή κάποιον συνδυασμό αυτών, αναλόγως με το ωφέλιμο φορτίο του ΣμηΕΑ. Επιπρόσθετα, για τον καθορισμό της τροχιάς, τα ΣμηΕΑ, έχουν ενσωματωμένο σύστημα GNSS/INS, βαρομετρικό αλτίμετρο και πυξίδα. Τα ΣμηΕΑ ανοίγουν ποικίλες νέες εφαρμογές, συνδυάζοντας εναέρια κι επίγεια φωτογραμμετρία, αλλά, εισάγουν επίσης, νέες εφαρμογές σε, σχεδόν, πραγματικό χρόνο και χαμηλού κόστους εναλλακτικές προς την κλασσική επανδρωμένη εναέρια φωτογραμμετρία».

Αυτή η κατάσταση μεταξύ παραδοσιακής φωτογραμμετρίας και επίγειων τεχνικών αποτύπωσης φαίνεται να είναι και για τον Sippo (2013, σελ. 12) το αντικείμενο της χαρτογράφησης με ΣμηΕΑ: «Η χαρτογράφηση με ΣμηΕΑ είναι ευρέως αποδεκτή ως μια νέα μέθοδος απόκτησης χωρικών φωτογραφικών δεδομένων. Οι κύριες επαγγελματικές ευκαιρίες βρίσκονται εμφανώς σε δουλειές που είναι μικρές για να τραβήξουν το ενδιαφέρον πλατφόρμων αεροσκαφών και ελικοπτέρων και μεγάλες για χαρτογράφηση στο πεδίο».

Διαφορετικά, όπως το θέτουν οι Colomina and Molina (2014, σελ.4): «...μία φωτογραμμετρική/τηλεπισκοπική χαρτογράφηση με ΣμηΕΑ, είχε συνήθως να κάνει με το χειρισμό μιας αεροπορικής πλατφόρμας, πιθανότατα σταθερών ή περιστρεφόμενων ελίκων, με μέγιστο βάρος απογείωσης μικρότερο των 30kg, με ακτίνα δράσης μικρότερη των 10km και ύψος πτήσης κάτω των 300m, φέροντας μια μικρή ή μέση οπτική κάμερα (πιθανόν στο ορατό φάσμα), και είτε εξ αποστάσεως πλοηγούμενο από κάποιον άνθρωπο ή πλοηγούμενο από αυτόματο πιλότο μέσω δυο βασικών τεχνολογιών πλοήγησης, το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS - Global Navigation Satellite Systems) (όπως, για παράδειγμα, το GPS) και το Αδρανειακό Σύστημα Πλοήγησης (INS - Inertial Navigation System), σε μονή GNSS λειτουργία ή σε συνδυασμό INS/GNSS».

4.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΟΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΜΗΕΑ

Η κατηγοριοποίηση των ΣμηΕΑ, για εργασίες αποτύπωσης, αλλά και γενικά, είναι δύσκολη (Colomina and Molina, 2014; Eisenbeiss, 2011; Valavanis and

Vachtsevanos, 2015), εφόσον μαζί με το κριτήριο κατηγοριοποίησης ή το συνδυασμό τους (πχ είδος ΣμηΕΑ (σταθερών ή περιστρεφόμενων ελίκων), MTOM (στη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως MTOW), μέγεθος, εύρος πεδίου δράσης, ύψος πτήσης, φερόμενη τεχνολογία αποτύπωσης, αυτονομία κλπ) αλλάζει και η ίδια. Επίσης, η κατηγοριοποίηση δεν είναι μόνο θεωρητικού ενδιαφέροντος, αλλά και πρακτικού, εφόσον, αναπόφευκτα, σχετίζεται με το νομικό πλαίσιο που ρυθμίζει τη χρήση τους (Dalamagkidis, 2015). Περαιτέρω, όσο εξελίσσονται οι σχετικές τεχνολογίες, οι επιμέρους κατηγοριοποιήσεις έρχονται με ημερομηνία λήξης. Ο Dalamagkidis (2015), σε μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας, παρουσιάζει κατηγοριοποιήσεις βάσει:

- Της μέγιστης ωφέλιμης μάζας κατά την απογείωση και του αναμενόμενου αντίκτυπου από πιθανή πτώση
- Του υψομέτρου κατά το οποίο επιχειρεί το ΣμηΕΑ και το ρίσκο σύγκρουσης εν ώρα πτήσης
- Της αυτονομίας
- Στρατιωτικών ενδιαφερόντων
- Ιδιοκτησιακού καθεστώτος.

Ωστόσο, στην παρούσα εργασία, υιοθετείται η κατηγοριοποίηση των Gupta et al. (2013), όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, με τις κατηγορίες που ενδιαφέρουν εδώ να είναι κυρίως οι δυο πρώτες, micro και mini.

Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση Κατηγοριών για τα UAV, όπως παρατίθεται από τους Gupta et al. (2013)

Category	Weight of UAV	Normal Operating Altitude	Radius of Mission	Endurance	Altitude	Normal Employment	Typical Use
MICRO	< 2 kg	Up to 200ft AGL	5 km (LOS)	A few hours	Very Low Altitude	Tactical Platoon (Single operator)	Reconnaissance, Inspection, surveillance
MINI	2 - 20 kg	Up to 3000ft AGL	25 km (LOS)	Up to 2 days	Low Altitude	Tactical Sub-Unit (manual launch)	Surveillance, data gathering

SMALL	20 - 150 kg	Up to 5000ft AGL	50 km (LOS)	Up to 2 days	Low Altitude	Tactical Unit (employs launch system)	Surveillance, data gathering
TACTICAL	150-600 kg	Up to 10,000ft AGL	200 km (LOS)	Up to 2 days	Low Altitude	Tactical Formation	Surveillance, data gathering
MALE	> 600 kg	Up to 45,000ft AGL	Unlimited (BLOS)	Days/weeks	Medium Altitude	Operational/The atre	Surveillance, cargo transportation
HALE	> 600 kg	Up to 65,000ft AGL	Unlimited (BLOS)	Days/weeks	High Altitude	Strategic/ National	Surveillance, data gathering, signal relay
STRIKE / COMBAT	> 600 kg	Up to 65,000ft AGL	Unlimited (BLOS)	Days/weeks	High Altitude	Strategic/ National	Surveillance, data gathering, signal relay

4.3.3 ΡΟΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της νέα μορφής φωτογραμμετρίας με χρήση ΣμηΕΑ, συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους, έχει να κάνει με την ευελιξία που προσφέρει στη συλλογή δεδομένων. Ασχέτως του γεγονότος αυτού, ωστόσο, η μεθοδολογία της όλης διαδικασίας συνεχίζει να αποτελείται από συγκεκριμένα βήματα, που σε κάποιο βαθμό είναι παρόμοια με τα αντίστοιχα της παραδοσιακής εναέριας φωτογραμμετρίας (Eisenbeiss, 2011).

Έτσι λοιπόν, το πρώτο βήμα είναι, ασφαλώς, η ρύθμιση των βασικών παραμέτρων της εργασίας. Η εξέταση, δηλαδή, του αντικειμένου αποτύπωσης και των τελικών στόχων, των νομικών περιορισμών, που ίσως διέπουν την περιοχή μελέτης, όπως και η επιλογή του εξοπλισμού.

Μετά τον αρχικό σχεδιασμό, ακολουθεί η επί τόπου επιθεώρηση του πεδίου, όπου ζητούμενο της είναι ο εντοπισμός πιθανών εμποδίων και άλλων δυσκολιών, που ίσως προκύψουν κατά τη λήψη των δεδομένων. Τέτοια εμπόδια, μπορεί να είναι κεραίες τηλεφωνίας, δύσβατο ανάγλυφο, γραμμές μεταφοράς ρεύματος κ.α. Επίσης, σε περίπτωση χρησιμοποίησης φωτοσταθερών και σημείων ελέγχου, μπορεί να γίνει μια πρώτη αξιολόγηση των καταλληλότερων σημείων τοποθέτησης, όπως και εντοπισμός των σημείων απογείωσης και προσγείωσης.

Αφού αποκτηθεί οικειότητα με το χώρο, έπειτα μπορεί να ακολουθήσει το πλάνο της πτήσης. Εδώ υπεισέρχονται αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν ο ένας τον άλλον. Για παράδειγμα, μπορεί η διάρκεια της πτήσης να είναι περιορισμένη, οπότε η τροχιά της πρέπει να προσαρμοστεί αναλόγως, ώστε να υπάρξει η καταλληλότερη δυνατή εκμετάλλευση του χρόνου. Έπειτα, άλλα στοιχεία που πρέπει να αποφασιστούν, είναι το ύψος της πτήσης, η επικάλυψη των φωτογραφιών, η ανάλυσή τους, και η γωνία λήψης.

Η χρησιμοποίηση ή όχι φωτοσταθερών έχει να κάνει, εν πολλοίς, με τις δυνατότητες του εξοπλισμού. Έτσι λοιπόν, αν, για παράδειγμα, το σύστημα πλοήγησης που θα χρησιμοποιηθεί μπορεί να μας παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια των συντεταγμένων των σημείων λήψης, τότε η τοποθέτηση φωτοσταθερών δεν είναι απαραίτητη. Ωστόσο, αν κάτι τέτοιο, δεν είναι δυνατό, τότε, πριν την πτήση, θα πρέπει, να αναζητηθούν και να σημειωθούν κατάλληλα σημεία. Αυτό σημαίνει, πως η διασπορά τους στην περιοχή ενδιαφέροντος θα πρέπει να είναι σχετικά ισομερής και επιπλέον, να είναι ορατά και αναγνωρίσιμα από τις φωτογραφίες που θα ληφθούν. Για κάθε τέτοιο σημείο θα πρέπει να υπάρξει προσδιορισμός των συντεταγμένων του, με όσο το δυνατόν υψηλότερη ακρίβεια (πχ με χρήση γεωδαιτικού σταθμού ή RTK GNSS κλπ).

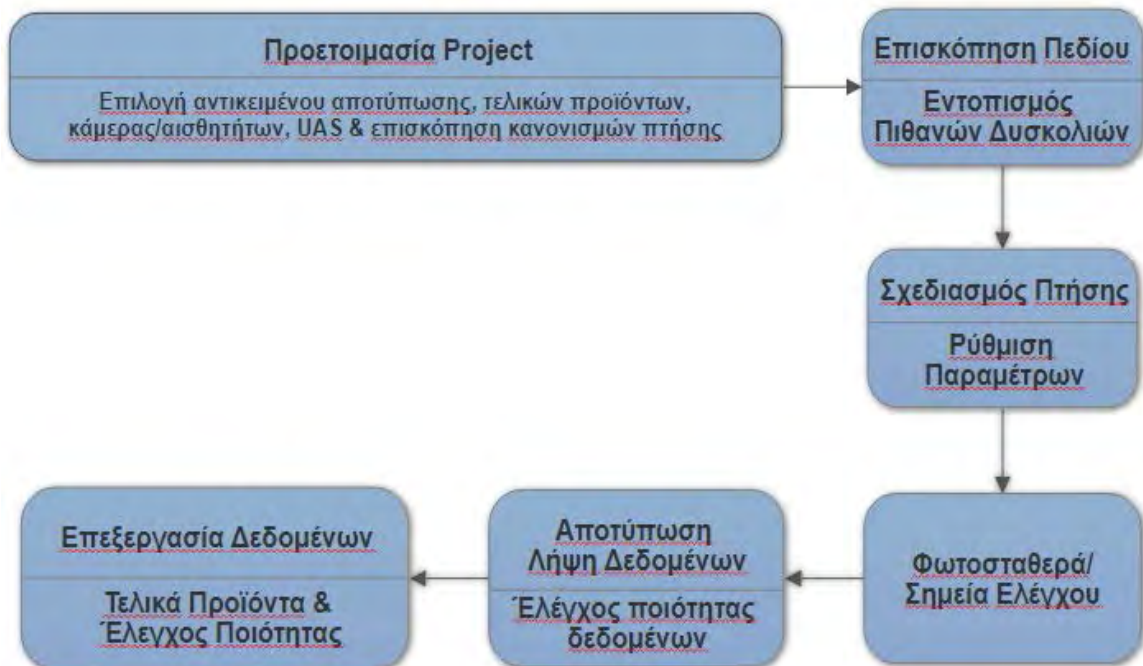
Πριν την απογείωση είναι καλό, εξετάζοντας το σχέδιο πτήσης, να εντοπίσουν κάποια βολικά σημεία για την περίπτωση επείγουσας, χειροκίνητης προσγείωσης. Από εκεί και πέρα, αφού ελεγχθεί η ποιότητα της ραδιοζεύξης και βεβαιωθεί πως υπάρχει επικοινωνία μεταξύ του αεροσκάφους και του πομπού, μπορεί να γίνει η απογείωση και να ξεκινήσει η λήψη των δεδομένων. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, θα πρέπει να υπάρχει έλεγχος της ποιότητας των δεδομένων, μέσω του σταθμού ελέγχου, ώστε να ξαναληφθούν σε περίπτωση αστοχίας, αν κριθεί απαραίτητο. Μάλιστα συνεχώς θα πρέπει να είναι και η παρακολούθηση του αεροσκάφους, ώστε να υπάρξει άμεση αντίδραση, αν προκύψει κάποιο απρόοπτο περιστατικό. Σε περίπτωση που έχουν σχεδιαστεί περισσότερες από μία αποστολές για την ολοκλήρωση της αποτύπωσης, τότε, μετά την πρώτη πτήση, θα πρέπει να εξεταστούν τα ευαίσθητα μέρη του αεροσκάφους για τυχόν υπερθέρμανση και να ελεγχθούν οι ληφθείσες φωτογραφίες για την ποιότητά τους, ώστε να διορθωθούν οι παράμετροι της κάμερας σε περίπτωση μη ικανοποιητικού αποτελέσματος.

Η επεξεργασία των δεδομένων λήψης, για την παραγωγή των τελικών προϊόντων, μπορεί να αποδειχθεί η πιο κοστοβόρος διαδικασία από άποψη χρόνου. Ενώ και η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς των λογισμικών προγραμμάτων επίλυσης δεν είναι

καθόλου ευκαταφρόνητη, ιδιαίτερα όταν υπάρχει μεγάλος όγκος δεδομένων. Οι μεγάλες επικαλύψεις κατά τη λήψη των αεροφωτογραφιών, είναι ίσως η βασικότερη αιτία των ανωτέρω. Αυτό συμβαίνει, όταν δεν επιθυμείται απλώς η λήψη ενός ψηφιακού μοντέλου επιφανείας της περιοχής ενδιαφέροντος, αλλά επίσης, η ανάγκη γεωαναφοράς του στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς, ώστε το μοντέλο να έχει πραγματική γεωγραφική πληροφορία.

Συνεπώς, η πρώτη εργασία της επίλυσης είναι η ευθυγράμμιση των αεροφωτογραφιών μέσω των συντεταγμένων τους και ο προσδιορισμός των παραμέτρων της φωτομηχανής και η παραγωγή ενός πρώτου αραιού νέφους σημείων. Η εξαγωγή μοντέλου από αυτό το σημείο είναι δυνατή, εφόσον δεν είναι επιθυμητή η αναγωγή του σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων. Ωστόσο, σε αντίθετη περίπτωση, πριν παραχθεί το τελικό μοντέλο, γίνεται η αναγωγή του στο σύστημα συντεταγμένων των φωτοσταθερών, μέσω της αναγνώρισής τους στις φωτογραφίες, ακολουθούμενη από την αναδημιουργία του νέφους σημείων, αυτή τη φορά γεωαναφερμένου, όπως και των θέσεων λήψης της μηχανής. Μετά από αυτές τις διορθώσεις, εξάγεται ένα πυκνότερο νέφος σημείων, το οποίο γίνεται η βάση πάνω στην οποία θα σχηματιστούν τα τελικά μοντέλα (Volkman and Barnes, 2014).

Σχήμα 4.1: Μεθοδολογία Εργασιών (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)



4.4 ΠΟΛΙΤΙΚΟΙ ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΣμηΕΑ

Η παρούσα περίοδος είναι περίοδος μεταβατική για τη σχέση ΣμηΕΑ - ευρέως κοινού, η κοινωνία βρίσκεται εν τω μέσω της διαδικασίας ενσωμάτωσής τους σε χώρους και εφαρμογές, στις οποίες δεν τα είχε συνηθίσει. Η διαδικασία αυτή δεν είναι απόλυτα ομαλή, εφόσον, από τη μια, για αρκετό κόσμο τα ΣμηΕΑ (ή drones) είναι συνδεδεμένα με πολεμικές επιχειρήσεις και εκούσιους ή ακούσιους θανάτους πολιτών και αμάχων, αλλά και με εγγενείς κινδύνους της χρήσης τους, ακόμη κι όταν αυτή δεν υπηρετεί πολεμικούς σκοπούς: κινδύνους, τους οποίους η τεχνολογική πρόοδος δεν έχει καταφέρει ακόμα να ελαχιστοποιήσει.

Έτσι, αυτή η περίοδος μετάβασης δημιουργεί διαφορούμενες εντυπώσεις, ίσως και ανάλογα με την οπτική γωνία από την οποία διαλέγει κανείς να την αξιολογήσει. Συνεπώς, συγκρίνοντας αφενός, την παρούσα κατάσταση ένταξης των ΣμηΕΑ σε μη στρατιωτικές εφαρμογές με την κατάσταση που επικρατούσε λίγα χρόνια πριν, παρατηρεί κανείς πως η ποσοτική (και γιατί όχι ποιοτική) διαφορά είναι μεγάλη, όπως μαρτυρά και η νύξη που έγινε επί του θέματος στην αρχή του κεφαλαίου. Αφετέρου, όταν εξετάζει κάποιος το θέμα, όχι στη βάση μιας σύγκρισης του παρόντος με το πρόσφατο παρελθόν, αλλά στη βάση των εγγενών δυνατοτήτων ένταξης και αξιοποίησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας σε πολιτικές εφαρμογές, αντιλαμβάνεται πως η προαναφερθείσα διαφορά με το πρόσφατο παρελθόν, εν τέλει δεν είναι και τόσο μεγάλη. Ωστόσο, το γεγονός αυτό αποτελεί μόνο την αρχή.

Αξίζει πάντως να σημειωθεί πως, ο αριθμός των διακριτών πεδίων, στα οποία βρίσκουν εφαρμογή τα ΣμηΕΑ είναι μεν σημαντικός, αλλά εξίσου, αν όχι περισσότερο σημαντική, είναι η έκταση της χρήσης τους εντός αυτών των πεδίων εφαρμογής. Όπως αναφέρουν οι Valavanis and Vachtsevanos (2015): Σ' αυτό το στάδιο, τα ΣμηΕΑ, είτε έχουν υπολογιστεί, είτε έχουν βρει (πολύ) περιορισμένη εφαρμογή σε ένα ευρύ πεδίο χρήσεων, το οποίο περιλαμβάνει, αλλά δεν περιορίζεται, στην επιθεώρηση υποδομών ενέργειας, αγωγών, πλοίων, μεταλλείων, φραγμάτων, στην επιθεώρηση και πρόληψη ανωμαλιών, στον πρώιμο εντοπισμό πυρκαγιών και τη δασική προστασία, στην κυκλοφοριακή και περιβαλλοντική επιτήρηση, σε επιχειρήσεις ανεύρεσης και διάσωσης, στην αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών, στην περιπολία συνόρων, στην αστυνομική επιτήρηση, στην εναέρια φωτογράφιση, στην υποστήριξη επίλεκτων σωμάτων ασφαλείας, στην απεικόνιση και στην χαρτογράφηση, στην πληροφοριοδότηση, επιτήρηση και α-

ναγνώριση, στους χημικούς ψεκασμούς, αεροψεκασμούς καλλιεργειών, στη νυχτερινή όραση, στη βιομηχανία της ψυχαγωγίας και στην κινηματογράφηση.

Όσον αφορά στο βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας, την αποτύπωση αστικού (δομημένου) χώρου, ο καταμερισμός εργασίας ανάμεσα στην επίγεια τοπογραφική αποτύπωση και την παραδοσιακή εναέρια φωτογραμμετρία ήταν μέχρι πρότινος ξεκάθαρος. Η πρώτη αποτυπώνει, με μεγάλη ακρίβεια και σε περιορισμένη έκταση, αντικείμενα και γραμμές, ενώ η δεύτερη προσφέρεται για χαρτογράφηση τεράστιων εκτάσεων, έτσι ώστε να γίνεται ασύμφορη για το αντικείμενο της πρώτης. Ο υβριδικός τύπος φωτογραμμετρίας με ΣμηΕΑ θολώνει σε κάποιο βαθμό αυτόν το διαχωρισμό και δείχνει να προσφέρεται για εργασίες που απαιτούν τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού, GNSS κλπ (Manyoky et al, 2011).

Η αποτύπωση με ΣμηΕΑ, μπορεί να επιτύχει την επιθυμητή ακρίβεια των κτηματολογικών αποτυπώσεων, ενώ παρουσιάζει και πλεονεκτήματα, εφόσον η πληροφορία που αποτυπώνεται στον ίδιο χρόνο είναι πολύ περισσότερη από αυτή της παραδοσιακής τοπογραφίας. Η πληροφορία αυτή παραμένει άμεσα διαθέσιμη, σε περίπτωση που χρειαστεί, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα επιπλέον τελικών προϊόντων, όπως τρισδιάστατα μοντέλα κλπ (Manyoky et al, 2011; van Hinsberg et al, 2013).

Ωστόσο, η διαδικασία παρουσιάζει και προκλήσεις που υπό προϋποθέσεις μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα. Παραδείγματος χάριν, δεδομένου ότι όταν γίνεται αναφορά σε ΣμηΕΑ φωτογραμμετρία, νοείται κυρίως φωτογραμμετρία με μημετρική κάμερα, η επιλογή μη κατάλληλου εξοπλισμού μπορεί να οδηγήσει σε παραμορφώσεις που μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια της γεωαναφοράς των δεδομένων (Qin et al, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣμηΕΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί κατά πόσο η χρήση ΣμηΕΑ στην αποτύπωση του δομημένου χώρου, μπορεί να οδηγήσει σε αποτελέσματα υψηλής χαρτογραφικής ακριβείας.

Κατά συνέπεια, γίνεται προσπάθεια να συγκριθούν μήκη πλευρών και διαστάσεις αντικειμένων τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κάθετο επίπεδο και κατ' επέκταση οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα, τα οποία προέκυψαν από την αποτύπωση με το ΣμηΕΑ σε σύγκριση με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από συμβατικές μεθόδους αποτύπωσης.

Ο δομημένος χώρος περιέχει πολύ περισσότερη πληροφορία και πολυπλοκότητα σε σύγκριση με τον αδόμητο χώρο. Αυτή η ιδιαιτερότητα δημιουργεί ιδιαίζουσες συνθήκες, αλλά και ανάγκες, όσον αφορά την αποτύπωση, τη μελέτη, την εξαγωγή συμπερασμάτων, τον έλεγχο, τη διαχείριση, την ορθότερη ένταξη σε σχεδιασμό.

5.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Ευξεινούπολη, είναι κωμόπολη, η οποία ανήκει στο Δήμο Αλμυρού της περιφερειακής ενότητας Μαγνησίας. Αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη Δημοτική Κοινότητα και κατά την απογραφή του έτους 2011, είχε περίπου 2.281 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2017). Εντοπίζεται ένα χιλιόμετρο δυτικά της πόλεως του Αλμυρού και 35 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της πόλεως του Βόλου. Βρίσκεται στη νοτιοδυτική Μαγνησία, στον κάμπο του Αλμυρού, γνωστότερο και ως Κρόκιο Πεδίο (ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, 2017).

Δημιουργήθηκε το 1906, με σκοπό την αποκατάσταση των προσφύγων της Ανατολικής Ρωμυλίας, με νόμο του ελληνικού κράτους (Γ.Σ.Β'/07-4-1907) και μέσω του θεσσαλικού γεωργικού ταμείου, στο πλαίσιο διανομής των θεσσαλικών γαιών, ενώ η θεμελίωσή της ολοκληρώθηκε το 1907.

Οι κάτοικοι της περιοχής ήρθαν από τις πόλεις Πύργο, Βάρνα, Σωζόπολη, Ευσταθειοχώρι, Κάβαρνη, Μεσσημβρία, Βαλτσίκι και Άσπρο, ενώ το 1922 - 1924 εγκαταστάθηκαν πρόσφυγες από την Μικρά Ασία, τον Πόντο και στη συνέχεια, περί το 1950 Βλάχοι, Σαρακατσάνοι και κάτοικοι κοντινών ορεινών χωριών της Όθρυς.

Χαρακτηριστική είναι η ρυμοτομία της Ευξεινούπολης, η οποία ακολουθεί το ιπποδάμειο σύστημα, όπως και σχεδιάστηκε από τους μηχανικούς της τοπογραφικής υπηρεσίας του υπουργείου Γεωργίας, κατά το έτος 1907.

Τοπόσημα της κωμόπολης μπορούν να θεωρηθούν ο ναός της Κοίμησης της Θεοτόκου και το δημοτικό σχολείο. Ο ναός αποτελεί το υψηλότερο δόμημα της πόλης και η παλαιά πτέρυγα του Δημοτικού Σχολείου, η οποία έχει κηρυχθεί διατηρητέα και



Εικόνα.5.1: Ευξεινούπολη Μαγνησίας. Πηγή: Google Earth

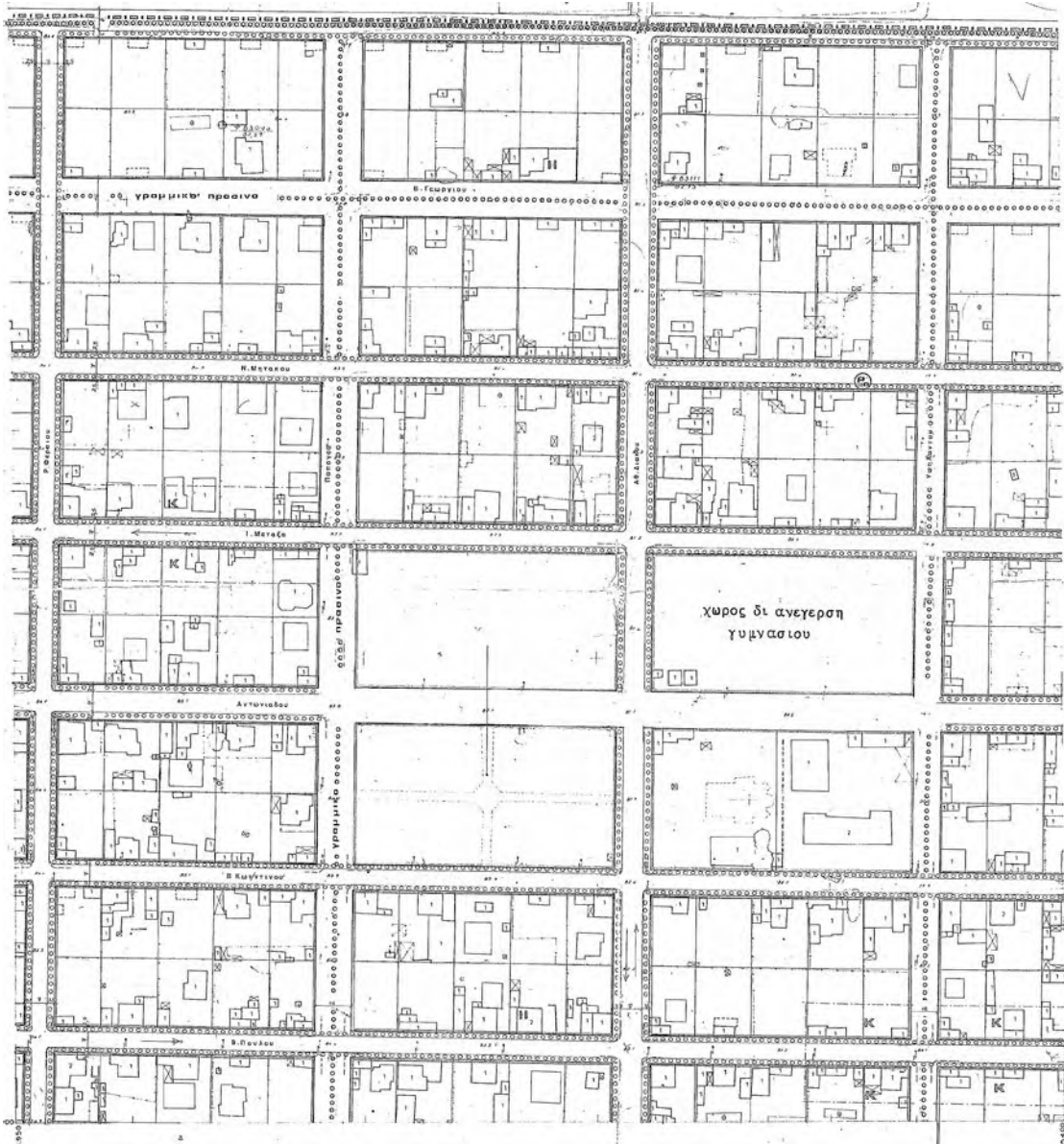
έχει ανακαινιστεί. Η κυριότερη ασχολία των κατοίκων είναι η γεωργία και ακολουθεί η κτηνοτροφία (Δήμος Αλμυρού, 2017).

Παρόλο που υπάρχει χάρτης ρυμοτομίας της κωμόπολης του 1907, αυτός δεν έχει κυρωθεί. Εντούτοις, το πρώτο κυρωμένο σχέδιο της Ευξεινούπολης, είναι το ρυμοτομικό Αλμυρού – Ευξεινούπολης, του έτους 1948, κυρωθέν με το ΦΕΚ 90Α/15-04-1948. Επιπλέον, υπάρχει αναθεώρηση - επέκταση του ρυμοτομικού σχεδίου Ευξεινούπολης, κυρωθείσα με το ΦΕΚ 364Δ/13-07-1990, ενώ ακόμη στην περιοχή είναι υπό σύσταση νέο Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο.

Ενδιαφέρον στοιχείο, είναι το γεγονός ότι τα πλάτη των οδών, που καθορίζονται από το ρυμοτομικό σχέδιο Ευξεινούπολης είναι κυρίως 12 και 16 μέτρων, πλάτη τα οποία έχουν εφαρμοστεί και υφίστανται έως και σήμερα. Τα κράσπεδα έχουν κι αυτά αντιστοίχως μεγάλα πλάτη και όλοι οι οδοί είναι σημασμένοι, όσον αφορά την ονοματοδοσία, αλλά και τον ΚΟΚ.

Οι ιδιοκτησίες, οι οποίες προκύπτουν από το ρυμοτομικό σχέδιο, είναι σταθερών διαστάσεων και εμβαδού. Αυτές που βρίσκονται στο κέντρο των οικοδομικών τετραγώνων έχουν διαστάσεις 30 x 24 μέτρα και εμβαδόν 720 τετραγωνικά μέτρα, ενώ οι γωνιακές ιδιοκτησίες έχουν διαστάσεις 30 x 20 μέτρα και εμβαδόν 600 τετραγωνικά μέτρα.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκε να αποτυπωθούν 12 οικοδομικά τετράγωνα, έχοντας ως αρχή τα τέσσερα οικοδομικά τετράγωνα που αποτελούν



Εικόνα 5.2: Απόσπασμα τροποποίησης Ρυμοτομικού Σχεδίου Ευξεινούπολης (1990)
Πηγή: Πολεοδομικό Γραφείο Δήμου Αλμυρού

σημεία αναφοράς της πόλης και έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Του Ιερού Ναού και του δημοτικού σχολείου, του γυμνασίου και του νηπιαγωγείου, του γηπέδου ποδοσφαίρου και της πλατείας με το κτίριο του πολιτιστικού συλλόγου Ευξεινούπολης. Πέραν αυτών, αποτυπώθηκαν άλλα τέσσερα οικοδομικά τετράγωνα δυτικά και μία σειρά με

τέσσερα τετράγωνα βορείως των αρχικώς αναφερθέντων. Το σκεπτικό επιλογής των συγκεκριμένων οικοδομικών τετραγώνων, έγκειται στην επιθυμία διερεύνησης των δυνατοτήτων και αποτελεσμάτων της χρήσης ΣμηΕΑ, στην αποτύπωση του δομημένου χώρου, σε όσο το δυνατόν πιο διαφοροποιημένες χωρικές επιφάνειες.

Στην περιοχή μελέτης περιέχεται το πιο ψηλό δόμημα (η εκκλησία), τα πιο ογκώδη κτίρια της κωμόπολης (τα σχολεία), ένας σχεδόν πλήρως ελεύθερος από δόμηση χώρος (το γήπεδο ποδοσφαίρου), κάποια πυκνοδομημένα οικοδομικά τετράγωνα, κάποια αραιοδομημένα και κάποια με εντονότερη φυτοκάλυψη.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί, πως εξαιτίας των όρων και περιορισμών δόμησης, τα μέγιστα ύψη κτιρίων, όσον αφορά την ανέγερση κατοικίας, δεν ξεπερνούν τα 9,0μ συν 2,0μ στην περίπτωση κατασκευής κεκλιμένης στέγης.

Σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά της προς αποτύπωση έκτασης είναι τα κάτωθι:

- a) Υψομετρική διακύμανση επιφανείας εδάφους στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, ΕΓΣΑ87, από τη μέση στάθμη της θάλασσας, η οποία κυμαίνεται από 79,50μ (ανατολικά) έως 88,50μ (δυτικά)
- b) Κλίση εδάφους: 1,70%
- c) Εμβαδόν: 133,146 στρέμματα
- d) Διαστάσεις: 529,89μ x 251,27μ
- e) Συντεταγμένες κορυφών:

Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες κορυφών περιοχής μελέτης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΕΓΣΑ87)		
α/α	X (m)	Ψ (m)
1	390893.743	4337894.717
2	390890.764	4337643.442
3	390360.911	4337649.786
4	390363.905	4337901.026

5.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Η μεθοδολογία της αποτύπωσης που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία, δεν διαφέρει, σημαντικά, σε σύγκριση με την προτεινόμενη, στη βιβλιογραφία, μεθοδολογία, όπως αυτή αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Αρχικά, καθορίστηκαν οι στόχοι και σύμφωνα με τους στόχους, επιλέχθηκε η περιοχή μελέτης που ικανοποιεί τα κριτήρια της εργασίας. Κατόπιν, με χρήση διαθέσιμου υλικού, χαρτογραφικού και μη, έγινε έλεγχος τυχόν ιδιαιτεροτήτων της περιοχής, οι οποίες έπρεπε να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό της πτήσης και τη διαδικασία διεκπεραίωσης των επιμέρους εργασιών.

Έπειτα, ακολούθησε ο προ σχεδιασμός της πτήσης. Κατόπιν μετάβαση στο πεδίο και έλεγχος της υφιστάμενης κατάστασης και στη συνέχεια η σύγκριση, του κατά πόσο η υφιστάμενη κατάσταση συμπίπτει με την αρχικώς θεωρηθείσα. Στο σημείο αυτό, έγινε μία τροποποίηση, διότι κατά το σχεδιασμό στο γραφείο, δεν είχε εντοπιστεί μία κολώνα της ΔΕΗ και καλώδια που περνούσαν πάνω από το, προ ορισθέν, σημείο απογείωσης. Έτσι, έγινε επιλογή νέου σημείου απογείωσης και προσγείωσης και αναθεώρηση του δεύτερου καλύτερου σημείου προσγείωσης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης⁶. Στη συνέχεια, επικαιροποιήθηκαν τα στοιχεία εντός του προγράμματος σχεδιασμού πτήσης και επαληθεύτηκαν οι επιθυμητές παράμετροι. Έπειτα εκτελέστηκαν οι προγραμματισμένες πτήσεις, με σκοπό τη φωτοληψία και τη συλλογή των δεδομένων, ενώ παράλληλα, κατά τη διάρκεια των πτήσεων έγινε έλεγχος για την ορθή εκτέλεσή τους. Επιπλέον, εντοπίστηκαν και αποτυπώθηκαν τα φωτοσταθερά και τα σημεία ελέγχου με χρήση RTK GNSS⁷.

Μετά τις εργασίες πεδίου, έγινε η επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων (συντεταγμένες φωτοσταθερών, σημείων ελέγχου και φωτογραφιών), με στόχο την παραγωγή των τελικών προϊόντων (ορθοφωτοχάρτη, ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου, τεχνικής αναφοράς).

⁶ Αρχικά η απογείωση είχε οριστεί από τον αύλειο χώρο της εκκλησίας και εναλλακτικό σημείο προσγείωσης, το πάρκο, ακριβώς απέναντι και εν τέλει μεταφέρθηκε στο νοτιοανατολικό άκρο του γηπέδου ποδοσφαίρου (εκτός αυτού) και το εναλλακτικό εντός του γηπέδου.

⁷ Τα φωτοσταθερά και τα σημεία ελέγχου συλλέχθηκαν μετά τη φωτοληψία και όχι πριν, διότι δεν προηγήθηκε τοποθέτηση στο έδαφος προκαθορισμένων φωτοσταθερών. Αυτό συνέβη εξαιτίας της φύσης της προς αποτύπωση έκτασης. Δεν ήταν επιθυμητό να παραμείνουν έντονα από βαφή σημάδια στο έδαφος αλλά ούτε ήταν δυνατό να διασπαρθούν σε όλη την έκταση κατάλληλο πλήθος φωτοσταθερών, τα οποία παράλληλα να ελέγχονται και να εξασφαλιστούν καθ'όλη τη διάρκεια των εργασιών μέτρησης και φωτοληψίας, από τυχόν μετακινήσεις τους εξαιτίας εξωτερικών παραγόντων.

Σε επόμενο στάδιο, για τις ανάγκες της εργασίας και για να ενισχυθεί επιπλέον ο έλεγχος ποιότητας, ακολούθησε επαναμετάβαση στο πεδίο και συλλογή επιπλέον σημείων ελέγχου (κυρίως διαστάσεων πλευρών κτιρίων και ύψη αυτών) με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού, ενώ τέλος ακολούθησε ο έλεγχος ποιότητας και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων αυτού.

5.4 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣμηΕΑ

Το σύστημα μη επανδρωμένου αεροσκάφους που ήταν διαθέσιμο και χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εργασίας ήταν το Phantom 4 Pro, της εταιρίας DJI. Πρόκειται περί μιας εξαιρετικά διαδεδομένης πτητικής πλατφόρμας, η οποία πρωτοκυκλοφόρησε τον Νοέμβριο του 2016. Ενδεικτικά μάλιστα να αναφερθεί, πως η εταιρεία που την κατασκευάζει, η DJI, κατέχει πάνω από το 50% του μεριδίου αγοράς των εμπορικών drone στην Βόρεια Αμερική (Glaser, 2017; McNabb, 2017).

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αεροσκάφους, όπως ακριβώς παρουσιάζονται από το xlab.gr.

Προδιαγραφές

• Αεροσκάφος

Βάρος (Συμπερι. μπαταρίας)	1388 g
Μέγιστη Ταχύτητα Ανόδου	6 m/s (Λειτουργία Sport)
Μέγιστη Ταχύτητα Καθόδου	4 m/s (Λειτουργία Sport)
Μέγιστη Ταχύτητα	72 km/h (Λειτουργία Sport)
Μέγιστο Υψόμετρο λειτουργίας πάνω από τη στάθμη της θάλασσας	19685 feet (6000 m)
(Υψομετρικό Όριο λογισμικού: 400 πόδια πάνω από το σημείο απογείωσης)	
Μέγιστος Χρόνος Πτήσης	Περίπου 30 λεπτά
Εύρος Θερμοκρασίας Λειτουργίας	32° έως 104° F (0° έως 40° C)
Δορυφορικά Συστήματα	GPS / GLONASS

• Σταθεροποιητής κάμερας

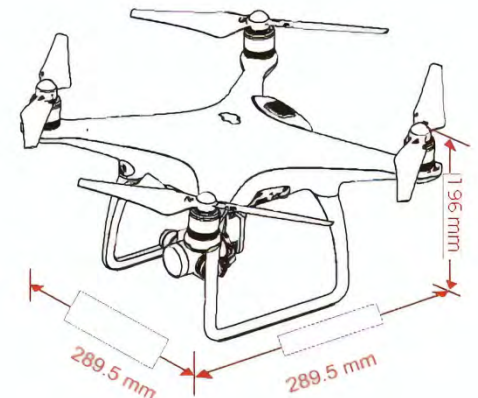
Εύρος Χειρισμού	Κλίση: -90° to +30°
-----------------	---------------------

• Σύστημα Ανίχνευσης Εμποδίων

Απόσταση Ανίχνευσης Εμποδίων	μέχρι 30m
Περιβάλλον Λειτουργίας	Επιφάνειες με ελεύθερο πεδίο και επαρκή φωτισμό (lux > 15)
Μέγιστη ταχύτητα για αποφυγή	μέχρι 50km/h

• Οπτικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης

Εύρος Ταχύτητας	≤10 m/s (2 m πάνω από το έδαφος)
Υψομετρικό Εύρος	0 – 33 feet (0 – 10 m)
Εύρος Λειτουργίας	0 – 33 feet (0 – 10 m)
Περιβάλλον Λειτουργίας	Επιφάνειες με ελεύθερο πεδίο και επαρκή φωτισμό (lux > 15)



• **Κάμερα**

Αισθητήρας	1" CMOS
Ενεργά ριχνείλ:	20 Μ
Φακός	FOV (Οπτικό Πεδίο) 84° 8.8 mm / 24mm(ισοδύναμο με 35 mm format) f/2.8 εστίαση στο ∞
Εύρος ISO	100 – 3200 (video auto), 100-6400 (Manual) 100–1600 (Photo auto), 100-3200 (Manual)
Ταχύτητα Ηλεκτρονικού κλείστρου	8 s to 1/8000 s
Ταχύτητα Μηχανικού κλείστρου	8 s to 1/2000 s
Μέγιστο Μέγεθος Εικόνας	5472 x 3648
Λειτουργίες Σταθερής Φωτογραφίας	Μονή Λήψη Αυτόματη έκθεση: 3 / 5 / 7 / 14 καρέ Άγκιστρα Αυτόματης Οριοθέτησης (AEB): 3 / 5 αριοθετημένα καρέ σε 0.7 EV Bias Time-lapse, HDR 2.3/5.7/15/30/60 sec

Λειτουργίες Video:

H.265	H.264
• C4K : 4096x2160 24/25/30p @100Mbps	C4K : 4096x2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps
• 4K : 3840x2160 24/25/30p @100Mbps	4K : 3840x2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps
• 2.7K : 2720x1530 24/25/30p @65Mbps	2.7K : 2720x1530 24/25/30p @60Mbps
2720x1530 48/50/60p @80Mbps	2720x1530 48/50/60p @100Mbps
• FHD : 1920x1080 24/25/30p @50Mbps	FHD : 1920x1080 24/25/30p @60Mbps
1920x1080 48/50/60p @65Mbps	1920x1080 48/50/60p @80Mbps
1920x1080 120p @100Mbps	1920x1080 120p @100Mbps
• HD : 1280x720 24/25/30p @25Mbps	HD : 1280x720 24/25/30p @30Mbps
1280x720 48/50/60p @35Mbps	1280x720 48/50/60p @45Mbps
1280x720 120p @60Mbps	1280x720 120p @60MbpsMax

Video Bitrate	60 Mbps
Υποστηριζόμενοι τύποι αρχείων Φωτογραφιών	FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
βίντα	JPEG, DNG (RAW)
Υποστηριζόμενες Κάρτες SD	MP4 / MOV (MPEG – 4 AVC / H.264) Micro SD, Μέγιστη χωρητικότητα: 64GB. Class 10 ή UHS-1 απαιτούμενες κατηγορίες

• **Τηλεχειριστήριο**

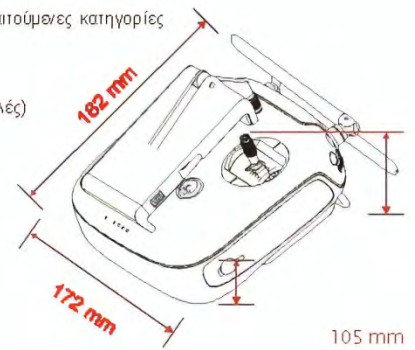
Συχνότητα Λειτουργίας	2.400 GHz έως 2.483 GHz
Μέγιστη Απόσταση Αναμετάδοσης	CE Συμβατό 2.2 mi (3.5 km) (Ανεμπόδιστα, χωρίς παρεμβολές)
Θερμοκρασία Λειτουργίας	32° to 104° F (0° to 40° C)
Μπαταρία	6000 mAh LiPo 2S
Ισχύς Πομπού (EIRP)	FCC: 23 dBm; CE: 17 dBm
Τάση Λειτουργίας	7.4V @ 1.2A

• **Φορτιστής**

Τάση / Ισχύς	17.4 V / 100 W
--------------	----------------

• **Έξυπνη Μπαταρία Πτήσης (PH4 - 5870 mAh - 15.2 V)**

Χωρητικότητα	5870 mAh
Τάση	15.2 V
Τύπος Μπαταρίας	LiPo 4S
Ενέργεια	89.2 Wh



Παρόλα τα εντυπωσιακά του χαρακτηριστικά, σκόπιμο είναι να αναφερθεί πως η συγκεκριμένη πτητική πλατφόρμα τροφοδοτείται από μία μόνο μπαταρία και τέσσερις κινητήρες. Αυτά είναι δύο χαρακτηριστικά, τα οποία αυξάνουν κατά πολύ το ρίσκο κατά τη διάρκεια της πτήσης, σε περίπτωση αστοχίας κάποιων εξ αυτών και για αυτόν το λόγο είναι σημαντικό, να γίνονται επιμελώς, όλοι οι απαιτούμενοι έλεγχοι πριν από κάθε πτήση. Άλλο ένα στοιχείο, το οποίο χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, είναι και ο μέγιστος χρόνος πτήσης. Κατά τον κατασκευαστή, ορίζεται στα 30 περίπου λεπτά, όμως η εμπειρία έχει δείξει ότι σε σχέδια πτήσης με μεγάλη επικάλυψη, σε συνδυασμό με ταχύτητες του ΣμηΕΑ της τάξης των 10 m/sec και φωτοληψία ανά δύο δευτερόλεπτα, ο χρόνος πτήσης δεν δύναται να ξεπεράσει σε καμία περίπτωση τα 17 λεπτά. Ένα ασφα-

λές όριο πτήσης είναι καλό να οριστεί στα 14 με 15 λεπτά, για να μπορεί να υπάρχει και περιθώριο αντίδρασης, εάν συμβεί κάτι απρόοπτο κατά την πτήση.

5.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΤΗΣΗΣ

Ο σχεδιασμός της πτήσης, αφορά το σύνολο των ενεργειών και των αποφάσεων, οι οποίες πρέπει να ληφθούν πριν από κάθε πτήση. Ο σχεδιασμός, έγινε αρχικά στο γραφείο στο στάδιο της προετοιμασίας και στη συνέχεια μετά την αναγνώριση της περιοχής στο πεδίο, έγιναν οι κατάλληλες τροποποιήσεις, πριν εκκινηθεί και εκτελεστεί η πτήση.

Μαζί με το Phantom 4 Pro, δεν αποστέλλεται κατά την αγορά του κάποια οθόνη για την προβολή της τηλεμετρίας και λοιπών στοιχείων ελέγχου κατά την πτήση ή την προετοιμασία της. Έτσι λοιπόν είναι στην ευχέρεια του κάθε χειριστή να επιλέξει τί είδους συσκευή (Android ή iOS) θα συνδέσει με το τηλεχειριστήριο για να αποκτήσει



Εικόνα 5.3: Phantom 4 Pro. Πηγή: Ζούπης Δημήτρης (φωτογραφικό αρχείο)

πρόσβαση στις συγκεκριμένες λειτουργίες.

Επομένως εάν επιλεγεί η σύνδεση με συσκευή Android για τον έλεγχο της τηλεμετρίας και των λοιπών δραστηριοτήτων κατά την πτήση, τα εργοστασιακά προ-

γράμματα δεν υποστηρίζουν τη δυνατότητα προγραμματισμένης πτήσης με σκοπό τη φωτοληψία για τις ανάγκες των αποτυπώσεων. Κατά συνέπεια, το γεγονός αυτό οδηγεί στην επιλογή κατάλληλου λογισμικού διαφορετικού από τα εργοστασιακά, το οποίο να υποστηρίζεται από την πτητική πλατφόρμα και το αντίστροφο, για να μπορέσουν να σχεδιαστούν και να εκτελεστούν τα επιθυμητά σχέδια πτήσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκε το λογισμικό Pix4DCapture⁸ σε συνδυασμό με το Ctrl+DJI, της εταιρίας Pix4D.

Το λογισμικό αυτό αποτελεί ένα πολύ ισχυρό λογισμικό με αρκετές δυνατότητες, όσον αφορά τον σχεδιασμό αλλά και την εκτέλεση της πτήσης (Pix4D SA, 2017). Καθότι όμως, δεν προέρχεται από την εταιρία κατασκευής της πτητικής πλατφόρμας, έχει κάποια μειονεκτήματα, τα οποία πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της εκτέλεσης της πτήσης. Συγκεκριμένα, αυτό που επηρεάζει άμεσα το σχεδιασμό, είναι η αδυναμία ενεργοποίησης των αισθητήρων αποφυγής εμποδίων (Pix4D Support¹, 2017), τους οποίους έχει ενσωματωμένους το ΣμηΕΑ και οι οποίοι κατά την εκτέλεση του σχεδίου πτήσης, μέσα από το λογισμικό Pix4DCapture, δε λειτουργούν. Συνεπώς, παράγοντες, όπως το σημείο απογείωσης και προσγείωσης, καθώς επίσης και το ύψος πτήσης, πρέπει να εξεταστούν και να οριστούν προσεκτικά, με τρόπο ώστε να αποφευχθεί η ύπαρξη εμποδίων (κολώνες και καλώδια της ΔΕΗ, του ΟΤΕ κλπ) κατά τα τρία αυτά στάδια.

Το πρώτο βήμα, είναι η επιλογή του κατάλληλου μοτίβου πτήσης. Υπάρχουν πέντε (Pix4D Support², 2017) διαθέσιμα μοτίβα, στο λογισμικό Pix4DCapture, που είναι τα εξής:

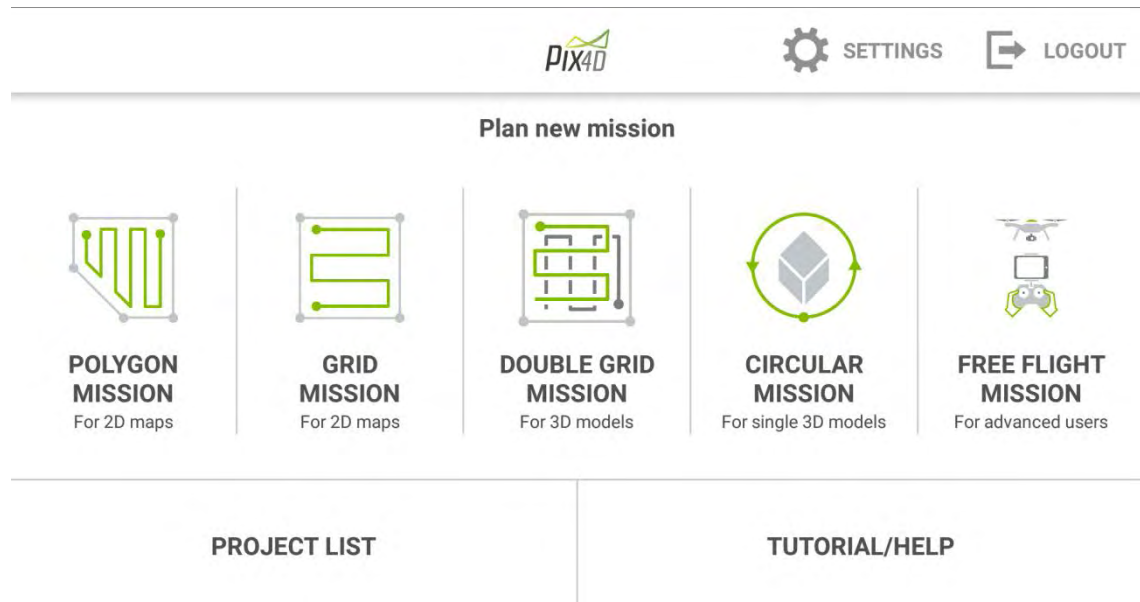
1. το πολυγωνικό
2. του κανάβου
3. του διπλού κανάβου
4. το κυκλικό και
5. το ελεύθερο.

Κάθε ένα από αυτά εξυπηρετεί διαφορετικούς σκοπούς, με το πολυγωνικό μοτίβο, να λειτουργεί ικανοποιητικά για πτήσεις που στόχο έχουν την παραγωγή δισδιάστατων χαρτών. Αυτό το μοτίβο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει την περιοχή ενδιαφέροντος με μία κλειστή πολυγωνική γραμμή, με πλήθος κορυφών περισσότερων των τριών και λιγότερων των 48, εντός της οποίας το πρόγραμμα θα υπολογίσει (σύμ-

⁸ Άλλες επιλογές αποτελούν τα DroneDeploy, Litchi for DJI, Altizure for DJI κλπ.

φωνα και με τις υπόλοιπες παραμέτρους σχεδιασμού) την κατάλληλη διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσει η πτητική πλατφόρμα για την αρτιότερη αποτύπωση της περιοχής ενδιαφέροντος.

Το μοτίβο κανάβου, λειτουργεί όπως και το πολυγωνικό, με μόνη διαφορά το πλήθος των κορυφών που ορίζουν την περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτές είναι αποκλειστικά τέσσερις και το μοτίβο έχει τη μορφή τετραγώνου ή ορθογώνιου παραλληλόγραμμου.



Εικόνα 5.4: Pix4dCapture, Διαθέσιμα Μοτίβα. Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Το μοτίβο διπλού κανάβου είναι κατάλληλο για την παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου της προς αποτύπωση περιοχής. Πρόκειται για δύο μοτίβα κανάβου πλεγμένα το ένα κάθετο προς το άλλο σε σχέση με την περιοχή μελέτης. Το μοτίβο αυτό δίνει τη δυνατότητα πλάγιας φωτοληψίας, καθώς επίσης και της αποτύπωσης των προς μελέτη αντικείμενων και από τα τέσσερα σημεία του ορίζοντα, Βορρά, Νότο, Ανατολή και Δύση. Με αυτόν τον τρόπο δύναται, παραδείγματος χάριν, να αποτυπωθούν και οι τέσσερις πλευρές ενός κτιρίου.

Το κυκλικό μοτίβο είναι ιδανικό για αποτύπωση μεμονωμένων αντικειμένων (όπως παραδείγματος χάριν μία κεραία) και ωθεί την πτητική πλατφόρμα να κινηθεί κυκλικά σε διαφορετικά ύψη και με διαφορετικές γωνίες φωτοληψίας, με σκοπό στην περιμετρική φωτογράφιση του αντικειμένου ενδιαφέροντος και την παραγωγή της τρισδιάστατης αναπαράστασής του.

Τέλος, στο ελεύθερο μοτίβο η πτήση εκτελείται χειροκίνητα από το χειριστή της πτητικής πλατφόρμας, ο οποίος μπορεί να ορίσει ανά πόσα μέτρα μετακίνησης της

πλατφόρμας να πραγματοποιείται φωτοληψία. Το μοτίβο αυτό, αφορά έμπειρους χρήστες και είναι ιδανικό για αποτυπώσεις μικρών εκτάσεων, πολύπλοκων σχηματισμών ή κάθετων κατασκευών, όπως προσόψεις κτιρίων, γέφυρες, λόφους και λοιπά.

Δεδομένων των αναγκών της παρούσης εργασίας, το ιδανικότερο μοτίβο πτήσης είναι αυτό του διπλού κανάβου, το οποίο και επιλέχθηκε. Οι διάφοροι λόγοι, καθώς και οι ειδικότερες ρυθμίσεις, παρατίθενται ακολούθως.

Εκ των βασικών στόχων της εργασίας, είναι να συγκριθούν μήκη πλευρών κτιρίων που προκύπτουν από την αποτύπωση με το UAV, με τα πραγματικά τους μήκη. Έτσι, για να μπορέσουν να αποδοθούν (κατά την επίλυση) οι πλευρές των κτιρίων, θα πρέπει να είναι εμφανείς στις εικόνες που λαμβάνονται από τη φωτομηχανή του ΣμηΕΑ. Αυτή η επιθυμία, αποτρέπει κατά το σχεδιασμό πτήσης την κάθετη φωτοληψία, δηλαδή τον κάθετο προσανατολισμό (90°) του φακού της φωτομηχανής ως προς την προς αποτύπωση επιφάνεια.

Εκ των πραγμάτων, η πλάγια⁹ φωτοληψία κρίνεται η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος για τους σκοπούς της εργασίας. Αυτό συμβαίνει, διότι με τις πλάγιες λήψεις, είναι δυνατό να φανούν στις εικόνες οι κάθετες πλευρές των κτιρίων. Επιπλέον, στην κάθε εικόνα αποτυπώνεται μεγαλύτερη επιφάνεια του εδάφους σε σύγκριση με την κάθετη φωτοληψία κι έτσι, υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία και δύναται να παράγονται λεπτομερέστερα τρισδιάστατα μοντέλα πόλεων (3D vs 2.5D point clouds). Βέβαια, η κάθετη φωτοληψία είναι ιδανική για την κατασκευή ορθοφωτοχαρτών, διότι διατηρεί σταθερή την κλίμακα σε όλο το αποτύπωμα της εικόνας, δεν υπάρχουν έντονες διαφοροποιήσεις στη φωτεινότητα των αντικειμένων και επιπλέον η επεξεργασία τους είναι πολύ πιο εύκολη (Nex, 2016).

Το πρόγραμμα Pix4Dcapture, δίνει τη δυνατότητα, να επιλεγεί η κλίση του φακού της φωτομηχανής, με εύρος από 45 έως 80 μοίρες¹⁰ (Pix4D Support³, 2017).

Με γνώμονα τα παραπάνω, επιλέχθηκε η πλάγια φωτοληψία με γωνία λήψης τις 70 μοίρες. Επιλέχθηκε η γωνία των 70 μοιρών, για να επιτευχθεί αρτιότερη κάλυψη των πλάγιων πλευρών των δομημάτων και επιπλέον να εξεταστεί, εάν είναι δυνατό να αποδοθούν και πλευρές, οι οποίες βρίσκονται εσωτερικότερα (πχ γωνίες κτιρίου μορφής Γ με υπερκείμενη στέγη και στέγαστρο από κεραμίδια). Παράλληλα, διασφαλίζεται ότι δεν θα αποτυπώνεται στις εικόνες ο ουράνιος ορίζοντας.

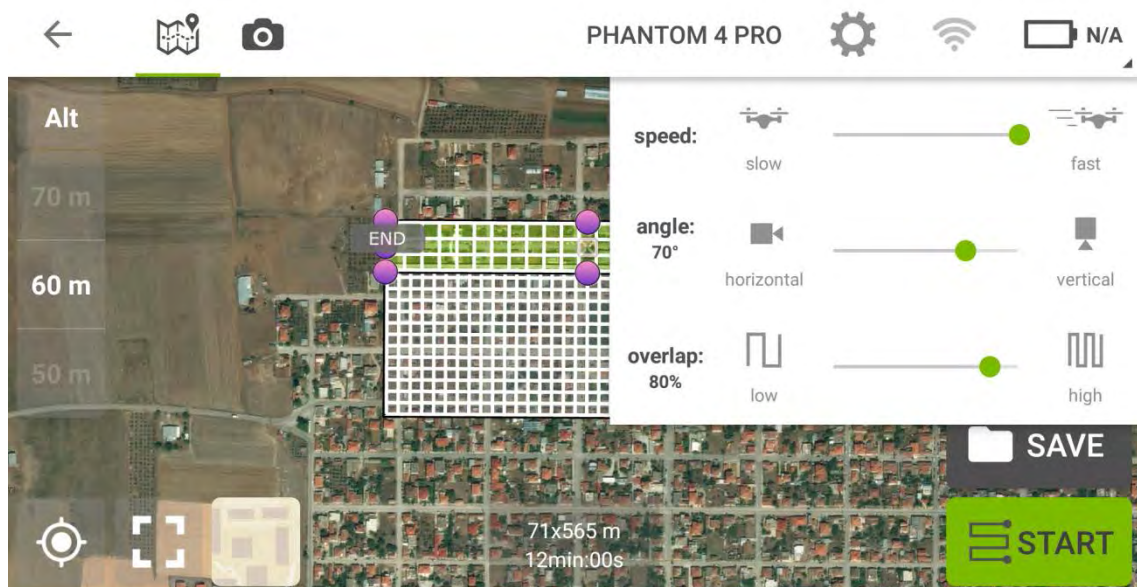
⁹ Oblique imagery

¹⁰ 90° ή Nadir είναι η θέση κατά την οποία ο φακός “κοιτά” κάθετα προς το έδαφος.

Επιπρόσθετα το ύψος πτήσης, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον υπολογισμό της ανάλυσης των εικόνων (δηλαδή την απόσταση, επί του εδάφους, από κέντρο σε κέντρο δύο διαδοχικών εικονοηφίδων), από τη στιγμή που οι υπόλοιποι παράγοντες που την επηρεάζουν, παραμένουν σταθεροί¹¹ κατά την πτήση (Pix4D Support⁴, 2017). Επιπλέον, το ύψος πτήσης επηρεάζει την ώρα πτήσης που απαιτείται για να αποτυπωθεί η επιθυμητή επιφάνεια. Οπότε εάν υποτεθεί, πως οι λοιποί παράγοντες παραμένουν σταθεροί (επικάλυψη, εστιακή απόσταση, έκταση), τότε, σε μεγαλύτερο ύψος πτήσης (κατ' επέκταση μεγαλύτερο αποτύπωμα εικόνας επί του εδάφους - αντικειμένου) απαιτείται μικρότερος αριθμός φωτογραφιών, για την αποτύπωση της έκτασης, άρα και λιγότερη ώρα πτήσης¹².

Λαμβάνοντας υπόψη τους κανόνες ασφαλείας και τα προαναφερθέντα, πρέπει για κάθε εφαρμογή, ανάλογα με τις ανάγκες, να γίνεται εντοπισμός και καταχώρηση του βέλτιστου ύψους πτήσης.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ως ύψος πτήσης επιλέχθηκαν τα 60 μέτρα και αυτό διότι η προκύπτουσα ανάλυση εικόνας διαμορφώνεται σε 1,64 εκατοστά. Παράλλη-



Εικόνα 5.5: Pix4dCapture, Ρυθμίσεις
Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

¹¹ Ground Sampling Distance (GSD) - Μέγεθος εικονοηφίδας στην επιφάνεια του θέματος ή στο αντικείμενο = $[(\text{πλάτος αισθητήρα φωτομηχανής (mm)} \times \text{ύψος πτήσης (m)} \times 100) / (\text{πραγματική εστιακή απόσταση (mm)} \times \text{πλάτος εικόνας (pixel)})]$. Όσο μικρότερο είναι το GSD, τόσο υψηλότερη είναι η χωρική ανάλυση (spatial resolution) της εικόνας.

¹² Προφανώς, εάν το ύψος πτήσης αυξηθεί υπερβολικά, τότε πρέπει να συνυπολογιστεί και ο χρόνος μετάβασης της πτητικής πλατφόρμας από το σημείο απογείωσης προς το επιθυμητό ύψος πτήσης και πίσω.

λα εξασφαλίστηκε ότι η πτητική πλατφόρμα θα βρίσκεται διαρκώς, ψηλότερα από το υψηλότερο κτίριο στην προς αποτύπωση περιοχή (ήτοι τον Ιερό Ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου) και επιπλέον διασφαλίστηκε ότι ο συνολικός χρόνος πτήσης συνάδει με τις δυνατότητες του διαθέσιμου εξοπλισμού (εν προκειμένω τρεις μπαταρίες για τρεις διαφορετικές πτήσεις).

Μία ακόμη παράμετρος κατά το σχεδιασμό της πτήσης, είναι η ταχύτητα με την οποία θα κινείται η πτητική πλατφόρμα κατά την εκτέλεση του σχεδίου πτήσης. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα σχεδιασμού πτήσεων, η ταχύτητα μπορεί να οριστεί από 2 έως 10 m/sec γραφικά και με την ένδειξη slow έως fast (Pix4D Support⁵, 2017). Ως ταχύτητα, επιλέχθηκε η fast, με το σκεπτικό ότι κατά τις κατευθύνσεις του εγχειριδίου χρήσης του προγράμματος, γίνεται αναφορά ότι τα αποτελέσματα είναι βέλτιστα και επιπλέον σε περίπτωση ορισμού χαμηλότερης ταχύτητας, με τις διαθέσιμες μπαταρίες δεν θα ήταν δυνατόν να καλυφθεί το σύνολο της περιοχής μελέτης, με μόνο μία μετάβαση στο πεδίο.

Το τελευταίο παραμετροποιησιμο στοιχείο κατά το σχεδιασμό πτήσης, είναι η επικάλυψη. Εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό και αφορά την εμπρόσθια (κατά την φορά πτήσης) και πλευρική επικάλυψη μεταξύ των αεροφωτογραφιών, οι οποίες θα συλλεχθούν από την πτητική πλατφόρμα. Η επιλογή του κατάλληλου ποσοστού επικάλυψης είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς ανάλογα την εφαρμογή, άλλοτε χρειάζεται υψηλότερη επικάλυψη και άλλοτε χαμηλότερη. Κατά γενική ομολογία, κρίνεται σκόπιμο το ποσοστό εμπρόσθιας επικάλυψης να μην είναι μικρότερο από 60% και μεγαλύτερο από 90%. Με μικρότερο του 60% ποσοστό επικάλυψης, κατά το στάδιο της επίλυσης, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα, το λογισμικό να μην καταφέρει να βρει ικανοποιητικό αριθμό κοινών σημείων μεταξύ των αλληλοεπικαλυπτόμενων εικόνων. Αντίθετα με επικάλυψη ποσοστού μεγαλύτερου του 90%, η αντίστοιχη πληροφορία είναι τόσο αυξημένη, η οποία οδηγεί σε αύξηση θορύβου και δυσανάλογη αύξηση του χρόνου επεξεργασίας του μοντέλου, χωρίς παράλληλα να βελτιώνεται το παραγόμενο προϊόν. Επιπροσθέτως, μεγαλύτερη επικάλυψη απαιτεί και μεγαλύτερο χρόνο πτήσης με ό,τι προεκτάσεις μπορεί να έχει αυτό στο σχεδιασμό.

5.6 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΤΗΣΗΣ

Η εκτέλεση του σχεδίου πτήσης, μέσω του λογισμικού Pix4DCapture, είναι ουσιαστικά μία πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία. Παρόλα ταύτα, εξαιτίας εξωτερικών αστάθμητων παραγόντων, η εγρήγορση του χειριστή, είναι αναγκαία και ο έλεγχος απαραίτητος, καθόλα τα στάδια της πτήσης (προέλεγχος, απογείωση, εκτέλεση, προσγείωση).

Με την προϋπόθεση ότι όλα έχουν ρυθμιστεί καλά και δεν υπάρχει κάποιος εξωτερικός παράγοντας που να εμποδίζει την πτήση, τότε αυτή εκκινείται με το πάτημα μιας ενδείξεως στην οθόνη που συνοδεύει το τηλεχειριστήριο. Το ΣμηΕΑ, απογειώνεται αυτόνομα, μεταβαίνει στο επιθυμητό ύψος πτήσης και στη θέση εκκίνησης της φωτοληψίας. Κατόπιν, εκτελεί τη διαδρομή που έχει καθοριστεί από το μοτίβο πτήσης και μετά το πέρας της, επιστρέφει στο σημείο προσγείωσης, όπου και αυτόνομα προσγειώνεται.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, όλα κύλησαν ομαλά. Εκτελέστηκαν, τρεις διαφορετικές πτήσεις διαδοχικά, η μία μετά την άλλη, με μοναδική παρέμβαση από το χειριστή, την αλλαγή της μπαταρίας, κατά την επιστροφή του ΣμηΕΑ, στη θέση προσγείωσης/απογείωσης, με στόχο να αποτυπωθεί όλη η επιθυμητή επιφάνεια.

Κατά την πρώτη πτήση, καλύφθηκε επιφάνεια διαστάσεων 264 x 147 μέτρων, διανύθηκαν 4817 μέτρα, λήφθηκαν 475 εικόνες και ο χρόνος πτήσης ήταν 17 λεπτά και 2 δευτερόλεπτα.

Κατά τη δεύτερη πτήση, καλύφθηκε επιφάνεια διαστάσεων 264 x 147 μέτρων, διανύθηκαν 4571 μέτρα, λήφθηκαν 472 εικόνες και ο χρόνος πτήσης ήταν 16 λεπτά και 32 δευτερόλεπτα.

Κατά την τρίτη πτήση, καλύφθηκε επιφάνεια διαστάσεων 523 x 73 μέτρων, διανύθηκαν 4583 μέτρα, λήφθηκαν 488 εικόνες και ο χρόνος πτήσης ήταν 17 λεπτά και 40 δευτερόλεπτα.

Η επικάλυψη και το ύψος πτήσης παρέμειναν σταθερά (80% και 60m).

Κατόπιν διενεργήθηκε γρήγορος οπτικός έλεγχος των εικόνων που ελήφθησαν για τυχόν αισθητά σφάλματα ή μη επιθυμητά αποτελέσματα. Το αποτέλεσμα κρίθηκε αποδεκτό, καθότι και οι καιρικές συνθήκες ήταν πολύ καλές και οι πτήσεις διενεργήθηκαν απρόσκοπτα και χωρίς προβλήματα.

5.7 ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η ουσία της αποτύπωσης, πέρα από την καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης, είναι να παραχθούν όσο το δυνατόν ακριβέστερα αποτελέσματα, τόσο ως προς τις διαστάσεις των αποτυπωθέντων αντικειμένων και το σαφή προσδιορισμό της θέσης τους στο χώρο, καθώς και ως προς τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων.

Αυτό είναι εφικτό με την ένταξη του παραγόμενου μοντέλου, σε ενιαίο και γνωστών παραμέτρων, σύστημα αναφοράς. Κατ' αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η ενιαία και σταθερή κλίμακα σε όλο το μοντέλο και η δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης του κάθε σημείου του, με ακρίβεια στον πραγματικό χώρο. Η απαιτούμενη διαδικασία ονομάζεται γεωαναφορά και αναλόγως με τις μεθόδους και τον εξοπλισμό επιστρέφει διαφορετικά ποιοτικά αποτελέσματα.

Όσον αφορά τις αποτυπώσεις με UAV, η γεωαναφορά επιτυγχάνεται με δύο τρόπους.

α) Μέσω της γεωσήμανσης (geotagging) των εικόνων που λαμβάνει η φωτομηχανή, με χρήση του ενσωματωμένου δέκτη εντοπισμού θέσης ή GNSS της πτητικής μηχανής. Τα αποτελέσματα ποικίλουν ανάλογα με την ακρίβεια του κάθε δέκτη. Οι συνήθεις ενσωματωμένοι δέκτες όπως ο αντίστοιχος στο Phantom 4 Pro, έχουν ακρίβεια θέσης όχι καλύτερη από 5 μέτρα οριζοντιογραφικά και ακόμη μικρότερη υψομετρικά. Η μειωμένη ακρίβεια επηρεάζει αντίστοιχα και το τελικό προϊόν. Μάλιστα, πλέον υπάρχουν ΣμηΕΑ τα οποία ενσωματώνουν δέκτες GNSS (διπλόσυχνους ή μονόσυχνους) υψηλής ακρίβειας. Εντούτοις παρότι αυτοί οι δέκτες είναι σε θέση να προσδιορίσουν με ακρίβεια κάτω των 10 εκατοστών τη θέση στο χώρο, έχουν ένα μειονέκτημα. Η συχνότητα λήψης στίγματος είναι της τάξεως των 5 - 10 Hz. Οπότε εάν το ΣμηΕΑ κινείται με ταχύτητα 10m/sec και το GNSS καταγράφει 5 μετρήσεις θέσης ανά δευτερόλεπτο, τότε κατά την κάθε καταγραφή θέσης το ΣμηΕΑ μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε σε ακτίνα δύο μέτρων από την καταγραφόμενη θέση. Όσο καλός και να είναι ο δέκτης, αυτό το



Εικόνα 5.6: Παράδειγμα Φωτοσταθερού Σημείου

Πηγή: Ζούπης Δημήτριος (Φωτογραφικό αρχείο)

σφάλμα πρέπει να επιλυθεί εκ των υστέρων με post processing διαδικασίες (EMLID, 2017).

β) Με χρήση φωτοσταθερών (Ground Control Points - GCP's) και σημείων ελέγχου (Check Points). Τα φωτοσταθερά είναι κατάλληλες σημάτσες επί του εδάφους ή χαρακτηριστικά και ευδιάκριτα στοιχεία στο έδαφος, τα οποία διασπείρονται καταλλήλως ή εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης, αποτυπώνονται με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια (συνήθως κάτω των 2 - 3 εκατοστών με χρήση γεωδαιτικού σταθμού ή RTK-GNSS) και



Εικόνα 5.7: Φωτοσταθερά και σημεία ελέγχου
Πηγή: Ζούπης Δημήτρης (φωτογραφικό αρχείο)

χρησιμοποιούνται για τη γεωαναφορά του παραγόμενου μοντέλου. Τα σημεία ελέγχου αντιμετωπίζονται με το ίδιο τρόπο, δε συμμετέχουν στη διαδικασία της γεωαναφοράς αλλά στον ποιοτικό έλεγχο αυτής αφού έχει ολοκληρωθεί με τη χρήση των φωτοσταθερών.

Τα φωτοσταθερά για να έχουν τα μέγιστα αποτελέσματα, θα πρέπει να καταναλώνονται ελαφρώς περιμετρικά της προς αποτύπωση έκτασης και οπωσδήποτε κάποια εσωτερικά και προς το κέντρο. Σε σημεία έντονων διαφοροποιήσεων στις κλίσεις εδάφους, καλό είναι να τοποθετούνται επιπλέον φωτοσταθερά. Όσον αφορά το πλήθος, πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο πέντε για να μπορεί το λογισμικό να επιλύσει τη γεωαναφορά και ενδεικτικά εκτάσεις έως 700 περίπου στρέμματα μπορούν να καλυφθούν με 10 έως 12 φωτοσταθερά (εφόσον το σχήμα και το ανάγλυφο το επιτρέπουν) (DroneDeploy, 2017).

Για τις ανάγκες της εργασίας και εξαιτίας της φύσης της, δεν χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φωτοσταθερά, ούτε έντονες σημάνσεις επί του εδάφους. Δεν ήταν επιθυμητό να σημανθούν διάσπαρτα σε εύρος 12 οικοδομικών σταυροί ή Χ μισού και πλέον μέτρου και έντονης βαφής, ούτε να εξασφαλιστεί η μη μετακίνηση έτοιμων φωτοσταθερών, σε χρονικό εύρος από την τοποθέτηση και μέτρησή τους με το RTK-GNSS έως και την αποτύπωσή τους από τη φωτομηχανή του ΣμηΕΑ, από εξωγενείς παράγοντες.

Οπότε η διαδικασία διασποράς παρακάμφθηκε και η διαδικασία εντοπισμού και μέτρησης έγινε μετά την ολοκλήρωση της πτήσης και αφότου ελέγχθηκαν σποραδικά κάποιες από τις εικόνες για να διαπιστωθεί τί μεγέθους αντικείμενα είναι ορατά σε αυτές από το συγκεκριμένο ύψος πτήσης (60m).

Διαφόρων ειδών αντικείμενα επιλέχθηκαν για χρήση ως φωτοσταθερά, όπως καπάκια φρεατίων, κράσπεδα, διαβάσεις, διαγραμμώσεις, εσχάρες απορροής ομβρίων, πλακοστρώσεις κλπ.

Ως σημεία ελέγχου επιλέχθηκαν αντίστοιχα με τα φωτοσταθερά και επιπλέον κάποια με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως κορυφές από τσιμεντοκολόνες, κορυφές σιδηροπασσάλων περίφραξης κλπ για να ελεγχθεί η συμπεριφορά της γεωαναφοράς σε τεχνητά σημεία ψηλότερα από το φυσικό έδαφος.

Εν τέλη μετρήθηκαν με χρήση RTK-GNSS 16 φωτοσταθερά και 23 σημεία ελέγχου με μέσο οριζοντιογραφικό σφάλμα 1,1cm και υψομετρικό 1,5cm. Η απόσταση από τη βάση σύνδεσης¹³ κυμάνθηκε από 1.802 έως 2.344 μέτρα.

¹³ Βάση σύνδεσης: CORSALMYROS. Δίκτυο Αναφοράς: Marktopo της εταιρίας CivilShop ΕΠΕ. Συντεταγμένες Βάσης: X = 392.598,657 Y = 4.337.154,714 Z = 67,547.

5.8 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ – ΕΠΙΛΥΣΗ

Το πιο χρονοβόρο κομμάτι της διαδικασίας ξεκινά κατά την επιστροφή στο γραφείο. Έχοντας ως μοναδικά δεδομένα εισαγωγής (input data) τις φωτογραφίες που λήφθηκαν από το ΣμηΕΑ και τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών, στόχος της διαδικασίας είναι να παραχθούν ως τελικά προϊόντα ορθοφωτοχάρτης της περιοχής μελέτης, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, τρισδιάστατη απόδοση της περιοχής μελέτης, δεδομένα υψούς, ισοϋψείς καμπύλες.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την περαίωση της διαδικασίας είναι το Photoscan της ρώσικης εταιρίας Agisoft LLC. Πρόκειται για εμπορικό λογισμικό κλειστού κώδικα το οποίο, όπως αναφέρεται στην ιστοσελίδα της εταιρίας, είναι προϊόν το οποίο εκτελεί φωτογραμμετρική επεξεργασία ψηφιακών εικόνων και παράγει τρισδιάστατα χωρικά δεδομένα.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα επιλέχθηκε, έναντι αντίστοιχων προγραμμάτων ανοιχτού κώδικα, διότι αποτελεί μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα, δηλαδή όλα τα απαραίτητα βήματα και οι διαδικασίες ελέγχου, λαμβάνουν χώρα εντός της εφαρμογής. Υπάρχει ενεργή κοινότητα χρηστών όπου μπορούν να αναζητηθούν λύσεις σε διάφορα προβλήματα (επί του τρόπου χρήσης του λογισμικού). Επαρκής διαθεσιμότητα επίσημων εγχειριδίων χρήσης και τέλος, η εμπειρία έχει δείξει, ότι τα τελικά προϊόντα που παράγονται είναι, συγκριτικά, υψηλότερης ποιότητας ευκρίνειας και καλύτερα αποδομένα. Όσον αφορά αντίστοιχα προγράμματα εμπορικά κλειστού κώδικα όπως παραδείγματος χάριν το Pix4dMapper, το 3DF Zephyr, το ContextCapture, το ReCap 360, το διαδικτυακό DroneDeploy κλπ, αποτελούν εξαιρετικές εναλλακτικές με θετικά και αρνητικά το κάθε ένα.

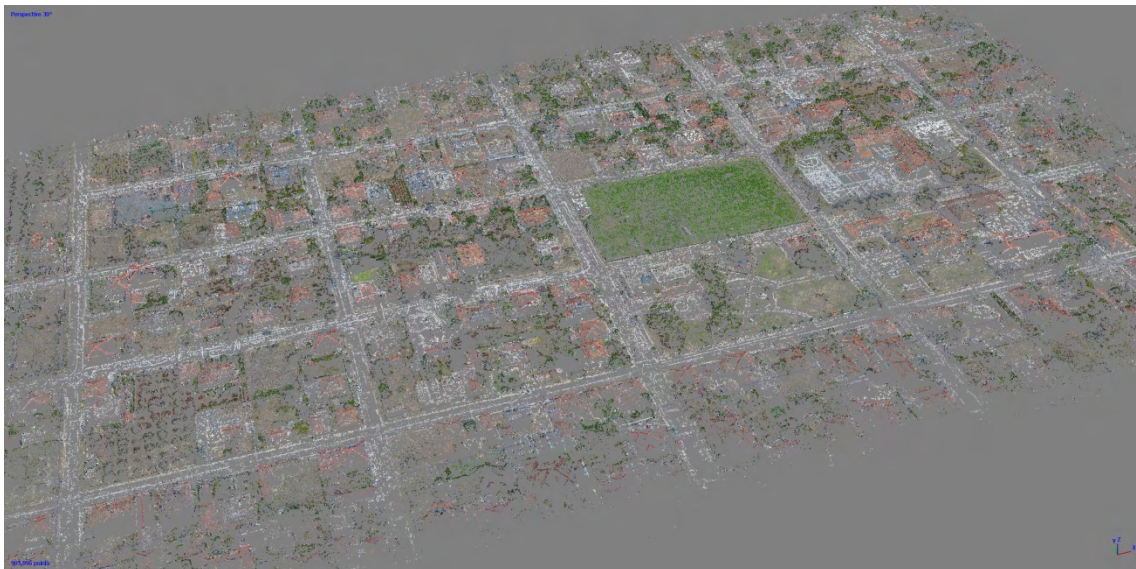
Το πρώτο βήμα της διαδικασίας, αφού έχουν μεταφερθεί οι φωτογραφίες από την εσωτερική μνήμη του ΣμηΕΑ στον υπολογιστή και κατόπιν εισαχθεί στο πρόγραμμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας, είναι ο έλεγχος ποιότητας των εικόνων. Ο έλεγχος ποιότητας μέσω του λογισμικού γίνεται με χρήση της εντολής estimate image quality. Το αποτέλεσμα είναι ο έλεγχος της κάθε μίας φωτογραφίας ξεχωριστά και η βαθμολόγηση τους από 0 έως 1 (0 για τη χειρότερη ποιότητα και 1 για την καλύτερη). Όσες εικόνες βαθμολογηθούν πάνω από 0,5 τότε πληρούν τα κριτήρια του λογισμικού για να χρησιμοποιηθούν στους επόμενους υπολογισμούς (Agisoft, 2018).

Η ποιότητα των εικόνων είναι πάρα πολύ σημαντική για τη μετέπειτα επεξεργασία και εξαρτάται από παράγοντες όπως η καλή εστίαση, η θολότητα, ο ομοιόμορφος

φωτισμός, η ένταση των χρωμάτων, η υφή. Υδάτινες επιφάνειες, εξαιρετικά ανακλαστικές επιφάνειες, ομοιόμορφα μοτίβα επιφανειών (όπως σταροχώραφα), δημιουργούν πρόβλημα στη μετέπειτα επεξεργασία, καθώς οι αλγόριθμοι, αδυνατώντας να εντοπίσουν χαρακτηριστικά και κοινά σημεία μεταξύ των επικαλυπτόμενων εικόνων στις οποίες εμφανίζονται οι επιφάνειες αυτές, δεν μπορούν στη συνέχεια να τις αναπαραστήσουν. Κατά συνέπεια, όσες εικόνες παρουσιάζουν αυτά τα χαρακτηριστικά προβλήματα θα πρέπει να εξαιρεθούν από τη διαδικασία ευθυγράμμισης και αν το ποσοστό τους επί του συνόλου δημιουργεί σημαντικά κενά στο μοντέλο τότε η φωτοληψία θα πρέπει να επαναληφθεί του πεδίου.

Έχοντας ολοκληρωθεί η εκτίμηση της ποιότητας των εικόνων και η αφαίρεση των μη κατάλληλων, επόμενο βήμα είναι ο εντοπισμός χαρακτηριστικών σημείων σε κάθε φωτογραφία (feature detection), όπως γωνίες και ακμές, με εκτέλεση αλγορίθμου τύπου SIFT (Scale Invariant Feature Transform) (Δουκαρή, 2015) αλλά διαφοροποιημένου (Semyonov, 2011) για ελαφρώς ποιοτικότερα αποτελέσματα.

Ακολουθεί η αντιστοίχιση των χαρακτηριστικών σημείων (τα οποία υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα) μεταξύ των επικαλυπτόμενων εικόνων (feature matching) και φιλτράρισμα αυτών για αφαίρεση τυχών μη αντιστοιχιζόμενων σημείων (με



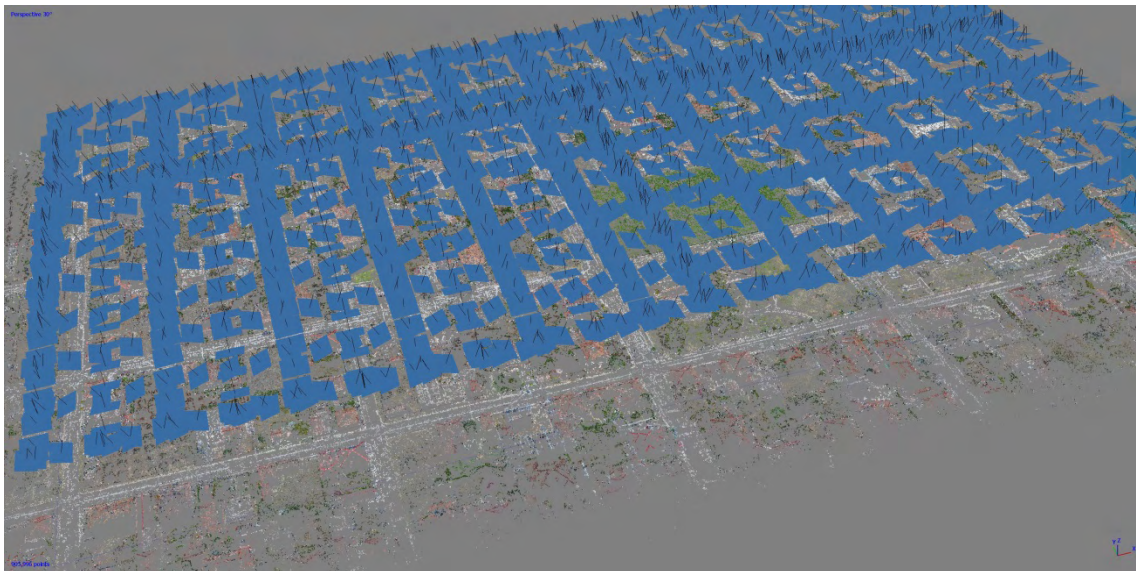
Εικόνα 5.8: Tie Points/Key Points (Agisoft Photoscan)

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

χρήση του αλγορίθμου κατά προσέγγιση κοντινότερου γείτονα για τον εντοπισμό και του Random Sample Consensus - RANSAC για το φιλτράρισμα) (Carrivick et al, 2016).

Τέλος και με εφαρμογή αλγορίθμου τύπου Bundle Adjustment (Lourakis and Argyros, 2009) επιτυγχάνεται η ευθυγράμμιση των εικόνων και ο υπολογισμός των τρισδιάστατων σημείων. Ουσιαστικά επιλύεται ο εσωτερικός προσανατολισμός της φωτομηχανής καθώς και ο εξωτερικός για κάθε θέση φωτοληψίας, οπότε προκύπτουν οι παράμετροι βαθμονόμησης της φωτομηχανής και ο τριγωνισμός (ο υπολογισμός της θέσης των σημείων στον τρισδιάστατο χώρο).

Η παραπάνω δέσμη διαδικασιών στο λογισμικό Photoscan επιτυγχάνεται μέσω της εντολής align photos και ως προϊόν έχει τη δημιουργία ενός αραιού τρισδιάστατου νέφους σημείων τα οποία αντιπροσωπεύουν αντικείμενα των οποίων τουλάχιστον δύο χαρακτηριστικά σημεία, εντοπίζονται σε τουλάχιστον τρεις εικόνες, τις θέσεις φωτοληψίας και τις παραμέτρους εσωτερικής βαθμονόμησης της φωτομηχανής.



Εικόνα 5.9: Θέσεις Φωτοληψίας μετά την βελτιστοποίηση
Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Συνεχίζοντας ακολουθεί ο εντοπισμός και η σήμανση των φωτοσταθερών, εφόσον έχουν αποτυπωθεί, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης. Η διαδικασία είναι σχετικά απλή αλλά χρονοβόρα. Εντοπίζεται εικόνα η οποία εμφανίζει τουλάχιστον ένα φωτοσταθερό και στο σημείο μέτρησης των συντεταγμένων του φωτοσταθερού, τοποθετείται σήμανση (marker). Κατόπιν φιλτράρονται οι εικόνες και εμφανίζονται μόνο αυτές στις οποίες παρουσιάζεται η σήμανση. Πλέον σε κάθε μία από αυτές πρέπει να ελεγχθεί και διορθωθεί (όπου κρίνεται απαραίτητο) η θέση της σήμανσης σε σχέση με την εμφανιζόμενη, στην εικόνα, θέση του φωτοσταθερού (κατ' αυτόν τον τρόπο προκύπτει και το σφάλμα προβολής σε pixel). Από τη στιγμή όμως που η επικάλυψη των φωτογραφιών είναι πολύ μεγάλη (της τάξης του 60 έως 80%), προφανώς και το κάθε φω-

τοσταθερό εμφανίζεται σε πλήθος φωτογραφιών. Στη συγκεκριμένη μελέτη οι προβολές κυμάνθηκαν από 14 έως 75, με μέσο όρο της 40 εικόνες ανά φωτοσταθερό. Αποτέλεσμα να δαπανηθούν τρεις περίπου ώρες για τον εντοπισμό, σήμανση και διόρθωση των 16 φωτοσταθερών και των 23 σημείων ελέγχου.

Τα σημεία ελέγχου εντοπίζονται και σημαίνονται με τον ίδιο τρόπο όπως τα φωτοσταθερά αλλά δεν συμμετέχουν κατά τη διαδικασία της γεωαναφοράς, παρά μόνο στον έλεγχο της τελικής ακρίβειας.

Κατά την ολοκλήρωσή του εντοπισμού και σήμανσης των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου, ορίζεται το επιθυμητό προβολικό σύστημα αναφοράς και συγκεκριμένα από το WGS84 (το σύστημα αναφοράς του Project που ορίστηκε αυτόματα από το λογισμικό αφότου διάβασε τα μεταδεδομένα της γεωσήμανσης των εικόνων) στο ΕΓΣΑ87 (το σύστημα αναφοράς αποτύπωσης των φωτοσταθερών και επίσημο σύστημα αναφοράς στην Ελλάδα) και εισάγονται οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών και σημείων ελέγχου. Στη συνέχεια εκτελείται η διαδικασία της βελτιστοποίησης της εσωτερικής και εξωτερικής γεωμετρίας της κάμερας και των θέσεων φωτοληψίας (εντολή optimize cameras) (Agisoft¹, 2018) και ολοκληρώνεται η γεωαναφορά του μοντέλου.

Το τελικό επιστρεφόμενο (από τους υπολογισμούς) σφάλμα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Σφαλμάτα γεωαναφοράς				
	x (m)	y (m)	z (m)	Σύνολο (m)
Φωτοσταθερά	0,041	0,029	0,045	0,067
Σημεία Ελέγχου	0,020	0,020	0,055	0,062

Πίνακας 5.2: Πίνακας Σφαλμάτων γεωαναφοράς (Πηγή: Ίδια επεξεργασία)

Το επόμενο βήμα είναι η κατασκευή του πυκνού νέφους τρισδιάστατων σημείων (3D dense point cloud).

Αρχικά περιορίστηκε η περιοχή ανακατασκευής στα επιθυμητά όρια με αναπροσαρμογή των ορίων της περιοχής ενδιαφέροντος με χρήση του κατάλληλου εργαλείου (bounding box). Το βήμα αυτό είναι απαραίτητο διότι πέραν των δώδεκα οικοδο-

μικρών τετραγώνων που αφορούν τη μελέτη, εξαιτίας της κλίσης της φωτομηχανής και της πλευρικής επικάλυψης, αποτυπώθηκε πληροφορία για δεκαοκτώ επιπλέον περιμετρικά οικοδομικά τετράγωνα (σε βάθος περίπου 1/3 του Οικοδομικού Τετραγώνου, έκαστο). Η αφαίρεση αυτή οδηγεί σε γρηγορότερο χρόνο επεξεργασίας και καλύτερη διαχείριση των πόρων του συστήματος.

Στη συνέχεια και εντός του επιθυμητού ορίου περιοχής μελέτης, με χρήση μεθόδου MVS (multi view stereo) υπολογίζεται ο χάρτης βάθους¹⁴ (Carrivick et al, 2016) και ακολουθεί η ανακατασκευή του πυκνού νέφους.

Από τα πέντε επίπεδα πυκνότητας ανακατασκευής (Lowest, Low, Medium, High, Ultra High), επιλέχθηκε το High, εξαιτίας του περιορισμού που προκύπτει από τους πόρους του συστήματος¹⁵. Για κάθε μεγαλύτερο επίπεδο ανακατασκευής, η πυκνότητα των σημείων αυξάνεται τέσσερις φορές, ενώ η ακρίβεια των μεμονωμένων σημείων δύο φορές (Agisoft², 2018). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη σε πολύ μεγάλη μεγέθη μνήμης RAM.

Κατά την ολοκλήρωση του μοντέλου, μπορεί να γίνει οπτικός έλεγχος και κατόπιν χειροκίνητη αφαίρεση σημείων που δεν έχουν τοποθετηθεί σωστά (θόρυβος) και εκτιμάται πως θα δημιουργήσουν πρόβλημα στην παραγωγή των επόμενων προϊόντων (mesh, texture, dem, ortho).

Πίνακας 5.3: Πίνακας εκτιμώμενης χρήσης μνήμης RAM για εικόνες ανάλυσης 12 MPix για την κατασκευή dense point cloud.

Photos	100	200	500	1000	2000	5000	10000
Lowest quality	25 MB	50 MB	125 MB	250 MB	500 MB	1.25 GB	2.5 GB
Low quality	100	200	500	1 GB	2 GB	5 GB	10 GB

¹⁴ Οι μεμονωμένοι χάρτες βάθους υπολογίζονται, από μεθόδους συγχώνευσης, για κάθε εικόνα και στη συνέχεια συνδυάζονται σε ένα ενιαίο 3D μοντέλο. Ο χάρτης βάθους είναι μια εικόνα που αντιπροσωπεύει την απόσταση από την γωνία παρατήρησης στα αντικείμενα της τρισδιάστατης σκηνής. Αυτοί οι αλγόριθμοι αποφεύγουν την ανάγκη αναδειγματοληψίας σε έναν τομέα της τρισδιάστατης σκηνής και είναι πιο ευέλικτοι για γεμάτες σκηνές

¹⁵ Επεξεργαστής AMD Ryzen 7 1700X AM4/3.80Ghz, Κάρτα Γραφικών Palit GeForce GTX 1070 Dual OC 8GB, Μνήμη RAM Corsair 32GB Kit 2800MHz, Σκληρός Δίσκος SSD Corsair Force MP500 240GB, Σύστημα Υδρόψυξης Corsair Hydro H110i Extreme, Τροφοδοτικό Corsair RMX Series 850 W 80+ Gold, Μητρική Κάρτα Asrock X370 Professional.

	MB	MB	MB				
Medium quality	400 MB	800 MB	2 GB	4 GB	8 GB	20 GB	40 GB
High quality	1.6 GB	3.2 GB	8 GB	16 GB	32 GB	80 GB	160 GB
Ultra high quality	6.4 GB	12.8 GB	32 GB	64 GB	128 GB	320 GB	640 GB

Πηγή: http://www.agisoft.ru/w/index.php?title=PhotoScan/Tips_and_Tricks

Επομένως με 1438 εικόνες των 20Μpix και το διαθέσιμο σύστημα των 32GB RAM, ενδείκνυται η ποιότητα/πυκνότητα High. Όντως σε δοκιμαστική επίλυση σε Ultra high quality, το λογισμικό επέστρεψε σφάλμα (Not enough memory) μετά από περίπου είκοσι ώρες επεξεργασίας. Το τελικώς παραγόμενο νέφος αποτελείται από 226.094.517 σημεία.



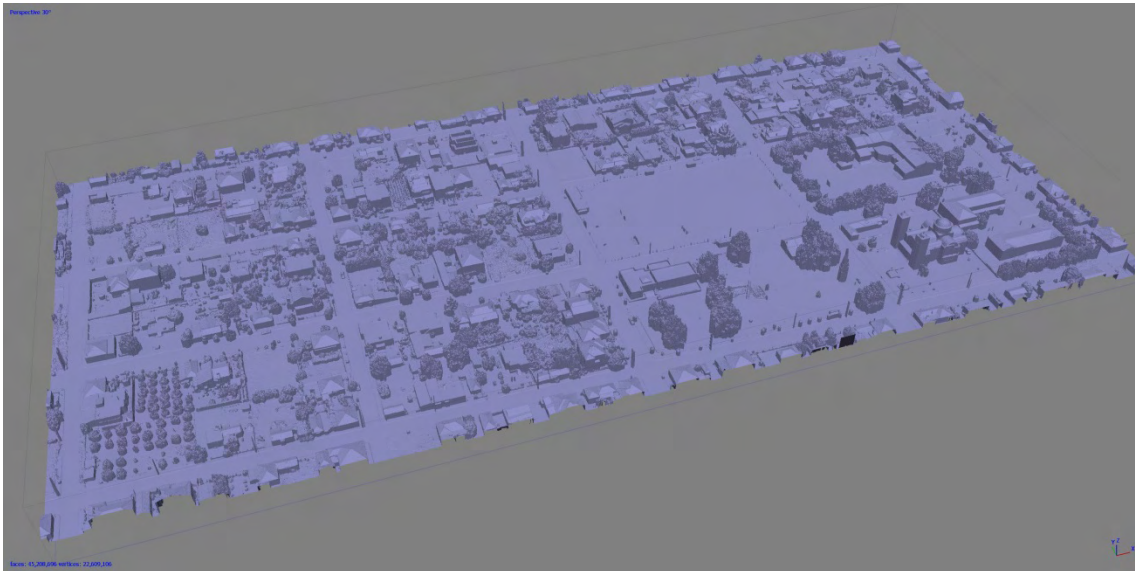
Εικόνα 5.10: Τρισδιάστατο Πυκνό Νέφος Σημείων
Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Συνεχίζοντας, κατασκευάζεται η επιφάνεια τριγωνικού πλέγματος (mesh) α-ντλώντας υψομετρική πληροφορία από το πυκνό νέφος σημείων με εφαρμογή της μεθόδου ανακατασκευής Poisson (Δουκαρή, 2015).

Κατόπιν δύνεται η δυνατότητα επεξεργασίας του πλέγματος για διόρθωση ατελειών στην τοπολογία του¹⁶. Το μοντέλο δεν είχε τοπολογικά σφάλματα ούτε κενά στη δομή του και αποτελείται από 45.208.696 επιφάνειες.

Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα μέσω της εντολής Build Texture να δοθεί χρώμα και υφή στο μοντέλο από τις εικόνες με σκοπό την πιστότερη απόδοση της πραγματικής κατάστασης (το συγκεκριμένο βήμα δεν είναι απαραίτητο για την εξαγωγή του ορθοφωτοχάρτη).

Όλη η προαναφερόμενη μεθοδολογία και βήματα οδηγούν στην παραγωγή και εξαγωγή ορθοφωτοχάρτη και ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (εντολές Build DEM, Build Orthomosaic, Export DEM, Export Orthomosaic) άμεσα χρησιμοποιήσιμα σε προγράμματα CAD, GIS, κλπ.

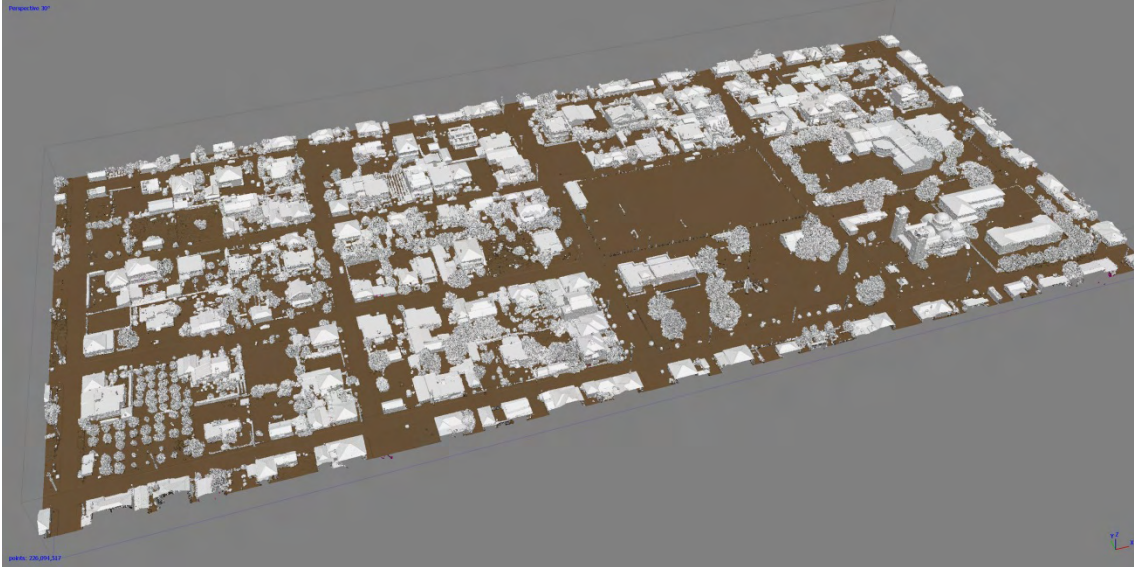


Εικόνα 5.11: Τριγωνικό πλέγμα
Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Προσοχή απαιτείται στην περίπτωση που επιθυμείται παραγωγή ισοϋψών καμπυλών. Οι ισοϋψείς καμπύλες αφορούν την επιφάνεια του εδάφους. Εντούτοις, από την επεξεργασία, δεν παράγεται άμεσα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχει άμεσα η συγκεκριμένη πληροφορία για το σύνολο της έκτασης. Οι εικόνες αποτυπώνουν και οι αλγόριθμοι εν συνεχεία αναδομούν την πληροφορία που είναι υπερκείμενη στη γήινη επιφάνεια (κατασκευές, βλάστηση κλπ). Για να επιτευχθεί η παραγωγή ισοϋψών καμπυλών, θα πρέπει πρώτα να γίνει ταξινόμηση των σημείων του 3D Dense Cloud σε σημεία εδάφους (ground) και λοιπά (low) με χρήση της εντο-

¹⁶ Εντολή View Mesh Statistics και κατόπιν Fix Topology.

λής Classify Ground Points. Κατόπιν να δημιουργηθεί νέο DEM με χρήση της κλάσης Ground και τέλος να παραχθούν οι ισοϋψείς καμπύλες. Το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι πάντα άρτιο και αναλόγως τις ανάγκες, επιπλέον επεξεργασία με κατάλληλα λογισμικά ίσως είναι απαραίτητη (όπως QGIS για geometry simplification και AutoCAD για διόρθωση ακμών κλπ).



Εικόνα 5.12: Ταξινόμηση τρισδιάστατου πυκνού νέφους σημείων σε δύο κλάσεις, έδαφος μη έδαφος. Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Εν κατακλείδι, το λογισμικό είναι σε θέση να παράξει και αναφορά (Generate Report) με τεχνικές πληροφορίες που αφορούν τις παραμέτρους βαθμονόμησης της κάμερας, τις επικαλύψεις, το σφάλμα γεωαναφοράς, τα επιμέρους βήματα επίλυσης και λοιπά στοιχεία που αποκτήθηκαν. Επιπλέον, εμμέσως υπολογίζεται και ο συνολικός χρόνος που δαπανήθηκε από τον υπολογιστή για την παραγωγή των τελικών προϊόντων (31 ώρες 59 λεπτά 16 δευτερόλεπτα), από τους επιμέρους που παρουσιάζονται στην αναφορά¹⁷.

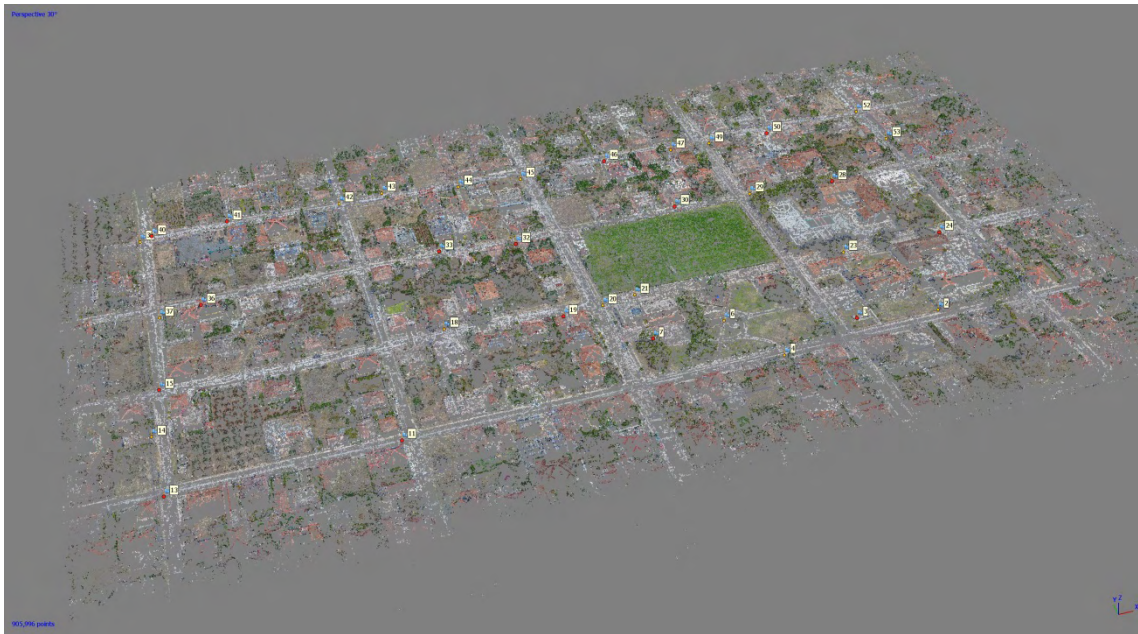
¹⁷ Matching time 2 hours 36 minutes, Alignment time 11 minutes 36 seconds, Optimization time 1 minutes 3 seconds, Depth maps generation time 10 hours 10 minutes, Dense cloud generation time 16 hours 8 minutes, Mesh Processing time 11 minutes 18 seconds, Texture UV mapping time 11 minutes 47 seconds, Texture Blending time 1 hours 1 minutes, DEM 5 minutes 27 seconds, Orthomosaic 23 minutes 6 seconds.

5.9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Έχοντας όλα τα απαραίτητα προϊόντα διαθέσιμα (ορθοφωτοχάρτη, ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας, στοιχεία γεωαναφοράς, και λοιπά), ακολουθεί ο μετρητικός και ποιοτικός έλεγχός τους.

Πέραν των σημείων ελέγχου τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο των μετρητικών αποτελεσμάτων/ακρίβειας του μοντέλου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού, σε τρία διαφορετικά σημεία της περιοχής μελέτης. Αποτυπώθηκαν διαστάσεις προσόψεων κτιρίων καθώς και ύψη αυτών. Η ακρίβεια των συγκεκριμένων μετρήσεων είναι της τάξεως των τριών χιλιοστών.

Ξεκινώντας με τα φωτοσταθερά, παρατηρούνται ομοιόμορφα σφάλματα σχεδόν σε όλα τα φωτοσταθερά εκτός από δύο. Τα φωτοσταθερά 13 και 40 παρουσιάζουν σφάλμα 13 και 14,5 εκατοστών αντίστοιχα, με το σφάλμα να προέκυψε εξαιτίας της ιδιαιτερότητας των φωτοσταθερών, καθώς και τα δύο είναι κυκλικού σχήματος καπάκια του δικτύου ομβρίων. Η σήμανσή τους όμως έγινε σε χαρακτηριστικά σημεία εκτός του



Εικόνα 5.13: Θέσεις φωτοσταθερών και σημείων (με κόκκινο χρώμα οι θέσεις των φωτοσταθερών). Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

κέντρου τους, με αποτέλεσμα να μη φαίνονται ευκρινώς τα χαρακτηριστικά σημεία σήμανσεως σε αρκετές από τις αεροφωτογραφίες που παρουσιάζονται εξαιτίας α) του ύψους πτήσης, β) της ανάλυσης της κάμερας και γ) των πλαγίων λήψεων. Εντούτοις έπρεπε να χρησιμοποιηθούν στην γεωαναφορά διότι αποτελούν ακραία φωτοσταθερά της περιοχής μελέτης (βορειοδυτικά και νοτιοδυτικά).

Τα χρησιμοποιούμενα σημεία ελέγχου, παρουσιάζουν καλύτερη οριζοντιογραφική ακρίβεια (2,1 και 2 εκατοστά κατά χ και ψ έναντι 4,1 και 2,9) από τα φωτοσταθερά αλλά δεν επελέγησαν στην επίλυση της γεωαναφοράς διότι καθοριστικότερος παράγοντας για την επιλογή ήταν η βέλτιστη διασπορά.

Προχωρώντας στις επιμέρους μετρήσεις, το πρώτο σκέλος αφορά τον Ιερό Ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου με το σκεπτικό του ψηλότερου και χαρακτηριστικότερου δομήματος στην περιοχή μελέτης.

Από την τοπογραφική αποτύπωση προέκυψαν τα εξής:

Πίνακας 5.4: Συγκριτικά Στοιχεία

Συγκριτικά στοιχεία		
Βόρειο Καμpanarió	Τοπογραφική Αποτύπωση	3D point cloud
υψόμετρο βάσης	81,53μ	81,60μ
υψόμετρο οροφής	100,78μ	100,95μ
υψόμετρο κορυφής σταυρού	103,81μ	103,80μ
Μήκος δυτικής πλευράς	4,37μ	4,34μ

Συγκριτικά στοιχεία		
Νότιο Καμpanarió	Τοπογραφική Αποτύπωση	3D point cloud
υψόμετρο κορυφής σταυρού	103,90μ	103,73μ
Μήκος δυτικής πλευράς	4,34μ	4,37μ



Εικόνα 5.14: 3D Point Cloud (αριστερά) – Απόδοση Υφής/Texture (δεξιά). Εμφανής η μη απόδοση του σταυρού στον τρούλο του Ιερού Ναού. Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Σε ποιοτικό επίπεδο παρατηρείται πως ο σταυρός στην κορυφή του νότιου καμπαριού δεν έχει αναδομηθεί σε όλο του το ύψος και ίσως η υψομετρική διαφορά που προκύπτει να οφείλεται σε αυτόν τον παράγοντα. Επιπλέον δεν έχει αναδομηθεί καθόλου ο σταυρός του τρούλου της εκκλησίας. Αυτό πιθανώς προέκυψε εξαιτίας του μικρού μεγέθους του αντικειμένου και τις υψομετρικής διαφοράς με τα γειτονικά αντικείμενα σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο φιλτραρίσματος για αφαίρεση τυχόν θορύβου (μη επιθυμητών σημείων κατά τη δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων). Ωστόσο, η αποτυπωμένη διάσταση σε όμορο κτήριο επαληθεύεται πλήρως (4,35μ).

Στο κτήριο του πολιτιστικού συλλόγου το μήκος της νότιας πλευράς επαληθεύεται πλήρως (20,5μ) και το υψόμετρο επαληθεύεται με διαφορά ενός εκατοστού (90,21μ πραγματικό και 90,20μ από μοντέλο).

Σε άλλο σημείο της περιοχής μελέτης, έγινε τοπογραφική αποτύπωση σημείων λεπτομερειών περιγράμματος κτίσματος. Η

λεπτομέρεια αφορά «δόντι» επί της μίας πλευράς του περιγράμματος κτιρίου, βάθους 0,15μ. Διαπιστώνεται πως ενώ πιθανότατα έχει αναδομηθεί, δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί η ύπαρξή του και η ακριβής διάσταση κατά τη σχεδίαση.

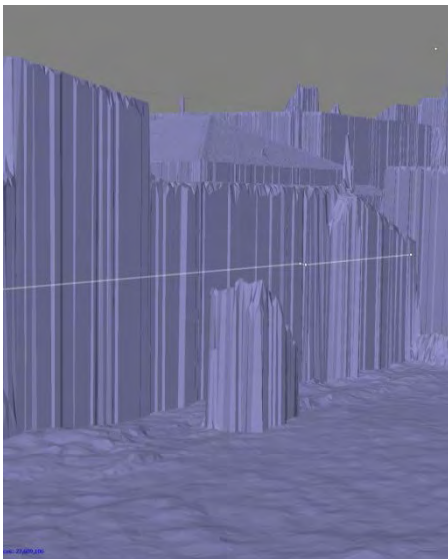
Επιπλέον διαπιστώθηκε, σε ποιοτικό επίπεδο, πως πλευρές ή στοιχεία δομημάτων που βρίσκονται εσωτερικότερα του 1,5 (βλέπε Εικόνα Π.5 Παράρτημα) μέτρου από περίγραμμα υπερκείμενων κατασκευών, αναδομούνται με δυσκολία (μόνο η βάση τους)



Εικόνα 5.15: Επαλήθευση μήκους πλευράς κτηρίου ομόρου Ιερού Ναού. Πηγή: Ίδια επεξεργασία

ή δεν αναδομούνται καθόλου. Είναι λογικό και εξαρτάται από την πληροφορία που αποτυπώνεται στις αρχικές εικόνες.

Ο ορθοφωτοχάρτης που παρήχθηκε είναι εξαιρετικά υψηλής ευκρίνειας (1,64cm/pix). Η ποιοτική πληροφορία που φέρει κρίνεται υπεραρκετή και η γεωαναφορά και ορθοαναγωγή του εξαιρετικά ακριβείς για να συνεπικουρήσει τη δουλειά του μηχανικού σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 5.16: Αδυναμία αναδόμησης σημείου λεπτομέρειας (δόντι επί της πλευράς του κτηρίου 0,15μ).

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Στην τρίτη περιοχή ελέγχου, έγινε αποτύπωση προδιαγραφών τοπογραφικού διαγράμματος για σύνταξη συμβολαίων, σε κλίμακα παράδοσης 1:200, με σκοπό να προσομοιαστεί χρήση σε πραγματικές συνθήκες επιπέδου κατώτερης γεωδαισίας. Όπως διαπιστώνεται παρακάτω το πραγματικό περίγραμμα του κτιρίου, η βεράντα, οι σκάλες και εν γένει οι υποκείμενες, του περιγράμματος της στέγης και του στεγάστρου, κατα-

σκευές, δεν φαίνονται. Εντούτοις περιφράξεις, στύλοι ΔΕΗ, στύλοι οδοσήμανσης, δέντρα, άξονας οδού, κράσπεδο και λοιπά στοιχεία, δύναται να σχεδιαστούν με μεγάλη ακρίβεια (ίσως όμως όχι καλύτερης των τριών έως πέντε εκατοστών οριζοντιογραφικά). Εκτός των άλλων όμως, σημαντική για την ακριβέστερη απόδοση, είναι η εξοικείωση του σχεδιαστή με τη χρήση ορθοφωτοχαρτών και η πληρέστερη αναγνώριση των περιγραμμάτων των αντικειμένων που εμφανίζονται σε αυτούς.

Κατά τον περαιτέρω ποιοτικό έλεγχο του μοντέλου, διαπιστώθηκε πως κυλινδρικά αντικείμενα ψηλά και μικρής διαμέτρου (στύλοι ΔΕΗ, ΟΤΕ, οδοσημάνσεις), δεν αποδίδονται σωστά στο σύνολό τους, καθώς είτε δεν αναδομούνται, είτε αναδομούνται ελλιπώς.



Εικόνα 5.17: Επίθεση παραγόμενου ορθοφωτοχάρτη σε στοιχεία υφιστάμενου τοπογραφικού διαγράμματος. Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

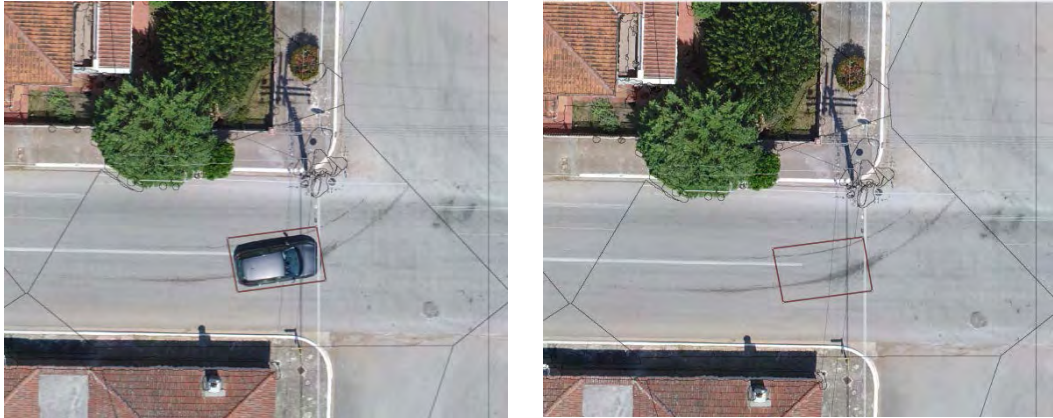
Επιπλέον, στον ορθοφωτοχάρτη κόμης δέντρων, κορυφές κολόνων ΔΕΗ, όρια περιγράμματος κεραμοσκεπών, κατά περιπτώσεις, παρουσιάζουν αλλοιωμένη απόδοση. Μία ενδιαφέρουσα παρατήρηση αφορά τα καλώδια της ΔΕΗ και του ΟΤΕ τα οποία είτε εμφανίζονται ως διακοπτόμενες γραμμές είτε ως σκιές στο οδόστρωμα κλπ.



Εικόνα 5.18: Σύγκριση στοιχείων τοπογραφικής αποτύπωσης (μπλε χρώμα) με παραγόμενο ορθοφωτοχάρτη (υπόβαθρο). Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Τέλος, στον αρχικό ορθοφωτοχάρτη εμφανίστηκε ένα αυτοκίνητο στη μέση του οδοστρώματος. Καθότι επρόκειτο για κινούμενο αντικείμενο, με κατάλληλα εργαλεία που παρέχει το πρόγραμμα επεξεργασίας, αφαιρέθηκε από την τελική απόδοση. Αυτό είναι εφικτό για όλα τα κινούμενα αντικείμενα εντός της περιοχής μελέτης για τα οποία

υπάρχουν τουλάχιστον τρεις εικόνες στις οποίες δεν εμφανίζονται. Τότε χειροκίνητα μπορεί να επιλεγεί για την τελική απόδοση του ορθοφωτοχάρτη, κατάλληλη εικόνα που να μην εμφανίζει το κινούμενο αντικείμενο.



Εικόνα 5.19: Αφαίρεση κινούμενου αντικειμένου από ορθοφωτοχάρτη
Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με όλα αυτά που αναφέρθηκαν στην παρούσα εργασία, γίνεται κατανοητό ότι, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να δοθεί μία στενή και καθαρή ερμηνεία του χώρου, διότι αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες, τον παρατηρητή και την επιστήμη που τον μελετά. Ωστόσο, στην εργασία αυτή, ο δομημένος χώρος δεν αναφέρεται σε τίποτα παραπάνω, πέρα από τον αστικό χώρο.

Από την άλλη, η τεχνολογία της υπολογιστικής όρασης έχει συμβάλλει καθοριστικά στον τομέα των αποτυπώσεων και σε συνδυασμό με τις παραδοσιακές φωτογραμμετρικές τεχνικές παράγονται εντυπωσιακά αποτελέσματα πολύ υψηλής ακρίβειας.

Η μέθοδος structure from motion και multi-view stereo μάλιστα, έχουν συμβάλει σημαντικά στον σκοπό αυτό, με αλγόριθμους ικανούς για παραγωγή αξιόλογων αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, τα ΣμηΕΑ έχουν ανεπιστρεπτί εισβάλει στην καθημερινότητά μας. Από προνόμιο των κυβερνήσεων και κύρια χρήση την στρατιωτική, πλέον έχουν καταστεί πλατφόρμες προσβάσιμες στον οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο. Μάλιστα, οι βελτιωμένες δυνατότητές τους σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος απόκτησης, έχουν δημιουργήσει μία αγορά πολλών δισεκατομμυρίων ευρώ, η οποία ωθεί ακόμα περισσότερο την έρευνα και τις επενδύσεις στον συγκεκριμένο τομέα.

Επιπρόσθετα ο συνδυασμός των τριών τεχνολογιών, της υπολογιστικής όρασης, της φωτογραμμετρίας και των Συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών τείνουν να αλλάξουν την ανθρώπινη αντίληψη για τις παραδοσιακές μεθόδους αποτύπωσης και τον αντίκτυπο που έχουν στο χώρο και στο σχεδιασμό αυτού. Μελλοντικά μάλιστα, η αλματώδης τεχνολογική πρόοδος σε αυτούς τους τομείς θα παίξει καταλυτικό ρόλο για τη διαμόρφωση, ανάπτυξη και βελτίωση του συγκεκριμένου κλάδου στο μέλλον. Όσο η τεχνολογία των διαφόρων αισθητήρων (φωτομηχανές, πολυφασματικές κάμερες, LiDAR, θερμικές κάμερες, υπέρυθρες κάμερες, κλπ) δημιουργεί μικρότερο, ελαφρύτερο και αποδοτικότερο εξοπλισμό και όσο τα ΣμηΕΑ γίνονται πιο σταθερά, με μεγαλύτερος χρόνος πτήσης και ικανά να φέρουν όλο και καλύτερο και πιο εξελιγμένο τεχνολογικό εξοπλισμό, τόσο περισσότερο θα «εισβάλουν» και θα εγκαθιδρύνονται στην καθημερινότητα των αποτυπώσεων του χώρου και της λήψης αποφάσεων για το σχεδιασμό και διαχείρισή του.

Όσον αφορά τώρα, την αποτύπωση του δομημένου χώρου η χρήση της μεθόδου της πλαγιάς φωτοληψίας είναι η πιο ενδεδειγμένη διότι αποτυπώνονται επιπλέον και οι προσόψεις των κτιρίων. Επιπλέον με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να αποδοθεί το αποτύπωμά τους, σε αντίθεση με τις κατακόρυφες λήψεις με χρήση των οποίων συνήθως, αποτυπώνεται το περίγραμμα της οροφής (πλάκα, κεραμοσκεπή και λοιπά). Γενικότερα όμως η αποτύπωση του, παραμένει πρόκληση και αυτό διότι η φέρουσα πληροφορία του δομημένου χώρου ποικίλει και ποιοτικά και ποσοτικά.

Ακόμη αντικείμενα όπως εναέριες καλωδίωσεις, κολώνες ΔΕΗ, ΟΤΕ, κολώνες οδοσήμανσης, έχουν δυσκολία να αποδοθούν ορθά (στο 3D point cloud και στο mesh) με τους υπάρχοντες αλγόριθμους. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι δεν μπορούν να εντοπιστούν μετέπειτα κατά την παραγωγή του ορθοφωτοχάρτη. Επίσης, το φιλτράρισμα μεμονωμένων ή απομακρυσμένων αντικειμένων κατά την παραγωγή και τρισδιάστατου νέφος σημείων μπορεί να οδηγήσει σε μη επιθυμητά αποτελέσματα κατά τόπους όπως είναι η απόδοση χαρακτηριστικών σημείων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ενδεχομένως, εάν δεν χρησιμοποιηθεί καμία μέθοδος φιλτραρίσματος, τότε ναι μεν ο θόρυβος (μη επιθυμητά σημεία) στο παραγόμενο Point Cloud μπορεί είναι μεγάλος αλλά σίγουρα θα αναδομηθούν πολύ περισσότερα αντικείμενα. Βέβαια αυτό θα έχει και το ανάλογο κόστος, καθώς ο χρήστης θα πρέπει χειροκίνητα να αφαιρέσει όποια σημεία θεωρεί μη επιθυμητά.

Η οριζοντιογραφική ακρίβεια κινείται σε επίπεδα καλύτερα της κλίμακας παράδοσης 1:200 (5cm) ενώ η υψομετρική ακρίβεια είναι λίγο χειρότερη. Βέβαια σημειώνεται πως οι καιρικές συνθήκες ήταν ιδανικές. Η κλίση του εδάφους ήταν πάρα πολύ ήπια και οι εικόνες που συλλέχθηκαν είχαν εξαιρετική ποιότητα.

Ωστόσο πρόκληση συνεχίζει να αποτελεί η παραγωγή ισοϋψών καμπυλών και αυτό διότι πρέπει να προκύψει από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους το οποίο και δεν παράγεται άμεσα. Το άμεσα παραγόμενο προϊόν είναι το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας το οποίο παρουσιάζει την επιφάνεια του εδάφους με τις υπερκείμενες κατασκευές/αντικείμενα. Θα πρέπει εν συνεχεία να φιλτραριστούν να αποκοπούν και στη συνέχεια να γίνει απόδοση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

Παρόλα αυτά, έμμεσοι τρόποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ισοϋψών καμπυλών και την απόδοση των περιγραμμάτων των κτιρίων.

Για τη δημιουργία ισοϋψών καμπυλών χρειάζονται υψομετρικά σημεία της επιφάνειας του εδάφους. Εφόσον στο τρισδιάστατο νέφος σημείων εμφανίζονται σημεία της επιφάνειας του εδάφους τότε μπορεί να γίνει χειροκίνητη συλλογή των συντεταγμέ-

νων των τρισδιάστατων αυτών των σημείων και εφόσον η διασπορά κρίνεται επαρκής, εισάγονται σε κατάλληλο σχεδιαστικό πρόγραμμα και κατόπιν παράγονται οι ισοϋψείς καμπύλες.

Για την σχεδίαση των περιγραμμάτων των κτιρίων μπορεί να γίνει φιλτράρισμα και ταξινόμηση του τρισδιάστατου νέφος σημείων με τρόπο ώστε να εμφανίζονται σημεία που να απέχουν συγκεκριμένο ύψος από το έδαφος (πχ 0,5μ) και κατόπιν να δημιουργηθεί ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας με χρήση τις παραπάνω κλάσεις. Με αυτό τον τρόπο στο παραγόμενο DTM θα εμφανίζεται το ίχνος του περιγράμματος βάσης των κτιρίων και σε συνδυασμό με τον ορθοφωτοχάρτη μπορεί να καταστεί ευκολότερη η σχεδιαστική τους απόδοση.

Σημαντικό ρόλο για την απόδοση μετρητικών αποτελεσμάτων υψηλής ποιότητας και ακρίβειας από τη χρήση του τρισδιάστατου νέφος σημείων διαδραματίζει και η εμπειρία του σχεδιαστή και η ικανότητα σχεδιασμού σε τρισδιάστατο επίπεδο. Η εμπειρία θα οδηγήσει στην κατάλληλη επιλογή σημείων για την καλύτερη σχεδιαστική απόδοση της υφιστάμενης κατάστασης στο «χαρτί».

Η επιστρεφόμενη πληροφορία από την αποτύπωση δομημένου χώρου με χρήση ΣμηΕΑ έχει πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων. Παρόλα αυτά δεν είναι σε θέση ακόμα να αντικαταστήσει πλήρως τις επίγειες μεθόδους αποτύπωσης αλλά περισσότερο να λειτουργήσει επικουρικά (μικρού μεγέθους αντικείμενα, σημεία λεπτομερειών και αντικείμενα που δεν αποτυπώνονται στις χρησιμοποιούμενες εικόνες δεν δύναται να αποδοθούν ή αποδίδονται με πολύ χαμηλή μετρητική ακρίβεια και ποιότητα).

Η αναζήτηση της βέλτιστης σχέσης μεταξύ της έκτασης προς αποτύπωση, του διαθέσιμου πτητικού εξοπλισμού και των απαιτήσεων που θα προκύψουν σε λογισμικό και υλισμικό, για τις ανάγκες επεξεργασίας των συλλεχθέντων εικόνων είναι σημαντική.

Το μεγάλο πλήθος συλλεχθέντων εικόνων μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολικά αυξημένους χρόνους επεξεργασίας, ενώ αντίθετα μικρό πλήθος συλλεχθέντων εικόνων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά κενά στο παραγόμενο 3D point cloud.

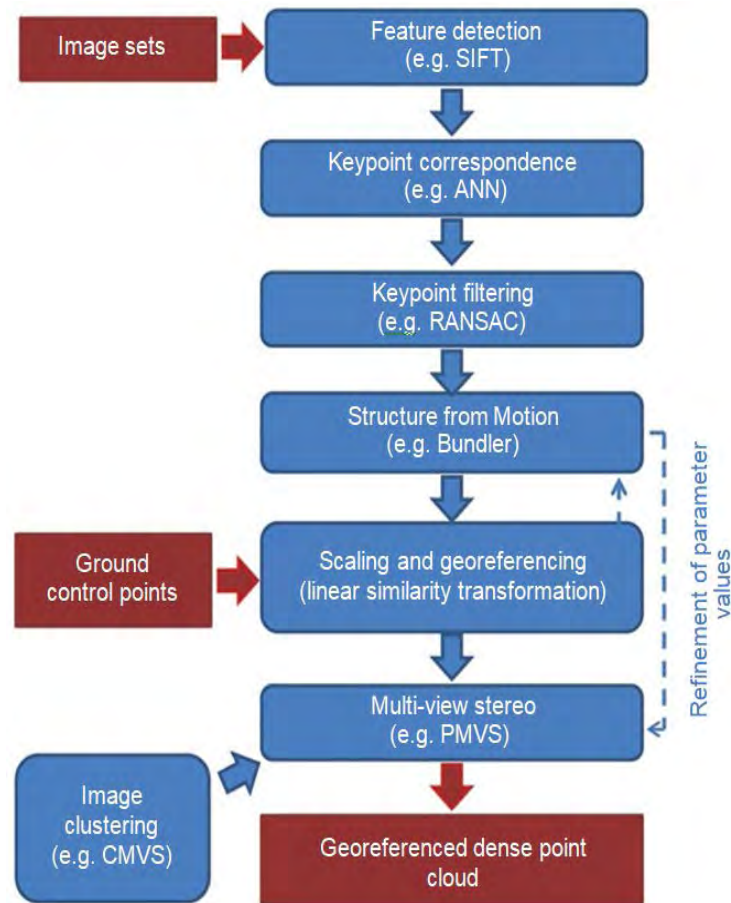
Όσον αφορά το σχεδιασμό του δομημένου χώρου, η αποτύπωσή του με χρήση ΣμηΕΑ επιστρέφει αρκετά μεγάλο όγκο πληροφορίας ποιοτικής και μετρητικής σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, που μπορεί να φανεί χρήσιμη σε περιόδους κρίσεων και καταστάσεις εκτάκτων αναγκών και σίγουρα να επηρεάσει το σχεδιασμό, γεφυρώνοντας το χρονικό χάσμα μεταξύ εναέριας φωτογραμμετρίας και επίγειων αποτυπώσεων.

Από τον όγκο των πληροφοριών και αναλόγως της επεξεργασίας, ενδιαφέρουσα γνώση δύναται να εξαχθεί, όπως, σύγκριση του συνολικά δηλωμένου όγκου κτισμάτων στο αρμόδιο πολεοδομικό γραφείο σε σχέση με τον υφιστάμενο, έεγχος για τυχόν εμφανείς πολεοδομικές παραβάσεις, ποιοτικός έλεγχος οδοστρώματος, επιπλέον στοιχεία όπως οι χρωματισμοί των κτηρίων, ο προσανατολισμός και οι σκιάσεις, γνώση που μπορεί να αξιοποιηθεί ποικιλοτρόπως και από άλλες ειδικότητες επιστημόνων και επαγγελματιών εκτός των μηχανικών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

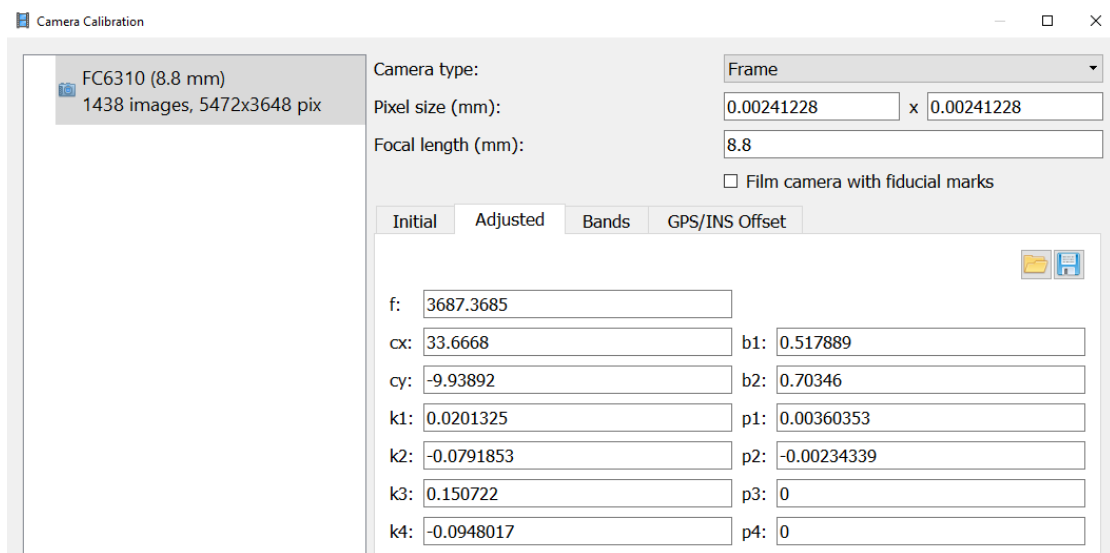
Markers	East err (m)	North err (m)	Alt. err (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input type="checkbox"/> 43	-0.044783	-0.003501	-0.085246	0.005000	0.096357	31	0.309
<input checked="" type="checkbox"/> 19	0.018707	-0.022335	-0.082168	0.005000	0.087181	52	0.197
<input type="checkbox"/> 4	0.006410	0.000503	-0.078166	0.005000	0.078430	39	0.421
<input checked="" type="checkbox"/> 7	0.002326	-0.012187	-0.053814	0.005000	0.055226	48	0.143
<input checked="" type="checkbox"/> 36	-0.008600	-0.033404	-0.050038	0.005000	0.060775	43	0.290
<input checked="" type="checkbox"/> 32	-0.009488	0.025376	-0.047810	0.005000	0.054952	59	0.105
<input checked="" type="checkbox"/> 46	-0.008008	0.011757	-0.042921	0.005000	0.045217	44	0.266
<input checked="" type="checkbox"/> 30	-0.011852	0.009417	-0.039641	0.005000	0.042433	56	0.202
<input type="checkbox"/> 42	-0.007235	-0.014902	-0.034271	0.005000	0.038065	34	0.558
<input type="checkbox"/> 2	0.001213	-0.013604	-0.028635	0.005000	0.031725	27	0.772
<input type="checkbox"/> 37	0.007649	-0.038418	-0.028388	0.005000	0.048377	36	0.718
<input type="checkbox"/> 20	0.009833	0.026854	-0.026851	0.005000	0.039228	55	0.234
<input checked="" type="checkbox"/> 41	0.013609	0.002564	-0.019030	0.005000	0.023536	27	0.540
<input type="checkbox"/> 45	0.035987	0.023158	-0.018927	0.005000	0.046793	29	1.771
<input type="checkbox"/> 49	0.004740	0.009962	-0.009465	0.005000	0.014536	47	0.237
<input type="checkbox"/> 47	-0.010023	0.015499	-0.008876	0.005000	0.020481	29	0.646
<input checked="" type="checkbox"/> 11	-0.013725	0.044571	-0.002079	0.005000	0.046683	33	0.519
<input checked="" type="checkbox"/> 33	-0.036477	-0.029591	-0.000785	0.005000	0.046977	63	0.237
<input type="checkbox"/> 6	-0.033515	0.012993	0.007283	0.005000	0.036676	26	0.645
<input checked="" type="checkbox"/> 50	0.005349	0.000625	0.010080	0.005000	0.011429	35	0.189
<input type="checkbox"/> 23	-0.017500	-0.001797	0.010419	0.005000	0.020446	33	0.515
<input checked="" type="checkbox"/> 15	0.031635	0.013479	0.010540	0.005000	0.035966	28	0.247
<input checked="" type="checkbox"/> 3	0.002541	-0.011438	0.013466	0.005000	0.017849	35	0.667
<input type="checkbox"/> 44	-0.001121	0.004319	0.019443	0.005000	0.019948	35	0.226
<input checked="" type="checkbox"/> 40	-0.133515	0.052007	0.022143	0.005000	0.144987	17	0.605
<input type="checkbox"/> 21	0.006948	-0.000658	0.026706	0.005000	0.027603	63	0.349
<input type="checkbox"/> 18	0.017939	0.001696	0.031224	0.005000	0.036050	33	0.373
<input checked="" type="checkbox"/> 24	-0.002489	-0.041226	0.033827	0.005000	0.053386	22	0.559
<input type="checkbox"/> 29	-0.006667	0.005817	0.046782	0.005000	0.047612	75	0.218
<input checked="" type="checkbox"/> 28	0.029501	-0.020641	0.056996	0.005000	0.067415	54	0.183
<input type="checkbox"/> 14	0.036231	-0.012800	0.076053	0.005000	0.085209	17	0.553
<input type="checkbox"/> 39	0.023915	-0.036678	0.091235	0.005000	0.101197	14	0.873
<input checked="" type="checkbox"/> 13	0.067052	0.057125	0.096128	0.005000	0.130383	22	0.333
<input type="checkbox"/> 53	0.002107	-0.042698	0.098456	0.005000	0.107336	27	0.453
<input type="checkbox"/> 52	0.026282	-0.024854	0.111694	0.005000	0.117406	42	0.070
Total Error							
Control points	0.040822	0.029485	0.045232		0.067689		0.329
Check points	0.020646	0.020092	0.055307		0.062360		0.567

Πίνακας Π.1: Ακρίβειες φωτοσταθερών και σημείων ελέγχου μετά τη γεωαναφορά του μοντέλου (οι μπλε γραμμές υποδηλώνουν τα φωτοσταθερά). Πηγή: Ίδια Επεξεργασία



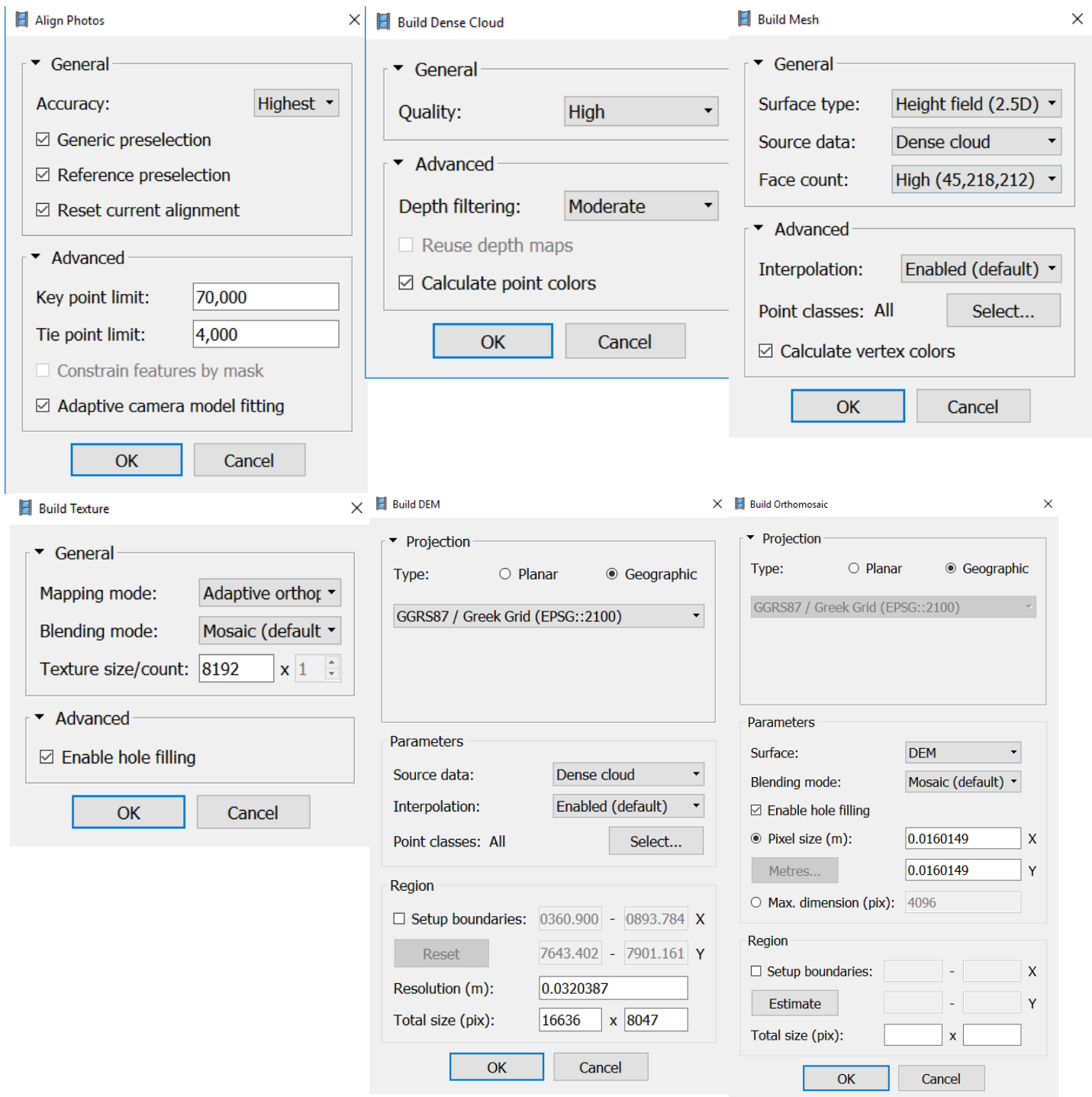
Σχήμα Π.1: Τυπική ροή εργασιών στην παραγωγή γεωαναφερμένων πυκνών νεφών σημείων από σύνολα εικόνων και φωτοσταθερών. Οι εισοδοι και οι έξοδοι εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα.

Πηγή: Chandler and Buckley, 2016



Εικόνα Π.1: Στοιχεία Βαθμονόμησης φωτομηχανής

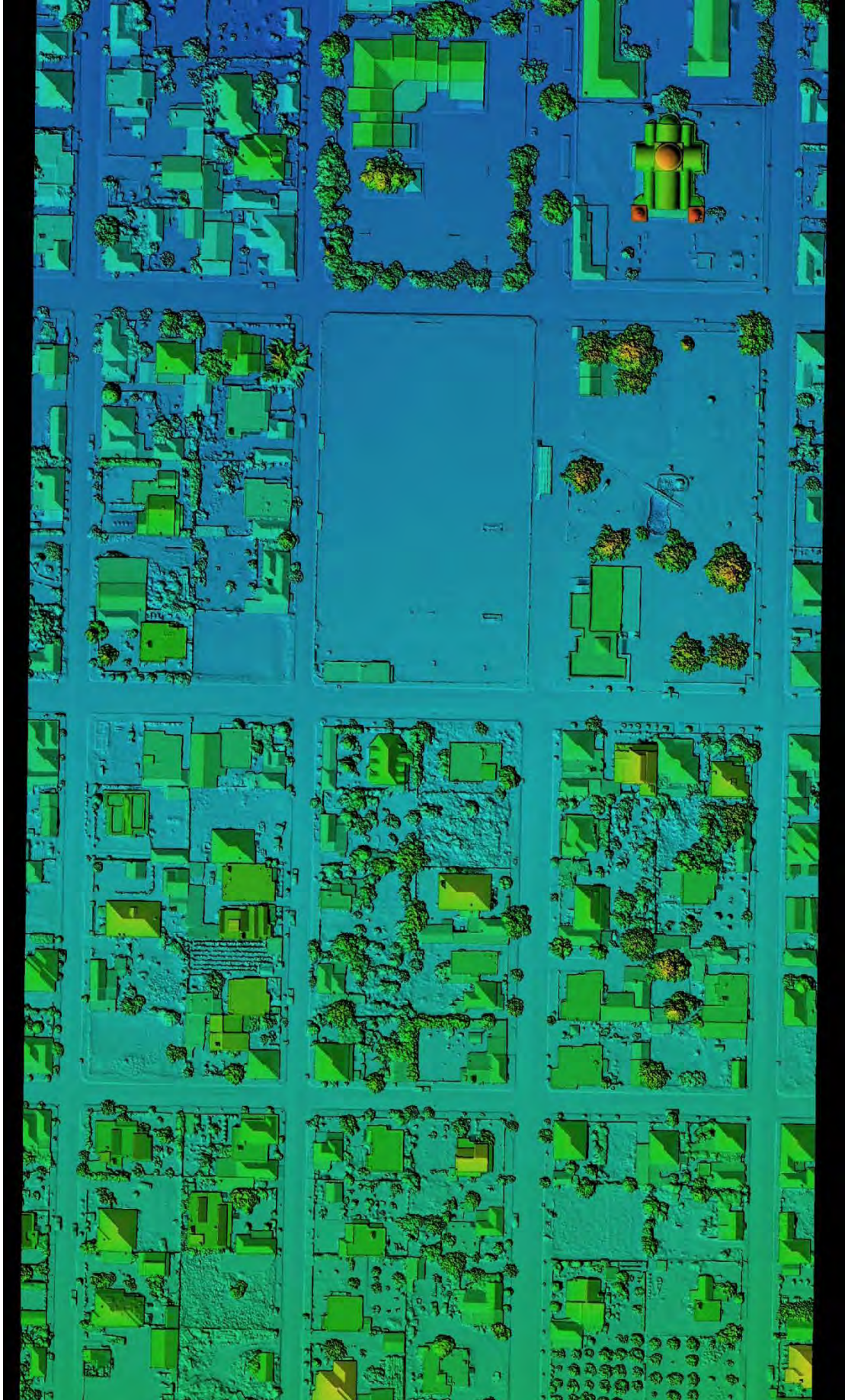
Πηγή: Ίδια επεξεργασία



Εικόνα Π.2: Ειδικότερες ρυθμίσεις κατά τη ροή εργασιών στο λογισμικό Photoscan
 Πηγή: Ίδια επεξεργασία



Εικόνα Π.3: Τελικός Ορθοφωτογράμης
Πηγή: Ίδια επεξεργασία



Εικόνα Π.4: DEM
Πηγή: Ίδια επεξεργασία



Εικόνα Π.5: Ορθή απόδοση μήκους πρόσοψης αλλά μη απόδοση εσωτερικής πλευράς κτίσματος (σύγκριση με εικόνα 5.17). Πηγή: Ίδια επεξεργασία
ΠΗΓΗ: Ίδια επεξεργασία

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αραβαντινός, Α. (1997/1998) “Οι Θεωρητικές Βάσεις του Πολεοδομικού Σχεδιασμού” στο Αραβαντινός, Α. *Πολεοδομικός Σχεδιασμός. Για μια Βιώσιμη Ανάπτυξη του Αστικού Χώρου*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία, σελ. 57
2. Adams, S. and Friedland, C. (2011) *A survey of unmanned aerial vehicle (UAV) usage for imagery collection in disaster research and management* [on line], διαθέσιμο στην: <https://pdfs.semanticscholar.org/fd8e/960ca48e183452335743c273ea41c6930a75.pdf> [προσπελάστηκε 30 Νοε. 2017]
3. Agisoft¹ (2018) *Agisoft PhotoScan User Manual* [on line], διαθέσιμο στην: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf [προσπελάστηκε στις 02 Ιαν. 2018]
4. Agisoft² (2018) *Agisoft PhotoScan - Tips and Tricks* [on line], διαθέσιμο στην: http://www.agisoft.ru/w/index.php?title=PhotoScan/Tips_and_Tricks [προσπελάστηκε στις 02 Ιαν. 2018]
5. Ahilan, T., Aswin Adityan, V. and Kailash, S. (2015) “Efficient Utilization of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Fishing through Surveillance for Fishermen”, paper presented at 17th International Conference on Aerospace and Electronic Systems, 24-25 Aug. 2015, Kuala Lumpur
6. Aicardi, I.; Chiabrando, F.; Grasso, N.; Lingua, A.M.; Noardo, F.; Spanò, A. (2016) *UAV PHOTOGRAMMETRY WITH OBLIQUE IMAGES: FIRST ANALYSIS ON DATA ACQUISITION AND PROCESSING* [on line], διαθέσιμο στην: <http://porto.polito.it/2644437/> [προσπελάστηκε στις 20 Δεκ. 2017]
7. Airbus Defence and Space (2017) *Zephyr* [on line], διαθέσιμο στην: <http://www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html> [προσπελάστηκε 30 Νοε. 2017]
8. Βασενχόβεν, Κ. Α. (2004) *Θεωρία του Σχεδιασμού του Χώρου - Διδακτικό εγχειρίδιο* [on line], διαθέσιμο στην: http://courses.arch.ntua.gr/fsr/140333/Basexoben_Uevria.Sxediasmoy_EMP_2_004.pdf [προσπελάστηκε στις 28 Νοε. 2017]
9. ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ (2017) *Ευξεινούπολη* [on line], διαθέσιμο στην: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%85%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%8D%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B7> [προσπελάστηκε στις 22 Δεκ. 2017]
10. BMVA (2017) *What is computer vision?* [on line], διαθέσιμο στην: <http://www.bmva.org/visionoverview> [προσπελάστηκε στις 20 Ιαν. 2018]
11. Bodenhamer, D. J., et al (eds) (2010) *The Spatial Humanities: GIS and the Future of Humanities Scholarship*, Indiana University Press
12. Γκιάλης, Σ. and Herod, A. (2015) *Γεωγραφία της εργασίας* [ηλεκτρ. βιβλ.], Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4073>

13. California Department of Transportation (CaDOT) *PHOTOGRAMMETRY SURVEYS* [on line], διαθέσιμο στην: http://www.dot.ca.gov/hq/row/landsurveys/SurveysManual/13_Surveys.pdf [προσπελάσθηκε στις 15 Δεκ. 2017]
14. Carrivick, L. J., Smith, W. M. and Quincey J. D. (2016) *Structure from motion in the GeoSciences*, West Sussex: Wiley Blackwell
15. Chandler, J. H. and Buckley, S. (2016) “Structure from motion (SFM) photogrammetry vs terrestrial laser scanning”, Carpenter, M. B. and Keane, C. M. (eds.) *Geoscience Handbook 2016: AGI Data Sheets*, 5th ed., Alexandria, VA: American Geosciences Institute, Section 20.1., pp. 1 – 4
16. CityGML (2018) *What is CityGML?* [on line], διαθέσιμο στην: <https://www.citygml.org/about/> [προσπελάσθηκε στις 29 Ιαν. 2018]
17. Colomina, I. and Molina, P. (2014) “Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, pp. 79-97
18. Colorado Department of Transportation (CDOT) *Survey – Chapter 4 – Aerial Surveys* [on line], διαθέσιμο στην: <https://www.codot.gov/business/manuals/survey> [προσπελάσθηκε στις 15 Δεκ. 2017]
19. Cope, M. and Ellwood S. (eds) (2009) *Qualitative GIS: A Mixed Methods Approach*, London: SAGE Publications
20. Corner, J. (2011) “The Agency of Mapping: Speculation, Critique and Invention” in Dodge, M., Kitchin, R. and Perkins, C. (eds.) *The Map Reader: Theories of Mapping Practice and Cartographic Representation*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd
21. Cresswell, T. (2004) *Place: A Short Introduction*, USA: Blackwell Publishing
22. Δήμος Αλμυρού (2017) *Ευξεινούπολη* [on line], διαθέσιμο στην: http://almyros-city.gr/dimos/dim_top_koin/1124-efxinoupoli [προσπελάσθηκε στις 22 Δεκ. 2017]
23. Δουκαρή, Μ. (2015) *Διερεύνηση μεθόδων απεικόνισης τρισδιάστατης γεωχωρικής πληροφορίας, μικρής κλίμακας, με αξιοποίηση μεθόδων UAV και τεχνολογιών υπολογιστικής όρασης* [Διπλ. Διατριβή], Μυτιλήνη: Πανεπιστήμιο Αιγαίου
24. D’Arcus, B. (2006) “Production of Space” in Warf, B. (ed.) *Encyclopedia of human geography*, California: SAGE Publications, pp. 384-386
25. Dalamagkidis, K. (2015) “Classification of UAVs” in Valavanis, K. and Vachtsevanos, G. (eds.) *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, Dordrecht: Springer, pp.83-91
26. Dovey, K. and Ristic, M. (2017) “Mapping urban assemblages: the production of spatial knowledge”, *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, **10**(1), pp. 15-28

27. DroneDeploy (2017) *What Are Ground Control Points (GCPs) and How Do I Use Them?* [on line], διαθέσιμο στην: <https://blog.dronedeploy.com/what-are-ground-control-points-gcps-and-how-do-i-use-them-4f4c3771fd0b> [προσπελάστηκε στις 24 Δεκ. 2017]
28. Dunbabin, M. and Marques, L. (2012) “Robots for environmental monitoring: Significant advancements and applications”, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, **19**(1), pp. 24-39
29. Εθνικό Τυπογραφείο (2018) [on line], διαθέσιμο στην: <http://www.et.gr/index.php/anazitisi-fek> [προσπελάστηκε 05 Ιαν. 2018]
30. ΕΛΣΤΑΤ (2017) [on line], διαθέσιμο στην: http://www.statistics.gr/documents/20181/1210503/resident_population_census2011rev.xls/956f8949-513b-45b3-8c02-74f5e8ff0230 [προσπελάστηκε στις 22 Δεκ. 2017]
31. Eisenbeiss, H. (2009) *UAV Photogrammetry*, Dissertation, ETH ZURICH
32. Eisenbeiss, H. (2011) *The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping*, Heidelberg: Wichmann Verlag
33. EMLID (2017) *Reach* [on line], διαθέσιμο στην: <https://emlid.com/reach/> [προσπελάστηκε στις 24 Δεκ. 2017]
34. Foucault, M. and Miskowiec, J. (1986) "Of Other Spaces", *Diacritics*, **16**(1), pp.22-27
35. Glaser, A. (2017) *DJI is running away with the drone market* [on line], διαθέσιμο στην: <https://www.recode.net/2017/4/14/14690576/drone-market-share-growth-charts-dji-forecast> [προσπελάστηκε στις 23 Δεκ. 2017]
36. Gregory, D., Johnston, R., Pratt, G., Watts, M., Whatmore, S. (eds.) (2009) *The dictionary of human geography*, Singapore: Wiley-Blackwell, pp.676
37. Gupta, G. S., Ghonge, M. M. and Dr. Jawandhiya P. M. (2013) “Review of Unmanned Aircraft System (UAS)”, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, **2**(4), pp. 1646-1658
38. Harvey, D. (1996) *Justice, Nature, and the Geography of Difference*, Cambridge: Blackwell Publishers
39. Harvey, D. (2004) “Space as a key word”, paper presented at Marx and Philosophy Conference, 29 May 2004, Institute of Education, London
40. Harvey, D. (2005) “The Sociological and Geographical Imaginations”, *International Journal of Politics, Culture, and Society*, **18**(3/4), 2005, pp. 211–255
41. Harvey, D. (2006) “Neoliberalism as Creative Destruction”, *Geografiska Annaler Series B*, **88**(2), pp. 145-58
42. van Hinsberg, W., Rijdsdijk, M. and Witteveen, W. (2013) “UAS for cadastral applications: testing suitability for boundary identification in urban areas”, *GIM International*, **27**, pp. 20-25

43. Joshi, D. (2017) *Commercial Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market Analysis – Industry trends, companies and what you should know* [on line], διαθέσιμο στην: <http://www.businessinsider.com/commercial-uav-market-analysis-2017-8-2017> [προσπελάστηκε 30 Νοε. 2017]
44. Kingston, D., Beard, W. R. and Holt, S. R. (2008) “Decentralized perimeter surveillance using a team of UAVs”, *IEEE Transactions on Robotics*, **24**(6), pp. 1394-1404
45. Kwan, M. P. (2002a) “Feminist Visualization: Re-envisioning GIS as a Method in Feminist Geographic Research”, *Annals of the Association of American Geographers*, **92**, pp. 645-661
46. Λαμπριανίδης, Λ. (2001) *Οικονομική Γεωγραφία: Στοιχεία θεωρίας και εμπειρικά παραδείγματα*, 1^η έκδοση, Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη
47. Lefebvre, H. and Enders, J. M. (1976) “REFLECTIONS ON THE POLITICS OF SPACE” , *Antipode*, **8**(2), pp. 30–37
48. Lemmens, M. (2014) *Oblique Imagery: the Standard for Mapping – GIM Interviews Chris Barrow* [on line], διαθέσιμο στην: <https://www.gim-international.com/content/article/oblique-imagery-the-standard-for-mapping> [προσπελάστηκε στις 15 Ιαν. 2018]
49. Lourakis, M. and Argyros, A. (2009) “SBA: A software package for generic sparse bundle adjustment”, *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, **36**(2), pp. 2
50. Μαλούτας, Θ. (1986) “Θεωρίες του χώρου και χώρος της θεωρίας (I). Γεωγραφία και φαινομενολογία: Δοκιμή φαινομενολογικής θεμελίωσης της έννοιας του χώρου”, *Επιθεώρηση Κοινωνικών Ερευνών*, (63), σελ. 280-292
51. Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D. and Eisenbeiss, H. (2011) “Unmanned aerial vehicle in cadastral applications”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22, pp. 57-62
52. McNabb, M. (2017) *Top Industry Analyst Colin Snow: Who’s Leading the Drone Market?* [on line], διαθέσιμο στην: <https://dronelife.com/2017/10/27/leading-industry-analyst-colin-snow-whos-leading-drone-market/> [προσπελάστηκε στις 23 Δεκ. 2017]
53. Merriam-Webster (2017) *Drones Are Everywhere Now* [on line], διαθέσιμο στην: <https://www.merriam-webster.com/words-at-play/how-did-drones-get-their-name> [προσπελάστηκε 30 Νοε. 2017]
54. Micheletti N., Chandler H. J. and Lane N. S. (2015) “Geomorphological Techniques - Structure from Motion (SfM) Photogrammetry”, *British Society for Geomorphology (Online Edition)*, **2** (2.2), pp. 1-12
55. Mills, C. W. (1985) *Η Κοινωνιολογική Φαντασία*, μτφρ. Ν. Μακρυνικόλα, Σ. Τσακνιάς, Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση
56. Μπίτι Μ. Ν. (2017) ‘The importance of surveying’, *Land Surveying*

57. Nagel, T. (1986) *The View from Nowhere*, New York: Oxford University Press
58. NAVYBRM (2017) *Topographic Surveying and Mapping* [on line], διαθέσιμο στην: http://navybmr.com/study%20material/14069a/14069A_ch19.pdf [προσπελάστηκε στις 10 Ιαν. 2018]
59. Newman Land Surveying (2013) *Topographic Survey / Topo Survey* [on line], διαθέσιμο στην: https://newnanlandsurveying.com/topographic_survey/ [προσπελάστηκε στις 10 Ιαν. 2018]
60. Nex F. (2016) *OBLIQUE AERIAL IMAGES: POTENTIALITIES, APPLICATIONS AND BEST PRACTICES* [on line], διαθέσιμο στην: http://www.itc.nl/library/papers_2016/pres/nex_obl_ppt.pdf [προσπελάστηκε στις 20 Δεκ. 2017]
61. Nyaruhuma, A. P., Gerke, M. and Vosselman, G. (2010) “Evidence of walls in oblique images for automatic verification of buildings”, paper presented at the ISPRS Technical Commission III Symposium PCV 2010 - Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis, 1–3 Sep 2010, Saint-Mandé, France
62. OpenSIFT (2018) *OpenSIFT – An Open-Source SIFT Library*, διαθέσιμο στην: <https://robwhess.github.io/opensift/> [προσπελάστηκε στις 23 Ιαν.2018]
63. Ostrowski, W. (2016) “Accuracy of measurements in oblique aerial images for urban environment”, paper presented at the 11th 3D Geoinfo Conference, 20–21 Oct 2016, Athens, Greece
64. Pagnano, A., Höpf, M. and Teti, R. (2013) “A roadmap for automated power line inspection. Maintenance and repair”, *Procedia CIRP*, 12, pp. 234-239
65. Peterson, B. E., Klein, M. and Stewart L. R. (2015) *RECLAMATION Managing Water in the West – Whitepaper on Structure from Motion (SfM) Photogrammetry: Constructing Three Dimensional Models from Photography*, Denver, Colorado: Research and Development Office - U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation
66. Pillay S. (2015) *AERIAL PHOTORGAMMETRY* [on line], διαθέσιμο στην: http://www.durban.gov.za/City_Services/engineering%20unit/Surveying_Land_Information/Documents/AerialPhotogrammetry.pdf [προσπελάστηκε στις 15 Δεκ. 2017]
67. PIX4D (2011- 2018) *Vertical/ Oblique Imagery* [on line], διαθέσιμο στην: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559859-Vertical-Oblique-Imagery#gsc.tab=0> [προσπελάστηκε στις 15 Ιαν. 2018]
68. Pix4D SA (2017) *Pix4Dcapture* [on line], διαθέσιμο στην: <https://pix4d.com/product/pix4dcapture/> [προσπελάστηκε στις 23 Δεκ. 2017]
69. Pix4D Support¹ (2017) *(Android) Pix4Dcapture - Getting Started* [on line], διαθέσιμο στην: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557269--Android-Pix4Dcapture-Getting-Started> [προσπελάστηκε στις 23 Δεκ. 2017]

70. Pix4D Support² (2017) (*Android, iOS*) *Which type of mission to choose* [on line], διαθέσιμο στην: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/209960726> [προσπελάστηκε στις 23 Δεκ. 2017]
71. Pix4D Support³ (2017) (*Android*) *Double Grid Mission Settings* [on line], διαθέσιμο στην: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115001884706--Android-Double-Grid-Mission-Settings> [προσπελάστηκε στις 23 Δεκ. 2017]
72. Pix4D Support⁴ (2017) *Ground Sampling Distance (GSD)* [on line], διαθέσιμο στην: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-Sampling-Distance-GSD-> [προσπελάστηκε στις 23 Δεκ. 2017]
73. Pix4D Support⁵ (2017) (*iOS*) *Pix4Dcapture - Manual* [on line], διαθέσιμο στην: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204010419--iOS-Pix4Dcapture-Manual> [προσπελάστηκε στις 23 Δεκ. 2017]
74. Point to Point Land Surveyors (2018) *Topographic Land Surveys* [on line], διαθέσιμο στην: <https://www.pointtopointsurvey.com/service/topographic-surveys/> [προσπελάστηκε στις 10 Ιαν. 2018]
75. Puri, A. (2005) *A Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Traffic Surveillance* [on line], διαθέσιμο στην: https://www.ugpti.org/smartse/research/citations/downloads/Puri-A_Survey_of_Unmanned_Aerial_Vehicles_for_Traffic_Surveillance-2005.pdf [προσπελάστηκε 30 Νοε. 2017]
76. Qin, R., Gruen, A. and Huang, X. (2012) “UAV project - Building a reality-based 3D model of the NUS (National University of Singapore) campus”, paper presented at Asian Conference of Remote Sensing, Jan. 2012, Pattaya
77. Remondino F. and Gerke M. (2015) “Remotely Sensed Data Acquisition – An Update: Oblique Aerial Imagery – A Review”, Dieter Fritsch (Ed.), *Photogrammetry Week 2015*, Stuttgart: Wichmann, pp. 75-83
78. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. and Sarazzi, D. (2011) “UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling–current status and future perspectives”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **38**(1), pp. C22
79. Seamon, D. and Lundberg, A. (2017) “Humanistic Geography” in Richardson, D. et al (eds) *The International Encyclopedia of Geography*, pp. 1-11
80. Semyonov, D. (2011) *Algorithms used in Photoscan* [on line], διαθέσιμο στην: <http://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=89.0> [προσπελάστηκε στις 02 Ιαν. 2018]
81. Sheppard, E. (2005) “Knowledge Production through Critical GIS: Genealogy and Prospects”, *Cartographica*, **40**(4), pp. 5-21
82. Sippo, M. (2013) UAS as a tool for surveyors: Experiences in UAS Photogrammetry, *GIM International*, 27, pp. 12-15
83. Sloggett, D. (2015) *Drone Warfare: The Development of Unmanned Aerial Conflict*, Skyhorse Publishing

84. Smith, M. W. and Vericat, D. (2015) “From experimental plots to experimental landscapes: topography, erosion and deposition in sub – humid badlands from Structure – from – Motion photogrammetry”, *Earth Surface Processes and Landforms*, **40**, 1656 – 1671
85. Smith, N. and Harvey, D. (1990) *Uneven Development: Nature, Capital, and the Production of Space*, University of Georgia Press
86. Survey Services (2014) ‘SURVEY MANUAL’, State of New Jersey: Department of Transportation
87. Τασοπούλου, Α. (2011) *Αστική διακυβέρνηση: Πολεοδομική πολιτική και διαχείριση του χώρου με εφαρμογή στα ΓΠΣ-ΣΧΟΟΑΠ στην Ελλάδα* [Διπλ. Διατριβή], Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
88. The Free Dictionary (2013 – 2018) *Aerotriangulation*, διαθέσιμο στην: <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Aerotriangulation> [προσπελάστηκε στις 16 Ιαν. 2018]
89. Torresan, Ch., Berton, A., Carotenuto, F., Filippo Di Gennaro, S., Gioli, B., Matese, A., Miglietta, F., Vagnoli, C., Zaldei, A. & Wallace, L. (2016) *Forestry applications of UAVs in Europe: a review* [on line], διαθέσιμο στην: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2016.1252477?journalCode=tres20> [προσπελάστηκε 30 Νοε. 2017]
90. Tuan, Y. F. (2001) *Space and Place: The Perspective of Experience*, Minnesota: University of Minnesota Press
91. Valavanis, K. and Vachtsevanos, G. (2015) “Introduction to the Handbook on UAVs” in Valavanis, K. and Vachtsevanos, G. (eds.) *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, Dordrecht: Springer, pp. 5-42
92. Valavanis, K. and Vachtsevanos, G. (2015) “UAV Applications: Introduction” in Valavanis, K. and Vachtsevanos, G. (eds.) *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, Dordrecht: Springer, pp. 2639-2641
93. Volkmann, W. and Barnes, G. (2014) “Virtual Surveying: Mapping and Modeling Cadastral Boundaries Using Unmanned Aerial Systems (UAS)”, paper presented at FIG Congress, 16-21 June 2014, Kuala Lumpur
94. Warf, B. (2006) “History of Geography” in Warf, B. (ed.) *Encyclopedia of human geography*, California: SAGE Publications, pp. 217-225
95. Westoby J. M., Brasington J., Glasser F. N., Hambrey J. M. and Reynolds M. J. (2012) “‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications”, *ELSEVIER*, **179**, pp. 300-314
96. Wikipedia (2018) *Computer vision* [on line], διαθέσιμο στην: https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision [προσπελάστηκε στις 20 Ιαν. 2018]
97. Wittgenstein, L. (1998) *The Collected Works of Ludwig Wittgenstein*, Blackwell Publishers

98. Φάκα, Σ. (2010) *Τρισδιάστατη ανακατασκευή αντικειμένων από φωτογραφίες (με χρήση Matlab)* [on line], διαθέσιμο στην: http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4204/1/%CE%A3%CE%9F%CE%A6%CE%99%CE%91_%CE%A6%CE%91%CE%9A%CE%91_%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97_HE%CE%A0.pdf [προσπελάσθηκε στις 02 Ιαν. 2018]
99. Xiang, H. and Tian, L. (2011) “Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV)”, *Bio-systems Engineering*, **108**(2), pp. 174-190
100. XLAB (2017) *Phantom 4 Pro – Οδηγός Εκκίνησης* [on line], διαθέσιμο στην: <https://app.box.com/s/e8iia034b3neierolnv8yxvqj4wersri> [προσπελάσθηκε στις 23 Δεκ. 2017]
101. Yalcin, G. and Selcuk, O. (2014) “3D city modelling with Oblique Photogrammetry Method”, paper presented at the 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 Oct. 2014, Tirgu-Mures, Romania