



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΜΣ «ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ  
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAV»

Ζούπης Κων. Δημήτριος

Επιβλέπων καθηγητής:  
Δρ. Σταθάκης Δημήτριος

Βόλος, Ιούνιος 2015



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**ΠΜΣ «ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**«ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ  
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAV»**

**Ζούπης Κων. Δημήτριος**

Επιβλέπων καθηγητής:  
Δρ. Σταθάκης Δημήτριος

Βόλος, Ιούνιος 2015

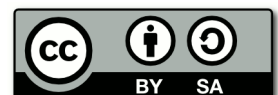
ΘΕΜΑ: «ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAV»



Η παρούσα εργασία χορηγείται με άδεια Creative Commons - Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνής (CC BY-SA 4.0)

Η πνευματική ιδιοκτησία των εμπορικών τίτλων, φωτογραφιών και εν γένει των στοιχείων που δεν έχουν προκύψει ή/και ανήκουν στον συγγραφέα, παραμένει στους νόμιμους δικαιούχους.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις θέσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αδιάλειπτη τεχνολογική πρόοδος στον τομέα των μεθόδων αποτύπωσης παρέχει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ μιας μεγάλης ποικιλίας μεθόδων. Ωστόσο, ποια από αυτές τις μεθόδους είναι καταλληλότερη για την εκάστοτε εφαρμογή, δεν είναι πάντοτε αυτονόητο. Για την αποτύπωση και την απεικόνιση αρχαιολογικών χώρων έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς διάφορες τεχνικές. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια συγκριτική μελέτη, η οποία εξετάζει τρεις σύγχρονες μεθόδους τεκμηρίωσης αρχαιολογικών χώρων.

Το αντικείμενο της μελέτης είναι η αρχαιολογική θέση του προϊστορικού οικισμού και της ευρύτερης περιοχής, στη θέση Ζερέλια, νοτιοδυτικά του δήμου Αλμυρού, στο Νομό Μαγνησίας, η οποία τεκμηριώθηκε με:

- ⇒ Τον τρισδιάστατο laser σαρωτή (3D Laser Scanner) MDL 1000, της εταιρίας MDL
- ⇒ Το γεωδαιτικό δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης, S9 GNSS της εταιρίας Stonex
- ⇒ Χρήση μη επανδρωμένων αεροναυτικών συστημάτων (UAS)
  - A) το τετρακόπτερο μη επανδρωμένο αεροναυτικό όχημα (UAV) IRIS της εταιρίας 3DRobotics
  - B) το μη επανδρωμένο αεροναυτικό όχημα σταθερών πτερύγων eBee, της εταιρίας senseFly.
    - Έλεγχος της διαδικασίας επεξεργασίας και των παραγόμενων προϊόντων με χρήση του προγράμματος Photoscan της εταιρίας Agisoft
    - Έλεγχος της διαδικασίας επεξεργασίας και των παραγόμενων προϊόντων με χρήση του προγράμματος Pix4Dmapper της εταιρίας Pix4D

Στο κύριο μέρος της εργασίας, παρουσιάζεται λεπτομερώς η διαδικασία που ακολουθήθηκε για κάθε μία από τις μεθόδους, οι δυνατότητες που αυτές παρουσιάζουν, όπως και οι αδυναμίες τους.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Αρχαιολογικός χώρος Ζερέλια, UAV, GPS, 3D Laser Scanner, Σύγκριση μεθόδων, Φωτογραμμετρία, Τοπογραφία



## **ABSTRACT**

The continuous technological advance in the fields of survey methods, give us the possibility to choose between a great range of different survey methods and equipment. Although which of these methods are appropriate to choose, depending the requested job, is not always so easy to tell. For archaeological site survey, have been used from time to time, different techniques. The present paper presents a comparison between four contemporary methods.

The case study is the archaeological site of a prehistoric village and the surrounding area of Zerelia, which is placed southwest of Almyros city, in Almyros municipality in the Magnesia prefecture, in Hellas.

The different methods includes measurements with:

- ⇒ 3D Laser Scanner, model MDL 1000, manufacturer MDL.
- ⇒ GNS system, model S9 GNSS, manufacturer STONEX.
- ⇒ Unmanned Aerial System (UAS)
  - A) Unmanned Aerial Vehicle (UAV), model IRIS (quadcopter), manufacturer 3DRobotics.
  - B) Unmanned Aerial Vehicle, model eBee (fixed wing), manufacturer senseFly.
    - Processing data and produce of orthomosaic and DSM using Photoscan by Agisoft
    - Processing data and produce of orthomosaic and DSM using Pix4Dmapper by Pix4D.

In the main body of this paper, it is detaily presented the procedure followed for each method, the advantages and the weaknesses of each one.

**KEY WORDS:** Archaeological site of Zerelia, UAV, GPS, 3D Laser Scanner, Methods comparison, Photogrammetry, Topography Surveying

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ</b> .....	13
1.1 ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ.....	13
1.1.1 ΚΛΑΔΟΙ ΤΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ.....	15
1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ .....	16
1.2.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ Ή ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	17
1.2.2 ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	18
1.2.3 ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ .....	18
1.3 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ (GNSS).....	19
1.3.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS .....	20
1.3.2 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GLONASS.....	20
1.3.3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GALILEO .....	21
1.3.4 ΣΦΑΛΜΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ .....	22
1.3.5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ DOP .....	23
1.4 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (HEPOS) .....	23
1.5 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ.....	25
1.6 ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΕΙΣ .....	27
1.6.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	27
1.6.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ .....	27
1.6.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΜΗΧΑΝΩΝ .....	28
1.6.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ .....	29
1.6.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: LASER SCANNER</b> .....	35
2.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	35
2.1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ LASER ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ .....	37
2.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ LASER ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ .....	38
2.1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ LASER .....	39
2.1.4 ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ .....	41
2.1.5 ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	41

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (UAS)</b>	43
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	43
3.1.1 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ UAV.....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ.....</b>	47
4.1 ΠΕΡΙ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑΣ.....	47
4.2 ΕΡΕΥΝΑ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ.....	47
4.3 ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	50
4.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΘΕΣΕΩΝ.....	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ.....</b>	53
5.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	53
5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ.....	56
5.2.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GNSS.....	56
5.2.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ 3D LASER SCANNER.....	60
5.2.3 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΕΡΟΜΟΝΤΕΛΟΥ (UAV) IRIS.....	64
5.2.4 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΕΡΟΜΟΝΤΕΛΟΥ (UAV) eBee.....	73
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΓΚΡΙΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	81
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	92
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	104

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1.1:	Κατηγοριοποίηση των UAVs, βάση των δυνατοτήτων τους
Πίνακας 3.1.2:	Τύποι αεροσκαφών
Πίνακας 5.2.1.1:	Στοιχεία του μόνιμου επίγειου σταθμού σύνδεσης
Πίνακας 5.2.1.2:	Συχνότητα εμφάνισης τιμών DOP
Πίνακας 5.2.3.1:	Στοιχεία υπολογιστή, που χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία των δεδομένων
Πίνακας 5.2.3.2:	Συντεταγμένες φωτοσταθερών-σημείων ελέγχου
Πίνακας 6.1α:	Συγκεντρωτικά στοιχεία σύγκρισης των διαφόρων μεθόδων (UAS)
Πίνακας 6.1β:	Συγκεντρωτικά στοιχεία σύγκρισης των διαφόρων μεθόδων (GNSS-Laser Scanner)
Πίνακας 6.2α:	Πίνακας ελέγχου υψομετρικής ακρίβειας ανά εργασία
Πίνακας 6.2β:	Πίνακας υψομετρικών διαφορών
Πίνακας 6.3:	Πίνακες ελέγχου οριζοντιογραφικής ακρίβειας ανά εργασία

*Σημείωση: Όλοι οι πίνακες έχουν προκύψει από ίδια επεξεργασία*

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 5.2.1.1:	Οπτικοποίηση δευτερευόντων χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης
Εικόνα 5.2.2.1:	Το 3D Laser Scanner MDL 1000
Εικόνα 5.2.2.2:	Το 3D Laser Scanner MDL 1000 επί τω έργο
Εικόνα 5.2.2.3:	Τρισδιάστατη οπτικοποίηση περιοχής μελέτης με χρήση Laser Scanner
Εικόνα 5.2.3.1:	Περίγραμμα της υποτυπωθείσας περιοχής μελέτης
Εικόνα 5.2.3.2:	Φωτοσταθερά
Εικόνα 5.2.3.3:	Απεικόνιση των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου
Εικόνα 5.2.3.4:	Το τετρακόπτερο IRIS της 3DRobotics εν πτήση
Εικόνα 5.2.4.1:	Θέση αποθήκευσης φωτογραφικής μηχανής του eBee (πάνω και κάτω όψη)
Εικόνα 5.2.4.2:	Επίγειος σταθμός ελέγχου



- Εικόνα 6.1: Αποτύπωση με Laser Scanner, βήμα κανάβου 0,5μ
- Εικόνα 6.2: Σφάλμα στην απόδοση του τριγωνομετρικού σημείου
- Εικόνα 6.3: Οριζοντιογραφικό σφάλμα σημείου 112
- Εικόνα 6.4: Εσφαλμένη απόδοση υψομέτρων
- Εικόνα 6.5: Με μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι πραγματικές θέσεις των φωτοσταθερών, του φρυδιού της τομής και ενός αρχαιολογικού ευρήματος

*Σημείωση: Όλες οι εικόνες προέρχονται από προσωπικό αρχείο*

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

ΓΣΑ	Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς
ΓΥΣ	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
ΕΓΣΑ '87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987
ΕΜΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΕΜΠ 3°	Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή 3°
ΠΕΣΑ	Παλαιό Ελληνικό Σύστημα Αναφοράς
ΦΓΕ	Φυσική Γήινη Επιφάνεια
CAD	Computer-Aided Design
CCD	Charge Couple Devise
CIO	Conventional International Origin
DEM	Digital Elevation Model
DGPS	Differential Global Positioning System
DOP	Dilution Of Precision
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
ED50	European Datum of 1950
EDM	Electromagnetic Distance Measurement
EPN	Euref Permanent Network
ETRS '89	European Terrestrial Reference System of 1989
GLONASS	GLObal Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodetic Reference System of 1980

HEPOS	Hellenic POsitioning System
HTRS '07	Hellenic Terrestrial Reference System of 2007
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
NAVSTAR	NAVigation Satellite Timing And Ranging
NGIMU	Navigation-Grade Inertial Measurement Unit
RGB	Red Green Blue
SAR	Search And Resque
SIFT	Scale Invariant Feature Transform
TOF	Time of Flight
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UTM	Universal Transverse Mercator

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα εργασία, αποτέλεσε πρόκληση από τη στιγμή της σύλληψής της μέχρι την οργάνωση και την περαίωσή της. Η επιτυχής ολοκλήρωσή της, δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη συμβολή ανθρώπων, οι όποιοι αφιέρωσαν προσωπικό χρόνο, εξειδικευμένο εξοπλισμό και τεχνογνωσία.

Ο Στέφανος Μπαλικτσής και η εταιρία ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ, για την παροχή του τρισδιάστατου laser σαρωτή, MDL Laser Ace Scanner.

Ο Βασίλης Πολύχρονος και η εταιρία Geosense, για την παροχή του εκπληκτικού αερομοντέλου eBee. Μια προσθήκη, η οποία άλλαξε άρδην το σχεδιασμό και την πορεία υλοποίησης της εργασίας.

Ο Ιωάννης Φαρασλής και το Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, για την παροχή του τετρακόπτερου IRIS.

Η Εθελοντική Περιβαλλοντική Ομάδα Αλμυρού «ΕΝ ΔΡΑΣΕΙ», για την παροχή του τετρακίνητου οχήματος, απαραίτητο για τις μετακινήσεις στην περιοχή.

Η Βικτώρια, ο Θοδωρής και η Θωμαή για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τις εργασίες πεδίου και την επιμέλεια της εργασίας.

Αξίζουν ένα μεγάλο ευχαριστώ από καρδιάς!

Να είστε όλοι καλά.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τοπογραφικές μέθοδοι αποτύπωσης έχουν λάβει αμέτρητες εφαρμογές και έχουν εισχωρήσει σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους. Ένας από αυτούς είναι και ο κλάδος της αρχαιολογίας. Στο πλαίσιο της προσπάθειας του ανθρώπου να γνωρίσει το παρελθόν του, η τεκμηρίωση μέσω τοπογραφικών αποτυπώσεων έχει καταστεί απαραίτητη, προκειμένου να δοθεί η δυνατότητα καταγραφής και αναπαράστασης χωρικών πληροφοριών των αρχαιολογικών ευρημάτων. Η εργασία αυτή έχει ως κυρίαρχο σκοπό να εξετάσει την καταλληλότητα ορισμένων μεθόδων αποτύπωσης, που εφαρμόστηκαν στην αρχαιολογική θέση Ζερέλια, πλησίον της πόλης του Αλμυρού.

Στα επόμενα κεφάλαια, ο αναγνώστης θα βρει πληροφορίες θεωρητικού υποβάθρου, όσον αφορά τις διάφορες μεθόδους αποτύπωσης που επιλέχθηκαν, καθώς και πληροφορίες για τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν και τη φιλοσοφία χρήσης και λειτουργίας τους.

Το θεωρητικό σκέλος είναι αρκετά εκτενές, διότι αποφασίστηκε να δοθεί βαρύτητα στην κατανόηση όρων και εννοιών, που αφορούν τις μεθόδους αποτύπωσης, για διευκόλυνση ακόμα και του μη σχετικού με το αντικείμενο αναγνώστη, προκειμένου να γίνει πλήρως κατανοητό το κύριο μέρος του συγκεκριμένου θέματος. Το γεγονός αυτό προέκυψε, δεδομένου ότι τα UAVs, κατά τη χρονική περίοδο συγγραφής, απολαμβάνουν ευρείας αποδοχής και χρησιμοποιούνται από πληθώρα ανθρώπων για πολλές και διαφορετικές εφαρμογές, χωρίς απαραίτητα όλοι οι χειριστές να έχουν το ίδιο γνωστικό υπόβαθρο για τη δουλειά που τα χρησιμοποιούν.

Τέλος, ακολουθεί ανάλυση της εφαρμογής των μεθόδων, η οποία καταλήγει σε συγκρίσεις και συμπεράσματα, βασιζόμενα στα αποτελέσματα της εφαρμογής των επιλεγμένων μεθόδων και του εξοπλισμού.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ

Προτού παρατεθεί το θεωρητικό υπόβαθρο, κρίθηκε απαραίτητο να δοθεί ο ορισμός της αποτύπωσης, που αποτελεί την κυρίαρχη έννοια της παρούσας εργασίας. Έτσι λοιπόν, με τον όρο *αποτύπωση* εννοείται η διαδικασία που λαμβάνει χώρα, προκειμένου να προσδιοριστεί η θέση, το σχήμα και το μέγεθος μιας ιδιοκτησίας ή ενός τμήματος της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας ή ακόμα κι ενός τεχνικού έργου. Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται με τον προσδιορισμό των ορθογώνιων συντεταγμένων και του υψομέτρου τους, ενώ όπως συμβαίνει και στις άλλες γεωδαιτικές εργασίες, απαιτεί την εκπόνηση των εργασιών πεδίου (μετρήσεις), τις εργασίες γραφείου (υπολογισμοί) και τέλος, τον έλεγχο του αποτελέσματος, δηλαδή του τελικού σχεδίου, που αποτυπώνει τη μορφολογία του εδάφους και οποιουδήποτε τεχνικού έργου βρίσκεται επάνω σε αυτό.

Το τελικό αυτό αποτέλεσμα καλείται *τοπογραφικό διάγραμμα* και αποτελεί την κυρίαρχη τεχνική υποδομή για τη μελέτη και την κατασκευή των τεχνικών έργων, αποτυπώνοντας όλες τις αναγκαίες πληροφορίες για την υλοποίηση των κατασκευών αυτών (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

### 1.1 ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ

Με τον όρο γεωδαισία ορίζεται η επιστήμη που έχει ως κυρίαρχο αντικείμενο τη μελέτη και τον ακριβή προσδιορισμό του σχήματος, του μεγέθους και του πεδίου βαρύτητας της Γης, τον προσδιορισμό συντεταγμένων βασικών σημείων αναφοράς στη γήινη επιφάνεια, καθώς επίσης και τις μεταβολές αυτών των παραγόντων στην πάροδο του χρόνου. Εκτός των άλλων, ένα εξίσου σημαντικό αντικείμενο της επιστήμης αυτής, αποτελεί ο ακριβής προσδιορισμός του γεωειδούς, ιδιαίτερα στη σημερινή εποχή, λόγω της ίδρυσης και της ευρείας χρήσης τρισδιάστατων ηπειρωτικών και παγκόσμιων συστημάτων αναφοράς, καθώς και των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού.

Η γεωδαισία σχετίζεται με άλλες επιστήμες, όπως είναι η αστρονομία, η χαρτογραφία και η γεωφυσική, ενώ βασικός σκοπός της είναι η παροχή ενός αξιόπιστου πλαισίου αναφοράς για την εκτέλεση και τον έλεγχο όλων των γεωδαιτικών εργασιών.

Οι επιμέρους αυτές εργασίες περιλαμβάνουν τόσο μετρήσεις, όσο και υπολογισμούς, για τους οποίους χρησιμοποιούνται σύγχρονα ψηφιακά όργανα, όπως είναι οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, οι ψηφιακοί χωροβάτες, οι δέκτες του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού, οι σαρωτές Laser και διάφορα άλλα σχετικά

όργανα, ενώ περιορίζεται όλο και περισσότερο η χρήση οπτικομηχανικών οργάνων, όπως τα θεοδόλιχα και οι χωροβάτες, καθώς θεωρούνται αρκετά ξεπερασμένα στη σημερινή εποχή.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται υπολογίζουν οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, μήκη, υψομετρικές διαφορές του μέτρου και της διεύθυνσης του διανύσματος της βαρύτητας και του χρόνου, με τη χρήση των επιμέρους οργάνων. Όσον αφορά τις επίγειες μετρήσεις γωνιών, τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι τα θεοδόλιχα (οπτικομηχανικά ή ψηφιακά) και σπανιότερα, σε ειδικές εφαρμογές, τα γυροσκόπια και τα μαγνητικά θεοδόλιχα, ενώ οι μετρήσεις μηκών πραγματοποιούνται με τη χρήση απλών μετροταινιών (για μικρά μήκη) και οργάνων μέτρησης μήκους με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (EDM). Μάλιστα το EDM και το ψηφιακό θεοδόλιχο έχουν πλέον ενσωματωθεί σε ένα ενιαίο όργανο, αποτελώντας τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό (Total station).

Από την άλλη πλευρά, οι μετρήσεις των υψομετρικών διαφορών πραγματοποιούνται με τη χρήση χωροβατών (οπτικομηχανικών ή ψηφιακών) ή και ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, ενώ με τη χρήση των βαρυτήμετρων προσδιορίζεται αντίστοιχα, το μέτρο του διανύσματος της βαρύτητας. Όσον αφορά τις μετρήσεις μηκών, το δορυφορικό εντοπισμό και τις αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις (για τον έμμεσο προσδιορισμό της μορφής του γεοειδούς), είναι απαραίτητη η ακριβής μέτρηση του χρόνου, καθώς αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες, που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Ο υπολογισμός των βασικών αυτών μεγεθών είναι άκρως απαραίτητος, όσον αφορά τον προσδιορισμό της θέσης σημείων που βρίσκονται επάνω στη Φυσική Γήινη Επιφάνεια (ΦΓΕ), με ορισμένα από αυτά τα σημεία να υλοποιούν τα γεωδαιτικά δίκτυα υποδομής, όπως τα τετραδιάστατα, τρισδιάστατα, οριζόντια ή δυσδιάστατα και υψομετρικά ή κατακόρυφα δίκτυα. Στα δίκτυα αυτά στηρίζονται όλες οι γεωδαιτικές εργασίες, που στοχεύουν στον προσδιορισμό του σχήματος, των διαστάσεων και της θέσης μικρότερων ή μεγαλύτερων τμημάτων της ΦΓΕ, όντας αυθαίρετα, είτε ενταγμένα σε κάποιο συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, παγκόσμιο ή κρατικό. Εκτός των άλλων, η χρήση των δικτύων αυτών αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο στη δημιουργία τοπογραφικών διαγραμμάτων επιμέρους τμημάτων της ΦΓΕ, στη δημιουργία χαρτών, καθώς επίσης και στην κατασκευή μεγάλων ή μικρών τεχνικών έργων (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

### 1.1.1 ΚΛΑΔΟΙ ΤΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

Η επιστήμη της Γεωδαισίας αποτελεί έναν πολυσύνθετο κλάδο, ο οποίος με τη ραγδαία και αδιάκοπη εξέλιξη των τεχνολογικών και υπολογιστικών συστημάτων, έχει τη δυνατότητα να διευρύνει τα γνωστικά αντικείμενα που μελετά, να βελτιώσει και να τροποποιήσει τις ήδη υπάρχουσες μεθοδολογίες και να εγγυηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της. Ανάλογα λοιπόν με το επιστημονικό αντικείμενο, το οποίο μελετά η Γεωδαισία, διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

- *Φυσική γεωδαισία*, που έχει ως αντικείμενο τον προσδιορισμό του γήινου πεδίου βαρύτητας
- *Γεωδαιτική αστρονομία*, που έχει ως αντικείμενο τον προσδιορισμό των αστρονομικών αζιμούθιων διευθύνσεων και των αστρονομικών συντεταγμένων σημείων, με σκοπό τον προσδιορισμό της μορφής του γεωειδούς
- *Διαστημική γεωδαισία*, περιλαμβάνοντας μετρήσεις αποστάσεων από τη γη με ακτίνες laser προς σημεία της σελήνης, όπου βρίσκονται τοποθετημένοι ανακλαστήρες, καθώς σχετίζεται και με παρατηρήσεις ραδιοκυμάτων που προέρχονται από εξωγαλαξιακές ραδιοπηγές
- *Ανώτερη γεωδαισία*, με αντικείμενο τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς σε τμήματα ή ολόκληρη τη γη, χρησιμοποιώντας ως επιφάνεια αναφοράς το ελλειψοειδές
- *Δορυφορική γεωδαισία*, που αποτελεί προϊόν της χρήσης του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού και των τεχνικών δορυφόρων για τις επίγειες γεωδαιτικές εργασίες
- *Τοπογραφία*, με αντικείμενο τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς για τις αποτυπώσεις σε περιορισμένες εκτάσεις (μέχρι λίγες δεκάδες km<sup>2</sup>) της ΦΓΕ, χρησιμοποιώντας ως επιφάνεια αναφοράς το οριζόντιο επίπεδο. Η τοπογραφία κατέχει πρωταρχικό ρόλο στη διαδικασία του σχεδιασμού, της υλοποίησης και της γεωμετρικής τεκμηρίωσης των τεχνικών έργων, ενώ σε κάθε επιμέρους στάδιο της κατασκευής αυτών των έργων, απαιτείται η εκτέλεση των παραπάνω διεργασιών, έτσι ώστε, να δίνεται η τοποθέτηση (χάραξη) και η τεκμηρίωση αυτών των τεχνικών έργων, καθώς και η παρακολούθηση της θέσης και της κατάστασης τους με την πάροδο του χρόνου (έλεγχος). Ως

αποτέλεσμα αυτών των επιμέρους εργασιών είναι η δημιουργία των τοπογραφικών διαγραμμάτων, τα οποία περιέχουν όλες τις σχετικές πληροφορίες των τεχνικών έργων τη χρονική στιγμή που αυτά υλοποιούνται.

- *Εφαρμοσμένη γεωδαισία*, που αναφέρεται ουσιαστικά στη χρήση των σύγχρονων επίγειων ψηφιακών οργάνων, στο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού και στη αξιοποίηση νέων, εξελιγμένων υπολογιστικών μεθόδων
- *Βιομηχανική γεωδαισία*, που αναφέρεται στον έλεγχο της σωστής κατασκευής και τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων, που προκαλούνται λόγω της χρήσης και λειτουργίας των βιομηχανικών παραγώγων
- *Γεωδαιτική μετρολογία*, που είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας των οργάνων μέτρησης (Λάμπρου και Πανταζής, 2010)
- *Γεωμετρική γεωδαισία*, με αντικείμενο τον προσδιορισμό ενός κύριου γεωδαιτικού υπόβαθρου για ένα μεγάλο τμήμα ή ολόκληρη τη γη, δια μέσου του προσδιορισμού συντεταγμένων για τον προσδιορισμό θέσεων. Όσον αφορά τον κλάδο αυτό, το γεωδαιτικό υπόβαθρο στην περίπτωση αυτή είναι κυρίως γεωμετρικό, ενώ υλοποιείται από τις συντεταγμένες ενός συνόλου θεμελιωδών σημείων ως προς ένα κατάλληλα ορισμένο σύστημα αναφοράς. Ο προσδιορισμός και η υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος σε συνδυασμό με μια επιφάνεια αναφοράς για το σχήμα και το μέγεθος της γης, που αποτελεί το ελλειψοειδές εκ περιστροφής, ορίζουν την έννοια του γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς ή όπως αλλιώς ονομάζεται γεωδαιτικό datum (Φωτίου και Λιβιεράτος, 2000).

## 1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Στη γεωδαισία ο όρος *σύστημα αναφοράς*, αναφέρεται στο σύνολο των παραμέτρων και των συστημάτων συντεταγμένων, το οποίο εφαρμόζεται σε ένα συγκεκριμένο τμήμα ή σε όλη τη γη, με βάση το οποίο καθορίζονται οι θέσεις των σημείων ή/και των επιμέρους αντικειμένων της ΦΓΕ στο χώρο και μελετάται η κίνηση ή/και η δυναμική συμπεριφορά αυτών με το χρόνο, βασίζοντας στα γεωδυναμικά και τεκτονικά φαινόμενα. Απαραίτητη προϋπόθεση για τον προσδιορισμό ενός τέτοιου συστήματος αναφοράς, αποτελεί ο καθορισμός ενός συστήματος αξόνων (καμπύλες ή ευθείες γραμμές, κάθετες μεταξύ τους), που προσαρμόζεται στην επιφάνεια αναφοράς



που χρησιμοποιείται από κάθε σύστημα, για τη μέτρηση των συντεταγμένων των σημείων. Γενικά, είναι δυνατό η θέση ενός σημείου στο χώρο να προσδιοριστεί με τον ορισμό ενός καρτεσιανού τρισσορθογώνιου συστήματος αξόνων  $X, Y$  και  $Z$ .

Ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση, τα συστήματα αυτά, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Αστρονομικό σύστημα, το οποίο προσδιορίζει τη θέση ενός σημείου επάνω στο γεωειδές
- Ελλειψοειδές σύστημα, με επιφάνεια αναφοράς ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής
- Καρτεσιανό τρισσορθογώνιο σύστημα, που ορίζεται λαμβάνοντας υπόψη έξι επιμέρους παραμέτρους (τρεις για τον ορισμό της αρχής των αξόνων και τρεις για τον προσανατολισμό των αξόνων του)
- Επίπεδο καρτεσιανό σύστημα (προβολή), που αποτελεί ένα τοπικό επίπεδο σύστημα, το οποίο χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των σημείων της φυσικής γήινης επιφάνειας δια μέσου της προβολής τους σε ένα επίπεδο
- Γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς (ΓΣΑ), τα οποία χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό των συντεταγμένων σημείων της φυσικής γήινης επιφάνειας, έχοντας ως αρχή τους το κέντρο της Γης και εκφράζοντας τις θέσεις των σημείων με ορθογώνιες ή ελλειψοειδείς ή σφαιρικές συντεταγμένες (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

Σε ευρεία κλίμακα, τα συστήματα αναφοράς, διακρίνονται στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, στα Ευρωπαϊκά γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς, ενώ όσον αφορά τα ελληνικά δεδομένα, ορίζονται τα Ελληνικά γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς.

### 1.2.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ Ή ΓΕΩΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Το παγκόσμιο ή γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (International Terrestrial Reference System – ITRS) ορίζεται με κέντρο, το κέντρο μάζας της Γης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τους ωκεανούς, όσο και την ατμόσφαιρα. Η μονάδα μέτρησης του θεωρείται το 1μ, ενώ όσον αφορά τον προσανατολισμό των αξόνων του, ο άξονας  $X$  ορίζεται ως η τομή του επιπέδου του μέσου μηδενικού μεσημβρινού (Greenwich) και του επιπέδου του ισημερινού, ο άξονας  $Y$  είναι κάθετος στο επίπεδο που ορίζεται από τους άξονες  $X$  και  $Z$  προς ανατολάς, ώστε το σύστημα να είναι δεξιόστροφο, ενώ ο

άξονας Z διέρχεται από το μέσο συμβατικό Πόλο (CIO, 1900-1905) και είναι κάθετος στο ισημερινό επίπεδο.

Τέλος, ως ελλειψοειδές αναφοράς στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται το GRS80, ενώ υλοποιείται με το Διεθνές επίγειο πλαίσιο αναφοράς ITRF (International Terrestrial Reference Frame) (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

### 1.2.2 ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Το πρώτο ευρωπαϊκό σύστημα αναφοράς που δημιουργήθηκε με σκοπό να εξυπηρετήσει τις χαρτογραφικές και στρατιωτικές ανάγκες της Ευρώπης, αποτελεί το European Datum of 1950 (ED50), που ορίστηκε με επιφάνεια αναφοράς το ελλειψοειδές του Hayford και αρχή το Postdam στην Γερμανία. Για την εφαρμογή του χρησιμοποιήθηκε η παγκόσμια μερκατορική προβολή UTM (Universal Transverse Mercator) για την απεικόνιση σε επίπεδο. Παρόλα αυτά, το σύστημα αυτό δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα, γεγονός που οδήγησε στη δημιουργία του ευρωπαϊκού συστήματος αναφοράς 1977.

Σήμερα, ορίζεται το ETRS '89 (European Terrestrial Reference System of 1989), λαμβάνοντας ως επιφάνεια αναφοράς το γεωκεντρικό ελλειψοειδές GRS80 (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

### 1.2.3 ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Το Παλαιό Ελληνικό Σύστημα Αναφοράς (ΠΕΣΑ) ορίστηκε λαμβάνοντας ως επιφάνεια αναφοράς το ελλειψοειδές του Bessel, με αρχή το κεντρικό βάθρο στο Αστεροσκοπείο Αθηνών. Το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε αρχικά με την πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα προβολή του HATT, ωστόσο όμως, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των μειονεκτημάτων του, το 1972, χρησιμοποιήθηκε ως προβολή η εγκάρσια μερκατορική προβολή των 3° (EMΠ 3°), ενώ για στρατιωτικούς σκοπούς χρησιμοποιούνταν ακόμα και το ED50.

Παρόλα αυτά όμως, κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία ενός νέου συστήματος αναφοράς για τον ευρύτερο ελλαδικό χώρο, εξαιτίας του έντονου τοπογραφικού ανάγλυφου της Ελλάδας, του ανώμαλου γεωειδούς και της αναποτελεσματικής προσαρμογής του ED50. Το νέο αυτό σύστημα είναι γνωστό ως το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87), αποτελώντας σήμερα το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς για τον ελλαδικό χώρο, λαμβάνοντας ως επιφάνεια

αναφοράς το ελλειψοειδές GRS80 με μια μετάθεση ως προς το κέντρο της Γης, με σκοπό να προσαρμοστεί αποτελεσματικότερα στο γεωειδές της χώρας και να ελαχιστοποιηθούν οι τιμές απόκλισης του γεωειδούς στα ηπειρωτικά. Το αρχικό σημείο του συστήματος αποτελεί το κεντρικό βάθρο του Κέντρου Δορυφόρων του ΕΜΠ, στην περιοχή του Διονύσου, όπου και ορίστηκαν οι καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z, ενώ το σύστημα αναφοράς πραγματοποιήθηκε αρχικά με 25 σημεία που ανήκουν στο δίκτυο 1<sup>ης</sup> τάξης της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) και εφαρμόστηκε με την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή σε μια ζώνη (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

### 1.3 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ (GNSS)

Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης είναι γνωστά με τον όρο GNSS (Global Navigation Satellite Systems) και αποτελούν τα σύγχρονα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού<sup>1</sup> θέσης, ταχύτητας και χρόνου, στα οποία στηρίζεται η μέτρηση των γεωδαιτικών δικτύων<sup>2</sup> τα τελευταία 15 περίπου χρόνια. Τα συστήματα αυτά καλύπτουν αρκετές εφαρμογές, με κυρίαρχη τον προσδιορισμό θέσης, που εξαρτάται από το είδος των παρατηρήσεων και τη μέθοδο των μετρήσεων, με ακρίβεια μερικών μέτρων έως και ένα εκατοστό ή και λιγότερο.

Τα κυριότερα συστήματα εντοπισμού θέσης είναι το πλήρως επιχειρησιακό Αμερικάνικο σύστημα GPS (Global Positioning System), που κυριαρχεί σήμερα, το εν μέρει λειτουργικό Ρωσικό σύστημα GLONASS (GLObal Navigation Satellite System) και το υπό ανάπτυξη πολιτικό και πολλά υποσχόμενο σύστημα της Ευρωπαϊκής Ένωσης GALILEO (Φωτίου, 2007).

---

<sup>1</sup> Ο *δορυφορικός εντοπισμός* βασίζεται στην ιδέα της μέτρησης του μήκους προς ένα «αντικείμενο» που βρίσκεται και κινείται σε συγκεκριμένη τροχιά μακριά από τη γη και το οποίο ονομάζεται δορυφόρος.

<sup>2</sup> Το *γεωδαιτικό δίκτυο* αποτελεί ένα σύνολο σημείων ( $\geq 3$ ) της επιφάνειας της Γης με γνωστές συντεταγμένες ως προς ένα σύστημα αναφοράς, τα οποία προέκυψαν από την επεξεργασία και τη συνάρθρωση παρατηρήσεων μεταξύ των κορυφών τους. Ως γεωδαιτικό δίκτυο χαρακτηρίζεται κάθε δίκτυο, το οποίο ιδρύεται με σκοπό τον προσδιορισμό θέσης και τις γεωδαιτικές, τοπογραφικές και χαρτογραφικές εργασίες, ανεξάρτητα από το την έκταση που καλύπτει και το μήκος των πλευρών μεταξύ των κορυφών του.

### 1.3.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS

Το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS (Global Positioning System), το οποίο στην πλήρη του ονομασία αποκαλείται NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System), σχεδιάστηκε στις ΗΠΑ προκειμένου να καλύψει στρατιωτικές ανάγκες ναυσιπλοΐας. Μάλιστα, εξελίχθηκε σε ένα σύστημα ικανό να καλύψει τις ανάγκες εντοπισμού, κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες και οποιαδήποτε ώρα της ημέρας για απεριόριστο αριθμό χρηστών. Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται σήμερα από:

- 34 δορυφόρους NAVSTAR, ενώ η πλήρης ανάπτυξη του συστήματος απαιτεί 24 δορυφόρους, προκειμένου να καλύπτεται με καλή γεωμετρία, δηλαδή με 4 τουλάχιστον δορυφόρους, κάθε θέση επάνω στη γη, οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Οι δορυφόροι αυτοί είναι τοποθετημένοι ομοιόμορφα σε 6 τροχιακά επίπεδα, ανά 60° στο ισημερινό επίπεδο, ενώ έχουν γωνία κλίσης 55° έως προς αυτό. Το μέσο ύψος των δορυφόρων από την επιφάνεια της Γης είναι 20189 χλμ.
- Το επίγειο τμήμα ελέγχου, το οποίο αποτελείται από 5 απομακρυσμένους μεταξύ τους σταθμούς παρακολούθησης (monitor stations), από 3 σταθμούς επικοινωνίας με τους δορυφόρους (upload ground antennas) και τέλος, από ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου (master control station), που ελέγχει τη λειτουργία του συστήματος και έχει τη δυνατότητα επέμβασης στο δορυφορικό σχηματισμό, τροποποιώντας τη θέση στην τροχιά του και τη λειτουργία των δορυφόρων
- Το τμήμα χρηστών που αποτελείται από όλους τους χρήστες, επίγειους, επιθαλάσσιους και εναέριους, όπου με κατάλληλο εξοπλισμό δεκτών μπορούν κάθε στιγμή να προσδιορίσουν τη θέση τους, την ταχύτητα και την κατάσταση του χρονομέτρου τους, εκμεταλλευόμενοι τις δυνατότητες του συστήματος (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

### 1.3.2 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GLONASS

Το σύστημα αυτό αποτελεί ένα σύστημα δορυφορικού εντοπισμού, το οποίο σχεδιάστηκε από την πρώην Σοβιετική Ένωση, ξεκινώντας τη λειτουργία του το 1993, όντας ένα ρώσικο σύστημα πλοήγησης αντίστοιχο με το GPS. Στην αρχή της λειτουργίας του, το σύστημα GLONASS είχε στρατιωτικό χαρακτήρα, όπως ακριβώς και το αντίστοιχο σύστημα GPS. Ωστόσο όμως, με τη διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης και τις πολιτικές αλλαγές που έλαβαν χώρα κατά την περίοδο εκείνη, η χρήση του

συστήματος GLONASS εξαπλώθηκε εκτενέστερα και εκτός των συνόρων της Σοβιετικής Ένωσης.

Όσον αφορά τη λειτουργία του, έχει σχεδιαστεί σε τρία τροχιακά επίπεδα με έξι δορυφόρους σε τροχιά με πλήρη επιχειρησιακή δραστηριότητα. Μάλιστα, το 2006, πραγματοποιήθηκε η τελευταία εκτόξευση τριών δορυφόρων, στο πλαίσιο επέκτασης του συστήματος με τη νέα σειρά M, ενώ τα επόμενα χρόνια αναμένεται να πραγματοποιηθούν και άλλες εκτοξεύσεις, προκειμένου να ολοκληρωθεί ο σχηματισμός των 24 δορυφόρων με τη σειρά αυτή.

Τέλος, το σύστημα GLONASS προσφέρει πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια, σε σχέση με το GPS, έστω και με ελάχιστη διαφορά, ωστόσο όμως, τα τελευταία χρόνια έχει λάβει χώρα μια αξιοσημείωτη προσπάθεια για τη συνεργασία του συστήματος GLONASS με το σύστημα GPS, που έχει ως αποτέλεσμα, τη δυνατότητα μεγαλύτερης κάλυψης στη γήινη επιφάνεια για τους χρήστες των δορυφορικών αυτών συστημάτων, ενώ παρέχεται επίσης μεγαλύτερο πλήθος παρατηρούμενων δορυφόρων, σε περιοχές όπου οι δορυφόροι του GPS είναι περιορισμένοι (πχ αστικές περιοχές) (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

### 1.3.3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GALILEO

Το δορυφορικό σύστημα GALILEO, το οποίο αναπτύσσεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και υλοποιείται από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (European Space Agency), αποτελεί ένα νέο σχετικά σύστημα εντοπισμού, με έναν από τους βασικότερους στόχους να αποτελεί η παροχή ενός συστήματος εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας, στο οποίο θα βασίζονται τα ευρωπαϊκά κράτη, προκειμένου να ανεξαρτητοποιηθούν από τα αντίστοιχα συστήματα GLONASS (Ρωσία), GPS (ΗΠΑ) και Compass (Κίνα), τα οποία μπορούν να απενεργοποιηθούν εν καιρώ πολέμου ή συρράξεων. Το σύστημα αυτό θα χαρακτηρίζεται ως αμιγώς πολιτικό και θα καλύπτει με μικρή αβεβαιότητα σχεδόν το 99% της επιφάνειας της Γης, εγγυώντας τη διαθεσιμότητα κάτω από τις πιο ακραίες συνθήκες παρατήρησης, ενώ θα μπορεί να στέλνει άμεσα (λίγα μόνο δευτερόλεπτα) τις απαραίτητες πληροφορίες στους χρήστες του συστήματος. Μάλιστα, εκτιμάται ότι έξι έως οχτώ δορυφόροι θα γίνονται μόνιμα «ορατοί», σε ένα μεγάλο αριθμό περιοχών.

Με βάση τα προβλεπόμενα, το σύστημα αυτό θα αποτελείται από 30 δορυφόρους (27 υπό λειτουργία και 3 ενεργοί ανταλλακτικοί), που θα βρίσκονται

τοποθετημένοι σε τρία τροχιακά επίπεδα με γωνία κλίσης  $56^\circ$  ως προς το ισημερινό επίπεδο, κάνοντας μία πλήρη περιστροφή σε 14 ώρες. Όσον αφορά, το ύψος της τροχιάς αυτή θα είναι περίπου 23600 χλ, ενώ το επίγειο τμήμα θα χαρακτηρίζεται από είκοσι σταθμούς παρακολούθησης και δυο κέντρα ελέγχου (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

Τέλος, οι βασικές υπηρεσίες πλοήγησης θα παρέχονται δωρεάν, ενώ ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του θα αποτελεί, η μοναδική λειτουργία αναζήτησης και διάσωσης (search and rescue, SAR), το οποίο, εκτός των άλλων, θα παρέχει σήμα στους χρήστες, με το οποίο θα τους ενημερώνει ότι η κατάσταση τους έχει ανιχνευθεί και ότι η βοήθεια είναι καθοδόν. Το τελευταίο χαρακτηριστικό αποτελεί ένα μεγάλο και πολύτιμο βήμα συγκριτικά με τα συστήματα πλοήγησης GPS και GLONASS, που δεν παρέχουν ανάδραση στους χρήστες (<http://el.wikipedia.org/wiki/Galileo>, 2015).

#### 1.3.4 ΣΦΑΛΜΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

Με τη χρήση του συστήματος δορυφορικού εντοπισμού, προκύπτει πάντα κάποιο σφάλμα προσδιορισμού θέσης, το οποίο εξαρτάται από:

- Το σφάλμα προσδιορισμού των συντεταγμένων της θέσης των παρατηρούμενων δορυφόρων (τροχιά δορυφόρου)
- Τα σφάλματα των παρατηρήσεων, τα οποία διακρίνονται σε:

Τυχαία, λόγω τυχαίων εσωτερικών επιδράσεων δεκτών ή σε κάποιες εξωτερικές αλλά πολύ τοπικές επιδράσεις (μετεωρολογικές συνθήκες, παρεμβολές σημάτων κλπ)

Συστηματικά, τα οποία οφείλονται στις επιδράσεις της ατμόσφαιρας και στη λανθασμένη χρήση παραμέτρων (σταθερά της ταχύτητας του φωτός, της τροχιάς κλπ)

Χονδροειδή, που εξαρτώνται κυρίως από το χρήστη (λανθασμένη τοποθέτηση κεραίας του δέκτη στο επιθυμητό σημείο, λάθος μέτρηση του ύψους της κεραίας κλπ)

- Τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του χρησιμοποιούμενου δέκτη
- Το πλήθος των δορυφόρων, που παρακολουθεί ο δέκτης
- Τη γεωμετρία των δορυφόρων, που παρακολουθεί ο δέκτης
- Τη μέθοδο μέτρησης που εφαρμόζεται
- Τον τρόπο επεξεργασίας των μετρήσεων

Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται με το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού αποτελούν μια πολυδιάστατη διαδικασία, ενώ οι πιθανές μέθοδοι που δύναται να

εφαρμοστούν ποικίλουν. Η αβεβαιότητα που προκύπτει στο τελικό αποτέλεσμα οφείλεται σε πολλές και διαφορετικές παραμέτρους, που μεταβάλλονται κάθε χρονική στιγμή. Από την άλλη πλευρά, κάθε μέτρηση πραγματοποιείται μόνο μία φορά και κάτω από μη επαναλαμβανόμενες συνθήκες. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι το σφάλμα (αβεβαιότητα) προσδιορισμού θέσης κυμαίνεται από λίγα χιλιοστά έως μερικές δεκάδες μέτρα (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

### 1.3.5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ DOP

Με τον όρο DOP (Dilution Of Precision) ορίζεται ο λόγος του συνολικού σφάλματος προσδιορισμού της θέσης, ως προς το σφάλμα των μετρήσεων, για αυτό και αποτελεί καθαρό αριθμό, ενώ εκφράζει τη συμμετοχή της γεωμετρίας των δορυφόρων στο σφάλμα προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου<sup>3</sup>.

Πιο συγκεκριμένα, το συνολικό σφάλμα με το οποίο επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της θέσης με το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού, εξαρτάται από δύο βασικές παραμέτρους, τη γεωμετρία της θέσης των δορυφόρων, τη χρονική στιγμή που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις και το σφάλμα των μετρήσεων. Η τελευταία παράμετρος αποτελεί συνάθροιση της επίδρασης της αβεβαιότητας των εκπεμπόμενων εφημερίδων, των σφαλμάτων των χρονομέτρων των δορυφόρων και του δέκτη, του σφάλματος του χρόνου, του σφάλματος διάδοσης των σημάτων, καθώς και του «θορύβου» των δεκτών.

Επομένως, αξίζει να σημειωθεί ότι, όσο μικρότερη είναι η τιμή του DOP, τόσο καλύτερη είναι η γεωμετρία των δορυφόρων που παρακολουθούνται, με αποτέλεσμα τόσο περιορισμένη να είναι η αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων της θέσης του δέκτη (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

## 1.4 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (HEPOS)

Το σύστημα HEPOS (HEllenic POsitioning System) ευελπιστεί, μέσω της εγκατάστασης και λειτουργίας μόνιμων σταθμών σε όλη την Ελλάδα να περιορίσει τα μειονεκτήματα που υφίστανται, λόγω της απαραίτητης χρήσης δύο δεκτών, με σκοπό

---

<sup>3</sup> Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου συνοδεύεται πάντα και από τις αβεβαιότητες (μεταβλητότητες) των τελικών καρτεσιανών γεωκεντρικών ή τοπικών συντεταγμένων και από την αντίστοιχη αβεβαιότητα του χρονομέτρου του δέκτη.

τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου της φυσικής γήινης Γης, με τη μέθοδο του σχετικού εντοπισμού.

Πιο συγκεκριμένα, το ελληνικό αυτό σύστημα εντοπισμού, αντίστοιχο με αυτά που λειτουργούν τα τελευταία χρόνια σε πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, χαρακτηρίζεται ως ένα σύστημα μόνιμων σταθμών (δεκτών του συστήματος), που επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με μικρή αβεβαιότητα και το οποίο αξιοποιεί το υφιστάμενο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS.

Η χρήση του δικτύου των μόνιμων σταθμών αποσκοπεί στο γεγονός ότι, κάθε χρήστης δύναται να χρησιμοποιήσει ένα δέκτη του συστήματος, προκειμένου να προσδιορίσει τις συντεταγμένες των άγνωστων στοιχείων που υπολογίζει, «αγοράζοντας» τις ομόλογες μετρήσεις που χρειάζεται για το συγκεκριμένο χρόνο από τον ή τους πλησιέστερους σε αυτόν μόνιμους σταθμούς του δικτύου, που βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία. Με τον τρόπο αυτό, απαιτείται μόνο ένας δέκτης, με αποτέλεσμα να περιορίζεται το κόστος αγοράς του εξοπλισμού, ενώ ταυτόχρονα διευκολύνονται οι μετρήσεις πεδίου και ο απαιτούμενος χρόνος τους, καθώς δεν είναι απαραίτητη η εύρεση σημείου γνωστών συντεταγμένων, ώστε να τοποθετηθεί ο ένας δέκτης.

Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού υλοποιείται από ένα δίκτυο 98 μόνιμων επίγειων σταθμών αναφοράς (87 δικτυακής λύσης και 11 μεμονωμένους), καθώς και ένα Κέντρο Ελέγχου που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. στην Αθήνα, από το οποίο και αναπτύχθηκε για να ικανοποιήσει αρχικά τις ανάγκες του Εθνικού Κτηματολογίου. Το βήμα λήψης μετρήσεων καταγραφής έχει οριστεί στο 1 δευτερόλεπτο, με το κέντρο ελέγχου να επεξεργάζεται τα στοιχεία των σταθμών αναφοράς, αποστέλλοντας στο χρήστη τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τον ακριβή εντοπισμό της αιτούμενης θέσης (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

Το HEPOS εξυπηρετεί 150 παράλληλους χρήστες, ενώ τα στοιχεία των μετρήσεων των σταθμών του διατίθενται μέχρι και 30 ημέρες μετά τη λήψη τους. Η επίλυση των στοιχείων των μετρήσεων γίνεται από το χρήστη, που παραλαμβάνει αρχείο μετρήσεων, το οποίο επεξεργάζεται μαζί με τις δικές του μετρήσεις, παράγοντας το αποτέλεσμα.

Το δίκτυο των μόνιμων σταθμών του HEPOS επιλύθηκε στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς HTRS '07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007), το οποίο ορίζεται σύμφωνα με το ETRS '89, στο πλαίσιο ETRF '05 epoch 2007.5 με σταθερό σταθμό τον AUT1, το οποίο ανήκει στο δίκτυο μόνιμων σταθμών EPN (Euref Permanent Network) της Ευρώπης και το οποίο είναι εγκατεστημένος στο κτίριο του



Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Επιπλέον, το ελλειψοειδές αναφοράς, που ορίστηκε είναι το παγκόσμιο ελλειψοειδές GRS '80, χωρίς καμιά μετατόπιση, με το κέντρο του να ταυτίζεται με το γεώκεντρο του ETRS '89.

Τέλος, το σύστημα αυτό υλοποιείται με τη μέτρηση του γεωδαιτικού δικτύου των 98 μόνιμων σταθμών, με τον υπολογισμό των συντεταγμένων X, Y, Z και φ, λ των κορυφών του δικτύου στο νέο Datum και του γεωμετρικού υψομέτρου h, ως προς τα ελλειψοειδές αναφοράς, καθώς και με τον υπολογισμό ενός χάρτη του υψομέτρου του γεωειδούς για την Ελλάδα, προκειμένου να είναι άμεση η μετατροπή των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά (Λάμπρου και Πανταζής, 2010).

### 1.5 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

Ο όρος *φωτογραμμετρία* αναφέρεται στη διαδικασία, κατά την οποία η καταγραφή της θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων ενός αντικειμένου, γίνεται μέσω των μετρήσεων των στοιχείων της φωτογραφίας, η οποία έχει ληφθεί ως αναπαράσταση του αντικειμένου. Αυτή η εμμεσότητα αποτελεί τη βασική διαφορά μεταξύ της φωτογραμμετρίας και άλλων μεθόδων αποτύπωσης του αναγλύφου (Πατιάς, 1999).

Οι φωτογραφικές μέθοδοι, στην περίπτωση αυτή, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διαφορετικούς τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με τον τρόπο επεξεργασίας και απόδοσης των εικόνων, η φωτογραμμετρία διακρίνεται σε αναλογική, αναλυτική και ψηφιακή, ενώ με βάση τον αριθμό των εικόνων χωρίζεται σε μονοεικονική (μία φωτογραφία) και στερεοσκοπική (επικαλυπτόμενα ζεύγη φωτογραφιών). Τέλος, ανάλογα με τη θέση λήψης και τη γωνία λήψης διακρίνεται σε εναέρια – επίγεια και κατακόρυφη – κεκλιμένη – πλάγια, αντίστοιχα, ενώ λαμβάνοντας υπόψη το είδος εφαρμογής χωρίζεται σε τοπογραφική και μη τοπογραφική (Πατιάς, 1999).

Είναι κατανοητό ότι, κάθε φωτογραμμετρική μέθοδος αναπτύχθηκε και είναι κατάλληλη στη διεκπεραίωση συγκεκριμένων εφαρμογών. Μάλιστα, η φωτογραμμετρία αποτελεί μια ιδιαίτερα ζωντανή επιστήμη, καθώς η συνεχής εισχώρηση των νέων τεχνολογικών επιτευγμάτων στις διαδικασίες της, πέρα από την ποιοτική αναβάθμιση των τελικών φωτογραμμετρικών προϊόντων, συμβάλει και στην

αναδιαμόρφωση των αντιστοιχιών μεταξύ μεθόδων και εφαρμογών. Για παράδειγμα, ενώ παλαιότερα για την αποτύπωση αρχαιολογικών ή αρχιτεκτονικών μνημείων η επίγεια φωτογραμμετρία ήταν καταλληλότερη, πλέον, σε πολλές περιπτώσεις, η εναέρια φωτογραμμετρία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα.

Συγκριτικά με άλλες μεθόδους αποτύπωσης, η φωτογραμμετρία είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τη μέτρηση μεγάλων εκτάσεων, καθώς η μέτρηση δύναται να επιτευχθεί σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, από αυτόν που θα χρειαζόταν για να μετρηθεί η ίδια περιοχή με συμβατικές, επίγειες μεθόδους. Άλλωστε, το νέφος σημείων των φωτογραμμετρικών μεθόδων μπορεί να δώσει πολύ μεγαλύτερη ποσότητα πληροφορίας από την αντίστοιχη ποσότητα πληροφορίας, που προσφέρουν οι σημειακού χαρακτήρα, επίγειες μέθοδοι αποτύπωσης. Τέλος, ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των έμμεσων μετρήσεων, μέσω φωτογραφιών, είναι η δυνατότητα συλλογής δεδομένων σε περιοχές (πχ ηφαιστειογενείς περιοχές, εκτάσεις έντονου αναγλύφου, έρημοι κλπ), που η προσβασιμότητα του ανθρώπου, αλλά και του κατάλληλου εξοπλισμού, είναι αδύνατη, είτε επικίνδυνη, είτε ασύμφορη μερικές φορές. Παρόλα αυτά όμως, ο τομέας αυτός έχει εξελιχθεί ραγδαία, καθώς η χρήση μη επανδρωμένων αεροναυτικών οχημάτων (μικρών και μεγάλων διαστάσεων), κατάλληλων για φωτογραμμετρικές εφαρμογές, απλοποιεί τη διαδικασία και αυξάνει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων κάτω από τις πιο ποικίλες και πολύπλοκες συνθήκες.

Από την άλλη πλευρά, ο έμμεσος χαρακτήρας της φωτογραμμετρίας εισάγει επιπλέον πηγές σφαλμάτων, κάνοντας έτσι τη διαδικασία επίλυσης πιο σύνθετη και το τελικό αποτέλεσμα, συχνά, μικρότερης ακρίβειας, ενώ ακόμα και η ύπαρξη φωτοσταθερών σημείων στο έδαφος είναι πολλές φορές επιβεβλημένη. Όπως γίνεται αντιληπτό, η επιρροή της τεχνολογικής εξέλιξης, είναι και σε αυτήν την περίπτωση εμφανής, καθότι μεταξύ των φωτογραμμετρικών εφαρμογών, οι πηγές των σφαλμάτων διαφέρουν σημαντικά. Για παράδειγμα, κατά τη μετάβαση από την αναλογική στη ψηφιακή φωτογραμμετρία, η χρήση του φιλμ εγκαταλείπεται, εξαλείφονται με αυτόν τον τρόπο τα σφάλματα που οφείλονται σε αυτό, όπως και τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις, μέσω της σάρωσης των φωτογραφιών κατά τη φάση της ψηφιοποίησης τους (Πατιάς, 1999).

## 1.6 ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΕΙΣ

### 1.6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο όρος *αεροφωτογραφία* αναφέρεται σε όλες τις φωτογραφίες της επιφάνειας της Γης, οι οποίες λαμβάνονται είτε από ελικόπτερα, αεροπλάνα και αερόστατα, είτε ακόμα και από διαστημόπλοια. Οι δέκτες αυτοί των τηλεσκοπικών συστημάτων δύναται να ταξινομηθούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες, στους φωτογραφικούς και στους μη φωτογραφικούς, όπως είναι για παράδειγμα οι σαρωτές. Τα φωτογραφικά συστήματα λειτουργούν στο ορατό φάσμα ( $\lambda=0,4-0,7 \mu\text{m}$ ) και στο τμήμα  $\lambda=0,3-0,9 \mu\text{m}$  του υπεριώδους φάσματος, ενώ τα μη φωτογραφικά συστήματα λειτουργούν από τις ακτίνες Χ έως τα ραδιοκύματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Αναφορικά με την καταγραφή των φωτογραφικών αυτών συστημάτων, αυτή περιορίζεται σε ορισμένη φασματική ζώνη, καθώς κάτω από  $\lambda=0,4 \mu\text{m}$  το ηλιακό φως απορροφάται από το όζον, ενώ για ακτινοβολίες με μήκος κύματος πάνω από  $\lambda=0,9 \mu\text{m}$  τα φωτογραφικά γαλακτώματα δεν είναι ευαίσθητα.

Το τελικό αποτέλεσμα όλων των φωτογραφικών συστημάτων είναι η *εικόνα*, η οποία αντιστοιχεί σε μία δισδιάστατη συνάρτηση της φωτεινής έντασης της ακτινοβολίας. Με άλλα λόγια, η εικόνα αποτελεί τη γενική μορφή της φωτογραφίας, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος ή τη μηχανή που την παράγει. Επομένως, η *φωτογραφία* είναι μια εικόνα που σχηματίζεται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, καθώς αυτή επιδρά στα φωτοευαίσθητα χημικά του φιλμ (Μερτίκας, 2006).

### 1.6.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Κάθε επιμέρους αεροφωτογραφία διακρίνεται από τρία ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, την εστιακή απόσταση, την έκθεση και τη φωτογραφική διαχωριστική ικανότητα. Πιο συγκεκριμένα:

⇒ Εστιακή απόσταση: Κάθε φωτογραφική μηχανή χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βάθος πεδίου, που είναι συνάρτηση του φακού του συστήματος. Η σχέση μεταξύ της απόστασης  $\alpha$  ενός αντικειμένου από το φακό, της απόστασης  $\beta$  του ειδώλου του από το φακό και της εστιακής απόστασης  $f$  δίνεται από τη σχέση  $1/f = 1/\alpha + 1/\beta$ . Επομένως, για έναν φακό που το  $f$  είναι σταθερό, καθώς αλλάζει η απόσταση του αντικειμένου, αλλάζει και η απόσταση του ειδώλου από το φακό. Στην περίπτωση των αεροφωτογραφιών η απόσταση των αντικειμένων

είναι άπειρη, επομένως η απόσταση των ειδώλων είναι ίση με την εστιακή απόσταση  $f$ .

- ⇒ Έκθεση: Αποτελεί το μέτρο της ενέργειας του φωτός που λαμβάνεται σε ένα σημείο στο επίπεδο του φιλμ καθώς το φιλμ εκτίθεται, σχηματίζοντας την εικόνα του σημείου επάνω στο φωτογραφικό γαλάκτωμα. Πρακτικά, ορίζεται ως το γινόμενο της έντασης  $J$  του φωτισμού της ακτινοβολίας που προσπίπτει στη φωτοευαίσθητη επιφάνεια επί το αντίστοιχο χρόνο  $\Delta t$  διάρκειας της έκθεσης.
- ⇒ Φωτογραφική διαχωριστική ικανότητα: Η διαχωριστική ικανότητα ή όπως αλλιώς αποκαλείται *χωρική ανάλυση* των αεροφωτογραφιών εξαρτάται:
- από τη διαχωριστική ικανότητα του φακού, που εξαρτάται από την ποιότητα κατασκευής του φακού
  - τη διαχωριστική ικανότητα του φιλμ, η οποία εξαρτάται από το είδος των κρυσταλλικών φωτοευαίσθητων κόκκων και από το μέγεθος τους
  - την επιπεδότητα του φιλμ
  - τις ατμοσφαιρικές συνθήκες
  - την κίνηση και τις διαταράξεις του αεροσκάφους (Μερτίκας, 2006).

### 1.6.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΜΗΧΑΝΩΝ

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούν με λεπτομέρεια τα κύρια μέρη, αλλά και βασικά χαρακτηριστικά των φωτομηχανών, που αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των αεροφωτογραφίσεων.

Έτσι λοιπόν, οι φωτομηχανές (μετρικές κάμερες), που κατασκευάζονται ειδικά για φωτογραμμετρικές εφαρμογές, αποτελούν όργανα ακριβείας, τα οποία χαρακτηρίζονται από τα εξής μέρη: το θάλαμο, ο οποίος περιλαμβάνει το σύστημα φωτογράφισης, δηλαδή το φακό, το διάφραγμα, το κλείστρο, το φίλτρο και την αυτόματη φωτομέτρηση, την αποθήκη φωτογραφικού υλικού, το σύστημα επιπέδωσης του φιλμ, καθώς και τη βάση στήριξης (σύστημα ανάρτησης και προσανατολισμού).

Στην ακρίβεια των μηχανών αυτών συμβάλει η γνωστή εσωτερική τους γεωμετρία, τα εικονοσήματα, που φέρουν και τα οποία βοηθούν στην αναγωγή των εικόνων σε ένα σύστημα αναφοράς· στη μικρή και γνωστή, μέσω του πιστοποιητικού βαθμονόμησης, παραμόρφωση των φακών (ακτινική διαστρόφη), στην επιπεδότητα του φιλμ, η οποία είναι απαραίτητη για την όσο το δυνατόν μικρότερη ύπαρξη γεωμετρικών

σφαλμάτων και στο μεγάλο μέγεθος του αρνητικού, το οποίο προσφέρει αυξημένο χώρο για την κάλυψη του αντικειμένου.

Ασφαλώς, όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούνται σε φωτογραμμομετρικές εφαρμογές δεν είναι μετρικές, αλλά υπάρχουν ακόμη οι ημι-μετρικές κάμερες, όπως και οι κάμερες του εμπορίου που δεν είναι μετρικές. Η διαφορά αυτών των καμερών είναι η άγνωστη γεωμετρία τους και η μικρότερη ακρίβεια τους. Ωστόσο, οι τελευταίες είναι πολύ μικρότερες σε μέγεθος και βάρος και αρκετά οικονομικότερες, γεγονός που τις καθιστά ελκυστικές προς χρήση σε εφαρμογές, που δεν απαιτούν τεράστια ακρίβεια. Παράλληλα, η τεχνολογική εξέλιξη, τόσο όσον αφορά τις μηχανές του εμπορίου καθαυτές, όσο και τα σύγχρονα λογισμικά επίλυσης των ψηφιακών φωτογραμμετρικών μετρήσεων, βοηθάει στη σύγκλιση ποιότητας μεταξύ αυτών.

#### 1.6.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Οι αεροφωτογραφίες χωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με τον προσανατολισμό, το φιλμ και τους φακούς. Πιο συγκεκριμένα:

Ανάλογα με τον προσανατολισμό οι αεροφωτογραφίες διακρίνονται στις *κατακόρυφες*, όπου ο οπτικός άξονας της φωτομηχανής είναι κατακόρυφος ή σχεδόν κατακόρυφος (κλίση  $< 3^\circ$ ), στις *κεκλιμένες*, των οποίων ο οπτικός άξονας είναι κεκλιμένος ως προς την κατακόρυφο και η κλίση φτάνει μέχρι και  $45^\circ$ , χωρίς όμως να απεικονίζεται στη φωτογραφία ο οριζόντιος άξονας του τόπου και τέλος, στις *πλάγιες* αεροφωτογραφίες των οποίων η κλίση είναι  $> 45^\circ$ , απεικονίζοντας τον ορίζοντα του τόπου.

Ανάλογα με το φιλμ οι αεροφωτογραφίες διακρίνονται στις *παγχρωματικές* (ασπρόμαυρες), στις *υπέρυθρες*, στις *έγχρωμες* και στις *έγχρωμες υπέρυθρες*. Η καταγραφή των πρώτων γίνεται από μήκη κύματος  $\lambda=0,3-0,7\mu\text{m}$  του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και ο βαθμός ευαισθησίας του φιλμ είναι ομοιόμορφος σε όλη την έκταση της εικόνας, ενώ απεικονίζουν μόνο τις μεταβολές της φωτεινότητας του φωτεινού πεδίου. Οι παγχρωματικές αεροφωτογραφίες είναι χρήσιμες κυρίως για χαρτογραφήσεις και φωτοερμηνεία, συνήθως όμως δεν είναι ευαίσθητες στο πράσινο χρώμα του φωτός, με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλες για την ερμηνεία της φυσικής βλάστησης.

Από την άλλη πλευρά, η καταγραφή των υπέρυθρων αεροφωτογραφιών γίνεται σε μήκη κύματος  $\lambda=0,6-0,9\mu\text{m}$ , ενώ μερικά φιλμ καταγράφουν μέχρι και  $\lambda=1,2\mu\text{m}$ ,

ενώ συγκριτικά με τις παγχρωματικές, αυτές είναι ευαίσθητες τόσο στο ορατό, όσο και στο εγγύς υπέρυθρο, με αποτέλεσμα να καθίστανται ιδιαίτερα χρήσιμες για την ερμηνεία και το διαχωρισμό των υδάτινων μαζών και της βλάστησης.

Οι έγχρωμες αεροφωτογραφίες αποτελούν πολύ χρήσιμες εικόνες, καθώς απεικονίζουν με απόλυτα πιστό τρόπο τα ορατά χρώματα που συναντώνται στη φύση, καθώς η καταγραφή τους γίνεται σε μήκη κύματος  $\lambda=0,3-0,7\mu\text{m}$  του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Τέλος, οι έγχρωμες υπέρυθρες φωτογραφίες ή, όπως αλλιώς καλούνται, ψευδοχρωματικές, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στο ορατό και το υπέρυθρο φάσμα και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς, καθώς γίνεται εύκολα διακριτό το καμουφλάζ (camouflage) από τα φυσικά φυλλώματα. Η καταγραφή των αεροφωτογραφιών αυτών γίνεται σε μήκη κύματος  $\lambda=0,3-0,9\mu\text{m}$  του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ανάλογα με τους φακούς οι φωτογραφικές μηχανές διακρίνονται σε τρεις διαφορετικούς τύπους, που είναι ο υπέρ-ευρυγώνιος τύπος, ο ευρυγώνιος και ο κανονικός. Στον υπέρ-ευρυγώνιο τύπο φωτομηχανής, η εστιακή απόσταση είναι 88mm, το μέγιστο γωνιακό εύρος είναι  $123^\circ$ , ενώ η κύρια χρήση αυτού του τύπου είναι η μεγάλη κάλυψη για μικρής κλίμακας χαρτογραφήσεις για πτήσεις κάτω από τα σύννεφα. Από την άλλη πλευρά, στον ευρυγώνιο τύπο, η εστιακή απόσταση είναι 150mm, με μέγιστο γωνιακό εύρος  $94^\circ$ , ενώ η κύρια εφαρμογή τους έγκειται στη λήψη μέτριας έως μεγάλης κλίμακας φωτογραφιών. Τέλος, στον κανονικό τύπο φωτογραφικής μηχανής η εστιακή απόσταση είναι 300mm, το μέγιστο γωνιακό εύρος είναι  $57^\circ$ , ενώ η βασική τους χρήση αναφέρεται στη λήψη γειτονικών φωτογραφιών με σκοπό τη δημιουργία φωτο-μωσαϊκών (Μερτίκας, 2006).

#### 1.6.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Οι αεροφωτογραφίες αποτελούν προοπτικές απεικονίσεις, οι οποίες δύναται να εμπεριέχουν μεγάλο αριθμό σφαλμάτων (αβεβαιοτήτων). Η ύπαρξη των αβεβαιοτήτων αυτών προέρχονται, κατά κύριο λόγο, από τις παραμορφώσεις της κλίμακας και τις μετατοπίσεις των εικονοσημείων, οι οποίες και οφείλονται στο τοπογραφικό ανάγλυφο.

Σε κάθε φωτομηχανή το πλαίσιο φέρει σταθερά σημεία, τα οποία φωτίζονται κατά την έκθεση και τα οποία απεικονίζονται στις αεροφωτογραφίες, καθορίζοντας με αυτόν τον τρόπο το κέντρο της κάθε αεροφωτογραφίας, αλλά και το ορθογώνιο

σύστημα συντεταγμένων. Εκτός των άλλων, περιφερειακά του πλαισίου αυτού εμφανίζεται ο αύξων αριθμός καταγραφής, ο χρόνος λήψης, η ημερομηνία, η εστιακή απόσταση, το ύψος πτήσης, καθώς και άλλα χρήσιμα στοιχεία για την ανάγνωση των αεροφωτογραφιών. Επιπλέον, το κέντρο της εικόνας ορίζεται από την τομή των ευθειών που συνδέουν τα σημεία, που βρίσκονται στο μέσο των απέναντι πλευρών του πλαισίου.

Όσον αφορά τις μετρήσεις και το τελικό αποτέλεσμα των αεροφωτογραφιών, αυτά εξαρτώνται από:

- ◆ τη φωτογραφική κλίμακα
- ◆ τη μετατόπιση του αναγλύφου
- ◆ το σχεδιασμό και την εκτέλεση των αεροφωτογραφήσεων
- ◆ τον υπολογισμό των υψών από τη στερεοσκοπική παράλλαξη.

Πιο συγκεκριμένα, η κλίμακα της αεροφωτογραφίας εκφράζεται ως ο λόγος της απόστασης μεταξύ δύο σημείων στην εικόνα προς την αντίστοιχη απόσταση στο έδαφος.

Από την άλλη πλευρά, η μετατόπιση του αναγλύφου αποτελεί ένα βασικό χαρακτηριστικό που παρατηρείται σε όλες τις αεροφωτογραφίες, κατά την οποία οι κορυφές όλων των επίγειων αντικειμένων μετατοπίζονται από τις βάσεις σε ακτινική διεύθυνση με κέντρο το πρωταρχικό εικονοστοιχείο (principal point) ή το κέντρο της φωτογραφίας.

Βασικό στοιχείο για το σχεδιασμό και την εκτέλεση των αεροφωτογραφήσεων αποτελεί η προετοιμασία ενός σχεδίου πτήσης, με τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνονται υπόψη τα διαθέσιμα όργανα, η κλίμακα, το κόστος, καθώς και η ποιότητα του τελικού αποτελέσματος, με βάση κυρίως εμπειρικούς κανόνες. Η διάταξη της λήψης είναι τέτοια ώστε οι λήψεις να λαμβάνονται κατά μήκος παράλληλων γραμμών πτήσης, που ισαπέχουν μεταξύ τους. Η επιλογή του ύψους των γραμμών αυτών γίνεται σε συνδυασμό με την εστιακή απόσταση της φωτομηχανής, με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή κλίμακα. Ως βάση των αεροφωτογραφιών ορίζεται η απόσταση μεταξύ των σημείων λήψης διαδοχικών εικόνων της ίδιας λωρίδας. Η βάση αυτή επιλέγεται με τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε φωτογραφία να επικαλύπτεται με την προηγούμενη κατά 60% περίπου, για επικάλυψη κατά μήκος (forward overlap), ενώ γειτονικές λήψεις προγραμματίζονται στην αντίθετη διεύθυνση πτήσης με πλευρική επικάλυψη (sidelap) γύρω στο 25-30%, κατά προσέγγιση. Για την επίτευξη των

κατάλληλων επικαλύψεων είναι απαραίτητο να υπολογιστούν τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα μεταξύ των επιμέρους λήψεων. Προκειμένου λοιπόν, να εκτελεσθεί ένα σχέδιο πτήσης είναι αναγκαίο να υπολογιστούν, η βάση λήψης, το συνολικό μήκος των γραμμών πτήσης, το χρονικό διάστημα μεταξύ των διαδοχικών εκθέσεων, η συνολική επιφάνεια αεροφωτογραφήσεων, ο συνολικός αριθμός ρολών φιλμ, ο χρόνος πτήσης, οι επικαλύψεις κ.α. Οι μεμονωμένες φωτογραφίες που προκύπτουν είναι δυνατό να συνενωθούν και να συνδυαστούν με τις γειτονικές φωτογραφίες, με αποτέλεσμα να δημιουργήσουν ένα φωτομωσαϊκό. Επικαλυπτόμενες φωτογραφίες παρέχουν τη δυνατότητα της δημιουργίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου της εικόνας, το λεγόμενο στερεομοντέλο (stereo-model), όπως αποκαλείται.

Με τη χρήση αυτών των μοντέλων μπορούν να εφαρμοστούν φωτογραμμετρικές τεχνικές για την ακριβή μέτρηση υψομετρικών διαφορών και θέσης σημείων εδάφους. Οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι, που στηρίζονται στη χρήση εικόνων για τη συλλογή μετρικών ή ποσοτικών πληροφοριών, απαιτούν μετρήσεις αποστάσεων ακριβείας και γωνιών στις εικόνες. Τα μήκη μετρούνται μεταξύ σημείων της εικόνας ή μεταξύ του κέντρου της εικόνας (πρωτεύον εικονοσημείο) και άλλων εικονοσημείων. Οι μετρήσεις αυτές διεξάγονται συνήθως χρησιμοποιώντας παραλλακτικές ράβδους ή ηλεκτρονικά, δίνοντας ακρίβεια καλύτερη του 0,2-0,1mm.

Για τη μέτρηση των υψών των αντικειμένων στις αεροφωτογραφίες, η πιο συνηθισμένη τεχνική είναι η μέτρηση της στερεοσκοπικής παράλλαξης σε ένα ζεύγος αεροφωτογραφιών. Κατά τη μέτρηση αυτή σε στερεο-ζεύγη είναι δυνατό να καθοριστούν δύο ειδών παραλλάξεις, η απόλυτη στερεοσκοπική, που μετριέται πάντοτε παράλληλα με τη γραμμή πτήσης και αποτελεί το άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ της βάσης συζυγών στόχων και των αντίστοιχων σημείων των ναδύρ της κάθε εικόνας και η διαφορική παράλλαξη, που αναφέρεται στη διαφορά της απόλυτης παράλλαξης στην κορυφή και στη βάση ενός αντικειμένου (στόχο) που μετριέται σε ένα στερεο-ζεύγος φωτογραφιών (Μερτίκας, 2006).

Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί μία ημι-αυτόματη μέθοδο της αναλυτικής φωτογραμμετρίας, η οποία με τη βοήθεια των στοιχείων της κάμερας, αλλά και του απεικονιζόμενου αντικειμένου, παρέχει μετρητική πληροφορία τριών διαστάσεων. Παρόλα αυτά, η διαδικασία εξαγωγής υψομετρικής πληροφορίας από τις αεροφωτογραφίες με τη χρήση ψηφιακών μεθόδων, διαφέρει σημαντικά. Στην περίπτωση της αναλυτικής μεθόδου, για παράδειγμα, η διαδικασία εξαγωγής υψομέτρων απαιτεί κοπιώδη εργασία από έμπειρο προσωπικό, ενώ κατά την ψηφιακή



μέθοδο, οι διεργασίες είναι αυτοματοποιημένες και οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού αποθηκεύονται αυτόματα, έχοντας τη δυνατότητα να ανακτηθούν εύκολα οποιαδήποτε στιγμή. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ψηφιακής μεθόδου, ωστόσο όμως, δεν ισχύει για την αναλυτική.

Κατά την ψηφιακή μέθοδο, η εξαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM), παρουσιάζει αρκετές αστοχίες στις περιπτώσεις σύνθετου αναγλύφου, πυκνής βλάστησης και άλλων φυσικών εμποδίων. Η χρήση αναλυτικού plotter προσφέρει μεγαλύτερη πιστότητα, ωστόσο, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της εξαγωγής υψομετρικής πληροφορίας, η αναλυτική διαδικασία χρειάζεται σημαντικά περισσότερο χρόνο (Ruzgiene, 2007).

Παρότι λοιπόν, η ψηφιακή μέθοδος έχει διαδοθεί ευρέως στη σημερινή εποχή, δεν έχει αντικαταστήσει πλήρως την αναλυτική μέθοδο, ενώ ακόμα σε ορισμένες τουλάχιστον εφαρμογές ένας συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων, είναι αποδοτικότερος απ' ό,τι κάθε μια ξεχωριστά.

Από την άλλη πλευρά, παράλληλα με τις παραπάνω τεχνολογίες, έχει αναπτυχθεί και εξελίσσεται συνεχώς, η φωτογραμμετρία Μη Επανδρωμένων Αεροχημάτων (UAV Photogrammetry), αποτελώντας ουσιαστικά, ένα εξελικτικό παρακλάδι της ψηφιακής φωτογραμμετρίας. Με μια πρώτη ματιά, η ουσιαστικότερη τροποποίηση φαίνεται να είναι η αυτόνομη, μη επανδρωμένη πτήση των οχημάτων αυτών, για τη συλλογή αεροφωτογραφιών, κάτι που ωστόσο καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων αυτών, εφόσον, λόγω της κατασκευής των εναέριων αυτών οχημάτων, δεν είναι δυνατή η ενσωμάτωση καθαρά φωτογραμμετρικών μηχανών σε αυτά.

Πιο συγκεκριμένα, λόγω του μικρού ωφέλιμου φορτίου τους, τα UAV χρησιμοποιούν φωτογραφικές μηχανές και συστήματα πλοήγησης χαμηλού μεγέθους και ακρίβειας (ιδιαίτερα τα συστήματα χαμηλού κόστους). Οι μηχανές αυτές δεν έχουν γνωστή γεωμετρία, τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού δεν είναι ακριβή, ενώ το πλάνο της πτήσης δεν είναι πάντα δυνατό να τηρηθεί, λόγω της αστάθειας των UAV, που με τη σειρά της οφείλεται κυρίως στο μικρό τους βάρος. Επιπλέον, τόσο οι γωνίες λήψης, όσο και η κλίμακα των εικόνων, οι οποίες είναι πολύ περισσότερες σε αριθμό συγκριτικά με αυτές που χρειάζονται για τη συλλογή πληροφορίας με τη χρήση τυπικών φωτογραμμετρικών μηχανών, διαφέρουν σημαντικά από φωτογραφία σε φωτογραφία. Όλα τα παραπάνω βέβαια, δημιουργούν την ανάγκη για επεξεργασίας του

υλικού με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που προσφέρουν τα λογισμικά της ψηφιακής φωτογραμμετρίας.

Ο αεροτριγωνισμός, λοιπόν, στην UAV φωτογραμμετρία γίνεται με αυτοματοποιημένες διαδικασίες, με τη βοήθεια λογισμικών της Όρασης Υπολογιστών (Computer Vision). Εισάγοντας στο λογισμικό τις αεροφωτογραφίες ενός ακανόνιστου φωτογραμμετρικού μπλοκ, είναι δυνατή η λήψη επικαλυπτόμενων εικόνων και των σημείων σύνδεσής τους για την επίλυση του μπλοκ με τη μέθοδο της δέσμης (Bundle Adjustment).

Η εύρεση των σημείων σύνδεσης μεταξύ των επικαλυπτόμενων εικόνων εντοπίζονται (με τη βοήθεια αλγορίθμων, όπως ο SIFT) τα σημεία αυτά των εικόνων που παραμένουν αμετάβλητα στις αλλαγές κλίμακας, περιστροφής και χρωματικής αντίθεσης. Γνωρίζοντας, πλέον, τα όμοια σημεία είναι δυνατός ο υπολογισμός του επιπολικού πίνακα (Fundamental Matrix) και του δεσμευμένου επιπολικού πίνακα (Essential Matrix) που με τη σειρά τους κάνουν γνωστά τα στοιχεία του προσανατολισμού και της κίνησης της κάμερας μεταξύ των λήψεων. Έτσι λοιπόν, επιτυγχάνεται ο σχετικός προσανατολισμός των εικόνων και των κοινών τους σημείων.

Έπειτα, με τη βοήθεια των φωτοσταθερών, καθίστανται δυνατοί ο προσωρινός εσωτερικός και εξωτερικός προσανατολισμός, στοιχεία δηλαδή που χρειάζονται για να επιλυθεί το μπλοκ με τη μέθοδο της δέσμης. Τέλος, είναι δυνατή και η εξαγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας (DSM), δηλαδή ενός «νέφους σημείων», και δεδομένου ότι οι αεροφωτογραφίες έχουν την κατάλληλη επικάλυψη (>50%), δύναται να παραχθούν τόσο ορθοεικόνες (μετατροπή των εικόνων σε ορθή προβολή), όσο και τρισδιάστατα μοντέλα (Τουρνάς, 2012· Παπαδόπουλος).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: LASER SCANNER

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η σάρωση με laser (laser scanning) είναι η διαδικασία της ακριβούς καταγραφής τρισδιάστατων πληροφοριών ενός αντικειμένου του πραγματικού κόσμου ή περιβάλλοντος. Οι επίγειοι σαρωτές laser ή laser scanners, όπως είναι ευρέως γνωστοί, είναι συσκευές που τοποθετούνται στο έδαφος και χρησιμοποιούνται για να σαρώσουν επιφάνειες πολύ μικρών αντικειμένων έως πολύ μεγάλα μνημεία ή ολόκληρες τοποθεσίες, καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος περιοχών. Τα laser scanners εκτελούν δειγματοληψία ή σαρώνουν την επιφάνεια ενός αντικειμένου σχεδόν ραγδαία, καταγράφοντας το σχήμα του, αλλά και τις οπτικές ιδιότητες του (ένταση και/ή RGB πληροφορίες). Στη συνέχεια, οι αποκτηθέντες πληροφορίες επιστρέφουν στη μονάδα ως μια πολυπληθής συλλογή των ακριβείς μετρημένων σημείων (X, Y, Z), τα οποία καλούνται ως ένα «νέφος σημείων» (point cloud).

Τα «νέφη σημείων» που προέρχονται από τα laser scanners περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών, ωστόσο, μπορούν επίσης να επεξεργαστούν για να δημιουργήσουν ακριβή τρισδιάστατα (3D) μοντέλα των αντικειμένων και του περιβάλλοντος χώρου αυτών, καθώς και ένα πλήθος από άλλα παράγωγα στοιχεία, που είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε ένα εύρος εφαρμογών.

Αναφορικά με τα laser scanners, περιλαμβάνουν τρεις κύριους τύπους τεχνολογίας της επίγειας σάρωσης που είναι οι εξής: ο Time of Flight ή TOF (χρόνος πτήσης), η διαφορά φάσης (Phase Shift) και ο τριγωνισμός (Triangulation). Η τεχνολογία αυτή σχετίζεται και με άλλους παράγοντες του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του εντοπισμού της απόστασης (acquisition distance) και της τιμής/ποσοστού (acquisition rate), καθώς και τα δεδομένα ανάλυσης. Πιο αναλυτικά:

❖ Time of Flight (TOF): η σάρωση με laser μακράς εμβέλειας εκτελείται από ένα σαρωτή Time of Flight. Σε ένα TOF σύστημα, μία ακτίνα laser αντανακλάται από μία συγκεκριμένη επιφάνεια και επιστρέφει πίσω στη μονάδα. Η απόσταση από την επιφάνεια υπολογίζεται από τον παλμό του TOF. Τα συστήματα TOF μπορούν να μετρήσουν σε μεγάλες αποστάσεις με συνηθισμένο εύρος 5-300μ, ενώ ορισμένα συστήματα είναι ικανά να μετρούν αντικείμενα σε απόσταση μεγαλύτερη από 1χλμ. Παρόλα αυτά, τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν συνήθως τις πιο αργές τιμές εντοπισμού. Η ακρίβεια της τεχνολογίας TOF καθορίζεται από την ικανότητα του συστήματος να μετράει ακριβώς το χρόνο του επιστρεφόμενου σήματος, με συνήθη

ακρίβεια 4-10χιλιοστά (χαμηλή ακρίβεια), ενώ η ακρίβεια των προδιαγραφών του ποικίλει στα διαφορετικά συστήματα.

Πρόσφατα συστήματα TOF περιλαμβάνουν επιπρόσθετα επιλογές/εναλλακτικές RGB λήψης, μέσω μιας εσωτερικής ή εξωτερικής κάμερας. Η εσωτερική έγχρωμη λήψη είναι συχνά ιδανικότερη, διότι η κάμερα είναι μηχανικά και μαθηματικά ευθυγραμμισμένη με το σύστημα καταγραφής laser, έτσι ώστε, η διαδικασία της προβολής των δεδομένων των εικόνων πάνω σε ένα «νέφος σημείων» να είναι αυτόματη και ακριβής. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα ενός εσωτερικού συστήματος είναι η ύπαρξη συχνά λιγότερων επιλογών ρύθμισης της κάμερας για την επίτευξη σταθερού χρώματος σε όλο το σύνολο σαρώσεων.

Μία εξωτερική κάμερα συνήθως σχετίζεται με την απόσπαση μίας ψηφιακής κάμερας ή ενός σαρωτή, απαιτώντας ένα σύνολο εικόνων, με σκοπό τη χαρτογράφηση των εικόνων πάνω στα δεδομένα στην επεξεργασία του λογισμικού. Η χαρτογραφική διαδικασία των εικόνων είναι δύσκολη διαδικασία, καθώς οι λανθασμένοι υπολογισμοί είναι δυνατό να δημιουργήσουν εσφαλμένες ευθυγραμμίσεις μεταξύ του «νέφους σημείων» και των δεδομένων των εικόνων. Ωστόσο, οι εξωτερικές φωτογραφικές μηχανές προσφέρουν περισσότερες επιλογές ρύθμισης, ενώ μάλιστα οι εικόνες μπορούν να διορθωθούν πιο εύκολα μέσω μιας διαδικασίας λογισμικού, αν είναι απαραίτητο. Επίσης, οι εξωτερικές κάμερες προσφέρουν συνήθως μεγαλύτερης ευκρίνειας εικόνες από ότι τα περισσότερα εσωτερικά συστήματα.

❖ Διαφορά φάσης (Phase Shift): Οι σαρωτές διαφοράς φάσης εκπέμπουν ακτίνα laser σε εναλλασσόμενες συχνότητες και μετράνε τη διαφορά μεταξύ των εκπεμπόμενων και των αντανακλώμενων σημάτων για να καθορίσουν την απόσταση από ένα αντικείμενο. Τα συστήματα αυτά έχουν ένα μέγιστο εύρος ίσο με τη επιβράδυνση φάσης ενός πλήρους ημιτονοειδούς κύματος. Το γεγονός αυτό περιορίζει το αποτελεσματικό εύρος των περισσότερων φάσεων των συστημάτων σε λιγότερο από 80μ ή 120μ για κάποια συστήματα με ένα συνηθισμένο εύρος 1-50μ. Τα εν λόγω συστήματα κατατάσσονται μεταξύ των πιο γρήγορων laser scanners με πολλά συστήματα να υποστηρίζουν ένα πλήθος τιμών πάνω από 100.000 σημεία/δευτερόλεπτο. Συνήθως, αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν ακόμα και μηχανοκίνητους ελέγχους, που επιτρέπουν αυτόματο εντοπισμό επιφανειών γύρω και πάνω από τους σαρωτές. Έτσι, τα συστήματα αυτά είναι ιδανικά για την καταγραφή εσωτερικών χώρων ή παρόμοιων περιορισμένων χώρων. Τα συστήματα αυτά, όπως και

τα συστήματα TOF, περιλαμβάνουν συνήθως επιλογές εσωτερικής ή εξωτερικής έγχρωμης λήψης.

Τα δύο παραπάνω συστήματα (Time of flight και Phase shift) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές επίγειας σάρωσης, όπου περιοχές ή δομές μεγαλύτερες των 5 μέτρων (πάνω από πολλά χιλιόμετρα) μπορούν να ερευνηθούν.

❖ Τριγωνισμός (Triangulation): Σαρωτές μικρού εύρους χρησιμοποιούνται για να σαρώσουν μεμονωμένα αντικείμενα (πχ κεραμικά αγγεία, εργαλεία κ.ά), επιγραφές και λεπτομερή αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά, όπως περίτεχνα κιονόκρανα. Οι πιο πολλοί σαρωτές μικρού εύρους λειτουργούν με βάση την αρχή του τριγωνισμού, όπου ένα laser εκπέμπεται και επιστρέφεται σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία σε μια CCD διάταξη μιας εσωλέμβιας φωτογραφικής μηχανής. Τα πιο πολλά συστήματα τριγωνισμού συνοδεύονται από ένα σύνολο φακών που τροποποιούν το οπτικό πεδίο του συστήματος. Τα συστήματα λευκού φωτός και περιθωριακής προστασίας χρησιμοποιούν την αρχή του τριγωνισμού. Τα τριγωνομετρικά συστήματα έχουν συνήθως ένα εύρος μεταξύ 0,5-2μ εξαιτίας του περιορισμένου οπτικού πεδίου μεταξύ του laser και της κάμερας, ενώ μπορούν να συλλέξουν δεδομένα με ακρίβεια μικρομέτρου. Τα πιο πολλά συστήματα τριγωνισμού συνδέονται επίσης, με μια επιλογή εσωτερικής RGB λήψης, ενώ για την ακριβή έγχρωμη λήψη κατά τη διάρκεια της σάρωσης ενός αντικειμένου πρέπει να χρησιμοποιείται μια επαγγελματική εγκατάσταση φωτισμού (Payne, 2009).

### 2.1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ LASER ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Στο παρόν υποκεφάλαιο δίνεται μια σύντομη περιγραφή των κατηγοριών laser και της ασφάλειας αυτών. Με λίγα λόγια, ποτέ δεν κοιτάζω άμεσα σε οποιοδήποτε laser, ανεξάρτητα από την κατηγορία laser.

- Κατηγορία 1: Οι σαρωτές πρώτης κατηγορίας (κλάσης) θεωρούνται ασφαλείς κάτω από όλες τις συνθήκες κανονικής χρήσης.
- Κατηγορία 1M: Οι σαρωτές της κατηγορίας αυτής θεωρούνται ασφαλείς κάτω από όλες τις συνθήκες, εκτός από την περίπτωση, όπου η δέσμη περνά μέσα από μεγεθυντικό φακό (magnifying optics).
- Κατηγορία 2: Οι σαρωτές δεύτερης κατηγορίας θεωρούνται ασφαλείς, διότι συνήθως προκαλούν ένα «αντανακλαστικό πετάρισμα» (blink reflex), το οποίο προστατεύει το μάτι.

- Κατηγορία 2M: Οι σαρωτές αυτοί θεωρούνται ασφαλείς, εξαιτίας του «αντανakλαστικού πεταρίσματος», εφόσον η δέσμη δεν περνά μέσα από μεγεθυντικό φακό (magnifying optics).
- Κατηγορία 3R: Οι σαρωτές αυτής της κατηγορίας θεωρούνται ασφαλείς, εάν χειρίζονται προσεκτικά και με περιορισμένη θέαση της δέσμης. Οι σαρωτές αυτοί μπορούν να είναι επικίνδυνοι, όταν εμπλέκεται η απευθείας θέαση της δέσμης.
- Κατηγορία 1-3R: Οι σαρωτές αυτοί θεωρούνται ασφαλείς για έρευνα, τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη.
- Κατηγορία 3B: Οι σαρωτές αυτής της κατηγορίας είναι επικίνδυνοι, στην περίπτωση της απευθείας θέαση της δέσμης, αν και οι διάχυτες αντανakλάσεις του laser θεωρούνται μη επικίνδυνες. Τα laser κατηγορίας 3B δεν είναι γενικά κατάλληλα για εφαρμογές έρευνας.
- Κατηγορία 4: Τα laser αυτής της κατηγορίας προκαλούν βλάβες στα μάτια και στο δέρμα, ως συνέπεια της απευθείας έκθεσης της ακτίνας. Οι σαρωτές της κατηγορίας αυτής δεν είναι επίσης κατάλληλες για εφαρμογές έρευνας (Payne, 2009).

### 2.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ LASER ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ

Με δεδομένη την εύθραυστη και διαχρονική φύση των αρχαιολογικών χώρων, των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς και των συναφών υλικών αγαθών, η σάρωση με laser προσφέρει εκπληκτικές δυνατότητες για την ψηφιακή καταγραφή και ανάλυση στην αρχαιολογία και τη συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Μια απλή σάρωση ενός ιστορικού μνημείου στη σημερινή του κατάσταση ή μια συλλογή από έργα τέχνης, εξασφαλίζει ότι ακόμα και αν η φυσική δομή των αντικείμενων εξαφανίζεται, ένα ψηφιακό αντίγραφο είναι παρόν για μελλοντικές παρατηρήσεις και αναλύσεις. Πολυάριθμες εργασίες στην αρχαιολογία έχουν χρησιμοποιήσει τη σάρωση ως ένα μέσο ψηφιακής τεκμηρίωσης, καθώς έχουν προωθήσει την αρχαιολογία στο ευρύ κοινό. Με τη σάρωση ενός αντικειμένου ή χώρου, η ψηφιακή εκδοχή του αντικειμένου μπορεί εύκολα να επανεξεταστεί, προβαλλόμενο από οποιαδήποτε γωνία ή κατεύθυνση, και να μοιραστεί εύκολα ή να διαδοθεί σε άλλους (Payne, 2009).

### 2.1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ LASER

Τα πλεονεκτήματα της σάρωσης με laser είναι ευρέως γνωστά και έχουν αναφερθεί σε πολυάριθμες δημοσιεύσεις. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα αυτά είναι τα εξής:

- Η σάρωση Laser παρέχει τη δυνατότητα να ληφθούν χιλιάδες μετρήσεων σε οποιαδήποτε επιφάνεια ή τοπίο, γρήγορα, με ακρίβεια και εξ' αποστάσεως.
- Το αποτέλεσμα από τη σάρωση παράγει ένα ψηφιακό, κλιμακωτό αντίγραφο του αρχικού αντικειμένου, το οποίο μπορεί να παρατηρηθεί και να αναλυθεί.
- Ορισμένοι σαρωτές αποκτούν RGB πληροφορίες, οι οποίες προσθέτουν μια επιπλέον φωτορεαλιστική ποιότητα στη σάρωση των μοντέλων, ενώ πολλά ακόμα δεδομένα καταγραφής της έντασης, μπορούν να βοηθήσουν στην ερμηνεία των υλικών.
- Ενώ τα δεδομένα σάρωσης laser αρχικά αντιμετωπίζονται ως ένα «νέφος σημείων», πολυάριθμα προϊόντα μπορούν να παραχθούν από τα δεδομένα, συμπεριλαμβάνοντας πολυγωνικά πλέγματα, εγκάρσιες τομές και υψηλής ακρίβειας μετρήσεις.
- Η σάρωση του λογισμικού επεξεργασίας (scan processing software) παρέχει πρόσθετες αναλύσεις και επιλογές μετρήσεων, όπως η εξαγωγή ή υπογράμμιση των χαρακτηριστικών ή υποενοτήτων ενός αντικειμένου ή αφαίρεση της πληροφορίας χρώματος από την επιφάνεια ενός αντικείμενου προκειμένου να αποκαλύψουν διακριτές λεπτομέρειες, που συχνά δεν είναι δυνατές σε ένα φυσικό αντικείμενο. Εν ολίγοις, η σωστή απόκτηση και επεξεργασία των δεδομένων σάρωσης laser, είναι σε θέση να παρέχει ένα ψηφιακό αντίγραφο ενός αντικειμένου ή συγκεκριμένου περιβάλλοντος, που μπορεί να προβληθεί και να αναλυθεί από ορισμένη απόσταση.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η σάρωση με laser έχει πολυάριθμα πλεονεκτήματα, ωστόσο, παρά το γεγονός αυτό, υπάρχουν περιορισμοί στην τεχνολογία laser, που θα πρέπει να εξετάζεται κατά την αξιολόγηση, κατά πόσο η σάρωση είναι κατάλληλη για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα:

- Ορισμένες επιφάνειες, όπως είναι οι σκούρες ή οι έντονα ανακλαστικές επιφάνειες, παρουσιάζουν μεγάλες δυσκολίες κατά τη σάρωση, διότι οι μεν πρώτες απορροφούν την ενέργεια laser, ενώ οι δεύτερες τείνουν να σκορπίζουν

την ακτίνα laser, με αποτέλεσμα τα επιστρεφόμενα δεδομένα να είναι θορυβώδη.

- Ημιδιαφανή υλικά, όπως είναι το μάρμαρο ή τα οστά, παρουσιάζουν επίσης δυσκολίες, καθώς η ακτίνα laser μπορεί να διεισδύσει μέσα σε αυτές τις επιφάνειες, προκαλώντας έτσι θορυβώδη δεδομένα για τις ομαλές επιφάνειες.

Δύο επιπλέον ζητήματα, σχετικά με τη σάρωση, είναι η απόκλιση της δέσμης και η επισκίαση των δεδομένων. Η απόκλιση της δέσμης αναφέρεται ουσιαστικά, στην επέκταση της ακτίνας laser (σε διάμετρο), καθώς αυτή κινείται έξω από το όργανο μέτρησης. Γενικά, η θέση ενός μετρούμενου σημείου που επιστρέφει στον αισθητήρα μπορεί να είναι οπουδήποτε μέσα στα όρια του μεγέθους της κηλίδας laser. Συνεπώς, τα δεδομένα σε μεγαλύτερη απόσταση μπορεί να είναι λιγότερο αξιόπιστα και λιγότερο ακριβή. Αν και υπάρχουν τρόποι για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της απόκλισης της δέσμης, παρόλα αυτά η απόκλιση της δέσμης εξακολουθεί να είναι ένα σημαντικό ζήτημα κατά τη διάρκεια της σάρωσης.

Από την άλλη πλευρά, η σκίαση των δεδομένων ή η σκίαση laser αποτελεί ένα ακόμα συνηθισμένο πρόβλημα της επίγεια σάρωσης με laser. Η ακτίνα laser ουσιαστικά δρα ως μια πηγή φωτός, η οποία κάνει τα αντικείμενα να επισκιάζονται το ένα με το άλλο και για να εμφανίζονται ως κενά στα δεδομένα. Οι επιπτώσεις της σκίασης laser μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με την απόκτηση πολλαπλών σαρώσεων από πολλαπλές γωνίες, ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, η σκίαση των δεδομένων είναι αναπόφευκτη (πχ όταν τα δέντρα ή η βλάστηση αναπτύσσονται πολύ κοντά σε μια δομή).

Επιπλέον, η σκίαση των δεδομένων μπορεί επίσης να προκύψει όταν περιορίζονται σημαντικά οι πλεονεκτικές θέσεις για τη σάρωση, όπως συμβαίνει στην περίπτωση, της σάρωσης των χαρακτηριστικών μιας στέγης ενός κτιρίου από το έδαφος, διότι θα υπάρχουν πάντα σκιερά τμήματα της οροφής, εκτός κι αν καταστεί διαθέσιμο ένα υψηλό πλεονεκτικό σημείο. Στις περιπτώσεις που είναι δυνατό, οι επιπτώσεις της σκίασης (κενά δεδομένων) θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται σε ένα έργο.

Τέλος, εκτός από τη συλλογή των μετρήσεων επιφάνειας για ένα αντικείμενο, σε πολλά συστήματα σάρωσης περιλαμβάνεται η ένταση, καθώς και οι πληροφορίες RGB. Τα δεδομένα έντασης αποτελούν ένα μέτρο της ανακλαστικής αξίας μιας επιφάνειας και συνήθως εμφανίζονται ως κλίμακα του γκρι, ενώ τα δεδομένα RGB εμφανίζονται με έντονα χρώματα. Τα δεδομένα RGB προσθέτουν μια φωτορεαλιστική ποιότητα στις σαρώσεις, ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι εξαιρετικά δύσκολο



να συγκεντρωθούν ακριβείς πληροφορίες χρώματος για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. Παρόλα αυτά, όταν συνδυάζονται πολλαπλές σαρώσεις σε όλη την έκταση ενός αντικειμένου ή δομής, είναι δυνατή η λήψη ενός ομοιόμορφου και σταθερού χρώματος σε όλη την έκταση του αντικειμένου (Payne, 2009).

#### *2.1.4 ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ*

Τα σύνολα δεδομένων του «νέφους σημείων», τα οποία προκύπτουν από σαρωτές Laser σπάνια χρησιμοποιούνται σε ακατέργαστη μορφή. Συνήθως, οι μεμονωμένες σαρώσεις καταχωρούνται σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων και το «νέφος σημείων» χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί ένας μεγάλος αριθμός προϊόντων. Τα προϊόντα που προέρχονται από τα δεδομένα σάρωσης μπορεί να ποικίλουν μεταξύ των επιμέρους σχεδίων, ενώ μπορεί να περιλαμβάνουν πολυγωνικά μοντέλα, τα οποία εξάγουν μετρήσεις και χαρακτηριστικά, μοντέλα CAD, βίντεο, απεικονίσεις και πολλά άλλα. Τα προϊόντα αυτά μπορεί να παράγονται σε διαφορετικά στάδια στον αγωγό επεξεργασίας και γι' αυτό το λόγο, είναι απαραίτητο να τεκμηριώνονται τα βασικά βήματα επεξεργασίας που επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Payne, 2009).

#### *2.1.5 ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ*

Από τη στιγμή που ένα σύνολο δεδομένων «νέφους σημείων», που προκύπτει από τη σάρωση έχει καταχωρηθεί, στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή διαφορετικών προϊόντων. Το σύνολο αυτό των δεδομένων είναι συνήθως ορατό μόνο στο λογισμικό, στο οποίο χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του, έτσι ώστε να δίνεται έμφαση στη δημιουργία ή την εξαγωγή προϊόντων από το «νέφος σημείων» που είναι χρήσιμα σε άλλες εφαρμογές. Για τα μικρότερα τεχνουργήματα ή αντικείμενα, το πιο χαρακτηριστικό προϊόν είναι ένα πολυγωνικό πλέγμα, το οποίο δημιουργείται από τη σύνδεση γειτονικών σημείων για να δημιουργήσει μια επιφάνεια αναπαράστασης ενός αντικειμένου. Η διαδικασία αυτή της δημιουργίας και του καθαρισμού ενός πλέγματος είναι πολύ περίπλοκη. Για μεγαλύτερες δομές και ολόκληρες τοποθεσίες, η ροή επεξεργασίας ποικίλει λίγο περισσότερο. Διαφορετικά παραδοτέα στοιχεία μπορεί να περιλαμβάνουν ένα πολυγωνικό πλέγμα, σχέδια 2D CAD (κατόψεις, όψεις, και τμήματα), σχέδια 3D CAD (πλήρης μοντέλα επιφανειών),

ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEMs), εγκάρσιες τομές ή απεικονίσεις του συνόλου δεδομένων. Είτε το εγγεγραμμένο «νέφος σημείων», είτε ένα προϊόν πλέγματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει τα διαφορετικά παραδοτέα στοιχεία που αναφέρονται παραπάνω (Payne, 2009).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (UAS)

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο αγγλικός όρος Unmanned Aerial Vehicle ανταποκρίνεται στον όρο Μη Επανδρωμένο Αεροναυτικό Όχημα, που αποτελεί ένα αεροσκάφος, σχεδιασμένο να λειτουργεί χωρίς την παρουσία του ανθρώπου σε αυτό (Φλιούκα, 2013). Σύμφωνα με τον Austin (2010), το όχημα είναι ένα από τα υποσυστήματα αυτού που ονομάζεται Μη Επανδρωμένο Αεροναυτικό Σύστημα (Unmanned Aerial System - UAS). Άλλα υποσυστήματα του συστήματος αυτού είναι ο επίγειος σταθμός ελέγχου, τα υποσυστήματα εκτόξευσης υποστήριξης, επικοινωνίας και άλλα. Με τη σειρά του, το μη επανδρωμένο αεροναυτικό σύστημα αποτελεί μέρος ενός τοπικού ή και παγκόσμιου περιβάλλοντος αεροπλοΐας, το οποίο διαθέτει τους δικούς του κανόνες. Το μη επανδρωμένο αεροναυτικό σύστημα θα πρέπει να διαχωριστεί από αυτό που συχνά αναφέρεται ως «drone», καθώς τα μη επανδρωμένα αεροναυτικά συστήματα διαθέτουν, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, «νοημοσύνη» που δεν διαθέτουν τα «drones». Πιο συγκεκριμένα, έχουν τη δυνατότητα να στέλνουν πληροφορία σε πραγματικό χρόνο εν ώρα πτήσης, είτε σχετικά με την κατάσταση πτήσης τους (θέση, ταχύτητα, υψόμετρο κλπ) και τη γενικότερη κατάσταση τους (καύσιμα – μπαταρία, θερμοκρασία της μηχανής, των ηλεκτρονικών μερών κλπ), είτε σχετικά με τα δεδομένα που συγκεντρώνουν κατά την πτήση τους (φωτογραφίες, βίντεο κλπ). Τέλος, παρέχουν τη δυνατότητα διάγνωσης σφαλμάτων και αυτόματων ενεργειών διόρθωσης τους (Austin, 2010).

Τα UAS, παρότι αποτελούν ένα σύνολο υποσυστημάτων, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κατηγοριοποιούνται συνήθως με βάση το μέγεθος του αεροσκάφους και των δυνατοτήτων τους. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ένας βασικός διαχωρισμός αυτών.

**Πίνακας 3.1.1:** Κατηγοριοποίηση των UAVs, βάση των δυνατοτήτων τους (κατά Bento, 2008)

	Κατηγορία	Μέγιστη Μάζα Απογείωσης (kg)	Μέγιστο Ύψος Πτήσης (m)	Αυτονομία (Ωρες)	Ραδιοζεύξη (km)
<b>Micro/Mini UAVs</b>	Micro	0.1	250	1	<10
	Mini	<30	150-300	<2	<10
<b>Tactical UAVs</b>	Κοντινής Εμβέλειας	150	3000	2-4	10-30
	Μικρής Εμβέλειας	200	3000	3-6	30-70
	Μέσης Εμβέλειας	150-500	3000-5000	6-10	7-200
	Μεγάλης Εμβέλειας		5000	6-13	200-500
	Endurance	500-1500	5000-8000	12-24	>500
	Μέσου Ύψους, Μεγάλης Αυτονομίας	1000-1500	5000-8000	24-48	>500
<b>Strategic UAVs</b>	Μεγάλου Ύψους, Μεγάλης Αυτονομίας	2500-12500	15000-20000	24-48	>2000
<b>Special Task UAVs</b>	Lethal	250	3000-4000	3-4	300
	Decoys	250	50-5000	<4	0-500
	Stratospheric	TBD	20000-30000	>48	>2000
	Exo-strato-spheric	TBD	>30000	TBD	TBD

**Πίνακας 3.1.2:** Τύποι αεροσκαφών (Eisenbeiss 2009· Φλιούκα, 2013)

Ελαφρύτερα του Αέρα	Βαρύτερα του Αέρα		
	Ευέλικτων Πτερυγών (Flexible Wing)	Σταθερών Πτερυγών (Fixed Wing)	Περιστρεφόμενων Πτερυγών (Rotary Wing)
Μπαλόνη (Ballon)	Αιωρόπτερο (Hang Glider)	Ανεμόπτερα (Gliders)	Χαρταετός με ρότορα (Rotor-Kite)
Αερόπλοιο (Airship)	Παραπέντε	Προπέλα (Propeller)	Με έναν ρότορα (Single rotors)
	Χαρταετοί (Kites)	Μηχανοκίνητα (Jet Engines)	Με δύο ρότορες - Ομοαξονικά (Coaxial)
			Με τεσσέρις ρότορες (quadrotors)
			Με πολλούς ρότορες (Multi-rotors)

Τα UAV περιστρεφόμενων πτερύγων, σε αντίθεση με αυτά των σταθερών πτερύγων, έχουν μεγαλύτερη ευελιξία και ποικιλία ελιγμών, καθιστώντας τα έτσι ικανά να πετάξουν πιο κοντά στα επιμέρους αντικείμενα. Ωστόσο, τα UAV σταθερών πτερύγων έχουν συνήθως μεγαλύτερη αυτονομία, καλύπτοντας μεγαλύτερες αποστάσεις και ύψη. Τα μη τροφοδοτούμενα (ανεμόπτερα και μπαλόνια) ελέγχονται με σκοινιά, γεγονός που υποδηλώνει ότι η απόσταση και το ύψος της αυτονομίας τους από το χειριστή τους είναι περιορισμένα. Ακόμη, η οριζόντια κίνησή τους καθορίζεται αναγκαστικά από την αντίστοιχη του χειριστή τους. Τέλος, είναι πιο ευάλωτα στον αέρα. Τα τροφοδοτούμενα αερόπλοια από την άλλη, έχουν μεγαλύτερη αυτονομία και από τις τρεις προαναφερθείσες κατηγορίες UAV. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτών, όπως και των τροφοδοτούμενων ανεμόπτερων, είναι η εξάρτησή τους από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Μία τρίτη κατηγοριοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί βάσει των ενσωματωμένων αισθητήρων, που επηρεάζουν άμεσα την επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων. Η χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους συνεπάγεται ουσιαστικά, την εκ των υστέρων γεωαναφορά του υλικού, ενώ η υψηλής ποιότητας αισθητήρες (DGPS και Navigation Grade IMUs) δίνουν δυνατότητα άμεσης γεωαναφοράς (Eisenbeiss, 2011).

Τα μη επανδρωμένα αεροναυτικά συστήματα, εξ' ορισμού, έχουν λόγο ύπαρξης μόνο αν πλεονεκτούν έναντι των αντίστοιχων επανδρωμένων, που σχεδιάζονται για συγκεκριμένες χρήσεις και αποστολές κατά τις οποίες η ανθρώπινη παρουσία, για διάφορους λόγους, είναι προτιμότερο να απουσιάζει. Τέτοιες χρήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν εκτεταμένες βάρδιες παρακολούθησης, το ψεκασμό καλλιεργειών, την περιβαλλοντική έρευνα, με σκοπό τον εντοπισμό χημικής μόλυνσης, αναγνωριστικές – κατασκοπευτικές πτήσεις του στρατού ή της αστυνομίας κλπ. Παρακάμπτοντας τις πολλαπλές στρατιωτικές εφαρμογές τους παρακάτω αναφέρονται κάποιες από τις εμπορικές και πολιτικές χρήσεις των UAV:

- Αεροφωτογραφία (λήψη κινούμενων και μη εικόνων για διάφορες χρήσεις πχ για κινηματογραφικές ταινίες)
- Γεωργία (ψεκασμός καλλιεργειών, παρακολούθηση κοπαδιών, γεωργία ακριβείας κ.ά.)
- Ακτοφυλακή (παρακολούθηση ακτογραμμής, διασώσεις κ.ά.)
- Τελωνεία (επιτήρηση για παράνομες εισαγωγές)
- Ηλεκτροδότηση (επιθεώρηση του δικτύου)

- Πυρόσβεση (ανίχνευση πυρκαγιών)
- Γεωγραφική, γεωλογική, αρχαιολογική τοπογράφηση (Austin, 2010).

### 3.1.1 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ UAV

Ως πλεονέκτημα των μη επανδρωμένων αεροναυτικών οχημάτων λογίζεται ότι:

- Μπορούν να πετάξουν σε περιοχές είτε απροσπέλαστες από τα επανδρωμένα αεροσκάφη, είτε επικίνδυνες για το πλήρωμά τους, όπως για παράδειγμα πάνω από βουνά, ηφαιστειογενείς και σεισμογενείς περιοχές, πάνω από τοποθεσίες ατυχημάτων πλημμυρών, ερήμους κ.ά.
- Σε γενικές γραμμές είναι λιγότερο ακριβά και με μικρότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης σε σχέση με τα επανδρωμένα. Για παράδειγμα, για τις φωτογραμμετρικές εφαρμογές μικρής κλίμακας, το κόστος του εξοπλισμού τους δεν ξεπερνάει τις περισσότερες φορές τα €30.000.
- Επίσης, δεν επηρεάζονται από τη νεφοκάλυψη, καθώς μπορούν να πετάξουν σε ύψος χαμηλότερο των νεφών.
- Έχουν δυνατότητα λήψης δεδομένων σε μικρό ή και πραγματικό χρόνο.

Ως μειονεκτήματα των μη επανδρωμένων αεροναυτικών οχημάτων μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- Λόγω του περιορισμένου βάρους τους και των μικρών διαστάσεων τους, τα οποία συνεπάγονται μικρό ωφέλιμο φορτίο, φέρουν συνήθως μικρές ερασιτεχνικές κάμερες, οι οποίες δε διαθέτουν σταθερή γεωμετρία, αλλά ούτε και την ίδια ποιότητα εικόνας με τις σύγχρονες φωτογραμμετρικές μηχανές.
- Επιπλέον, εξαιτίας των μικρών κινητήρων τους, παρουσιάζουν μειωμένη ταχύτητα, εμβέλεια και ύψος πτήσης.
- Τα μικρού μεγέθους και χαμηλής ακρίβειας συστήματα πλοήγησής τους, επηρεάζουν τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων, οι οποίες, λόγω της διαφορετικής φιλοσοφίας στη λήψη τους σε σχέση με την κλασική εναέρια φωτογραμμετρία, είναι ασύμβατες με τα λογισμικά ψηφιακής φωτογραμμετρίας.
- Τέλος, ως συνεπεία του μικρού μεγέθους και βάρους τους, παρουσιάζουν αστάθεια κατά την πτήση τους λόγω του ανέμου (Eisenbeiss, 2011· Τουρνάς, 2012)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 ΠΕΡΙ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑΣ

Η επιστήμη της αρχαιολογίας δεν αναφέρεται απλά και μόνο στην ανακάλυψη των θησαυρών του παρελθόντος, αλλά και στη διεξοδική εργασία του επιστημονικού αναλυτή και την εξάσκηση της δημιουργικής φαντασίας. Απαιτεί τόσο τη σωματική δραστηριότητα στο ύπαιθρο, όσο και την πνευματική εργασία στη βιβλιοθήκη ή στο εργαστήριο. Είναι η επιστήμη, που χαρακτηρίζεται από μια συναρπαστική και αέναη αναζήτηση γνώσης για τον άνθρωπο και το παρελθόν του, αποτελώντας τόσο μια ανθρωπιστική, όσο και μια ιστορική επιστήμη. Για το λόγο αυτό, συμβάλλει όχι μόνο στην κατανόηση της προϊστορίας, αλλά και των πιο πρόσφατων ιστορικών περιόδων.

Στη σημερινή εποχή, περιλαμβάνει πλήθος διαφορετικών «αρχαιολογιών» (περιβαλλοντική, υποβρύχια, εθνοαρχαιολογία), οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με κοινές μεθόδους και προσεγγίσεις. Κύριοι στόχοι της αρχαιολογίας είναι να αναδημιουργήσει τον υλικό πολιτισμό πεπερασμένων χρόνων ή να συμπληρώσει την εικόνα των πιο πρόσφατων περιόδων, να αναπαραστήσει τον τρόπο ζωής των λαών που έδρασαν κατά το παρελθόν, αλλά και να κατανοήσει το λόγο που έζησαν με αυτόν τον τρόπο και να ερμηνεύσει την πολιτισμική αυτή μεταβολή από εκείνη την εποχή έως σήμερα (Renfrew and Bahn, 1991).

### 4.2 ΕΡΕΥΝΑ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΘΕΣΣΕΩΝ

Η έρευνα και η ανακάλυψη των αρχαιολογικών χώρων, αποτελούν πολυσύνθετες διαδικασίες, οι οποίες απαιτούν ένα ισχυρά γνωστικό υπόβαθρο και πληθώρα πληροφοριών για το ιστορικό, αλλά ακόμα και για το προϊστορικό παρελθόν (πριν την ανακάλυψη της γραφής), γεγονός που οφείλεται στις μεθόδους της αρχαιολογίας, που συνεχώς εξελίσσονται.

Η ιστορία της αρχαιολογίας αποτελεί μια ιστορία ιδεών, θεωριών και τρόπων θεώρησης του παρελθόντος, καθώς και μια ιστορία ανάπτυξης των μεθόδων έρευνας, επιστράτευσης αυτών των ιδεών και διερεύνησης των ερωτήσεων, που θέτονται διαρκώς, επιζητώντας μία σαφή απάντηση. Εκτός των άλλων όμως, πρόκειται για μια ιστορία των πραγματικών ανακαλύψεων. Στην πραγματικότητα, όλα τα παραπάνω γνωστικά πεδία συνδέονται μεταξύ τους και εξαρτώνται έως ένα βαθμό το ένα από το

άλλο. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, κάθε αντίληψη που επικρατεί για το παρελθόν, αποτελεί απλά και μόνο ένα προϊόν της εποχής του, καθώς οι παρούσες μέθοδοι της αρχαιολογικής έρευνας, αναφέρονται σε ένα μικρό τμήμα της εξελικτικής τροχιάς, όπου με το πέρασμα του χρόνου θα θεωρούνται πλέον απαρχαιωμένες.

Ο εντοπισμός αυτός και η καταγραφή των αρχαιολογικών θέσεων αποτελεί κατά κύριο λόγο, καθήκον των αρχαιολόγων, καθώς είναι αυτοί που ασχολούνται συστηματικά με την έρευνα και την καταγραφή των χαρακτηριστικών στοιχείων των θέσεων αυτών. Κυρίαρχη μέθοδος για την ανακάλυψη τέτοιων θέσεων, αποτελεί η *αναγνώριση από εδάφους*, που διεξάγεται στο επίπεδο του εδάφους και η *αναγνώριση από αέρα*, για την ανακάλυψη από τον αέρα ή το διάστημα. Όσον αφορά την αναγνώριση από εδάφους, οι μέθοδοι που λαμβάνονται υπόψη περιλαμβάνουν τη μελέτη των γραπτών πηγών και των τοπωνυμικών ενδείξεων, αλλά κυρίως την επιτόπια έρευνα, δηλαδή είτε την προσεκτική εξέταση της διαδοχής των κτηρίων στη σωστική αρχαιολογία, είτε την αναγνωριστική τοπογραφική έρευνα.

Από την άλλη πλευρά, όσον αφορά την αναγνώριση από αέρα, που στηρίζεται στη χρήση των *αεροφωτογραφιών*, αυτές δεν συμβάλλουν στην ανακάλυψη των αρχαιολογικών θέσεων, αλλά στην καταγραφή και στην ερμηνεία αυτών, καθώς και στις μεταβολές που υφίστανται με το πέρασμα του χρόνου. Αναμφίβολα, οι αεροφωτογραφίες χρησιμοποιήθηκαν, κατά το παρελθόν, ως ένα σημαντικό μέσο για την ανακάλυψη μεγάλου αριθμού αρχαιολογικών θέσεων, ενώ εξακολουθούν να αποτελούν ένα πανίσχυρο και πολύτιμο εργαλείο στα χέρια των αρχαιολόγων. Οι φωτογραφίες καθαυτές ωστόσο, δεν είναι σε θέση να αποκαλύψουν θέσεις, άλλα απαιτούν την ύπαρξη έμπειρων ερμηνευτών, ικανών για τον εντοπισμό αρχαιολογικών στοιχείων που τυχόν αποτυπώνονται σε αυτές.

Στην αρχαιολογία, οι δύο τύποι αεροφωτογραφιών που χρησιμοποιούνται, οι κάθετες και οι διαγώνιες, παρουσιάζουν διαφορετικά πλεονεκτήματα, εξυπηρετώντας η κάθε μία συγκεκριμένες ανάγκες.

- Κάθετες: οι κάθετες φωτογραφίες, συμβάλλουν με αποδοτικότερο τρόπο στο σχεδιασμό σχεδίων, καθώς και στη χαρτογράφηση και αποτύπωση κατόψεων των θέσεων αυτών, λόγω της συγκεκριμένης οπτικής γωνίας που παρέχουν.
- Διαγώνιες: οι διαγώνιες αεροφωτογραφίες, που λαμβάνονται υπό γωνία, αποκαλύπτουν ισούψεις καμπύλες του εδάφους, παρέχοντας μια καλύτερη προοπτική και απόδοση της εικόνας, με αποτέλεσμα να είναι καταλληλότερες για ανακάλυψη νέων αρχαιολογικών θέσεων.



Γενικά, οι διαγώνιες αεροφωτογραφίες μεταβάλλονται δυσκολότερα σε χάρτες, διότι αλλοιώνουν την προοπτική, ωστόσο, χρησιμοποιώντας τη σύγχρονη τεχνολογία και σχετικά προγράμματα υπολογιστή, πολλά στοιχεία αυτών των εικόνων, μπορούν εύκολα, πλέον, να χαρτογραφηθούν. Εκτός αυτού, οι εικόνες που προέρχονται από τη χρήση υπολογιστών βελτιώνουν τη διαύγεια και την αντίθεση τους, ενώ μέσω της ψηφιοποίησης των εικόνων μπορούν να εξαιρούνται άμεσα και αποτελεσματικά συγκεκριμένα στοιχεία ενδιαφέροντος.

Παρόλο, που για τις ανάγκες της αρχαιολογίας χρησιμοποιείται ακόμα το ασπρόμαυρο, ευαίσθητο σε όλα τα χρώματα, φιλμ, διότι είναι οικονομικότερο και παρέχει υψηλότερη ανάλυση, αξίζει να χρησιμοποιείται παράλληλα και το υπέρυθρο φιλμ, που ανιχνεύει την αντανακλώμενη ακτινοβολία από τον ήλιο, φανερώνοντας χρωματικές διαφορές, κυρίως στις καλλιέργειες δημητριακών. Νέες καινοτομίες συμπεριλαμβάνουν ψεύτικο χρώμα και φωτομικρογραφικό έγχρωμο φιλμ, ακουστική ολογραφία και μελέτη των αρνητικών με οπτικό φίλτράρισμα και laser. Η θερμική απόδοση (θερμογραφία), που χρησιμοποιεί αισθητήρια θερμότητα σε αεροσκάφος, αποτελεί μια μη φωτογραφική τεχνική, που καταγράφει τη θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους με τη βοήθεια ενός ανιχνευτή, μέσω του οποίου θερμότερες περιοχές εμφανίζονται με λευκό χρώμα στην εικόνα. Οι μεταβολές αυτές της θερμοκρασίας του εδάφους προκαλούνται, κατά κύριο λόγο, από θαμμένες κατασκευές και περιοχές με διαφορετική περιεκτικότητα σε νερό. Σήμερα, ωστόσο, η συμβατική αεροφωτογραφία εξακολουθεί να αποτελεί την πιο συνηθισμένη και οικονομικά αποτελεσματική τεχνική της αναγνώρισης από αέρος για τους περισσότερους αρχαιολογικούς σκοπούς.

Από την άλλη πλευρά, οι αεροφωτογραφίες που λαμβάνονται από δορυφόρους έχουν περιορισμένη εφαρμογή στην αρχαιολογία, λόγω της τεράστιας κλίμακάς τους, ωστόσο, οι εικόνες που προέρχονται από τους δορυφόρους LANDSAT (Τεχνολογία Γήινων Πόρων), έχουν αποδεχτεί αρκετά χρήσιμες. Οι ανιχνευτές αυτών, καταγράφουν την ένταση του αντανακλώμενου φωτός και την υπέρυθρη ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης και τα μετατρέπουν ηλεκτρονικά σε φωτογραφικές εικόνες, με αποτέλεσμα να έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση στοιχείων μεγάλης κλίμακας, όπως για παράδειγμα για τα αρχαία συστήματα φραγμάτων στη Μεσοποταμία. Παρόλα αυτά, όσο οι φωτογραφίες αυτές εξακολουθούν να είναι δαπανηρές, η παραδοσιακή αεροφωτογραφία συνεχίζει να κατέχει κυρίαρχο ρόλο στην αναγνώριση από αέρος, έως ότου μελλοντικά, λόγω των εξελιγμένων εναέριων τεχνικών μέτρησης από απόσταση, να καταστούν φθηνότερες και περισσότερο διαδεδομένες (Renfrew and Bahn, 1991).

#### 4.3 ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

Λαμβάνοντας όλα τα παραπάνω υπόψη, προκύπτει ότι, οι διαγώνιες αεροφωτογραφίες, που λαμβάνονται από αεροπλάνα ή αερόστατα σε χαμηλό υψόμετρο, αποτελούν το βασικό τρόπο ανακάλυψης μιας αρχαιολογικής θέσης από αέρος, καθώς παρέχουν καλύτερη προοπτική και οπτικό αποτέλεσμα σε αντίθεση με τις κάθετες φωτογραφίες. Πρακτικά λοιπόν, οι σκιασμένες θέσεις που παρατηρούνται επί των εικόνων, αντιστοιχούν συνήθως στα πιο φανερά αρχαιολογικά στοιχεία στο τοπίο, αποτελώντας ένα πρώτο κατατοπιστικό στοιχείο για την ανακάλυψη. Έτσι λοιπόν, όπου υπάρχουν τοίχοι ή αναχώματα, το φως του ήλιου νωρίς το πρωί ή αργά το απόγευμα τονίζει τα σημεία ενδιαφέροντος, αποδίδοντας το γενικό τους περίγραμμα. Από την άλλη πλευρά, οι πλαγιές που αντικρίζουν τον ήλιο είναι πολύ φωτεινές και ρίχνουν μακριές σκιές, ενώ τα βαθουλώματα είναι επίσης σκιασμένα.

Ένα δεύτερο αρχαιολογικό στοιχείο, που είναι κυρίως ορατό από αέρος, είναι οι καλλιεργήσιμες θέσεις ή θέσεις με ίχνη καλλιέργειας. Στην περίπτωση αυτή, το διαφορετικό ύψος, η ένταση και ο τύπος της σοδειάς ή άλλου είδους βλάστησης, αποτελούν ένδειξη για την παρουσία θαμμένων κατασκευών κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα:

- Σε θέσεις, όπου το έδαφος είναι πλούσιο σε υγρασία και φώσφορο, όπως συμβαίνει επάνω από θαμμένο χαντάκι ή λάκκο, όπου το έδαφος έχει διαταραχθεί κατά το παρελθόν, η βλάστηση τείνει να είναι υψηλότερη και περισσότερο πυκνή, γεγονός που αποτυπώνεται με σκοτεινά χρώματα κατά τη λήψη από αέρος.
- Αντίθετα, η βλάστηση είναι αραιότερη και λιγότερο πλούσια επάνω από ένα θαμμένο τοίχο, όπου το έδαφος είναι λεπτότερο, υγρότερο και φτωχότερο. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμα και επάνω από ένα τοίχο παρατηρείται πλούσια βλάστηση, καθώς μερικές καλλιέργειες μεγαλώνουν γρήγορα, λόγω της έλλειψης της απαραίτητης υγρασίας, παράγοντας ορατές χρωματικές διαφορές, ενώ η μειωμένη ανάπτυξή τους επάνω από αυτά τα στοιχεία ενδέχεται επίσης να παράγει σημάδια σκιάς.
- Η ορατότητα των σημαδιών καλλιέργειας ποικίλλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την εποχή του χρόνου, αλλά και εξαιτίας πολλών άλλων παραγόντων. Έτσι για παράδειγμα, σε περίοδο ξηρασίας, η πλουσιότερη ανάπτυξη θα είναι

πιο πράσινη από την υπόλοιπη, ωστόσο, το γρασίδι θα πρέπει πρώτα να ξεραθεί πριν αποκαλύψει κάθε θαμμένο στοιχείο, παράγοντας που έχει αποδειχτεί εξαιρετικά χρήσιμος για την υπόδειξη νέων αρχαιολογικών θέσεων.

- Τα σημάδια του εδάφους αποτελούν ένα ακόμα χαρακτηριστικό στοιχείο, όπου διακρίνεται επίσης από αέρος, όντας για ίχνη από εδάφη διαφορετικού χρώματος ή υφής. Για παράδειγμα, οι οργωμένοι ταφικοί τύμβοι μπορούν να φανούν ξεκάθαρα χάρη στη διαφορετική υφή του εδάφους των τύμβων και των χαντακιών.
- Οι διαφορές στην υγρασία μπορούν επίσης να είναι αποκαλυπτικές, καθώς οι υγρές θέσεις δημιουργούνται μετά τη βροχή, όταν το δουλεμένο χώμα συγκρατεί την υγρασία περισσότερο επάνω από τους τοίχους ή τα αναχώματα, παρά επάνω από τα γεμάτα λάσπη χαντάκια ή τους λάκκους.
- Ομοίως, το χιόνι ή ο πάγος είναι ικανά να αναδείξουν υπόγεια στοιχεία, όταν απομακρυνθούν επάνω από θαμμένα χαντάκια ή όταν παραμένουν αναλλοίωτα μέσα σε ψυχρότερα βαθουλώματα (Renfrew and Bahn, 1991).

#### 4.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΘΕΣΕΩΝ

Το πρώτο στάδιο της επιτόπιας εργασίας, είναι η εύρεση και η καταγραφή θέσεων και στοιχείων, ωστόσο όμως, το επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός του μεγέθους, του τύπου και της διάταξης της θέσης, στοιχεία που αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για τους αρχαιολόγους. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι αεροφωτογραφίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτενέστερα για τη σχεδίαση του περιγράμματος των θέσεων, καθώς και για τον εντοπισμό αυτών, παρόλα αυτά όμως, η επιφανειακή τοπογραφική έρευνα θέσεων, αποτελεί μία ακόμα κυρίαρχη μέθοδο για τη διερεύνηση του, χωρίς να καθίσταται απαραίτητη η ανασκαφή τους.

Έτσι λοιπόν, η τοπογραφική έρευνα αποτελεί έναν απλό και εξίσου σημαντικό τρόπο για το σχηματισμό μιας πρώτης αντίληψης, αναφορικά με την έκταση και τη διάταξη μιας αρχαιολογικής θέσης. Μέσω αυτής της μεθόδου, παρέχεται η μελέτη της κατανομής των διασωθέντων στοιχείων, καθώς και της καταγραφής και συλλογής τυχόν τεχνουργημάτων από την επιφάνεια του εδάφους. Η τοπογραφική έρευνα της θέσης είναι τόσο καλή, όσο και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της. Το κλειδί για την ακριβή αυτή καταγραφή μεγάλου πλήθους δεδομένων αποτελεί η

χαρτογράφηση. Όσον αφορά τα επιφανειακά στοιχεία, όπως είναι τα κτίρια και οι δρόμοι, χρήσιμοι είναι τόσο οι τοπογραφικοί, όσο και οι επιπεδομετρικοί χάρτες. Από την άλλη πλευρά, για το συσχετισμό των αρχαίων κατασκευών με τον περιβάλλοντα χώρο, σημαντική είναι η συμβολή των τοπογραφικών χαρτών, οι οποίοι παρουσιάζουν υψομετρικές διαφορές με τη βοήθεια των περιγραμμάτων. Αντίθετα, στους επιπεδομετρικούς χάρτες αποκλείονται περιγράμματα ή τοπογραφικές πληροφορίες, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στα κύρια σημεία των στοιχείων, καθιστώντας κατανοητή τη σχέση των διαφορετικών κτιρίων μεταξύ τους. Σε μερικούς χάρτες θέσεων οι δύο παραπάνω τεχνικές συνδυάζονται, με αποτέλεσμα το φυσικό ανάγλυφο να αποτυπώνεται τοπογραφικά, ενώ τα αρχαιολογικά να εικονίζονται επιπεδομετρικά.

Για τα τυχόν τεχνουργήματα και άλλα αντικείμενα, τα οποία συλλέγονται ή παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της επιφανειακής τοπογραφικής έρευνας, δεν αξίζει πολλές φορές η χαρτογράφησή τους. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι, τα αντικείμενα αυτά προέρχονται από πολύ διαταραγμένα δευτερογενή περιβάλλοντα ή στο μεγάλο πλήθος τους, το οποίο δεν επιτρέπει την καταγραφή της προέλευσης του καθενός από αυτά. Για αυτόν το λόγο, στην περίπτωση αυτή, ο αρχαιολόγος απαιτείται να χρησιμοποιήσει πιθανές δειγματοληπτικές διαδικασίες για την επιλεκτική καταγραφή των επιφανειακών ευρημάτων. Ωστόσο βέβαια, όπου ο χρόνος και το οικονομικό πλαίσιο κρίνονται ικανοποιητικά και η θέση είναι σχετικά μικρή, είναι πιθανή τόσο η συλλογή, όσο και η καταγραφή των τεχνουργημάτων (Renfrew and Bahn, 1991).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το κυρίαρχο τμήμα της παρούσας εργασίας, στο οποίο δίνεται μια αναλυτική περιγραφή της περιοχής μελέτης αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, καθώς παρουσιάζεται ακόμα ο σχεδιασμός και η εκτέλεση των διαφόρων μεθόδων αποτύπωσης, αλλά και η επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων. Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα των διαδικασιών αυτών, με σκοπό τη σύγκριση των διαφόρων μεθόδων αποτύπωσης, αλλά και τα συμπεράσματα που προέκυψαν μέσω των μεθόδων αυτών.

Εκτός από την αποτύπωση με μόνη τη χρήση του γεωδαιτικού GPS και οι υπόλοιπες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν απαιτούν τη χρήση του GNSS συστήματος για τη διαδικασία της εξάρτησης με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87). Το ενιαίο πλαίσιο αναφοράς είναι απαραίτητο για τη σύγκριση των παραγόμενων αποτελεσμάτων των διαφορετικών μεθόδων.

Η μεθοδολογία για την εφαρμογή και περαίωση της εκάστοτε μεθόδου περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

### **α) Προγραμματισμός β) Συλλογή γ) Επεξεργασία**

Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν παρατίθενται αναλυτικά όλα τα παραπάνω ζητήματα, με τη σειρά που προαναφέρθηκαν.

### 5.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης για την οποία γίνεται λόγος στο παρόν κεφάλαιο, είναι η περιοχή Ζερέλια ή Ζηρέλια, που βρίσκεται στο δήμο Αλμυρού του Νομού Μαγνησίας, στην Θεσσαλία. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από δύο κυκλικού σχήματος λίμνες, ενώ παρουσιάζει εξαιρετικά αρχαιολογικό ενδιαφέρον. Πιο συγκεκριμένα, οι δύο αυτές λίμνες συναντώνται 4χλμ νοτιοδυτικά της πόλης του Αλμυρού και 2,5χλμ από το Δ.Δ Ευξεινούπολης, σε υψόμετρο 130μ από τη θάλασσα, στους βόρειους πρόποδες του όρους Όθρυς. Η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών λιμνών είναι περίπου 240μ, με τη μεγαλύτερη λίμνη να έχει διάμετρο 250μ και βάθος περίπου 8μ και τη μικρότερη να έχει διάμετρο 170μ και βάθος περίπου 6μ, ενώ ο πυθμένας τους έχει σχήμα πιάτου.

Το αρχαιολογικό ενδιαφέρον της περιοχής αυτής έγκειται στην περιοχή που βρίσκεται ανατολικά της μεγάλης λίμνης, σε ένα μικρό γήλοφο, όπου συναντάται ο προϊστορικός οικισμός που κατοικήθηκε σε όλη τη διάρκεια της Μέσης Νεολιθικής

Εποχής και στην Εποχή του Χαλκού (6η έως 4η χιλιετία π.Χ.). Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η περιοχή αυτή αποτέλεσε αντικείμενο ανασκαφής του Ολλανδού C. W. Vollgraff, ο οποίος αναζητούσε μάταια το ναό της Ιτωνίδος Αθηνάς. Αργότερα, οι Βρετανοί ερευνητές A. J. B. Wace και M. S. Thompson, πραγματοποίησαν συστηματικές ανασκαφές στην τοποθεσία αυτή και χρονολόγησαν τον οικισμό, βρίσκοντας ίχνη κατοίκησης μέχρι τον 4<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Το 1992, η Ολλανδική Αρχαιολογική Σχολή υπό τον καθηγητή H. Reinder Reinders, διεξήγαγε επιφανειακή έρευνα κατά την οποία εντοπίστηκαν κεραμικά θραύσματα της εποχής του Χαλκού, καθώς και λίγα βυζαντινά του 12<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ., επιβεβαιώνοντας τα συμπεράσματα των προηγούμενων ερευνητών. Το 2005 ξεκίνησε η συστηματική έρευνα από το Τμήμα Ιστορίας, Αρχαιολογίας και Κοινωνικής Ανθρωπολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (υπό την καθγήτρια κα Αντίκλεια Μουνδραία-Αγραφιώτου) και τη Γ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων.

Εκτός αυτού όμως, δυτικότερα αυτής της περιοχής, σε απόσταση 800μ, βρίσκεται και ο προϊστορικός οικισμός της Αρχαιότερης και Μέσης Νεολιθικής Εποχής, στη θέση Καρατζάνταγλι, που σήμερα είναι γνωστή ως Καστράκι. Οι οικισμοί αυτοί και η σχέση τους με τις λίμνες, υποδεικνύουν σημαντικά στοιχεία για την κατανόηση της προϊστορικής κατοίκησης στην περιοχή νότια και νοτιοδυτικά του Αλμυρού. Μάλιστα, πιθανολογείται ότι η περιοχή Ζερέλια κατοικήθηκε και πολύ αργότερα, κατά τη διάρκεια της Τουρκοκρατίας, όπου βρισκόταν το τουρκικό χωριό Ικίζ Γκιολ, που στα τούρκικα σημαίνει Δίδυμες Λίμνες ([el.wikipedia.org/wiki/Λίμνες\\_Ζερέλια](http://el.wikipedia.org/wiki/Λίμνες_Ζερέλια), 2013).

Παρόλα αυτά, η εν λόγω περιοχή, παρουσιάζει εξαιρετικό γεωλογικό ενδιαφέρον, που έγκειται στον τρόπο σχηματισμού των δύο αυτών, απόλυτα κυκλικών, λιμνών, αποτελώντας ένα ιδιαίτερα σπάνια γεωλογικό φαινόμενο. Η ύπαρξη των λιμνών αυτών έχει απασχολήσει, κατά καιρούς, πληθώρα ερευνητών, γεγονός που οδήγησε στη δημιουργία δύο κύριων απόψεων, καθεμιά από τις οποίες προσπάθησε να δώσει μια πιθανή και όσο το δυνατό λογική ερμηνεία για την προέλευση και την εξέλιξη τους.

Η παλαιότερη από αυτές τις απόψεις υποστηρίζει ότι ο σχηματισμό των λιμνών αυτών οφείλεται αποκλειστικά και μόνο σε εκρήξεις αερίων, όντας η απαρχή της δημιουργίας ενός ηφαιστείου, το οποίο ωστόσο, δεν έδωσε μετέπειτα ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τα κοιλάματα που δημιουργήθηκαν από τις εκρήξεις αυτές, πληρώθηκαν με νερό, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο τις λίμνες τύπου Maare

(Εθελοντική Περιβαλλοντική Ομάδα Αλμυρού EN ΔΡΑΣΕΙ, 2008). Ωστόσο, η νεότερη άποψη υποστηρίζει ότι οι λίμνες Ζερέλια δημιουργήθηκαν από τη σύγκρουση μετεωρίτη με τη Γη, κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν, δηλαδή κατά το Ολόκαινο (12.500-8.000 χρόνια πριν) και το μέγεθος των θραυσμάτων που προσέκρουσαν ήταν από 10 έως 30μ, με συνέπεια το σχηματισμό δύο δίδυμων κρατήρων, που αποτέλεσαν αργότερα τις λίμνες αυτές. Αρχικά, θεωρήθηκε ότι οι λίμνες αυτές αποτελούν καρστικές δολίνες ή ότι είναι ηφαιστειογενούς προελεύσεως. Ωστόσο, το 2010, η άποψη που τελικά επικράτησε, ήταν και αυτή των κρατήρων, έπειτα από τις γεωφυσικές έρευνες και τις εργαστηριακές μελέτες δειγμάτων, που πραγματοποιήσαν στην περιοχή, οι ερευνητές Ευάγγελος Λάγιος (καθηγητής Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος στο Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών) και Dietrich Volker (καθηγητής στο Ινστιτούτο Ορυκτολογίας και Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου της Ζυρίχης). Το γεγονός που οδήγησε στην άποψη αυτή, ήταν η εύρεση μερικώς τηγμένου ζirkονίου, που υποδηλώνει πολύ υψηλές θερμοκρασίες, της τάξεως των 1.400 – 1.800 °C, οι οποίες όμως δε συνάδουν με διαδικασίες μαγματισμού και φαινόμενα μεταμόρφωσης στο γήινο φλοιό και τον ανώτερο μανδύα. Για αυτόν το λόγο, αποκλείστηκε η θεωρία της ηφαιστειακής προέλευσης και υιοθετήθηκε η άποψη της πρόσκρουσης ενός μετεωρίτη ([el.wikipedia.org/wiki/Λίμνες\\_Ζερέλια](http://el.wikipedia.org/wiki/Λίμνες_Ζερέλια), 2013).

Τέλος, από περιβαλλοντική άποψη, οι όχθες των λιμνών έχουν καλυφθεί από υδρόβια βλάστηση, η οποία σχηματίζει δακτυλίους μεγάλου πάχους, ενώ στα νερά τους ζουν πλήθος ψαριών. Όλα τα παραπάνω, που παρέχουν στις λίμνες, βλάστηση, τροφή και προστασία, έχουν δημιουργήσει συνθήκες υδροβιοτόπου, προσελκύοντας χιλιάδες πουλιά (Εθελοντική Περιβαλλοντική Ομάδα Αλμυρού EN ΔΡΑΣΕΙ, 2008).

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι η περιοχή μελέτης αποτελεί μια από τις πιο αξιόλογες τοποθεσίες της περιοχής του Αλμυρού, καθώς α) φιλοξενεί ένα σπάνιο γεωλογικό φαινόμενο, β) αποτελεί ένα μικρό, αλλά ιδιαίτερα σημαντικό υδροβιότοπο και γ) ανάμεσα στις λίμνες υπάρχει μια αξιόλογη αρχαιολογική θέση σημαντικού ενδιαφέροντος. Το φαινόμενο αυτό είναι μοναδικό στην Ελλάδα, ενώ σε ολόκληρη την Ευρώπη οι αντίστοιχες περιπτώσεις, δεν ξεπερνούν τις 40 από 178 σε ολόκληρο τον πλανήτη ([el.wikipedia.org/wiki/Λίμνες\\_Ζερέλια](http://el.wikipedia.org/wiki/Λίμνες_Ζερέλια), 2013).

## 5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ

### 5.2.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GNSS

#### ❖ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Γεωδαιτικό GPS (rover) της εταιρίας STONEX, μοντέλο S9 GNSS (για τεχνικά χαρακτηριστικά βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ)
- Χειριστήριο πεδίου Carlson με εγκατεστημένο το λογισμικό SurvCE 2.5 της εταιρίας Carlson
- Σύνδεση στο ιδιωτικό δίκτυο σταθμών αναφοράς της εταιρίας Marktopo, μέσω ενσωματωμένου GSM modem και τύπο μεταφοράς δεδομένων GPRS, με χρήση του δικτύου της Cosmote.



#### α) Προγραμματισμός

Αρχικά, εξετάστηκε η περιοχή μελέτης στο γραφείο (διάρκειας μίας ώρας), χρησιμοποιώντας υφιστάμενο υλικό (ορθοφωτοχάρτες ΕΚΧΑ ΑΕ, δορυφορικές εικόνες Google Earth), με σκοπό την εξοικείωση με την περιοχή μελέτης. Για το λόγο αυτό, ελέγχθηκε το ανάγλυφο, η έκταση και η προσβασιμότητα της περιοχής. Στη συνέχεια, ακολούθησε επίσκεψη στην εν λόγω περιοχή για διαπίστωση, σύγκριση και επαλήθευση της υφιστάμενης κατάστασης.

Κατά την αυτοψία (Μάιος 2015), διαπιστώθηκε ότι η πραγματική κατάσταση ήταν δυσμενέστερη, συγκριτικά, με αυτή που παρατηρήθηκε στο γραφείο κι αυτό διότι, η πρόσβαση στην περιοχή πραγματοποιείται μέσω ενός χωματόδρομου, ο οποίος βρίσκεται σε σχετικά καλή κατάσταση, αλλά εν γένει η περιοχή είναι καλυμμένη με βλάστηση. Επιπλέον, όλη η περιοχή αποτελείται από αροτρές εκτάσεις, στις οποίες κατά την περίοδο της μελέτης (Μάιος - Ιούνιος 2015), τα σπαρτά βρίσκονταν στη μέγιστη ανάπτυξή τους. Επίσης, στην περιοχή του αρχαιολογικού λόφου (όπου και εντοπίζονται οι αρχαιολογικές τομές), καθότι απαγορεύεται η άροση, η σπορά κλπ, η παρουσία της βλάστησης είναι ακόμα εντονότερη. Το γεγονός αυτό ουσιαστικά θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα στην αποτύπωση, διότι απαιτείται η φυσική παρουσία στο χώρο για τη λήψη μετρήσεων.



**β) Συλλογή**

Επόμενο βήμα αποτελεί η συλλογή μετρήσεων, με σκοπό την αποτύπωση της περιοχής. Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε η μετάβαση στο πεδίο και με τη χρήση του γεωδαιτικού GPS, έγινε αποτύπωση μονοσήμαντων σημείων λεπτομέρειας, με πυκνότητα ικανή, ώστε να μπορέσει να περιγραφεί με ακρίβεια η περιοχή μελέτης. Στο σύνολο αποτυπώθηκαν εκατόν ογδόντα (180) σημεία σε μία ώρα και σαράντα πέντε λεπτά (1 ώρα & 45 λεπτά). Το σκεπτικό δεν ήταν να αποδοθεί ένα ολοκληρωμένο σχέδιο της περιοχής (τοπογραφικό διάγραμμα), αλλά περισσότερο να υπάρξουν σημεία λεπτομερειών, ικανά σε πλήθος, διασπορά, ποιότητα και μέγεθος, ώστε να αξιοποιηθούν στην αξιολόγηση και τον έλεγχο των υπολοίπων μεθόδων αποτύπωσης. Με βάση αυτό το σκεπτικό, αποτυπώθηκαν τα εξής:

- 1) Το «φρύδι» του λόφου περιμετρικά.
- 2) Το περίγραμμα των αρχαιολογικών τομών (δύο στα βορειοδυτικά και μίας νοτιοανατολικά στο λόφο).
- 3) Δύο χαρακτηριστικοί λίθοι στις βορειοδυτικές τομές.
- 4) Ο άξονας του κεντρικού χωματόδρομου, που οδηγεί στο λόφο με προσανατολισμό βορρά- νότου.
- 5) Χαρακτηριστικά όρια του περιγράμματος της οροφής της μεταλλικής κατασκευής (στο νοτιοανατολικό όριο της περιοχής μελέτης), καθώς και το περίγραμμα κυκλικής κολώνας στον περιβάλλοντα χώρο.
- 6) «Πόδια» και «φρύδια» περιμετρικά στα ριζά και ενδιάμεσα στο λόφο. Δυστυχώς, εξαιτίας της πυκνής βλάστησης δεν ήταν δυνατό να αποτυπωθεί το «πόδι» του λόφου περιμετρικά (με τα στοιχεία αυτά θα προέκυπτε ακριβή εμβαδομέτρηση και ογκομέτρηση του λόφου). Έτσι λοιπόν, η αποτύπωση περιορίστηκε μόνο στα νότια και στα δυτικά.
- 7) Το τριγωνομετρικό της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού στην κορυφή του λόφου.
- 8) Δύο μεταλλικοί πάσσαλοι, οι οποίοι οριοθετούν ιδιοκτησία στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

Ο καιρός κατά την ώρα των μετρήσεων (04-06-2015, 14:30 - 16:15) ήταν αίθριος με ταχύτητα ανέμου 1 έως 2 μποφόρ και θερμοκρασία 27 βαθμών Κελσίου.

**γ) Επεξεργασία**

- Μέση απόσταση από μόνιμο επίγειο σταθμό  $\approx 4.380\mu$
- Όνομα μόνιμου επίγειου σταθμού σύνδεσης: CORSALMYROS
- Συντεταγμένες μόνιμου επίγειου σταθμού, όπως προκύπτουν από το πρωτογενές αρχείο (\*.rw5) του γεωδαιτικού GPS: Γεωγραφικό Πλάτος LA39.104656055287, Γεωγραφικό Μήκος LN22.452981473559, Υψόμετρο από Ελλεισοειδές EL102.3844 (μορφή γωνιών DD.MMSSsss).
- Στοιχεία μόνιμου επίγειου σταθμού, όπως δίνονται από τον πάροχο στην επίσημη ιστοσελίδα (<http://cors.civilshop.gr/onlinebases.html>) του δικτύου σταθμών αναφοράς.

**Πίνακας 5.2.1.1:** Στοιχεία του μόνιμου επίγειου σταθμού σύνδεσης

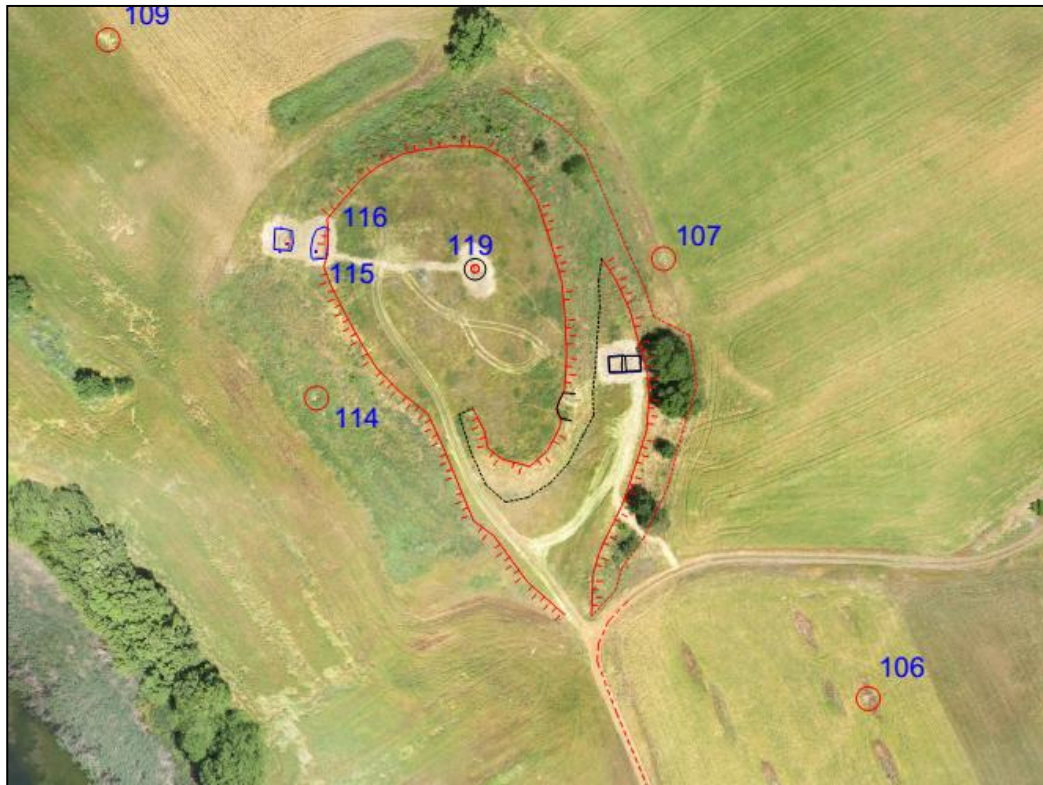
<b>A/A</b>	82
<b>Name</b>	CORSALMYROS
<b>Protocol</b>	CMR
<b>ECEF x</b>	4565387.696
<b>ECEF y</b>	1915201.939
<b>ECEF z</b>	4007857.297
<b>WGS84 E</b>	22.452981473559
<b>WGS84 N</b>	39.104656055287
<b>H Elipsoid</b>	102.3844
<b>OnLine Time</b>	9.1656673

Κατά την επεξεργασία των αποτυπωμένων σημείων, αρχικά ελέγχθηκε η ποιότητα των μετρήσεων. Με έλεγχο στο πρωτογενές αρχείο καταγραφής του Γεωδαιτικού GPS, διαπιστώνεται ότι η οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια των μετρήσεων ήταν ικανοποιητική. Επίσης, οι τιμές DOP των μετρήσεων ήταν εντός ορίων.

**Πίνακας 5.2.1.2:** Συχνότητα εμφάνισης τιμών DOP

Πλήθος Μετρήσεων	HDOP	PDOP
112	< 1	
65	> 1	
3	> 2	
49		> 2
2		> 3
1		> 4
1		> 5
127		> 1
170 μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με περισσότερους από 13 δορυφόρους		
7 μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με 9 δορυφόρους		
3 μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με 8 δορυφόρους		

Στη συνέχεια οι μετρήσεις εισήχθησαν σε σχεδιαστικό πρόγραμμα και επεξεργάστηκαν κατάλληλα. Τέλος, τα επεξεργασμένα δεδομένα, αφού οπτικοποιήθηκαν, αποδόθηκαν τα πρανή, ο άξονας της οδού, τα σημεία λεπτομερειών κλπ, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην εικόνα 5.2.1.1.

**Εικόνα 5.2.1.1:** Οπτικοποίηση δευτερευόντων χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης

### 5.2.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ 3D LASER SCANNER

#### ❖ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Τρισδιάστατος laser σαρωτής, της εταιρίας MDL, μοντέλο Laser Ace Scanner (για τεχνικά χαρακτηριστικά βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).
- Γεωδαιτικό GPS (όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.2.1).



#### α) Προγραμματισμός

Κατά τον προγραμματισμό, η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν παρόμοια με αυτή της πρώτης μεθόδου. Η διαφορά έγκειται στη μετάβαση στο πεδίο, κατά την οποία διαπιστώθηκε ότι η περιοχή δεν ήταν σε πολύ καλή κατάσταση και αυτό διότι, τα χωράφια είχαν θεριστεί, με συνέπεια, στα θερισμένα χωράφια, η βλάστηση να έχει αρκετά χαμηλό ύψος, ενώ σε κάποια άλλα σημεία το έδαφος ήταν εμφανές. Παρόλα αυτά, δεν συνέβαινε το ίδιο και στην περιοχή του αρχαιολογικού λόφου, καθώς αποτελεί προστατευόμενη περιοχή, που δεν υφίσταται την ανθρώπινη παρέμβαση. Επομένως, ο λόφος και το τμήμα δυτικά του λόφου έως και τη μεγάλη λίμνη, παρέμεινε με υψηλή βλάστηση, σε αντίθεση με τα θερισμένα χωράφια.

Ωστόσο, η υψηλή βλάστηση αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα διότι, σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας του σαρωτή, θα αποτυπωθεί και η βλάστηση, με αποτέλεσμα η υψομετρική πληροφορία που θα προκύψει τελικά να αναφέρεται στο ύψος της υφιστάμενης βλάστησης και όχι στο πραγματικό ανάγλυφο του εδάφους.

#### β) Συλλογή

Μετά τη μετάβαση στο πεδίο μελέτης, η πρώτη εργασία που εκπονήθηκε, ήταν ο εντοπισμός και η σήμανση των κατάλληλων στάσεων για την τοποθέτηση του μηχανήματος, καθώς και των σημείων προσανατολισμού αυτού. Βασικό και κεντρικό σημείο της διαδικασίας αποδείχθηκε η ύπαρξη του τριγωνομετρικού σημείου (τσιμεντένιο βάθρο<sup>4</sup> ύψους ενός μέτρου και δέκα εκατοστών [1,10μ]) τρίτης τάξης (με

<sup>4</sup> Δυστυχώς, το βάθρο είναι κεκλιμένο, πράγμα το οποίο μπορεί να παρατηρηθεί και με γυμνό μάτι. Εντούτοις όμως, δεν είναι μετακινημένο. Ως αποτέλεσμα προκύπτει διαφορά στις μετρήσεις που συλλέχθηκαν με το GPS, σε σχέση με τις πραγματικές του συντεταγμένες. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιήθηκε ως σταθερό σημείο, εξαιτίας της περιοπτης θέσης του και της βεβαιότητας ότι θα υφίσταται διαχρονικά (τουλάχιστον κατά την περίοδο της μελέτης) στην ίδια θέση.

αριθμό 109086), της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, στην κορυφή του λόφου. Στη συνέχεια, έγινε μετάβαση διαδοχικά σε κάθε μία από τις προσημασμένες στάσεις, οι οποίες αποτυπώνονταν με χρήση του γεωδαιτικού GPS. Έπειτα, τοποθετούνταν το μηχάνημα, προσανατολιζόταν στα σεσημασμένα σημεία (τα οποία αποτυπώθηκαν πριν τον προσανατολισμό), ξεκινώντας, με αυτόν τον τρόπο, η αποτύπωση. Το βήμα της αποτύπωσης ορίστηκε στο ένα μέτρο (1μ), δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στη σάρωση του αρχαιολογικού λόφου.

Η εν λόγω αποτύπωση διήρκεσε δύο ώρες και τριάντα πέντε λεπτά (2 ώρες & 35 λεπτά) και αποτυπώθηκαν 833.188 σημεία με το Laser Scanner και έξι (6) με το γεωδαιτικό GPS. Οι καιρικές συνθήκες κατά την ώρα των μετρήσεων (13-08-2014, 14:00 - 16:30) ήταν αρκετά ευνοϊκές, καθώς ο καιρός ήταν αίθριος, με θερμοκρασία 32 βαθμών Κελσίου και η ταχύτητα του ανέμου ήταν 1 μποφόρ.

**Εικόνα 5.2.2.1:** Το 3D MDL Laser Ace Scanner



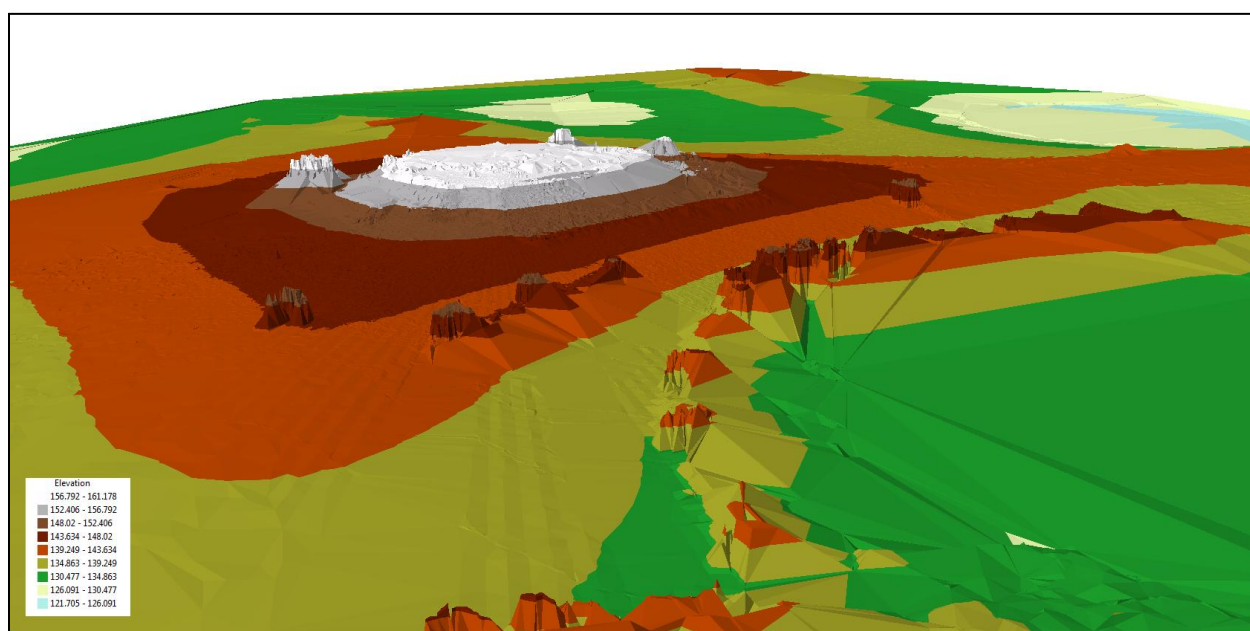
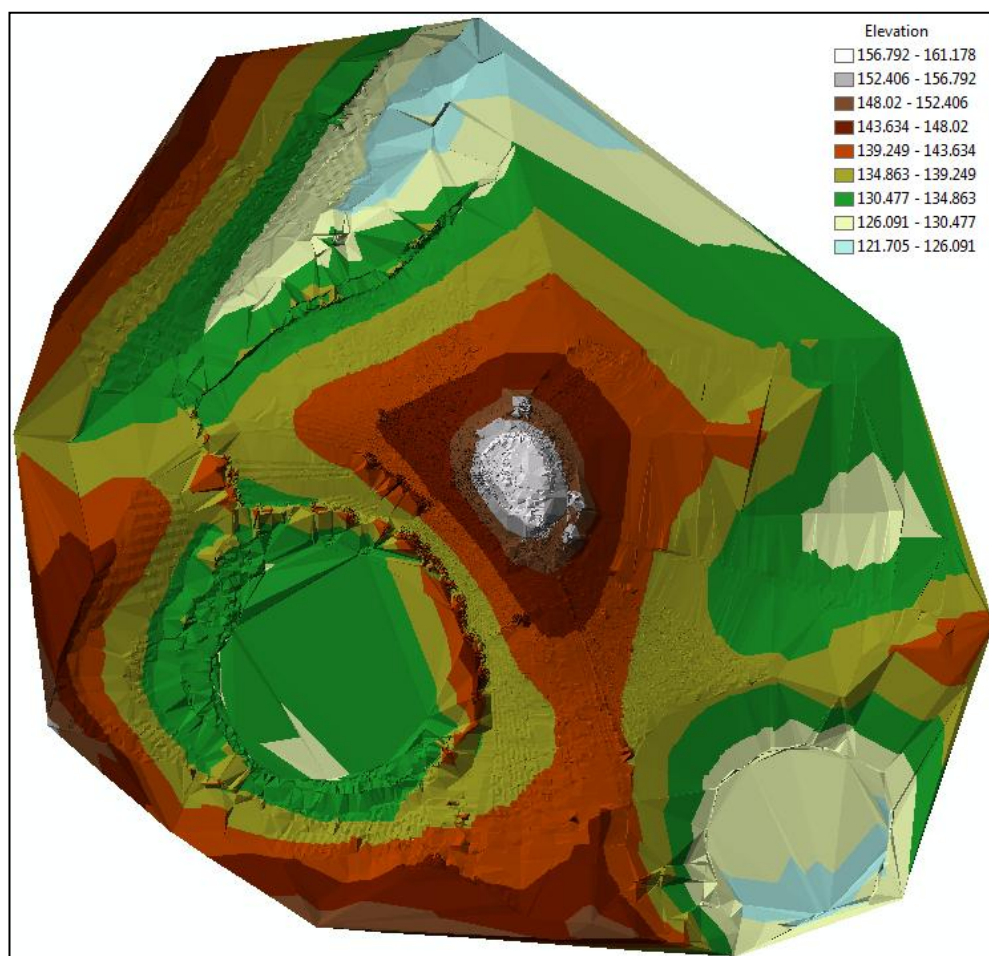


**Εικόνα 5.2.2.2:** Το 3D MDL Laser Ace Scanner επί τω έργο

### γ) Επεξεργασία

Μετά το τέλος των εργασιών στο ύπαιθρο, ακολούθησαν οι εργασίες γραφείου, κατά τις οποίες, αρχικό μέλημα ήταν η εξαγωγή των δεδομένων από τα μηχανήματα, Laser Scanner και GPS. Στη συνέχεια, ελέγχθηκε η ποιότητα των μετρήσεων του GPS (πχ ορατοί δορυφόροι, ποιότητα σήματος, ακρίβεια μετρήσεων και κυρίως η γεωμετρία των δορυφόρων), η οποία μάλιστα κρίθηκε εξαιρετική. Κατόπιν, τα δεδομένα από τον τρισδιάστατο σαρωτή εισήχθησαν στο πρόγραμμα επεξεργασίας (MDL Model Ace) και αφού δόθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων στάσεων και προσανατολισμού στο πρόγραμμα, δημιουργήθηκε και οπτικοποιήθηκε το τελικό νέφος των συλλεχθέντων σημείων. Έπειτα, ακολούθησε η εξαγωγή του «νέφους σημείων» σε κατάλληλη μορφή (.dxf), με σκοπό την εισαγωγή αυτού σε πρόγραμμα GIS (QGIS). Τέλος, μετά την εισαγωγή των σημείων στο QGIS, δημιουργήθηκε το δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων (TIN), ακολούθως η χρωματική διαβάθμιση του δικτύου (TIN), προκειμένου να γίνει ευκολότερα αντιληπτή στο χρήστη η υψομετρική διαβάθμιση (Εικόνα 5.2.2.3).

Εικόνα 5.2.2.3: Τρισδιάστατη οπτικοποίηση περιοχής μελέτης με χρήση Laser Scanner



### 5.2.3 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΕΡΟΜΟΝΤΕΛΟΥ (UAV) IRIS

#### ❖ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Τετρακόπτερο της εταιρίας 3DRobotics, μοντέλο IRIS με τα παρελκόμενά του (για τεχνικά χαρακτηριστικά βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ), καθώς και ασύρματο τηλεχειριστήριο για τον έλεγχο του αερομοντέλου.
- Υπολογιστής τύπου laptop για τον έλεγχο και την παραμετροποίηση των δεδομένων της πτήσης σε πραγματικό χρόνο, με χρήση του λογισμικού Mission Planner.
- Φωτογραφική μηχανή Canon PowerShot A2500, εστιακής απόστασης 5mm, με ωφέλιμα 15,93 megapixel (για τεχνικά χαρακτηριστικά βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).
- Γεωδαιτικό GPS με τα παρελκόμενά του (όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.2.1).
- Φωτοσταθερά και πάσσαλοι στερέωσης.



Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του εξοπλισμού αποτέλεσε ο υπολογιστής, στον οποίο έλαβε χώρα η φωτογραμμετρική επεξεργασία και αυτό διότι τα συγκεκριμένα προγράμματα ήταν παρά πολύ απαιτητικά σε υπολογιστική ισχύ και στις ελάχιστες απαιτήσεις του συστήματος, που είχαν για να λειτουργήσουν. Παραδείγματος χάριν, το ένα εξ' αυτών απαιτούσε επεξεργαστή 64 bit. Ο υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία έχει τα παρακάτω στοιχεία (Πίνακας 5.2.3.1):



**Πίνακας 5.2.3.1:** Στοιχεία υπολογιστή, που χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία των δεδομένων

<b>Στοιχεία υπολογιστή (τύπου Laptop)</b>	
OS	WIN 8.1 64bit
RAM	Corsair 800Mhz DDR3 2x4gb timings 11.0-9-9-24
HDD	HGST HTS721010A9E630 1000.2gb
CPU	Intel(R) Core(TM) i5-4210M CPU @ 2.60GHz cache L1 128k L2 L3 3mb
GPU1	nVidia GeForce GT 750M (2 cores @ 1085 MHz, 2048 MB)
GPU2	Intel(R) HD Graphics 4600 (20 Cores @ 800 MHz, 1784 MB)

**Πίνακας 5.2.3.2:** Συντεταγμένες φωτοσταθερών-σημείων ελέγχου

<b>Συντεταγμένες φωτοσταθερών/Σημείων ελέγχου</b>			
<b>a/a</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
101	388903.3220	4335268.7782	128.1914
102	388722.6463	4335593.9582	134.7044
103	388696.3888	4335472.0862	134.5540
104	388594.9262	4335333.8891	139.0035
105	388516.4026	4335436.5334	143.6207
106	388599.1942	4335472.8720	140.7208
107	388548.0726	4335582.8723	148.8270
108	388491.8524	4335675.1703	144.4660
109	388409.2535	4335637.6257	144.4158
110	388404.9905	4335725.1607	136.2698
111	388257.4053	4335636.2120	136.3298
112	388148.9666	4335494.0744	139.9310
113	388161.5328	4335355.8969	134.5814
114	388461.3505	4335547.9961	148.8067
115	388464.0336	4335584.1247	157.1527
116	388464.3048	4335590.4098	157.5325
117	388452.3966	4335584.8383	151.9679
118	388452.7041	4335590.6007	151.5484
119	388500.9728	4335580.3902	160.7112
120	388504.655	4335173.313	145.268
121	388740.830	4335044.585	147.545
122	388617.598	4335713.084	137.472

Ο μέγιστος επιτρεπόμενος φόρτος του επεξεργαστή καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας των εικόνων είχε οριστεί στο 65% της μέγιστης απόδοσης και αυτό διότι παρατηρήθηκε απότομη αύξηση της θερμοκρασίας του επεξεργαστή, η οποία και διατηρούνταν σε παρά πολύ υψηλά επίπεδα ( $>70^{\circ}\text{C}$ ) καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας. Με αυτόν τον τρόπο, επιτεύχθηκε η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στα επίπεδα των  $52\text{-}57^{\circ}\text{C}$  με πολύ μικρές στιγμιαίες εξάρσεις, οι οποίες έφταναν τους  $64^{\circ}\text{C}$ . Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι το συγκεκριμένο μηχάνημα είχε θερμοκρασία επεξεργαστή σε αδράνεια  $44^{\circ}\text{C}$ .

Μια ακόμα παρατήρηση ήταν ότι, ενώ είχε οριστεί τα προγράμματα να μην δεσμεύουν πάνω από 6 GB μνήμης RAM, κάποιες φορές αυτό το όριο δεν τηρούνταν, με αποτέλεσμα να ξεπερνούν οι απαιτήσεις σε μνήμη το φυσικό όριο των 8 GB, που είχε διαθέσιμο ο υπολογιστής και κατά εκείνες τις περιόδους να χρησιμοποιείται κομμάτι του σκληρού δίσκου για να καλυφθούν οι ανάγκες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, να αυξάνεται η χρήση του δίσκου στο 100% και να διαταράσσεται η ομαλή λειτουργία του υπολογιστή.

### **α) Προγραμματισμός**

Ξεκινώντας τον προγραμματισμό της διεργασίας αυτής, η διαδικασία ελέγχου της περιοχής είναι η ίδια με τις προηγούμενες μεθόδους (έλεγχος Google Earth κλπ). Ωστόσο, λόγω της φύσης της μεθόδου, κρίθηκε πλέον απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα σχέδιο πτήσης.

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

Στην παρούσα εργασία, ορίστηκε περιοχή φωτογράφισης (Εικόνα 5.2.3.1), η οποία περιλαμβάνει τον αρχαιολογικό λόφο και ορισμένη έκταση γύρω από αυτόν, συνολικού εμβαδού σαράντα τεσσάρων (44) στρεμμάτων και επτακοσίων (700) τετραγωνικών μέτρων. Το ύψος της πτήσης ορίστηκε στα εκατό (100) μέτρα, ενώ η γωνία λήψης φωτογραφιών ορίστηκε στις εκατόν πενήντα τρεις (153) μοίρες. Επιπλέον,

η ταχύτητα πτήσης ήταν πέντε (5) m/s, η φωτογραφική κάμερα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Canon PowerShot A2500.

**Εικόνα 5.2.3.1:** Περίγραμμα της υποτυπωθείσας περιοχής μελέτης



Η επικάλυψη των φωτογραφιών ορίστηκε σε ογδόντα τοις εκατό (80%), κατά το μήκος πτήσης και σαράντα τοις εκατό (40%) πλαγίως, προκύπτοντας αποτύπωμα της κάθε φωτογραφίας διαστάσεων 123,4μ x 92,4μ. Έχοντας λάβει υπόψη, τα παραπάνω δεδομένα, ο σχεδιασμός κατέληξε στην τοποθέτηση τεσσάρων σημείων (waypoints), που όρισαν τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το UAV. Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών φωτογραφιών είναι δεκαοκτώ (18) μέτρα, ενώ το πλήθος των συνολικών φωτογραφιών, που έπρεπε να ληφθούν για να καλυφθεί η περιοχή είναι τριάντα τέσσερις (34). Η συνολική απόσταση που κάλυψε το UAV είναι εξακόσια ογδόντα (680) μέτρα και η διάρκεια πτήσης ορίστηκε στα δύο λεπτά και πενήντα ένα δευτερόλεπτα (2' 51"), με τις φωτογραφίες να λαμβάνονται ανά τρία δευτερόλεπτα και εβδομήντα δέκατα του δευτερολέπτου.

Ένα άλλο σημαντικό τμήμα της προετοιμασίας είναι τα φωτοσταθερά, τα οποία βοηθούν στην αναγωγή του τελικού παραγόμενου φωτομωσαϊκού στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν ορισμένα από αυτά, ως σημεία ελέγχου και όχι ως φωτοσταθερά, με σκοπό τον ποιοτικό έλεγχο των παραγόμενων μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα, τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν είναι χαρτί σαγρέ μεγέθους A4, μη γυαλιστερό, στο κέντρο του οποίου υπάρχει τυπωμένο συμπαγές μαύρο τετράγωνο διαστάσεων 14,42 x 14,42

εκατοστών. Επιπλέον, για δοκιμαστικούς λόγους, στα μισά από αυτά τα φωτοσταθερά, εντός του μαύρου τετραγώνου, δημιουργήθηκε λευκό τετράγωνο με διαστάσεις 5 x 5 εκατοστά (Εικόνα 5.2.3.2).

**Εικόνα 5.2.3.2:** Φωτοσταθερά



Εκτός των άλλων, ο προγραμματισμός για τον οποίο γίνεται εδώ λόγος, αφορά επίσης και τον έλεγχο της ορθής κατανομής στο χώρο των φωτοσταθερών. Έτσι, με τη χρήση σχεδιαστικού προγράμματος, χαρτών της περιοχής και του σχεδίου πτήσης, ορίζονται προσεγγιστικά, σε συνάρτηση με το ανάγλυφο και την εκτιμώμενη προσβασιμότητα, οι θέσεις των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου στην περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια, εξάγονται οι προσεγγιστικές συντεταγμένες και εισάγονται στο γεωδαιτικό GPS με σκοπό τον ευκολότερο εντοπισμό τους, ενώ τέλος, τυπώνεται ένας χάρτης με τις θέσεις αυτών στο χώρο για τον ίδιο σκοπό.

## β) Συλλογή

Όσον αφορά τις εργασίες πεδίου, αυτές διαφέρουν σημαντικά σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους αποτύπωσης. Αρχικά λοιπόν, πραγματοποιήθηκε μετάβαση στο επιθυμητό σημείο απογείωσης<sup>5</sup> και στη συνέχεια, ακολούθησε η προετοιμασία του UAV, με την εγκατάσταση των τεσσάρων ελίκων, της μπαταρίας και της φωτογραφικής μηχανής, ενώ ακολούθησε η εκκίνηση του οχήματος και ο έλεγχος της ραδιοζεύξης με το τηλεχειριστήριο. Έπειτα, ακολούθησε η εκκίνηση του υπολογιστή στο έδαφος (Ground Control Station) και ο έλεγχος της ραδιοζεύξης μεταξύ του UAV και του

<sup>5</sup> Το σημείο απογείωσης δεν χρειάζεται να είναι κοντά στην προς αποτύπωση περιοχή, απλά η εγγύτητα να είναι εντός βεληνεκούς μπαταρίας για να εκτελεστεί το σχέδιο πτήσης επαρκώς και να επιστρέψει το όχημα στο σημείο προσγείωσης επιτυχώς.

υπολογιστή, όπου και θα μεταδίδονται τα δεδομένα τηλεμετρίας. Τέλος, εκκινήθηκαν οι ρότορες και το όχημα ήταν έτοιμο για την απογείωση.

Πριν από αυτό όμως, ζωτικής σημασίας ήταν η εγκατάσταση και η αποτύπωση των φωτοσταθερών και των σημείων έλεγχου στο χώρο με κατάλληλη διασπορά. Έτσι, με χρήση του γεωδαιτικού GPS (στην περίπτωση μας) ή ενός απλού GPS χειρός (σε άλλες περιπτώσεις), πραγματοποιήθηκε χοντρικός εντοπισμός των θέσεων και με βάση την υφιστάμενη κατάσταση στο πεδίο, έγινε η τοποθέτηση και η ακριβής αποτύπωση (με χρήση του GNSS) των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου. Στην περιοχή εγκαταστάθηκαν έξι φωτοσταθερά και έξι σημεία ελέγχου (Εικόνα 5.2.3.3). Στις θέσεις, όπου τα σημεία έπρεπε να εγκατασταθούν μέσα σε βλάστηση ή σπαρτά, επιπεδωνόταν μικρή περιοχή, ελαφρώς μεγαλύτερη από τις διαστάσεις του φωτοσταθερού, κατόπιν τοποθετούνταν στο έδαφος και καρφωνόταν με σιδερόβεργα μήκους σαράντα εκατοστών και διαμέτρου οκτώ χιλιοστών (Εικόνα 5.2.3.2).

**Εικόνα 5.2.3.3:** Απεικόνιση των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου



Ο εντοπισμός, η τοποθέτηση και η αποτύπωση των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου (δώδεκα το σύνολο) διήρκεσε 15 λεπτά, εξαιτίας της διασποράς σε



μικρή έκταση, σχετικά προσπελάσιμη. Σημειώνεται ότι οι καιρικές συνθήκες ήταν αρκετά ευνοϊκές, καθώς ο καιρός κατά την πτήση (18-05-2015, 13:55 - 14:00) ήταν αίθριος με θερμοκρασία περίπου 24<sup>ων</sup> βαθμών Κελσίου, ενώ ο άνεμος είχε ταχύτητα 4<sup>ων</sup> Μποφόρ. Η ταχύτητα του ανέμου, κατά την ώρα πτήσης, είχε ως αποτέλεσμα, τα σπαρτά<sup>6</sup> στην περιοχή και γενικά η βλάστηση, να κινούνται έντονα, ακολουθώντας τη φορά του ανέμου, δημιουργώντας την εντύπωση κυματισμού του εδάφους. Για αυτόν το λόγο, το όχημα αναγκαζόταν να δουλεύει εντονότερα τους ρότορες του, προκειμένου να διατηρήσει την πορεία και τη θέση που είχαν καθοριστεί εξ' αρχής από το σχέδιο πτήσης.

**Εικόνα 5.2.3.4:** Το τετρακόπτερο IRIS της 3DRobotics εν πτήση



### γ) Επεξεργασία

Η επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων από ένα UAV μπορεί να είναι αρκετά χρονοβόρα. Εξαρτάται, ωστόσο, από την ποιότητα των δεδομένων, το πλήθος τους, τα απαιτούμενα παραγόμενα προϊόντα και τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ.

Στην προκειμένη περίπτωση λοιπόν, αρχικά μεταφέρθηκαν οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου από το γεωδαιτικό GPS σε κατάλληλη μορφή στον υπολογιστή και πραγματοποιήθηκε ο ποιοτικός τους έλεγχος. Μέσω της διαδικασίας αυτής, διαπιστώθηκε ότι οι μετρήσεις αυτές ήταν ικανοποιητικές, με

---

<sup>6</sup> Εξαιτίας της περιόδου των μετρήσεων, τα σπαρτά σε κάποια σημεία είχαν ύψος πάνω από ένα μέτρο και η βλάστηση, κυρίως κοντά στις λίμνες, σχεδόν ενάμιση μέτρο.

αρκετούς δορυφόρους και χαμηλές τιμές DOP. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε εξαγωγή των τρισδιάστατων συντεταγμένων, καθώς και των αριθμών των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου σε αρχείο \*.txt.

Από τη στιγμή που εξασφαλίστηκαν τα δεδομένα από το GPS, ξεκίνησε και η ενασχόληση με το UAV. Αρχικά, από την πλακέτα του πιλότου στο τετρακόπερο, ελήφθη το αρχείο καταγραφής δεδομένων της πτήσης. Το αρχείο αυτό (flight log) περιείχε όλα τα δεδομένα, τα οποία καταγράφηκαν από την ώρα εκκίνησης του τετρακόπερου, έως τη στιγμή της διακοπής του. Ουσιαστικά, σε ένα αρχείο ελήφθη όλη η πραγματική κατάσταση της πτήσης, ενώ από τη φωτογραφική μηχανή πάρθηκαν οι φωτογραφίες, που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Επόμενο και πολύ σημαντικό βήμα, στη φάση αυτή, ήταν η αντιστοίχιση των πληροφοριών θέσης λήψης σε κάθε μία φωτογραφία (geotagging). Για να επιτευχθεί αυτό, συγκρίθηκε το ρολόι του ελικοπτερου με το αντίστοιχο της φωτογραφικής μηχανής, ακολουθώντας ο συγχρονισμός τους. Από τη στιγμή, που συγχρονίστηκαν τα ρολόγια (δηλαδή, είχε προσδιοριστεί η χρονική διαφορά μεταξύ τους), εγγράφονται οι συντεταγμένες<sup>7</sup> (φ,λ,η σε WGS84) θέσης του τετρακόπερου τη χρονική στιγμή λήψης της φωτογραφίας, στις ιδιότητες της κάθε φωτογραφίας. Η παραπάνω διαδικασία επιτεύχθηκε μετά από εισαγωγή και επεξεργασία, του flight log και των φωτογραφιών, στο πρόγραμμα σχεδιασμού πτήσης (Mission Planer).

Στη συνέχεια, ακολούθησε ο ποιοτικός έλεγχος των φωτογραφιών, μέσω του οποίου διαπιστώθηκε ότι από τις εκατόν δέκα εννιά (119) φωτογραφίες που ελήφθησαν, μόνο οι σαράντα οκτώ (48) ήταν ωφέλιμες, γεγονός που προέκυψε, συγκρίνοντας το σχέδιο πτήσης (flight plan), με το flight log και τις φωτογραφίες. Το σχέδιο πτήσης, που δημιουργήθηκε στον υπολογιστή εκτίμησε λήψη τριάντα έξι (36) φωτογραφιών για την κάλυψη της περιοχής. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή όμως, λόγω των διαφορετικών συνθηκών πτήσεων στο πεδίο, σε σύγκριση με αυτές που εκτιμήθηκαν κατά την εργασία γραφείου, ο αριθμός φωτογραφιών διαφέρει, γεγονός που οφείλεται στο μη

---

<sup>7</sup> Η καταγραφή συντεταγμένων στο flight log, έγινε έπειτα από την ανάγνωση των μετρήσεων, που προέκυψε από την ηλεκτρονική πλακέτα του GPS, η οποία υπήρχε ενσωματωμένη στο τετρακόπερο και επικοινωνούσε με τον αυτόματο πιλότο. Το GPS αποτελούσε ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του οχήματος, καθότι έδωσε τη δυνατότητα της αυτόματης πλοήγησης. Παρόλα αυτά, εξαιτίας του μικρού του μεγέθους, η ακρίβειά του περιορισμένη περιορισμένη (της τάξεως των μερικών μέτρων οριζοντιογραφικά και υψομετρικά).

έλεγχο της φωτογραφικής μηχανής από τον αυτόματο πιλότο. Έτσι, ο χειριστής αναγκάστηκε να εκκινήσει τη φωτογραφική μηχανή από εδάφους και να ορίσει συγκεκριμένο χρονοβήμα λήψης της κάθε φωτογραφίας (τύπου time lapse). Όλες λοιπόν οι φωτογραφίες που ελήφθησαν, όσο το τετρακόπτερο ήταν ενεργό στο έδαφος, μέχρι να μεταβεί στην επιθυμητή θέση και από την τελευταία επιθυμητή θέση έως την προσγείωση και τη διακοπή λειτουργίας της φωτογραφικής μηχανής, ήταν φύρα. Πλέον, υπήρχαν όλα τα δεδομένα που ήταν απαραίτητα για να εισαχθούν στο πρόγραμμα επεξεργασίας<sup>8</sup> για την παραγωγή των διαφόρων μοντέλων. Ξεκινώντας τη διαδικασία, εισήχθησαν οι φωτογραφίες που είχαν επιλεγεί και είχαν σημανθεί καταλλήλως με τις πληροφορίες θέσης λήψης.

Πρώτο βήμα ήταν η ευθυγράμμιση των φωτογραφιών (align photos), όπου με αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα χρησιμοποίησε τις συντεταγμένες της κάθε φωτογραφίας και τις τοποθέτησε με τη σειρά λήψης τους στο χώρο. Στη συνέχεια ήταν απαραίτητο να εισαχθούν τα φωτοσταθερά που θα χρησιμοποιούνταν για τη γεωαναφορά του μοντέλου. Ακολουθώντας, για την εκκίνηση της διαδικασίας έπρεπε πρώτα να δημιουργηθεί ένα ψευδοτριδιάστατο μοντέλο αναπαράστασης της περιοχής χαμηλής ποιότητας<sup>9</sup>, γεγονός που έδωσε τη δυνατότητα στο πρόγραμμα, αμέσως μετά τον εντοπισμό ενός φωτοσταθερού, να υποδείξει την εκτιμώμενη θέση του και στις υπόλοιπες φωτογραφίες του project. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι χρονικά αποδοτική. Έπειτα, εντοπίστηκε το πρώτο φωτοσταθερό σε μία φωτογραφία, με συνέπεια το πρόγραμμα να εντοπίσει και να υποδείξει αυτομάτως τις φωτογραφίες στις οποίες εμφανίζεται το συγκεκριμένο φωτοσταθερό. Μεταβαίνοντας σε κάθε μία από τις φωτογραφίες, με κινήσεις τύπου drag 'n' drop (πάτα - κράτα - σύρε - άφησε), διορθώθηκε, η προτεινόμενη από το πρόγραμμα, θέση του φωτοσταθερού, με την αντίστοιχη εκτιμώμενη από το χρήστη. Με την ίδια διαδικασία εντοπίζονται αντίστοιχα και τα σημεία ελέγχου.

Μετά την ολοκλήρωση του εντοπισμού των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου, ακολούθησε η εισαγωγή των συντεταγμένων τους (από το txt αρχείο που είχε εξαχθεί με τις μετρήσεις του γεωδαιτικού GPS), ενώ, κατόπιν, ορίστηκε το σύστημα

---

<sup>8</sup> Ως πρόγραμμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων επιλέχθηκε αρχικά το Photoscan της εταιρίας Agisoft ([www.agisoft.com](http://www.agisoft.com)).

<sup>9</sup> Μενού Workflow, εντολή Build Mesh, ιδιότητες: surface type → height field, Interpolation → Enabled, Face Count → 200.000.



αναφοράς των φωτοσταθερών (ΕΓΣΑ87<sup>10</sup>). Στη συνέχεια, ακολούθησε η βελτιστοποίηση<sup>11</sup> (optimization) της ευθυγράμμισης των φωτογραφιών, ενώ το επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία του «νέφους σημείων»<sup>12</sup> από τις διορθωμένες, πλέον, φωτογραφίες. Μετά το πέρας της διεργασίας αυτής, δημιουργήθηκε το πλέγμα τριγώνων<sup>13</sup>, όπως παραπάνω, με τη διαφορά ότι προέκυψε λαμβάνοντας υπόψη το «νέφος σημείων» που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα, με αποτέλεσμα την ύπαρξη μεγαλύτερου πλήθους τριγώνων και κατ' επέκταση μεγαλύτερης λεπτομέρειας.

Κατόπιν, δημιουργήθηκε η υφή<sup>14</sup> της περιοχής μελέτης, η οποία σε συνδυασμό με το πλέγμα των τριγώνων στο προηγούμενο βήμα, έδωσε μια τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης, εντός του προγράμματος επεξεργασίας. Πλέον, ήταν δυνατή η εξαγωγή του ορθοφωτοχάρτη της περιοχής και του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (DSM). Τέλος, δόθηκε η δυνατότητα να παραχθεί αναφορά<sup>15</sup> για τον έλεγχο της ποιότητας των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

#### 5.2.4 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΕΡΟΜΟΝΤΕΛΟΥ (UAV) eBee

##### ❖ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Αερομοντέλο της εταιρίας senseFly του ομίλου Parrot, μοντέλο eBee, με τα παρελκόμενά του (για τεχνικά χαρακτηριστικά βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Το ενδιαφέρον για το συγκεκριμένο αερομοντέλο, τύπου σταθερών πτερύγων, είναι ότι ο χειρισμός του δεν απαιτεί τηλεχειριστήριο, ενώ οι κινήσεις και οι ελιγμοί, που εκτελεί και απαιτούνται να γίνουν, ελέγχονται από τον προηγμένης τεχνολογίας αυτόματο πιλότο, που το πλαισιώνει.

<sup>10</sup> Greek Grid ή GGRS87 ή EPSG code: 2100 αναφέρονται στο ίδιο σύστημα, το ΕΓΣΑ87.

<sup>11</sup> Optimize Camera Alignment.

<sup>12</sup> Μενού Workflow, εντολή Build Dense Cloud, Quality → High, Depth Filtering → Aggressive.

<sup>13</sup> Μενού Workflow, εντολή Build Mesh, ιδιότητες: Surface Type → Dense Point Cloud, Interpolation → Enabled, Face Count → 20.000.000.

<sup>14</sup> Μενού Workflow, εντολή Build Texture, ιδιότητες: Mapping Mode → Orthophoto, Blending Mode → Mosaic, Texture Size → 4096, Enable Color Correction.

<sup>15</sup> Generate Report.



- Υπολογιστής τύπου windows tablet για έλεγχο και παραμετροποίηση των δεδομένων της πτήσης σε πραγματικό χρόνο με χρήση του λογισμικού eMotion 2<sup>16</sup>.
- Φωτογραφική μηχανή Canon IXUS 127 HS, εστιακής απόστασης 4,3mm, με ωφέλιμα 15,93 megapixel (για τεχνικά χαρακτηριστικά βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).
- Γεωδαιτικό GPS με τα παρελκόμενά του (όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.2.1).
- Φωτοσταθερά και πάσσαλοι στερέωσης (όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.2.3).
- Υπολογιστής τύπου laptop (όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.2.3)

### α) Προγραμματισμός

Όσον αφορά τη μελέτη της περιοχής στο γραφείο, τον εντοπισμό κατάλληλων θέσεων τοποθέτησης φωτοσταθερών, την προετοιμασία αυτών και την προετοιμασία του GNSS, ο προγραμματισμός της εργασίας ήταν παρόμοιος με τον αντίστοιχο, που ακολουθήθηκε, κατά τη διαδικασία αποτύπωσης, με το προηγούμενο UAV.

Ωστόσο, η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών UAVs, εντοπίστηκε στην εκπόνηση του σχεδίου πτήσης. Με τη χρήση του λογισμικού eMotion 2, η οργάνωση του σχεδίου πτήσης ήταν σχετικά μία εύκολη διαδικασία, καθώς το λογισμικό ήταν κατασκευασμένο εξ' αρχής γύρω από το συγκεκριμένο αερομοντέλο. Έτσι λοιπόν,

---

<sup>16</sup> Το λογισμικό eMotion 2 είναι λογισμικό ελέγχου, παραμετροποίησης και προσομοίωσης πτήσης, το οποίο έχει δομηθεί αποκλειστικά γύρω από το eBee. Με αυτόν τον τρόπο, το λογισμικό εκμεταλλεύεται στο έπακρο τις δυνατότητες του οχήματος, μειώνοντας κατά πολύ τον απαιτούμενο χρόνο για αρκετές από τις εργασίες, που αφορούν την πτήση και διαχείριση των προϊόντων αυτής.

χρησιμοποιώντας τα παρελκόμενά του, οι απαραίτητες ρυθμίσεις, που πρέπει να ληφθούν υπόψη, ήταν ελάχιστες.

Στην προκειμένη περίπτωση, επιλέχθηκε η φωτογραφική μηχανή Canon IXUS 127 HS, ειδικά τροποποιημένη για χρήση της από τον αυτόματο πιλότο του eBee, η οποία υπάρχει στις προεπιλογές του προγράμματος. Στη συνέχεια, δόθηκε η επιθυμητή επικάλυψη των φωτογραφιών (70% κατά τη φορά πτήσης και 65% πλαγίως), ενώ το ύψος πτήσης ορίστηκε στα εκατόν τριάντα (130) μέτρα. Ο ορισμός της περιοχής αποτύπωσης, εκτάσεως επτακοσίων (700) στρεμμάτων, έγινε με σχεδιασμό ενός τετραγώνου, το οποίο περιέκλειε την εν λόγω περιοχή και του οποίου μετακινούνταν οι κορυφές στις επιθυμητές θέσεις με κινήσεις τύπου drag ή drop.

Έπειτα, εφαρμόστηκε μία πολύ ενδιαφέρουσα λειτουργία του προγράμματος, που αφορά την προσαρμογή του ύψους πτήσης, ανάλογα με το ύψος του αναγλύφου της περιοχής. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει υψομετρική πληροφορία από το SRTM<sup>17</sup> και να τη χρησιμοποιεί, προκειμένου το eBee (κατά την εκτέλεση του σχεδίου πτήσης) να διατηρεί, μονίμως, το επιθυμητό ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια, επιλέχθηκε το επιθυμητό σημείο προσγείωσης και οι επιθυμητές γωνίες προσέγγισης.

Τέλος, κατά τον προγραμματισμό, σημαντικό ήταν ότι, το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μέθοδο, διαφέρει σημαντικά στον τρόπο προσγείωσης και απογείωσης σε σχέση με το τετρακόπτερο (που χρησιμοποιήθηκε στην προηγούμενη μέθοδο), διότι είναι τύπου αεροπλάνου. Η διαφορά αυτή, έγκειται στο γεγονός ότι, για την προσγείωσή του απαιτήθηκε μια περιοχή απαλλαγμένη από εμπόδια και αντικείμενα μεγάλου ύψους, σε απόσταση 10 έως 20 μ, κατά τη διεύθυνση προσγείωσης και προς το σημείο αυτής.

## β) Συλλογή

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο εργασίας ήταν παρόμοιες με αυτές που έλαβαν χώρα κατά τη μέθοδο του τετρακόπτερου. Αρχικά λοιπόν, πραγματοποιήθηκε μετάβαση στο σημείο απογείωσης. Στη συνέχεια, ακολούθησαν οι εργασίες συναρμολόγησης του αερομοντέλου, στις οποίες περιλαμβάνονταν η τοποθέτηση των πτερύγων, της έλικας, της μπαταρίας και της φωτογραφικής μηχανής,

---

<sup>17</sup> Shuttle Radar Topography Mission. Παρέχει υψομετρική πληροφορία ανά τριάντα μέτρα. Για περισσότερες πληροφορίες δείτε → <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

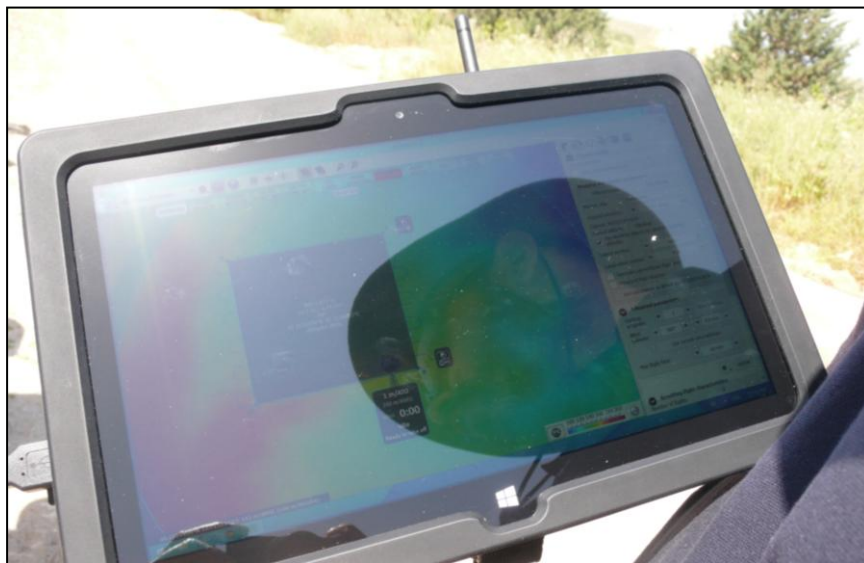
η οποία τοποθετείται, γενικά, εντός του σώματος του eBee για να προστατεύεται κατά την προσγείωση (Εικόνα 5.2.4.1).

**Εικόνα 5.2.4.1:** Θέση αποθήκευσης φωτογραφικής μηχανής του eBee (πάνω και κάτω όψη)



Έπειτα, τέθηκε σε εφαρμογή το tablet με το πρόγραμμα επικοινωνίας και ελέγχου του eBee (eMotion 2) και ελέγχθηκε η επικοινωνία μεταξύ τους. Οι τυχόν τροποποιήσεις, που πιθανόν να προέκυψαν στο σχέδιο πτήσης, εξαιτίας των συνθηκών του πεδίου, μπόρεσαν πάρα πολύ εύκολα να εφαρμοστούν, ενώ πλέον το όχημα ήταν έτοιμο για απογείωση, σύμφωνα με τις υποδείξεις του χειριστή (Εικόνα 5.2.4.2).

**Εικόνα 5.2.4.2:** Επίγειος σταθμός ελέγχου



Πριν την απογείωση του οχήματος όμως, έπρεπε να τοποθετηθούν και να αποτυπωθούν, με ακρίβεια, τα φωτοσταθερά και τα σημεία ελέγχου, μια διαδικασία,

που ακολουθήθηκε για τα εννέα φωτοσταθερά και τα δώδεκα σημεία ελέγχου, που ελήφθησαν υπόψη. Η διαδικασία αυτή διήρκεσε δύο ώρες ακριβώς, καθώς υπήρξε δυσκολία κατά τη μετάβαση από σημείο σε σημείο, εξαιτίας της έντονης βλαστήσεως. Οι καιρικές συνθήκες και στην περίπτωση αυτή, ήταν αρκετά ευνοϊκές, καθώς ο καιρός κατά την πτήση (18-05-2015, 12:19 - 12:42) ήταν αίθριος με θερμοκρασία περίπου 22 βαθμών Κελσίου, ενώ ο άνεμος είχε ταχύτητα έως 2 Μποφόρ.

Οι συνθήκες πτήσης κρίθηκαν άκρως ιδανικές, καθώς το eBee ήταν σε θέση να πραγματοποιήσει όλους τους ελιγμούς του και το σχέδιο πτήσης του, χωρίς να παραστεί οποιοδήποτε πρόβλημα. Το eBee ήταν ρυθμισμένο με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε, λίγο πριν τη λήψη της κάθε προγραμματισμένης φωτογραφίας, ύψωνε το ρύγχος του κατά επτά μοίρες, έκλεινε τη μηχανή του και μόλις το ρύγχος επανερχόταν, έδινε την εντολή στον αυτόματο πιλότο στη φωτογραφική μηχανή να εκτελέσει τη λήψη της φωτογραφίας. Με αυτόν τον τρόπο, επιτεύχθηκε, όσο ήταν δυνατό, η βέλτιστη σταθερότητα κατά τη λήψη των φωτογραφιών, αυξάνοντας την καθαρότητά τους. Στη συνέχεια, ο κινητήρας επανεκκινούνταν και πάλι και το όχημα συνέχιζε προς την επόμενη θέση. Προφανώς, όσο μικρότερη η ταχύτητα του ανέμου, τόσο πιο εύκολο ήταν να εκτελεστούν οι απαραίτητοι ελιγμοί του οχήματος. Τέλος, εκτός των άλλων, ένα σημαντικό πλεονέκτημα του eBee ήταν το γεγονός ότι, η φωτογραφική μηχανή ελέγχονταν άμεσα από τον αυτόματο πιλότο, με αποτέλεσμα, οι τελικές συλλεχθείσες φωτογραφίες, που τελικά προέκυψαν να είναι ακριβώς αυτές που είχαν οριστεί από το αρχικό σχέδιο πτήσης.

### **γ) Επεξεργασία**

Μετά τη λήξη των εργασιών πεδίου, ακολούθησαν οι εργασίες γραφείου, κατά την έναρξη των οποίων, μεταφορτώθηκαν, πρωτίστως, οι φωτογραφίες από την κάμερα στον υπολογιστή και εν συνεχεία, οι μετρήσεις των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου, καθώς και το αρχείο καταγραφής της πτήσης. Κατόπιν, εξετάστηκε η ποιότητα των μετρήσεων των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου, με αποτέλεσμα να διαπιστωθεί ότι ήταν απολύτως αποδεκτές. Στη συνέχεια, το επόμενο στάδιο ήταν η επεξεργασία των φωτογραφιών, που πραγματοποιήθηκε με σχετικά εύκολες και γρήγορες διεργασίες. Το αρχείο καταγραφής πτήσης και ο φάκελος, που περιείχε τις φωτογραφίες, εισήχθησαν στο λογισμικό eMotion 2 και με μερικά απλές κινήσεις πραγματοποιήθηκε, τελικά, η γεωσήμανση (geotagging) των εικόνων.

Από αυτό το σημείο και έπειτα εκπονήθηκε το κύριο μέρος της επεξεργασίας. Στο στάδιο αυτό, οι φωτογραφίες δε χρειάστηκε να ελεγχθούν για την πιθανότητα ύπαρξης τυχόν περιττών φωτογραφιών, διότι από τη στιγμή που η φωτογραφική μηχανή ελέγχθηκε πλήρως από τον αυτόματο πιλότο του οχήματος, η πρώτη και η τελευταία φωτογραφία ελήφθησαν στις θέσεις όπου είχαν προκαθοριστεί κατά το σχέδιο πτήσης. Παρόλα αυτά, έγινε έλεγχος για τυχόν ακατάλληλες φωτογραφίες, οι οποίες δεν πληρούν τα κριτήρια οπτικής αρτιότητας. Γενικά, με τον τρόπο που ελήφθησαν οι φωτογραφίες από το όχημα, η φύρα ήταν ελάχιστη και περιορίστηκε σε θέματα φωτεινότητας ή έντονης ανακλαστικότητας. Στην προκειμένη περίπτωση μάλιστα, διαπιστώθηκε η ύπαρξη μιας τέτοιας περιοχής στα δυτικά της μεγάλης λίμνης, όπου παρουσιάστηκε υψηλή φωτεινότητα, λόγω της αντανάκλασης των ηλιακών ακτινών στην υδάτινη επιφάνεια της λίμνης.

Ωστόσο, αποφασίστηκε τελικά να διατηρηθούν όλες οι φωτογραφίες, με σκοπό να ελεγχθούν τα παραγόμενα μοντέλα και η συμπεριφορά των προγραμμάτων φωτογραμμετρικής επεξεργασίας, όσον αφορά το συγκεκριμένο φαινόμενο. Κατά τη διαδικασία γεωσήμανσης των εικόνων με τη χρήση του προγράμματος eMotion 2 διαπιστώθηκε ότι το πρόγραμμα ήταν σε θέση να δημιουργήσει ένα αρχείο, το οποίο περιείχε τα απαραίτητα δεδομένα για την εκκίνηση της διαδικασίας επεξεργασίας των φωτογραφιών στο πρόγραμμα Pix4Dmapper ή σε κάποιο αντίστοιχο πρόγραμμα, το οποίο θα μπορούσε να διαχειριστεί το συγκεκριμένο είδος αρχείων. Έτσι λοιπόν, αποφασίστηκε, πέραν της επεξεργασίας των φωτογραφιών με το πρόγραμμα Photoscan, να δοκιμαστεί επιπλέον και το Pix4Dmapper.

Όσον αφορά τη διαδικασία επεξεργασίας στο Photoscan, αυτή ήταν παρόμοια με την προαναφερθείσα του υποκεφαλαίου 5.2.3 (γ). Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, λόγω του συγκριτικά μεγαλύτερου πλήθους των χρησιμοποιούμενων φωτογραφιών και των αντίστοιχων χρόνων επεξεργασίας, τα μεγέθη των παραγόμενων μοντέλων είναι εξίσου μεγάλα. Επίσης, καθότι υπήρχε πληθώρα φωτοσταθερών και σημείων ελέγχου, αποφασίστηκε να δημιουργηθούν δύο μοντέλα, ένα με χρήση έξι φωτοσταθερών και ένα με χρήση δεκατριών, με σκοπό να ελεγχθεί η πιθανή μεταβολή στην ακρίβεια των προϊόντων.

Στη συνέχεια, ακολούθησε η διαδικασία επεξεργασίας των φωτογραφιών στο πρόγραμμα Pix4Dmapper, όπου ανοίχθηκε το παραγόμενο, από το λογισμικό eMotion 2, αρχείο. Ανοίγοντας το εν λόγω αρχείο, διαπιστώθηκε ότι οι φωτογραφίες είχαν ήδη φορτωθεί στο πρόγραμμα και ήταν γεωσημασμένες. Το επόμενο βήμα, που ακολούθησε

ήταν η εισαγωγή του αρχείου με τα φωτοσταθερά και τα σημεία ελέγχου<sup>18</sup>. Έπειτα, ακολούθησε η διαδικασία<sup>19</sup> για τη δημιουργία του πρωτογενούς και χαμηλού πλήθους νέφους σημείων (Ray Cloud), το οποίο βοήθησε στον εντοπισμό των φωτοσταθερών, αλλά και στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων της φωτογραφικής μηχανής. Μόλις δημιουργήθηκε το Ray Cloud, ανοίγοντας το GCP Editor, επιλέχθηκε να γίνει εντοπισμός και διόρθωση της θέσης των φωτοσταθερών με τη χρήση του Ray Cloud Editor. Εκεί πλέον, με το που επιλέχθηκε το κάθε ένα φωτοσταθερό, το πρόγραμμα υπέδειξε μόνο τις φωτογραφίες, στις οποίες αυτό εντοπιζόταν, παρουσιάζοντας παράλληλα και την εκτιμηθείσα θέση του πάνω σε αυτές. Κατόπιν, με κινήσεις τύπου Drag & Drop, διορθώθηκε η θέση αυτού, έτσι ώστε να συμπίπτει με την απεικονιζόμενη.

Μετά το πέρας της προαναφερθείσης διαδικασίας, έγινε επιστροφή στο παράθυρο του Local Processing από-επιλογή του Initial Processing και επιλογή, πλέον του Point Cloud Densification και του DSM & Orthomosaic Generation. Αφήνεται επιλεγμένο το Full Processing και η εκκίνηση ξεκινάει, πατώντας το κουμπί της εκκίνησης (Start). Με τον τρόπο αυτόν και με ελάχιστη παρέμβαση από τον χρήστη, μετά το πέρας και των τελευταίων διαδικασιών, το συγκεκριμένο πρόγραμμα έδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα αποκλειστικά και μόνο με τις βασικές του ρυθμίσεις. Αν ο χρήστης ήθελε να εισέλθει σε πιο λεπτομερή έλεγχο των ρυθμίσεων και να παραμετροποιήσει όσες αυτός επιθυμούσε, μπορούσε από το παράθυρο του Local Processing να επιλέξει το κουμπί Options και κατόπιν να προβεί στους επιθυμητούς ελέγχους και στις επιθυμητές παραμετροποιήσεις.

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε μόνο ο οπτικός έλεγχος των παραμέτρων, διότι επιθυμητό ήταν να ελεγχθεί η ποιότητα των αποτελεσμάτων, τα οποία παράγονται, ακολουθώντας τη γρηγορότερη διαδικασία προετοιμασίας και ρυθμίσεων. Το μόνο που τροποποιήθηκε<sup>20</sup> από τις αυτόματες ρυθμίσεις ήταν το πλήθος

---

<sup>18</sup> Πατώντας το κουμπί με το σύμβολο του φωτοσταθερού, ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας φωτοσταθερών. Κατόπιν, εισάγεται το .txt αρχείο που περιέχει τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου. Στη συνέχεια, επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα αναφοράς (EΓΣΑ87). Στο ίδιο παράθυρο επιλέγεται επίσης, ποια από τα σημάδια είναι φωτοσταθερά (GCP) και ποια είναι σημεία ελέγχου (check point).

<sup>19</sup> Από το παράθυρο του Local Processing, επιλέγεται μόνο το Initial Processing και το Full Processing.

<sup>20</sup> Από 1.000.000 σε 10.000.000

των πολυγώνων, τα οποία σχημάτισαν το πλέγμα τριγώνων, που παράχθηκε από το «νέφος σημείων». Επιπλέον, στους διαθέσιμους πόρους περιορίστηκε<sup>21</sup> η χρήση της διαθέσιμης μνήμης RAM στα 6gb από τα οκτώ διαθέσιμα του υπολογιστή και οι διαθέσιμες CPU, σε τρεις από τέσσερις, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία και η κάρτα γραφικών (GPU). Τέλος, σκόπιμο είναι να αναφερθεί ότι, το Texture Size στο συγκεκριμένο project, ως προεπιλογή είχε τιμή 8192 x 8192, σε αντίθεση με το Agisoft, στο οποίο η τιμή ήταν 4096 x 4096, γεγονός που αποτέλεσε ένα σημαντικό παράγοντα, ο οποίος σίγουρα επηρέασε το χρόνο παραγωγής του τελικού προϊόντος.

---

<sup>21</sup> Οι ίδιες ρυθμίσεις χρησιμοποιήθηκαν και στο Agisoft.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΓΚΡΙΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναλύοντας τα αποτελέσματα των επιλύσεων, συμπεραίνεται ότι η χρήση του GNSS συστήματος κρίνεται απαραίτητη, ειδικά εφόσον είναι επιθυμητή η εξάρτηση των προϊόντων των αποτυπώσεων σε κάποιο σύστημα αναφοράς, καθώς και η βελτίωση της ασάφειας του προσδιορισμού της θέσης των αποτυπωμένων αντικειμένων στον χώρο. Από την άλλη πλευρά, ως μέθοδος αποτύπωσης, παράγει προϊόντα υψηλής μετρητικής ακριβείας (της τάξεως των τριών εκατοστών ή και καλύτερης), αλλά ο χρόνος παραμονής στο πεδίο αυξάνεται κατακόρυφα, όσο αυξάνεται η έκταση της αποτύπωσης. Στην περίπτωση της τεκμηρίωσης αρχαιολογικών χώρων, η αποτύπωση με χρήση GNSS παρέχει βέλτιστα αποτελέσματα, καθώς μπορούν να αποτυπωθούν όλα τα σημεία λεπτομερειών ένα προς ένα με ακρίβεια εκατοστού.

Η χρήση του 3D Laser Scanner, με τον τρόπο που αποτυπώνει (σάρωση σε κανάβο συγκεκριμένου βήματος) (Εικόνα 6.1), δημιουργεί ένα πολυπληθές «νέφος σημείων», το οποίο, παρόλα αυτά, δεν είναι πάντα βέβαιο ότι έχει αποτυπώσει τα επιθυμητά σημεία.

**Εικόνα 6.1:** Αποτύπωση με Laser Scanner, βήμα κανάβου 0,5μ



Πιο συγκεκριμένα, όσο ο στόχος απομακρύνεται από τη θέση του Laser Scanner και το βήμα σάρωσης παραμένει σταθερό, η πυκνότητα των συλλεχθέντων σημείων μειώνεται. Το πλεονέκτημα έγκειται στο γεγονός ότι το μεγάλο πλήθος σημείων δημιουργεί μία ψευδορεαλιστική εντύπωση των αποτυπωμένων αντικειμένων. Αν η αποτύπωση δεν είναι αρκετά πυκνή και δε συνοδεύεται από κάποιου είδους περιγραφική πληροφορία (πχ φωτογράφιση του προς αποτύπωση αντικειμένου),

έγκειται για άλλη μια φορά στο χρήστη και στην προσωπική του εκτίμηση σε ποια από τα σημεία θα ορίσει το επιθυμητό περίγραμμα των προς αποτύπωση αντικειμένων. Εντούτοις, αποτελεί ένα εξαιρετικό και ταχύτατο εργαλείο στη δημιουργία ψηφιακών υπομετρικών μοντέλων και ογκομετρήσεων υψηλής ανάλυσης. Η αναλογία του χρόνου αποτύπωσης και επεξεργασίας προς τη συνολική αποτυπωθείσα έκταση είναι εντυπωσιακή. Σε περίπου τρεις ώρες και τριάντα λεπτά αποτυπώθηκε έκταση 400 στρεμμάτων και δημιουργήθηκε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) υψηλής χωρικής ανάλυσης. Τα UAS, στο χώρο των αποτυπώσεων, κρίνονται ως εξαιρετικά συστήματα, κυρίως όσον αφορά την κάλυψη μη προσπελάσιμων ή δύσκολα προσεγγίσιμων περιοχών. Η δυνατότητα πτήσης ή και αιώρησης, σε συνδυασμό με μία καλή φωτογραφική μηχανή (ή βιντεοκάμερα) είναι δυνατό να δώσει πολύ ενδιαφέρουσες λήψεις μιας περιοχής. Παρόλα αυτά, το μικρό βάρος ωφέλιμου φορτίου, ο περιορισμένος χρόνος πτήσης, οι καιρικές συνθήκες και η υφιστάμενη κατάσταση, αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την κάθε προγραμματισμένη πτήση. Ωστόσο, στην περίπτωση του αρχαιολογικού χώρου, τα επιλεγμένα ύψη πτήσης 130μ και 100μ, αντίστοιχα, σε συνδυασμό με τις φωτογραφικές μηχανές των 16 megapixels δεν απέδωσαν την επιθυμητή πληροφορία. Επιπροσθέτως, ενώ οι χρόνοι πτήσης σε συνάρτηση με την αποτυπωμένη έκταση ήταν ασύγκριτα μικρότεροι σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, ο χρόνος εγκατάστασης των φωτοσταθερών και η επεξεργασία των δεδομένων μέχρι την παραγωγή των τελικών προϊόντων ήταν μία άκρως χρονοβόρα διαδικασία, στην οποία δεν έχει συμπεριληφθεί ο χρόνος που απαιτείται για να αποδοθεί η περιοχή σε χάρτη.

Βασική διαφορά των δύο ιπτάμενων οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν είναι πως η φιλοσοφία κατασκευής τους είναι πολύ διαφορετική. Το IRIS κατασκευάστηκε με γνώμονα μη επαγγελματικές χρήσεις (αναψυχή) και κατόπιν τροποποιήθηκε για λήψη κάθετων αεροφωτογραφιών. Αντιθέτως το eBee είναι κατασκευασμένο εξ αρχής με τη φιλοσοφία του εξειδικευμένου επαγγελματικού εξοπλισμού, έτοιμο να καλύψει τις ανάγκες του επαγγελματία στο πεδίο. Για αυτό και οι παροχές σε υποστηρικτικό λογισμικό είναι διαφορετικές, επηρεάζοντας και την τελική τιμή διάθεσης των δύο προϊόντων.

Όσον αφορά τους χρόνους πτήσης των δύο οχημάτων, αναφέρεται πως η πτήση με το eBee διήρκεσε 23 λεπτά και 7 δευτερόλεπτα, χρόνος πολλαπλάσιος συγκριτικά με τα 5 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα που διήρκεσε η πτήση με το τετρακόπτερο IRIS. Οι μεγάλες διαφορές που παρατηρούνται στους χρόνους πτήσης είναι αποτέλεσμα της

αυτονομίας του κάθε οχήματος. Οι απαιτήσεις ενέργειας σε συνδυασμό με το βάρος κατά την απογείωση είναι καθοριστικοί παράγοντες. Λογικό είναι, λοιπόν, το eBee, το οποίο έχει βάρος κατά την απογείωση 690γρ. και έναν ρότορα, να επιτυγχάνει πολύ μεγαλύτερη αυτονομία σε σύγκριση με το IRIS, το οποίο έχει εκτιμώμενο βάρος κατά την απογείωση 1500γρ. και τέσσερις ρότορες.

Η οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια των ορθοφωτοχαρτών, παρά την υπαρξη πλήθους εγκατεστημένων φωτοσταθερών και σημείων ελέγχου, τα οποία ήταν αποτυπωμένα με πολύ μεγάλη ακρίβεια (μεγαλύτερη των τριών εκατοστών), κρίθηκε μέτρια και ήταν χοντρικά της τάξεως των 15-20cm. Διαπιστώθηκε, επίσης, ότι η διεύθυνση της ασάφειας δεν ήταν σταθερή σε όλα τα σημεία των χαρτών.

Μάλιστα, ενδιαφέρον παρουσίασε το γεγονός, ότι το τριγωνομετρικό της Γ.Υ.Σ. στην κορυφή του αρχαιολογικού λόφου, με κυλινδρικό σχήμα και διαστάσεις 1,10μ ύψος και διάμετρο 0,30μ περίπου, δεν αναπαραστάθηκε στο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας, ενώ, στον ορθοφωτοχάρτη που προέκυψε από την επεξεργασία των φωτογραφιών που ελήφθησαν από το IRIS, δεν αποδόθηκε σωστά (Εικόνα 6.2). Στο γεγονός αυτό οφείλονται πιθανώς και οι μεγάλες αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν (0,4-1,8μ υψομετρικά και 11-45 εκατοστά οριζοντιογραφικά).

**Εικόνα 6.2:** Σφάλμα στην απόδοση του τριγωνομετρικού σημείου



Κάτι αντίστοιχο παρατηρήθηκε και με το σημείο 112 (Εικόνα 6.3). Σε μία εκ των επιλύσεων (στο πρόγραμμα Pix4D με χρήση 9 GCP), όπου το σημείο 112 χρησιμοποιήθηκε ως σημείο ελέγχου και όχι ως φωτοσταθερό, παρατηρήθηκαν αποκλίσεις της τάξεως του μέτρου οριζοντιογραφικά και σχεδόν δυο μέτρων υψομετρικά. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην έλλειψη αλληλεπικαλυπτόμενων

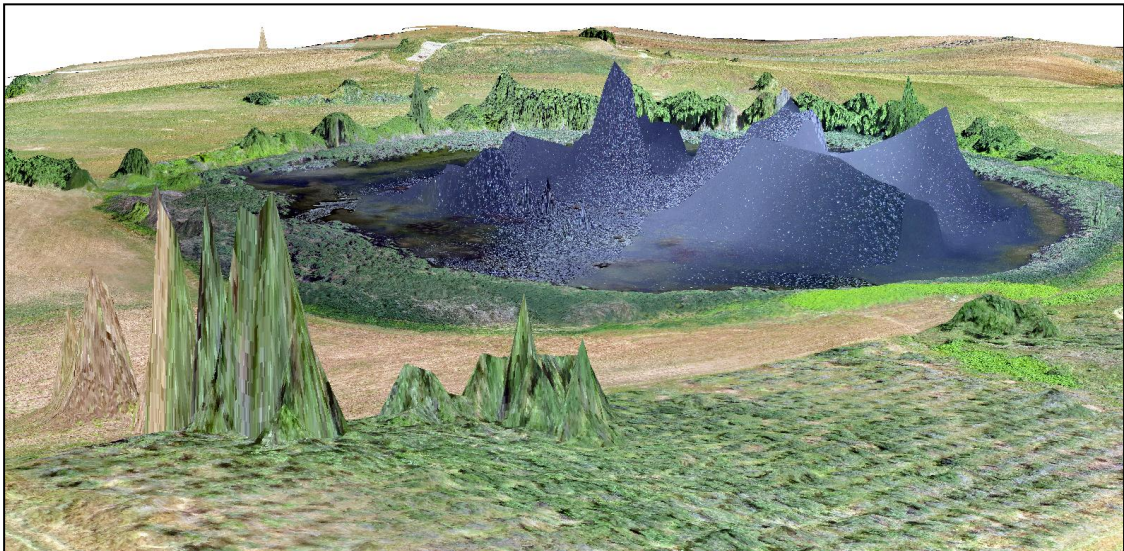
φωτογραφιών στην περιοχή, διότι το πρόγραμμα δήλωσε αδυναμία βαθμονόμησής τους.

**Εικόνα 6.3:** Οριζοντιογραφικό σφάλμα σημείου 112



Μία ακόμα σημαντική διαπίστωση μεταξύ των επιλύσεων στα δύο προγράμματα (Photoscan, pix4D), είναι η ανύψωση (στο DSM) της υδάτινης επιφάνειας της λίμνης και κάποιων δέντρων ελιάς σε μη ρεαλιστικό υψόμετρο (Εικόνα 6.4).

**Εικόνα 6.4:** Εσφαλμένη απόδοση υψομέτρων

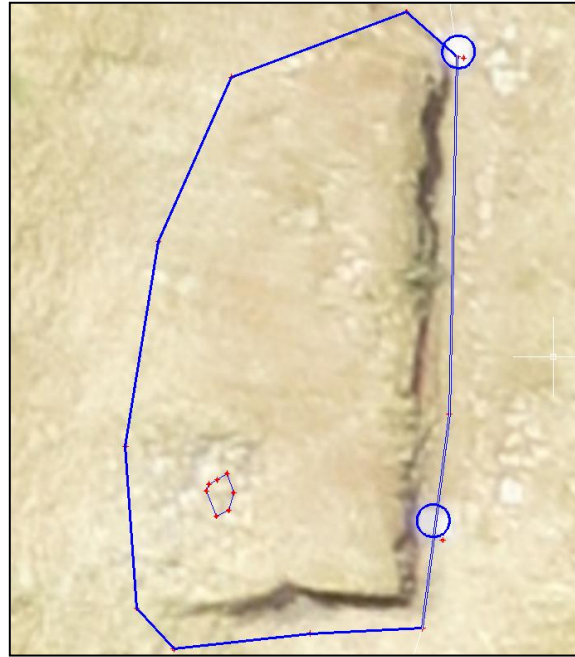


Αυτό πιθανότατα συνέβη γιατί το φίλτρο εξομάλυνσης του DSM δεν εφαρμόστηκε σωστά.

Διαφορές επίσης παρατηρήθηκαν κατά την απόδοση του φρυδιού και του ποδιού των αρχαιολογικών τομών σε σχέση με την πραγματική τους θέση (Εικόνα 6.5).



**Εικόνα 6.5:** Με μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι πραγματικές θέσεις των φωτοσταθερών, του φρυδιού της τομής και ενός αρχαιολογικού ευρήματος



Παρόμοιο σφάλμα παρατηρείται και σε διάφορα άλλα μέρη των παραγόμενων φωτομωσαϊκών.

Το ύψος της βλάστησης, κατά την περίοδο των αεροφωτογραφίσεων, ήταν αρκετά μεγάλο, ενώ σε ορισμένες περιοχές ξεπερνούσε ακόμα και τα 1,20μ (κυρίως στις μη καλλιεργούμενες εκτάσεις). Έτσι λοιπόν, καθώς, οι φωτογραφίες απεικονίζουν την υφιστάμενη κατάσταση, συμπεραίνεται ότι τα παραγόμενα προϊόντα αποτέλεσαν ψηφιακές αναπαραστάσεις της υφιστάμενης επιφάνειας, καθώς μόνο η απόδοση των γυμνών από βλάστηση σημείων μπορεί να αποτελέσει μοντέλο εδάφους. Έτσι, αναμένοντας η υψομετρική απεικόνιση της περιοχής στα σημεία με υψηλή (και ενιαία ως μοτίβο, στην εκάστοτε φωτογραφία) βλάστηση να παρουσιάζει απόκλιση αντίστοιχη με το ύψος της βλάστησης στο εκάστοτε σημείο, σε αντίθεση με τα πιο «γυμνά» σημεία, όπου αναμένονταν τα αποτελέσματα να πλησιάζουν στην πραγματικότητα (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ)

Παρακάτω, παρατίθεται ο συγκριτικός πίνακας της προόδου των εργασιών και λοιπών στοιχείων των διαφόρων μεθόδων, ενώ ακολουθούν οι πίνακες με τις υψομετρικές και οριζοντιογραφικές συγκρίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων, οι οποίες προέκυψαν από τις επιλύσεις.

**Πίνακας 6.1α:** Συγκεντρωτικά στοιχεία σύγκρισης των διαφόρων μεθόδων (UAS)

Πρόγραμμα Επεξεργασίας	Photoscan			pix4dmapper		
Εταιρία	Agisoft			Pix4d		
Αερομοντέλο	IRIS	eBee	eBee	IRIS	eBee	eBee
Εταιρία	3DRobotics	sensFly	sensFly	3DRobotics	sensFly	sensFly
point cloud points (εκατομύρια)	36 577	132 573	149 94			
mesh faces (εκατομύρια)	2 424	8 81	9 93			
photos selected/used	48/36	221/221	221/221		221/207	221/207
GCPs	6	6	13		9	6
GCPs numbers	105,106,108,109,114,116	101,102,104,110,111,113	101 - 106, 108 - 114		101,102,104,111,113,119 - 122	101,102,104,110,111,113
GCPs mean error (m)	0 009016	0 002982	0 00864		0 003	0 002
Σημεία Ελέγχου	1	12	5		13	13
Αριθμοί Σημείων Ελέγχου	107	103,105 - 109, 112, 114 - 118	107, 115 - 118		103, 105 - 110, 112, 114 - 118	103, 105 - 109, 112, 114 - 119
Σημεία Ελέγχου Total error (m)	0 434294	0 069796	0 029116			
pixel size ortho (m/pix)	0 0212843	0 04281	0 0427673		0 0436	0 0435
pixel size DSM (m/pix)	0 0425687	0 08562	0 0855346		0 0872	0 087
Ύψος Πτήσης (μέτρα)	100	125 - 130	125 - 130		125 - 130	125 - 130
Διάρκεια Πτήσης (λεπτά:δευτερόλεπτα)	5:20	23 07	23 07		23 07	23 07
Φωτογραφική Μηχανή	Canon PowerShot A2500	Canon IXUS 127 HS	Canon IXUS 127 HS		Canon IXUS 127 HS	Canon IXUS 127 HS
Εστιακή Απόσταση (mm)	5	4 3	4 3		4 3	4 3
Ανάλυση (pix)	4608 x 3456	4608x3456	4608x3456		4608x3456	4608x3456
Pixel Size (μm)	1 33578 x 1 33578	1 33853 x 1 33853	1 33853 x 1 33853		1 33853 x 1 33853	1 33853 x 1 33853
Προγραμματισμένη έκταση αποτύπωσης (στρέμματα)	44 7	700	700		700	700
Έκταση αποτύπωσης (στρέμματα)	70 09	1100 98	1098 98		1048 9	1046 6
Χρόνος επίλυσης	1:55	4:37	4:40		6:05	8:06
Χρόνος εντοπισμού φωτοσταθερών (ώρες:λεπτά)	0:34	0:34	1:04		0:34	0:23
Χρόνος εντοπισμού φωτοσταθερών & σημείων ελέγχου (ώρες:λεπτά)		2 00			1:20	

**Πίνακας 6.1β:** Συγκεντρωτικά στοιχεία σύγκρισης των διαφόρων μεθόδων (GNSS-Laser Scanner)

Πρόγραμμα Επεξεργασίας	AutoCAD	Model ACE
Εταιρία	Autodesk	MDL
Μοντέλο	S9 GNSS	Laser Ace Scanner
Εταιρία	STONEX	MDL
Πλήθος Αποτυπομένων Σημείων	180	833158
Αριθμοί Σημείων	1 - 180	0
Στάσεις	-	7
Προγραμματισμένη έκταση αποτύπωσης (στρέμματα)	10	180
Τελική έκταση αποτύπωσης (στρέμματα)	7	405
Διάρκεια εργασιών πεδίου (ώρες:λεπτά)	2:15	2:35
Διάρκεια εργασιών γραφείου (ώρες:λεπτά)	0:45	1:15
Βήμα Κανάβου (μέτρα)	-	0.5
Μέση οριζοντιογραφική ακρίβεια (μέτρα)	0.02	0.05
Μέση υψομετρική ακρίβεια (μέτρα)	0.03	0.05

**Πίνακας 6.2:** Πίνακας υψομετρικών σφαλμάτων ανά εφαρμογή σε σύγκριση με τις μετρήσεις του GNSS

	Πίνακας Υψομετρικών Σφαλμάτων ανά εφαρμογή σε σύγκριση με τις μετρήσεις του GNSS					
	eBee_pix4d_6_GCP	eBee_agisoft_6_GCP	eBee_pix4d_9_GCP	eBee_agisoft_13_GCP	IRIS_agisoft_6_GCP	MDL_point_cloud
Μέση Τιμή (m)	0.243	0.278	0.412	0.286	0.396	0.138
Διάμεσος (m)	0.133	0.150	0.267	0.173	0.359	0.128
Μέγιστη διαφορά	4.855	4.224	2.539	3.941	1.315	0.250
Ελάχιστη Διαφορά	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.046

**Πίνακας 6.3:** Μεγέθη αρχείων τελικών προϊόντων

Εργαλείο Συλλογής	Πρόγραμμα Επεξεργασίας	Φωτοσταθερά	Τύπος	Είδος	Μέγεθος (mb)
eBee	Pix4Dmapper	6	DSM	Raster	773080
eBee	Pix4Dmapper	6	orthomosaic	Raster	1156324
eBee	Pix4Dmapper	9	DSM	Raster	770955
eBee	Pix4Dmapper	9	orthomosaic	Raster	1005122
eBee	Photoscan	6	DSM	Raster	425921
eBee	Photoscan	6	orthomosaic	Raster	1863272
eBee	Photoscan	13	DSM	Raster	425734
eBee	Photoscan	13	orthomosaic	Raster	3619389
IRIS	Photoscan	6	DSM	Raster	118167
IRIS	Photoscan	6	orthomosaic	Raster	449970
Laser Ace Scanner	Model Ace	7	point cloud	Vector	222943
S9 GNSS	QGIS	180	point file	Vector	0.256

**Πίνακας 6.4α:** Πίνακας ελέγχου υψομετρικής ακρίβειας ανά εργασία

Αριθμός Σημείου	Υψόμετρο από GNSS	Laser_Scanner_ rasterized_Poi nt_cloud	IRIS_agisoft _6_GCP	eBee_pix4d _6_GCP	eBee_pix4d _9_GCP	eBee_agisoft _6_GCP	eBee_agisoft _13_GCP
	A	B	Γ	Δ	Ε	Z	H
101	128.191	-	-	128.192	128.202	128.231	128.239
102	134.704	-	-	134.716	134.751	134.737	134.764
103	134.554	-	-	134.471	134.587	134.564	134.546
104	139.004	140.093	-	139.070	139.047	139.066	139.076
105	143.621	143.739	143.704	143.596	143.644	143.584	143.641
106	140.721	141.734	140.707	140.645	140.707	140.676	140.657
107	148.827	150.061	149.394	148.835	149.010	148.843	148.900
108	144.466	-	144.568	144.464	144.578	144.425	144.574
109	144.416	144.512	144.476	144.412	144.524	144.473	144.494
110	136.270	136.831	-	136.379	136.344	136.427	136.402
111	136.330	-	-	136.375	136.386	136.378	136.401
112	139.931	-	-	139.553	139.191	140.060	139.960
113	134.581	-	-	134.652	134.697	134.622	134.634
114	148.807	149.617	148.883	148.849	148.813	148.709	148.803
115	157.153	157.119	157.236	156.983	156.244	157.015	157.088
116	157.532	157.360	157.565	157.365	157.520	157.448	157.487
117	151.968	152.080	151.918	151.866	150.877	151.861	151.944
118	151.548	150.875	151.477	151.420	151.419	151.441	151.417
122	137.472	-	-	137.447	137.400	137.486	137.490
121	147.545	-	-	147.583	147.552	147.958	147.855
120	145.268	145.903	-	145.557	145.352	145.396	145.433
119	160.711	160.976	159.702	159.737	158.875	160.279	159.776

Σημείωση: Στην πρώτη γραμμή του επάνω πίνακα, αναφέρεται το μηχάνημα αποτύπωσης, το πρόγραμμα επίλυσης, που χρησιμοποιήθηκε και τα χρησιμοποιούμενα φωτοσταθερά.

**Πίνακας 6.4β:** Πίνακας υψομετρικών διαφορών

Αριθμός Σημείου	Διαφορά (A-B)	Διαφορά (A-Γ)	Διαφορά (A-Δ)	Διαφορά (A-E)	Διαφορά (A-Z)	Διαφορά (A-E)
101	-	-	-0.001	-0.010	-0.040	-0.010
102	-	-	-0.012	-0.046	-0.033	-0.046
103	-	-	0.083	-0.033	-0.009	-0.033
104	-1.089	-	-0.066	-0.043	-0.063	-0.043
105	-0.118	-0.083	0.025	-0.023	0.036	-0.023
106	-1.013	0.013	0.076	0.014	0.045	0.014
107	-1.234	-0.567	-0.008	-0.183	-0.016	-0.183
108	-	-0.102	0.002	-0.112	0.041	-0.112
109	-0.096	-0.061	0.003	-0.108	-0.057	-0.108
110	-0.561	-	-0.109	-0.074	-0.157	-0.074
111	-	-	-0.045	-0.056	-0.048	-0.056
112	-	-	0.377	0.739	-0.129	0.739
113	-	-	-0.070	-0.115	-0.040	-0.115
114	-0.810	-0.076	-0.042	-0.006	0.097	-0.006
115	0.034	-0.083	0.170	0.908	0.138	0.908
116	0.172	-0.033	0.167	0.012	0.085	0.012
117	-0.112	0.050	0.102	1.091	0.107	1.091
118	0.673	0.071	0.128	0.129	0.107	0.129
122	-	-	0.025	0.072	-0.014	0.072
121	-	-	-0.038	-0.007	-0.413	-0.007
120	-0.635	-	-0.288	-0.084	-0.128	-0.084
119	-0.265	1.010	0.974	1.836	0.432	1.836



Πίνακας 6.5: Πίνακες ελέγχου οριζοντιογραφικής ακρίβειας ανά εργασία

GNSS / IRIS_agisoft_6_GCP						
α/α	X <sub>GNSS</sub>	Y <sub>GNSS</sub>	X <sub>UAV</sub>	Y <sub>UAV</sub>	(X <sub>GNSS</sub> - X <sub>UAV</sub> )	(Y <sub>GNSS</sub> - Y <sub>UAV</sub> )
<b>Φωτοσταθερά</b>						
105	388516.403	4335436.533	388516.440	4335436.562	0.038	0.028
106	388599.194	4335472.872	388599.195	4335472.885	0.001	0.013
108	388491.852	4335675.170	388491.869	4335675.180	0.016	0.010
109	388409.254	335637.626	388409.283	335637.666	0.030	0.040
114	388461.351	4335547.996	388461.351	4335547.996	0.000	0.000
116	388464.305	4335590.410	388464.325	4335590.437	0.020	0.027
<b>Σημεία Ελέγχου</b>						
107	388548.073	4335582.872	388548.227	4335583.178	0.154	0.306
115	388464.034	4335584.125	388463.881	4335583.936	-0.153	-0.189
117	388452.397	4335584.838	388452.375	4335584.717	-0.022	-0.122
118	388452.704	4335590.601	388452.665	4335590.447	-0.039	-0.154
119	388500.973	4335580.390	388500.833	4335580.335	-0.115	-0.045

GNSS / eBee_pix4d_9_GCP						
α/α	X <sub>GNSS</sub>	Y <sub>GNSS</sub>	X <sub>UAV</sub>	Y <sub>UAV</sub>	(X <sub>GNSS</sub> - X <sub>UAV</sub> )	(Y <sub>GNSS</sub> - Y <sub>UAV</sub> )
<b>Φωτοσταθερά</b>						
101	388903.322	4335268.778	388903.291	4335268.820	-0.031	0.042
102	388722.646	4335593.958	388722.598	4335593.992	-0.049	0.033
104	388594.926	4335333.889	388594.866	4335333.925	-0.060	0.036
111	388257.405	4335636.212	388257.387	4335636.241	-0.019	0.029
113	388161.533	4335355.897	388161.483	4335355.890	-0.050	-0.007
119	388500.973	4335580.390	388501.427	4335580.694	0.454	0.304
120	388504.655	4335173.313	388504.616	4335173.362	-0.039	0.049
121	388740.830	4335044.585	388740.779	4335044.651	-0.051	0.066
122	388617.598	4335713.084	388617.580	4335713.134	-0.018	0.051
<b>Σημεία Ελέγχου</b>						
103	388696.389	4335472.086	388696.326	4335472.124	-0.062	0.038
105	388516.403	4335436.533	388516.370	4335436.583	-0.033	0.050
106	388599.194	4335472.872	388599.127	4335472.900	-0.067	0.028
107	388548.073	4335582.872	388548.031	4335582.925	-0.042	0.052
108	388491.852	4335675.170	388491.816	4335675.248	-0.036	0.078
109	388409.254	4335637.626	388409.158	4335637.691	-0.096	0.065
110	388404.991	4335725.161	388404.859	4335725.217	-0.132	0.056
112	388148.967	4335494.074	388149.900	4335493.615	0.933	-0.460
114	388461.351	4335547.996	388461.314	4335548.076	-0.029	0.055
115	388464.034	4335584.125	388463.911	4335584.380	-0.123	0.255
116	388464.305	4335590.410	388464.239	4335590.489	-0.066	0.079
117	388452.397	4335584.838	388452.564	4335584.996	0.167	0.158
118	388452.704	4335590.601	388452.689	4335590.698	-0.015	0.097

GNSS / eBee_agisoft_13_GCP						
α/α	X <sub>GNSS</sub>	Y <sub>GNSS</sub>	X <sub>UAV</sub>	Y <sub>UAV</sub>	(X <sub>GNSS</sub> - X <sub>UAV</sub> )	(Y <sub>GNSS</sub> - Y <sub>UAV</sub> )
<b>Φωτοσταθερά</b>						
<b>101</b>	388903.322	4335268.778	388903.314	4335268.787	-0.008	0.008
<b>102</b>	388722.646	4335593.958	388722.617	4335593.971	-0.030	0.013
<b>103</b>	388696.389	4335472.086	388696.350	4335472.014	-0.039	-0.072
<b>104</b>	388594.926	4335333.889	388594.918	4335333.900	-0.009	0.011
<b>105</b>	388516.403	4335436.533	388516.316	4335436.528	-0.086	-0.005
<b>106</b>	388599.194	4335472.872	388599.158	4335472.910	-0.036	0.038
<b>108</b>	388491.852	4335675.170	388491.895	4335675.346	0.042	0.175
<b>109</b>	388409.254	4335637.626	388409.295	4335637.656	0.041	0.030
<b>110</b>	388404.991	4335725.161	388404.870	4335725.130	-0.121	-0.031
<b>111</b>	388257.405	4335636.212	388257.381	4335636.220	-0.024	0.008
<b>112</b>	388148.967	4335494.074	388148.956	4335494.085	-0.010	0.011
<b>113</b>	388161.533	4335355.897	388161.542	4335355.898	0.009	0.001
<b>114</b>	388461.351	4335547.996	388461.230	4335548.102	-0.121	0.106
<b>Σημεία Ελέγχου</b>						
<b>107</b>	388548.073	4335582.872	388548.086	4335582.799	0.013	-0.074
<b>115</b>	388464.034	4335584.125	388464.027	4335584.183	-0.006	0.058
<b>116</b>	388464.305	4335590.410	388464.223	4335590.641	-0.082	0.231
<b>117</b>	388452.397	4335584.838	388452.386	4335584.884	-0.011	0.046
<b>118</b>	388452.704	4335590.601	388452.675	4335590.601	-0.029	0.000
<b>119</b>	388500.973	4335580.390	388501.226	4335580.541	0.253	0.150
<b>120</b>	388504.655	4335173.313	388504.644	4335173.285	-0.011	-0.029
<b>121</b>	388740.830	4335044.585	388740.798	4335044.700	-0.031	0.115
<b>122</b>	388617.598	4335713.084	388617.616	4335713.057	0.018	-0.026

*Σημείωση: Στην πρώτη γραμμή του πίνακα, αναφέρεται το μηχάνημα αποτύπωσης το πρόγραμμα επίλυσης, που χρησιμοποιήθηκε και τα χρησιμοποιούμενα φωτοσταθερά.*

Συμπερασματικά, όσον αφορά στο ερώτημα της καλύτερης μεθόδου αποτύπωσης του αρχαιολογικού χώρου, η όλη διαδικασία οδήγησε στο συμπέρασμα ότι, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εργασίας επιλέγεται κι ο αντίστοιχος εξοπλισμός. Έτσι λοιπόν, για αποτυπώσεις οι οποίες απαιτούν υψηλή χωρική ανάλυση, δύναται να χρησιμοποιηθούν UAS εξοπλισμένα με ποιοτικές κάμερες και χαμηλό ύψος πτήσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα UAVs τύπου πολλαπλών ελίκων, θεωρούνται ιδανικά, διότι είναι δυνατό να εκτελέσουν πτήσεις με πολύ χαμηλή ταχύτητα και σε πολύ χαμηλό ύψος. Επίσης, η ικανότητα αιώρησης στο ίδιο σημείο μπορεί να μεγιστοποιήσει την ποιότητα των φωτογραφιών.

Από την άλλη πλευρά, για την αποτύπωση μεγάλων εκτάσεων, εξελιγμένα UAV, όπως το eBee, το οποίο σε ιδανικές συνθήκες αγγίζει χρόνους πτήσης μίας ώρας, θεωρείται ιδανική λύση. Σε περιπτώσεις όπου η μέγιστη ακρίβεια είναι απαραίτητη, οι συμβατικές μέθοδοι αποτύπωσης (με χρήση GNSS, Total Station κλπ) αποτελούν μονόδρομο, αποκλείοντας τις άλλες εναλλακτικές λύσεις. Σε περιπτώσεις αποτύπωσης μνημείων και λατομικών περιοχών, η τεχνολογία των τρισδιάστατων σαρωτών είναι μάλλον η πιο κατάλληλη επιλογή. Τέλος, ένα επιπλέον πολύ σημαντικό κομμάτι της όλης διαδικασίας αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου λογισμικού επεξεργασίας, διότι όσο αρτιότερο είναι το προϊόν αυτής της επεξεργασίας, τόσο λιγότερη είναι η εργασία που απαιτείται για την απόδοση του τελικού χάρτη. Έτσι λοιπόν, στη συγκεκριμένη περίπτωση, ένα πρόγραμμα μπορεί να είναι πιο αργό στην επεξεργασία από κάποιο άλλο, ωστόσο, το τελικό προϊόν δύναται να είναι ποιοτικά ανώτερο.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**Εικόνα 1:** Τεχνικά χαρακτηριστικά STONEX S9 GNSS

(Πηγή: <http://www.stonexpositioning.com>)

TECHNICAL SPECIFICATIONS OFF GPS STONEX S9 GNSS	
<b>GPS</b>	
Channels	220,(L2 L1,L5,code, 2SBAS)
Real time	RTK GNSS
Satellite signals tracked	GLONASS: SBAS: L1 C/A, L5. GIOVE-A: L1 BOC, E5A, E5B, E5AItBOC1 GIOVE-B: L1 CBOC, E5A, E5B, E5AItBOC1. COMPASS: (option) B1(QPSK), B1-MBOC(6,1,1/11), B1- 2(QPSK) B2(QPSK), B2-BOC(10,5), B3(QPSK), B3BOC(15,2.5), L5(QPSK).
<b>Receiver accuracy</b>	
Static horizontal accuracy:	3mm ± 1ppm (RMS)*.
Static vertical accuracy:	5mm ± 1ppm (RMS)*.
Fixed RTK horizontal accuracy	10mm ± 1ppm (RMS)*.
Fixed RTK vertical accuracy	20mm ± 1ppm (RMS)*.
Code differential positioning accuracy:	0.45m (CEP)*.
SBAS positioning accuracy typically:	<5m (3D RMS) *.
<b>CONNECTION DEVICES</b>	
Bluetooth:	2.4GHz © Class II, maximum range over than 50m.
Internal radio:	Frequency de 450MHz.
GSM / GPRS data modem:	Maximum range over than 70 km.
External cell phone support for RTK and VRS operation	RTK-RS (option).
<b>PROTOCOLES</b>	
Reference outputs:	CMR, CMR+, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1.
Navigation outputs:	ASCII (NMEA-0183 GSV), AVR, RMC, HDT, VGK,VHD, ROT, GGG , GSA, ZDA, VTG, GST, PJT, PJK, BPQ, GLL, GRS, GBS, GSOF.
<b>GSM MODULE</b>	
GSM	800 MHz single band Dual band 900 MHz and 1800 MHz Tri-band 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz
GPRS	Class 10. • Maximum rate of transmission: 85,6 kbit / s. • Embedded TCP / IP protocol suite that supports multiple links and provides ACK answer and large-capacity cache.
<b>POWER SUPPLY</b>	
External power:	9V to a 15V DC
Voltage :	7,2 V.
Working time in static mode:	typically over than 6 hours
Working time in RTK mode:	typically over than 4 hours
Charge time:	typically less than 7 hours
Power Consumption:	<3,8 W.
Remaining time with battery light blinking:	over than 1 hours
<b>PHYSICAL SPECIFICATION</b>	
Size:	Height 96 mm Diameter x 186mm.
weight:	1.2 kg with internal battery and radio UHF antenna.
<b>CONTROLLER</b>	
CARLSON MINI GEOS	Featuring a touch screen and a light contrast color display
* This specification depends on weather and satellite visibility conditions.	

**Εικόνα 2:** Τεχνικά χαρακτηριστικά MDL Laser Ace Scanner (Πηγή: <http://www.renishaw.com>)

Applications	Features	Benefits
•3D Scene Modelling and visualisation	•Eye safe laser range finder	•Survey dangerous and inaccessible areas
•Deformation Surveys	•2300ft/ 700m Reflectorless Range	•Reduce Survey Costs
•Forensic, accident and crime scene surveys	•Accuracy 5cm/ 2 inch, 0.1ft / 1cm resolution	•Save time and money
•As built surveys and street scenes	•250 points per second	•Minimal operator training
•Architectural and building Conservation Surveys	•3 million point onboard flash card data storage	•Export data directly to CAD Systems
	•Lighter weight at only 8.1Kgs/ 17.86lbs	•No need for external Computers or loggers
	•DC Power	
<b>Laser Module</b>		<b>Physical Data</b>
Class 1 Eye Safe FDA/ IEC	Type: Semiconductor, 905nm	Construction: Machined Aluminium/ Polycarbonate
Accuracy: Typically 2 inch/ 5cm	Range: Up to 2300ft /700m	Temperature Range: -20 °C to +45°C
Prism Reflector: 5.0Km		Water & Dust Resistant: IP66
		Weight: 8.1Kgs/ 17.86lbs
		Size: 410mm H x 239mm W x 177mm D

**Εικόνα 3:** Τεχνικά χαρακτηριστικά 3DRobotics IRIS (Πηγή: <http://www.3drobotics.com>)

Specifications	
Autopilot:	Pixhawk v2.4.5
Firmware:	ArduCopter 3.2
GPS:	3DR uBlox GPS with Compass (LEA-6H module, 5 Hz update)
Telemetry radio:	3DR Radio Telemetry v2 (915 mHz or 433 mHz)
Motors:	950 kV
Frame type:	V
Propellers:	9.5 x 4.5 T-Motor multirotor self-tightening counterclockwise (2) 9.5 x 4.5 T-Motor multirotor self-tightening clockwise (2)
Battery:	3S 5.1 Ah 8C lithium polymer
Low battery voltage:	10.5 V
Maximum voltage:	12.6 V
Battery cell limit:	3S
Battery weight:	320 g
<b>IRIS is compatible with 3S lithium polymer batteries only. Using a 4S battery can cause permanent damage to the gimbal electronics and will void the warranty.</b>	
Weight with battery:	1282 g
Height:	100 mm
Motor-to-motor:	550 mm
Payload capacity:	400 g (.8 lbs)
Radio range:	up to 1 km (.6 miles)
Flight time:	16-22 minutes*
*Flight time varies with payload, wind conditions, elevation, temperature, humidity, flying style, and pilot skill. Listed flight time applies to elevations less than 2,000 ft above sea level.	

**Εικόνα 4:** Τεχνικά χαρακτηριστικά Canon PowerShot A250 (Πηγή: [www.canon.com](http://www.canon.com))

Specifications	
<b>Camera Effective Pixels (Max.)</b>	Approx. 16 million pixels
<b>Lens Focal Length</b>	5x zoom: 5.0 (W) – 25.0 (T) mm (35mm film equivalent: 28 (W) – 140 (T) mm)
<b>LCD Monitor</b>	2.7 type color TFT LCD Effective Pixels: Approx. 230,000 dots
<b>File Format</b>	Design rule for Camera File system, DPOF (version 1.1) compliant
<b>Data Type</b>	Still Images: Exif 2.3 (JPEG) Movies: MOV (Image data: H.264; Audio data: Linear PCM (monaural))
<b>Interface</b>	Hi-speed USB Analog audio output (monaural) Analog video output (NTSC/PAL)
<b>Power Source</b>	Battery Pack NB-11L AC Adapter Kit ACK-DC90
<b>Dimensions (Based on CIPA Guidelines)</b>	97.7x56.0x20.9 mm (3.85 x 2.20 x 0.82 in.)
<b>Weight (Based on CIPA Guidelines)</b>	Approx. 125 g (approx. 4.41 oz.; including the battery and memory card) Approx. 110 g (approx. 3.88 oz.; camera body only)
<b>Number of Shots/Recording Time, Playback Time</b>	
<b>Number of Shots</b>	Approx. 220
<b>in Eco mode</b>	Approx. 300
<b>Movie Recording Time*1</b>	Approx. 50 minutes
<b>Continuous Shooting*2</b>	Approx. 1 hour, 30 minutes
<b>Playback Time</b>	Approx. 5 hours
<b>Battery Pack NB-11L</b>	
Type:	Rechargeable lithium-ion battery
Nominal Voltage:	3.6 V DC
Nominal Capacity:	680 mAh
Charging Cycles:	Approx. 300 times
Operating Temperatures:	0 – 40 °C (32 – 104 °F)
Dimensions:	34.6 x 40.2 x 5.2 mm (1.36 x 1.58 x 0.20 in.)
Weight:	Approx. 13 g (approx. 0.46 oz.)
<b>Battery Charger CB-2LF/CB-2LFE</b>	
Rated Input:	100 – 240 V AC (50/60 Hz) 8.0 VA, 0.07 A (100 V) – 0.04 A (240 V)
Rated Output:	4.2 V / 0.41 A
Charging Time:	Approx. 2 hr. (when using NB-11L)
Charge Indicator:	Charging: orange / Fully charged: green (two-indicator system)
Operating Temperatures:	5 – 40 °C (41 – 104 °F)
<b>Continuous Shooting Speed</b>	
<b>Shooting Mode</b>	<b>Speed</b>
P	Approx. 0.8 shots/sec.
☺	Approx. 2.9 shots/sec.
<b>Shutter Speed</b>	
[AUTO] mode, automatically set range	1 – 1/2000 sec.
Range in all shooting modes	15 – 1/2000 sec.
<b>Aperture</b>	
f/number	f/2.8 / f/7.9 (W), f/6.9 / f/20 (T)
*1 Time under default camera settings, when normal operations are performed, such as shooting, pausing, turning the camera on and off, and zooming.	
*2 Time available when shooting the maximum movie length (until recording stops automatically) repeatedly.	
• The number of shots that can be taken is based on measurement guidelines of the Camera & Imaging Products Association (CIPA).	
• Under some shooting conditions, the number of shots and recording time may be less than mentioned above.	
• Number of shots/time with a fully charged battery.	

**Εικόνα 5:** Τεχνικά χαρακτηριστικά senseFly eBee (Πηγή: www.geosense.gr)

## Technical specifications

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

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

## Package contents

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

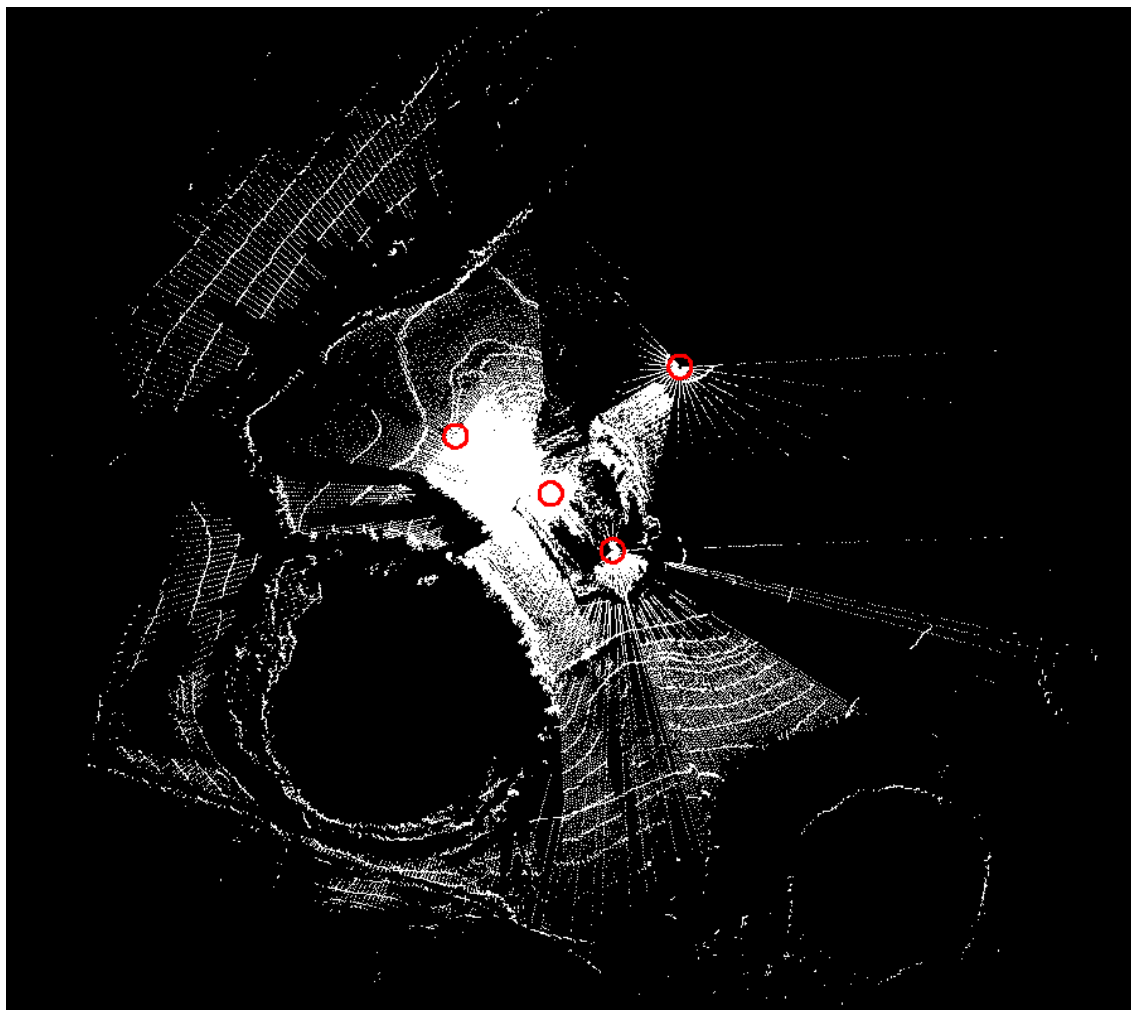


**Εικόνα 6:** Τεχνικά χαρακτηριστικά Canon IXUS 127 HS (Πηγή: www.canon.com)

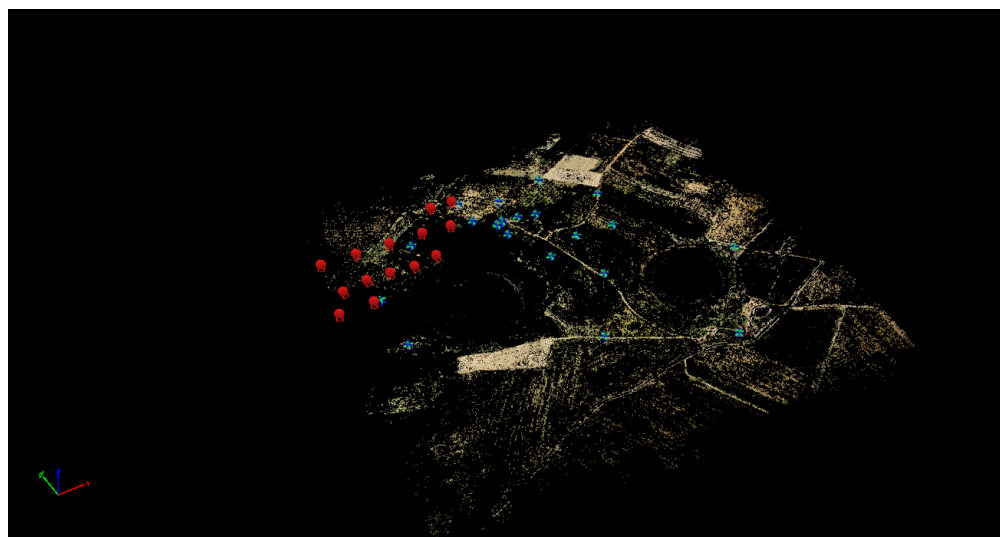
Specifications	
Camera Effective Pixels	Approx. 16.1 million pixels
Lens Focal Length	5x zoom: 4.3 (W) – 21.5 (T) mm (35mm film equivalent: 24 (W) – 120 (T) mm)
LCD Monitor	7.5 cm (3.0 in.) color TFT LCD Effective Pixels: Approx. 461,000 dots
File Formats	Design rule for Camera File system, DPOF (version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



**Εικόνα 7:** Νέφος σημείων (Laser Scanner). Με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται οι στάσεις της αποτύπωσης

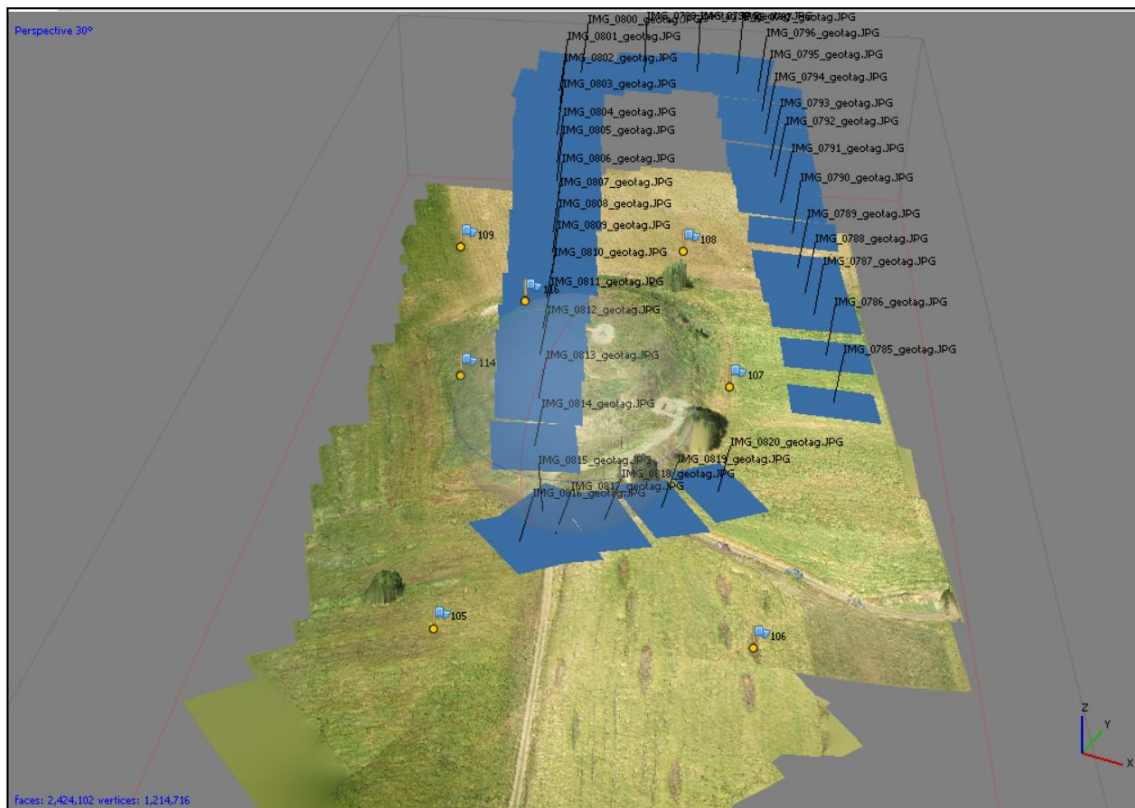


**Εικόνα 8:** Οι 14 μη βαθμονομημένες φωτογραφίες (κόκκινο χρώμα) κατά την επίλυση στο Pix4D του μοντέλου eBee\_pix4d\_9\_GCP





**Εικόνα 9:** Τα μπλε ορθογώνια υποδηλώνουν τη θέση λήψης των εικόνων (εφαρμογή iris\_agisoft\_6\_GCP)

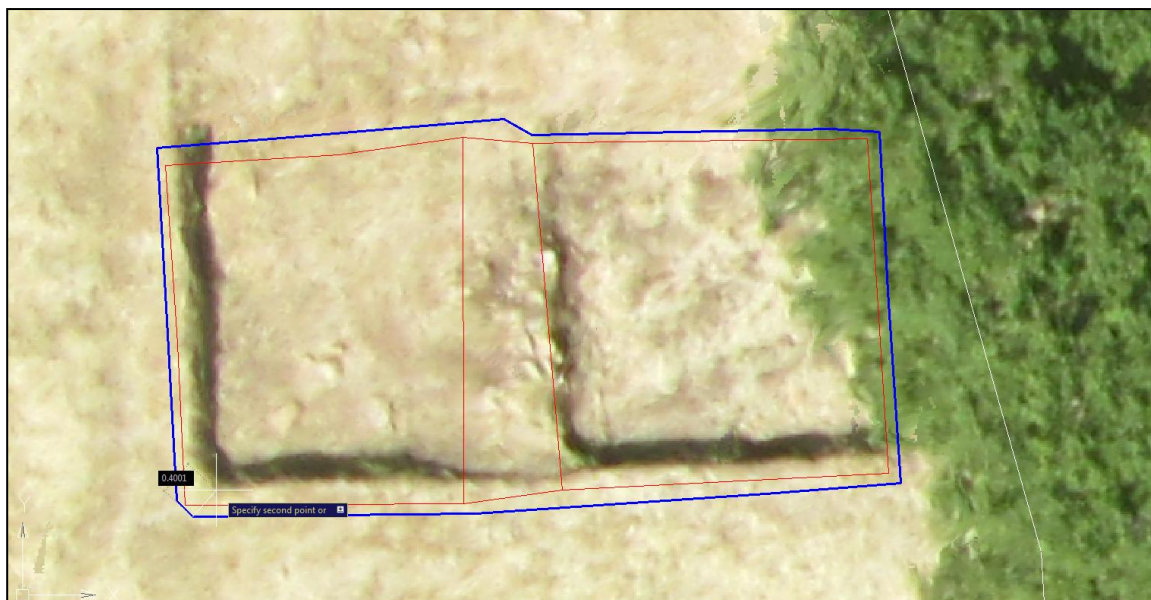


**Εικόνα 10:** Εσφαλμένη ανακατασκευή φυλλώματος δέντρου





**Εικόνα 11:** Οριζοντιογραφικό σφάλμα στην εφαρμογή iris\_agisoft\_6\_GCP (με μπλε και κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται αντίστοιχα οι πραγματικές θέσεις του φρυδιού και ποδιού της ανασκαφικής τομής)



**Εικόνα 12:** Ψευδοτριδιάστατη απόδοση του γήλοφου (εφαρμογή eBee\_agisoft\_13\_GCP)





**Εικόνα 13:** Εσφαλμένη απόδοση οροφής τεχνικής κατασκευής και στο βάθος εσφαλμένη υψομετρική απόδοση ελαιόδεντρου (εφαρμογή eBee\_agisoft\_13\_GCP)



**Εικόνα 14:** Οριζοντιογραφικά σφάλματα και εσφαλμένη απόδοση υψής οροφής τεχνικής κατασκευής (εφαρμογή eBee\_agisoft\_13\_GCP)

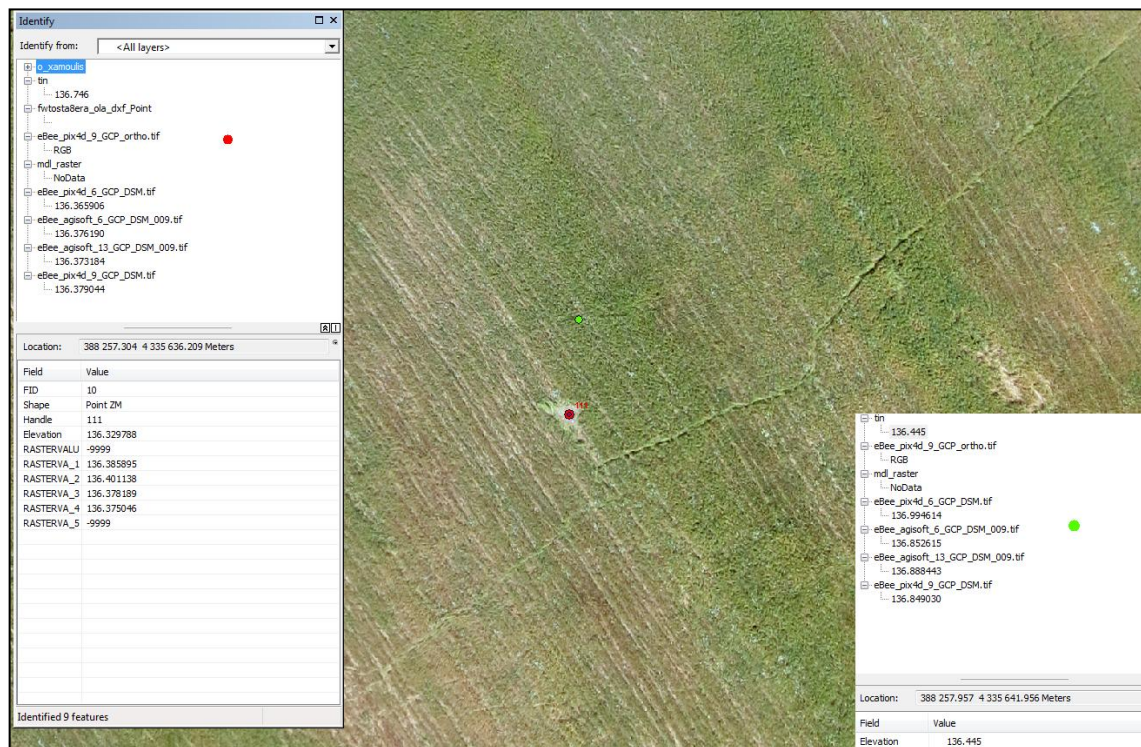




**Εικόνα 15:** Ψευδοτριδιάστατη απεικόνιση αρχαιολογικών τομών (εφαρμογή eBee\_pix4d\_9\_GCP)

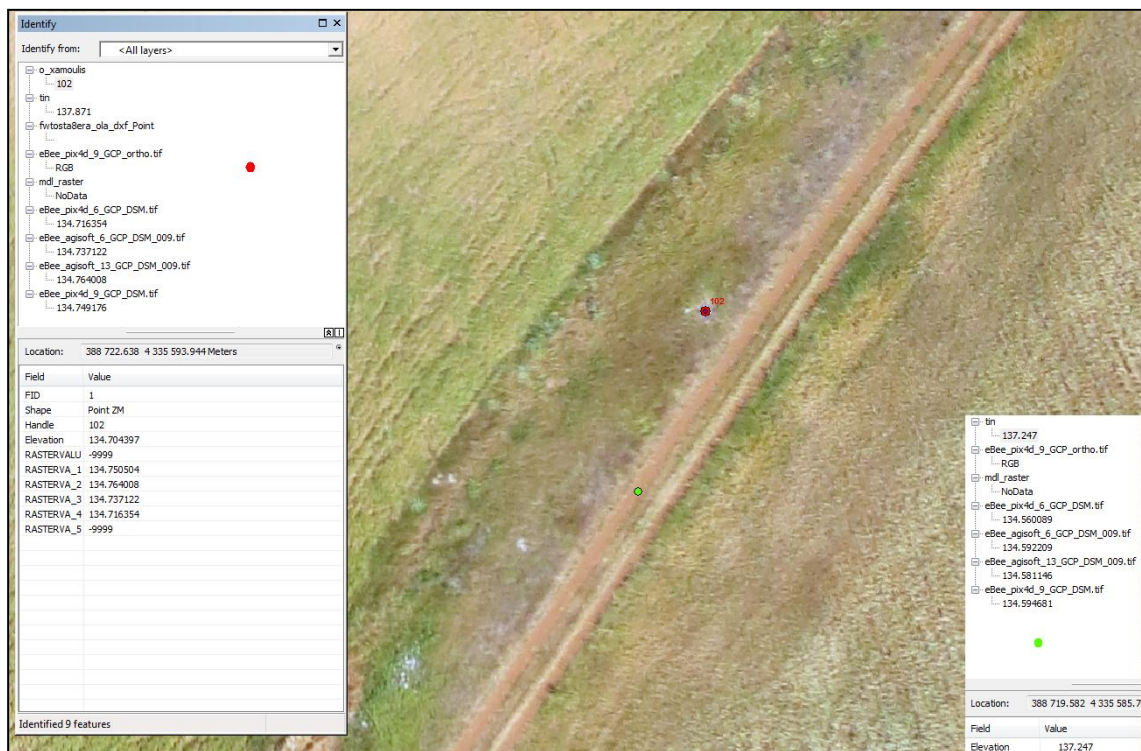


**Εικόνα 16:** Υψομετρικές διαφορές εξαιτίας της υψηλής βλάστησης

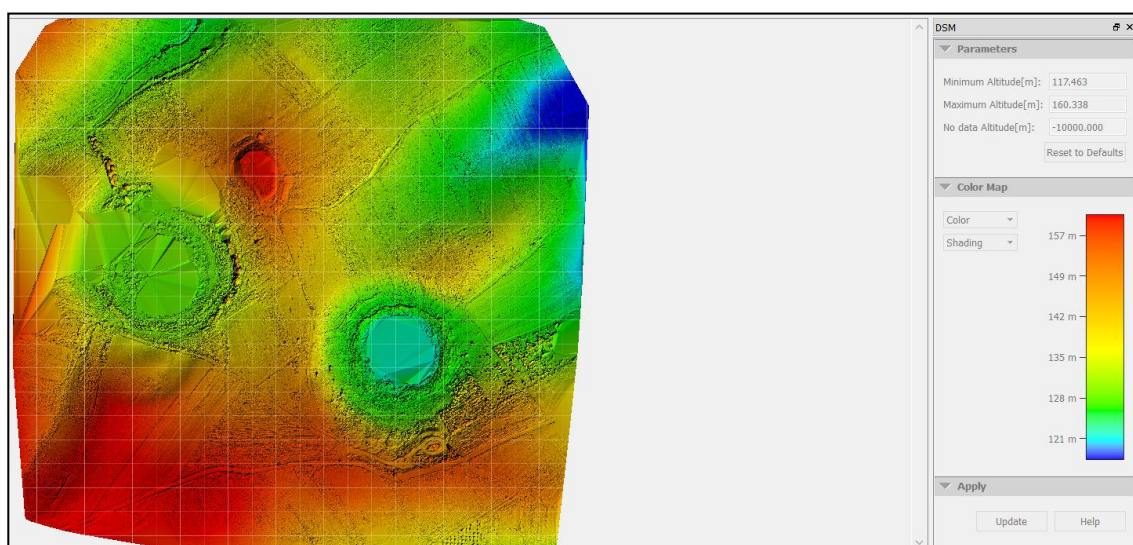




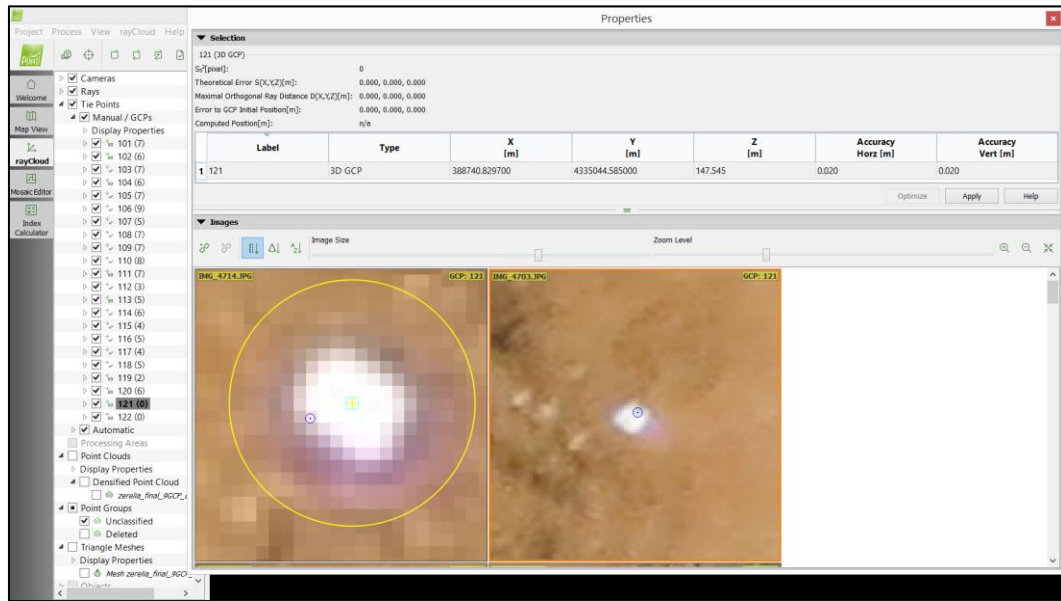
**Εικόνα 17:** Υψομετρικές διαφορές σε σημείο μηδενικής βλάστησης



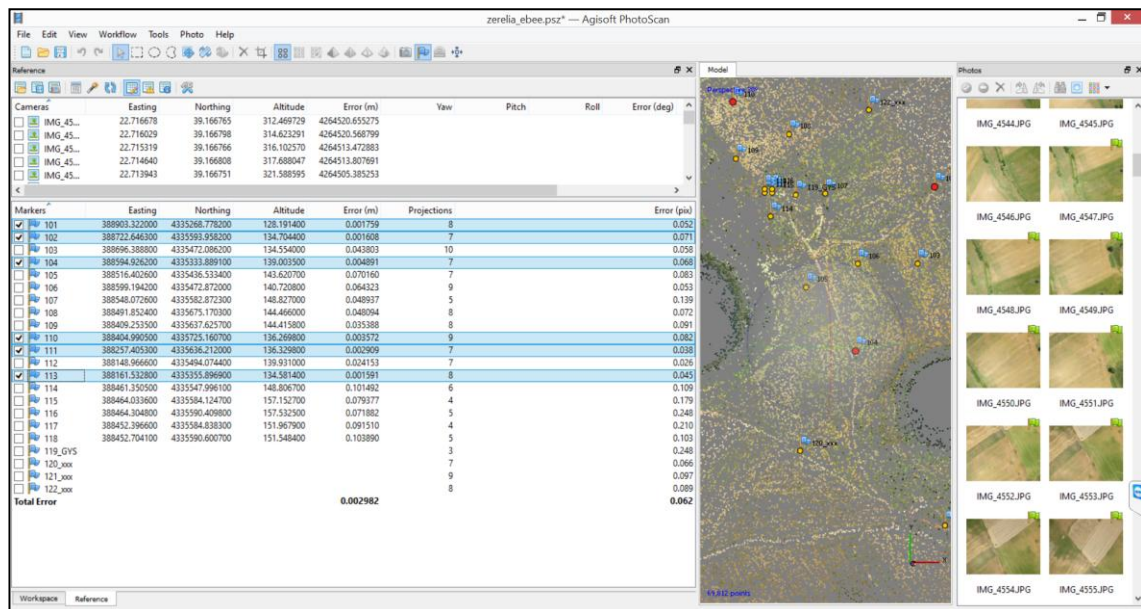
**Εικόνα 18:** Χρωματική απόδοση DSM (εφαρμογή eBee\_prix4d\_9\_GCP)



Εικόνα 19: Εντοπισμός φωτοσταθερών στο πρόγραμμα Pix4Dmapper

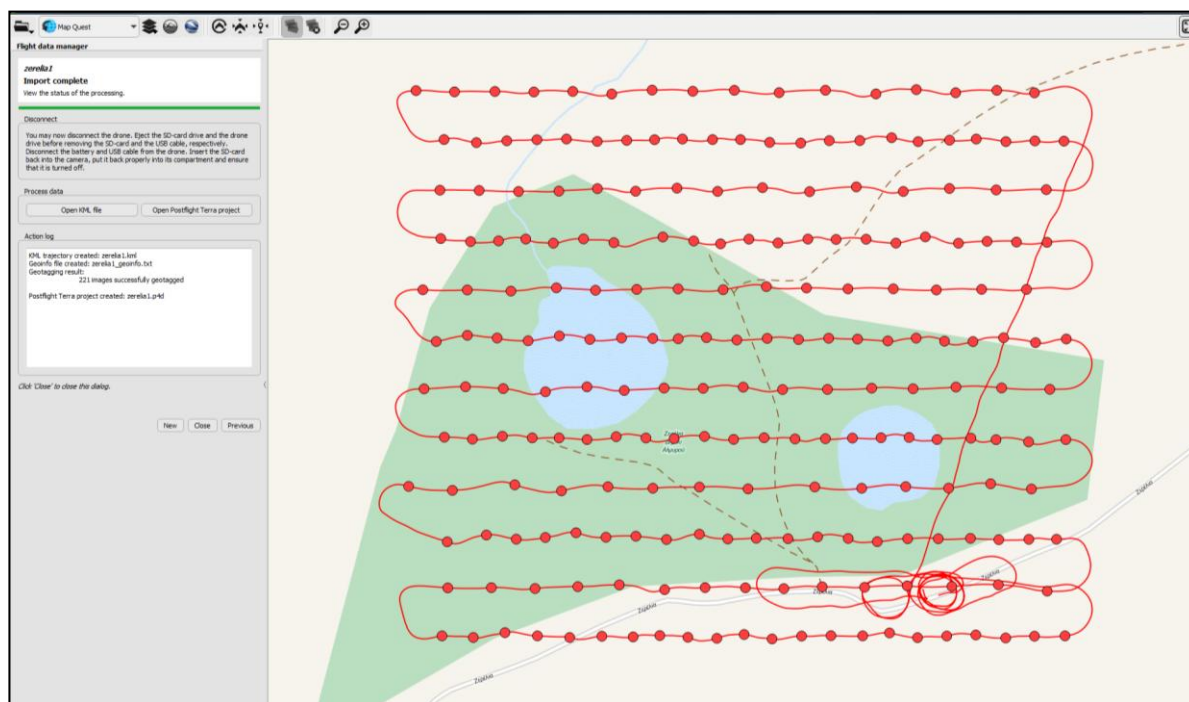


Εικόνα 20: Εντοπισμός φωτοσταθερών και έλεγχος αξιοπιστίας στο πρόγραμμα PhotoScan

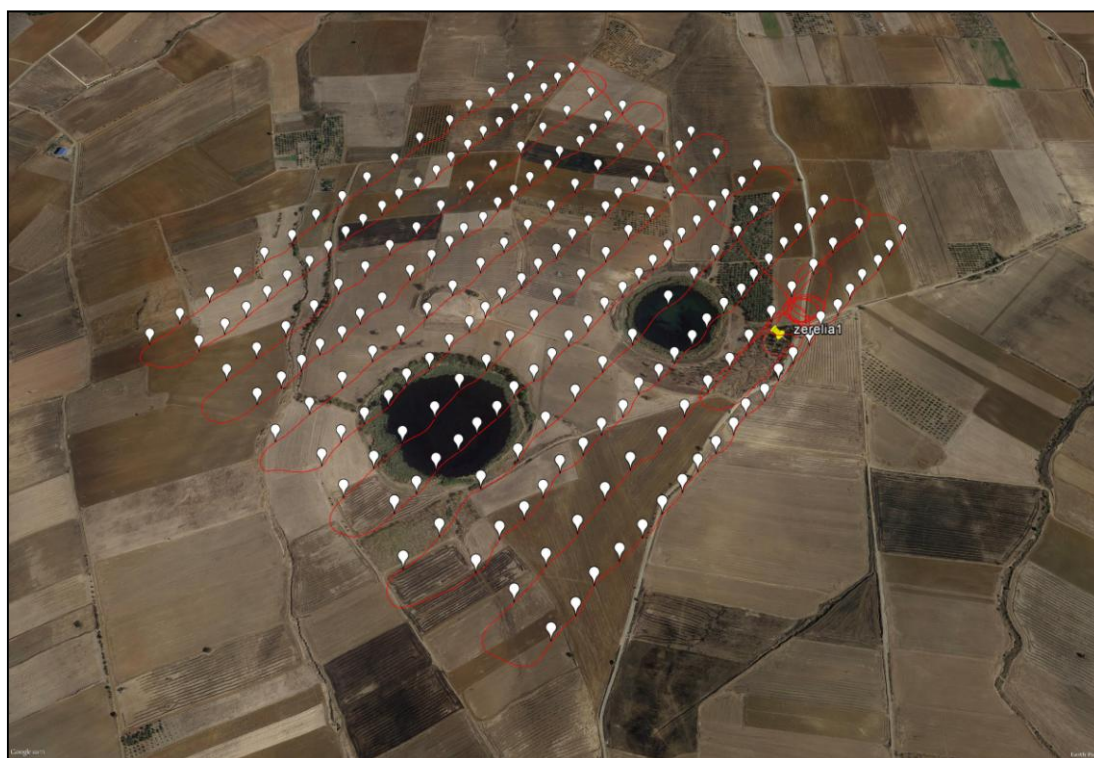




**Εικόνα 21:** Απεικόνιση της τροχιάς της πραγματοποιούμενης πτήσης, των θέσεων φωτοληψίας του eBee και ολοκλήρωση του geotagging των φωτογραφιών στο πρόγραμμα eMotion 2



**Εικόνα 22:** Απεικόνιση της διαδρομής της πραγματοποιούμενης πτήσης και των θέσεων φωτοληψίας του eBee στο πρόγραμμα Google Earth



## Κανονισμός Πτήσεων Αερομοντέλων



97

Αριθμ. Δ2/Δ/352/17475 (2)  
Κανονισμός Πτήσεων Αερομοντέλων.

Ο ΔΙΟΙΚΗΤΗΣ Υ.Π.Α.

Έχοντας υπόψη:  
- Τις διατάξεις του Ν.1815/88 «Κώδικας Αεροπορικού Δικαίου»,  
- Τις διατάξεις του Ν.Δ 1127/72 «Περί Ιδιωτικής Αεροπορίας»,

## ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

### ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αρ. Φύλλου 9

13 Ιανουαρίου 2010

98

### ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ (ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ)

- Τον με αριθ.ΥΠΑ/Ε1/Γ/32263/4478/14-9-73 «Κανονισμό Τεχνικής Εκμετάλλευσης», Ελληνικών Ιδιωτικών Αεροσκαφών,

- Την υπ' αριθ. Δ13/31915/1314/12-8-1998 απόφαση του Υπουργού Μεταφορών και Επικοινωνιών Παράρτημα 2 (ANNEX 2), της Σύμβασης του Σικάγου «Κανόνες Αέρος» όπως ισχύει.

- Το Ν.Δ. 714/70 «Περί ιδρύσεως Διεύθυνσης Εναερίων Μεταφορών παρά τω Υπουργείω Συγκοινωνιών και οργανώσεως της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας και ρυθμίσεως συναφών θεμάτων» όπως τροποποιήθηκε με το Ν. 1340/83.

- Το Β.Δ. 636/72 «Περί Πτυχίων και Αδειών Πολιτικής Αεροπορίας» όπως ισχύει.

- Το Π.Δ. 56/89 «Οργανισμός Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών».

- Την υπ' αριθ. 17225/655/3-4-2006 κοινή απόφαση των Υπουργών Εθνικής Άμυνας και Μεταφορών και Επικοινωνιών «Έγκριση Εθνικού Κανονισμού Κατανομής Ζωνών Συχνότητων (ΕΚΚΖΣ).»

- Τον Αθλητικό Ν. 2725/99 όπως ισχύει.

- Το γενικό τμήμα Κανονισμών Αερομοντελισμού της Διεθνούς Αεροναυτικής Ομοσπονδίας (F.A.I.).

- Το δέκατο τρίτο άρθρο του Ν. 3082/02, που τροποποιεί το άρθρο 24 του Ν.Δ. 714/72 και επιτρέπει την έκδοση κανονισμών στο Διοικητή της ΥΠΑ.

- Την Διεθνή πρακτική και εμπειρία επί του θέματος.

- Την ανάγκη έκδοσης κανονισμού, που θα ρυθμίζει τις πτήσεις των αερομοντέλων και τις υποχρεώσεις των χειριστών αυτών.

- Το γεγονός ότι με την απόφαση αυτή δεν προκαλείται δαπάνη σε βάρος του τακτικού προϋπολογισμού του Κράτους, αποφασίζουμε:

Εγκρίνουμε και θέτουμε σε ισχύ από δημοσιεύσεώς τον παρόντα Κανονισμό δραστηριοτήτων, λειτουργίας και διεξαγωγής πτήσεων Αερομοντέλων

#### 1. ΟΡΙΣΜΟΙ

● Αερομοντέλο ή Μοντέλο Αεροσκάφους (Model Aircraft) είναι μία ιπτάμενη συσκευή περιορισμένων διαστάσεων, που φέρει ή όχι προωθητικό σύστημα, που δεν έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει άνθρωπο, και το οποίο χρησιμοποιείται για αεραθλητισμό ή ψυχαγωγία. Τα αερομοντέλα μπορεί να έχουν τη μορφή αεροπλάνου, ανεμοπτερού, ελικόπτερου, αυτόγυρου, υδροπλάνου, αμφίβιου, αλεξίπτωτου, αερόστατου, αερόπλοιου, ή άλλης μορφής. Τα αερομοντέλα μπορεί να είναι τηλεχειριζόμενα, ελεύθερης πτήσης, ή κυκλικής πτήσης.

● Μη επανδρωμένο αεροναυτικό όχημα (UAV - Unmanned Aeronautical Vehicle) είναι μία ιπτάμενη συσκευή που δεν μεταφέρει άνθρωπο, και το οποίο έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται για επιστημονικούς, ερευνητικούς ή στρατιωτικούς σκοπούς. Τα UAV δεν θεωρούνται αερομοντέλα, και τα αερομοντέλα δεν θεωρούνται UAV.

● Μοντελοδρόμιο καλείται ο χώρος πτήσεων αερομοντέλων που η λειτουργία του ελέγχεται από σωματειακό, ιδιωτικό, ή άλλο νομικό πρόσωπο. Ο χώρος αυτός μπορεί να είναι ιδιωτικός, δημοτικός ή κρατικός.

#### 2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ - ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Ο παρών κανονισμός περιλαμβάνει δύο κατηγορίες αερομοντέλων ανάλογα με το βάρος τους.

Κατηγορία Α': Περιλαμβάνει τα αερομοντέλα με συνολική μάζα απογείωσης μικρότερη ή ίση των 7.000 γραμμαρίων (7kg).

Κατηγορία Β': Περιλαμβάνει τα αερομοντέλα με συνολική μάζα απογείωσης μεγαλύτερη των 7.000 γραμμαρίων (7kg) και μέχρι 25.000 γραμμαρίων (25kg).

Όλα τα αερομοντέλα πρέπει να ακολουθούν τις παρακάτω προδιαγραφές, ανεξάρτητα κατηγορίας.

● Η μέγιστη επιφάνεια όλων των πτερύγων ορίζεται στις 500 τετραγωνικές παλάμες.

● Ο μέγιστος πτερυγικός φόρτος ορίζεται στα 250 γραμμάρια ανά τετραγωνική παλάμη.

● Ο μέγιστος συνολικός κυβισμός εμβολοφόρων κινητήρων ορίζεται στα 250 κυβικά εκατοστά.

● Η μέγιστη τάση ηλεκτρικής πηγής εν ηρεμία ορίζεται στα 72V (Βόλτς).

● Η μέγιστη συνολική ώση κινητήρων αντίδρασης (τουρμπίνα) ορίζεται σε 250 Newtons (25kg).

Για πτήσεις αερομοντέλων με συνολική μάζα μεγαλύτερη των 25.000 γραμμαρίων (25kg), απαιτείται ειδική και κατά περίπτωση άδεια από την ΥΠΑ.

Δεν επιτρέπεται σε αερομοντέλο η χρήση μεταλλικής έλικας ή μεταλλικού ρότορα.

Ο χειριστής που χειρίζεται μοντέλο της κατηγορίας Β' πρέπει να έχει άμεσο τρόπο διακοπής της λειτουργίας του κινητήρα ή των κινητήρων. Το σύστημα πρέπει να έχει την δυνατότητα να ενεργοποιείται άμεσα σε κάθε περίπτωση ανάγκης, αυτόματα ή μετά από ενέργεια του χειριστή.

Πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα, ώστε κάθε πρόσθετη συσκευή που φέρει το μοντέλο να είναι σταθερά προσαρτημένη με τρόπο που να μην μπορεί να μετακινηθεί ή να αποσπασθεί από το μοντέλο.

Απαγορεύεται η απόρριψη οποιουδήποτε αντικειμένου ή υλικού κατά την διάρκεια της πτήσης, που μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό ή ζημία. Εξαιρούνται ρίψεις προεπιλεγμένων αντικειμένων από διαγωνιζόμενα προς τούτο αερομοντέλα που καλύπτουν την προαναφερθείσα απαίτηση.

Τα Αερόπλοια επιτρέπεται να πληρούνται μόνον με ήλιο και να φέρουν μόνο ηλεκτρικούς κινητήρες.

Δεν επιτρέπεται η πτήση αερομοντέλου παρουσία θεατών αν προηγουμένως δεν έχει δοκιμασθεί επαρκώς και κριθεί ασφαλές, από τον χειριστή και τον ιδιοκτήτη του.

#### 3. ΕΥΘΥΝΗ

Οι ιδιότητες του Χειριστή Ιδιοκτήτη Εκμεταλλεζόμενου μπορεί να συναντώνται σωρευτικά σε ένα ή περισσότερα άτομα.

Ο χειριστής, ιδιοκτήτης και εκμεταλλεζόμενος έχει την πλήρη ευθύνη για:

● την εκμετάλλευση των αερομοντέλων

● την σωστή συντήρηση του υλικού

● το σύστημα τηλεχειρισμού, τηλεκατευθυνόμενου αερομοντέλου που πρέπει:

- να είναι σύμφωνο με τις τεχνικές προδιαγραφές που έχουν καθοριστεί από την αρμόδια αρχή του κράτους.



- να εκπέμπει σε μία ή περισσότερες ραδιο-συχνότητες από αυτές που έχουν εκχωρηθεί για τον σκοπό αυτό, από τις αρμόδιες αρχές του κράτους.

Ο χειριστής έχει την πλήρη ευθύνη για:

- να λάβει την απαραίτητη εκπαίδευση στον χειρισμό του συγκεκριμένου σε κάθε περίπτωση αερομοντέλου.

- για τον τρόπο και την εξέλιξη της πτήσης.

- να διατηρεί οπτική επαφή με το αερομοντέλο σε όλη της διάρκεια της πτήσης και να βασίζεται σ' αυτή για τους απαραίτητους χειρισμούς ελέγχου του.

- να διακόπτει άμεσα τις πτήσεις, όταν οι συνθήκες γίνουν ακατάλληλες για την ασφαλή πτήση του συγκεκριμένου αερομοντέλου.

Ο χειριστής δεν επιτρέπεται να ενεργεί υπό την επήρεια:

- αλκοόλ.
- ναρκωτικών ουσιών.
- φαρμακευτικών ουσιών.
- άλλων ουσιών.

που μπορούν να αλλοιώσουν την κρίση και αντίδρασή του.

Οι ανωτέρω, υποχρεούνται να λαμβάνουν - ο καθένας στο πεδίο της ευθύνης του - κάθε μέριμνα για να τηρηθούν οι όροι του παρόντος κανονισμού και να αποφύγουν σε κάθε περίπτωση να θέσουν σε κίνδυνο ζωές και περιουσίες κατά τις πτήσεις.

Σε καμία περίπτωση, ο παρών κανονισμός δεν απαλλάσσει τους εμπλεκόμενους από άλλες ευθύνες που απορρέουν από την υπόλοιπη νομοθεσία, όπως αυτή ισχύει κάθε φορά.

#### 4. ΧΩΡΟΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

Οι πτήσεις αερομοντέλων Α' και Β' κατηγορίας θα είναι περιορισμένες στον εναέριο χώρο που προσφέρεται για τον σκοπό αυτό και σε απόσταση ασφαλείας 50 μέτρων από ανθρώπους συμπεριλαμβανομένων των θεατών της ίδιας της πτήσης, ζώα, οχήματα, εγκαταστάσεις κλπ., εξαιρουμένων του χειριστή, των συνεργατών του, των κριτών ή χρονομετρών και οχημάτων ή άλλων βοηθητικών συσκευών, που εξυπηρετούν την πτήση.

Οι απογειώσεις και προσγειώσεις θα εκτελούνται σε χώρους ελεύθερους εμποδίων.

Ο εναέριος χώρος πτήσεων πρέπει να περιορίζεται σε τέτοια απόσταση, ώστε να μη δημιουργεί ηχορύπανση σε χώρους όπου η ησυχία είναι απαραίτητη (υπαίθριες συναθροίσεις ατόμων, νοσοκομεία, σχολεία, εκκλησίες κλπ).

Δεν επιτρέπονται πτήσεις αερομοντέλων χωρίς άδεια από την αρμόδια αρχή:

- σε απαγορευμένες, περιορισμένες, επικίνδυνες και δεσμευμένες περιοχές όπως αυτές αναφέρονται στις πάσης φύσεως αεροναυτικές εκδόσεις της ΥΠΑ.

- σε ύψος μεγαλύτερο των 400 ποδών από την επιφάνεια του εδάφους.

- σε απόσταση μικρότερη των 3 χιλιομέτρων από ελεγχόμενο αεροδρόμιο.

- εντός πολιτικών ή στρατιωτικών αεροδρομίων.

- ανωθεν, πλησίον ή εντός στρατιωτικών εγκαταστάσεων.

- ανωθεν η πλησίον κατοικημένων περιοχών.

- ανωθεν η πλησίον εγκαταστάσεων κοινής ωφέλειας.

- ανωθεν η πλησίον αρχαιολογικών χώρων.

Για λόγους ασφαλείας και αποφυγής παρεμβολών:

- δεν επιτρέπονται οργανωμένες ή μη πτήσεις τηλεχειριζόμενων αερομοντέλων από οιονδήποτε, πλησιέστερα των 3 χιλιομέτρων από οργανωμένο μοντελοδρόμιο.

- δεν επιτρέπεται να λειτουργούν δύο οργανωμένα μοντελοδρόμια σε απόσταση μικρότερη των 3 χιλιομέτρων. Το νεώτερο μοντελοδρόμιο, είναι αυτό που πρέπει να απομακρυνθεί.

#### 5. ΑΣΦΑΛΙΣΗ

Όλες οι πτήσεις πρέπει να είναι ασφαλισμένες για υλικές ζημιές και σωματικές βλάβες προς τρίτους.

#### 6. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

Αεροεφαρμογές (aerial works) με χρήση αερομοντέλων επιτρέπεται για μοντέλα:

- κατηγορίας Α' χωρίς ειδική αδειοδότηση από την ΥΠΑ, εφόσον πληρούν τις προϋποθέσεις του παρόντος κανονισμού.

- κατηγορίας Β' μόνον κατόπιν ειδικής άδειας που κατά περίπτωση εκδίδεται από την ΥΠΑ/Δ2 και μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου.

Οι παραπάνω όροι - περιορισμοί εκμετάλλευσης δεν απαλλάσσουν τον χειριστή από άλλες υποχρεώσεις που απαιτούνται από νόμους και άλλες διατάξεις.

#### 7. ΕΞΑΙΡΕΣΕΙΣ

Από τις διατάξεις του παρόντος κανονισμού εξαιρούνται:

- Τα μοντέλα που ίπτανται σε εσωτερικό χώρο.

- Τα μοντέλα με συνολική μάζα έως 350 γραμμάρια.

- Τα μοντέλα κυκλικής πτήσης εξαιρούνται από όλες τις διατάξεις του παρόντος κανονισμού που αφορούν στις αποστάσεις ασφαλείας για τα τηλεχειριζόμενα αερομοντέλα.

#### 8. ΠΑΡΑΒΑΣΕΙΣ - ΠΟΙΝΕΣ

Όταν ο χειριστής ή ο εκμεταλλεύμενος αερομοντέλο υποπέσει σε παράβαση των διατάξεων του παρόντος κανονισμού, παράβαση κανόνων εναέριας κυκλοφορίας, κανόνων ασυρμάτου επικοινωνίας ή/και άλλων Νόμων και Κανονισμών, καλείται από την ΥΠΑ να δώσει διευκρινήσεις. Ο Διοικητής της ΥΠΑ μετά από αιτιολογημένη απόφαση δύναται να επιβάλλει στον παραβάτη, την ποινή της επίπληξης ή χρηματική ποινή ύψους μέχρι 1.000 € (Χίλια Ευρώ). Οι παραπάνω ποινές δεν απαλλάσσουν τον παραβάτη από τυχόν άλλες ποινικές ευθύνες.

#### 9. ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ

Ο παρών κανονισμός μπορεί να τροποποιηθεί:

- με εισήγηση του Διευθυντή Πτητικών Προτύπων (Δ2) προς τον Διοικητή της ΥΠΑ.

- με εισήγηση της Ελληνικής Αεραθλητικής Ομοσπονδίας προς τον Διευθυντή της ΥΠΑ/Δ2 και την σύμφωνη γνώμη αυτού, ο οποίος θα διαχειριστή την τροποποίηση.

Κήρυξη γηλόφου Ζερελίων ως αρχαιολογικού χώρου

1321



# ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

## ΤΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΕΝ ΑΘΗΝΑΙΣ  
ΤΗ 24 ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1963

ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΝ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΛΛΟΥ  
172

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΥΠΟΥΡΓΙΚΑΙ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΓΚΡΙΣΕΙΣ

Περί κηρύξεως αρχαιολογικών χώρων... 1  
 Περί παρατάσεως και αύθις ισχύος της καταγγελλθείσης  
 διαιτητ. αποφάσεως Έργατοτεχνιτών Μεταλλείων κλπ.  
 άπάτης της Χώρας... 2  
 Περί παρατάσεως και αύθις της ισχύος καταγγελλεί-  
 σης διαιτητ. αποφάσεως Τυπογράφων Κλαμαίων... 3  
 Περί παρατάσεως της ισχύος της από 15.12.1959 Σ.Σ.Ε.  
 του Έργατοτεχνικού και Βοηθητικού Προσωπικού του  
 Θεραπευτηρίου «Ευαγγελισμός»... 4

ΥΠΟΥΡΓΙΚΑΙ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ & ΕΓΚΡΙΣΕΙΣ

Άριθ. 9448.

(1)

Περί κηρύξεως αρχαιολογικών χώρων.

Ο ΥΠΟΥΡΓΟΣ ΠΡΟΕΔΡΙΑΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

Έχοντας ύπ' όψει: 1) Τάς διατάξεις του άρθρου 52 του Κ. Ν. 5351/1932 «περί αρχαιοτήτων» και 2) την ύπ' αριθ. 9/19.2.1963 πράξιν του Αρχαιολογικού Συμβουλίου, άποφατίζομεν:

Χαρακτηρίζομεν ως αρχαιολογικούς χώρους τούς κάτωθι χώρους του Νομού Μαγνησίας, χάριν της διατηρήσεως και περιφρουρήσεως τών εν αυτοίς μνημείων:

1. Αρχαιολογικός χώρος Φερών (Βελεστίνου).

α) Όλόκληρος ό λόφος της Άκροπόλεως (ύψ. 156 μ.) δυτικώς της κωμοπόλεως και ή πρός Β. αυτού επίπεδος έκτασις, ή έκτός του σχεδίου πόλεως του 1951 (ΦΕΚ 227 τεύχος Α' 13.8.1951).

β) Τά άρχαία λείψανα και ή άμεσος περιοχή της Έπερείας Κρήνης—Κεφαλόδερσο.

γ) Ό Λόφος «Καστράκι» ή Φρούριον, κατά τό έκτός του σχεδίου πόλεως του 1951 τμήμα αυτού.

δ) Τά λείψανα του άρχαίου τείχους εις την περιοχήν του Νεκροταφείου και Παναγίας, εις την πρός Ν. της Άκροπόλεως έκτασις και κατά μήκος της άριστεράς όχθης του Ρεύματος Μαλούκα, εις όσα σημεία είναι έμφανή.

2. Η λοφώδης έκτασις «Πέτρα» ή «Άντά—Τεπέ» παρά την όχθην της Βοιηίδος λίμνης (Κάρλας) μετά τών εις τάς ύπωρείας άρχαίων λειψάνων, ως και τό παρακείμενον ύψωμα «Μαγούλα Σιφριτζάλι» της περιφέρειας του χωρίου Στεφανοδίκιον.

3. Η παρά τό χωρίον Σέσκουλον Μαγνησίας προϊστορική άκρόπολις «Καστράκι» μετά της περιχής αυτής, ήτοι από

της συμβολής τών δύο χειμάρρων πρός Β.Α. μέχρι τών όρίων του άγρού Ι. Πολύζου συμπεριλαμβανομένου, πρός τά Ν.Δ.

Τό πρός Β. της άκροπόλεως ύψωμα «Πύργος» έφ' ού κλασσικών χρόνων λείψανα και προϊστορικός συνοικισμός.

4. Η έξωθι του χωρίου Διμήνιον Μαγνησίας προϊστορική άκρόπολις «Γούμπα» και ή περιοχή αυτής, περιλαμβανομένου και του θολωτού μυκηναϊκού τάφου έν θέσει «Λαμιόσπιτο».

5. Ό Λόφος του Προφήτου 'Ηλία, έφ' ού τείχος άρχαίας πόλεως, βορειότερον του χωρίου Γλαφυραί (Κάπουρνα) Μαγνησίας.

6. Άρχαίον τείχος πόλεως επί ύψώματος κειμένου 3 περίπου χιλιόμετρα Ν.Α. του χωρίου Κανάλια, υπεράνω της Μονής Άγίου Άθανασίου.

7. Τό ύψωμα Κάστρο ή Δερβίσι παρά τό χωρίον Άερινόν (τέως Περσουφλί), έφ' ού τείχος άρχαίον και προϊστορικός συνοικισμός, παρά την πηγήν.

8. Ερείπια άκροπόλεως και πόλεως Μακεδονικών χρόνων επί βραχώδους ύψώματος παρά την θάλασσαν, Β.Α. του χωρίου Κεραμιδιον και παρά την θέσιν Άγιος Γεώργιος.

9. Τά παρά τό Άκρωτήριον Πουρί, βορείως της Ζαγοράς άρχαία και θυζαντινά ερείπια.

10. Τό κωνοειδές ύψωμα «Σωρός», παρά τάς νέας Παγτσάς—Βόλου και τά επ' αυτού και παρ' αύτ' ού λείψανα τειχών.

11. Τά ερείπια επί του ύψώματος «Έβραϊόκαστρον» Ν.Δ. του χωρίου Άγιος Δημήτριος κατά την ανατολικήν παραλίαν της χερσονήσου Μαγνησίας.

12. Τό υπερθεν του χωρίου Άνω Λεγώνια ύψωμα «Νεβεστίκι» μετά λειψάνων άρχαϊκού τείχους, ως και τό ύψηλότερον αυτού κείμενον «Παλιόκαστρον», έφ' ού ερείπια θυζαντινών και μεσαιωνικών χρόνων.

13. Τά κατά τόν συνοικισμόν Μπούφα (Κορόπη) λείψανα άρχαίου τείχους επί του λόφου «Πετράλων», τά παρά τόν ναόν Άγίου Ιωάννου Θεμέλια, ως και τά κατά τάς ύπωρείας του λόφου, έν τή περιοχή της ιδιοκτησίας Ευαγγελινάκη, μη φηνόμενα λείψανα του ιερού του Κοροπαίου Άπόλλωνος (Στόα).

14. Τά επί της νησίδος «Παλαιστρίκηρη» (άρχ. Κινύνηδος) άρχαία και μεσαιωνικά λείψανα.

15. Τό κατά τόν Ισθμόν της χερσονήσου του Τρίκερη ύψωμα «Παλιόκαστρο» ή «Βίγλα» (ένθα ή θέσις της άρχαίας Όλιζώνος), έφ' ού λείψανα άρχαίων τειχών ως και θυζαντινά ερείπια.

16. Η χερσονήσος πρός δυσμάς του όρίσκου Άγ. Γεωργίου, της κτηματικής περιφέρειας του χωρίου Σέσκουλον, μετά τών επ' αυτής άρχαίων λειψάνων. Όμοίως προϊστορική άκρόπολις μετ' έπαλλήλων περιόδων επί ύψώματος δυτικώς της χερσονήσου, παρά την θέσιν «Παλιαλυκές» και «Βελανιδιά».

17. Τό παρά τό χωρίον Μικροθήβαι (τέως Άκισσι) ύψωμα «Κάστρο» μετά τών σωζομένων τειχών και λειψάνων της

ἀρχαίας πόλεως τῶν Θηβῶν ὡς καὶ ἡ μέχρι τῆς δημοσίας ὁδοῦ πρὸς Ἀλμυρὸν περιοχὴ αὐτοῦ.

18. Τὸ πρὸς ἀνατολὰς τοῦ χωρίου Φυλάκη (τέως Κιτίκι) ὑψωμα «Κάστρο» ἐφ' οὗ Κυκλώπεια Τείχη.

19. Ἡ παρὰ τὸ χωρίον Πέρδικα (τέως Νταουτζᾶ) θέσις «Γιούσλα», ἐν ἣ λείψανα προϊστορικοῦ συνοικισμοῦ.

20. Ὁ γήλοφος μεγάλου προϊστορικοῦ συνοικισμοῦ ἐν θέσει «Μαγούλα Ἀϊδινιώτικη» πρὸς ἀνατολὰς τοῦ χωρίου Κασαβέτεια (Ἀϊδίνιον), κείμενος νῦν ἐντὸς τῆς περιοχῆς τοῦ Ἀεροδρομίου.

21. Ὁ γήλοφος μεγάλου προϊστορικοῦ συνοικισμοῦ Ν.Δ. τοῦ Ἀλμυροῦ, κατὰ τὴν θέσιν «Ζερέλια».

22. Λείψανα δύο ἀρχαίων ἀκροπόλεων, α) μεταξὺ τῶν χωρίων Νεοχωράκι (τέως Ἴντζεκ) καὶ «Κελεμενι» καὶ β) πρὸς τὰ Ν.Α. τοῦ χωρίου Νεοχωράκι εἰς ἀπόστασιν περίπου τριῶν χιλιομέτρων.

23. Λείψανα ἀρχαιοτάτου ναοῦ καὶ ἱεροῦ γεωμετρικῶν χρόνων ἐπὶ τῆς ὄψυος, κατὰ τὴν θέσιν «Μάρμαρα» ἢ «Γκαμήλα», 5 χιλιόμετρα περίπου πρὸς Ν. τοῦ χωρίου Νεοχωράκι.

24. Ὁ γήλοφος μεγάλου προϊστορικοῦ συνοικισμοῦ πρὸς Νότον καὶ εἰς ἀπόστασιν 4 χιλιόμετρα περίπου ἀπὸ τοῦ χωρίου Σούρπη.

25. Τὰ ἐπὶ τοῦ ὑψώματος πρὸς Νότον τοῦ χωρίου Τσουρνάτι, λείψανα τειχῶν ἀρχαίας ἀκροπόλεως καὶ πόλεως (ἀρχ. Χαλαί).

26. Οἱ θολωτοὶ μυκηναϊκοὶ τάφοι παρὰ τὰ χωρία Πτελεδὸν καὶ Ἁγ. Θεόδωροι.

27. Τὰ κατὰ τὴν κωμόπολιν Σκόπελος λείψανα τείχους καὶ οἰκημάτων, τῆς ἀρχαίας πόλεως Πεπαρήθου.

28. Ἡ κατὰ τὸν ὄρμον «Στάφυλος» χερσονησοειδῆς προβολὴ γῆς.

Ἐπίσης χαρακτηρίζομεν τὰς κάτωθι ἐκκλησίας ὡς ἱστορικὰ διατηρητέα μνημεῖα:

1) Οἱ κατὰ τὴν ἱερὰν Μονὴν Ξενιάς, πρὸς Νότον τοῦ Ἀλμυροῦ ναοὶ Παναγίας καὶ Ἀγίου Νικολάου καὶ τὰ λοιπὰ αὐτόθι μεσαιωνικὰ λείψανα.

2) Οἱ ἐν Μακρυνίτσα ἱεροὶ ναοὶ τῆς Κοιμήσεως τῆς Θεοτόκου καὶ τοῦ Ἀγίου Ἰωάννου Προδρόμου, ὡς καὶ τὰ παρὰ τὸν ναὸν τῆς Θεοτόκου παρεκκλήσια τῶν Ἀγίων Πάντων, τοῦ Ἀγίου Νικολάου καὶ τῆς Ἀγίας Μαγδαληνῆς.

3) Ὁ ναὸς τῆς Παναγίας Πορταρέας ἐν Πορταριᾷ — Βόλου.

4) Ὁ ναὸς τῆς Παναγίας Μεγαλογένη μεταξὺ κατηχωρίου καὶ Δράκιας.

Ὡσαύτως χαρακτηρίζομεν ὡς ἱστορικὸν διατηρητέον μνημεῖον τὸν ναὸν τοῦ Διὸς Θαυλείου παρὰ τὴν θέσιν Μαχαλόρεμα ἢ Ἁγίος Χαράλαμπος (ἀγροὶ Κωνσταντούλα καὶ Μπομπότη) τῆς περιοχῆς Βελεστίνου.

Ἐν Ἀθήναις τῇ 19 Ἀπριλίου 1963

Ἐντολῇ Ὑπουργοῦ  
Ὁ Γενικὸς Διευθυντὴς κ.ἀ.σ.  
ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΚΟΝΤΗΣ

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Λάμπρου, Ε. και Πανταζής, Γ. (2010) *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη
- Μερτίκας, Π.Σ. (2006) *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*, Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ
- Πατιάς, Π. (1999) *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- Τουρνάς, Ε. (2012) “Φωτογραμμετρία Μη Επανδρωμένων Αεροχημάτων-1η πιλοτική εφαρμογή από τον ΟΚΧΕ” παρουσιάστηκε στην Ημερίδα με τίτλο: Η ΕΥΓΕΠ και τα ΚΟΣΕ Χαρτογραφία και Γεωχωρική Πληροφορία στην Τοπική Αυτοδιοίκηση, 13 Οκτ 2012, Κοζάνη
- Φλιούκα, Π. (2013) *Τηλεκατευθυνόμενα μη επανδρωμένα συστήματα λήψης εικόνων για τη θεματική και μετρητική τεκμηρίωση του αστικού και περιαστικού χώρου*, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
- Φωτίου, Α. και Λιβιεράτος, Ε. (2000) *Γεωμετρική Γεωδαισία και Δίκτυα*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη
- Φωτίου, Ι. Α. (2007) *Γεωμετρική Γεωδαισία*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη
- Austin, R. (2010) *Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, development and deployment*, United Kingdom: Wiley
- Bento, F. M. (2008) “Unmanned Aerial Vehicles: An Overview”, *Inside GNSS Magazine*, **3**(1), pp. 54-61
- Eisenbeiss, H. (2009) *UAV Photogrammetry*, Dissertation, ETH ZURICH
- Eisenbeiss, H. (2011) *The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping*, Heidelberg: Wichmann Verlag
- Renfrew, C. and Bahn, P. (2011) *Αρχαιολογία - Θεωρίες, Μεθοδολογία και Πρακτικές εφαρμογές*, Δεύτερη Έκδοση, Αθήνα: Ινστιτούτο του βιβλίου - Α. Καρδαμίτσα
- Ruzgiene, B. (2007) “Analytical and Digital Photogrammetric Geodata Production Systems (a comparison test)”, *Edita Alekniene Geodezija Ir Kartografija*, **33** (2), pp. 50-54

Ιστοσελίδες:

ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια (2013) *Λίμνες Ζερέλια* [on line], διαθέσιμο στην: [http:// el.wikipedia.org/wiki/Λίμνες\\_Ζερέλια](http://el.wikipedia.org/wiki/Λίμνες_Ζερέλια) [προσπελάστηκε 30 Μαΐ 2015]

ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια (2015) *Galileo* [on line], διαθέσιμο στην: <http://el.wikipedia.org/wiki/Galileo> [προσπελάστηκε 10 Μαΐ 2015]

Εθελοντική Περιβαλλοντική Ομάδα Αλμυρού «ΕΝ ΔΡΑΣΕΙ» (2008) [on line], διαθέσιμο στην: [www.almyros-city.gr/episkeptes/fisiko\\_topio/566-zerelia](http://www.almyros-city.gr/episkeptes/fisiko_topio/566-zerelia) [προσπελάστηκε 30 Μαΐ 2015]

Παπαδόπουλος, Κ. *Φωτογραμμετρία και Υπολογιστική Όραση: Καταγραφή των Ανασκαφικών Δεδομένων σε Τρεις Διαστάσεις* [on line], διαθέσιμο στην: [www.caa-gr.org/?q=el/content/φωτογραμμετρία-και-υπολογιστική-όραση-καταγραφή-των-ανασκαφικών-δεδομένων-σε-τρεις](http://www.caa-gr.org/?q=el/content/φωτογραμμετρία-και-υπολογιστική-όραση-καταγραφή-των-ανασκαφικών-δεδομένων-σε-τρεις) [προσπελάστηκε 12 Μαΐ 2015]

Payne, A. (2009) *Laser Scanning for Archaeology: A Guide to Good Practice* [on line], διαθέσιμο στην: [http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/LaserScan\\_Toc](http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/LaserScan_Toc) [προσπελάστηκε 6 Μαΐ 2015]