



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΠΜΣ: ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ  
ΤΟΥ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ ΛΗΨΕΩΝ ΑΠΟ UAV  
ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΔΕΚΤΗ GNSS**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Νικολακάκης Στυλιανός (Α.Μ.1619)

Τριμελής επιτροπή :

Γραμματικόπουλος Λάζαρος, Επίκουρος Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α. (Επιβλέπων)  
Πέτσα Έλλη, Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.  
Καρράς Γεώργιος, Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΠΜΣ: ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ  
ΤΟΥ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ ΔΗΨΕΩΝ ΑΠΟ UAV  
ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΔΕΚΤΗ GNSS**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Νικολακάκης Στυλιανός (Α.Μ.1619)

Επιβλέπων

Γραμματικόπουλος Λάζαρος

Επιτροπή αξιολόγησης

Πέτσα Έλλη

Καρράς Γεώργιος



## Δήλωση συγγραφέα Μεταπτυχιακής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Νικολακάκης Στυλιανός του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 1619, σπουδαστής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωχωρικές Τεχνολογίες» του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

*«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.*

*Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».*

Ο Δηλών



## *Ευχαριστίες*

Θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τον επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή Λάζαρο Γραμματικόπουλο, για την εμπιστοσύνη, την κατανόηση και την υπομονή του κατά το διάστημα υλοποίησης της εργασίας μου. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα καθώς και για την αστείρευτη προθυμία του και τις πολύτιμες συμβουλές του.

Θα ήθελα, ακόμη, να ευχαριστήσω τον κύριο Στέλιο Καλατζή για την διάθεση του UAV Air Surveyor 4, που αποτέλεσε το κύριο εργαλείο της έρευνας, τον συνάδελφο Τοπογράφο Μηχανικό Ευάγγελο Θεοδωράκη για την διάθεση του UAV Phantom 4 pro V2 καθώς και τον Τζανιδάκη Χρήστο ιδιοκτήτη του χώρου που έλαβαν χώρα οι πτήσεις.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Π.Μ.Σ «Γεωχωρικές Τεχνολογίες» για την άριστη συμπεριφορά τους προς τους μεταπτυχιακούς σπουδαστές καθώς και για την προσπάθειά τους σε όλο τους το έργο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τη γυναίκα μου, Αλεξάνδρα Μίσκου, για την αμέριστη συμπαράστασή της και την κατανόησή της καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου και της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

## Περίληψη

Στόχος της παρούσας έρευνας είναι η γεωμετρική διερεύνηση και αξιολόγηση του αεροτριγωνισμού λήψεων από UAV με ταυτόχρονη χρήση παρατηρήσεων από δέκτη GNSS. Στην έρευνα συμμετείχαν 3 UAV, δύο εκ των οποίων έφεραν δέκτη GPS πλοήγησης και ένα έφερε διπλόσυγχο δέκτη GPS. Υλοποιήθηκαν συνολικά 15 πτήσεις με τα UAV, εκ των οποίων οι 10 πτήσεις είχαν κάμερα σε κατακόρυφη θέση και οι 5 πτήσεις είχαν κάμερα σε πλάγια θέση με κλίση 30°. Έγιναν 61 διαφορετικές επιλύσεις αεροτριγωνισμού, συμπεριλαμβανομένων επιλύσεων με χρήση μόνο φωτοσταθερών σημείων, επιλύσεις με συνδυασμένη χρήση φωτοσταθερών σημείων και θέσεων λήψης αεροφωτογραφιών καθώς και επιλύσεις μόνο από τις θέσεις λήψης των αεροφωτογραφιών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, η επίλυση του αεροτριγωνισμού μόνο από τις θέσεις λήψης των αεροφωτογραφιών (περίπτωση διπλόσυχου δέκτη GPS) έδωσε αποτελέσματα που κυμαίνονται οριζοντιογραφικά στο εύρος 2 cm – 4 cm (ίδιας οριζοντιογραφικής ακρίβειας με τη χρήση φωτοσταθερών) και υψομετρικά στα 11 cm – 16 cm.

**Λέξεις – κλειδιά:** SfM, Άμεση Γεωαναφορά, Αεροτριγωνισμός, UAV, Φωτοσταθερά

# **Geometric Investigation and Evaluation of Aerial Triangulation Based on UAV Imagery and GNSS Observations**

by Stylianos Nikolakakis

Postgraduate Diploma Thesis

M.Sc. Course: “Geospatial Technologies”

*Department of Surveying and Geoinformatics Engineering  
University of West Attica, Athens, Greece*

July 2021

## *Abstract*

The main objective of this research is the geometric investigation and evaluation of the aerotriangulation of UAV images with the simultaneous use of observations from a GNSS receiver. The research involved 3 UAV, two of which had a navigation GPS receiver and one had a dual frequency GPS receiver. A total of 15 flights were carried out with UAV, of which 10 flights had the camera in a vertical position and 5 flights with the camera inclined by 30°. There were 61 different solutions of aerotriangulation, including solutions using only ground control points, solutions using a combination of ground control points and aerial photo positions, as well as solutions using only aerial photo positions. The results from aerotriangulations using only the aerial photo positions (case of dual frequency GPS receiver) ranged horizontally from 2 cm to 4 cm (same horizontal accuracy with the use of ground control points) and vertically from 11 cm to 16 cm.

**Keywords:** SfM, Direct Georeferencing, Aerotriangulation, UAV, Ground Control Points

Περιεχόμενα	
Εισαγωγή .....	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	3
1.1. Ορισμός της Φωτογραμμετρίας.....	3
1.2. Η Ταξινόμηση της Φωτογραμμετρίας .....	5
1.3. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας.....	6
1.4. Βασικά βήματα φωτογραμμετρικής διαδικασίας .....	7
1.5. Εσωτερικός προσανατολισμός .....	9
1.6. Εξωτερικός προσανατολισμός.....	10
1.7. Φωτοσταθερά σημεία.....	12
1.8. Αεροτριγωνισμός.....	12
1.8.1. Συνδυασμένη επίλυση αεροτριγωνισμού.....	13
1.8.2. Κύρια προβλήματα .....	14
1.8.3. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα μεθόδου .....	15
1.9. Συστήματα μη επανδρωμένων οχημάτων, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα και drones .....	15
1.10.Πεδίο Εφαρμογής UAV.....	18
1.11. Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα χρήσης UAV.....	19
1.12. Διαδικασία Φωτογραμμετρίας SfM και Άμεση Γεωαναφορά σε εικόνες από UAV.....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	25
2.1. Περιοχή μελέτης.....	25
2.2 Εξοπλισμός .....	26
2.3. Ίδρυση φωτοσταθερών.....	28
2.4. Αποτύπωση φωτοσταθερών .....	28
2.5. Σχεδιασμός - Υλοποίηση Πτήσεων.....	29
2.6. Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων .....	31
2.7. Επιλύσεις πτήσεων .....	31
2.8. Σφάλμα εκκεντρότητας UAV Air Surveyor 4 .....	33
2.9. Πίνακες στοιχείων πτήσεων, αποτελέσματα επιλύσεων .....	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	55
3.1. Ανάλυση Αποτελεσμάτων Επιλύσεων .....	55
3.1.1.UAV Air Surveyor 4 .....	55
3.1.2.UAV Phantom 4 pro V2 .....	64

3.1.3. UAV Parrot Anafi .....	68
3.2. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Επιλύσεων .....	70
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....	81
4.1. Συμπεράσματα .....	81
4.2. Προτάσεις .....	82
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	83
Παράρτημα Τεχνικών Προδιαγραφών Εξοπλισμού .....	87



## Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση της ακρίβειας προσανατολισμού μέσω της μεθόδου δέσμης ενός συνόλου αεροφωτογραφιών που λαμβάνονται από UAV (μη επανδρωμένο αεροσκάφος) με ταυτόχρονες μετρήσεις από δέκτη GNSS, χωρίς την ανάγκη μέτρησης φωτοσταθερών σημείων. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η γεωμετρική ακρίβεια του αεροτριγωνισμού με την μέθοδο της δέσμης μόνο με παρατηρήσεις α) των συντεταγμένων των ομόλογων σημείων (σημείων σύνδεσης) στις εικόνες και β) των μετρήσεων ενός δέκτη GPS/GNSS που έχει τοποθετηθεί στο UAV και καταγράφει τη θέση του (X, Y, Z) κατά την διάρκεια της πτήσης. Η εν λόγω φωτογραμμετρική διαδικασία αποτελεί ένα βήμα πριν από την μέθοδο της Άμεσης Γεωαναφοράς (Direct Georeferencing) των εικόνων, με την τελευταία να επιτρέπει τον απευθείας προσδιορισμό των έξι παραμέτρων του εξωτερικού προσανατολισμού της μηχανής (θέση και στρόφες) μέσω μετρήσεων από δορυφορικό δέκτη GNSS (υπολογισμός θέσης) και αδρανειακό σύστημα πλοήγησης INS (υπολογισμός στροφών).

Η εν λόγω μέθοδος προσανατολισμού πλεονεκτεί ως προς την οικονομικότητα έναντι της κλασικής μεθόδου όπου απαιτείται η μέτρηση συχνά μεγάλου πλήθους φωτοσταθερών σημείων.

Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τρία μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV), δύο εκ των οποίων (UAV DJI Phantom 4 proV2 της εταιρείας DJI και UAV Anafi της εταιρείας Parrot) φέρουν μονόσυχο δέκτη μέτρησης GPS, ενώ το τρίτο (UAV Air Surveyor 4 της εταιρείας Drone Services) διαθέτει δέκτη GPS διπλής συχνότητας.

Υλοποιήθηκαν συνολικά 15 πτήσεις εκ των οποίων οι 10 πτήσεις είχαν την κάμερα σε κατακόρυφη θέση και οι 5 πτήσεις είχαν την κάμερα σε πλάγια θέση με κλίση 30°. Έγιναν 61 διαφορετικές επιλύσεις αεροτριγωνισμού, συμπεριλαμβανομένων των επιλύσεων με χρήση μόνο φωτοσταθερών σημείων (χωρίς τις παραμέτρους του GPS), επιλύσεων με συνδυασμένη χρήση φωτοσταθερών σημείων και θέσεων λήψης αεροφωτογραφιών καθώς και επιλύσεων μόνο από τις θέσεις λήψης των αεροφωτογραφιών.

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική εισαγωγή στην Φωτογραμμετρία, τις βασικές αρχές της καθώς και τα βασικά βήματα της φωτογραμμετρικής επίλυσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η περιοχή μελέτης, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τα στοιχεία των επιλύσεων των επιμέρους πτήσεων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα των επιλύσεων κάθε επιμέρους πτήσης καθώς και των συνδυασμών τους.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις επιλύσεις των πτήσεων, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1.1. Ορισμός της Φωτογραμμετρίας

Ο όρος Φωτογραμμετρία (Photogrammetry) προέρχεται από τη σύνθεση των ελληνικών λέξεων φως, γραμμή και μέτρηση. Από την ετυμολογία της ίδιας της λέξης μπορεί να γίνει μια πρώτη προσέγγιση – ερμηνεία αυτού του επιστημονικού πεδίου ως εκείνου που ασχολείται με την μέτρηση ενός αντικειμένου μέσω των προβολών του (φωτογραφική απεικόνιση). Αναφορικά με τους επιστημονικούς ορισμούς του όρου, σύμφωνα με την Αμερικανική Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ASPRS, 2005), η Φωτογραμμετρία είναι η επιστήμη και η τεχνολογία που ασχολείται με την απόκτηση αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με τα φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσω διαδικασιών καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και προτύπων καταγραφόμενων ακτινοβολιών ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Σε σύμπνοια με τον παραπάνω ορισμό, η Διεθνής Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ISPRS, 2016) όρισε μερικά χρόνια αργότερα τη Φωτογραμμετρία ως την επιστήμη και την τεχνολογία που, μέσω ενός συνόλου τεχνικών, αποσκοπεί στην εξαγωγή αξιόπιστων τρισδιάστατων γεωμετρικών πληροφοριών για έναν χώρο ή ένα αντικείμενο από μετρήσεις και δεδομένα από εικόνες.

Με άλλα λόγια, η Φωτογραμμετρία είναι ουσιαστικά μια μέθοδος προσδιορισμού των διαστάσεων, του σχήματος και της θέσης των αντικειμένων και του περιβάλλοντος με τη χρήση εικόνων (Πέτσα, 2000). Στη μέθοδο αυτή, το αντικείμενο καταγράφεται σε φωτοευαίσθητη επιφάνεια μέσω της χρήσης μιας κατάλληλης φωτογραφικής μηχανής ή κάποιου άλλου συστήματος απεικόνισης, στο οποίο η παραγόμενη εικόνα μετρείται προκειμένου να προσδιοριστεί, να απεικονιστεί ή να ψηφιοποιηθεί αυτό το αντικείμενο (Şeker & Duran, 2015). Η στενή σχέση της Φωτογραμμετρίας με τη φωτογραφία και την κάμερα καθιστά σαφή την επιρροή και τη διαμόρφωση των φωτογραμμετρικών τεχνικών από τη συνεχόμενη τεχνολογική εξέλιξη της ψηφιακής πληροφορίας.

Επιπροσθέτως, η Φωτογραμμετρία έχει μεγάλη σχέση με αντίστοιχες επιστήμες συλλογής πρωτογενών δεδομένων, όπως η Τοπογραφία και η Γεωδαισία. Η ειδοποιός διαφορά τους, ωστόσο, έγκειται στο γεγονός ότι οι φωτογραμμετρικές τεχνικές δεν χρησιμοποιούν απευθείας μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο αλλά τη μετρική πληροφορία που συλλέγεται πάνω σε μια εικόνα. Γι' αυτό το λόγο, οι τεχνικές αυτές αποτελούν

έμμεσους τρόπους καταγραφής των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων με βάση εικόνες (Πατιάς, 1991). Η “ποιοτική” περιγραφή των χαρακτηριστικών των αντικειμένων, όπως για παράδειγμα η ένταση, ο χρωματικός τόνος και η υφή, επιτυγχάνεται μέσω της παρατήρησης των φωτογραφικών χαρακτηριστικών της εικόνας. Τα “ποσοτικά” χαρακτηριστικά των αντικειμένων, όπως ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης του αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο σε σχέση με άλλα αντικείμενα, ή σε σχέση με ένα σύστημα αναφοράς, και ο ακριβής προσδιορισμός γεωμετρικών στοιχείων, όπως μήκη, πλάτη, ύψη και γωνίες, καθορίζονται μέσω μετρούμενων θέσεων στο επίπεδο της εικόνας της κάμερας που λαμβάνει τη φωτογραφία (U. A. C. O., 2002).

Η Φωτογραμμετρία στηρίζεται στις ακόλουθες βασικές αρχές:

- Υποθέτει ότι η κάμερα παράγει ένα τέλειο σημείο ως κέντρο προβολής
- Δεν πρέπει να υπάρχει απόκλιση των ακτίνων φωτός που διέρχονται από το φακό της κάμερας
- Το μέσον της εικόνας στο εστιακό επίπεδο της φωτογραφικής μηχανής θα πρέπει να είναι μια άκαμπτη επίπεδη επιφάνεια
- Η μαθηματική σχέση μεταξύ αντικειμένου και εικόνας εκφράζεται με την αρχή της συγγραμμικότητας
- Η αρχή της συγγραμμικότητας υιοθετεί έξι βαθμούς ελευθερίας της κάμερας: τρεις μεταθέσεις και τρεις στροφές
- Οι αποκλίσεις από το κέντρο προβολής μπορούν να μοντελοποιηθούν ως συστηματικό σφάλμα στην κατάσταση συγγραμμικότητας (Şeker & Duran, 2015). Οι εφαρμογές της Φωτογραμμετρίας στις μέρες μας είναι πολλαπλές. Ενδει-

κτικά αναφέρονται οι εξής:

- γεωλογία (στρωματογραφικές και γεωμορφολογικές μελέτες, σχεδιασμός γεωλογικών χαρτών, καταγραφή ζημιών από σεισμό)
- δασολογία (σύνταξη δασικών χαρτών, διαχείριση πυρκαγιών)
- γεωργία (προσδιορισμός τύπων εδαφών, οριοθέτηση καλλιεργούμενων εκτάσεων)
- κατασκευές (χωροθέτηση έργων, μελέτη και κατασκευή τεχνικών έργων)
- οδοποιία (χάραξη δρόμων)
- πολεοδομία (πράξεις εφαρμογής)
- κτηματολόγιο (σύνταξη κτηματολογικών χαρτών)

- αρχαιολογία (αποτύπωση αρχαιολογικών χώρων και μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς)
- αρχιτεκτονική (αποτύπωση κτιρίων και συνόλων)
- τοπογραφία (σύνταξη τοπογραφικών διαγραμμάτων και χαρτών, γεωμετρική τεκμηρίωση κτιρίων και μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς)
- στρατιωτικές εφαρμογές (αναγνωρίσεις, σχεδιασμός στρατιωτικών κινήσεων).

## 1.2. Η Ταξινόμηση της Φωτογραμμετρίας

Η Φωτογραμμετρία, ανάλογα με τον τύπο της εικόνας, τον τρόπο λήψης και τον τρόπο χρήσης της, διακρίνεται σε επιμέρους κατηγορίες. Ειδικότερα, ανάλογα με τη θέση λήψης της εικόνας η Φωτογραμμετρία διακρίνεται σε *Εναέρια Φωτογραμμετρία* και σε *Επίγεια Φωτογραμμετρία*. Η *Εναέρια Φωτογραμμετρία* αφορά τις αεροφωτογραφίες, ενώ στην *Επίγεια Φωτογραμμετρία* ο σταθμός λήψης φωτογραφιών βρίσκεται στο έδαφος. Επιπλέον, με βάση τον τρόπο λήψης της φωτογραφίας διακρίνονται *κατακόρυφες, κεκλιμένες και πλάγιες* λήψεις, ενώ ανάλογα με τον τρόπο επεξεργασίας και απόδοσης της πληροφορίας η Φωτογραμμετρία ιστορικά διακρίνεται σε *Αναλογική, Αναλυτική* και *Ψηφιακή Φωτογραμμετρία*. Στην *Αναλογική Φωτογραμμετρία* χρησιμοποιούνταν οπτικο-μηχανικά μέσα για την εξαγωγή της θέσης σε τρεις διαστάσεις ενός αντικειμένου που απεικονίζεται σε στερεοζεύγος φωτογραφιών που έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις. Στην *Αναλυτική Φωτογραμμετρία* ο προσδιορισμός στον τρισδιάστατο χώρο της θέσης των λεπτομερειών των αντικειμένων γινόταν με υπολογιστικά μέσα και χρησιμοποιούνταν ηλεκτρονικοί υπολογιστές ώστε να υπολογιστούν οι παράμετροι των αναλογικών εικόνων και των προσανατολισμών τους. Τέλος, στην *Ψηφιακή Φωτογραμμετρία* η επεξεργασία επικεντρώνεται στις ψηφιακές εικόνες, οι οποίες είναι αποθηκευμένες σε ψηφιακά μέσα αποθήκευσης και, με τη χρήση υπολογιστικών μέσων, γίνεται η επεξεργασία όχι μόνο του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αλλά και άλλων προτύπων της, όπως των υπέρυθρων ακτίνων (Πατιάς, 1991, Şeker & Duran, 2015).

Στις μέρες μας, πλέον, η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας δείχνει ότι η Φωτογραμμετρία βρίσκεται στο επόμενο στάδιο εξέλιξής της. Πιο συγκεκριμένα, η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την πληθώρα δυνατοτήτων που προσφέρει η Όραση Υπολογιστών (Computer Vision) – ένα από τα πιο γρήγορα εξελισσόμενα πεδία της επιστήμης των υπολογιστών – καθιστά εφικτή, με τη χρήση ψηφιακών

εικόνων, την αυτόματη παραγωγή πλήρως τρισδιάστατων αντικειμένων όσο και ορθοφωτογραφιών. Η ανάπτυξη αυτή συμβάλλει, επιπλέον, στη δημιουργία κατάλληλων λογισμικών, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται μεγάλο αριθμό εικόνων και να παράγουν προϊόντα υψηλής ανάλυσης και ακριβείας, με τις περισσότερες μάλιστα διαδικασίες παραγωγής να πραγματοποιούνται αυτόματα χωρίς την παρέμβαση του χρήστη.

### *1.3. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας*

Όπως προαναφέρθηκε, οι φωτογραμμετρικές τεχνικές αποτελούν έμμεσους τρόπους καταγραφής των ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών ενός αντικειμένου. Οι έμμεσες αυτές μετρήσεις δημιουργούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της Φωτογραμμετρίας εν συγκρίσει με αντίστοιχους επιστημονικούς κλάδους. Πιο αναλυτικά, ένα σημαντικό πλεονέκτημα της Φωτογραμμετρίας είναι η ταχύτητα παραγωγής χαρτών, διαδικασία η οποία είναι χρονοβόρα με άλλες μεθόδους επίγειων μετρήσεων. Επιπλέον, στενά συνυφασμένος παράγοντας με την ταχύτητα είναι και το μειωμένο κόστος που εξασφαλίζεται με τη χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων έναντι άλλων, ειδικά όταν πρόκειται για μαζική χαρτογράφηση μεγάλων εκτάσεων. Ένα εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα των φωτογραμμετρικών μετρήσεων είναι η δυνατότητα εφαρμογής τους σε περιπτώσεις “δύσκολων” ή απροσπέλαστων εδαφών, όπως για παράδειγμα απόκρημνα μέρη, περιοχές πυκνής βλάστησης, έρημοι. Τέλος, σημαντικό πλεονέκτημα των φωτογραμμετρικών έναντι των επίγειων μετρήσεων είναι το εύρος των πληροφοριών που αποτυπώνονται σε μια εικόνα. Συγκεκριμένα, η φωτογραφία αποτελεί μία συνεχή απεικόνιση του φυσικού κόσμου και μπορεί να αποδοθεί σαν τέτοια, ενώ οι επίγειες μετρήσεις έχουν ως σκοπό τον προσδιορισμό των συντεταγμένων διακριτών σημείων λεπτομερειών, καθιστώντας την αποτύπωση των λεπτομερειών της όψης ενός κτιρίου, παραδείγματος χάριν, ιδιαίτερως δύσκολη (Πατιάς, 1991).

Επιμέρους σημαντικά πλεονεκτήματα των φωτογραμμετρικών μετρήσεων είναι τα εξής:

- Η ανακατασκευή της γεωμετρίας του αντικειμένου στον χώρο γίνεται μέσω συνεχούς απόδοσης ή/και σημειακής
- Δεν υπάρχει ανάγκη σχεδίων πεδίου (σκαριφήματα – κροκί)
- Η αποτύπωση θεωρείται αντικειμενική
- Ορίζεται σύστημα αναφοράς

- Υπάρχει δυνατότητα επιστημονικού ελέγχου του αποτελέσματος ως προς την ακρίβεια και την αξιοπιστία
- Αντιμετωπίζονται άμεσα λεπτομέρειες και σύνθετα αρχιτεκτονικά ή δύσκολα προσπελάσιμα στοιχεία
- Υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης των νέων σχεδιαστικών τεχνολογιών (π.χ. CAD), της ψηφιακής τεχνολογίας επεξεργασίας εικόνας (image processing) και των τεχνικών ψηφιακής τεκμηρίωσης (αλφαριθμητικά, γραφικά και εικόνες).

Αναφορικά με τα μειονεκτήματα των φωτογραμμετρικών μετρήσεων, ένα από τα πιο σημαντικά είναι οι πολλές πηγές σφαλμάτων (κάμερες, φακοί, παραμόρφωση φωτοευαίσθητης επιφάνειας, μετρήσεις με GPS), γεγονός που καθιστά την επεξεργασία των δεδομένων πιο σύνθετη, με αποτέλεσμα να είναι πιθανό το τελικό προϊόν να έχει μικρότερη ακρίβεια. Τέλος, καθώς οι φωτογραμμετρικές μετρήσεις χρειάζεται να βασίζονται σε κάποια ήδη υπάρχουσα πληροφορία, τα αποτελέσματά τους εξαρτώνται από αποτελέσματα προηγούμενων επίγειων μετρήσεων, δημιουργώντας την ανάγκη για πρόσθετες εργασίες της τοπογραφικής μεθόδου (Πατιάς, 1991).

#### 1.4. Βασικά βήματα φωτογραμμετρικής διαδικασίας

Ακολουθούν τα βασικά βήματα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας, καθώς και τα απαραίτητα εργαλεία για την υλοποίησή της. Τα βασικά βήματα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας απεικονίζονται σχηματικά στην Εικόνα 1.

Αρχικά γίνεται ο *σχεδιασμός* της φωτογραμμετρικής διαδικασίας. Ειδικότερα, κατά το σχεδιασμό γίνεται η επιλογή του εξοπλισμού (hardware), του λογισμικού (software) και της διαδικασίας που θα ακολουθηθεί, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Έπειτα, γίνεται η *συλλογή των δεδομένων* (επίγειες - εναέριες εικόνες) καθώς και των πρωτογενών δεδομένων καταγραφής από τους δέκτες GPS (GPS UAV - GPS επίγειου δέκτη σε περιπτώσεις εναέριων λήψεων).

Στη συνέχεια, κατά το επόμενο στάδιο γίνεται η *επεξεργασία των δεδομένων*, που αφορά την επεξεργασία των εικόνων, την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, τον υπολογισμό των σημείων του χώρου, καθώς και των γεωδαιτικών συντεταγμένων τους κ.λπ. Για την *επεξεργασία των δεδομένων* χρησιμοποιούνται σταθμοί εργασίας ή κοινοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές με τη συνδρομή κατάλληλου λογισμικού.

Η απόκτηση του ψηφιακού αρχείου με τα παραγόμενα φωτογραμμετρικά προϊόντα, τα οποία μπορεί να είναι γραφικά, αριθμητικά, φωτογραφικά και άλλα, αποτελεί το τελευταίο στάδιο της φωτογραμμετρικής διαδικασίας. Το ψηφιακό αυτό αρχείο μπορεί να αποθηκευτεί και η διεργασία να ολοκληρωθεί ή τα αποκτηθέντα δεδομένα μπορούν να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία για σκοπούς όπως ο σχεδιασμός χαρτών και η ψηφιακή απεικόνιση δεδομένων.



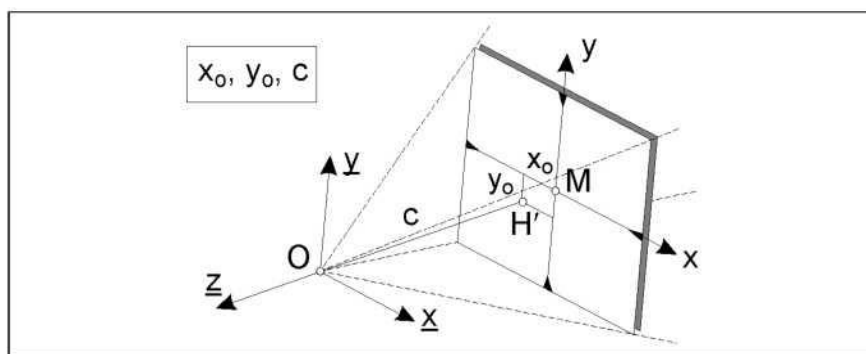
Εικόνα 1. Βασικά βήματα φωτογραμμετρικής διαδικασίας (Πέτσα, 2000).



### 1.5. Εσωτερικός προσανατολισμός

Εσωτερικός προσανατολισμός ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία αποκαθίσταται η πορεία της φωτεινής ακτίνας κατά τη στιγμή της λήψης. Με άλλα λόγια, ο εσωτερικός προσανατολισμός αναφέρεται στην εσωτερική γεωμετρία της φωτομηχανής και τη διαστροφή του φακού κατά τη στιγμή της λήψης της κάθε εικόνας. Ο εσωτερικός προσανατολισμός μιας εικόνας ουσιαστικά αποτελεί μια διαδικασία ανάπλασης της δέσμης των ακτίνων που δημιούργησε την εικόνα. Αποτελεί, δηλαδή, τη διαδικασία εύρεσης ως προς το επίπεδο της εικόνας, της θέσης ενός (θεωρητικού) σημείου λήψης, έτσι ώστε η σύνδεση του σημείου αυτού με όλα τα εικονοσημεία να αναπαράγει τη σωστή δέσμη ακτίνων. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού ονομάζεται βαθμονόμηση μηχανής (camera calibration) και αποτελεί τη διαδικασία εύρεσης της διαφοράς που έχει η γεωμετρία της εικόνας σε μια φωτογραφική κάμερα σε σχέση με την αντίστοιχη αυστηρή γεωμετρία μιας κεντρικής προοπτικής προβολής. Για την μετατροπή των συντεταγμένων από το σύστημα του φωτογραφικού επιπέδου στο σύστημα της εικόνας είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του κέντρου προβολής στο φωτογραφικό επίπεδο ( $O'$ ), δηλαδή ο προσδιορισμός του πρωτεύοντος σημείου ( $H'$ ) της εικόνας.

Οι παράμετροι  $x_0, y_0$  και  $c$  που ορίζουν το κέντρο προβολής, αποτελούν τα πρωτεύοντα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού της δέσμης (Καρράς, 1992).



Εικόνα 2. Βασικές παράμετροι εσωτερικού προσανατολισμού (Πέτσα, 2000).

Η βαθμονόμηση της μηχανής γίνεται είτε εργαστηριακά (από τον κατασκευαστή της μηχανής) είτε με βαθμονόμηση πεδίου (μετρήσεις σε πεδίο ελέγχου με συνόρθωση σημείων με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες). Η βαθμονόμηση της φωτομηχανής αποσκοπεί στην αντιστάθμιση των διαστροφών του φακού καθώς και στην

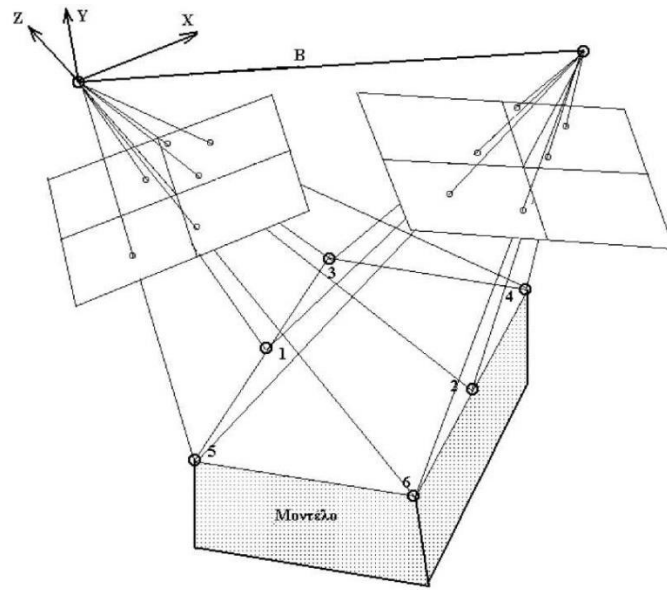
εκτίμηση της σταθερότητας και λειτουργίας της (Kraus, 1993, Μωυσιάδης, 2015, Πατιάς, 1991, Ziemann & El-Halkim, 1982).

### 1.6. Εξωτερικός προσανατολισμός

Η γνώση του εσωτερικού προσανατολισμού επιτρέπει τη γεωμετρική ανακατασκευή της δέσμης των προβολικών ακτίνων, η οποία βέβαια θα πρέπει εν συνεχεία να ενταχθεί στο σύστημα του χώρου (γεωδαιτικό σύστημα) (Πέτσα, 2000).

Οι βαθμοί ελευθερίας του εξωτερικού προσανατολισμού είναι έξι, δηλαδή οι τρεις μεταθέσεις (μία ανά άξονα)  $X_0, Y_0, Z_0$ , καθώς και τρεις στροφές (μία ανά άξονα)  $\omega, \varphi, \kappa$ . Η γνώση του εξωτερικού προσανατολισμού επιτρέπει να αποκατασταθεί η θέση και ο προσανατολισμός της δέσμης στο χώρο. Ο εξωτερικός προσανατολισμός επιτυγχάνεται είτε απευθείας είτε με τον σχετικό και τον απόλυτο προσανατολισμό (Μωυσιάδης, 2015, Πατιάς, 1991).

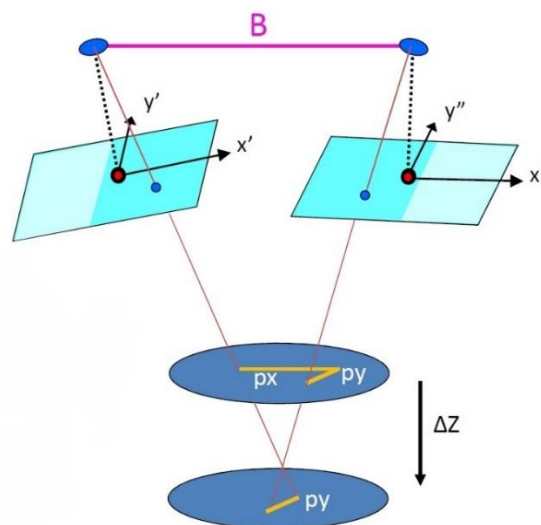
Σχετικός προσανατολισμός ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία οι δύο επικαλυπτόμενες εικόνες ενός στερεοζεύγους σχετίζονται μεταξύ τους σε κάποιον αυθαίρετο χώρο και σε αυθαίρετη κλίμακα ώστε η σχέση αυτή να είναι η ίδια που υπήρχε κατά τη στιγμή λήψης. Ο σχετικός προσανατολισμός έχει ως στόχο την τομή όλων των ομόλογων ακτίνων δύο ή περισσότερων επικαλυπτόμενων εικόνων, έτσι ώστε να ευρίσκονται σε προβολική θέση (Πατιάς, 1991). Το αποτέλεσμα του σχετικού προσανατολισμού είναι η ορθή ανάπλαση του σχήματος ενός τρισδιάστατου μοντέλου σε αυθαίρετο χώρο και σε αυθαίρετη κλίμακα. Το σχετικά προσανατολισμένο ζεύγος έχει αυθαίρετη σχέση με το επίγειο σύστημα συντεταγμένων (Πατιάς, 1991).



Εικόνα 3. Δέσμες ομόλογων ακτίνων σε προβολική θέση (Χατζόπουλος, 2015).

Για τον υπολογισμό του χρειάζεται ο προσδιορισμός πέντε παραμέτρων ( $\Delta Y_0$ ,  $\Delta Z_0$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ ). Κατά το στάδιο επίλυσης του σχετικού προσανατολισμού, οι παράμετροι  $\Delta Y_0$ ,  $\Delta Z_0$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  (5 βαθμοί ελευθερίας, αφού η παράμετρος  $\Delta X_0$  επιδρά μόνο στην κλίμακα του μοντέλου) εκφράζουν τις 5 κινήσεις των ομόλογων δεσμών για να επιτευχθεί η αλληλοτομία τους ή η συμβατότητά τους. Η *ασυμβατότητα* των ομόλογων δεσμών εκφράζεται με δύο παραλλάξεις :

- $P_x$ , που συνδέεται απλώς με τα υψόμετρα (βάθος)
- $P_y$ , που συνδέεται με την αλληλοτομία των ομόλογων ακτίνων



Εικόνα 4. Αλληλοτομία ομόλογων ακτίνων (Γεωργόπουλος, χχ).

Το επόμενο στάδιο, που αφορά την αποκατάσταση της κλίμακας του τρισδιάστατου μοντέλου καθώς και τον προσδιορισμό της θέσης του, ονομάζεται απόλυτος προσανατολισμός. Για τον υπολογισμό του χρειάζεται ο προσδιορισμός επτά παραμέτρων (κλίμακα, μεταθέσεις  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  και στροφές  $\Omega$ ,  $\Phi$ ,  $K$  του μοντέλου). Ο απόλυτος προσανατολισμός είναι η διαδικασία που αποκαθιστά την αυθαίρετη σχέση του στερεοζεύγους που έχει προκύψει από τον σχετικό προσανατολισμό με το επίγειο σύστημα αναφοράς. Ο εξωτερικός προσανατολισμός μιας εικόνας είναι συνήθως άγνωστος και υπολογίζεται με τη χρήση φωτοσταθερών. Η σχέση που χρησιμοποιείται για την επίλυση του απόλυτου προσανατολισμού ενός στερεομοντέλου (7 παράμετροι) είναι ο μετασχηματισμός ομοιότητας στον χώρο, ενώ ο εξωτερικός προσανατολισμός μιας εικόνας (εύρεση των έξι αγνώστων  $X_o$ ,  $Y_o$ ,  $Z_o$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ ) μπορεί να προσδιοριστεί και απευθείας με την συνθήκη συγγραμμικότητας (Μουσιάδης, 2015, Πατιάς, 1991).

### 1.7. Φωτοσταθερά σημεία

Τα φωτοσταθερά σημεία (Ground Control Points ή GCP) αποτελούν χαρακτηριστικά σημεία επί του εδάφους ή επί κατασκευών, των οποίων είναι γνωστές (μετρημένες) οι συντεταγμένες τους ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) στο χώρο σε ένα δεδομένο σύστημα συντεταγμένων. Τα φωτοσταθερά σημεία μπορεί να είναι φυσικά σημεία του εδάφους ή τεχνητά σημεία (στόχοι, σήμανση με χρώμα, ακμές κατασκευών), τα οποία θα πρέπει να είναι ευδιάκριτα και κατάλληλα κατανεμημένα.

### 1.8. Αεροτριγωνισμός

Αεροτριγωνισμός (και γενικότερα φωτοτριγωνισμός) ήταν αρχικά η διαδικασία πύκνωσης του οριζοντιογραφικού και υψομετρικού δικτύου ελέγχου, κατά την οποία οι μετρήσεις σε επικαλυπτόμενες φωτογραφίες συσχετίζονται σε ενιαία λύση στο χώρο με τη βοήθεια των προοπτικών ιδιοτήτων των εικόνων (ISPRS, 1998). Σήμερα με τον όρο Αεροτριγωνισμός εννοούμε τον υπολογισμό του εξωτερικού προσανατολισμού, ή και εσωτερικού προσανατολισμού, ενός συνόλου επικαλυπτόμενων εικόνων.

Μέσω του Αεροτριγωνισμού προσδιορίζονται οι εξωτερικοί προσανατολισμοί των εικόνων καθώς επίσης και οι τρισδιάστατες συντεταγμένες ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) των μετρημένων σημείων σύνδεσης στο προκαθορισμένο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Η επίλυση του αεροτριγωνισμού σε συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς προϋποθέτει προφα-

νώς τη γνώση ορισμένων σημείων με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες (φωτοσταθερά σημεία).

Οι βασικές μεθοδολογίες επίλυσης του αεροτριγωνισμού διακρίνονται ιστορικά ως εξής:

- Μέθοδος διαδοχικών προσανατολισμών
- Μέθοδος ανεξάρτητων μοντέλων
- Μέθοδος συνόρθωσης δέσμης.

Στη μέθοδο της συνόρθωσης δέσμης παρατηρούμενες ποσότητες είναι οι συντεταγμένες εικόνας των σημείων. Η μέθοδος αυτή αποτελεί τη σύγχρονη μέθοδο επίλυσης του αεροτριγωνισμού, έχοντας ως πλεονέκτημά της τον μικρό αριθμό διαδικασιών/εργασιών, και κατ' επέκταση τον περιορισμό των πιθανών σφαλμάτων και τη μεγιστοποίηση των επιτυγχανόμενων ακριβειών, με εφαρμογή κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων συνόρθωσης. Η εξίσωση παρατήρησης είναι η συνθήκη συγγραμμικότητας. Οι άγνωστες παράμετροι, όπως προαναφέρθηκε, είναι οι συντεταγμένες  $(X, Y, Z)$  των σημείων σύνδεσης και, κυρίως, τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων  $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)$  που συμμετέχουν στην επίλυση και απαρτίζουν το block του αεροτριγωνισμού.

Κατά την κλασική επίλυση του αεροτριγωνισμού, εξισώσεις παρατήρησης είναι μόνο οι φωτογραμμετρικές παρατηρήσεις. Για παράδειγμα, στη συνόρθωση αεροτριγωνισμού με την μέθοδο της δέσμης οι παρατηρούμενες ποσότητες είναι οι εικονοσυντεταγμένες και η εξίσωση παρατήρησης είναι η συνθήκη συγγραμμικότητας. Αυτό σημαίνει ότι, μετρώντας τις εικονοσυντεταγμένες των σημείων σύνδεσης και των γνωστών σημείων (φωτοσταθερών) σε όλες τις εικόνες του block όπου αυτά εμφανίζονται, προσδιορίζει κανείς τις συντεταγμένες χώρου  $(X, Y, Z)$  των άγνωστων μετρημένων σημείων και τις παραμέτρους του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων (συντεταγμένες των σημείων λήψης και στροφές).

#### *1.8.1. Συνδυασμένη επίλυση αεροτριγωνισμού*

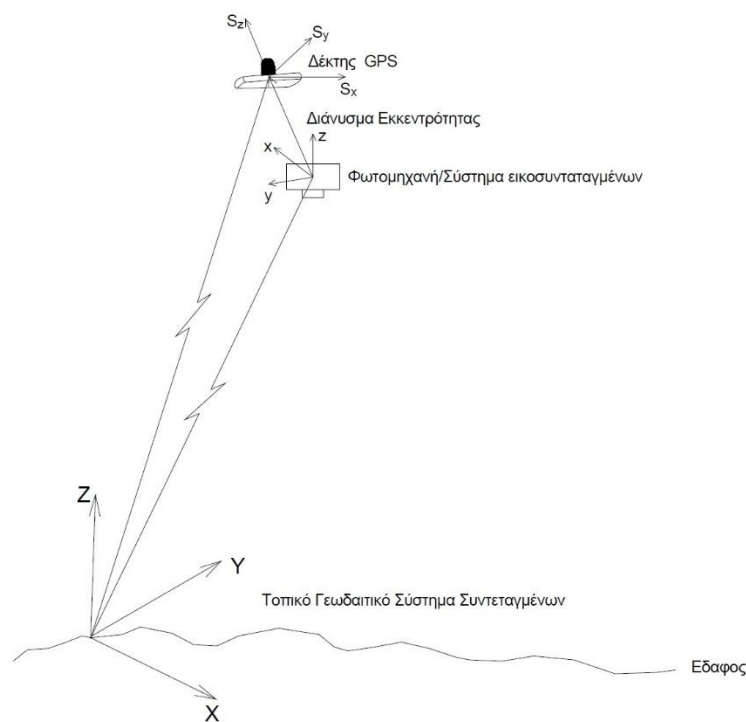
Τα τελευταία χρόνια, η χρήση δέκτη GPS(RTK) σε UAV, σε συνδυασμό με μετρήσεις από επίγειο δέκτη GPS με καταγραφή στατικών μετρήσεων (PPK), καθώς και η χρήση αδρανειακών συστημάτων (Inertial Navigation System, INS) σε UAV δίνουν τη δυνατότητα του άμεσου προσδιορισμού των γραμμικών στοιχείων του εξωτερικού προσανατολισμού όλων των εικόνων του block (συνδυασμένη επίλυση τριγωνι-

σμού). Με αυτή την μέθοδο, οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση του UAV σε προκαθορισμένες θέσεις λήψης και ενεργοποίηση μηχανής, ενώ επίσης τα σημεία λήψης των εικόνων χρησιμοποιούνται κατά την επίλυση του αεροτριγωνισμού ως πρόσθετες εξισώσεις παρατήρησης (ως φωτοσταθερά σημεία) (Πέτσα, 2010).

### 1.8.2. Κύρια προβλήματα

#### Διάνυσμα εκκεντρότητας (e)

Το διάνυσμα εκκεντρότητας μεταξύ της κεραίας του GPS και του προβολικού κέντρου της μηχανής περιγράφει τη σχετική τρισδιάστατη μετάθεση μεταξύ των δύο αντίστοιχων συστημάτων αναφοράς. Οι μετρήσεις του δέκτη GPS που φέρει το UAV αναφέρονται στην κεραία του δέκτη που συνήθως βρίσκεται στο επάνω μέρος της ατράκτου. Αντίθετα, η κάμερα του UAV βρίσκεται συνήθως στο κάτω μέρος της ατράκτου. Το διάνυσμα μεταξύ των σημείων αυτών ονομάζεται διάνυσμα εκκεντρότητας (e).

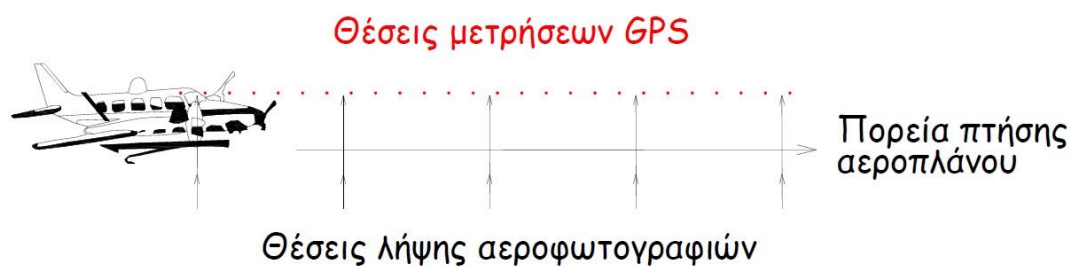


Εικόνα 5. Εκκεντρότητα κάμερας - δέκτη GPS στο UAV (Γεωργόπουλος, χχ)

#### Χρονική διαφορά μέτρησης - λήψης

Το πρόβλημα αυτό δημιουργείται από την χρονική μη ταύτιση της στιγμής λήψης της εικόνας (χρονική στιγμή όπου το κλείστρο της μηχανής φτάνει στο μέγιστο άνοιγμα) με τη χρονική στιγμή λήψης της μέτρησης του GPS. Για τον προσδιορισμό

των συντεταγμένων των σημείων λήψης εφαρμόζονται μέθοδοι παρεμβολής και λαμβάνονται υπόψη οι πλησιέστερες χρονικά μετρήσεις σε συνάρτηση με τη θέση λήψης.



Εικόνα 6. Διαφορά στις θέσεις λήψης των μετρήσεων GPS/αεροφωτογραφιών (Γεωργόπουλος, χχ)

### Άλλα προβλήματα

Επιπλέον των παραπάνω προβλημάτων, προστίθενται ακόμα οι ασάφειες φάσης σε περιπτώσεις δεκτών καταγραφής στατικών μετρήσεων (PPK), η διακοπή σήματος σε περιπτώσεις δεκτών καταγραφής μετρήσεων (RTK) και οι μετασχηματισμοί μεταξύ διαφορετικών συστημάτων αναφοράς (Πέτσα, 2010).

### 1.8.3. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα μεθόδου

Με την μέθοδο την συνδυασμένης επίλυσης τριγωνισμού επιτυγχάνεται σημαντική οικονομία χρόνου/κόστους ως προς τις εργασίες πεδίου (μικρότερος αριθμός φωτοσταθερών). Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι, με την συμμετοχή των καταγεγραμμένων θέσεων λήψης κατά την επίλυση του τριγωνισμού, προστίθενται σφάλματα που έχουν να κάνουν με τις ακρίβειες ως προς τη θέση, την κλίμακα και τον προσανατολισμό. Συνεπώς η μέθοδος αυτή εξαρτάται άμεσα από την ακρίβεια μέτρησης της θέσης λήψης της αεροφωτογραφίας.

### 1.9. Συστήματα μη επανδρωμένων οχημάτων, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα και drones

Τα συστήματα μη επανδρωμένων οχημάτων (Unmanned Aircraft System, UAS) είναι γνωστά με διαφορετικά ονόματα και ακρωνύμια, όπως μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) ή drones. Ο όρος UAS υιοθετήθηκε από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ και από την Αρχή Πολιτικής Αεροπορίας του Ηνωμένου Βασιλείου. Ο Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας εισήγαγε τον όρο τηλε-

πλοηγούμενο εναέριο σύστημα (Remotely-Piloted Aerial System, RPAS), ως μια συγκεκριμένη κατηγορία UAS (Colomina & Molina, 2014).

Πιο αναλυτικά, με τον όρο UAS χαρακτηρίζεται το ιπτάμενο όχημα που δεν φέρει πλήρωμα στην άτρακτό του και αποτελείται από ένα σύνολο συμπληρωματικών τεχνολογιών που συγκεντρώνονται για να εκπληρώσουν μια συγκεκριμένη εργασία. Με άλλα λόγια, το UAS θεωρείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα στο οποίο, σε υψηλότερο τεχνολογικό επίπεδο, περιλαμβάνονται συνήθως το μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV), ο σταθμός ελέγχου εδάφους (ground control station) και η σύνδεση δεδομένων επικοινωνίας (communication data link) μεταξύ των αεροσκαφών και των συστημάτων εδάφους. Άλλα συστήματα του UAS που θεωρούνται εξίσου σημαντικά είναι οι αυτόματοι πιλότοι (auto-pilots), οι αισθητήρες πλοήγησης (navigation sensors), οι αισθητήρες απεικόνισης (imaging sensors), ο σερβομηχανισμός (mechanical servos) και τα ασύρματα συστήματα (wireless systems) (Colomina & Molina, 2014).

Ο όρος *μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα* (Unmanned Aerial Vehicles, UAV ή Drones) συναντάται κυρίως στο πεδίο των υπολογιστών, της ρομποτικής και της τεχνητής νοημοσύνης, καθώς και στους τομείς της Φωτογραμμετρίας και της Τηλεπισκόπησης. Τα UAV, που με στρατιωτικούς όρους ονομάζονται *drones*, είναι εναέρια οχήματα πολλαπλών χρήσεων που δεν φέρουν πλήρωμα στην άτρακτό τους, ελέγχονται εξ αποστάσεως, μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να είναι αυτόνομα είτε ημιαυτόνομα ή να εξαρτάται εξολοκλήρου ο χειρισμός τους από τον χειριστή (χειροκίνητη τηλεκατεύθυνση) και μπορούν να μεταφέρουν μια κάμερα ως φορτίο. Τα UAV επιτρέπουν την καταγραφή και παρακολούθηση της θέσης και του προσανατολισμού των αισθητήρων σε τοπικό ή παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλης και μικρής κλίμακας εφαρμογές (Anurogo et al., 2017). Τέλος, τα οφέλη της χρήσης τους στη Φωτογραμμετρία είναι σημαντικά, καθώς διακρίνονται για την ευελιξία τους στην απόκτηση δεδομένων, την ικανότητά τους να συλλέγουν δεδομένα σε απρόσιτα σημεία, αλλά και την ταχύτητά τους (Eisenbeiß, 2009).

Τα *drones* εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα και χρησιμοποιήθηκαν ως στόχοι για εξάσκηση των στρατιωτικών δυνάμεων. Έπειτα, κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκόσμιου Πολέμου, θεωρήθηκε ότι μπορούν να μετασηματιστούν σε μια ιπτάμενη βόμβα, η οποία θα ρίπτεται αιφνιδιαστικά στους αντιπάλους. Πρακτικά, όμως, τα *drones* χρησιμοποιήθηκαν για την εξ αποστάσεως παρακολούθηση των εχθρών, συλλέγοντας πληροφορίες για τις κινήσεις τους σε απρόσιτα σημεία. Στη συνέχεια, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα αποτέλεσαν σημαντικό εργαλείο κατά της



τρομοκρατίας, όπου μετατράπηκαν σε συνδυαστικό όπλο, αφού μπορούσαν να παρακολουθούν αλλά και να βάλουν προς τους αντιπάλους. Σε επόμενο στάδιο, τα UAV χρησιμοποιήθηκαν και από την αστυνομία, ενώ ήδη χρησιμοποιούνται για ειρηνικούς σκοπούς, όπως μεταφορά φαρμάκων, βιολογικών υλικών για ιατρικές εξετάσεις και τροφίμων από και προς δύσβατες περιοχές (Colomina & Molina, 2014). Τέλος, επιμέρους βασικοί τομείς χρήσης των UAV είναι η τοπογραφία, η πολεοδομία, η χωροταξία, η αρχαιολογία, η συγκοινωνιολογία, η δασοκομία, η γεωργία και για περιβαλλοντικές αποτυπώσεις (Remondino et al., 2011).

Στα UAV, αρχικά, ενσωματώθηκαν αισθητήρες πλοήγησης και χαρτογράφησης σε τηλεκατευθυνόμενες πλατφόρμες για την απόκτηση υψηλής ανάλυσης εικόνων από μικρό υψόμετρο. Η ανταπόκριση της ακαδημαϊκής κοινότητας ήταν μικρή, ωστόσο, διορατικές εταιρείες τεχνολογίας και υπηρεσιών που γνώριζαν καλά τις ανάγκες των χρηστών τους και οι αρχές της πολιτικής αεροπορίας, που πρόβλεψαν τα κοινωνικά και επιχειρηματικά οφέλη των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, άρχισαν σύντομα να αναπτύσσουν, να εφαρμόζουν και να ρυθμίζουν την τεχνολογία των UAV (Colomina & Molina, 2014). Σημαντικός αρωγός, φυσικά, της εξέλιξης των UAV ήταν η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας και, συγκεκριμένα, η τεχνολογική εξέλιξη σχετικά με τις μπαταρίες, τα συστήματα αυτόματου πιλότου και τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, παράγοντες που συνέβαλαν στη βελτίωση αυτών των οχημάτων και τελικά στη χρήση τους σε όλο και περισσότερους τομείς και εφαρμογές (Anurogo et al., 2017).

Αναφορικά με την κατηγοριοποίηση των UAV, γίνεται κατανοητό ότι αυτή αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα, καθώς υπάρχει πληθώρα ταξινομήσεών τους σύμφωνα με διάφορα χαρακτηριστικά τους, όπως

- Μέγεθος
- Βάρος
- Αντοχή στα καιρικά φαινόμενα (άνεμος, βροχή)
- Αεροδυναμική
- Σύστημα λειτουργίας (εύρος αποστολής, υψόμετρο της πτήσης)
- Χρήση (επαγγελματική, ερασιτεχνική, αναψυχή, κ.λπ.)
- Κόστος
- Εμβέλεια (ασύρματη σύνδεση, τηλεμετρία)
- Χρόνος πτήσης
- Ωφέλιμο φορτίο
- Μηχανοκίνηση ή όχι

- Σταθερά ή περιστρεφόμενα πτερόγυια (VTOL) (Colomina & Molina, 2014).

Σύμφωνα με τους Remondino et al. (2011), τα UAV μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες με βάση το μέγεθος, το βάρος και τις δυνατότητές τους ως προς τη διάρκεια της πτήσης. Ειδικότερα, είναι τα *τακτικά UAV (tactical)*, τα οποία συνήθως είναι μικρού ή μεσαίου μεγέθους, το υψόμετρο πτήσης τους ανέρχεται στα 500 km, η διάρκεια πτήσης είναι από λίγα λεπτά μέχρι και δύο ημέρες, ενώ η μάζα του συστήματος φτάνει έως 100 kg. Επόμενη κατηγορία είναι τα *στρατηγικά UAV (strategic)*. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται συστήματα που το υψόμετρό τους είναι άνω των 20 km και η διάρκεια πτήσης τους φτάνει ως τις τέσσερις μέρες. Τελευταία κατηγορία αποτελούν τα *UAV ειδικών διεργασιών (special tasks)*, τα οποία αφορούν σε μη επανδρωμένα αυτόνομα μαχητικά αεροσκάφη.

### 1.10.Πεδίο Εφαρμογής UAV

Η συνεχόμενη εξέλιξη των UAV σε συνδυασμό με την Όραση Υπολογιστών (Computer Vision), καθώς και η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για εφαρμογές χαμηλού κόστους, έχουν ως αποτέλεσμα τη συμμετοχή των UAV σε πολλούς τομείς, επιστημονικούς και μη (Colomina & Molina, 2014). Ο συνδυασμός αξιόπιστου αποτελέσματος - κόστους (μικρό κόστος εξοπλισμού σε σχέση με τα επανδρωμένα αεροσκάφη), αποτελούν πλέον ελκυστική λύση για την απόκτηση παρατηρήσεων, άντληση πληροφοριών και μελέτες φαινομένων.

Ο Ritzinger (όπως αναφέρεται στο Δουκαρή, 2015), πέραν των στρατιωτικών εφαρμογών, κατηγοριοποιεί τις εφαρμογές στους παρακάτω τομείς:



Εικόνα 7. Εφαρμογές με τη χρήση UAV (Ritzinger, αναφορά στο Δουκαρή, 2015).

Η διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη για χρήση των UAV σε αρκετούς τομείς τα καθιστά πλέον τα πιο ευέλικτα και οικονομικά μέσα, τα οποία προσαρμόζονται εύκολα στις ανάγκες και απαιτήσεις κάθε δραστηριότητας ή εφαρμογής. Ανάλογα με τη χρήση, τα UAV φέρουν προσαρμοσμένο εξοπλισμό για την υλοποίηση της κάθε εργασίας, όπως για παράδειγμα θερμικές κάμερες, τηλεμετρία, ραντάρ, αισθητήρες απόστασης, συστήματα GPS, κ.λπ. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας καθώς και την ανάγκη για οικονομικότερες και πιο ευέλικτες λύσεις, η χρήση των UAV ολοένα και αυξάνεται χωρίς όμως απαραίτητα να αντικαθιστά άλλες μεθόδους, αλλά σε πολλές περιπτώσεις λειτουργεί ως συμπληρωματική μέθοδος, όπως π.χ. σε περιπτώσεις κινδύνου, αλλά και όταν απαιτείται εξοικονόμηση χρόνου, γρήγορες ενέργειες και ποιοτικά αποτελέσματα (Anurogo et al., 2017).

### *1.11. Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα χρήσης UAV*

Με την αλματώδη και διαρκή τεχνολογική εξέλιξη, οι εφαρμογές των UAV κερδίζουν συνεχώς έδαφος σε σχέση με τις παραδοσιακές φωτογραμμετρικές πλατφόρμες συλλογής. Καθώς σε πολλές περιπτώσεις η χρήση των UAV μπορεί να θεωρηθεί ότι μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά ή σε συνδυασμό με επίγειες μετρήσεις, υπάρχουν περιπτώσεις όπου μέσω της άμεσης γεωαναφοράς μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα ή και να αντικαταστήσει πλήρως τις παραδοσιακές μεθόδους αποτύπωσης (Anurogo et al., 2017).

#### Πλεονεκτήματα

- Μικρό κόστος εξοπλισμού
- Μικρό κόστος συντήρησης
- Ταχύτητα λήψης δεδομένων
- Εφαρμογή σε δυσπρόσιτες – απρόσιτες περιοχές
- Δυνατότητα πτήσεων σε αρκετά μικρό ύψος
- Ακριβείς πτήσεις (GPS/INSS)
- Εφαρμογή σε καταστάσεις υψηλού κινδύνου (Anurogo et al., 2017, Eisenbeiß, 2009).

#### Μειονεκτήματα

- Καιρικά φαινόμενα (βροχή, άνεμος)
- Μικρή εμβέλεια σε σχέση με τα επανδρωμένα αεροσκάφη

- Χρήση μικρού-μεσαίου μεγέθους αισθητήρων
- Παρεμβολές στο σύστημα τηλεμετρίας
- Απομακρυσμένος τηλεχειρισμός
- Παρεμπόδιση από σμήνη πτηνών (Anurogo et al., 2017, Eisenbeiß, 2009).

### 1.12. Διαδικασία Φωτογραμμετρίας SfM και Άμεση Γεωαναφορά σε εικόνες από UAV

Μολονότι έχει σημειωθεί πρόοδος στη μείωση του κόστους της επίγειας χαρτογράφησης μέσω της ψηφιακής Φωτογραμμετρίας, η χρήση των UAV είχε, σε κάποιο βαθμό, παραμείνει αρχικά εντός του ακαδημαϊκού χώρου, με τον εμπορικό τοπογραφικό τομέα να κυριαρχείται από την τεχνολογία λέιζερ (laser scanner). Ωστόσο, με τα χαμηλού κόστους μη επανδρωμένα αεροσκάφη και τα αυτοματοποιημένα φωτογραμμετρικά λογισμικά, η Φωτογραμμετρία SfM/UAV κέρδισε έδαφος και αναδεικνύεται σε κυρίαρχη μέθοδο 3D ανακατασκευής, αλλά και γενικότερα σε ένα κοινό εργαλείο στην Φωτογραμμετρία όσο και την Τηλεπισκόπηση (Carbonneau & Dietrich, 2016).

Η Φωτογραμμετρία μέσω της μεθόδου SfM (Structure from Motion) που χρησιμοποιείται σε λήψεις από πλατφόρμες UAV έχει αποκτήσει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Η μέθοδος SfM, η οποία εξελίσσεται τα τελευταία 20 χρόνια, αποτελεί πλέον μια πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία για την εξαγωγή της τρισδιάστατης δομής μιας σκηνής από πολλαπλές αλληλεπικαλυπτόμενες εικόνες (Mlambo, Woodhouse, Gerard & Anderson, 2017).

Ο στόχος της μεθόδου SfM είναι, μέσω της κίνησης της κάμερας που προσφέρει ένα σύνολο εικόνων μιας στατικής σκηνής και με συνδυασμό κοινών χαρακτηριστικών μεταξύ των εικόνων, να αναδημιουργήσει τρισδιάστατες σκηνές (Mancini et al., 2013).

Ομοίως με την κλασική Φωτογραμμετρία, η SfM χρησιμοποιεί εικόνες που λαμβάνονται από πολλαπλές οπτικές γωνίες προκειμένου να αποδώσει την τρισδιάστατη γεωμετρία ενός αντικειμένου ή μιας επιφάνειας. Ωστόσο, η μέθοδος SfM διαφοροποιείται ως προς την παραδοσιακή φωτογραμμετρική πρακτική κυρίως ως προς την νέα γενιά αλγορίθμων που επιτρέπουν τον αυτόματο προσανατολισμό τυχαίων εικόνων (εικόνες χωρίς δεδομένη σειρά λήψης). Ενώ οι κλασικές φωτογραμμετρικές μέθοδοι συνήθως βασίζονταν στις λωρίδες των επικαλυπτόμενων εικόνων που αποκτώνται σε παράλληλες γραμμές πτήσης, η μέθοδος SfM σχεδιάστηκε για να αποδώσει την τρισδιάστατη γεωμετρία σκηνών από τυχαία λαμβανόμενες εικόνες. Και εδώ, βέβαια, ο μόνος περιορισμός είναι ότι κάθε φυσικό σημείο χρειάζεται να εμφανίζεται σε

τουλάχιστον δύο εικόνες. Η χρηστικότητα των τυχαία τοποθετημένων εικόνων βασίζεται στην πρόοδο της αυτοματοποιημένης αντιστοίχισης σημείων μεταξύ των εικόνων, δηλαδή τον αυτόματο προσδιορισμό αντιστοιχιών pixel μεταξύ των εικόνων (Stentoumis et al., 2015). Μια κρίσιμη ιδιότητα αυτών των νέων προσεγγίσεων είναι η ικανότητά τους να αναγνωρίζουν και να συνταυτίζουν χαρακτηριστικά σε πολλές εικόνες, παρά την ενδεχόμενη αλλαγή στην κλίμακα της εικόνας καθώς και τις διαφορές στην οπτική γωνία της κάθε εικόνας. Επιπλέον, η χρήση π.χ. των κλίσεων αντί των απόλυτων τιμών της έντασης των pixel βοηθά ακόμα περισσότερο ώστε αντικείμενα ορατά από πολλαπλές οπτικές γωνίες να μπορούν να συσχετιστούν από τις διαφοροποιήσεις έντασης μεταξύ του αντικειμένου και του φόντου της εικόνας (Fonstad et al., 2013). Επίσης οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στον αλγόριθμο μπορούν να επιλυθούν χωρίς να απαιτείται η a-priori γνώση των συντεταγμένων των θέσεων λήψης ή των φωτοσταθερών σημείων, αν και μπορούν να προστεθούν και να χρησιμοποιηθούν και τα δύο. Τέλος, η βαθμονόμηση της κάμερας (εύρεση παραμέτρων εσωτερικού προσανατολισμού) μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας (αυτοβαθμονόμηση). Έτσι, η μέθοδος μπορεί αυτόματα να εξάγει 3D φωτογραμμετρικά μοντέλα χωρίς να απαιτείται αυστηρή ομοιογένεια στις επικαλυπτόμενες εικόνες, τη θέση και τη βαθμονόμηση της κάμερας (Iglhaut et al., 2019).

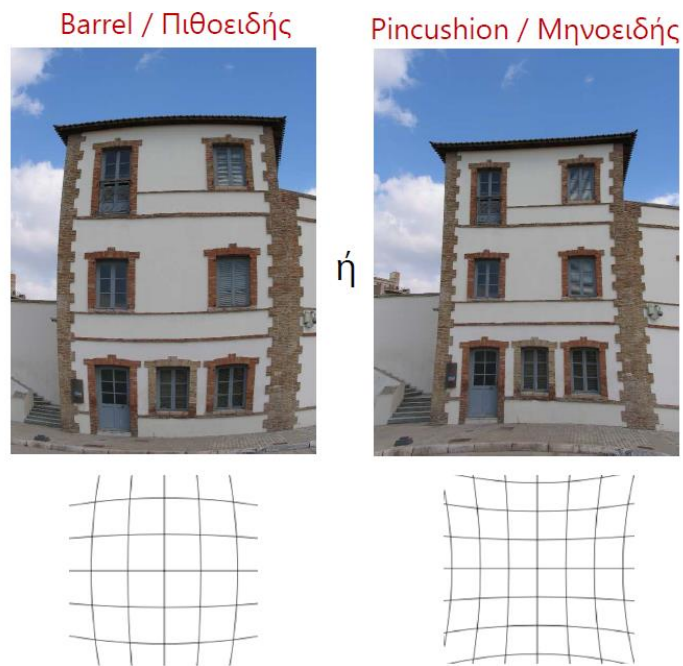
Κατά κύριο λόγο, η διαδικασία Φωτογραμμετρίας SfM αναφέρεται στο στάδιο της βαθμονόμησης της κάμερας και στην κατασκευή του αραιού νέφους σημείων από τις παρατηρήσεις των ομόλογων σημείων μεταξύ των εικόνων. Στην SfM, και μέσω της συνόρθωσης με τη μέθοδο της δέσμης (Bundle Adjustment), υπολογίζονται ταυτόχρονα οι θέσεις της κάμερας, οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού καθώς και το αραιό νέφος σημείων από τα σημεία σύνδεσης. Έπειτα, με τη χρήση των φωτοσταθερών σημείων ή/και τη γνώση των θέσεων λήψης των εικόνων (π.χ. από GPS), το 3D νέφος σημείων γεωαναφέρεται και αποκαθίσταται η κλίμακα του.

Συμπληρωματικά, θα πρέπει να σημειωθεί η επίπτωση των διαφορετικών προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται από την SfM και την παραδοσιακή Φωτογραμμετρία. Στην παραδοσιακή Φωτογραμμετρία η τελική ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος βασίζεται σε έναν σχετικά μικρό αριθμό (<100) υψηλής ακρίβειας επίγειων σημείων ελέγχου (GCP) ή/και στις θέσεις της φωτογραφικής μηχανής. Αυτά τα σημεία επιτρέπουν τη βαθμονόμηση της κάμερας και την υψηλής ποιότητας αποτύπωση στην 3D γεωμετρία. Δεδομένου ότι τα επίγεια σημεία ελέγχου χρησιμοποιούνται για την

επίλυση της συγγραμμικότητας στο χώρο του αντικειμένου (δηλαδή στον πραγματικό χώρο), σφάλματα στη μέτρηση των GCP μεταδίδονται σε αυτή την επίλυση, ενώ αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να είναι μη γραμμικό εάν η κατανομή σφαλμάτων των GCP δεν είναι τυχαία. Στην SfM η τελική ποιότητα της βαθμονόμησης της κάμερας και του νέφους σημείων βασίζεται σε έναν πολύ μεγάλο αριθμό (>1000) ομολογων σημείων που μετρούνται αυτόματα στις εικόνες και έχουν διαφορετικό βαθμό σφάλματος (άγνωστο στον χρήστη) που είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων της εικόνας (Fonstad et al., 2013).

Ωστόσο, τα σφάλματα που εμφανίζονται στα δεδομένα κατά την ανακατασκευή μεταδίδονται μέσω του γεωμετρικού μοντέλου και οδηγούν σε σφάλματα στην κλίμακα, τις στροφές και τη μετάθεση. Εκτός από αυτά τα γραμμικά σφάλματα, λεπτομερείς έρευνες (Carbonneau & Dietrich, 2016, Fonstad et al., 2013, James & Robson, 2014) έχουν αποκαλύψει ότι οι συστηματικές “θολωτές” (doming) παραμορφώσεις μπορεί συχνά να εμφανίζονται στα τελικά αποτελέσματα τόσο για την κλασσική Φωτογραμμετρία όσο και για την Φωτογραμμετρία SfM. Αυτές οι παραμορφώσεις αποδίδονται στην διαστροφή του φακού.

Η διαστροφή του φακού αποτελεί ένα φαινόμενο που οφείλεται στον σχεδιασμό/κατασκευή του φακού και παραμορφώνει τις εικόνες. Υπό ιδανικές συνθήκες, ένας φακός θα παράγει μια εικόνα κανονικού ορθογωνικού πλέγματος όπου το μοτίβο θα διατηρεί ευθείες γραμμές και ορθές γωνίες. Στην πράξη, ο σχεδιασμός του φακού και τα σφάλματά του παραμορφώνουν την αυστηρά κεντρική προβολή της εικόνας και καταλήγουν σε μη ορθές γωνίες και καμπύλες γραμμές με πιθοειδείς (barrel) ή μηνοειδείς παραμορφώσεις (pincushion) (Carbonneau & Dietrich, 2016).



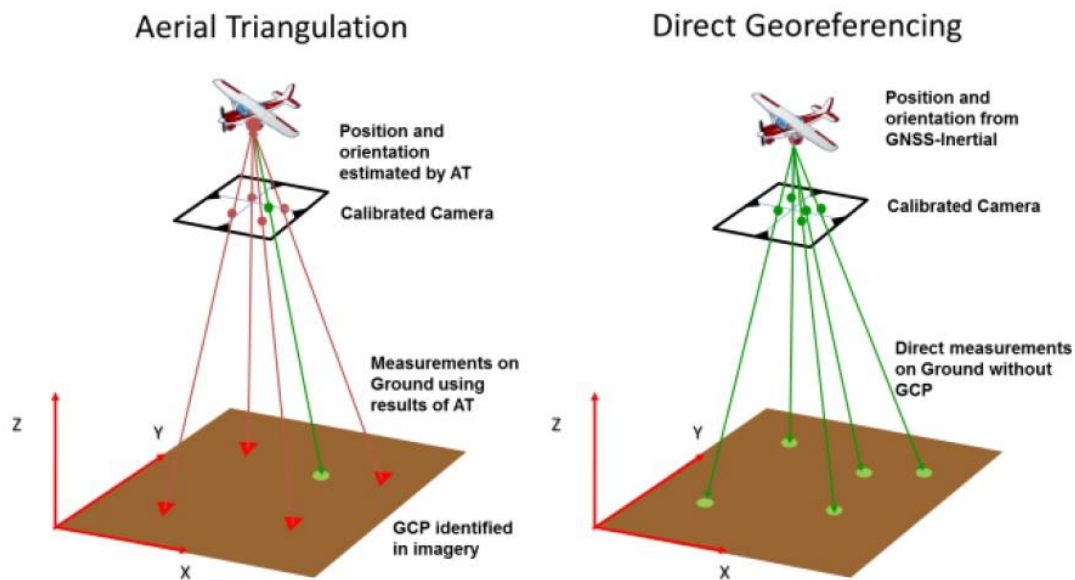
Εικόνα 8. Πιθοειδής και μηνοειδής ακτινική διαστρόφη (Petsa & Grammatikopoulos, 2016).

Η υψηλής ποιότητας ανακατασκευή μέσω της Φωτογραμμετρίας SfM, ως εκ τούτου, απαιτεί τόσο την αποκατάσταση της κλίμακας, της θέσης και των στροφών του παραγόμενου 3D νέφους σημείων όσο και την ακριβή αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού της μηχανής και του μοντέλου διαστρόφης του φακού (μοντέλο Brown-Conrady). Η κυρίαρχη προσέγγιση είναι η απόκτηση δεδομένων ελέγχου επί του εδάφους (φωτοσταθερά - GCP) με επαγγελματικό εξοπλισμό (π.χ. RTK-GPS ή γεωδαιτικό σταθμό). Το λογισμικό Φωτογραμμετρίας (standard ή SfM) μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα ελέγχου επί του εδάφους (GCP) τόσο για τη γεωαναφορά όσο και για τη βαθμονόμηση της κάμερας (Carbonneau & Dietrich, 2016).

Εναλλακτικά, έχει προταθεί η λύση της Άμεσης Γεωαναφοράς (DG), σύμφωνα με την οποία η 3D ανακατασκευή στηρίζεται στην ακριβή γνώση της θέσης της κάμερας (X, Y, Z) και του προσανατολισμού της (γωνίες yaw, pitch, roll) κατά τη στιγμή κάθε λήψης μέσω συστήματος GPS/INS. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί ως εναλλακτική λύση ή συμπληρωματικά στον αεροτριγωνισμό και εμφανίστηκε για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του 1990 (Mian et al., 2015). Με τη λύση της Άμεσης Γεωαναφοράς δίνεται η δυνατότητα του άμεσου προσδιορισμού των γραμμικών στοιχείων του εξωτερικού προσανατολισμού όλων των εικόνων του block, και τα σημεία λήψης των εικόνων καθώς και οι στροφές χρησιμοποιούνται κατά την επίλυση του αεροτριγωνισμού

ως πρόσθετες εξισώσεις παρατήρησης. Θεωρητικά η μέθοδος αυτή (με γνωστές τις παραμέτρους του εξωτερικού προσανατολισμού από GPS/IMU) δεν απαιτεί την ύπαρξη φωτοσταθερών σημείων και μπορεί κατ' αρχήν να αντικαταστήσει τον αεροτριγωνισμό (Rizaldy & Firdaus, 2012).

Το προφανές κύριο πλεονέκτημα της Άμεσης Γεωαναφοράς είναι ότι δεν χρειάζεται η πρόσβαση στο έδαφος για τοπογραφική εργασία, γεγονός που διευκολύνει την υψηλής ποιότητας τοπογραφική παρακολούθηση σε επικίνδυνες ή δυσπρόσιτες περιοχές. Επίσης, με την Άμεση Γεωαναφορά δεν απαιτείται πλέον επαγγελματικός εξοπλισμός (υψηλό κόστος) καθώς και επιπρόσθετος χρόνος για την ίδρυση και την μέτρηση φωτοσταθερών σε ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 9. Αεροτριγωνισμός vs Άμεση Γεωαναφορά (Mian et. al., 2015).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη θέση «Σεβαστοχώρι» εκτός οικισμού της Τοπικής Κοινότητας Κούμων του Δήμου Ρεθύμνου (Περιφερειακή Ενότητα Ρεθύμνου). Το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης είναι ομαλό και κυμαίνεται υψομετρικά μεταξύ 470 και 487 m. Η έκταση έχει εμβαδόν 13.500 m<sup>2</sup>. Εντός αυτής δεν υφίστανται δέντρα. Η συγκεκριμένη περιοχή επιλέχθηκε με βάση τα εξής κριτήρια:

- Έχει ομαλό επικλινές ανάγλυφο χωρίς τοπικές εξάρσεις
- Δεν υφίστανται φυσικά ή τεχνητά εμπόδια εντός της περιοχής (δέντρα, κατασκευές)
- Αποτελεί περιφραγμένη έκταση, μη επισκέψιμη από ανθρώπους - αιγοπρόβατα, οπότε και εξασφαλίστηκε η διατήρηση και η ασφάλεια των ιδρυθέντων φωτοσταθερών σημείων.
- Ανήκει σε ένα ευρύτερο γεωγραφικό ανάγλυφο που είναι προστατευμένο από δυνατούς ανέμους.



Εικόνα 10. Απόσπασμα Google Earth περιοχής μελέτης.

## 2.2 Εξοπλισμός

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

**A.** Γεωδαιτικός δέκτης GPS GNSS GS07 της εταιρείας Leica, που χρησιμοποιήθηκε για την ένταξη των στάσεων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Επίσης, χρησιμοποιήθηκε και ως σταθμός βάσης για τις μετρήσεις (PPK & RTK) κατά την πτήση του UAV Air Surveyor 4.



*Εικόνα 11.* GPS GNSS GS07 της εταιρείας  
Leica

**B.** Γεωδαιτικός σταθμός TS10 3" R500 της εταιρείας Leica με χρήση δύο στάσεων, εκ των οποίων μόνο η μία χρησιμοποιήθηκε ως στάση μέτρησης των φωτοσταθερών σημείων, με τη χρήση μίνι πρίσματος (STCPH1L, 64mm diameter) τοποθετημένου απευθείας στον σιδηροπάσσαλο σήμανσης των φωτοσταθερών σημείων χωρίς τη χρήση κονταριού αλλά με χρήση μίνι τριπόδου για την κατακόρυφωση του πρίσματος.



*Εικόνα 12.* Γεωδαιτικός σταθμός TS10 3" R500  
της εταιρείας Leica

**Γ.** UAV Air Surveyor 4 της εταιρείας Drone Services με έδρα το Ρέθυμνο Κρήτης, ιδιοκτησίας Καλατζή Στυλιανού. Το UAV Air Surveyor 4 είναι εξοπλισμένο με διπλό-

συγχο δέκτη GPS (Tersysbx316r). Επίσης, φέρει κάμερα Sony A6000 με gimbal τριών αξόνων καθώς και το Ardu Copter base auto pilot Cube 2.1.



*Εικόνα 13.* UAV Air Surveyor 4 της εταιρείας Drone Services.

**Δ.** UAV DJI Phantom 4 pro V2 της εταιρείας DJI



*Εικόνα 14.* UAV DJI Phantom 4 pro V2 της εταιρείας DJI.

**Ε.** UAV Anafi της εταιρείας Parrot



*Εικόνα 15.* UAV Anafi της εταιρείας Parrot.

### 2.3. Ίδρυση φωτοσταθερών

Συνολικά ιδρύθηκαν 67 φωτοσταθερά σημεία σε ορθογωνικό κάμμα (12 m x 13 m περίπου) επί της περιοχής αποτύπωσης. Για τη σήμανση των φωτοσταθερών σημείων χρησιμοποιήθηκε σιδηροπάσσαλος Φ10. Ο σιδηροπάσσαλος πακτώθηκε στο έδαφος μέχρι που εξέιχε από αυτό 3-5 cm. Επίσης, τα φωτοσταθερά σημεία σημάνθηκαν και με τους αυτόματους στόχους του λογισμικού Metashape για ευκολότερο εντοπισμό στις εικόνες.



Εικόνα 16. Σήμανση φωτοσταθερών σημείων.

### 2.4. Αποτύπωση φωτοσταθερών

Τα φωτοσταθερά σημεία αποτυπώθηκαν με τον γεωδαιτικό σταθμό TS10 3” R500 της εταιρείας Leica με χρήση μίας και μόνο στάσης με τη χρήση μίνι πρίσματος (STCPH1L, 64mm diameter) τοποθετημένου απευθείας στον σιδηροπάσσαλο χωρίς τη χρήση κονταριού.

Η ένταξη της στάσης (ΕΓΣΑ '87) που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των φωτοσταθερών έγινε με τη χρήση του δέκτη GPS διπλής συχνότητας GS07 της εταιρείας Leica με τη μέθοδο PPK, με χρήση του δικτύου της Metricanet παίρνοντας λύση από τον σταθμό RETH – 0090.

## 2.5. Σχεδιασμός - Υλοποίηση Πτήσεων

Ο σχεδιασμός των πτήσεων υλοποιήθηκε με το λογισμικό Mission Planner (έκδοση 1.3.70). Αρχικά σχεδιάστηκε ένα πολύγωνο εμβαδού 13.5 στρεμμάτων το οποίο απείχε περίπου 10 m από κάθε ακραίο φωτοσταθερό σημείο. Εντός του πολυγώνου αυτού σχεδιάστηκαν συνολικά 10 πτήσεις με κατακόρυφη θέση κάμερας και επικάλυψη 80% κατά μήκος και κατά πλάτος. Επιπλέον, επιλέχθηκε ένα δεύτερο πολύγωνο αρκετά διευρυμένο και προς τις 4 διευθύνσεις, όπου εντός αυτού σχεδιάστηκαν 5 πτήσεις με κεκλιμένη κάμερα (κλίση ~30°) και επικάλυψη 60% / 40%. Ακόμη, τα ύψη των πτήσεων επιλέχθηκαν να είναι 40, 50 και 60 m. Στον Πίνακα 1 αναγράφονται τα στοιχεία κάθε επιμέρους πτήσης.

Πίνακας 1

Στοιχεία πτήσεων UAV

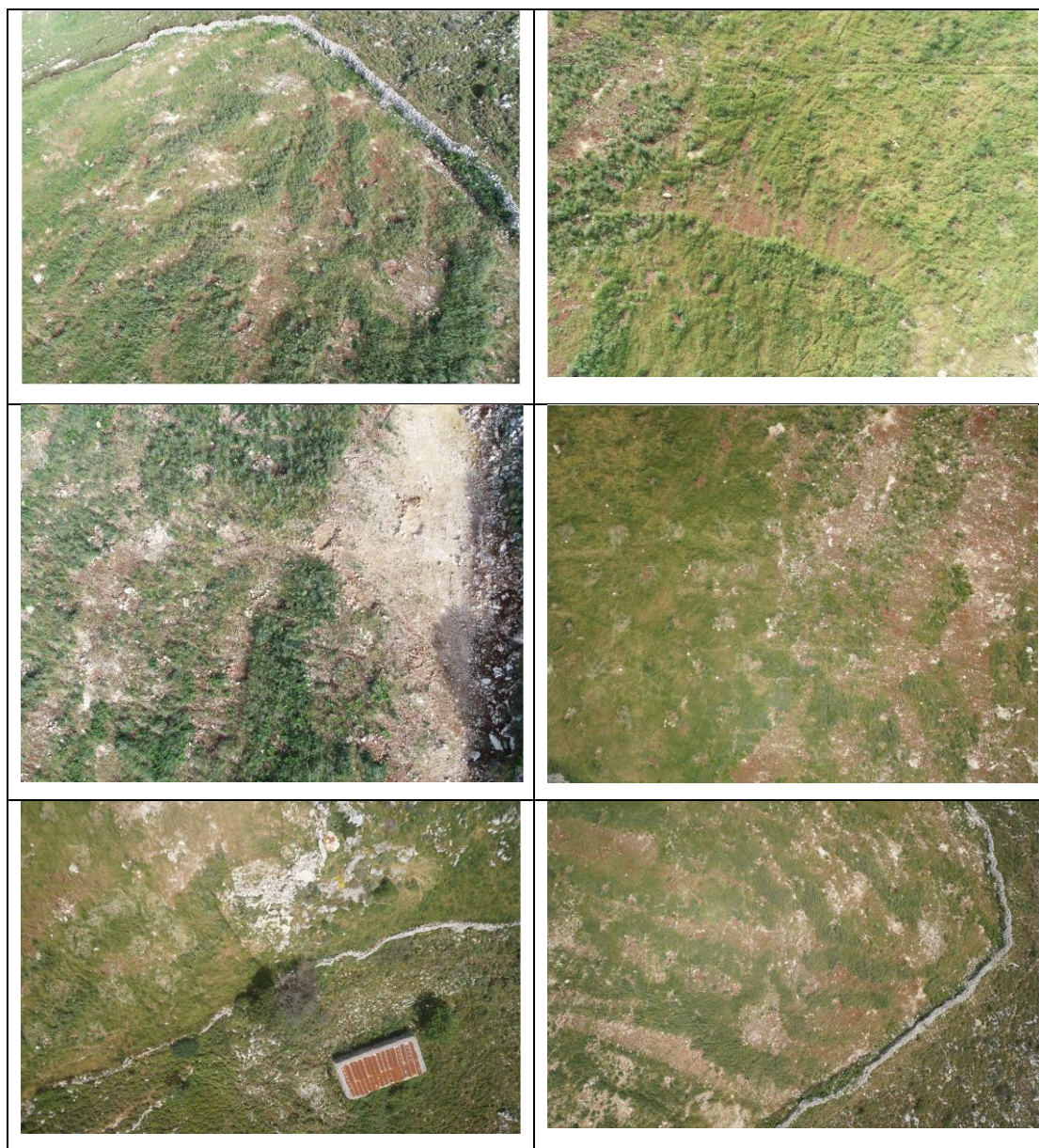
A/A	DRONE	ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΦΑΚΟΣ	ΦΩΤΟ-ΓΡΑΦΙΕΣ
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ			
1	Air Surveyor 4	40	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	5m/s	24.3-megapixel APS-C CMOS sensor, 16mm Σταθερός Φακός Mirrorless	159
2	Air Surveyor 4	40	E-W	214	Κατακόρυφη	80	80			148
3	Air Surveyor 4	40	N-S	123	Κεκλιμένη 30° N	60	40			79
4	Air Surveyor 4	40	N-S	123	Κεκλιμένη 30° S	60	40			59
5	Air Surveyor 4	40	E-W	214	Κεκλιμένη 30° E	60	40			61
6	Air Surveyor 4	40	E-W	214	Κεκλιμένη 30° W	60	40			60
7	Air Surveyor 4	50	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80			93
8	Air Surveyor 4	50	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80			94
9	Air Surveyor 4	60	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80			64
10	Air Surveyor 4	60	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80			61
11	ParrotAnafi	40	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	-	Sony 1/2.4" CMOS 21MP, 23mm at F/2.4, Electronic shutter 1 to 1/10000s	131
12	ParrotAnafi	40	E-W	214	Κατακόρυφη	80	80	-		159
13	Phantom 4 pro V2	40	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	-	1" CMOS Effective pixels: 20M, 8.8 mm/24 mm, f/2.8 - f/11, Mechanical Shutter 8 - 2000s, Electronic shutter 8 - 1/8000s	162
14	Phantom 4 pro V2	40	E-W	214	Κατακόρυφη	80	80	-		164
15	Phantom 4 pro V2	40	N-S-E-W	-	Κεκλιμένη	80	80	-		72

Η κάθε πτήση σχεδιάστηκε αρχικά στο γραφείο και ελέγχθηκε/διορθώθηκε στο πεδίο κατά την υλοποίησή της. Για τις 10 πτήσεις που υλοποιήθηκαν με κατακόρυφη



κάμερα, χρησιμοποιήθηκε το ίδιο πολύγωνο πτήσης, ενώ στις 5 υπόλοιπες πτήσεις με κεκλιμένη κάμερα χρησιμοποιήθηκε επίσης σε όλες το διευρυμένο πολύγωνο πτήσης.

Όλες οι πτήσεις έλαβαν χώρα την 20-05-2020, με ώρα έναρξης πτήσεων 9:00 π.μ. και ώρα λήξης περίπου 01:30 μ.μ. Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν ήταν καλές, χωρίς άνεμο, και υπήρχε αραιή συννεφιά καθ' όλη τη διάρκεια των πτήσεων. Στη συνέχεια φαίνονται ενδεικτικές εικόνες από τις λήψεις.



Την ίδια μέρα, νωρίτερα, μετρήθηκαν τα φωτοσταθερά σημεία. Κατά την υλοποίηση των πτήσεων, ο γεωδαιτικός δέκτης GPS GNSS Leica GS07 στηνόταν σε προσωρινή στάση και άρχιζε η καταγραφή μετρήσεων (PPK & RTK) τουλάχιστον 5 λεπτά

νωρίτερα από την έναρξη πτήσης. Κατά την πτήση, το GPS του UAV κατέγραφε ανά χρονικό διάστημα 1 sec τη θέση του με την μέθοδο RTK, κάνοντας χρήση του δικτύου της Metricanet και παίρνοντας λύση από τον σταθμό RETH – 0090, και έτσι καταγράφηκε η πλήρης πορεία του κατά το σύνολο της πτήσης. Μετά το πέρας της πτήσης, ο γεωδαιτικός δέκτης GPS συνέχιζε να καταγράφει επιπλέον για 3-5 λεπτά.

## 2.6. Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων

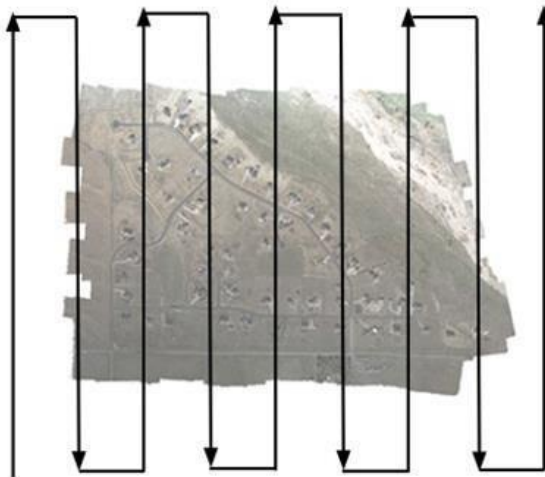
Μετά την ολοκλήρωση των πτήσεων, συλλέχθηκαν τα δεδομένα των μετρήσεων (αρχεία μετρήσεων μέτρησης φωτοσταθερών σημείων, αρχεία καταγραφής GPS UAV, εικόνες από UAV), και επιλύθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν ανά πτήση και UAV. Η μετατροπή του datum από WGS84 στο EGS '87 έγινε με χρήση του λογισμικού Trasformation Tools του Hepos.

## 2.7. Επιλύσεις πτήσεων

Όλες οι επιλύσεις των πτήσεων έγιναν με τη χρήση του φωτογραμμετρικού λογισμικού Photoscan Metashape Version 1.6.0 build 9217 (64 bit). Κατά την εισαγωγή των εικόνων στο λογισμικό, ορίστηκαν οι εξής παράμετροι :

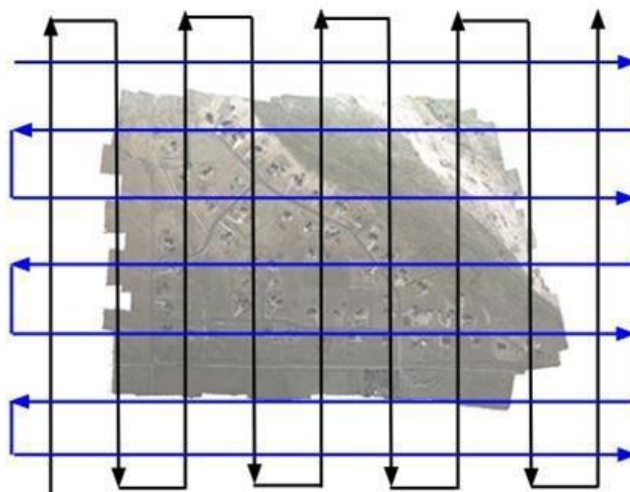
- Σύστημα αναφοράς: GGRS87 / Greek Grid (EPSG:2100) (ΕΓΣΑ '87)
- Key point limit 80.000
- Tie point limit 10.000
- Όλα τα “align” έγιναν στο επίπεδο “High”
- Σε όλες τις επιλύσεις οι παράμετροι βαθμονόμησης ήταν οι: F (σταθερά μηχανής), Cx και Cy (θέση πρωτεύοντος σημείου), K1, K2 και K3 (συντελεστές ακτινικής διαστρόφης), και P1 και P2 (συντελεστές έκκεντρης διαστρόφης).

Σε πρώτη φάση επιλύθηκαν όλες οι πτήσεις με κατακόρυφη κάμερα (πτήσεις 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14), που αποτελούν πτήσεις μονής κατεύθυνσης (N-S, E-W), αποκλειστικά και μόνο βάσει της θέσης λήψης των εικόνων όπως αυτή προέκυψε από τα GPS των UAV. Στη φάση αυτή, όλα τα μετρημένα φωτοσταθερά χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία ελέγχου (check points).



*Εικόνα 17.* Σχέδιο πτήσης μονής κατεύθυνσης: διάταξη παράλληλων γραμμών (Δουκαρή, 2015).

Στο επόμενο στάδιο ακολούθησαν συνδυαστικές επιλύσεις των πτήσεων (διπλής κατεύθυνσης N-S-E-W), καθώς επίσης και επιλύσεις που συμπεριελάμβαναν πτήσεις με κατακόρυφη και κεκλιμένη θέση κάμερας.

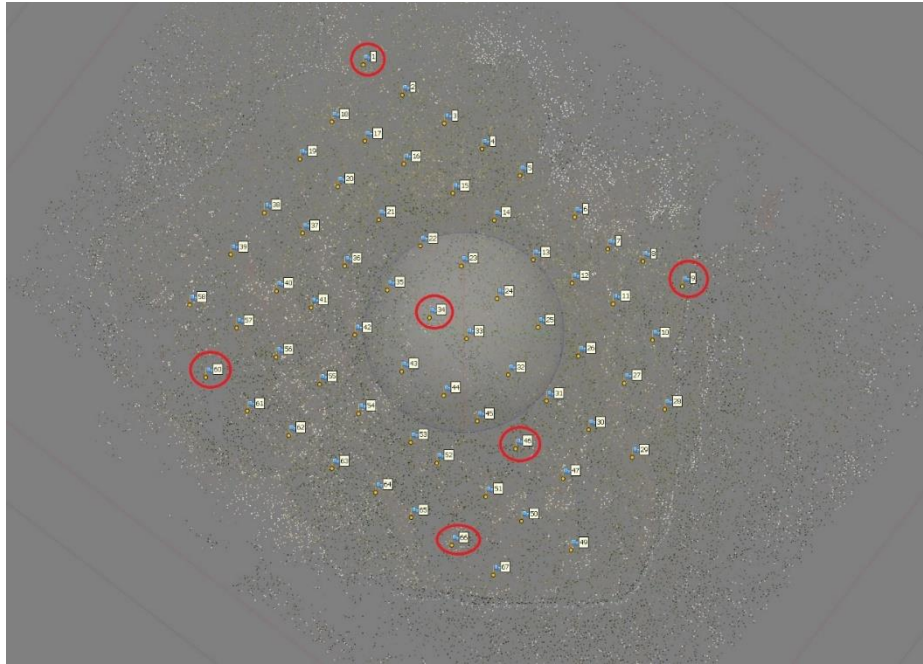


*Εικόνα 18.* Σχέδιο πτήσης διπλής κατεύθυνσης, διάταξη επικαλυπτόμενων παράλληλων γραμμών (Δουκαρή, 2015).

Στις διαφορετικές επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, υπήρξαν διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς τα βάρη των GPS των UAV σε σχέση με τα GCP.

Τα 6 φωτοσταθερά σημεία 1-9-34-46-60-66 (Εικόνα 19) λειτούργησαν ως τα κύρια φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν στο σύνολο των επιλύσεων ως GCP, με κύριο κριτήριο τη γεωγραφική κατανομή τους στο σύνολο της περιοχής αποτύπωσης.





Εικόνα 19. Κατανομή GCP στην περιοχή αποτύπωσης.

#### 2.8. Σφάλμα εκκεντρότητας UAV Air Surveyor 4

Όσον αφορά το UAV Air Surveyor 4, θα πρέπει να αναφερθεί πως αποτελεί ιδιοκατασκευή. Το διάνυσμα εκκεντρότητας ( $e$ ) μεταξύ του προβολικού κέντρου της μηχανής και της κεραίας του GPS, παρ' όλο που έχει υπολογιστεί με ακρίβεια (το πλαίσιο του αεροσκάφους τυπώθηκε εξολοκλήρου σε 3D εκτυπωτή οπότε το διάνυσμα υπολογίζεται με ακρίβεια 0.4 mm που αποτελεί και την ακρίβεια εκτύπωσης του εκτυπωτή), δεν συνυπολογίστηκε στις μετρήσεις GPS. Όλες οι μετρήσεις (συντεταγμένες θέσεων λήψης εικόνων από το GPS του UAV) συνορθώθηκαν μεταγενέστερα των πτήσεων. Σύμφωνα με τους Lo et al. (2015), το διάνυσμα εκκεντρότητας μεταβάλλεται κατά την πτήση, όμως στην προκειμένη περίπτωση θεωρήθηκε ως σταθερό μέγεθος λόγω της μικρής μεταβολής της τιμής του. Λόγω του μικρού μεγέθους του διανύσματος ( $X = Y = 0, Z = 18.52$  cm), η κλίση κατά τη διάρκεια των πτήσεων υπολογίστηκε ότι θα προσθέτει κατακόρυφο σφάλμα θέσης περίπου 1 cm. Το σφάλμα θέσης αυτό είναι μέσα στα όρια σφάλματος εντοπισμού GPS (2-3 cm).

## 2.9. Πίνακες στοιχείων πτήσεων, αποτελέσματα επιλύσεων

Τα σετ των επιλύσεων που υλοποιήθηκαν παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες, όπου σε κάθε σετ μονωμένων ή συνδυαστικών επιλύσεων από κάθε UAV διατηρήθηκαν σταθερά τα βάρη (GPS drone - GCP-Checkpoints).

Πίνακας 2

Στοιχεία πτήσης 1, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 1		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1	40	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	159			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.21	5.35	1.25	9.88	-	-	-	-	21.97	19.66	10.04	31.15

Πίνακας 3

Στοιχεία πτήσης 2, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 2		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 2	40	E-W	214	Κατακόρυφη	80	80	148			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
6.11	9.12	1.16	11.04	-	-	-	-	9.12	1.16	10.98	11.04

Πίνακας 4

Στοιχεία πτήσεων 1-2, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 3		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1-2	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	307			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.63	6.78	1.04	11.02	-	-	-	-	2.09	6.30	19.08	20.20

Πίνακας 5

Στοιχεία πτήσης 7, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 4				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 7		50	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	93	
Drone GPS Accuracy (1.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
9.06	6.11	1.50	11.03	-	-	-	-	34.96	22.98	8.51	42.70

Πίνακας 6

Στοιχεία πτήσης 8, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 5				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 8		50	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80	94	
Drone GPS Accuracy (1.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
6.95	9.48	1.39	11.84	-	-	-	-	18.29	34.39	23.90	45.70

Πίνακας 7

Στοιχεία πτήσεων 7-8, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 6				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 7-8		50	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	187	
Drone GPS Accuracy (1.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
9.72	9.45	3.57	14.02	-	-	-	-	1.82	2.98	14.18	14.61

Πίνακας 8

Στοιχεία πτήσης 9, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 7				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 9		60	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	64	
Drone GPS Accuracy (1.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
6.47	7.16	1.85	9.83	-	-	-	-	27.41	36.51	25.03	52.07

Πίνακας 9

Στοιχεία πτήσης 10, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 8				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 10		60	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80	61	
Drone GPS Accuracy (1.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
7.25	4.66	1.51	8.75	-	-	-	-	9.18	24.54	13.25	29

Πίνακας 10

Στοιχεία πτήσεων 9-10, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 9				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 9-10		60	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	125	
Drone GPS Accuracy (1.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
10.50	8.47	5.44	14.55	-	-	-	-	1.94	3.37	60.95	61.07

Πίνακας 11

Στοιχεία πτήσης 1, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση Νο 10				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 1		40	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	159	
Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
7.48	4.69	1.21	8.91	-	-	-	-	22.02	20.36	17.38	34.67

Πίνακας 12

Στοιχεία πτήσης 2, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση Νο 11				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 2		40	E-W	214	Κατακόρυφη	80	80	148	
Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
5.16	7.84	1.18	9.47	-	-	-	-	13.16	25.23	9.85	30.11

Πίνακας 13

Στοιχεία πτήσεων 1-2, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση Νο 12				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 1-2		40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	307	
Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.27	6.51	0.96	10.58	-	-	-	-	1.92	5.94	13.30	14.69

Πίνακας 14

Στοιχεία πτήσης 7, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση Νο 13				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 7		50	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	93	
Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
7.61	5.01	1.25	9.19	-	-	-	-	32.84	24.02	11.00	42.15

Πίνακας 15

Στοιχεία πτήσης 8, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05m

Επίλυση Νο 14				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 8		50	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80	94	
Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
5.80	7.79	1.40	9.82	-	-	-	-	19.20	34.47	7.40	40.15

Πίνακας 16

Στοιχεία πτήσεων 7-8, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση Νο 15				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 7-8		50	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	187	
Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.97	6.71	1.25	11.27	-	-	-	-	1.17	8.55	11.38	14.29

Πίνακας 17

Στοιχεία πτήσης 9, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση Νο 16				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 9		60	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	64	
Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
2.74	2.41	1.95	4.14	-	-	-	-	0.34	0.33	1.07	1.17

Πίνακας 18

Στοιχεία πτήσης 10, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση Νο 17				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 10		60	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80	61	
Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
3.69	2.74	1.67	4.89	-	-	-	-	5.81	27.15	74.52	79.52

Πίνακας 19

Στοιχεία πτήσεων 9-10, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση Νο 18				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 9-10		60	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	125	
Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
3.51	3.46	4.22	6.49	-	-	-	-	1.53	1.66	70.41	70.41

Πίνακας 20

Στοιχεία πτήσης 1, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66,  
accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 19		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1	40	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	159			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
20.57	17.55	9.00	28.50	4.16	4.68	2.68	6.82	4.26	3.46	3.46	6.52

Πίνακας 21

Στοιχεία πτήσης 2, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66,  
accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 20		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 2	40	E-W	214	Κατακόρυφη	80	80	148			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
12.27	23.17	16.57	31.02	3.10	4.20	2.80	5.92	2.08	3.94	2.46	5.09

Πίνακας 22

Στοιχεία πτήσεων 1- 2, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66,  
accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 21		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1-2	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	307			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
9.04	7.69	14.69	18.89	1.12	1.38	2.85	3.36	1.91	1.50	2.91	3.79



Πίνακας 23

Στοιχεία πτήσης 7, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 22		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 7	50	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	93			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
36.42	19.62	9.54	42.45	4.86	3.45	2.87	6.61	4.12	3.54	4.23	6.89

Πίνακας 24

Στοιχεία πτήσης 8, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 23		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 8	50	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80	94			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
18.42	33.94	21.81	44.36	2.96	4.46	2.56	5.93	1.87	4.13	2.72	5.29

Πίνακας 25

Στοιχεία πτήσεων 7-8, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 24		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 7-8	50	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	187			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
9.99	8.46	14.57	19.59	1.02	1.21	2.24	2.74	1.82	1.45	2.48	3.40

Πίνακας 26

Στοιχεία πτήσης 9, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 25		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 9	60	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	64			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
19.77	31.24	6.61	36.97	1.44	3.47	2.21	4.36	2.79	2.51	2.61	4.58

Πίνακας 27

Στοιχεία πτήσης 10, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 26		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 10	60	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80	61			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.44	17.20	15.09	24.39	4.52	3.36	0.95	5.71	2.97	2.46	3.17	4.99

Πίνακας 28

Στοιχεία πτήσεων 9-10, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 1.00 m

Επίλυση Νο 27		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 9-10	60	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	125			
Drone GPS Accuracy (1.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
10.50	7.73	22.32	25.85	1.21	1.94	2.47	3.37	1.97	1.62	2.82	3.81

Πίνακας 29

Στοιχεία πτήσης 1, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 28				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 1		40	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	159	
Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
23.10	19.68	10.14	32.00	4.44	4.18	1.71	6.34	4.34	2.95	2.71	5.91

Πίνακας 30

Στοιχεία πτήσης 2, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 29				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 2		40	E-W	214	Κατακόρυφη	80	80	148	
Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
13.86	25.69	18.97	34.82	3.42	3.67	1.92	5.38	2.22	3.60	2.49	4.91

Πίνακας 31

Στοιχεία πτήσεων 1-2, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00m

Επίλυση Νο 30				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 1-2		40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	307	
Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.91	7.76	17.63	21.22	0.64	1.25	2.18	2.60	1.48	1.33	2.85	3.48

Πίνακας 32

Στοιχεία πτήσης 7, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 31				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 7		50	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	93	
Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
40.33	21.27	11.63	47.06	4.70	3.61	1.52	6.12	3.69	3.56	3.44	6.17

Πίνακας 33

Στοιχεία πτήσης 8, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 32				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 8		50	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80	94	
Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
20.54	37.53	22.03	48.13	3.04	3.94	1.35	5.16	1.85	3.82	2.97	5.18

Πίνακας 34

Στοιχεία πτήσεων 7-8, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 33				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 7-8		50	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	187	
Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
9.86	8.92	16.89	21.49	0.67	1.14	1.90	2.32	1.50	1.36	2.52	3.24

Πίνακας 35

Στοιχεία πτήσης 9, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.0 0m

Επίλυση Νο 34				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 9		60	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	64	
Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
23.72	37.77	26.73	52.00	1.44	3.84	1.22	4.28	2.96	2.71	2.35	4.65

Πίνακας 36

Στοιχεία πτήσης 10, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 35				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 10		60	E-W	216	Κατακόρυφη	80	80	61	
Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
10.77	20.60	51.63	56.63	3.54	3.11	0.26	4.73	2.57	2.12	3.84	5.09

Πίνακας 37

Στοιχεία πτήσεων 9-10, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 38				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Air Surveyor 4		Πτήση 9-10		60	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	125	
Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
12.82	8.54	62.87	64.74	1.02	1.89	1.81	2.81	1.63	1.46	3.16	3.84

Πίνακας 38

Στοιχεία πτήσεων 1-2-3-4-5-6, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση Νο 37		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1-2-3-4-5-6	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγιες	80 60	80 40	566			
Drone GPS Accuracy (0.05m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)		Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
6.76	6.46	2.82	9.77	-	-	-	-	1.93	3.51	15.65	16.16

Πίνακας 39

Στοιχεία πτήσεων 1-2-3-4-5-6, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 38		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1-2-3-4-5-6	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγιες	80 60	80 40	566			
Drone GPS Accuracy (20.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)		Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.16	7.41	18.83	21.82	0.72	1.61	2.42	3.00	1.43	1.43	2.03	3.00

Πίνακας 40

Στοιχεία πτήσεων 1-2-3-4-5-6, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση όλων των GCP, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 39		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1-2-3-4-5-6	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγια	80 60	80 40	566			
Drone GPS Accuracy (20.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)		Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.09	7.17	18.22	21.19	1.15	1.43	2.17	2.84	-	-	-	-

Πίνακας 41

Στοιχεία πτήσεων 1-2-4, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GPS DRONE, accuracy 0.05 m

Επίλυση No 40		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1-2-4	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγια	80 60	80 40	366			
Drone GPS Accuracy (0.05m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
6.97	5.80	1.95	9.27	-	-	-	-	2.61	4.43	15.92	16.73

Πίνακας 42

Στοιχεία πτήσεων 1-2-4, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση No 41		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1-2-4	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγια	80 60	80 40	366			
Drone GPS Accuracy (20.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.55	6.71	19.44	22.27	0.72	1.61	2.42	3.00	1.43	1.43	2.21	3.00

Πίνακας 43

Στοιχεία πτήσεων 1-2-4, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση No 42		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1-2-4	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγια	80 60	80 40	366			
Drone GPS Accuracy (20.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.54	6.47	18.80	21.65	1.15	1.43	2.17	2.84	-	-	-	-

Πίνακας 44

Στοιχεία πτήσεων 1-2-4, Επίλυση Air Surveyor 4, με χρήση όλων των GCP πλην των 3, 23, 34, 35, 37, 48, 59, 41, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 20.00 m

Επίλυση Νο 43		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Air Surveyor 4	Πτήση 1-2-4	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγια	80 60	80 40	366			
Drone GPS Accuracy (20.00m)			Ground Control points - Check points (0.050m)								
Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
8.48	6.17	17.58	20.48	1.10	1.35	1.91	2.59	1.19	1.17	4.09	4.42

Πίνακας 45

Στοιχεία πτήσης 13, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 44		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Phantom 4 pro V2	Πτήση 13	40	N-S	-	Κατακόρυφη	80	80	326			
Camera Accuracy (10.00m)			Ground Control points - Check points (0.050m)								
Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.59	0.39	2.02	2.14	-	-	-	-	0.88	0.04	81.53	81.54

Πίνακας 46

Στοιχεία πτήσης 14, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 45		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Phantom 4 pro V2	Πτήση 14	40	E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	267			
Camera Accuracy (10.00m)			Ground Control points - Check points (0.050m)								
Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.17	0.17	0.52	0.64	-	-	-	-	0.58	0.48	79.08	79.08



Πίνακας 47

Στοιχεία πτήσεων 13-14, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 46		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ-ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Phantom 4 pro V2	Πτήση 13-14	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	593			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.45	0.42	2.06	2.16	-	-	-	-	0.74	0.24	80.26	80.26

Πίνακας 48

Στοιχεία πτήσεων 13-14-15, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 47		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ-ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Phantom 4 pro V2	Πτήση 13-14-15	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγια	80	80	665			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.44	0.43	2.08	2.17	-	-	-	-	0.79	0.29	80.01	80.02

Πίνακας 49

Στοιχεία πτήσης 13, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 48		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ-ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Phantom 4 pro V2	Πτήση 13	40	N-S	-	Κατακόρυφη	80	80	326			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.81	0.45	81.10	81.10	5.63	6.34	11.24	14.09	4.16	4.71	12.27	13.79

Πίνακας 50

Στοιχεία πτήσης 13, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση όλων των GCP, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 49		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Phantom 4 pro V2	Πτήση 13	40	N-S	-	Κατακόρυφη	80	80	326			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.80	0.46	81.26	81.26	1.22	1.53	2.47	3.15	-	-	-	-

Πίνακας 51

Στοιχεία πτήσης 14, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 50		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Phantom 4 pro V2	Πτήση 14	40	E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	267			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.43	0.72	78.94	78.94	4.32	5.75	8.83	11.39	3.34	4.20	11.21	12.43

Πίνακας 52

Στοιχεία πτήσης 14, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση όλων των GCP, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 51		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Phantom 4 pro V2	Πτήση 14	40	E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	267			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.42	0.74	79.08	79.08	1.24	1.60	2.95	3.58	-	-	-	-

Πίνακας 53

Στοιχεία πτήσεων 13-14, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 52				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Phantom 4 pro V2		Πτήση 13-14		40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	593	
Camera Accuracy (10.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.68	0.59	79.95	79.96	10.30	11.52	19.84	25.15	8.16	8.69	21.38	24.48

Πίνακας 54

Στοιχεία πτήσεων 13-14, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση όλων των GCP, accuracy 0.05m – GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 53				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Phantom 4 pro V2		Πτήση 13-14		40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	593	
Camera Accuracy (10.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.65	0.60	80.24	80.25	1.51	1.97	2.78	3.73	-	-	-	-

Πίνακας 55

Στοιχεία πτήσεων 13-14-15, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 54				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
Phantom 4 pro V2		Πτήση 13-14-15		40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγια	80	80	665	
Camera Accuracy (10.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.67	0.63	80.02	80.02	0.69	0.83	0.64	1.26	1.40	1.37	2.86	3.47

Πίνακας 56

Στοιχεία πτήσεων 13-14-15, Επίλυση Phantom 4 pro V2, με χρήση όλων των GCP, accuracy 0.05m – GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση No 55		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
Phantom 4 pro V2	Πτήση 13-14-15	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη & Πλάγια	80	80	665			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.67	0.64	80.03	80.03	1.06	1.14	0.96	1.83	-	-	-	-

Πίνακας 57

Στοιχεία πτήσης 11, Επίλυση Parrot Anafi, με χρήση GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση No 56		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
ParrotAnafi	Πτήση 11	40	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	131			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.49	0.96	0.37	1.14	-	-	-	-	0.4904	0.8327	29.8966	29.9122

Πίνακας 58

Στοιχεία πτήσης 11, Επίλυση Parrot Anafi, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση No 57		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
ParrotAnafi	Πτήση 11	40	N-S	123	Κατακόρυφη	80	80	131			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.90	1.44	22.88	22.94	0.0720	0.0508	0.8474	0.1223	0.0537	0.0510	0.1512	0.1684

Πίνακας 59

Στοιχεία πτήσης 12, Επίλυση Parrot Anafi, με χρήση GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 58		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
ParrotAnafi	Πτήση 12	40	E-W	214	Κατακόρυφη	80	80	159			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.87	0.38	0.36	1.02	-	-	-	-	0.1250	0.2081	26.1254	26.1266

Πίνακας 60

Στοιχεία πτήσης 12, Επίλυση Parrot Anafi, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 59		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
ParrotAnafi	Πτήση 12	40	E-W	214	Κατακόρυφη	80	80	159			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.99	0.68	22.50	22.53	0.0560	0.0526	0.0797	0.1107	0.0592	0.0348	0.1633	0.1772

Πίνακας 61

Στοιχεία πτήσεων 11-12, Επίλυση Parrot Anafi, με χρήση GPS DRONE, accuracy 10.00 m

Επίλυση Νο 60		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos			
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ				
ParrotAnafi	Πτήση 11-12	40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	290			
Camera Accuracy (10.00m)		Ground Control points - Check points (0.050m)									
Camera Location Error (m)		Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)					
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.7451	0.7587	0.4108	1.1400	-	-	-	-	0.7451	0.7587	0.4108	1.1400

Πίνακας 62

*Στοιχεία πτήσεων 11-12, Επίλυση Parrot Anafi, με χρήση GCP 1-9-34-46-60-66, accuracy 0.05m - GPS DRONE, accuracy 10.00 m*

Επίλυση No 61				ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos	
								ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
ParrotAnafi	Πτήση 11-12			40	N-S-E-W	-	Κατακόρυφη	80	80	290	
<b>Camera Accuracy (10.00m)</b>				<b>Ground Control points - Check points (0.050m)</b>							
<b>Camera Location Error (m)</b>				<b>Ground Control Points Error (m)</b>				<b>Check Points Error (m)</b>			
X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
0.76	0.95	27.95	27.98	0.0182	0.0315	0.0718	0.0805	0.0194	0.0212	0.1115	0.1152

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1. Ανάλυση Αποτελεσμάτων Επιλύσεων

#### 3.1.1. UAV Air Surveyor 4

1<sup>ο</sup> Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 1-9, πτήσεις 1, 2, 7, 8, 9, 10)

Στο πρώτο σετ επιλύσεων (1-9) περιλαμβάνονται οι πτήσεις με κατακόρυφη θέση κάμερας. Συγκεκριμένα οι επιλύσεις 1, 2, 4, 5, 7 και 8 αφορούν πτήσεις μονής κατεύθυνσης, ενώ οι επιλύσεις 3, 6 και 9 αφορούν πτήσεις διπλής κατεύθυνσης. Στο σετ αυτό χρησιμοποιήθηκε συντελεστής βάρους για τις μετρήσεις GPS του UAV **1.00 m**, ενώ οι επιλύσεις έγιναν χωρίς τη συμμετοχή των φωτοσταθερών σημείων.

Πίνακας 63

1<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	
Επίλυση 1	Πτήση 1	40	N-S	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	159
Επίλυση 2	Πτήση 2	40	E-W	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	148
Επίλυση 3	Πτήση 1-2	40	N-S-E-W	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	307
Επίλυση 4	Πτήση 7	50	N-S	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	93
Επίλυση 5	Πτήση 8	50	E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	94
Επίλυση 6	Πτήση 7-8	50	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	187
Επίλυση 7	Πτήση 9	60	N-S	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	64
Επίλυση 8	Πτήση 10	60	E-W	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	61
Επίλυση 9	Πτήση 9-10	60	N-S-E-W	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	125

Πίνακας 64

Αποτελέσματα 1<sup>ου</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	Drone GPS Accuracy (1.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 1	8.21345	5.35084	1.25459	9.88263	-	-	-	-	21.97690	19.66960	10.04380	31.15690
Επίλυση 2	6.11734	9.12364	1.16404	11.04620	-	-	-	-	9.12364	1.16404	10.98470	11.04620
Επίλυση 3	8.63000	6.78271	1.04268	11.02580	-	-	-	-	2.09362	6.30485	19.08070	20.20410
Επίλυση 4	9.06747	6.11233	1.50673	11.03860	-	-	-	-	34.96630	22.98380	8.51408	42.70110
Επίλυση 5	6.95400	9.48629	1.39571	11.84470	-	-	-	-	18.29090	34.39380	23.90010	45.70230
Επίλυση 6	9.72104	9.45268	3.57757	14.02320	-	-	-	-	1.82751	2.98467	14.18700	14.61230
Επίλυση 7	6.47304	7.16830	1.85977	9.83583	-	-	-	-	27.41680	36.51630	25.03140	52.07390
Επίλυση 8	7.25518	4.66191	1.51229	8.75546	-	-	-	-	9.18379	24.54490	13.25490	29.36810
Επίλυση 9	10.50290	8.47423	5.44291	14.55160	-	-	-	-	1.94397	3.37623	60.95200	61.07630

Στα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι και στις τρεις διαφορετικές πτήσεις με ύψη 40, 50 και 60 m η επίλυση με πτήσεις διπλής διεύθυνσης έδωσε οριζοντιογραφική ακρίβεια (RMSE) στα σημεία ελέγχου (check points) καλύτερη από 10 cm. Όσον αφορά την υψομετρική ακρίβεια, διαπιστώνεται ότι σε καμία από τις επιλύσεις δεν επετεύχθη ακρίβεια καλύτερη από 10 cm, με βέλτιστο αποτέλεσμα εκείνο την επίλυσης 6 (ύψος πτήσης 50 μ, pixel size 1.3 cm).

2ο Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 10-18, πτήσεις 1, 2, 7, 8, 9, 10)

Στο δεύτερο σετ επιλύσεων (10-18), επιλύθηκαν οι ίδιες πτήσεις με το πρώτο σετ, αλλά με αύξηση του συντελεστή βάρους στο GPS σε **0.05 m**. Και σε αυτές τις επιλύσεις δεν συμμετείχαν τα φωτοσταθερά σημεία.



Πίνακας 65

2<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	
Επίλυση 10	Πτήση 1	40	N-S	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	159
Επίλυση 11	Πτήση 2	40	E-W	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	148
Επίλυση 12	Πτήση 1-2	40	N-S-E-W	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	307
Επίλυση 13	Πτήση 7	50	N-S	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	93
Επίλυση 14	Πτήση 8	50	E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	94
Επίλυση 15	Πτήση 7-8	50	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	187
Επίλυση 16	Πτήση 9	60	N-S	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	64
Επίλυση 17	Πτήση 10	60	E-W	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	61
Επίλυση 18	Πτήση 9-10	60	N-S-E-W	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	125

Πίνακας 66

Αποτελέσματα 2<sup>ου</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 10	7.48134	4.69155	1.21052	8.91327	-	-	-	-	22.02730	20.36830	17.38470	34.67420
Επίλυση 11	5.16964	7.84567	1.18892	9.47065	-	-	-	-	13.16720	25.23010	9.85027	30.11580
Επίλυση 12	8.27911	6.51832	0.96311	10.58110	-	-	-	-	1.92955	5.94219	13.30510	14.69900
Επίλυση 13	7.61211	5.01183	1.25309	9.19961	-	-	-	-	32.84430	24.02710	11.00750	42.15700
Επίλυση 14	5.80836	7.79275	1.40399	9.82014	-	-	-	-	19.20300	34.47890	7.40050	40.15370
Επίλυση 15	8.97505	6.71266	1.25997	11.27820	-	-	-	-	1.17130	8.55740	11.38610	14.29140
Επίλυση 16	2.74492	2.41861	1.95725	4.14910	-	-	-	-	0.34216	0.33029	1.07632	1.17670
Επίλυση 17	3.69012	2.74432	1.67116	4.89296	-	-	-	-	5.81349	27.15600	74.52000	79.52660
Επίλυση 18	3.51655	3.46063	4.22552	6.49593	-	-	-	-	1.53331	1.66322	70.41647	70.41640

Και σε αυτά τα αποτελέσματα παρατηρούνται παρόμοιες λύσεις (οριακά μικρότερο σφάλμα), χωρίς να έχει παίξει ρόλο η αύξηση του συντελεστή βάρους της ακρίβειας του GPS του UAV. Και σε αυτό το σετ, οι επιλύσεις με πτήσεις διπλής διεύθυνσης εμφανίζουν μικρότερα σφάλματα RMS, με καλύτερη λύση αυτή της επίλυσης 6 (ύψος πτήσης 50 m, pixel size 1.3 cm).

3ο Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 19-27, πτήσεις 1, 2, 7, 8, 9, 10)

Στο τρίτο σετ επιλύσεων (19-27) συμμετείχαν οι ίδιες πτήσεις με το πρώτο και δεύτερο σετ. Ο συντελεστής βάρους στο GPS του UAV ορίστηκε σε **1.00 m**. Επίσης, έγινε χρήση των φωτοσταθερών 1-9-34-46-60-66. Ο συντελεστής βάρους της ακρίβειας των φωτοσταθερών ορίστηκε σε **0.05 m**. Όλα τα υπόλοιπα σημεία χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία ελέγχου.

Πίνακας 67

3<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	
Επίλυση 19	Πτήση 1	40	N-S	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	159
Επίλυση 20	Πτήση 2	40	E-W	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	148
Επίλυση 21	Πτήση 1-2	40	N-S-E-W	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	307
Επίλυση 22	Πτήση 7	50	N-S	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	93
Επίλυση 23	Πτήση 8	50	E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	94
Επίλυση 24	Πτήση 7-8	50	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	187
Επίλυση 25	Πτήση 9	60	N-S	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	64
Επίλυση 26	Πτήση 10	60	E-W	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	61
Επίλυση 27	Πτήση 9-10	60	N-S-E-W	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	125

Πίνακας 68

Αποτελέσματα 3<sup>ου</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	Drone GPS Accuracy (1.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 19	20.57610	17.55760	9.00161	28.50740	4.16647	4.68680	2.68363	6.82110	4.26511	3.46049	3.46049	6.52374
Επίλυση 20	12.27680	23.17880	16.57490	31.02750	3.10455	4.20048	2.80580	5.92915	2.08644	3.94410	2.46506	5.09761
Επίλυση 21	9.04875	7.69148	14.69580	18.89460	1.12437	1.38057	2.85727	3.36662	1.91044	1.50095	2.91781	3.79688
Επίλυση 22	36.42090	19.62110	9.54551	42.45690	4.86032	3.45198	2.87337	6.61779	4.12953	3.54771	4.23826	6.89943
Επίλυση 23	18.42830	33.94780	21.81230	44.36030	2.96500	4.46032	2.56641	5.93903	1.87603	4.13512	2.72047	5.29336
Επίλυση 24	9.99143	8.46782	14.57260	19.59320	1.02607	1.21462	2.24286	2.74928	1.82667	1.45304	2.48279	3.40768
Επίλυση 25	19.77270	31.24520	6.61088	36.97590	1.44025	3.47152	2.21240	4.36125	2.79768	2.51701	2.61301	4.58151
Επίλυση 26	8.44025	17.20550	15.09470	24.39500	4.52164	3.36378	0.95388	5.71577	2.97287	2.46150	3.17283	4.99638
Επίλυση 27	10.50570	7.73822	22.32310	25.85670	1.21446	1.94437	2.47049	3.37029	1.97867	1.62518	2.82217	3.81065

Στα αποτελέσματα του τρίτου σετ, παρατηρείται ότι η συμμετοχή των 6 GCP (επιλύσεις διπλής διεύθυνσης) μειώνει οριζοντιογραφικά το RMS κυρίως κατά τον

άξονα Y σε σχέση με την επίλυση του αεροτριγωνισμού με GPS. Υψομετρικά το RMS κυμάνθηκε μεταξύ 3.40 cm - 3.81 cm (1/5 του RMS στον άξονα Z σε σχέση με την λύση με τα GPS). Επιπλέον, παρατηρείται ότι οι λύσεις δεν εμφανίζουν ιδιαίτερες αποκλίσεις σε σχέση με τα διαφορετικά ύψη των πτήσεων.

*4ο Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 28-36, πτήσεις 1, 2, 7, 8, 9, 10)*

Στο τέταρτο σετ (28-36) έγινε επανάληψη των επιλύσεων του τρίτου σετ, με μεταβολή του συντελεστή βάρους στο GPS του UAV, που ορίστηκε σε **20.00 m**, και διατήρηση όλων των υπόλοιπων παραμέτρων όπως προηγουμένως.

Πίνακας 69

*4<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4*

		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	
Επίλυση 28	Πτήση 1	40	N-S	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	159
Επίλυση 29	Πτήση 2	40	E-W	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	148
Επίλυση 30	Πτήση 1-2	40	N-S-E-W	1 cm	Κατακόρυφη	80	80	307
Επίλυση 31	Πτήση 7	50	N-S	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	93
Επίλυση 32	Πτήση 8	50	E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	94
Επίλυση 33	Πτήση 7-8	50	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	187
Επίλυση 34	Πτήση 9	60	N-S	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	64
Επίλυση 35	Πτήση 10	60	E-W	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	61
Επίλυση 36	Πτήση 9-10	60	N-S-E-W	1.5 cm	Κατακόρυφη	80	80	125

Πίνακας 70

Αποτελέσματα 4<sup>ov</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 28	23.10140	19.68530	10.14990	32.00330	4.44158	4.18972	1.71466	6.34204	4.34036	2.95825	2.71905	5.91466
Επίλυση 29	13.86660	25.69600	18.97260	34.82140	3.42257	3.67711	1.92693	5.38035	2.22736	3.60135	2.49021	4.91243
Επίλυση 30	8.91920	7.76165	17.63010	21.22770	0.64214	1.25541	2.18834	2.60331	1.48803	1.33591	2.85226	3.48343
Επίλυση 31	40.33180	21.27860	11.63100	47.06070	4.70254	3.61374	1.52312	6.12314	3.69226	3.56237	3.44145	6.17793
Επίλυση 32	20.54650	37.53600	22.03220	48.13030	3.04686	3.94820	1.35814	5.16877	1.85164	3.82775	2.97378	5.18880
Επίλυση 33	9.86319	8.92375	16.89180	21.49990	0.67698	1.14859	1.90686	2.32673	1.50859	1.36967	2.52298	3.24303
Επίλυση 34	23.72220	37.77480	26.73190	52.00270	1.44321	3.84496	1.22162	4.28474	2.96057	2.71044	2.35679	4.65467
Επίλυση 35	10.77300	20.60320	51.63790	56.63060	3.54840	3.11721	0.26310	4.73047	2.57957	2.12745	3.84844	5.09811
Επίλυση 36	12.82360	8.54905	62.87920	64.74050	1.02601	1.89352	1.81992	2.81961	1.63352	1.46443	3.16056	3.84735

Παρατηρεί κανείς ότι με τη μείωση του συντελεστή βάρους στο GPS του UAV μειώνεται το RMS οριζοντιογραφικά (τάξη μεγέθους 0.10 cm περίπου) και αυξάνεται κατά τον άξονα Z (τάξη μεγέθους 0.10 cm περίπου) δίνοντας καλύτερες λύσεις. Και σε αυτό το σετ διαπιστώνεται ότι οι λύσεις δεν εμφανίζουν ιδιαίτερες αποκλίσεις σε σχέση με τα διαφορετικά ύψη των πτήσεων.

5ο Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 37-39, πτήσεις 1, 2, 3, 4, 5, 6)

Η επόμενη προσπάθεια ήταν η ενιαία επίλυση των πτήσεων 1-2-3-4-5-6 (37-39). Σε αυτό το σετ συμπεριλαμβάνονται, εκτός από τις πτήσεις με κατακόρυφη θέση της κάμερας, οι πτήσεις με τις πλάγιες εικόνες σε τέσσερις διευθύνσεις (κλίση 30°). Στην επίλυση 37 δεν συμμετέχουν φωτοσταθερά σημεία και έχει οριστεί αυξημένος συντελεστής βαρύτητας στο GPS του UAV **0.05 m**, ενώ και στις επιλύσεις 38 και 39 ο συντελεστής βαρύτητας των φωτοσταθερών ορίστηκε σε **0.05 m**.

Πίνακας 71

5<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos
					ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	
Πτήση 1-2-3-4-5-6	40	N-S-E-W	1 cm	Κατακόρυφη & Πλάγιες	80 60	80 40	566

Πίνακας 72

Αποτελέσματα 5<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 37	6.76754	6.46811	2.82075	9.77715	-	-	-	-	1.93658	3.51049	15.65750	16.16270

Στην επίλυση 37 (επίλυση αεροτριγωνισμού μόνο από τα GPS, χωρίς συμμετοχή φωτοσταθερών), η προσθήκη πλάγιων εικόνων 4 διευθύνσεων (σε αναλογία 259 πλάγιες έναντι 307 κατακόρυφων) σε συνδυασμό με πτήσεις διπλής διεύθυνσης, δίνουν οριζοντιογραφικό RMS παρόμοιο με τις επιλύσεις των GCP. Υψομετρικά το RMS παραμένει σχετικά υψηλό (>15 cm). Τα αποτελέσματα της επίλυσης αυτής εμφανίζουν μικρότερα RMS συγκρινόμενα με την αντίστοιχη επίλυση χωρίς την συμμετοχή πλάγιων εικόνων.

Πίνακας 73

Αποτελέσματα 5<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 38	8.16795	7.41425	18.83150	21.82450	0.72756	1.61862	2.42065	3.00147	1.43305	1.43983	2.03143	3.00855

Στην επίλυση 38, επίσης, εμφανίζονται οριακά μειωμένα RMS με συμμετοχή των πλάγιων εικόνων.

Πίνακας 74

Αποτελέσματα 5<sup>ου</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 39	8.09933	7.17280	18.22550	21.19480	1.15584	1.43068	2.17487	2.84831	-	-	-	-

Στην τελευταία επίλυση αυτού του σετ (επίλυση 39) έγινε αεροτριγωνισμός με το σύνολο των φωτοσταθερών. Τα αποτελέσματα της επίλυσης αυτής (χωρίς check points), επί της ουσίας εκφράζουν την ακρίβεια της τοπογραφικής αποτύπωσης των φωτοσταθερών.

6ο Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 40-43, πτήσεις 1, 2, 4)

Σε αυτό το σετ χρησιμοποιήθηκαν οι πτήσεις με κατακόρυφη θέση κάμερας (πτήσεις 1, 2), σε συνδυασμό με μία μόνο πτήση με πλάγια θέση της κάμερας. Επιπλέον, στις επιλύσεις 40, 41 και 42 διατηρήθηκαν οι παράμετροι του 5<sup>ου</sup> σετ.

Πίνακας 75

6<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ-ΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos
					ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	
Πτήση 1-2-4	40	N-S-E-W	1 cm	Κατακόρυφη & Πλάγιες	80 60	80 40	566

Πίνακας 76

Αποτελέσματα 6<sup>ου</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	Drone GPS Accuracy (0.05m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 40	6.97475	5.80148	1.95115	9.27962	-	-	-	-	2.61893	4.43193	15.92820	16.73950

Η επίλυση 40 έχει ίδια στοιχεία με την επίλυση 37 (χωρίς συμμετοχή GCP), με μόνη διαφορά ότι συμμετείχαν πλάγιες εικόνες μίας διεύθυνσης (αναλογία 59 πλάγιες έναντι 307 κατακόρυφων). Στην επίλυση αυτή προκύπτουν οριζοντιογραφικά RMS παρόμοια με τις επιλύσεις με συμμετοχή των φωτοσταθερών (GCP). Το RMS υψομετρικά πάλι παραμένει μεγαλύτερο από 15cm. Σε σχέση με την συμμετοχή πλάγιων εικόνων 4 διευθύνσεων παρατηρείται ότι τα RMS (X, Y, Z) είναι οριακά μεγαλύτερα (0.50 cm-1.00 cm).

Πίνακας 77

*Αποτελέσματα 6<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4*

	Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 41	8.55846	6.71764	19.44140	22.27880	0.72917	1.61794	2.42016	3.00110	1.43450	1.43983	2.21909	3.00920

Στην επίλυση 41 (6 GCP), η συμμετοχή πλάγιων εικόνων μίας διεύθυνσης δεν επηρέασε την οριζοντιογραφική λύση (ίδια RMS με τα αποτελέσματα της επίλυσης 38). Αντίθετα, παρατηρήθηκε μικρή αύξηση στα υψομετρικά RMS (+0.20 cm).

Πίνακας 78

*Αποτελέσματα 6<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4*

	Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 42	8.54912	6.47529	18.80780	21.65060	1.15594	1.43055	2.17472	2.84817	-	-	-	-

Στην επίλυση αυτή (65 GCP), όπου προκύπτουν ακριβώς ίδια αποτελέσματα με την επίλυση 39 (πλάγιες εικόνες 4 διευθύνσεων), δεν έπαιξε ρόλο η μεταβολή βάρους των GPS ούτε και η συμμετοχή λιγότερων πλάγιων εικόνων, αφού η επίλυση στηρίχθηκε αποκλειστικά στην δέσμευση των GCP.

## Πίνακας 79

### Αποτελέσματα 6<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Air Surveyor 4

	Drone GPS Accuracy (20.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (cm)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 43	8.48794	6.17721	17.58980	20.48430	1.10266	1.35969	1.91083	2.59150	1.19040	1.17967	4.09186	4.42176

Τέλος, στην επίλυση 43 συμμετείχαν όλα τα GCP πλην των 3, 23, 34, 35, 37, 48, 59 και 41 που εμφάνιζαν μεγαλύτερο σφάλμα. Η επίλυση έγινε με βάρος των φωτοσταθερών **0.05 m** και βάρος των GPS του UAV σε **20.00 m**. Τα αποτελέσματα της επίλυσης αυτής έδωσαν οριζοντιογραφικά αποτελέσματα με σφάλμα  $RMS < 2$  cm, σε αντίθεση όμως με τα υψομετρικά σφάλματα που υπερδιπλασιάστηκαν.

### 3.1.2. UAV Phantom 4 pro V2

#### 7ο Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 44-47, πτήσεις 13, 14, 15)

Οι επιλύσεις 44-47 στηρίχτηκαν αποκλειστικά και μόνο στην ακρίβεια του GPS του UAV, η οποία ορίστηκε με βάρος **10.00 m**. Οι επιλύσεις 44 και 45 αφορούν πτήσεις μονής κατεύθυνσης αλλά διαφορετικού προσανατολισμού, η επίλυση 46 περιλαμβάνει πτήσεις διπλής διεύθυνσης (13 και 14) και, τέλος, η επίλυση 47 περιλαμβάνει όλες τις παραπάνω με επιπλέον την πτήση 15, που αποτελεί πτήση κυκλικής τροχιάς με την κάμερα σε κεκλιμένη θέση (πλάγιες εικόνες).



Πίνακας 80

7<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Phantom 4 pro V2

		ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos
						ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	
Επίλυση 44	Πτήση 13	40	N-S	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	326
Επίλυση 45	Πτήση 14	40	E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	267
Επίλυση 46	Πτήση 13-14	40	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	593
Επίλυση 47	Πτήση 13-14-15	40	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	665

Πίνακας 81

Αποτελέσματα 7<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Phantom 4 pro V2

	Camera Accuracy (10.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 44	0.59669	0.39552	2.02613	2.14888	-	-	-	-	0.88525	0.04673	81.53570	81.54050
Επίλυση 45	0.17387	0.17387	0.52834	0.64252	-	-	-	-	0.58207	0.48388	79.08150	79.08510
Επίλυση 46	0.45763	0.42151	2.06990	2.16138	-	-	-	-	0.74650	0.24416	80.26560	80.26940
Επίλυση 47	0.44274	0.43047	2.08473	2.17426	-	-	-	-	0.79369	0.29775	80.01930	80.02380

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι, στηριζόμενες σε λύσεις που εξαρτώνται αποκλειστικά και μόνο από την ακρίβεια θέσης του GPS του UAV (GPS πλοήγησης), οι ακρίβειες που προκύπτουν οριζοντιογραφικά είναι μεταξύ 25 cm – 88 cm. Οι επιλύσεις διπλής διεύθυνσης καθώς και ο συνδυασμός διπλής διεύθυνσης με πλάγιες εικόνες δεν πέτυχαν να μειώσουν τις τιμές RMS. Στην επίλυση αυτή το υψομετρικό RMS κυμαίνεται από 79 έως 81.50 m. Η μεγάλη αυτή απόκλιση πιθανότατα οφείλεται σε λανθασμένο μετασχηματισμό datum (από WGS '84 σε ΕΓΣΑ '87).

8ο Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 48, 50, 52, 54, πτήσεις 13, 14, 15)

Στο 8<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων οι επιλύσεις του αεροτριγωνισμού έγιναν με βάση τα 6 GCP και περιλαμβάνονται επιλύσεις μονής διεύθυνσης (48, 50), επίλυση διπλής διεύθυνσης (52) καθώς και η επίλυση 54 με την συμμετοχή της πτήσης 15 (κυκλικής τροχιάς) με την κάμερα σε κεκλιμένη θέση. Σε κάθε μια από αυτές έγινε επίλυση του αεροτριγωνισμού με την συμμετοχή των 6 GCP (1-9-34-46-60-66).

Πίνακας 82

8<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Phantom 4 pro V2

	ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos		
					ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ			
Επίλυση 48	GCP 1-9-34-46-60-66	Πτήση 13	40	N-S	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	326
Επίλυση 50	GCP 1-9-34-46-60-66	Πτήση 14	40	E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	267
Επίλυση 52	GCP 1-9-34-46-60-66	Πτήση 13-14	40	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	593
Επίλυση 54	GCP 1-9-34-46-60-66	Πτήση 13-14-15	40	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη & Πλάγια	80	80	665

Πίνακας 83

Αποτελέσματα 8<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Phantom 4 pro V2

	Camera Accuracy (10.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 48	0.81459	0.45878	81.10190	81.10730	5.63773	6.34794	11.24690	14.09160	4.16084	4.71912	12.27500	13.79340
Επίλυση 50	0.43101	0.72717	78.94260	78.94720	4.32819	5.75977	8.83340	11.39900	3.34042	4.20472	11.21870	12.43770
Επίλυση 52	0.68019	0.59220	79.95780	79.96290	10.30130	11.52570	19.84900	25.15830	8.16081	8.69195	21.38390	24.48310
Επίλυση 54	0.67820	0.63581	80.02290	80.02830	0.69073	0.83766	0.64787	1.26432	1.40617	1.37287	2.86565	3.47477

Σε αυτό το σετ παρατηρείται ότι οι πτήσεις διπλής διεύθυνσης χωρίς τη χρήση πλάγιων εικόνων δεν είναι σε θέση να δώσουν ακριβή αποτελέσματα (σε αντίθεση με την επίλυση 61, Parrot Anafi). Με την συμμετοχή πλάγιων εικόνων (επίλυση 54 όπου συμπεριλαμβάνεται η πτήση κυκλικής τροχιάς), τα RMS μειώνονται κατά 90%. Αντίθετα, στις επιλύσεις όπου δεν συμμετείχαν πλάγιες εικόνες, οι επιλύσεις των πτήσεων

μονής διεύθυνσης σε σχέση με την επίλυση διπλής διεύθυνσης είχαν μειωμένα RMS της τάξης του 50% οριζοντιογραφικά αλλά και υψομετρικά.

9ο σετ επιλύσεων (επιλύσεις 48, 50, 52, 54, πτήσεις 13, 14, 15)

Στο 9<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων, οι αεροτριγωνισμοί πραγματοποιήθηκαν με βάση όλα τα GCP (65) και επιλύσεις μονής κατεύθυνσης (49, 51, 53, 55-51), διπλής κατεύθυνσης (52-53) καθώς και επιπλέον επιλύσεις με την συμμετοχή της πτήσης 15 (κυκλικής τροχιάς) με την κάμερα σε κεκλιμένη θέση.

Πίνακας 84

9<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Phantom 4 pro V2

	ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos		
					ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ			
Επίλυση 49	GCP Όλα (65)	Πτήση 13	40	N-S	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	326
Επίλυση 51	GCP Όλα (65)	Πτήση 14	40	E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	267
Επίλυση 53	GCP Όλα (65)	Πτήση 13-14	40	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη	80	80	593
Επίλυση 55	GCP Όλα (65)	Πτήση 13-14-15	40	N-S-E-W	1.3 cm	Κατακόρυφη & Πλάγια	80	80	665

Πίνακας 85

Αποτελέσματα 9<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Phantom 4 pro V2

	Camera Accuracy (10.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (cm)				Check Points Error (cm)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 49	0.80157	0.46080	81.26250	81.26780	1.22497	1.53218	2.47681	3.15955	-	-	-	-
Επίλυση 51	0.42276	0.74380	79.08520	79.08990	1.24973	1.60700	2.95524	3.58855	-	-	-	-
Επίλυση 53	0.65810	0.60028	80.24900	80.25400	1.51316	1.97690	2.78702	3.73702	-	-	-	-
Επίλυση 55	0.67096	0.64125	80.03210	80.03750	1.06251	1.14432	0.96246	1.83432	-	-	-	-

Η συμμετοχή όλων των GCP (χωρίς την ύπαρξη check points) δεν επιτρέπει τον έλεγχο των αποτελεσμάτων. Κι εδώ παρατηρείται ότι οι πτήσεις διπλής διεύθυνσης σε

συνδυασμό με πλάγιες εικόνες δίνουν RMS μειωμένα κατά 30% οριζοντιογραφικά και κατά 40% υψομετρικά.

### 3.1.3. UAV Parrot Anafi

10ο Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 56, 58, 60, πτήσεις 11, 12)

Στο 10<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων περιλαμβάνονται επιλύσεις μονής διεύθυνσης (56, 58) καθώς και διπλής διεύθυνσης (60). Σε αυτό το σετ όλες οι πτήσεις έγιναν με την κάμερα σε κατακόρυφη θέση. Σε κάθε μια από αυτές έγινε επίλυση του αεροτριγωνισμού αποκλειστικά και μόνο από τα GPS του UAV (βάρος 10.00 m).

Πίνακας 86

10<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Parrot Anafi

			ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑ- ΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos
							ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	
Επίλυση 56	GPS UAV	Πτήση 11	40	N-S	1.2 cm	Κατακόρυφη	80	80	131
Επίλυση 58	GPS UAV	Πτήση 12	40	E-W	1.2 cm	Κατακόρυφη	80	80	159
Επίλυση 60	GPS UAV	Πτήση 11-12	40	N-S-E-W	1.2 cm	Κατακόρυφη	80	80	290

Πίνακας 87

Αποτελέσματα 10<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Parrot Anafi

	Camera Accuracy (10.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 56	0.49529	0.96603	0.37218	1.14763	-	-	-	-	0.49040	0.83276	29.89660	29.91220
Επίλυση 58	0.87912	0.38811	0.36046	1.02636	-	-	-	-	0.12501	0.20819	26.12540	26.12660
Επίλυση 60	0.74514	0.75879	0.41085	1.14008	-	-	-	-	0.74514	0.75879	0.41085	1.14008

Και σε αυτό το σετ επιβεβαιώνεται ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από επιλύσεις αεροτριγωνισμού μόνο με χρήση των παρατηρήσεων από το GPS επιφέρουν μεγάλα σφάλματα. Το υψομετρικό RMS, και σε αυτό το σετ επιλύσεων, προέκυψε να είναι υπερβολικά μεγάλο, αποδιδόμενο και εδώ σε λανθασμένο μετασχηματισμό datum (από WGS '84 σε ΕΓΣΑ '87). Αξιοσημείωτο είναι ότι στην επίλυση 60, με τη συμμε-

τοχή πτήσεων διπλής διεύθυνσης, το υψομετρικό RMS μειώθηκε σημαντικά αλλά παραμένει αρκετά υψηλό.

11ο Σετ επιλύσεων (επιλύσεις 57, 59, 61, πτήσεις 11, 12)

Σε αυτό το σετ περιλαμβάνονται οι επιλύσεις του 10<sup>ου</sup> σετ με τη διαφορά ότι η επίλυση του αεροτριγωνισμού έγινε με την συμμετοχή των 6 GCP.

Πίνακας 88

11<sup>ο</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Parrot Anafi

	ΥΨΟΣ	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	Pixel size	ΚΑΜΕΡΑ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Fotos		
					ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ			
Επίλυση 57	GCP 1-9-34-46-60-66	Πτήση 11	40	N-S	1.2 cm	Κατακόρυφη	80	80	131
Επίλυση 59	GCP 1-9-34-46-60-66	Πτήση 12	40	E-W	1.2 cm	Κατακόρυφη	80	80	159
Επίλυση 61	GCP 1-9-34-46-60-66	Πτήση 11-12	40	N-S-E-W	1.2 cm	Κατακόρυφη	80	80	290

Πίνακας 89

Αποτελέσματα 11<sup>ου</sup> σετ επιλύσεων πτήσεων UAV Parrot Anafi

	Camera Accuracy (10.00m)				Ground Control points - Check points (0.050m)							
	Camera Location Error (m)				Ground Control Points Error (m)				Check Points Error (m)			
	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error
Επίλυση 57	0.90546	1.44012	22.88020	22.94330	0.07207	0.05087	0.84741	0.12232	0.05372	0.05102	0.15129	0.16845
Επίλυση 59	0.99879	0.68806	22.50170	22.53440	0.05604	0.05264	0.07976	0.11079	0.05921	0.03487	0.16339	0.17725
Επίλυση 61	0.76367	0.95774	27.95930	27.98610	0.01829	0.03150	0.07184	0.08055	0.01941	0.02120	0.11156	0.11520

Και σε αυτήν την επίλυση επιβεβαιώνεται ότι οι πτήσεις διπλής διεύθυνσης, δίνουν συνολικά καλύτερα RMS. Παρ' όλο που τα RMS κατά X και Y είναι μικρά (2 cm), το RMS κατά Z παραμένει οριακά υψηλό (>10cm).

Στην επίλυση 61 όπου συμμετείχαν επιλύσεις διπλής διεύθυνσης, και σε αντίθεση με την πτήση 52 (πτήση Phantom, με επιπλέον πλάγιες εικόνες), τα αποτελέσματα ήταν εμφανώς καλύτερα (RMS στα X και Y <75% και στο Z <50%).

### 3.2. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Επιλύσεων

Με βάση τα αποτελέσματα των επιλύσεων που προηγήθηκαν, συμπεραίνει κανείς τα ακόλουθα:

#### **UAV Air Surveyor 4**

#### **Επίλυση αεροτριγωνισμού από GPS UAV:**

Πίνακας 90

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού (GPS UAV) διπλής διεύθυνσης, κατακόρυφες εικόνες*

No	Πτήση	ΥΨ. (m)	Pixel size (cm)	Κατεύθυνση	Check Points Error (cm)				Βάρη
					X error	Y error	Z error	Total error	
12	1-2	40	1	N-S-E-W	1.930	5.942	13.305	14.699	<b>UAV GPS (0.05 m)</b>
15	7-8	50	1.2	N-S-E-W	1.171	8.557	11.386	14.291	
18	9-10	60	1.5	N-S-E-W	1.533	1.663	70.416	70.416	

Οι επιλύσεις που περιλαμβάνουν πτήσεις διπλής διεύθυνσης έδωσαν σχεδόν σε κάθε περίπτωση καλύτερες λύσεις σε σχέση με τις επιλύσεις όπου συμμετείχαν πτήσεις μονής διεύθυνσης, με μικρότερα RMS στις πτήσεις 50 m (pixel size 1.20 cm). Επίσης η αύξηση του βάρους στις παρατηρήσεις του GPS (τιμή 0.05 m), έδωσε τις μικρότερες τιμές στα RMS.

Στις επιλύσεις όπου συμμετείχαν κατακόρυφες και πλάγιες εικόνες, προέκυψαν οριακά καλύτερα αποτελέσματα στις επιλύσεις όπου συμμετείχαν πλάγιες εικόνες 4 κατευθύνσεων.

Πίνακας 91

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού (GPS UAV) διπλής διεύθυνσης, κατακόρυφες εικόνες & πλάγιες εικόνες 4 διευθύνσεων*

Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error
1.936	3.510	15.657	16.162

Πίνακας 92

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού (GPS UAV) διπλής διεύθυνσης, κατακόρυφες εικόνες και πλάγιες εικόνες 1 διεύθυνσης*

Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error
2.618	4.431	15.928	16.739

Στις επιλύσεις των πτήσεων με το UAV Air Surveyor 4, τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η επίλυση του αεροτριγωνισμού μόνο από τα GPS του UAV μπορεί να δώσει λύσεις με οριζοντιογραφική ακρίβεια ~ 2 cm – 4 cm και υψομετρική ακρίβεια ~ 11 cm – 16 cm.

## UAV Air Surveyor 4

### Επίλυση αεροτριγωνισμού από GCP ή/και GPS UAV :

Πίνακας 93

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού (6 GCP) διπλής διεύθυνσης,  
κατακόρυφες εικόνες*

No	Πτήση	ΥΨ. (m)	Pixel size (cm)	Κατεύθυνση	Check Points Error (cm)				No	Check Points Error (cm)			
					X error	Y error	Z error	Total error		X er- ror	Y er- ror	Z er- ror	Total error
21	1-2	40	1	N-S-E-W	1.910	1.501	2.918	3.797	30	1.488	1.336	2.852	3.483
24	7-8	50	1.2	N-S-E-W	1.827	1.453	2.483	3.408	33	1.509	1.370	2.523	3.243
27	9-10	60	1.5	N-S-E-W	1.979	1.625	2.822	3.811	36	1.634	1.464	3.161	3.847
					<b>UAV GPS (1.00 m)</b>					<b>UAV GPS (20.00 m)</b>			

Και πάλι, οι επιλύσεις που περιέχουν πτήσεις διπλής διεύθυνσης έδωσαν σχεδόν σε κάθε περίπτωση λύσεις καλύτερης ακρίβειας σε σχέση με τις επιλύσεις όπου συμμετείχαν πτήσεις μονής διεύθυνσης, με μικρότερα RMS στις πτήσεις από 50 m (pixel size 1.20 cm).

Στις επιλύσεις όπου συμμετείχαν κατακόρυφες και πλάγιες εικόνες, προέκυψαν οριακά καλύτερα αποτελέσματα στις επιλύσεις όπου συμμετείχαν πλάγιες εικόνες 4 κατευθύνσεων.



Πίνακας 94

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού 6 (GCP) διπλής διεύθυνσης, κατακόρυφες εικόνες & πλάγιες εικόνες 4 διευθύνσεων*

Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error
1.433	1.439	2.031	3.001

Πίνακας 95

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού (6 GCP) διπλής διεύθυνσης, κατακόρυφες εικόνες & πλάγιες εικόνες 1 διεύθυνσης*

Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error
1.435	1.439	2.221	3.001

Στις επιλύσεις των πτήσεων με το UAV Air Surveyor 4, τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η επίλυση του αεροτριγωνισμού *συνδυαστικά* από τα GPS του UAV και από τα GCP μπορεί να δώσει λύσεις με οριζοντιογραφική ακρίβεια ~ 1.3 cm - 1.5cm και υψομετρική ακρίβεια ~ 2.0cm - 3.2 cm.

Πίνακας 96

Αθροιστικά αποτελέσματα επιλύσεων πτήσεων Air Surveyor 4 με επίλυση αεροτριγωνισμού από GPS UAV

N	Πτ.	ΥΨ	ΚΑΤ.	ΘΕΣ Η CAM	ΕΠΙΚΑΛΥ- ΨΗ		Camera Location Error (cm)				Check Points Error (cm)				Βάρη
					ΜΗ Κ.	ΠΛ.	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	
1	1	40	N-S	Κατ.	80	80	8.213	5.351	1.255	9.883	21.977	19.670	10.044	31.157	UAV GPS (1.00m), CP (0.05m)
2	2	40	E-W	Κατ.	80	80	6.117	9.124	1.164	11.046	9.124	1.164	10.985	11.046	
3	1-2	40	N-S-E-W	Κατ.	80	80	8.630	6.783	1.043	11.026	2.094	6.305	19.081	20.204	
4	7	50	N-S	Κατ.	80	80	9.067	6.112	1.507	11.039	34.966	22.984	8.514	42.701	
5	8	50	E-W	Κατ.	80	80	6.954	9.486	1.396	11.845	18.291	34.394	23.900	45.702	
6	7-8	50	N-S-E-W	Κατ.	80	80	9.721	9.453	3.578	14.023	1.828	2.985	14.187	14.612	
7	9	60	N-S	Κατ.	80	80	7.168	1.860	9.658	9.836	27.417	36.516	25.031	52.074	
8	10	60	E-W	Κατ.	80	80	7.255	4.662	1.512	8.755	9.184	24.545	13.255	29.368	
9	9-10	60	N-S-E-W	Κατ.	80	80	10.50	8.474	5.443	14.552	1.944	3.376	60.952	61.076	
10	1	40	N-S	Κατ.	80	80	7.481	4.692	1.211	8.913	22.027	20.368	17.385	34.674	
11	2	40	E-W	Κατ.	80	80	5.170	7.846	1.189	9.471	13.167	25.230	9.850	30.116	
12	1-2	40	N-S-E-W	Κατ.	80	80	8.279	6.518	0.963	10.581	1.930	5.942	13.305	14.699	
13	7	50	N-S	Κατ.	80	80	7.612	5.012	1.253	9.200	32.844	24.027	11.008	42.157	
14	8	50	E-W	Κατ.	80	80	5.808	7.793	1.404	9.820	19.203	34.479	7.401	40.154	
15	7-8	50	N-S-E-W	Κατ.	80	80	8.975	6.713	1.260	11.278	1.171	8.557	11.386	14.291	
16	9	60	N-S	Κατ.	80	80	2.745	2.419	1.957	4.149	0.342	0.330	1.076	1.177	
17	10	60	E-W	Κατ.	80	80	3.690	2.744	1.671	4.893	5.813	27.156	74.520	79.527	
18	9-10	60	N-S-E-W	Κατ.	80	80	3.517	3.461	4.226	6.496	1.533	1.663	70.416	70.416	
37	1-2- 3-4- 5-6	40	N-S-E-W	Κατ., Πλ.	80/60	80/40	6.768	6.468	2.821	9.777	1.937	3.510	15.658	16.163	UAV GPS (0.05m), CP (0.05m)
40	1-2-4	40	N-S-E-W	Κτ., Πλ.	80/60	80/40	6.975	5.801	1.951	9.280	2.619	4.432	15.928	16.740	UAV GPS (0.05m), CP (0.05m)

Πίνακας 97

Αθροιστικά αποτελέσματα επιλύσεων πτήσεων Air Surveyor 4 με επίλυση αεροτριγωνισμού από GCP

N	Πτ.	Υψ.	ΚΑΤ.	ΘΕΣΗ CAM	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		GCP	Camera Location Error (cm)				GCP Error (cm)				Check Points Error (cm)				Βάρη
					ΜΗΚ.	ΠΛ.		X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	
19	1	40	N-S	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	20.576	17.558	9.002	28.507	4.166	4.687	2.684	6.821	4.265	3.460	3.460	6.524	UAV GPS (1.00m), GCP - CP (0.05m)
20	2	40	E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	12.277	23.179	16.575	31.028	3.105	4.200	2.806	5.929	2.086	3.944	2.465	5.098	
21	1-2	40	N-S-E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	9.049	7.691	14.696	18.895	1.124	1.381	2.857	3.367	1.910	1.501	2.918	3.797	
22	7	50	N-S	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	36.421	19.621	9.546	42.457	4.860	3.452	2.873	6.618	4.130	3.548	4.238	6.899	
23	8	50	E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	18.428	33.948	21.812	44.360	2.965	4.460	2.566	5.939	1.876	4.135	2.720	5.293	
24	7-8	50	N-S-E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	9.991	8.468	14.573	19.593	1.026	1.215	2.243	2.749	1.827	1.453	2.483	3.408	
25	9	60	N-S	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	31.245	6.611	36.976	37.562	1.440	3.472	2.212	4.361	2.798	2.517	2.613	4.582	
26	10	60	E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	8.440	17.206	15.095	24.395	4.522	3.364	0.954	5.716	2.973	2.462	3.173	4.996	
27	9-10	60	N-S-E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	10.506	7.738	22.323	25.857	1.214	1.944	2.470	3.370	1.979	1.625	2.822	3.811	
28	1	40	N-S	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	23.101	19.685	10.150	32.003	4.442	4.190	1.715	6.342	4.340	2.958	2.719	5.915	
29	2	40	E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	13.867	25.696	18.973	34.821	3.423	3.677	1.927	5.380	2.227	3.601	2.490	4.912	
30	1-2	40	N-S-E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	8.919	7.762	17.630	21.228	0.642	1.255	2.188	2.603	1.488	1.336	2.852	3.483	
31	7	50	N-S	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	40.332	21.279	11.631	47.061	4.703	3.614	1.523	6.123	3.692	3.562	3.441	6.178	
32	8	50	E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	20.547	37.536	22.032	48.130	3.047	3.948	1.358	5.169	1.852	3.828	2.974	5.189	
33	7-8	50	N-S-E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	9.863	8.924	16.892	21.500	0.677	1.149	1.907	2.327	1.509	1.370	2.523	3.243	
34	9	60	N-S	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	23.722	37.775	26.732	52.003	1.443	3.845	1.222	4.285	2.961	2.710	2.357	4.655	
35	10	60	E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	10.773	20.603	51.638	56.631	3.548	3.117	0.263	4.730	2.580	2.127	3.848	5.098	
36	9-10	60	N-S-E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	12.824	8.549	62.879	64.741	1.026	1.894	1.820	2.820	1.634	1.464	3.161	3.847	
38	1-2-3- 4-5-6	40	N-S-E-W	Κατ.,Πλ.	80/60	80/40	GCP 1-9-34-46-60-66	8.168	7.414	18.832	21.825	0.728	1.619	2.421	3.001	1.433	1.440	2.031	3.009	UAV GPS (20.00m), GCP - CP (0.05m)
39	1-2-3- 4-5-6	40	N-S-E-W	Κατ.,Πλ.	80/60	80/40	GCP Όλα (65)	8.099	7.173	18.226	21.195	1.156	1.431	2.175	2.848	-	-	-	-	
41	1-2-4	40	N-S-E-W	Κατ.,Πλ.	80/60	80/40	GCP 1-9-34-46-60-66	8.558	6.718	19.441	22.279	0.729	1.618	2.420	3.001	1.435	1.440	2.219	3.009	UAV GPS (20.00m), GCP - CP (0.05m)
42	1-2-4	40	N-S-E-W	Κατ.,Πλ.	80/60	80/40	GCP Όλα (65)	8.549	6.475	18.808	21.651	1.156	1.431	2.175	2.848	-	-	-	-	
43	1-2-4	40	N-S-E-W	Κατ.,Πλ.	80/60	80/40	GCP όλα πλην 3, 23, 34, 35, 37, 48, 59, 41	8.488	6.177	17.590	20.484	1.103	1.360	1.911	2.592	1.190	1.180	4.092	4.422	

## UAV Phantom 4 proV2 & UAV Parrot Anafi

### **Επίλυση αεροτριγωνισμού από GPS UAV:**

Στις επιλύσεις των πτήσεων με τα UAV Phantom 4 proV2 και Parrot Anafi (pixel size 1.3 cm – 1.2 cm, αντίστοιχα), τα GPS (πλοήγησης) δεν είναι σε θέση να δώσουν ακριβή αποτελέσματα. Οι επιλύσεις διπλής διεύθυνσης δίνουν οριζοντιογραφικό σφάλμα RMS ~ 70 cm και υψομετρικό σφάλμα αρκετών μέτρων (πρόβλημα μετασχηματισμού datum).

Εξαιρέση αποτέλεσε η επίλυση 60 (Parrot Anafi), όπου στην περίπτωση διπλής διεύθυνσης παρατηρήθηκε αύξηση του οριζοντιογραφικού RMS. Αξιοσημείωτο είναι ότι με το διπλό strip το RMS κατά τον άξονα Z έπεσε στα 41.085cm.

### Πίνακας 98

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού (GPS UAV) διπλής διεύθυνσης, κατακόρυφες εικόνες*

Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error
74.514	75.879	41.085	114.008

### **Επίλυση αεροτριγωνισμού από GCP :**

Από τις επιλύσεις του αεροτριγωνισμού με την συμμετοχή 6 GCP, σε πτήσεις διπλής διεύθυνσης και μόνο με κατακόρυφες εικόνες, παρατηρήθηκε ότι το UAV Parrot Anafi έδωσε καλύτερα αποτελέσματα συνολικά (75% μικρότερα RMS οριζοντιογραφικά, 50% μικρότερο RMS υψομετρικά), όπως φαίνεται στους δύο επόμενους πίνακες.

Πίνακας 99

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού 6 (GCP) διπλής διεύθυνσης, κατακόρυφες εικόνες, Phantom Pro V2 (pixel size 1.3 cm)*

Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error
8.160	8.691	21.383	24.483

Πίνακας 100

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού 6 (GCP) διπλής διεύθυνσης, κατακόρυφες εικόνες, Parrot Anafi (pixel size 1.2 cm)*

Check Points Error (cm)			
X error	Y error	Z error	Total error
1.941	2.120	11.156	11.520

Όσον αφορά το Phantom 4 pro V2, τα RMS μειώνονται, αντίστοιχα, ακόμα περισσότερο με τη συμμετοχή πλάγιων εικόνων σε συνδυασμό με πτήσεις διπλής διεύθυνσης.

Πίνακας 101

*Αποτελέσματα επίλυσης αεροτριγωνισμού 6 (GCP) διπλής διεύθυνσης, κατακόρυφες και πλάγιες εικόνες, Phantom Pro V2 (pixel size 1.3 cm)*

Check Points Error (m)			
X error	Y error	Z error	Total error
1.406	1.373	2.866	3.475

Πίνακας 102

*Αθροιστικά αποτελέσματα επιλύσεων πτήσεων Phantom 4 pro V2 με προσδιορισμό εξωτερικού προσανατολισμού από GPS UAV*

N	Π.	ΥΨ. (m)	ΚΑΤ.	ΘΕΣΗ CAM	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Camera Location Error (cm)				GCP Error (cm)				Check Points Error (cm)				ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΩΝ
					ΜΗΚ.	ΠΛ.	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	
44	13	40	N-S	Κατ.	80	80	0.597	0.396	2.026	2.149	-	-	-	-	88.525	4.673	8153.570	8154.050	UAV GPS (10.00m), GCP - CP (0.05m)
45	14	40	E-W	Κατ.	80	80	0.174	0.174	0.528	0.643	-	-	-	-	58.207	48.388	7908.150	7908.510	
46	13-14	40	N-S-E- W	Κατ.	80	80	0.458	0.422	2.070	2.161	-	-	-	-	74.650	24.416	8026.560	8026.940	
47	13-14- 15	40	N-S-E- W	Κατ.	80	80	0.443	0.430	2.085	2.174	-	-	-	-	79.369	29.775	8001.930	8002.380	

Πίνακας 103

*Αθροιστικά αποτελέσματα επιλύσεων πτήσεων Phantom 4 pro V2 με προσδιορισμό εξωτερικού προσανατολισμού από φωτοσταθερά*

N	Π.	ΥΨ.	ΚΑΤ.	ΘΕΣ Η CAM	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		GCP	Camera Location Error (cm)				GCP Error (cm)				Check Points Error (cm)				ΣΥΝΤΕ-ΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΩΝ
					ΜΗΚ.	ΠΛ.		X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	
48	13	40	N-S	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	0.815	0.459	81.102	81.107	5.638	6.348	11.247	14.092	4.161	4.719	12.275	13.793	UAV GPS (10.00m), GCP - CP (0.05m)
49	13	40	N-S	Κατ.	80	80	GCP Όλα (65)	0.802	0.461	81.263	81.268	1.225	1.532	2.477	3.160	-	-	-	-	
50	14	40	E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	0.431	0.727	78.943	78.947	4.328	5.760	8.833	11.399	3.340	4.205	11.219	12.438	
51	14	40	E-W	Κατ.	80	80	GCP Όλα (65)	0.423	0.744	79.085	79.090	1.250	1.607	2.955	3.589	-	-	-	-	
52	13-14	40	N-S-E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	0.680	0.592	79.958	79.963	10.301	11.526	19.849	25.158	8.161	8.692	21.384	24.483	
53	13-14	40	N-S-E-W	Κατ.	80	80	GCP Όλα (65)	0.658	0.600	80.249	80.254	1.513	1.977	2.787	3.737	-	-	-	-	
54	13-14-15	40	N-S-E-W	Κατ., Πλ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	0.678	0.636	80.023	80.028	0.691	0.838	0.648	1.264	1.406	1.373	2.866	3.475	
55	13-14-15	40	N-S-E-W	Κατ., Πλ.	80	80	GCP Όλα (65)	0.671	0.641	80.032	80.038	1.063	1.144	0.962	1.834	-	-	-	-	

Πίνακας 104

*Αθροιστικά αποτελέσματα επιλύσεων πτήσεων Parrot Anafi με προσδιορισμό εξωτερικού προσανατολισμού από GPS UAV*

No	Πτησ.	ΥΨ. (m)	ΚΑΤ.	ΘΕΣΗ CAM	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		Camera Location Error (cm)				GCP Error (cm)				Check Points Error (cm)				ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΩΝ
					ΜΗΚ.	ΠΛ.	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	
56	11	40	N-S	Κατ.	80	80	0.495	0.966	0.372	1.148	-	-	-	-	49.040	83.276	2989.660	2991.220	UAV GPS (10.00m), GCP - CP (0.05m)
58	12	40	E-W	Κατ.	80	80	0.879	0.388	0.360	1.026	-	-	-	-	12.501	20.819	2612.540	2612.660	
60	11-12	40	N-S-E-W	Κατ.	80	80	0.745	0.759	0.411	1.140	-	-	-	-	74.514	75.879	41.085	114.008	

Πίνακας 105

*Αθροιστικά αποτελέσματα επιλύσεων πτήσεων Parrot Anafi με προσδιορισμό εξωτερικού προσανατολισμού από φωτοσταθερά*

No	Πτησ.	ΥΨ. (m)	ΚΑΤ.	ΘΕΣΗ CAM	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ		GCP	Camera Location Error (cm)				GCP Error (cm)				Check Points Error (cm)				ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΩΝ
					ΜΗΚ.	ΠΛ.		X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	X error	Y error	Z error	Total error	
57	11	40	N-S	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	0.905	1.440	22.880	22.943	7.207	5.087	8.4741	12.232	5.372	5.102	15.129	16.845	UAV GPS (10.00m), GCP - CP (0.05m)
59	12	40	E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	0.999	0.688	22.502	22.534	5.604	5.264	7.976	11.079	5.921	3.487	16.339	17.725	
61	11-12	40	N-S-E-W	Κατ.	80	80	GCP 1-9-34-46-60-66	0.764	0.958	27.959	27.986	1.829	3.150	7.184	8.055	1.941	2.120	11.156	11.520	



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1. Συμπεράσματα

Είναι γνωστό ότι η συμμετοχή ενός ικανοποιητικού αριθμού φωτοσταθερών σημείων (GCP) κατά τον αεροτριγωνισμό ενός μπλοκ επικαλυπτόμενων εικόνων μπορεί να προσδιορίσει τον εξωτερικό τους προσανατολισμό με μεγάλη ακρίβεια, εξασφαλίζοντας έτσι μια αξιόπιστη τρισδιάστατη ανακατασκευή του 3D χώρου. Παρ' όλα αυτά, η τοπογραφική μέτρηση των φωτοσταθερών σημείων στο έδαφος αποτελεί μια δαπανηρή, χρονοβόρα καθώς επίσης και πολλές φορές πρακτικά ανέφικτη διαδικασία (έλλειψη πρόσβασης στην περιοχή, επείγουσα ανάγκη αποτύπωσης). Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η επιτευχθείσα ακρίβεια του αεροτριγωνισμού σε μπλοκ εικόνων που λαμβάνονται από UAV όταν χρησιμοποιούνται ως παρατηρήσεις οι μετρήσεις των θέσεων του UAV από δέκτη GPS μονής και διπλής συχνότητας.

Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά UAV. Σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν 15 σχέδια πτήσης, εκ των οποίων 10 πτήσεις υλοποιήθηκαν με το Air Surveyor 4, 3 με το Phantom 4 pro V2 και 2 με το Parrot Anafi. Συνολικά από τις 15 πτήσεις προέκυψαν 61 διαφορετικές επιλύσεις, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με τις εξής παραμέτρους:

- Τύπος UAV
- Πτήσεις μονής / διπλής διεύθυνσης.
- Θέση κάμερας (κατακόρυφες εικόνες, πλάγιες εικόνες 30°)
- Επίλυση αεροτριγωνισμού με τη χρήση φωτοσταθερών σημείων
- Επίλυση αεροτριγωνισμού με τις θέσεις λήψης των εικόνων.

Από τα αποτελέσματα της έρευνας, διαπιστώνεται ότι η επίλυση του αεροτριγωνισμού χωρίς την συμμετοχή φωτοσταθερών σημείων αλλά με γνωστές τις θέσεις λήψης των εικόνων από διπλόσυχο GPS (χρήση του UAV Air Surveyor 4) μπορεί να δώσει αποτελέσματα με υψηλή οριζοντιογραφική ακρίβεια (2 cm – 4 cm) παρόμοια με εκείνη των επιλύσεων του αεροτριγωνισμού μέσω φωτοσταθερών. Όσον αφορά την υψομετρία, τα σφάλματα προκύπτουν μεγαλύτερα (11 cm – 16 cm), εντούτοις αρκετά ικανοποιητικά για πολλές εφαρμογές.

Στις επιλύσεις των μπλοκ των UAV Phantom 4 proV2 και Parrot Anafi, οι παρατηρήσεις των θέσεων λήψης από τα δύο μονόσυχα GPS δεν ήταν σε θέση να δώσουν ακριβή αποτελέσματα ακόμα και στις επιλύσεις όπου συμμετείχαν οι πτήσεις διπλής διεύθυνσης με κατακόρυφες ή/και πλάγιες φωτογραφίες.

Παράλληλα, επιβεβαιώνονται οι διαπιστώσεις της φωτογραμμετρικής βιβλιογραφίας κατά τις οποίες η χρήση λωρίδων σε εγκάρσιες διευθύνσεις βελτιώνει την οριζοντιογραφική ακρίβεια έναντι των λωρίδων απλής διεύθυνσης. Ιδιαίτερος μάλιστα όταν αυτές χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με πλάγιες λήψεις οπότε βελτιώνεται και η υψομετρική ακρίβεια.

#### 4.2. Προτάσεις

Η παρούσα εργασία έχει εστιάσει στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του αεροτριγωνισμού με χρήση παρατηρήσεων από δέκτες (μονόσυχνους και διπλόσυχνους) GPS, με και χωρίς χρήση φωτοσταθερών σημείων, χωρίς όμως να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στο πλήθος και την κατανομή των σημείων αυτών στο χώρο. Η μελέτη αυτή έχει μεγάλο πρακτικό (εκτός από επιστημονικό) ενδιαφέρον για τις πάσης φύσεως φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις που υλοποιούνται μέσω UAV και έχουν υψηλές απαιτήσεις σε οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια.

Επίσης, κατά την μελλοντική συνέχιση της έρευνας εμφανίζεται σημαντική η μελέτη της επίδρασης των μετρήσεων πραγματικού χρόνου από αδρανειακό σύστημα IMU σε συνδυασμό με τις μετρήσεις από δέκτη GPS στο UAV. Αξίζει επίσης να διερευνηθεί περαιτέρω το κατά πόσον είναι εφικτή – και αν ναι, υπό ποιες προϋποθέσεις – η απευθείας χρήση των μετρήσεων του συστήματος GPS/IMU για τον εξωτερικό προσανατολισμό των εικόνων, χωρίς την μεσολάβηση του αεροτριγωνισμού.

Τέλος, προτείνεται να αξιολογηθεί η χρήση πανοραμικών/σφαιρικών εικόνων σε συνδυασμό με μετρήσεις από GPS, για να διαπιστωθεί αν η κατανομή σημείων σε όλες τις διευθύνσεις του χώρου μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση της ακρίβειας επίλυσης των προσανατολισμών, και ειδικά της εκτίμησης των στροφών, όπως καταλήγει στην έρευνά της η Κυπαρίσση (2018).

## Βιβλιογραφία

- Ackermann, F. (1996). Experimental tests on fast ambiguity solutions for airborne kinematic GPS positioning. In *ISPRS International Symposium*, 31, 51-56.
- Anurogo, W., Lubis, M. Z., Khoirunnisa, H., Hanafi, D. S. P. A., Rizki, F., Surya, G., Situmorang, A. D. L., Timbang, D., Sihombing, P. N., Lukitasari, C. A., & Dewanti, N. A. (2017). A simple aerial photogrammetric mapping system overview and image acquisition using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Journal of Applied Geospatial Information*, 1(1), 11-18.
- Carbonneau, P. E. & Dietrich, J. T. (2016). Cost-effective non-metric photogrammetry from consumer-grade sUAS: implications for direct georeferencing of structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Process and Landforms*, 42(3), 473-486. doi: 10.1002/esp.4012
- Γεωργόπουλος, Α. (χχ). *Φωτογραμμετρία II. Αεροτριγωνισμός & Ακρίβειες*. Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα από τη Μονάδα Υλοποίησης του ΕΜΠ. Ανακτήθηκε από <https://docplayer.gr/47969758-Fotogrammetria-ii-aerotrigonismos-akriveies-andreas-georgopoylos-kathigitis-e-m-p.html>.
- Colomina, I. & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97. doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013
- Δουκαρή, Μ. (2015). *Διερεύνηση Μεθόδων Απεικόνισης Τρισδιάστατης Γεωχωρικής Πληροφορίας, Μικρής Κλίμακας, με Αξιοποίηση Μεθόδων UAV και Τεχνολογιών Υπολογιστικής Όρασης*. Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Eisenbeiß, H. (2009). *UAV Photogrammetry*. Διδακτορική Διατριβή. ETH Zurich.
- Engineers, U. A. C. O. (2002). Engineering and Design: Photogrammetric Mapping. *Engineer Manual*, 1110, 2-1100.

- Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L. & Carbonneau, P. E (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38, 421–430. doi: 10.1002/esp.3366
- Gabrlik, P. (2015). The use of direct georeferencing in aerial photogrammetry with Micro UAV. *IFAC-PapersOnLine*, 48(4), doi: 380-385. 10.1016/j.ifacol.2015.07.064
- Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O’ Connor, J. & Rosette, J. (2019). Structure from Motion Photogrammetry in forestry: a review. *Current Forestry Reports*, 5, 155-168. doi.org/10.1007/s40725-019-00094-3
- James, M. R., & Robson, S. (2012). Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 117(F03017), 1-17. doi: 10.1029/2011JF002289
- James, M. R. & Robson, S. (2014). Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 1413–1420. doi: 10.1002/esp.3609
- Jaud, M., Bertin, S., Beauverger, M., Augereau, E. & Delacourt, C. (2020). RTK GNSS-assisted terrestrial SfM photogrammetry without GCP: Application to coastal morphodynamics monitoring. *Remote Sensing*, 12(11), 1889, 1-15. doi:10.3390/rs12111889
- Καρράς, Γ. Η. (1992). *Η Τοπογραφία Moiré ως μέθοδος της Φωτογραμμετρίας Μικρών Αποστάσεων στη Βιοστερεομετρία*. Διδακτορική Διατριβή. ΤΑΤΜ/ΕΜΠ.
- Kraus, K. (1993). *Photogrammetry: Fundamentals and Standard Processes*, 4<sup>th</sup> ed., Vol. 1, Dümmler, Bonn.

- Kraus, K. (2011). *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*, 2<sup>nd</sup> edition, Walter de Gruyter, Berlin and New York.
- Κυπαρίσση, Σ. (2018). *Σχετικός Προσανατολισμός Ζεύγους Σφαιρικών Εικόνων: Υλοποίηση και Αξιολόγηση Διαφορετικών Συναρτήσεων Σφάλματος*. Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- Lembicz, B. W. (2006). Minimizing ground control when GPS photogrammetry isn't practical. In *ASPRS 2006 Annual Conference*, pp. 1-5.
- Lo, C. F., Tsai, M. L., Chiang, K. W., Chu, C. H., Tsai, G. J., Cheng, C. K., El-Sheimy, N. & Ayman, H. (2015). The direct georeferencing application and performance analysis of UAV helicopter in GCP-Free area. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 151-157. doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-151-2015
- Mancini, F., Dubbini, M., Gattelli, M., Stecchi, F., Fabbri, S. & Gabbianelli, G. (2013). Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: the structure from motion approach on coastal environments. *Remote Sensing*, 5(12), 6880-6898. doi:10.3390/rs5126880
- Mian, O., Lutes, J., Lipa, G., Hutton, J. J., Gavelle, E. & Borghini, S. (2015). Direct georeferencing on small unmanned aerial platforms for improved reliability and accuracy of mapping without the need for ground control points. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(1), 397-402. doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-397-2015.
- Milanlak, A. & Majdabadi, M. Gh. (2005). Optimal GCPs with onboard GPS. *Research Institute of the National Cartographic Center, Iran*.
- Mlambo, R., Woodhouse, I. H., Gerard, F. & Anderson, K. (2017). Structure from

motion (SfM) Photogrammetry with drone data: a low cost method for monitoring greenhouse gas emissions from forests in developing countries. *Forests*, 8(68), 1-20. doi:10.3390/f8030068

Μουσιάδης, Α. (2015). Στοιχεία Φωτογραμμετρίας - Φωτοερμηνείας. Στο Κ.

Περάκης, Α. Μουσιάδης & Ι. Φαρασλής (Εκδ.). *Η Τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες. Θεωρία, Μέθοδοι και Εφαρμογές* (σσ. 25-48). Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.

Nasrullah, A. R. (2016). *Systematic Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Derived Product Quality*. M.Sc. Thesis, University of Twente.

Oniga, V. E., Breaban, A. I., Pfeifer, N., & Chirila, C. (2020). Determining the Suitable number of ground control points for UAS images georeferencing by varying number and spatial distribution. *Remote Sensing*, 12(5), 876, 1-23. doi:10.3390/rs12050876

Πατιάς, Π. (1991). *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Πέτσα, Ε. (2000). *Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας*. ΤΕΙ Αθήνας, Τμήμα Τοπογραφίας.

Πέτσα, Ε. (2010). *Αεροτριγωνισμός*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Μαθήματος Φωτογραμμετρία ΙΙ, Αθήνα: ΤΕΙ Αθήνας, Τμήμα Τοπογραφίας.

Petsa, E. & Grammatikopoulos, L. (2016). *Photogrammetry & Computer Vision*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αθήνα: Κατεύθυνση Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Γεωχωρικές Τεχνολογίες».

Przybilla, H. J., Bäumker, M., Luhmann, T., Hastedt, H. & Eilers, M. (2020).

Interaction between direct georeferencing, control point configuration and camera self-calibration for RTK-based UAV photogrammetry. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*

*Sciences*, 43, 485-492. doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-485-2020

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1/C22), 25-31.

Rizaldy, A. & Firdaus, W. (2012). Direct georeferencing: A new standard in photogrammetry for high accuracy mapping. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 5-9.

Şeker, D. Z. & Duran, Z. (2015). Terrestrial & Numerical Photogrammetry. Retrieved 10.09.2015.

Stentoumis, C., Grammatikopoulos, L., Kalisperakis, I., Karras, G. & Petsa, E. (2015). Stereo matching based on census transformation of image gradients. In *Videometrics, Range Imaging, and Applications XIII*, 9528, pp. 1-11.

Χατζόπουλος, Ι. Ν. (2015). *Εισαγωγή στην Τοπογραφία & ΓΠΣ*. Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα από τη Μονάδα Υλοποίησης του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Ανακτήθηκε από <https://eclass.aegean.gr/modules/document/file.php/ENV103/%CE%9511/11-Photogrammetry.pdf>.

Ziemann, H. & El Hakim, S.F. (1982). On the definition of lens distortion reference data with odd power polynomials. *The International Archives of Photogrammetry*, 24 (1), 123-130.

Παραρτήματα

**Παράρτημα Τεχνικών Προδιαγραφών Εξοπλισμού**

# Leica GS07

## GNSS PERFORMANCE

GNSS Technology	Leica RTKplus	Adaptive on-the-fly satellite selection
Leica SmartCheck	Continuous check of RTK solution	Reliability 99.95%
Signal tracking	SmartTrack	GPS (L1, L2, L2C, L5), Glonass (L1, L2, L3 <sup>1</sup> ), BeiDou (B1, B2, B3 <sup>1</sup> ), Galileo (E1, E5a, E5b, Alt-BOC, E6 <sup>2</sup> ), QZSS (L1, L2, L5, LEX <sup>3</sup> ), NavIC L5 <sup>4</sup> , SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN)
Number of channels		320 hardware channels

## MEASUREMENT PERFORMANCE & ACCURACY<sup>1</sup>

Time for initialisation		Typically 6 s
Real-time kinematic (Compliant to ISO17123-8 standard)	Single baseline Network RTK	Hz 10 mm + 1 ppm / V 20 mm + 1 ppm Hz 10 mm + 0.5 ppm / V 20 mm + 0.5 ppm
Post processing	Static (phase) with long observations Static and rapid static (phase)	Hz 3 mm + 0.5 ppm / V 6 mm + 0.5 ppm Hz 5 mm + 0.5 ppm / V 10 mm + 0.5 ppm
Code differential	DGPS / RTCM	Typically 25 cm

## COMMUNICATIONS

Communication ports	Lemo Bluetooth®	USB and RS232 serial Bluetooth v2.00 + EDR, class 2
Communication protocols	RTK data protocols Network RTK	Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM VRS, FKP, IMAx, MAC (RTCM SC 104)
Built-in data links <sup>4</sup>	3.75G GSM / UMTS / CDMA phone modem Radio modem	Fully integrated, internal antenna Fully integrated, receive, external antenna 403 - 473 MHz, up to 28800 bps over air
External data links		Bluetooth GSM / GPRS / UMTS / LTE / CDMA phone modem

## GENERAL

Field controller and software	Leica Captivate software	Leica CS20 field controller
User interface	Buttons and LEDs	On / Off button, 3 status LEDs
Data recording	Storage <sup>5</sup> Data type and recording rate	Removable SD card, 8 GB Leica GNSS raw data and RINEX data at up to 5 Hz
Power management	Internal power supply External power supply Operation time <sup>6</sup>	Exchangeable Li-ion battery (2.6 Ah / 7.4 V) Nominal 12 V DC, range 10.5 - 28 V DC 8 h GNSS 7 h receiving RTK data with CS modem
Weight and dimensions	Weight Diameter x Height	0.7 kg / 2.7 kg standard RTK rover setup on pole 186 mm x 71 mm
Environmental	Temperature Drop Proof against water, sand and dust  Vibration Humidity Functional shock	-40 to 65°C operating, -40 to 80°C storage Withstands topple over from a 2 m survey pole onto hard surfaces IP66 / IP68 (IEC60529 / MIL STD 810G CHG-1 510.6 I / MIL STD 810G CHG-1 506.6 II / MIL STD 810G CHG-1 512.6 I) Withstands strong vibration (ISO9022-36-05 / MIL STD 810G 514.6 Cat.24) 95% (ISO9022-13-06 / ISO9022-12-04 / MIL STD 810G CHG-1 507.6 II) 40 g / 15 to 23 msec (MIL STD 810G 516.6 I)

## LEICA GS07 – GNSS SMART ANTENNA

### SUPPORTED GNSS SYSTEMS

Dual-frequency / Multi-frequency

✓ / •

GPS / GLONASS / Galileo / BeiDou / QZSS

✓ / • / • / • / ✓

### RTK PERFORMANCE

DGPS/RTCM, RTK Unlimited, Network RTK

✓

### POSITION UPDATE & DATA RECORDING

5 Hz positioning

✓

Raw data / RINEX data logging

✓ / ✓

### ADDITIONAL FEATURES<sup>7</sup>

3.75G GSM / GPRS / UMTS / CDMA phone modem

•

UHF radio modem (receive only)

•

✓ Standard • Optional

<sup>1</sup> Measurement precision, accuracy, reliability and time for initialisation are dependent upon various factors including number of satellites, observation time, atmospheric conditions, multipath etc. Figures quoted assume normal to favourable conditions. A full BeiDou and Galileo constellation will further increase measurement performance and accuracy.

<sup>2</sup> Glonass L3, BeiDou B3, QZSS LEX and Galileo E6 will be provided through future firmware upgrade.

<sup>3</sup> Support of NavIC L5 is incorporated and will be provided through future firmware upgrade.

<sup>4</sup> Depending on the used CS field controller and radio modem.

<sup>5</sup> Data is recorded to the CS field controller.

<sup>6</sup> Might vary with temperature, age of battery, transmit power of data link device.



# Leica FlexLine TS10



Leica FlexLine TS10

ANGULAR MEASUREMENT		
Accuracy HZ and V	Absolute, continuous, diametrical <sup>1</sup>	1" / 2" / 3" / 5"
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Display resolution: 0.1" (0.1 mgon)</li> <li>Quadruple axis compensation</li> <li>Compensator setting accuracy<sup>2</sup>: 0.5" / 1" / 1.5"</li> <li>Compensator range: +/- 4"</li> <li>Electronic level resolution: 2"</li> <li>Circular level sensitivity: 6 / 2 mm</li> </ul>	✓
DISTANCE MEASUREMENT		
Range	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prism (GPR1, GPH1P): 1.5 m to 3.500 m</li> <li>Prism GPR1 (Long Range mode) &gt; 10.000 m</li> </ul>	✓
	Non-Prism / Any surface	✓
	<ul style="list-style-type: none"> <li>R500<sup>3</sup></li> <li>R1000<sup>4</sup></li> </ul>	•
Accuracy / Measurement time	<b>Single prism</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Precise+ / Once: 1 mm + 1.5 ppm (typical 2.4 s)</li> <li>Once&amp;Fast: 2 mm + 1.5 ppm (typical 2 s)</li> <li>Continuously: 3 mm + 1.5 ppm (typical &lt; 0.15 s)</li> <li>Averaging: 1 mm + 1.5 ppm</li> <li>Long Range mode / &gt; 4 km: 5 mm + 2 ppm (typical 2.5 s)</li> </ul>	✓
	Non-Prism / Any surface	✓
	<ul style="list-style-type: none"> <li>0 m - 500 m: 2 mm + 2 ppm (typical 3 - 6 s)</li> <li>&gt; 500 m: 4 mm + 2 ppm (typical 3 - 6 s)</li> </ul>	✓
Laser dot size	<ul style="list-style-type: none"> <li>At 30 m: 7 mm x 10 mm</li> <li>At 50 m: 8 mm x 20 mm</li> <li>At 100 m: 16 mm x 25 mm</li> </ul>	✓
Telescope	<ul style="list-style-type: none"> <li>Magnification: 30x</li> <li>Resolving power: 3"</li> <li>Focusing range: 1.55 m / 5.08 ft to infinity</li> <li>Field of view: 1°30' / 1.66 gon / 2.7 m at 100 m</li> </ul>	✓
GENERAL		
Display and keyboard	<ul style="list-style-type: none"> <li>5" (inch), 800 x 480 pixels WVGA, colour and touch</li> <li>25 keys<sup>5a</sup></li> <li>37 keys with function keys<sup>5b</sup></li> <li>2<sup>nd</sup> keyboard</li> <li>Key illumination</li> </ul>	✓
Operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Endless drives for HZ &amp; V</li> <li>Trigger-Key: user definable with 2 functions</li> </ul>	✓
Power management	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exchangeable Lithium-Ion battery<sup>6</sup></li> <li>Operating time with GEB361</li> <li>Operating time with GEB331</li> </ul>	up to 18 h up to 9 h
	<b>Battery charging time with</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>GKL341 charger for GEB361 / GEB331</li> <li>GKL311 charger for GEB361 / GEB331</li> </ul>	3 h 30 min / 3 h 6 h 30 min / 3 h 30 min
	<b>External supply voltage</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nominal voltage 13.0 V DC &amp; 16 W max</li> </ul>	✓
Data storage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Internal memory: 2 GB Flash</li> <li>Memory card: SD card 1 GB or 8 GB</li> <li>USB memory stick: 1 GB</li> <li>TI OMAP4430 1GHz Dual-core ARM® Cortex™ A9 MPCore™</li> <li>Operating system – Windows EC7</li> </ul>	✓
Processor	<ul style="list-style-type: none"> <li>RS232<sup>7</sup>, USB device</li> <li>Bluetooth®<sup>8</sup>, WLAN<sup>9</sup></li> </ul>	✓
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mobile Data sidecover: LTE-Modem for internet access</li> </ul>	•
Guide Light (EGL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Working range: 5 m to 150 m</li> <li>Position accuracy: 5 cm at 100 m</li> <li>Wavelength red / orange: 617 nm / 593 nm</li> </ul>	(R1000)
Laser plummet (Laserclass 2)	<b>Accuracy</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Plumb line deviation: 1.5 mm at 1.5 m instrument height</li> <li>Diameter of laser point: 2.5 mm at 1.5 m instrument height</li> </ul>	✓
AutoHeight module for automatic instrument height measurement (Laserclass 2)	<b>Accuracy</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Distance accuracy: 1.0 mm (1 Sigma)</li> <li>Distance range: 0.7 m to 2.7 m</li> </ul>	✓
Weight	<ul style="list-style-type: none"> <li>Working temperature range: -20°C to +50°C</li> </ul>	4.4 - 4.9 kg
Environmental specifications <sup>10</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arctic version: -35°C to +50°C</li> <li>Dust / Water (IEC 60529) / Humidity: IP66 / 95%, non-condensing</li> <li>Military Standard 810G, Method 506.5</li> <li>5 megapixel CMOS sensor</li> <li>Overview camera with field of view 19.4°</li> </ul>	✓
Imaging		•

**Legend:**

- 1" (0.3 mgon), 2" (0.6 mgon), 3" (1 mgon), 5" (1.5 mgon)
- Angular accuracy / Compensator setting accuracy: 1" (0.5" (0.2 mgon), 2" (0.5" (0.2 mgon), 3" (1.0" (0.3 mgon), 5" (1.5" (0.5 mgon)
3. R500: Kodak gray 90% reflective (1.5 m to >500 m), Kodak gray 18% reflective (1.5 m to >200 m)
4. R1000: Kodak gray 90% reflective (1.5 m to >1000 m), Kodak gray 18% reflective (1.5 m to >500 m)
5. (a) Face I standard, face II optional, (b) face I optional, face II optional
6. Distance/angle measurement every 30 seconds
7. 5 PIN Lens-0 for power, communication and data transfer
8. For communication and data transfer
9. For internet access, communication and data transfer, WLAN range up to 200 m
10. Storage temperature: -40°C to +70°C



Laser radiation, avoid direct eye exposure.  
Class 3R laser product in accordance with IEC 60825-1:2014.

The Bluetooth® trademarks are owned by Bluetooth SIG, Inc. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation. Other trademarks and trade names are those of their respective owners. Copyright Leica Geosystems AG, 9435 Heerbrugg, Switzerland. All rights reserved. Printed in Switzerland - 2019. Leica Geosystems AG is part of Hexagon AB, 876733en - 11.19

**Leica Geosystems AG**  
Heinrich-Wild-Strasse  
9435 Heerbrugg, Switzerland  
+41 71 727 31 31



**Integrate with LOC8 - Lock & Locate**  
For more information visit: [leica-geosystems.com/LOC8](http://leica-geosystems.com/LOC8)

- when it has to be right



## UAV DJI Phantom 4 pro V2 της εταιρείας DJI

Weight (Battery&PropellersIncluded)	1388 g
DiagonalSize (PropellersExcluded)	350 mm
MaxAscentSpeed	S-mode: 6 m/s P-mode: 5 m/s
MaxDescentSpeed	S-mode: 4 m/s P-mode: 3 m/s
MaxSpeed	S-mode: 45 mph (72 kph) A-mode: 36 mph (58 kph) P-mode: 31 mph (50 kph)
MaxTiltAngle	S-mode: 42° A-mode: 35° P-mode: 25°
MaxAngularSpeed	S-mode: 250°/s A-mode: 150°/s
Max Service Ceiling Above Sea Level	19685 feet (6000 m)
MaxWindSpeedResistance	10 m/s
MaxFlightTime	Approx. 30 minutes
OperatingTemperatureRange	32° to 104°F (0° to 40°C)
SatellitePositioning Systems	GPS/GLONASS
Hover Accuracy Range	Vertical: ±0.1 m (with Vision Positioning) ±0.5 m (with GPS Positioning) Horizontal: ±0.3 m (with Vision Positioning) ±1.5 m (with GPS Positioning)
VisionSystem	
VisionSystem	Forward Vision System Backward Vision System Downward Vision System
VelocityRange	≤31 mph (50 kph) at 6.6 ft (2 m) above ground
AltitudeRange	0 - 33 feet (0 - 10 m)
OperatingRange	0 - 33 feet (0 - 10 m)
ObstacleSensoryRange	2 - 98 feet (0.7 - 30 m)

FOV	Forward: 60°(Horizontal), ±27°(Vertical) Backward: 60°(Horizontal), ±27°(Vertical) Downward: 70°(Front and Rear), 50°(Left and Right)
MeasuringFrequency	Forward: 10 Hz Backward: 10 Hz Downward: 20 Hz
OperatingEnvironment	Surface with clear pattern and adequate lighting (lux>15)
Camera	
Sensor	1'' CMOS Effective pixels: 20M
Lens	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 - f/11 auto focus at 1 m - ∞
ISO Range	Video: 100 - 3200 (Auto) 100 - 6400 (Manual) Photo: 100 - 3200 (Auto) 100- 12800 (Manual)
MechanicalShutterSpeed	8 - 1/2000 s
ElectronicShutterSpeed	8 - 1/8000 s
ImageSize	3:2 Aspect Ratio: 5472 × 3648 4:3 Aspect Ratio: 4864 × 3648 16:9 Aspect Ratio: 5472 × 3078
PIV ImageSize	4096×2160(4096×2160 24/25/30/48/50p) 3840×2160(3840×2160 24/25/30/48/50/60p) 2720×1530(2720×1530 24/25/30/48/50/60p) 1920×1080(1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p) 1280×720(1280×720 24/25/30/48/50/60/120p)
StillPhotographyModes	Single Shot Burst Shooting: 3/5/7/10/14 frames Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 bracketed frames at 0.7 EV Bias Interval: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
VideoRecordingModes	H.265 C4K:4096×2160 24/25/30p @100Mbps 4K:3840×2160 24/25/30p @100Mbps 2.7K:2720×1530 24/25/30p @65Mbps 2.7K:2720×1530 48/50/60p @80Mbps FHD:1920×1080 24/25/30p @50Mbps

	<p>FHD:1920×1080 48/50/60p @65Mbps  FHD:1920×1080 120p @100Mbps  HD:1280×720 24/25/30p @25Mbps  HD:1280×720 48/50/60p @35Mbps  HD:1280×720 120p @60Mbps</p> <p>H.264  C4K:4096×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps  4K:3840×2160 24/25/30/48/50/60p @100Mbps  2.7K:2720×1530 24/25/30p @80Mbps  2.7K:2720×1530 48/50/60p @100Mbps  FHD:1920×1080 24/25/30p @60Mbps  FHD:1920×1080 48/50/60 @80Mbps  FHD:1920×1080 120p @100Mbps  HD:1280×720 24/25/30p @30Mbps  HD:1280×720 48/50/60p @45Mbps  HD:1280×720 120p @80Mbps</p>
MaxVideoBitrate	100 Mbps
SupportedFile Systems	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Photo	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Video	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
Supported SD Cards	Micro SD Max Capacity: 128GB Write speed ≥15MB/s, Class 10 or UHS-1 rating required
OperatingTemperatureRange	32° to 104°F (0° to 40°C)
Charger	
Voltage	17.4 V
RatedPower	100 W
App / Live View	
MobileApp	DJI GO 4
Live ViewWorkingFrequency	2.4 GHz ISM, 5.8 GHz ISM
Live View Quality	720P @ 30fps
Latency	Phantom 4 Pro: 220 ms (depending on conditions and mobile device) Phantom 4 Pro + : 160 - 180 ms
Gimbal	
Stabilization	3-axis (pitch, roll, yaw)

ControllableRange	Pitch: -90° to +30°
MaxControllableAngularSpeed	Pitch: 90°/s
AngularVibrationRange	±0.02°
InfraredSensingSystem	
ObstacleSensoryRange	0.6 - 23 feet (0.2 - 7 m)
FOV	70° (Horizontal), ±10° (Vertical)
MeasuringFrequency	10 Hz
OperatingEnvironment	Surface with diffuse reflection material, and reflectivity > 8% (such as wall, trees, humans, etc.)
RemoteController	
OperatingFrequency	2.400 - 2.483 GHz and 5.725 - 5.825 GHz
MaxTransmissionDistance	2.400 - 2.483 GHz (Unobstructed, free of interference) FCC: 4.3 mi (7 km) CE: 2.2 mi (3.5 km) SRRC: 2.5 mi (4 km) 5.725 - 5.825 GHz (Unobstructed, free of interference) FCC: 4.3 mi (7 km) CE: 1.2 mi (2 km) SRRC: 3.1 mi (5 km)
OperatingTemperatureRange	32° to 104°F (0° to 40°C)
Battery	6000 mAhLiPo 2S
TransmitterPower (EIRP)	2.400 - 2.483 GHz FCC: 26 dBm CE: 17 dBm SRRC: 20 dBm MIC: 17 dBm 5.725 - 5.825 GHz FCC: 28 dBm CE: 14 dBm SRRC: 20 dBm MIC: -
OperatingCurrent/Voltage	1.2 A@7.4 V
VideoOutputPort	GL300E: HDMI GL300F: USB
MobileDeviceHolder	GL300E: Built-in display device (5.5 inch screen, 1920×1080, 1000 cd/m <sup>2</sup> , Android system, 4 GB

RAM+ 16 GB ROM)  
GL300F: Tablets and smart phones

IntelligentFlightBattery

Capacity	5870 mAh
Voltage	15.2 V
BatteryType	LiPo 4S
Energy	89.2 Wh
NetWeight	468 g
ChargingTemperatureRange	41° to 104°F (5° to 40°C)
MaxChargingPower	160 W

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### DRONE

- Size folded: 244x67x65mm
- Size unfolded: 175x240x65mm
- Weight: 320g
- Max transmission range: 4km with controller
- Max flight time: 25min
- Max horizontal speed: 15m/s
- Max vertical speed: 4m/s
- Max wind resistance: 50km/h
- Service ceiling: 4500m above sea level
- Operating temperature range: -10°C to 40°C
- Satellite Positioning Systems: GPS & GLONASS

### SMART BATTERY

- Type: High density Lipo (2 cells)
- Battery capacity: 2700mAh
- Battery life: 25min
- Charging port: USB-C
- Weight: 126g
- Voltage: 7.6V
- Max charging power: 24W

### CONTROLLER

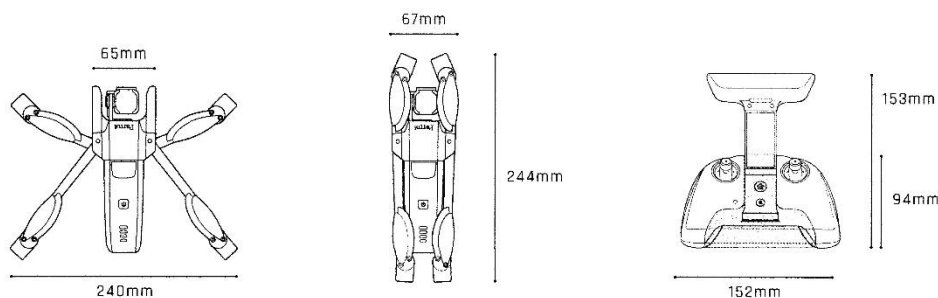
- Size folded: 94x152x72mm
- Size unfolded: 153x152x116mm
- Weight: 386g
- Transmission system: Wi-Fi 802.11a/b/g/n
- Operating frequencies: 2.4 GHz - 5.8 GHz
- Max transmission range: 4Km
- Live streaming resolution: HD 720p
- Battery capacity: 2500mAh 3.6V
- Battery life: 2h30 (Android) / 5h30 (iOS)
- Supported mobile devices: screen size up to 6"
- USB ports: USB-C (Charge), USB-A (Connection)

### IMAGING SYSTEM

- Sensor: 1/2.4" CMOS
- Lens:
  - ASPH (Sharper images)
  - Aperture: f/2.4
  - Focal length (35mm format equivalent): 23-69mm (photo), 26-78mm (video)
  - Depth of field: 1.5m - ∞
- Shutter speed: electronic shutter 1 to 1/10000s
- ISO range: 100-3200
- Video resolution:
  - 4K Cinema 4096x2160 24fps
  - 4K UHD 3840x2160 24/25/30fps
  - FHD 1920x1080 24/25/30/48/50/60fps
- Video HFOV: 69°
- Max video bitrate: 100 Mbps
- Video format: MP4 (H264)
- Digital zoom:
  - Lossless: up to 2.8x (FHD) & 1.4x (4K UHD)
  - Standard: up to 3x (4K Cinema, 4K UHD, FHD)
- Photo resolution:
  - Wide: 21MP (5344x4016) / 4:3 / 84° HFOV
  - Rectilinear: 16MP (4608x3456) / 4:3 / 75.5° HFOV
- Photo formats: JPEG, DNG (RAW)
- HDR: 4K UHD video

### IMAGE STABILIZATION

- Stabilization:
  - 3-axis hybrid
  - Mechanical: 2-axis Roll/Tilt angles
  - Electronic (EIS): 3-axis Roll/Pan/Tilt angles
- Controllable tilt range: -90° to +90° (180° total)



### PACK CONTENT

ANAFI DRONE / SMART BATTERY / PARROT SKYCONTROLLER 3 / CARRYING CASE / 16GB MICROSD CARD  
 USB-A TO USB-C CABLE / 8 ADDITIONAL PROPELLER BLADES / MOUNTING TOOL

PARROT DRONES SAS - RCS PARIS 808 408 704

174 quai de Jemmapes 75010 Paris - FRANCE - WWW.PARROT.COM

Parrot and Parrot logo are trademarks or registered trademarks of Parrot SA, used under license therefrom.  
 Anafi and its logo are trademarks or registered trademarks of Parrot Drones SAS.

Parrot®

EVERYDAY LIFE.ELEVATED

# Air Surveyor 4

[www.drone-services.gr](http://www.drone-services.gr)



## UAV PPK Solution technical Data for Georeference Photo

### Tersus BX316D GNSS RTK

#### Single Antenna

GPS	L1/L2
GLONASS	L1/L2
BeiDou	B1/B2

#### Single Point Positioning Accuracy (RMS)

- Horizontal	1.5m
- Vertical	3.0m

#### Observation

C/A Code (zenith direction)	10cm
P Code (zenith direction)	10cm
Carrier Phase (zenith direction)	1mm
Heading 1m Baseline (RMS)	0.15°



### Performance

Time to First Fix

- Cold Start <50s

- Warm Start <30s

Timing Accuracy (RMS) 20ns

Velocity Accuracy (RMS) 0.03m/s

Initialization (typical) <10s

Initialization Reliability >99.9%

### Data

Correction RTCM 2.x/3.x/CMR/CMR+

Output NMEA-0183; Tersus Binary Format

Max. Update Rate 20Hz

Log & Command Compatible NovAtel Protocol

Storage In-built 4GB memory

### Specifications Cube Orange With ADSB-In

#### Processor

32bit ARM® STM32H743 Cortex®-M7 (with DP-FPU)

400 Mhz/1 MB RAM/2 MB Flash

32 bit STM32F103 failsafe co-processor

#### Sensors

Three redundant IMUs (accels, gyros and compass)

ICM 20649 integrated accelerometer / gyro, MS5611 barometer on base board

InvenSense ICM20602 IMU, ICM20948 IMU/MAG, MS5611 barometer on temperature controlled, vibration isolated board

All sensors connected via SPI.

#### Power

Redundant power supply with automatic failover

Servo rail high-power (7 V) and high-current ready

All peripheral outputs over-current protected, all inputs ESD protected

### Interfaces

14x PWM servo outputs (8 from IO, 6 from FMU)

S.Bus servo output

R/C inputs for CPPM, Spektrum / DSM and S.Bus

Analogue / PWM RSSI input

5x general purpose serial ports, 2 with full flow control

2x I2C ports

SPI port (un-buffered, for short cables only not recommended for use)

2x CAN Bus interface

3x Analogue inputs (3.3V and 6.6V)

High-powered piezo buzzer driver (on expansion board)

High-power RGB LED (I2C driver compatible connected externally only)

Safety switch / LED

Optional carrier board for Intel Edison (now obsolete)

### Physical & Electrical

Size 108 x 54 x 12mm

Weight 44g

Input Voltage 5V~12V DC

Power Consumption (typical) 3.5W

Active Antenna Input Impedance 50Ω

Antenna Connector SMA female x2

COM Baud Rate Up to 921600bps

Operating Temperature -40°C ~ +85°C

### Data

Storage In-built 4GB memory

Correction RTCM 2.x/3.x/CMR/CMR+

Output NMEA-0183; Tersus Binary Format

Max. Update Rate 20Hz

Log & Command Compatible NovAtel Protocol

## Τεχνικές Προδιαγραφές

Αυτόνομη πτήση	Ναι
Αυτόματη απογείωσή και προσγείωσή	Ναι
Θύρες για μελλοντική χρήση	Ναι (6 servo)
Διαστάσεις	Ø 63 cm, H 28 cm
Έλικες	4x 13'4.5 fold
Επείγουσα προσγείωση	Yes
Νομική προστασία	Προαιρετικά
FlightControl 32 bit	Ναί
Flightdatalog	128 Hz
Αισθητήρες	16 bit gyroscope 14 bit accelerometer / magnetometer 3-axis accelerometer/gyroscope Barometer
GPS flight assistant (position Hold, Coming Home)	Ναί
L1 GPS/L1+L2	Προαιρετικά
Μέγιστη ταχύτητα	30 km/h
Μέγιστος χρόνος πτήσης (μέση τιμή) με πλήρη φορτίο σε συνθήκες αποτύπωσης	20 min (1x 6S battery pack)
Μέγιστο φορτίο	1000 gr
Βάρος με camera και μπαταρία	3650gr
Αντοχή σε αέρα	10-12 m/s
Κάμερα	Sony A6000 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Αισθητήρας Exmor® APS HD CMOS 24,3MP με σύστημα BIONZ X™</li> <li>• Ευέλικτο σύστημα εναλλάξιμων φακών E-mount</li> <li>• Γρήγορη υβριδική αυτόματη εστίαση (ανίχνευση φάσης και αντίθεσης)</li> </ul>