

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**Ερευνητική Ομάδα Χωρικών Πληροφοριακών Συστημάτων -**  
**SenseLab**

Αξιολόγηση χρήσης του πρωτότυπου μη επανδρωμένου  
ιπτάμενου οχήματος SmartDrone σε εφαρμογές  
γεωμορφολογικών μεταβολών και ογκομετρήσεων

Διπλωματική Εργασία  
Ελένη Χατζηχρήστου



**Εξεταστική επιτροπή**

Παναγιώτης Παρτσινέβελος, Επίκουρος Καθηγητής (επιβλέπων)  
Στυλιανός Μερτίκας, Καθηγητής  
Ευτύχιος Κουτρούλης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Χανιά,  
Ιούλιος 2017

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles - UAVs) χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο σε πληθώρα εφαρμογών. Η ραγδαία αυτή αποδοχή και εφαρμοστικότητα δεν ανταποκρίνεται τις περισσότερες φορές σε αντίστοιχες επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις επί των UAVs, καθώς σε Ευρωπαϊκό επίπεδο παρατηρούνται συχνά αδικαιολόγητες επαναλήψεις και απλοϊκές λύσεις κατά την εφαρμογή τους. Η παρούσα διπλωματική εργασία αξιοποιεί την εφαρμογή της πλατφόρμας SmartDrone η οποία έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από την ερευνητική ομάδα SenseLab της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης σε αντικείμενα αποτίμησης όγκων εκσκαφών. Η πλατφόρμα SmartDrone στηρίζεται στην ενσωμάτωση μιας οποιασδήποτε σύγχρονης συσκευής κινητής τηλεφωνίας (smartphone) σε ένα πρωτότυπο μη επανδρωμένο όχημα το οποίο κληρονομεί τις υπολογιστικές και επικοινωνιακές δυνατότητες του τηλεφώνου καθώς και τους αισθητήρες του. Ο κύριος στόχος της διπλωματικής είναι να μελετήσει τη δυνατότητα που προσφέρει η συγκεκριμένη πλατφόρμα σε εφαρμογές Μηχανικών και Γεωεπιστημών να επιβλέπουν γρήγορα και εύκολα τις μορφολογικές αλλαγές που υφίσταται το έδαφος εξαιτίας ενός εν εξελίξει τεχνικού έργου ή φυσικής καταστροφής. Έτσι, μπορεί να συνδυαστεί η χρήση του SmartDrone με την παρακολούθηση και την ποσοτική εκτίμηση των όγκων του εδάφους μέσω επεξεργασίας των ληφθέντων απεικονίσεων. Να σημειωθεί εδώ, ότι η ταχύτητα της αποτύπωσης και το χαμηλό κόστος του συγκεκριμένου εξοπλισμού αποτελούν πλεονεκτήματα της μεθόδου. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας ο πειραματικός έλεγχος έλαβε χώρα σε μια εκσκαφή θεμελίωσης μικρής κλίμακας. Οι πτήσεις του SmartDrone πραγματοποιήθηκαν σε δυο διαφορετικές χρονικές περιόδους και τα δεδομένα εισήχθησαν σε εξειδικευμένα λογισμικά για την επεξεργασία τους, τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων εδάφους και για τον υπολογισμό του όγκου των εκσκαφών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ακρίβεια ήταν ικανοποιητική και κατά περίπτωση καλύτερη από τις κλασσικές μεθόδους αποτίμησης όγκων για κοινές εφαρμογές εκσκαφών.

## Περιεχόμενα

### Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή .....	1
1.2 Σκοπός εργασίας.....	2
1.3 Περιγραφή ιδέας .....	2
1.4 Δομή της εργασίας .....	5

### Κεφάλαιο 2

2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο ενόργανης μέτρησης όγκου χωματισμών .....	6
2.2 Επεξεργασία μετρήσεων.....	17
2.3 Σχετική βιβλιογραφία.....	20
2.4 Σχετικές εταιρείες.....	23
2.5 Ανάλυση αγοράς.....	24

### Κεφάλαιο 3

3.1 Κατηγοριοποίηση μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων .....	28
3.2 Νομοθεσία .....	30
3.3 Περιγραφή SmartDrone .....	33
3.3.1 Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα .....	33
3.3.2 Σχεδιασμός, Κατασκευή και Υλοποίηση .....	34
3.3.3 Προσαρμογή του UAV για την παρούσα διπλωματική .....	36
3.4 Υλοποιημένες βελτιώσεις και προοπτικές του SmartDrone.....	36

### Κεφάλαιο 4

4.1 Επεξεργασία .....	39
4.1.1 Επιλογή περιοχής περιπτωσιολογικής μελέτης .....	39
4.1.2 Προετοιμασία γραφείου για την οργάνωση των μετρήσεων.....	41
4.1.3 Μετρήσεις στο πεδίο - Επεξεργασία γραφείου .....	42
4.2 Αποτελέσματα.....	64
4.2.1 Μέθοδος πολυγώνων.....	64
4.2.2 Υπολογιστική μέθοδος μέσω του προγράμματος.....	65
4.3 Έλεγχος ποιότητας – ακρίβειας .....	69

### Κεφάλαιο 5

5.1 Συμπεράσματα .....	70
5.2 Προβλήματα .....	71
5.3 Μελλοντικές προτάσεις.....	71

Βιβλιογραφία.....	73
-------------------	----

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Προτεινόμενος εξοπλισμός μηχανικού στην σύγχρονη εποχή.....	3
Εικόνα 2.1: Ο ολικός γεωδαιτικός σταθμός TOPCON GTS-212, με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στην παρούσα διπλωματική εργασία.....	8
Εικόνα 2.2: Μετρήσεις με σαρωτή Laser.....	10
Εικόνα 2.3: Αποτύπωση με χρήση LIDAR.....	13
Εικόνα 2.4: Φωτογραμμετρική αποτύπωση με UAV για υπολογισμό όγκου.....	16
Εικόνα 2.5: Τοπογραφική αποτύπωση σε υπαίθρια εκμετάλλευση με GPS.....	18
Εικόνα 2.6: Συνδυασμός αποτύπωσης με επεξεργασία ψηφιακού μοντέλου.....	20
Εικόνα 2.7: Μοντέλο εδάφους με συνδυασμό ισοϋψών καμπυλών.....	21
Εικόνα 2.8: Διάφοροι τρόποι αποτύπωσης στο πεδίο.....	22
Εικόνα 2.9: Η αγορά των UAVs στην Αμερική, 2012-2022.....	26
Εικόνα 2.10: Η βιομηχανία των UAVs.....	27
Εικόνα 2.11: Ζήτηση συγκεκριμένων προϊόντων.....	28
Εικόνα 3.1: Τρεις βασικές κατηγορίες των UAVs, α. και γ. σταθερών ελίκων, β. περιστρεφόμενοι έλικες.....	30
Εικόνα 3.2: Διάφορα μεγέθη UAVs περιστροφικών ελίκων.....	31
Εικόνα 3.3: Η πλατφόρμα SmartDrone, α. το UAV σε ανοιχτή θέση, β. το UAV με τοποθετημένο την κινητή συσκευή και γ. το UAV σε θέση μεταφοράς.....	35
Εικόνα 3.4: UAV με κατάλληλους αισθητήρες για αποφυγή εμποδίων.....	38
Εικόνα 3.5: Συνεργασία SmartDrones.....	39
Εικόνα 4.1: Τοποθεσία της περιοχής εκσκαφής σε σχέση με το Πολυτεχνείο Κρήτης.....	40
Εικόνα 4.2: Τοποθεσία της περιοχής εκσκαφής σε μεγέθυνση.....	41
Εικόνα 4.3: Τοποθεσία της περιοχής πριν την εκσκαφή.....	41
Εικόνα 4.4: Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία..	42
Εικόνα 4.5: Εδώ απεικονίζονται τα γνωστά και τα βοηθητικά σημεία της περιοχής.....	44
Εικόνα 4.6: Το SmartDrone κατά την απογείωση στον χώρο της εκσκαφής.....	45
Εικόνα 4.7: Το SmartDrone κατά την διάρκεια της πτήσης.....	45
Εικόνα 4.8: Εδώ παρουσιάζονται τα φωτοσταθερά καθόλη την έκταση της περιοχής.....	46
Εικόνα 4.9: Το νέφος σημείων της αρχικής εκσκαφής.....	47

Εικόνα 4.10: Το νέφος σημείων της τελικής εκσκαφής.....	47
Εικόνα 4.11: Η περιοχή στην αρχική της κατάσταση με μορφή συρμάτινου πλέγματος.....	48
Εικόνα 4.12: Ένα μέρος της προηγούμενης φωτογραφίας σε μεγέθυνση.....	48
Εικόνα 4.13: Πλάγια όψη ολόκληρου του μοντέλου.....	48
Εικόνα 4.14: Η περιοχή στην αρχική της κατάσταση με μορφή συρμάτινου πλέγματος.....	49
Εικόνα 4.15: Ένα μέρος της προηγούμενης φωτογραφίας σε μεγέθυνση.....	49
Εικόνα 4.13: Πλάγια όψη ολόκληρου του μοντέλου.....	49
Εικόνα 4.15: Αποτύπωση της αρχικής κατάστασης της περιοχής.....	50
Εικόνα 4.15: Αποτύπωση της τελικής κατάστασης της περιοχής.....	50
Εικόνα 4.16: Η αρχική κατάσταση με όλα τα GCPs.....	55
Εικόνα 4.17: Η τελική κατάσταση με όλα τα GCPs.....	56
Εικόνα 4.17α: : Ορθοφωτογραφίες.....	56
Εικόνα 4.18: Ψηφιακό μοντέλο με χρωματικές αλλαγές ανάλογα το υψόμετρο και το βάθος .....	57
Εικόνα 4.19: Συνδυασμός πληροφορίας από ορθοφωτογραφίες και ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση ενός μέτρου.....	58
Εικόνα 4.20i: Η αρχική κατάσταση της περιοχής με διαφορετικούς συνδυασμούς απεικονίσεων.....	59
Εικόνα 4.20ii: Η τελική κατάσταση της περιοχής με διαφορετικούς συνδυασμούς απεικονίσεων.....	60
Εικόνα 4.21: Τα δύο μοντέλα σε μορφή νέφους σημείων.....	61
Εικόνα 4.22: Η ταύτιση των δύο μοντέλων.....	62
Εικόνα 4.23: Η ταύτιση των δύο μοντέλων – χρωματική αλλαγή της αρχικής κατάστασης για την εύκολη παρατήρηση των αλλαγών.....	63
Εικόνα 4.24: Ταύτιση ολόκληρης της περιοχής.....	64
Εικόνα 4.25: Ταύτιση μόνο των σκαμμάτων.....	64
Εικόνα 4.26: Μέθοδος κυρτών πολυγώνων.....	66
Εικόνα 4.27: Υπολογισμός αρχικού σκάμματος μέσω λογισμικού.....	67
Εικόνα 4.28: Υπολογισμός τελικού σκάμματος μέσω λογισμικού.....	68
Εικόνα 4.29: Υπολογισμός τομής κατά μήκος αρχικού σκάμματος μέσω λογισμικού.....	68
Εικόνα 4.30: Υπολογισμός τομής αρχικού σκάμματος μέσω λογισμικού.....	69
Εικόνα 4.31: Υπολογισμός τομής κατά μήκος τελικού σκάμματος μέσω λογισμικού.....	69

Εικόνα 4.32: Υπολογισμός τομής τελικού σκάμματος μέσω λογισμικού.....	70
Εικόνα 5.1: Το SmartDrone στην υπηρεσία του Μηχανικού.....	73

## **Κεφάλαιο 1**

### **1.1 Εισαγωγή**

Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles - UAVs) εμφανίζονται ολοένα και περισσότερο στη σύγχρονη εποχή, μέσα από μία πληθώρα εφαρμογών. Μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, η εφαρμογή των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων έχει παρουσιάσει ραγδαία αποδοχή, η οποία μάλιστα συνεχίζεται με υψηλούς ρυθμούς. Ο τρόπος που χρησιμοποιούνται καθώς και οι ανάγκες που μπορούν να εξυπηρετήσουν διαφοροποιούνται ανάλογα με την εφαρμογή. Ως εκ τούτου, έχουν τεθεί στην υπηρεσία της επιστήμης σε τομείς έρευνας και διάσωσης, παρακολούθησης περιβάλλοντος (Anshuman Bhardwaj et al., 2015), αγροτικού τομέα, αρχαιολογίας, πολιτιστικής κληρονομιάς (Eisenbeiss, 2004), ψυχαγωγίας, κινηματογράφου, πολιτικής προστασίας, εμπορίου και αρκετούς ακόμη. Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα χρησιμοποιήθηκαν αρχικά αυστηρά για συγκεκριμένους στρατιωτικούς σκοπούς (drones), με τα χρόνια όμως άρχισαν να χρησιμοποιούνται σαν εργαλεία για πολλές και διαφορετικές χρήσεις.

Έναν από τους κυριότερους τομείς που εξυπηρετούν τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα, αποτελεί αυτός των εφαρμογών του Μηχανικού. Ως προς τα αντικείμενα τα οποία σχετίζονται με τη σχολή των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, υπάρχουν διάφοροι τομείς εφαρμογής. Συγκεκριμένα, στόχοι στη βιομηχανία της εξόρυξης αποτελούν η γρήγορη και ακριβής αποτύπωση, η εξοικονόμηση χρόνου και η ασφάλεια του προσωπικού. Για παράδειγμα, για την αποτύπωση και τη μελέτη ενός ορυχείου ανοιχτής εκμετάλλευσης (Jianping Chen et al., 2015), ο χρόνος που θα χρειαζόταν το συνεργείο με τις κλασσικές μεθόδους θα ήταν μια εβδομάδα, ενώ με τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα στην ίδια περιοχή κάποιες ώρες. Ένα ακόμη παράδειγμα αποτελεί η εποπτεία καθίζησης πρανών ή η πιθανότητα κατολίσθησης βράχων, η πορεία των έργων ενός λατομείου όπου η πρόσβαση του προσωπικού για τις μετρήσεις είναι σε μέρη προσπελάσιμα και μη (Niethammer et al., 2010). Θα μπορούσε κανείς να αναφέρει ως συνεισφορά των UAVs την ανίχνευση κοιτασμάτων μέσω είτε θερμικών είτε πολυφασματικών καμερών. Μία από τις πιο συχνές και ουσιαστικές εφαρμογές των UAVs είναι κατά την κατασκευή τεχνικών έργων. Η αρχική εκτίμηση ως προς την πορεία του έργου, αλλά και η δυνατότητα για συνεχή επίβλεψη της εξέλιξής του, αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις ώστε να διευθετηθούν σημαντικά θέματα τόσο στον χρόνο



παράδοσης όσο και στη διαδικασία της οικονομικής εξέλιξης και αποπληρωμής. Τέλος, ως προς την ασφάλεια του προσωπικού, τα UAVs μπορούν να επιχειρούν σε επικίνδυνες για τον άνθρωπο περιοχές, να αποτιμούν σε πραγματικό χρόνο τις περιβαλλοντικές συνθήκες εργασίας και να μεταφέρουν εξειδικευμένη βοήθεια σε περίπτωση ανάγκης.

Βασικό κομμάτι της παρούσας διπλωματικής αποτελεί ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα σε αντικείμενα Μηχανικού, σε συνδυασμό με τις Γεωεπιστήμες. Η χρήση των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων είναι ικανή να καλύψει εκτάσεις της επιφάνειας της Γης ποικίλου μεγέθους, είτε πρόκειται για εκσκαφή οικοπέδου με σκοπό της ανέγερση οικοδομής είτε πρόκειται για τις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις ενός λιγνιτωρυχείου.

Ένα από τα πλέον σύγχρονα ερευνητικά κέντρα μελέτης του συγκεκριμένου πεδίου στη χώρα μας, αποτελεί το Πολυτεχνείο Κρήτης, όπου μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα κατασκευάζονται, διαμορφώνονται και αξιοποιούνται πλήρως για σκοπούς εκπαίδευσης και έρευνας (<http://senselab.tuc.gr/>). Στα πλαίσια του συγκεκριμένου εργαστηρίου είχα την ευκαιρία και το προνόμιο να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία, με χρήση της πλατφόρμας SmartDrone, η οποία περιγράφεται στην αμέσως επόμενη παράγραφο.

## 1.2 Σκοπός εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η πειραματική επιβεβαίωση και αξιολόγηση της χρήσης της πλατφόρμας SmartDrone σε εφαρμογές ογκομετρήσεων και αποτίμησης γεωμορφολογικών διαφοροποιήσεων. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα έχει αναπτυχθεί από την ομάδα SenseLab και αξιολογείται για εφαρμογές Μηχανικού, με έμφαση αυτές που απαιτούν ταχεία αποτύπωση με εξοπλισμό χαμηλού κόστους σε διάφορα στάδια κατασκευής τεχνικών έργων, όπως για παράδειγμα ογκομέτρηση εκσκαφών και επιχώσεων.

Η πλατφόρμα SmartDrone προκύπτει από την ζεύξη ενός πρωτότυπου μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο, με συσκευή κινητού με λογισμικό Android.

## 1.3 Περιγραφή ιδέας

Η ιδέα της παρούσας διπλωματικής, με χρήση του πρωτότυπου SmartDrone, είναι η εξής: Λαμβάνουμε εικόνες του προς ογκομέτρηση εδάφους για την ίδια περιοχή σε δυο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η αποτύπωση της μεταβαλλόμενης περιοχής στις δύο περιόδους μας δίνει δύο ομάδες μετρήσεων, οι οποίες με την κατάλληλη επεξεργασία διαμορφώνουν δύο ξεχωριστά τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (ΨΜΕ). Με το πέρας της υλοποίησης των τρισδιάστατων μοντέλων, αυτά συγκρίνονται, υπολογίζονται οι διαφορές τους και γίνεται η εκτίμηση της ποσοτικοποίησης (Peterman & Mesaric, 2012).

Η ζεύξη του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος με τη συσκευή Android στη συγκεκριμένη εφαρμογή, αποτελεί καινοτομία, και απομένει να διερευνηθεί κατά πόσο

τα ποσοτικά αποτελέσματα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των αντίστοιχων εφαρμογών. Επίσης, θα διερευνηθεί αν και υπό ποιες συνθήκες η μεθοδολογία αποτίμησης του όγκου χωματισμών απαιτεί λιγότερο χρόνο για την αποτύπωση της περιοχής από ό,τι οι μέχρι τώρα μέθοδοι με τα συμβατικά γεωδαιτικά όργανα στο πεδίο. Επιπλέον πλεονεκτήματα της προτεινόμενης προσέγγισης αποτελούν, το γεγονός ότι παρέχει ασφάλεια του προσωπικού κατά την διάρκεια των μετρήσεων, είναι χαμηλού κόστους και προσφέρει αυξημένη ακρίβεια σε σχέση με μεθοδολογίες επιλογής διακριτών σημείων για τον προσδιορισμό όγκων εκσκαφής (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1: Προτεινόμενος εξοπλισμός μηχανικού στην σύγχρονη εποχή.

Η ιδέα της διπλωματικής λοιπόν, βασίζεται στη δυνατότητα που προσφέρει η πλατφόρμα SmartDrone στον μηχανικό ή γεωεπιστήμονα, να επιβλέπει γρήγορα και εύκολα τις μορφολογικές αλλαγές εδάφους που γίνονται στην περιοχή ενδιαφέροντος. Έτσι, μπορεί να συνδυαστεί η χρήση του SmartDrone με την παρακολούθηση και την ποσοτική εκτίμηση των όγκων του εδάφους που υφίστανται ή χρειάζονται μεταφορά και απόθεση.

Συμπερασματικά, οι επιμέρους στόχοι της διπλωματικής είναι:

- Μεθοδολογία μέτρησης όγκων χωματισμών με την πλατφόρμα SmartDrone.
- Ποιοτική και ποσοτική ανίχνευση γεωμορφολογικών αλλαγών μεταξύ πολύ-χρονικών μετρήσεων.
- Αποτίμηση της μεθοδολογίας σε όρους οικονομίας χρόνου και εξοπλισμού.

Ο λόγος για τον οποίο έγινε η επιλογή του SmartDrone στη συγκεκριμένη εργασία, ήταν για να εξεταστεί εάν το πρωτότυπο σύστημα που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις και συνθήκες μέτρησης σε εφαρμογές ογκομετρήσεων. Στόχος λοιπόν, ήταν η επιβεβαίωση της αξιοπιστίας του πρωτότυπου, ώστε να διασφαλιστεί ότι ο εκάστοτε μηχανικός θα μπορεί να εμπιστευτεί τα αποτελέσματά του, κατά την χρήση του σε κάποιο έργο.

Ένα σενάριο εφαρμογής της συγκεκριμένης ιδέας, αποτελεί το εξής: μία εταιρεία αναθέτει σε έναν μηχανικό την εποπτεία σειράς εκσκαφών μικρής κλίμακας, σε διάφορες τοποθεσίες στο Νομό Χανίων, με σκοπό την αποτύπωση τους σε διάφορα στάδια εξέλιξης. Ο μηχανικός έχει την δυνατότητα να αποφασίσει τον τρόπο που θα επιλέξει να πραγματοποιήσει αυτή την σειρά των αποτυπώσεων με δεδομένο από την εταιρεία ότι έχει χρονικό περιθώριο έναν μήνα. Ο μηχανικός μελετώντας προσεκτικά το χρονοδιάγραμμα του με βάση τα παραδοτέα, καταλήγει στην χρήση ενός μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος. Η επιλογή αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι χρειάζεται να εξοικονομήσει χρόνο από την κάθε αποτύπωση, να απασχολήσει μειωμένο αριθμό εργαζομένων, να χρησιμοποιήσει εξοπλισμό εύκολο στη μετακίνηση και χρήση, αλλά και παράλληλα να έχει χαμηλό κόστος η συνολική εργασία. Οι εκσκαφές σύμφωνα με την εταιρεία λαμβάνουν χώρα σε ολόκληρο το Νομό Χανίων, πράγμα που σημαίνει ότι η διαδικασία των μετρήσεων σε κάθε τοποθεσία, πρέπει να ολοκληρωθεί στο μικρότερο δυνατό διάστημα. Η διαδικασία που θα ακολουθήσει ο χρήστης στο πεδίο είναι η εξής: Στην περιοχή της εκσκαφής, ο μηχανικός έχει στην τσάντα του την συσκευή του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος, τοποθετεί το SmartDrone στο έδαφος και προσαρμόζει το κινητό του τηλέφωνο στην ειδική θέση που υπάρχει πάνω στο όχημα. Έπειτα, χειρίζοντάς το είτε με χειριστήριο είτε ρυθμίζοντάς το από πριν για αυτόνομη πτήση, το SmartDrone απογειώνεται, ανυψώνεται στο επιθυμητό σημείο, σαρώνει την περιοχή ενδιαφέροντος και επιστρέφει στον χειριστή του. Ύστερα, ο μηχανικός μπορεί με ευκολία να μεταφέρει τα δεδομένα σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, ώστε να κάνει την επεξεργασία της εκάστοτε περιοχής. Αυτή η διαδικασία χρειάζεται να επαναληφθεί για όλες τις εκσκαφές, τουλάχιστον δύο φορές ώστε να αποτυπωθεί η εξέλιξη των έργων στο απαιτούμενο χρονικό διάστημα. Ανάλογα με την περιοχή μελέτης και τα βοηθητικά στοιχεία για κάθε περιοχή, υπάρχουν διαφορετικές μεθοδολογίες για την υλοποίηση και μέτρηση σημείων ελέγχου τα οποία θα χρειαστούν για την σωστή επεξεργασία των απεικονίσεων μέσω του SmartDrone. Αυτές οι μεθοδολογίες θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια.

Είναι σημαντικό στο σημείο αυτό να αναφερθεί, το γεγονός ότι το συγκεκριμένο μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα, έχει διαγωνιστεί με την εφαρμογή Save-Me και έχει κερδίσει μεταξύ άλλων πολύ σημαντικά βραβεία: το πρώτο Ευρωπαϊκό βραβείο, αλλά και το τρίτο Παγκόσμιο βραβείο στον διεθνή διαγωνισμό Drones For Good που πραγματοποιήθηκε στο Dubai το 2016. Η επιτυχία αυτή μάλιστα γίνεται ακόμα μεγαλύτερη, αν αναλογιστεί κανείς ότι διαγωνίστηκε απέναντι σε 1017 ομάδες από 165 χώρες. Ουσιαστικά πρόκειται για μια υλοποίηση, η οποία αφορά την άμεση και αξιόπιστη υποστήριξη ατόμων που θα αντιμετωπίσουν κάποιο πρόβλημα υγείας, σε περιοχές όπου δεν υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας για άμεση αναζήτηση βοήθειας.

## 1.4 Δομή της εργασίας

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, γίνεται μία βιβλιογραφική παρουσίαση των μεθοδολογιών μέτρησης όγκων και καταγραφή εφαρμογών των μη επανδρωμένων οχημάτων σε σχετικά αντικείμενα. Η παρουσίαση των συγκεκριμένων εφαρμογών συνοδεύεται από στατιστικά και οικονομικά στοιχεία, συγκριτικές μελέτες και πίνακες για τα χαρακτηριστικά και την ακρίβεια της κάθε εφαρμογής.

Το **τρίτο κεφάλαιο**, αναφέρεται στο πρωτότυπο μοντέλο του μη επανδρωμένου οχήματος το οποίο κατασκευάστηκε στο εργαστήριο μας και εν συνεχεία χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της παρούσας διπλωματικής. Επιπρόσθετα, αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου, σε συνδυασμό με μετατροπές που απαιτήθηκαν για τις ανάγκες της εργασίας. Παρουσιάζονται επίσης αναλυτικά η διαδικασία δημιουργίας του σχεδίου πτήσης καθώς και όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις προ της πτήσης (pre-flight), στοιχεία απαραίτητα για την ασφαλή και ομαλή ολοκλήρωσή της.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, παρουσιάζεται η επιλογή της περιοχής ενδιαφέροντος στην οποία θα πραγματοποιηθεί η πτήση για τη συλλογή των απαραίτητων μετρήσεων. Περιγράφονται η επεξεργασία και ο προγραμματισμός του σχεδίου πτήσης επι της περιοχής, οι δοκιμές πτήσεων, όπως επίσης και τα πρώτα αποτελέσματά τους. Ακόμα, παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων με κατάλληλα προγράμματα opensource, αλλά και επαναληπτικές πτήσεις που διενεργήθηκαν για συμπληρωματικά δεδομένα. Τέλος, καταγράφονται τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω και γίνεται η αξιολόγηση τους.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, συνοψίζονται τα συμπεράσματα τα οποία εξάγονται από τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων. Αναφέρονται προβλήματα τα οποία παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας και δίνονται μελλοντικές προτάσεις στο υλοποιημένο σύστημα.

## **Κεφάλαιο 2**

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αρχικά η συγκριτική μελέτη των ενόργανων μεθοδολογιών αποτίμησης όγκου χωματισμών μέσω τοπογραφικών, γεωδαιτικών, φωτογραμμετρικών και λοιπών μεθόδων. Έπειτα, παρουσιάζεται σχετική βιβλιογραφία εφαρμογών των μη επανδρωμένων οχημάτων στις Γεωεπιστήμες και τέλος δίδονται αναλυτικά στοιχεία εμπορικής αξιοποίησης και της υπάρχουσας σχετικής αγοράς.

### **2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο ενόργανης μέτρησης όγκου χωματισμών**

Για τις ενόργανες μετρητικές διαδικασίες ογκομετρήσεων κοινών τεχνικών έργων (εκσκαφές, λατομεία, κτλ), πέραν της απλής μέτρησης των τριών διαστάσεων ενός γεωμετρικού σχήματος, έχουν αναπτυχθεί πληθώρα τεχνικών και μεθοδολογιών μέτρησης, οι οποίες στηρίζονται στην εκπομπή/λήψη ακτινοβολίας σε διάφορα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Εάν η πηγή αυτής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας βρίσκεται εντός του γεωδαιτικού/τοπογραφικού εξοπλισμού τότε η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία αναφέρεται ως *ενεργητική ανίχνευση*. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή γίνεται καταγραφή της έντασης της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που προέρχεται π.χ. από τον Ήλιο τότε η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία αναφέρεται ως *παθητική ανίχνευση*.

Η τεχνολογική ανάπτυξη και εξέλιξη των επίγειων τοπογραφικών οργάνων μέτρησης είναι συνεχής. Έτσι, τα απλά θεοδόλιχα και αποστασιόμετρα έχουν μετεξελιχθεί σε ολοκληρωμένα όργανα όπως οι ολικοί γεωδαιτικοί σταθμοί και οι επίγειοι σαρωτές laser. Παράλληλα, ο προσδιορισμός των συντεταγμένων σημείων στις τρεις διαστάσεις γίνεται με πολύ μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας τόσο εναέριες (π.χ. φωτογραμμετρία, συστήματα lidar-light detection and ranging) όσο και με δορυφορικές τεχνικές όπως είναι τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης (GNSS: Global Navigation Satellite Systems). Ανάλογα με το όργανο και τη τεχνική που χρησιμοποιείται είτε ανεξάρτητα είτε σε συνδυασμό με κάποια άλλη (π.χ. επίγειες μετρήσεις υποστηριζόμενες από εναέριες φωτογραμμετρικές λήψεις) η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων μπορεί να φτάσει μέχρι το χιλιοστό του μέτρου ή συνηθέστερα τα 1-3 εκατοστά.

Προκειμένου να επιτευχθεί η ανωτέρω ακρίβεια αξιοποιείται και η ραγδαία πρόοδος στην επεξεργαστική και αποθηκευτική ισχύ των υπολογιστικών συστημάτων τα οποίοι πλέον στηρίζουν εξειδικευμένα λογισμικά πακέτα επεξεργασίας των πρωτογενών τοπογραφικών/γεωδαιτικών μετρήσεων. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται και η αξιοπιστία

των μετρήσεων εφόσον βέβαια ο χρήστης γνωρίζει τις ιδιαιτερότητες κάθε λογισμικού καθώς και τις διαδικασίες μέτρησης.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται εν συντομία οι κύριες μεθοδολογίες προσδιορισμού των τρισδιάστατων συντεταγμένων σημείων της γήινης επιφάνειας καθώς επίσης και στοιχεία που επηρεάζουν την ακρίβεια της κάθε μεθοδολογίας. Σημειώνεται πως έμφαση δίνεται στις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την τοπογραφική αποτύπωση μικρών σχετικά εκτάσεων, π.χ. <10 στρέμματα και όχι τεχνικές δημιουργίας ψηφιακών μοντέλων εδάφους μεγάλης κλίμακας (π.χ. δορυφορικές εικόνες radar).

Οι τρεις πρώτες μεθοδολογίες, βασίζονται στον προσδιορισμό του χρόνου που απαιτείται, ώστε ένας παλμός ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας να μεταδοθεί από έναν πομπό σε έναν δέκτη και να επιστρέψει.

### Αποτύπωση μέσω Ολικού Γεωδαιτικού Σταθμού (Total Station)

Ο ολικός γεωδαιτικός σταθμός αποτελείται από ένα ψηφιακό θεοδόλιχο και έναν μικροεπεξεργαστή με ηλεκτρονικό αποστασιόμετρο (EDM: Electronic Distance Measuring Device), ενσωματωμένα όλα σε ένα συμπαγές όργανο (Εικόνα 2.1) ώστε να επιτρέπεται ο ταυτόχρονος προσδιορισμός οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών. Οι ολικοί γεωδαιτικοί σταθμοί προσδιορίζουν τις τρισδιάστατες συντεταγμένες ενός σημείου μέσω των απευθείας αναγνώσεων οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών σε συνδυασμό με την απόσταση του οργάνου από το σημείο ενδιαφέροντος. Η μέτρηση της απόστασης επιτυγχάνεται με την χρήση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, δηλαδή το EDM εκπέμπει έναν παλμό ο οποίος διαδίδεται μέσω της ατμόσφαιρας προς τον ανακλαστήρα. Στη συνέχεια τμήμα αυτού του κύματος επιστρέφει στο όργανο και καταγράφεται.



Εικόνα 2.1: Ο ολικός γεωδαιτικός σταθμός TOPCON GTS-212, με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στην παρούσα διπλωματική εργασία.



### Κόστος

Τα όργανα μετρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν τέτοιου είδους μετρήσεις, θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν μέτριου κόστους μέχρι 10.000€.

### Ακρίβεια

Οι σύγχρονοι ολικοί γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν πολύ μεγάλες δυνατότητες ακρίβειας τόσο στη μέτρηση γωνιών όσο και αποστάσεων. Οι αποστάσεις μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια ακόμα και  $<1$  χιλιοστού ενώ οι γωνίες μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια της τάξης  $<1\text{mgon}$ .

### Εμπειρία προσωπικού-όγκος εξοπλισμού

Η χρήση των γεωδαιτικών σταθμών γίνεται από εξειδικευμένα άτομα που γνωρίζουν τον τρόπο να τα χρησιμοποιήσουν επαρκώς. Χρειάζονται τουλάχιστον δύο άτομα για προσωπικό ώστε ο όγκος του εξοπλισμού να μεταφέρεται με ασφάλεια αλλά και τοποθέτηση του στα σημεία της περιοχής που θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις.

### Τρόπος αποθήκευσης- διαχείριση μετρήσεων

Οι πλέον σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με ενσωματωμένους δίσκους αποθήκευσης των δεδομένων (καταγραφικά) που απαλλάσσουν τον τοπογράφο από την καταγραφή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με το χέρι. Έτσι, τα δεδομένα αποθηκεύονται στο εσωτερικό του οργάνου και, στη συνέχεια, είναι προσβάσιμα μέσω ενός υπολογιστή όπου μπορούν, πλέον, να επεξεργαστούν και να παράγουν το τελικό αποτέλεσμα.

### Έκταση περιοχής

Με καλές ατμοσφαιρικές συνθήκες, η εμβέλεια που έχουν οι γεωδαιτικοί σταθμοί ως προς την αποτελεσματικότερη κάλυψη έκτασης μιας περιοχής για τη μέτρηση των αποστάσεων με αυτά τα συστήματα κυμαίνεται από 1 μέχρι 1,5 χιλιόμετρο με έναν ανακλαστήρα και από 1,6 – 2,5 χιλιόμετρα με τρεις ανακλαστήρες.

### Καιρικές συνθήκες

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρειάζεται καλές καιρικές συνθήκες διότι χρειάζονται χρόνο για την αποτύπωση μιας περιοχής, ανάλογα βέβαια και την έκταση και τον χρόνο αλλά και τον αριθμό του προσωπικού που υπάρχει στην διάθεση μας.

### Σημαντικές παρατηρήσεις για τα χαρακτηριστικά της τοπογραφικής μεθόδου

- Λόγω της πεπερασμένης ικανότητας για ικανοποίηση συνθηκών πυκνότητας, υπάρχει δυσκολία παρακολούθησης της συνέχειας γεωμετρικών στοιχείων (π.χ., γραμμές και κυρίως επιφάνειες).
- Το μέγεθος της πυκνότητας, που επηρεάζει την πιστότητα της αναπαράστασης, συναρτάται από τον χρόνο παραμονής στο πεδίο.

- Υπάρχει σημαντικό πρόβλημα χρόνου και κόστους εργασιών πεδίου, που εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του αντικειμένου.
- Η αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων είναι εύκολη.
- Δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν λεπτομέρειες και πολύπλοκα αρχιτεκτονικά (κυρίως μη-γραμμικά) ή δύσκολα προσπελάσιμα στοιχεία του προς αποτύπωση αντικειμένου.
- Υπάρχει ανάγκη για πρόσθετες εργασίες, που χρησιμοποιούνται στην εμπειρική μέθοδο, όπως είναι π.χ. μετρήσεις με μετροταινία, ερασιτεχνικές φωτογραφίες κ.α.

### Σαρωτής Laser

Τα συστήματα σάρωσης με laser παρέχουν σημειακή πληροφορία εντοπισμού υψηλής πυκνότητας για την επιφάνεια ενός αντικειμένου από το οποίο κατασκευάζονται μοντέλα και καθορίζονται οι διαστάσεις τους. Ο σαρωτής laser (Εικόνα 2.2) χρησιμοποιείται για τη συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων απεικόνισης (συντεταγμένες) με μετρήσεις αποστάσεων και γωνιών, ώστε να δημιουργηθούν ψηφιακά δεδομένα για αντικείμενα και κατασκευές στον χώρο.

Προσφέρει τη δυνατότητα να απεικονίζει με ακρίβεια εκατοστού σχήματα τριών διαστάσεων, όπως γέφυρες, αρχαιολογικούς χώρους, μεταλλεία, φράγματα κλπ. και συνήθως διαθέτει ενσωματωμένη μια φωτογραφική μηχανή για την οπτική απεικόνιση του χώρου ταυτόχρονα με τις μετρήσεις laser.

Η θέση ενός σημείου στον χώρο προσδιορίζεται από τη μέτρηση της κεκλιμένης απόστασης και δύο γωνιών. Μαζί με την ένταση της επιστρέφουσας ακτινοβολίας, κάθε σημείο προσδιορίζεται ως προς ένα τοπικό σύστημα αναφοράς. Το σύστημα σάρωσης δημιουργεί ένα νέφος από σημεία του χώρου με τις συντεταγμένες τους. Κατόπιν γίνεται επεξεργασία των σημείων αυτών, ώστε να κατασκευαστούν σχέδια, υψόμετρα μοντέλα επιφάνειας κλπ. Η πυκνότητα των σημείων μπορεί να είναι της τάξης του ενός χιλιοστού, αλλά αυτό εξαρτάται από την απόσταση.





Εικόνα 2.2: Μετρήσεις με σαρωτή Laser.

Πηγή: <http://ahmct.ucdavis.edu/projects/284/>

### Κόστος

Το κόστος αγοράς εξοπλισμού είναι ενώ το κόστος της αποτύπωσης μπορεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλό λόγω του μειωμένου χρόνου παραμονής των ειδικευμένων επιστημόνων στον τόπο καταγραφής.

### Ακρίβεια

Ικανοποιητική ακρίβεια μετρήσεων, ακόμη και για περιπτώσεις προσδιορισμού παραμορφώσεων του εδάφους ή τεχνικών έργων. Η ακρίβεια των συστημάτων laser έχει φτάσει σήμερα να δίδει ακρίβειες της τάξης του 1 μέχρι 3 εκατοστών στη μέτρηση της απόστασης. Η μέτρηση αποστάσεων μπορεί να φτάσει ακρίβειες μέχρι και 1 έως 3 χιλιοστών σε ειδικές συνθήκες.

### Εμπειρία προσωπικού-όγκος εξοπλισμού

Είναι απαραίτητη η εκπαίδευση ανθρώπινου δυναμικού, καθότι χρειάζεται εμπειρία κατά την διάρκεια τόσο των μετρήσεων όσο και στην επεξεργασία τους. Τα συστήματα σάρωσης είναι πολλές φορές ογκώδη, πράγμα που σημαίνει ότι μετακινούνται δύσκολα.

### Τρόπος αποθήκευσης- διαχείριση μετρήσεων

Οι μετρήσεις που πραγματοποιεί το σαρωτής είναι αρκετά πυκνές, της τάξης του ενός εκατομμυρίου σημείων ανά δευτερόλεπτο, πράγμα που σημαίνει αποθήκευση μεγάλου αριθμού δεδομένων και μετέπειτα χρήση υπολογιστή υψηλών επιδόσεων.

### Έκταση περιοχής

Δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στην έκταση της περιοχής προς αποτύπωση διότι τα όργανα έχουν εμβέλεια από μερικά μέτρα μέχρι το πολύ 6 χιλιόμετρα ανάλογα βέβαια τις κατηγορίες οι οποίες ανήκουν. Υπάρχουν διάφοροι τύποι σαρωτών laser, όπως κινητοί, που μεταφέρονται είτε σε αεροσκάφη, αυτοκίνητα, σκάφη, είτε από ανθρώπους, ή επίγειοι και στάσιμοι σαρωτές, που βρίσκονται σε σταθερό σημείο στο έδαφος. Η εμβέλεια ποικίλει σύμφωνα με τις κατηγορίες των σαρωτών Laser.

### Καιρικές συνθήκες

Ο σαρωτής Laser επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες ιδιαίτερα από την υγρασία και τα σύννεφα, διότι μεταξύ της δέσμης και του αντικειμένου που στοχεύει παρεμβάλλονται τα σωματίδια της ατμόσφαιρας.

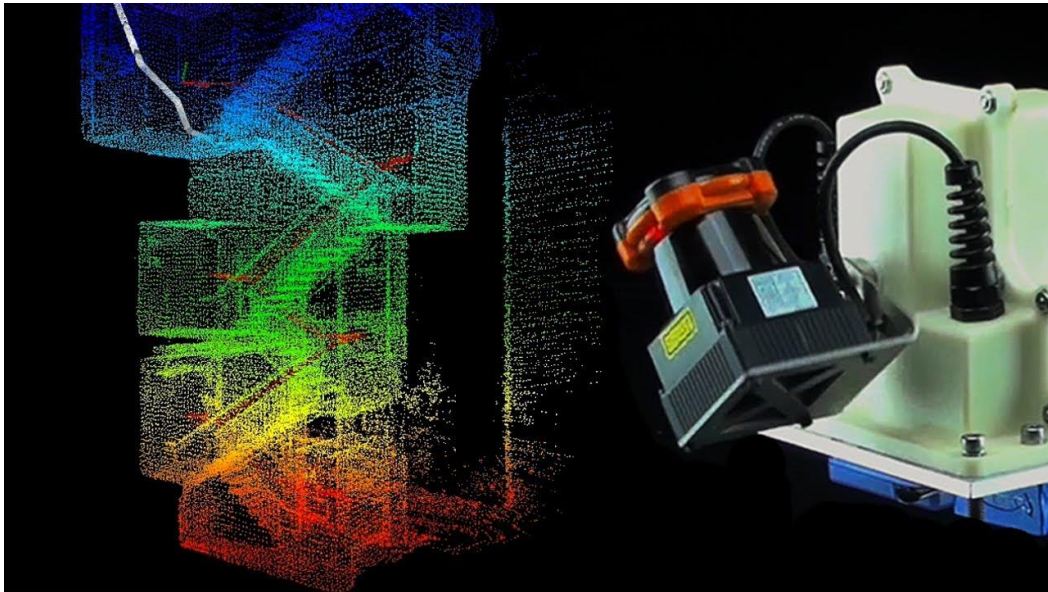
### Σημαντικές παρατηρήσεις για τον σαρωτή Laser

- Μεγάλη διάρκεια ζωής των σαρωτών.
- Ασφάλεια προσωπικού κατά την διάρκεια των μετρήσεων – αποφυγή ατυχημάτων.
- Χρειάζονται πολλές διαφορετικές διευθύνσεις λήψεων μετρήσεων διότι η σάρωση γίνεται κατά την σκοπευτική διεύθυνση του οργάνου.
- Η δημιουργία κενών και σκιών κατά τις μετρήσεις απαιτεί την προσοχή στην επιλογή των σημείων λήψης δεδομένων.
- Οι συσκευές είναι συμπαγείς, δεν χρειάζονται εξωτερική πηγή ενέργειας και δεν είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για να λειτουργήσουν στο πεδίο.
- Έξτρα εξοπλισμός για τις μετρήσεις υπολογιστή και φωτογραφική μηχανή για λήψη φωτογραφιών γιατί η περιοχή υπό έρευνα μπορεί να μην έχει καλό φωτισμό και πρέπει να αποδοθεί σωστά το χρώμα των αντικειμένων στην επεξεργασία.
- Χάρη σε αυτό το μεγάλο πλήθος δεδομένων οι σαρωτές Laser έχουν καταστεί ως μία πολύ αποδοτική μέθοδος σε πολλές εφαρμογές και επιστημονικά πεδία.

### LIDAR

Στα συστήματα χαρτογράφησης με αερομεταφερόμενο LIDAR (Light Detection And Ranging), η συσκευή μέτρησης τοποθετείται σε αεροσκάφη, ελικόπτερα, μη επανδρωμένες ιπτάμενες μηχανές (UAV, Unmanned Aerial Vehicles). Σε αυτά τα συστήματα (Εικόνα 2.3), όπως και στα δυναμικά επίγεια συστήματα σάρωσης, υπάρχει η ανάγκη για συνεχή γνώση της θέσης του αεροσκάφους, στο οποίο έχει τοποθετηθεί ο σαρωτής (ελικόπτερο ή αεροπλάνο). Κατά την κίνηση του φορέα που μεταφέρει το σύστημα LIDAR, οι εκπεμπόμενοι προς το έδαφος παλμοί ανακλώνται από το έδαφος και/ή από άλλα αντικείμενα και εντοπίζονται/ ανιχνεύονται από το σύστημα LIDAR

σχεδόν ακαριαία. Από τους παλμούς αυτούς, προσδιορίζονται αποστάσεις και γωνίες προς τα ανακλαστικά αντικείμενα. Ταυτόχρονα, η μονάδα INS καταγράφει τα δυναμικά στοιχεία πτήσης, ο δέκτης GNSS τις εκάστοτε συντεταγμένες του συστήματος LIDAR. Παράλληλα, η κάμερα φωτογράφισης πραγματοποιεί λήψη φωτογραφιών ή βίντεο στην υπό μέτρηση περιοχή. Ο εξαιρετικά ταχύς ρυθμός παραγωγής παλμών Laser (χιλιάδες παλμοί/sec) καθιστά εφικτό τον προσδιορισμό των συντεταγμένων ενός τεράστιου αριθμού σημείων του εδάφους. Επομένως, πέρα από τις συντεταγμένες, προκύπτει και μια πυκνή εικόνα του εδάφους.



Εικόνα 2.3: Αποτύπωση με χρήση LIDAR.

Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=8ezyhTAEyHs>

### Κόστος

Το κόστος εξαρτάται με την περιοχή ενδιαφέροντος. Παλαιότερα για περιοχή μεγάλης κλίμακας υπήρχε η ανάγκη μίσθωσης αεροπλάνου, πλέον με την εξέλιξη που παρουσιάζουν τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα μπορούν να καλύψουν τις ίδιες ανάγκες με αρκετά χαμηλότερο κόστος.

### Ακρίβεια

Εξαρτάται από το είδος της σάρωσης, αν είναι εναέρια μέσω αεροπλάνου έχει αρκετά καλή λεπτομέρεια στις μετρήσεις, ενώ αν είναι μέσω δορυφόρων τότε καλύπτει μεγαλύτερες σε έκταση περιοχές αλλά με λιγότερη ακρίβεια. Με την χρήση των UAVs οι ακρίβεια μπορεί να ακόμα καλύτερη.

### Εμπειρία προσωπικού – όγκος εξοπλισμού

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρειάζεται προσωπικό. Ο εξοπλισμός εξαρτάται από την έκταση της περιοχής.

### Τρόπος αποθήκευσης- διαχείριση μετρήσεων

Όλα τα δεδομένα καταγράφονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

### Έκταση περιοχής

Καλύπτει αρκετά μεγάλες περιοχές, στις μικρές έχει πρόβλημα (με επιφύλαξη).

### Καιρικές συνθήκες

Το LIDAR λειτουργεί καλά σε όλες τις συνθήκες φωτός, αλλά αρχίζει να αποτυγχάνει με την αύξηση του χιονιού, της ομίχλης, της βροχής και των σωματιδίων σκόνης στον αέρα λόγω της χρήσης των μηκών κύματος φωτός. Μπορεί να σαρώνει και την νύχτα.

### Σημαντικές παρατηρήσεις

- Το LIDAR δεν ανιχνεύει το χρώμα ή την αντίθεση και δεν μπορεί να παρέχει δυνατότητες οπτικής αναγνώρισης. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται μια φωτογραφική μηχανή.

## Φωτογραμμετρία

Σκοπός της φωτογραμμετρίας είναι ο προσδιορισμός της θέσης και της μορφής αντικειμένων, με πληροφορία που πηγάζει από επικαλυπτόμενες απεικονίσεις. Από τις εικόνες μπορούν να εξαχθούν μετρήσιμα χωρικά δεδομένα. Η αρχή της φωτογραμμετρίας στηρίζεται στο φαινόμενο της παράλλαξης, το οποίο με την σειρά του προσδίδει στην μέθοδο την ικανότητα της απεικόνισης της τρισδιάστατης μορφής του αντικειμένου. Η φωτογραμμετρία διακρίνεται σε επίγεια και εναέρια. Η επίγεια φωτογραμμετρία πραγματοποιείται με φωτογραφικές μηχανές ενώ η εναέρια φωτογραμμετρία γίνεται με μέσω δορυφόρων, αεροπλάνων, πτητικών συστημάτων και μη επανδρωμένων ιπτάμενων συσκευών που μεταφέρουν απεικονιστικούς αισθητήρες ή κάμερα – βίντεο (Εικόνα 2.4). Η μεθοδολογία μέσω των επικαλυπτόμενων φωτογραφιών δίνει την δυνατότητα να αναπαραχθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο της εικόνας, που ονομάζεται στερεομοντέλο. Χρήση των στερεομοντέλων οδηγεί σε τεχνικές για την ακριβή μέτρηση υψομετρικών διαφόρων και θέσης σημείων εδάφους.

Η μέθοδος αυτή απαιτεί προπαρασκευαστικές ενέργειες στο πεδίο πριν την πτήση π.χ. για τις ανάγκες εφαρμογών που απαιτούν ένταξη σε γνωστό σύστημα συντεταγμένων. Έτσι, κρίνεται αναγκαίο να τοποθετηθούν από την αρχή της διαδικασίας τα επίγεια σημεία ελέγχου (Ground Control Points - GCPs, φωτοσταθερά). Αυτά τα σημεία έχουν ζωτική σημασία για την γεωμετρική διόρθωση των αεροφωτογραφιών. Για να δοθεί μια πραγματική αίσθηση και αντίληψη των μεγεθών και των αποστάσεων των αντικειμένων στην φωτογραφία, απαιτείται να καταγραφούν οι ακριβείς συντεταγμένες των θέσεων που μπορούν να εντοπιστούν μέσα σε μια εικόνα. Το παράγωγο της γεω-αναφοράς (Geo-reference) και διορθώσεων του μωσαϊκού των εικόνων ονομάζεται ορθοφωτογραφία η οποία καθίσταται χρήσιμη για μετρητικές εφαρμογές. Τα φωτοσταθερά υλοποιούνται με δύο τρόπους τεχνητά ή φυσικά. Τα τεχνητά σημεία είναι εκτυπωμένοι στόχοι μορφοτύπων ενώ τα φυσικά ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα βράχοι με συγκεκριμένο σχήμα για να ξεχωρίζουν εύκολα. Τα σημεία επιλέγονται με διάφορα κριτήρια όπως οι καιρικές συνθήκες. Π.χ. σε περίπτωση



βροχής, αν τα GCPs είναι από χαρτί, θα αλλοιωθούν, όπως και έγινε στην παρούσα εργασία. Αντίθετα, κάποιο φυσικό GCP (πέτρα) δεν θα δημιουργούσε αλλοιώσεις. Αν οι περιοχές είναι δύσβατες ή προστατευόμενες ζώνες για ζώα υπό προστασία αλλά και περιοχές που υπάρχουν επικίνδυνες συνθήκες για το προσωπικό, τότε τα GCPs που χρησιμοποιούνται είναι φυσικά. Απόρροια όλων αυτών είναι η εξοικονόμηση χρόνου και κόπου στο πεδίο αναφορικά με την σάρωση τμημάτων της περιοχής. Να σημειωθεί εδώ ότι για την κατάλληλη επιλογή θέσης και υλοποίησης των σημείων ελέγχου απαιτείται εμπειρία και σωστός οπτικός έλεγχος της περιοχής.



Εικόνα 2.4: Φωτογραμμετρική αποτύπωση με UAV για υπολογισμό όγκου.

Πηγή: <http://www.italdron.com/professional-drones-application/photogrammetry>

### Κόστος

Ο εξοπλισμός πεδίου είναι από χαμηλού κόστους μέχρι μέτριου. Στην περίπτωση μας είναι της τάξης των 500 Ευρώ ενώ υπάρχουν υλοποιήσεις 10άδων χιλιάδων ευρώ.

### Ακρίβεια

Γενικά ως μέθοδος παρέχει τη δυνατότητα για επιστημονικό έλεγχο της ακρίβειας και αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, παρόλα αυτά, υπάρχουν αρκετές πηγές σφαλμάτων όπως φακοί, κάμερες, διάθλαση ατμόσφαιρας, αισθητήρες και GPS. Συνήθως υπάρχουν κατάλληλες προδιαγραφές και βαθμονομήσεις για τη μερική διόρθωση των σφαλμάτων.

### Εμπειρία προσωπικού – όγκος εξοπλισμού

Είναι απαραίτητη η γνώση κάποιων θεωρητικών στοιχείων, οπότε χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό. Ο όγκος εξοπλισμού εξαρτάται από την έκταση της περιοχής που ερευνάται.

#### Τρόπος αποθήκευσης- διαχείριση μετρήσεων

Η ευκολία με την οποία συλλέγεται μεγάλο πλήθος δεδομένων σε σχέση και με το χαμηλό συνολικό κόστος, είναι δυο βασικοί λόγοι ώθησης προς την εφαρμογή διαχρονικής παρακολούθησης των αντικειμένων προς αποτύπωση. Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι εξειδικευμένος είτε μέτριου είτε υψηλού κόστους. Η αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων είναι δύσκολη και απαιτητική.

#### Έκταση περιοχής

Δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στην έκταση, μπορεί να είναι μικρή μέχρι μεγάλη. Ουσιαστικά ότι μπορεί να φωτογραφηθεί μπορεί και να μετρηθεί.

#### Καιρικές συνθήκες

Τα μη επανδρωμένα οχήματα δεν μπορούν να επιχειρήσουν σε ιδιαίτερα δυσμενής καιρικές συνθήκες βροχόπτωσης και αέρα.

#### Σημαντικές παρατηρήσεις

- Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η ταχύτητα, τόσο στην σάρωση και στην συλλογή των μετρήσεων όσο και στην παραγωγή των επιθυμητών μοντέλων.
- Ένα επίσης σημαντικό γεγονός έναντι των άλλων μεθόδων είναι η ασφάλεια του προσωπικού, σε περιπτώσεις απαγορευτικής προσπελασιμότητας του εδάφους.
- Παραμορφώσεις στην εικόνα λόγω γεωμετρίας φακών, ατμοσφαιρικής διάθλασης, καμπυλότητας της γης που στην επεξεργασία μπορούν να διορθωθούν κατά το μεγαλύτερο κομμάτι τους και να δώσουν πραγματικές διαστάσεις των αντικειμένων υπό έρευνα (ορθοφωτοχάρτες).
- Εξακολουθούν και απαιτούν τη συνεργασία των τοπογραφικών μεθόδων.
- Η απεικόνιση είναι συνεχής.
- Μπορεί ο χρήστης έχοντας τα πρωτογενή δεδομένα να επαναλάβει – πυκνώσει την αποτύπωση σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

#### Παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GNSS)

Το σύστημα GPS (Global Positioning System) είναι ένα δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης, ταχύτητας και χρόνου. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ραδιοσήματα από δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη. Ο βασικός προορισμός του συστήματος ήταν ο έλεγχος της κίνησης οχημάτων, πλοίων και αεροπλάνων σε παγκόσμια κλίμακα για στρατιωτικούς σκοπούς. Με την πάροδο του χρόνου όμως και με την βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος, οι εφαρμογές του επεκτάθηκαν και συνεχίζουν

να επεκτείνονται και σε άλλους τομείς, όπως την τοπογραφία μέσω δημιουργίας αποτυπώσεων, χαράξεις τεχνικών έργων, αλλά και παρακολούθηση μικρομετακινήσεων του στερεού φλοιού της Γης κ.α.(Εικόνα 2.5)

Σήμερα τα κινητά τηλέφωνα τύπου Smartphone και οι φορητοί υπολογιστές (τύπου Tablet) διαθέτουν δέκτη GPS, με τη βοήθεια του οποίου αναπτύσσονται λειτουργίες γεω-εντοπισμού σε συνδυασμό με ενσωματωμένους ψηφιακούς χάρτες. Έτσι, διευκολύνεται ο εντοπισμός θέσης του κινητού, το οποίο μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια περίπου 50-100 μέτρων από τις συχνότητες της κινητής τηλεφωνίας, που βελτιώνεται σημαντικά με τη χρήση του GPS (περίπου 3-10 μέτρων) γεγονός που το καθιστά χρήσιμο για εφαρμογές πλοήγησης.



Εικόνα 2.5: Τοπογραφική αποτύπωση σε υπαίθρια εκμετάλλευση με GPS.

Πηγή: <http://www.co-surv.com/1.services,land-surveying.html>

### Κόστος

Το κόστος των δορυφορικών δεκτών GPS συνεχώς μειώνεται. Στην αρχή του 1980 ένας δέκτης GPS κόστιζε 200.000 δολάρια Αμερικής. Σήμερα οι τιμές τους για δέκτες ακριβείας έχουν φτάσει τα 20.000 δολάρια και συνεχώς μειώνονται. Ιαπωνικές αλλά και άλλες εταιρείες πωλούν σήμερα εμπορικούς δέκτες με ακρίβειες της τάξης των  $\pm 10$  μέτρων σε τιμές περίπου 100-500 ευρώ.

### Ακρίβεια

Παρέχει ακρίβειες της τάξης των  $\pm 1-3$  μέτρων σε απόλυτο προσδιορισμό θέσης για πολιτικές εφαρμογές ή  $\pm 10-30$  εκατοστών για στρατιωτικούς σκοπούς ενώ σε σχετικό προσδιορισμό οι ακρίβειες είναι καλύτερες από  $\pm 1$  εκατοστό. Επιπλέον, οι ακρίβειες προσδιορισμού ταχύτητας είναι της τάξης του  $\pm 0,1$  m/s και του χρόνου της τάξης των  $\pm 10$  ns.

#### Εμπειρία-όγκος εξοπλισμού

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρειάζεται τουλάχιστον δύο άτομα σαν προσωπικό ώστε να γίνει σωστά η μεταφορά του απαιτούμενου εξοπλισμού. Για την διαδικασία των μετρήσεων δεν χρειάζεται κάποια απαραίτητη προϋπηρεσία, εφόσον γίνει κατανοητή η μέθοδος διεξαγωγής των μετρήσεων.

#### Τρόπος αποθήκευσης- διαχείριση μετρήσεων

Ο κάθε χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει για την καταγραφή των δεδομένων. Καταγράφονται απευθείας, είτε στην μνήμη του οργάνου είτε περνούν αυτόματα στον συνδεδεμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή.

#### Έκταση περιοχής

Η μοναδικότητα του GPS βασίζεται στο ότι μπορεί να προσδιορίζει την τρισδιάστατη θέση σημείων στην επιφάνεια της Γης ή γύρω από αυτή.

#### Καιρικές συνθήκες

Λειτουργεί με οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες (βροχή, χιόνι, ομίχλη, νύχτα, ημέρα).

#### Σημαντικές παρατηρήσεις για το σύστημα εντοπισμού θέσης

- Εξαιτίας της υψηλής συχνότητας των σημάτων του, η ορατότητα του δέκτη-δορυφόρου παίζει σημαντικό ρόλο στη λήψη των σημάτων. Συνεπώς, ο εντοπισμός δεν μπορεί να γίνει για υποθαλάσσιους δέκτες (π.χ. υποβρύχια, σήραγγες) ή για δέκτες καταλυμένους από κτίσματα, φυλλώματα κλπ.
- Το GPS δεν μπορεί να δουλέψει σε κλειστούς χώρους, όπως ένα μεταλλείο, επειδή η μικροκυματική ακτινοβολία των σημάτων του δεν διαπερνά στερεά σώματα.
- Δεν υπάρχει απαίτηση ορατότητας μεταξύ των σημείων μέτρησης.

## 2.2 Επεξεργασία μετρήσεων

Η σάρωση ενός αντικειμένου για την τρισδιάστατη αποτύπωση του γίνεται συνήθως από διάφορες θέσεις (στάσεις) όπου προκύπτουν νέφη σημείων που περιγράφουν πλήρως την περιοχή. Στο στάδιο της επεξεργασίας, εφόσον η επιλογή των δεδομένων και η εισαγωγή τους στον ηλεκτρονικό υπολογιστή πραγματοποιήθηκαν με τους σωστούς τύπους αρχείων, υπάρχει μια ακολουθία βημάτων για την δημιουργία των ψηφιακών μοντέλων.

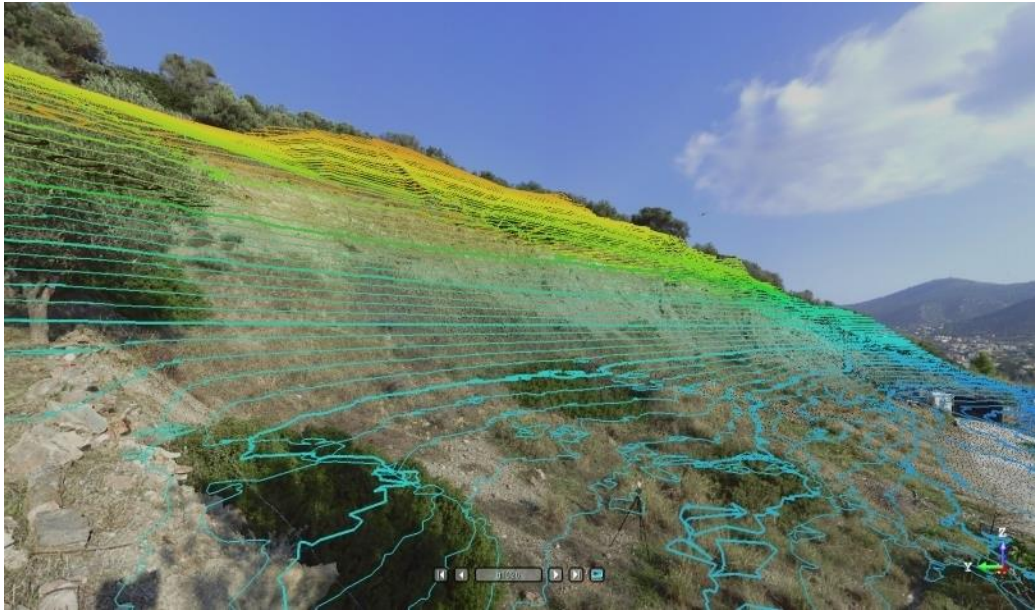


Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους έχει διάφορες μορφές (James & Robson, 2014). Την μορφή νέφους σημείων (point cloud), τη μορφή ψηφιδωτής εικόνας ενός περισσότερο ή λιγότερο πυκνού καννάβου (raster), ή τη μορφή πολλών ενωμένων τριγώνων μεταξύ των σημείων (Triangulated Irregular Network, TIN), (Σαββαΐδης, Υφαντής, Δούκας, Λακάκης, 2016). Το τριγωνικό πλέγμα προκύπτει από τη διαδικασία της τριγωνοποίησης. Κατά τη διαδικασία αυτή, όλα τα τρισδιάστατα σημεία, που συλλέχθηκαν από την τρισδιάστατη σάρωση, ενώνονται με επιλεγμένους γείτονές τους σχηματίζοντας έτσι ένα πλέγμα τριγώνων, το οποίο περιγράφει τις επιφάνειες του ψηφιοποιημένου αντικειμένου. Ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι η προσέγγιση του φυσικού ανάγλυφου με την βοήθεια μιας μαθηματικής επιφάνειας κατάλληλα οριζόμενης. Η βασική επιδίωξη κατά τον υπολογισμό ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι η κατά το δυνατό καλύτερη προσαρμογή του στα δεδομένα της πραγματικής επιφάνειας του εδάφους, που πρόκειται να απεικονίσει (Εικόνα 2.6). Μπορούν επίσης να εφαρμοσθούν τεχνικές σκίασης του απεικονιζόμενου μοντέλου αλλά και δημιουργία ισούψων καμπυλών (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.6: Συνδυασμός αποτύπωσης με επεξεργασία ψηφιακού μοντέλου.

Πηγή: [http://www.darlingltd.com/3d\\_laser\\_scanning.html](http://www.darlingltd.com/3d_laser_scanning.html)



Εικόνα 2.7: Μοντέλο εδάφους με συνδυασμό ισοϋψών καμπυλών.

Πηγή: <http://xyzlaserscanning.com/>

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Models, DEMs) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τρισδιάστατη απεικόνιση τόσο δομημένων περιοχών όσο και υπαίθριων χώρων. Και στις δυο περιπτώσεις υπάρχει δυνατότητα απεικόνισης των κτιρίων ή άλλων τεχνητών κατασκευών με τη μορφή στερεών στο χώρο. Έτσι, μπορεί να γίνει η απεικόνιση ενός οικισμού σε τρεις διαστάσεις ή της τοποθεσίας δεξαμενών, οικισμών, πύργων παρατήρησης για την πυροπροστασία των δασικών περιοχών ή μιας εκσκαφής (όπως έγινε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας).

Ύστερα από αυτήν την επεξεργασία, τα ψηφιακά μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί χρειάζεται να μετατραπούν σε ορθοφωτογραφίες. Μια ορθοφωτογραφία είναι μια αεροφωτογραφία που έχει διορθωθεί γεωμετρικά, έτσι ώστε η τελική εικόνα να αποτελεί ορθή προβολή χωρίς παραμορφώσεις. Οι παραμορφώσεις μπορούν να προκύψουν από διάφορους λόγους παραδείγματος χάριν από τον φακό της κάμερας και την γωνία λήψης, από την εκτροπή λόγω ανάγλυφου κτλ.

Εν κατακλείδι, να σημειωθεί πως πολλές φορές η πολυπλοκότητα του αντικειμένου και η ανάγκη για μεγάλη λεπτομέρεια καθιστούν ασύμφορη οικονομικά αλλά και χρονικά μια τοπογραφική μέθοδο αποτύπωσης. Για το λόγο αυτό, για την τοπογραφική αποτύπωση μιας περιοχής, ο συνδυασμός μεθόδων κρίνεται απαραίτητος (Bemis et al., 2014) (Εικόνα 2.8). Όλες οι μέθοδοι μεμονωμένα μπορούν να δώσουν αποτελέσματα αλλά η σύνδεση των αποτελεσμάτων μπορούν να αλληλοσυμπληρώσουν κενά ως συνέπεια μεγαλύτερης απόδοσης με αξιοπιστία και με ακρίβεια. Στην συγκεκριμένη διπλωματική επιλέχθηκε η μέθοδος της φωτογραμμετρίας μέσω μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος με την βοήθεια του ολικού γεωδαιτικού σταθμού.





Εικόνα 2.8: Εξοπλισμός αποτύπωσης στο πεδίο.

<http://www.ee.co.za/article/using-uavs-survey-tool.html>

Παρακάτω διατίθεται συγκριτικός πίνακας όπου παρουσιάζονται παρόμοιες προσεγγίσεις του θέματος με της διπλωματικής εργασίας ανά τον κόσμο.

## 2.3 Σχετική βιβλιογραφία

Η βιβλιογραφία που μελετήθηκε αναφέρεται σε γενικές ιδιότητες των μη επανδρωμένων οχημάτων, σε εφαρμογές γενικού περιεχομένου, καθώς και σε εξειδικευμένες εφαρμογές μη επανδρωμένων οχημάτων στις Γεωεπιστήμες. Για λόγους συγκεντρωτικής παρουσίασης της πληροφορίας παρατίθεται σχετικός πίνακας (πίνακας 2.1) όπου φαίνονται τα κύρια ευρήματα και ειδικές συνθήκες για κάθε σχετική επιστημονική δημοσίευση. Από τις ενδεικτικές αυτές βιβλιογραφικές αναφορές διαφαίνεται μία επανάληψη στη μεθοδολογία μετρήσεων η οποία μάλιστα δεν επιδεικνύει τις περισσότερες φορές κάποιο στοιχείο πρωτοτυπίας ή καινοτομίας. Στις περισσότερες δε περιπτώσεις χρησιμοποιούνται εμπορικά μη επανδρωμένα οχήματα και εμπορικά λογισμικά χωρίς ιδιαίτερο έλεγχο στην ακρίβεια και ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Βιβλιογραφία	Στοιχεία Πτήσης									
	Σκοπός	Χρό- νος	Υψόμε- τρο	Έκταση περιο- χής	Ακρί- βεια	Είδος UAV	Τρόπος πτήσης	GCPs	Εξοπλισμός	Παράγωγα επεξεργασίας
Remondino F. et al(2011)	Κατά κύριο λόγο αποτυπώσεις αρχαιολογικών χώρων		35μ.			τετρακόπτερο Microdrone	πτήση με χειριστήριο		GNSS/INS, Camera: Pentax Optio A40	100 φωτογραφίες, νέφη σημείων, ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα, ορθοφωτογραφίες
Carvajal F. et al (2011)	Επιτήρηση ολίσθησης εδάφους		50μ.	μήκος αναχώματος 100 μ. και πλάτος 20μ.	0,12 μ.	md4-200 Microdrone	αυτόνομη πτήση	31	GPS,IMU,Camera: Pentax Optio A40	54 φωτογραφίες, νέφη σημείων, ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα, ορθοφωτογραφίες
Janos Meszaros (2011)	αρχαιολογικός χώρος					μοντέλο Easy Star XXL αεροπλανου			GPS,IMU,Camera:	200 φωτογραφίες, ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα
Uysal M. et al (2015)	αποτύπωση βραχώδους περιοχής		60μ.	5 στρέμματα	0,67μ.	Octo XL mikrokopter	αυτόνομη πτήση, διορθώσεις από χειριστήριο	27	ψηφιακή κάμερα	200 φωτογραφίες, νέφη σημείων, ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα, ορθοφωτογραφίες
Henri Einsenbeiss (2004)	αποτύπωση παλιού ορυχείου	15 min	56μ.	μήκος 200μ. και πλάτος 300μ.		ελικόπτερο Copter 1B	αυτόνομη πτήση, διορθώσεις από χειριστήριο		GNSS/INS και ψηφιακή κάμερα	100 φωτογραφίες, ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα, ορθοφωτογραφίες

Peterman V. & Mesaric M. (2012)	αξιολόγηση όγκου άνθρακα	15 min	80μ.		0,4μ.	microdrone MD4-1000 quadcopter	αυτόνομη πτήση, διορθώσεις από χειριστήριο	9	GNSS/INS και ψηφιακή κάμερα	130 φωτογραφίες, ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα, ορθοφωτογραφίες
Niethammer U. et al (2010)	Επιτήρηση ολίσθησης εδάφους σε πλαγιά βουνού		200μ.	μήκος 850μ.		τετρακόπτερο όπου κατασκέυασαν οι ίδιοι			IMU, ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα	300 φωτογραφίες, νέφη σημείων, ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα, ορθοφωτογραφίες
Jianping Chen et al (2015)	γεωμορφολογία υπαίθριας εκμετάλλευσης	17 min	200-250μ.	3 χλμ.		Skywalker X5	αυτόνομη πτήση	23	ψηφιακή κάμερα	500 φωτογραφίες, νέφη σημείων, ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα, ορθοφωτογραφίες

Πίνακας 2.1

## 2.4 Σχετικές εταιρείες

Πέρα από την σχετική επιστημονική βιβλιογραφία, κρίθηκε απαραίτητο να διερευνηθεί το αντίστοιχο θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αν προσφέρεται εμπορικά ως υπηρεσία. Μεγάλες εταιρείες ανά τον κόσμο, παρέχουν υπηρεσίες αποτύπωσης ευρείας κλίμακας. Διαθέτουν εξοπλισμό και συστήματα μεγάλης ακρίβειας για σαρώσεις εδάφους όπως και λογισμικά προς την διεκπεραίωση των έργων και την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Οι περισσότερες σχετικές εταιρείες πλέον διαθέτουν στο δυναμικό τους UAVs αλλά και πολλές άλλες στηρίζονται εξ ολοκλήρου σε UAVs.

Παρακάτω παρατίθεται μια ενδεικτική λίστα ελληνικών και ξένων εταιρειών:

- Elxis group (<http://www.elxisgroup.com/> )
- Geomatics (<http://www.geomatics.gr/el/> )
- Ace Hellas (<https://www.ace-hellas.gr/> )
- Airobotics (<http://www.airobotics.co.il/> )
- Precision Mapper (<https://www.precisionmapper.com/algorithms/volume-measurement> )
- Kespry (<http://kespry.com/solutions/aggregates> )
- Skycatch (<https://www.skycatch.com/products/> )
- Drones at Work (<http://www.dronesatwork.com/> )
- Airware (<https://www.airware.com/industries/mining-quarrying> )
- Ascending technologies (<http://www.asctec.de/uav-uas-drohnen-anwendungen/> )
- UAV Coach (<https://uavcoach.com/introducing-dronedeploy-volume-measurement/> )

Η φιλοσοφία κάθε εταιρείας από τις παραπάνω είναι η εξής: χρησιμοποιούν αποκλειστικά και μόνο εξοπλισμό με UAVs για να σαρώσουν την επιθυμητή περιοχή. Τα δεδομένα που συλλέγονται, επεξεργάζονται με εξειδικευμένα λογισμικά των εταιρειών αλλά και με λογισμικά του εμπορίου εξάγοντας το τελικό προϊόν που χρειάζεται ο πελάτης.

Επιπλέον, υπάρχουν εταιρείες που ενοικιάζουν τον εξοπλισμό (UAVs) και παρέχουν υπηρεσίες, πωλούν λογισμικά για ιδιωτική χρήση και προσφέρουν υποστήριξη με συνδρομή.

## 2.5 Ανάλυση αγοράς

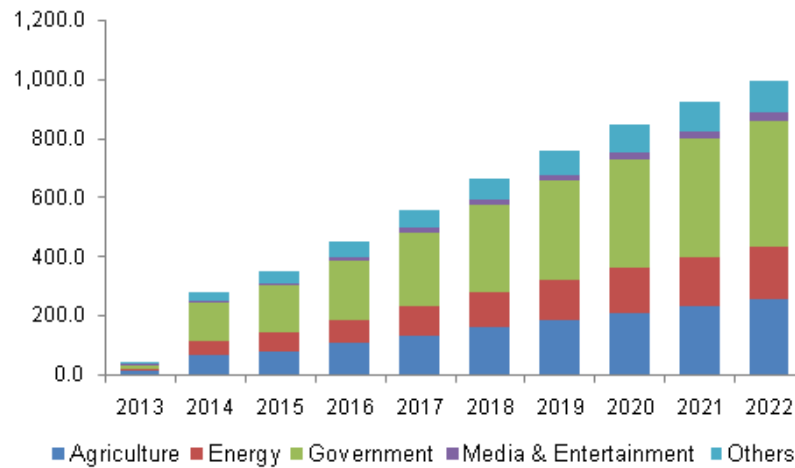
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα μη επανδρωμένα υπτάμενα οχήματα (UAVs) βρίσκουν στις μέρες μας εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα κατηγοριών. Φυσικό αποτέλεσμα είναι να υπάρχει μεγάλος αριθμός εταιριών οι οποίες δραστηριοποιούνται στους τομείς αυτούς. Στο σημείο αυτό, θα γίνει μία παρουσίαση της εικόνας της αγοράς σήμερα, όσον αφορά τον τομέα των UAVs.

Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς των UAVs, υπολογίστηκε για το 2014 στα 552 εκατομμύρια δολάρια και σύμφωνα με μελέτες, εκτιμάται να φτάσει το 2020 τα 1.8 δισεκατομμύρια δολάρια. Εκτιμάται μία ετήσια αύξηση της τάξης του 16,9% έως και το 2022 σε παγκόσμιο επίπεδο, με τη μεγαλύτερη ετήσια αύξηση να αναμένεται στην Ευρώπη (36%).

Τα επόμενα χρόνια, αναμένεται ανάπτυξη της αγοράς και επέκταση των εφαρμογών, ιδίως στους τομείς της επιβολής του νόμου και της γεωργίας. Η ανάγκη για καλύτερες αεροφωτογραφίες, η αυξανόμενη ζήτηση για τηλεπισκόπηση και επιθεωρήσεις από τον αέρα, καθώς και η εμφάνιση προηγμένων αισθητήρων και οι διαρκώς αναπτυσσόμενες δυνατότητες των υπολογιστών, συντελούν στη χρήση των UAV σε εμπορικές εφαρμογές. Η τεχνολογική ωριμότητα και η πτώση των τιμών αυτών των συστημάτων επεκτείνουν τις ευκαιρίες της αγοράς σε ένα ευρύ φάσμα εμπορικών εφαρμογών. Οι τεχνολογικές εξελίξεις, με την πάροδο των ετών, έχουν επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην προσβασιμότητα και την ευκολία χρήσης. Τα αεροσκάφη νέας γενιάς έχουν καλύτερες ικανότητες πλοήγησης, μπορούν να μεταφέρουν αυξημένα και διαφορετικά φορτία, να αναλαμβάνουν πτήσεις μεγαλύτερης διάρκειας και να εξασφαλίζουν καλύτερες προσγειώσεις. Επίσης, οι ανεπτυγμένες δυνατότητες σχεδιασμού και επεξεργασίας δεδομένων, ενθαρρύνουν και αυτές με τη σειρά τους την ανάπτυξη της αγοράς.

Οι βιομηχανίες ηλεκτρονικού εμπορίου και λιανικής πώλησης εργάζονται για τη χρήση των UAVs προκειμένου να παραδώσουν προϊόντα στους πελάτες τους στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα. Τον Ιούλιο του 2015, η Amazon πρότεινε την κατανομή ξεχωριστής ζώνης εναέριου χώρου για τη λειτουργία αυτών των UAVs, προκειμένου να παραδίδουν προϊόντα στους πελάτες της. Ωστόσο, τέτοιες πρωτοβουλίες συναντούν ακόμα εμπόδια από κυβερνητικούς κανονισμούς και προβλέπεται να προχωρήσουν μόλις τους επιτραπεί να εισέλθουν στην αγορά. Οι κυβερνήσεις σε ολόκληρο τον κόσμο χρησιμοποιούν τέτοια μη επανδρωμένα υπτάμενα οχήματα σε εφαρμογές όπως η επιβολή του νόμου, η υποδομή, η επιστημονική έρευνα, οι περιβαλλοντικές μελέτες και δραστηριότητες διαχείρισης καταστροφών.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 2.9), παρουσιάζεται μία πρόβλεψη για την αγορά των μη επανδρωμένων υπτάμενων οχημάτων στην Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, έως και το 2022. Οι τιμές που παρουσιάζονται είναι υπολογισμένες σε εκατομμύρια δολάρια και ταξινομημένες με βάση τον τομέα εφαρμογής τους.



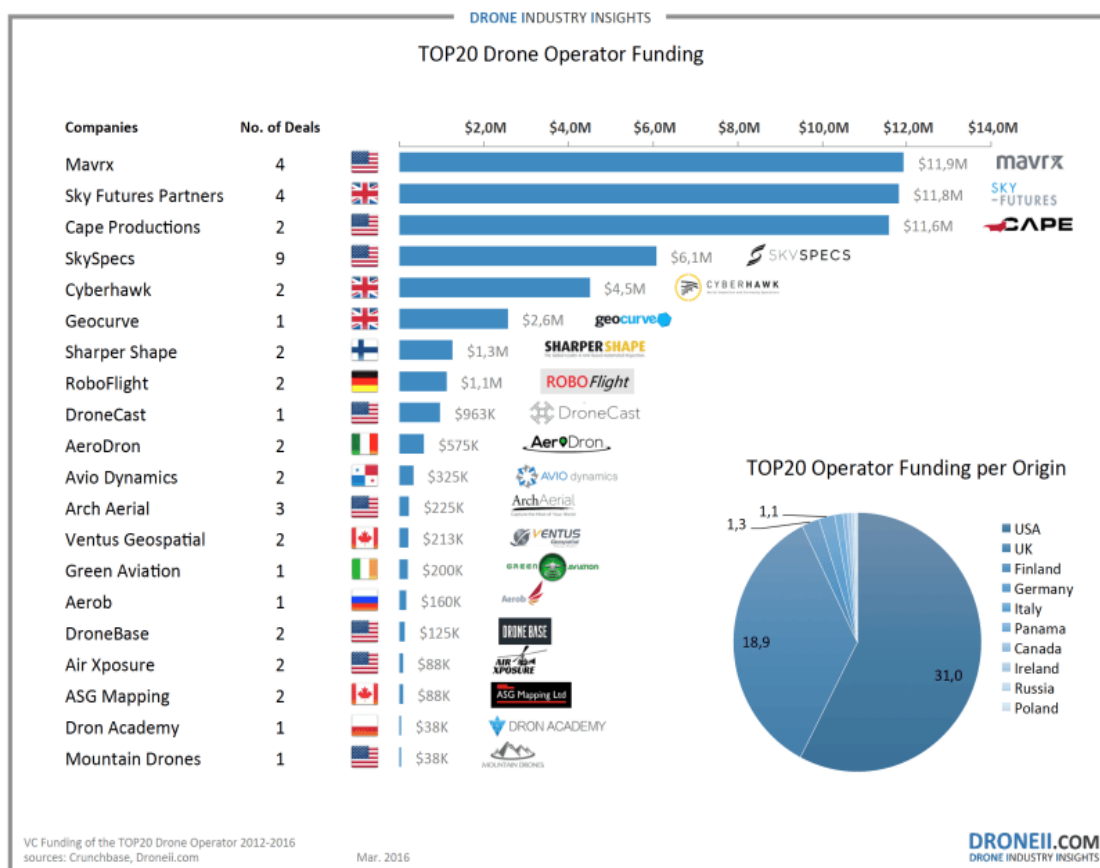
Εικόνα 2.9: Η αγορά των UAVs στην Αμερική, 2012-2022

Πηγή: <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-commercial-drones-market>

Η Βόρεια Αμερική κυριαρχεί στην παγκόσμια βιομηχανία λόγω της υψηλής παραγωγής και της αύξησης των εφαρμογών στους εμπορικούς τομείς. Ωστόσο, η ευρωπαϊκή αγορά των UAVs αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια, καθώς αναμένεται χαλάρωση των κανονισμών και αύξηση των εφαρμογών της επιβολής του νόμου αλλά και στις γεωργικές εφαρμογές. Επιπλέον, η ζήτηση για UAVs αναμένεται να αυξηθεί στην Ασία και Αυστραλία, όπου η χρήση τους επικεντρώνεται σε γεωργικούς σκοπούς.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 2.10), παρουσιάζονται οι 20 πρώτες εταιρίες όσον αφορά την χρήση των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων σε διάφορα project, σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε τον Μάρτιο του 2016. Από το 2012 έως και το 2014, οι σχετικές επενδύσεις έφτασαν τα 6.3 εκατομμύρια δολάρια, ενώ το 2015 ο αριθμός αυτός αυξήθηκε κατακόρυφα, στα 44.3 εκατομμύρια δολάρια. Ο αριθμός αυτός αναμένεται με βεβαιότητα να αυξηθεί ακόμα περισσότερο τα επόμενα χρόνια.



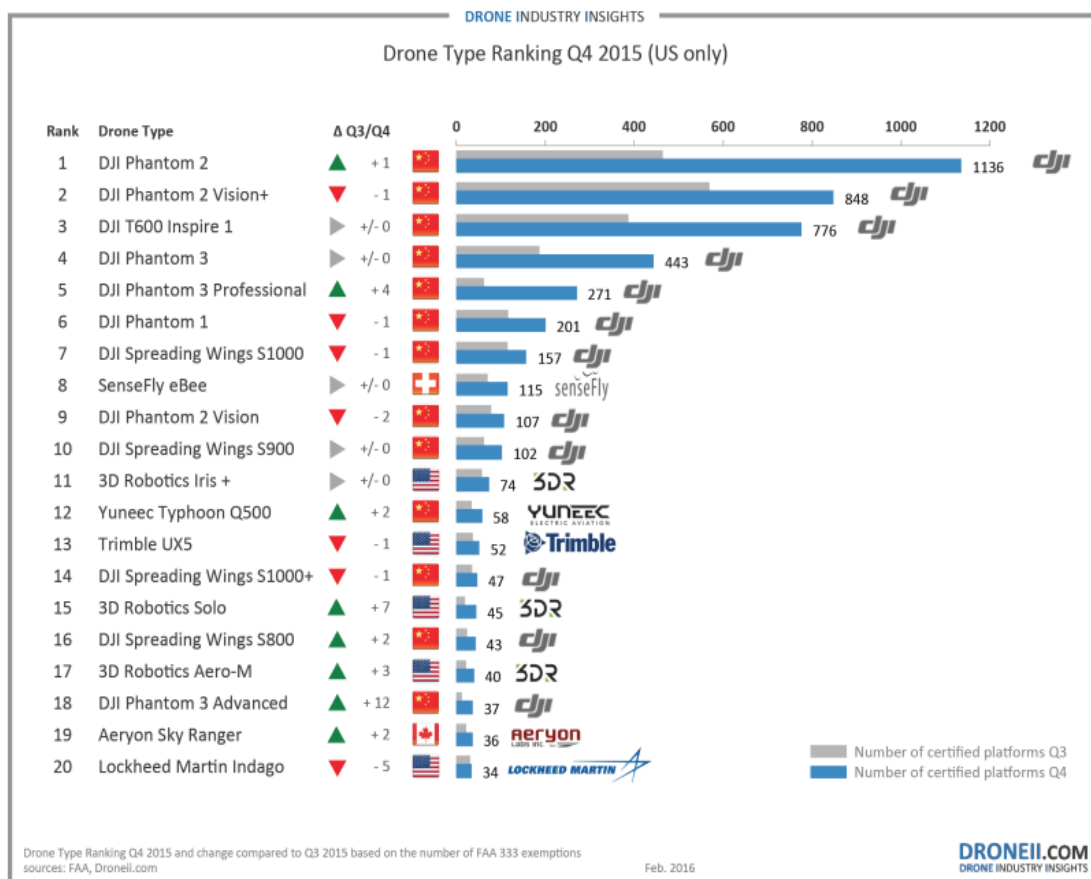


Εικόνα 2.10: Η βιομηχανία των UAVs.

Πηγή: <https://www.droneii.com/top20-drone-operator-funding>

Τέλος, στο επόμενο διάγραμμα (Εικόνα 2.11) παρουσιάζεται (με μπλε χρώμα) ο αριθμός των UAVs ανά τύπο, το πρώτο εξάμηνο του 2015 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Με γκρι χρώμα παρουσιάζεται ο αντίστοιχος αριθμός στο δεύτερο εξάμηνο του 2015. Η αντιπαράθεση αυτή γίνεται για να επιδείξουμε την εντυπωσιακή ανάπτυξη της αγοράς μέσα σε διάστημα μόλις τριών μηνών: Μέσα σε τρεις μήνες, ο αριθμός των πιστοποιημένων οχημάτων στο top-20 αυξήθηκε από 2402 σε 4600! Αυτό σηματοδοτεί την τεράστια ανάπτυξη της αγοράς των UAVs, όχι μόνο όσον αφορά τις πωλήσεις και τις άδειες εκμετάλλευσής τους, αλλά και σχετικά με την προσφορά υπηρεσιών σχετιζόμενων με τα αεροσκάφη στις ΗΠΑ.

Από το παρακάτω διάγραμμα επίσης, είναι εμφανής η πρωτοκαθεδρία τις κινέζικης εταιρίας DJI στον τομέα, η οποία έχει κατασκευάσει τα 9 από τα 10 πρώτα μοντέλα του διαγράμματος.



Εικόνα 2.11: Ζήτηση συγκεκριμένων προϊόντων.

Πηγή: <https://www.droneii.com/top20-registered-drone-types-in-the-us>

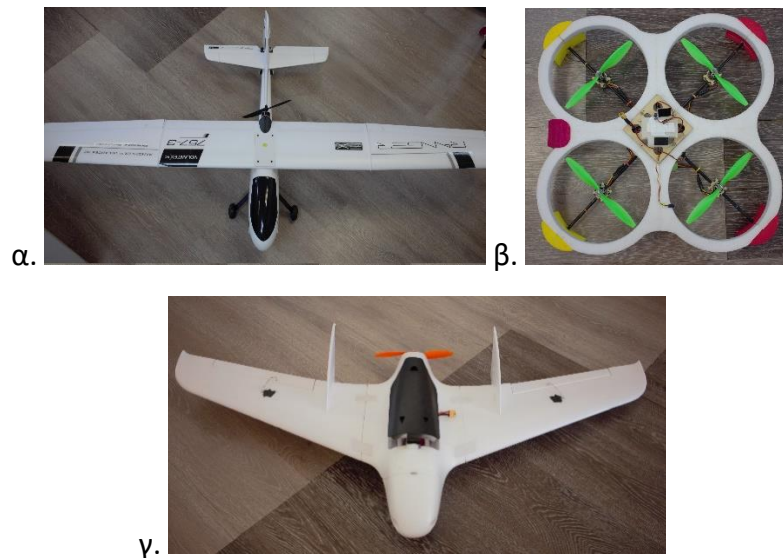
## **Κεφάλαιο 3**

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αρχικά μία αναφορά στην κατηγοριοποίηση των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων. Εν συνεχεία, παρουσιάζεται τόσο το αρχικό μοντέλο του UAV όσο και οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής. Αναφέρονται τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν τη λειτουργία του, όπως επίσης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που διαθέτει το πρωτότυπο. Ακόμα, καταγράφονται τα στάδια κατασκευής του.

### **3.1 Κατηγοριοποίηση των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων**

Για να υπάρχει μια κοινή γλώσσα στον χώρο των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων πρέπει να συγκεντρωθούν κάποια βασικά στοιχεία που τα περιγράφουν. Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να γίνει η εξής διευκρίνιση: Αφενός, δεν υπάρχει μια μοναδική και καθολική ταξινόμηση των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων και αφετέρου, είναι απαραίτητο να γίνει διάκριση μεταξύ των πολυάριθμων διαφορετικών τύπων που υπάρχουν ήδη στον κόσμο (Colomina & Molina, 2014). Κατηγοριοποίηση των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων μπορεί να γίνει με βάση διάφορες ιδιότητες τους, όπως για παράδειγμα τον τύπο, το σχήμα, το βάρος, το μέγεθος, τον τρόπο προώθησης, τον τύπο τροφοδοσίας, τον αριθμό των ελίκων, τη μάζα του, την εμβέλειά του, την ικανότητά τους για απλές ή ειδικές χρήσεις που χρήζουν ενσωματωμένους ειδικούς αισθητήρες και πολλά ακόμα εξαρτήματα (Khairul Nizam Tahar & Anuar Ahmad, 2013).

Για λόγους συντομίας, με κριτήριο το σχήμα του μη επανδρωμένου οχήματος παρουσιάζονται τρεις βασικές κατηγορίες (Εικόνα 3.1), όπως διακρίνεται στην παρακάτω εικόνα:

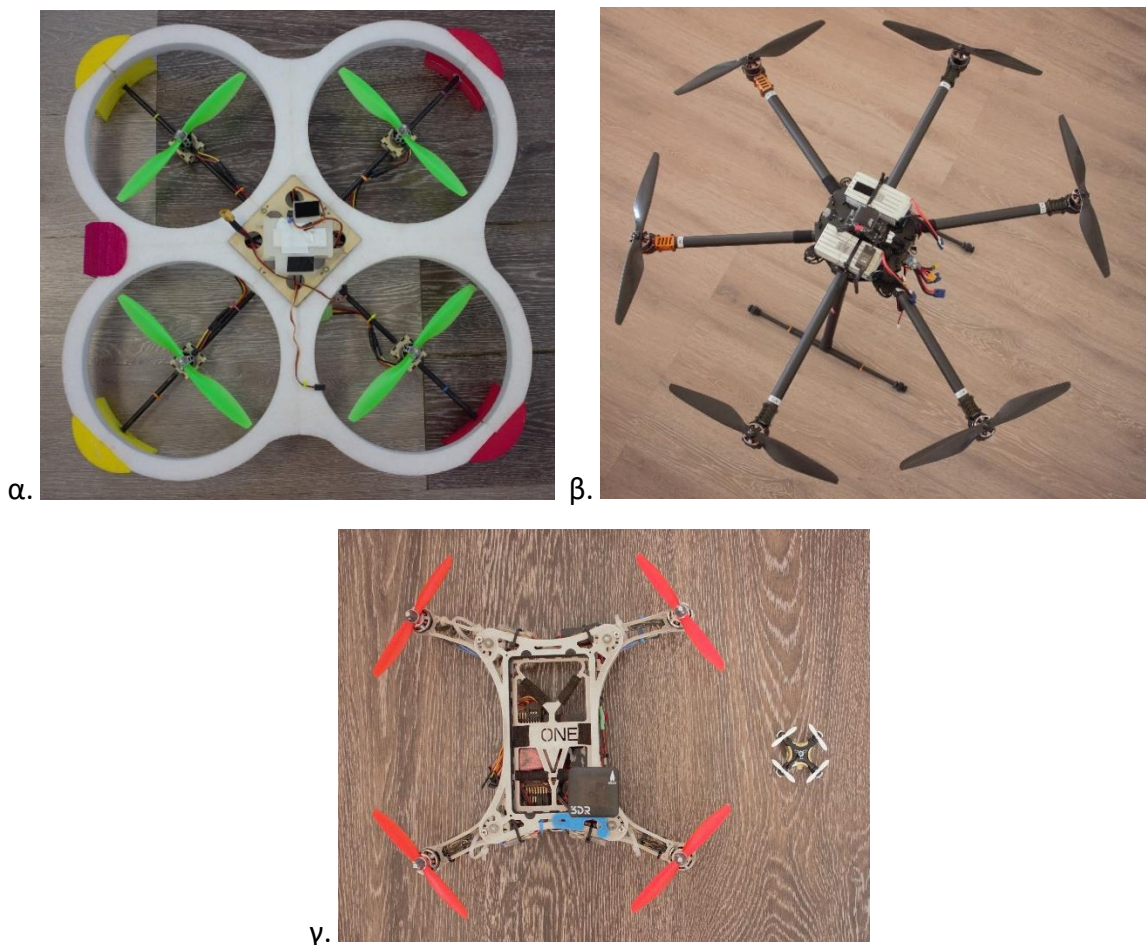


Εικόνα 3.1: Τρεις βασικές κατηγορίες των UAVs, α. και γ. σταθερών ελίκων, β. περιστρεφόμενοι έλικες.

Ανάλογα με την κατηγορία που θα επιλέξουμε, μπορεί να γίνει επιπλέον ανάλυση σε περισσότερες υποκατηγορίες. Για παράδειγμα, επιλέγοντας τη δεύτερη κατηγορία, μπορούμε να ταξινομήσουμε τα UAVs που ανήκουν σε αυτή, με βάση τον αριθμό των ελίκων τους (τρικόπτερο, τετρακόπτερο, εξακόπτερο, οκτακόπτερο). Επίσης, μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το μέγεθος (micro, mini, κανονικό), την εμβέλεια (περιορισμένη, μικρή, μέση, μεγάλη), ή ακόμα και από τον εξοπλισμό που φέρουν (κάμερα, frn, gps, stabilizers). Η δεύτερη κατάλληλη κατηγοριοποίηση είναι αυτή με βάση το βάρος. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το βάρος ορίστηκαν οι παρακάτω τρεις κατηγορίες (Colomina & Molina, 2014):

- Κατηγορία «Micro» : Μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα με βάρος μικρότερο των 5 κιλών,
- Κατηγορία «Mini» : Μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα με βάρος μικρότερο των 30 κιλών,
- Κατηγορία «Κανονικό» : Μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα με βάρος μικρότερο των 150 κιλών.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, το πρωτότυπο μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα που χρησιμοποιήθηκε, ανήκει στην κατηγορία των περιστρεφόμενων ελίκων (rotary drone). Με βάση τον αριθμό των ελίκων του, υπάγεται στην υποκατηγορία των τετρακόπτερων, ενώ με βάση το βάρος του μπορεί να χαρακτηριστεί ως Micro UAV (Εικόνα 3.2)



Εικόνα 3.2: Διάφορα μεγέθη UAVs περιστροφικών ελίκων.

### 3.2 Νομοθεσία

Με την ολοένα και αυξανόμενη χρήση των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων γίνεται πλέον απαραίτητη η θέσπιση του νομικού πλαισίου γύρω από το συγκεκριμένο τομέα. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας της Ελλάδας, έχει ανακοινωθεί ο κανονισμός «Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών – ΣμηΕΑ» ο οποίος καθορίζει για πρώτη φορά θέματα ασφάλειας, όπως επίσης και περιορισμούς των UAVs.

Ορισμένα από τα κριτήρια τα οποία έχουν ληφθεί υπόψη, για τον καθορισμό του συγκεκριμένου νομικού πλαισίου, είναι τα κάτωθι:

- Η μέγιστη μάζα απογείωσης (MTOM)
- Το είδος της χρήσης
- Το ύψος άνωθεν της επιφάνειας της γης ή της θαλάσσης όπου επιτρέπεται να ιπτανται

- Οι περιοχές (αποκλειστικές η μη) όπου ίπτανται
- Οι τεχνικές δυνατότητες εκάστου ΣμηΕΑ
- Η πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας του ΣμηΕΑ

Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες κατά τις διεθνείς προδιαγραφές, σε σχέση με την κατηγορία κινδύνων: στην Ανοικτή, στην Ειδική και στην Πιστοποιημένη Κατηγορία. Οι κατηγορίες αυτές καθορίζονται έπειτα από την αξιολόγηση κινδύνων, σύμφωνα με τα κριτήρια της πολιτικής αεροπορίας.

Η δομή του κανονισμού είναι διαμορφωμένη στα πλαίσια των αρχών του Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Ασφάλεια της Αεροπορίας (EASA) και του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO), κατά τρόπο ώστε να γίνει ευκολότερη η πλήρης ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών κανονισμών που αναμένεται να διαμορφωθούν στο μέλλον.

Το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα το οποίο κατασκευάστηκε στο εργαστήριο και χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διπλωματικής, ανήκει στην Ανοικτή Κατηγορία. Η κατηγορία αυτή χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Παρακάτω γίνεται μια απαρίθμηση των κατηγοριών αυτών.

- Μίνι Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών, με MTOM μικρότερη του ενός κιλού (<1 κιλό).
  - Κάθε Σύστημα Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους που πωλείται ως καταναλωτικό προϊόν και έχει μέγιστη μάζα του αεροσκάφους κατά την απογείωση μέχρι ενός 1 κιλού θα πρέπει να ακολουθεί τις προϋποθέσεις του παρόντος κανονισμού ως προς τη γενική ασφάλεια των προϊόντων. Οι πτήσεις τους θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι θα διεξάγονται σε μέγιστο ύψος 122 μέτρα από το έδαφος ή την επιφάνεια της θάλασσας σε λειτουργία τηλεχειριζόμενης τοπικής πτήσης ή θα διατίθενται τα μέσα για τον αυτόματο περιορισμό του Εναερίου Χώρου στον οποίον μπορεί να εισέρχεται.
  - Τα Μίνι Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών ΣμηΕΑ που πετούν σε Προσωρινές Αποκλειστικές Περιοχές για την πτήση συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών πρέπει να διαθέτουν ενεργοποιημένη ικανότητα ενημερωμένης γεω-περίφραξης.
- Πολύ Μικρά μη επανδρωμένα αεροσκάφη με MTOM μεγαλύτερη του ενός κιλού (>1 κιλό) και μικρότερη των τεσσάρων κιλών (4 κιλά).

- Μικρά μη επανδρωμένα αεροσκάφη με MTOM μεγαλύτερη των τεσσάρων κιλών (>4 κιλά) και μικρότερη των είκοσι πέντε κιλών (<25 κιλά).

Παρακάτω, γίνεται μία ενδεικτική αναφορά από την λίστα καταγραφής για τις γενικές προϋποθέσεις τις οποίες πρέπει να καλύπτει ένα ΣμηΕΑ, ώστε να ανήκει στην Ανοικτή κατηγορία.

- Ο χειριστής έχει απευθείας οπτική επαφή με το ΣμηΕΑ.
- Οι πτήσεις εκτελούνται μόνο με μη επανδρωμένα αεροσκάφη με MTOM μικρότερη των 25 κιλών.
- Η πτητική λειτουργία μη επανδρωμένων αεροσκαφών στις απαγορευμένες περιοχές για τις πτήσεις μη επανδρωμένων αεροσκαφών αλλά και σε απαγορευμένες/περιορισμένες περιοχές όπως έχουν οριστεί για επανδρωμένα αεροσκάφη, απαγορεύεται.
- Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που ίπτανται σε Προσωρινές Αποκλειστικές Περιοχές για την πτήση ΣμηΕΑ πρέπει να συμμορφώνονται προς τους ισχύοντες περιορισμούς.
- Το μεγαλύτερο επιτρεπόμενο ύψος πτήσης των ΣμηΕΑ της ανοικτής κατηγορίας είναι τα 122 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους ή της μέσης στάθμης της θάλασσας.
- Ο χειριστής είναι υπεύθυνος για την ασφαλή πτητική λειτουργία και τη διατήρηση ασφαλούς απόστασης τουλάχιστον πενήντα μέτρων πλευρικά τόσο από μη εμπλεκόμενα πρόσωπα καθώς επίσης από περιουσίες στο έδαφος
- Τα ΣμηΕΑ της ανοικτής κατηγορίας δεν επιτρέπεται να εκτελούν πτήση επάνω από συγκεντρώσεις προσώπων ή σε πλευρική απόσταση μικρότερη από 150 μέτρα.
- Ο ιδιοκτήτης του ΣμηΕΑ είναι υπεύθυνος για ζημίες έναντι τρίτων, σε περίπτωση δε επαγγελματικής χρήσης, για την κάλυψη των ζημιών απαιτείται ασφαλιστήριο συμβόλαιο.

Οποιαδήποτε λεπτομέρεια χρειάζεται ο αναγνώστης για περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τα νομοθετικά πλαίσια ας ανατρέξει στο site

<http://www.opengov.gr/yeme/?p=3247> στα αντίστοιχα άρθρα.

### 3.3 Περιγραφή του UAV

#### 3.3.1 Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα

Το πρωτότυπο μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από την ερευνητική ομάδα του SenseLab (Εικόνα 3.3). Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση που περιγράφηκε παραπάνω, ανήκει στην κατηγορία «Micro». Στο σημείο αυτό, θα αναφερθούν τα κύρια χαρακτηριστικά του, τα οποία το διαφοροποιούν από οποιοδήποτε άλλο:

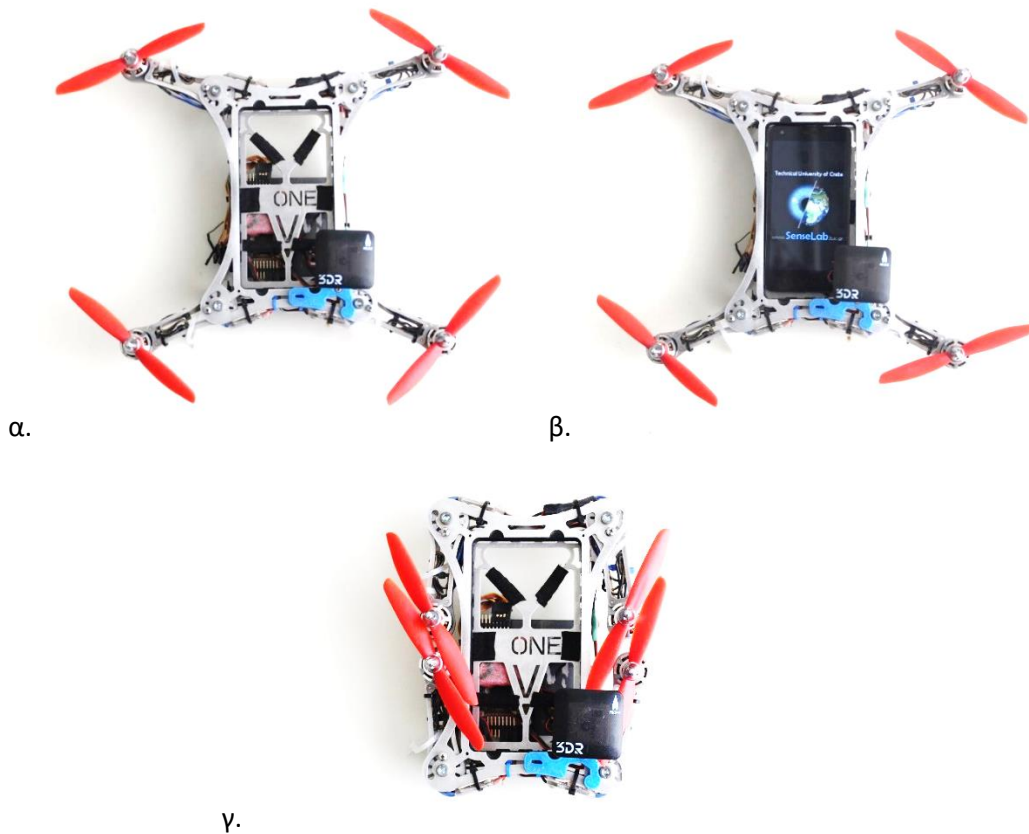
- Είναι χαμηλού κόστους. Κάποιες εκατοντάδες ευρώ, ή κάτω από 1000 €.
- Είναι συμπαγές και πτυσσόμενο. Έτσι, είναι αρκετά εύκολο να μεταφερθεί σε μια μικρή τσάντα ή κάποιον χαρτοφύλακα.
- Είναι ιδιαίτερα ασφαλές. Το βάρος του είναι 500 γραμμάρια. Έτσι, αποτελεί μία σχετικά ελαφριά κατασκευή, με την ικανότητα να πετάει και σε περιβάλλον με μέτριους έως δυνατούς ανέμους. Το συγκεκριμένο στοιχείο είναι πολύ σημαντικό, όσον αφορά το δομικό στοιχείο της ασφάλειας.
- Παρέχει σημαντική αυτονομία. Η αυτονομία έχει δυο διαφορετικές έννοιες σε αυτήν την περίπτωση, η αυτονομία μπαταρίας είναι 10-15 λεπτά,
- Η αυτονομία στην λήψη αποφάσεων σημαίνει ότι μπορεί να συνεννοηθεί με άλλα αντίστοιχα UAVs και να κάνει συνεργατικές πτήσεις,
- Χρησιμοποιεί αισθητήρες του κινητού τηλεφώνου π.χ. την κάμερα του κινητού να επιλέξει στόχο, πορεία, αυτόματη προσγείωση κλπ.
- Χρησιμοποιεί ανοιχτό κώδικα. Έτσι, ο ίδιος ο χρήστης έχει τη δυνατότητα - ανάλογα με τις μετρήσεις που θέλει να πραγματοποιήσει- να γράψει τον δικό του κώδικα και να τον προσαρμόσει στον βασικό.
- Παρέχει τη δυνατότητα προσαρμογής οποιουδήποτε αισθητήρα. Αυτό προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη για οποιαδήποτε μέτρηση, όπως επίσης και τη δυνατότητα καταγραφής και ζωντανής απεικόνισης των δεδομένων της εικόνας.
- Αντοχή σε πτώσεις – μη παραμόρφωση ανάλογα με την κατασκευή του.

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα που κρίθηκε απαραίτητο να διασφαλιστεί με την κατασκευή του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος, ήταν το θέμα της ασφάλειας. Η διαχείριση της ασφάλειας σε λειτουργία πτήσης, περιλαμβάνει πρωτόκολλα τα οποία ενσωματώνουν με δικλίδες ασφαλείας (failsafe) επικυρωμένα από διεργασίες συντονισμού μεταξύ του στόλου και αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.

Σαν μειονέκτημα του πρωτοτύπου που χρησιμοποιήθηκε, θα μπορούσε να αναφερθεί το γεγονός ότι είναι αρκετά δύσκολο να αποσυναρμολογηθεί. Για να γίνει ακόμα και κάποια μικρή αλλαγή στη δομή του, απαιτείται να αποσυναρμολογηθεί σχεδόν ολόκληρη η κατασκευή. Ακόμα, μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το μοντέλο είναι αρκετά



εκτεθειμένο, το οποίο το κάνει ευαίσθητο, για παράδειγμα, σε περιπτώσεις βροχής. Τα παραπάνω είναι αποτελέσματα του πρωτότυπου σχεδιασμού και στις επόμενες εκδόσεις του θα γίνει προσπάθεια βελτιστοποίησης τόσο στην κατασκευή όσο και στην προστασία των εκτεθειμένων εξαρτημάτων του. Θα ήταν λοιπόν σημαντική η προσθήκη κατάλληλου κελύφους για την προστασία του.



Εικόνα 3.3: Η πλατφόρμα SmartDrone, α. το UAV σε ανοιχτή θέση, β. το UAV με τοποθετημένο την κινητή συσκευή και γ. το UAV σε θέση μεταφοράς.

### 3.3.2 Σχεδιασμός, Κατασκευή και Υλοποίηση

Όσον αφορά την κατασκευή του πρωτοτύπου, ο βασικός σκελετός κατασκευάστηκε από αλουμίνιο. Κάποια από τα υπόλοιπα υλικά του, όπως το πλαίσιο στο οποίο τοποθετείται το κινητό, και η βάση του GPS έχουν κατασκευαστεί από πλαστικό PLA (βιοπολυμερές) με χρήση 3D εκτυπωτή.

Στο βασικό σκελετό του SmartDrone, προσαρμόστηκε το σύνολο των αισθητήρων που απαιτούνται για την ομαλή διεξαγωγή της πτήσης. Πιο συγκεκριμένα, συμπεριλαμβάνονται:

- Το Αδρανειακό σύστημα (IMU - Inertial Measuring Unit) το οποίο αποτελείται από ένα επιταχυνσιόμετρο (3 αξόνων) και ένα γυροσκόπιο (3 αξόνων).
- Το Μαγνητόμετρο (magnetometer) 3 αξόνων. Το μαγνητόμετρο αποτελεί ουσιαστικά την πυξίδα του SmartDrone μας, δείχνοντας που βρίσκεται ο μαγνητικός βορράς.

- Τον Βαρομετρικό Αισθητήρα ο οποίος χρησιμοποιεί την ατμοσφαιρική πίεση ώστε να υπολογίσει το υψόμετρο.
- Το GPS (δέκτης GNSS με τον οποίο μπορούν να γίνουν γνωστές οι συντεταγμένες του μη επανδρωμένου οχήματος).

Το βάρος του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος είναι 500 γραμμάρια και οι διαστάσεις του 230\*255\*9 χιλιοστά συμπεριλαμβάνοντας όλο τον παραπάνω εξοπλισμό. Τοποθετώντας την συσκευή του κινητού (130 γραμμάρια) και την μπαταρία (98 γραμμάρια).

Η επιλογή όλων των παραπάνω υλικών έγινε με βάση τον αρχικό σχεδιασμό, για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν σχετικοί πίνακες (charts), για την αντιστοίχιση του βάρους του οχήματος με τα απαιτούμενα υλικά (κινητήρας, έλικες, μπαταρίες).

Εφόσον έχουν γίνει γνωστά τα χαρακτηριστικά του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος σαν μεμονωμένο εξάρτημα, ενσωματώνεται στη συνέχεια μία συσκευή Android, σε ειδική θέση η οποία είχε κατασκευαστεί στον σκελετό του SmartDrone. Οι αισθητήρες που περιγράφηκαν παραπάνω, συνδέονται άμεσα με τη συγκεκριμένη συσκευή, μεταδίδοντας τα δεδομένα τους άμεσα πίσω σε αυτήν. Η συσκευή διαθέτει λογισμικό το οποίο είναι κατάλληλα προσαρμοσμένο για τις ανάγκες του σχεδιασμού της πτήσης. Πιο συγκεκριμένα, θέτοντας στην εφαρμογή τις παραμέτρους που απαιτούνται, είναι δυνατό να υπολογιστεί η διαδρομή που θα κάνει το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα για να καλύψει την επιθυμητή περιοχή. Η εφαρμογή, εφόσον το κινητό θα εγκατασταθεί στο SmartDrone, συνδέεται με την πλακέτα (ηλεκτρονικό κύκλωμα) του πιλότου και αυτόματα το SmartDrone “γνωρίζει” την επιφάνεια που πρέπει να καλύψει κατά την πτήση του.

Από τη συσκευή Android χρησιμοποιήσαμε επίσης την camera, για την λήψη βίντεο ή φωτογραφιών. Τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα ενσωματώνουν κάμερες με αυξανόμενες δυνατότητες σε διαχωριστική ικανότητα πράγμα που διευκολύνει τη χρήση τους σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές.

Τέλος, σε περίπτωση που αυτό κριθεί σκόπιμο, υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν εξαρτήματα της συσκευής ως εναλλακτική, αντικαθιστώντας τους αισθητήρες που περιγράφηκαν παραπάνω για παράδειγμα το μαγνητόμετρο ή το GPS. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, το GPS του SmartDrone ήταν ανενεργό.

Έτσι, ολοκληρώνεται ουσιαστικά η κατασκευή του SmartDrone. Τα χαρακτηριστικά του κινητού, σε συνδυασμό με αυτά του μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος, δημιουργούν ένα τελικό σύνολο εργαλείων σε μια μόνο συσκευή. Το πολυεργαλείο αυτό έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

Υπό την προοπτική ενός Μηχανικού ή γεωεπιστήμονα, το πρωτότυπο μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα, με τα διάφορα χαρακτηριστικά που έχει συγκεντρώσει, αποτελεί μια συλλογή εργαλείων με μεγάλες δυνατότητες που περιγράφηκαν λεπτομερώς στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο.

Πριν τη χρήση του στην παρούσα διπλωματική το SmartDrone έχει χρησιμοποιηθεί ή και έχει λάβει μέρος σε επίδειξη (είτε με χειριστήριο είτε αυτόνομων) σε μία σειρά εφαρμογών όπως:

- Για τη μεταφορά φαρμάκων.
- Για την επικοινωνία με άλλα SmartDrones και αποφυγή σύγκρουσης (οικοσύστημα – διαχείριση στόλου).
- Για αυτόματη προσγείωση ακριβείας και επεξεργασία επί της πτήσης.
- Για συλλογή δεδομένων μέσω αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο.
- Για συνεργατικές πτήσεις και συνδυαστική δημιουργία περιβαλλοντικών χαρτών σε πραγματικό χρόνο.
- Για αυτόματη έναρξη λειτουργίας του SmartDrone δίνοντας απότομη προώθηση με το χέρι, (launch procedure).

### 3.3.3 Προσαρμογή του UAV για την παρούσα διπλωματική

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το συγκεκριμένο μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα διαγωνίστηκε στο Dubai, καταλαμβάνοντας μάλιστα την 1<sup>η</sup> θέση στην Ευρώπη και την 3<sup>η</sup> θέση παγκοσμίως. Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής, πραγματοποιήθηκαν τροποποιήσεις όσον αφορά τις ρυθμίσεις και την κατασκευή του οχήματος.

- Όσον αφορά στην κατασκευή, πραγματοποιήθηκε μία αλλαγή πιλότου (flight controller) APM, από την 2.6 στην 2.5 έκδοση.
- Ακόμα, προστέθηκαν led πλοήγησης, σε κατάλληλα χρώματα για τον χειρισμό του οχήματος κατά τις νυχτερινές πτήσεις.
- Όσον αφορά στις ρυθμίσεις, πραγματοποιήθηκε μία παραμετροποίηση του PID controller, η οποία συνετέλεσε στη διατήρηση της σταθερότητας στο σύστημα μας.

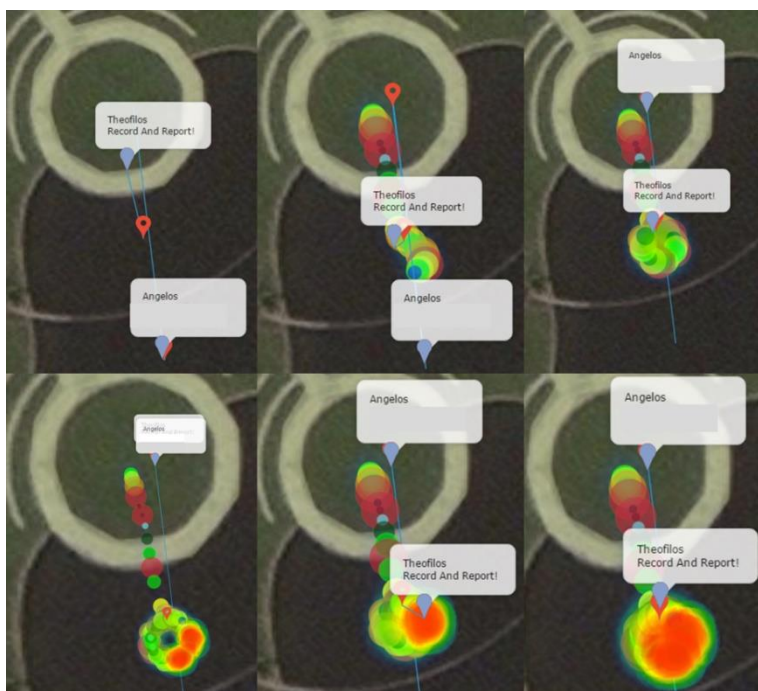
### 3.4 Υλοποιημένες βελτιώσεις και προοπτικές του SmartDrone

Η πρώτη ιδέα είναι να ενσωματωθούν στο κάθε μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα κατάλληλοι αισθητήρες, προς αποφυγή σύγκρουσης είτε με άλλο μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα είτε με οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο. Μία τέτοια προσθήκη θα ήταν εξαιρετικής σημασίας, τόσο για την αυτονομία όσο και για την ασφαλή πτήση του οχήματος, καθώς θα μπορούσε να ανιχνεύει τυχόν εμπόδια που θα συναντήσει στο δρόμο του και να μεταβάλλει κατάλληλα την πορεία του. Μία τέτοια υλοποίηση έχει ήδη συντελεστεί με τη βοήθεια υπερηχητικών αισθητήρων και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: UAV με κατάλληλους αισθητήρες για αποφυγή εμποδίων.

Μια άλλη ιδέα είναι να δημιουργηθεί ένα σμήνος από UAVs ώστε όταν υπάρχει άμεση ανάγκη, παραδείγματος χάριν μια πλημμύρα μέσα στην πόλη, η πολιτική προστασία να μπορεί να διαχειρίζεται ταυτόχρονα ένα στόλο από UAVs. Με αυτόν τον τρόπο, θα ήταν εφικτή η άμεση κάλυψη της περιοχής ανάγκης, σε πολύ μικρότερο χρόνο και με μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με τα σημερινά μέσα. Και η συγκεκριμένη βελτιστοποίηση καταλαβαίνει κανείς ότι θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική, καθώς ένα τέτοιο σμήνος θα μπορούσε να συντελέσει στο να σωθούν ακόμα και ανθρώπινες ζωές. Μία υλοποίηση της παραπάνω ιδέας φαίνεται στην Εικόνα 3.5, όπου δύο SmartDrones συνεργάζονται και παράγουν σε πραγματικό χρόνο ένα χάρτη φαινομένων.

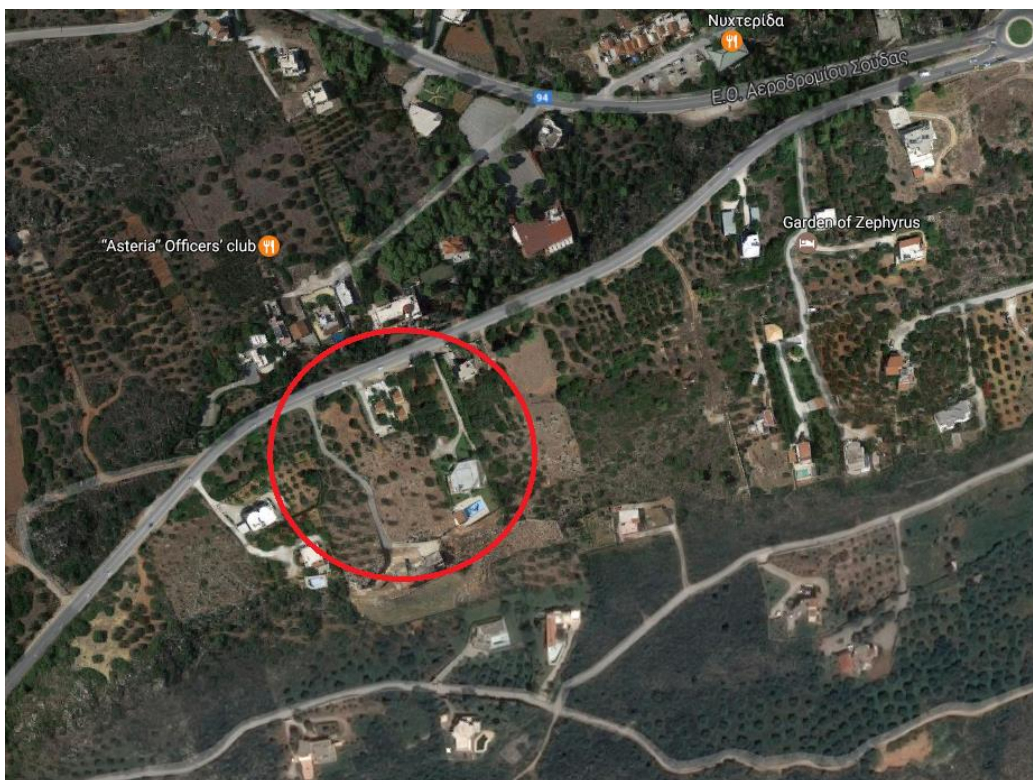


Εικόνα 3.5: Συνεργασία SmartDrones.

Μία ακόμα υλοποιημένη πρόταση, η οποία αφορά γενικότερα τον τομέα των UAVs, είναι η δημιουργία μιας υπηρεσίας η οποία θα έχει την κεντρική διαχείριση μιας πλατφόρμας, για όλους τους χρήστες UAVs. Ο αριθμός των UAVs στις μέρες μας (είτε αυτά είναι για επαγγελματική είτε για προσωπική χρήση), πολλαπλασιάζεται με ραγδαίο ρυθμό, συνεπώς η ύπαρξη μιας τέτοιας υπηρεσίας κρίνεται απαραίτητη. Για να γίνει κάτι τέτοιο, είναι σημαντικό να δοθεί μία ταυτότητα στο κάθε UAV, με βάση την οποία θα διαχωρίζεται από όλα τα υπόλοιπα. Κατά αντιστοιχία, για παράδειγμα, με τα κινητά τηλέφωνα, το κάθε UAV θα μπορούσε να είναι προσωποποιημένο και συνδεδεμένο με το χρήστη του, αλλά και καταχωρημένο σε μία βάση δεδομένων μαζί με όλα τα υπόλοιπα UAVs. Με χρήση όλων των παραπάνω, θα μπορούσε λοιπόν να δημιουργηθεί μία πλατφόρμα – πύργος ελέγχου, στην οποία θα απεικονίζονται ανά πάσα στιγμή ποιοι χρήστες είναι συνδεδεμένοι, σε ποια περιοχή και με τι ταχύτητα πετάνε, όπως επίσης και αρκετές ακόμα πληροφορίες. Έτσι, ανά πάσα στιγμή ο κάθε χρήστης θα μπορεί να συνδεθεί στη συγκεκριμένη εφαρμογή (μέσω κινητού τηλεφώνου, ηλεκτρονικού υπολογιστή ή tablet) και με χρήση αυτών των πληροφοριών να οργανώσει με ασφάλεια τη δική του πτήση.







Εικόνα 4.2: Τοποθεσία της περιοχής εκσκαφής σε μεγέθυνση.

Πηγή: google maps

Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται η περιοχή στο αρχικό στάδιο πριν να ξεκινήσουν οι ενέργειες για εκσκαφή.



Εικόνα 4.3: Τοποθεσία της περιοχής πριν την εκσκαφή.

Πηγή: google maps



#### 4.1.2 Προετοιμασία γραφείου για την οργάνωση των μετρήσεων

Η διαδικασία των μετρήσεων στο πεδίο, δηλαδή στην επιθυμητή περιοχή, περιλαμβάνει κάποια στάδια που είναι απαραίτητα βήματα προετοιμασίας για την σωστή και ομαλή διεξαγωγή τους. Η προετοιμασία γίνεται κατά κύριο λόγο στον χώρο του εργαστηρίου. Τα βήματα αυτά είναι:

- Καθορισμός του εξοπλισμού
- Προετοιμασία του σχεδίου πτήσης
- Έλεγχος καιρικών συνθηκών στην περιοχή
- Εύρεση ήδη υπαρχόντων δεδομένων

##### Καθορισμός εξοπλισμού

Στην πρώτη φάση αυτής της διαδικασίας χρειάζεται να οριστεί ο εξοπλισμός ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία (Εικόνα 4.4), ο εξοπλισμός είναι απλός με μικρό όγκο και μεταφέρεται εύκολα μέσα σε ένα σακίδιο.



Εικόνα 4.4: Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Αποτελείται από την συσκευή SmartDrone, την μπαταρία, το χειριστήριο, τα σταθερά σημεία ελέγχου (GCPs) και τέλος το κινητό του χρήστη.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η συσκευή SmartDrone χρειάζεται έναν τυπικό έλεγχο όλων των εξαρτημάτων του για την ασφάλεια της πτήσης.

##### Προετοιμασία σχεδίου πτήσης

Το UAV θα πρέπει να ακολουθήσει μια συγκεκριμένη πορεία πάνω από την περιοχή της εκσκαφής ώστε να διασφαλιστεί η καλύτερη ποιότητα από άποψη σάρωσης για την λήψη εικόνων.

Μέσω της εφαρμογής του κινητού υπάρχει η δυνατότητα σχεδίασης της διαδρομής στην επιθυμητή περιοχή με δυο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι, ο χρήστης να ορίσει τις παραμέτρους που επιθυμεί να έχει η πτήση και να σχεδιαστεί αυτόματα μέσω ενός ειδικού λογισμικού. Ο δεύτερος είναι, ο χρήστης να σχεδιάσει εξ ολοκλήρου η διαδρομή που θέλει να καλύψει το μη επανδρωμένο όχημα. Η διαδρομή που έχει σχεδιαστεί, παριστάνει το δίκτυο κατά μήκος της εκσκαφής με ισαπέχουσες παράλληλες γραμμές πτήσης.

Άλλες παράμετροι που πρέπει να διευκρινιστούν είναι οι ρυθμίσεις της κάμερας όπως η εστιακή απόσταση (31 χιλιοστά) και το οπτικό πεδίο ( $f/2.2$ ), το ύψος πτήσης (περίπου 22 μέτρα), το ποσοστό % επικάλυψης κατά τον άξονα πτήσης και κατά τον πλάγιο άξονα και η ταχύτητα του UAV. Στην συγκεκριμένη διπλωματική το ποσοστό αλληλοεπικάλυψης των φωτογραφιών είναι 60% κατά τον άξονα πτήσης και κατά τον πλάγιο άξονα είναι προσεγγιστικά 40%. Να αναφερθεί πως στην εφαρμογή των ρυθμίσεων δεν δίνονται όλες οι παράμετροι σαν δεδομένα, αλλά κάποιες είναι εξαρτημένες και υπολογίζονται αυτόματα.

#### Έλεγχος καιρικών συνθηκών στην περιοχή

Σημαντική παράμετρος για την πτήση είναι οι καιρικές συνθήκες. Αν υπάρχει βροχή, το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα δεν μπορεί να υποστηρίξει την πτήση. Επίσης σημαντικό είναι να μην επικρατούν δυνατοί άνεμοι στην περιοχή.

#### Εύρεση ήδη υπαρχόντων δεδομένων

Στην παρούσα μελέτη μας διατέθηκαν συντεταγμένες σημείων επί του οικοπέδου που είχαν χρησιμοποιηθεί από τον μηχανικό του έργου για να εξαρτηθεί το τοπογραφικό διάγραμμα. Τα σημεία αυτά φαίνονται στην Εικόνα 4.5. Βρίσκονται επί του δρόμου Κουνουπιδιανά - Σούδα και στα όρια του οικοπέδου προς μέτρηση.

#### 4.1.3 Μετρήσεις στο πεδίο – Επεξεργασία γραφείου

Οι μετρήσεις πεδίου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Επίγειες γεωδαιτικές μετρήσεις για την εξάρτηση και διόρθωση των απεικονίσεων και εναέριες λήψεις μέσω του μη επανδρωμένου οχήματος. Με την άφιξη μας στο πεδίο, έγινε ένας πρώτος οπτικός έλεγχος της περιοχής, όπου ελέγχθηκε η μορφολογία του εδάφους και αξιολογήθηκε η κατάλληλη τοποθέτηση των επίγειων σημείων ελέγχου και των κορυφών της πολυγωνομετρικής όδευσης.

Τα γνωστά σημεία χρησιμοποιήθηκαν για την εξάρτηση ανοιχτής εξαρτημένης όδευσης – εμπροσθοτομίας. Έτσι, συνδέθηκαν τα δυο σημεία του κεντρικού δρόμου με το τρίτο

σημείο μέσω της δημιουργίας βοηθητικών σημείων, στον παράδρομο. Στην Εικόνα 4.5 φαίνονται σημειωμένα με κόκκινο χρώμα τα δεδομένα ενώ με κίτρινο χρώμα τα βοηθητικά σημεία.



Εικόνα 4.5: Εδώ απεικονίζονται τα γνωστά και τα βοηθητικά σημεία της περιοχής.

Οι συντεταγμένες των σημείων αναφέρονται στο ενιαίο κρατικό δίκτυο αναφοράς ΕΓΣΑ87. Τα βοηθητικά σημεία επιλέχθηκαν για να είναι ορατές οι περιοχές τοποθέτησης των σημείων ελέγχου. Από τα γνωστά και τα βοηθητικά σημεία έγιναν μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων ώστε να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των σημείων ελέγχου. Συγκεκριμένα, τα φωτοσταθερά τοποθετήθηκαν στην αρχική κατάσταση του σκάμματος πριν την πτήση του SmartDrone. Η κατανομή τους στον χώρο έγινε σε όλη την έκταση της περιοχής. Στην συνέχεια, προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες αυτών των σημείων με την βοήθεια του ολικού γεωδαιτικού σταθμού.

Οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών που συλλέξαμε από τον Ολικό Γεωδαιτικό Σταθμό στην αρχική κατάσταση του σκάμματος, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87, Κορακίες			
Σημείο	X	Y	z
S5	506556,789	3929798,792	188,68
GCP1	506575,902	3929802,338	186,226
GCP2	506580,813	3929788,928	185,937
GCP3	506576,216	3929791,096	184,528
GCP4	506571,437	3929787,291	183,495
GCP5	506582,962	3929771,697	188,535
GCP6	506561,496	3929771,472	187,525



Εικόνα 4.6: Το SmartDrone κατά την απογείωση στον χώρο της εκσκαφής.

Παρακάτω φαίνονται φωτογραφίες από την πτήση στο πεδίο (Εικόνα 4.6). Το SmartDrone είναι αρκετά μικρό βάσει του ύψους πτήσης, για αυτό έχει σημειωθεί σε κόκκινο κύκλο (Εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7: Το SmartDrone κατά την διάρκεια της πτήσης.



Τα GCPs είναι σημειωμένα στην παρακάτω φωτογραφία (Εικόνα 4.8) σε όλη την έκταση του οικοπέδου στην αρχική κατάσταση της περιοχής.



Εικόνα 4.8: Εδώ παρουσιάζονται τα φωτοσταθερά καθόλη την έκταση της περιοχής.

#### Χρόνος πτήσης – χρόνος μετρήσεων

Ο συνολικός χρόνος που πραγματοποιήθηκαν οι πτήσεις είχαν διάστημα ενός μήνα. Η πρώτη πτήση έγινε στις 21.3.2017 και η δεύτερη έγινε στις 13.4.2017 για να υπάρχει μια εξέλιξη αρκετά εμφανής ως προς την πρόοδο των εργασιών.

Η πραγματοποίηση της κάθε πτήσης για την σάρωση της περιοχής διήρκησε λίγα λεπτά, χρειάστηκε απλά να τοποθετηθούν το κινητό και η μπαταρία και ύστερα απλά το SmartDrone, έκανε την λήψη του βίντεο. Για την υλοποίηση και μέτρηση των σημείων ελέγχου που έγινε μόνο την πρώτη φορά, διήρκησε περίπου 45 λεπτά.

#### Επεξεργασία γραφείου

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων στην παρούσα διπλωματική είναι το Agisoft PhotoScan και το Cloud Compare. Το πρόγραμμα Agisoft PhotoScan επιλέχθηκε καθώς υπήρχε άδεια χρήσης στο εργαστήριο. Το Cloud Compare επιλέχθηκε για να αξιολογηθεί η δυνατότητα σύγκρισης διαχρονικών μετρήσεων και παρέχεται ως λογισμικό ανοιχτού κώδικα. Η χρήση υπολογιστικού συστήματος με προσαυξημένη υπολογιστική ισχύ είναι αναγκαία για να μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις των παραπάνω λογισμικών.

Αρχικά διαχωρίζεται το ληφθέν βίντεο σε στατικές εικόνες (frames) λαμβάνοντας υπόψη την αλληλοεπικάλυψή τους κατά περίπου 60%. Οι εικόνες επιλέγονται οπτικά και μέσω

του λογισμικού με βάση την ποιότητά τους. Έπειτα λαμβάνουν χώρα οι φωτογραμμετρικές διεργασίες και υπολογισμοί μέσω των αλγορίθμων όρασης και επεξεργασίας εικόνων. Διενεργείται σταδιακά ο σχετικός προσανατολισμός – σύνδεση των ομόλογων σημείων μεταξύ των φωτογραφιών και έπειτα ο απόλυτος προσανατολισμός μέσω της εισαγωγής και διόρθωσης των σημείων ελέγχου μς τις συντεταγμένες τους. Ο εσωτερικός προσανατολισμός δεν έδωσε ιδιαίτερα αποδεκτά αποτελέσματα και αξιολογήθηκε ως μη απαραίτητος για λόγους ταχύτητας σε σχέση με την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Τμηματικά δημιουργούνται ως αποτελέσματα της επεξεργασίας νέφη σημείων, υψομετρικά μοντέλα εδάφους σε μορφή TIN ή raster, ορθοφωτογραφίες, τομές, ισοϋψείς, κ.α.

Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 4.9 και 4.10) παρατηρούμε την αρχική και τελική κατάσταση της εκσκαφής στο πρώτο επίπεδο της επεξεργασίας που είναι το νέφος σημείων.



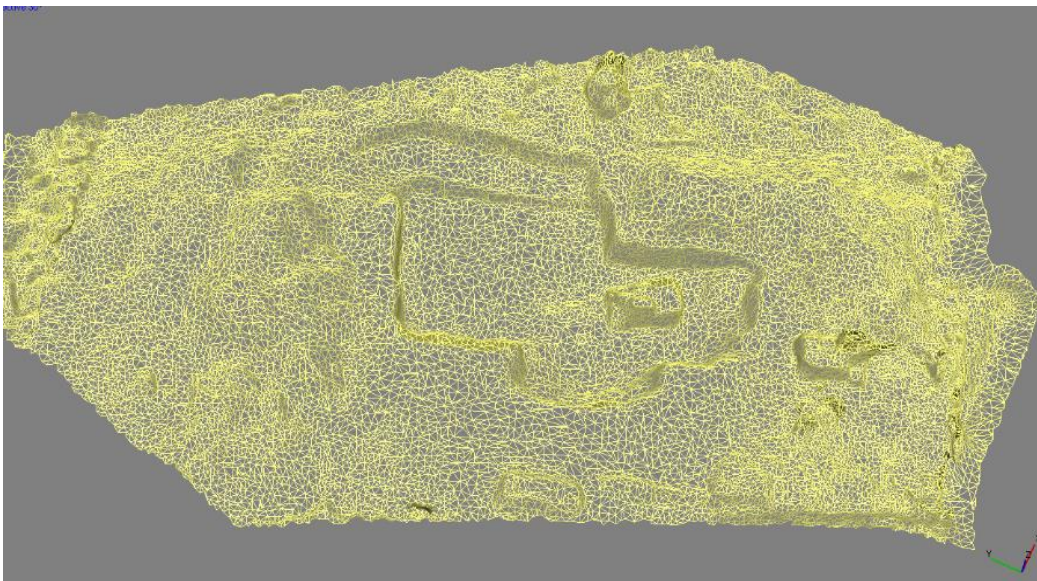
Εικόνα 4.9: Το νέφος σημείων της αρχικής εκσκαφής.





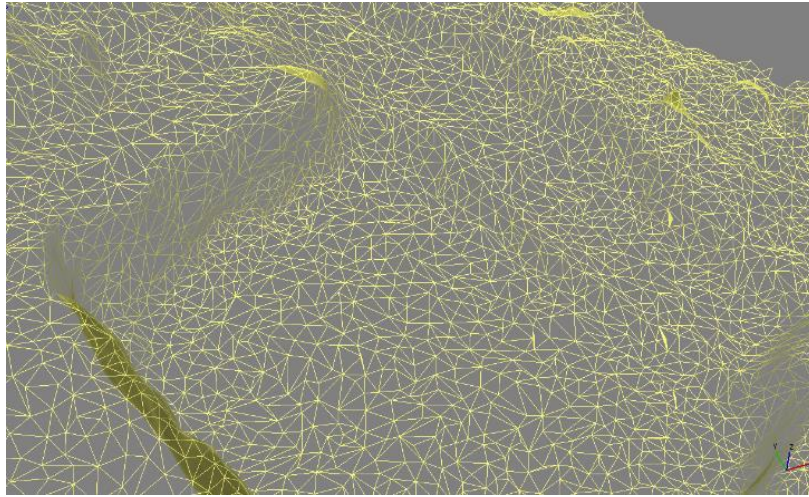
Εικόνα 4.10: Το νέφος σημείων της τελικής εκσκαφής.

Ακολουθεί η παρουσίαση των τρισδιάστατων μοντέλων με μορφή συρμάτινου πλέγματος και στις δύο φάσεις του σκάμματος. Με κίτρινο χρώμα διακρίνεται η αρχική κατάσταση της εκσκαφής και κάθε εικόνα (Εικόνα 4.11-4.13) έχει διαφορετική οπτική γωνία, αντίστοιχα και η τελική κατάσταση της εκσκαφής η οποία παρουσιάζεται παρακάτω με μωβ απόχρωση (Εικόνα 4.14α,β,γ).

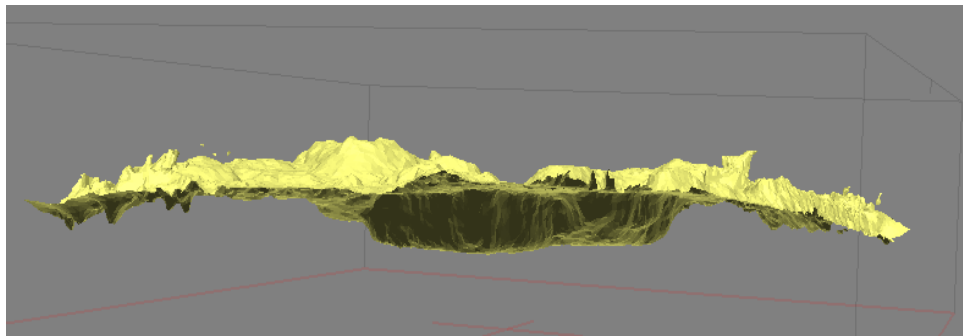


Εικόνα 4.11: Η περιοχή στην αρχική της κατάσταση με μορφή συρμάτινου πλέγματος.

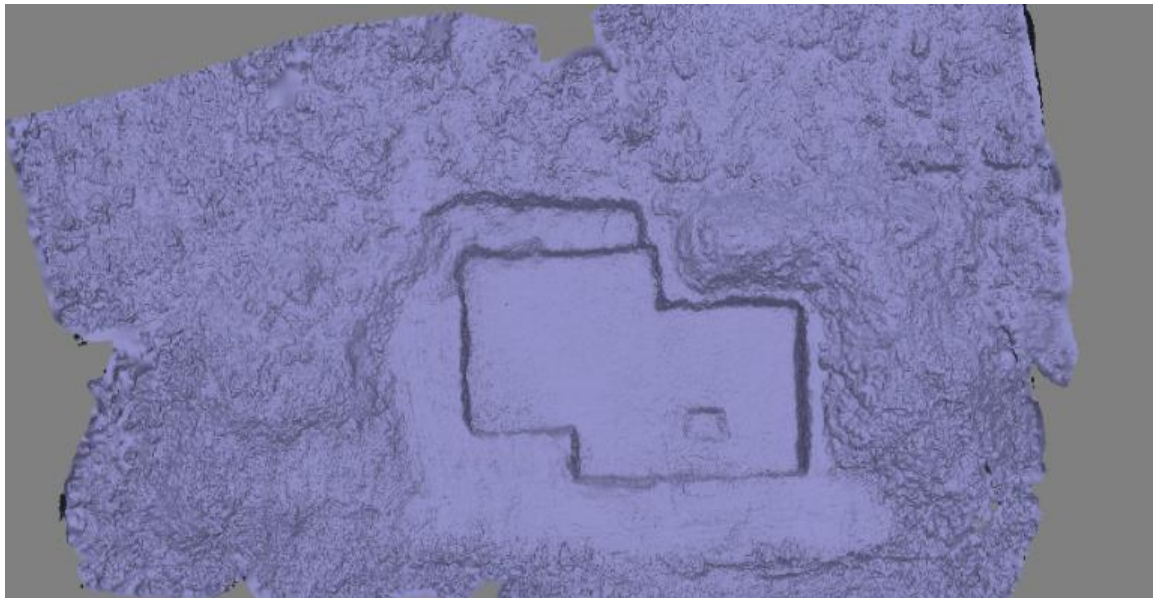




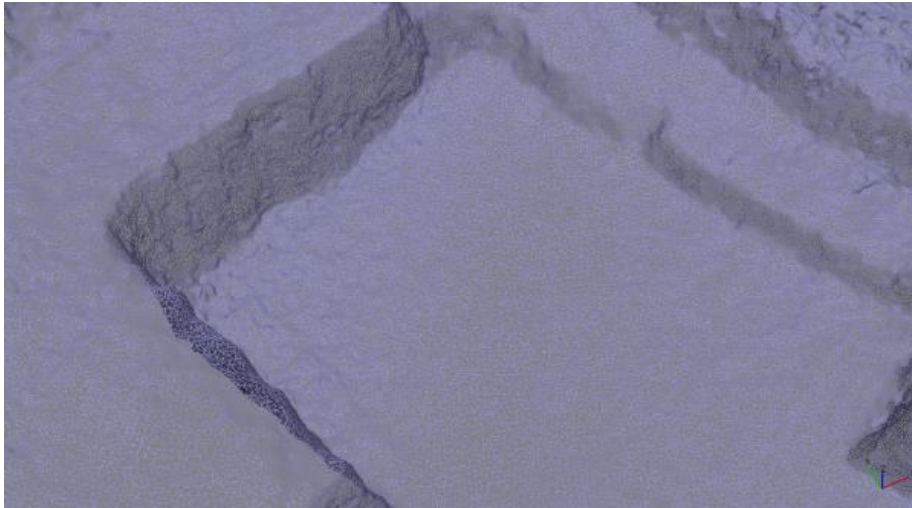
Εικόνα 4.12: Ένα μέρος της προηγούμενης φωτογραφίας σε μεγέθυνση.



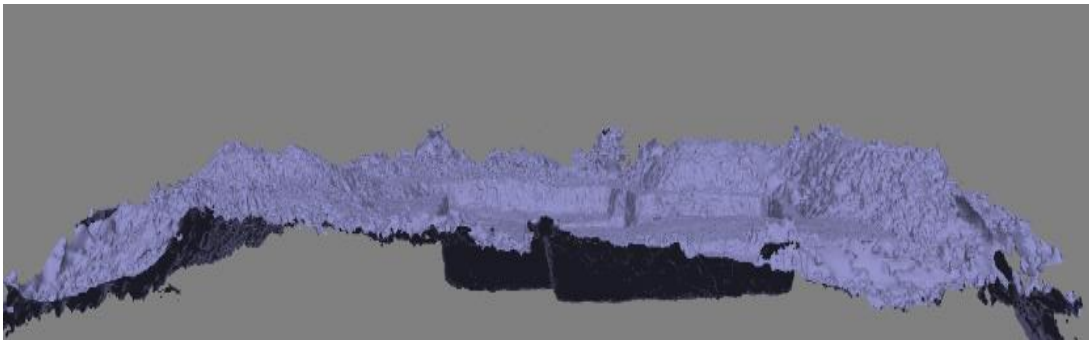
Εικόνα 4.13: Πλάγια όψη ολόκληρου του μοντέλου.



Εικόνα 4.14α: Η περιοχή στην αρχική της κατάσταση με μορφή συρμάτινου πλέγματος.



Εικόνα 4.14β: Ένα μέρος της προηγούμενης φωτογραφίας σε μεγέθυνση.



Εικόνα 4.14γ: Πλάγια όψη ολόκληρου του μοντέλου.

Παρακάτω, απεικονίζονται οι τελικές αποτυπώσεις των μοντέλων με τους φυσικούς τους χρωματισμούς (Εικόνα 15α,β).



Εικόνα 4.15α: Αποτύπωση της αρχικής κατάστασης της περιοχής.

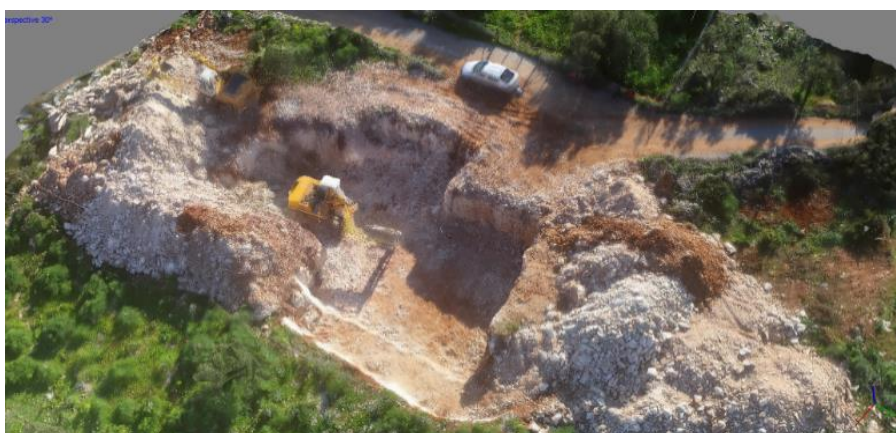




Εικόνα 4.15β: Αποτύπωση της τελικής κατάστασης της περιοχής.

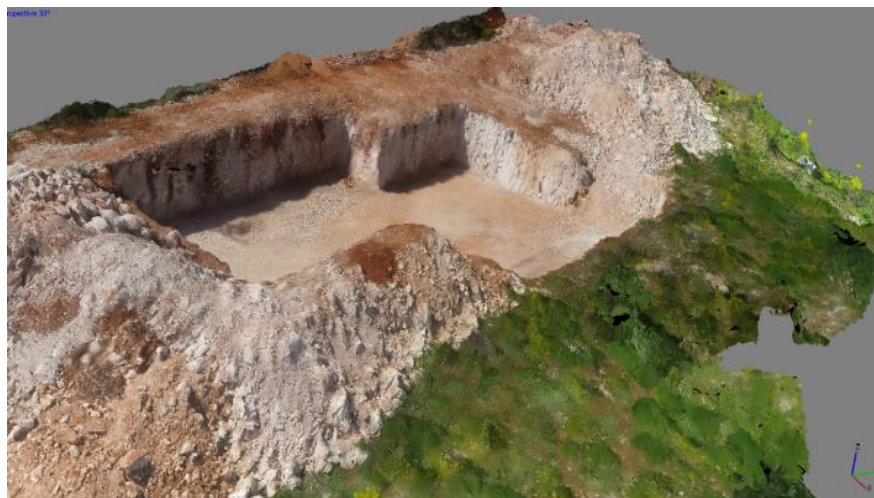
Στην συνέχεια γίνεται οπτικός έλεγχος των μοντέλων από κάθε πλευρά για την επιβεβαίωση της αποτύπωσης.

Αρχική κατάσταση σκάμματος.





Τελική κατάσταση σκάμματος.







Επιπλέον, έχει γίνει αποκοπή της εκσκαφής από όλη την περιοχή. Σε κάτοψη και σε πλάγια όψη στην αρχική και στην τελική κατάσταση. Στην πλάγια όψη φαίνεται επίσης το κάτω μέρος της εκσκαφής.



Στις παρακάτω εικόνες διακρίνονται τα κύρια GCPs που έχουν τοποθετηθεί. Στην αρχική κατάσταση της εκσκαφής τα φωτοσταθερά είναι έξι σε αριθμό και έχουν τοποθετηθεί σε σημεία για να καλύψουν όλη την έκταση του οικοπέδου.





Στην δεύτερη πτήση που πραγματοποιήθηκε ύστερα από ένα μήνα, παρατηρήθηκε ότι από τα κύρια GCPs έμειναν κατά δύο λιγότερα λόγω καιρικών συνθηκών. Τα δύο φωτοσταθερά που αλλοιώθηκαν ήταν εκείνα μέσα στο σκάμμα.



Ενώ στην αρχική λήψη υλοποιήθηκαν και μετρήθηκαν τα σημεία ελέγχου, στην δεύτερη και τελική λήψη ένα μήνα μετά, ακολουθήθηκε άλλη διαδικασία επιλογής σημείων ελέγχου και αυτό γιατί είχε μεταβληθεί η μορφολογία του εδάφους και κάποια σημεία



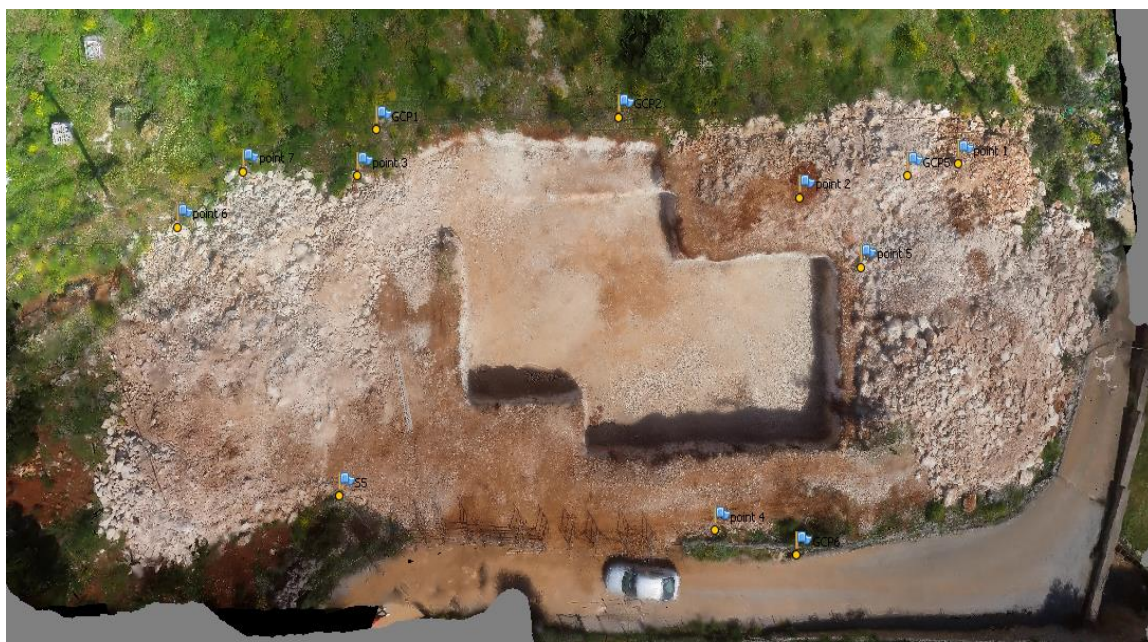
είχαν είτε χαθεί είτε μετακινηθεί. Αντί της επιλογής της δημιουργίας εκ νέου σημείων ελέγχου, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν όσα από τα παλιά σημεία ήταν εμφανή και αμετακίνητα και να εμπλουτιστούν με νέα σημεία τα οποία λήφθηκαν από το γεωαναφερμένο στερεομοντέλο της αρχικής λήψης. Ουσιαστικά, επιλέχθηκαν νέα σημεία ελέγχου επί του μοντέλου στον υπολογιστή, υπολογίστηκαν μέσω του απόλυτου προσανατολισμού οι συντεταγμένες τους και αυτά μεταφέρθηκαν οπτικά στο τελικό μοντέλο του σκάμματος. Αυτή η επιλογή έγινε κυρίως για δύο λόγους: α) για εξοικονόμηση χρόνου καθώς δεν απαιτήθηκε εκ νέου η χρήση τοπογραφικών μετρήσεων και β) γιατί ο κύριος στόχος μας ήταν η σχετική ακρίβεια συσχέτισης των μοντέλων στις δύο χρονικές στιγμές, παρά η απόλυτη αναφορά τους στο σύστημα συντεταγμένων.

Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 4.16, 4.17) φαίνονται τα συμπληρωματικά GCPs που τοποθετήθηκαν με οπτικό έλεγχο. Έχουν εντοπισθεί κοινά σημεία μεταξύ της αρχικής και τελικής κατάστασης ώστε η περαιτέρω επεξεργασία στην ταύτιση των δυο μοντέλων να γίνει όσο το δυνατόν με πιο ομαλό και αξιόπιστο τρόπο. Με άλλα λόγια, ο σχεδιασμός των μοντέλων έχει επιτευχθεί σε ικανοποιητικό επίπεδο, ώστε κατά την ένωση τους να μην αντιμετωπιστεί πρόβλημα στην ταύτιση τους.



Εικόνα 4.16: Η αρχική κατάσταση με όλα τα GCPs.





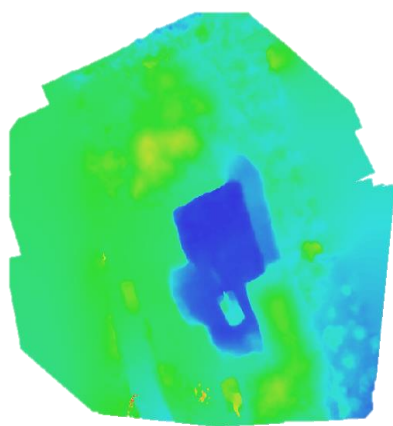
Εικόνα 4.17: Η τελική κατάσταση με όλα τα GCPs.

Επόμενο βήμα της επεξεργασίας, ήταν η διεξαγωγή των μοντέλων σε ορθοφωτογραφίες.

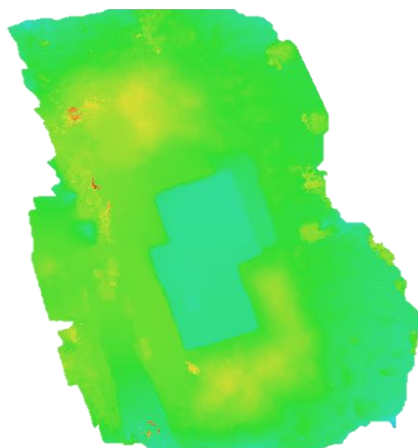


Εικόνα 4.17α: Ορθοφωτογραφίες.

Μια διαφορετική μορφή DEM φαίνεται στις επόμενες εικόνες 4.18α, 4,18β. Η περιοχή η οποία φαίνεται είναι η σάρωση της πτήσης της πρώτης εκσκαφής με χρωματικές διαβαθμίσεις όπου γίνεται αντιληπτό το υψόμετρο και το βάθος. Τα χρώματα που κυριαρχούν είναι το κίτρινο, το πράσινο, το γαλάζιο και το σκούρο μπλε. Το καθένα από αυτά αντιστοιχεί και σε ένα συγκεκριμένο υψόμετρο. Το πάτωμα της εκσκαφής χαρακτηρίζεται από το σκούρο μπλε, το φυσικό έδαφος το οποίο είναι το επίπεδο του δρόμου είναι με γαλάζιο χρώμα ενώ το πράσινο και το κίτρινο αντιστοιχούν σε όγκους εδάφους που η απόθεση τους έγινε γύρω από την εκσκαφή. Τα παραπάνω έχουν επιβεβαιωθεί μάλιστα με φυσική παρουσία μας στο χώρο. Η διαφορά χρώματος που παρατηρεί κάποιος στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.18 α,β), μέσα στο μπλε πλαίσιο, οφείλεται στην παρουσία του μηχανήματος εκσκαφής μέσα σε αυτό το χώρο (η οποία μεταβάλλει το ύψος στο συγκεκριμένο σημείο). Αντίστοιχα διακρίνεται η τελική μορφή της εκσκαφής από την δεύτερη πτήση. Εκεί η χρωματική διαβάθμιση είναι κάπως διαφορετική όσο αναφορά τα υψόμετρα στην χρωματική κλίμακα του προγράμματος. Σε αυτό το μοντέλο φαίνονται περισσότερα τμήματα του με πράσινο και κίτρινο χρώμα όπου εξηγείτε λόγω της μεγαλύτερης απόθεσης όγκου περιμετρικά της εκσκαφής.



α.



β.

Εικόνα 4.18: Ψηφιακό μοντέλο με χρωματικές αλλαγές ανάλογα το υψόμετρο και το βάθος.

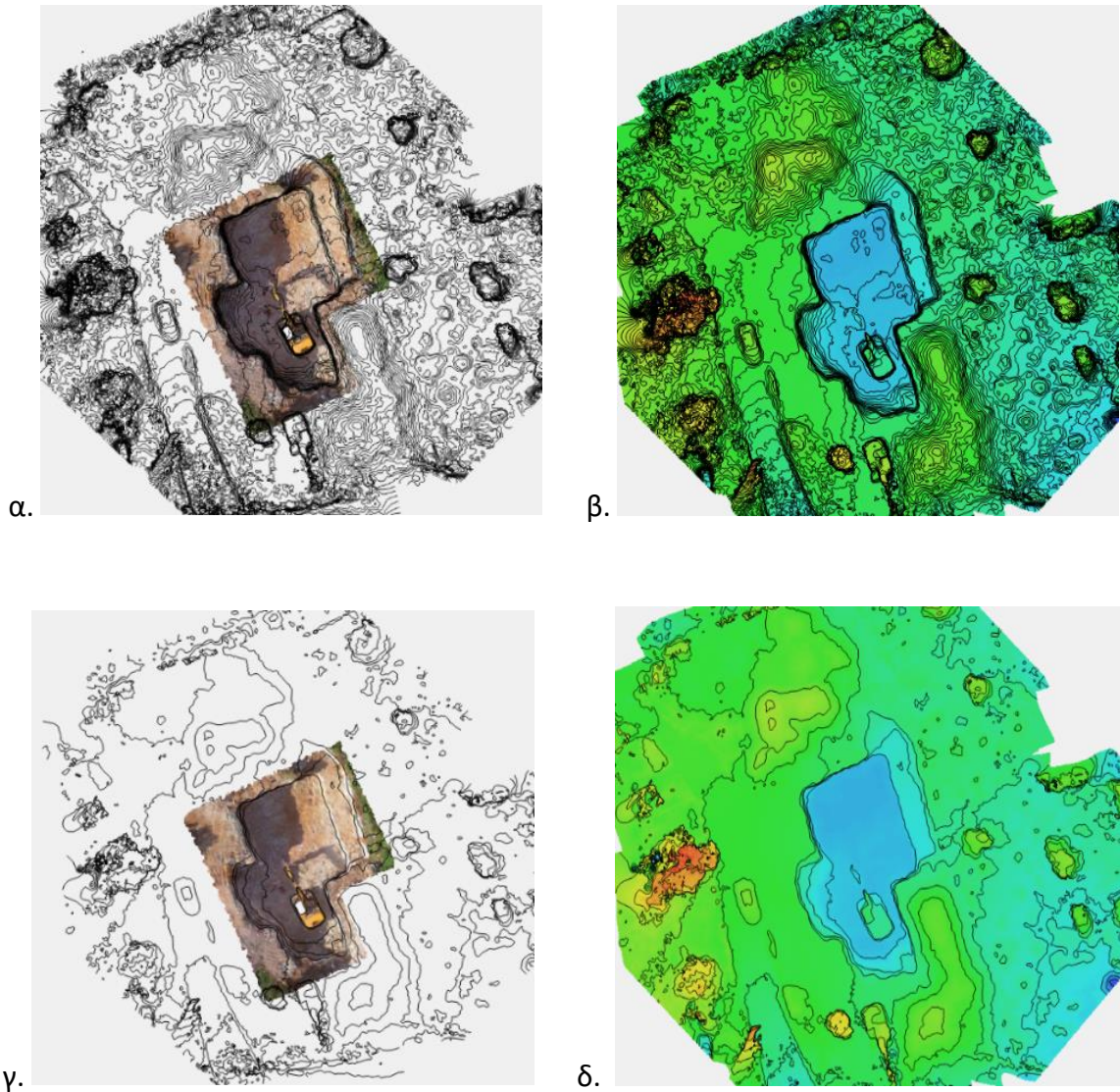


Κατά την επεξεργασία των DEMs συνδυάστηκαν διάφοροι τρόποι απεικόνισης των μοντέλων. Χαρακτηριστικά, μπορεί να περιγραφεί η κάθε εικόνα που δίνει συνδυασμό πληροφορίας. Στην πρώτη εικόνα έχουν ταυτιστεί δύο διαφορετικών πληροφοριών DEMs, αυτό με την ορθοφωτογραφία με εκείνο των ισοϋψών καμπυλών σε ισοδιάσταση ενός μέτρου, αντίστοιχα και το δεύτερο μοντέλο (Εικόνα 4.19).



Εικόνα 4.19: Συνδυασμός πληροφορίας από ορθοφωτογραφίες και ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση ενός μέτρου.

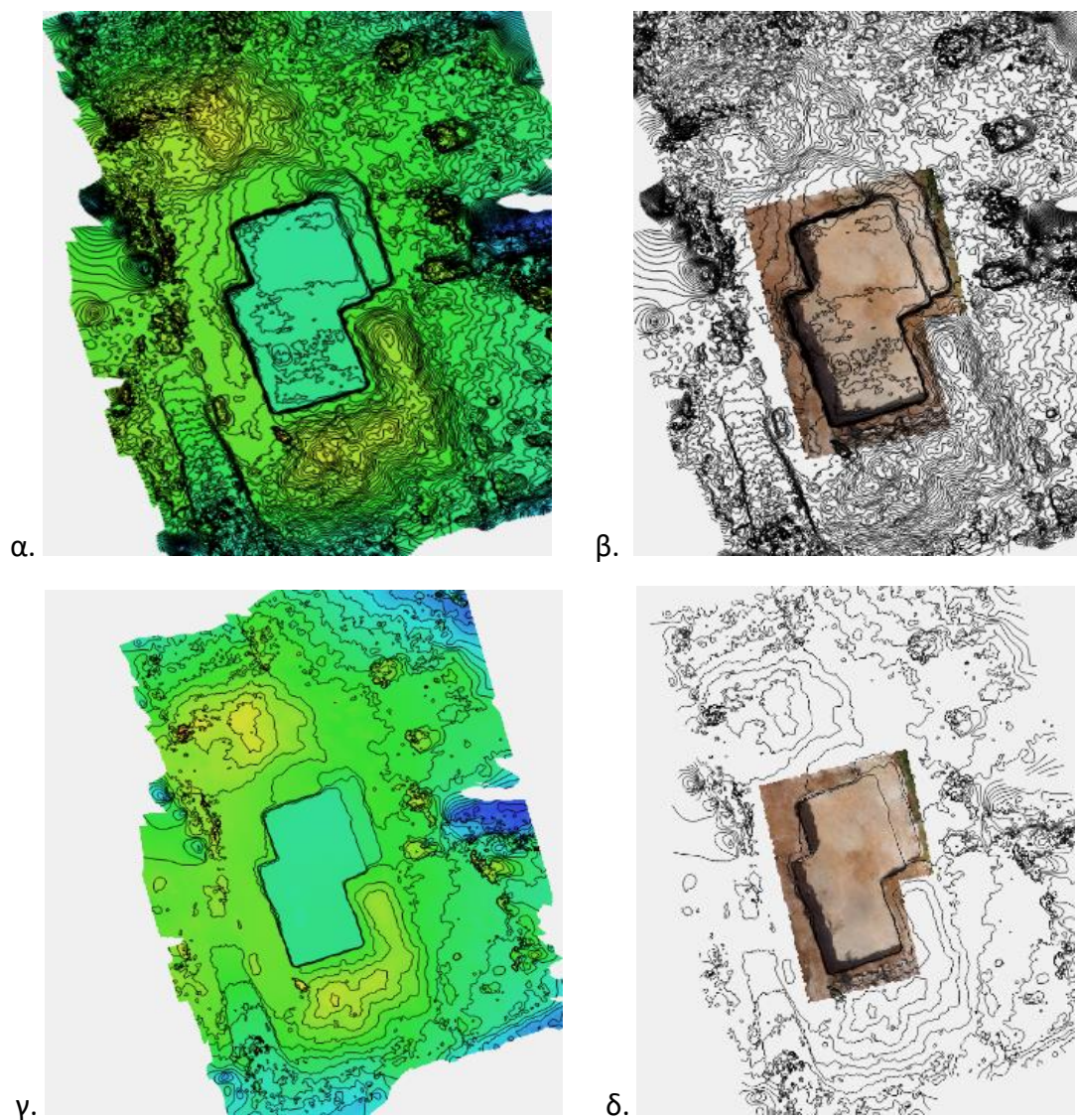
Παρακάτω έχουν δημιουργηθεί διάφορες παραλλαγές των DEMs και των δύο μοντέλων. Συνδυάζονται οι ισοϋψείς καμπύλες μόνο με το σκάμμα, ύστερα οι ισοϋψείς καμπύλες με τις χρωματικές διαβαθμίσεις (Εικόνα 4.20). Οι ισοϋψείς καμπύλες έχουν διαφορά διότι μπορούν να ρυθμιστεί η ισοδιάστασή τους, όπου είναι πιο πυκνά έχουν ισοδιάσταση 0.2 μέτρα ενώ όταν είναι πιο αραιά έχουν ένα μέτρο.



Εικόνα 4.20i: Η αρχική κατάσταση της περιοχής με διαφορετικούς συνδυασμούς απεικονίσεων.

- α. ορθοφωτογραφία του σκάμματος με ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 0.2 μέτρα.
- β. χρωματικές διαβαθμίσεις της περιοχής με ισοϋψείς καμπύλες ίδιας ισοδιάστασης.
- γ. ορθοφωτογραφία του σκάμματος με ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 0.5 μέτρα.
- δ. χρωματικές διαβαθμίσεις της περιοχής με ισοϋψείς καμπύλες ίδιας ισοδιάστασης.





Εικόνα 4.20ii: Η τελική κατάσταση της περιοχής με διαφορετικούς συνδυασμούς απεικονίσεων.  
 α. ορθοφωτογραφία του σκάμματος με ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 0.2 μέτρα.  
 β. χρωματικές διαβαθμίσεις της περιοχής με ισοϋψείς καμπύλες ίδιας ισοδιάστασης.  
 γ. ορθοφωτογραφία του σκάμματος με ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 0.5 μέτρα.  
 δ. χρωματικές διαβαθμίσεις της περιοχής με ισοϋψείς καμπύλες ίδιας ισοδιάστασης.

Το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας των τρισδιάστατων μοντέλων είναι να γίνει σύγκριση των νεφών της αρχικής και της τελικής κατάστασης. Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης μεθόδου είναι απαραίτητο τα νέφη σημείων, τα οποία πρόκειται να ενωθούν, να έχουν κάποια κοινή σαρωμένη περιοχή. Στην Εικόνα 4.21 διακρίνονται οι δύο φάσεις της εκσκαφής σε νέφη σημείων και στην Εικόνα 4.22 η ταύτιση των δυο νεφών. Αν παρατηρήσει κανείς προσεκτικά, οι διαφορές μπορούν να εντοπιστούν. Στην Εικόνα 4.23 έχουν προσαρμοστεί χρωματισμοί στο μοντέλο της αρχικής κατάστασης και έτσι διακρίνονται διαφορές, από το μοντέλο της τελικής κατάστασης, που αναγνωρίζει το πρόγραμμα αυτόματα.



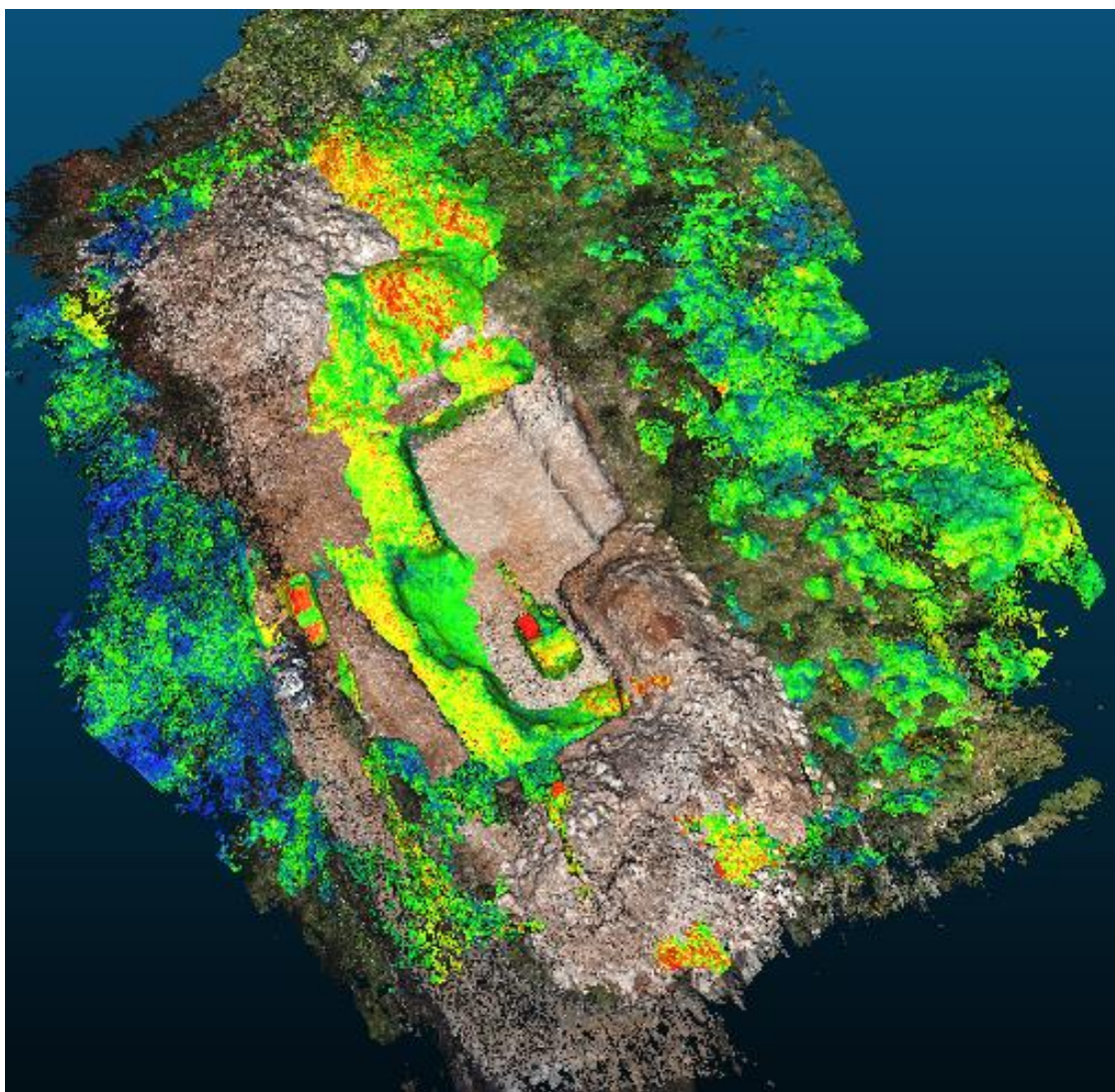
Εικόνα 4.21: Τα δύο μοντέλα σε μορφή νέφους σημείων.





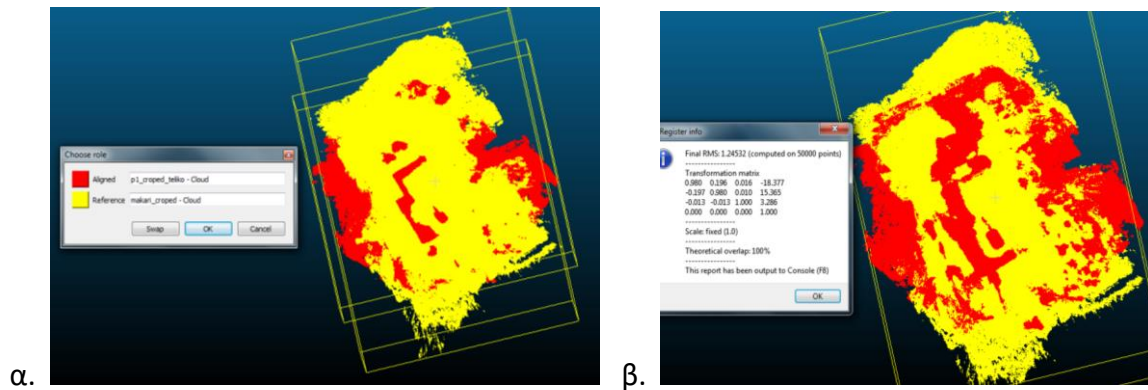
Εικόνα 4.22: Η ταύτιση των δύο μοντέλων.





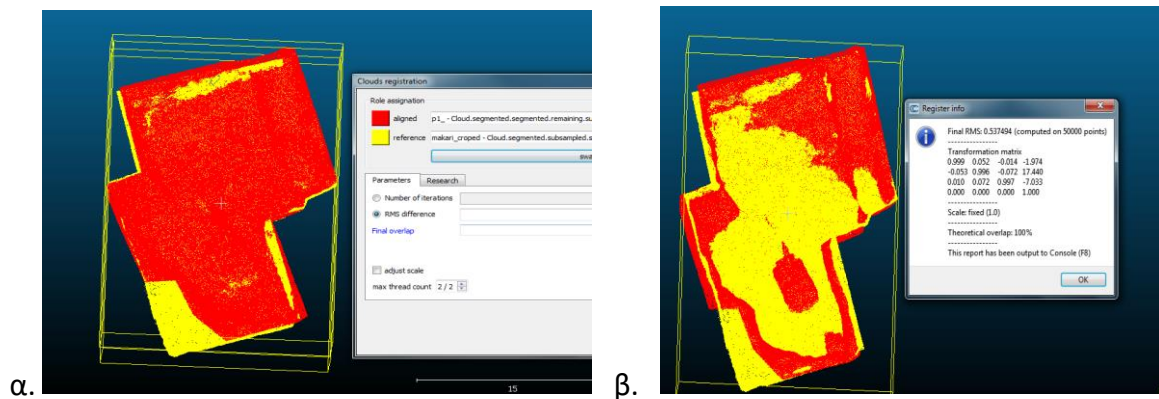
Εικόνα 4.23: Η ταύτιση των δύο μοντέλων – χρωματική αλλαγή της αρχικής κατάστασης για την εύκολη παρατήρηση των αλλαγών.

Παρακάτω υπάρχουν δύο σενεπεξεργασίας τα οποία δίνουν με χρωματική κλίμακα την αρχική και τελική απεικόνιση του σκάμματος. Στην Εικόνα 4.24α διακρίνεται το μοντέλο εκσκαφής ολόκληρης της περιοχής. Με το κόκκινο χρώμα διακρίνεται το πρώτο ενώ με κίτρινο το δεύτερο μοντέλο εκσκαφής. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας σύγκρισης αποτυπώνεται στην Εικόνα 4.24β όπου παρουσιάζονται με λεπτομέρειες οι διαφορές των δύο μοντέλων σε όλη την έκταση της περιοχής.



Εικόνα 4.24: Ταύτιση ολόκληρης της περιοχής.

Στο παρακάτω σενεπεικονίζονται τα μοντέλα εκσκαφής απομονωμένα από την υπόλοιπη περιοχή. Το ενδιαφέρον βρίσκεται εξ ολοκλήρου στο σκάμμα εφαρμόζοντας την ίδια επεξεργασία με το προηγούμενο σενε.



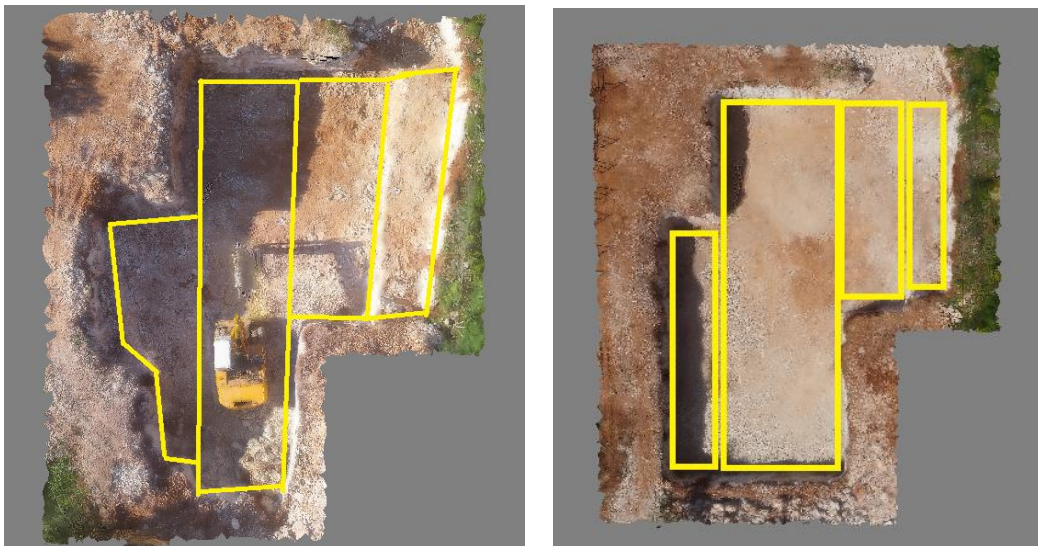
Εικόνα 4.25: Ταύτιση μόνο των σκαμμάτων.

## 4.2 Αποτελέσματα

Για την ογκομέτρηση των χωματισμών, εφαρμόστηκαν δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη αποτελεί μια πρόχειρη εκτίμηση της τάξης μεγέθους του όγκου βάσει διαμερισμού του χώρου και εκτίμησης μέσου ύψους, ενώ η δεύτερη αποτελεί την κύρια και πιο αξιόπιστη και βασίζεται στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

### 4.2.1 Μέθοδος πολυγώνων

Με αυτόν τον τρόπο, το μοντέλο της πρώτης εκσκαφής χωρίστηκε σε τέσσερα πολύγωνα. Στο κάθε πολύγωνο μετρήθηκαν το πόδι και η στέψη της εκσκαφής ξεχωριστά και υπολογίστηκε το εμβαδόν και ύστερα μετατράπηκε σε όγκο με ένα μέσο ύψος του εκάστοτε πολυγώνου. Στο τέλος υπολογίστηκε το άθροισμα ώστε να βγει το τελικό αποτέλεσμα του όγκου της εκσκαφής. Η αντίστοιχη διαδικασία πραγματοποιήθηκε και με το δεύτερο μοντέλο, απλά εκεί τα όρια ήταν πιο ξεκάθαρα όπως διακρίνεται και στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 4.26).



Εικόνα 4.26: Μέθοδος κυρτών πολυγώνων.

Ο υπολογισμός του εμβαδού των πολυγώνων έγινε από τις συντεταγμένες  $x, y$  των κορυφών της επιφάνειας. Όταν σε μια επιφάνεια είναι γνωστές (από αποτύπωση ή υπολογισμούς) οι συντεταγμένες  $x, y$  των κορυφών της σε ένα σύστημα αναφοράς, τότε για τον υπολογισμό του εμβαδού της μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τύποι του Gauss. Πιο αναλυτικά, με τη βοήθεια των γνωστών συντεταγμένων των κορυφών της επιφάνειας (κλειστό πολύγωνο), το εμβαδόν θα δίνεται από τη σχέση:

$$2 * E = \sum_{i=1}^n [x_i(y_{i+1} - y_{i-1})] \text{ ή } 2 * E = \sum_{i=1}^n [y_i(x_{i-1} - x_{i+1})]$$



όπου  $E$  είναι το εμβαδόν της επιφάνειας,  $n$  ο αριθμός των κορυφών της  $x, y$  οι συντεταγμένες της  $i$ -ης κορυφής της και με το  $+1$  ή  $-1$  εννοείται η συντεταγμένη της επόμενης ή της προηγούμενης κορυφής αντίστοιχα. Έτσι, π.χ. για ένα πεντάπλευρο ΑΒΓΔΕΑ, το εμβαδόν θα δίνεται από τη σχέση:

$$2 * E = x_1(y_2 - y_5) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_5 - y_3) + x_5(y_1 - y_4)$$

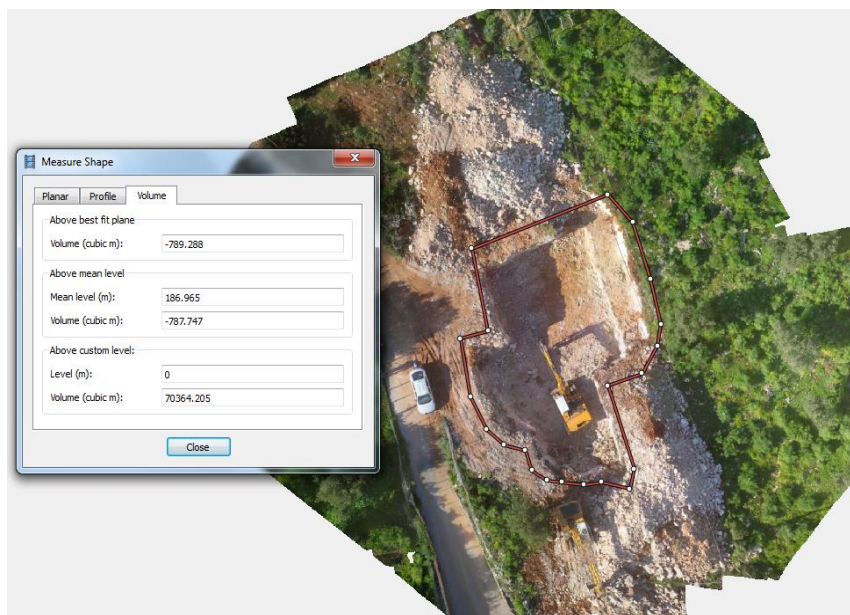
Παρακάτω παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα της μεθόδου.

Αρχική κατάσταση σκάμματος	
Μέσο ύψος (μ)	Συνολικός όγκος (κυβ.μ.)
3	475,344
3,5	554,56
4	633,8

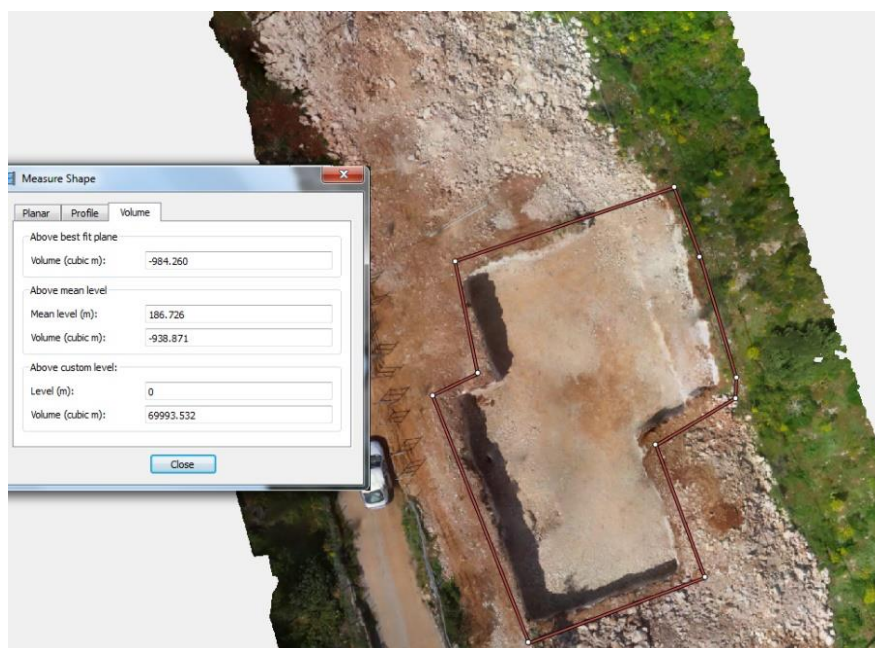
Τελική κατάσταση σκάμματος	
Μέσο ύψος (μ)	Συνολικός όγκος (κυβ.μ.)
3	766,01
3,5	893,77
4	1021,45

#### 4.2.2 Υπολογιστική μέθοδος μέσω του λογισμικού

Ο δεύτερος τρόπος που εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό του όγκου ήταν μέσω του λογισμικού. Η επιλογή των σημείων για την οριοθέτηση του σκάμματος έγινε προσεκτικά. Η πρώτη εκσκαφή υπολογίστηκε ότι μετακινήθηκαν 789.3 κυβικά μέτρα χωματισμών ενώ στην δεύτερη εκσκαφή 984,3 κυβικά μέτρα.



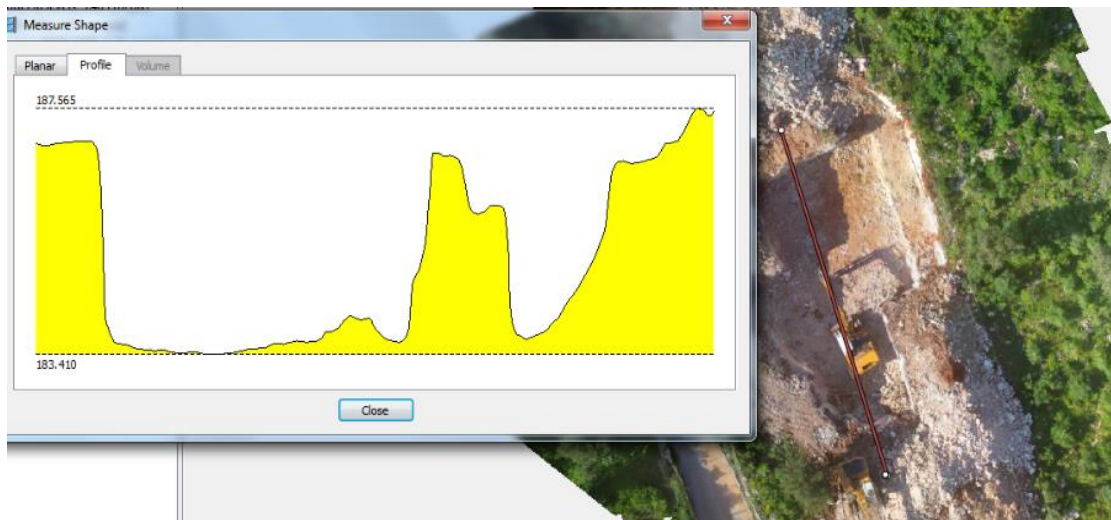
Εικόνα 4.27: Υπολογισμός αρχικού σκάμματος μέσω λογισμικού.



Εικόνα 4.28: Υπολογισμός τελικού σκάμματος μέσω λογισμικού.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες τομές που έχουν κατασκευαστεί κατά την διάρκεια της ογκομέτρησης στα δύο μοντέλα εκσκαφής. Στην Εικόνα 4.29 διακρίνεται το σκάμμα της αρχικής κατάστασης και αναγράφεται στο αριστερό μέρος η υψομετρική διαφορά. Όπως γίνεται αντιληπτό, στην μέση όπου απεικονίζεται ένα ύψωμα, είναι ο εκσκαφέας που βρίσκεται στο εσωτερικό μέρος.





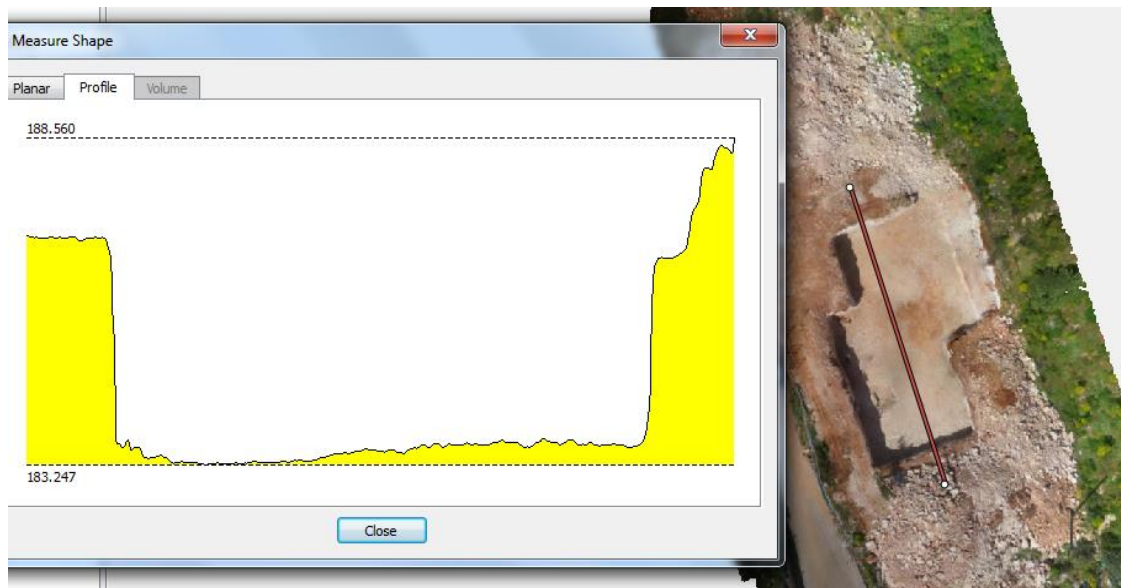
Εικόνα 4.29: Υπολογισμός τομής κατά μήκος αρχικού σκάμματος μέσω λογισμικού.

Στην Εικόνα 4.30 παρουσιάζεται η κάθετη τομή του σκάμματος.



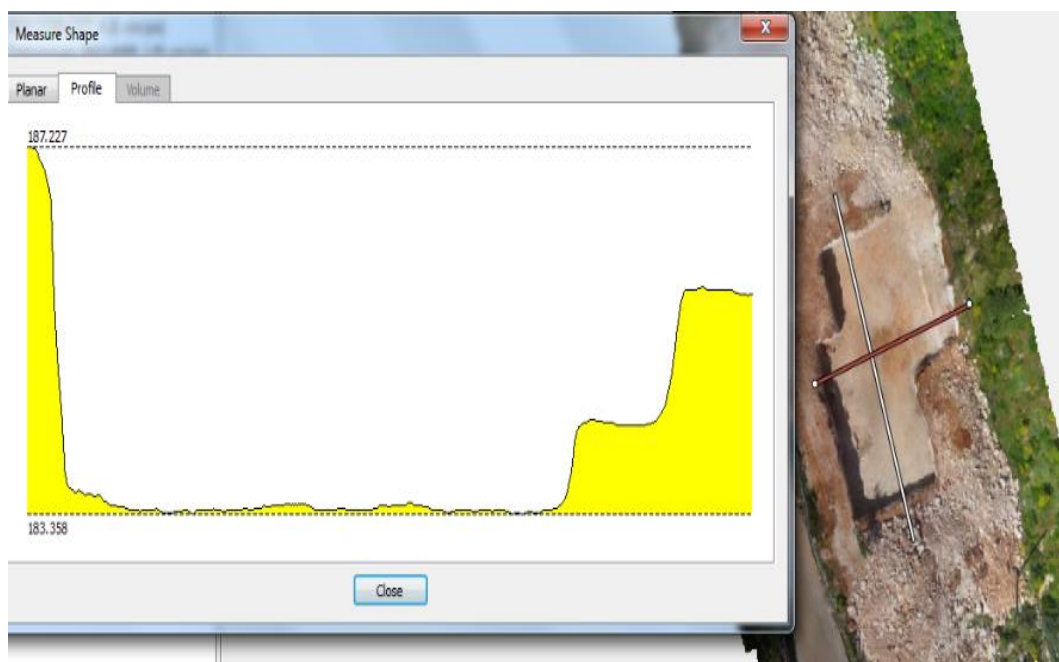
Εικόνα 4.30: Υπολογισμός τομής αρχικού σκάμματος μέσω λογισμικού.

Αντίστοιχα, οι τομές από την δεύτερη εκσκαφή, όπου το τοπίο είναι καθαρό το τοπίο από θέμα εργασιών.



Εικόνα 4.31: Υπολογισμός τομής κατά μήκος τελικού σκάμματος μέσω λογισμικού.

Στην Εικόνα 4.32 παρουσιάζεται η κάθετη τομή του σκάμματος.



Εικόνα 4.32: Υπολογισμός τομής τελικού σκάμματος μέσω λογισμικού.

### 4.3 Έλεγχος ποιότητας – ακρίβειας

Γενικά χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τρόποι αξιολόγησης των αποτελεσμάτων κατά την όλη μεθοδολογία υπολογισμών. Οι διαφορετικές τεχνικές αξιολόγησης αναφέρονται είτε στα ενδιάμεσα είτε στα τελικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

#### Οπτικός έλεγχος των τμηματικών αποτελεσμάτων

Από τον οπτικό έλεγχο των μοντέλων, δεν παρατηρείται κάποιο πρόβλημα στην απεικόνιση (τρύπες, αδικαιολόγητες εξάρσεις, οριζοντιογραφική στρέβλωση), γεγονός που σημαίνει ότι η αποτύπωση αξιολογήθηκε αρχικά ως επιτυχημένη.

#### Έλεγχος βάσει του σφάλματος που δίνει το λογισμικό

Το λογισμικό κατά τη διαδικασία της ταύτισης των ομόλογων σημείων προβάλλει σφάλματα σε pixel κατά τις διαστάσεις  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Αυτά τα σφάλματα ανταποκρίνονται στο μέσο σφάλμα ταύτισης των ομόλογων σημείων και αναφέρονται στην εσωτερική ακρίβεια του σχετικού προσανατολισμού. Το σφάλμα στην αρχική εκσκαφή είναι 5 pixels ενώ στην τελική είναι περίπου 8 pixels τα οποία είναι γενικά αποδεκτά για την ακρίβεια που θέλουμε να επιτύχουμε. Το σφάλμα είναι σχετικά αυξημένο λόγω της ποιότητας των λήψεων και των σημείων ελέγχου αν και προφανείς διεργασίες βελτίωσης έλαβαν χώρα με αποτέλεσμα να μειωθεί αισθητά. Όμως θέλοντας να προτείνουμε μία γρήγορη και εύκολη μεθοδολογία χρησιμοποιήσαμε τα μη βελτιστοποιημένα αποτελέσματα για να εξάγουμε τον τελικό όγκο χωματισμών.

Το αντίστοιχο σφάλμα σε μονάδες μήκους αναφέρεται στο σφάλμα του απόλυτου προσανατολισμού, και εκτός από την εσωτερική ακρίβεια ταύτισης των ομόλογων σημείων εμπεριέχει και την ακρίβεια προσδιορισμού των σημείων ελέγχου.

Το σφάλμα της εκσκαφής στην αρχική κατάσταση είναι 10 εκατοστά, ενώ στην τελική κατάσταση είναι 15 εκατοστά.

#### Έλεγχος βάσει σημείων αξιολόγησης

Τόσο από τον αρχικό τοπογραφικό προσδιορισμό των σημείων ελέγχου, όσο και από την επιλογή των επιπρόσθετων σημείων από το αρχικό μοντέλο για χρήση ως σημείων ελέγχου στο τελικό μοντέλο, επιλέχθηκαν σημεία τα οποία δεν χρησιμοποιήθηκαν κατά την επίλυση. Έτσι, για αυτά τα σημεία προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες από το νέο επιλυθέν μοντέλο και συγκρίθηκαν με τις συντεταγμένες που είχαν προσδιοριστεί αρχικά. Οι διαφορές των συντεταγμένων για μια σειρά σημείων υπολογίστηκε σε  $\Delta x=13\text{cm}$ ,  $\Delta y=8\text{cm}$ ,  $\Delta z=8\text{cm}$ .

#### Έλεγχος βάσει γνωστών αποτελεσμάτων

Όπως έχει συζητηθεί η επιλογή του συγκεκριμένου χώρου εκσκαφών, επιλέχθηκε και λόγω του ότι υπήρχαν δεδομένα και τοπογραφικά διαγράμματα γνωστά εκ των προτέρων.

Έτσι ο προσδιορισμός του όγκου των χωματισμών στην τελική φάση εκσκαφής μας έγινε γνωστός από τον μηχανικό που είχε αναλάβει την εκσκαφή και υπολογίστηκε σε 970 m<sup>3</sup> στην τελική φάση. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα προσδιορισμού όγκου (984m<sup>3</sup>) το αποτέλεσμα είναι εξαιρετικά κοντά.

## **Κεφάλαιο 5**

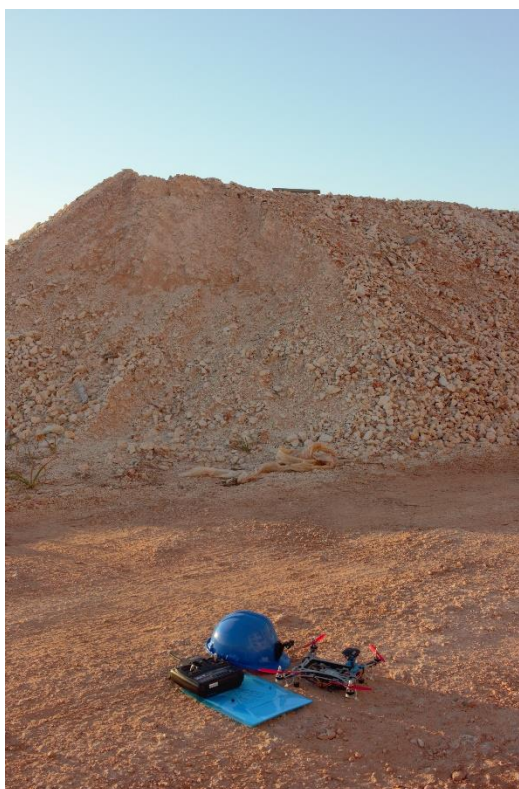
### **5.1 Συμπεράσματα**

Ανακεφαλαιώνοντας, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η παρούσα διπλωματική εργασία εκτός από θεωρητικό, έχει και πρακτικά εφαρμόσιμο χαρακτήρα. Αποτελεί μία πρόταση για βελτίωση σε χρόνο και ακρίβεια του τρόπου υπολογισμού όγκων εκσκαφών σε συνήθεις εφαρμογές τεχνικών έργων. Παρουσιάστηκε εκτενώς η εφαρμογή της πλατφόρμας SmartDrone που αναπτύχθηκε σε πραγματικό εργασιακό περιβάλλον, και η δυνατότητα που έχει να παρέχει άμεσα και αξιόπιστα αποτελέσματα, σε σύγχρονα προβλήματα μηχανικού.

Η πλατφόρμα SmartDrone αποτελεί ένα καινοτόμο προϊόν το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία πληθώρα κλάδων και εφαρμογών (Εικόνα 5.1). Παρουσιάστηκε για παράδειγμα επιγραμμικά η εφαρμογή μεταφοράς φαρμάκων, η επικοινωνία με άλλα SmartDrones και αποφυγή σύγκρουσης (οικοσύστημα – διαχείριση στόλου), η συλλογή δεδομένων μέσω αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο αλλά και οι συνεργατικές πτήσεις και συνδυαστική δημιουργία περιβαλλοντικών χαρτών σε πραγματικό χρόνο.

Συνοψίζοντας, καταφέραμε να αποδείξουμε ότι η χρήση του SmartDrone σε εφαρμογές ογκομετρήσεων, μπορεί να προσφέρει σημαντικότερες βελτιώσεις όσον αφορά τρεις κυρίως άξονες. Αρχικά, αποτελεί μια απόλυτα ασφαλή μέθοδο μετρήσεων, η οποία εκμηδενίζει τους τυχόν κινδύνους που υπήρχαν για τους εργαζομένους οι μέχρι τώρα μέθοδοι. Τέτοιου είδους κίνδυνοι είναι πτώσεις από πρηνή, πτώσεις από σωρούς στην προσπάθεια να μετρηθεί ο όγκος αποθεμάτων κτλ. Ακόμα, ο χρόνος ολοκλήρωσης της διαδικασίας μετρήσεων μειώνεται αισθητά, ενώ το ίδιο συμβαίνει και για το κόστος της. Αντίστοιχες εφαρμογές όπως αυτή που παρουσιάσαμε, μπορεί να βρει η πλατφόρμα μας σε πολλούς από τους τομείς που υπάρχουν στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, με αντίστοιχα πλεονεκτήματα.





Εικόνα 5.1: Το SmartDrone στην υπηρεσία του Μηχανικού.

Ο σκοπός της διπλωματικής καταλήγουμε ότι έχει επιτευχθεί, καθώς η μέθοδος είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Οι πτήσεις που πραγματοποίησε το SmartDrone αποτύπωσαν σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την περιοχή, ενώ η επεξεργασία είχε ως συνέπεια την άρτια διαμόρφωση των τρισδιάστατων μοντέλων. Καταφέραμε να πραγματοποιήσουμε απεικόνιση των δύο μοντέλων με σημαντική λεπτομέρεια, γεγονός το οποίο βοήθησε στη συνέχεια στη μεταξύ τους σύγκριση. Έγινε αναφορά στις διαδικασίες δημιουργίας τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων εδάφους, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα λογισμικά. Έπειτα, αφού πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των δυο περιοχών, βρέθηκαν οι μεταβολές στο έδαφος και απεικονίστηκαν ξεκάθαρα τα όρια της περιοχής ενδιαφέροντος. Έτσι υπολογίστηκε ο μέγιστος όγκος χωματισμών που μετακινήθηκε από την μετρούμενη περιοχή.

## 5.2 Προβλήματα

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αντιμετωπίσαμε μία σειρά προβλημάτων ποικίλου φάσματος.

Αρχικά, οι καιρικές συνθήκες δεν ήταν ιδιαίτερα ευνοϊκές για την διεξαγωγή των πτήσεων στην περιοχή ενδιαφέροντος καθώς ήταν χειμώνας και περίοδος βροχών.

Κατά την πρώτη πτήση που πραγματοποιήσαμε, διαπιστώθηκε επίσης ένα πρόβλημα στο βίντεο και μετέπειτα στις φωτογραφίες, το φαινόμενο jello effect. Το συγκεκριμένο φαινόμενο οφειλόταν στους κραδασμούς που δεχόταν το κινητό τηλέφωνο από το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα. Παρότι έγιναν όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις για την ελαχιστοποίηση του φαινομένου, οι δονήσεις από την κίνηση των ελίκων είχαν τελικά σε

ένα βαθμό αντίκτυπο στην καταγραφή του βίντεο, αλλά και στην ανάλυση και επεξεργασία των φωτογραφιών που έγινε μετέπειτα.

Ένα άλλο πρόβλημα που προέκυψε αφορά τον πιλότο του SmartDrone που σημαίνει ότι δεν υπήρχε ομαλή κίνηση κατά την διεξαγωγή των πτήσεων (PID λάθος παράμετροι). Σαν λύση ακολουθήσαμε την εξής διαδικασία: μεταβάλλαμε με μικρό βήμα τις παραμέτρους P, I, D και πραγματοποιήσαμε δοκιμαστικές πτήσεις. Αξιολογήσαμε τα αποτελέσματα, κάναμε εκ νέου μεταβολές με μικρό βήμα και επαναλάβαμε τη διαδικασία μέχρι να φτάσουμε στα επιθυμητά αποτελέσματα.

Ακόμα, σαν πρόβλημα θα μπορούσε να αναφερθεί το γεγονός ότι παρότι χρειαζόμασταν δυο μοντέλα για την διεξαγωγή του πειραματικού σταδίου, οι πτήσεις που πραγματοποιήθηκαν τελικά ήταν περισσότερες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε κάποιες πτήσεις παρουσιάστηκαν προβλήματα εκ των υστέρων, όπως για παράδειγμα η μη επαρκής αλληλοεπικάλυψη των φωτογραφιών. Αυτό ουσιαστικά μεταφράζεται, στο γεγονός ότι ο χρόνος της διαδρομής και της εγγραφής από το βίντεο δεν ήταν ο απαιτούμενος, ώστε να καλυφθεί ολόκληρη η επιθυμητή περιοχή. Θα πρέπει ακόμα να αναφέρουμε, ότι οι ώρες που πραγματοποιήθηκαν οι διάφορες πτήσεις ήταν διαφορετικές, λόγω του ωραρίου των εργαζομένων στην εκσκαφή. Στο γεγονός αυτό οφείλονται κάποια προβλήματα φωτεινότητας που αντιμετωπίσαμε, όπως επίσης και οι διαφορετικές σκιές στην εκσκαφή.

Μία ακόμα δυσκολία η οποία αντιμετωπίσαμε, ήταν αυτή της κατανόησης των προγραμμάτων επεξεργασίας. Σε αρκετά στάδια έπρεπε να κάνουμε υποθέσεις για τον τρόπο επεξεργασίας του προγράμματος (οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των δεδομένων και προσανατολισμών, ομόλογων σημείων κλπ).

Συνολικά, μπορούμε να πούμε ότι συναντήσαμε πολλές και δυσνόητες έννοιες στην έρευνα που κάναμε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, τόσο στον επιστημονικό τομέα όσο και στην αναγωγή ως προς την λογική. Η πλήρης κατανόηση και η εμπέδωση όλων των εμπλεκόμενων εννοιών δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μέσα σε τόσο σύντομο χρονικό ορίζοντα εκπόνησης μιας διπλωματικής εργασίας. Κατακτήθηκε όμως σίγουρα το βασικό γνωσιακό υπόβαθρο, για την υποστήριξη των αναγκών της παρούσας εργασίας.

### 5.3 Μελλοντικές προτάσεις

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει την βάση μίας σειράς βελτιώσεων σε διάφορους τομείς. Πρώτα, χρειάζεται να γίνει εκτενής πειραματικός έλεγχος για την αποτίμηση της ακρίβειας μέτρησης όγκων με διαφορετικούς αισθητήρες – κάμερες από διάφορα μοντέλα κινητών τηλεφώνων. Η διαφοροποίηση και πολυπλοκότητα της μορφολογίας της προς αποτύπωση περιοχής, πρέπει να ελεγχθεί ως προς την ακρίβεια της ογκομέτρησης.

Επίσης, είναι σημαντικό να γίνει η αποτίμηση της πλατφόρμας σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, όπως λατομεία αδρανών υλικών, υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, περιοχές μετά από πλημμύρα ή σεισμό, κλπ. Τα αποτελέσματα της 3-διάστατης χαρτογράφησης

αποτιμώνται στα πλαίσια της διπλωματικής ως προς τη διαφορά όγκων, αλλά θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο να γίνεται και σύγκριση σε επίπεδο διαφοράς απόχρωσης – χρήσης γης.

Τέλος, είναι σημαντικό να διερευνηθεί κατά πόσο μπορεί να γίνει η διαδικασία του εξωτερικού προσανατολισμού και δει του απόλυτου με αυτοματοποιημένο τρόπο και σε αυτό το σημείο προτείνονται πληθώρα τεχνικών που πρέπει να εξετασθούν πειραματικά.

# Βιβλιογραφία

Μερτίκας, Σ.Π. (2016). *Εισαγωγή στη Γεωδαισία, τον Δορυφορικό Εντοπισμό και την Αλτιμετρία*, Εκδοτικός Οίκος Κλειδάριθμος, Αθήνα.

Σαββαΐδης Π., Υφαντής Ι., Δούκας Ι., Λακάκης Κ. (2016). *Τοπογραφία και Χαρτογραφία, για Αρχιτέκτονες και για Αρχαιολόγους*, Εκδοτικός Οίκος Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.

A Bhardwaj, L Sam, FJ Martín-Torres, R Kumar, “UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects “, Remote Sensing of Environment, 2016.

H. Eisenbeiss, “A Mini Unmanned Aerial Vehicle (UAV): System Overview and Image Acquisition”, International Workshop on Processing and Visualization Using High Resolution Imagery, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004.

J. Chen, Ke Li, Kuo-Jen Chang, G. Sofia, P. Tarolli, “Open-pit mining geomorphic feature characterization”, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015.

U. Neithammer, S. Rothmund, M. R. James, J.Travelletti, M. Joswing, “UAV-based remote sensing of landslides”, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2010.

V. Peterman, M. Mesarič, “Land survey from unmanned aerial vehicle”, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2012.

Z. Lari, N. El-Sheimy, “SYSTEM CONSIDERATIONS AND CHALLENGES IN 3D MAPPING AND MODELING USING LOW-COST UAV SYSTEMS”, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2015.



F. Remondino, L. Barazzetti, F. Nex, M. Scaioni, D. Sarazzi, "UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling - current status and future perspectives - " , International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2011.

M.R. James, S. Robson, "Sequential digital elevation models of active lava flows from ground-based stereo time-lapse imagery " , Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014.

S. P. Bemis, S. Micklethwaite, D. Turner, M.R. James, S. Akciz, S. T. Thiele, H.A. Bangash, "Ground-based and UAV-based photogrammetry: a multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology " , Journal of Structural Geology, 2014.

I. Colomina, P.Molina, "Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review", Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014.

K. N. Tahar, A. Ahmad, "An evaluation on fixed wing and multi-rotor UAV images using photogrammetric image processing", Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, 2013.

F. Carvajal, F. Auera, M. Perez, "Surveying a landslide in a road embankment using unmanned aerial vehicle photogrammetry", International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2011.

M. Uysal, A.S. Toprak, N. Polat, " DEM generation with UAV photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill", Measurement , 2015.

J.Meszaros, " Aerial surveying UAV based on open-source hardware and software", 2011.

<https://www.miningpeople.com.au/news/heres-how-the-mining-industry-is-using-drones>

<http://www.dronesatwork.com/ge-made-oilfield-drone-can-sniff-gas-leaks/>

[http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=6&id=17&Itemid=49](http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=6&id=17&Itemid=49)

<https://cleantechnica.com/2016/07/29/tesla-google-disagree-lidar-right/>

<https://uavcoach.com/drone-companies/#News>

<https://www.droneii.com/top20-drone-operator-funding>

<http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-commercial-drones-market>

-

<http://www.strategyr.com/pressMCP-7951.asp>

<http://www.opengov.gr/yme/?p=3247>

(Τελευταία επίσκεψη ιστοτόπων 30/6/2017)