

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**



**Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου**

**Τμήμα Πολιτικών
Μηχανικών και
Μηχανικών
Γεωπληροφορικής**

Πτυχιακή εργασία

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΟΓΚΟΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΩΡΩΝ
ΣΕ ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΑΕΡΙΩΝ
ΓΕΩΧΩΡΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ**

Αυγουστή Μαρίνος

Λεμεσός, Μάιος 2018



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΟΓΚΟΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΩΡΩΝ
ΣΕ ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΑΕΡΙΩΝ
ΓΕΩΧΩΡΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ**

του

Αυγουστή Μαρίνου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Χρίστος Δανέζης

Λεμεσός, Μάιος 2018

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Αυγουστή Μαρίνος, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορική του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας, κο. Χρίστο Δανέζη για το πραγματικό ενδιαφέρον και συνεισφορά που επέδειξε, κατά την διάρκεια εξέλιξης και ολοκλήρωσης σύνταξης της εργασίας μου. Ευχαριστώ θερμά τους κ.κ. Μενδωνίδα και Δώρο, οι οποίοι μου παρείχαν υποστήριξη και βοήθεια ειδικότερα στο πειραματικό στάδιο κατά την συλλογή δεδομένων από το πεδίο καθώς και την μετέπειτα επεξεργασία τους.

Αφιέρωση

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι αφιερωμένη στην γυναίκα μου και στο γιο μου ως μηδαμινό αντιστάθμισμα, για την υπομονή και κατανόηση που επέδειξαν κατά την περίοδο της ακαδημαϊκής μου φοίτησης στο ΤΕΠΑΚ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια από τις συνήθεις πρακτικές που υλοποιούνται κατά την αξιοποίηση των ορυκτών πόρων, μέσα από τις ενεργές επιφάνειες εκμετάλλευσης που λαμβάνει χώρα η Λατομική δραστηριότητα είναι και η δημιουργία αποθεμάτων. Η ανάγκη δημιουργίας αποθεμάτων προκύπτει είτε για σκοπούς πωλήσεων τελικών προϊόντων είτε για μετέπειτα τροφοδοσία σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις με σκοπό, την περαιτέρω επεξεργασία και οικονομική αξιοποίηση ως προς το τελικό τους προϊόν.

Το είδος των σωρών και οι ποσότητες που δημιουργούνται, ποικίλουν και είναι ανάλογες ως προς την φύση της βιομηχανίας, το τύπο του εμπορεύσιμου προϊόντος αλλά και των διαθέσιμων ποσοτήτων ζήτησης στην αγορά.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με ογκομέτρηση σωρού ασβεστολιθικού αποθέματος, ο οποίος έχει δημιουργηθεί εντός ανοικτής εκσκαφής υφιστάμενου Λατομείου για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες τροφοδοσίας εργοστασίου παραγωγής τσιμέντου κατά την χειμερινή περίοδο.

Ο κύριος σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι η προσπάθεια αξιολόγησης μεθόδων ογκομέτρησης σωρών σε λατομεία, με χρήση επίγειων και εναέριων γεωχωρικών τεχνολογιών. Για την πραγμάτωση του σκοπού αυτού υλοποιήθηκε συλλογή, επεξεργασία και αξιολόγηση των παραγόμενων αποτελεσμάτων με βάση τον βαθμό ογκομετρικής ακρίβειας.

Η εξαγωγή και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, θα καταδείξει και θα συμπεράνει την πιθανή καταλληλότητα χρήσης των UAVs σε τέτοιες περιπτώσεις και θα καθορίσει το μελλοντικό μοτίβο εργασίας στις δραστηριότητες αυτές, διαμορφώνοντας μια νέα στρατηγική για χρήση των UAVs, εν αντιθέσει με την υφιστάμενη παραδοσιακή μέθοδο τοπογραφικών αποτυπώσεων με χρήση γεωδαιτικού δέκτη GPS/GNSS .

Λέξεις κλειδιά: Ορυκτός Πλούτος, Λατομείο, Πέτρωμα, Ασβεστολίθος, Μεταλλευτικός Κλάδος, Σωρός, Αποθήκη, UAVs

ABSTRACT

One of the usual practices that take place in the exploitation of mineral resources through the active exploitation surfaces that takes place in the Quarry activity is the creation of inventories. The need for inventory arises either for the purpose of selling finished products or for subsequent supply to industrial plants with a view to further processing and economic utilization in relation to the final products.

The type of stocks and quantities that generated are vary and are proportional to the kind of the industry, the type of the marketable product and the available volumes of demand on the market.

In our case, we will deal with the volume measurement of a limestone stockpile that has been created in an open pit cast quarry to serve the feeding needs of the cement plant during the winter period

The purpose of this thesis is the assessment of stockpile volume computation methods in quarries using ground-based and airborne geospatial techniques. To achieve the purpose has been processing and evaluation of the generated results and evaluated based on the degree of volume accuracy.

The extraction and evaluation of the results will demonstrate and he will conclude the likely suitability of UAVs in such cases determine the future pattern of work in these activities by shaping a new strategy for the use UAVs as opposed to the existing traditional topographic surveying method using a geodetic receiver GPS/GNSS.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vi
ABSTRACT.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	xi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	xvi
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ	xvii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Σκοπός.....	6
1.2 Στόχος.....	7
2 Μη επανδρωμένα Αεροσκάφη UAVs.....	7
3 Το GNSS ερμηνεύεται ως Global Navigation Satellite System.	11
4 Terrestrial Laser Scanning (TLS)	12
ΣΚΟΠΟΣ	39
ΣΤΟΧΟΣ.....	39
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	40
5 Μεθοδολογία Αποτυπώσεων/ Συλλογή Δεδομένων.....	40
5.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ GPS (Rover).....	46
5.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ (3D LASER SCANNER) 50	
5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΕΟΝΙΑ SURPAC.....	59
5.4 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAVs	63
5.5 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΕΡΟΜΟΝΤΕΛΟΥ (PHANTOM III PROFESSIONAL).....	65

6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	88
7	Συμπεράσματα.....	93
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πρωτοβουλίες Ανάπτυξης Σκοποί 2005-2013.....	2
Πίνακας 2: Κατηγορίες των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV)	7
Πίνακας 3: Ταξινόμηση των UAVs με βάση την τροφοδοσία τους και την σχέση τους με τον αέρα.....	8
Πίνακας 4: Σύγκριση Ογκομετρικής Αποτύπωσης.....	19
Πίνακας 5: Comparison stockpile volume results with actual volume	26
Πίνακας 6: Τεχνικά Χαρακτηριστικά του UAV	29
Πίνακας 7: Συλλογή δεδομένων από τις περιοχές μελέτης	31
Πίνακας 8: Αποτελέσματα ακρίβειας γεωαναφοράς	33
Πίνακας 9: Αποτελέσματα εκτίμησης όγκου.....	38
Πίνακας 10 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με χρήση GPS.....	49
Πίνακας 11 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με χρήση Laser Scanner (TLS)	58
Πίνακας 12 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με χρήση GPS.....	60
Πίνακας 13 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με χρήση Laser Scanner (TLS)	62
Πίνακας 14 : Σημεία Φωτοσταθερών γνωστών συντεταγμένων	63
Πίνακας 15 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με UAV (PHII PROFESSIONAL).....	75
Πίνακας 16 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με UAV (PHII PROFESSIONAL).....	76
Πίνακας 17 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με UAV (PHIV)	84
Πίνακας 18 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με UAV (PHII PROFESSIONAL).....	85
Πίνακας 19 : Σύγκριση Ογκομέτρησης Γεωχωρικών Τεχνολογιών ως προς την Βάση αναφοράς (LASER SCANNER).....	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: UAVs με χρήση Ρότορα ή Πτερυγίων (Fixed Wing)	9
Διάγραμμα 2: Laser Scanner	12
Διάγραμμα 3: UAV – eBee fixed wing από την SenseFly	13
Διάγραμμα 4: Γεωδαιτικός Εξοπλισμός (GNSS receiver GPS viva G08 plus by Leica)14	
Διάγραμμα 5: Κατανομή GCP, Φωτογραφία από Google Earth.....	14
Διάγραμμα 6: Αποτύπωση έκτασης στο Λατομείο με χρήση GPS (615 σημεία διάρκεια πέραν των 5 ωρών).....	15
Διάγραμμα 7: Επιφάνεια Σωρού αποτυπωμένη με χρήση GPS και δημιουργία σχεδίου στο Civil 3D	15
Διάγραμμα 8: Ορθομοσασικό και Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) Λατομείου ...	16
Διάγραμμα 9: SenseFly fixed wing.....	17
Διάγραμμα 10: Riegl VZ400 laser scanner.....	17
Διάγραμμα 11: Κάτοψη του αποθέματος που έχει αποτυπωθεί με την γραμμή διατομής	18
Διάγραμμα 12: Ιστόγραμμα διαφοράς υψομέτρου μεταξύ GNSS σημείων επαλήθευσης και Pix4D DSM επιφάνειας για τις περιοχές εξέτασης A και B.....	18
Διάγραμμα 13: Ιστόγραμμα διαφοράς υψομέτρου μεταξύ GNSS σημείων επαλήθευσης και Lidar επιφάνειας	19
Διάγραμμα 14: Σύγκριση των διατομών αποθέματος μεταξύ Pix4D (DSM) και GNSS σημείων μέτρησης.....	19
Διάγραμμα 15: Σχέδιο Αποτύπωσης Αποθέματος.....	20
Διάγραμμα 16: Σύγκριση μεθόδων αποτύπωσης σημείων	21
Διάγραμμα 17: GPS Surveyed Stockpile	21
Διάγραμμα 18: Same Stockpile – Surveyed with UAV.....	22
Διάγραμμα 19: Φωτογραφία UAV με GCPs χωματερής, (Zijin Mine).....	23
Διάγραμμα 20: UAV platform BNU-D8-1	23

Διάγραμμα 21: 3D Μοντέλο (dense model) της περιοχής μελέτης μαζί με TLS (Point cloud)	24
Διάγραμμα 22: Χάρτης 3D αποστάσεων με βάση τις DSMs επιφάνειες	24
Διάγραμμα 23: UAV Σύννεφο σημείων (Point cloud) αποτύπωσης σωρού σε κάτοψη .	25
Διάγραμμα 24: Point Cloud από TST κάτοψη /TIN Επιφάνεια από TST κάτοψη	25
Διάγραμμα 25: UAV Σύννεφο σημείων (Point cloud) με τρισδιάστατη απεικόνιση 3D του αποθέμετος	26
Διάγραμμα 26: Σύγκριση αποτελεσμάτων ογομέτρησης σωρών με την πραγματική ποσότητα	27
Διάγραμμα 27: Συνολική Ροή Εργασιών Μελέτης	28
Διάγραμμα 28: Το σύστημα UAV που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή	29
Διάγραμμα 29: Η περιοχή μελέτης στην νοτιοδυτική Κίνα. Η περιοχές πτήσης με UAV είναι οριοθετημένες με κόκκινα πολύγωνα οι περιοχές ζωνών κλίσης οριοθετούνται με μπλε πολύγωνα, οι οριζόντιες θέσεις των φωτογραφικών κέντρων οριοθετούνται με κόκκινα σημεία, και οι στάσεις του TLS οριοθετούνται με πράσινα σημεία.	30
Διάγραμμα 30: Κατανομή σημείων GCPs στην περιοχή μελέτης. (a)Κατανομή των GCPs οριοθετείται με κόκκινα τρίγωνα στην περιοχή Jianshan (b) Σχέδιο GCPs (c) Παράδειγμα των GCP σε φωτογραφία UAV (d) Κατανομή GCPs στην περιοχή Kunyang,e) Κατανομή των GCPs στην περιοχή Jinning.....	32
Διάγραμμα 31: Κοινά σημεία για αντιστοίχιση ζεύγους εικόνων	32
Διάγραμμα 32: Δημιουργία επιφάνειας DSM μέσω του λογισμικού ArcGIS	34
Διάγραμμα 33: Δημιουργία ορθοφωτοχάρτη.....	35
Διάγραμμα 34: Ταξινόμηση περιοχών χρήσης	35
Διάγραμμα 35: Περιοχή Εργασίας.....	37
Διάγραμμα 36: Επεξεργασμένο τρισδιάστατο μοντέλο DTM αρχικής και τελικής επιφάνειας	38
Διάγραμμα 37: Ευρύτερη περιοχή Μελέτης	41
Διάγραμμα 38: Περιοχή μελέτης	41

Διάγραμμα 39: Κατασκευή Στάσεων για τοποθέτηση του TLS.....	42
Διάγραμμα 40: Προετοιμασία διατάξεων και τοποθέτησης στόχων και στάσεων.....	43
Διάγραμμα 41: Τοποθέτηση Φωτοσταθερών στο πεδίο.....	44
Διάγραμμα 42: Αποτύπωση σημείων στο πεδίο με χρήση GPS.....	44
Διάγραμμα 43: Εικόνα Οπτικοποίησης κατανομής GCPs TLS και Φωτοσταθερών.....	45
Διάγραμμα 44: Τοπογραφική Επιφάνεια GPS Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM).....	46
Διάγραμμα 45: Τοπογραφική Επιφάνεια Βάσης (GPS) Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM).....	47
Διάγραμμα 46: Τοπογραφικές Επιφάνειες Βάσης-Σωρού (GPS).....	48
Διάγραμμα 47: Τοπογραφική Επιφάνεια Αποθέματος Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DTM).....	48
Διάγραμμα 48: Πλάγια Όψη Επιφανειών.....	49
Διάγραμμα 49: Αποτύπωση με χρήση Επίγειου Σαρωτή.....	50
Διάγραμμα 50: Θόρυβος Μετρήσεων.....	52
Διάγραμμα 51: Θόρυβος από παρεμβολή Ανθρώπων.....	52
Διάγραμμα 52: Καθαρό Σύννεφο Σημείων.....	53
Διάγραμμα 53: Τελικός καθαρισμός του θορύβου και τρισδιάστατη οπτικοποίηση.....	54
Διάγραμμα 54: Τοπογραφική Επιφάνεια Laser Scanne Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM).....	55
Διάγραμμα 55: Τοπογραφική Επιφάνεια (GPS) Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) ..	56
Διάγραμμα 56: Τοπογραφικές Επιφάνειες TLS-GPS.....	57
Διάγραμμα 57: Τοπογραφική Επιφάνεια Αποθέματος Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DTM).....	57
Διάγραμμα 58: Πλάγια Όψη Επιφανειών.....	58
Μετά την απομόνωση των δυο επιφανειών, εξάγουμε τον ογκομετρικό υπολογισμό μεταξύ των δυο επιφανειών δηλαδή της αρχικής βάσης και του αποθέματος.	58
Διάγραμμα 59: Αρχική 3D επιφάνεια (GPS/Βάση) Τελική 3D επιφάνεια (GPS).....	59

Διάγραμμα 60: Τομή Αρχική-Τελικής 3D Επιφάνειας.....	59
Διάγραμμα 61: Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση περιοχής μελέτης με χρήση GPS- ROVER	60
Διάγραμμα 62: Αρχική 3D επιφάνεια (GPS/Βάση) Τελική 3D επιφάνεια (TLS)	61
Διάγραμμα 63: Τομή Αρχική-Τελικής 3D Επιφάνειας.....	61
Διάγραμμα 64: Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση περιοχής μελέτης με χρήση LASER SCANNE.....	62
Διάγραμμα 65: Περιοχή Μελέτης-Αποτύπωσης.....	65
Διάγραμμα 66: Περίγραμμα Πτήσης περιοχής μελέτης	66
Διάγραμμα 67: Σημεία λήψης Φωτογραφιών και Επικάλυψη.....	67
Διάγραμμα 68: UAV: Phantom 3 Professional.....	68
Διάγραμμα 69: Σημεία Φωτοσταθερών και εκτίμηση ακρίβειας	70
Διάγραμμα 70: Βελτιστοποίηση Κάμερας FC300X (3.61 mm)	71
Διάγραμμα 71: Υφή Περιοχής Μελέτης	72
Διάγραμμα 72: Παραγωγή DEM	73
Διάγραμμα 73: Αρχική Τοπογραφία Phantom III Pro	74
Διάγραμμα 74: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM).....	74
Διάγραμμα 75: Τρισδιάστατο Ψηφιακό Μοντέλο Ασβεστολιθικού Σωρού.....	75
Διάγραμμα 76: UAV: Phantom IV	77
Διάγραμμα 77: Περίγραμμα πτήσης περιοχής μελέτης.....	77
Διάγραμμα 78: Σημεία λήψης Φωτογραφιών και Επικάλυψη.....	78
Διάγραμμα 79: Σημεία Φωτοσταθερών και εκτίμηση ακρίβειας	80
Διάγραμμα 80: Βελτιστοποίηση Κάμερας FC330X (3.61 mm)	80
Διάγραμμα 81: Υφή Περιοχής Μελέτης.....	81
Διάγραμμα 82: Παραγωγή DEM	82
Διάγραμμα 83: Αρχική Τοπογραφία Phantom IV	83

Διάγραμμα 84: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM).....	83
Διάγραμμα 85: Τρισδιάστατο Ψηφιακό Μοντέλο Ασβεστολιθικού Σωρού.....	84
Διάγραμμα 86: Διαφορές στις ποσότητες μεταξύ των επιφανειών Laser Scanner (Πράσινο)-GPS (Λευκό).....	86
Διάγραμμα 87: Διαφορές στον κυβισμό μεταξύ των επιφανειών Laser Scanner (Πράσινο)-ΡΗΠΙ (Λεύκο)	87
Πίνακας 19 : Σύγκριση Ογκομέτρησης Γεωχωρικών Τεχνολογιών ως προς την Βάση αναφοράς (LASER SCANNER).....	88
Διάγραμμα 88: Βάση αποθέματος μετά την τροφοδοσία του υλικού.....	91

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι σημαντικές συντομογραφίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο κείμενο της πτυχιακής και χρειάζονται επεξήγηση π.χ:

ΤΕΠΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΒΤΠ:	Βιβλιοθήκη Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου
Τ.Β:	Τσιμεντοποιία Βασιλικού Δημόσια Εταιρεία ΛΤδ
GCP:	Ground Control Point
PC:	Point Cloud
TLS:	Terrestrial Laser Scanning
GPS:	Global Positioning System
UAS	Unmanned Aerial Vehicles
UAV:	Unmanned Aircraft Vehicles
RPS:	Remotely Piloted Systems
AS	Aerial Survey
Drone:	Μη Επανδρωμένα Ιπράμενα Μηχανές
GIS:	Geographic Information System
DTM	Digital Terrain model
DSM	Digital Surface model
TIN:	Triangulated Irregular Network
LIDAR	Light Detection and Ranging
DEM:	Digital Elevation Model
GMT:	Ground Monitoring Techniques

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Στην περίπτωση χρήσης ορολογίας από ξενόγλωσση βιβλιογραφία, αναφέρεται η απόδοση στην ελληνική η οποία θεωρείται περισσότερο δόκιμη. Για παράδειγμα:

Natural Resource	Φυσικός Πόρος
Quarry	Λατομείο
Limestone	Ασβεστόλιθος
Stockpile	Απόθεμα
Volumetric Measurement	Ογκομέτρηση
Flight Plan	Σχέδιο Πτήσης
Flight Time	Χρόνος Πτήσης
Quadcopter	Τετρακόπτερο
Octacopter	Οκτακόπτερο
Cordination System	Σύστημα Συντεταγμένων
Universal Transverse Mercator	Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων
Local Transverse Mercator	Τοπικό Σύστημα Συντεταγμένων
Open Cast Quarry	Ανοιχτό Λατομείο
Surface	Επιφάνεια
3D Point Cloud	Σύννεφο Σημείων

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ζούμε στον αιώνα των διάχυτων πληροφοριών και το διαδίκτυο είναι η σημαντικότερη πηγή αλλά και ο κύριος οδηγός αναζήτησης πληθώρας πληροφοριών παγκόσμια.

Τα UAS είναι γνωστά κάτω από διάφορα ονόματα όπως "μη επανδρωμένο αεροσκάφος UAV" ή "εναέρια ρομπότ" ή απλά Drone καταλήγοντας στους πιο δημοφιλούς όρους που έχουν επικρατήσει των UAV και Drone.

Ο όρος UAS υιοθετήθηκε από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ (DOD) και της Αρχής Πολιτικής Αεροπορίας (CAA) του Ηνωμένου Βασιλείου (ICAO 2011).

Η προαναφερθείσα εγκύκλιος είναι μια βασική αναφορά στην οποία ο αναγνώστης μπορεί να βρει μια περιεκτική σύνταξη όρων και ορισμών που συνδέονται με το UAS.

Τον Σεπτέμβριο του 2013, περισσότερα από έξι εκατομμύρια καταχωρήσεις βρέθηκαν στην μηχανή αναζήτησης Google κατά την αναζήτηση των λέξεων " Unmanned Aerial Οχήματα, " και σχεδόν δώδεκα εκατομμύρια αναζητώντας για το ακρωνύμιο, UAV.

Η τάση χρήσης της λέξης UAV έχει μειωθεί από το 2013 μέχρι το 2015 κατά το ήμισυ ωστόσο αυτό μπορεί να εξηγηθεί εν μέρει γιατί ο νέος δημοφιλής ορισμός είναι το drone. Στην πραγματικότητα υπήρξε μια αύξηση χρήσης των ακρωνύμιων αυτών από το 2009 και μάλιστα δεκαπλάσια σε σχέση με το 2005.

Η μεγαλύτερη αύξηση όμως επιτεύχθηκε τον Δεκέμβριο 2011, όταν η Αμερικανική κυβέρνηση ζήτησε από το Ιράν να επιστρέψει το χαμένο Drone. Η αναφορά αυτή δεν είναι ποσοτική αλλά απεικονίζει προσεγγιστικά τον αντίκτυπο των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στις μέρες μας.

Στην προσπάθεια ποσοτικοποίησης της εξέλιξης της ανάπτυξης UAS και την διεύρυσή τους στις τρέχουσες επαγγελματικές αγορές, μπορεί να είναι χρήσιμο να αναλυθεί ο αριθμός των καταγεγραμμένων UAS, ως άμεσου δείκτη για το πώς έχει αυξηθεί η σημασία τους. Ο Πίνακας 1, αναφέρει λεπτομερώς τον αριθμό των συστημάτων UAS που αναφέρονται στην ετήσια διεθνή απογραφή του UVS για το 2013.

Πίνακας 1: Πρωτοβουλίες Ανάπτυξης Σκοποί 2005-2013

Number of referenced UAS, developmental initiatives and purpose, period 2005-2013.									
Item	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Referenced UAS	544	603	789	974	1190	1244	1424	1581	1708
Producers/developers	207	252	312	369	422	500	511	478	540
Int'l teamed efforts	20	32	34	35	38	36	54	32	48
Producing countries	43	42	48	48	50	51	51	51	53
<i>Development purposes</i>									
Civil/commercial	55	47	61	115	150	171	175	217	247
Military	397	413	491	578	683	631	674	548	564
Dual purpose	44	77	117	242	260	283	318	353	392
Research UAS	35	31	46	54	66	66	69	73	78
Developmental UAS	219	217	269	293	329	301	310	187	172

Πηγή: (van Blyenburgh, 2013).

Μεταξύ των πολλών ερμηνειών που μπορούν να εξαχθούν από το πιο πάνω πίνακα, αποκαλύπτεται μια ενδιαφέρουσα τάση: ο αριθμός κατασκευής των UAS τριπλασιάστηκε από το 2005 μέχρι σήμερα και σίγουρα αναμένετε να αυξηθεί στο μέλλον ακόμη περισσότερο.

Ας επικεντρωθούμε στην σχετική επιστημονική δραστηριότητα σε σχέση με το αντικείμενο των UAS. Μέσα από σχετική έρευνα για τον αριθμό των δημοσιεύσεων σε σημαντικά συνέδρια φωτογραμμετρίας και τηλεπισκόπησης, το 2004 έγινε συνέδριο στην Κωνσταντινούπολη από το οποίο αναφέρθηκαν 3 έγγραφα σχετικά με τα UAS αλλά δεν περιείχε κάποιο αποκλειστικό συνέδριο ειδικά για μη επανδρωμένα αεροσκάφη. Αυτή η τάση όμως άλλαξε το 2008 στο Πεκίνο όπου δημοσιεύτηκαν 21 εργασίες σχετικά με την χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών και για σκοπούς χαρτογράφησης παρουσιάστηκαν σε τρεις διαφορετικές συνεδρίες.

Στο πρόσφατο συνέδριο ISPRS στη Μελβούρνη το 2012, πραγματοποιήθηκαν εννέα συνεδρίες σχετικά με το UAS, με περίπου 50 εργασίες που σχετίζονται με το UAS.

Επίσης η διεθνής φωτογραμμετρική κοινότητα έχει δημιουργήσει μια ειδική διετή διάσκεψη που ξεκίνησε το 2011, με την ονομασία UAV-g που έγινε στην Ζυρίχη της Ελβετίας αργότερα το 2013 έγινε στο Rostock της Γερμανίας και το 2015 στο Τορόντο του Καναδά.

Το IEEE Geoscience and Remote Sensing Society (IGARSS), παρουσίασε εργασίες στο ετήσιο συνέδριο το 2005, σχετικές εργασίες παρουσιάστηκαν επίσης και στην Αμερικανική κοινωνία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης το 2005, στην Βαλτιμόρη . Η τάση χρήσης των UAVs για απόκτηση πληροφοριών είναι αρκετά μεγάλη σύμφωνα με τον Raeva et. Al (2016) και σίγουρα χρόνο με χρόνο θα γίνεται εντονότερη καθώς όλο ένα και περισσότερο θα διεισδύουν σε νέα πεδία έρευνας και ανάπτυξης και καινοτομίας.

Στη σημερινή εποχή, τα drones υποκαθιστούν όλο και περισσότερο παραδοσιακές τεχνικές τοπογραφικής αποτύπωσης με δέκτες GNSS, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση στο εμπόριο με τζίρο από 5400.0 Μ€ το 2013 σε 6350.0 Μ€, μέχρι το 2018 [1] I. Colomina and P. Molina, “Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review,” *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 92, pp. 79–97, 2014.

Η χρήση τους σε όλο τον κόσμο εξαπλώνεται συνεχώς σε έργα και δράσεις όπως μελέτες σκοπιμότητας, παρακολούθηση και εξέλιξη κατασκευαστικών έργων, συγκοινωνιακός σχεδιασμός, χαρτογράφηση, κτηματολόγιο, παρακολούθηση εξέλιξης λατομείων, μετρήσεις όγκων αποθεμάτων κλπ.

Πέραν των πιο πάνω εφαρμογών αναφέρετε επίσης ότι πέραν των 80 χωρών διαθέτουν μη επανδρωμένα οχήματα σε στρατιωτικές ή άλλες υπηρεσίες ενώ πάνω από 30 κράτη τα έχουν εντάξει στις αμυντικές τους δομές. Οι αναλυτές υποστηρίζουν ότι η βιομηχανία των UAVs αποτελεί τον πιο δυναμικά αναπτυσσόμενο κλάδο ειδικά στο χώρο της άμυνας. Παραδείγματα εφαρμογών είναι η χρήση τους, για έλεγχο των συνόρων μεταξύ ΗΠΑ και Μεξικού όπου πέραν των 10.000 UAVs περιπολούν σε προγραμματισμένες πτήσεις για εντοπισμό οποιασδήποτε κίνησης. Οι πτήσεις τους καλύπτουν συνολικά 900 μίλια, το ίδιο σκηνικό χρήσης θα επεκταθεί αντίστοιχα και στον Καναδά. Η τεχνογνωσία αυτή έχει μεταφερθεί και στην Κολομβία καθώς οι αρχές της χώρας τα χρησιμοποιούν στη μάχη κατά των καρτέλ. Για παρόμοιους σκοπούς γίνεται χρήση επίσης και στις χώρες της νοτίου Αφρικής για θέματα λαθροθηρίας και προστασίας ζωικών ειδών.

Η σημαντικότητα χρήσης στο πεδίο έχει καταστεί πολύ σημαντική και στις Ευρωπαϊκές Εθνικές υπηρεσίες χαρτογράφησης, οι οποίες έχουν οργανώσει ομάδες εργασίας και έχουν ξεκινήσει να δημιουργούν συνεργασίες (Cramer et al, 2013)

Πραγματική μάχη εκτυλίσσεται και στον κατασκευαστικό πεδίο στην βιομηχανική χρήση και στην ελεύθερη αγορά, καθώς επίσης έχουν γίνει μια εναλλακτική λύση για διάφορες εφαρμογές μηχανικής (Siebert and Teizer, 2014).

Μια από τις χρήσεις αυτές είναι και η Μεταλλευτική δραστηριότητα, η οποία αποσκοπεί στην αξιοποίηση του ορυκτού πλούτου, ο οποίος θεωρείται ύψιστης σημασίας και εφαρμογής σε αρκετούς τομείς αλλά και για την ίδια την χώρα.

Συνεπώς αναγνωρίζεται η ανάγκη για διασφάλιση της απρόσκοπτης προσφοράς βασικών βιομηχανικών/λατομικών και μεταλλευτικών υλικών, κυρίως στον τομέα των κατασκευών σε ποσότητες και σε ποιότητα που θα ικανοποιούν πλήρως τη ζήτηση.

Επί του παρόντος η χρήση των UAVs στον μεταλλευτικό τομέα, κερδίζει έδαφος με αρκετά γρήγορους ρυθμούς, ως προς τις παραδοσιακές τοπογραφικές μεθόδους.

Δεν είναι καθόλου τυχαίο, το γεγονός της τάσης μετεξέλιξης και εγκατάστασης πρόσθετων εργαλείων διαχείρισης παραγωγών προϊόντων μέσω των drones, από τα δημοφιλέστερα μεταλλευτικά προγράμματα του κλάδου σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η τεχνολογία αυτή πέραν των άλλων θετικών που καλύπτει, επιτρέπει την προοδευτική παρακολούθηση της δραστηριότητας, μέσα από τον σχεδιασμό που έχει προηγηθεί, τον συχνό υπολογισμό όγκων τόσο των εκσκαφών του κοιτάσματος της εκσκαφής όσο και των αποθεμάτων που δημιουργούνται. Επίσης ένα πολύ θετικό στοιχείο είναι ότι από την όλη απεικονιστική πληροφορία μέσω της επεξεργασίας των εικόνων βοηθά στη λήψη αποφάσεων.

Με τον όρο **Λατομείο**, εννοούμε τον τόπο θρυμματισμού και κατάτμησης των πετρωμάτων από τη φυσική τους θέση, μέχρι ενός ικανοποιητικού μεγέθους τα οποία με κατάλληλη επεξεργασία ανάλογα με την χρήση αποτελούν το αντικείμενο εμπορίας οποιασδήποτε σχετικής με το αντικείμενο επιχείρησης. Τα λατομεία συνήθως δημιουργούνται σε ορεινές οι λοφώδης περιοχές, όπου υπάρχει το κατάλληλο γεωλογικό υπόβαθρο. Το βραχώδες υλικό παίρνεται είτε με χρήση εκρηκτικών υλών είτε με μηχανικά μέσα, ανάλογα με τις φυσικομηχανικές ιδιότητες και τον τύπο του πετρώματος προς εκμετάλλευση.

Ο μεταλλευτικός κλάδος υπό την έννοια της εκμετάλλευσης πρώτων υλών εντός των λατομείων αποτελεί ένα ευρύ επιστημονικό πεδίο δράσης και εφαρμογής τοπογραφικών μεθόδων αποτύπωσης, ογκομετρήσεων και ελέγχου. Μια από τις κύριες παραμέτρους της δραστηριότητας είναι και οι υπολογισμοί όγκων για εκτίμηση αποθεμάτων είτε *insitu* ωφέλιμου κοιτάσματος είτε αποθεμάτων που δημιουργούνται και είναι ζωτικής σημασίας τόσο στην εξορυκτική βιομηχανία, ορυχεία, λατομεία καθώς και σε άλλα πεδία (Yilmaz 2010).

Η αποτελεσματική ανάπτυξη και παρακολούθηση ενός λατομείου απαιτεί ταχεία και ακριβή δεδομένα τα οποία πρέπει να είναι κατάλληλα ενημερωμένα, καθώς το περιβάλλον εργασίας των λατομείων είναι δυναμικό, με συνεχές μεταβολές του ανάγλυφου κατά την εκμετάλλευση του κοιτάσματος.

Οι εκτιμήσεις όγκου είναι επίσης πολύ σημαντικές σε πολλές πρακτικές αποτύπωσης (Easa 1988).

Τα drones την δεδομένη στιγμή κρίνονται ως το πιο βέλτιστο και ιδανικό εργαλείο διαχείρισης όλων των παραμέτρων που διέπουν την φύση και λειτουργία του λατομικού κλάδου γιατί αυτά αποτελούν ένα ζωντανό κύτταρο, συνυφασμένο με ένα δυναμικό περιβάλλον αλλαγής στο οποίο δημιουργείται η ανάγκη διεξοδικής παρακολούθησης.

Δεδομένης της σημασίας εκτίμησης του όγκου, είναι απαραίτητο να προσαρμόζεται δυναμικά στον συνεχώς μεταβαλλόμενο κόσμο της τεχνολογίας, βελτιώνοντας και αναβαθμίζοντας τις παραδοσιακές μεθόδους. Η χρήση των UAVs μπορεί να καλύψει το κενό μεταξύ των συμβατικών μεθόδων αποτύπωσης.

Η τεχνολογία UAS είναι δυνητικά συμπληρωματική του υπολογισμού του όγκου, δεδομένης της ευελιξίας, της προσιτής τιμής και της ευκολίας χρήσης (Raeva et al.2016).

Η αποτελεσματική διαχείριση ενός λατομείου συνίσταται στην συνεχή επιθεώρηση του μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος, παράλληλα με την ακριβή εκτίμηση του όγκου που εξορύσσεται. Πέραν αυτού στα πλαίσια αποτελεσματικής διαχείρισης του λατομείου, σημαντικό παράγοντα διαδραματίζει επίσης και η δημιουργία ενός συστήματος ελέγχου ροής των υλικών από και προς τα αποθέματα, τα οποία δημιουργούνται για τις ανάγκες της κάθε χρήσης. Οι εξορυκτικές επιχειρήσεις για να καλύψουν τις ανάγκες αυτές πρέπει να διαθέτουν σύγχρονο εξοπλισμό αποτύπωσης, ώστε να παίρνουν τα δεδομένα αυτά γρήγορα εν ευθέτω χρόνω, αποτελεσματικά και αξιόπιστα.

1.1 Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αποδείξει την καταλληλότητα χρήσης των Drones για εφαρμογές υποτυπώσεων και ογκομετρήσεων αποθεμάτων σε λατομεία

Η ανάγκη κάλυψης του πεδίου αυτού, προκύπτει από το γεγονός της έλλειψης εμπιστοσύνης μέσα από κάποια εύλογα ερωτηματικά, σχετικά με την καταλληλότητα και αξιοπιστία στην παραγωγή υψηλής ακρίβειας 3D δεδομένων, ικανών για να υποκαταστήσουν την χρήση των παραδοσιακών μεθόδων κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Τα ερωτηματικά αυτά είναι απολυτός λογικά και αναμενόμενα κατά την άποψη μου καθώς η χρήση οποιαδήποτε χρήση νέων τεχνολογιών διανύει ένα πρώιμο αρχικό στάδιο όπου αντιμετωπίζεται με φειδώ μέχρι να επέλθει η καθολική αποδοχή και ωρίμανση. Ακόμη μια παράμετρος ενίσχυσης της διστακτικότητας στις περιπτώσεις αυτές είναι το γεγονός ότι οι ακρίβειες των τελικών αποτελεσμάτων από την χρήση της νέας τεχνολογίας έχουν και την έννοια του οικονομικού αντίκτυπου ανάλογα των εργασιών.

Στα πλαίσια αυτά εστιάζει και η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, μέσα από την εξέταση και μελέτη σε πραγματική κλίμακα δεδομένων πεδίου από τα οποία αναμένεται να εξαχθούν χρήσιμα στοιχεία και συμπεράσματα, προσθέτοντας αξία στην μέχρι τώρα έρευνα και βιβλιογραφία.

1.2 Στόχος

Ο στόχος της προσπάθειας αυτής είναι η επίτευξη και ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας, μέσα από την εφαρμογή και χρήση γεωχωρικών τεχνολογιών, όπως UAVs/ GNSS /TLS. Πριν προχωρήσουμε στην βιβλιογραφία κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια σύντομη αναφορά για το τι είναι UAVs/ GNSS RTK-ROVER /TLS, ώστε ο αναγνώστης να αντιληφθεί καλύτερα τις έννοιες και την ορολογία που απαιτείται.

2 Μη επανδρωμένα Αεροσκάφη UAVs

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα αποτελούνται από τρία κύρια μέρη. Πρώτον, την πλατφόρμα εξάρτησης του αισθητήρα, που με την πάροδο του χρόνου έχει εξελιχθεί αισθητά και προσαρμοστεί με τις τεχνολογικές εξελίξεις της εποχής. Πλατφόρμες εξάρτησης αισθητήρων αποτελούν τα μπαλόνια, οι χαρταετοί αλλά και τα αεροσκάφη όπως αεροπλάνα, ελικόπτερα και drones.

Τα μη επανδρωμένα εναέρια αεροσκάφη (UAV) συνήθως κατηγοριοποιούνται, με βάση την ικανότητα να φέρουν εις πέρας μια «αποστολή» ή το μέγεθος των εναέριων οχημάτων (Austin, 2010). Ωστόσο, είναι πιθανό να χρειασθεί ο συνδυασμός περισσότερων τύπων εναέριων οχημάτων, προκειμένου να ολοκληρωθεί μια έρευνα.

Έτσι, η κατηγοριοποίηση αυτών, αντιμετωπίζει δυσκολίες καθώς τα «όρια» που τίθενται μεταξύ τους δεν είναι σαφώς πάντα καθορισμένα, και μπορεί να υπάρξουν επικαλύψεις.

Μια κατηγοριοποίηση που προκύπτει επισυνάπτεται στον Πίνακα 2:

Πίνακας 2: Κατηγορίες των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV)

Κατηγορία	Εμβέλεια (km)	Ύψος Πτήσης (m)	Διάρκεια πτήσης (h)	Μάζα (kg)
MUAV	<10	150 ή 250 ή 300	< 2	25 ή 30 ή 150
MAV	<10	250	1	<5
Close Range UAV	10-30	3000	2-4	25-150
TUAV-Medium range	70-200	5000	6-10	150-500
HALE	>2000	>15000	24-48	2500-5000
MALE	>500	5000-15000	>24	1000-1500

Πηγή: Austin, 2010

Τα UAVs, κατατάσσονται εκ νέου σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, βάσει του μεγέθους, του βάρους καθώς και των δυνατοτήτων διάρκειας πτήσης τους (Remondino et al., 2011). Αρχικά **τα τακτικά UAVs** (tactical), όπου συνήθως είναι μικρού ή μεσαίου μεγέθους, το υψόμετρο πτήσης ανέρχεται στα 500 χιλιόμετρα, η διάρκεια πτήσης τους από λίγα λεπτά μέχρι και 2 ημέρες, και τέλος η μάζα του συστήματος φτάνει έως 1000 κιλά.

Επόμενη κατηγορία αποτελούν τα **στρατηγικά UAVs** (strategical), στην οποία περιλαμβάνονται συστήματα που το υψόμετρο τους υπερβαίνει τα 20.000 μέτρα και η διάρκεια πτήσης τους φτάνει τις 4 ημέρες. Τέλος, τρίτη και τελευταία κατηγορία, αποτελούν τα **UAVs ειδικών διεργασιών** (special tasks), όπου περιλαμβάνει μη επανδρωμένα αυτόνομα μαχητικά αεροσκάφη.

Επίσης, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα UAV μπορούν να κατανεμηθούν εκ νέου σε κατηγορίες, βάσει των κύριων χαρακτηριστικών των αεροσκαφών. Τέτοιου είδους χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον Eisenbeiss (2009), μπορούν να θεωρηθούν εάν τα αεροσκάφη χρησιμοποιούν σταθερά ή περιστρεφόμενα πτερύγια, αν είναι βαρύτερα ή ελαφρύτερα από τον αέρα, και ακόμα αν τροφοδοτούνται ηλεκτρικά ή όχι.

Πιο κάτω παρουσιάζεται πίνακας με την ταξινόμηση των υπαρχόντων UAVs, τα οποία χρησιμοποιούνται σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές.

Πίνακας 3: Ταξινόμηση των UAVs με βάση την τροφοδοσία τους και την σχέση τους με τον αέρα

	Ελαφρύτερα από τον αέρα	Βαρύτερα του αέρα		
		Ευέλικτων πτερυγίων	Σταθερών πτερυγίων	Περιστρεφόμενων πτερυγίων
Μη τροφοδοτούμενα	Μπαλόφι	Αιωρόπτερο Παραπέντε Χαρταετοί	Ανεμόπτερα	Χαρταετός με ρότορα
Τροφοδοτούμενα	Αερόπλοιο	Παραπέντε	Προπέλα Μηχανοκίνητα	Με ένα ρότορα Με δύο ρότορες-ομοαξονικά Με τέσσερις ρότορες Με πολλούς ρότορες

Πηγή: Eisenbeiß, 2009



Διάγραμμα 1: UAVs με χρήση Ρότορα ή Πτερυγίων (Fixed Wing)

Όσον αφορά τις μεθόδους πτήσης, τα μη εναέρια οχήματα διακρίνονται εκ νέου στις εξής κατηγορίες (Eisenbeiss & Sauerbier, 2011): *Χειροκίνητης λειτουργίας πτήσης* (Manual Flight Mode), όπου ο βαθμός ελευθερίας του συστήματος ελέγχεται εξ αποστάσεως από τον χειριστή. *Ημιαυτόνομης ή υποβοηθούμενης λειτουργία πτήσης* (Semi-automated or assisted), όπου ο χειριστής του οχήματος μπορεί να το ελέγξει μέσω μακροεντολών.

Η υποβοηθούμενη λειτουργία απλοποιεί τον χειρισμό του UAV, δεδομένου ότι το σύστημα έχει σταθεροποιηθεί και ο χειριστής αναλαμβάνει μόνο την ευθύνη για την καθοδήγηση του με βάση το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης.

Αυτόνομης λειτουργίας πτήσης (Autonomous Flight Mode), όπου πλέον η δουλειά του χειριστή-πιλότου αντικαθίσταται από ένα αυτόματο σύστημα πλοήγησης το οποίο ακολουθεί ένα προκαθορισμένο ίχνος πτήσης.

Δεύτερο βασικό «τμήμα» των UAV αποτελούν οι αισθητήρες του συστήματος, και κυρίως οι εικονοληπτικοί, το μέρος με βάση το οποίο συλλέγονται τα δεδομένα. Οι αισθητήρες όπως και οι πλατφόρμες, ακολουθούν τις τεχνολογικές ανάγκες της εκάστοτε εποχής. Έτσι από τις αναλογικές κάμερες περάσαμε στις ψηφιακές με σκοπό τη αποκόμιση βέλτιστων ποιοτικά εικόνων.

Πιο αναλυτικά, αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα UAV διακρίνονται στους *εικονοληπτικούς αισθητήρες* και στους *αισθητήρες πλοήγησης*.

Η επιλογή του κατάλληλου εικονοληπτικού αισθητήρα, ώστε να εξοπλίσει το σύστημα εξαρτάται από το ωφέλιμο φορτίο της πλατφόρμας, καθώς και από τις απαιτήσεις της έρευνας που πρέπει να ολοκληρωθεί (Austin, 2010). Πρόσφατα, με την βοήθεια της τεχνολογικής εξέλιξης χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, ποικίλων format, σε αντιστοιχία με τις ανάγκες της έρευνας και της ποιότητας των δεδομένων (Καλαμάκης & Τσιτσιπλάνης, 2015).

Σημαντικό ρόλο στην λειτουργία ενός συστήματος UAV έχουν οι αισθητήρες πλοήγησης. Η πιο δημοφιλής μέθοδος προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης είναι η χρήση του GPS, καθώς και συστημάτων INS, τα οποία βοηθούν στην πλοήγηση αξιοποιώντας αισθητήρες κίνησης, επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια που υπολογίζουν κάθε στιγμή τη θέση, τον προσανατολισμό και την ταχύτητα του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (Austin, 2010).

Τρίτο βασικό «τμήμα» των UAV συστημάτων αποτελεί ο σταθμός εδάφους, όπου είναι στην ουσία το κέντρο ελέγχου της πτήσης του οχήματος, ο οποίος διευκολύνει το χειρισμό, την παρακολούθηση και την αξιοποίηση των πληροφοριών που παρέχονται από τα UAVs (Colomina & Molina, 2014). Οι επίγειοι σταθμοί ελέγχου των UAV ποικίλουν, από απλά συστήματα με την μορφή τηλεχειριστήριων μέχρι σύνθετες μονάδες κατάλληλα εξοπλισμένες, που έχουν δυνατότητες, όπως η παρακολούθηση των λήψεων σε πραγματικό χρόνο (Καλαμάκης & Τσιτσιπλάνης, 2015).

Τέλος, οι διασυνδέσεις μεταξύ των υποσυστημάτων του UAVs είναι μείζονος σημασίας. Στοχεύουν στην καλύτερη λειτουργία του συστήματος, ώστε με τη σωστή «συνεργασία» να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοση στο σύνολο του (Austin, 2010).

3 Το GNSS ερμηνεύεται ως Global Navigation Satellite System.

Χρησιμοποιώντας διάφορα πακέτα λογισμικού είναι δυνατή η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων από την συλλογή συντεταγμένων GPS. Να σημειωθεί ότι για να δημιουργηθούν τρισδιάστατες επιφάνειες από την συλλογή σημείων με GPS είναι απαραίτητο να έχουμε υψομετρικά δεδομένα. Η μέθοδος αυτή παρέχει εξαιρετική ακρίβεια απαιτεί όμως αρκετό χρόνο. Η GNSS παρέχει ένα σύστημα το οποίο είναι κατάλληλο για μεγάλες εκτάσεις μελέτης με ακρίβεια 8mm η λιγότερο (Smet 2012).

Ενώ μόνο ένα άτομο είναι απαραίτητο για την συλλογή των δεδομένων αρκετοί κάνουν την συλλογή ευκολότερη. Αυτά τα άτομα θα πρέπει να εξασφαλίσουν την κατάλληλη πυκνότητα σημείων για να ελαχιστοποιήσουν το σφάλμα από τις διάφορες μεθόδους παρεμβολής. Μετά την ολοκλήρωση και την απόκτηση των σημείων αυτά πρέπει αν υποστούν επεξεργασία.

Διάφορες μέθοδοι παρεμβολής που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μέθοδο εισάγουν κάποια ανησυχία σχετικά με το πόσο ακριβής μέθοδος είναι. Διάφορες μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει αυτή τη μέθοδο για την ανακατασκευή μιας τρισδιάστατης απεικόνισης και στη συνέχεια χρησιμοποιήστε την απεικόνιση για να αποκτήσει μετρήσεις κάποιου είδους. Μια τέτοια μελέτη έγινε από τη Raeva et al. χρησιμοποίησε το AutoCAD Civil 3D για να δημιουργήσει μια επιφάνεια από ισοϋψείς χρησιμοποιώντας τα σημεία που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια μιας έρευνας GNSS, μόλις δημιουργηθεί αυτή η επιφάνεια, προχώρησαν στον υπολογισμό όγκου χρησιμοποιώντας την παραγόμενη επιφάνεια (Raeva et al. 2016).

4 Terrestrial Laser Scanning (TLS)

Το TLS μπορεί να περιγραφεί ως ενεργό σύστημα LiDAR (σύστημα ανίχνευσης και εύρεσης φωτός) το οποίο υπολογίζει την απόσταση από τις επιφάνειες μετρώντας τον χρόνο μεταφοράς των εκπεμπόμενων παλμών φωτός (O'Neal 2012). Αυτοί οι παλμοί λέιζερ χρησιμοποιούνται για να δημιουργούν νέφη σημείων 3D της περιοχής μελέτης. Πολλαπλές έρευνες έχουν χρησιμοποιήσει το TLS για να διασφαλιστεί ότι δεν αποκλείονται τμήματα μιας περιοχής μελέτης. αυτό επειδή το όργανο περιστρέφεται σε μια βάση γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα και η απόσταση μεταξύ των παρατηρήσεων των δεδομένων αυξάνεται με την απόσταση από τον αισθητήρα (O'Neal 2012). Το TLS απαιτεί επίσης χειροκίνητο φιλτράρισμα ενός πρώτον σημείο-σύννεφο για ταξινόμηση μέσω αντικειμένου σημείων ενδιαφέροντος και άλλων αντικειμένων / θορύβου (O'Neal 2012). Το TLS έχει γίνει ένα βιομηχανικό πρότυπο σε πολλούς κλάδους λόγω της σχετικά απλής προσέγγισης και το επίπεδο των λεπτομερειών μικρής κλίμακας που χάνονται από άλλες τεχνικές (Hugenholtz et al., 2015; Jaselskis et al. 2005; Du and Teng 2007; O'Neal 2012 Slattery and Slattery 2013).

Το TLS ακούγεται εξαιρετικό, αλλά "δύο συναφείς προκλήσεις που σχετίζονται με την ογκομετρική TLS είναι το κόστος και η αποδοτικότητα "(Hugenholtz et al., 2015, σελ. 1). Ενώ το TLS είναι πολύ ακριβές, είναι πολύ χρονοβόρο για έργα που χρειάζονται συχνά ενημερωμένες πληροφορίες (Patikova 2004). Το TLS έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει μετρήσεις σε απόσταση 6mm από πραγματικές τιμές σε απόσταση 50 μέτρων όταν υπάρχουν οι βέλτιστες συνθήκες (Cuartero et al., 2010). Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν το TLS πολύ ακριβές, αλλά και δαπανηρό και χρονοβόρο, δημιουργώντας έτσι μια ζήτηση για ένα σύστημα που είναι τόσο υψηλής ακρίβειας και οικονομικά προσιτό για τα άτομα χωρίς την επένδυση κεφαλαίου ή γνώση που απαιτείται για την έρευνα TLS.



Διάγραμμα 2: Laser Scanner

Η διαχρονική εξέλιξη και χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών βρίσκει εφαρμογές όπως έχει προαναφερθεί και στην εκμετάλλευση των φυσικών πόρων μέσα από τον έλεγχο παρακολούθηση ογκομετρήσεων εκσκαφών και αποθεμάτων που δημιουργούνται μέσα από το δυναμικό περιβάλλον του συγκεκριμένου πεδίου εξορυκτικής δραστηριότητας.

Στα πλαίσια αυτά έχουν υλοποιηθεί σχετικές εργασίες, με διάφορες χρήσεις UAVs με σκοπό την σύγκριση ακρίβειας παραγώγων τους, σε σχέση με τις μέχρι τώρα συμβατικές μεθόδους αποτύπωσης.

Μια από τις πρόσφατες μελέτες που έχουν γίνει (2015) για το σκοπό σύγκρισης του βαθμού αξιοπιστίας στην ογκομέτρηση σωρού μεταξύ μη επανδρωμένου αεροσκάφους και παραδοσιακής αποτύπωσης με χρήση γεωδαιτικού δέκτη GPS/GNSS, εξάγει το συμπέρασμα της ικανοποιητικής ακρίβειας αποτύπωσης με χρήση UAV, σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο με μια απόκλιση της τάξης του 1.1%, του συνολικού όγκου (σε ορισμένες χώρες η νομοθεσία ορίζει ότι ο όγκος πρέπει να είναι υπολογισμένος με ακρίβεια $\pm 3\%$ του συνολικού όγκου). Πέραν ότι οι μετρήσεις αυτές διήρκησαν 30min με τη χρήση UAV σε σχέση με 5hrs με χρήση GPS/GNSS. (**P. L. Raevaa, S. L. Filipovaa, D. G. Filipova**)

Εξοπλισμός χρήσης:



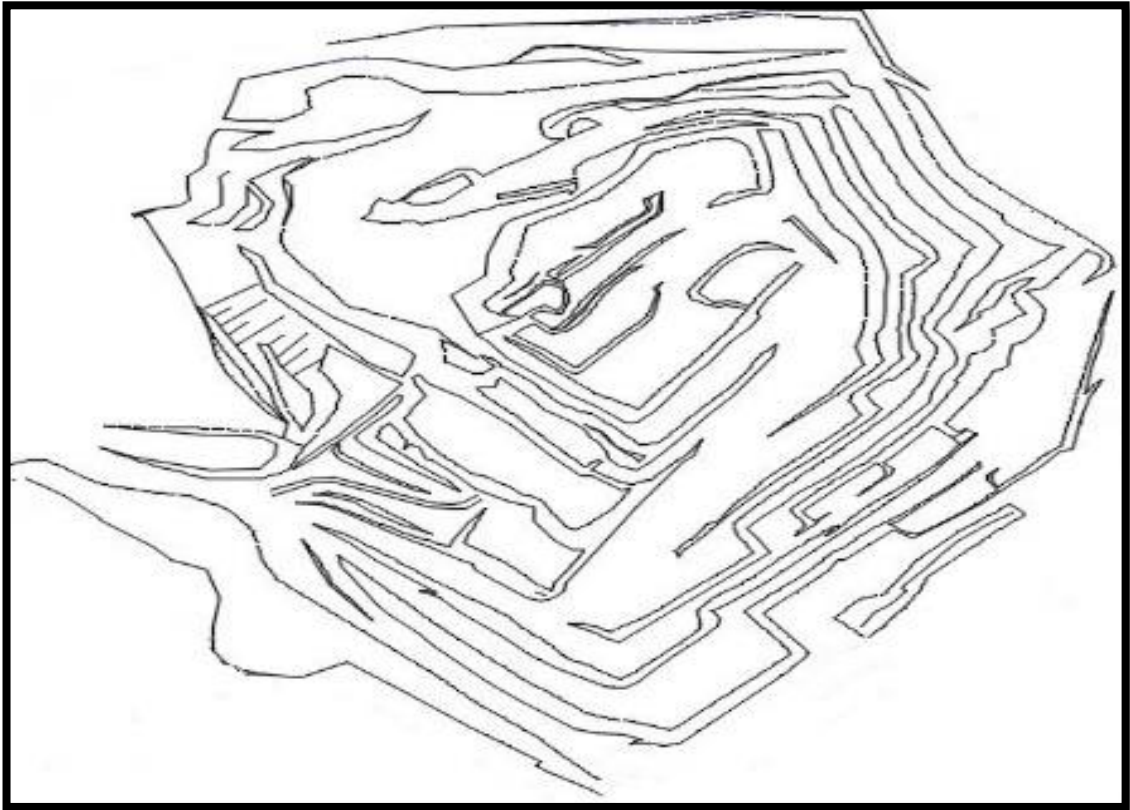
Διάγραμμα 3: UAV – eBee fixed wing από την SenseFly



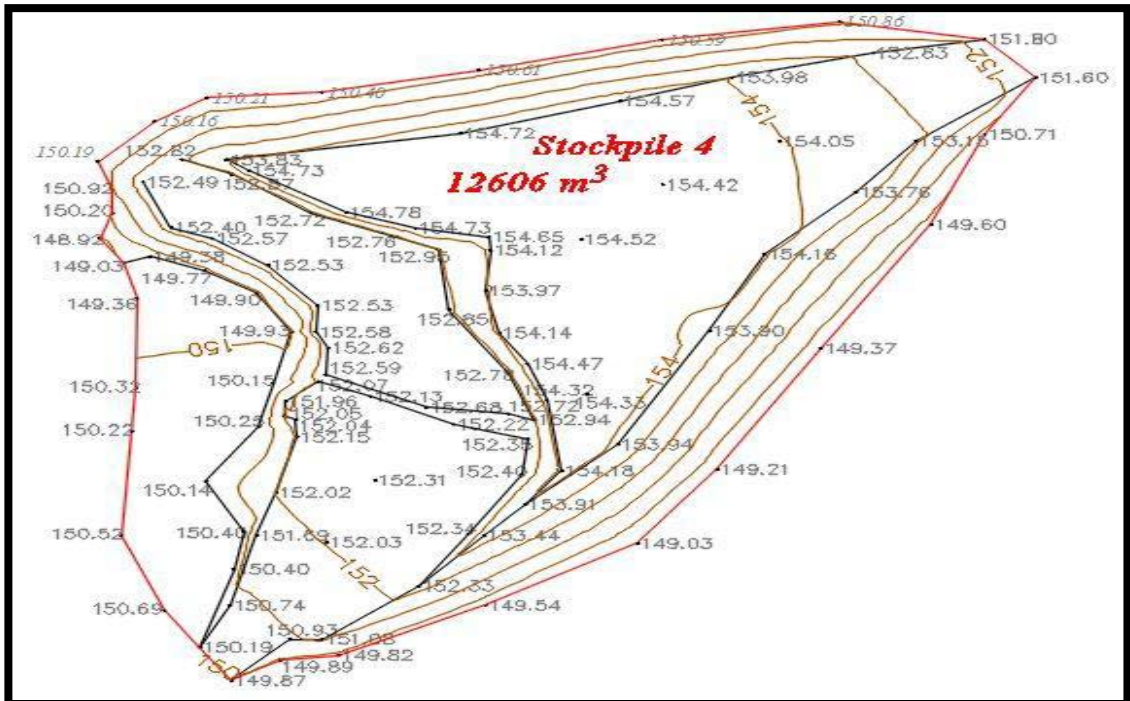
Διάγραμμα 4: Γεωδαιτικός Εξοπλισμός (GNSS receiver GPS vna G08 plus by Leica)



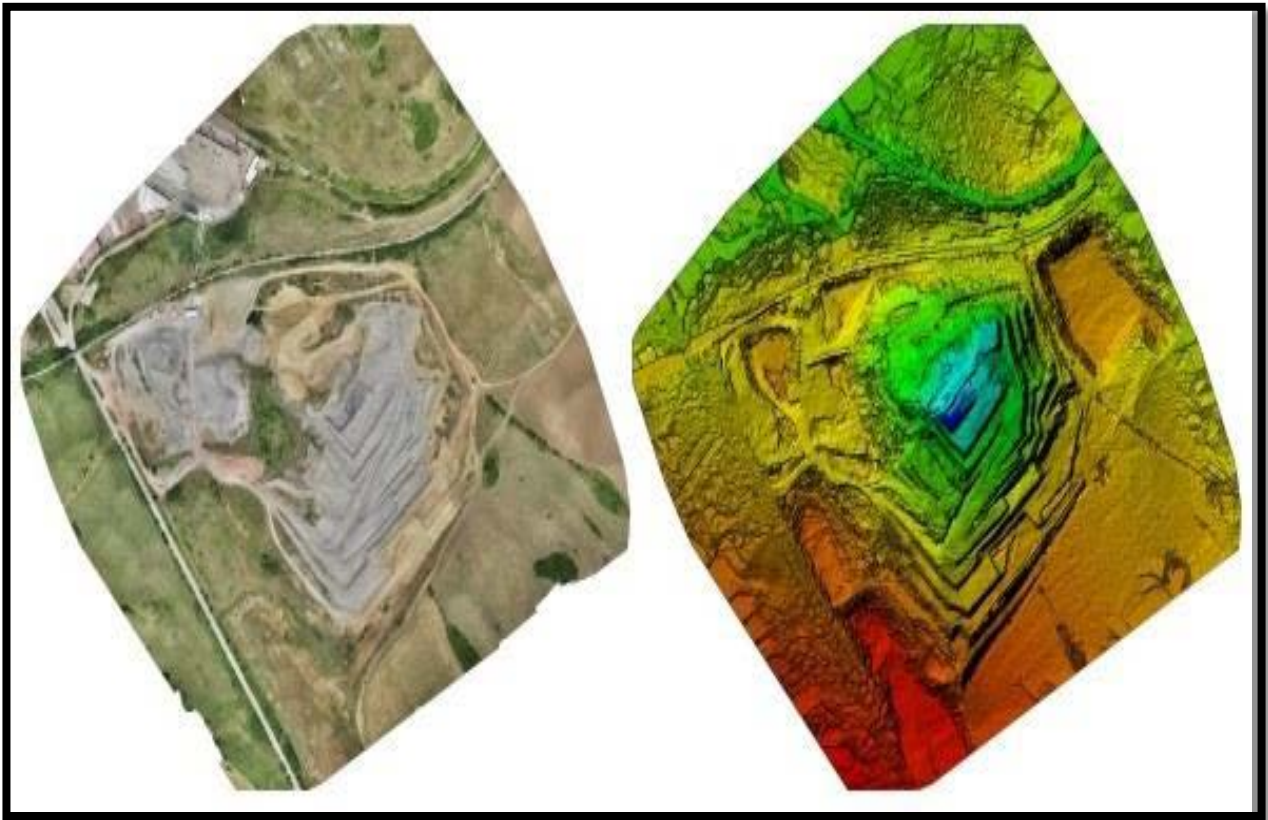
Διάγραμμα 5: Κατανομή GCP, Φωτογραφία από Google Earth



Διάγραμμα 6: Αποτύπωση έκτασης στο Λατομείο με χρήση GPS (615 σημεία διάρκεια πέραν των 5 ωρών)



Διάγραμμα 7: Επιφάνεια Σωρού αποτυπωμένη με χρήση GPS και δημιουργία σχεδίου στο Civil 3D



Διάγραμμα 8: Ορθοφωσaiκό και Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) Λατομείου

Το 2014, έλαβε χώρα εργασία η οποία ασχολήθηκε με το ίδιο αντικείμενο διενεργώντας σύγκριση ογκομέτρησης σωρών με χρήση UAV/GPS-GNSS/TLS. Στην μελέτη αυτή έγινε επιπλέον σύγκριση υψομέτρων μεταξύ των μεθόδων από τα ιστογράμματα των εικόνων και των σημείων επαλήθευσης από το GPS. Από τα ιστογράμματα εξάγεται ότι μεταξύ UAV/GPS, υπάρχει μια απόκλιση 3-4 cm στον κατακόρυφο άξονα. Από τα ιστογράμματα μεταξύ UAV/TLS, υπάρχει μια απόκλιση 3 cm στον κατακόρυφο άξονα, που αυτό φανερώνει το επίπεδο ακρίβειας του νέφους σημείου από το UAV σε σχέση με αυτό του TLS.



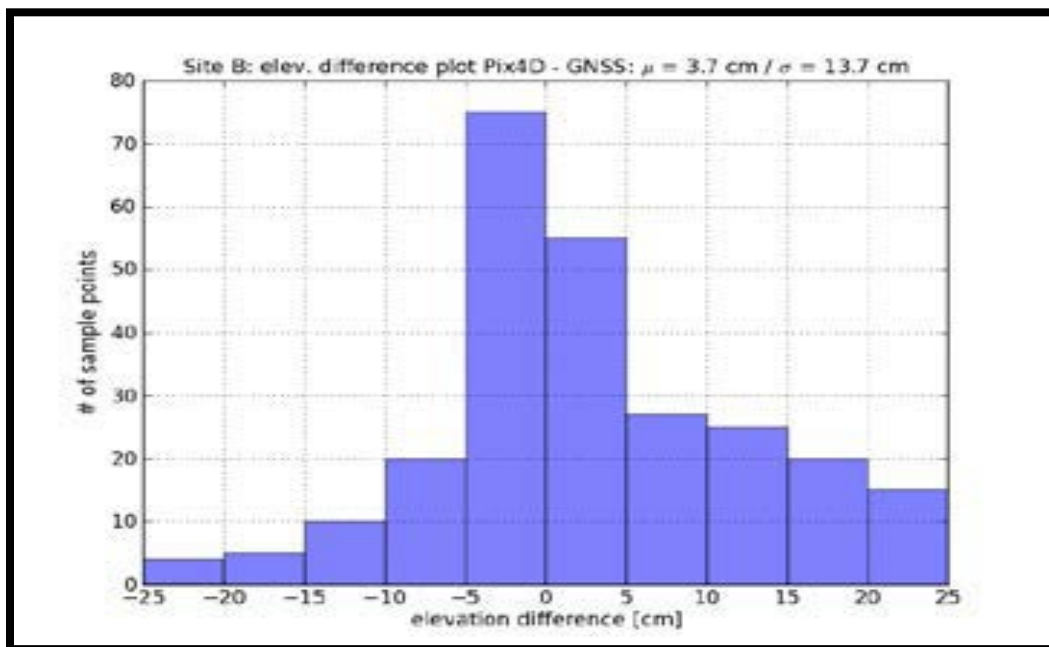
Διάγραμμα 9: SenseFly fixed wing



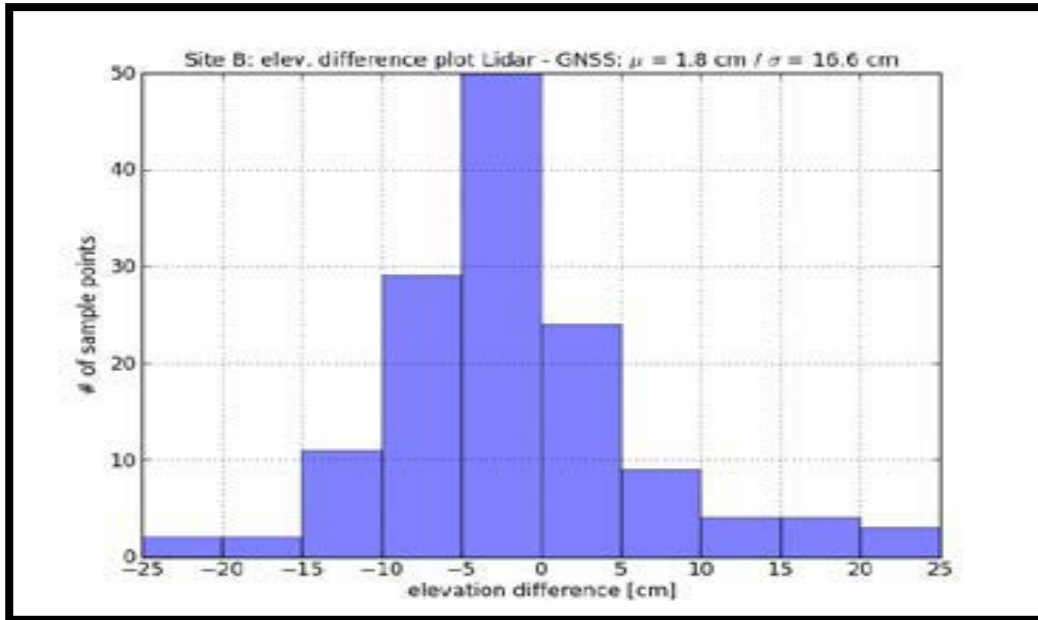
Διάγραμμα 10: Riegl VZ400 laser scanner



Διάγραμμα 11: Κάτοψη του αποθέματος που έχει αποτυπωθεί με την γραμμή διατομής



Διάγραμμα 12: Ιστόγραμμα διαφοράς υψομέτρου μεταξύ GNSS σημείων επαλήθευσης και Pix4D DSM επιφάνειας για τις περιοχές εξέτασης A και B.

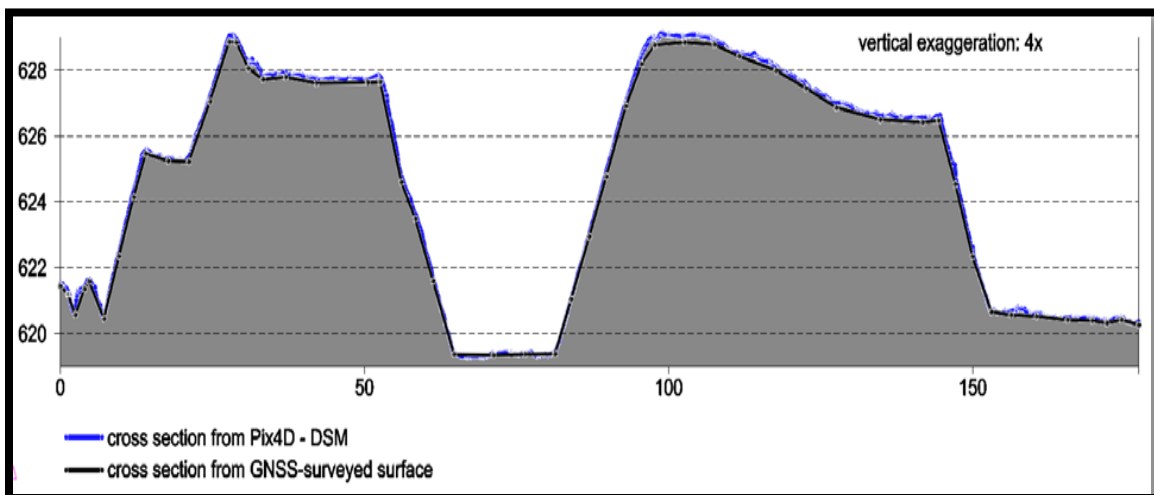


Διάγραμμα 13: Ιστόγραμμα διαφοράς υψομέτρου μεταξύ GNSS σημείων επαλήθευσης και Lidar επιφάνειας

Ακολούθως επιχειρείτε η σύγκριση όγκων από τους σωρούς χαλκικών.

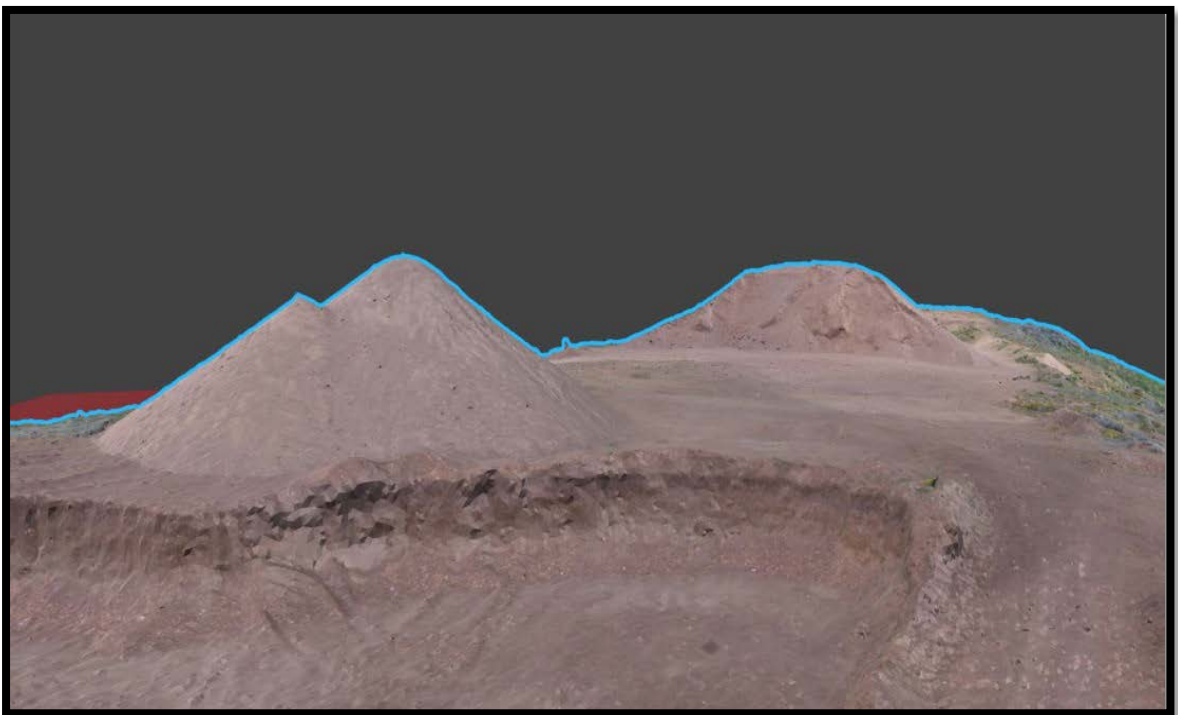
Πίνακας 4: Σύγκριση Ογκομετρικής Αποτύπωσης

Site	Pix4D volume	GNSS volume	LIDAR volume	Difference Pix4D – GNSS/LIDAR
A - Central	16'591 m ³	16'238 m ³	-	+353 m ³ (+2%)
A - West	16'657 m ³	16'173 m ³	-	+484 m ³ (+3%)
B	138'635 m ³	-	138'831 m ³	-196 m ³ (-0.1%)

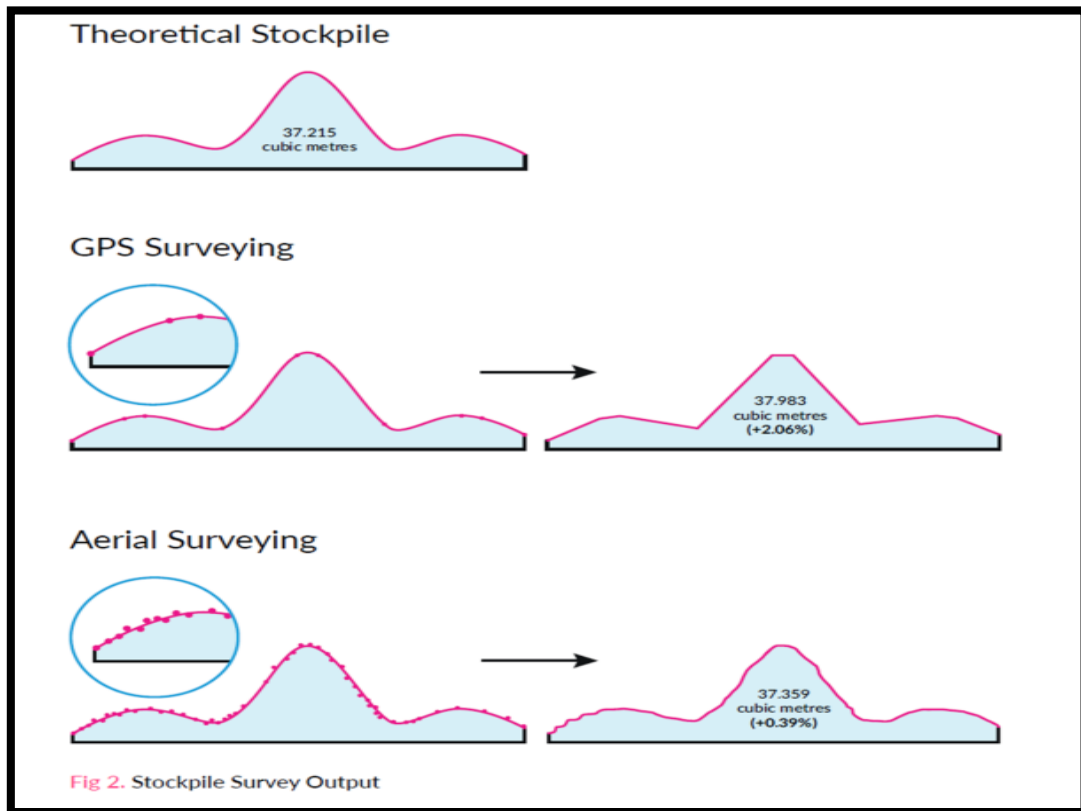


Διάγραμμα 14: Σύγκριση των διατομών αποθέματος μεταξύ Pix4D (DSM) και GNSS σημείων μέτρησης

Μια άλλη εργασία η οποία έγινε από επαγγελματίες στον Καναδά οι οποίοι ασχολούνται χρόνια στο πεδίο της εξορυκτικής βιομηχανίας μέσα από τον σχεδιασμό παρακολούθηση και ογκομετρήσεις, αναλύει θεωρητικά και τονίζει ότι, το πιο σημαντικό στοιχείο ακρίβειας ειδικά στις μετρήσεις όγκων είναι η ακρίβεια και η πυκνότητα μετρήσεων μεταξύ των αποστάσεων του μοντέλου. Τα προαναφερόμενα δείχνονται με λεπτομέρεια και παραστατικά στο πιο κάτω σχήμα το οποίο καθορίζει ακριβώς πιο αντικειμενικά και ολοκληρωτικά το σχήμα της κορυφογραμμής ενός σωρού όπως υποδεικνύεται στο πιο κάτω γράφημα μεταξύ των μετρήσεων με GPS και UAV.



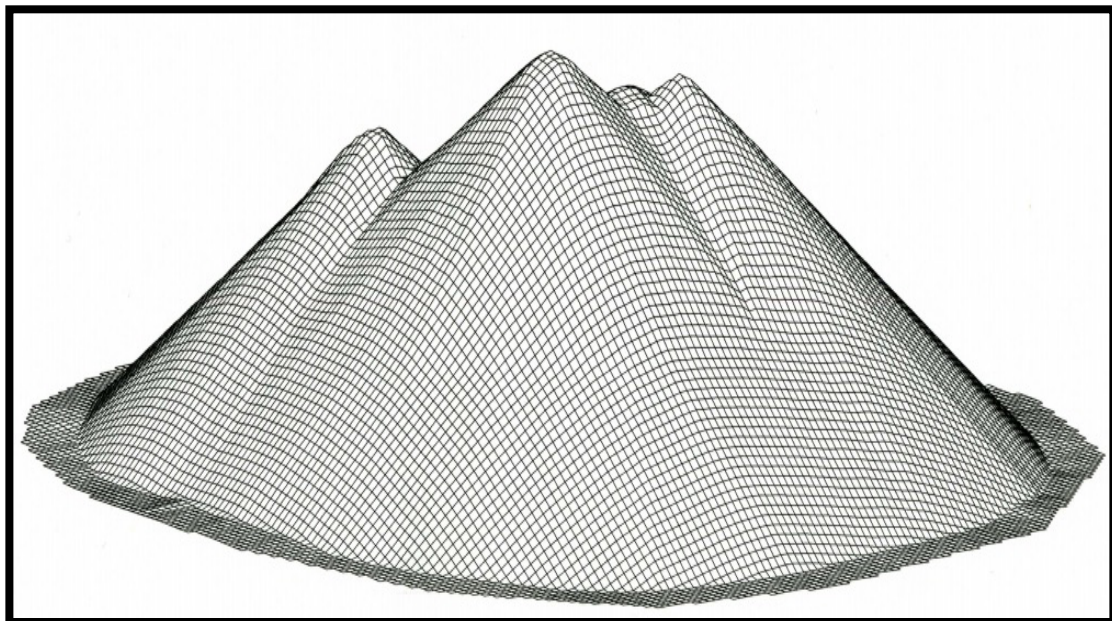
Διάγραμμα 15: Σχέδιο Αποτύπωσης Αποθέματος



Διάγραμμα 16: Σύγκριση μεθόδων αποτύπωσης σημείων

Στην συνέχεια παραθέτει το πρακτικό μέρος εις απόδειξη του θεωρητικό από την περίπτωση της μελέτης.

Αρχικά παρουσιάζει τον σωρό που αποτυπώθηκε με χρήση GPs.



Διάγραμμα 17: GPS Surveyed Stockpile

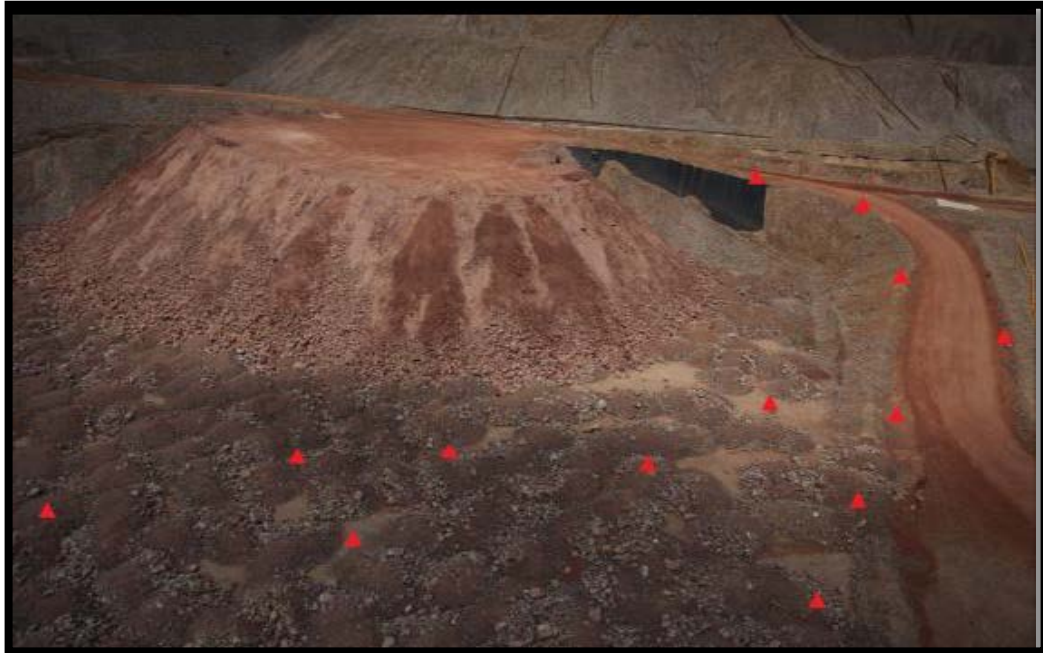
Και το σωρό που αποτυπώθηκε με χρήση UAV.



Διάγραμμα 18: Same Stockpile – Surveyed with UAV

Μέσα από την επεξεργασία συγκρίνει για του λόγου το αληθές μεταξύ των δύο μεθόδων την πυκνότητα σημείων ανά τετραγωνικό και τον υπολογισμό του όγκου σε κυβικά. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι κατά την αποτύπωση με GPs δημιουργήθηκε πυκνότητα σημείων Point density: 3.25 points per square meter και υπολογισμό όγκου Volume: 3.394.9 cubic meters και με την αποτύπωση UAV Point density: 400 points per square meter και υπολογισμό όγκου Volume: 3.375.0 cubic meters. Με βάση τους υπολογισμούς όγκου η διαφορά ανέρχεται στο 0.6% η οποία δείχνει ακριβώς και την επιτυχία χρήσης των UAVs για το σκοπό αυτό πέραν των άλλων ωφελημάτων όσον αφορά την κάλυψη μεγάλων περιοχών σε σύντομο διάστημα και με δημιουργία νέφους σημείων. Πέραν ότι κατά την αστικοποίηση του πεδίου μπορείς να λάβεις επιπρόσθετες πληροφορίες τις οποίες μπορείς να διαχειριστείς και να αξιοποιήσεις σε σχέση με τις επιφάνειες που παράγονται από τον υπολογιστή κατά την επεξεργασία των δεδομένων με χρήση του GPs. (Λέει επίσης ότι έχει και θέμα ασφάλειας γιατί με την παραδοσιακή μέθοδο είναι επικίνδυνο να αποτυπώνεις κοντά σε απότομες κλίσεις ειδικά σε ενεργούς σωρούς πέραν των εκτεθειμένων καιρικών συνθηκών.

Το 2014 μια άλλη εργασία που έγινε στο Zijin Mine στην Κίνα, πειραματίστηκε στην χρησιμότητα των UAVs σε σταθερά χαμηλό υψόμετρο πτήσης 50m για απόκτηση υψηλής ευκρίνειας, το οποίο συγκρίθηκε σε κατοπινό στάδιο με δεδομένα εδάφους της ίδιας επιφάνειας με την χρήση TLS Laser Scanner.



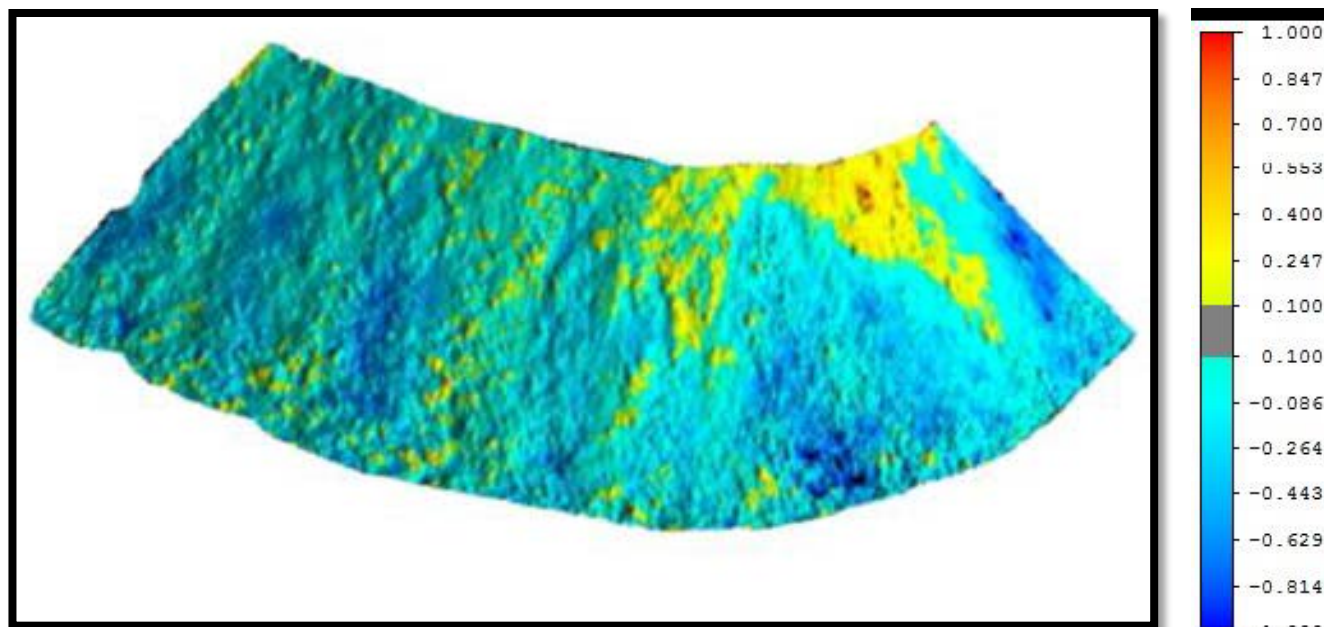
Διάγραμμα 19: Φωτογραφία UAV με GCPs χωματερής, (Zijin Mine)



Διάγραμμα 20: UAV platform BNU-D8-1



Διάγραμμα 21: 3D Μοντέλο (dense model) της περιοχής μελέτης μαζί με TLS (Point cloud)

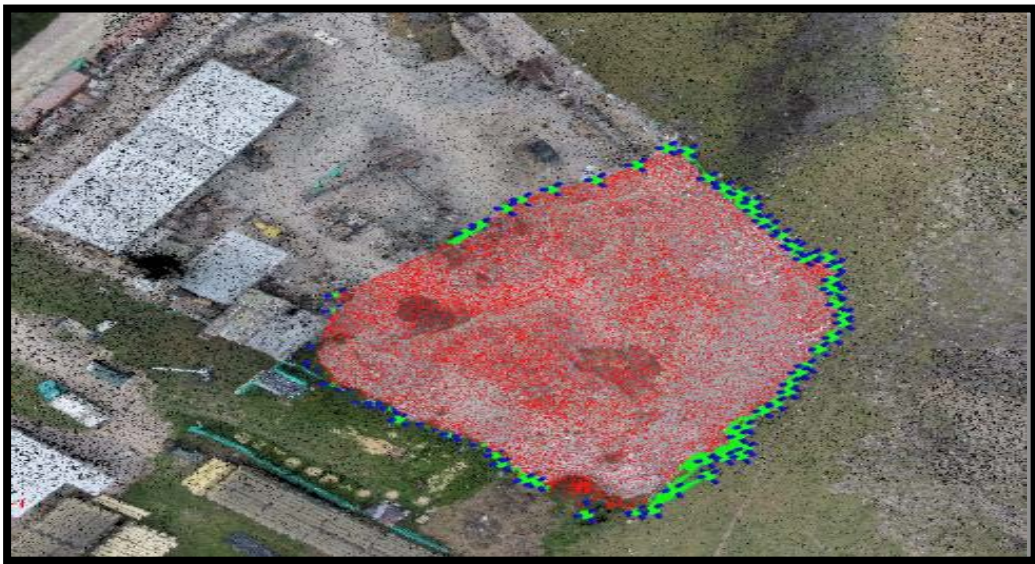


Διάγραμμα 22: Χάρτης 3D αποστάσεων με βάση τις DSMs επιφάνειες

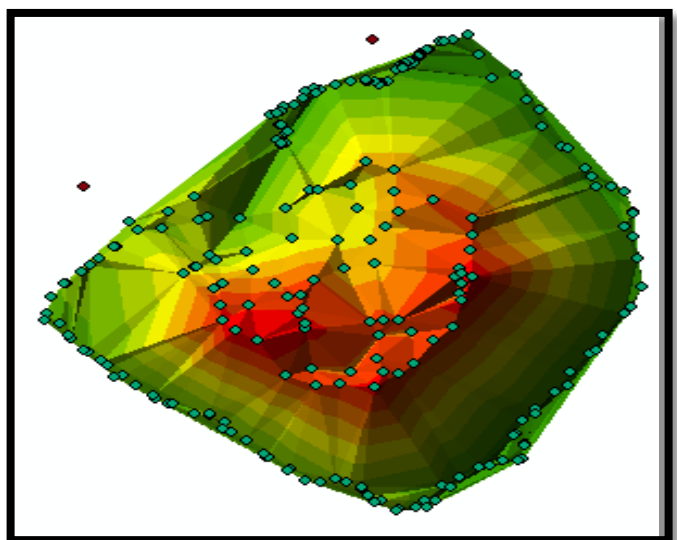
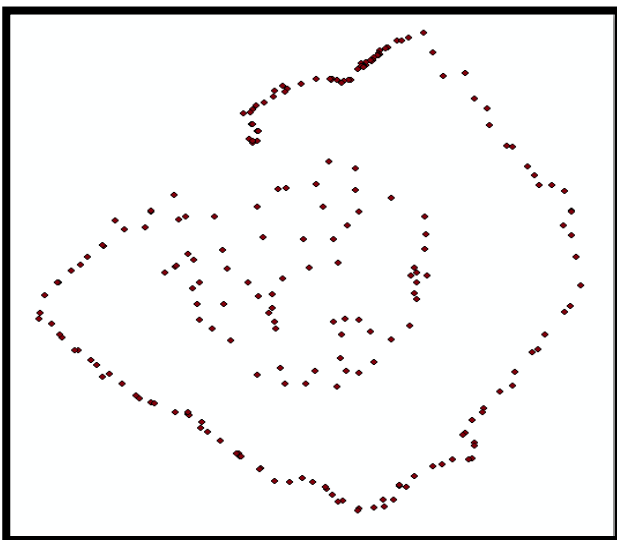
Από την όλη εργασία με βάση την σχετική ακρίβεια μεταξύ των δυο επιφανειών DSMs υπολογίστηκε διαφορά όγκου 1.55%

Στα ίδια πλαίσια μια έρευνα αξιολόγησε τα αποτελέσματα ακρίβειας στην ογκομέτρηση σωρού μεταξύ παραδοσιακής μεθόδου επιπλέον με χρήση Total Station TST και UAV.

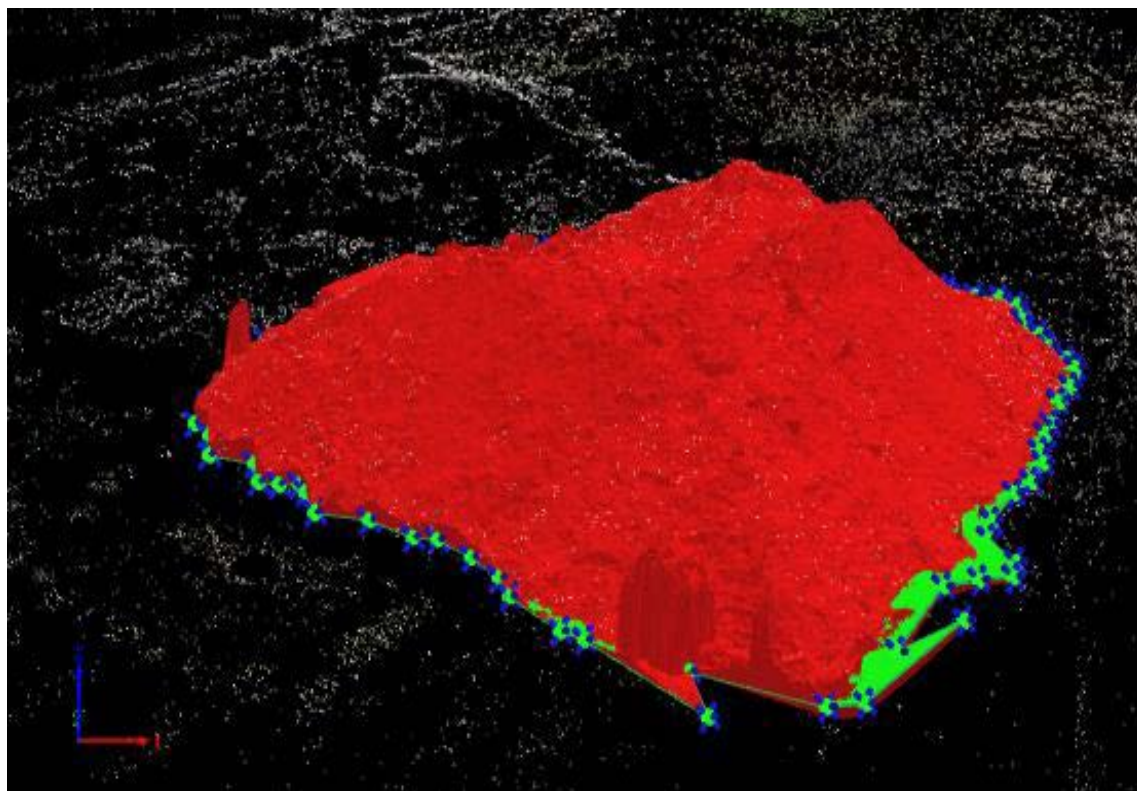
Για την αποτύπωση του σωρού ορίστηκαν με GNSS γνωστά σημεία GCPs και από κάθε σημείο έγινε η αποτύπωση με το Total Station τα ίδια σημεία χρησιμοποιήθηκαν επίσης για τις δυο πτήσεις που έγιναν σε υψόμετρο 50m και ταχύτητα 2m/s.



Διάγραμμα 23: UAV Σύννεφο σημείων (Point cloud) αποτύπωσης σωρού σε κάτοψη



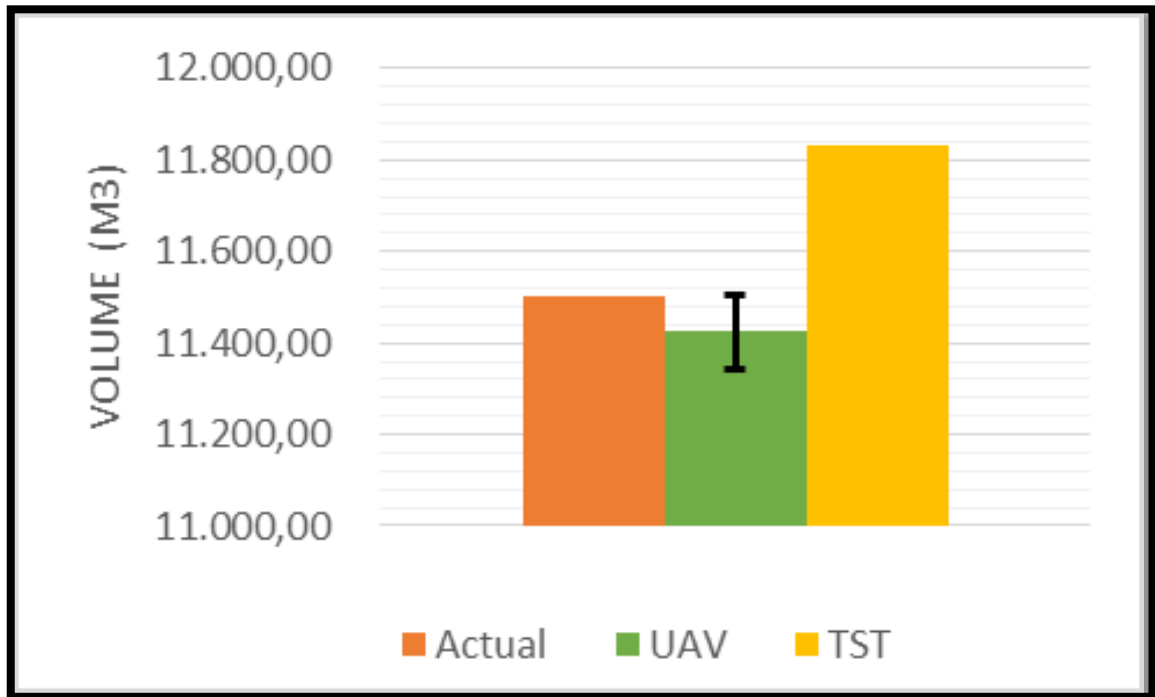
Διάγραμμα 24: Point Cloud από TST κάτοψη / TIN Επιφάνεια από TST κάτοψη



Διάγραμμα 25: UAV Σύννεφο σημείων (Point cloud) με τρισδιάστατη απεικόνιση 3D του αποθέματος

Πίνακας 5: Comparison stockpile volume results with actual volume

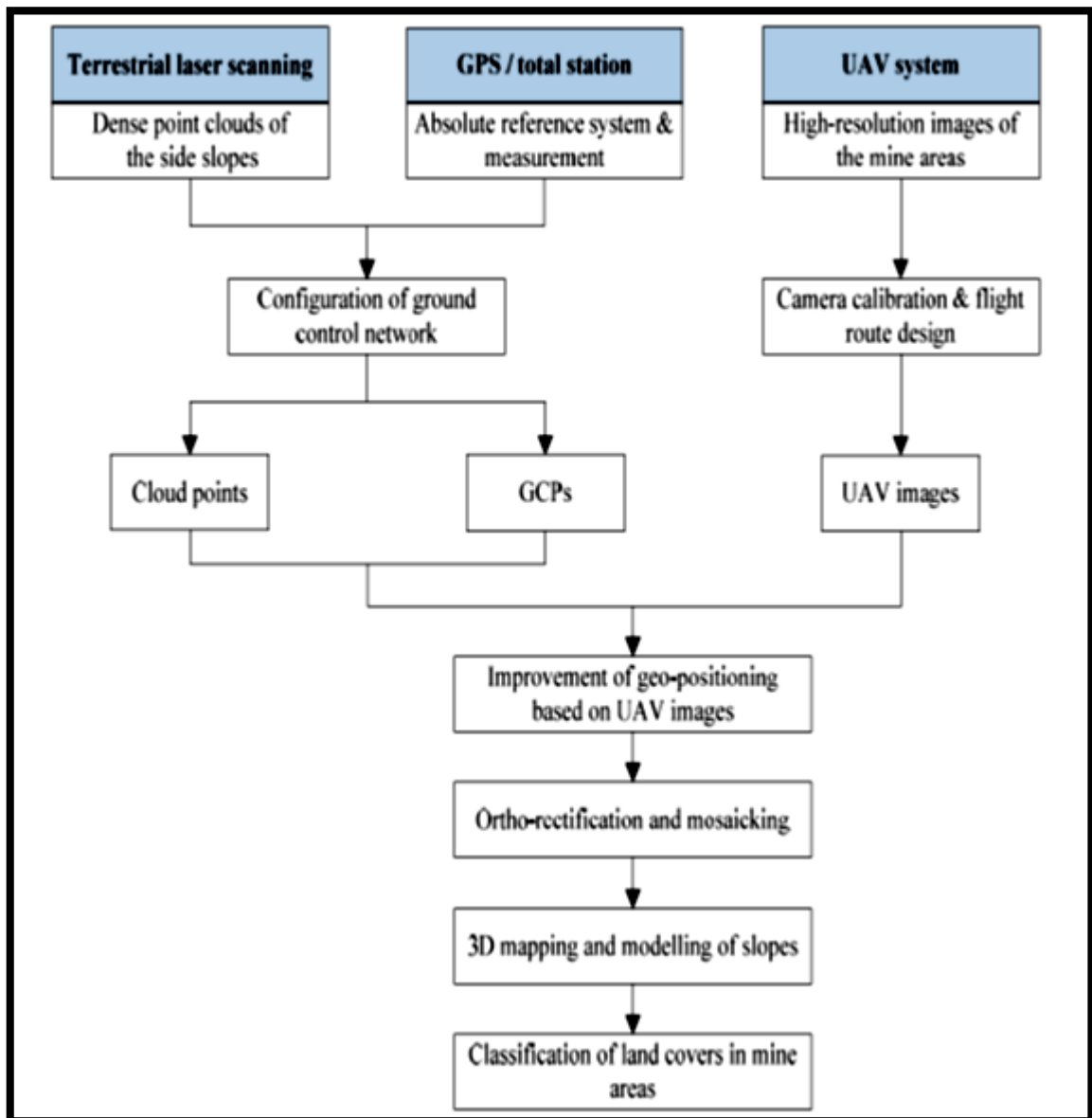
Volume m ³		Error (+/-) m ³	Difference Volume m ³	Percentage	Percentage Difference
Actual	11500.00	n/a	-	-	-
TST	11831.20	n/a	331.20	102,88%	2.88%
UAV	11423.58	81.28	-76.42	99,34%	-0.67%



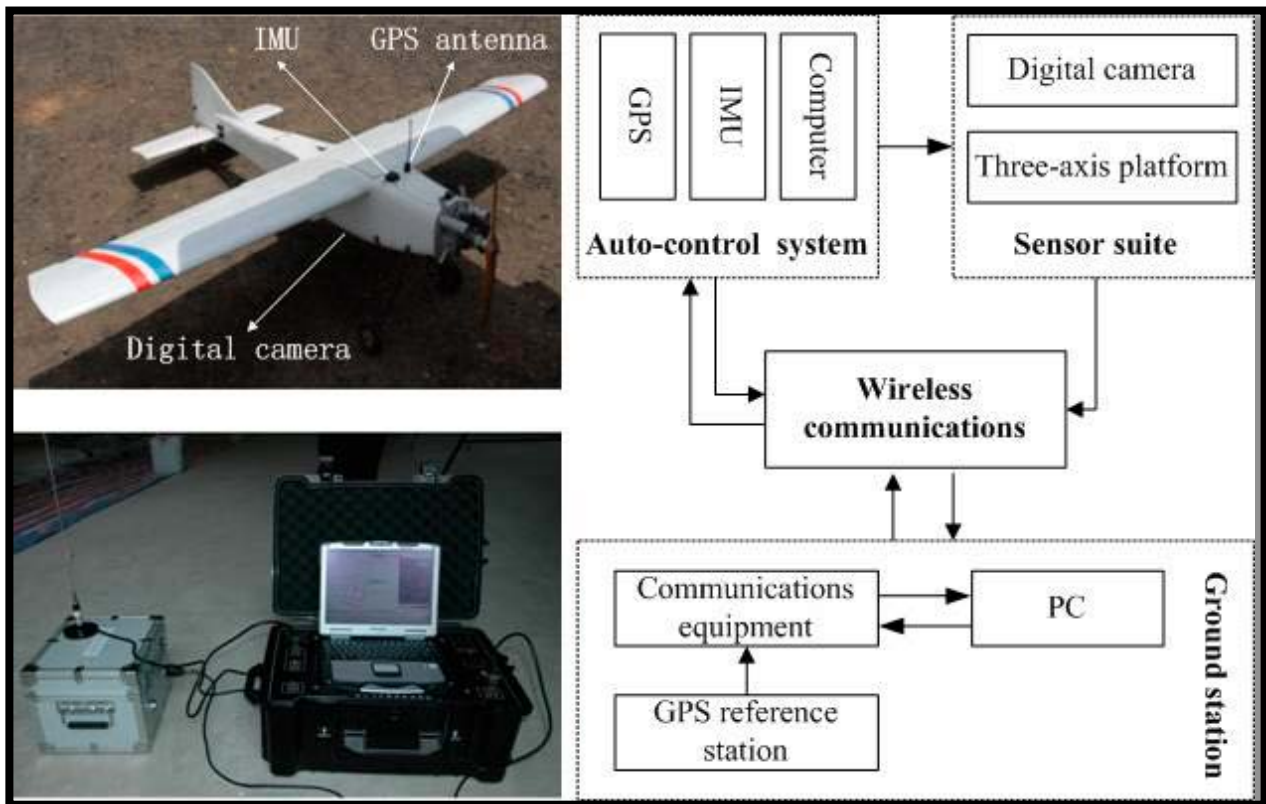
Διάγραμμα 26: Σύγκριση αποτελεσμάτων ογομέτρησης σωρών με την πραγματική ποσότητα

Εμπειρισταωμένη εργασία διεξάχθηκε επίσης το Μάιο του 2011 σε τρία φωσφορικά λατομεία τα οποία συγκαταλέγονται στα μεγαλύτερα που διαθέτει η Κίνα και βρίσκονται στην πόλη Kunming City σχετικά με την χρήση UAV και TLS.

Οι ίδιες μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης για τον έλεγχο και αξιολόγηση κατά την αποτύπωση των ζωνών κλίσης εντός λατομείου για τυχόν αστοχίες.



Διάγραμμα 27: Συνολική Ροή Εργασιών Μελέτης



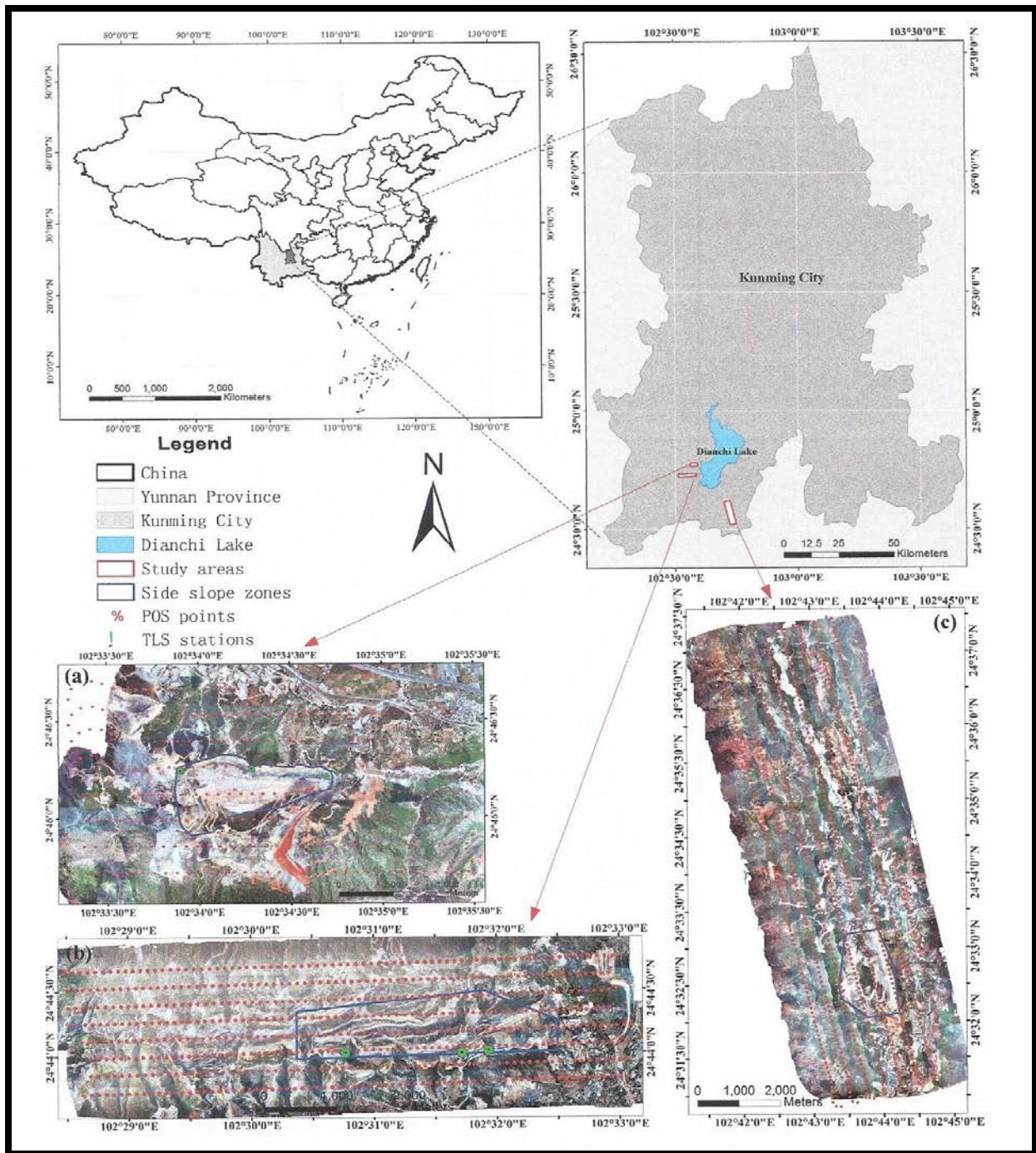
Διάγραμμα 28: Το σύστημα UAV που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή

Πίνακας 6: Τεχνικά Χαρακτηριστικά του UAV

Item	Value
Length (m)	1.8
Wingspan (m)	2.6
Payload (kg)	4
Take-off weight (kg)	14
Endurance (h)	1.8
Flying height (m)	300–6000
Flying speed (km/h)	80–120
Capacity	Fuel
Flight mode	Manual, semi-autonomous and autonomous
Launch	Catapult, runway
Landing	Sliding, parachute
Sensor	Digital camera, video camera

Table 2. Technical specifications of the TLS used in the experiment.

Item	Value
	2.5–2000 m
Range	1400 m to 80% albedo (rock) 500 m to 10% albedo (coal)
Scan rate	8800 points per second
Divergence	+0.25 mrad
Range accuracy	10 mm to 200 m 20 mm to 1000 m
Angle accuracy	±0.01°
Repeatability accuracy	8 mm



Διάγραμμα 29: Η περιοχή μελέτης στην νοτιοδυτική Κίνα. Η περιοχές πτήσης με UAV είναι οριοθετημένες με κόκκινα πολύγωνα, οι περιοχές ζωνών κλίσης οριοθετούνται με μπλε πολύγωνα, οι οριζόντιες θέσεις των φωτογραφικών κέντρων οριοθετούνται με κόκκινα σημεία, και οι στάσεις του TLS οριοθετούνται με πράσινα σημεία.

(a) Jianshan open-pit mine area; (b) Kunyang open-pit mine area; and (c) Jinning open-pit mine area.

Από την όλη περιοχή μελέτης έχουν συλλεχθεί δεδομένα τόσο από τον σχεδιασμό Πτήσεων με παραμέτρους 75% κατά μήκος και 55% κατά πλάτος, όσο και από την τοποθέτηση γνωστών σημείων αναφοράς τα οποία παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

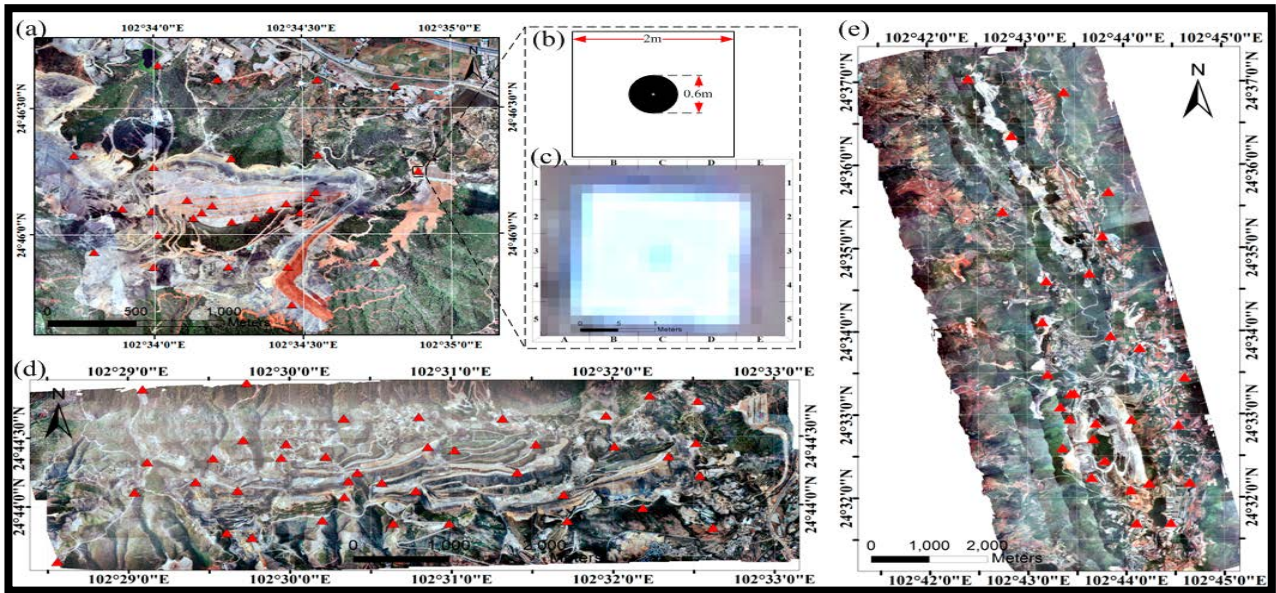
Πίνακας 7: Συλλογή δεδομένων από τις περιοχές μελέτης

Area	Strips	GCPs	Images	Area (Km ²)	Consumed Time (min)	Average Flying Height (m)
Jianshan	8	28	290	7.8	30	563.37
Kunyang	8	40	618	18	49	476.23
Jinning	8	29	780	43	64	563.37

Τα GCPs έχουν αποτυπωθεί με RTK-GPS στο εθνικό σύστημα συντεταγμένων με ακρίβεια 2-3 cm στο επίπεδο και πάνω από 5 cm κατά τον άξονα Z. Επίσης ταυτόχρονα έχουν μετρηθεί και 8 GCPs τόσο από RTK-GPS όσο και με TLS με σκοπό την αξιολόγηση ακρίβειας των GCPs που έχουν παρθεί από RTK-GPS συγκρίνοντας τις με αυτές που έχουν παρθεί με την χρήση TLS. Οι μετρήσεις των 8 σημείων αναφοράς έχουν προκύψει από τον μέσο όρο των τριών επαναλαμβανόμενων μετρήσεων με RTK-GPS.

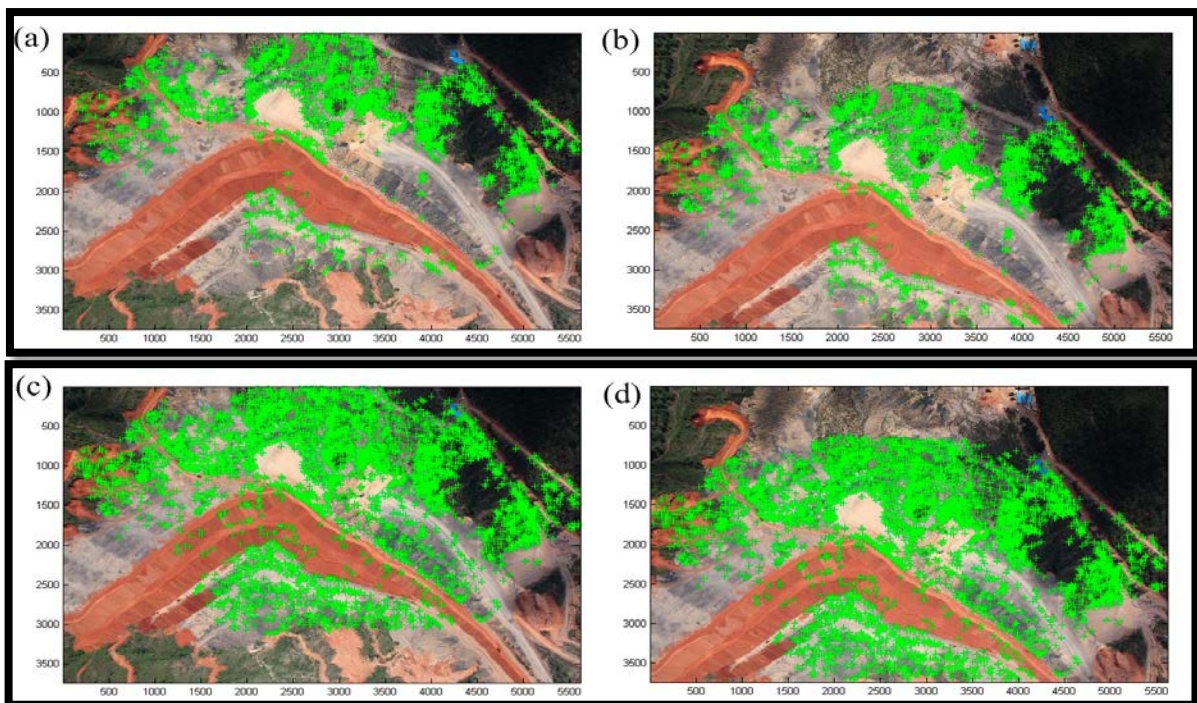
Κατά την σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ RTK-GPS και TLS έδειξαν μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE σε XYZ 0.034 m, 0.0098 m, 0.0374 m, αντίστοιχα όμως τα GCPs έδειξαν μεγαλύτερη ακρίβεια αντιστοίχισης των εναέριων φωτογραφιών που πάρθηκαν από το UAV.

Αργότερα ακολούθησε η αποτύπωση κλίσης των πρανών με την χρήση TLS μέσα από την τεχνική άμεσης προσέγγισης 3D αποτύπωσης και γεωαναφοράς γιατί η θέση και ο προσανατολισμός του οργάνου έχουν καθοριστεί από γνωστό σημείο που αποτυπώθηκε από προηγουμένως με χρήση TLS, η απόσταση οργάνου και επιφάνειας ενδιαφέροντος ήταν 700m.



Διάγραμμα 30: Κατανομή σημείων GCPs στην περιοχή μελέτης. (a)Κατανομή των GCPs οριοθετείται με κόκκινα τρίγωνα στην περιοχή Jianshan (b) Σχέδιο GCPs (c) Παράδειγμα των GCP σε φωτογραφία UAV (d) Κατανομή GCPs στην περιοχή Kunyang, e) Κατανομή των GCPs στην περιοχή Jinning.

Μετά ακολούθησε η διαδικασία εύρεσης κοινών σημείων σύνδεσης εικόνων για την παραγωγή στερεοσκοπικού ζεύγους.



Διάγραμμα 31: Κοινά σημεία για αντιστοίχιση ζεύγους εικόνων

Κατόπιν έγινε ο συνδυασμός και αντιστοίχιση συζευγμένων σημείων μεταξύ των εικόνων που πάρθηκαν και του σύννεφου σημείων από τον επίγειο σαρωτή.

Αρχικά το σύννεφο σημείων από το TLS μετατράπηκε σε εικόνα υψηλής ακρίβειας 5500 X 1769 με μέγεθος pixel 250 mm. Μετά έγινε η αντιστοίχιση των εικόνων από το TLS και UAV μέσα από γνωστά σημεία 141 όπου προηγήθηκε αξιολόγηση της ακρίβειας τους με χρήση GCPs που μετρήθηκαν με RTK-GPS και έτσι επιτεύχθηκε η διακρίβωση των κοινών σημείων.

Επομένως, οι συντεταγμένες της εικόνας των αντιστοιχισμένων σημείων από την εικόνα UAV έχουν μετασχηματιστεί στις συντεταγμένες εδάφους, και οι διαφορές μεταξύ των μετασχηματισμένων συντεταγμένων και των συντεταγμένων από το σύννεφο TLS υπολογίστηκαν και αξιολογήθηκαν όσον αφορά την ακρίβεια των κοινών σημείων. Τα προσαρμοσμένα σημεία συζεύξεως μεταξύ των δύο εικόνων έχουν επιλεγεί με βάση εκτίμησης του υπόλοιπου μέσου τετραγωνικού σφάλματος να είναι 2.35 pixels.

Για την πιο πάνω σύζευξη έχουν δοκιμαστεί 3 σενάρια ώστε να φανεί η ακρίβεια που επιτυγχάνεται κατά την γεωαναφορά των εικόνων. Το πρώτο σενάριο έγινε γεωαναφορά της δέσμης μόνο με την μέθοδο POS (Positioning and Orientation System) το δεύτερο σενάριο έγινε γεωαναφορά μαζί με POS και GCPs που μετρήθηκαν με RTK-GPS και το τρίτο με POS, GCPs και 3D point clouds από TLS.

Τα αποτελέσματα ακρίβειας τους φαίνονται στον πίνακα.

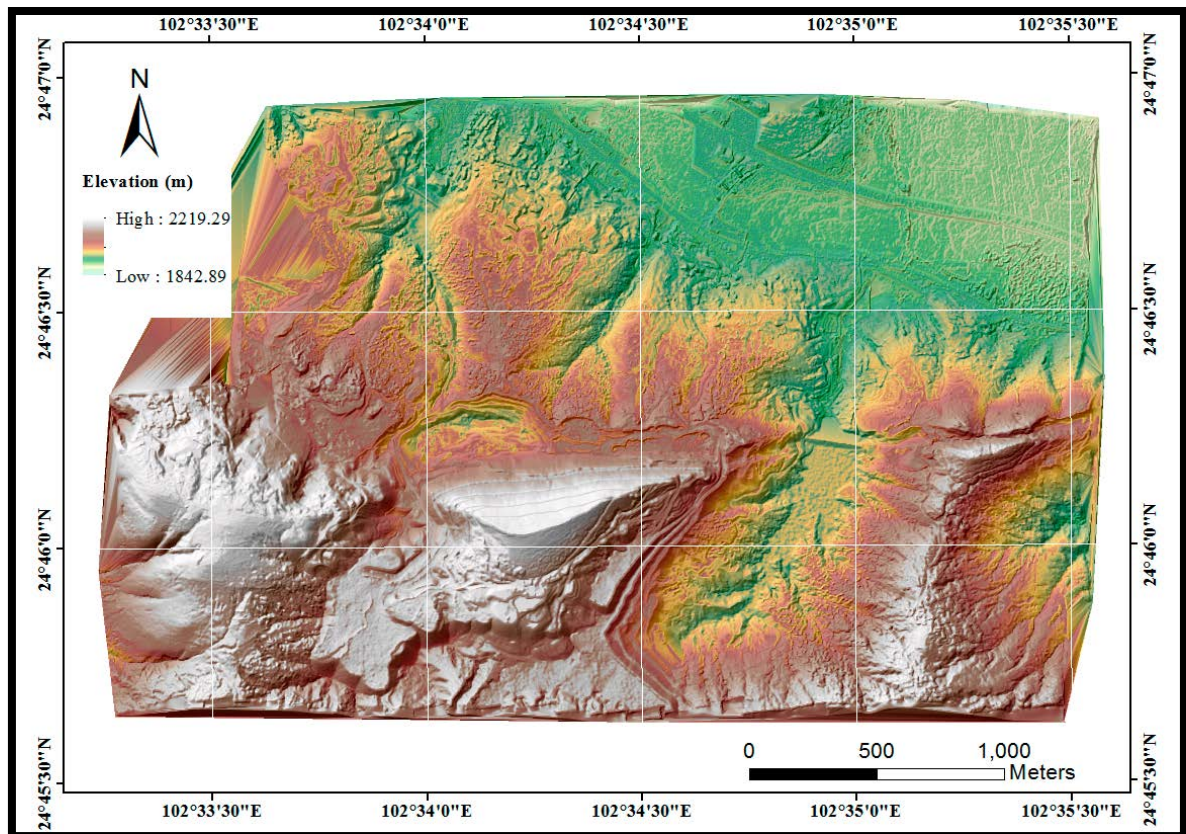
Πίνακας 8: Αποτελέσματα ακρίβειας γεωαναφοράς

Area	Scenario	Maximum Error			Mean Error			Root-Mean-Squared Error		
		X/m	Y/m	Z/m	X /m	Y /m	Z /m	X/m	Y/m	Z/m
Jianshan	Scenario one	-4.4216	2.1685	11.6474	3.8868	1.7411	8.0782	3.9091	1.7597	8.5113
	Scenario two	-0.2586	0.1391	1.4753	0.1116	0.0842	0.4850	0.1407	0.0949	0.6380
	Scenario three	-0.2477	-0.1488	1.6074	0.0974	0.0827	0.4183	0.1253	0.0933	0.6210
Kunyang	Scenario one	-4.2221	-7.0257	-16.7015	1.4489	4.4386	6.6686	1.8331	4.6088	8.0069
	Scenario two	-0.2529	0.2839	-1.4345	0.0990	0.1248	0.4875	0.1414	0.1447	0.7766
	Scenario three	-0.2250	0.2284	-2.4785	0.1095	0.1262	0.5402	0.1378	0.1416	0.7080
Jinning	Scenario one	2.2202	2.3067	-5.0525	0.4131	1.2843	1.4831	0.7088	1.4342	1.9025
	Scenario two	-0.3473	-0.8749	1.1805	0.1646	0.3344	0.6137	0.2153	0.4496	0.7813

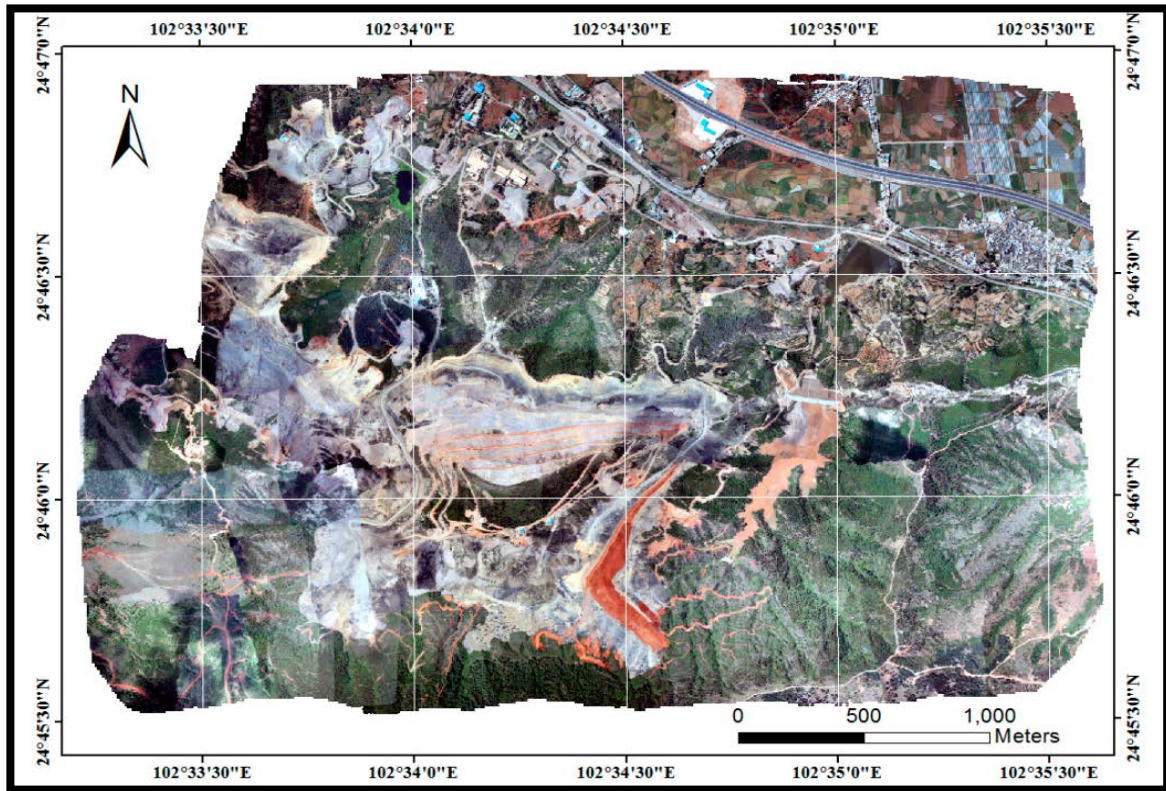
Από τον πίνακα προκύπτει ότι η ακρίβεια αυξάνεται με την χρήση επιπρόσθετης πληροφορίας.

Αναφέρεται μεταξύ άλλων ότι για την επιτυχή γεωαναφορά των εικόνων από UAV εξαρτάται από τον προσανατολισμό της κάμερας, την διαμόρφωση των γνωστών σημείων αναφοράς όσον αφορά την ακρίβεια τους την πυκνότητα τους στην περιοχή και την κατανομή τους, την ποιότητα της εικόνας, την κάλυψη της γής πχ χρώμα εδάφους, βλάστηση και την πολυπλοκότητα που υπάρχει στο ανάγλυφο.

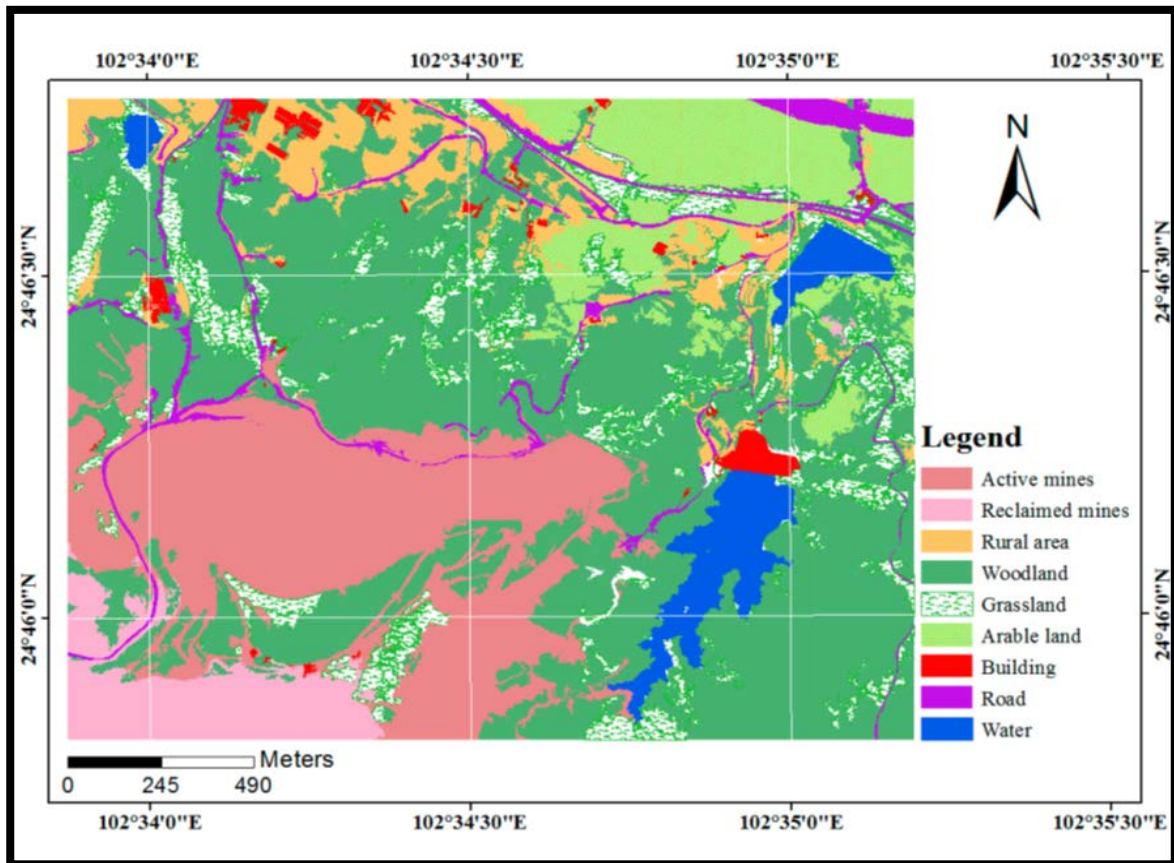
Μετά ακολούθησε η δημιουργία επιφάνειας DSM μέσω του λογισμικού ArcGIS οποία βασίστηκε στο σύννεφο σημείων από τον επίγειο σαρωτή και από τις ορθοφωτογραφίες του UAV επίσης κατασκευάστηκε και ορθοφωτοχάρτης της περιοχής DOM.



Διάγραμμα 32: Δημιουργία επιφάνειας DSM μέσω του λογισμικού ArcGIS



Διάγραμμα 33: Δημιουργία ορθοφωτοχάρτη



Διάγραμμα 34: Ταξινόμηση περιοχών χρήσης

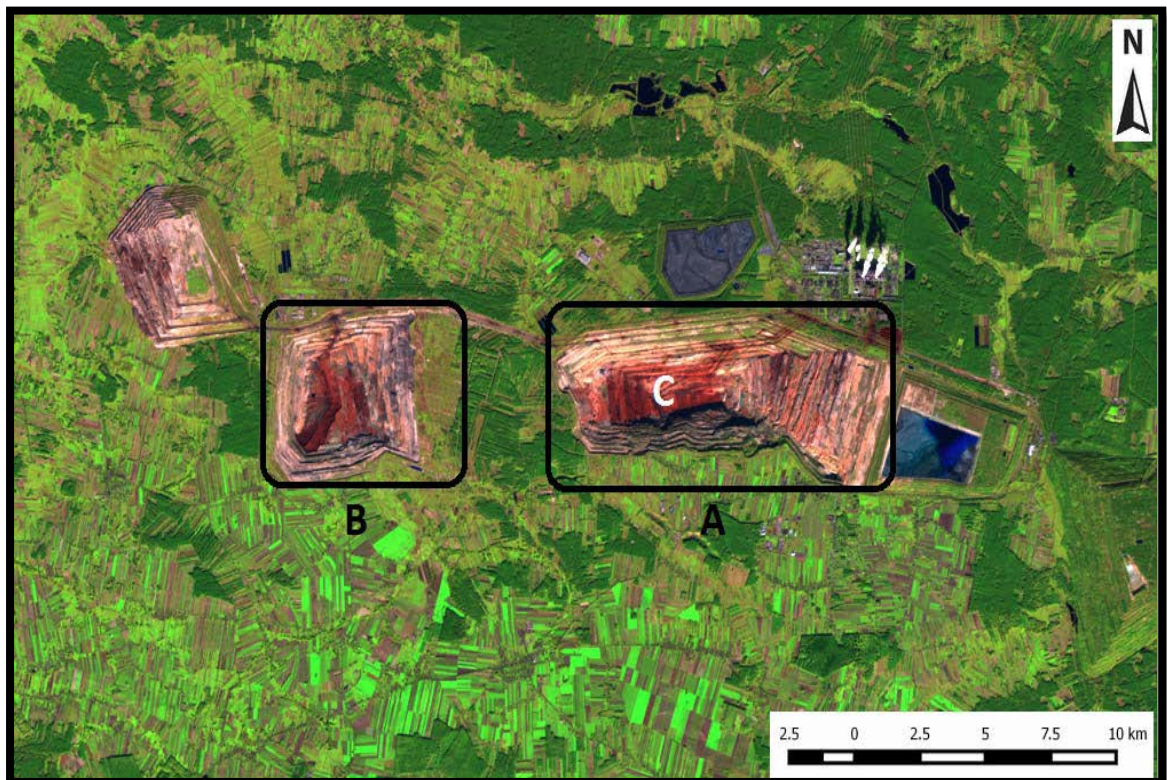
Κατά την εργασία αυτή αξίζει να αναφερθεί ότι έγινε ακόμη μια προσπάθεια που αφορούσε την ταξινόμηση κάλυψης γης των ορυχείων και την ευρύτερης περιοχής (βλέπε διάγραμμα 34), με διαχωρισμό δάσους, πρασίνου, καλλιεργήσιμων εκτάσεων, κτήρια, δρόμους, ενεργές επιφάνειες ορυχείων, αποκαταστάσεις, αγροτική περιοχή.

Τα συμπεράσματα από την πιο πάνω εργασία είναι ότι με την χρήση POS πετυχαίνεις ακρίβεια γεωαναφοράς 3.91m , 1.76 και m 8.51 σε XYZ αντίστοιχα. Με την χρήση POS και GCPs που μετρήθηκαν με RTK-GPS επιτυχαίνεις γεωαναφορά 0.14 m, 0.09 m και 0.64 m σε XYZ αντίστοιχα. Στην περίπτωση POS, GCPs και 3D point clouds από TLS πετυχαίνεις ακρίβεια γεωαναφοράς 0.13m , 0.09 και m 0.62 σε XYZ αντίστοιχα.

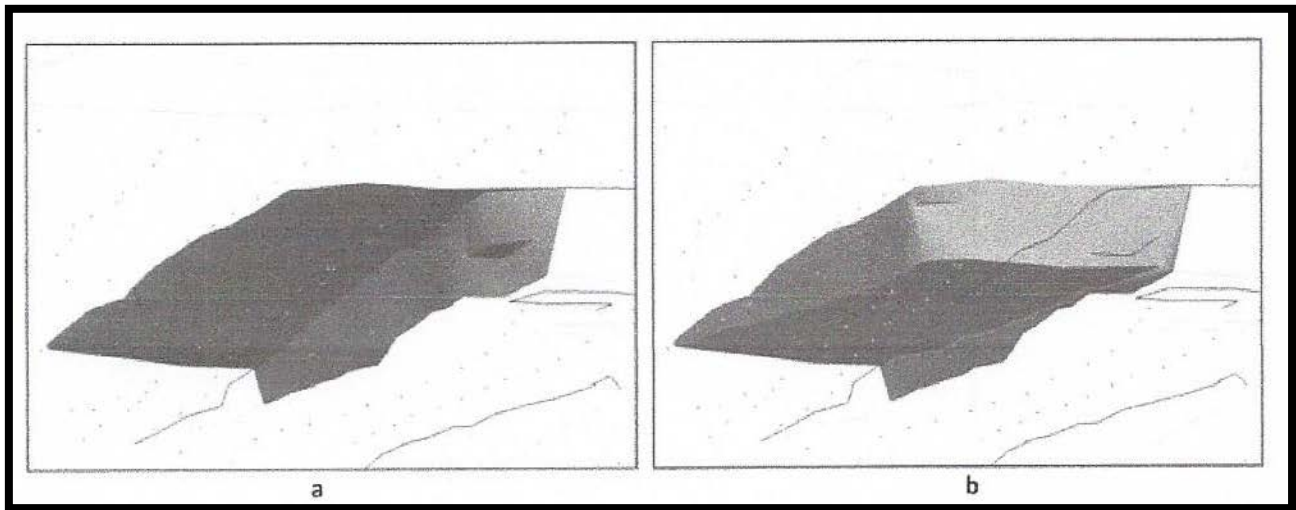
Προς την μελέτη παρόμοια φύσεως αντικειμένου υλοποιήθηκε και η εργασία στα που έγινε το 2011 η οποία μελετά την δημιουργία από μεθόδους αποτύπωσης τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους DTM και προσδιορισμό όγκου σε λατομεία.

Οι μέθοδοι αποτύπωσης που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι GPS /Total Station /Ground Photogrammetry TLS ως προς την ακρίβεια υπολογισμού όγκου συγκεκριμένης επιφάνειας για παρακολούθηση της προόδου ανασκαφών.

Η εργασία έλαβε χώρα σε ανοιχτό ορυχείο λιγνίτη στο Belchatow της Πολωνίας όπου έγινε αποτύπωση συγκεκριμένης επιφάνειας εκσκαφής δυο φορές μια αρχική και μια τελική και κατόπιν συγκρίθηκε με την μηνιαία ενημέρωση της ανασκαφής. Στην περιοχή ενδιαφέροντος υπάρχουν δυο εκσκαφές οι οποίες γειτνιάζουν μεταξύ τους και δείχνονται ως A και B. Στην εργασία η δοκιμή θα γίνει στην εκσκαφή A στον 8^ο όροφο συγκεκριμένου πατώματος το οποίο έχει γεωμετρικά χαρακτηριστικά 70m πλάτος και 280 m μήκος



Διάγραμμα 35: Περιοχή Εργασίας



Διάγραμμα 36: Επεξεργασμένο τρισδιάστατο μοντέλο DTM αρχικής και τελικής επιφάνειας

Πίνακας 9: Αποτελέσματα εκτίμησης όγκου

Applied technology		DTM model	Volume m^3 (V_i)	Mean volume ($V_{\acute{s}r}$)	Max volume (V_{max})	Min volume (V_{min})	Discrepancies, %		
Reference	Slave						$V_i - V_{min}$	$V_{max} - V_i$	$V_i - V_{\acute{s}r}$
Photogrammetry	GPS	TIN	65058.0	65193.6	65646.0	65049.0	0.0	0.9	-0.2
Photogrammetry	Total Station	TIN	65059.0				0.0	0.9	-0.2
Photogrammetry	Photogrammetry	TIN	65223.0				0.3	0.6	0.0
Photogrammetry	GPS	GRID	65049.0				0.0	0.9	-0.2
Photogrammetry	Total Station	GRID	65050.7				0.0	0.9	-0.2
Photogrammetry	Photogrammetry	GRID	65203.7				0.2	0.7	0.0

Από τα αποτελέσματα διαφαίνονται οι μικρές διαφορές στον υπολογισμό όγκου μεταξύ των τοπογραφικών μεθόδων αποτύπωσης σε σχέση με το την μέθοδο αναφοράς του TLS.

ΣΚΟΠΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή θα επιχειρήσουμε στην προσέγγιση εναέριας UAV και επίγειας TLS φωτογραμμετρικής προσέγγισης αλλά και μετέπειτα σύγκριση τους με την κλασική τοπογραφική μέθοδο GPS, μέσα από το αντικείμενο μελέτης που είναι η αποτύπωση και ογκομέτρηση ασβεστολιθικού αποθέματος, εντός ανοικτής εκσκαφής Λατομείου, με σκοπό την εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με την αξιοπιστία του εξοπλισμού στην ακρίβεια υπολογισμού και των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων θα καθορίσει το νέο μοτίβο εργασίας και θα διαμορφώσει νέα στρατηγική, όσον αφορά την υφιστάμενη μέθοδο τοπογραφικών αποτυπώσεων.

ΣΤΟΧΟΣ

Η παρούσα μελέτη έχει προκύψει μέσα από πραγματικές ανάγκες κατά την λειτουργία της συγκεκριμένης λατομικής δραστηριότητας και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν πρόκειται να κρίνουν και να καθορίσουν τα επόμενα βήματα για μελλοντικές επενδύσεις αγοράς συγκεκριμένου τύπου αεροσκαφών. Αλλά θα βοηθήσει επίσης και άλλες παρόμοιου είδους εργασίες να ακολουθήσουν την μέθοδο αυτή.

Ο συγκεκριμένος τοπογραφικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την πτυχιακή χρησιμοποιείται και παρουσιάζει μεγάλη δυναμική στο κλάδο με ποικίλες εφαρμογές σε πολλά πεδία.

Μεταξύ των τοπογραφικών οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν διάφοροι τύποι UAVs, το Laser Scanner 3D το οποίο αποτελεί σύγχρονο όργανο επίγειας σάρωσης νέφους σημείων και τοπογραφικός εξοπλισμός GPS.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

5 Μεθοδολογία Αποτυπώσεων/ Συλλογή Δεδομένων

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί και το κυρίαρχο στίγμα της παρούσας εργασίας, στο οποίο θα δοθεί μια πιο εκτενής αναφορά για τον τρόπο σχεδιασμού και εκτέλεσης των διαφόρων μεθόδων αποτύπωσης και κατ' επέκταση της επεξεργασίας των συλλεχθέντων δεδομένων που αποκτήθηκαν. Η όλη ροή της εργασίας εστιάζεται και περικλείεται από τρεις βασικούς άξονες υλοποίησης που είναι ο Προγραμματισμός Συλλογή και Επεξεργασία.

Η ευρύτερη υπό μελέτη περιοχή για την οποία γίνεται λόγος στο παρόν κεφάλαιο, ανήκει διοικητικά στην επαρχία Λάρνακας και βρίσκεται 3km νότιο - ανατολικά εντός της κοινότητας Καλαβασού (Φύλλο/Σχέδιο LV/19, αρ. τεμαχίων 175,176,177), έκτασης 7 δεκαρίων και σε υψόμετρο 166m από το επίπεδο της θάλασσας.

Η περιοχή βρίσκεται εντός ανοικτής εκσκαφής ενεργού λατομείου, εξόρυξης ασβεστολιθικού πετρώματος, το οποίο χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών τροφοδοσίας της Τσιμεντοποιίας Βασιλικού Δημόσιας Εταιρείας Λτδ.

Να τονίσουμε ότι το υπόψη λατομείο είναι το μεγαλύτερο σε έκταση και παραγωγή που διαθέτει η χώρα. Κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών δημιουργούνται αποθέματα ανάλογα με τις ανάγκες της βιομηχανίας κατά την χειμερινή περίοδο του επόμενου έτους που θα γίνει και η τροφοδοσία τους.



Διάγραμμα 37: Ευρύτερη περιοχή Μελέτης



Διάγραμμα 38: Περιοχή μελέτης

Αρχικά έγινε αναγνώριση της περιοχής μελέτης στο γραφείο (διάρκειας 3 ωρών) καθώς συγκεντρώθηκαν όλες οι πληροφορίες από διαθέσιμους χάρτες της ευρύτερης περιοχής, πρόσφατες τοπογραφικές αποτυπώσεις και google maps, ώστε να επιτευχθεί η εξοικείωση της περιοχής μελέτης από την ομάδα. Στα πλαίσια αυτά ελέγχθησαν διάφοροι παράμετροι όπως, η γεωγραφική θέση της περιοχής ο τρόπος προσπέλασης στο σημείο ενδιαφέροντος, το τοπογραφικό ανάγλυφο και η συνολική έκταση κάλυψης.

Λόγω του ότι γνωρίζαμε πολύ καλά την περιοχή, δεν χρειάστηκε να γίνει επί τόπου επίσκεψη ώστε να διαπιστωθεί, είτε να επαληθευτεί εν γένει η κατάσταση της υφιστάμενης περιοχής.

Μετά από την εξέταση της περιοχής αποφασίσαμε τον αναγκαίο αριθμό και κατασκευή στάσεων για την τοποθέτηση του μηχανήματος του επίγειου σαρωτή ώστε να σαρωθεί πλήρως η περιοχή.



Διάγραμμα 39: Κατασκευή Στάσεων για τοποθέτηση του TLS

Ένα άλλο σημαντικό τμήμα της προετοιμασίας ήταν ο αριθμός και η επιλογή των θέσεων των φωτοσταθερών τα οποία συνεισφέρουν στην αναγωγή του τελικού παραγόμενου στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς που στην περίπτωση μας ήταν το τοπικό σύστημα LTM. Συγκεκριμένα τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σε χαρτί μεγέθους A4 μη γυαλιστερό, το συγκεκριμένο χαρτί τοποθετήθηκε σε 15 ειδικά σχεδιασμένες διατάξεις (βάσεις) που έγιναν από μπετό με διαστάσεις 25X25X5cm για την βέλτιστη τοποθέτηση των στόχων (διάρκεια 8 ώρες).



Διάγραμμα 40: Προετοιμασία διατάξεων και τοποθέτησης στόχων και στάσεων

Αρχικά έγινε η προσήμανση και εξασφάλιση των σημείων που θα χαρακτηριστούν ως σταθερές στάσεις σάρωσης για την τοποθέτηση του επίγειου σαρωτή και αργότερα υλοποιήθηκε η κατανομή και τοποθέτηση φωτοσταθερών για την κάλυψη της περιοχής.



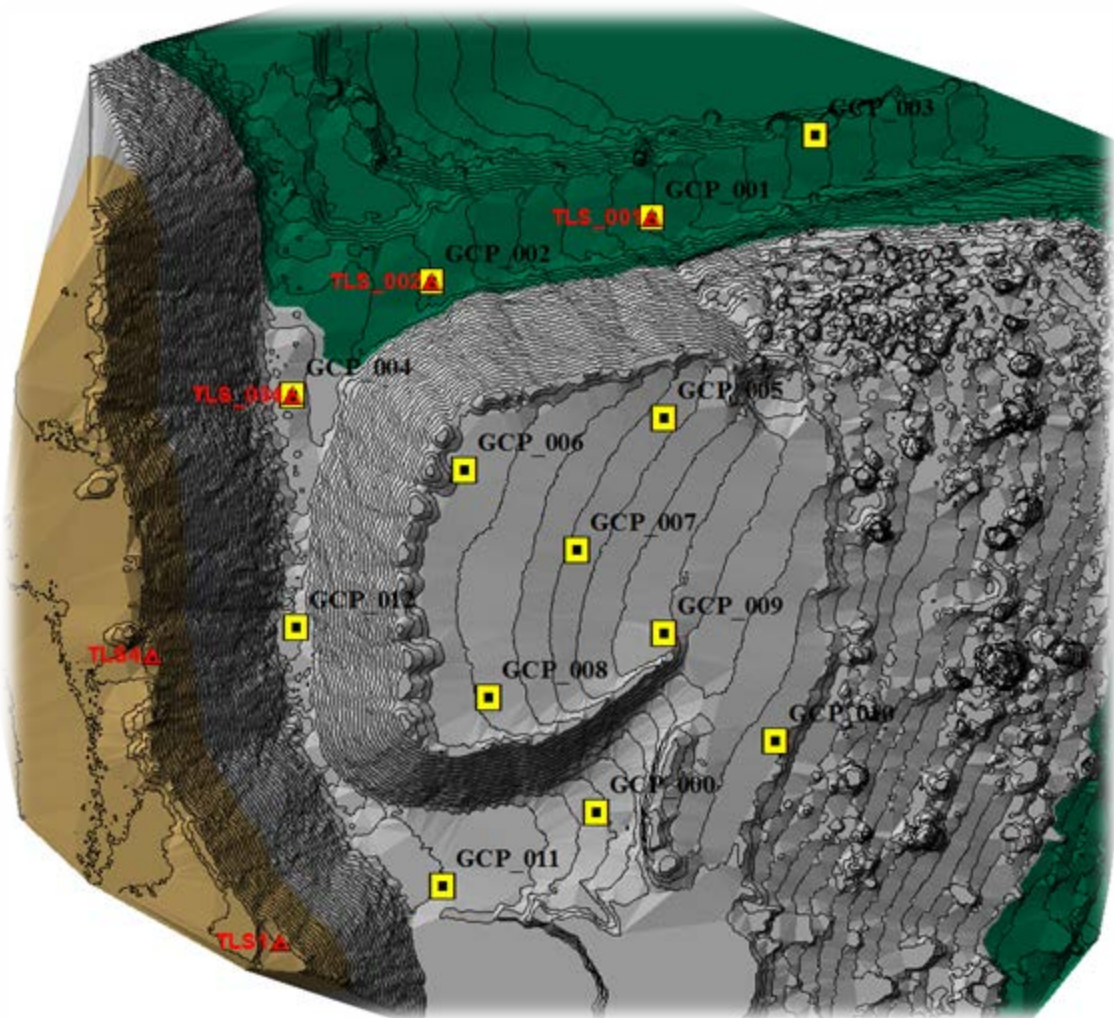
Διάγραμμα 41: Τοποθέτηση Φωτοσταθερών στο πεδίο

Εν συνεχεία έλαβε χώρα η μετάβαση στο πεδίο και αποτύπωση των μονοσήμαντων σημείων λεπτομέρειας, με χρήση GNSS, με γεωδαιτικό GPS (Rover) της εταιρείας Leica Viva μοντέλο, με μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο μέσω σύνδεσης στο δίκτυο CYPOS (Cyprus Positioning System), συνολική (διάρκεια 3 ώρες).



Διάγραμμα 42: Αποτύπωση σημείων στο πεδίο με χρήση GPS

Στην συνέχεια οι μετρήσεις εισήχθησαν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα ArcMap και επεξεργάστηκαν κατάλληλα, ακολούθως οπτικοποιήθηκαν, και αποδόθηκαν γεωχωρικά στην περιοχή μελέτης.



Διάγραμμα 43: Εικόνα Οπτικοποίησης κατανομής GCPs TLS και Φωτοσταθερών

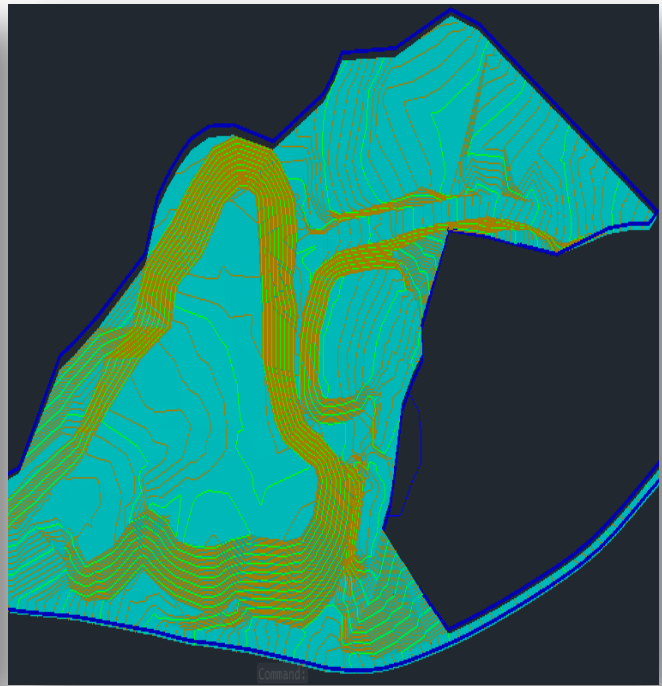
5.1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ GPS (Rover)

Η εν λόγω αποτύπωση έχει γίνει στις 29/09/17 με τοπογραφικό εξοπλισμό από σύμβουλο τοπογράφο. Τα παραγόμενα αρχεία της αποτύπωσης έτυχαν επεξεργασίας μέσα από το πρόγραμμα Civil για έλεγχο της ογκομέτρησης και για να υπάρχει μια ομοιομορφία κοινής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, από όλες τις διαφορετικές μεθόδους αποτύπωσης.

Η διαδικασία αναλυτικά έλαβε χώρα αρχικά με την δημιουργία της αντιπροσωπευτικής επιφάνειας καθώς και του αντίστοιχου ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας (DTM)

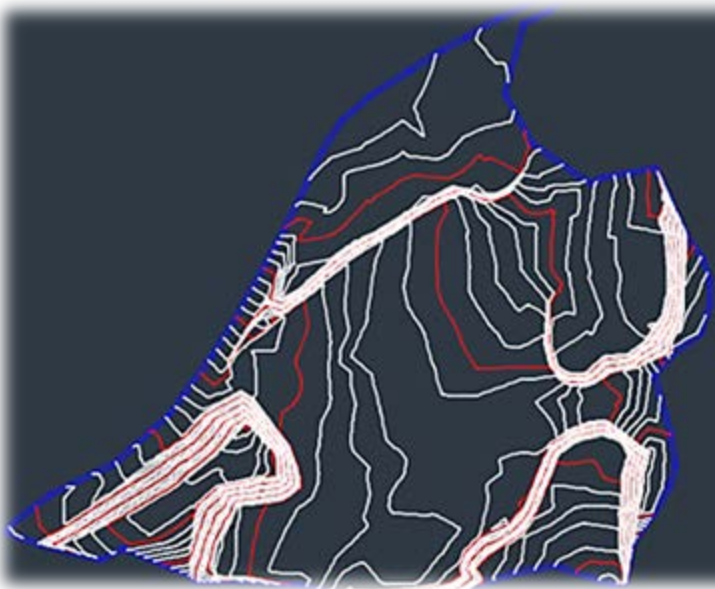


Διάγραμμα 44: Τοπογραφική Επιφάνεια GPS



Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)

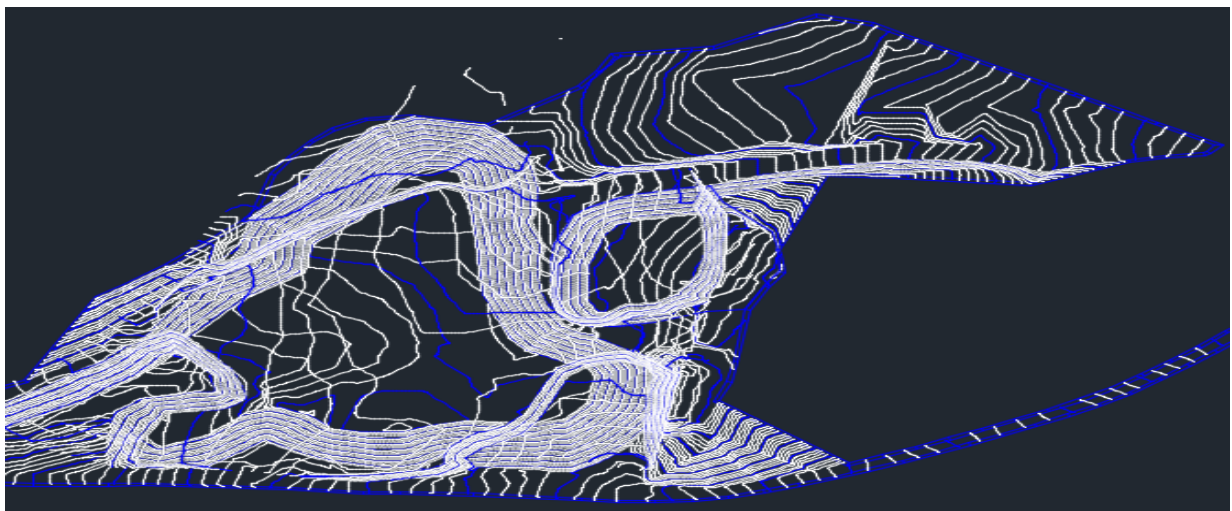
Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στην περίπτωσης δημιουργίας αντιπροσωπευτικής επιφάνειας, για την βάση εναπόθεσης του υλικού που στην περίπτωση μας έχει προκύψει από προηγούμενη τοπογραφική αποτύπωση με όργανα GPS από το σύμβουλο τοπογράφο μηχανικό της εταιρείας



Διάγραμμα 45: Τοπογραφική Επιφάνεια Βάσης (GPS)

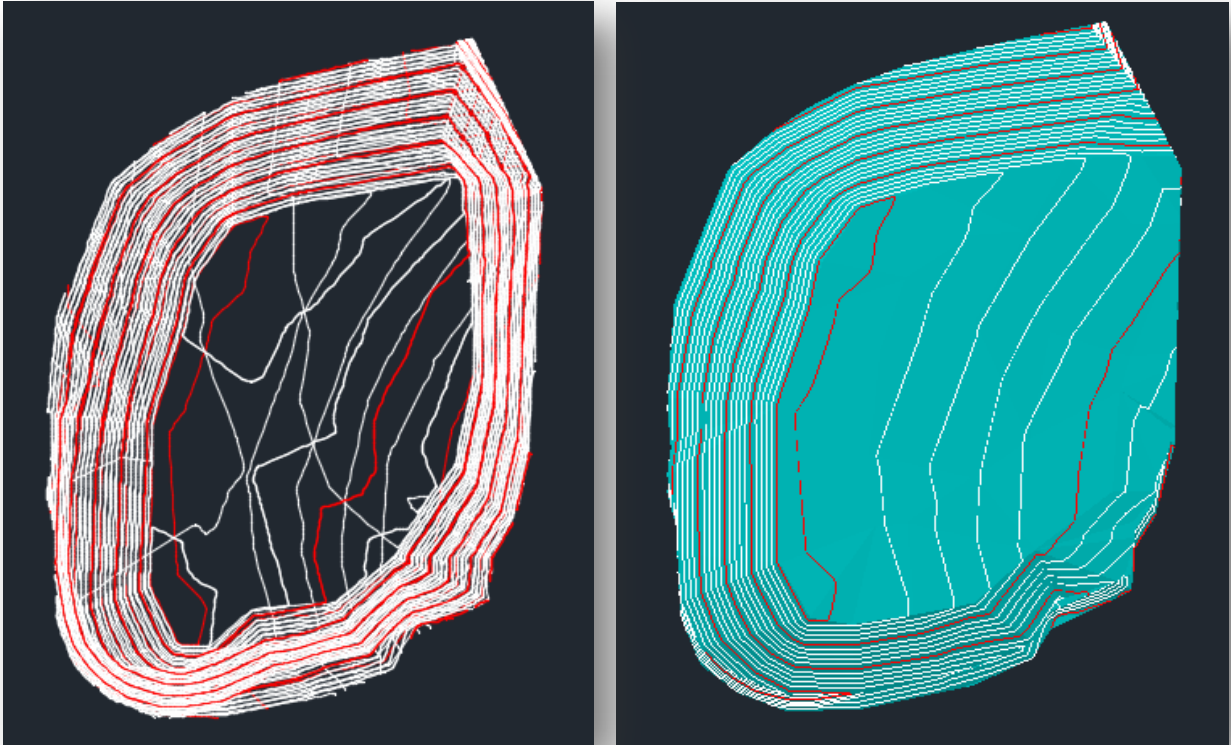
Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)

Καθώς οι δυο επιφάνειες έχουν ολοκληρωθεί και δημιουργηθεί, προβάλλονται από κοινού στην ίδια επιφάνεια εργασίας και αποκόπτονται ακριβώς στα όρια δημιουργίας του αποθέματος, με βάση την προηγούμενη εξέταση χωριστά της κάθε περιοχής τόσο από τοπογραφικής όσο και από τρισδιάστατης μορφής.

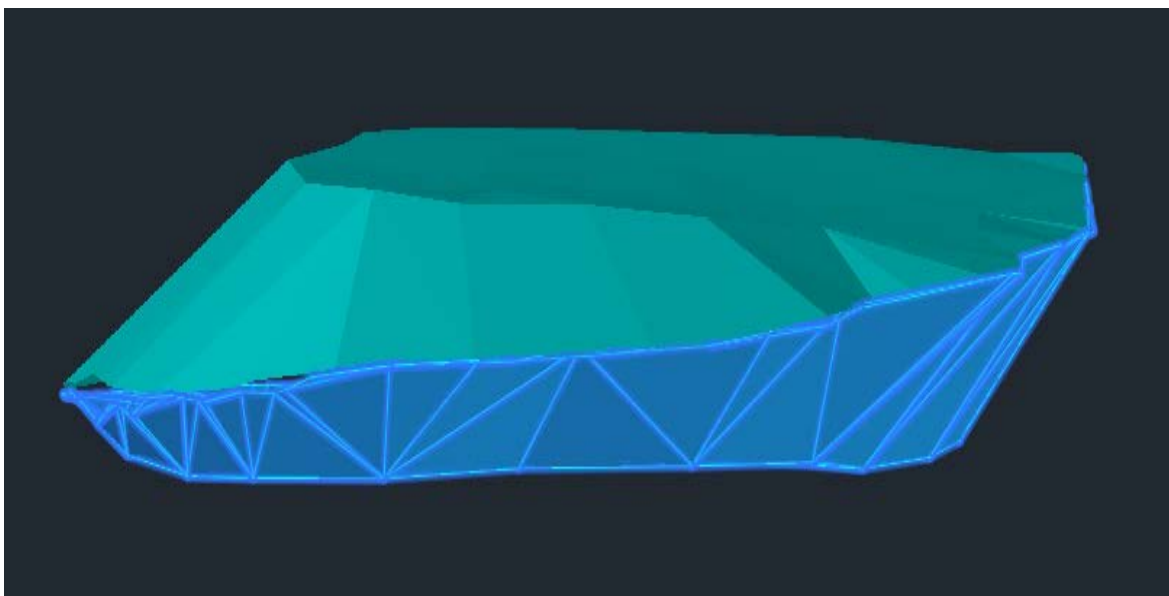


Διάγραμμα 46: Τοπογραφικές Επιφάνειες Βάσης-Σωρού (GPS)

Στην συνέχεια απομένει η περιοχή ενδιαφέροντος, με εμφανή τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αποθέματος ασβεστολιθικού υλικού.

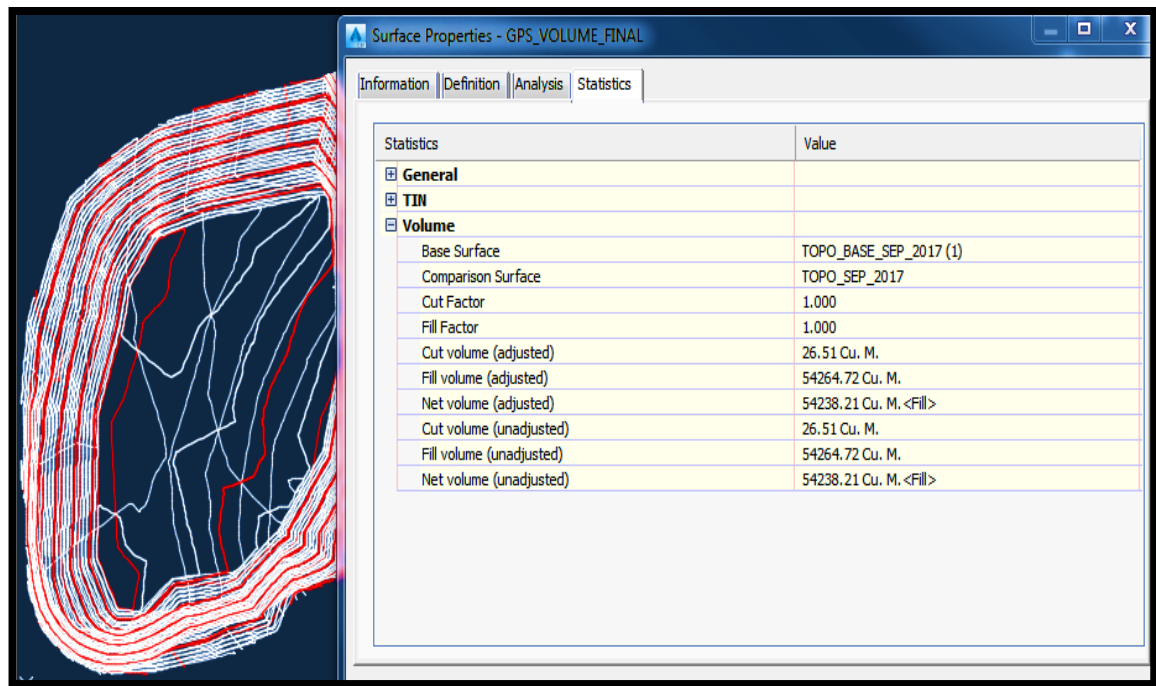


Διάγραμμα 47: Τοπογραφική Επιφάνεια Αποθέματος Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DTM)



Διάγραμμα 48: Πλάγια Όψη Επιφανειών

Μετά την απομόνωση των δυο επιφανειών, εξάγουμε τον ογκομετρικό υπολογισμό μεταξύ των δυο επιφανειών δηλαδή της αρχικής βάσης και του αποθέματος.



Πίνακας 10 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με χρήση GPS

Με βάση τους υπολογισμούς, εξάγεται η ποσοτική εκτίμηση του αποθέματος με την χρήση τοπογραφικού εξοπλισμού GPS σε 54264.72 κυβικά μέτρα m³.

5.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ (3D LASER SCANNER)

Στο στάδιο αυτό έγινε η σάρωση της περιοχής ενδιαφέροντος (ασβεστολιθικό απόθεμα), με χρήση επίγειου τρισδιάστατου οργάνου (3D Laser Scanner) της εταιρείας Leica C10. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για το σκοπό της εργασίας πέραν του τρισδιάστατου σαρωτή (Laser Scanner), συνοδεύεται από τον τρίποδα του και από στόχους που είναι απαραίτητοι για την σύνδεση των επιμέρους σαρώσεων.



Διάγραμμα 49: Αποτύπωση με χρήση Επίγειου Σαρωτή

Αφού οι στάσεις είχαν από προηγουμένως προκαθοριστεί, όπως έχει αναφερθεί με χρήση του γεωδαιτικού GPS, τότε έγινε η μετάβαση στο πεδίο διαδοχικά σε κάθε μια από τις προσημασμένες στάσεις. Ακολούθως ετοιμαζόταν το όργανο και προσανατολιζόταν στα σεσημασμένα σημεία και κατόπιν άρχιζε η σάρωση.

Το βήμα της αποτύπωσης ορίστηκε στα 10cm/100, η μέση απόσταση της σάρωσης ήταν 20m έτσι είχαμε βήμα αποτύπωσης 2 cm, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στη σάρωση του σωρού .

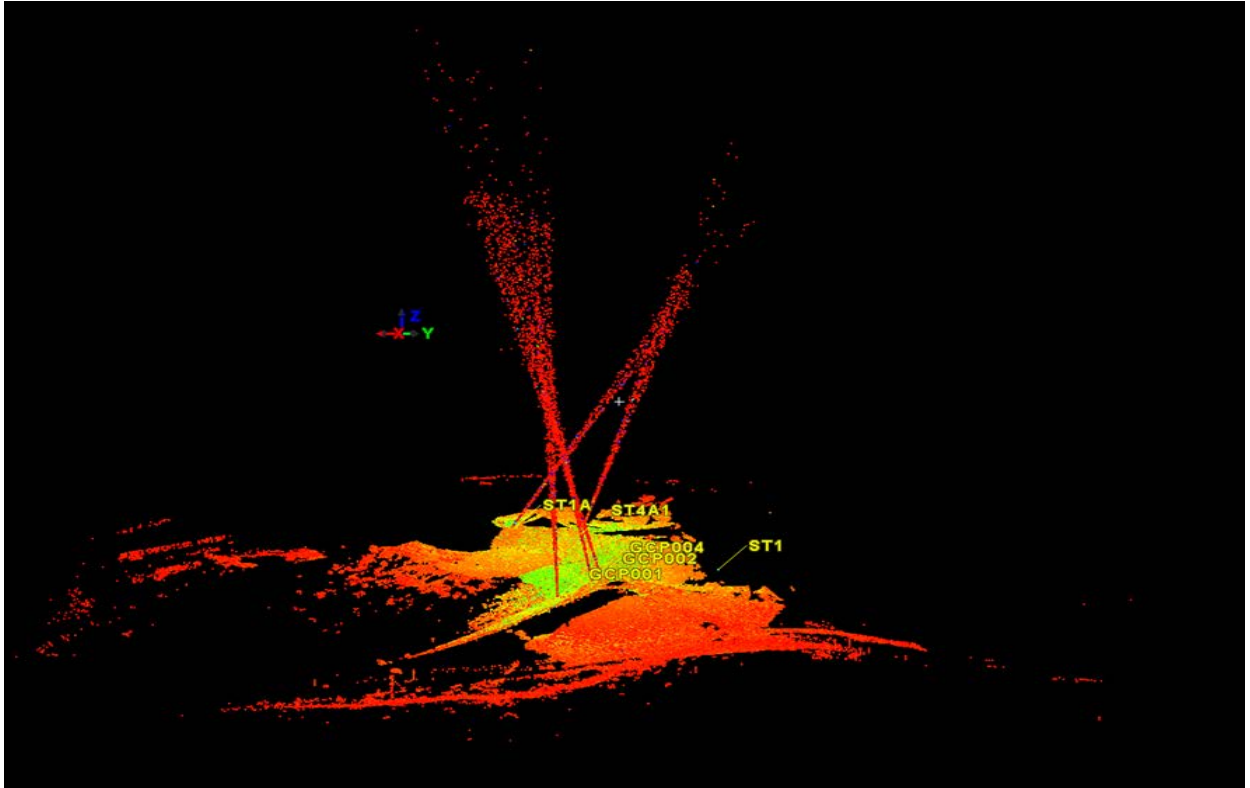
Η εν λόγω αποτύπωση διήρκησε 3 ώρες και αποτυπώθηκαν συνολικά 32.974 σημεία με το Laser Scanner και 5 σημεία με το γεωδαιτικό GPS. Οι καιρικές συνθήκες κατά την ώρα συλλογής των δεδομένων καθώς ο καιρός ήταν αρκετά αίθριος με θερμοκρασία 35 βαθμών κελσίου και ταχύτητα ανέμου 1 μποφόρ.

Μετά την ολοκλήρωση σάρωσης του συνολικού όγκου, το νέφος σημείων έτυχε επεξεργασίας από εξειδικευμένα λογισμικά, (Cyclone και Autodesk Recap).

Τα διαδοχικά βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την επεξεργασία των σημείων ήταν τα πιο κάτω:

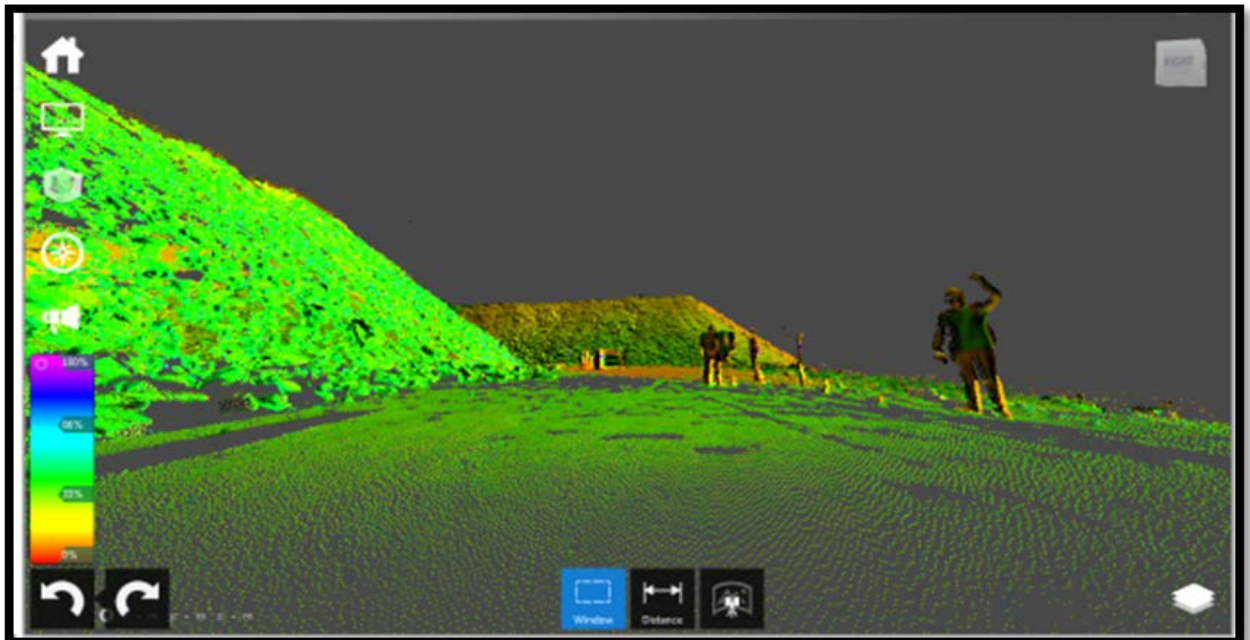
1. Φόρτωση Σημείων
2. Προετοιμασία Δεδομένων
3. Ένωση Μοντέλων Registration
4. Γεωαναφορά
5. Καθάρισμα Νέφους από Θόρυβο
6. Δημιουργία Τρισδιάστατου Μοντέλου
7. Εξαγωγή Στοιχείων

Στην περίπτωση μας η διαδικασία σάρωσης, έγινε σε εξωτερικό χώρο υπαίθριου ανοικτού λατομείου όπου σε αυτές τις περιπτώσεις αποτυπώνεται και άγνη πληροφορία. Πέραν αυτού κατά την διάρκεια της σάρωσης και στην προσπάθεια να εξασφαλίσεις όσο το δυνατόν την μέγιστη απαραίτητη πληροφορία, αποτυπώνονται και άλλα περιττά σημεία και πληροφορίες τα οποία στην ορολογία αποκαλούν «θόρυβο» των μετρήσεων. Στην περίπτωση μας το μόνο φυσικό εμπόδιο που εισήγαγε θόρυβο ήταν η ανθρωπογενής σκόνη η οποία πιθανόν να προκλήθηκε από την παραπλήσια λατομική δραστηριότητα με αποτέλεσμα να υπάρξει αντανάκλαση μέρους της ακτίνας.



Διάγραμμα 50: Θόρυβος Μετρήσεων

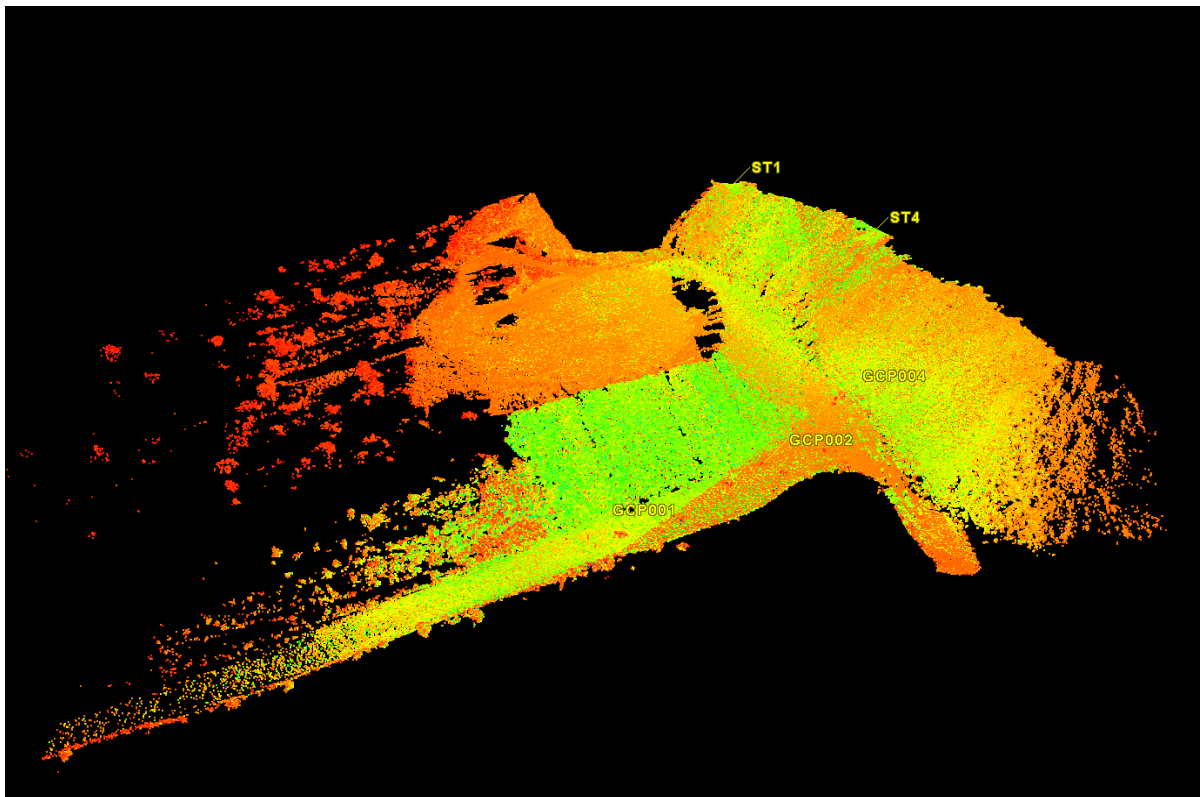
Επίσης σημαντικός και εν γνώσει μας παράμετρος θορύβου, ήταν η παρουσία ανθρώπων που παρεμβάλλονταν στιγμιαία κατά την σάρωση laser.



Διάγραμμα 51: Θόρυβος από παρεμβολή Ανθρώπων

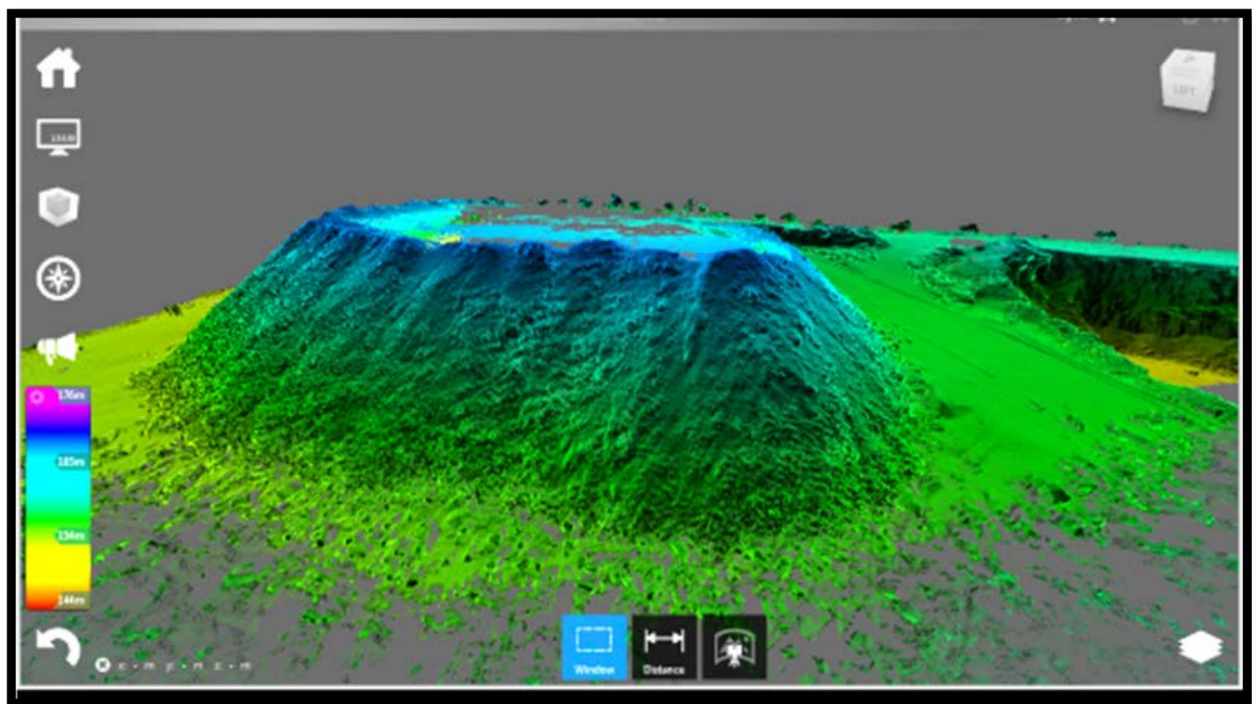
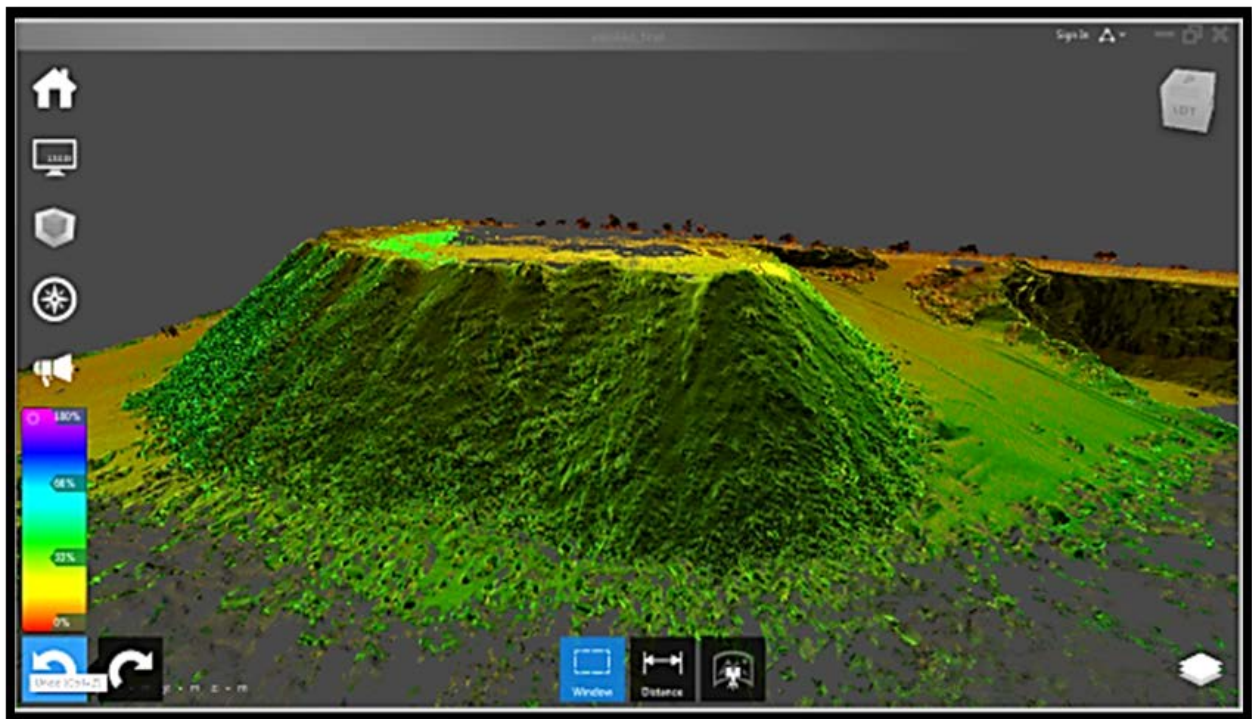
Μέσα από τα ειδικά λογισμικά έγινε ο διεξοδικός έλεγχος και επεξεργασία του νέφους μέσα από την τρισδιάστατη απεικόνιση, ώστε να γίνει ο εντοπισμός και η απαλοιφή των άνευ ενδιαφέροντος περιοχών οι οποίες προσθέτουν θόρυβο. Η απαλοιφή και ο καθαρισμός των περιοχών αυτών έγινε χειροκίνητα και όχι μέσω ειδικών αλγόριθμων που διαγράφουν αντικείμενα και δεδομένα. Η επιλογή της χειροκίνητης αφαίρεσης κρίθηκε ως η πιο βέλτιστη καθώς κατά την διάρκεια της επεξεργασίας έχεις τον καθολικό έλεγχο και ασφάλεια των κινήσεων.

Στην φωτογραφία πιο κάτω παρουσιάζεται η διόρθωση του θορύβου λόγω εξωγενών παραγόντων τον οποίο χρειάστηκε να απομακρύνουμε κατά την διαδικασία καθαρίσματος του νέφους μέσα από το πρόγραμμα Cyclone.



Διάγραμμα 52: Καθαρό Σύννεφο Σημείων

Στις πιο κάτω φωτογραφίες που ακολουθούν απεικονίζονται οι εικόνες με περισσότερη λεπτομέρεια στην τελική απομάκρυνση σκόνης και ανθρώπων μέσα από το πρόγραμμα Autodesk Recap.



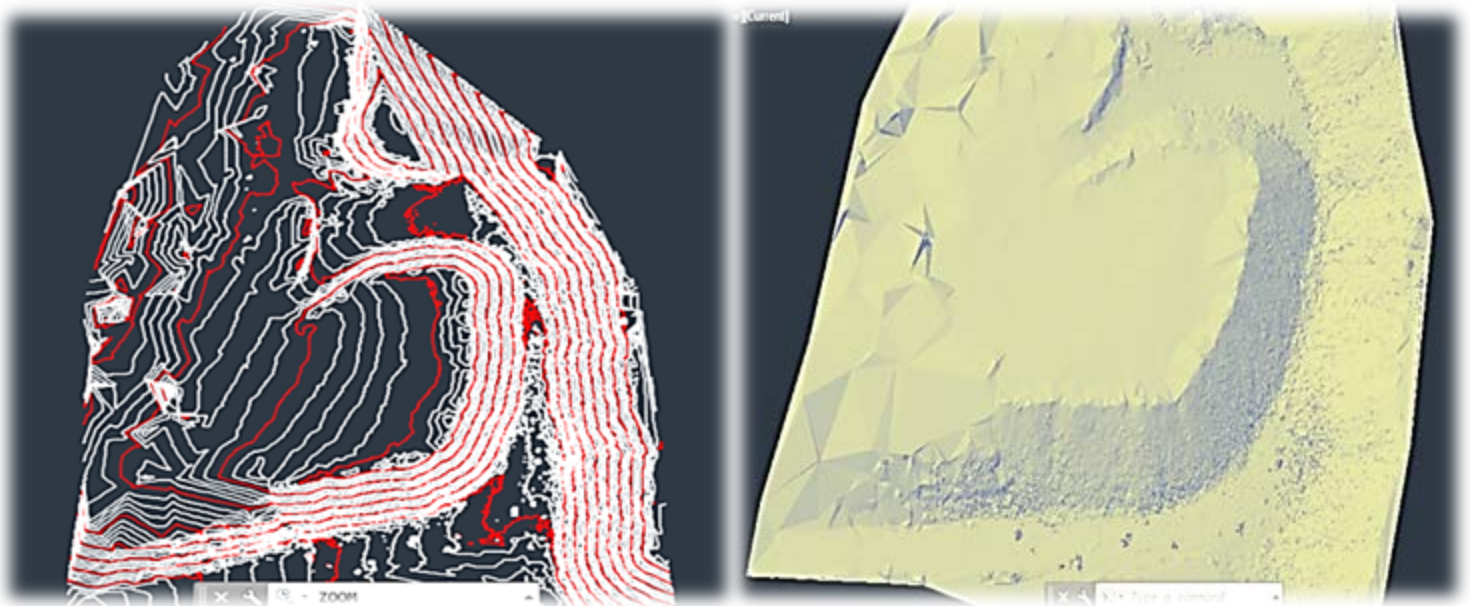
Διάγραμμα 53: Τελικός καθαρισμός του θορύβου και τρισδιάστατη οπτικοποίηση

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία και ο καθαρισμός του νέφους σημείων έγινε εξαγωγή του στο σχεδιαστικό πρόγραμμα της Autodesk Civil 3D, για περαιτέρω επεξεργασία.

Η επεξεργασία περιλάμβανε βασικά τα στάδια δημιουργίας, μιας αντιπροσωπευτικής επιφάνειας μεταξύ του καθαρού σύννεφου σημείων και της αρχικής επιφάνειας/βάσης πριν την εναπόθεση του υλικού για την δημιουργία του αποθέματος.

Μετά την δημιουργία αντιπροσωπευτικών επιφανειών, επιτεύχθηκε η εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας, όσον αφορά την ογκομέτρηση ποσότητας του σωρού.

Η διαδικασία αναλυτικά έλαβε χώρα αρχικά με την δημιουργία της αντιπροσωπευτικής επιφάνειας καθώς και του αντίστοιχου ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας (DTM).



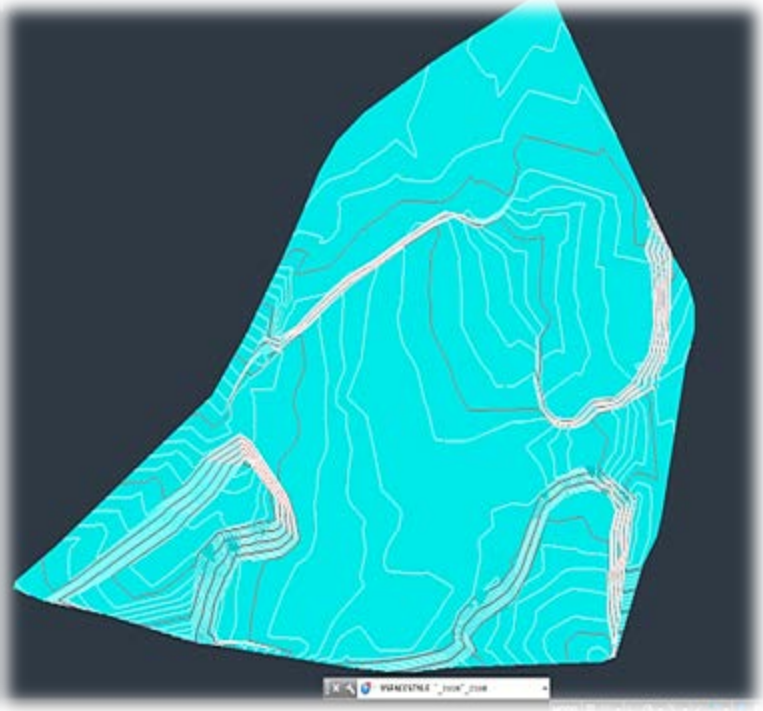
Διάγραμμα 54: Τοπογραφική Επιφάνεια Laser Scanner

Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)

Η ίδια διαδικασία επεξεργασίας ακολουθήθηκε και στην περίπτωσης δημιουργίας αντιπροσωπευτικής επιφάνειας, για την βάση εναπόθεσης του υλικού που στην περίπτωση μας έχει προκύψει από προηγούμενη τοπογραφική αποτύπωση με όργανα GPS από το σύμβουλο τοπογράφο μηχανικό της εταιρείας.

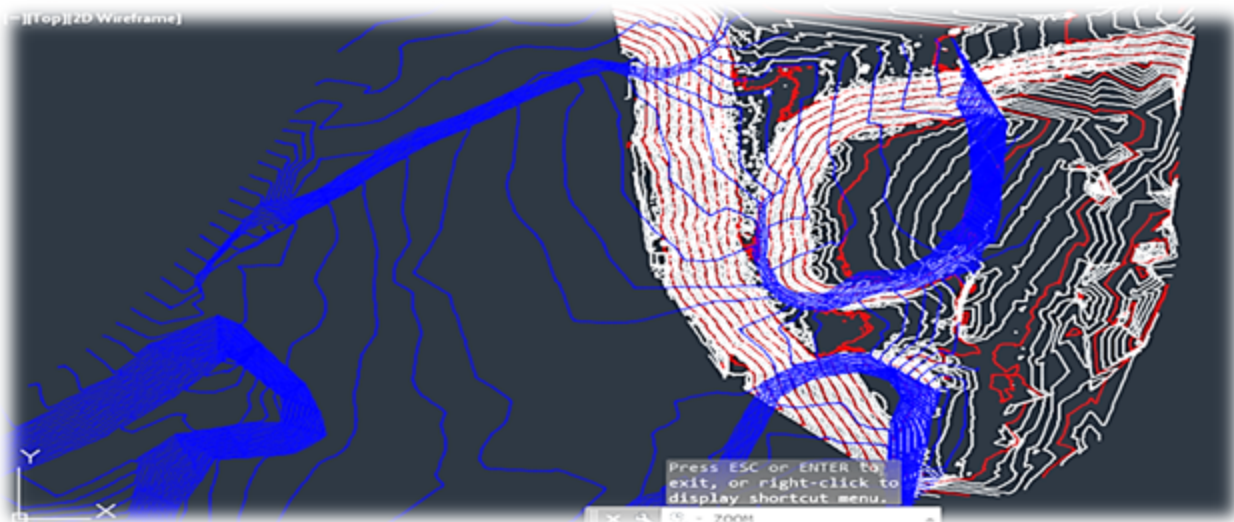


Διάγραμμα 55: Τοπογραφική Επιφάνεια (GPS)



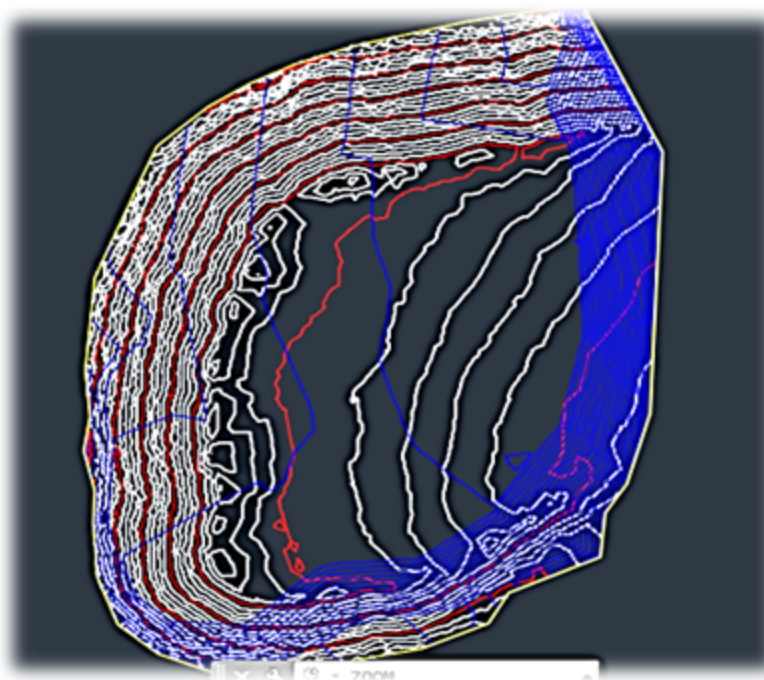
Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)

Καθώς οι δυο επιφάνειες έχουν ολοκληρωθεί και οπτικοποιηθεί, προβάλλονται από κοινού στην ίδια επιφάνεια εργασίας και αποκόπτονται ακριβώς στα όρια δημιουργίας του αποθέματος, με βάση την προηγούμενη εξέταση χωριστά της κάθε περιοχής τόσο από τοπογραφικής όσο και από τρισδιάστατης μορφής.

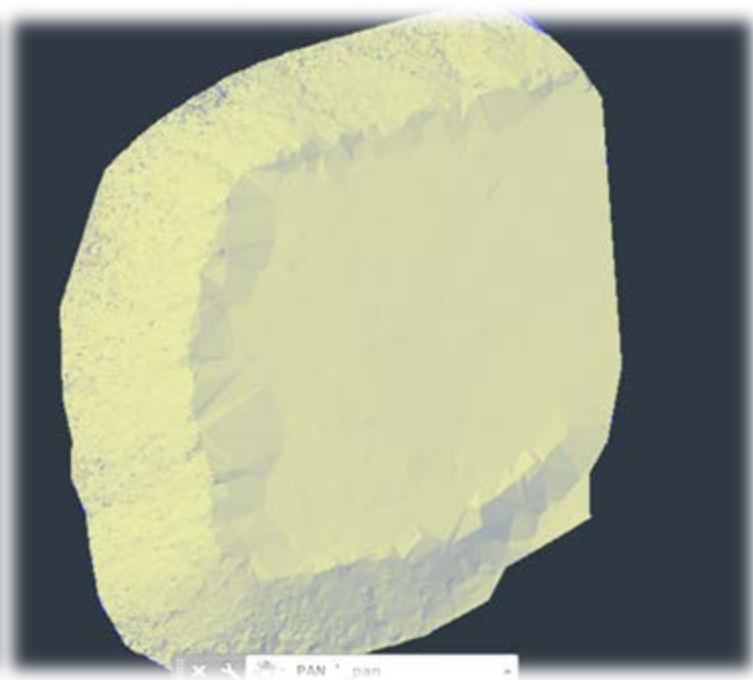


Διάγραμμα 56: Τοπογραφικές Επιφάνειες TLS-GPS

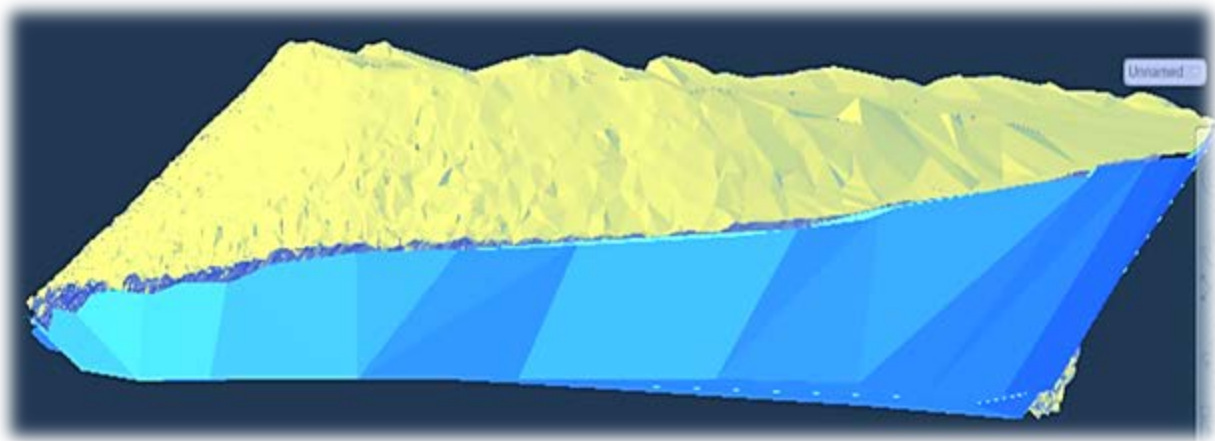
Στην συνέχεια απομένει η περιοχή ενδιαφέροντος, με εμφανή τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αποθέματος ασβεστολιθικού υλικού.



Διάγραμμα 57: Τοπογραφική Επιφάνεια Αποθέματος



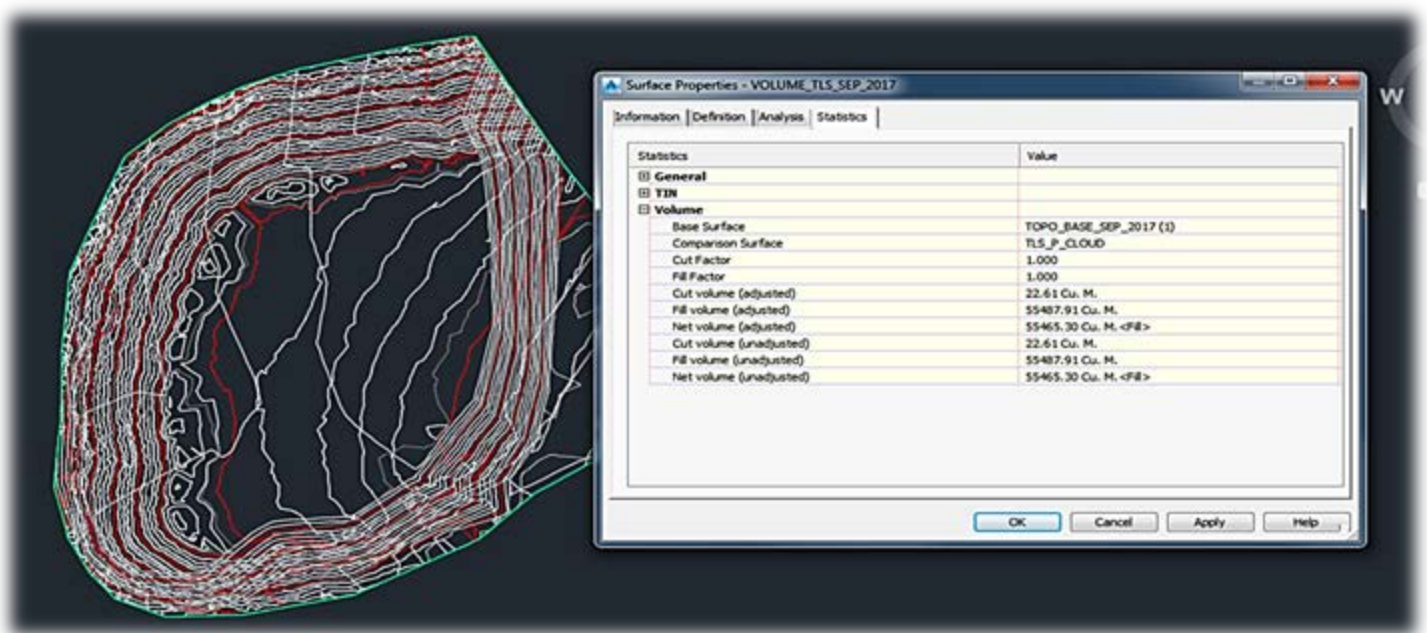
Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DTM)



Διάγραμμα 58: Πλάγια Όψη Επιφανειών

Μετά την απομόνωση των δυο επιφανειών, εξάγουμε τον ογκομετρικό υπολογισμό μεταξύ των δυο επιφανειών δηλαδή της αρχικής βάσης και του αποθέματος.

Πίνακας 11 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με χρήση Laser Scanner (TLS)

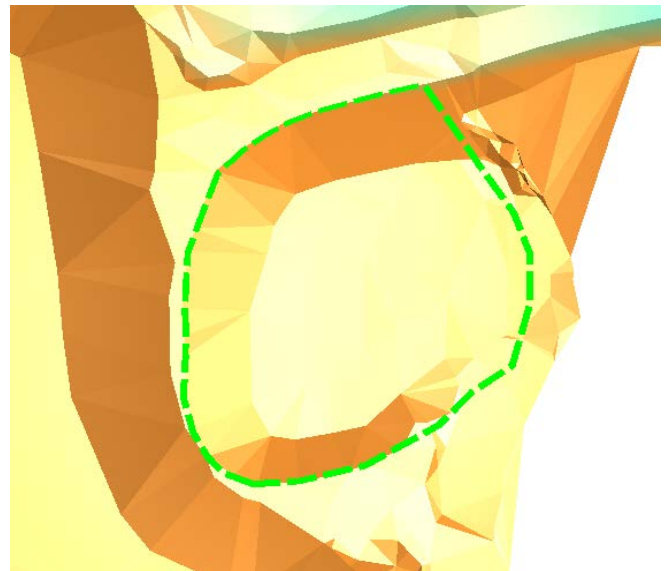
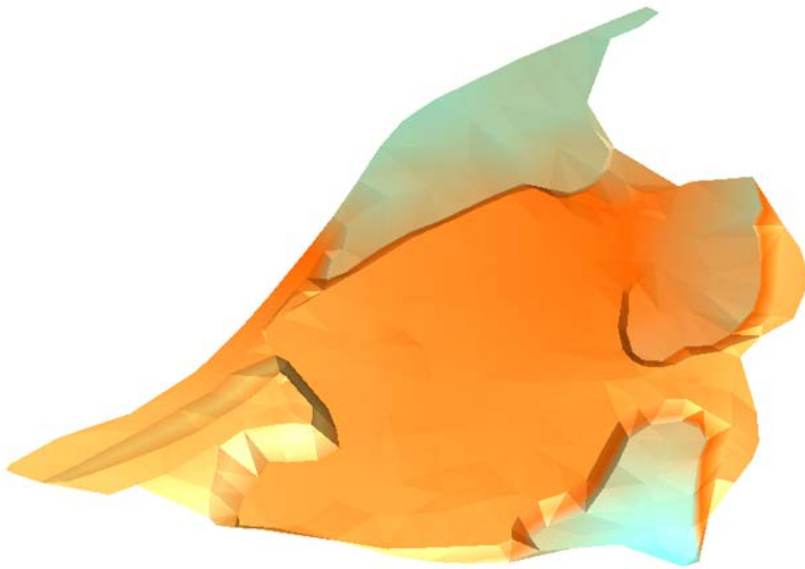


Με βάση τους υπολογισμούς, εξάγεται η ποσοτική εκτίμηση του αποθέματος με βάση την τεχνική Laser Scanner σε 55487.91 κυβικά μέτρα m^3 .

5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΕΟΝΙΑ SURPAC

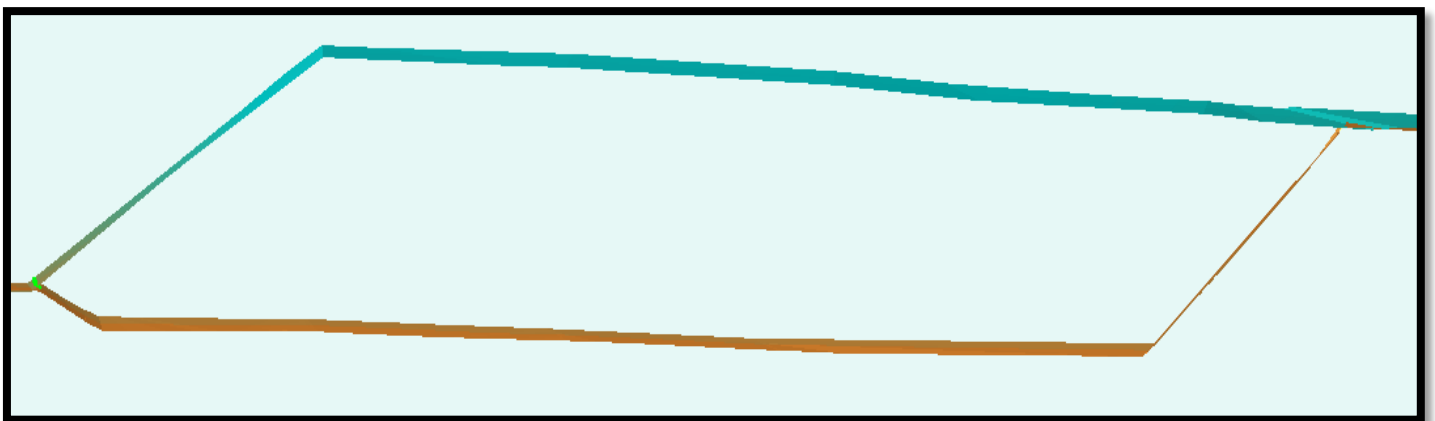
Για καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία υπολογισμού, μέσο του εξειδικευμένου Μεταλλευτικού Λογισμικού για ογκομετρηση σωρών Geonia Surpac της εταιρείας Dassault Systemes.

Κατά την διαδικασία αρχικά δημιουργήθηκαν η αρχική και τελική 3D επιφάνεια η οποία προέκυψε κατά την αποτύπωση με χρήση της τοπογραφικής μεθόδου με GPS.



Διάγραμμα 59: Αρχική 3D επιφάνεια (GPS/Βάση)

Τελική 3D επιφάνεια (GPS)

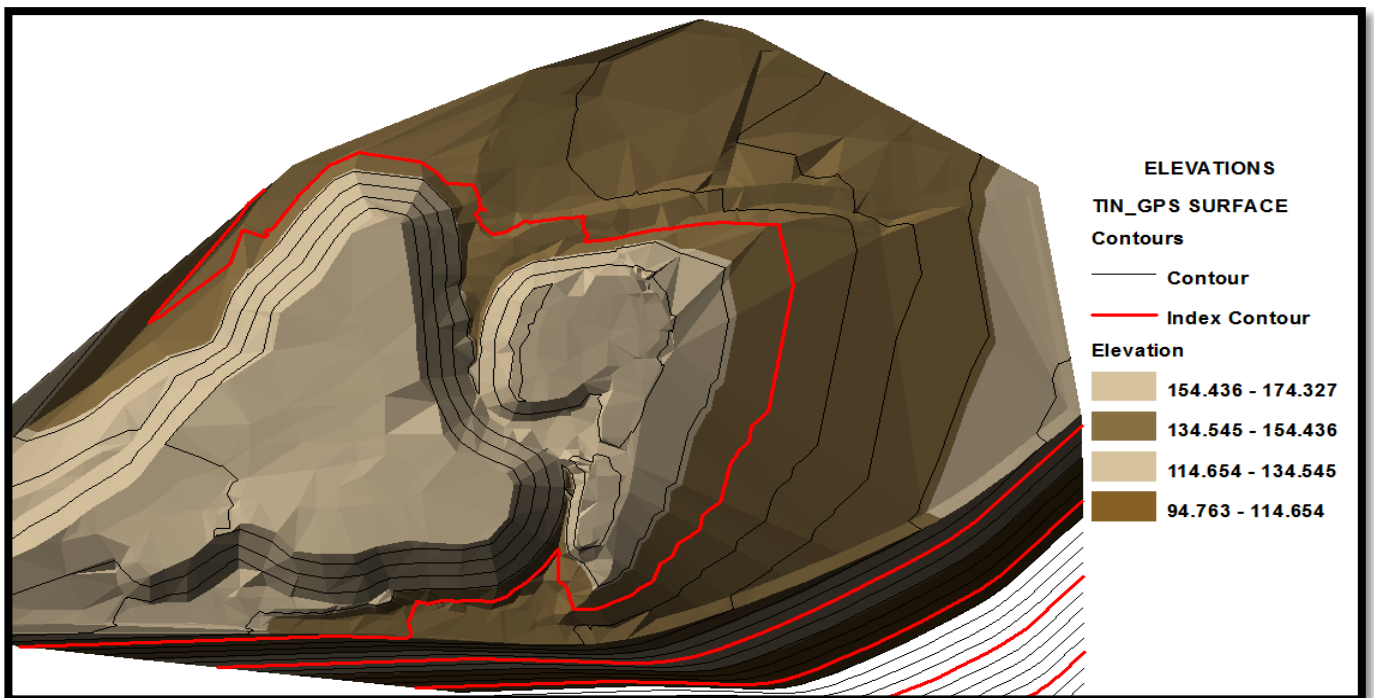


Διάγραμμα 60: Τομή Αρχική-Τελικής 3D Επιφάνειας

Ακολούθως χρησιμοποιήθηκε το ίδιο όριο, με αυτό που έγιναν οι υπολογισμοί μέσω του Civil 3D, ώστε να συγκριθούν ίδια πρωτογενή δεδομένα.

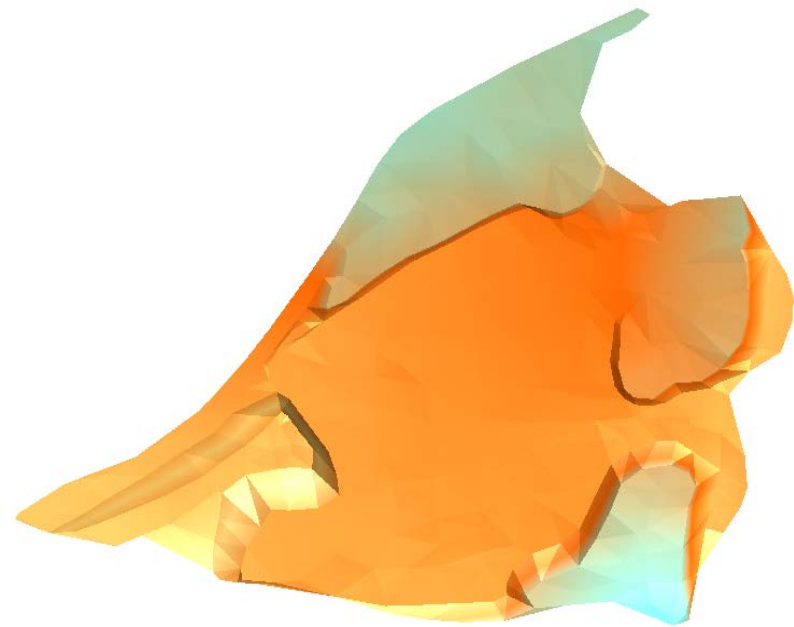
Πίνακας 12 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με χρήση GPS

DTM CUT AND FILL VOLUME REPORT				Mar 26, 2018
First DTM: ΚΑΛΑΒΑΣΟΣ_ΒΑΣΗ_ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ_new.dtm				
Second DTM: topo_sep_2017_thesis.dtm				
Upper DTM object ID: 1				
Upper DTM trisolation ID: 1				
Lower DTM object ID: 1				
Lower DTM trisolation ID: 1				
Boundary file: bdy_cut_topo_new.str				
Boundary string: 101				
Number of segments: 1				
Density: 1.000				
Volumes				
Cut Vol	Fill Vol	Nett Vol	Nett Tonnage	
24	54299	54274	54274	

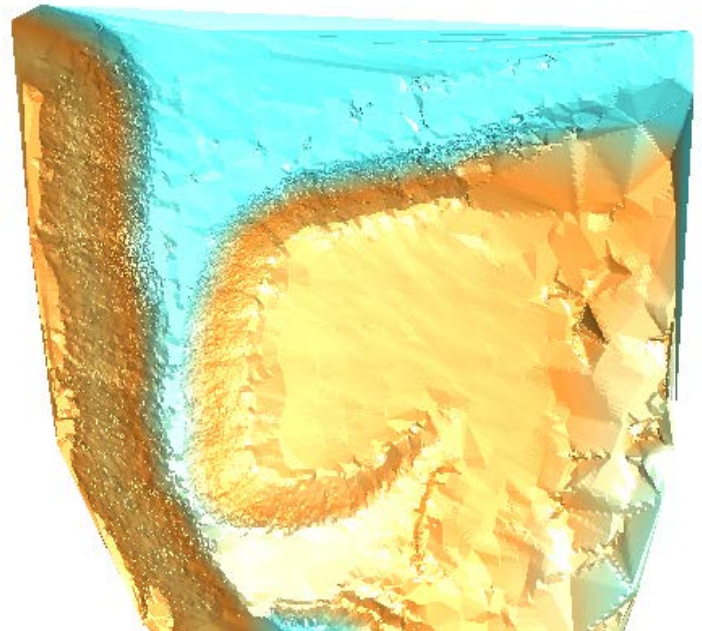


Διάγραμμα 61: Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση προχής μελέτης με χρήση GPS- ROVER

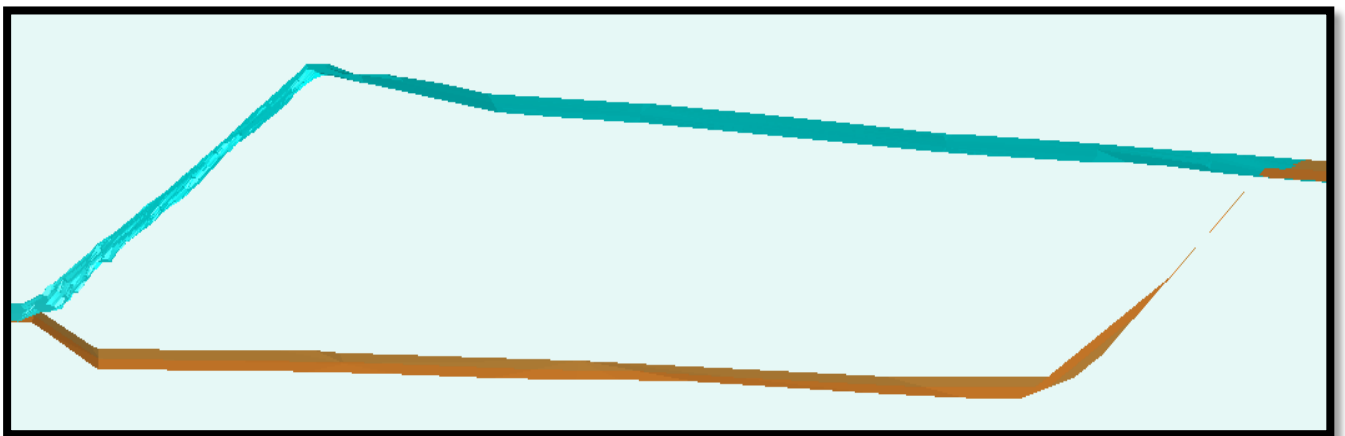
Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων ογκομέτρησης μεταξύ της αρχικής και τελικής βάσης που προέκυψαν κατά την αποτύπωση με χρήση της τοπογραφικής Laser Scanner (TLS).



Διάγραμμα 62: Αρχική 3D επιφάνεια (GPS/Βάση)



Τελική 3D επιφάνεια (TLS)

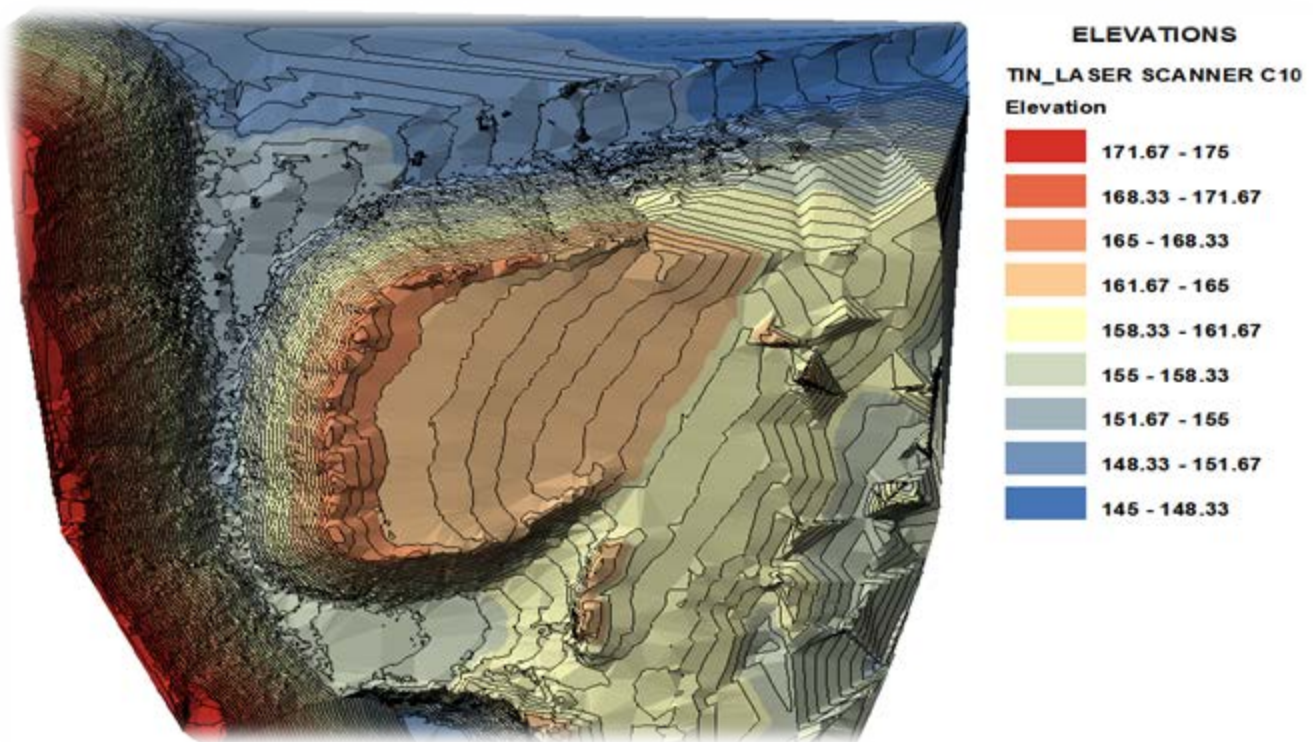


Διάγραμμα 63: Τομή Αρχική-Τελικής 3D Επιφάνειας

Ακολούθως χρησιμοποιήθηκε το ίδιο όριο, με αυτό που έγιναν οι υπολογισμοί μέσω του Civil 3D, ώστε να συγκριθούν ίδια πρωτογενή δεδομένα.

Πίνακας 13 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με χρήση Laser Scanner (TLS)

DTM CUT AND FILL VOLUME REPORT				Mar 26, 2018
First DTM: ΚΑΛΑΒΑΣΟΣ_ΒΑΣΗ_ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ_new.dtm				
Second DTM: point_cloud_tls_test1520.dtm				
Upper DTM object ID: 1				
Upper DTM trisolation ID: 1				
Lower DTM object ID: 1				
Lower DTM trisolation ID: 1				
Boundary file: bdy_cut_topo_new.str				
Boundary string: 101				
Number of segments: 1				
Density: 1.000				
Volumes				
Cut Vol	Fill vol	Nett Vol	Nett Tonnage	
-----	-----	-----	-----	
15	55530	55515	55515	



Διάγραμμα 64: Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση προχής μελέτης με χρήση LASER SCANNER

5.4 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAVs

Για το σκοπό της ογκομετρικής τεκμηρίωσης του σωρού απόθεσης η λήψη των πρωτογενών δεδομένων υλοποιήθηκε με χρήση εναέριας φωτογραμμετρικής προσέγγισης, μέσα από χρήση τριών διαφορετικών τύπων Drones σε διάστημα δυο ημερών. Αναλυτικά τα Drones που έχουν χρησιμοποιηθεί την πρώτη μέρα 14/09/17 ήταν το Phantom III Pro και το SkyHawke και την επόμενη μέρα 15/09/17 το Phantom IV.

Η συγκεκριμένη αποτύπωση και συλλογή των στοιχείων εξυπακούει εξ αρχής την μελέτη της περιοχής καθώς και εργασίες πεδίου όπως έχει ήδη προαναφερθεί.

Οι εργασίες υλοποιούνται με σειρά προτεραιότητας ξεκινώντας από την αρχική αναγνώριση της περιοχής μελέτης την απόφαση για τα σημεία και τον τελικό αριθμό εξασφάλισης των φωτοσταθερών και τέλος την λήψη των φωτογραφιών.

Πίνακας 14 : Σημεία Φωτοσταθερών γνωστών συντεταγμένων

a/a	GCPs	X	Y	Z
1	GCP_004	225470.4	346576.3	153.064
2	GCP_003	225561.8	346621.7	147.682
3	GCP_002	225494.6	346596.1	152.022
4	GCP_001	225533.2	346607.4	149.533
5	GCP_012	225470.9	346535.5	154.663
6	GCP_010	225554.8	346515.8	160.636
7	GCP_009	225535.4	346534.5	162.652
8	GCP_008	225504.6	346523.3	164.873
9	GCP_007	225520.2	346549.2	163.927
10	GCP_006	225500.3	346563.2	165.336
11	GCP_005	225535.3	346572.3	163.812
12	GCP_011	225496.6	346490.2	157.59
13	GCP_000	225523.5	346503.2	158.522

Η αναγνώριση της περιοχής μελέτης και των συνθηκών που επικρατούν είναι βασικής σημασίας και αποτελούν ουσιαστικά βήματα για την επιτυχή έκβαση της εργασίας με την χρήση των Drones. Η διαδικασία της αναγνώρισης θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό τον προγραμματισμό των εργασιών αλλά και τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του έργου που πρόκειται να απαιτηθούν αποφεύγοντας παράλληλα τυχόν λάθη και παραλήψεις οι οποίες θα έχουν καθοριστικό αντίκτυπο στην μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων. Μέσα από την διαδικασία μελέτης της περιοχής ενδιαφέροντος καθορίζονται τα σημεία και ο αριθμός των προτιθέμενων φωτοσταθερών που θα χρησιμοποιηθούν με επιτυχία στην συνέχεια.

Ακολούθως ετοιμάζεται το σχέδιο πτήσης (Flight Plan), το οποίο αφορά την διαδρομή και εν γένει τις αυτοματοποιημένες κινήσεις που απαιτείται να εκτελέσει το UAV από την στιγμή της απογείωσης έως και την στιγμή προσγείωσης του. Αφού σχεδιαστεί το σχέδιο πτήσης καταγράφεται στην πλακέτα του αυτόματου πιλότου του UAV και μόλις αυτό ενεργοποιηθεί στο πεδίο, ξεκινάει η εκτέλεση του σχεδίου πτήσης. Ο ορθός σχεδιασμό του σχεδίου πτήσης αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες της μεθόδου αυτής και ένα μεγάλο μέρος της επιτυχίας της πτήσης και της ικανοποιητικής συλλογής δεδομένων οφείλεται αδιαμφισβήτητα σε αυτόν.

5.5 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΕΡΟΜΟΝΤΕΛΟΥ (PHANTOM III PROFESSIONAL)

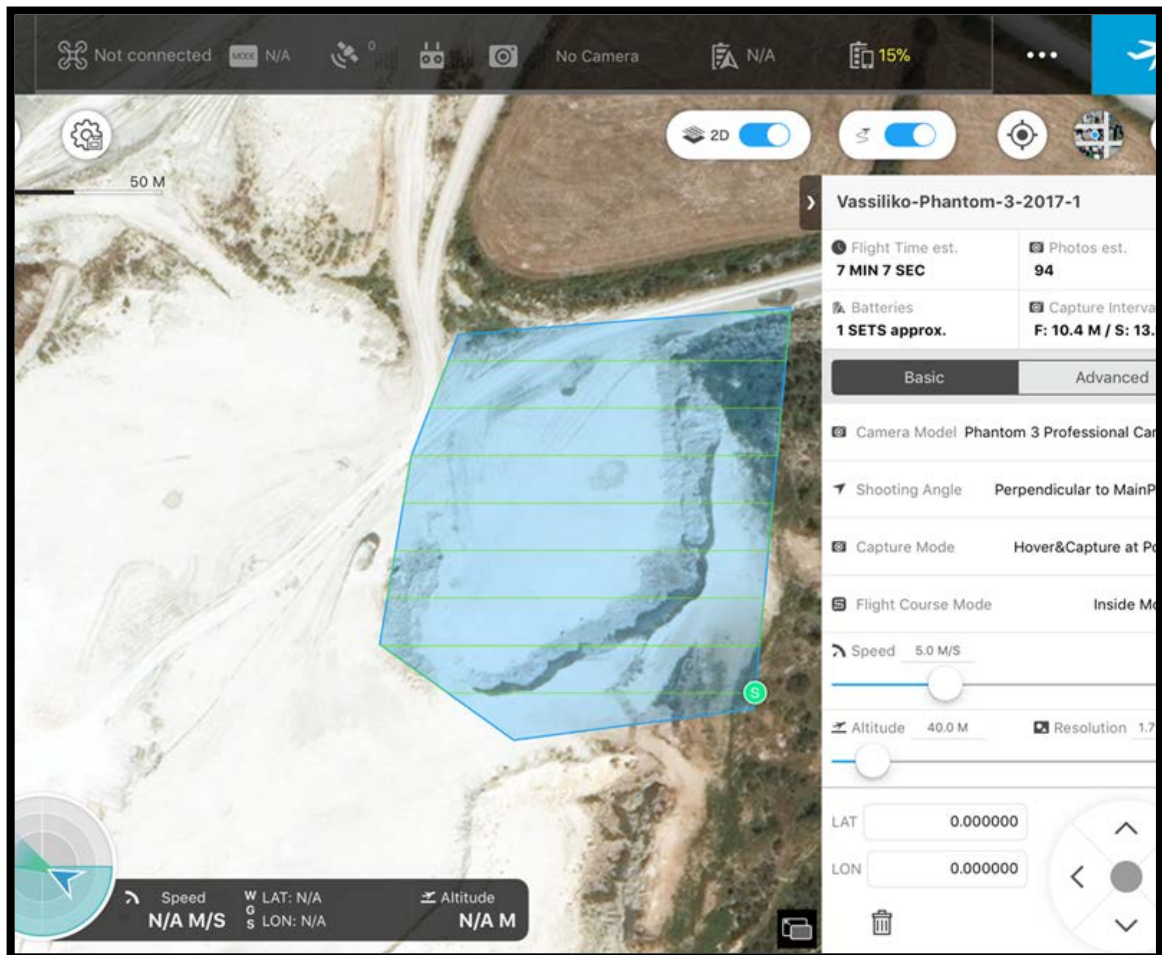
Αρχικά έχουμε την χρήση και λήψη φωτογραφιών από την περιοχή ενδιαφέροντος μέσα από το τύπο του αερομοντέλου Phantom III Professional. Η υπό μελέτη περιοχή περιλαμβάνει το χώρο των αποθεμάτων και συγκεκριμένα, το απόθεμα ασβεστολίθου που θέλουμε να φωτογραφήσουμε με σκοπό να το ογκομετρήσουμε. Η ευρύτερη περιοχή έχει συνολικό εμβαδό 34 δεκαρίων, από τα οποία μας ενδιαφέρουν αμιγώς μόνο τα δέκα δεκάρια που είναι η ακριβής επιφάνεια του σωρού αποτύπωσης.



Διάγραμμα 65: Περιοχή Μελέτης-Αποτύπωσης

Όσον αφορά τις εργασίες πεδίου, αυτές διαφέρουν σημαντικά σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους αποτύπωσης που είδαμε προηγουμένως.

Στο παρόν στάδιο ορίστηκε η περιοχή φωτογράφισης όπως φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα.



Διάγραμμα 66: Περίγραμμα Πτήσης περιοχής μελέτης

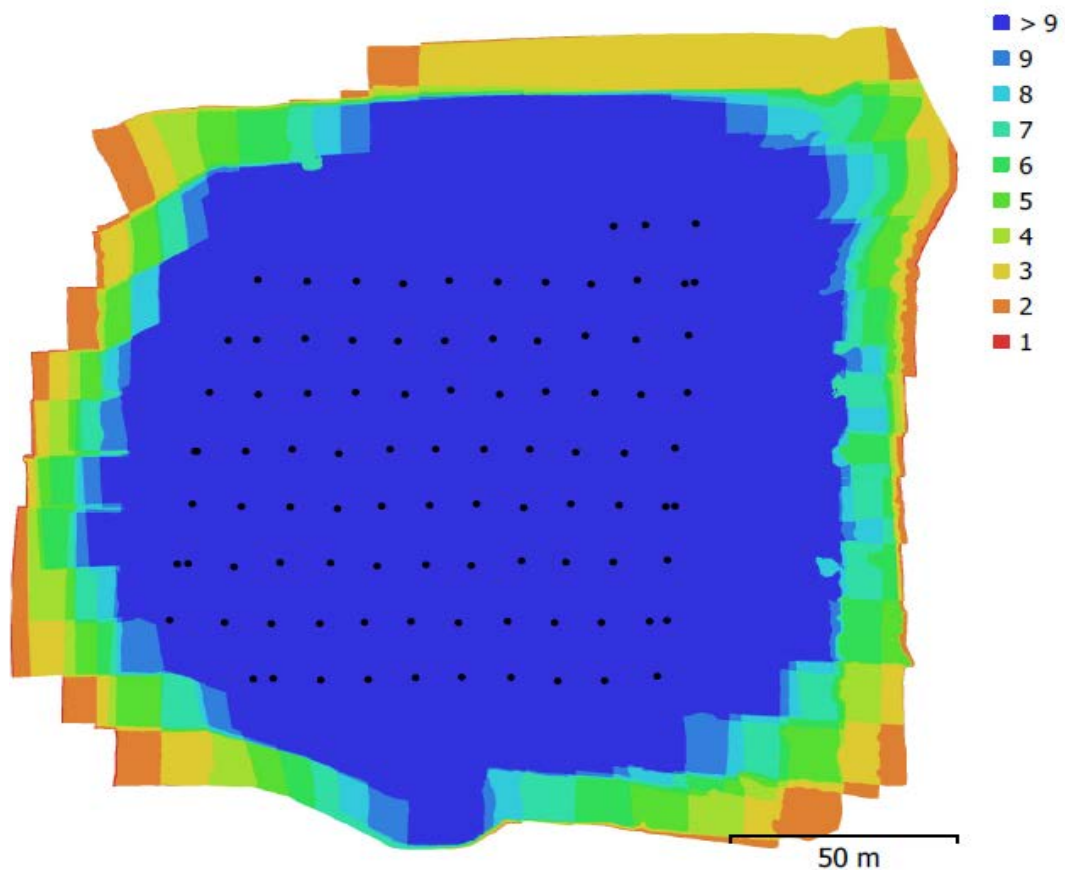
Γενικά η αποτύπωση με τη χρήση UAVs, αποτελεί μια εύκολη διαδικασία για τον χρήστη, καθώς η δυνατότητα του για εκτέλεση πλήρους αυτοματοποιημένης πτήσης δεν απαιτεί ιδιαίτερες ικανότητες χειρισμού του αεροσκάφους, όπως συμβαίνει σε άλλα συστήματα, τα οποία απαιτούν χειροκίνητο χειρισμό κατά την διάρκεια της πτήσης.

Για την επιτυχή λήψη θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όλες οι παράμετροι και ιδιαιτερότητες της περιοχής και του αντικειμένου προς αποτύπωση ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερο αποτέλεσμα.

Αρχικά λοιπόν, πραγματοποιήθηκε μετάβαση στο επιθυμητό σημείο απογείωσης και στη συνέχεια, ακολούθησε η προετοιμασία του UAV, με την εγκατάσταση των τεσσάρων ελίκων της μπαταρίας και της φωτογραφικής μηχανής, ενώ ακολούθησε η εκκίνηση του οχήματος και ο έλεγχος της ραδιοζεύξης με το τηλεχειριστήριο.

Έπειτα, ακολούθησε η εκκίνηση στο έδαφος (Ground Control Station) και ο έλεγχος της ραδιοζεύξης μεταξύ του UAV και του υπολογιστή, όπου και θα μεταδίδονται τα δεδομένα τηλεμετρίας. Τέλος, εκκινήθηκαν οι ρότορες και το όχημα ήταν έτοιμο για την απογείωση.

Το ύψος πτήσης για το Phantom III pro ορίστηκε στα 40 μέτρα ενώ η γωνία λήψης φωτογραφιών ορίστηκε στις 90 μοίρες, δηλαδή κάθετα ως προς το επίπεδο ενδιαφέροντος. Επιπλέον η ταχύτητα πτήσης ήταν 5 m/s η φωτογραφική κάμερα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η FC 300 X (3.61mm) ανάλυσης 12Mpixels. Η επικάλυψη των φωτογραφιών ορίστηκε σε ογδόντα τοις εκατό 80% κατά μήκος πτήσης και σε εξήντα τοις εκατό 60% κατά πλάγιως προκύπτοντας αποτύπωμα της κάθε φωτογραφίας διαστάσεων 68X51.



Διάγραμμα 67: Σημεία λήψης Φωτογραφιών και Επικάλυψη

Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών φωτογραφιών ήταν 11 μέτρα ενώ το πλήθος των φωτογραφιών που έπρεπε να ληφθούν για να καλυφθεί η ευρύτερη περιοχή ήταν (94).

Η συνολική απόσταση που κάλυψε το UAV είναι 1.034 μέτρα και η διάρκεια πτήσης ορίστηκε στα επτά λεπτά και επτά δευτερόλεπτα 7 (7' 7"), με τις φωτογραφίες να λαμβάνονται ανά 4.54 δευτερόλεπτα. Η συνολική έκταση επιφάνειας που κάλυψε είναι 34.400 m².



Διάγραμμα 68: UAV: **Phantom 3 Professional**

Στην συνέχεια αφού συλλέχτηκαν τα δεδομένα από τα UAV ακολούθησε η μετέπειτα επεξεργασία η οποία είναι αρκετά χρονοβόρα. Αυτό εξαρτάται σίγουρα από την εμπειρία του χρήστη την ποσότητα και ποιότητα των δεδομένων και το τι παραγόμενα προϊόντα θέλεις να αποκτήσεις σημαντικό επίσης παράγοντα παίζει η διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ του υπολογιστή που τρέχει τα υπόψη προγράμματα επεξεργασίας.

Αρχικά εξήχθησαν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων που είχαν αποτυπωθεί σε αρχείο excel και αργότερα σε αρχείο *.txt. Από την στιγμή που οι πληροφορίες των φωτοσταθερών μετά τον έλεγχο ήσαν σωστές, ασχοληθήκαμε με την επεξεργασία του UAV. Μέσα από την ειδική υποδοχή που υπάρχει στον εξοπλισμό του UAV ελήφθη το αρχείο καταγραφής των δεδομένων της πτήσης. Το υπόψη αρχείο (flight log), περιέχει όλα τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί από την ώρα εκκίνησης του εξοπλισμού μέχρι την στιγμή της προσγείωσης του.

Ουσιαστικά σε αυτό το αρχείο υπάρχει το αποτύπωμα της πραγματικής κατάστασης της πτήσης και από την φωτογραφική κάμερα υπάρχουν οι φωτογραφίες που πάρθηκαν κατά την διάρκεια της πτήσης.

Στην συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία της επεξεργασίας των φωτογραφιών με την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας Agisoft PhotoScan της εταιρείας Agisoft (www.agisoft.com).

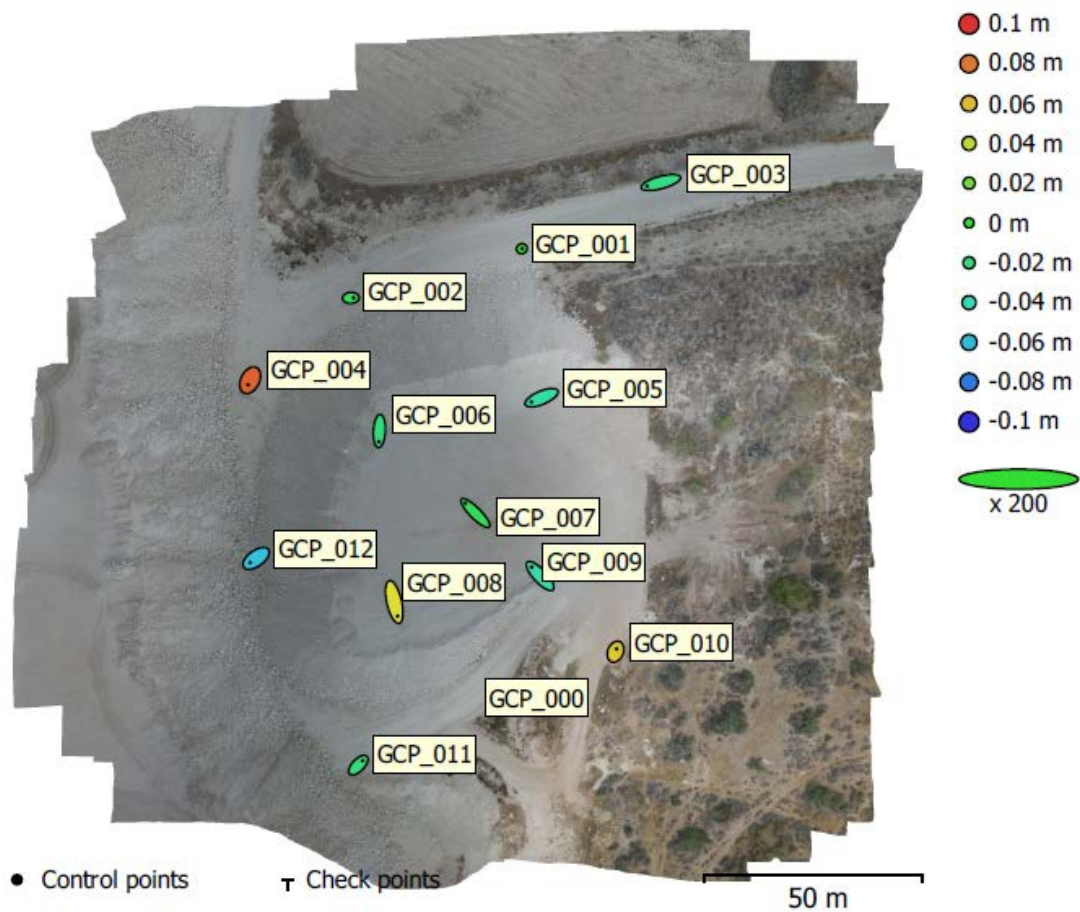
Αρχικά ακολούθησε ο ποιοτικός έλεγχος των φωτογραφιών για να διαπιστωθεί η καθαρότητα τους και επίσης την παρατήρηση τυχόν αντικειμένων εξοπλισμού του αερομοντέλου. Σε περίπτωση που υπάρχει εμφάνιση τέτοιων χαρακτηριστικών αυτά μπορούν να αποφευχθούν με την κάλυψη της περιοχής και ορισμού της ως mask.

Στην δική μας περίπτωση η εκτίμηση έδειξε ότι όλες οι φωτογραφίες ήταν ποιοτικά αποδεκτές και αυτό οφείλεται στις πολύ καλές συνθήκες λήψης καθώς και στο χαμηλό υψόμετρο πτήσης.

Αφού έγινε ο έλεγχος τότε προχωρήσαμε στο δεύτερο βήμα για την ευθυγράμμιση των φωτογραφιών μέσω της εντολής (Align photos), όπου με αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα χρησιμοποίησε τις συντεταγμένες της κάθε φωτογραφίας και τις τοποθέτησε με τη σειρά λήψης τους στο χώρο. Στη συνέχεια ήταν απαραίτητο να εισαχθούν τα φωτοσταθερά που θα χρησιμοποιούνταν για τη γεωαναφορά του μοντέλου. Ακολούθως, για την εκκίνηση της διαδικασίας έπρεπε πρώτα να δημιουργηθεί ένα ψευδοτριδιάστατο μοντέλο αναπαράστασης της περιοχής χαμηλής ποιότητας (Build Mesh), γεγονός που έδωσε τη δυνατότητα στο πρόγραμμα, αμέσως μετά τον εντοπισμό ενός φωτοσταθερού, να υποδείξει την εκτιμώμενη θέση του και στις υπόλοιπες φωτογραφίες του project. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι χρονικά αποδοτική. Έπειτα, εντοπίστηκε το πρώτο φωτοσταθερό σε μία φωτογραφία, με συνέπεια το πρόγραμμα να εντοπίσει και να υποδείξει αυτομάτως τις φωτογραφίες στις οποίες εμφανίζεται το συγκεκριμένο φωτοσταθερό. Να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο πρόγραμμα υπάρχουν πρότυπα σχήματα φωτοσταθερών με σχετική αρίθμηση που το πρόγραμμα σε τέτοια περίπτωση τα αναγνωρίζει όλα αυτομάτως.

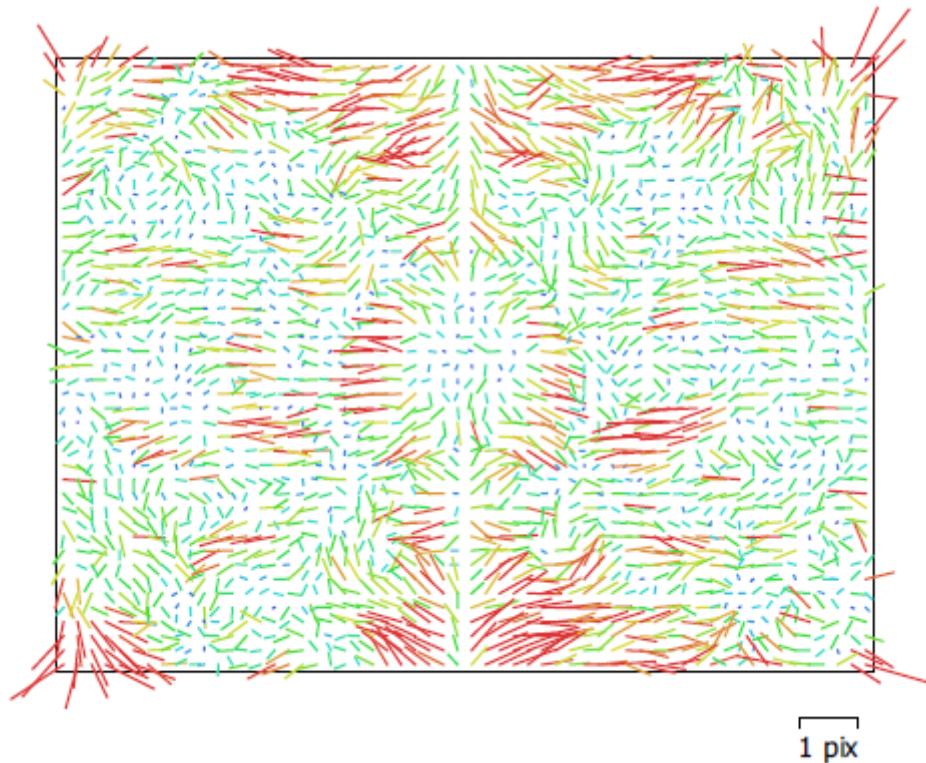
Μετά την ολοκλήρωση του εντοπισμού των φωτοσταθερών, ακολούθησε η εισαγωγή των συντεταγμένων τους (από το txt αρχείο που είχε εξαχθεί με τις μετρήσεις του γεωδαιτικού GPS), ενώ, κατόπιν, ορίστηκε το σύστημα αναφοράς των φωτοσταθερών (CGRS_1993 LTM).

Μεταβαίνοντας σε κάθε μία από τις φωτογραφίες, με κινήσεις τύπου drag 'n' drop (μετακινείς τον κέρσορα και κεντρώνεις τα σημεία πάνω στα φωτοσταθερά), έτσι διορθώνεται, η προτεινόμενη από το πρόγραμμα, θέση του φωτοσταθερού, με την αντίστοιχη εκτιμώμενη από το χρήστη ώστε να ικανοποιούν την ακρίβεια που απαιτεί το έργο. Με την ίδια διαδικασία εντοπίζονται αντίστοιχα σε περίπτωση ύπαρξης σημείων ελέγχου.



Διάγραμμα 69: Σημεία Φωτοσταθερών και εκτίμηση ακρίβειας

Στη συνέχεια, ακολούθησε η βελτιστοποίηση (optimization camera) της ευθυγράμμισης των φωτογραφιών.



Διάγραμμα 70: Βελτιστοποίηση Κάμερας FC300X (3.61 mm)

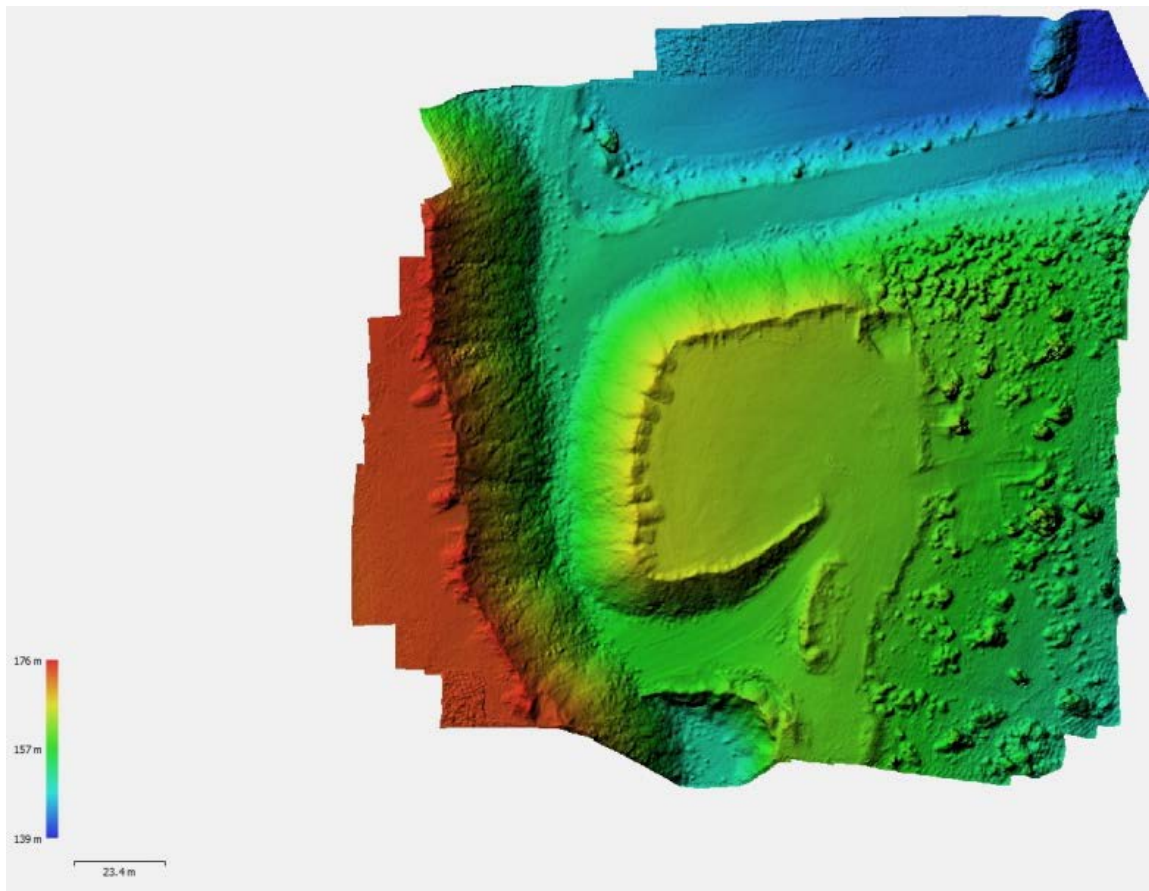
Στο επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία πολύ καλής ποιότητας του «νέφους σημείων» (Build Dense Cloud) από τις διορθωμένες, πλέον, φωτογραφίες. Μετά το πέρας της διεργασίας αυτής, δημιουργήθηκε το πλέγμα τριγώνων, όπως παραπάνω, με τη διαφορά ότι προέκυψε λαμβάνοντας υπόψη το «νέφος σημείων» που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα, με αποτέλεσμα την ύπαρξη μεγαλύτερου πλήθους τριγώνων και κατ' επέκταση μεγαλύτερης λεπτομέρειας.

Κατόπιν, δημιουργήθηκε η υφή (Build Texture) της περιοχής μελέτης, η οποία σε συνδυασμό με το πλέγμα των τριγώνων στο προηγούμενο βήμα, έδωσε μια τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης, εντός του προγράμματος επεξεργασίας.



Διάγραμμα 71: Υφή Περιοχής Μελέτης

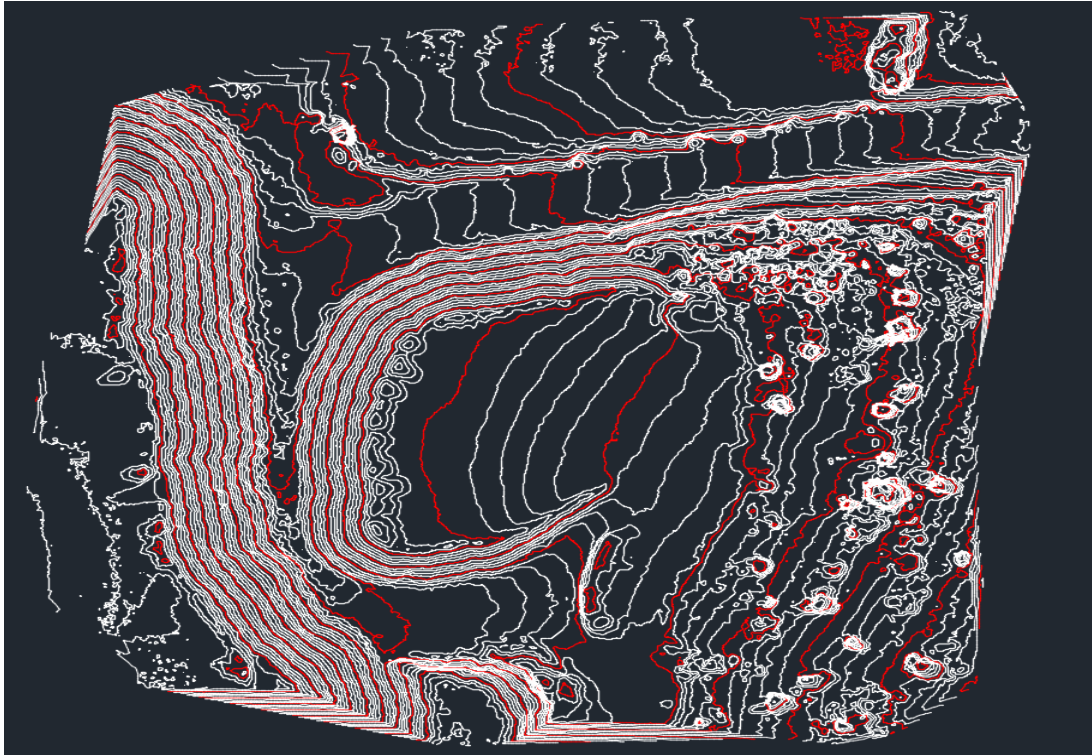
Πλέον, ήταν δυνατή η εξαγωγή του DEM καθώς και των ισοϋψών (Build DEM), και αργότερα δημιουργήσαμε τον ορθοφωτοχάρτη της περιοχής και του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (DSM) στην περίπτωση μας DTM γιατί ήταν αποτύπωση καθαρού εδάφους. Τέλος, δόθηκε η δυνατότητα να παραχθεί αναφορά για τον έλεγχο της ποιότητας των παραγόμενων αποτελεσμάτων.



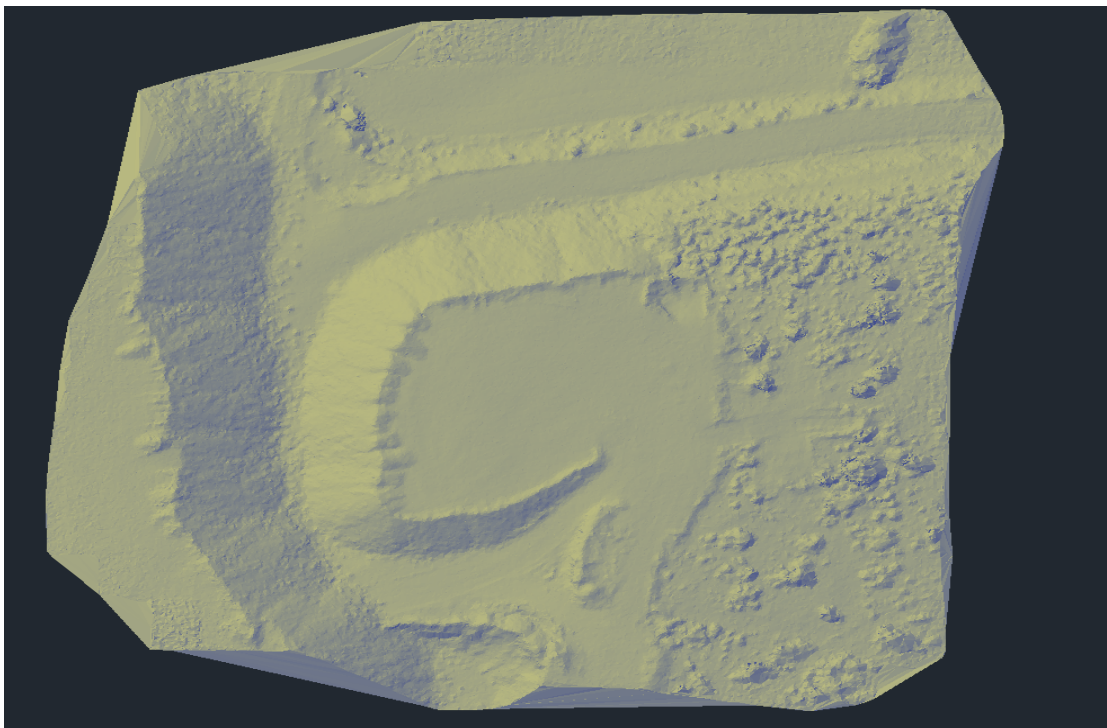
Διάγραμμα 72: Παραγωγή DEM

Μετά την παραγωγή των τελικών προϊόντων και την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της τοπογραφίας ακολούθησε η διαδικασία του κυβισμού μέσα από το πρόγραμμα CIVIL 3D AutoDesk. Η επεξεργασία περιλάμβανε βασικά τα στάδια δημιουργίας, αντιπροσωπευτικής επιφάνειας μεταξύ της παραγόμενης τοπογραφίας από το Drone και της αρχικής επιφάνειας/βάσης κατά την εναπόθεση του υλικού για την δημιουργία του αποθέματος.

Μετά την δημιουργία αντιπροσωπευτικών επιφανειών, επιτεύχθηκε η εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας, όσον αφορά την ογκομέτρηση ποσότητας του σωρού.

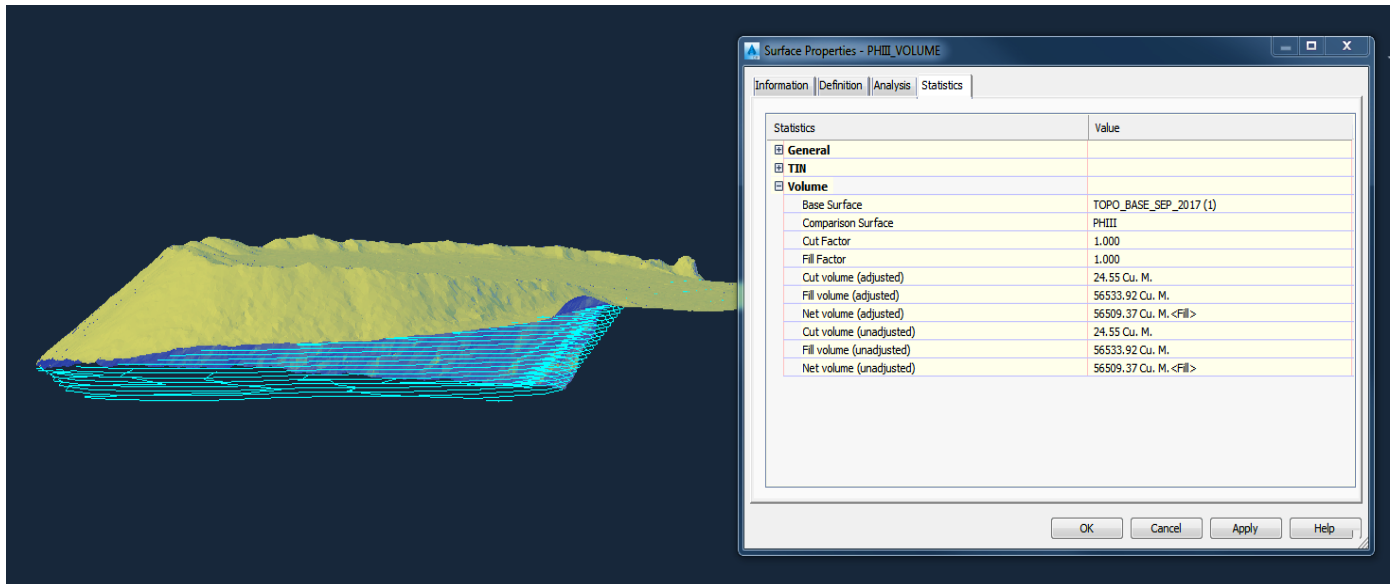


Διάγραμμα 73: Αρχική Τοπογραφία Phantom III Pro



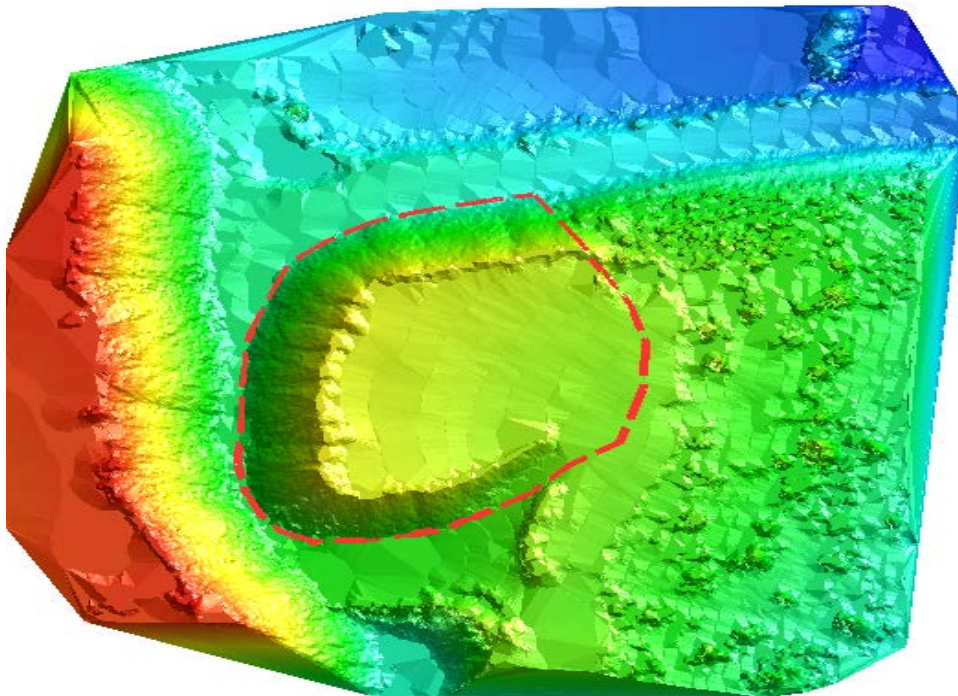
Διάγραμμα 74: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)

Πίνακας 15 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με UAV (PHII PROFESSIONAL)



Με βάση τους υπολογισμούς, εξάγεται η ποσοτική εκτίμηση του αποθέματος με βάση το προϊόν του UAV Phantom III Pro σε 56533.92 κυβικά μέτρα m^3 .

Να σημειωθεί ότι για σκοπού σύγκρισης και εκτίμησης, έγινε υπολογισμός επίσης με το εξειδικευμένο Μεταλλευτικό λογισμικό Geovia Surpac της εταιρείας Dassult Systemes.



Διάγραμμα 75: Τρισδιάστατο Ψηφιακό Μοντέλο Ασβεστολιθικού Σωρού

Τα αποτελέσματα παραθέτονται στον πιο κάτω πίνακα με ποσοτική εκτίμηση στα 56.554m³.

Πίνακας 16 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με UAV (PHI PROFESSIONAL)

DTM CUT AND FILL VOLUME REPORT		May 01, 2018	
First DTM: ΚΑΛΑΒΑΣΟΣ_ΒΑΣΗ_ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ_new.dtm			
Second DTM: export_conturs_m1_-152.dtm			
Upper DTM object ID: 1			
Upper DTM trisolation ID: 1			
Lower DTM object ID: 1			
Lower DTM trisolation ID: 1			
Boundary file: bdy_cut_topo_new.str			
Boundary string: 101			
Number of segments: 1			
Density: 1.000			
Volumes			
Cut Vol	Fill Vol	Nett Vol	Nett Tonnage
0	56554	56554	56554

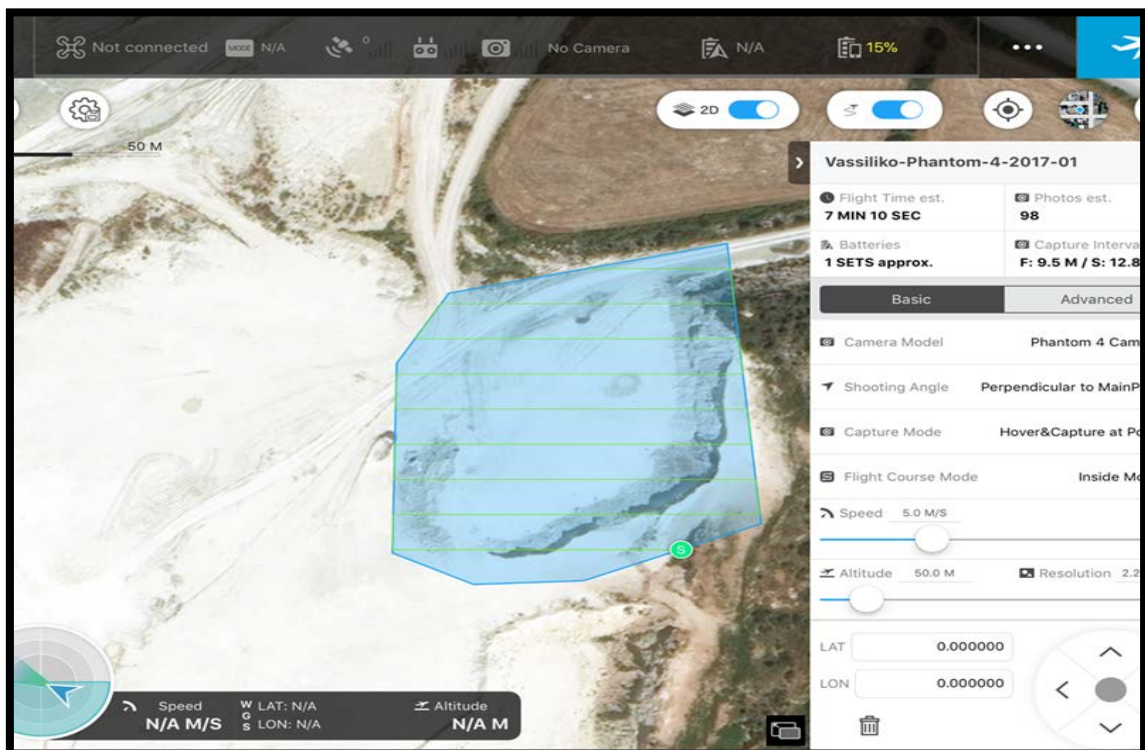
ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΕΡΟΜΟΝΤΕΛΟΥ (PHANTOM IV)

Η ίδια διαδικασία και φιλοσοφία ακολουθήθηκε στα πλαίσια συλλογής δεδομένων με το τύπο UAV Phantom IV.



Διάγραμμα 76: UAV: Phantom IV

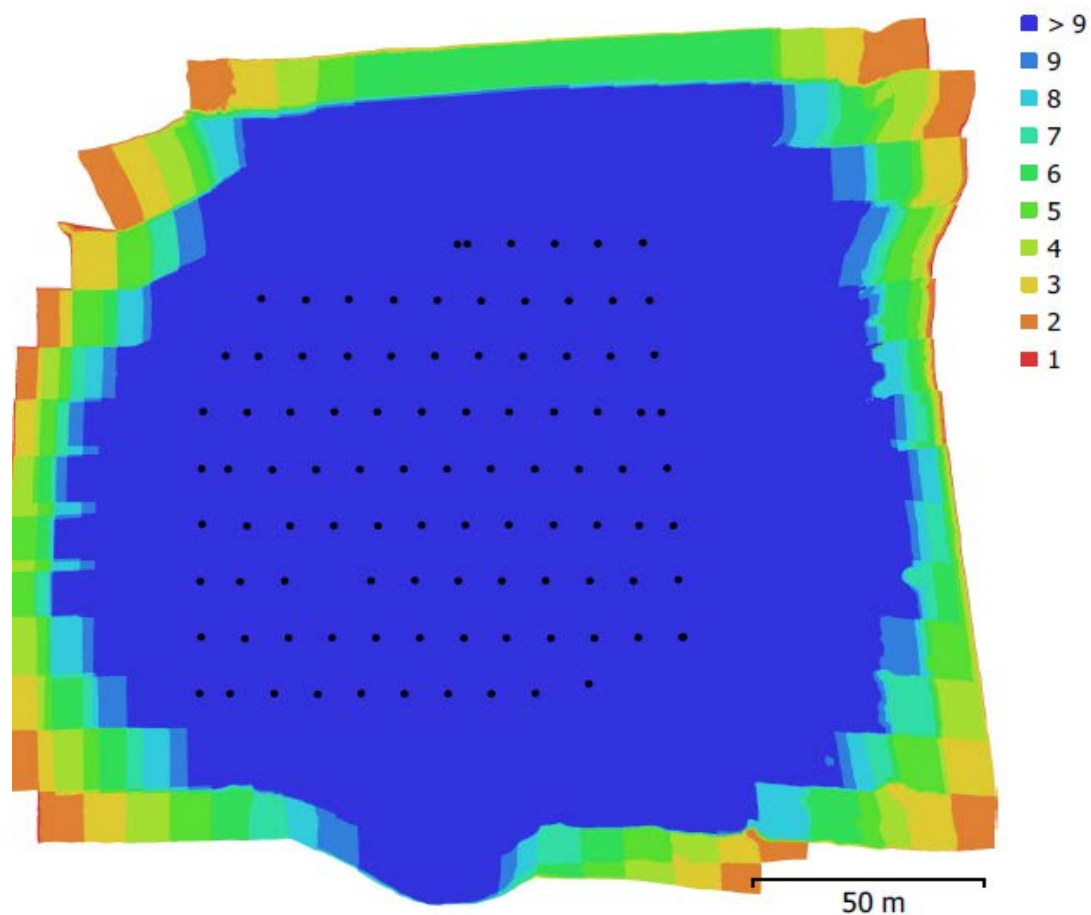
Αρχικά ορίστηκε η περιοχή φωτογράφισης όπως φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα.



Διάγραμμα 77: Περίγραμμα πτήσης περιοχής μελέτης

Αρχικά λοιπόν, πραγματοποιήθηκε μετάβαση στο ίδιο σημείο απογείωσης και στη συνέχεια, ακολούθησε η ίδια προετοιμασία του UAV, αντίστοιχα με το Phantom III. Έπειτα, ακολούθησε η εκκίνηση στο έδαφος (Ground Control Station) και ο έλεγχος της ραδιοζεύξης μεταξύ του UAV και του υπολογιστή, όπου και θα μεταδίδονται τα δεδομένα τηλεμετρίας. Τέλος, εκκινήθηκαν οι ρότορες και το όχημα ήταν έτοιμο για την απογείωση.

Το ύψος πτήσης για το Phantom IV ορίστηκε στα 50 μέτρα ενώ η γωνία λήψης φωτογραφιών ορίστηκε στις 90 μοίρες, δηλαδή κάθετα ως προς το επίπεδο ενδιαφέροντος. Επιπλέον η ταχύτητα πτήσης ήταν 5 m/s η φωτογραφική κάμερα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η FC 330 X (3.61mm) ανάλυσης 12Mpixels. Η επικάλυψη των φωτογραφιών ορίστηκε σε ογδόντα τοις εκατό 80% κατά μήκος πτήσης και σε εξήντα τοις εκατό 60% κατά πλάγιως, προκύπτοντας έτσι αποτύπωμα της κάθε φωτογραφίας διαστάσεων 88X66.



Διάγραμμα 78: Σημεία λήψης Φωτογραφιών και Επικάλυψη

Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών φωτογραφιών ήταν 9 μέτρα ενώ το πλήθος των φωτογραφιών που έπρεπε να ληφθούν για να καλυφθεί η ευρύτερη περιοχή ήταν (97).

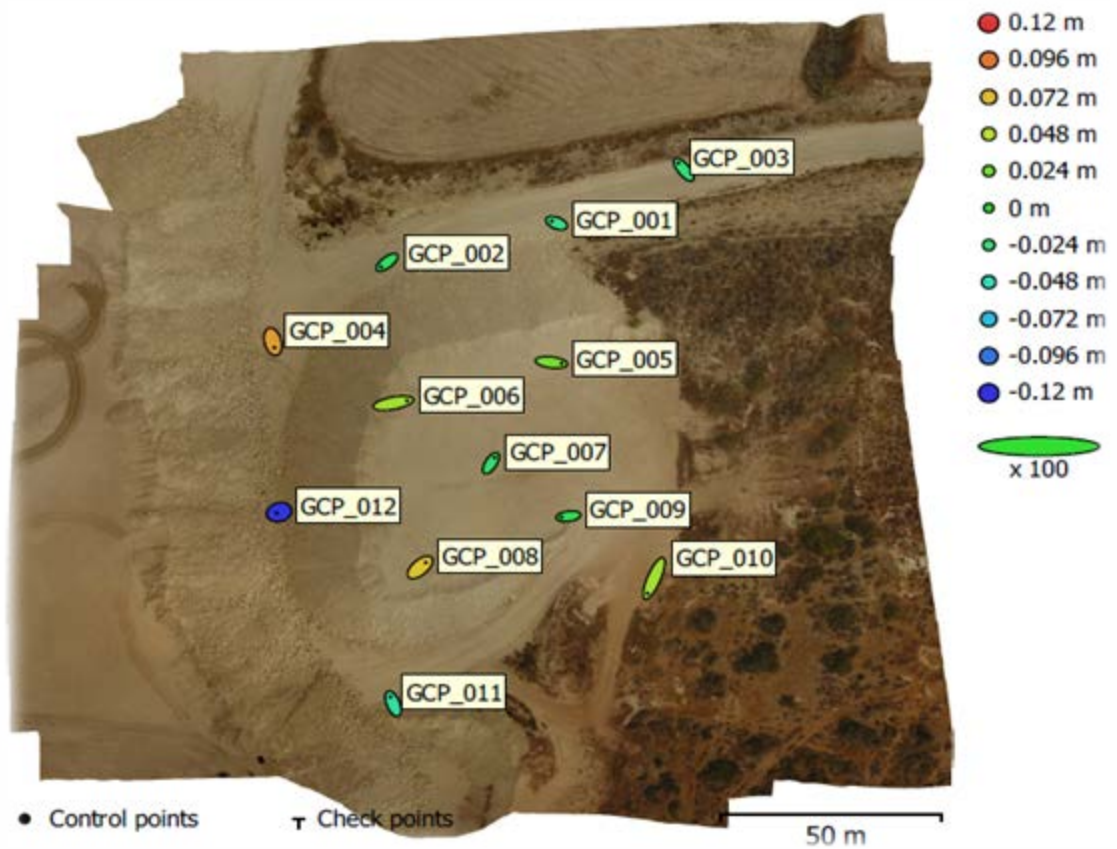
Η συνολική απόσταση που κάλυψε το UAV είναι 873 μέτρα και η διάρκεια πτήσης ορίστηκε στα επτά λεπτά και δέκα δευτερόλεπτα 7 (7' 10"), με τις φωτογραφίες να λαμβάνονται ανά 4.43 δευτερόλεπτα. Η συνολική έκταση επιφάνειας που κάλυψε είναι 37.300 m²

Στην συνέχεια αφού συλλέχθηκαν τα δεδομένα από τα UAV, ακολούθησε η μετέπειτα επεξεργασία.

Αρχικά εξήχθησαν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων που είχαν αποτυπωθεί σε αρχείο excel και αργότερα σε αρχείο *.txt. Από την στιγμή που οι πληροφορίες των φωτοσταθερών μετά τον έλεγχο ήσαν σωστές, ασχοληθήκαμε με την επεξεργασία του UAV. Μέσα από την ειδική υποδοχή που υπάρχει στον εξοπλισμό του UAV ελήφθη το αρχείο καταγραφής των δεδομένων της πτήσης. Το υπόψη αρχείο (flight log), περιέχει όλα τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί από την ώρα εκκίνησης του εξοπλισμού μέχρι την στιγμή της προσγείωσης του.

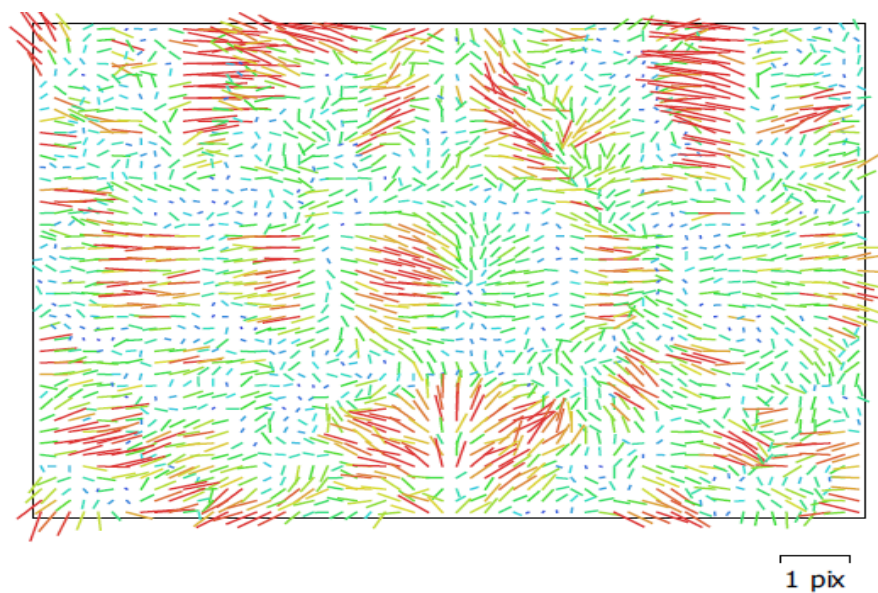
Στην συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία της επεξεργασίας των φωτογραφιών με την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας Agisoft PhotoScan της εταιρείας Agisoft (www.agisoft.com).

Αφού ακολουθήθηκαν όλα τα στάδια με την ίδια διαδικασία εντοπίζονται τα φωτοσταθερά και η επιδίωξη της σχετικής τους ακρίβειας



Διάγραμμα 79: Σημεία Φωτοσταθερών και εκτίμηση ακρίβειας

Στη συνέχεια, ακολούθησε η βελτιστοποίηση (optimization camera) της ευθυγράμμισης των φωτογραφιών.



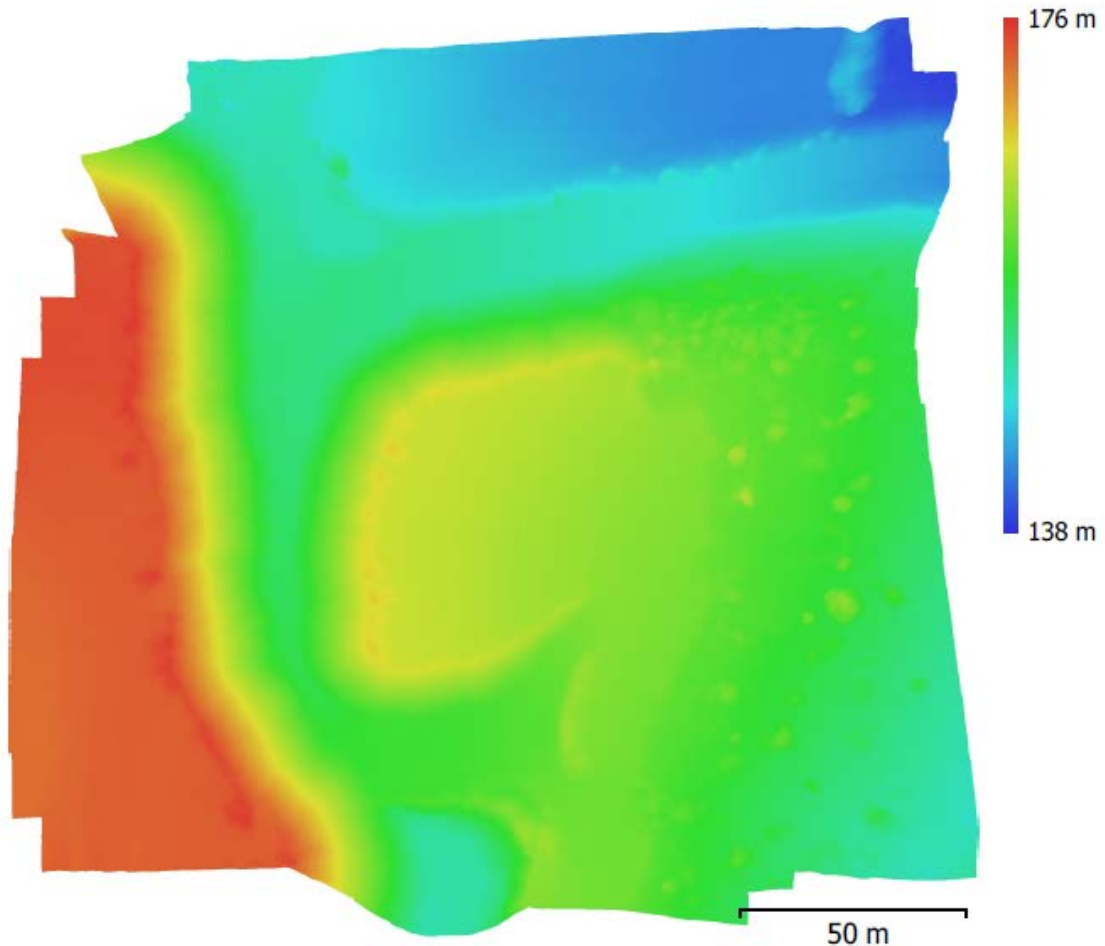
Διάγραμμα 80: Βελτιστοποίηση Κάμερας FC330X (3.61 mm)

Στο επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία πολύ καλής ποιότητας του «νέφους σημείων» (Build Dense Cloud) από τις διορθωμένες, πλέον, φωτογραφίες. Κατόπιν, δημιουργήθηκε η υφή (Build Texture) της περιοχής μελέτης, η οποία σε συνδυασμό με το πλέγμα των τριγώνων στο προηγούμενο βήμα, έδωσε μια τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής μελέτης, εντός του προγράμματος επεξεργασίας.



Διάγραμμα 81: Υφή Περιοχής Μελέτης

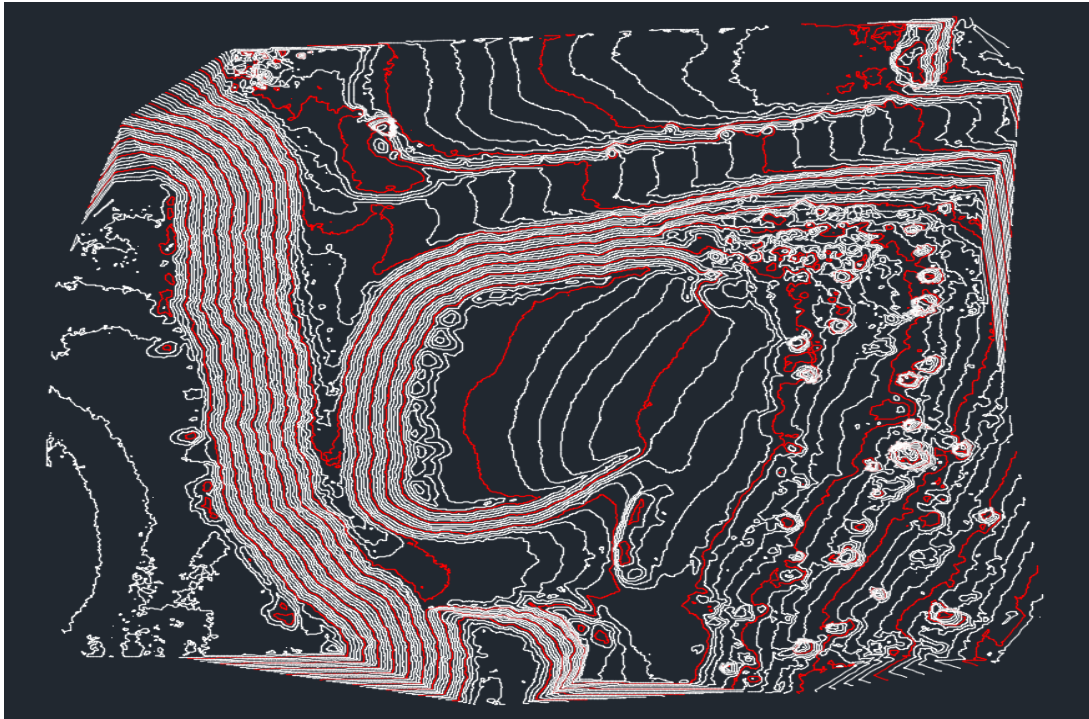
Ακολούθως, ήταν δυνατή η εξαγωγή του DEM καθώς και των ισοϋψών (Build DEM), και αργότερα δημιουργήσαμε τον ορθοφωτοχάρτη της περιοχής και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, στην περίπτωση μας DTM γιατί ήταν αποτύπωση καθαρού εδάφους. Τέλος, δόθηκε η δυνατότητα να παραχθεί αναφορά για τον έλεγχο της ποιότητας των παραγόμενων αποτελεσμάτων.



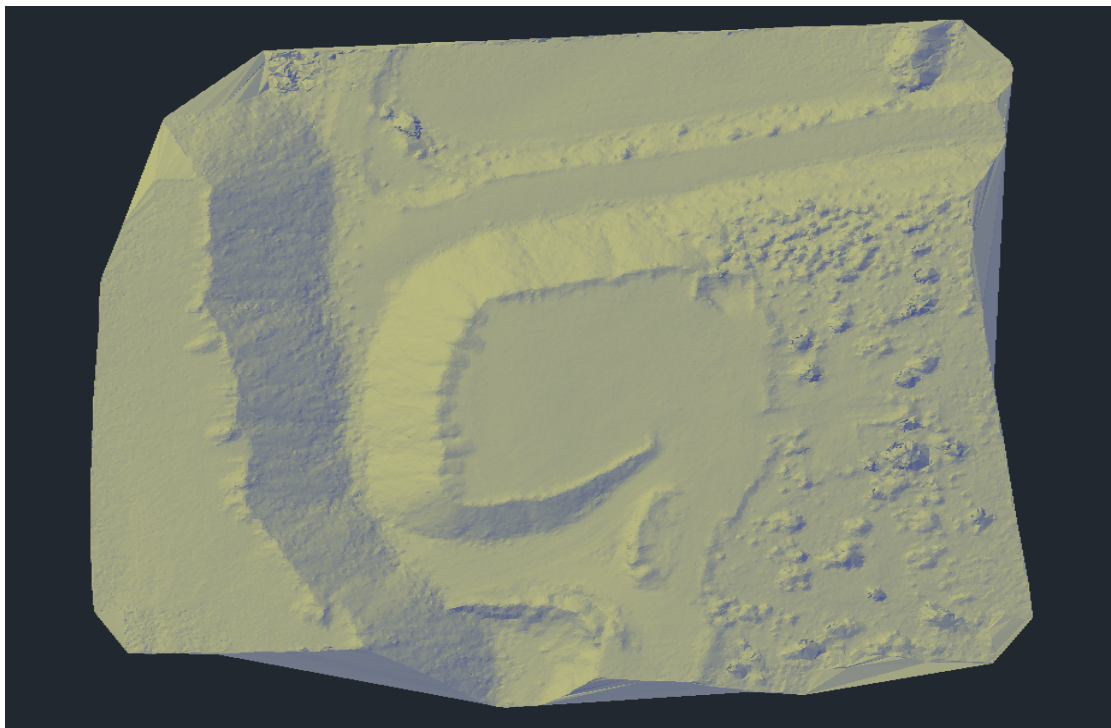
Διάγραμμα 82: Παραγωγή DEM

Μετά την παραγωγή των τελικών προϊόντων και την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της τοπογραφίας ακολούθησε η διαδικασία του κυβισμού μέσα από το πρόγραμμα CIVIL 3D AutoDesk. Η επεξεργασία περιλάμβανε βασικά τα στάδια δημιουργίας, αντιπροσωπευτικής επιφάνειας μεταξύ της παραγόμενης τοπογραφίας από το Drone και της αρχικής επιφάνειας/βάσης κατά την εναπόθεση του υλικού για την δημιουργία του αποθέματος.

Μετά την δημιουργία αντιπροσωπευτικών επιφανειών, επιτεύχθηκε η εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας, όσον αφορά την ογκομέτρηση ποσότητας του σωρού

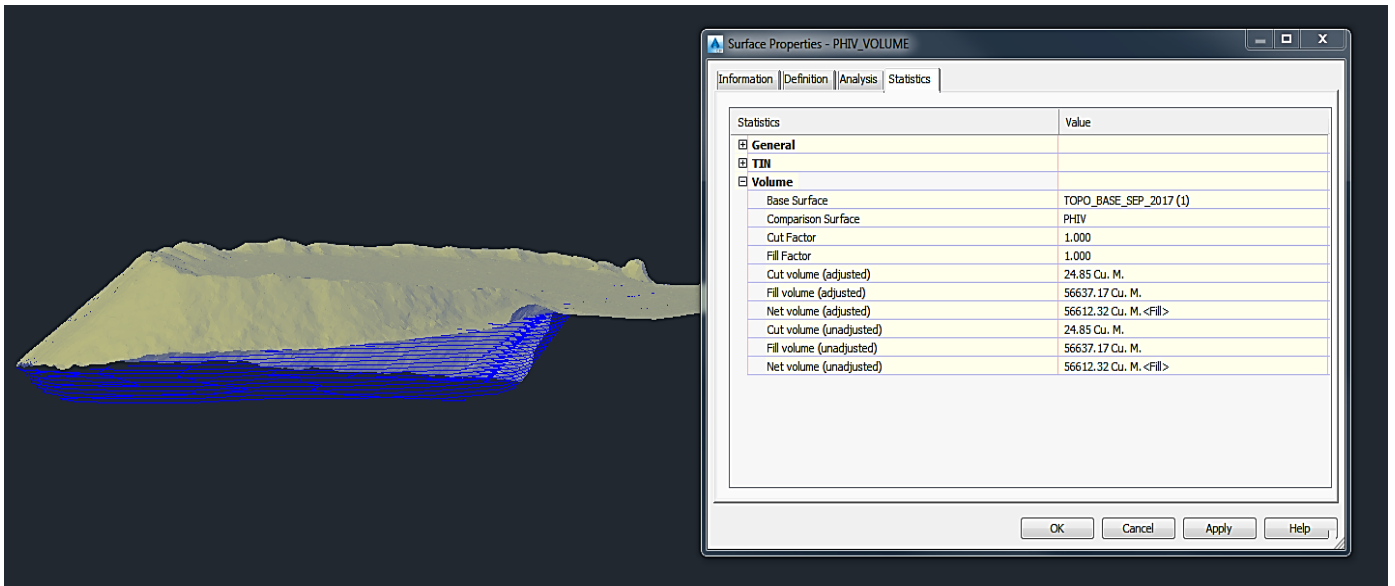


Διάγραμμα 83: Αρχική Τοπογραφία Phantom IV



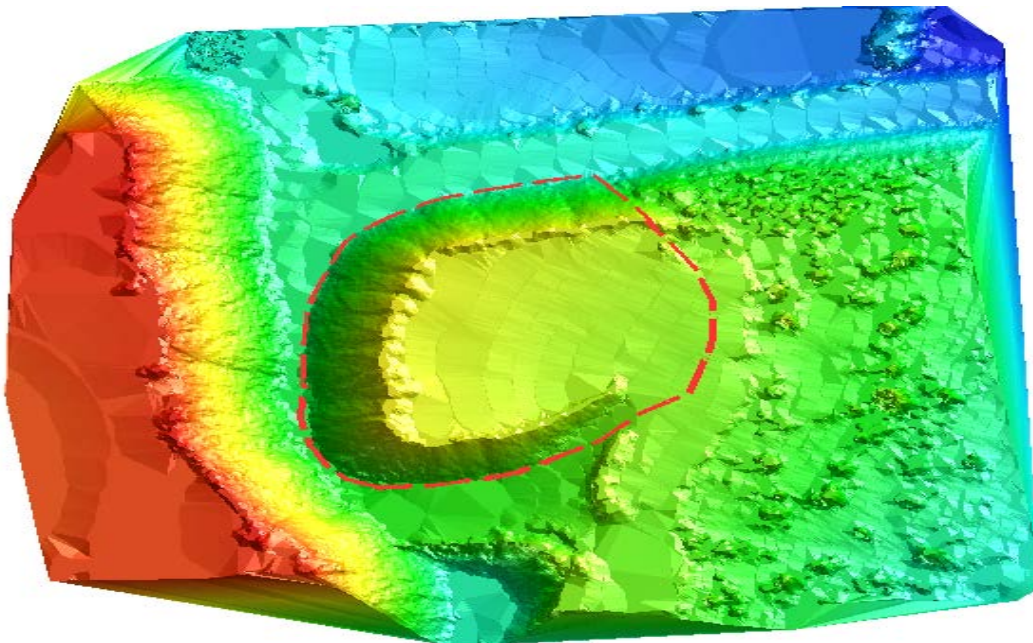
Διάγραμμα 84: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM)

Πίνακας 17 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με UAV (PHIV)



Με βάση τους υπολογισμούς, εξάγεται η ποσοτική εκτίμηση του αποθέματος με βάση το προϊόν του UAV Phantom III Pro σε 56637.17 κυβικά μέτρα m³.

Να σημειωθεί ότι για σκοπού σύγκρισης και εκτίμησης, έγινε υπολογισμός επίσης με το εξειδικευμένο Μεταλλευτικό λογισμικό Geovia Surpac της εταιρείας Dassult Systemes.



Διάγραμμα 85: Τρισδιάστατο Ψηφιακό Μοντέλο Ασβεστολιθικού Σωρού

Τα αποτελέσματα παραθέτονται στον πιο κάτω πίνακα με ποσοτική εκτίμηση στα 56.631m³.

Πίνακας 18 : Αποτελέσματα Ογκομέτρησης με UAV (PHI PROFESSIONAL)

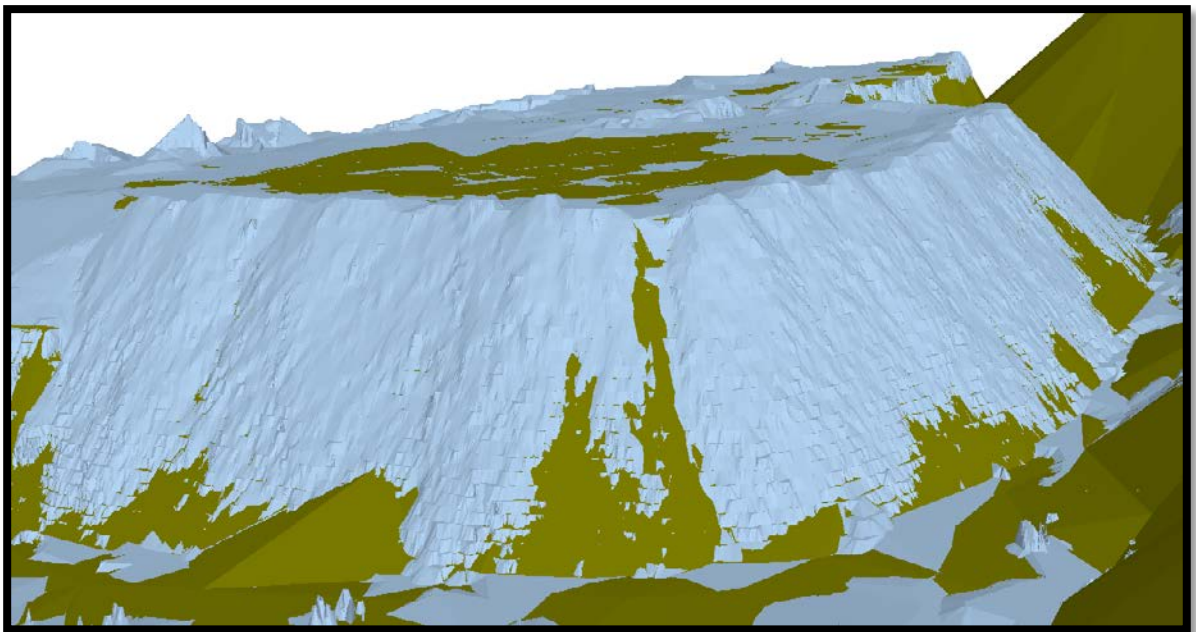
DTM CUT AND FILL VOLUME REPORT		May 01, 2018	
First DTM: ΚΑΛΑΒΑΣΟΣ_ΒΑΣΗ_ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ_new.dtm			
Second DTM: m2_cont_-152.dtm			
Upper DTM object ID: 1			
Upper DTM trisolation ID: 1			
Lower DTM object ID: 1			
Lower DTM trisolation ID: 1			
Boundary file: bdy_cut_topo_new.str			
Boundary string: 101			
Number of segments: 1			
Density: 1.000			
Volumes			
Cut Vol	Fill Vol	Nett Vol	Nett Tonnage
-----	-----	-----	-----
0	56631	56631	56631

Αφού ολοκληρώθηκαν οι διαδικασίες και εξήχθησαν τα τελικά αποτελέσματα των ογκομετρήσεων από τις διάφορες γεωχωρικές τεχνολογίες, έγινε προσπάθεια κατανόησης των μικρών διαφορών που υπάρχουν κατά τις ογκομετρήσεις. Κατά την διαδικασία αυτή συγκρίθηκαν όλα τα αποτελέσματα με την αποτύπωση του Laser Scanner σαν βάση αναφοράς καθώς διαθέτει την μεγαλύτερη ακρίβεια αποτύπωσης.

Η επεξεργασία έγινε με την βοήθεια του λογισμικού ArcGIS και των εφαρμογών ArcMap και ArcScene.

Αρχικά έγινε σύγκριση των δυο ογκομετρήσεων μεταξύ Laser Scanner και GPS μεταξύ των οποίων υπάρχει και η μεγαλύτερη διαφορά σε ποσότητα 1.490 m³.

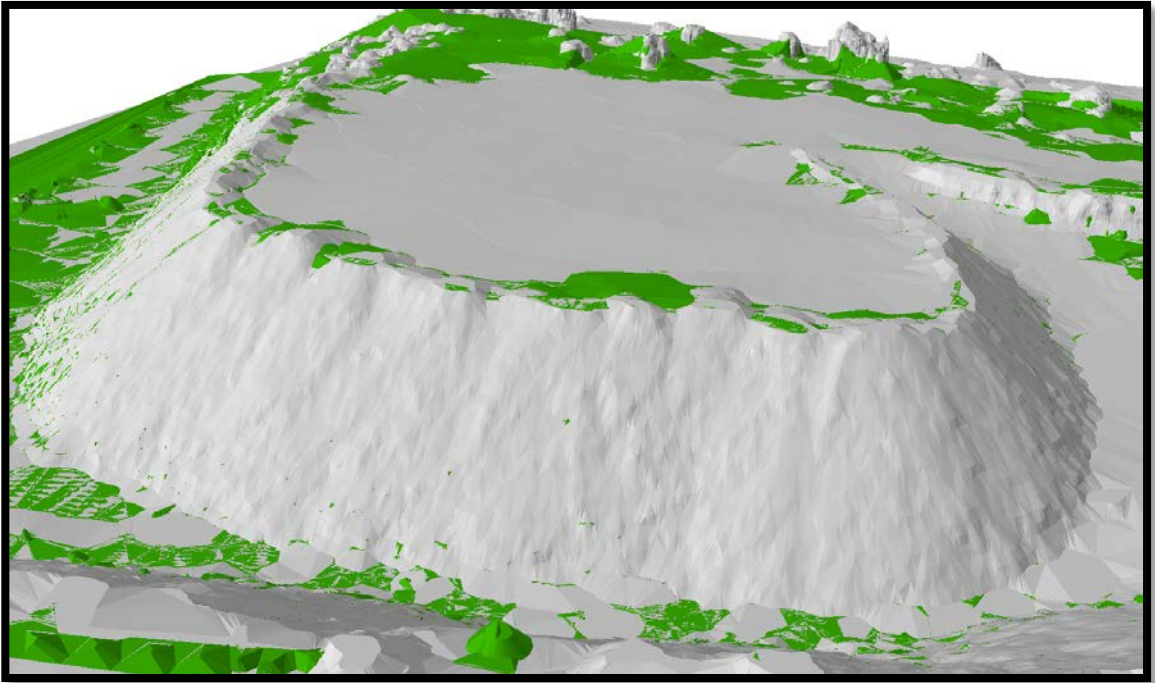
Με βάση την πιο κάτω εικόνα μπορεί εύκολα να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ο περισσότερος αφαιρετικός όγκος πληροφορίας από πλευράς αποτύπωσης με GPS οφείλεται κυρίως στην αδυναμία λεπτομερούς αποτύπωσης του πρανούς με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται η γεωμετρία της κλίσης από το φρύδι προς το πόδι του πρανούς.



Διάγραμμα 86: Διαφορές στις ποσότητες μεταξύ των επιφανειών Laser Scanner (Πράσινο)-GPS (Λευκό)

Ακολούθως έγινε σύγκριση του Laser Scanner και του Phantom III Pro, από τις οποίες διαπιστώθηκε ότι έχουν και μικρότερη απόκλιση στον υπολογισμό του όγκου.

Από την εικόνα φαίνεται ότι υπάρχει μια μεγαλύτερη και πιο αντιπροσωπευτική αναπαράσταση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του σωρού. Παραμένουν όμως κάποιες διαφορές που αυτές οφείλονται στην λεπτομέρεια των παραμέτρων της όλης διαδικασίας για την απόκτηση των δεδομένων.



**Διάγραμμα 87: Διαφορές στον κυβισμό μεταξύ των επιφανειών Laser Scanner (Πράσινο)-
PHIII (Λεύκο)**

Στα ίδια πλαίσια σύγκρισης μεταξύ του Laser Scanner και του Phantom IV, από τις οποίες διαπιστώθηκε ότι έχουν παρόμοια συμπεριφορά με αυτήν του PHIII με λίγο μεγαλύτερη απόκλιση στον υπολογισμό του όγκου που οφείλεται κυρίως στο μεγαλύτερο ύψος πτήσης.

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αναλύοντας τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την όλη προσέγγιση του θέματος συμπεραίνουμε ότι, η χρήση των Drones μπορεί να καλύψει το κενό μεταξύ της παραδοσιακής τοπογραφικής μεθόδου με χρήση GPS, σε σχέση με τις νέες τεχνολογίες εναέριας αποτύπωσης γιατί εξασφαλίσαμε ακρίβειες ογκομέτρησης $\leq 2\%$ το οποίο είναι ευρέως αποδεκτό, καθώς το σφάλμα σε τέτοιες περιπτώσεις αποτυπώσεων δεν πρέπει να ξεπερνά το 3%. Αυτός ήταν και ο πρωταρχικός στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Μέσα από την επαλήθευση του στόχου αυτού, είναι δεδομένο ότι η τάση αντικατάστασης και ομαλής μετάβασης προς τις νέες διαθέσιμες τεχνολογίες των Drones, θα βρίσκεται στις προτεραιότητες και αυτού του κλάδου στο άμεσο μέλλον.

Πιο κάτω παραθέτονται τα αποτελέσματα σύγκρισης των διάφορων γεωχωρικών τεχνολογιών, ως προς την βάση αναφοράς που είναι η αποτύπωση με την χρήση του Laser Scanner.

Πίνακας 19 : Σύγκριση Ογκομέτρησης Γεωχωρικών Τεχνολογιών ως προς την Βάση αναφοράς (LASER SCANNER)

	AutoDesk Civil 3D (M3)	ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ (M3)	LASER SCANNER %	ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΓΚΟΥ (M3)
LASER SCANNER	55,487		0	0
PHIII	56,533		1.885	-1,046
PHIV	56,637		2.073	-1,150
GPS	54,264	53,976	-2.723	1,511
	Geovia Surpac (M3)			
LASER SCANNER	55,530		0.000	0
PHIII	56,554		1.844	-1,067
PHIV	56,631		1.983	-1,144
GPS	54,299		-2.217	1,188

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων προκύπτει το γεγονός ότι, η χρήση του εναέριου εξοπλισμού (Drones), είναι η πιο προσεγγιστική από θέμα ακρίβειας ως προς την μέτρηση αναφοράς που έγινε με το του LASER SCANNER.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει διαφορά 1.88%, στο σύνολο της ογκομετρικής αποτύπωσης μεταξύ LASER SCANNER και PHII, η οποία είναι και η πιο μικρή απόκλιση από τις υπόλοιπες μεθόδους. Ακολουθώντας με τη χρήση PHIV έχουμε πετύχει την δεύτερη πιο καλή μέτρηση με 2% διαφορά, στο συνολικό όγκο με του LASER SCANNER.

Η χειρότερη ακρίβεια έχει παρατηρηθεί μεταξύ της παραδοσιακής αποτύπωσης με χρήση εξοπλισμού GPS 2.7%, ως προς τον συνολικό όγκο μεταξύ του LASER SCANNER.

Μέσα από τις παρατηρήσεις και την εκτενή έρευνα που έγινε διαπιστώθηκε ότι η σημαντική διαφορά απόκλισης της παραδοσιακής μεθόδου σε σχέση με το Laser Scanner οφείλεται αφενός στην αφαιρετική πληροφορία της μεθόδου και αφετέρου αυτή, ενισχύεται ακόμη περισσότερο, λόγω της ιδιαιτερότητας του ανάγλυφου προς αποτύπωση των συγκεκριμένων περιοχών δραστηριότητας.

Ειδικότερα σε περιπτώσεις αποτύπωσης τέτοιου ανάγλυφου, δηλαδή λατομείων ή σωρών επιβάλλεται η συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερων σημείων, ώστε να γίνεται η όσο το δυνατόν ικανοποιητική αναπαράσταση του. Το συγκεκριμένο ανάγλυφο λόγω του ότι περιέχει απότομες αλλαγές της φυσικής επιφάνειας, χρειάζεται λεπτομέρεια ώστε να αποτυπωθεί με ακρίβεια και η μέθοδος χρήσης των εναέριων τεχνολογιών μπορούν να την παρέχουν. Το γεγονός αυτό διαπιστώθηκε πολύ εύκολα, με την σύγκριση του σύννεφου σημείων που προέκυψαν, είτε από το Laser Scanner είτε από τα Drones έναντι του GPS καθώς αρκετή πληροφορία χάνεται λόγω της μη ικανοποιητικής κάλυψης των επιφανειών.

Για την μικρή σχετικά διαφορά μεταξύ των Drones (PHIII-PHIV), μέσα από την ανάλυση των παραμέτρων καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι οφείλεται κυρίως για δυο λόγους, ο πρώτος έχει να κάνει με το μεγαλύτερο ύψος πτήσης κατά 10 μέτρα του PHIV αυτό επηρέασε την ακρίβεια καθώς μεγάλωσε το pixel size από 1.7 cm/pix σε 2.2 cm/pix. Αυτό επίσης επηρέασε αργότερα στην φάση ακρίβειας κεντραρίσματος των φωτοσταθερών πάνω στις φωτογραφίες αυξάνοντας/διπλασιάζοντας έτσι το οριζοντιογραφικό σφάλμα από XY: 0.0222312 m (PHIII) σε XY: 0.0424164 m (PHIV) και κατ επέκταση το συνολικό σφάλμα από XYZ: 0.0470494 m (PHIII) σε XYZ: 0.0673632 m (PHIV).

Πέραν των υπόλοιπων θετικών, σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί επίσης, η ταχύτητα συλλογής δεδομένων σε αναλογία του χρόνου αποτύπωσης και επεξεργασίας προς την συνολικά αποτυπωθείσα έκταση των 36 δεκαρίων (116 σημεία/m²). Πέραν τούτου τα παράγωγα τελικών αποτελεσμάτων είναι εντυπωσιακά και περιέχουν περισσότερη πληροφορία που μπορεί να αξιοποιηθεί. Για παράδειγμα η μέτρηση μιας έκτασης με συμβατική τοπογραφική μεθοδολογία έναντι σύγχρονης φωτογραμμετρικής μεθόδου με χρήση drone παράγει, αντί των απλών μεμονωμένων σημείων και γραμμών, μια πλήρη φωτορεαλιστική 3D εικόνα του φυσικού τοπίου, από την οποία μπορεί να εξαχθεί πλήθος πληροφοριών, δημιουργώντας υψηλής χωρικής ανάλυσης ψηφιακών μοντέλων εδάφους με ακρίβειες <2cm/pix. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός του σημαντικά μειωμένου κόστους, καθώς η συγκεκριμένη εργασία υλοποιήθηκε από ένα άτομο με παραγωγή μεταξύ 27.000 σημείων (PHIII Pro) και 36.000 σημείων (PHIV), σε μέσο χρόνο 7 λεπτών, εν αντιθέσει με την παραδοσιακή μέθοδο η οποία χρειάζεται έναν άτομο τουλάχιστον 1 ώρα αποτύπωσης και αντίστοιχο χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων στο γραφείο.

Επιπλέον αξίζει να αναφερθεί το γεγονός επανεξέτασης από πλευράς της εταιρείας όσον αφορά του συντελεστή ειδικού βάρους που χρησιμοποιεί, για τον υπολογισμό των τόνων μεταφοράς από το απόθεμα προς το εργοστάσιο. Το στοιχείο αυτό προέκυψε στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης, καθώς μετά την αποτύπωση έγινε προσπάθεια τροφοδοσίας της συνολικής ποσότητας του υλικού και έχει ζυγιστεί με συνολική ποσότητα μεταφοράς 83.266 tn.



Διάγραμμα 88: Βάση αποθέματος μετά την τροφοδοσία του υλικού

Με βάση την ολοκληρωμένη εικόνα είναι αποδεκτό ότι ο στόχος επιτεύχθει, καθώς από τα αποτελέσματα διαφαίνεται ξεκάθαρα ότι η χρήση Drones είναι δόκιμη για εναέρια αποτύπωση και παρακολούθηση του δυναμικού περιβάλλοντος της εξορυκτικής βιομηχανίας.

Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν επίσης και με την ευρύτερη βιβλιογραφία που υπάρχει στο χώρο και αναφέρεται στην παρούσα εργασία, μέσα από διάφορες δοκιμές συγκρίσεων της ποιότητας και ακρίβειας ως προς τα τελικά προϊόντα από τα Drones.

Καταλήγοντας να αναφέρουμε επίσης ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση, κρίνεται πολύ καλή ιδέα η απόκτηση Drone από την εταιρεία για την εφαρμογή του στο πεδίο, με αντιστάθμισμα τα πολλαπλά οφέλη στα διάφορα στάδια επεξεργασίας. Ο τύπος και η επιλογή Drone θα πρέπει να διαθέτει μεγαλύτερη κάμερα ανάλυσης (20 MPixel) αλλά και χρήση RTK (Real Time Kinematic), μπορεί αυτό να αυξάνει το αρχικό κόστος αγοράς αλλά σίγουρα θα δώσει πολύ καλύτερα αποτελέσματα <2-3 cm XYZ και θα αυξήσει το χρόνο ευελιξίας και των καθυστερήσεων καθώς δεν θα χρειάζεται πλέον η ανάγκη τοποθέτησης φωτοσταθερών σημείων (GCPs) στο πεδίο και παράλληλα θα συντομευθεί ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων.

7 Συμπεράσματα

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται τα συμπεράσματα που κατά τη γνώμη του συγγραφέα μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη του.

Επίσης, λαμβάνονται υπόψη οι στόχοι της μελέτης καθώς και τυχόν περιορισμοί που προέκυψαν από συστηματικά σφάλματα αλλά και τις προσπάθειες που έγιναν για αντιμετώπισή τους.

Προς το τέλος της ενότητας αναφέρονται συγκεκριμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα και πρακτική εφαρμογή. Τέλος, διατυπώνονται πιθανά ερωτήματα που προέκυψαν μέσα από την έρευνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] I. Colomina and P. Molina, “Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review,” *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 92, pp. 79–97, 2014.
- [2] Q. Wang *et al.*, “Accuracy Evaluation of 3D Geometry from Low-Attitude UAV collections A case at Zijin Mine,” *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XL-4, no. May, pp. 297–300, 2014.
- [3] C. Arango and C. A. Morales, “Comparison between multicopter UAV and total station for estimating stockpile volumes,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 40, no. 1W4, pp. 131–135, 2015.
- [4] B. Draeyer and C. S. February, “White paper : How accurate are UAV surveying methods? answer . A comparison between Pix4D UAV photogrammetry software and,” no. February, pp. 1–8, 2014.
- [5] D. Frisch and S. K. Jones, “Assessing the Accuracy of Decisions,” *Theory Psychol.*, vol. 3, no. 1, pp. 115–135, 1993.
- [6] R. K. Rhodes, “UAS as an Inventory Tool: A Photogrammetric Approach to Volume Estimation by,” 2017.
- [7] X. Tong *et al.*, “Integration of UAV-based photogrammetry and terrestrial laser scanning for the three-dimensional mapping and monitoring of open-pit mine areas,” *Remote Sens.*, vol. 7, no. 6, pp. 6635–6662, 2015.
- [8] J. WAJS, “Research on Surveying Technology Applied for DTM Modelling and Volume Computation in Open Pit Mines,” vol. 22, pp. 75–84, 2015.
- [9] P. L. Raeva, S. L. Filipova, and D. G. Filipov, “Volume computation of a stockpile - A study case comparing GPS and uav measurements in an open pit quarry,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 2016–Janua, no. July, pp. 999–1004, 2016.
- [10] C. Álvarez, A. Roze, A. Halter, and L. Garcia, “Παραγωγή υψηλής ακρίβειας 3D δεδομένων με χρήση του drone eXom , senseFly.”