



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΖΑΡΑΚΑ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ



Αργυρή Βιέννα

Επιβλέπων καθηγητής: Ανδρέας Γεωργόπουλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2020



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
DEPARTMENT OF TOPOGRAPHY
LABORATORY OF PHOTOGRAMMETRY

GEOMETRIC DOCUMENTATION OF ZARAKA MONASTERY USING CONTEMPORARY METHODS



Argyri Vienna

Supervisor: Andreas Georgopoulos, NTUA Professor

ATHENS, MARCH 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το διάστημα Μάρτιος 2019 – Μάρτιος 2020. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνησή της και ιδιαίτερα:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο, για την πολύτιμη υποστήριξή του, τις παραγωγικές του υποδείξεις και το πολύ καλό κλίμα συνεργασίας, συμβάλλοντας τα μέγιστα για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και όλα τα μέλη του εργαστηρίου και κυρίως την κ. Σεβαστή Ταπεινάκη, για την πολύτιμη και εξειδικευμένη βοήθειά της σε όλα τα στάδια της διπλωματικής, καθώς και την κ. Μαργαρίτα Σκαμαντζάρη για την βοήθειά της τόσο στην συλλογή δεδομένων, όσο και στην επεξεργασία τους.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την εφορεία αρχαιοτήτων Κορινθίας για την εξασφάλιση της άδειας για τις μετρήσεις στον αρχαιολογικό χώρο και την αρχαιολόγο κ. Μαρία Αγκρέβη για την βοήθειά της και τις προτάσεις της ως προς την αναζήτηση ιστορικών πηγών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης, την εταιρία *Landmark Γρηγόρης Λουτρίδης*, για την ευγενική παραχώρηση του σαρωτή GeoSLAM ZEB-REVO για την χρήση του στο πεδίο στο στάδιο της συλλογής δεδομένων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν σε όλη την προσπάθειά μου. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου Ιωάννη Βιέννα για την αμέριστη στήριξη που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΩΝ	11
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΧΑΡΤΩΝ	11
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	12
ABSTRACT	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	15
1.1 Πολιτιστική Κληρονομιά.....	15
1.2 Κιστερκιανό Τάγμα	16
1.3 Κιστερκιανό Τάγμα στην Ελλάδα	18
1.4 Αρχιτεκτονική Κιστερκιανών Ναών.....	25
1.5 Μονή Ζαρακά	27
1.6 Ιστορικές Αναφορές για την Μονή.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	40
2.1 Εξοπλισμός.....	40
2.2 Αναγνώριση Αρχαιολογικού χώρου	45
2.3 Τοποθέτηση προσημασμένων σημείων	45
2.4 Πολυγωνομετρικό δίκτυο – Γεωδαιτικές μετρήσεις	47
2.5 Συλλογή φωτογραμμετρικών δεδομένων	49
2.6 Συλλογή νεφών σημείων με επίγειους σαρωτές laser.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	57
3.1 Επεξεργασία γεωδαιτικών μετρήσεων	57
3.2 Επεξεργασία σαρώσεων.....	62
3.2.1 Επεξεργασία Σαρώσεων Επίγειου Σαρωτή Faro.....	62
3.2.2 Επεξεργασία δεδομένων σαρωτή χειρός Zeb Revo	64
3.3 Επεξεργασία εικόνων.....	67
3.3.1 Η μέθοδος Structure from Motion (SfM) και Multiview Stereo (MVS). 67	
3.3.2 Προσανατολισμός Εικόνων.....	68
3.4 Σύγκριση νεφών	75
3.4.1 Συλλογή Δεδομένων	76
3.4.2 Επεξεργασία δεδομένων	77
3.4.3 Εξαγωγή οριζόντιων και κατακόρυφων τομών.....	82
3.4.4 Έλεγχος απόστασης μεταξύ νεφών σημείων – αλγόριθμος M3C2 ...	97

3.5 Δημιουργία επιφάνειας	125
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	135
4.1. Διερεύνηση επιπέδων προβολής.....	135
4.2 Παραγωγή Ορθοφωτογραφιών	138
4.3 Απόδοση Σχεδίων	143
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	148
5.1 Προβλήματα στα στάδια συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων	148
5.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....	154
5.3 Αποκτηθείσα Εμπειρία.....	159
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	161

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Κιστερκιανοί Ναοί τον 12ο και 13ο αιώνα.....	18
Εικόνα 1.2: Τοποθεσία Μονής Ζαρακά.....	28
Εικόνα 1.3: Ερείπια Πύλης, τειχών και Ναού της Μονής.....	29
Εικόνα 1.4: Τμήμα του τείχους προστασίας του μοναστηριού.....	30
Εικόνα 1.5: Φυλάκιο εισόδου.....	31
Εικόνα 1.6: Εσοχές της θύρας εισόδου στο εσωτερικό του φυλακίου	31
Εικόνα 1.7: Κιονόκρανο στον Δυτικό τοίχο	33
Εικόνα 1.8: Πράσινος άνδρας.....	35
Εικόνα 1.9: Αναπαράσταση της εκκλησίας του Ζαρακά από τον καθηγητή Α. Ορλάνδο	37
Εικόνα 1.10: Κλειδιά στην είσοδο της Μονής.....	38
Εικόνα 2.11: Φωτοσταθερά στους τοίχους του Ναού και της πύλης	46
Εικόνα 2.12: Φωτοσταθερά στο έδαφος	46
Εικόνα 2.13: Στόχοι σαρωτή.....	47
Εικόνα 2.14: Σκαρίφημα Πολυγωνομετρικού δικτύου.....	48
Εικόνα 2.15: Πλέγμα εικόνων πτήσης του Phantom Ναού.....	51
Εικόνα 2.16: Πλέγμα εικόνων πτήσης του Phantom Πύλης	52
Εικόνα 2.17: Πλέγμα εικόνων πτήσης UAV για την κάτοψη του Ναού	53
Εικόνα 2.18: Θέσεις σαρώσεων αρχαιολογικού χώρου με τον σαρωτή FARO.....	54
Εικόνα 2.19: Κλειστή διαδρομή σάρωσης Ναού	55
Εικόνα 2.20: Κλειστή διαδρομή σάρωσης Πύλης.....	56
Εικόνα 3.21: Σάρωση και διαδρομή στην Πύλη της Μονής	64
Εικόνα 3.22: Σάρωση και διαδρομή στον Ναό της Μονής.....	64
Εικόνα 3.23: Σκόπηση σημείων στο νέφος αναφοράς Faro (μωβ χρώμα) και στο νέφος του Zeb Revo (πορτοκαλί χρώμα).....	66
Εικόνα 3.24: RMS διαδικασίας	66
Εικόνα 3.25: Στατιστικά από global registration	66
Εικόνα 3.26: Εικόνα : Σκόπηση σημείων στο νέφος αναφοράς Faro (μωβ χρώμα) και στο νέφος του Zeb Revo (πορτοκαλί χρώμα)	66
Εικόνα 3.27: RMS από το align - point picking.....	67
Εικόνα 3.28: Στατιστικά από global registration	67
Εικόνα 3.29: Αραιό νέφος σημείων του project Phantom Naos.....	69
Εικόνα 3.30: Αραιό νέφος σημείων του project Phantom Pyli	70
Εικόνα 3.31: Αραιό νέφος σημείων του project Hercules Naos.....	70
Εικόνα 3.32: Αραιό νέφος σημείων επίγειων λήψεων Ναού.....	71
Εικόνα 3.33: Αραιό νέφος σημείων επίγειων και εναέριων λήψεων Ναού	71
Εικόνα 3.34: Αραιό νέφος σημείων επίγειων λήψεων Πύλης	72
Εικόνα 3.35: Πυκνό νέφος σημείων του project Phantom Naos.....	73
Εικόνα 3.36: Πυκνό νέφος σημείων του project Phantom Pyli	73
Εικόνα 3.37: Πυκνό νέφος σημείων επίγειων και εναέριων λήψεων Ναού	74
Εικόνα 3.38: Πυκνό νέφος σημείων επίγειων λήψεων Πύλης	74
Εικόνα 3.39: Σύνολο σαρώσεων σαρωτή Faro	78
Εικόνα 3.40: Θόρυβος σαρώσεων στον Νότιο τοίχο του Ναού	78
Εικόνα 3.41: Θόρυβος σαρώσεων στην Πύλη	79
Εικόνα 3.42: Νέφος σημείων Zeb Revo για την Πύλη.....	80
Εικόνα 3.43: Νέφος σημείων Zeb Revo για τον Ναό.....	80
Εικόνα 3.44: Ανατολική όψη Πύλης.....	80
Εικόνα 3.45: Δυτική όψη Ναού	80

Εικόνα 3.46: Θόρυβος νέφους Ναού από το Metashape	81
Εικόνα 3.47: Κενά στο νέφος σημείων της Πύλης.....	81
Εικόνα 3.48: Θέσεις οριζόντιων τομών Πύλης	83
Εικόνα 3.49: Πρώτη οριζόντια τομή Πύλης	84
Εικόνα 3.50: Δεύτερη οριζόντια τομή Πύλης	84
Εικόνα 3.51: Τρίτη οριζόντια τομή Πύλης.....	85
Εικόνα 3.52: Τέταρτη οριζόντια τομή Πύλης	85
Εικόνα 3.53: Πέμπτη οριζόντια τομή Πύλης.....	86
Εικόνα 3.54: Έκτη οριζόντια τομή Πύλης.....	86
Εικόνα 3.55: Θέσεις κατακόρυφων τομών Πύλης	87
Εικόνα 3.56: Πρώτη κατακόρυφη τομή Πύλης	88
Εικόνα 3.57: Δεύτερη κατακόρυφη τομή Πύλης	89
Εικόνα 3.58: Τρίτη κατακόρυφη τομή Πύλης.....	89
Εικόνα 3.59: Τέταρτη κατακόρυφη τομή Πύλης	90
Εικόνα 3.60: Πέμπτη κατακόρυφη τομή Πύλης.....	90
Εικόνα 3.61: Θέσεις οριζοντίων τομών Ναού.....	91
Εικόνα 3.62: Πρώτη οριζόντια τομή Ναού.....	92
Εικόνα 3.63: Δεύτερη οριζόντια τομή Ναού	92
Εικόνα 3.64: Τρίτη οριζόντια τομή Ναού.....	93
Εικόνα 3.65: Τέταρτη οριζόντια τομή Ναού.....	93
Εικόνα 3.66: Πέμπτη οριζόντια τομή Ναού	94
Εικόνα 3.67: Έκτη οριζόντια τομή Ναού	94
Εικόνα 3.68: Θέσεις κάθετων τομών Ναού	95
Εικόνα 3.69: Πρώτη κατακόρυφη τομή Ναού.....	95
Εικόνα 3.70: Δεύτερη κατακόρυφη τομή Ναού.....	96
Εικόνα 3.71: Τρίτη κατακόρυφη τομή Ναού	96
Εικόνα 3.72: Τέταρτη κατακόρυφη τομή Ναού.....	96
Εικόνα 3.73: Πέμπτη κατακόρυφη τομή Ναού	97
Εικόνα 3.74: Οπτικοποίηση του αλγορίθμου M3C2	98
Εικόνα 3.75: 1 ^ο τμήμα σύγκρισης: Νότιος τοίχος Ναού	99
Εικόνα 3.76: M3C2 απόσταση Faro – Metashape	100
Εικόνα 3.77: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Revo	101
Εικόνα 3.78: Σημαντικές αλλαγές αντίστοιχων σημείων Faro - Metashape	101
Εικόνα 3.79: Σημαντικές αλλαγές αντίστοιχων σημείων Faro – Zeb Revo	101
Εικόνα 3.80: Τραχύτητα νέφους Faro	102
Εικόνα 3.81: Τραχύτητα νέφους Metashape	102
Εικόνα 3.82: Τραχύτητα νέφους Zeb Revo	103
Εικόνα 3.83: Κατανομή σημείων νέφους Faro	104
Εικόνα 3.84: Κατανομή σημείων νέφους Metashape	104
Εικόνα 3.85: Κατανομή σημείων νέφους Zeb Revo	104
Εικόνα 3.86: 2 ^ο τμήμα σύγκρισης: Δυτικός τοίχος Ναού	105
Εικόνα 3.87: M3C2 απόσταση Faro – Metashape	106
Εικόνα 3.88: M3C2 απόσταση Faro – Metashape	106
Εικόνα 3.89: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Metashape, όψη Α– όψη Β.....	107
Εικόνα 3.90: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Revo	108
Εικόνα 3.91: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Revo	108
Εικόνα 3.92: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Zeb Revo, όψη Α– όψη Β.....	108
Εικόνα 3.93: Τραχύτητα νέφους Faro, όψη Α - όψη Β	109
Εικόνα 3.94: Τραχύτητα νέφους Metashape, όψη Α - όψη Β	110

Εικόνα 3.95: Τραχύτητα νέφους Zeb Revo, όψη A - όψη B	110
Εικόνα 3.96: Κατανομή σημείων νέφους Faro, όψη A - όψη B.....	111
Εικόνα 3.97: Κατανομή σημείων νέφους Metashape, όψη A - όψη B	112
Εικόνα 3.98: Κατανομή σημείων νέφους Zeb Revo, όψη A - όψη B.....	112
Εικόνα 3.99: 3 ^ο τμήμα σύγκρισης: Βόρειος τοίχος Πύλης.....	113
Εικόνα 3.100: M3C2 απόσταση Faro – Metashape	114
Εικόνα 3.101: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Metashape.....	114
Εικόνα 3.102: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Revo	115
Εικόνα 3.103: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Zeb Revo.....	115
Εικόνα 3.104: Τραχύτητα νέφους Faro	116
Εικόνα 3.105: Τραχύτητα νέφους Metashape	116
Εικόνα 3.106: Τραχύτητα νέφους Zeb Revo	117
Εικόνα 3.107: Κατανομή σημείων νέφους Faro	117
Εικόνα 3.108: Κατανομή σημείων νέφους Metashape	117
Εικόνα 3.109: Κατανομή σημείων νέφους Zeb Revo	117
Εικόνα 3.110: 4 ^ο τμήμα σύγκρισης: Οροφή Πύλης.....	118
Εικόνα 3.111: M3C2 απόσταση Faro – Metashape	119
Εικόνα 3.112: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Metashape.....	119
Εικόνα 3.113: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Revo	120
Εικόνα 3.114: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Zeb Revo.....	120
Εικόνα 3.115: Τραχύτητα νέφους Faro	121
Εικόνα 3.116: Τραχύτητα νέφους Metashape	121
Εικόνα 3.117: Τραχύτητα νέφους Zeb Revo	122
Εικόνα 3.118: Κατανομή σημείων νέφους Faro	122
Εικόνα 3.119: Κατανομή σημείων νέφους Metashape	123
Εικόνα 3.120: Κατανομή σημείων νέφους Zeb Revo	123
Εικόνα 3.121: Διαδικασία επεξεργασίας νεφών στο λογισμικό geomagic wrap.....	126
Εικόνα 3.122: Εφαρμογή Select outliers.....	126
Εικόνα 3.123: Επιφάνεια Ναού από το νέφος των εικόνων.....	127
Εικόνα 3.124: Επιφάνεια Ναού από τον επίγειο σαρωτή laser FARO.....	128
Εικόνα 3.125: Οπτικός έλεγχος επιφανειών.....	129
Εικόνα 3.126: Οπτικός έλεγχος επιφανειών.....	129
Εικόνα 3.127: Manual registration των δύο επιφανειών	130
Εικόνα 3.128: Global registration των δύο επιφανειών	131
Εικόνα 3.129: Οπτικοποίηση των διαφορών των δύο επιφανειών	131
Εικόνα 3.130: Συνδυασμός επιφανειών στις όψεις των τοίχων	132
Εικόνα 3.131: Επιφάνεια Ναού.....	133
Εικόνα 3.132: Επιφάνεια από τον επίγειο σαρωτή laser FARO	133
Εικόνα 3.133: Τελική επιφάνεια Πύλης	134
Εικόνα 4.134: Επιλεγμένες θέσεις επιπέδων προβολής Ναού.....	137
Εικόνα 4.135: Επιλεγμένες θέσεις επιπέδων προβολής Πύλη	138
Εικόνα 4.136: Αποκοπή επιφάνειας για την δημιουργία τομής.....	139
Εικόνα 4.137: Επιλογή επιπέδου προβολής για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας.....	139
Εικόνα 4.138: Ορθοφωτογραφία δυτικού τοίχου Ναού	140
Εικόνα 4.139: Ορθοφωτογραφία ανατολικού τοίχου Πύλης	140
Εικόνα 4.140: Αλλοιωμένη περιοχή στην ορθοφωτογραφία.....	142
Εικόνα 4.141: Ελλιπής πληροφορία αντικειμένου	142
Εικόνα 4.142: Απόκλιση φωτοσταθερών	143
Εικόνα 4.143: Χρήση της επιφάνειας στις ορθοφωτογραφίες	144
Εικόνα 4.144: Επισήμανση ελλιπούς πληροφορίας.....	144
Εικόνα 4.145: Επισήμανση ελλιπούς πληροφορίας.....	144

Εικόνα 4.146: Χρήση Ο/Φ από το DJI Phantom 4 Pro για συμπλήρωση της Ο/Φ.	145
Εικόνα 5.147: Αποκρύψεις κατά την λήψη εικόνων	149
Εικόνα 5.148: Σκιές από την δύση του ηλίου κατά την λήψη εικόνων	149
Εικόνα 5.149: Υπερφωτισμένα αντικείμενα στις εικόνες.....	150
Εικόνα 5.150: Εξοπλισμός στις λήψεις	150
Εικόνα 5.151: Παράδειγμα κενών στην τελική επιφάνεια της Πύλης	152
Εικόνα 5.152: Σκαρίφημα αποστάσεων λήψης για τον Ναό.....	153
Εικόνα 5.153: Σκαρίφημα αποστάσεων λήψης για την Πύλη	154
Εικόνα 5.154: Οριζοντιογραφικός έλεγχος της Ανατολικής όψης A – A' του Ναού της Μονής	156
Εικόνα 5.155: Οριζοντιογραφικός έλεγχος της Βόρειας όψης B – B' του Ναού της Μονής	156
Εικόνα 5.156: Υψομετρικός έλεγχος των τομών Θ – Θ' και Z – Z' του Ναού της Μονής	157
Εικόνα 5.157: Υψομετρικός έλεγχος των όψεων A – A', B – B' και της τομής E – E' του Ναού της Μονής.....	157
Εικόνα 5.158: Οριζοντιογραφικός έλεγχος της Δυτικής όψης A – A' της Πύλης της Μονής	157
Εικόνα 5.159: Οριζοντιογραφικός έλεγχος της Βόρειας όψης B - B' της Πύλης της Μονής	157
Εικόνα 5.160: Υψομετρικός έλεγχος των όψεων B – B', A – A' και Δ –Δ' της Πύλης της Μονής	158
Εικόνα 5.161: Υψομετρικός έλεγχος των τομών ΣΤ – ΣΤ', ΣΤ' – ΣΤ και της όψης Γ – Γ'	158

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Εξοπλισμός	44
Πίνακας 2.2: Αριθμός λήψεων – Ναός Μονής.....	50
Πίνακας 2.3: Αριθμός λήψεων – Πύλη Μονής.....	50
Πίνακας 3.4: Γενικά στοιχεία οριζοντιογραφικής.....	58
Πίνακας 3.5: Συντεταγμένες Κορυφών Δικτύου	58
Πίνακας 3.6: Γενικά στοιχεία υψομετρικής επίλυσης.....	59
Πίνακας 3.7: Υψόμετρα Κορυφών Δικτύου	59
Πίνακας 3.8: Συντεταγμένες στάσεων στο ΕΓΣΑ 87.....	60
Πίνακας 3.9: Συντεταγμένες Φ/Σ εδάφους	60
Πίνακας 3.10: Συντεταγμένες Φ/Σ και Στόχων	61
Πίνακας 3.11: Σαρώσεις Επίγειου Σαρωτή FARO	62
Πίνακας 3.12: Σφάλματα γεωαναφοράς σαρώσεων FARO.....	64
Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα επεξεργασίας εικόνων	75
Πίνακας 3.14: Σφάλματα Γεωαναφοράς Νεφών.....	82
Πίνακας 5.15: Σφάλματα γεωαναφοράς.....	155

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΩΝ

Σχέδιο 1.1: Κάτοψη Κιστερκιανού Μοναστηριού	26
Σχέδιο 1.2: Απεικόνιση σταυροθολίων μονής Ζαρακά	27
Σχέδιο 1.3: Κάτοψη του Καθολικού της μονής Ζαρακά από τον καθηγητή Α. Ορλάνδο	33
Σχέδιο 4.4: Σχέδιο Οριζοντιογραφίας.....	146
Σχέδιο 4.5: Δυτική όψη της Πύλης της Μονής.....	147

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1.1: Θέσεις Κιστερκιανών Μονών στον Ελληνικό χώρο.....	25
---	----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Μονή Ζαρακά είναι ένα μοναστήρι το οποίο χρονολογείται από τον 13^ο αι. μ. Χ. (1225) και ιδρύθηκε από το Κιστερκιανό τάγμα, ένα δόγμα της Ρωμαιοκαθολικής εκκλησίας, από την Γαλλία. Χωροθετείται στην Κοιλάδα της Στυμφαλίας στον νομό Κορινθίας, στην Πελοπόννησο, δίπλα στην επαρχιακή οδό Κιάτου – Βυτίνας. Το τάγμα κατοίκησε στην Μονή για 35 – 40 χρόνια, ενώ μετά την εγκατάλειψή της από τους μοναχούς εξακολουθούσε να κατοικείται για ακόμα δύο αιώνες μέχρι και την κατάκτηση της Πελοποννήσου από τους Οθωμανούς Τούρκους τον 15^ο αιώνα μ. Χ.

Σήμερα, είναι ορατά τα ερείπια της εκκλησίας και της Πύλης της Μονής, αλλά και ερείπια του τοίχους προστασίας της. Η μονή Ζαρακά είναι από τα ελάχιστα Κιστερκιανά μοναστήρια που διασώζονται σήμερα στην Ελλάδα, και η γεωμετρική της τεκμηρίωση είναι αναγκαία, έτσι ώστε να καταγραφεί το παρόν του μνημείου, καθώς επίσης, αποτελεί την βάση για οποιαδήποτε άλλη έρευνα κα μελέτη πάνω σε αυτό.

Στην διπλωματική εργασία, παρουσιάζονται όλα τα στάδια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, με την χρήση σύγχρονων μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, καθώς και η σύγκριση τριών διαφορετικών μεθόδων καταγραφής σημείων, παραγωγής νεφών σημείων και επεξεργασίας, με στόχο την ανάδειξη του καταλληλότερου για την δημιουργία επιφάνειας και ορθοφωτογραφιών. Τα τελικά σχέδια που παράγονται παρουσιάζουν όψεις, τομές και κατόψεις για τα δύο κτήρια σε κλίμακα 1:50, και μια οριζοντιογραφία του αρχαιολογικού χώρου σε κλίμακα 1:200, με την χρήση των ορθοφωτογραφιών που παράχθηκαν από την επεξεργασία των δεδομένων.

ABSTRACT

The Zaraka Monastery was founded in the 13th century (1225), from the Cistercian Order, a denomination of the Roman Catholic Church, from France. The monastery is located in the valley of Stymfalia, in Corinthia, Peloponnese, Greece, near the provincial road Kiato – Vytina. The Order lived in the Monastery for 35 – 40 years, and after its abandonment from the monks, it was still inhabited for two more centuries until the conquest of the Peloponnese by the Ottomans in the 15th century.

Today, the ruins of the Church, the Gate and the wall of the monastery are still visible. The monastery of Zaraka is one of the few Cistercian monasteries that are surviving in Greece, and its geometric documentation, is essential for the purpose of listing the present of the monument, and also constitutes the base for any other research and study on the monastery.

This dissertation presents, all the essential steps of the geometric documentation, using all the contemporary methods of data collection and processing, and also the comparison of three different methods of point collection, point cloud production and processing, that aims at the designation of the best fitting method for the surface and orthophotograph generation. The final plans are presenting the faces, the sections and the plan views of the buildings on a scale 1:50, and a ground plan of the archeological site on a scale 1:200, using the orthophotographs that were made in previous steps.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση της Κιστερκιανής Μονής Ζαρακά, στην περιφερειακή ενότητα Κορίνθου. Με την γεωμετρική τεκμηρίωση προσδιορίζεται η θέση, το σχήμα και το μέγεθος του προς μελέτη αντικειμένου και αποτελεί το πρώτο και σημαντικότερο στάδιο, για μετέπειτα έρευνες και μελέτες πάνω στο μνημείο.

Για την διεκπεραίωση της διπλωματικής θα χρησιμοποιηθούν σύγχρονες μέθοδοι συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, με αποτέλεσμα την αποτύπωση του μνημείου μέσω Ορθοφωτογραφιών σε όψεις και οριζόντιες και κάθετες τομές σε αυτό.

Το πρώτο κεφάλαιο περιέχει μια σύντομη αναφορά στην Πολιτιστική κληρονομιά και την αναγκαιότητα διατήρησής της, και τα ιστορικά στοιχεία που αφορούν τον Ναό, λίγα λόγια για το Τάγμα των Κιστερκιανών μοναχών και την αρχιτεκτονική του μνημείου.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τις εργασίες πεδίου για την λήψη των απαραίτητων γεωδαιτικών και φωτογραμμετρικών δεδομένων. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο εξοπλισμός, ο τρόπος συλλογής δεδομένων και οι αποφάσεις που λήφθηκαν στο πεδίο κατά την συλλογή.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή όλων των σταδίων επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων και οι παράμετροι που επιλέχθηκαν σε κάθε στάδιο, έτσι ώστε να επιτευχθούν τα βέλτιστα αποτελέσματα, καθώς και η σύγκριση των νεφών σημείων τριών διαφορετικών μεθόδων συλλογής δεδομένων.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά την παραγωγή των τελικών προϊόντων για την γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου.

Στο πέμπτο, και τελευταίο κεφάλαιο, περιγράφονται τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν καθ' όλη την διαδικασία, πραγματοποιείται έλεγχος και αξιολόγηση των τελικών αποτελεσμάτων και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που αφορούν την διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 Πολιτιστική Κληρονομιά

Η πολιτιστική κληρονομιά αποτελείται από φυσικά αντικείμενα και από άυλες δραστηριότητες αλλά και χαρακτηριστικά μιας κοινωνίας, τα οποία έχουν κληροδοτηθεί από τις παλαιότερες γενιές και διατηρούνται στο παρόν ενώ παράλληλα οφείλουν να διατηρηθούν και να κληροδοτηθούν στο μέλλον για τις επόμενες γενιές. Περιλαμβάνει τον απτό πολιτισμό, όπως κτήρια, μνημεία, τοπία, βιβλία, έργα τέχνης και τεκμήρια, τον άυλο πολιτισμό, όπως την λαογραφία, τις παραδόσεις, την γλώσσα και την γνώση, και τη «φυσική» κληρονομιά, όπως πολιτιστικά τοπία ιδιαίτερου κάλλους και βιοποικιλότητα (Wikipedia – πολιτιστική κληρονομιά). Τον 20^ο αιώνα έχουν υπογραφεί αρκετές συμβάσεις που την αφορούν. Οι σημαντικότερες από τις συμβάσεις αυτές είναι η Χάρτα των Αθηνών (1933), η Συμφωνία της Χάγης (1954), Διεθνής σύσκεψη της UNESCO στο Νέο Δελχί (1955), η Χάρτα της Βενετίας (1964), Διακήρυξη του Άμστερνταμ (1975), η Συμφωνία της Γρανάδας (1985), Διακήρυξη του Κεμπέκ (1991) και η Ευρωπαϊκή σύμβαση για την Προστασία της Αρχαιολογικής κληρονομιάς (1992).

Στις συμβάσεις αυτές διατυπώθηκαν οι ορισμοί οι οποίοι αφορούν στις διάφορες ενέργειες που είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν πάνω στα μνημεία και οι οποίες επιγραμματικά είναι η αποκατάσταση, η ανακατασκευή, η αναστήλωση, η συντήρηση, η εξυγίανση, η αναβίωση και την ανάδειξή τους.

Στο διεθνές συνέδριο που πραγματοποιήθηκε στην Βενετία το 1964, ψηφίστηκε ο διεθνής χάρτης για την συντήρηση και αποκατάσταση των μνημείων και τοποθεσιών. Το άρθρο 16 του Χάρτη αναφέρει: «Οι εργασίες συντηρήσεων, αποκαταστάσεως και ανασκαφής θα πρέπει να βασίζονται σε εξακριβωμένη τεκμηρίωση, δηλαδή σε αναλυτικές και κριτικές εκθέσεις, εικονογραφημένες με σχέδια και φωτογραφίες. Όλες οι φάσεις των εργασιών για την απάλειψη νεότερων στοιχείων, τη στερέρωση, την ανασύνθεση και την ένταξη νέων στοιχείων, καθώς και όλα τα τεχνικά και μορφολογικά στοιχεία που θα εξακριβώνονται κατά την διάρκεια των εργασιών, θα πρέπει να καταγράφονται λεπτομερειακά. Αυτή η τεκμηρίωση θα κατατίθεται στα αρχεία ενός δημοσίου Ιδρύματος και θα είναι προσιτή στους ερευνητές. Συνιστάται η δημοσίευσή τους.» (Venice charter).

Το 1965 ιδρύθηκε στην Βαρσοβία το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών (ICOMOS), ένα χρόνο μετά την σύνταξη του χάρτη της Βενετίας. Η ίδρυσή του ήταν αναγκαία για την προστασία των αρχιτεκτονικών, ιστορικών και αρχαιολογικών μνημείων σε διεθνές επίπεδο. Το ICOMOS σήμερα είναι τεχνικός σύμβουλος της

UNESCO και έχει συμβάλει καθοριστικά στην προστασία της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς, καθώς διατύπωσε αρχές και κανόνες για την προστασία των μνημείων, ευαισθητοποίησε την παγκόσμια κοινότητα, και συμβάλλει στον χαρακτηρισμό μνημείων ως μνημεία παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς. (ιστοσελίδες: archaiologia.gr, ICOMOS)

Η γεωμετρική τεκμηρίωση, ενός μνημείου αποτελεί την βάση για την μελέτη, την προστασία και την συντήρησή του. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε η Διεθνής Επιτροπή Αρχιτεκτονικής Φωτογραμμετρίας (CIPA: International Committee of Architectural Photogrammetry) το 1968 από την σύμπραξη της Διεθνούς Ένωσης Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ISPRS: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) και του Διεθνούς Συμβουλίου Μνημείων και Τοποθεσιών (ICOMOS: International Council on Monuments and Sites), έτσι ώστε να μεταφέρει την σύγχρονη τεχνολογία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης των μνημείων στην κοινότητα των συντηρητών και μελετητών (Ιστοσελίδα: CIPA Heritage Documentation).

1.2 Κιστερκιανό Τάγμα

Το κιστερκιανό τάγμα ιδρύθηκε το έτος 1098 και είναι ένα μοναστικό τάγμα της Ρωμαιοκαθολικής εκκλησίας γνωστό και ως Οι «Λευκοί Μοναχοί» ή «Οι Βερναρδίνιοι». Το τάγμα πήρε το όνομά του από την αρχική περιοχή εγκατάστασής του πρώτου Αββαείου στην Σιτώ (Citeaux, λατινικά Cistercium), που βρίσκεται στην Βουργουνδία κοντά στην Ντιζόν, στην ανατολική Γαλλία. Ο Αββάς της Μολέμ της Βουργουνδίας Ροβέρτος, του τάγματος των Βενεδικτίνων μαζί με 21 μοναχούς διαφώνησαν με τον τρόπο που εφαρμόζονταν οι μοναστικοί κανόνες στο Αββαείο τους και αποσχίστηκαν από το σχίσμα τους. Ακολουθώντας μια πιο αυστηρή ερμηνεία των αρχικών κανόνων του Αγίου Βενέδικτου, ακολουθούν την ασκητική ζωή που επιθυμούσαν. Οι νέοι κανονισμοί απέρριπταν όλα τα φεουδαρχικά έσοδα και επανάφεραν την χειρωνακτική εργασία για τους μοναχούς, που έγινε και η βασική αρχή της ασκητικής τους ζωής. Τον Ροβέρτο διαδέχτηκαν ο Άγιος Αλβέρτος και έπειτα ο Άγιος Στίβεν Χάρντινγκ, ο οποίος έγινε ένας από τους ιδρυτές του Κιστερκιανού τάγματος. Ομάδες από Μοναχές ιδρύθηκαν μέσα στο τάγμα το 1120 – 1130, αλλά παρέμεναν αποκλεισμένες από το τάγμα μέχρι και το 1200, όπου και άρχισαν να καθοδηγούνται από τους Λευκούς Μοναχούς.

Το Κιστερκιανό τάγμα βασιζόταν σε τρεις αρχές. Α) Ομοιομορφία, κάθε μοναστήρι πρέπει να είχε τους ίδιους κανόνες και έθιμα, Β) Ετήσια Σύνοδο, οι ηγούμενοι κάθε

μοναστηριού πρέπει να κάνουν μια συνάντηση μια φορά τον χρόνο στην Σιτώ, Γ) Επίσκεψη από τον ιδρυτή ηγούμενο, όπου κάθε μοναστήρι δεχόταν επίσκεψη από τον ιδρυτή ηγούμενο κάθε χρόνο, ο οποίος επέβλεπε τις διαδικασίες και την πειθαρχία των μοναχών. Κάθε μοναστήρι είχε την αυτονομία του και οι μοναχοί ανήκαν σε αυτό το μοναστήρι στο οποίο είχαν κάνει τον όρκο τους.

Το 1112 ο Άγιος Βερνάρδος (Άγιος Βερνάρδος της Κλαιρβώ) έγινε μέλος του Τάγματος, μαζί με 30 συγγενείς και φίλους από την Βουργουνδία. Το 1115 ο Βερνάρδος ίδρυσε το Αββαείο της Κλαιρβώ (Clairvaux), το οποίο και γνώρισε την μεγαλύτερη ανάπτυξη από τα νέα μοναστήρια που δημιουργήθηκαν εκείνη την περίοδο. Μέχρι και τον θάνατο του αγίου Βερνάρδου ο συνολικός αριθμός των Κιστερκιανών Αββαείων ήταν 338, τα 68 από τα οποία καθοδηγούνταν από την Κλαιρβώ. Το τάγμα πλέον είχε εξαπλωθεί από την Σουηδία μέχρι και την Πορτογαλία και από την Σκωτία έως και της χώρες της ανατολικής Μεσογείου.

Η χρυσή εποχή για τους Κιστερκιανούς ήταν ο 12^{ος} αιώνας (1134 – 1342). Το 1152 το τάγμα της Σιτώ μετρούσε ήδη 350 μοναστήρια. Η σημαντική αύξηση του τάγματος και των μοναστηριών του ωστόσο, καθιστούσε αδύνατο να ακολουθηθούν οι κανονισμοί της ετήσιας συνόδου των ηγουμένων από κάθε μονή και της επίσκεψης του ιδρυτή ηγούμενου σε κάθε μονή. Η τελευταία σύνοδος έγινε το 1411 (Encyclopedia Britannica).

Οι Κιστερκιανοί είχαν σημαντικό ρόλο στην οικονομική πρόοδο τον 12^ο αιώνα και στην ανάπτυξη γεωργικών τεχνικών και προώθησης προϊόντων. Με την πειθαρχία και την χειρωνακτική εργασία των μοναχών μπόρεσαν να εξελίξουν την γεωργία σε μικρές εκτάσεις γης και να αυξήσουν την παραγωγή των προϊόντων τους. Εκτός από την προσφορά στον αγροτικό τομέα, ωστόσο, στο Κιστερκιανό τάγμα, ήταν ενταγμένοι και διανοούμενοι. Στην έκδοση του βιβλίου «Bibliotheca Scriptorum Sacri Ordinis Cisterciensis» το 1964 έχει γίνει αναφορά σε 773 ιστορικές σημειώσεις που ανήκαν σε συγγραφείς του Τάγματος. Ο Άγιος Στίβεν Χάρντινγκ έγραψε ένα τμήμα από την Βίβλο, το οποίο είναι ό,τι ανώτερο έχει συγγραφεί ποτέ στα σύγχρονα μοναστήρια και το χειρόγραφο βρίσκεται σήμερα στην βιβλιοθήκη της Ντιζόν. Οι κιστερκιανές βιβλιοθήκες ήταν γεμάτες από βιβλία και χειρόγραφα. Επίσης, με την αρχιτεκτονική τους συνέβαλαν στην ανάπτυξη και στην διάδοση της Ρωμανικής και της Γοθικής Αρχιτεκτονικής σε όλη την Ευρώπη.

Η παρακμή του τάγματος ξεκίνησε γύρω στο 1342 μ.Χ.. Ο μεγάλος αριθμός των μοναστηριών ήταν ένας από τους λόγους της παρακμής, καθώς ήταν αδύνατον να εφαρμοστούν οι κανόνες του τάγματος. Οι συνεχόμενες μεταρρυθμίσεις, έφεραν

αλλαγές στον θρησκευτικό κόσμο με αποτέλεσμα αποσχίσεις μοναχών και δημιουργία νέων αδελφοτήτων. Σήμερα, μονές του Τάγματος υπάρχουν σε όλο τον κόσμο και παρατηρείται μεγάλη εξάπλωση των κοινοτήτων στην Ασία και στην Αφρική (Catholic Encyclopedia: Cistercians).



(Πηγή: Kinder T., 2002, Cistercian Europe: Architecture of Contemplation, Wm. B. Eerdmans Publishing Co, Cistercian Publications Institute of Cistercian Studies, ISBN: 0-87907-391-8, σελίδες: 8-9)

Εικόνα 1.1: Κιστερκιανοί Ναοί τον 12ο και 13ο αιώνα

1.3 Κιστερκιανό Τάγμα στην Ελλάδα

Τα θρησκευτικά τάγματα που εγκαταστάθηκαν στον ελληνικό χώρο μετά την τέταρτη σταυροφορία έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην φεουδαρχική αριστοκρατία και στις Βενετσιάνικες και Γενοβέζικες συναλλαγές. Ο πάπας Ιννοκέντιος III, ενθάρρυνε τους Κιστερκιανούς, μαζί με άλλα τάγματα, να πάρουν μέρος στην σταυροφορία και το 1201, οι Κιστερκιανοί υποσχέθηκαν να συνεργαστούν για την Δ΄ σταυροφορία (1201 – 1204) και είχαν ενεργό ρόλο σε αυτήν, ενισχύοντας οικονομικά τους σταυροφόρους αλλά και συμμετέχοντας στην μάχη. Με την πτώση της Κωνσταντινούπολης στις 13 Απριλίου του 1204, το Κιστερκιανό τάγμα βρήκε νέες εκτάσεις για ανάπτυξη. Τον 12ο αιώνα είχαν ήδη εγκατασταθεί στην Κύπρο και την Συρία. Μεταξύ του 1204 και 1276

το τάγμα απέκτησε τουλάχιστον δώδεκα μονές και έχασε τουλάχιστον εννέα από αυτές.

Το 1205 αποφασίστηκε να αποσταλούν ΚιστερκIANOί στην Ελλάδα, κάτω από πολύ αυστηρές συνθήκες, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η επισημότητα και η μονιμότητα της αποστολής. Με εντολή του Αυτοκράτορα της Κωνσταντινούπολης και του Πάπα ιδρύθηκαν μοναστήρια στην Κωνσταντινούπολη και στην Ελλάδα, από την Κωνσταντινούπολη έως την Μεθώνη Μεσσηνίας. Οι Πάπες ενθάρρυναν την εγκατάσταση του τάγματος στις κατακτημένες περιοχές, καθώς οι ΚιστερκIANOί, την περίοδο εκείνη, ήταν οι κύριοι εκπρόσωποι της παπικής πολιτικής. Για τον λόγο αυτό ο Ιννοκέντιος ο τρίτος, ανυπομονούσε να τους δει να αποικούν επιτυχώς και στην Ελλάδα. Οι προθέσεις του Πάπα που αφορούσαν τα μοναστικά τάγματα στην Ελλάδα παρουσιάζονται στο επίσημο γράμμα που έγραψε στον ιεράρχη της Γαλλίας τον Μάιο του 1205. Ακολουθώντας τις εντολές του νέου Λατίνου Αυτοκράτορα της Κωνσταντινούπολης, Βαλδουίνου, ο Πάπας Ιννοκέντιος συνέστησε στους ιεράρχες και στους αρχιεπισκόπους της Γαλλίας να στείλουν κατάλληλους και καλά εκπαιδευμένους μοναχούς στα νέα εδάφη, με σκοπό να συμβάλλουν στην εξάπλωση της Καθολικής πίστης στην αυτοκρατορία. Η ένωση της ανατολικής και της δυτικής εκκλησίας είχε ήδη αρχίσει και οι Έλληνες σύντομα θα γυρνούσαν στην ρωμαϊκή υποταγή. Η ολοκλήρωση της επιχείρησης αυτής, ωστόσο, εξαρτάτο από τις προσπάθειες των θρησκευτικών ταγμάτων, και πρωταρχικά των ΚιστερκIANOών. Στο γράμμα του ο Πάπας επίσης ζητάει από τους ιεράρχες να στείλουν ευχολόγια, προσευχητάρια και άλλα βιβλία στην αυτοκρατορία, έτσι ώστε να ενισχυθεί ακόμη περισσότερο η καθιέρωση των λατινικών τελετών στην Ελλάδα.

Οι ελπίδες του Πάπα αποδείχθηκαν πως ήταν πρόωρες, καθώς οι ΚιστερκIANOοι στην Ελλάδα είναι αναμφίβολο ότι είχαν αντίκτυπο στον γηγενή πληθυσμό. Ωστόσο, παρόλο που η περίοδος που είχαν δύναμη οι ΚιστερκIANOοι δεν ήταν μεγάλη, οι ηγούμενοι πολλών μοναστηριών ήταν σημαντικά πρόσωπα για την θρησκευτική και πολιτική ζωή της Ελλάδας και οι Πάπες της περιόδου τους εμπιστεύονταν σε πολλά ζητήματα.

Το 1216 αναγνωρίστηκε πόσο δύσκολο ήταν για τους ηγούμενους των μοναστηριών να παραβρίσκονται στην σύνοδο κάθε χρόνο, και τους επιτράπηκε να παραβρίσκονται μια φορά κάθε τέσσερα χρόνια. Είχε επίσης δηλωθεί πως αν κάποιος ηγούμενος δεν παραβρεθεί στην σύνοδο, έπρεπε να παραβρεθεί την επόμενη ζητώντας την συγχώρεση της συνόδου. Ένα χρόνο μετά ο Αββάς της συνόδου αποφάσισε πως οι ηγούμενοι πρέπει να παραβρίσκονται στην σύνοδο στην Σιτώ μια φορά κάθε πέντε

χρόνια. Επίσης οι ηγούμενοι των κύριων μοναστηριών της Ελλάδας έπρεπε να επισκέπτονται τα μικρότερα μοναστήρια τουλάχιστον μια φορά κάθε τρία χρόνια. (Katsiki, 1979).

Οι δώδεκα μονές που ιδρύθηκαν στα 20 χρόνια της εγκατάστασης του τάγματος στον ελληνικό χώρο, βρίσκονταν από την Χαλκίδα μέχρι την Μεθώνη, με τις περισσότερες να συγκεντρώνονται στην Αχαΐα, και το μοναστήρι στο Χορτιάτη να είναι συνδεδεμένος κρίκος με την Θεσσαλονίκη. Μοναστηριακές εγκαταστάσεις υπήρχαν ακόμα και στην Εύβοια και στην Κρήτη. Για πολλές από αυτές τις μονές δεν είναι γνωστή η θέση τους, αλλά εικάζεται με βάση τα έγγραφα της συνόδου. Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες από αυτές τις μονές, εκτός της μονής Ζαρακά, που αποτελεί το κύριο αντικείμενο αυτής της εργασίας, που είχαν σημαντικό ρόλο στην ιστορία του Κιστερκιανού τάγματος της Ελλάδας.

Μονή Χορτιάτη (Monastery of Chortaitou)

Η πρώτη δωρεά για την ανέγερση ενός μοναστηριού έγινε από τον Βονιφάτιο, μαρκήσιο του Μομφεράτου (περιοχή ανατολικά του Τορίνο) και βασιλιάς της Θεσσαλονίκης (1204 – 1207). Ο Βονιφάτιος κατηγορήθηκε πως η δωρεά ήταν μέρος του σχεδίου να αποκλείσει τους Βενετούς από την εκκλησιαστική ιεραρχία στα εδάφη του, εισάγοντας έτσι τον Φράγκικο κλήρο. Η ιστορία της Μονής είναι παραχώδης και αφορά κυρίως στην απρεπή συμπεριφορά των μοναχών. Το 1218 το μοναστήρι εμφανίζεται πάλι στις επιγραφές και φαίνεται να έχει επιλύσει όλα τα εσωτερικά του προβλήματα. Το 1224 η μονή Χορτιάτη είχε αρχίσει να γίνεται επιτυχής και να κερδίζει τον σεβασμό καθώς απέκτησε έσοδα και εικάζεται πως είχε αρμοδιότητες Κυρίως Ναού. Την ίδια χρονιά ωστόσο οι Έλληνες διεκδίκησαν τα εδάφη της Θεσσαλονίκης και εκδίωξαν την Κιστερκιανή κοινότητα από κάθε μοναστήρι.

Μονή Δαφνίου (Daphni)

Το δεύτερο Κιστερκιανό Αββαείο που ιδρύθηκε στην Ελλάδα προέρχεται από μοναχούς της περιοχής του Μπελεβώ (Bellevaux) στην Γαλλία. Οι Κιστερκιανοί μοναχοί κατοίκησαν στην μονή από το 1211 και έπειτα. Το Δαφνί χτίστηκε στα τέλη του 5^{ου} αιώνα ή στις αρχές του 6^{ου} αιώνα μ.Χ. και ξαναχτίστηκε στα τέλη του 11^{ου} αι. μ. Χ. γύρω στο 1080. Η εκκλησία ήταν διακοσμημένη με περίτεχνα ψηφιδωτά και είναι ένα από τα πιο ξεχωριστά παραδείγματα της Βυζαντινής Αρχιτεκτονικής. Πριν οι Φράγκοι κατακτήσουν την μονή, ήταν ένα από τα πλουσιότερα και γνωστότερα μοναστήρια στην Ελλάδα. Με την εγκατάσταση των Κιστερκιανών στην μονή, ο πάπας φαίνεται πως έδωσε αμέσως στους ηγούμενούς του σημαντικές αποστολές. Στα

χρόνια που ακολούθησαν υπήρξαν πολλές διαμάχες και περιστατικά που αφορούσαν την μονή, μέχρι και το 1224. Επόμενη καταγραφή σε Παπικά έγγραφα έγινε το 1237.

Το 1276 σχεδόν όλα τα Κιστερκιανά μοναστήρια στην Ελλάδα είχαν εγκαταλειφθεί. Ο 14^{ος} αιώνας έφερε την παρακμή των Κιστεκιανών και την ανέγερση των Μεντικανών ταγμάτων (Mendicant orders). Εκείνη την εποχή η μονή Δαφνίου ήταν η μόνη Κιστερκιανή Μονή στην Ελλάδα, ωστόσο όπως και όλες οι μονές είχε επισκιαστεί από τους Φράγκους που είχαν πλέον κατακτήσει την Αθήνα. Ακόμα και με την κατάκτηση της Αθήνας από τους Καταλανούς το Δαφνί ήταν ένα από τα πιο σημαντικά θρησκευτικά ιδρύματα της Αθήνας σε όλο τον 13^ο αιώνα μ. Χ.. Η Κιστερκιανή κοινότητα, συνέχισε να υπάρχει μέχρι την κατάκτηση της Αθήνας από τους Οθωμανούς το 1458, όπου και όλοι οι Κιστερκιανικοί οίκοι εκδιώχθηκαν από την Ελλάδα.

Άγιος Στέφανος (St. Stephen)

Το Αββαείο του Αγίου Στεφάνου καταλήφθηκε από Κιστερκιανούς που προέρχονται από το αββαείο του Αγ. Θωμά από το Τορτσέλο της Ιταλίας (St Thomas of Torcello) το 1208 ή το 1214. Το μοναστήρι τοποθετείται στον Βόσπορο έξω από την Κωνσταντινούπολη. Το Αββαείο αυτό βρέθηκε ανάμεσα σε πολλές διαμάχες μέσα στα χρόνια λειτουργίας του, ενώ το 1241 αναφέρεται και πάλι στα πρακτικά της ετήσιας συνόδου. Το μοναστήρι αυτό είχε φτιάξει μια πολύ κακή φήμη και η σύνοδος αποφάσισε να στείλει απεσταλμένους για να διορθώσουν κάποιες καταστάσεις. Δεν είναι γνωστό πότε η Μονή αυτή εγκαταλείφθηκε από τους Κιστερκιανούς, αλλά είναι πιθανό να έγινε την περίοδο που οι Βυζαντινοί ανακατέλαβαν την Κωνσταντινούπολη.

Κιστερκιανοί στην Πάτρα (The Cistercians in Patra)

Το 1210 σε μια προσπάθεια να ηρεμήσει η θητεία που πάπα, ζητήθηκε από τον Ιννοκέντιο III να εγκατασταθούν μοναχοί από το Ωτκόμπ (Hautecombe) σε ένα μοναστήρι στην Ελλάδα. Το μοναστήρι που εικάζεται ότι καταλήφθηκε βρισκόταν στην Πάτρα. Ωστόσο, τα ίχνη αυτού του μοναστηριού δεν υπάρχουν σήμερα και μπορεί οι μοναχοί του Ωτκόμπ να εγκαταστάθηκαν σε κάποιο άλλο μοναστήρι της Πελοποννήσου. Παρόλο που δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι υπήρχε ένα Κιστερκιανό μοναστήρι στην Πάτρα, σε μετέπειτα χρόνια υπήρχε ένα νοσοκομείο που λειτουργούσε από Κιστερκιανούς.

Μονή Αγγέλου στην Πέρα και στο Ρουφινιάνο (St. Angelus in Pera and Rufiniano)

Οι Κιστερκιανοί κατέκτησαν τον Αγ. Άγγελο στην Πέρα, το 1213 ή 1214. Το μοναστήρι αυτό, ήταν ένα ελληνικό μοναστήρι και ίσως να ήταν ένα από τα δύο ελληνικά

μοναστήρια του Αγ. Μιχαήλ όπου βρίσκονταν στην περιοχή. Το μοναστήρι του Αγ. Άγγελου χρηματοδοτούνταν από ένα άλλο ελληνικό μοναστήρι στην Βυθινία, το οποίο αναφέρεται ως Ρουφινιάνο. Το 1215 ο Πελάγιος προειδοποίησε τους Έλληνες του μοναστηριού, πως αν δεν υπακούσουν στην Ρωμαϊκή εκκλησία, θα υπέβαλε το μοναστήρι υπό την φροντίδα των Κιστερκιανών. Οι Έλληνες μοναχοί αρνήθηκαν και έτσι ο πατριάρχης ένωσε το Ρουφινιάνο με τον Αγ. Άγγελο. Το 1219, ο νέος παπικός λεγάτος John Colonna, προσέφερε στους Έλληνες μοναχούς άλλη μια ευκαιρία να συμμορφωθούν, αλλά εκείνοι προτίμησαν να εγκαταλείψουν το μοναστήρι τους από το να αναγνωρίσουν την παπική εξουσία. Οι Κιστερκιανοί κατέκτησαν το Ρουφινιάνο και ιδρύθηκε το Κιστερκιανό μοναστήρι το 1225. Το μοναστήρι κατακτήθηκε εκ νέου από τους Έλληνες το 1236. Ωστόσο το Αββαείο του Ρουφινιάνο αναφέρεται σε έγγραφα μέχρι και το 1260. Μετά την κατάκτησή του από τους Έλληνες το Αββαείο μετακόμισε πάλι στην μονή του Αγ. Αγγέλου. Αυτή είναι η τελευταία εμφάνιση του μοναστηριού σε έγγραφα, καθώς ενδέχεται αυτό να εγκαταλείφθηκε από τους Κιστερκιανούς όταν ο Μιχάλης VIII ο Παλαιολόγος κατέκτησε την Κωνσταντινούπολη το 1261.

Μονή Δάφνης (Laurus)

Η χρονολογία ίδρυσης του μοναστηριού αυτού είναι το 1214. Η τοποθεσία του δεν είναι γνωστή καθώς κάποιοι ιστορικοί το τοποθετούν στην Κωνσταντινούπολη αλλά και στην Αχαΐα. Ωστόσο το μοναστήρι αυτό μπορεί να είναι το ίδιο με την μονή Δαφνίου, αν και έγγραφα από τις ετήσιες συνόδους το καθιστούν αδύνατο. Από τα έγγραφα της συνόδου υπάρχει δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης του, καθώς αν υπήρχε και λειτουργούσε το 1268, τότε δεν βρίσκεται στην Κωνσταντινούπολη καθώς μετά την κατάκτηση της πόλης από τους Βυζαντινούς το 1261 εκδιώχθηκαν όλες οι Κιστερκιανές κοινότητες. Για αυτό τον λόγο τοποθετείται στην Αχαΐα. Η ημερομηνία της εγκατάλειψής του δεν είναι γνωστή, αλλά αν δεν είναι το ίδιο με την μονή Δαφνίου τότε η αποχώρηση των μοναχών από αυτό έγινε πριν το 1276, καθώς η μονή Δαφνίου ήταν η μόνη που λειτουργούσε στην Ελλάδα μετά το έτος αυτό.

Μονή στην Γέργερη (Gergeri)

Η μονή του Αγίου Γεωργίου βρίσκεται στην Κρήτη και δωρίστηκε στους Κιστερκιανούς το 1217. Η δωρεά έγινε από τον Δόγη της Βενετίας Πιέτρο Τζιάνη και επικυρώθηκε το 1218 από τον Βενετό πατριάρχη Κωνσταντινούπολης. Το μοναστήρι λειτουργούσε ακόμη το 1273 καθώς ζητήθηκε από την σύνοδο άδεια να μεταφερθούν κάποιοι μοναχοί στην Κρήτη. Αυτό σημαίνει πως η μονή είχε ήδη εγκαταλειφθεί και ο ηγούμενος ήθελε να εγκαταστήσει εκ νέου μοναχούς ή ότι οι Κιστερκιανοί δεν

μπόρεσαν να προσελκύσουν νέους μοναχούς να ακολουθήσουν το τάγμα. Η μονή στην Γέργερη ίσως και να ήταν η πιο σταθερή από τα μοναστήρια στην Ελλάδα που επιβίωσε τον 14^ο αιώνα μ. Χ. ακόμα και μέχρι την Οθωμανική αυτοκρατορία το 1669.

Παναγία Βαρανγκόρουμ (St. Mary Varangorum)

Το 1230 ο δόγης της Βενετίας Jacopo Tiepolo δώρισε ένα δεύτερο μοναστήρι στην Κρήτη στους μοναχούς του Αγ. Θωμά από το Τοστέλλο, ονομάζοντάς το St. Mary Varangorum. Ενδέχεται να υπάρχουν αναφορές για το μοναστήρι αυτό στην Σύνοδο το 1236 και το 1237 μαζί με το μοναστήρι στην Γέργερη. Ωστόσο, δεν υπάρχουν άλλες πληροφορίες για αυτό το μοναστήρι. Η ημερομηνία εγκατάλειψης της μονής είναι άγνωστη αλλά είναι πιθανό να εγκαταλείφθηκε κάποιες δεκαετίες μετά την ίδρυσή της.

Παναγία στο Περχειό (Υσόστης) (St. Mary de Percheio – Ysostis)

Το μοναστήρι αυτό είναι το πρώτο Κιστερκιανό μοναστήρι με καλόγριες στον ελληνικό χώρο, το οποίο για πρώτη φορά εμφανίζεται στα έγγραφα το 1221, αλλά η ακριβής ημερομηνία ίδρυσής του είναι άγνωστη. Το όνομα του μοναστηριού υποδεικνύει πως πριν αυτό περάσει στους Κιστερκιανούς, ήταν ελληνικό, αλλά η τοποθεσία του δεν είναι γνωστή. Το όνομα Υσόστης ίσως προέρχεται από την ελληνική λέξη Ψυχοσώστης και το μοναστήρι υπήρχε με αυτό το όνομα πριν από την κατάκτηση της Κωνσταντινούπολης. Επίσης, ενδέχεται η περιοχή Περχειό να είναι η περιοχή Πετριόν, όπου βρίσκεται στην Κωνσταντινούπολη. Το 1221 ο Ονώριος γράφει στην ηγουμένη της κοινότητας, πως το μοναστήρι θα είναι κάτω από την παπική προστασία και κατοχή. Το 1223, το μοναστήρι συσχετίστηκε με το μοναστήρι στην Σιτώ. Οι καλόγριες αποχώρησαν από την Κωνσταντινούπολη μετά την κατάκτηση της από την Μιχαήλ VIII Παλαιολόγο και εγκαταστάθηκαν στην Ιταλία. Το μοναστήρι στο Περχειό φαίνεται πως ήταν το καλύτερο επιχορηγούμενο μοναστήρι από την αριστοκρατία από οποιοδήποτε Κιστερκιανό μοναστήρι στην Ελλάδα και επίσης είχε τόσο πολιτικό όσο και πνευματικό ρόλο. Η περίπτωση του μοναστηριού αυτού είναι ενδιαφέρουσα καθώς υπάρχουν πολλές πληροφορίες σε αντίθεση με οποιοδήποτε άλλο Κιστερκιανό μοναστήρι στην Ελλάδα. Το πιο εντυπωσιακό του χαρακτηριστικό είναι ο πλούτος του και η λίστα με τα ιερά κυμήλια που ίσως και να υπήρχαν σε αυτό.

Παναγία της Ισόβας (Our Lady of Isova)

Το έτος ίδρυσης του μοναστηριού αυτού δεν είναι γνωστό. Τα ερείπια του ναού υπάρχουν ακόμη και σήμερα στην Πελοπόννησο κοντά στο χωριό Τρυπητή. Ίσως το μοναστήρι αυτό να κατοικήθηκε από μοναχούς του Μόριμοντ και σε αυτή την

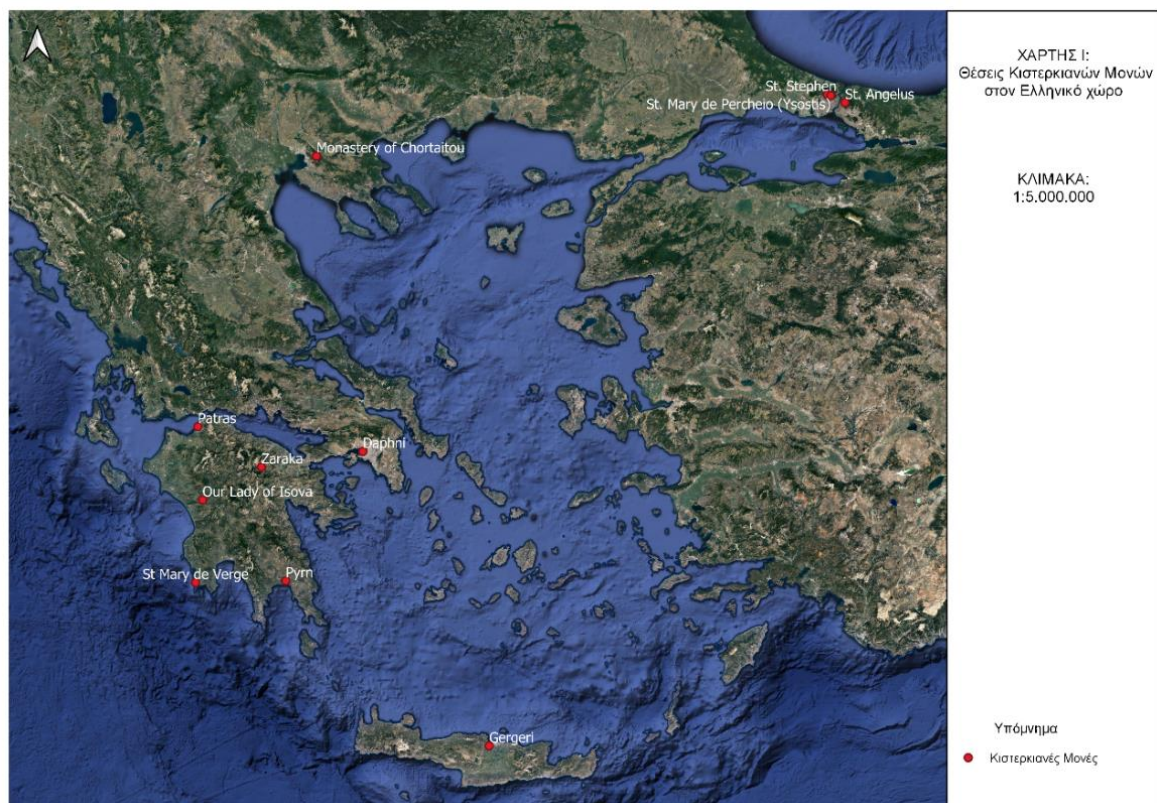
περίπτωση η ίδρυση του μοναστηριού χρονολογείται το 1220. Οι Έλληνες έκαψαν το μοναστήρι πριν από την μάχη της Πρινίτσας το 1263.

Παναγία στην Μεθώνη (St. Mary de Verge)

Το μοναστήρι της Παναγίας είναι ένα ακόμη Κιστερκιανό μοναστήρι που βρίσκεται στην Μεθώνη στην Πελοπόννησο. Η ιστορία του μοναστηριού είναι γνωστή από το 1267 και έπειτα, όπου οι καλόγριες εξορίστηκαν από το μοναστήρι και εγκαταστάθηκαν στην Ιταλία.

Τέλος, υπάρχει το μοναστήρι στο Πύρν (Nunnery of Pyrn) το οποίο αναφέρεται σε κάποια έγγραφα του Πάπα αλλά δεν υπάρχουν πληροφορίες για την ίδρυση και την τοποθεσία του. Ενδεχομένως να βρίσκεται στην Μονεμβασία στην Πελοπόννησο (Tsougarakis N., 2008).

Μέχρι και τον 13^ο αιώνα μ.Χ. πολλά από τα μεγάλα Κιστερκιανά μοναστήρια στην Ευρώπη είχαν ιδρύσει ναούς στην Ελλάδα. Ωστόσο, μετά το 1276, μέσα σε εξήντα χρόνια από την πρώτη εγκατάστασή τους στην Ελλάδα, όλα τα μοναστήρια στην Ελλάδα εγκαταλείφθηκαν. Η αποτυχία του τάγματος να εδραιώσει την θέση του στον Ελληνικό χώρο, οφείλεται κυρίως σε εξωγενείς παράγοντες. Η πλειονότητα των Κιστερκιανών οίκων στην Ελλάδα, συνδεόταν με τα Γαλλικά μητρικά Αββαεία και είχαν ιδρυθεί σε περιοχές που κατακτήθηκαν από Φράγκους, οι οποίοι υποστήριζαν την εγκατάσταση ομοεθνών μοναχών στα κατακτημένα εδάφη. Οι μοναχοί γύρισαν πίσω στα Αββαεία από τα οποία προήλθαν και οι μοναχές ίδρυσαν νέα μοναστήρια σε άλλες χώρες. Με την πτώση του Κιστερκιανού Τάγματος, άρχισε η ανάπτυξη των Φράγκων και των Δομινικανών, τα μοναστήρια των οποίων έζησαν πολύ περισσότερο από των Κιστερκιανών (Katsiki, 1979).



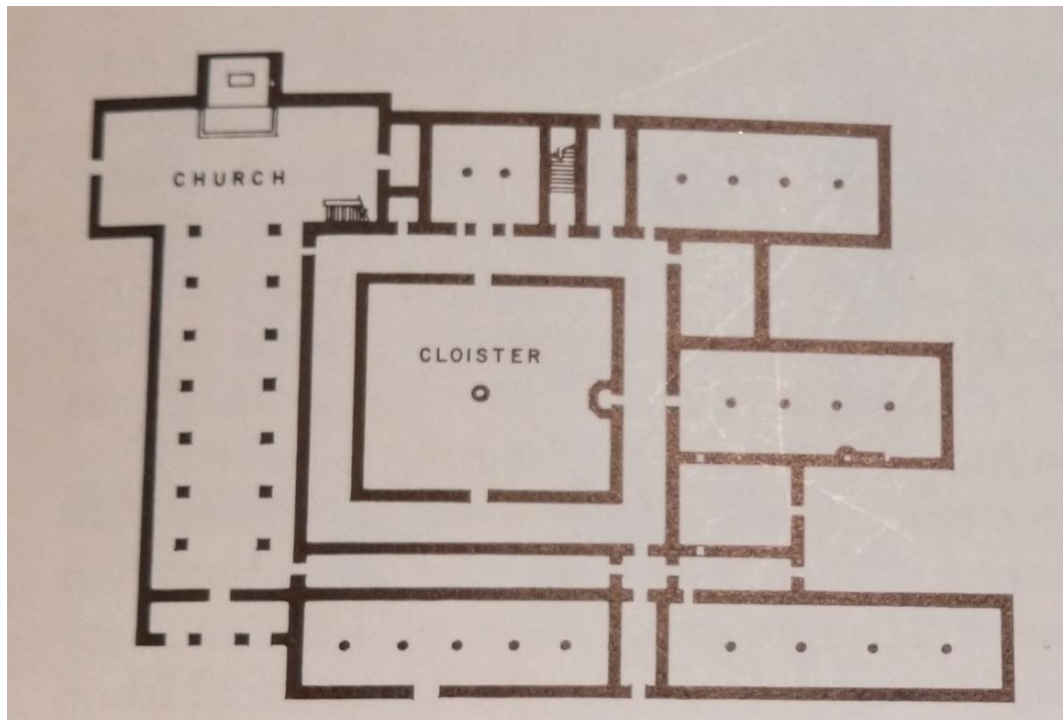
Χάρτης 1.1: Θέσεις Κιστερκιανών Μονών στον Ελληνικό χώρο

1.4 Αρχιτεκτονική Κιστερκιανών Ναών

Οι κιστερκιανές εκκλησίες είναι εύκολο να αναγνωριστούν, καθώς έχουν χτιστεί στο ίδιο πνεύμα και κάτω από έναν προκαθορισμένο κώδικα. Αυτή η αρχιτεκτονική ενότητα έχει αποδοθεί στην επιρροή του Αγίου Βερνάρδου και στο πνεύμα του τάγματος, παρά σε κάποιο συγκεκριμένο αρχιτεκτονικό κανόνα που να θεσπίστηκε από τους Κιστερκιανούς. Η κιστερκιανή εκκλησία θεωρείται ένα εργαστήριο για προσευχή και συνεπώς στην ιδανική του μορφή δεν υπήρχε κανένα περιττό στοιχείο.

Το κύριο χαρακτηριστικό είναι η απλότητα όλων των στοιχείων. Η κάτοψη του ναού τερματίζει σε μια τετράγωνη αψίδα με ένα εξέχον κλίτος, στο οποίο υπάρχουν αρκετές Άγιες τράπεζες διανεμημένες σε αυτό. Το άδυτο είναι απλό και με ταπεινές διαστάσεις. Το εσωτερικό έχει δύο ορόφους, μεγάλα παράθυρα και πολύ καλή ακουστική. Εξαιτίας του μειωμένου ύψους και την απλότητά τους, οι κιστερκιανές εκκλησίες είναι φτωχά φωτισμένες. Λαμβάνουν περιορισμένη ποσότητα φωτός από τα παράθυρα και επιπλέον τους επιτρέπεται μόνο ένας περιορισμένος αριθμός κηροπήγιων στο εσωτερικό, και συγκεκριμένα πέντε. Δεν διαθέτουν σχεδόν κανένα άγαλμα και τα δομικά στοιχεία των τοίχων μαρτυρούν την άρνηση να γίνει δεκτός ο πλούτος των

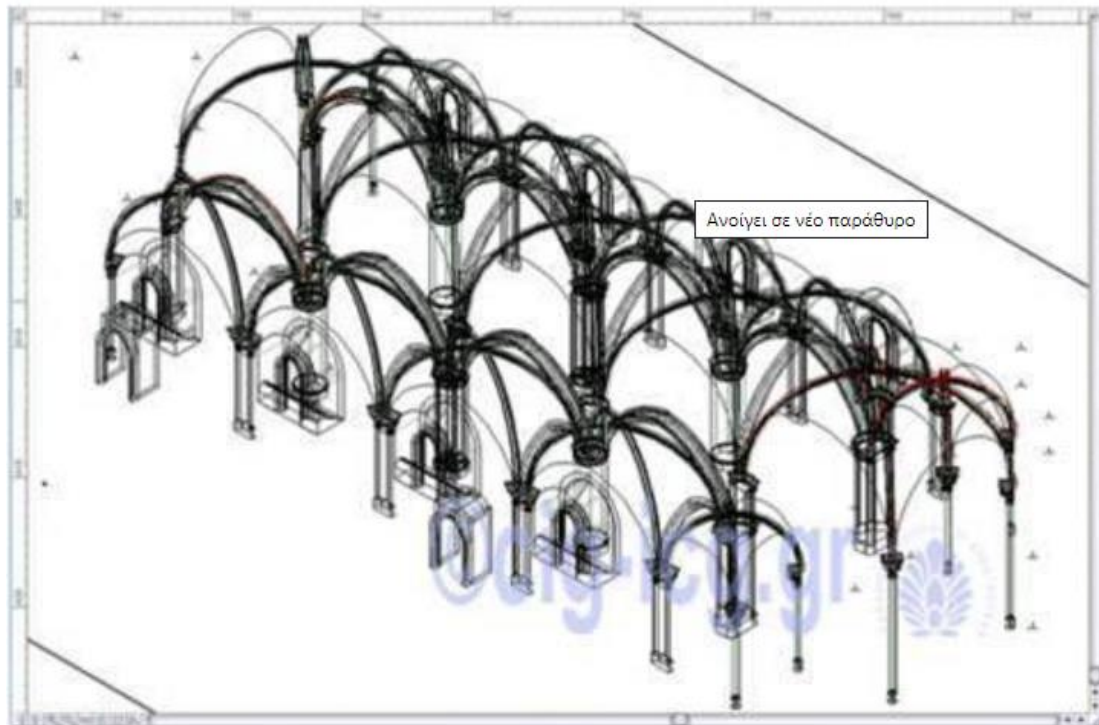
μοναστηριών του Κλουβί. Η λιτότητα, η επίπεδη δομή, η έλλειψη διακόσμησης δημιουργούν ένα επιβλητικό και μνημειακό μεγαλείο. Ωστόσο, παρά την αυστηρότητα, η κιστερκιανή αρχιτεκτονική εκπλήσσει με τις αναλογίες και τον πολύ απλό της διάκοσμο (Katsiki, 1979).



(Πηγή: Panagopoulos Katsiki B., 1979, Cistercian and Medicant Monasteries in Medieval Greece, The University of Chicago Press, ISBN: 0-226-64544-4)

Σχέδιο 1.1: Κάτοψη Κιστερκιανού Μοναστηριού

Η εξέλιξη της κιστερκιανής αρχιτεκτονικής είχε σημαντικό αντίκτυπο στην αρχιτεκτονική όλων των ταγμάτων στον Μεσαίωνα. Παρόλο που η μορφή των ναών άλλαξε πολύ λίγο, σε πολλές περιπτώσεις στο πνεύμα των κιστερκιανών κτισμάτων αποδείχθηκε πολύ πιο εξελιγμένο από άλλες εκκλησιαστικές δομές. Οι κιστερκιανοί υιοθέτησαν το ραβδωτό θόλο από την Βουργουνδία, την Καμπανία και την Ιλέ ντε Φράνς μετά το 1150 και την μετέφεραν σε όλη την Ευρώπη, έτσι ώστε να διαδοθεί η Γοθική δομή. Παρόλο που υιοθέτησαν τον ραβδωτό θόλο δεν εξέτασαν ποτέ τις προοπτικές του, ούτε το χρησιμοποίησαν για να τροποποιήσουν το εσωτερικό των εκκλησιών τους. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που μπορεί κάποιος να αναφερθεί στην ομοιομορφία της κιστερκιανής αρχιτεκτονικής, που οι μοναχοί έφεραν και στην Ελλάδα (Katsiki, 1979).



(Πηγή: Ιστοσελίδα του Καναδικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου Αθηνών)

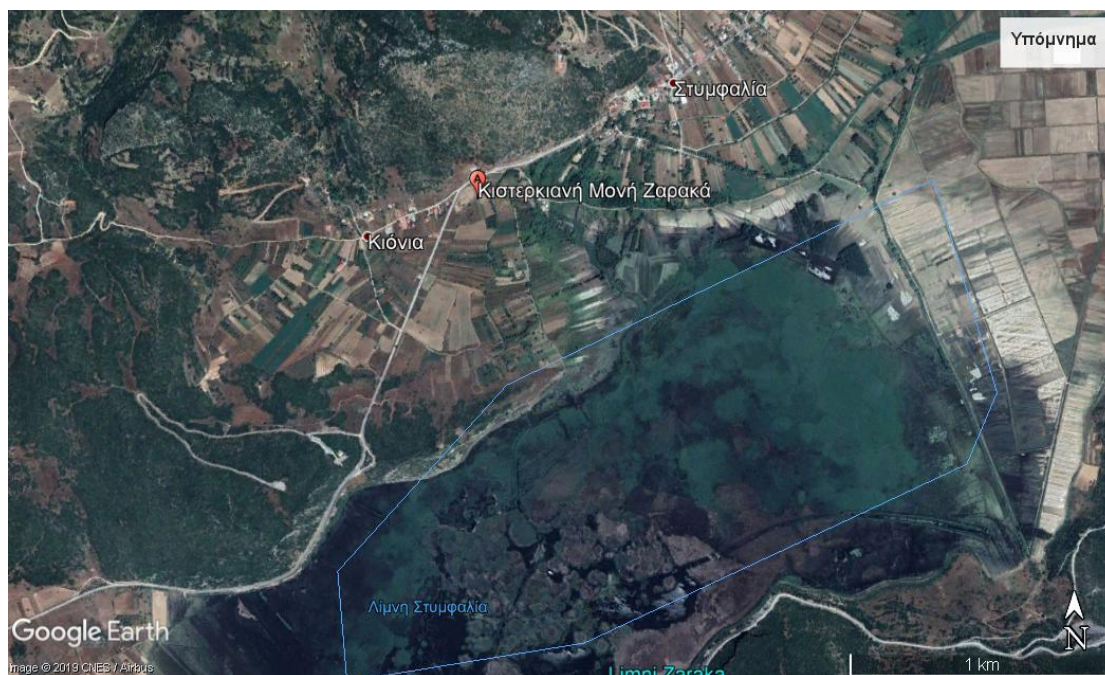
Σχέδιο 1.2: Απεικόνιση σταυροβολίων μονής Ζαρακά

Οι εκτάσεις που προτεινόταν για εγκατάσταση ήταν πεδιάδες που περιβάλλονταν από δασώδεις λόφους και υπήρχαν πηγές. Οι μονές δεν βρίσκονταν ποτέ κοντά σε κάποια πόλη, καθώς οι κανόνες του τάγματος το απαγόρευαν, καθώς επίσης τα μοναστήρια δεν έπρεπε να βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο και το 1153, σε έγγραφο αναφέρεται πως η απόσταση ενός μοναστηριού με ένα άλλο πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 μίλια και να βρίσκονται μακριά από δρόμους στους οποίους κινείται μεγάλη μερίδα του πληθυσμού της περιοχής. Οι κιστερκιανοί προτιμούσαν να χτίζουν οι ίδιοι τα μοναστήρια τους ακόμη και αν η διαδικασία αυτή έπαιρνε αρκετά χρόνια. Ωστόσο, πολλές ήταν οι φορές που το τάγμα κατοίκησε σε ήδη υπάρχοντα κτίσματα, όπως είναι η Μονή Δαφνίου.

1.5 Μονή Ζαρακά

Η Μονή Ζαρακά βρίσκεται στην Κοιλάδα της Στυμφαλίας, βορειοδυτικά της λίμνης της Στυμφαλίας στον νομό Κορινθίας, κοντά στο χωριό Στυμφαλία. Τοποθετείται δίπλα στην επαρχιακή οδό Κιάτου – Βυτίνας, δρόμος που υπήρχε και την εποχή εκείνη και συνέδεε τον Φενεό με το Κιάτο και την Κόρινθο. Η κοιλάδα της Στυμφαλίας ήταν πλούσια σε καλλιεργήσιμη γη, διέθετε πηγές με τρεχούμενο νερό όλους τους μήνες του χρόνου και περιβαλλόταν από ψηλά βουνά. Όλα αυτά, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το τοπίο ήταν απομονωμένο, αλλά μόνο δύο με τρεις μέρες μακριά από τις

πόλεις Κιάτο και Κόρινθο κατέστησαν την περιοχή ιδανική για την ανέγερση του μοναστηριού.



(Πηγή: Google Earth)

Εικόνα 1.2: Τοποθεσία Μονής Ζαρακά

Το μοναστήρι χρονολογείται από τον 13^ο αιώνα μ.Χ., όταν οι Φράγκοι κατέκτησαν ένα μεγάλο τμήμα της Πελοποννήσου. Ιδρύθηκε το 1225, κατοικήθηκε από το τάγμα για 35 με 40 χρόνια και εγκαταλείφθηκε το 1261 – 1263.

Ο Γοδεφρείδος Β΄ ζήτησε την αποστολή μιας ομάδας Κιστερκιανών μοναχών στα κατεχόμενα εδάφη της Πελοποννήσου, έτσι ώστε να μπορέσει να συνεχίσει την παράδοση που είχε ο οίκος των Βιλλεαρδουίνων στην προστασία και προώθηση του Κιστερκιανού τάγματος. Η Γενική Σύνοδος τον Σεπτέμβριο του 1225 στην Σιτώ, έδωσε την εξουσιοδότηση στον ηγούμενο του Αββαείου του Μόριμοντ στην Καμπανία, για την ανέγερση ενός μοναστικού συγκροτήματος στην Ελλάδα. Ωστόσο, αν και είναι δύσκολο να εξακριβωθεί αν η αποστολή αυτή ίδρυσε την Μονή Ζαρακά, αυτή είναι η υπόθεση που επαληθεύεται χρονικά. Η μονή πήρε την λατινική ονομασία «Zaraka» ή «Saracaz» αλλά αναφερόταν και ως «Saracez», «Sarakez», «Sacra», «Zaracca», «Zaraca» και ίσως η ετυμολογία της λέξης προέρχεται από την λατινική λέξη «sacro» που μεταφράζεται ως άγιος, ιερός, όσιος. Σήμερα είναι ορατά τα ερείπια της εκκλησίας και του διώροφου φυλακίου εισόδου, αλλά και κάποια ερείπια του τείχους προστασίας (Katsiki, 1979, Campbell, 2018). Η Μονή έχει κηρυχθεί αρχαιολογικός χώρος, τύπου αρχαίου μνημείου και είδους Μοναστηριακό Συγκρότημα, με Αριθμό Υπουργικής Απόφασης ΥΑ 15904/24-11-62 και Αριθμό ΦΕΚ 473/Β/17-12-1962.



Εικόνα 1.3: Ερείπια Πύλης, τειχών και Ναού της Μονής

Το τείχος του μοναστηριού είχε απλή δομή και το ύψος του θεωρείται πως έφτανε τα 4 με 5 μέτρα. Από το τείχος προστασίας διασώζονται μέχρι και σήμερα μόνο κάποια τμήματά του. Τμήμα του τείχους υπάρχει κοντά στην πύλη εισόδου, αλλά και στην νότια πλευρά του αρχαιολογικού χώρου, όπου και είναι δυνατόν να ανιχνευτεί εξ ολοκλήρου. Στην βόρεια πλευρά δεν είναι γνωστό αν υπήρχε και σε ποιο σημείο, τείχος προστασίας, καθώς η κλίση του λόφου που υπάρχει στην περιοχή, ενδεχομένως να λειτουργούσε και ως φυσικό όριο. Τέλος, το ανατολικό όριο της μονής είναι άγνωστο.



Εικόνα 1.4: Τμήμα του τείχους προστασίας του μοναστηριού

Το φυλάκιο εισόδου βρίσκεται στα δυτικά του ναού και ήταν η είσοδος στην Μονή. Οι διαστάσεις του είναι 7 μέτρα μήκος επί 7 μέτρα πλάτος και αποτελούνταν από δύο ορόφους με συνολικό ύψος 12 μέτρων, περίπου. Το ισόγειο του φυλακίου παραμένει ακέραιο μέχρι και σήμερα, εκτός από την αψίδα της δυτικής εισόδου, η οποία δεν διασώζεται. Ο πύργος έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τα μεσαιωνικά πρότυπα από λαξευμένους λίθους μικρού μεγέθους, με κονίαμα, με την κάλυψη των κενών με θραύσματα και έχει γίνει χρήση αρχαίων δομικών στοιχείων τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό της πύλης. Στο μέσον του πύργου υπήρχε μεγάλη τοξωτή θύρα. Η πύλη πιθανόν να αποτελείτο από δύο μεγάλες ξύλινες πόρτες οι οποίες επέτρεπαν την είσοδο μεγάλων οχημάτων και αλόγων, και από μια μικρότερη πόρτα από την οποία εισέρχονταν οι πεζοί. Ασφαλιζόταν εσωτερικά από μια ξύλινη δοκό η οποία τοποθετείτο σε ειδικές εσοχές στον βόρειο και στον νότιο τοίχο του πύργου (Campbell, 2018).



Εικόνα 1.5: Φυλάκιο εισόδου



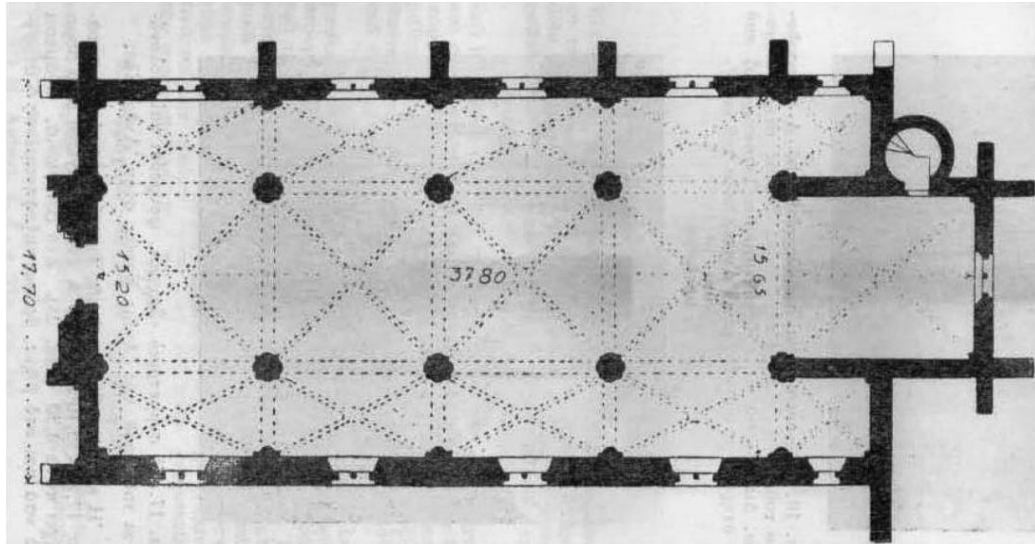
Εικόνα 1.6: Εσοχές της θύρας εισόδου στο εσωτερικό του φυλακίου

Η πρόσβαση στον πρώτο όροφο του πυργοειδή πυλώνα πραγματοποιείται από την βόρεια πλευρά, όπου υπήρχε το κλιμακοστάσιο. Τα πρώτα δύο σκαλοπάτια που υπάρχουν, ήταν λίθοι από την αρχαία πόλη της Στυμφαλίας και τα επόμενα σκαλοπάτια ήταν ίσως από πέτρα ή ξύλο, τα οποία υποστηρίζονταν από μια μικρή αψίδα. Οι τοίχοι του ορόφου του φυλακίου αποτελούνταν από ακατέργαστους,

ακανόνιστου σχήματος λίθους. Τμήματα των τοίχων του πρώτου ορόφου διασώζονται μέχρι και την θολωτή οροφή. Στο κέντρο του ανατολικού τοίχου υπήρχε ένα μικρό τοξωτό παράθυρο και ίσως να υπήρχε ένα ίδιο παράθυρο και στον δυτικό τοίχο του φυλακίου. Ο θόλος του φυλακίου εισόδου υποστηριζόταν από στηρίγματα στις 4 γωνίες της άνω κάμαρας και είχε ύψος 3 μέτρα και τα θραύσματα του, εντοπίστηκαν στο φυλάκιο εισόδου, ίδιας τεχνοτροπίας με εκείνους του ναού. Στην βόρεια πλευρά διακρίνονται, επίσης, τα ερείπια του τείχους του μοναστηριού. Στην νοτιοανατολική πλευρά του πύργου υπάρχουν τα ερείπια από μια ακόμη τοιχοποιία χωρίς να υπάρχουν θεμέλια. Πιθανόν να πρόκειται για στάβλο για τα άλογα των επισκεπτών του μοναστηριού.

Η εκκλησία του μοναστηριού είναι μια επιμήκης τρίκλιτη βασιλική. Παρόλο που τα σχέδια είναι δυτικής τεχνοτροπίας, η κατασκευή της εκκλησίας ακολουθεί την Βυζαντινή τεχνική και μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μεταβατικό έργο από τον Ρωμανικό ρυθμό του 12^{ου} αιώνα στον Γοθικό του 13^{ου} αιώνα. Η εκκλησία είναι προσανατολισμένη βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά. Οι τοίχοι αποτελούνται από ογκόλιθους, μεγάλου και μικρού μεγέθους, τοποθετημένους σε δύο παράλληλα τοιχώματα, προσαρμόζοντας το ισόδομο σύστημα, με τοποθέτηση κεραμικών θραυσμάτων στα κενά. Η μέθοδος τοιχοποιίας αυτή, ακολουθεί την Βυζαντινή τεχνοτροπία, με κυριότερο παράδειγμα τον βόρειο εξωτερικό τοίχο του ναού. Σε πολλά σημεία, όπως και στην Πύλη, έχουν επαναχρησιμοποιηθεί λίθοι από την αρχαία πόλη της Στυμφαλίας.

Ο βόρειος και ο νότιος τοίχος του ναού δεν είναι παράλληλοι, αλλά αποκλίνουν μεταξύ τους προς το ανατολικό τμήμα του ναού, δημιουργώντας ένα τραπεζοειδές σχήμα, όπου ανατολικά το εσωτερικό έχει αύξηση στο πλάτος κατά 0.5m. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι διαστάσεις του εσωτερικού είναι 37.8m μήκος και πλάτος 15.3 - 15.8m. Τα τοιχώματα σήμερα, έχουν ύψος που κυμαίνεται από 3.6 m - 8 m, το πάχος τους είναι 1 m, ενώ στην δυτική πρόσοψη το πάχος του τοίχου ανέρχεται στα 1.72 m. Το ύψος των θόλων υπολογίζεται πως ήταν 5.50 m. Η εκκλησία είχε τρεις εισόδους, μια κύρια είσοδο στα δυτικά και δύο μικρότερες στο νότιο τμήμα της (Campbell, 2018).



(Πηγή: Λόης Γ., «Μονή Ζαρακά: Ένα Ρωμαιοκαθολικό Αββαείο των Μεσαιωνικών Χρόνων στην Στυμφαλία», 2016)

Σχέδιο 1.3: Κάτοψη του Καθολικού της μονής Ζαρακά από τον καθηγητή Α. Ορλάνδο

Η λιθοδομή έχει Φράγκικη προέλευση, όπως φαίνεται σε πολλές αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες. Εξαιρέση αποτελούν τα αντερείσματα στον βόρειο και δυτικό τοίχο όπου προέρχονται από επαναχρησιμοποίηση υλικών. Στον νότιο τοίχο δεν υπάρχουν αντερείσματα, και για αυτό τον λόγο παρατηρείται μεγαλύτερο πάχος τοίχου σε σχέση με τους υπόλοιπους. Κύριο χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής του ναού είναι οι βάσεις των πεσσών, πάνω στους οποίους στηρίζονταν οι κατώτατοι λίθοι για τον σχηματισμό του θόλου. Στον δυτικό τοίχο, όπου βρίσκεται η κύρια είσοδος του ναού υπάρχουν δύο κιονόκρανα, πιθανώς για την ανέγερση ενός πρόναου, εργασία που ποτέ δεν ολοκληρώθηκε (Campbell, 2018).



Εικόνα 1.7: Κιονόκρανο στον Δυτικό τοίχο

Εσωτερικά ο διάκοσμος ήταν λιτός, όπως προστάζουν οι ασκητικοί κανόνες του τάγματος. Υπήρχαν μόνο τα ανάγλυφα κιονόκρανα, τα επίκρανα των παραστάδων, οι ραβδώσεις και τα κλειδιά των θόλων. Ο Α. Ορλάνδος αναφέρει πως η εκκλησία φωτιζόταν από φεγγίτες ενώ υπήρχαν τέσσερα διπλά παράθυρα Γοθτικού ρυθμού στον βόρειο και τρία στον νότιο τοίχο. Το κεντρικό κλίτος της εκκλησίας διαχωριζόταν από τα δύο συμμετρικά πλάγια κλίτη με δύο κιονοστοιχίες, οι οποίες σχημάτιζαν πλευρικές στοές με αψιδωτά ανοίγματα από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Κάθε κιονοστοιχία αποτελείτο από τρεις ογκώδεις σπονδυλωτούς κίονες και από δύο πεσσούς στα άκρα. Οι κίονες παρά την απλότητά τους έχουν Γοθικά χαρακτηριστικά και χρονολογούνται στις αρχές του 13^{ου} αιώνα. Αποτελούνται από τέσσερα τμήματα και στον ναό εντοπίζονται έξι διαφορετικοί τύποι κιονόκρανων με διαφορετικό διάκοσμο. Στον διάκοσμο των κιονοκράνων τους χρησιμοποιούσαν απλά σχέδια με κυρίαρχο τα φυλλώματα. Οι πεσσοί τοποθετούνταν σε στρατηγικά σημεία έτσι ώστε να στηρίζουν και τις καμάρες αλλά και τον θόλο και παρουσιάζουν και αυτοί, διαφορές στον διάκοσμο των κιονοκράνων τους. Πεσσοί υπήρχαν επίσης και στον νότιο και βόρειο τοίχο που βοηθούσαν στην υποστήριξη του κεντρικού κλίτους αλλά και του θόλου. Στις τέσσερις γωνίες του ναού υπάρχουν απλά δοκάρια όπου και αυτά συνέβαλλαν στην στήριξη του θόλου. Στο ανατολικό τμήμα του ναού διακρίνονται μέχρι και σήμερα τρία δωμάτια. Στο κεντρικό κλίτος, στεγαζόταν το ιερό, ενώ εκατέρωθεν αυτού, στα δύο πλάγια κλίτη, βρίσκονταν δύο παρεκκλήσια στα οποία μπορούσαν να προσευχηθούν οι μοναχοί. Στον διάκοσμο του ναού αποφεύγονταν οι σκαλιστές φιγούρες, με εξαίρεση τον «πράσινο άνδρα». Η φιγούρα αυτή είναι ένα δυτικό χαρακτηριστικό αρχιτεκτονικής και παρατηρείται σε όλη την Ευρώπη και την Βρετανία. Η εικόνα σχετίζεται με φυτικές θεότητες και βασίζεται στον Ελληνικό – Ρωμαϊκό διονυσιακό συμβολισμό. Ο πράσινος άνδρας βρέθηκε στην μονή Ζαρακά το 1940 από τον καθηγητή Α. Ορλάνδο και μεταφέρθηκε στο γραφείο του δημάρχου στην Στυμφαλία και από εκεί στον Σικυώνα και στο Χλεμούτσι για μια έκθεση. Σύμφωνα με προτεινόμενες ανακατασκευές που έχουν προταθεί για την μονή, ο πράσινος άνδρας τοποθετείται στους πλευρικούς διαδρόμους (Campbell, 2018).



(Πηγή: Campbell S., 2018, The Cistercian Monastery of Zaraka, Greece, Medieval Institute Publications, ISBN: 978158044244-2)

Εικόνα 1.8: Πράσινος άνδρας

Η μονή Ζαρακά είναι η μόνη Φράγκικη εκκλησία στην Ελλάδα, η οροφή της οποίας καλυπτόταν εξολοκλήρου από θόλους. Αυτό είναι ένα σημαντικό αρχιτεκτονικό χαρακτηριστικό, καθώς οι θόλοι εξασφάλιζαν τον χωρικό και δομικό σκελετό για όλο το υπόλοιπο κτήριο. Οι θόλοι αποτελούνταν από ημικυκλικά σταυρωτά στηρίγματα και έχουν αφήσει τα ίχνη τους στα ερείπια του ναού μέχρι και σήμερα. Κατασκευαστικά, οι τοξωτοί θόλοι ήταν ελκυστικοί καθώς αφού τοποθετούνταν τα τόξα, οι θόλοι δεν χρειάζονταν κάποια άλλη στήριξη. Η στέγαση του κεντρικού κλίτους ήταν δίριχτη και στα πλάγια κλίτη επικλινής.

Στην βορειοανατολική πλευρά του ναού υπάρχει η πέτρινη βάση του κυλινδρικού καμπαναριού διαμέτρου 3 μέτρων. Η πρόσβαση σε αυτό πραγματοποιείτο μέσω του ιερού. Το 1996 βρέθηκε ένα μεγάλο κομμάτι από μπρούντζο και αναγνωρίστηκε ως κομμάτι της μεγάλης καμπάνας του ναού.

Εκατέρωθεν του ναού υπήρχαν δύο σκεπαστοί διάδρομοι, οι οποίοι ανακαλύφθηκαν κατά την διάρκεια των ανασκαφών στην περιοχή. Ο διάδρομος στην νότια πλευρά της εκκλησίας ήταν ιδιαίτερα στενός και κατέληγε σε μια πόρτα στην ανατολική πλευρά της εκκλησίας, απ' όπου οι μοναχοί εισέρχονταν για να πραγματοποιήσουν τις βραδινές τους προσευχές. Ο βόρειος διάδρομος είχε μήκος 3 m και ύψος 3.5 m και διέθετε θολωτή οροφή. Εξωτερικά, οι οροφές των διαδρόμων αυτών ήταν πλάγιες επικλινείς, όπως φαίνεται στην νότια πλευρά, όπου και υπάρχουν δύο στηρίγματα, όπου η σκεπή

του διαδρόμου συναντούσε τον νότιο τοίχο της εκκλησίας. Στην νότια και στην δυτική πλευρά του ναού υπάρχουν θεμέλια κτισμάτων, όπου αποκαλύφθηκαν στις ανασκαφές. Νότια του ναού ανασκάφθηκαν θεμέλια που παρουσιάζουν μια σειρά δωματίων διαφορετικού μεγέθους, και ίσως εκεί να στεγαζόταν η κουζίνα και η τραπεζαρία. Δυτικά, υπήρχε επίσης ένα μεγάλο κτίσμα με πολλά δωμάτια που ενδεχομένως να ήταν οι κοιτώνες των μοναχών. Στα ανατολικά του ναού ανακαλύφθηκαν ορισμένα θεμέλια κτισμάτων, όπου κατά παράδοση στα μοναστικά συγκροτήματα, εδράζεται η κατοικία του ηγούμενου και οι κοιτώνες. Ωστόσο, πέρα από τα θεμέλια δεν έχει εξακριβωθεί αν υπήρχαν αυτά τα κτίσματα εκεί. Επίσης, στα ανατολικά του ναού υπάρχει ένας τάφος, για τον οποίο έχει γίνει η υπόθεση ότι ανήκει στον ηγούμενο που ίδρυσε την μονή.

Στα Κιστερκιανά μοναστήρια, εκτός από τον ναό, συνοδεύονταν και από άλλα κτήρια. Έτσι και στην μονή Ζαρακά, υπήρχαν και άλλα κτίσματα, των οποίων σώζονται μόνο τα θεμέλια και η χρήση τους είναι άγνωστη. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργούνταν μικρές αυλές μέσα στα όρια του μοναστηριού. Τα κτήρια που συναντώνται συνήθως στα Κιστερκιανά μοναστήρια είναι το σπίτι του Ηγούμενου, ο ξενώνας, το θεραπευτήριο, κοιτώνες, αχυρώνες για αποθήκευση των σιτηρών, στάβλοι για τα άλογα, παχνί για τα πρόβατα, εργαστήρια για την επεξεργασία του μαλλιού των προβάτων και την αποθήκευσή του, εργαστήρια παραγωγής τυροκομικών προϊόντων κ.ά.

Σήμερα, στο εσωτερικό του ναού υπάρχουν κιονόκρανα, τμήματα των πεσσών, θραύσματα των θολόλιθων, βάθρα κιόνων, άβακες, καμάρες, σκελετοί των παραθύρων, λίθοι που ανήκαν σε πόρτες κ.α.. Στο μνημείο έχουν αναγνωριστεί 15 διαφορετικά αρχιτεκτονικά θραύσματα, γεγονός που δεν συμβαίνει σε καμία άλλη Φράγκικη εκκλησία. Οι κίονες έχουν μεταφερθεί και από ανθρώπινη παρέμβαση αλλά και από κάποιο φυσικό φαινόμενο και έτσι είναι αρκετά δύσκολο να προσδιοριστεί η αρχική τους θέση.

Η Μονή Ζαρακά, μετά την εγκατάλειψή της από το Κιστερκιανό τάγμα, εξακολούθησε να κατοικείται για περίπου δύο αιώνες ακόμα. Οι ανασκαφές που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της Μονής έφεραν στο φως πληθώρα κεραμικών θραυσμάτων. Ανακαλύφθηκαν εννέα ανθρώπινοι σκελετοί γύρω από τον ναό, και πλησίον της πύλης εντοπίστηκαν αρκετά νομίσματα του δόγη της Βενετίας Αντρέα Κονταρίνι. Ενδεχομένως το μοναστήρι να χρησιμοποιήθηκε από τους Λατίνους κατακτητές σαν στρατιωτικό φυλάκιο, για τον έλεγχο του δρόμου προς την Αρκαδία και την Αργολίδα. Τα νομίσματα παραπέμπουν στην εποχή που η Κόρινθος ήταν κάτω από τον έλεγχο

του Ιταλικού οίκου των Ατζαγιόλι, στα μέσα του 14^{ου} αιώνα. Η μονή εγκαταλείφθηκε με την οριστική κατάκτηση της Πελοποννήσου από τους Τούρκους, από τον Μωάμεθ Β' τον Πορθητή (Campbell, 2018).

Η πρώτη ανασκαφή πραγματοποιήθηκε το 1928 από τον Α. Ορλάνδο, ο οποίος το 1955 δημιούργησε την σχεδιαστική αναπαράσταση του καθολικού της μονής (Εικόνα 1.10). Επόμενες ανασκαφές ήταν αυτή του Ε. Στίκα το 1962 και το 1993 – 1997 από το Καναδικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο με επικεφαλής την Sheila Campbell από το Πανεπιστήμιο του Τορόντο, με την χρηματοδότηση των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων του Καναδά, σε συνεργασία με την 25^η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων. Το 2007 πραγματοποιήθηκε μια ακόμη έρευνα στο μνημείο, η οποία αφορούσε τα δομικά στοιχεία του ναού με σκοπό την τρισδιάστατη ηλεκτρονική του αναπαράσταση, με επικεφαλής τους καθηγητές της ιστορίας της Τέχνης Κωστή Κουρελή και του Joseph Alchermes μαζί με τον Anthony Masinton, υπό την αιγίδα του Καναδικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου στην Αθήνα. Τα ευρήματα των ανασκαφών που ανάγονται στην Μοναστική περίοδο του μοναστηριού είναι δύο κλειδιά, ένα νόμισμα και ένα βαρίδιο που πιθανόν να χρησιμοποιούνταν για φαρμακευτικούς σκοπούς.



(Πηγή: <http://www.e-stymfalia.gr/index.php/tourism/moni>)

Εικόνα 1.9: Αναπαράσταση της εκκλησίας του Ζαρακά από τον καθηγητή Α. Ορλάνδο



(Πηγή: Καναδικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο Αθηνών <http://portal.cig-icg.gr/node/210?language=el>)

Εικόνα 1.10: Κλειδιά στην είσοδο της Μονής

1.6 Ιστορικές Αναφορές για την Μονή

Υπάρχουν ελάχιστες αναφορές για το μοναστήρι, οι οποίες έχουν συγκεντρωθεί από την Elizabeth A. R. Brown. Το 1210 ο Γοδεφρείδος Α' Βιλλεαρδουίνος προσφέρθηκε να χτίσει ένα μοναστήρι στην Πάτρα για τους Κιστερκιανούς μοναχούς. Σήμερα δεν υπάρχουν ίχνη του μοναστηριού αυτού αλλά ούτε είναι γνωστό αν χτίστηκε. Το 1225 ο ίδιος ο Γοδεφρείδος ζήτησε από την σύνοδο κάποιους μοναχούς για να χτίσουν ένα μοναστήρι στην Αχαΐα και σύνοδος εμπιστεύτηκε το ζήτημα στο Αββαείο του Μόριμοντ στην Ελβετία. Γενικά υπάρχει η υπόθεση ότι το μοναστήρι αυτό ήταν η μονή Ζαρακά. Την ίδια χρονιά, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν αποδείξεις, ο Γοδεφρείδος κάλεσε τους μοναχούς από το Ωτκομπ (Hautecombe) στην Αχαΐα για να ιδρύσουν την Μονή Ζαρακά. Η επόμενη αναφορά για την Μονή είναι κάποια χρόνια αργότερα το 1236, όπου ο Πάπας Γρηγόριος ΙΧ διέταξε τον αρχιεπίσκοπο της Πάτρας και τους ακολούθους του, όλους τους κληρικούς και τους εφημέριους να δώσουν το ένα δέκατο από τα ετήσια έσοδά τους ως οικονομική βοήθεια για τους άνδρες που μάχονταν για την ασφάλεια της Ρουμανίας. Ο ηγούμενος της μονής Ζαρακά, Πέτρος και ο καθηγητής των Τευτοκινών Ιπποτών στην Ρουμανία, ήταν υπεύθυνοι να συγκεντρώσουν και να διανέμουν το χρηματικό ποσό. Το 1237, ο Πάπας Γρηγόριος ΙΧ διέταξε τον ηγούμενο

της μονής να συνεργαστεί με τον αρχιεπίσκοπο της Κορώνης για να εξετάσουν το ενδεχόμενο μεταφοράς του νοσοκομείου και της εκκλησίας από την Ανδραβίδα στην Ρουμανία. Το 1241, η σύνοδος διατάζει τους ηγούμενους των Μονών Ζαρακά και Δαφνίου να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα που είχε δημιουργηθεί με τους φυγάδες μοναχούς. Ο ρόλος τους ήταν να τους προειδοποιήσουν πως όποιος μοναχός περιφερόταν χωρίς έγκριση, έπρεπε να γυρίσει στο μοναστήρι του, διαφορετικά θα αφοριζόταν.

Επόμενη εμφάνιση σε έγγραφο για την μονή Ζαρακά είναι το 1257, όπου ο ηγούμενος της μονής δέχτηκε μομφή, καθώς δεν παρουσιάστηκε στην σύνοδο για αρκετά έτη, και αν επιθυμούσε να αποφύγει την τιμωρία έπρεπε να παρουσιαστεί στην επόμενη σύνοδο ζητώντας συγχώρεση. Το 1260 η σύνοδος δέχτηκε ένα παράπονο από τον ιππότη Lord Aymo de Molay κατά του ηγούμενου της μονής Δαφνίου και οι ηγούμενοι των μονών Ζαρακά και Αγγέλου κλήθηκαν να ερευνήσουν το ζήτημα. Στην εγγραφή αυτή σημειώνεται πως ο ηγούμενος της μονής Δαφνίου έπρεπε να ειδοποιήσει τον ηγούμενο της Μονής Ζαρακά, και έτσι συμπεραίνεται πως ο ηγούμενος ακόμα ήταν απών από την συνέλευση. Σε μια ακόμα καταχώρηση για την χρονιά 1260 οι ηγούμενοι του Δαφνίου και του Ρουφινιάνο διατάχθηκαν να ερευνήσουν την περιοχή στην οποία το μοναστήρι του Ζαρακά είχε πρόθεση να μεταφερθεί. Ο λόγος της μεταφοράς αλλά και ο τόπος δεν είναι γνωστά.

Με την πτώση της Λατινικής κυριαρχίας στην Κωνσταντινούπολη το 1261 όλα τα μοναστήρια αναγκάστηκαν να κλείσουν και το 1276 το Κιστερκιανό τάγμα εγκατέλειψε οριστικά την Ελλάδα (Campbell, 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την πλήρη γεωμετρική τεκμηρίωση της Μονής Ζαρακά, πρώτο στάδιο είναι η συλλογή των απαραίτητων προς επεξεργασία δεδομένων. Οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν με συνδυασμό φωτογραμμετρικών και γεωδαιτικών μεθόδων. Οι δύο μέθοδοι είναι αλληλοσυμπληρούμενες και με τον συνδυασμό τους εξασφαλίζεται η βέλτιστη χρονικά και οικονομικά λύση καθώς και το βέλτιστο αποτέλεσμα σε ορθότητα, πληρότητα και ακρίβεια.

Μετά από συνεχή επικοινωνία με την Εφορεία Αρχαιοτήτων Κορινθίας και αφού εξασφαλίστηκε η απαραίτητη άδεια, οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν την Τετάρτη 13 Μαρτίου 2019.

2.1 Εξοπλισμός

Για την συλλογή όλων των δεδομένων έγινε χρήση του εξοπλισμού του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στον κατάλογο που ακολουθεί μαζί με κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά.

- Ψηφιακή Φωτογραφική Μηχανή DSLR Canon EOS 6D.
Η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon EOS 6D διαθέτει μέγεθος εικονοψηφίδας 6.5 μm , μέγεθος αισθητήρα 36 x 24 mm, διαστάσεις εικόνας 5472 x 3648 pixels, ανάλυση 20 Mpixels και φακούς 24 mm, 35 mm και 50 mm.
- Ψηφιακή Φωτογραφική Μηχανή DSLR Canon EOS 80D.
Η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon EOS 6D διαθέτει μέγεθος εικονοψηφίδας 3.73 μm , μέγεθος αισθητήρα 22.5 x 15 mm, μέγεθος εικόνας 6000 x 4000 pixels, ανάλυση 24 Mpixels και φακούς 24 mm, 35 mm και 50 mm.
- Μη Επανδρωμένο Ιπτάμενο Όχημα (UAV) Phantom 4 PRO της εταιρείας DJI.
Το μη επανδρωμένο όχημα Phantom 4 Pro είναι ένα ιπτάμενο όχημα με ενσωματωμένη κάμερα. Το UAV έχει μέγιστη ταχύτητα ίση με 72 km/h και μέγιστη επιτάχυνση 6 m/s. Διαθέτει διάφορες λειτουργίες πτήσης, ο χρήστης μπορεί να προγραμματίσει την πτήση του μέσω του λογισμικού και η αυτονομία σε κάθε πτήση είναι περίπου 30 λεπτά. Η κάμερά του έχει ανάλυση 19.96 Mpixels και το μέγεθος αισθητήρα είναι 13.2 x 8.8 mm.

Μη Επανδρωμένο Ιπτάμενο Όχημα (UAV)

Πρόκειται για ένα οκτακόπτερο UAV, με έλικες της εταιρείας Vulcan, σύστημα πλοήγησης της εταιρείας DJI μοντέλο A2, το οποίο αποτελείται από έναν πλοηγό, μια μονάδα διαχείρισης του ρεύματος που διοχετεύεται σε αυτόν, ένα σύστημα που εξασφαλίζει σταθερά αποτελέσματα κατά την λήψη των εικόνων στην πτήση και σύστημα GPS. Η κάμερα που τοποθετείται σε αυτό είναι η Canon 6D με φακό 35 mm.

- Επίγειος Ψηφιακός Σαρωτής Laser Scanner της εταιρείας Faro Focus 3D x 110.

Ο σαρωτής Faro είναι ένας επίγειος σαρωτής κλάσης laser 1. Τοποθετείται πάνω σε ειδικό τρίποδο, οριζοντιώνεται και με την επιλογή των επιθυμητών παραμέτρων που ορίζει ο χρήστης, μέσω της οθόνης αφής, σαρώνει την περιοχή ενδιαφέροντος. Η εμβέλεια του σαρωτή είναι μέχρι τα 330 m και έχει την δυνατότητα να σαρώσει περιοχή +270 x 360°, δηλαδή σαρώνει την περιοχή κατά 360° γύρω από κατακόρυφο άξονα και 270° γύρω από τον οριζόντιο, καθώς δεν αποτυπώνει την περιοχή της βάσης του και του τριπόδου. Μετράει οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και φυσικά την απόσταση και έτσι υπολογίζει την θέση του σημείου στο σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή. Ο σαρωτής είναι σαρωτής διαφοράς φάσης. Εκπέμπει συνεχώς ακτίνα laser της οποίας διαμορφώνεται η ένταση και καταγράφεται η επιστρεφόμενη ακτινοβολία. Υπάρχει επίσης ενσωματωμένη κάμερα για λήψη εικόνων ανάλυσης έως 70 Mpixel. Η ακρίβεια που επιτυγχάνει ο σαρωτής είναι της τάξης των ± 2 mm στα 50 μέτρα, με ταχύτητα σάρωσης μέχρι και 976.000 σημεία/δευτερόλεπτο.

- Ψηφιακός Σαρωτής Χειρός Zeb Revo της εταιρείας GeoSLAM.

Ο φορητός σαρωτής Zeb Revo είναι ένας σαρωτής χειρός laser Class 1 (ασφαλές για τα μάτια), που σε αντίθεση με τους επίγειους σαρωτές, δεν χρειάζεται να είναι ακίνητος, αλλά κρατώντας τον στο χέρι ο χειριστής μπορεί να κινηθεί μέσα στον χώρο και να σαρώσει την επιθυμητή περιοχή. Αυτό συμβαίνει γιατί εφαρμόζει την τεχνολογία SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Η διαδρομή που ακολουθεί ο χρήστης συστήνεται να είναι κλειστή διαδρομή γύρω ή και μέσα στο αντικείμενο. Η ακρίβεια που επιτυγχάνει το Zeb Revo είναι της τάξης των 2 – 3 cm, εφόσον κλείσει η διαδρομή σάρωσης, το γωνιακό οπτικό πεδίο του είναι +270 x 360° και καλύπτει τις ανάγκες αποτύπωσης και χαρτογράφησης για πληθώρα διαφορετικών εφαρμογών

εσωτερικών, εξωτερικών και υπόγειων χώρων. Μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε πλατφόρμα επιλογής του χρήστη όπως ένα όχημα ή ένα UAV και να κινηθεί μέσα στην περιοχή σάρωσης αποθηκεύοντας περισσότερα από 40000 σημεία/δευτερόλεπτο. Η μέγιστη εμβέλεια για εσωτερικούς χώρους είναι 30 m ενώ για εξωτερικούς χώρους είναι 15 m.

- Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station) TOPCON GPT 3000 series.

Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός GPT 3000 έχει την δυνατότητα να μετράει και χωρίς την χρήση πρίσματος και η απόσταση μετράται με παλμούς laser. Το laser του GPT 3000 είναι κατηγορίας class 1 και έχει την δυνατότητα να καταγράφει μετρήσεις μέχρι και τα 250m, ενώ με την χρήση ανακλαστήρα η απόσταση αυξάνεται μέχρι και τα 3 km. Η ακρίβεια της καταγραφής με την χρήση ανακλαστήρα είναι της τάξης $\pm 3\text{mm} \pm 3\text{ppm}$ για την μέτρηση μηκών και $\pm 3\text{cc} \pm 3\text{ppm}$ για την μέτρηση γωνιών. Για μετρήσεις μεγαλύτερης απόστασης και για μετρήσεις χωρίς πρίσμα η ακρίβεια μειώνεται ($\pm 4\text{mm} - \pm 5\text{mm}$).







- Γεωδαιτικός δέκτης Trimble R8s.

Ο δέκτης GNSS διαθέτει 440 κανάλια για ταυτόχρονη λήψη σήματος από όλα τα διαθέσιμα συστήματα δορυφορικού σήματος. Ο ρυθμός καταγραφής, ο οποίος είναι επιλέξιμος από τον χρήστη κυμαίνεται από 1 – 20 Hz. Ο δέκτης αυτός παρέχει στον χρήστη τις ακόλουθες μεθόδους εντοπισμού. Στατικό εντοπισμό (high precision static) με οριζοντιογραφική ακρίβεια εντοπισμού $\pm 3\text{mm} + 0.1\text{ppm}$ και Υψομετρική ακρίβεια εντοπισμού $\pm 3.5\text{mm} + 0.4\text{ppm}$. Κινηματικό εντοπισμό (PPK) – Εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο (RTK) με Οριζοντιογραφική ακρίβεια εντοπισμού $\pm 8\text{mm} + 1\text{ppm}$ και υψομετρική ακρίβεια εντοπισμού $\pm 15\text{mm} + 1\text{ppm}$.

- Παρελκόμενα Εξοπλισμού:

τρεις τρίποδες, τρεις μικροί τρίποδες για κατάφωτα, κατάφωτα σταθεράς 17mm., μετροταινία, στύλοι καταφώτων, σφαίρες και τρικόχλια για τον σαρωτή Zeb Revo, στόχοι εδάφους ακτίνας $r = 2\text{cm}$, στόχοι τοίχων ακτίνας $r = 1\text{cm}$, πρόκες, πάσσαλοι $\phi 10$.

	
<p>(Πηγή: https://www.canon.gr/) Canon EOS 6D</p>	<p>(Πηγή: https://www.canon.gr/) Canon EOS 80D</p>
	
<p>(Πηγή: https://www.canon.gr/) Canon EOS EF-S 24mm</p>	<p>(Πηγή: https://www.canon.gr/) Canon EOS EF-S 35mm</p>
	
<p>(Πηγή: https://store.dji.com/) Phantom 4 PRO</p>	<p>UAV της εταιρείας Vulcan UAV</p>
	
<p>(Πηγή: http://www.geosense.gr/) Faro Focus 3D x 330</p>	<p>(Πηγή: http://geoslam.landmark.com.gr/) Scanner Zeb Revo</p>

	
<p>(Πηγή: https://www.lelong.com) TOPCON GPT 3000 series</p>	<p>(Πηγή: http://www.geotech.gr) Trimble R8s</p>
	
<p>(Πηγή: http://www.geometriki.com) Τρίποδας Αλουμινίου</p>	<p>(Πηγή: http://www.geometriki.com) Κατάφωτο σταθεράς 17mm</p>
	
<p>Στόχος για το φωτογραμμετρικό λογισμικό Metashape</p>	<p>Στόχος για το λογισμικό SCENE</p>

Πίνακας 2.1: Εξοπλισμός

2.2 Αναγνώριση Αρχαιολογικού χώρου

Βασικό βήμα της συλλογής δεδομένων είναι μια πρώτη περιήγηση στον αρχαιολογικό χώρο όπου γίνεται η αναγνώριση του μνημείου και των όποιων ιδιαιτεροτήτων αυτό παρουσιάζει. Αφού έγινε η αναγνώριση του μνημείου, δημιουργήθηκε το σκαρίφημα του αρχαιολογικού χώρου, στο σύνολό του σε κάτοψη και για συγκεκριμένες όψεις, έτσι ώστε πάνω σε αυτό να σημειωθούν όλες οι θέσεις των στάσεων του τοπογραφικού δικτύου, οι θέσεις των Φωτοσταθερών στους τοίχους και στο έδαφος, αλλά και οι στόχοι στους τοίχους για τον Επίγειο Ψηφιακό Σαρωτή Faro. Τα σκαριφήματα πεδίου καθοδηγούν την διαδικασία αποτύπωσης και σε αυτά πρέπει να περιέχεται όλη η απαραίτητη πληροφορία του αντικειμένου που απεικονίζεται.

2.3 Τοποθέτηση προσημασμένων σημείων

Σημαντικό στάδιο των εργασιών πεδίου είναι η τοποθέτηση των στόχων και των Φωτοσταθερών. Οι στόχοι και τα Φωτοσταθερά είναι απαραίτητα για την γεωαναφορά του μοντέλου, αλλά επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως σημεία σύνδεσης στο στάδιο του σχετικού προσανατολισμού, εφόσον σκοπευθούν σε τρεις ή περισσότερες εικόνες.

Τα Φωτοσταθερά και οι στόχοι των τοίχων τοποθετήθηκαν με την χρήση κολλητικού υλικού τέτοιο ώστε να μην επιφέρει καμία φθορά στο μνημείο. Συνολικά εντοπίστηκαν 53 προσημασμένα σημεία και κολλήθηκαν κατάλληλοι στόχοι στους τοίχους (31 Φ/Σ και 22 στόχοι σαρωτή), ενώ στο έδαφος τοποθετήθηκαν 22 Φ/Σ. Μετά την τοποθέτησή τους, σχεδιάστηκαν και στο σκαρίφημα έτσι ώστε να υπάρχει μια πρώτη εικόνα της θέσης τους, για την επεξεργασία των εικόνων και την σκόπευση των στόχων σε επόμενο στάδιο.

Οι ειδικοί κωδικοποιημένοι στόχοι εκτυπώθηκαν απευθείας από το Φωτογραμμετρικό λογισμικό Agisoft Metashape, έτσι ώστε να αναγνωρίζονται αυτόματα καθώς κάθε ένας στόχος είχε μοναδικό σχήμα και κωδικό. Στους τοίχους τα φωτοσταθερά είχαν ακτίνα $r = 1$ cm και στο έδαφος είχαν ακτίνα $r = 2$ cm. Οι ακτίνες αυτές επιλέχθηκαν έτσι ώστε τα φωτοσταθερά να φαίνονται καθαρά στις φωτογραφίες και να διευκολυνθεί η σκόπευση τους κατά την επεξεργασία των μετρήσεων. Τα pixel που αντιστοιχούν στις παραπάνω ακτίνες των κέντρων των στόχων είναι 66×66 pixel για την ακτίνα $r = 1$ cm και 133×133 pixel για την ακτίνα $r = 2$ cm. Τα φωτοσταθερά στους τοίχους τοποθετήθηκαν σε κατάλληλες θέσεις τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά του Καθολικού και της πύλης έτσι ώστε να έχουν κατάλληλη κατανομή πάνω στο μνημείο.

Για τα φωτοσταθερά στο έδαφος έγινε κατασκευή στόχων ακτίνας 2 cm πάνω σε κόντρα πλακέ διαστάσεων 15 cm x 15 cm και καρφώθηκαν στο έδαφος με πρόκες.



Εικόνα 2.11: Φωτοσταθερά στους τοίχους του Ναού και της πύλης



Εικόνα 2.12: Φωτοσταθερά στο έδαφος

Για την επισήμανση των σημείων απαραίτητων για την συνένωση των σαρώσεων χρησιμοποιήθηκαν στόχοι που αναγνωρίζονται αυτόματα από το λογισμικό επεξεργασίας του σαρωτή Faro και τοποθετήθηκαν σε όλους τους τοίχους εσωτερικά και εξωτερικά του Καθολικού της Μονής και της Πύλης, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η παρουσία τριών τουλάχιστον στόχων κοινών σε δύο σαρώσεις.



Εικόνα 2.13: Στόχοι σαρωτή

2.4 Πολυγωνομετρικό δίκτυο – Γεωδαιτικές μετρήσεις

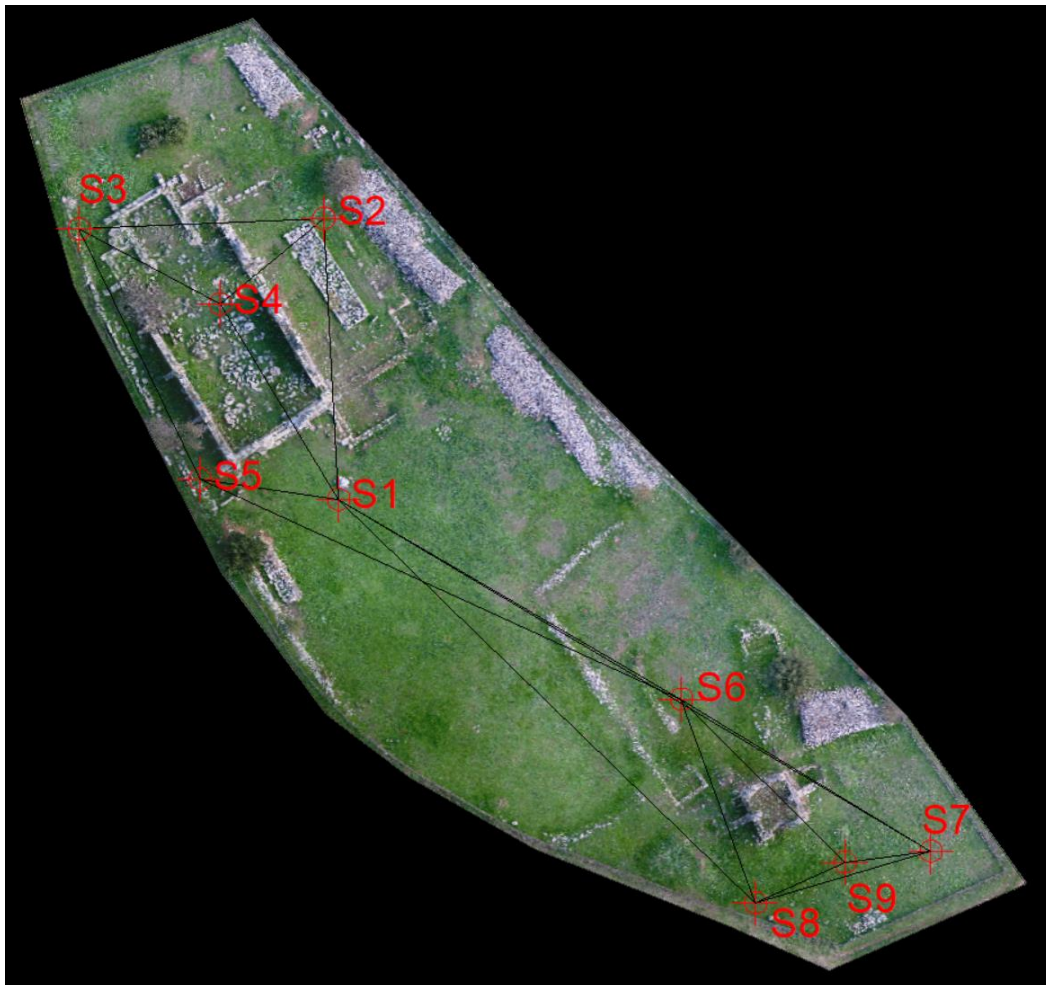
Ως δίκτυο ορίζεται ένα σύνολο μόνιμων σημείων γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων εγκατεστημένων σε μια περιοχή. Τα σημεία αυτά ονομάζονται κορυφές του δικτύου και συνδέονται μεταξύ τους με μετρήσεις και είναι γνωστή η θέση τους σε μια, δύο, τρεις ή τέσσερις διαστάσεις. Από τα σημεία που δικτύου πραγματοποιούνται οι μετρήσεις των Φωτοσταθερών, των στόχων και των σημείων λεπτομερειών.

Για την γεωμετρική Τεκμηρίωση ενός μνημείου ιδρύεται ένα τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο. Οι κορυφές του δικτύου τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να περικλείουν το μνημείο, να εξασφαλίζεται η ορατότητα κάθε στάσης από τουλάχιστον άλλες δύο, και να είναι δυνατή η αποτύπωση όλων των στόχων εσωτερικά και εξωτερικά του μνημείου.

Το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται είναι ένα τοπικό ορθογώνιο καρτεσιανό αυθαίρετο σύστημα αναφοράς. Το σύστημα αυτό έχει αυθαίρετη αρχή Ο και αυθαίρετο προσανατολισμό. Τέτοιο τοπικό σύστημα αναφοράς χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου πρέπει να αποφευχθεί η παραμόρφωση της αποτύπωσης λόγω εφαρμογής της χαρτογραφικής προβολής, μέσω του συντελεστή κλίμακας και της προβολής ενός κρατικού συστήματος αναφοράς, όπως π.χ. το ΕΓΣΑ 87. Μια τέτοια ειδική περίπτωση, που απαιτείται υψηλή ακρίβεια, είναι και η Γεωμετρική Τεκμηρίωση ενός μνημείου (Λάμπρου, Πανταζής, 2013).

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας ιδρύθηκε στην Μονή Ζαρακά πολυγωνομετρικό δίκτυο εννέα στάσεων οι οποίες τοποθετήθηκαν στον αρχαιολογικό χώρο με τέτοιο τρόπο ώστε (1) να περικλείουν και τον Ναό της Μονής αλλά και την Πύλη, (2) κάθε στάση να έχει ορατότητα με δύο ή περισσότερες στάσεις και (3) να μπορούν να αποτυπωθούν από κάθε στάση όλα τα απαραίτητα προσημασμένα και μη σημεία. Οι στάσεις αριθμήθηκαν από Σ1 έως Σ9 και οι πρώτες πέντε (Σ1-Σ5) τοποθετήθηκαν γύρω από τον ναό και οι τέσσερις τελευταίες (Σ6-Σ9) τοποθετήθηκαν γύρω από την Πύλη, όπως φαίνεται στο σκαρίφημα που ακολουθεί (Εικόνα 2.14). Η σήμανση των στάσεων στο έδαφος έγινε με την χρήση πασσάλων φ10 μήκους περίπου 30cm και οι θέσεις τους σημειώθηκαν στο σκαρίφημα που δημιουργήθηκε.

Οι μετρήσεις του δικτύου πραγματοποιήθηκαν με την τοποθέτηση του Total Station σε κάθε στάση, μετρώντας σε πρώτη και δεύτερη θέση τηλεσκοπίου την οριζόντια και κατακόρυφη γωνία και την κεκλιμένη απόσταση μεταξύ αυτής και της στάσης σκόπευσης.



Εικόνα 2.14: Σκαρίφημα Πολυγωνομετρικού δικτύου

Από κάθε στάση αφού ολοκληρώνονταν οι μετρήσεις για το δίκτυο σκοπεύονταν όλοι οι στόχοι που ήταν ορατοί από αυτήν. Σημαντική ήταν η εκ νέου σκόπευση της στάσης μηδενισμού μετά το πέρας της μέτρησης των στόχων για έλεγχο. Για την διευκόλυνση της διαδικασίας, κατά την επεξεργασία των μετρήσεων, γινόταν καταγραφή των μετρήσεων που πραγματοποιούνταν από κάθε στάση, έτσι ώστε να σημειώνονται τα ύψη οργάνων, ύψη στόχων, οι κωδικοί των στόχων που σκοπεύτηκαν, αλλά και τυχόν λάθη που προέκυψαν κατά την διαδικασία. Η κωδικοποίηση του ακολουθήθηκε για την αποφυγή χονδροειδών λαθών στην καταγραφή κάθε στόχου ήταν: Στόχοι σαρωτή 1000+, Φωτοσταθερά τοίχων 2000+, Φωτοσταθερά εδάφους 3000+. Η καταγραφή αυτή αποδείχθηκε χρήσιμη καθώς στο στάδιο της επεξεργασίας ήταν πολύ εύκολος ο εντοπισμός χονδροειδών σφαλμάτων που έγιναν στις μετρήσεις.

Τέλος, με την χρήση GPS έγινε μέτρηση κάποιων στάσεων του δικτύου, έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει, σε επόμενο στάδιο, η ένταξη του δικτύου στο κρατικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87, με τις ελάχιστες δεσμεύσεις.

2.5 Συλλογή φωτογραμμετρικών δεδομένων

Για την φωτογραμμετρική αποτύπωση του αρχαιολογικού χώρου, πραγματοποιήθηκε φωτογράφιση με επίγειες και εναέριας λήψεις. Οι επίγειες φωτογραφικές λήψεις αφορούν τους τοίχους του Καθολικού της Μονής και της Πύλης της, εσωτερικά και εξωτερικά. Επίσης έγινε πτήση μη επανδρωμένων οχημάτων (UAV) για την εναέρια φωτογράφιση του αρχαιολογικού χώρου. Η διαδικασία της φωτογράφισης ξεκίνησε μετά την τοποθέτηση των φωτοσταθερών.

Επίγειες λήψεις

Για την φωτογράφιση του Ναού της Μονής έγινε χρήση της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής DSLR Canon EOS 6D, με φακό σταθεράς $c = 24$ mm. Το πλαίσιο της μηχανής ήταν κατακόρυφο με διαστάσεις 3648 pixel πλάτος και 5472 pixel ύψος. Το λογισμικό Agisoft Metashape που θα χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των εικόνων μπορεί να επεξεργαστεί εικόνες που έχουν τραβηχτεί από οποιαδήποτε θέση, και για τον λόγο αυτό, δεν είναι απαραίτητος ο προγραμματισμός των λήψεων με αυστηρό τρόπο. Ωστόσο, μόνη προϋπόθεση είναι ίδιο τμήμα του αντικείμενου να φαίνεται σε τουλάχιστον δύο εικόνες. Η επικάλυψη μεταξύ των διαδοχικών λήψεων είναι της τάξης του 80% και η απόσταση του κέντρου λήψης από το αντικείμενο ήταν μικρή (~ 3 m).

Η φωτογράφιση έγινε για κάθε τοίχο του Ναού εσωτερικά και εξωτερικά. Περισσότερες λήψεις έγιναν στις όψεις, οι οποίες παρουσίαζαν περισσότερες λεπτομέρειες. Ακολουθεί πίνακας στον οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά ο αριθμός των εικόνων που λήφθηκαν για κάθε όψη.

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	24
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	78
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ	48
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	60
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ	52
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	84
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ	43
ΣΥΝΟΛΟ	389

Πίνακας 2.2: Αριθμός λήψεων – Ναός Μονής

Η φωτογράφιση της Πύλης έγινε σε δύο στάδια. Το ισόγειο φωτογραφήθηκε δύο φορές με την φωτογραφική μηχανή DSLR Canon EOS 6D, με φακό σταθεράς $c = 24$ mm. Στην πρώτη φωτογράφιση το πλαίσιο της μηχανής ήταν κατακόρυφο με διαστάσεις 3648 pixel πλάτος και 5472 pixel ύψος. Στην δεύτερη φωτογράφιση το πλαίσιο της μηχανής ήταν οριζόντιο με διαστάσεις 5472 pixel πλάτος και 3648 pixel ύψος. Οι εικόνες είχαν επικάλυψη της τάξης 80-90% και η απόσταση αντικειμένου κέντρου λήψης ποικίλλει. Επίσης έγινε χρήση της φωτογραφικής μηχανής DSLR Canon EOS 80D με φακό σταθεράς 35 mm, για την φωτογράφιση του εσωτερικού τοίχου του γκρεμισμένου πρώτου ορόφου της Πύλης. Το πλαίσιο της μηχανής ήταν οριζόντιο με διαστάσεις 6000 pixel πλάτος και 4000 pixel ύψος. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι φωτογραφίες για κάθε όψη της πύλης.

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	80
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	73
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	88
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ	71
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	101
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ	85
ΟΡΟΦΗ	84
ΠΡΩΤΟΣ ΟΡΟΦΟΣ	60
ΣΥΝΟΛΟ	642

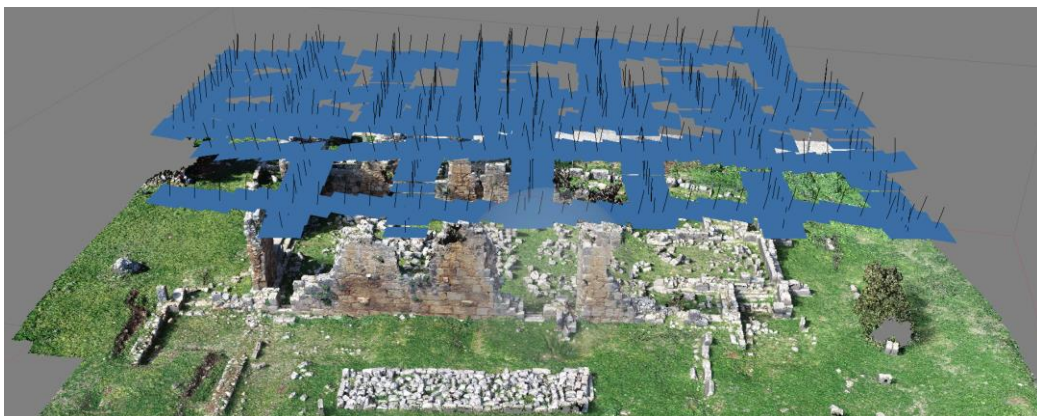
Πίνακας 2.3: Αριθμός λήψεων – Πύλη Μονής

Μετά την ολοκλήρωση της φωτογράφισης, των σαρώσεων και των γεωδαιτικών μετρήσεων αφαιρέθηκαν όλοι οι στόχοι που είχαν τοποθετηθεί στα κτήρια αλλά και στο έδαφος. Παράλληλα, φωτογραφίζονταν τα σημεία στους τοίχους από τα οποία αφαιρέθηκαν οι στόχοι, έτσι ώστε στις τελικές ορθοφωτογραφίες να μην υπάρχει καμία απόκρυψη στους τοίχους του μνημείου.

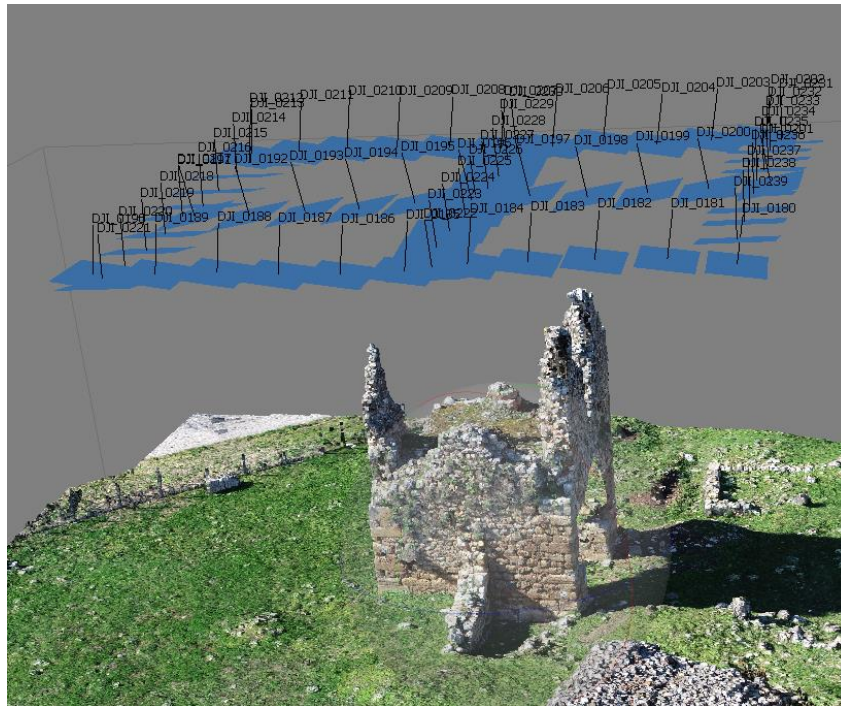
Εναέριες Λήψεις

Για την αεροφωτογράφιση του αρχαιολογικού χώρου χρησιμοποιήθηκαν δύο UAV τα οποία πραγματοποίησαν πτήσεις πάνω από την Μονή και έκαναν λήψεις για την γενική οριζοντιογραφία του αρχαιολογικού χώρου και για τις κατόψεις.

Για την οριζοντιογραφία του αρχαιολογικού χώρου έγινε πτήση του DJI Phantom 4 Pro με φακό μηχανής $c = 24$ mm. Το ύψος πτήσης ήταν στα 15 m και η επικάλυψη μεταξύ δυο διαδοχικών λήψεων ήταν 80% κατά μήκος επικάλυψη και 60% κατά πλάτος επικάλυψη. Η κλίμακα των λήψεων είναι ίση με 1:625 και η εικονοψηφίδα είναι ίση με 2.4 μ m. Η αντιστοιχία της εικονοψηφίδας στο έδαφος ονομάζεται έδαφοψηφίδα και προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της εικονοψηφίδας με τον συντελεστή κλίμακας. Επομένως είναι ίση με 1.5 mm. Το πλαίσιο των εικόνων είναι οριζόντιο με διαστάσεις εικόνας 5472 pixel πλάτος και 3648 pixel ύψος(13.2 x 8.8 mm) και 8.25 x 5.5 m στο έδαφος αντίστοιχα. Η πτήση πάνω από τον Ναό και από την Πύλη έγινε σε μορφή πλέγματος, έτσι ώστε να μην υπάρχουν αποκρύψεις στο αντικείμενο, με διεύθυνση πτήσης κατά τον άξονα y. Το σύνολο των εικόνων για την Πύλη ήταν 60 φωτογραφίες και για τον ναό 372 φωτογραφίες.

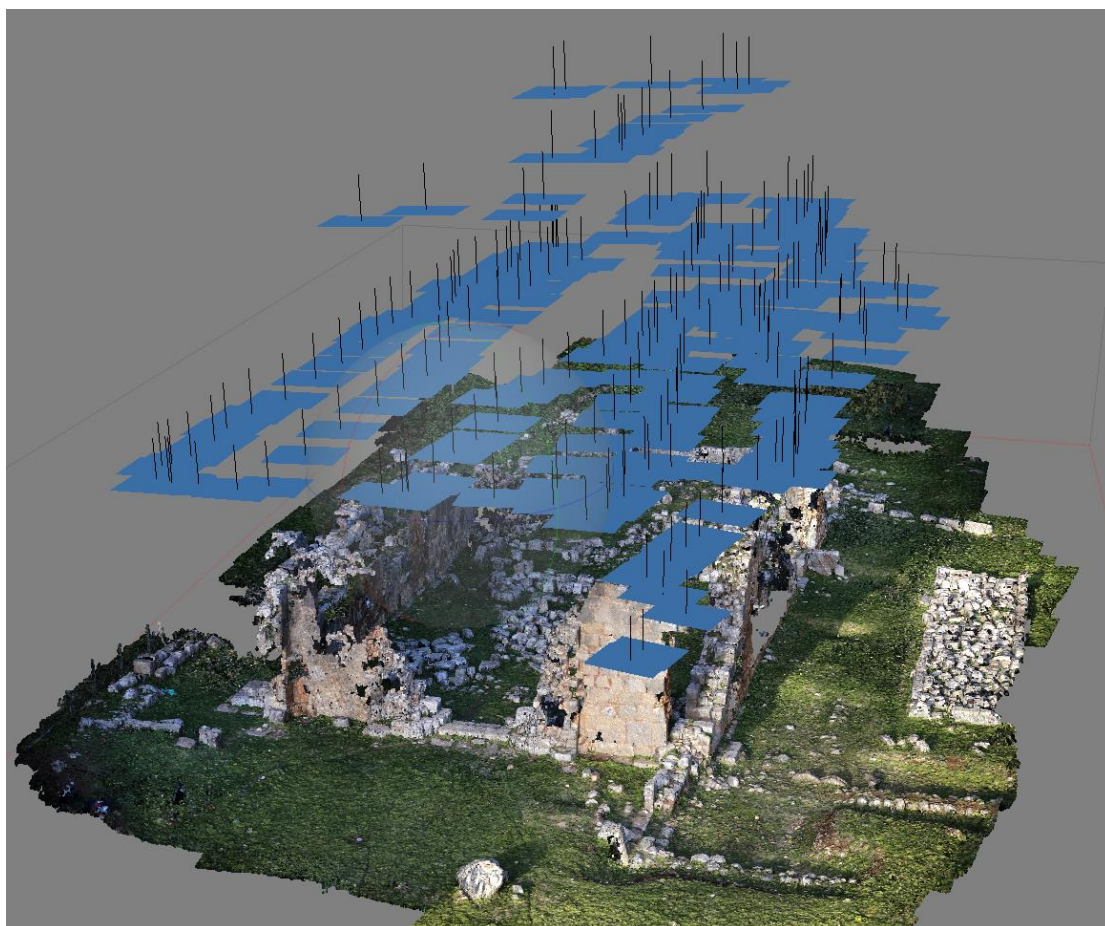


Εικόνα 2.15: Πλέγμα εικόνων πτήσης του Phantom Ναού



Εικόνα 2.16: Πλέγμα εικόνων πτήσης του Phantom Πύλης

Για την κάτοψη του Καθολικού της Μονής Ζαρακά έγινε χρήση του οκτακόπτερου UAV. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι η φωτογραφική μηχανή DSLR Canon EOS 6D, με φακό σταθεράς $c = 35$ mm και μέγεθος ρixel ίσο με 6.6 μ m. Το πλαίσιο της μηχανής ήταν οριζόντιο με διαστάσεις 5472 ρixel πλάτος και 3648 ρixel ύψος (36 x 24 mm) και διεύθυνση πτήσης τον άξονα y , που επιλέχθηκε από τον χειριστή. Η πτήση έγινε χειροκίνητα, το ύψος πτήσης ήταν στα 15 m, οι λήψεις των εικόνων ήταν κάθε 2 sec, με σταθερή ταχύτητα και η επικάλυψη στην γραμμή πτήσης ήταν 85% στο έδαφος. Το σύνολο των εικόνων που προέκυψαν ήταν 188 φωτογραφίες. Η κλίμακα είναι 1:429, η εδαφοψηφίδα 2.8 mm και οι διαστάσεις των εικόνων του ναού στο έδαφος είναι 15.45m x 10.30m.

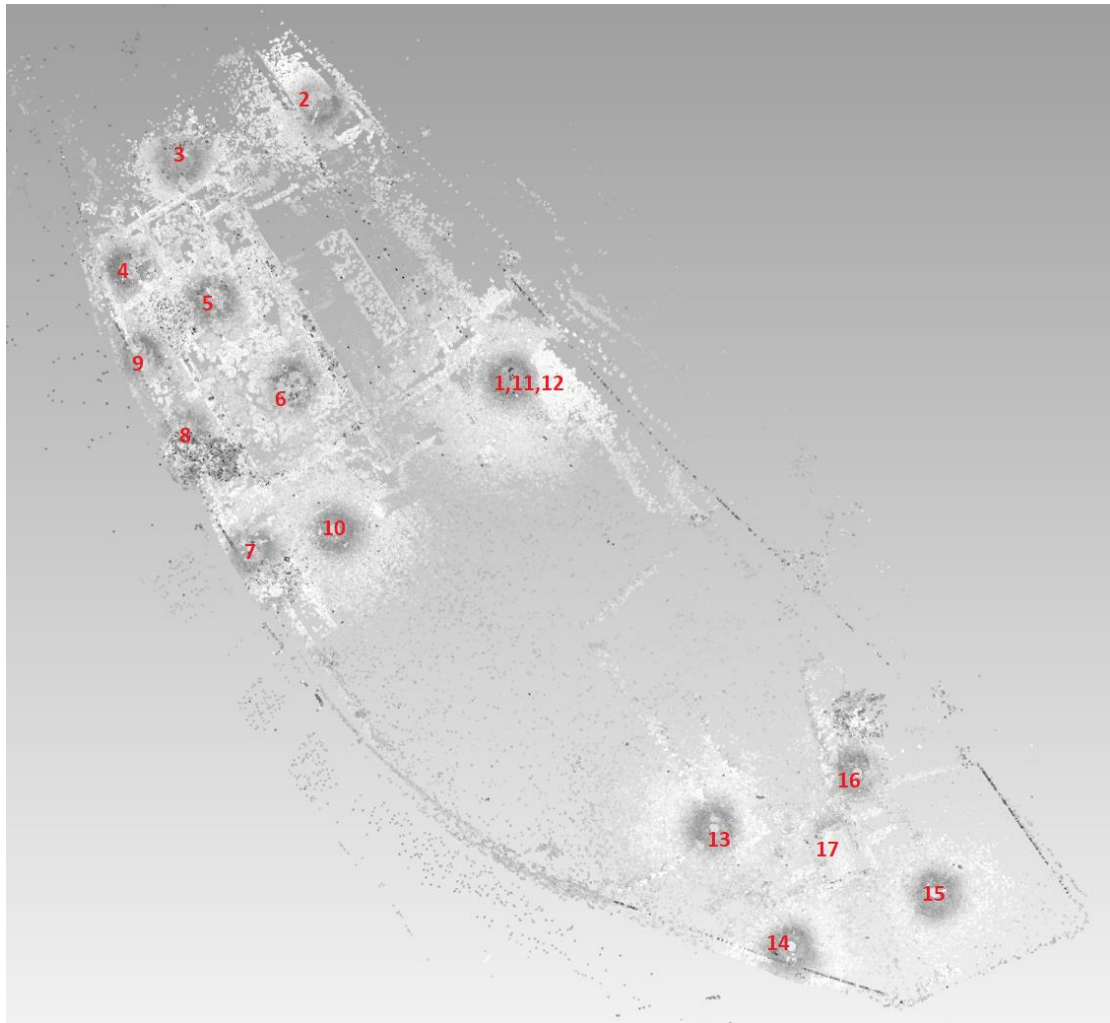


Εικόνα 2.17: Πλέγμα εικόνων πτήσης UAV για την κάτοψη του Ναού

2.6 Συλλογή νεφών σημείων με επίγειους σαρωτές laser

Σάρωση με τον επίγειο 3D επίγειο σαρωτή Laser FARO Focus 3D

Παράλληλα με τις γεωδαιτικές μετρήσεις και την φωτογράφιση πραγματοποιήθηκαν οι σαρώσεις του σαρωτή Faro. Ο σαρωτής τοποθετείτο σε θέσεις όπου δεν πραγματοποιείτο κάποια άλλη εργασία την στιγμή εκείνη έτσι ώστε να μην υπάρχει θόρυβος και αποκρύψεις στο νέφος σημείων. Οι θέσεις (Εικόνα 2.18) ήταν επιλεγμένες κατάλληλα ώστε αφενός να σαρώνονται τα αντικείμενα αλλά και αφετέρου να εξασφαλίζεται η ύπαρξη τριών στόχων ανά δύο σαρώσεις, με σκοπό να επιτευχθεί η συνένωση και η γεωαναφορά τους αργότερα. Οι θέσεις σάρωσης συνολικά ήταν 17, κάθε σάρωση διήρκεσε 15 λεπτά και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν να λαμβάνονται σημεία ανά 6.5mm στα 10m και ανά 3mm στα 10m. Η επιλογή αυτή ήταν ανάλογη της θέσης του σαρωτή σε σχέση με το αντικείμενο, έτσι ώστε στο τελικό νέφος να υπάρχει ίδια πυκνότητα σημείων σε όλο το μήκος του αντικειμένου.

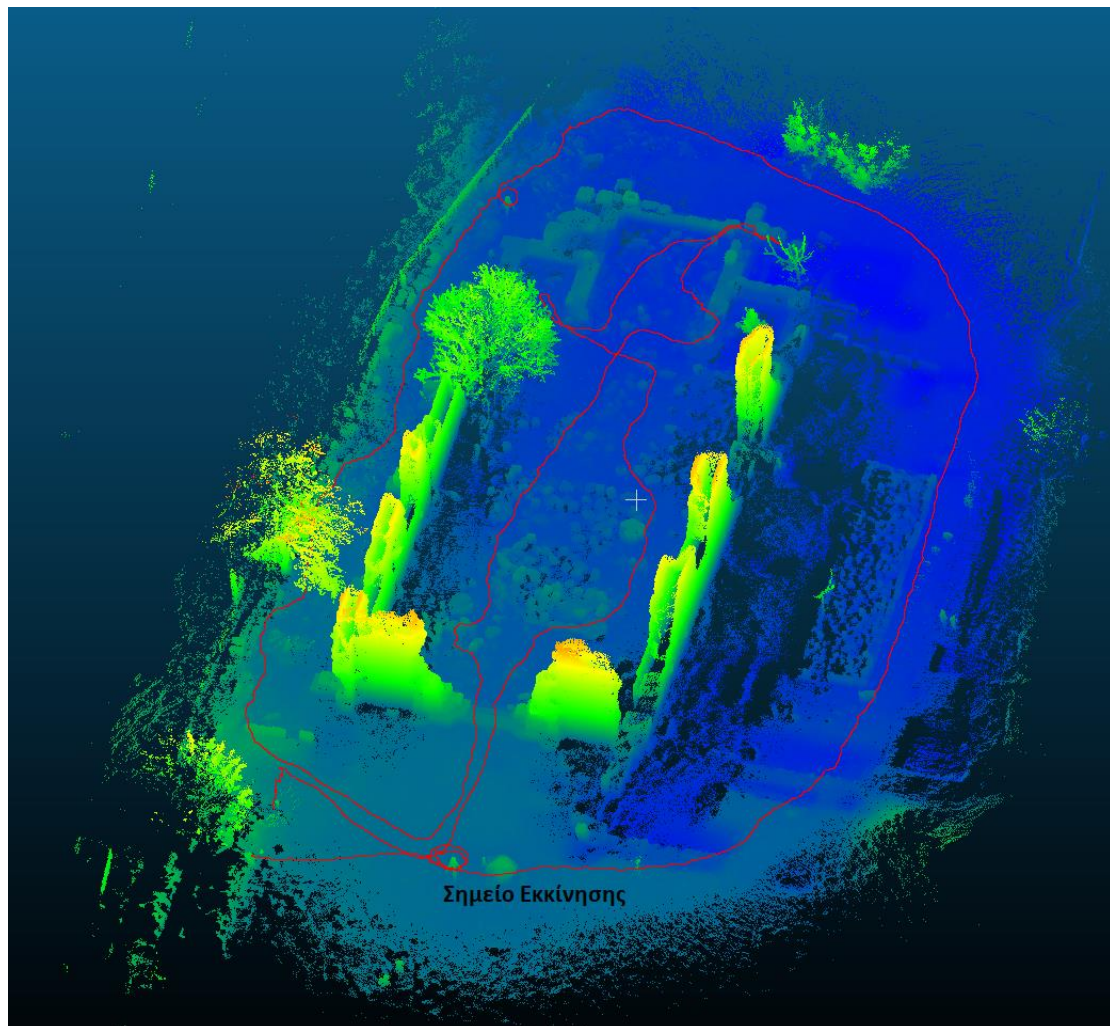


Εικόνα 2.18: Θέσεις σαρώσεων αρχαιολογικού χώρου με τον σαρωτή FARO

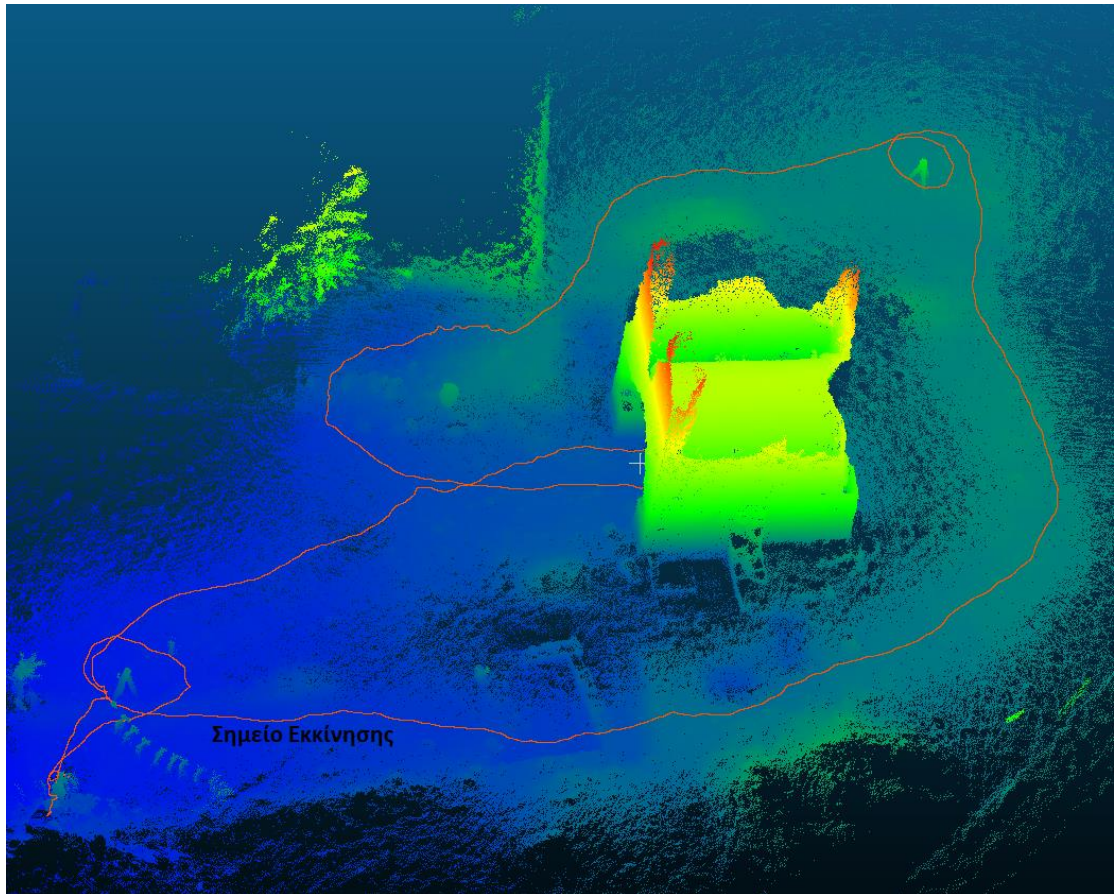
Σάρωση με τον σαρωτή laser Zeb Revo

Με τον σαρωτή χειρός Zeb Revo πραγματοποιήθηκαν δύο ξεχωριστές σαρώσεις. Μια για το Καθολικό της Μονής και μια για την Πύλη. Κάθε σάρωση έγινε διαγράφοντας κλειστές διαδρομές εξωτερικά και εσωτερικά των κτισμάτων, περικλείοντας και τις ειδικές σφαίρες που είναι απαραίτητες για την γεωαναφορά των σαρώσεων. Οι σφαίρες που συνοδεύουν τον σαρωτή, τοποθετήθηκαν σε τρίποδες πάνω στις στάσεις του δικτύου έτσι ώστε να είναι γνωστές οι συντεταγμένες τους και μετρήθηκε το ύψος κάθε σφαίρας από το έδαφος μέχρι το κέντρο της. Όπως ήδη αναφέρθηκε η σάρωση έγινε πραγματοποιώντας κλειστές διαδρομές γύρω από τα αντικείμενα, κρατώντας τον σαρωτή σε ένα σταθερό ύψος και ενίοτε υψώνοντάς τον λίγο υψηλότερα, στα σημεία που είχαν μεγάλο ύψος, έτσι ώστε να μειωθεί όσο το δυνατόν η απόσταση σαρωτή – αντικειμένου και να αυξηθεί η πυκνότητα των σαρωμένων σημείων στα σημεία αυτά. Η ταχύτητα σάρωσης των αντικειμένων ήταν μικρή, ανάλογη με την ταχύτητα του

παρατηρητή, έτσι ώστε ο σαρωτής να έχει την δυνατότητα να σαρώσει τις επιφάνειες με την μεγαλύτερη δυνατή πυκνότητα και ακρίβεια. Ο χρήστης συνιστάται να βαδίζει αργά καθώς με μεγάλη ταχύτητα σάρωσης, πραγματοποιείται καταγραφή λιγότερων σημείων. Για την σάρωση των σφαιρών έγινε ένας πλήρης κύκλος γύρω από κάθε μια από αυτές.



Εικόνα 2.19: Κλειστή διαδρομή σάρωσης Ναού



Εικόνα 2.20: Κλειστή διαδρομή σάρωσης Πύλης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μετά το πέρας των εργασιών πεδίου ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων, έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά παράγωγα. Πρώτο βήμα είναι η επίλυση του δικτύου και των γεωδαιτικών μετρήσεων. Στην συνέχεια έγινε επεξεργασία των σαρώσεων από τον επίγειο σαρωτή Faro Focus 3D x 110 και από τον σαρωτή Zeb Revo. Η επεξεργασία περιλαμβάνει την συνένωση των νεφών και την γεωαναφορά τους. Επίσης, έγινε επεξεργασία των φωτογραφικών λήψεων για το Καθολικό της Μονής και για την Πύλη της. Από τις παραπάνω μεθόδους προκύπτουν τρία νέφη σημείων, τα οποία θα συγκριθούν και θα επιλεγεί το βέλτιστο από αυτά, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των τελικών προϊόντων. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το Ταχυμετρία, Metashape, Faro Scene, Geomagic, Cloud Compare, Autocad κ.ά.

3.1 Επεξεργασία γεωδαιτικών μετρήσεων

Πρώτο βήμα κατά την επεξεργασία των δεδομένων είναι η επίλυση του πολυγωνομετρικού δικτύου και του προσδιορισμού των συντεταμένων των σημείων που σκοπεύθηκαν. Για την επίλυση του δικτύου έγινε χρήση του προγράμματος *Ταχυμετρία* της εταιρίας ΦΩΤΟΠΟ Α.Ε.. Το πρόγραμμα δέχεται ως δεδομένα εισόδου το αρχείο μετρήσεων υπαίθρου και πραγματοποιείται έλεγχος και προσωρινή επίλυση όλων των σημείων. Στην συνέχεια, με συνεχή καθοδήγηση από την χρήση, το πρόγραμμα καταλήγει στην οριστική επίλυση των προβλημάτων τριγωνισμού, πολυγωνομετρίας, ταχυμετρίας και χάραξης με την Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων. Κατά την λύση κάθε προβλήματος οι λύσεις παρουσιάζονται κατάλληλα έτσι ώστε να ελέγχονται οι τιμές των ανεκτών σφαλμάτων σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Οι μετρήσεις υπαίθρου περιέχονται στο αρχείο GTS που προκύπτει από τα αρχεία μετρήσεων του Total Station. Έγινε εισαγωγή του αρχείου μετρήσεων στο πρόγραμμα, ορίστηκε η επιθυμητή κλίμακα, 1:50, και το σύστημα προβολής ως τοπικό αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων. Ως αφετηρία του δικτύου ορίστηκε η στάση Σ1, με συντεταγμένες (1000,1000,100) και με προσανατολισμό προς την στάση Σ2 με τετμημένη 1000 (Εικόνα 2.14).

Για την επίλυση του δικτύου πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις και η ακρίβεια επίλυσης του δικτύου ήταν ± 0.0025 g για τις γωνίες και ± 5 mm για τις αποστάσεις και για τα υψόμετρα. Η επίλυση του δικτύου έγινε με την Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων

με έμμεσες παρατηρήσεις. Το δίκτυο επιλύθηκε συνολικά και για τις εννέα στάσεις. Κάποιες παρατηρήσεις αποστάσεων και διευθύνσεων που κατά την πρώτη επίλυση του προγράμματος παρουσίασαν μεγάλο δείκτη σφάλματος εξαιρέθηκαν από την διαδικασία. Τα αποτελέσματα της συνόρθωσης παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Έργο	MONI_ZARAKA
Επίλυση	Τριγωνισμός 1
σ_0 apriori	1
σ_0 a posteriori	1.0130
Αριθμός Διευθύνσεων	10
Αριθμός Αποστάσεων	82
Γνωστές Συντεταγμένες	3
Άγνωστοι προσανατολισμοί	79
Άγνωστες Συντεταγμένες	15
Βαθμοί Ελευθερίας	136

Πίνακας 3.4: Γενικά στοιχεία οριζοντιογραφικής

Στον πίνακα 3.5, που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι συνορθωμένες /τελικές συντεταγμένες των κορυφών του πολυγωνομετρικού δικτύου συνοδευόμενες από τα τυπικά τους σφάλματα κατά Χ και κατά Υ. Οριζοντιογραφικά το δίκτυο λύθηκε με ακρίβεια ± 2 mm.

Στάση	Αρχικές Συντεταγμένες		Διορθώσεις		Συνορθωμένες Συντεταγμένες		Τυπικό Σφάλμα σ_0	
	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
S1	1000	1000	-	-	1.000.000	1.000.000	-	-
S2	1000	1040,525	-	0.013	1.000.000	1.040.538	-	0.001
S3	965,287	1036,115	-0.002	0.015	965.284	1.036.130	0.001	0.001
S4	984,135	1026,118	0.000	-0.001	984.135	1.026.116	0.001	0.001
S5	981,455	1002,691	0.002	0.000	981.457	1.002.691	0.001	0.001
S6	1045,804	973,319	-0.001	0.001	1.045.804	973.321	0.001	0.001
S7	1079,146	952,946	0.004	0.000	1.079.150	952.946	0.002	0.002
S8	1055,723	946,127	-0.004	-0.004	1.055.719	946.123	0.002	0.001
S9	1067,643	951,52	0.002	-0.002	1.067.645	951.518	0.002	0.002

Πίνακας 3.5: Συντεταγμένες Κορυφών Δικτύου

Για την υψομετρική επίλυση του δικτύου, συμμετείχαν όλες οι παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Έργο	MONI_ZARAKA
Επίλυση	Τριγωνισμός 1
σ_0 apriori	1
σ_0 aposteriori	0.6278
Αριθμός Υψομετρικών διαφορών	83
Γνωστά Υψόμετρα	9
Άγνωστα Υψόμετρα	8
Βαθμοί Ελευθερίας	75

Πίνακας 3.6: Γενικά στοιχεία υψομετρικής επίλυσης

Στον πίνακα 3.7 παρουσιάζονται τα συνορθωμένα/τελικά υψόμετρα των κορυφών του πολυγωνομετρικού δικτύου συνοδευόμενα από τα τυπικά τους σφάλματα. Υψομετρικά το δίκτυο λύθηκε με ακρίβεια ± 1 mm.

Σημείο	Συνορθωμένο Υψόμετρο (m)	Διόρθωση	Τυπικό Σφάλμα σ_0
S1	100	-	-
S2	98,907	-0,001	0,001
S3	99,476	-0,002	0,001
S4	99,448	0,001	0,001
S5	100,175	0	0,001
S6	100,643	0	0,001
S7	102,45	0,001	0,001
S8	101,993	0	0,001
S9	102,104	-0,001	0,001

Πίνακας 3.7: Υψόμετρα Κορυφών Δικτύου

Τέλος, από τον δέκτη GNSS προέκυψαν οι συντεταγμένες των στάσεων στο κρατικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ 87 (Πίνακας 3.8). Οι συντεταγμένες των Φ/Σ του μνημείου βρίσκονται σε τοπικό αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων. Η ένταξη των μετρήσεων στο κρατικό σύστημα αναφοράς πραγματοποιείται κάνοντας μετάθεση και στροφή ως προς αυτό. Με αυτό τον τρόπο δεν εισάγονται οι παραμορφώσεις της προβολής του ΕΓΣΑ 87, μέσω του συντελεστή κλίμακας m. Για τον σκοπό αυτό από τον παρακάτω πίνακα χρησιμοποιούνται δύο μόνο στάσεις, όπου η μια χρησιμοποιείται για την μετάθεση των μετρήσεων ως προς αυτή και η δεύτερη ως προσανατολισμός.

Στάση	Γεωδαιτικές Συντεταγμένες		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
S1	364213,060	4191905,472	618,749
S2	364253,521	4191903,135	617,653
S3	364240,030	4191919,796	618,193
S4	364251,117	4191938,037	618,225
S5	364216,803	4191923,817	618,940
S6	364183,784	4191861,304	619,384
S8	364156,082	4191852,980	620,743
S9	364160,736	4191840,768	620,910

Πίνακας 3.8: Συντεταγμένες στάσεων στο ΕΓΣΑ 87

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία επίλυσης του δικτύου και είναι γνωστές οι συντεταγμένες κάθε κορυφής επιλύθηκε η ταχυμετρία.

ΚΩΔΙΚΟΣ	X (m)	Y (m)	Z (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ	X (m)	Y (m)	Z (m)
3033	993,034	1034,216	99,149	3028	989,044	1013,585	99,77
3003	997,482	1024,855	99,345	3009	974,677	1019,048	99,778
3018	1008,204	1025,601	99,276	3011	990,314	1000,885	100,146
3027	995,14	1041,965	98,879	3006	996,39	1000,862	100,028
3020	982,925	1048,25	98,603	3008	1007,15	1007,297	99,938
3013	984,231	1057,377	98,753	3024	1056,434	953,524	101,714
3017	972,239	1048,32	99,076	3032	1054,02	962,859	101,105
3007	964,009	1047,437	99,106	3026	1059,968	967,156	101,076
3031	968,225	1030,158	100,779	3025	1072,97	960,684	102,506
3022	977,92	1036,494	99,163	3004	1074,09	948,343	102,103
3023	984,335	1022,051	99,533	3016	1064,477	944,776	102,084

Πίνακας 3.9: Συντεταγμένες Φ/Σ εδάφους

ΚΩΔΙΚΟΣ	X (m)	Y (m)	Z (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ	X (m)	Y (m)	Z (m)
1001	997,473	1011,929	101,858	1011	996,964	1012,737	101,433
1002	988,388	1006,229	102,069	1007	992,952	1023,889	101,423
1003	990,511	1008,496	101,599	1006	987,514	1033,483	101,289
2019	999,169	1013,002	101,689	1009	986,645	1034,428	101,307
2011	994,135	1010,291	101,002	2032	974,169	1023,111	101,702
2013	1000,893	1010,468	100,25	2031	976,518	1017,115	100,865
2010	990,516	1008,481	101,465	2030	981,282	1011,605	102,273
2018	990,519	1007,139	102,003	2028	984,889	1005,659	101,587
2017	986,861	1004,01	100,484	1020	1064,127	959,94	102,475
2012	986,044	1004,119	102,752	1021	1059,235	957,58	103,369
2029	986,652	1037,073	101,117	1022	1065,188	957,305	102,155
2027	992,827	1026,749	100,472	2056	1064,612	958,506	103,101
2026	995,095	1022,969	101,65	2034	1066,92	953,638	103,49
1008	997,265	1019,27	100,541	1024	1065,709	960,174	102,507
2015	998,523	1013,749	102,585	1025	1068,626	954,054	104,089
1010	986,377	1037,209	101,311	2060	1067,818	956,944	103,008
2024	975,435	1022,86	100,983	1026	1068,391	953,404	103,05
2023	980,285	1015,058	101,843	2033	1067,945	953,194	104,078
2020	983,847	1009,216	101,005	1027	1062,976	950,874	103,835
2022	986,319	1006,074	100,466	1023	1063,219	952,304	102,521
2021	986,143	1005,965	102,401	2058	1061,885	955,14	103,2
2015	998,52	1013,742	102,586	2059	1060,496	958,036	101,973
2014	995,108	1011,163	102,992	1028	1061,742	951,401	103,549
2025	973,93	1042,897	100,007	1029	1059,079	956,993	103,36
1004	982,171	1011,981	101,745	2054	1062,087	950,672	103,901
1005	978,459	1018	102,146	2057	1060,618	953,756	104,489
1012	988,02	1007,138	101,601				

Πίνακας 3.10: Συντεταγμένες Φ/Σ και Στόχων

3.2 Επεξεργασία σαρώσεων

3.2.1 Επεξεργασία Σαρώσεων Επίγειου Σαρωτή Faro

Το σύνολο των σαρώσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο ήταν 17. Οι πρώτες 12 σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν σε θέσεις μέσα και γύρω από το Καθολικό της Μονής και οι 5 επόμενες σε θέσεις γύρω από την Πύλη. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι θέσεις σάρωσης του επίγειου σαρωτή Faro (Εικόνα 2.18).

ΘΕΣΗ	ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ	ΘΕΣΗ ΣΑΡΩΣΗΣ
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_001	εσωτερικά
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_002	εσωτερικά
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_003	εξωτερικά ΒΔ
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_004	εξωτερικά Β
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_005	εξωτερικά Β
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_006	εξωτερικά Δ
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_007	εξωτερικά Ν
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_008	εξωτερικά Ν
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_009	εξωτερικά Ν
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_010	εξωτερικά ΝΑ
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_011	εξωτερικά ΝΑ
Ναός	MONI_ZARAKA_scan_012	εξωτερικά ΒΑ
Πύλη	MONI_ZARAKA_scan_013	εξωτερικά ΒΑ
Πύλη	MONI_ZARAKA_scan_014	εξωτερικά ΒΔ
Πύλη	MONI_ZARAKA_scan_015	εξωτερικά ΝΔ
Πύλη	MONI_ZARAKA_scan_016	εξωτερικά ΝΑ
Πύλη	MONI_ZARAKA_scan_017	εσωτερικά

Πίνακας 3.11: Σαρώσεις Επίγειου Σαρωτή FARO

Για την επεξεργασία των νεφών του επίγειου Σαρωτή έγινε χρήση του προγράμματος SCENE 7.0.25 της εταιρίας Faro. Το SCENE 3D είναι ένα λογισμικό που έχει σχεδιαστεί για να επεξεργάζεται τα νέφη σημείων των σαρωτών της εταιρείας και χρησιμοποιεί αλγόριθμους αυτόματης αναγνώρισης στόχων, συνένωσης και γεωαναφοράς των νεφών.

Πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή των νεφών σημείων στο πρόγραμμα και μια αρχική επεξεργασία τους με την χρήση φίλτρων του λογισμικού. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν είναι φίλτρα διαγραφής σημείων θορύβου και φίλτρα που προσδιορίζουν τις ακμές του αντικειμένου, καθώς ο σαρωτής Faro, καταγράφει σημεία πάνω στα αντικείμενα αλλά και γύρω από αυτά και με την χρήση του φίλτρου αυτού, καθορίζονται τα αντικείμενα και οι ακμές τους. Με την ολοκλήρωση της αρχικής αυτής

επεξεργασίας ο χρήστης είναι σε θέση να δει τις σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν, και τις θέσεις των στόχων του σαρωτή, όπου και ελέγχθηκε η ορθότητα της θέσης τους.

Επόμενο βήμα είναι η συνένωση των νεφών σημείων από τις διάφορες θέσεις σάρωσης. Η συνένωση στο λογισμικό SCENE πραγματοποιείται με δύο τρόπους, αυτόματα και χειροκίνητα.

Η αυτόματη συνένωση νεφών πραγματοποιείται με τον αλγόριθμο ICP (Iterative Closest Point Algorithm). Ο αλγόριθμος ICP εφαρμόζεται σε σετ σημείων, γραμμών, παραμετρικών καμπυλών, τριγώνων, επιφανειών κ.α. όπου ένα σετ μετατοπίζεται κατάλληλα έτσι ώστε να έρθει σε ευθυγράμμιση με ένα σταθερό σετ αναφοράς. Αφού οριστεί το νέφος που θα προσανατολιστεί και το νέφος αναφοράς, ο αλγόριθμος αρχικοποιεί τις τιμές της στροφής, της κλίμακας, της μετατόπισης και των επαναλήψεων με βάση το νέφος που θα προσανατολιστεί, έτσι ώστε οι τελικές τιμές να δείχνουν τον συνολικό μετασχηματισμό. Εντοπίζονται τα κοντινότερα ίδια σημεία των δύο νεφών, υπολογίζονται οι συσχετίσεις μεταξύ τους και με την εφαρμογή τους, το νέφος προσανατολίζεται στο νέφος αναφοράς. Με το τέλος της επανάληψης, υπολογίζεται το σφάλμα, και αν η τιμή του είναι μικρότερη από μια ορισμένη τιμή, η διαδικασία τερματίζεται. Διαφορετικά, υπολογίζονται νέες τιμές για τις παραμέτρους της συσχέτισης και πραγματοποιείται εκ νέου το align. Η διαδικασία είναι επαναληπτική και τερματίζει με το έλεγχο του σφάλματος του registration (Besl & McKay, 1992).

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε αυτόματη συνένωση νεφών και ως αποτέλεσμα προέκυψαν 4 ομάδες σαρώσεων. Οι ομάδες αυτές τοποθετήθηκαν χειροκίνητα σε κατάλληλες θέσεις ώστε να ταυτίζονται και πραγματοποιήθηκε εκ νέου αυτόματη συνένωση έτσι ώστε να ταυτιστούν και οι τέσσερις ομάδες σαρώσεων μεταξύ τους. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν μεγάλα σφάλματα, γεγονός που οδήγησε σε περαιτέρω επεξεργασία των νεφών πριν από το στάδιο της συνένωσης. Από τα νέφη σημείων διαγράφηκε ο θόρυβος που υπήρχε σε κάποια τμήματα τους, καθώς επίσης και σημεία των νεφών που βρίσκονταν έξω από τα όρια του αρχαιολογικού χώρου, όπως το βουνό, ο δρόμος κ.ά, έτσι ώστε να περιοριστούν τα σημεία του νέφους στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου και να είναι μικρότερη η περιοχή αναζήτησης αντίστοιχων σημείων από τον αλγόριθμο. Αφού ολοκληρώθηκε η διαγραφή σημείων, πραγματοποιήθηκε νέα αυτόματη συνένωση, όπου ως αποτέλεσμα έδωσε τρεις ομάδες σαρώσεων, δυο για τον Ναό της Μονής, οι οποίες στην συνέχεια ομαδοποιήθηκαν, και μια για την Πύλη. Τα σφάλματα της συνένωσης των δύο ομάδων νεφών του ναού, κυμαίνονται κοντά στα 10 mm, γεγονός που οφείλεται στην μεγάλη

απόσταση των θέσεων σάρωσης για το αντικείμενο αυτό. Αντιθέτως, η συνένωση των σαρώσεων της Πύλης, παρουσιάζει μικρότερα σφάλματα της τάξης των 4 mm.

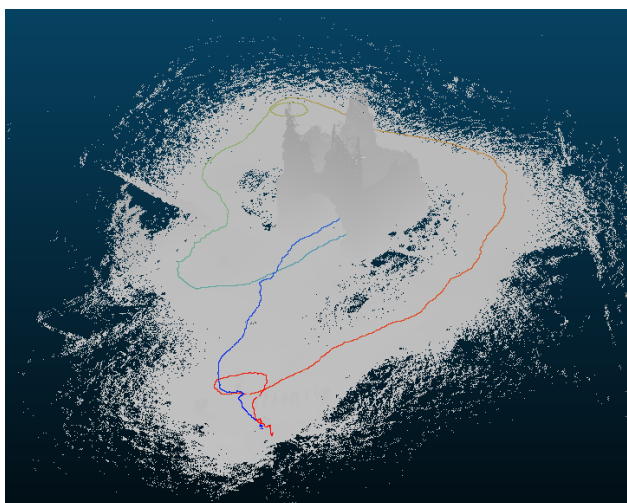
Τέλος, έγινε εισαγωγή των συντεταγμένων των στόχων και πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά των σαρώσεων, με σφάλματα μικρότερα της επιθυμητής ακρίβειας των 12.5 mm .

Σφάλματα Γεωαναφοράς	
Μέγιστο σφάλμα απόστασης	± 9.8 mm
Μέσω σφάλμα απόστασης	± 5.8 mm
Μέγιστο σφάλμα οριζοντιογραφικά	± 8.2 mm
Μέσο σφάλμα οριζοντιογραφικά	± 4.3 mm
Μέγιστο σφάλμα υψομετρικά	± 7.7 mm
Μέσο σφάλμα υψομετρικά	± 3.2 mm

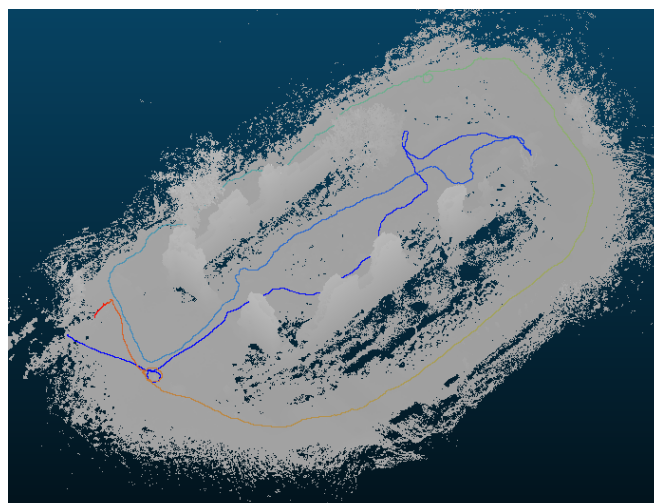
Πίνακας 3.12: Σφάλματα γεωαναφοράς σαρώσεων FARO

3.2.2 Επεξεργασία δεδομένων σαρωτή χειρός Zeb Revo

Από την χρήση του σαρωτή Zeb Revo προέκυψαν δύο αρχεία, τα οποία περιέχουν τις σαρώσεις του Ναού και της Πύλης, συνοδευόμενα από τις κλειστές διαδρομές που ακολούθησε ο χρήστης γύρω από αυτά.



Εικόνα 3.21:Σάρωση και διαδρομή στην Πύλη της Μονής



Εικόνα 3.22:Σάρωση και διαδρομή στον Ναό της Μονής

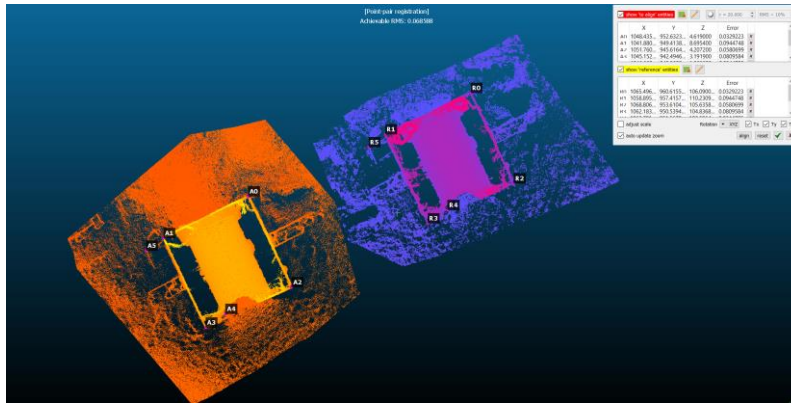
Ο σαρωτής είναι σαρωτής χειρός και υπάγεται στην κατηγορία των κινητών συστημάτων LiDAR. Λειτουργεί μέσω της μεθόδου SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), η οποία ακολουθεί τα εξής βήμα: καταγράφει χαρακτηριστικά σημεία

του περιβάλλοντος, συσχετίζει τις παρατηρήσεις, πραγματοποιεί εκτίμηση της θέσης του παρατηρητή και κάνει ενημέρωση των θέσεων των χαρακτηριστικών σημείων και της θέσης του παρατηρητή με νέες παρατηρήσεις. Το σύστημα συνδυάζεται με δορυφορικούς δέκτες GNSS και αδρανειακά συστήματα (Inertial Measurement Units IMUs) για την μέτρηση της αλλαγής ταχύτητας, της διεύθυνσης και της γωνίας παρατήρησης του συστήματος κατά την κίνηση (Χλωροκώστας, 2019).

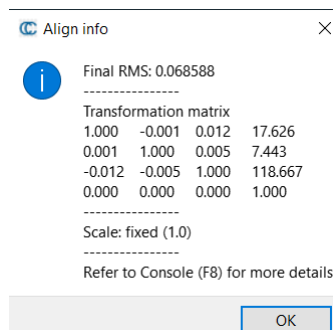
Για την γεωαναφορά των σαρώσεων αυτών στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, έγινε χρήση του νέφους του σαρωτή Faro. Στο ύπαιθρο καταγράφηκαν οι σφαίρες-στόχοι και μετρήθηκαν οι συντεταγμένες τους, ωστόσο στα λογισμικά που υπήρχαν διαθέσιμα δεν ήταν δυνατή η γεωαναφορά των νεφών με δύο μόνο σφαίρες. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε ο σαρωτής Faro, καθώς οι σαρώσεις του είναι απευθείας μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο και έχουν την καλύτερη δυνατή ακρίβεια.

Αρχικά έγινε εισαγωγή των νεφών στο λογισμικό Cloud Compare. Επειδή οι σαρώσεις ήταν πολύ απομακρυσμένες μεταξύ τους, κρατώντας σταθερό το νέφος του σαρωτή Faro, πραγματοποιήθηκε μετάθεση και στροφή γύρω από τον άξονα των Z στο νέφος του Zeb Revo έτσι ώστε να έρθει σε θέση κοντά στο πρώτο. Επόμενο βήμα ήταν η ευθυγράμμιση των δύο νεφών με την επιλογή χαρακτηριστικών σημείων πάνω στα δύο νέφη (*align – point picking*). Τέλος, έγινε εισαγωγή των νεφών στο λογισμικό Geomagic Wrap και πραγματοποιήθηκε *global registration*. Η εντολή *global registration* κάνει χρήση του αλγορίθμου ICP (Iterative Closest Point Algorithm).

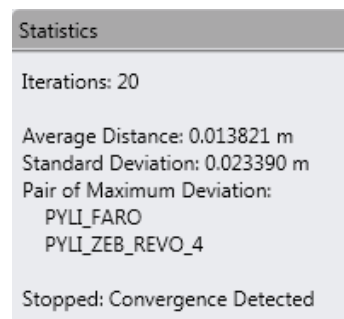
Για την παραπάνω διαδικασία, αναλυτικότερα, για την Πύλη του ναού, σκοπεύθηκαν χαρακτηριστικά σημεία στις γωνίες της Πύλης και σε άλλα ευδιάκριτα σημεία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.23, και το *align* έγινε με ακρίβεια της τάξης των 70 mm. Στην συνέχεια, στο περιβάλλον του *geomagic wrap* πραγματοποιήθηκε το *global registration* με μέση απόσταση ίση με 14 mm (Εικόνα 3.25). Οι ακρίβειες αυτές είναι ικανοποιητικές καθώς η αρχική ακρίβεια σάρωσης με το Zeb revo ανέρχεται στα 2.5 – 3 cm σύμφωνα με τον κατασκευαστή.



Εικόνα 3.23: Σκόπτευση σημείων στο νέφος αναφοράς Faro (μωβ χρώμα) και στο νέφος του Zeb Revo (πορτοκαλί χρώμα)

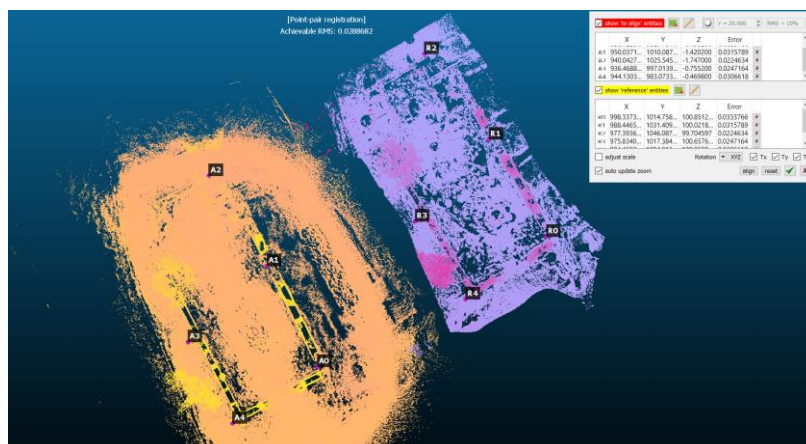


Εικόνα 3.24: RMS διαδικασίας

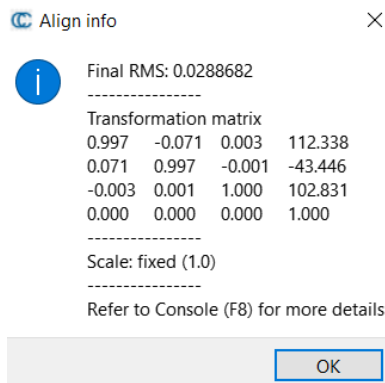


Εικόνα 3.25: Στατιστικά από global registration

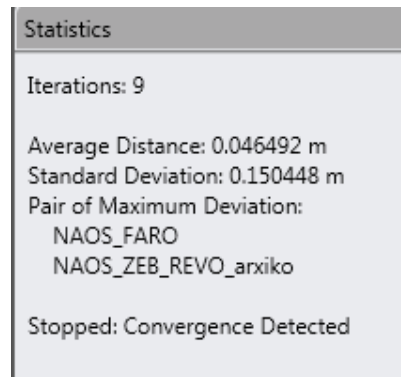
Για τον Ναό ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, με σφάλματα 30 mm για το *align – point picking* και για το *global registration* η μέση απόσταση είναι 46 mm. Η μέση απόσταση σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερη καθώς ο ναός έχει πολλά περισσότερα σημεία και πολυπλοκότερη γεωμετρία από την Πύλη.



Εικόνα 3.26 Εικόνα : Σκόπτευση σημείων στο νέφος αναφοράς Faro (μωβ χρώμα) και στο νέφος του Zeb Revo (πορτοκαλί χρώμα)



Εικόνα 3.27: RMS από το align - point picking



Εικόνα 3.28: Στατιστικά από global registration

3.3 Επεξεργασία εικόνων

Αρχικά πραγματοποιήθηκε έλεγχος των εικόνων, έτσι ώστε να επιλεγθούν οι καταλληλότερες εξ αυτών και να κατανεμηθούν σε διαφορετικά project, με στόχο την αποτελεσματικότερη και ορθή επεξεργασία τους. Από τις εικόνες που συλλέχθηκαν εναέρια δημιουργήθηκαν δυο projects για τις εικόνες του UAV Phantom που περιέχουν τις εικόνες του Ναού και της Πύλης αντίστοιχα, και ένα project για τις εικόνες για την κάτοψη του ναού. Για τις επίγειες λήψεις, δημιουργήθηκαν δύο ομάδες εικόνων, μια για τις εικόνες των όψεων του ναού και μια για τις εικόνες των όψεων της πύλης. Σε κάθε μια ομάδα οι εικόνες ομαδοποιήθηκαν με βάση την όψη στην οποία ανήκουν.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Agisoft Metashape, ο οποίο είναι ένα λογισμικό που εκτελεί φωτογραμμετρικές επεξεργασίες ψηφιακών εικόνων και παράγει 3D χωρικά δεδομένα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα εργασιών, όπως είναι και η γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων. Η λειτουργία του λογισμικού βασίζεται σε δύο βασικές μεθόδους – Structure from Motion (SfM) και Multiview Stereo (MVS).

3.3.1 Η μέθοδος Structure from Motion (SfM) και Multiview Stereo (MVS)

Η μέθοδος Structure from Motion αποτελείται από ένα σύνολο διαδικασιών τρισδιάστατης ανακατασκευής αντικειμένων του χώρου από εικόνες. Στην συγκεκριμένη μέθοδο εισάγεται ένα σύνολο επικαλυπτόμενων εναέριων ή/και επίγειων εικόνων και εξάγεται ένα τρισδιάστατο νέφος σημείων της περιοχής, καθώς και οι θέσεις λήψης των εικόνων. Οι εικόνες δεν είναι απαραίτητο να έχουν παρθεί από την ίδια απόσταση ή να έχουν ίδια κλίμακα, αλλά η σκηνή που απεικονίζεται πρέπει να είναι σταθερή, να υπάρχει η επιθυμητή λεπτομέρεια και μεγάλη επικάλυψη μεταξύ

τους. Είναι σημαντικό να υπάρχουν εικόνες από όσες περισσότερες θέσεις είναι δυνατόν, καθώς το μεγάλο εύρος των θέσεων των εικόνων δημιουργεί μια ισχυρή γεωμετρία γύρω από το αντικείμενο.

Αρχικό βήμα είναι ο εντοπισμός και η καταγραφή χαρακτηριστικών σημείων σε κάθε εικόνα. Ο δημοφιλέστερος αλγόριθμος ανίχνευσης χαρακτηριστικών σημείων είναι ο SIFT (Lowe, 1999). Ο αλγόριθμος αυτός αναγνωρίζει σημεία χαρακτηριστικά σε κάθε εικόνα που είναι αμετάβλητα από την κλίμακα της, την στροφή και κάθε μεταβολή στον φωτισμό και στην θέση της κάμερας. Σημεία κλειδιά αναγνωρίζονται αυτόματα σε όλες τις κλίμακες και θέσεις των εικόνων με ελάχιστη προϋπόθεση ένα ίδιο χαρακτηριστικό σημείο να φαίνεται το λιγότερο σε 3 εικόνες. Στην συνέχεια πραγματοποιείται αντιστοίχιση αυτών των χαρακτηριστικών σημείων σε κάθε εικόνα εντοπίζοντας το αντίστοιχο σημείο και στις υπόλοιπες φωτογραφίες. Είναι προτιμότερο να υπάρχουν πολλές εικόνες για την διαδικασία sfm καθώς βελτιστοποιείται ο συνολικός αριθμός των σημείων που ταυτίζονται.

Τέλος, ακολουθεί ο τριγωνισμός, δηλαδή η διαδικασία με την οποία υπολογίζεται ο εξωτερικός προσανατολισμός με την χρήση του αλγορίθμου Bundle adjustment, όπου υπολογίζεται η τρισδιάστατη θέση των κοινών σημείων μεταξύ των εικόνων, καθώς και οι παράμετροι και οι θέσεις της κάμερας λήψης. Αντικείμενα που αποτελούνται από τουλάχιστον δύο χαρακτηριστικά σημεία και απεικονίζονται σε τρεις εικόνες, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των 3D θέσεων των σημείων και τη δημιουργία του αραιού νέφους σημείων. (Westoby et al. 2012).

Επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων, με την χρήση αλγορίθμων πολλαπλής εμπροσθοτομίας – Multi view Stereo (MVS). Κάθε σημείο των εικόνων ταυτίζεται με τα ομόλογα του, μέσω των επιπολικών ευθειών, όπου πάνω σε αυτές γίνεται η αναζήτηση των ομολογιών για κάθε σημείο. Με βάση τους χάρτες παράλλαξης (depth maps) που παρουσιάζουν την απόσταση ενός σημείου από το αντίστοιχο σε άλλη εικόνα, προκύπτει το πυκνό νέφος σημείων.

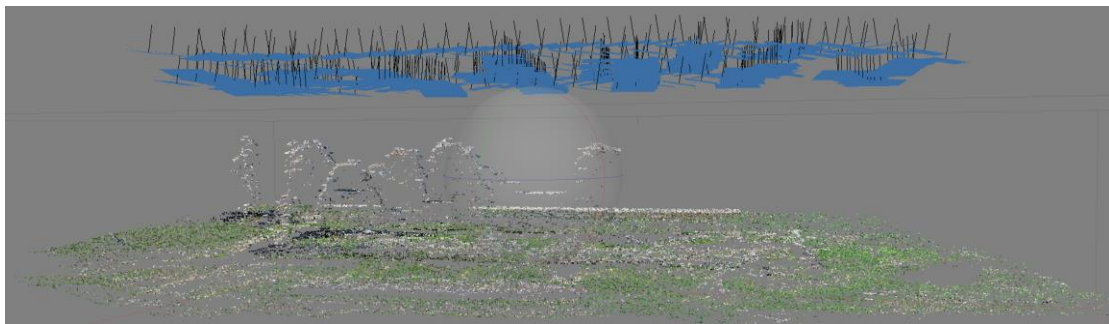
Στην συνέχεια, υπάρχει η δυνατότητα να γίνει παραγωγή 3D επιφάνειας και να της αποδοθεί υφή, να δημιουργηθεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και, τέλος, η παραγωγή ορθοφωτογραφιών.

3.3.2 Προσανατολισμός Εικόνων

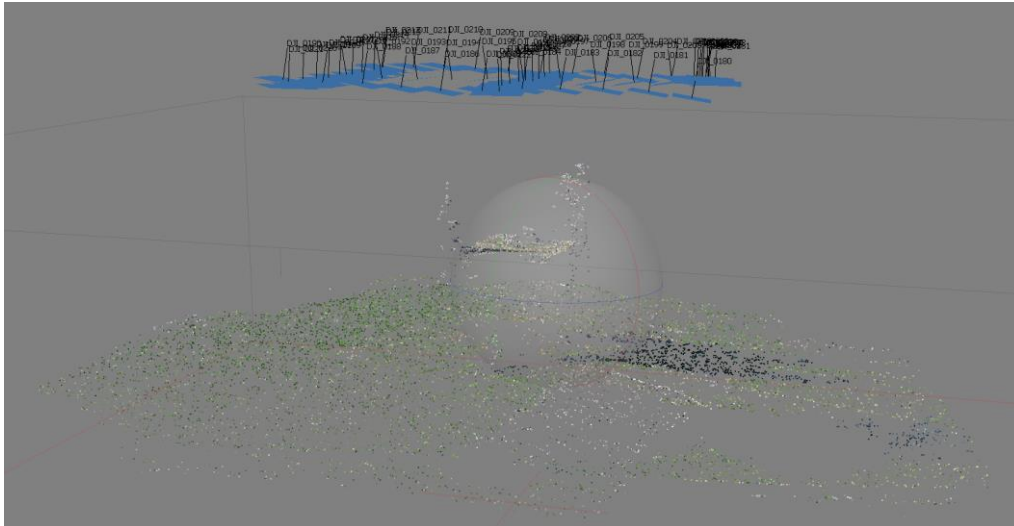
Αρχικά, έγινε εισαγωγή των εικόνων και αποκατάσταση του σχετικού τους προσανατολισμού, έτσι ώστε να αποκατασταθεί η δέσμη των ακτίνων και το σχήμα του στερεομοντέλου, με την χρήση των παραπάνω αλγορίθμων του προγράμματος.

Σκοπεύτηκαν τα Φωτοσταθερά, τα οποία, χωρίς τις συντεταγμένες τους, χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία σύνδεσης. Ως όριο ακρίβειας του σχετικού προσανατολισμού των εικόνων ορίστηκε το 1 pixel. Με την ολοκλήρωση του σταδίου αυτού έχει δημιουργηθεί το αραιό νέφος σημείων, από το οποίο με την χρήση ορισμένων κριτηρίων επιλογής, επιλέχθηκαν και διαγράφηκαν σημεία του (θόρυβος). Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των συντεταγμένων των σκοπευμένων Φωτοσταθερών, σε τοπικό σύστημα αναφοράς, για την αποκατάσταση της θέσης, του προσανατολισμού και της κλίμακάς του, δηλαδή ο απόλυτος προσανατολισμός. Τα σφάλματα σε αυτό το στάδιο δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 1.25 cm, όριο που προκύπτει από την κλίμακα των τελικών προϊόντων και την διακριτική ικανότητα του ματιού, και ορίζει την διαφορά που υπάρχει μεταξύ των γεωδαιτικών συντεταγμένων που εισάγει ο χρήστης στο πρόγραμμα, και των συντεταγμένων των Φ/Σ που υπολογίστηκαν από το λογισμικό στο στάδιο του απόλυτου προσανατολισμού.

Αναλυτικότερα, για τα project του Ναού και της Πύλης με εικόνες από το Phantom πραγματοποιήθηκε αποκατάσταση του σχετικού προσανατολισμού, και σκόπευση των φωτοσταθερών, χωρίς τις συντεταγμένες τους, έτσι ώστε να γίνει χρήση τους ως σημεία σύνδεσης. Έγινε επιλογή και διαγραφή του θορύβου του νέφους και εισήχθησαν οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών για την γεωαναφορά του αντικειμένου. Τα τελικά συνολικά σφάλματα είναι μικρότερα της επιθυμητής ακρίβειας (1.25 cm) και ίσα με 4.9 mm (0.234 pix.) για τον Ναό και 5 mm (0.230 pix.) για την Πύλη.

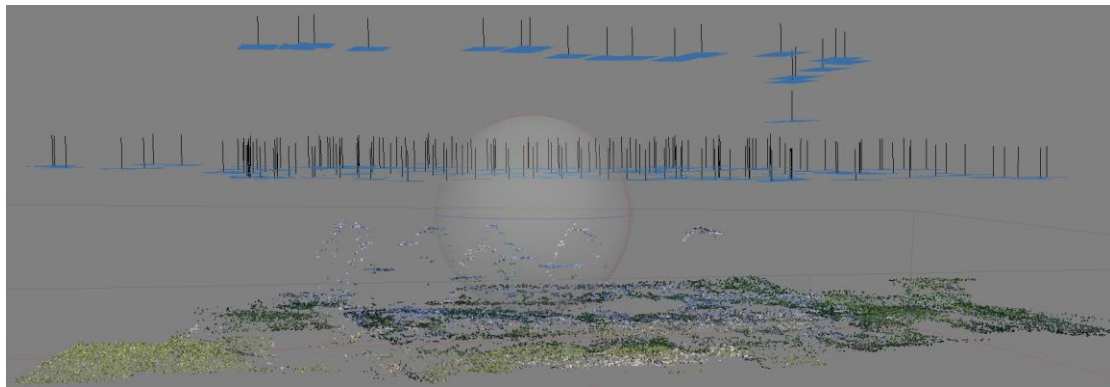


Εικόνα 3.29: Αραιό νέφος σημείων του project Phantom Naos



Εικόνα 3.30: Αραιό νέφος σημείων του project Phantom Pylis

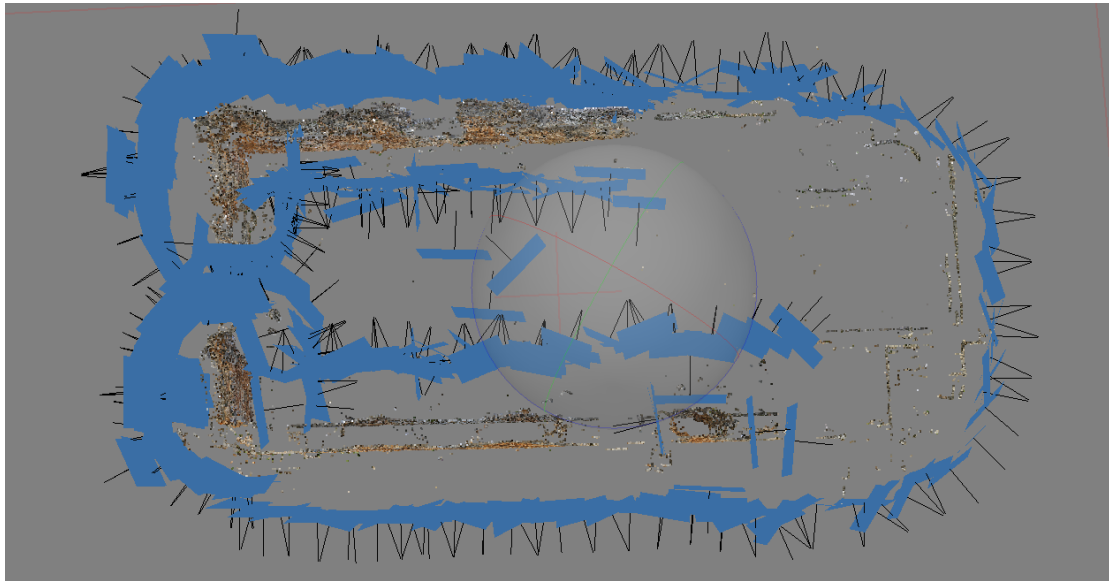
Από την γεωαναφορά του μοντέλου από τις λήψεις του οκτακόπτερου UAV το συνολικό σφάλμα ανέρχεται στα 5.8 mm (0.182 pix.) που είναι αποδεκτό και μικρότερο του ορίου επιθυμητής ακρίβειας. Στην διαδικασία αυτή διορθώθηκαν σκοπεύσεις φωτοσταθερών και εξαιρέθηκαν φωτοσταθερά που προκαλούσαν μεγάλα σφάλματα, έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.



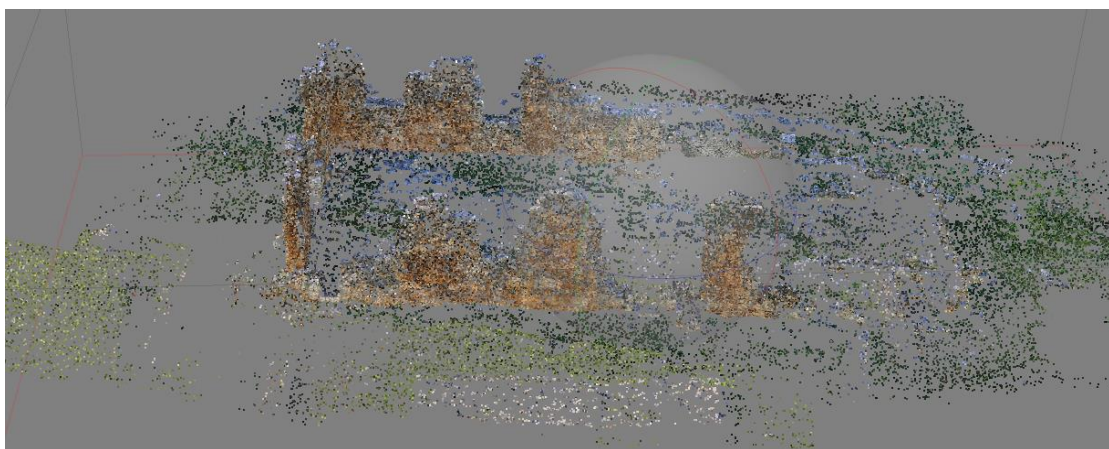
Εικόνα 3.31: Αραιό νέφος σημείων του project Hercules Naos

Για τις επίγειες λήψεις του Ναού, σε κάθε όψη πραγματοποιήθηκε αποκατάσταση του σχετικού προσανατολισμού, σκοπεύθηκαν τα φωτοσταθερά σημεία σε κάθε ομάδα όψεων και όποια από τα φωτοσταθερά είναι ευδιάκριτα σε άλλες όψεις. Έγινε παραγωγή του αραιού νέφους σημείων και διαγραφή του θορύβου του, και τέλος,

γεωαναφορά του με την χρήση των συντεταγμένων των φωτοσταθερών που έχουν σκοπευθεί. Η επιλογή της ομαδοποίησης των εικόνων σε κάθε όψη έγινε ώστε να ελαχιστοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο τα σφάλματα, να περιοριστεί η περιοχή αναζήτησης κοινών σημείων και σκόπευσης φωτοσταθερών, επιτυγχάνοντας ταχύτερο χρόνο για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Στην συνέχεια έγινε συνένωση των οκτώ όψεων του Ναού με τις εναέριες εικόνες υψηλής ανάλυσης πραγματοποιήθηκε εκ νέου αποκατάσταση του σχετικού προσανατολισμού για όλες τις εικόνες, παραγωγή αραιού νέφους και γεωαναφορά του μοντέλου με συνολικό σφάλμα 4.6 mm (0.206 pix.).

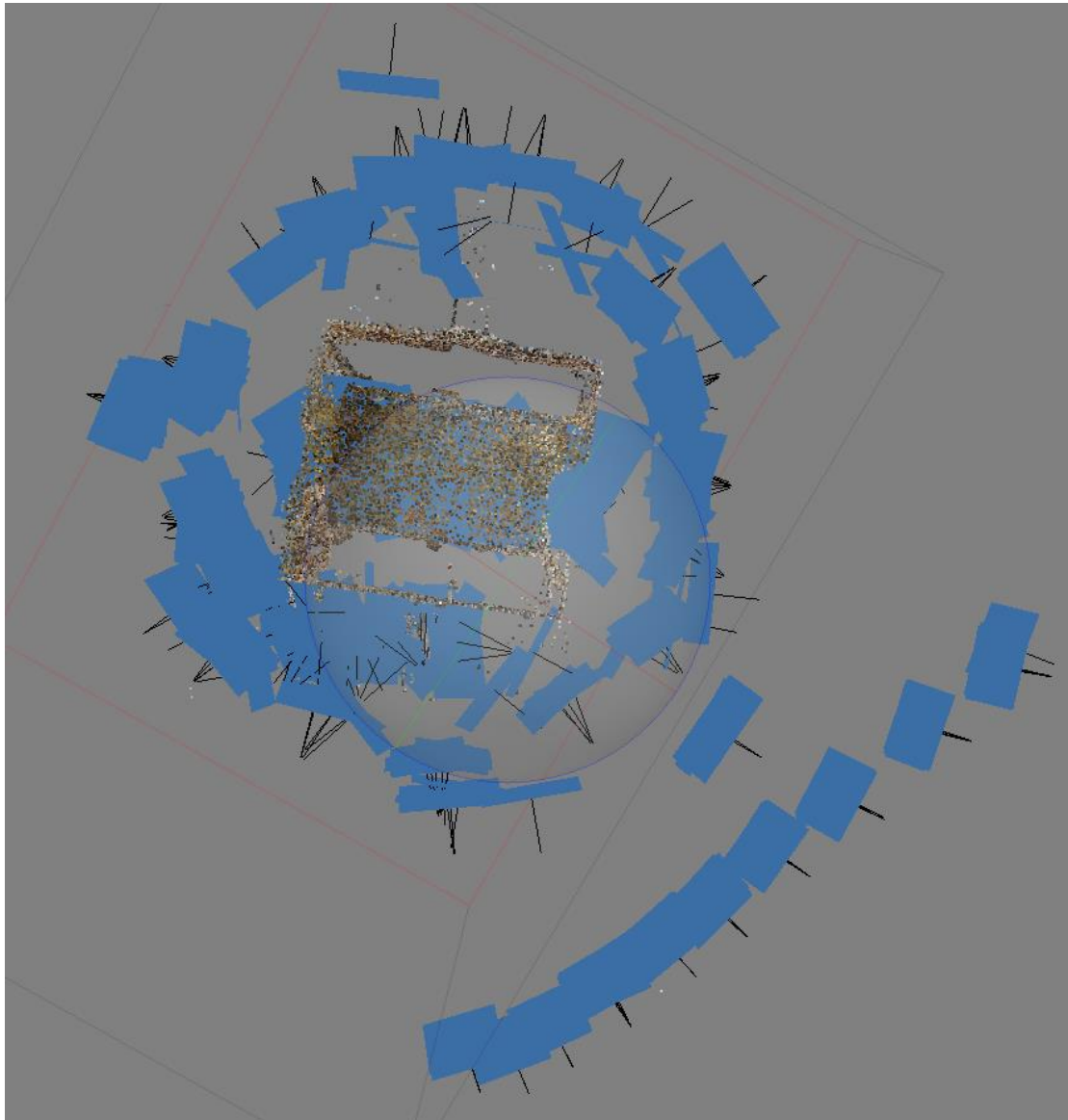


Εικόνα 3.32: Αραιό νέφος σημείων επίγειων λήψεων Ναού



Εικόνα 3.33: Αραιό νέφος σημείων επίγειων και εναέριων λήψεων Ναού

Τέλος, για το project των επίγειων λήψεων της Πύλης της Μονής, ακολουθώντας τα ίδια βήματα, το τελικό σφάλμα της γεωαναφοράς είναι 3.1 mm (0.214 pix.), το οποίο είναι αποδεκτό.



Εικόνα 3.34: Αραιό νέφος σημείων επίγειων λήψεων Πύλης

Επόμενο βήμα είναι η πυκνή συνταύτιση σημείων για την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων, το οποίο στην συνέχεια θα υποστεί επεξεργασία σε λογισμικά επεξεργασίας νεφών σημείων (Geomagic Wrap, Geomagic Studio, Cloud Compare). Για το project των επίγειων λήψεων της Πύλης, τοποθετήθηκαν μάσκες, έτσι ώστε στο πυκνό νέφος να μην υπάρχουν τμήματα του ουρανού, τα οποία προκύπταν σε δοκιμή παραγωγής νέφους χωρίς μάσκες.

Σε όλα τα στάδια της διαδικασίας οι παράμετροι που ζητούσε το λογισμικό να οριστούν από τον χρήστη, ορίστηκαν στην μέγιστη δυνατή βαθμίδα, με στόχο της επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων.



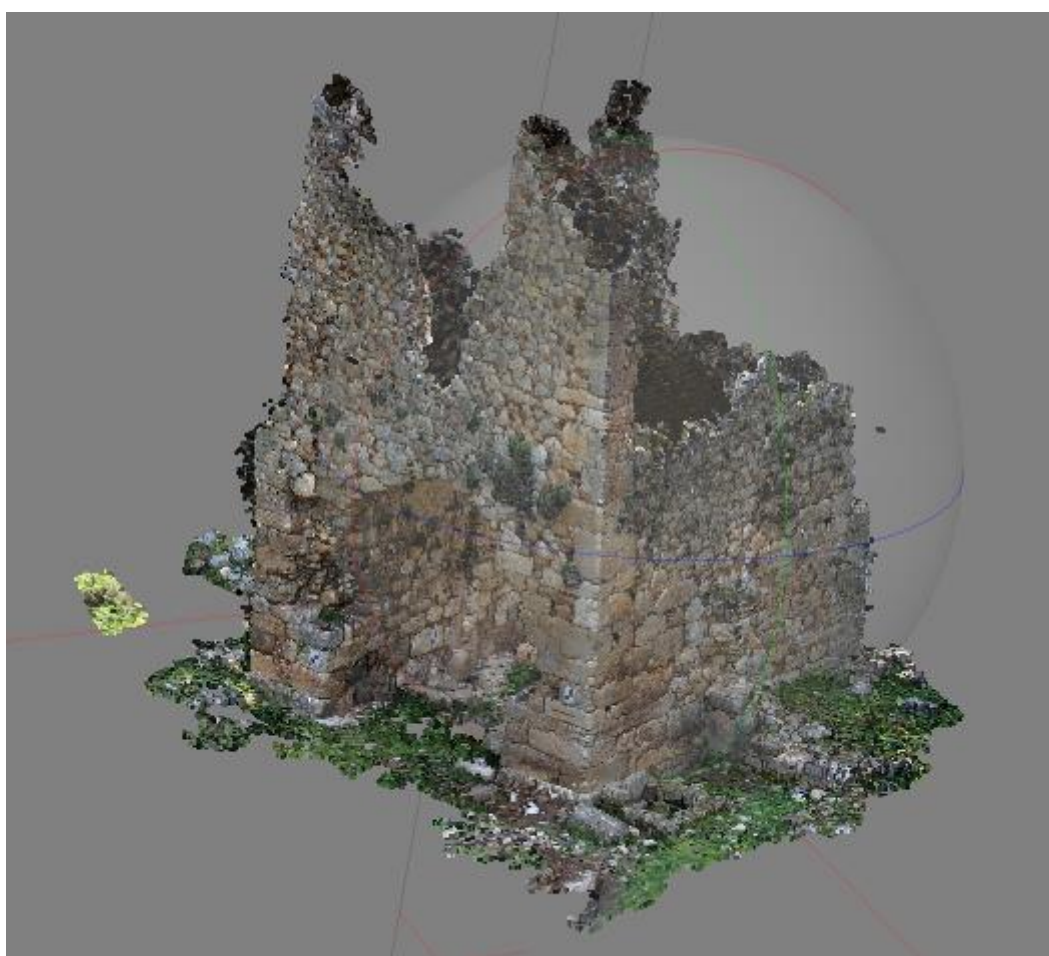
Εικόνα 3.35: Πυκνό νέφος σημείων του project Phantom Naos



Εικόνα 3.36: Πυκνό νέφος σημείων του project Phantom Pyli



Εικόνα 3.37: Πυκνό νέφος σημείων επίγειων και εναέριων λήψεων Ναού



Εικόνα 3.38: Πυκνό νέφος σημείων επίγειων λήψεων Πύλης

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνολικά τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των εικόνων.

Project	Phantom Ναός	Phantom Πύλη	Επίγειες λήψεις Ναού	UAV κάτοψης Ναού	Επίγειες και εναέριες λήψεις Ναού	Επίγειες λήψεις Πύλης	Επίγειες και εναέριες λήψεις Πύλης
Αριθμός εικόνων	372	60	388	187	575	324	384
Απαιτούμενος χρόνος για προσανατολισμό εικόνων	20 min	23 min	3 h	7 min	1 h	45 min	-
Σφάλμα γεωαναφοράς	± 4.9 mm	± 5 mm	± 4.5 mm	± 5.8 mm	± 4.6 mm	± 3.1 mm	-
Χρόνος παραγωγής πυκνού νέφους σημείων	20 h	48 min	-	2 h	7 h	13 h	12 h

Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα επεξεργασίας εικόνων

3.4 Σύγκριση νεφών

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή νεφών σημείων τρεις διαφορετικοί τρόποι συλλογής δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής laser Faro, ο σαρωτής SLAM χειρός Zeb Revo και φωτογράφιση των αντικειμένων ενδιαφέροντος με ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Στις φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις, και ειδικά στην γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων, όπου και απαιτείται η μέγιστη δυνατή ακρίβεια, είναι σημαντικό να πραγματοποιηθεί ένας έλεγχος των αποτελεσμάτων των μεθόδων και η ακρίβεια που αυτές είναι σε θέση να επιτύχουν, έτσι ώστε τα τελικά παράγωγα να καλύπτουν το τρίπτυχο ακρίβεια, ορθότητα, πληρότητα.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί σύγκριση των παραπάνω μεθόδων συλλογής δεδομένων, σε επίπεδο νεφών σημείων, όπως αυτά προκύπτουν από τις επεξεργασίες που έχουν ήδη αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Στόχος είναι να βρεθεί το νέφος εκείνο που αποτυπώνει την περιοχή ενδιαφέροντος με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Οι συγκρίσεις που θα πραγματοποιηθούν αφορούν στην συλλογή των δεδομένων στο ύπαιθρο, τον χρόνο και τα στάδια επεξεργασίας, στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων τους, την εξαγωγή και σύγκριση οριζόντιων και κατακόρυφων τομών, και τέλος, ελέγχεται η ταύτιση των νεφών, με τον έλεγχο των αποκλίσεων μεταξύ ομόλογων σημείων, στο λογισμικό Cloud Compare με την χρήση του *plugin Multiscale Model to Model Cloud Comparison (M3C2)*.

3.4.1 Συλλογή Δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων αποτελεί διαφορετική διαδικασία για κάθε μια από τις τρεις μεθόδους που εφαρμόστηκαν. Τόσο για τον επίγειο σαρωτή Faro αλλά και για την φωτογράφιση, πρέπει αρχικά να δημιουργηθεί ένα γεωδαιτικό δίκτυο που να περικλείει το αντικείμενο ενδιαφέροντος έτσι ώστε να προσδιοριστούν στόχοι και χαρακτηριστικά σημεία πάνω του, για την χρήση τους στο στάδιο της επεξεργασίας τους. Το πλεονέκτημα των δύο μεθόδων είναι πως αφού τοποθετηθούν οι στόχοι στα αντικείμενα, υπάρχει η δυνατότητα να πραγματοποιείται η αποτύπωση των στόχων και παράλληλα να πραγματοποιείται σάρωση ή φωτογράφιση του αντικειμένου, με την προϋπόθεση ότι δεν επικαλύπτονται οι δύο εργασίες.

Για τον επίγειο σαρωτή της εταιρίας Faro τοποθετήθηκαν οι στόχοι και στην συνέχεια ο σαρωτής τοποθετήθηκε σε κατάλληλες θέσεις έτσι ώστε να σαρώνει την επιθυμητή περιοχή αλλά και να εξασφαλίζεται η ύπαρξη τουλάχιστον τριών στόχων ανά δύο σαρώσεις. Κάθε σάρωση είχε διάρκεια 15 λεπτά και με 17 θέσεις σάρωσης, ο συνολικός χρόνος σάρωσης ανέρχεται περίπου στις 4 ώρες. Σημεία καταγράφονταν, σύμφωνα με τον ορισμό των παραμέτρων, ανά 6.5mm στα 10m και ανά 3mm στα 10m, ανάλογα με την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο.

Η συλλογή φωτογραμμετρικών δεδομένων έγινε επίγεια και εναέρια. Για τις επίγειες εικόνες, κάθε τοίχος φωτογραφήθηκε διεξοδικά (επικάλυψη ~ 80%) έτσι ώστε να μην υπάρχουν αποκρύψεις στο αντικείμενο και να φαίνονται όλοι οι στόχοι. Συνολικά οι τοίχοι που φωτογραφήθηκαν ήταν 15 (7 στον Ναό και 8 στην Πύλη) και ο χρόνος φωτογράφισης ήταν 1 ώρα και 20 λεπτά. Οι εναέριας λήψεις διεκπεραιώθηκαν με την χρήση των δύο διαθέσιμων UAV με χρόνους πτήσης 35 λεπτά για το Phantom και 10 λεπτά για το οκτακόπτερο. Οι φωτογράφιση έγινε σε μορφή πλέγματος πάνω από τα αντικείμενα σε ύψος 15m. Επομένως, ο συνολικός χρόνος για τις φωτογραμμετρικές λήψεις ανέρχεται στις 2 ώρες.

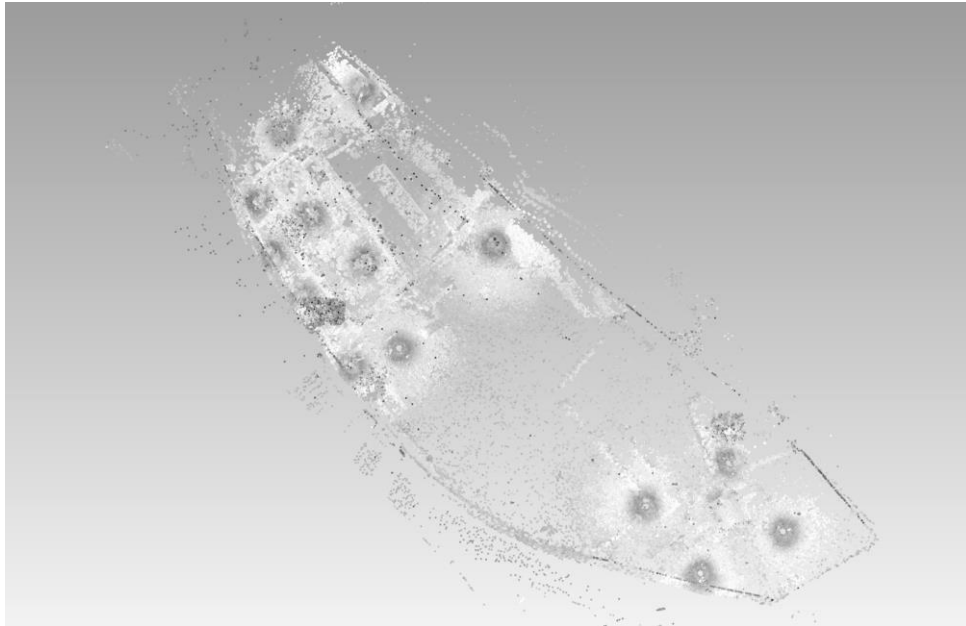
Αντίθετα, με τις προηγούμενες δύο μεθόδους, ο σαρωτής χειρός Zeb Revo είναι απλούστερος στην χρήση του στο ύπαιθρο για την καταγραφή σημείων. Αρκεί να τοποθετηθούν δύο σφαίρες αναφοράς γύρω από το αντικείμενο και να μετρηθούν οι συντεταγμένες τους, ώστε να μπορεί να γίνει η γεωαναφορά του, και στην συνέχεια ο χρήστης κρατάει τον σαρωτή και πραγματοποιεί κλειστές διαδρομές γύρω και μέσα στα αντικείμενα, περικλείοντας και τις σφαίρες που τοποθετήθηκαν, με ακρίβεια καταγραφής 2 – 3cm. Ο συνολικός χρόνος καταγραφής είναι ανάλογος του βηματισμού του χρήστη, ο οποίος δεν μπορεί να βαδίζει με ταχύ βηματισμό, διότι πραγματοποιείται

καταγραφή λιγότερων σημείων λόγω ταχύτητας, και ανέρχεται στην μισή ώρα και για τα δύο αντικείμενα.

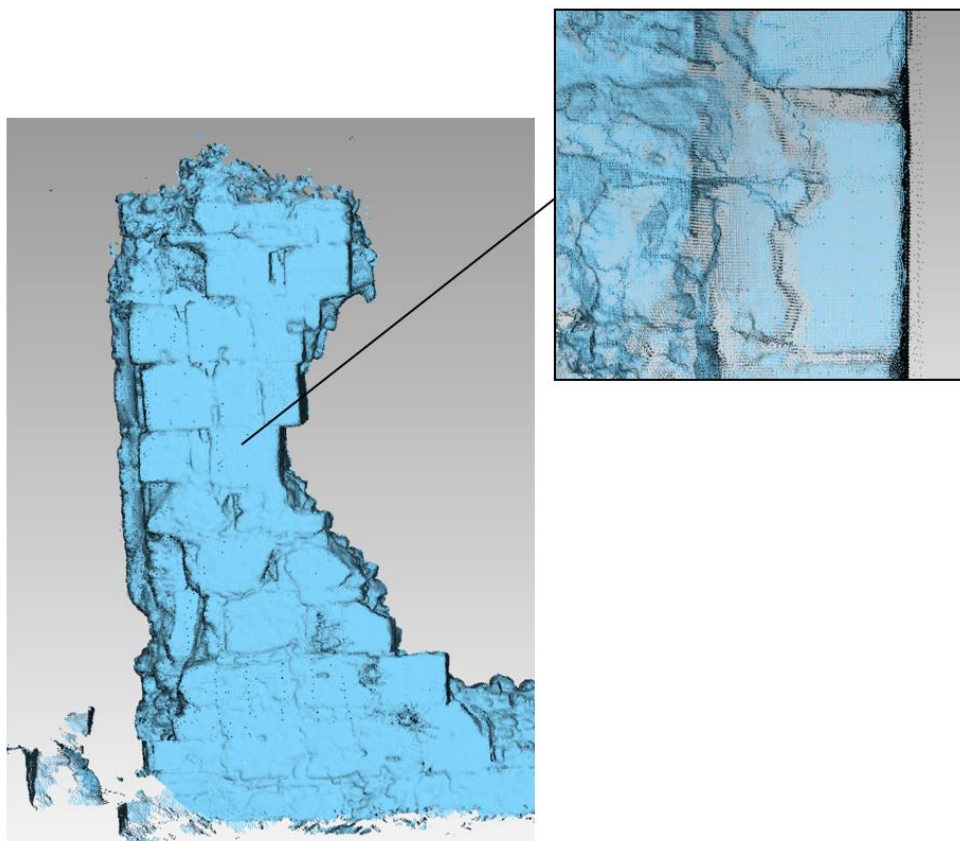
3.4.2 Επεξεργασία δεδομένων

Τα δεδομένα που προκύπτουν από τις σαρώσεις του επίγειου σαρωτή Faro είναι πολλά νέφη σημείων από διάφορες θέσεις σάρωσης, τα οποία συνενώνονται και γεωαναφέρονται στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Για τον σκοπό αυτό έγινε χρήση του λογισμικού *Faro Scene*, όπου και έγινε εισαγωγή των σαρώσεων, επιλέχθηκαν, βάσει κριτηρίων, και διαγράφηκαν σημεία – θόρυβος, έγινε συνένωση των νεφών και τέλος, με την χρήση των στόχων πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά τους, έτσι ώστε να αποκατασταθεί, η θέση, η κλίμακα και ο προσανατολισμός τους. Τα σφάλματα της διαδικασίας ήταν μικρότερα του 1cm.

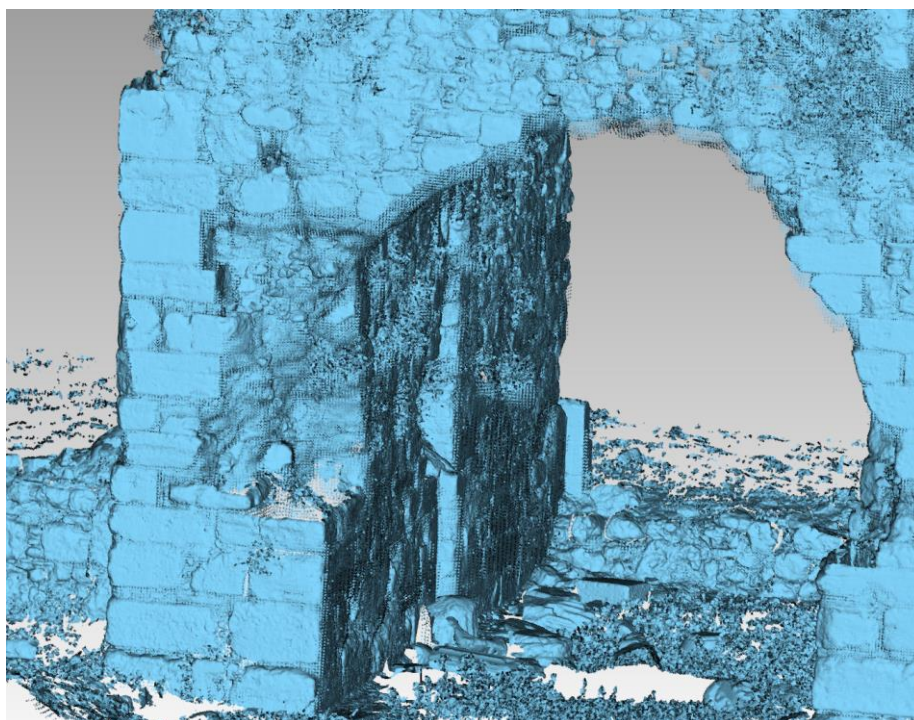
Συνολικά, η παραπάνω διαδικασία δεν απαιτεί χρόνο για την ολοκλήρωσή της καθώς οι διαδικασίες είναι αυτοματοποιημένες και ο χρήστης επεμβαίνει μόνο στην χειροκίνητη συνένωση των νεφών αλλά και στην κατάργηση ή διόρθωση στόχων για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων. Με την ολοκλήρωση της παραπάνω απαραίτητης επεξεργασίας, ο χρήστης έχει ολοκληρωμένη εικόνα του νέφους του σαρωτή. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται πως παρόλο που το νέφος περιγράφει ικανοποιητικά το αντικείμενο και έχει γίνει μια αρχική επεξεργασία στο λογισμικό, υπάρχει ακόμα θόρυβος σε αυτό, που εντοπίζεται κυρίως στις ακμές και στις γωνίες του αντικειμένου, όπου δηλαδή η γεωμετρία είναι πολύπλοκη, αλλά και στις επιφάνειες των τοίχων που αποτελούνται από πολλές σαρώσεις, όπου κάποιες θέσεις σάρωσης έβλεπαν το συγκεκριμένο σημείο υπό μεγάλη γωνία. Επίσης, σε πολλά σημεία υπάρχουν κενά στο νέφος, γεγονός που θα επηρεάσει την δημιουργία επιφάνεια.



Εικόνα 3.39: Σύνολο σαρώσεων σαρωτή Faro

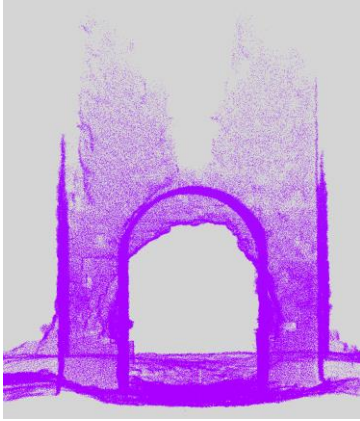


Εικόνα 3.40: Θόρυβος σαρώσεων στον Νότιο τοίχο του Ναού

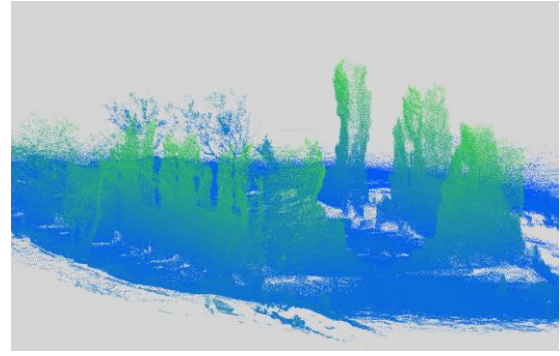


Εικόνα 3.41: Θόρυβος σαρώσεων στην Πύλη

Η επεξεργασία των δεδομένων του σαρωτή χειρός Zeb Reno πραγματοποιήθηκε στα λογισμικά *Cloud Compare* και *Geomagic Wrap* και η γεωαναφορά του έγινε με βάση το νέφος σημείων του σαρωτή Faro. Τα τελικά σφάλματα που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία έως και 5 cm (Εικόνα 3.28). Η διαδικασία αυτή δεν χρειάστηκε πολύ χρόνο, καθώς δεν απαιτείτο πολύς χρόνος επεξεργασίας και από τον χρήστη ήταν αναγκαία μόνο η σκόπευση χαρακτηριστικών σημείων για την ευθυγράμμιση των νεφών. Με μια πρώτη εικόνα των σαρώσεων αυτών παρατηρείται πως υπάρχουν σημαντικά επίπεδα θορύβου γύρω από το αντικείμενο. Τα σημεία είναι λιγότερα από τις άλλες δύο μεθόδους καθώς παρατηρείται σημαντική ομαλοποίηση της γεωμετρίας του αντικειμένου, όπως φαίνεται και στις εικόνες 3.42 και 3.43. Επίσης, όσο αυξάνεται το ύψος των τοίχων των αντικειμένων τα σημεία μειώνονται αισθητά καταλήγοντας στα μέγιστα ύψη να μην υπάρχει κανένα σημείο (Εικόνες 3.44 και 3.45), κυρίως στην Πύλη της Μονής, όπου υπήρχε και το μέγιστο ύψος (11.13 m), όπως φαίνεται και στην συνέχεια στις τομές που έχουν εξαχθεί.



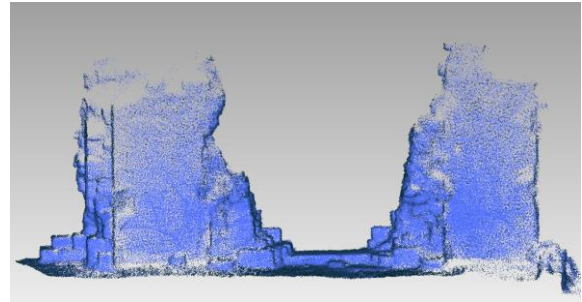
Εικόνα 3.42: Νέφος σημείων Zeb Revo για την Πύλη



Εικόνα 3.43: Νέφος σημείων Zeb Revo για τον Ναό



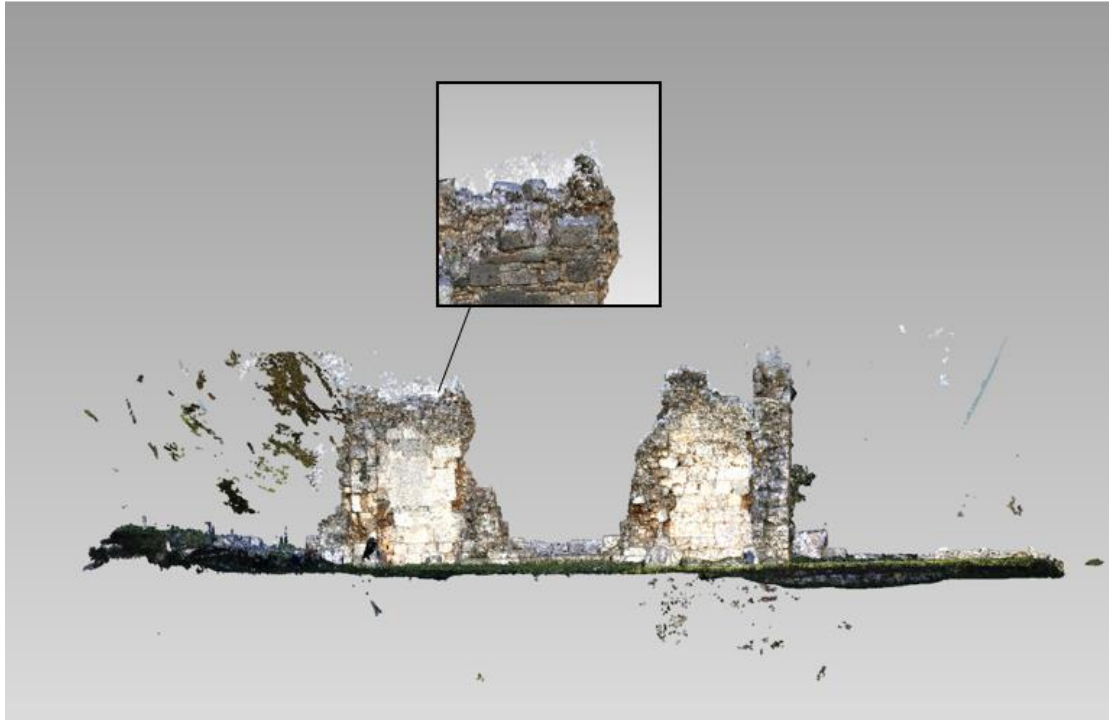
Εικόνα 3.44: Ανατολική όψη Πύλης



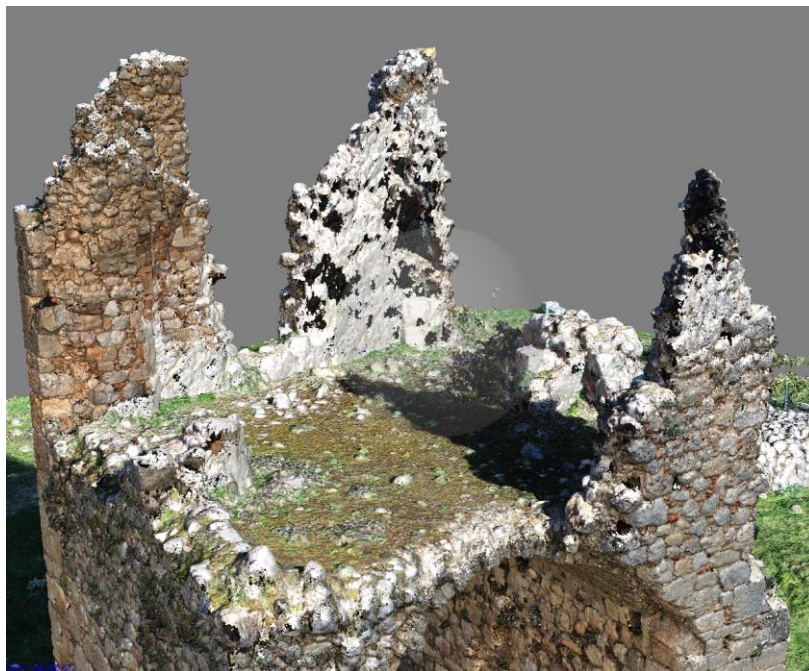
Εικόνα 3.45: Δυτική όψη Ναού

Η διαδικασία που απαιτούσε περισσότερο χρόνο ήταν η επεξεργασία των επίγειων και εναέριων εικόνων. Υπήρχε πληθώρα εικόνων και έπρεπε να γίνει μια αρχική επιλογή αυτών που θα χρησιμοποιηθούν και ο χωρισμός τους σε project, για αποτελεσματικότερη επεξεργασία. Το πιο χρονοβόρο στάδιο ήταν η σκόπευση και διόρθωση των φωτοσταθερών έτσι ώστε τα σφάλματα σκόπευσης στις εικόνες να είναι μικρότερα του 1 pixel και με την εισαγωγή των συντεταγμένων τους τα σφάλματα της συνόρθωσης να είναι της τάξης των χιλιοστών. Μετά το πέρας της διαδικασίας το μέγιστο σφάλμα που εντοπίστηκε στα επιμέρους projects ήταν τα 6 mm. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως λόγω της μεγάλης ανάλυσης που είχαν οι φωτογραφίες, το λογισμικό *Agisoft Metashape*, απαιτούσε αρκετό υπολογιστικό χρόνο, για να ολοκληρώσει τις διαδικασίες του σχετικού προσανατολισμού αλλά και την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων (βλ. Πίνακα 3.13). Τα νέφη που προκύπτουν καλύπτουν όλο το αντικείμενο, με πολύ σωστή προσέγγιση της γεωμετρίας του. Στο νέφος του Ναού, όπου δεν χρησιμοποιήθηκαν μάσκες στο στάδιο παραγωγής του πυκνού νέφους σημείων, παρατηρείται πολύ μεγάλο ποσοστό θορύβου, ειδικότερα στα υψηλά

τμήματα των τοίχων (Εικόνα 3.46). Σε αρκετά σημεία παρατηρείται μια ομαλοποίηση του ανάγλυφου, όπως σε εσοχές τοίχων, καθώς με τις φωτογραφίες δεν είναι δυνατό να φωτογραφηθούν με την απαραίτητη λεπτομέρεια οι περιοχές αυτές. Επίσης, παρουσιάζονται κενά στα δύο νέφη, σε σημεία που ενδεχομένως να ήταν απαραίτητες περισσότερες λήψεις.



Εικόνα 3.46: Θόρυβος νέφους Ναού από το Metashape



Εικόνα 3.47: Κενά στο νέφος σημείων της Πύλης

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα σφάλματα στο στάδιο της γεωαναφοράς των νεφών, όπως προέκυψαν για την κάθε μέθοδο.

Σφάλματα Γεωαναφοράς Νεφών				
Νέφος	Faro	Zeb Revo	Ναός Metashape	Πύλη Metashape
RMS (m)	± 5 mm	± 50 mm	± 4.6 mm	± 3.1 mm

(το νέφος του σαρωτή χειρός Zeb Revo γεωαναφέρθηκε μέσω του αντίστοιχου νέφους του επίγειου σαρωτή laser FARO)

Πίνακας 3.14: Σφάλματα Γεωαναφοράς Νεφών

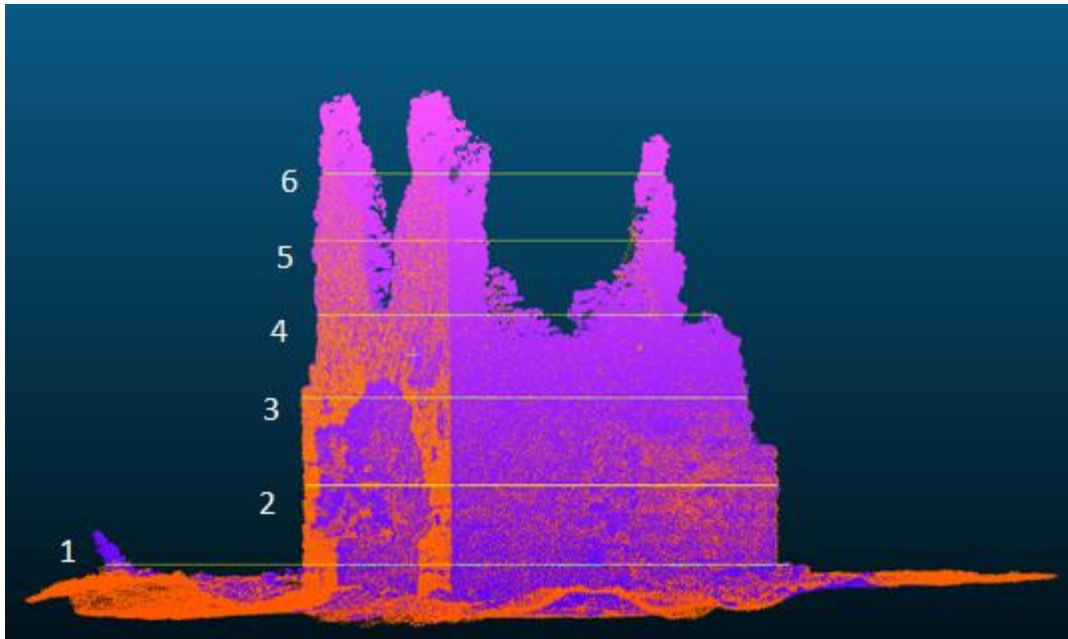
3.4.3 Εξαγωγή οριζόντιων και κατακόρυφων τομών

Με την εξαγωγή τομών από τα νέφη σημείων ο χρήστης έχει την δυνατότητα να οπτικοποιήσει τον τρόπο με τον οποίο το κάθε νέφος περιγράφει το αντικείμενο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο σαρωτής Faro πραγματοποιεί μετρήσεις απευθείας πάνω στο αντικείμενο και σαρώνει σημεία με βήμα που επιλέγει ο χρήστης. Μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο πραγματοποιεί και ο σαρωτής χειρός Zeb Revo. Αντίθετα, το νέφος από το Metashape προέρχεται από την επεξεργασία εικόνων στο λογισμικό. Επομένως, με τομές στα αντικείμενα, θα οπτικοποιηθούν επακριβώς τα σημεία που υπάρχουν, θα διακριθούν οι διαφορές τους, τα λανθασμένα σημεία και οι ομαλοποιήσεις που υπάρχουν στην επιφάνεια του αντικειμένου και για τα τρία νέφη.

Για την εξαγωγή τομών έγινε χρήση του λογισμικού *Cloud Compare* και εξήχθησαν οριζόντιες και κατακόρυφες τομές για τον Ναό και για την Πύλη, οι οποίες και παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν. Οι τομές έγιναν σε διάφορα σημεία των αντικειμένων, τέτοια ώστε να παρουσιάσουν αποτελέσματα για το πώς κατανέμονται τα σημεία. Στις τομές που ακολουθούν με γαλάζιο χρώμα παρουσιάζονται τα σημεία του σαρωτή Faro, με κόκκινο τα σημεία από το Metashape και με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται τα σημεία από τον σαρωτή χειρός Zeb Revo.

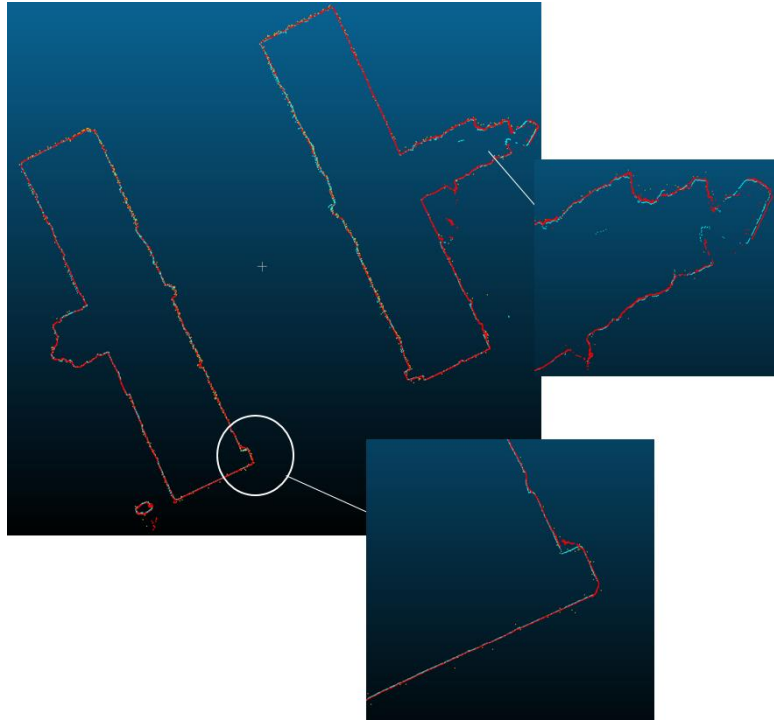
Πύλη – οριζόντιες τομές

Οι τομές έχουν πάχος 5 mm και βρίσκονται σε θέσεις που σημειώνονται στην εικόνα που ακολουθεί. Συνολικά για την Πύλη εξήχθησαν 6 οριζόντιες τομές σε θέσεις τέτοιες ώστε να είναι εμφανείς οι αλλαγές στις πυκνότητες των σημείων των διαφόρων νεφών και ο τρόπος που το κάθε νέφος περιγράφει το αντικείμενο.

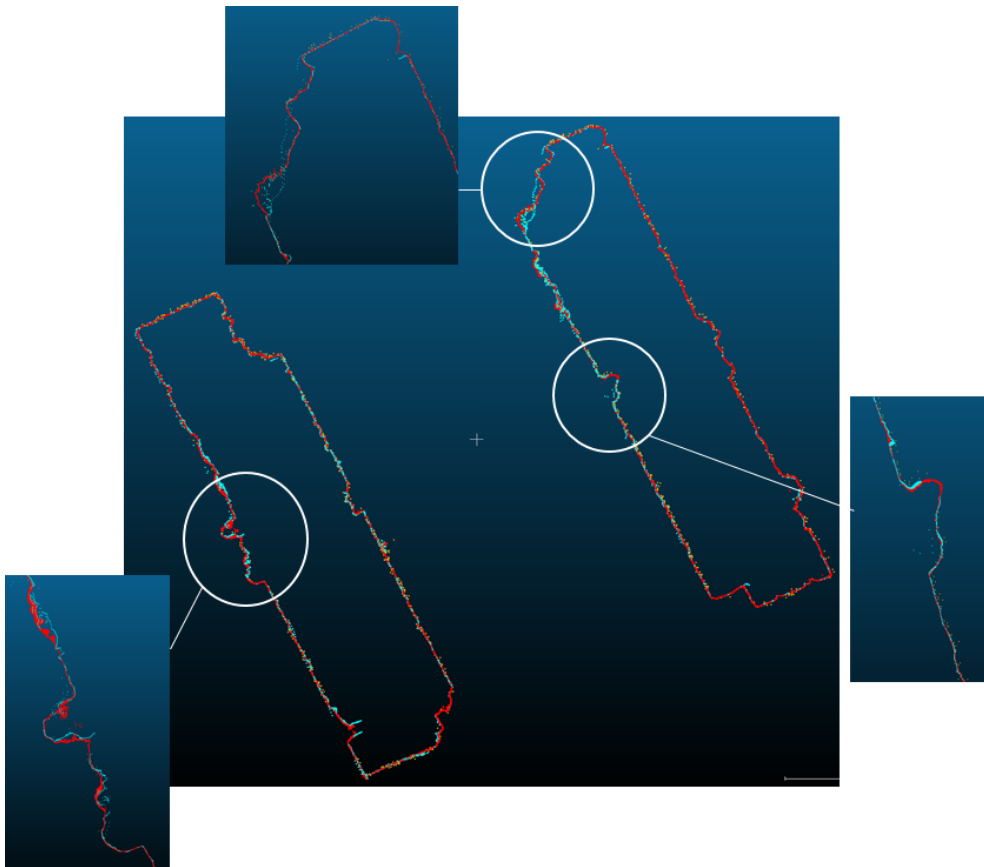


Εικόνα 3.48: Θέσεις οριζόντιων τομών Πύλης

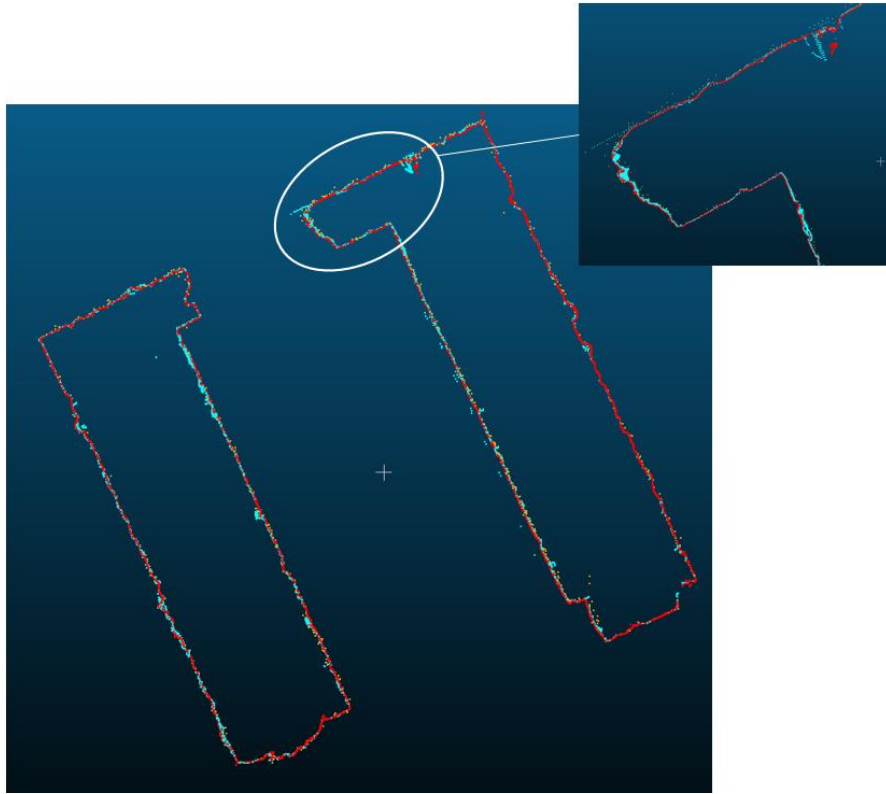
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι οριζόντιες τομές στην Πύλη, καθώς και κάποια τμήματα κάθε τομής που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Για τα σημεία από τον επίγειο σαρωτή Faro, διαπιστώθηκε πως περιγράφουν ικανοποιητικά την γεωμετρία του αντικειμένου με την παρουσία θορύβου σε κάποια τμήματα όπως στην εικόνα 3.50 και 3.52. Στις τομές 5 και 6, όπου βρίσκονται στον “πρώτο όροφο” της Πύλης, παρατηρείται μείωση των σημείων από τον σαρωτή λόγω μεγάλου ύψους, καθώς επίσης και στο εσωτερικό του ορόφου, όπου θα χρειαζόταν μια ακόμα σάρωση τοποθετώντας εκεί τον σαρωτή – ενέργεια που δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί (Εικόνες 3.53,3.54). Τα σημεία από τον σαρωτή Zeb Revo στις πρώτες 3 τομές, όπου το ύψος τους είναι κοντά σε αυτό του παρατηρητή, είναι ικανοποιητικά, αν και σαφώς λιγότερα, περιγράφουν πιστά την επιφάνεια, αλλά είναι εμφανές πως υπάρχει μεγάλο ποσοστό θορύβου σε αυτά (Εικόνα 3.49). Στην τέταρτη τομή τα σημεία φαίνεται πως έχουν μειωθεί αισθητά λόγω του μεγάλου ύψους του αντικειμένου, ενώ στις τομές 5 και 6, δεν υπάρχουν καθόλου σημεία του σαρωτή χειρός. Τέλος το νέφος από το Metashape στις τομές 1 έως και 4 περιγράφει ικανοποιητικά την επιφάνεια, κάνοντας κάποιες ομαλοποιήσεις στο ανάγλυφο στις ακμές ή σε σημεία με έντονη γεωμετρία (Εικόνα 3.49, 3.52), ενώ στις τομές 5 και 6 εσωτερικά τα σημεία μειώνονται αισθητά (Εικόνα 3.54), καθώς το νέφος που χρησιμοποιείται για την σύγκριση είναι το νέφος από τις επίγειες εικόνες, το οποίο σε επόμενο στάδιο θα συνενωθεί με το νέφος από το UAV Phantom.



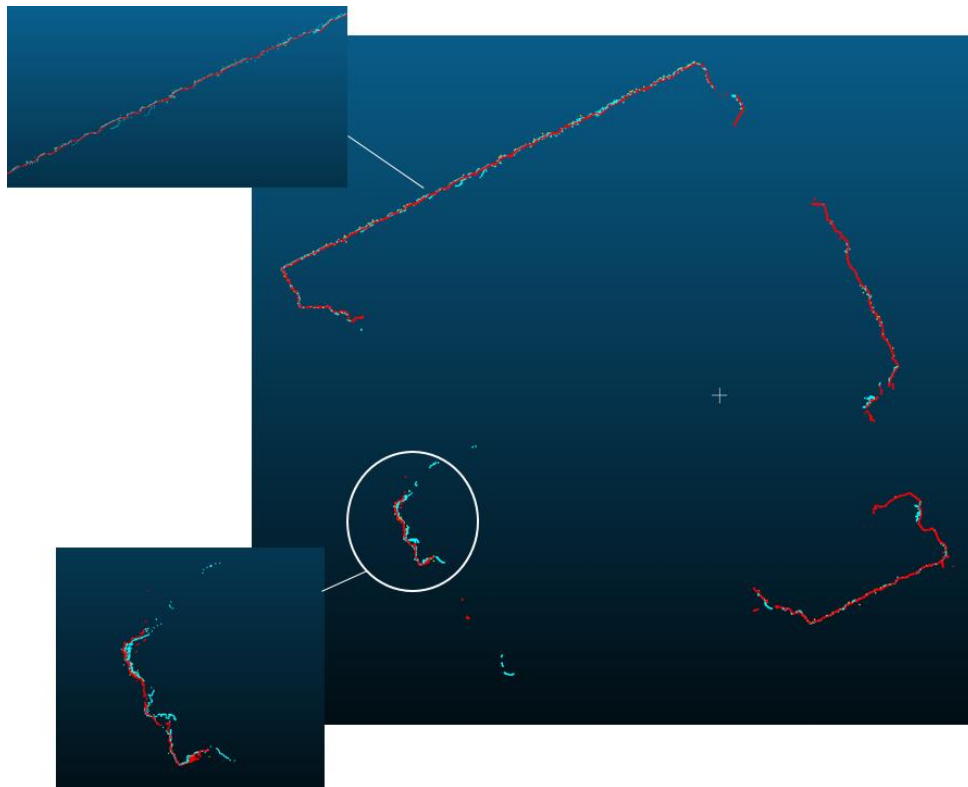
Εικόνα 3.49: Πρώτη οριζόντια τομή Πύλης



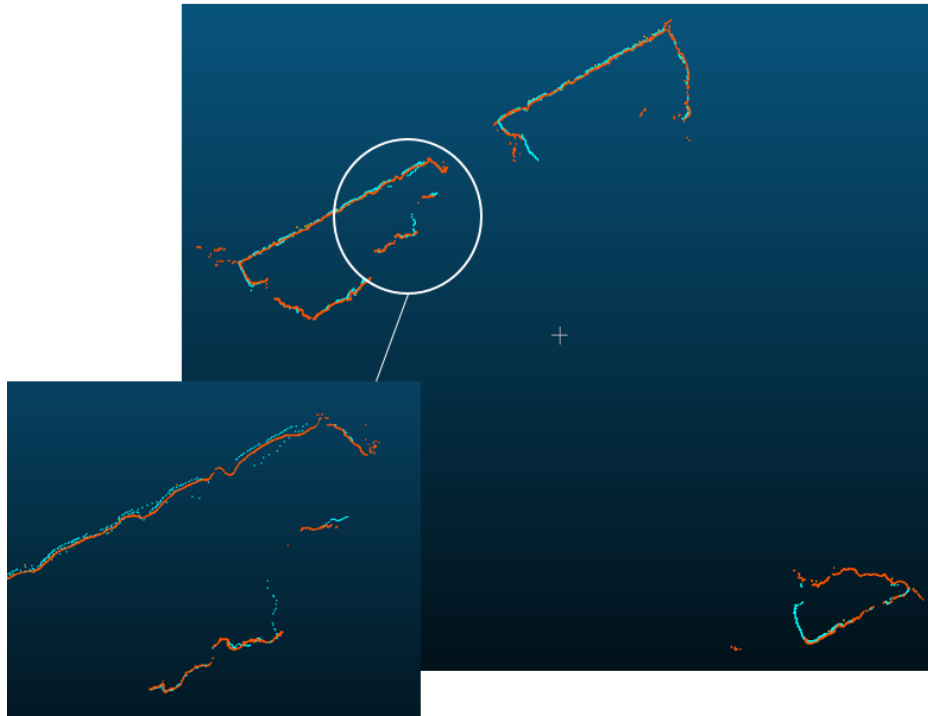
Εικόνα 3.50: Δεύτερη οριζόντια τομή Πύλης



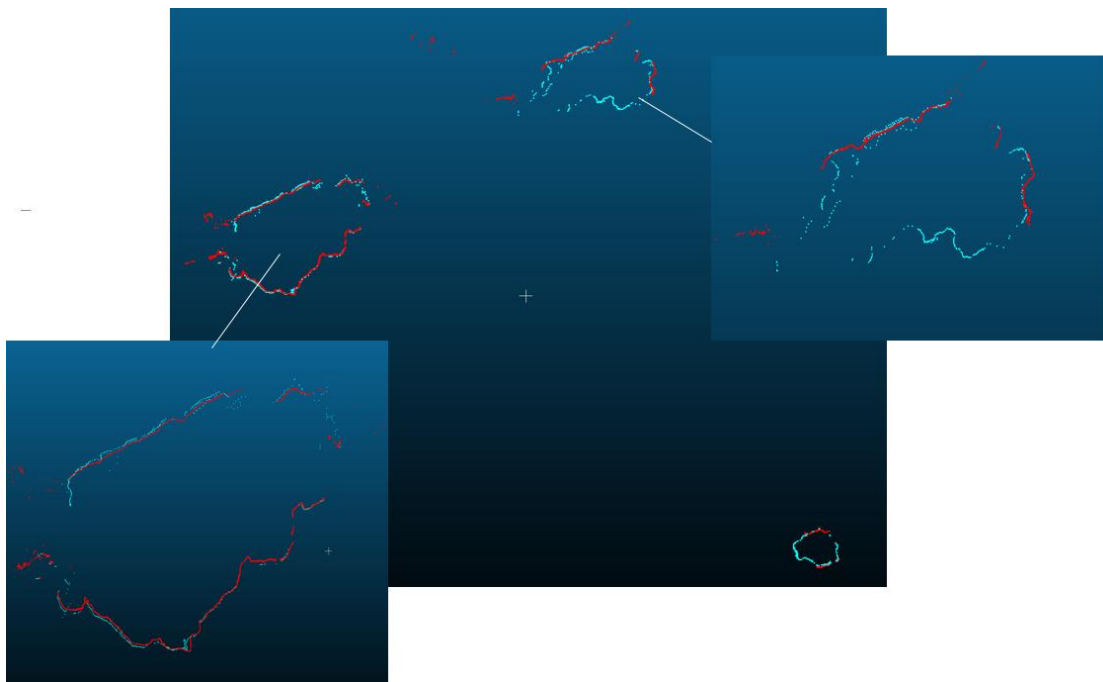
Εικόνα 3.51: Τρίτη οριζόντια τομή Πύλης



Εικόνα 3.52: Τέταρτη οριζόντια τομή Πύλης



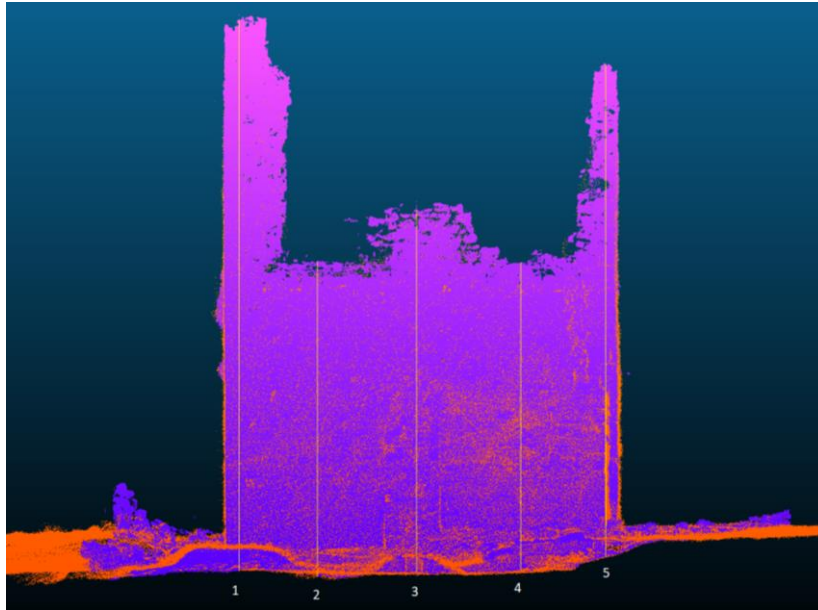
Εικόνα 3.53: Πέμπτη οριζόντια τομή Πύλης



Εικόνα 3.54: Έκτη οριζόντια τομή Πύλης

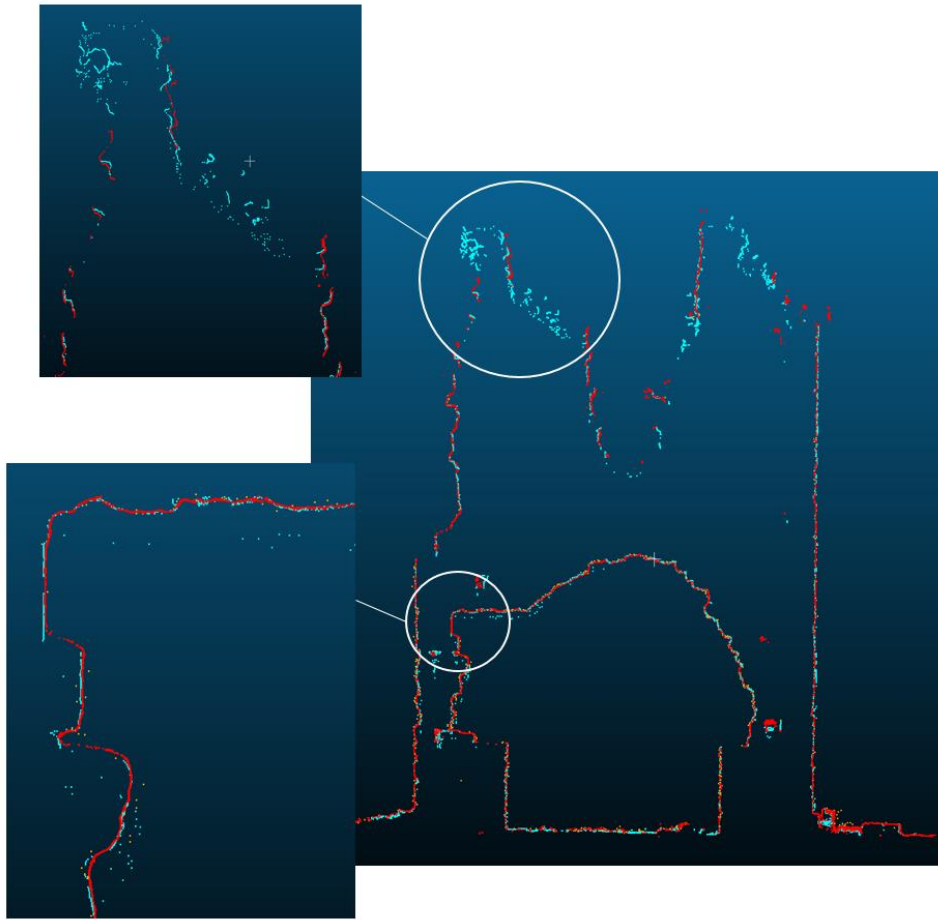
Κατακόρυφες τομές - Πύλη

Αντίστοιχα, στις κατακόρυφες τομές, το πάχος τομών είναι 5 mm και στις πέντε αυτές τομές θα παρουσιαστεί το πώς έχει αποτυπωθεί το εσωτερικό της Πύλης, η οροφή στο εσωτερικό της, καθώς και ο τρόπος που έχουν αποτυπωθεί οι εξωτερικοί τοίχοι της.

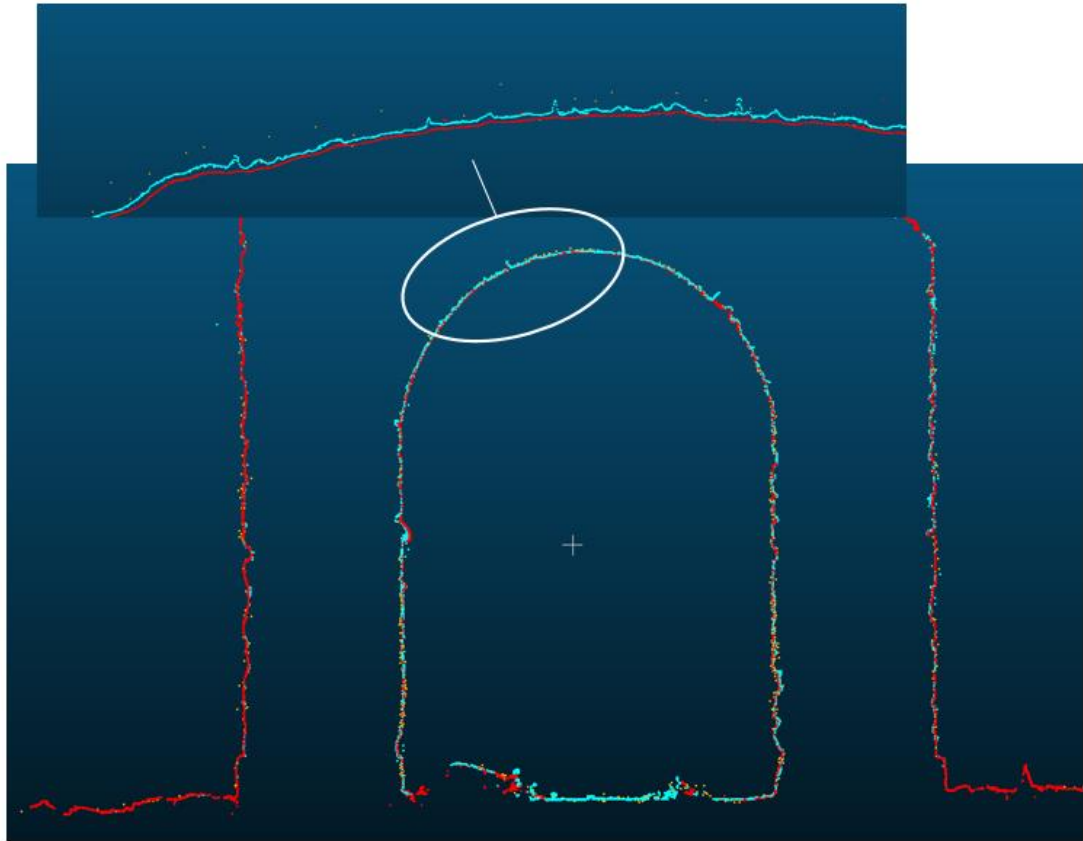


Εικόνα 3.55: Θέσεις κατακόρυφων τομών Πύλης

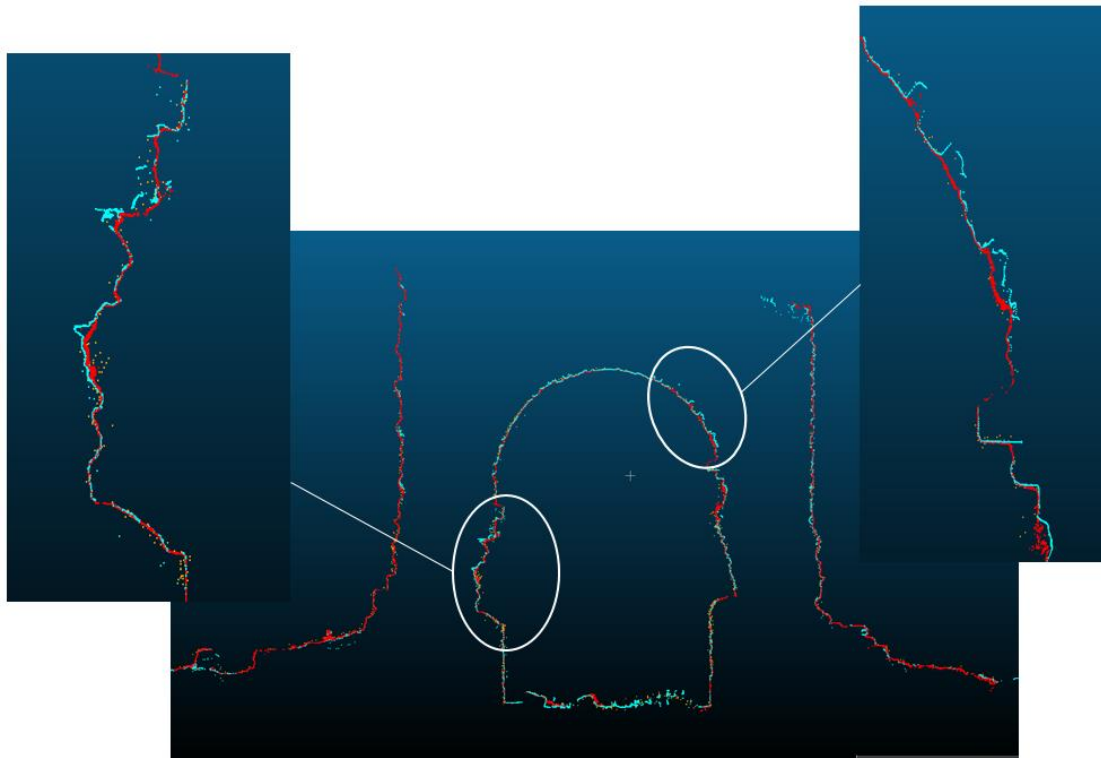
Παρόμοια κατανομή σημείων με αυτή των οριζόντιων τομών συναντάται και στις κατακόρυφες τομές. Όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν, τα σημεία του σαρωτή Faro περιγράφουν λεπτομερώς την επιφάνεια αποτυπώνοντας ακόμα και μικρές εσοχές στην οροφή της πύλης (Εικόνα 3.57). Στον όροφο της πύλης, υπάρχουν σημεία έτσι ώστε να περιγραφεί το αντικείμενο, ωστόσο, η πυκνότητα τους αλλά και η ακρίβεια μειώνεται σημαντικά καθώς αυξάνεται το ύψος (Εικόνα 3.56). Θόρυβος υπάρχει σε αρκετές περιοχές του αντικειμένου, γεγονός που οφείλεται στα σημεία που προήλθαν από σαρώσεις υπό μεγάλη γωνία πρόσπτωσης της δέσμης στην επιφάνεια του αντικειμένου (Εικόνα 3.57). Αντίστοιχα, και το νέφος από τις εικόνες με χρήση του Metashape, όπως ήδη έχει αναφερθεί, περιγράφει ικανοποιητικά την επιφάνεια του αντικειμένου, ομαλοποιώντας εσοχές και ακμές, παρουσιάζοντας όμως σημαντικό θόρυβο στα σημεία αυτά (Εικόνα 3.57 και 3.58). Τέλος, το νέφος του Zeb Revo, παρουσιάζει αισθητά λιγότερα σημεία σε όλες τις τομές (Εικόνα 3.57), με αυξημένα επίπεδα θορύβου (Εικόνα 3.58). Όσο περισσότερο αυξάνεται το ύψος του αντικειμένου, τα σημεία του Zeb Revo μειώνονται και στο μέγιστο ύψος δεν υπάρχουν καθόλου σημεία του.



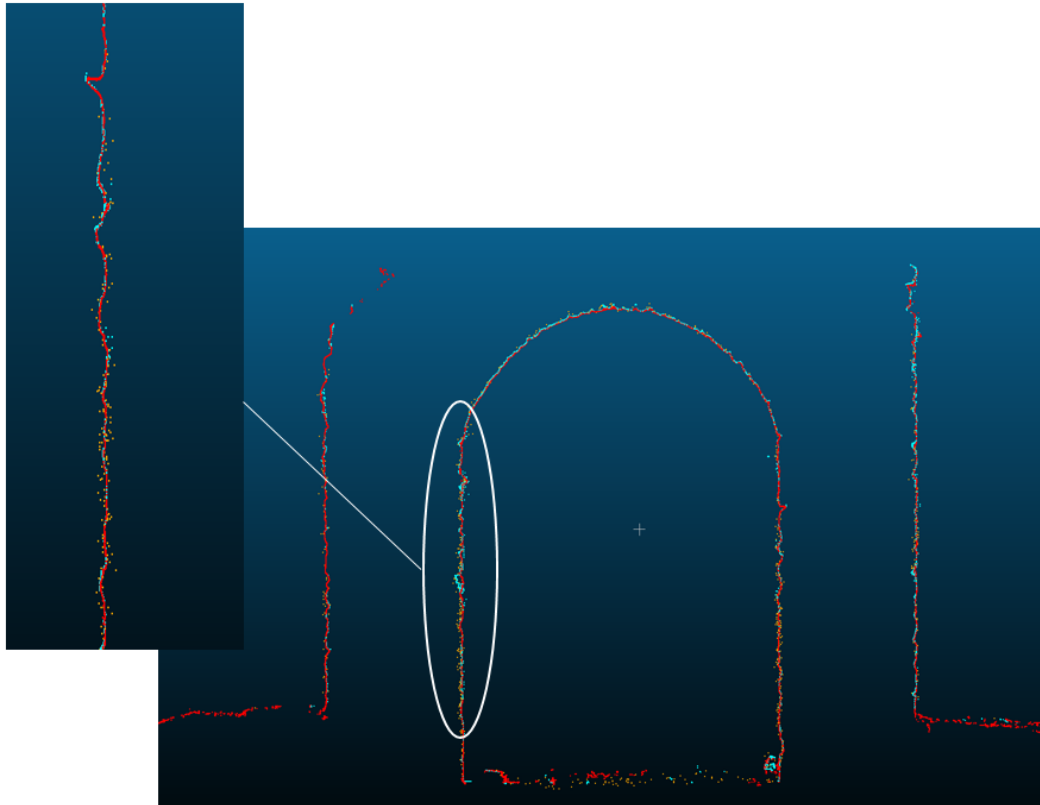
Εικόνα 3.56: Πρώτη κατακόρυφη τομή Πύλης



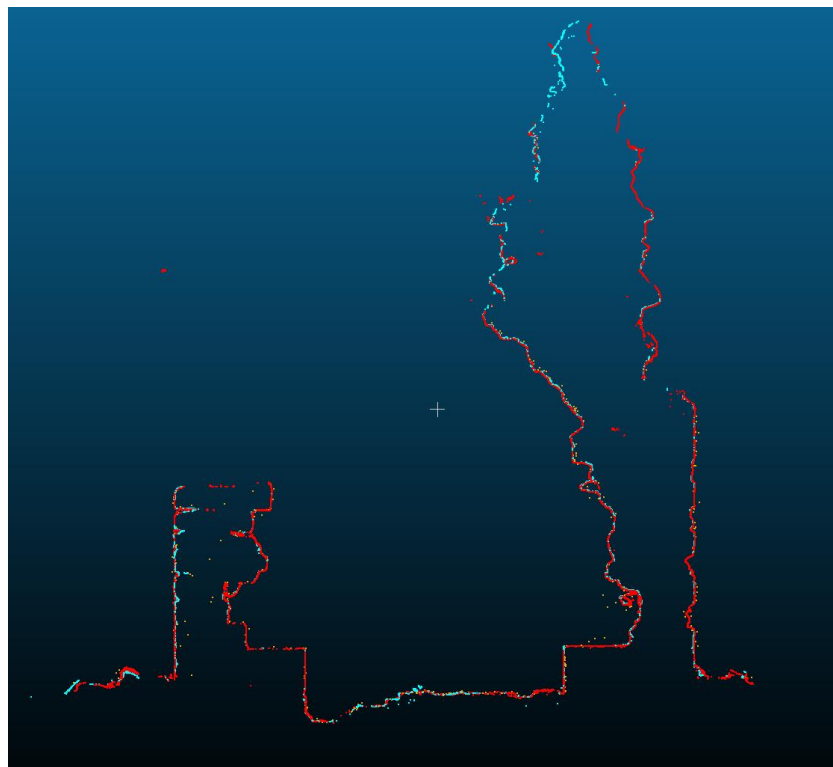
Εικόνα 3.57: Δεύτερη κατακόρυφη τομή Πύλης



Εικόνα 3.58: Τρίτη κατακόρυφη τομή Πύλης



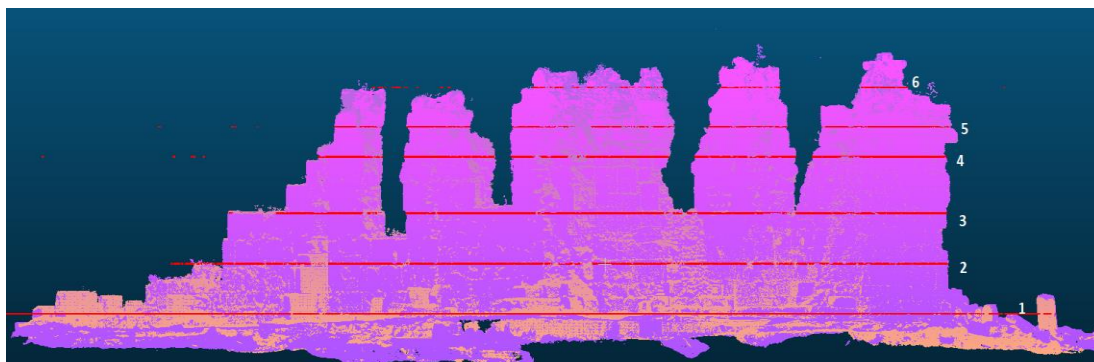
Εικόνα 3.59: Τέταρτη κατακόρυφη τομή Πύλης



Εικόνα 3.60: Πέμπτη κατακόρυφη τομή Πύλης

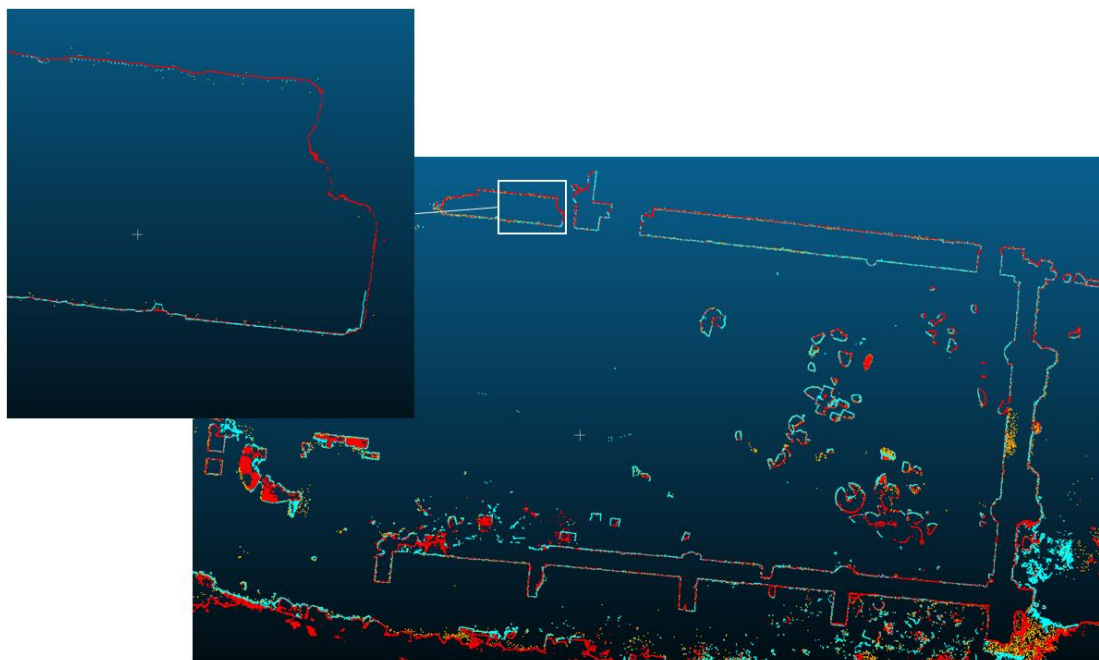
Οριζόντιες τομές - Ναός

Αντίστοιχη διερεύνηση πραγματοποιείται και για τον Ναό, ο οποίος διαφοροποιείται ως προς το μέγεθός του και το ύψος του από την Πύλη, αλλά υπάρχουν και περισσότερες θέσεις σάρωσης, και επιπλέον, στο νέφος από το Metashape συμμετέχουν και οι εναέριες εικόνες. Για τον Ναό, λοιπόν, εξήχθησαν 6 οριζόντιες τομές πάχους 5 mm, από τις οποίες αντλούνται πληροφορίες για την πυκνότητα των σημείων, την κατανομή τους και τον θόρυβο.

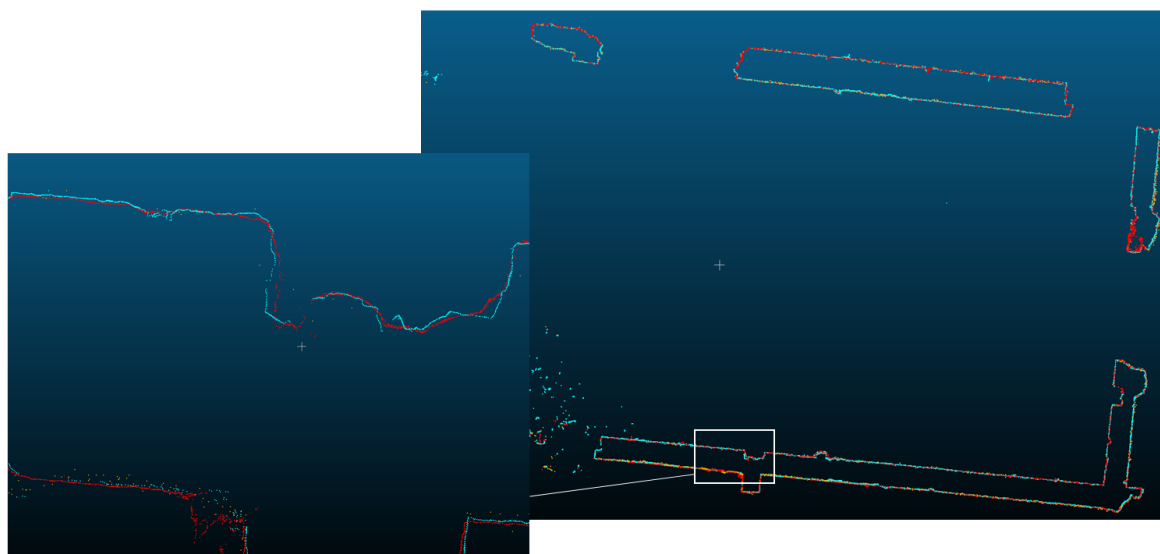


Εικόνα 3.61: Θέσεις οριζοντίων τομών Ναού

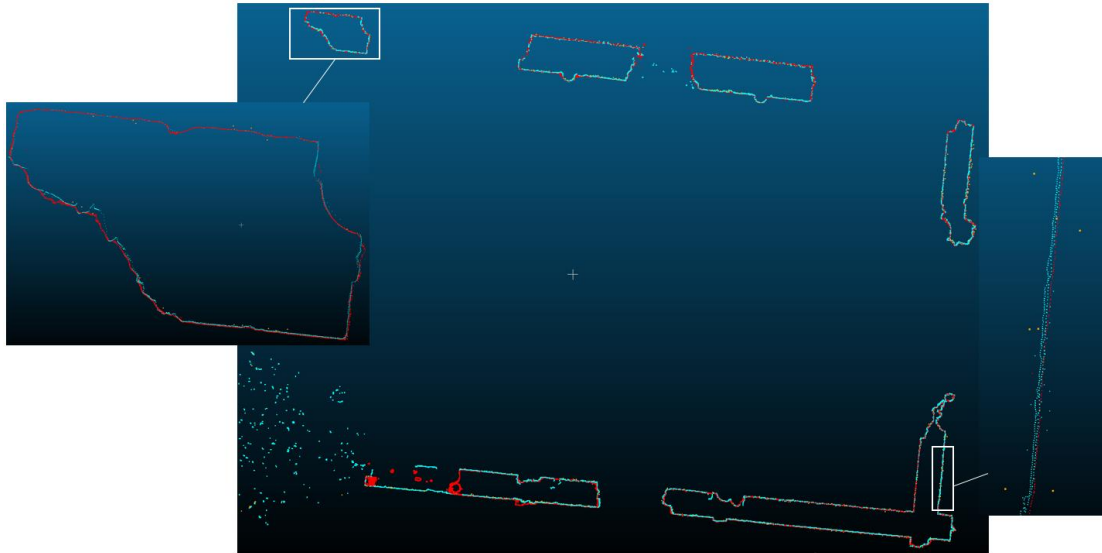
Όπως παρουσιάζεται και στις εικόνες που ακολουθούν, στην περίπτωση του Ναού τα νέφη το περιγράφουν ικανοποιητικά, ωστόσο έχουν ορισμένες καθοριστικές διαφορές. Στο νέφος του Faro, παρόλο που αυτό αποτυπώνει τις ακμές και τους αρμούς του αντικειμένου με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά (Εικόνα 3.63), υπάρχουν τμήματα, τα οποία εντοπίζονται κυρίως στον Νότιο τοίχο, στα οποία υπάρχουν εμφανώς λιγότερα σημεία (Εικόνα 3.64) και ακόμα παρουσιάζονται και κενά στο νέφος (Εικόνα 3.62 και 3.65), γεγονός που αποδίδεται στις θέσεις σάρωσης του σαρωτή. Επίσης, σε πολλά σημεία φαίνεται ο θόρυβος των σαρώσεων του σαρωτή, ο οποίος προέρχεται από μεγάλες γωνίες κατά την σάρωση και είναι εύκολο να εξαιρεθεί σε επόμενο βήμα στην διαδικασία της επεξεργασίας του νέφους. Το νέφος του Metashape αντίστοιχα, παρουσιάζει και αυτό κάποιες αναμενόμενες αδυναμίες, όπως η αυθαίρετη ομαλοποίηση της επιφάνειας του αντικειμένου σε εσοχές και σε αρμούς (Εικόνα 3.63) και σημαντικά επίπεδα θορύβου σε περιοχές με βλάστηση ή σε ακμές του αντικειμένου (Εικόνα 3.67). Τέλος, το νέφος από τον Zeb Revo, παρουσιάζει πυκνότητα σημείων αντιστρόφως ανάλογη του ύψους του αντικειμένου (Εικόνα 3.66) με αποτέλεσμα μόνο ελάχιστα σημεία να υπάρχουν χωρίς να είναι ικανά να περιγράψουν το αντικείμενο, όπως επίσης και να παρουσιάζεται μεγάλος θόρυβος.



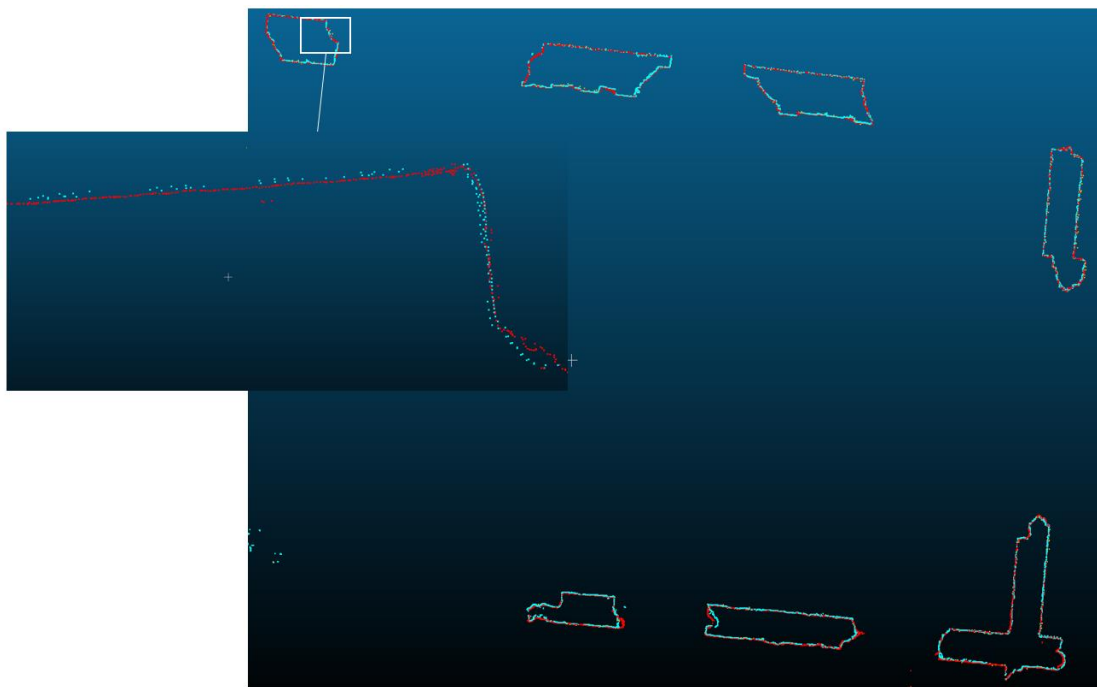
Εικόνα 3.62: Πρώτη οριζόντια τομή Ναού



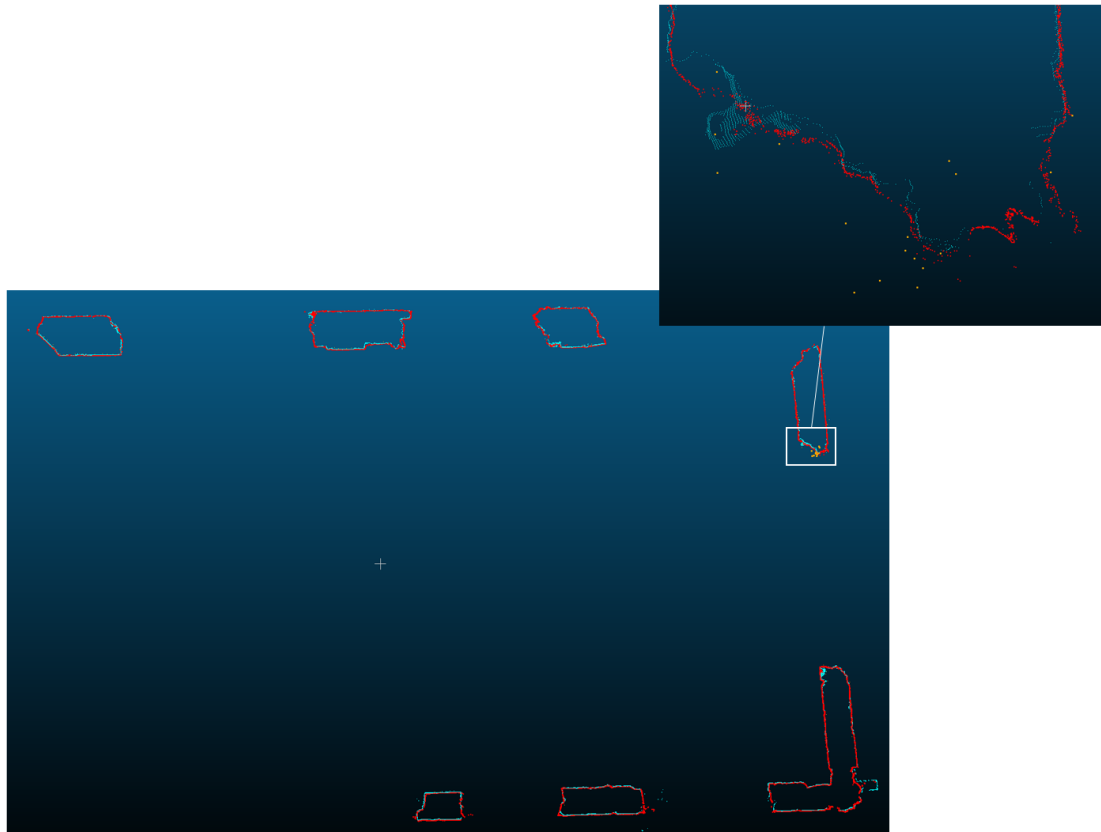
Εικόνα 3.63: Δεύτερη οριζόντια τομή Ναού



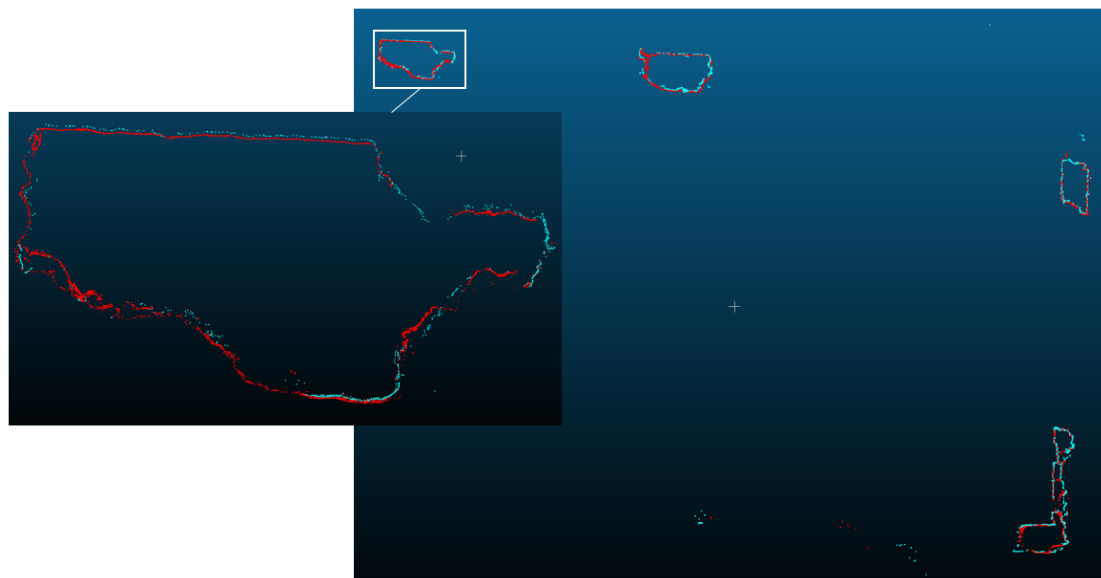
Εικόνα 3.64: Τρίτη οριζόντια τομή Ναού



Εικόνα 3.65: Τέταρτη οριζόντια τομή Ναού



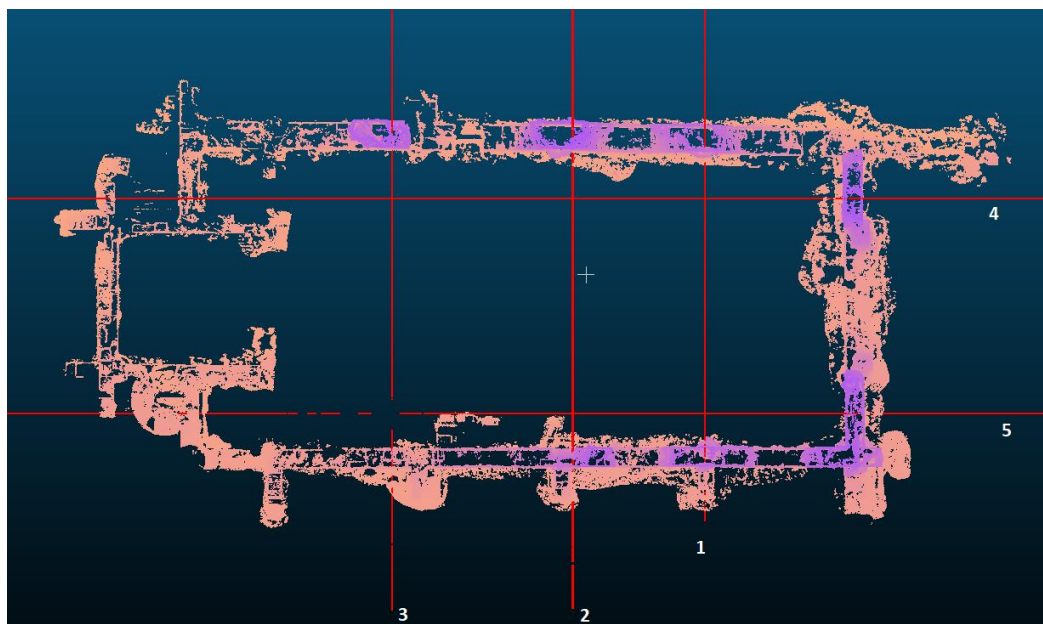
Εικόνα 3.66: Πέμπτη οριζόντια τομή Ναού



Εικόνα 3.67: Έκτη οριζόντια τομή Ναού

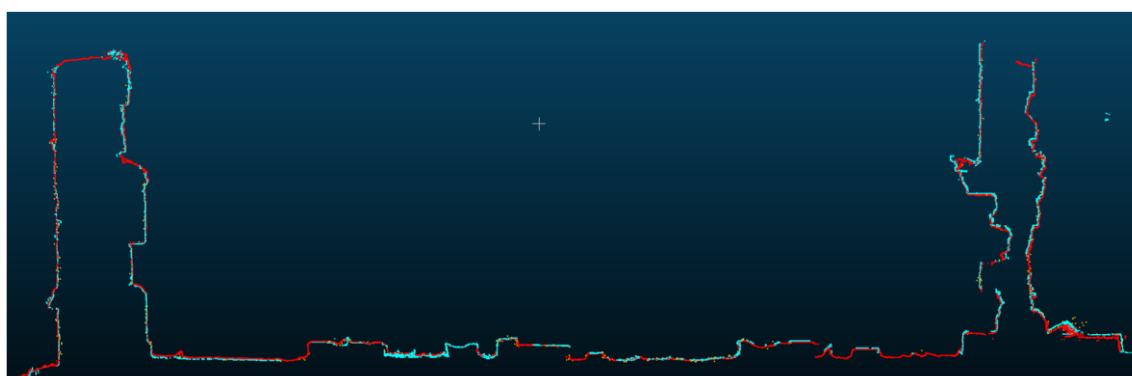
Κατακόρυφες τομές - Ναός

Οι κατακόρυφες τομές παρουσιάζουν την κατανομή των σημείων σε όλο το ύψος των τοίχων. Οι τομές έγιναν σε χαρακτηριστικά σημεία, σε μεγάλα ύψη τοίχων, τρεις εγκάρσιες από τον Νότιο προς τον Βόρειο τοίχο και 2 κατά μήκος από τον Δυτικό προς τον Ανατολικό τοίχο (Εικόνα 3.68).

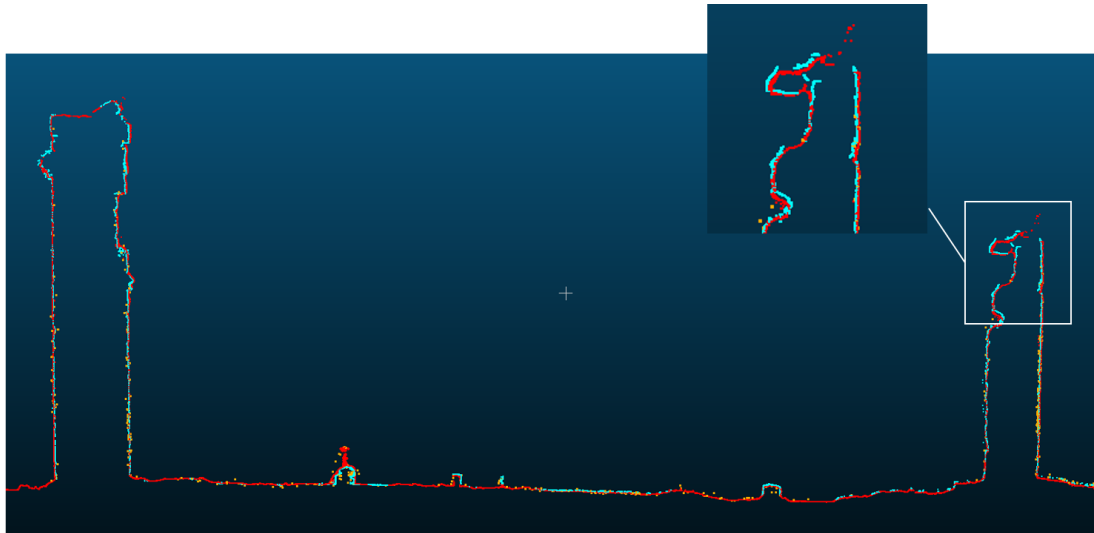


Εικόνα 3.68: Θέσεις κάθετων τομών Ναού

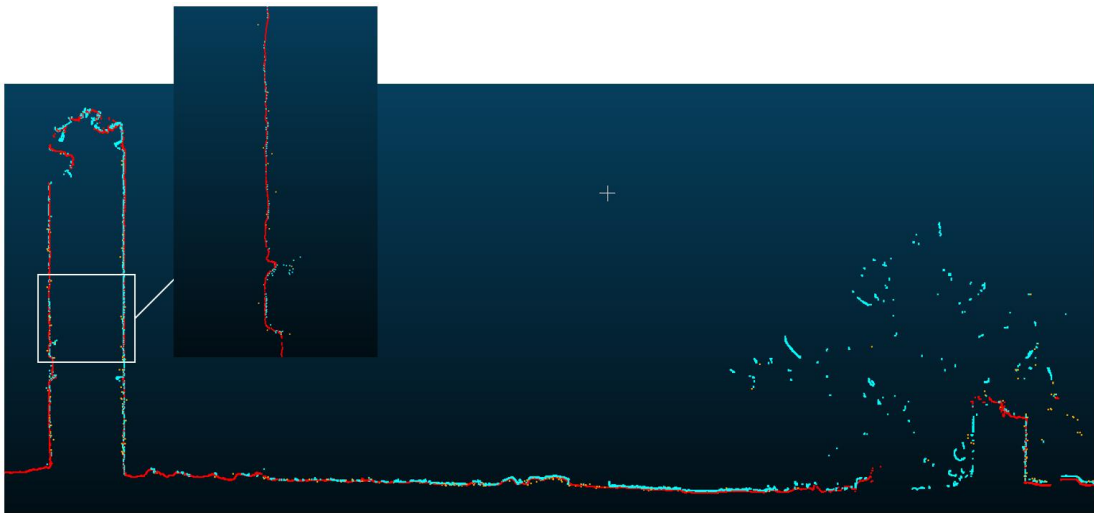
Όσον αφορά στα νέφη του Faro και του Metashape, η μόνη παρατήρηση είναι πως στον Ναό και οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν κενά στο πάνω μέρος του αντικειμένου, λόγω έλλειψης σαρώσεων και φωτογραφιών αντίστοιχα (Εικόνα 3.69, 3.70, 3.72). Ο θόρυβος είναι και σε αυτές τις τομές εμφανής, ενώ όσον αφορά στον Zeb Revo, υπάρχουν πολλά σημεία που τον περιγράφουν αλλά και πάλι το ποσοστό των σημείων είναι πολύ μικρότερο από τις άλλες δύο μεθόδους. Αυτό φαίνεται στις εικόνες 3.72 και 3.73 που παρουσιάζονται σαρώσεις του ανατολικού τοίχου σε μικρό ύψος.



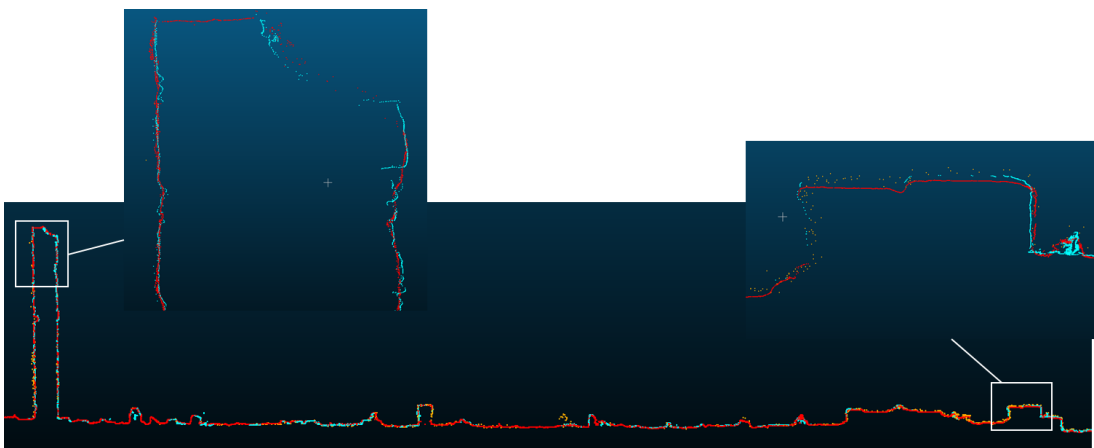
Εικόνα 3.69: Πρώτη κατακόρυφη τομή Ναού



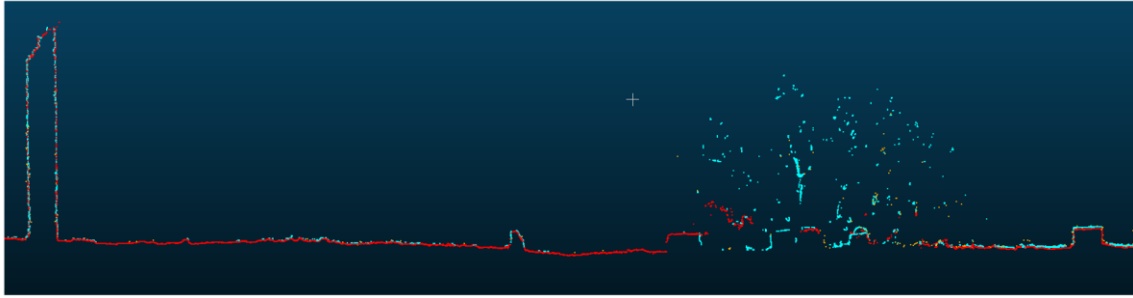
Εικόνα 3.70: Δεύτερη κατακόρυφη τομή Ναού



Εικόνα 3.71: Τρίτη κατακόρυφη τομή Ναού



Εικόνα 3.72: Τέταρτη κατακόρυφη τομή Ναού



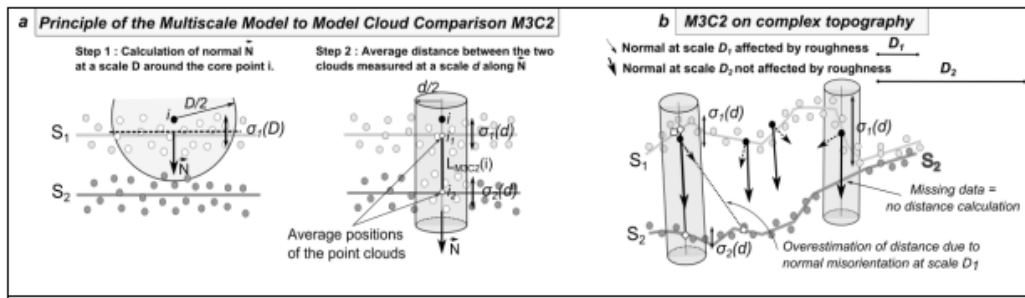
Εικόνα 3.73: Πέμπτη κατακόρυφη τομή Ναού

3.4.4 Έλεγχος απόστασης μεταξύ νεφών σημείων – αλγόριθμος M3C2

Τελευταίος έλεγχος – σύγκριση πραγματοποιήθηκε με την χρήση του αλγορίθμου M3C2, για την εξακρίβωση της απόκλισης μεταξύ των τριών νεφών. Ο αλγόριθμος *Multiscale Model to Model Cloud Comparison (M3C2)* αναπτύχθηκε από τον Lague et al. (2013) και είναι ένας αλγόριθμος που υπολογίζει αποστάσεις μεταξύ τρισδιάστατων νεφών σημείων στο 3D χωρικό περιβάλλον. Ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον *Cloud Compare* μέσω του αντίστοιχου plugin που έχει δημιουργηθεί. Σκοπός αυτής της σύγκρισης είναι να οπτικοποιηθούν οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ αντίστοιχων σημείων στα νέφη καθώς και ο θόρυβος σε αυτά και που αυτός συγκεντρώνεται.

Αλγόριθμος M3C2

Ο αλγόριθμος M3C2 δέχεται δύο νέφη, όπου το ένα ορίζεται ως νέφος αναφοράς για να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί. Σημαντικές παράμετροι του αλγορίθμου είναι οι εξής: Normal scale (D), Projection scale (d) και max depth. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να οριστούν από τον χρήστη ή να υπολογιστούν από τον αλγόριθμο αυτόματα με βάση τις ιδιότητες των νεφών (τραχύτητα και αριθμός σημείων) και για επιφάνειες που δεν έχουν πολύπλοκο ανάγλυφο δίνονται πολύ καλές εκτιμήσεις. Σαν αποτέλεσμα του αλγορίθμου ο χρήστης παίρνει ένα νέο Point Cloud το οποίο παρουσιάζει την απόσταση μεταξύ αντίστοιχων σημείων, την αβεβαιότητα της απόστασης, σημαντικές διαφορές, τις τραχύτητες των νεφών και το πλήθος των σημείων. Σε τμήματα που δεν υπάρχουν αντιστοιχίες σημείων ο αλγόριθμος δεν δίνει κανένα αποτέλεσμα.



(Πηγή: Lague D. et. al, 2013, Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner : application to the Rangitikei canyon (N-Z), ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, volume 82, pp. 10-26)

Εικόνα 3.74: Οπτικοποίηση του αλγορίθμου M3C2

Πρώτο βήμα της λειτουργίας του M3C2 είναι ο υπολογισμός ενός μέσου διανύσματος (normal vector) N για κάθε σημείο i (core point), μέσω της προσαρμογής ενός επιπέδου στα γειτονικά σημεία του i , σε μια ακτίνα $D/2$ από αυτό (Normal scale). (step 1 – Εικόνα 3.74). Ο τοπικός μέσος όρος χρησιμοποιείται για να οριστεί ο προσανατολισμός ενός κυλίνδρου που θα περιβάλλει τα δύο νέφη τοπικά. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να υπολογίσει το μέσο όρο με βάση το νέφος αναφοράς, το νέφος σύγκρισης ή και ως μέσο όρο των μέσων όρων των δύο παραπάνω νεφών, ωστόσο με την χρήση του τελευταίου μετριάζεται το αποτέλεσμα του αλγορίθμου.

Αφού έχει οριστεί το μέσο διάνυσμα για το i , χρησιμοποιείται για να προβληθεί το i σε κάθε νέφος σε μια κλίμακα d . Αυτό συμβάλλει στον προσδιορισμό της μέσης θέσης i_1 και i_2 αντίστοιχα για κάθε νέφος σε περιοχή κοντινή στο i . Η παραπάνω διαδικασία διεκπεραιώνεται με τον υπολογισμό της ακτίνας κυλίνδρου $d/2$ (projection scale d). Ο κύλινδρος αυτός περιβάλλει τα σημεία της περιοχής προς σύγκριση με άξονα που διέρχεται από το i και έχει προσανατολισμό ως προς το διάνυσμα του μέσου όρου (normal), και ένα μέγιστο μήκος κυλίνδρου (max depth) έτσι ώστε να αυξηθεί η ταχύτητα των υπολογισμών. Η τομή κάθε νέφους με τον κύλινδρο αυτόν ορίζει δύο υποσύνολα σημείων n_1 και n_2 , όπου η προβολή κάθε υποσυνόλου στον άξονα του κυλίνδρου ορίζει δυο κατανομές αποστάσεων. Ο μέσος όρος (mean) της κατανομής δίνει την μέση θέση των νεφών στην διεύθυνση του μέσου όρου, i_1 και i_2 , και οι δύο τυπικές αποκλίσεις οπτικοποιούν την τοπική εκτίμηση της τραχύτητας των νεφών σ_1 και σ_2 , στην διεύθυνση του μέσου όρου. Η τοπική απόσταση μεταξύ δύο νεφών $LM3C2(i)$ υπολογίζεται από την απόσταση μεταξύ των i_1 και i_2 (step 2 – Εικόνα 3.74).

Για κάθε εκτιμώμενη απόσταση ο M3C2 υπολογίζει και την αβεβαιότητά της με την

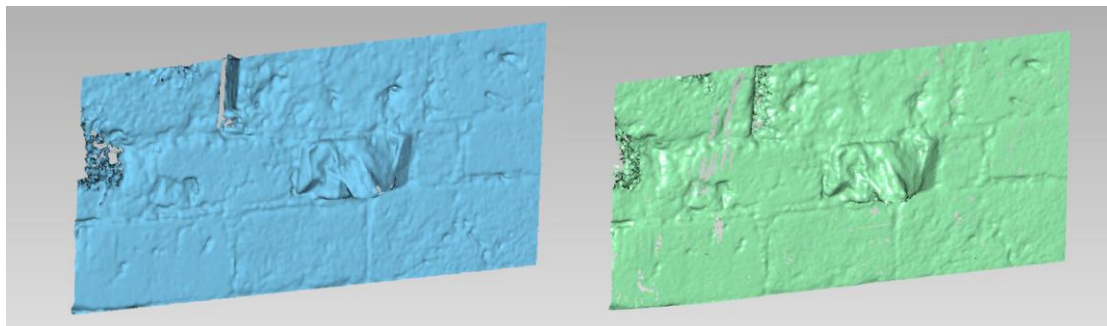
χρήση της σχέσης: $LoD_{95\%} = \pm 1.96 \left(\sqrt{\frac{\sigma_1(d)^2}{n_1} + \frac{\sigma_2(d)^2}{n_2}} + reg \right)$, όπου $\sigma_1(d)^2$ και

$\sigma 2(d)^2$ είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητότητες των θέσεων των υποσυνόλων των νεφών, n_1 και n_2 είναι ο αριθμός των σημείων για κάθε υποσύνολο νεφών αντίστοιχα και reg είναι το σφάλμα της συνένωσης μεταξύ των δύο νεφών. Με αυτόν τον τρόπο μια απόσταση θεωρείται στατιστικά σημαντική όταν είναι μεγαλύτερη από την τιμή $LoD_{95\%}$.

Για την σύγκριση αυτή έγινε χρήση τμημάτων των τοίχων του Ναού και την Πύλης. Τα τμήματα επιλέχθηκαν με βάση την θέση και την γεωμετρία τους έτσι ώστε να υπάρχει πληθώρα διαφορετικών δειγμάτων για την σύγκριση και ικανοποιητικά αποτελέσματα, έτσι ώστε να μην καταναλωθεί χρόνος και υπολογιστική ισχύς για την σύγκριση ολόκληρων των νεφών σημείων των τριών μεθόδων. Ως νέφος αναφοράς επιλέχθηκε το νέφος του επίγειου σαρωτή Faro, καθώς με τον σαρωτή αυτόν γίνονται απευθείας μετρήσεις στο αντικείμενο με μεγάλη ακρίβεια, και τα αποτελέσματα προβάλλονται πάνω σε αυτό.

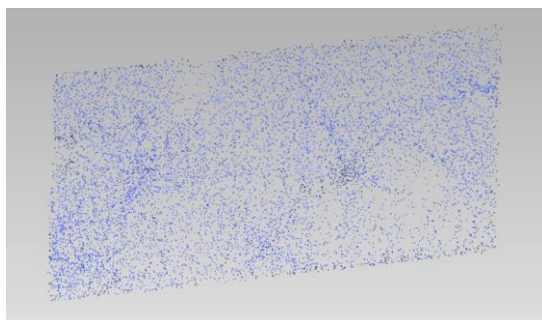
Τμήμα 1^ο – Νότιος Εξωτερικός Τοίχος Ναού

Πρώτο τμήμα για σύγκριση είναι ένα τμήμα στον Νότιο τοίχο, καθώς στον τοίχο αυτό, όπως παρατηρήθηκε από τις τομές που προηγήθηκαν, οι σαρώσεις με τον σαρωτή Faro, παρουσιάζουν θόρυβο, ενώ το νέφος από το Metashape, παρουσιάζει κενά στο νέφος αλλά και θόρυβο λόγω της γεωμετρίας του τμήματος αυτού.



Επίγειος σαρωτής Faro

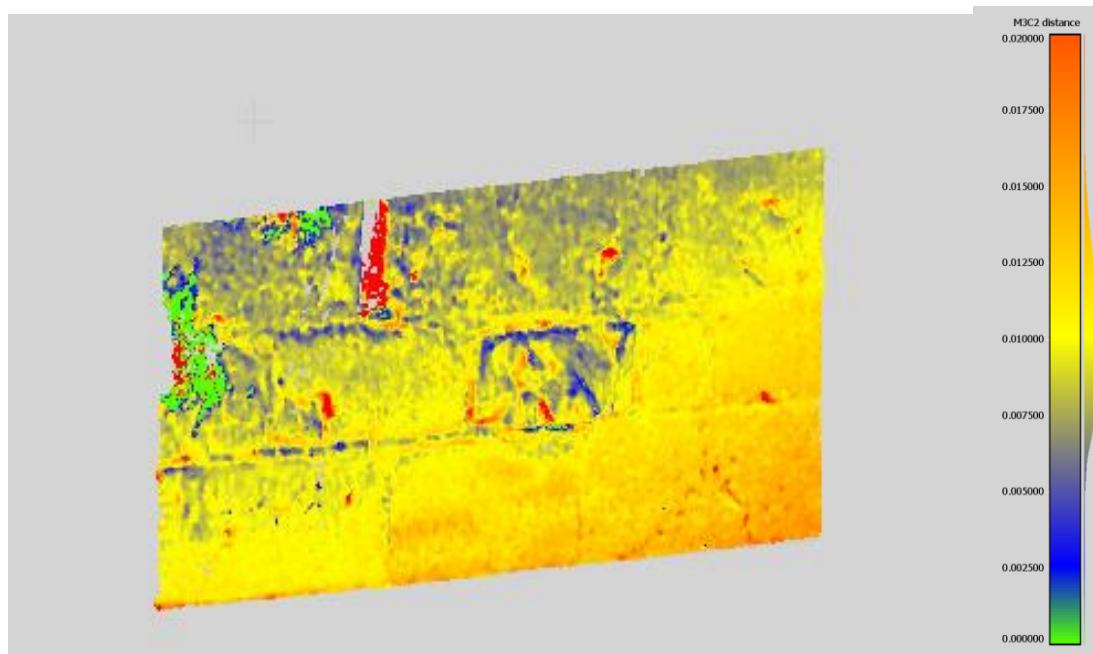
Agisoft Metashape



Σαρωτής χειρός Zeb Revo

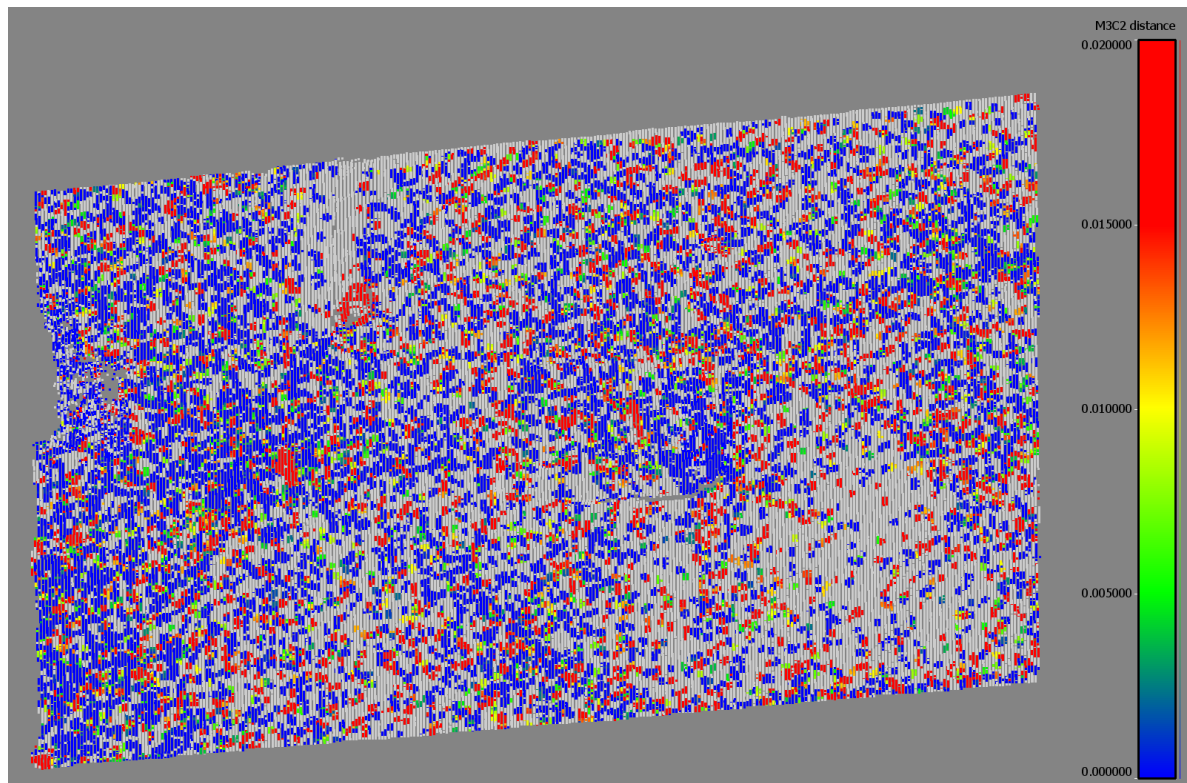
Εικόνα 3.75: 1^ο τμήμα σύγκρισης: Νότιος τοίχος Ναού

Ανάμεσα στο Faro και στο Metashape, για το μεγαλύτερο ποσοστό των σημείων η απόσταση με το αντίστοιχο τους εντοπίζεται στο διάστημα 7 mm με 12 mm (Εικόνα 3.76). Απόσταση έως και τα 20 mm παρατηρούνται σε διάφορα σημεία αλλά η μεγαλύτερη συγκέντρωση εντοπίζεται στην εσοχή του τοίχου που είναι και αναμενόμενο καθώς στο συγκεκριμένο σημείο το Metashape έχει δημιουργήσει νέφος αλλά με λάθος γεωμετρία. Σημαντικές αλλαγές προκύπτουν σε όλη την επιφάνεια του τοίχου το οποίο παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα στην εικόνα 3.78 .

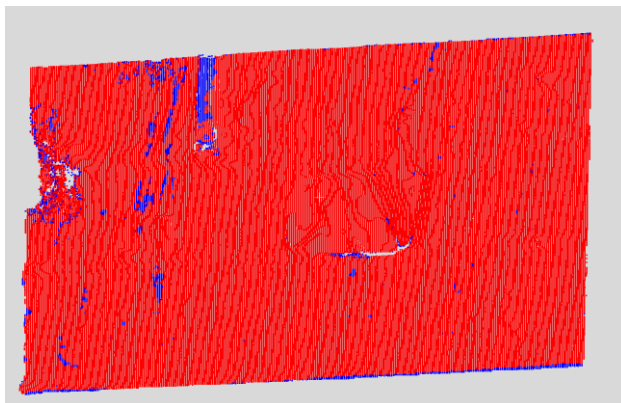


Εικόνα 3.76: M3C2 απόσταση Faro – Metashape

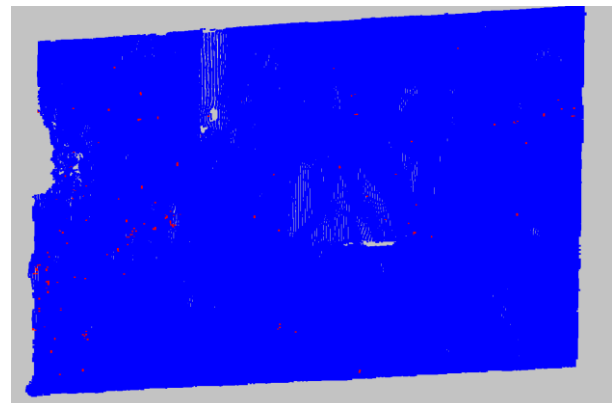
Στην Εικόνα 3.77 παρουσιάζεται ο υπολογισμός της απόστασης μεταξύ των νεφών από Faro και Zeb Revo. Με γκρί χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές, όπου ο αλγόριθμος δεν μπόρεσε να βρει αντιστοιχίες μεταξύ των σημείων των σαρωτών. Οι αποστάσεις ανάμεσα στα νέφη ποικίλουν, με μεγαλύτερη συγκέντρωση των τιμών στο διάστημα 0.00 – 5 mm που απεικονίζονται με μπλέ χρώμα, ενώ αποστάσεις φτάνουν έως και τα 20 mm – κόκκινο χρώμα. Σημαντικές αλλαγές ανάμεσα στα σημεία των νεφών παρουσιάζονται σε όλη την επιφάνεια του ως προς σύγκριση τμήματος, και είναι της τάξης του 10 mm (μπλέ χρώμα), ενώ σε ελάχιστα σημεία οι αλλαγές φτάνουν μέχρι και τα 50 mm, γεγονός που δικαιολογείται καθώς το Zeb Revo, αποτυπώνει λιγότερα σημεία με μεγαλύτερη αβεβαιότητα και θόρυβο (Εικόνα 3.79).



Εικόνα 3.77: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Revo

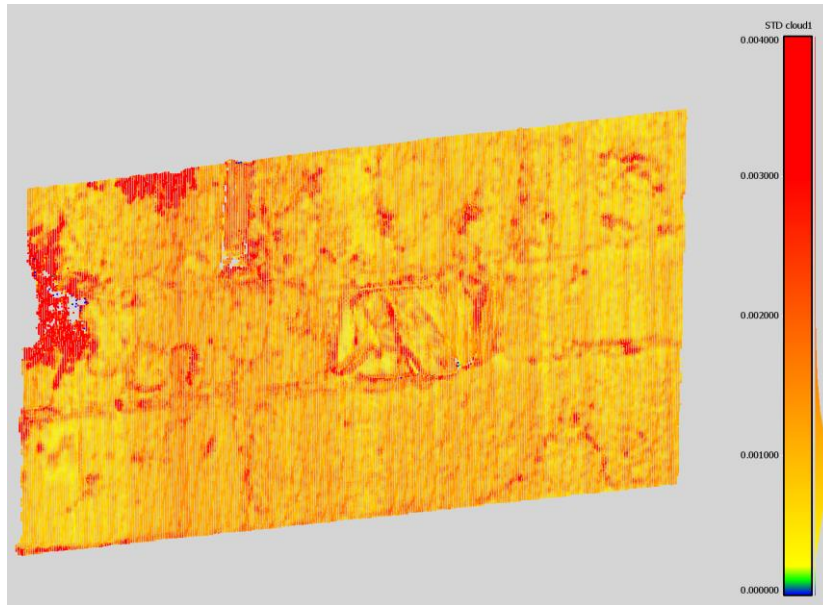


Εικόνα 3.78: Σημαντικές αλλαγές αντίστοιχων σημείων Faro - Metashape

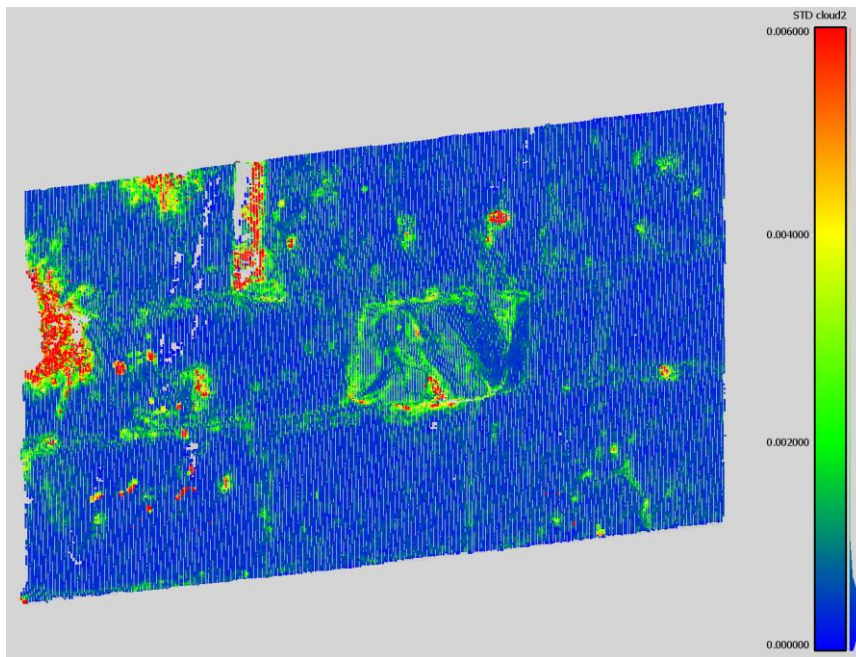


Εικόνα 3.79: Σημαντικές αλλαγές αντίστοιχων σημείων Faro – Zeb Revo

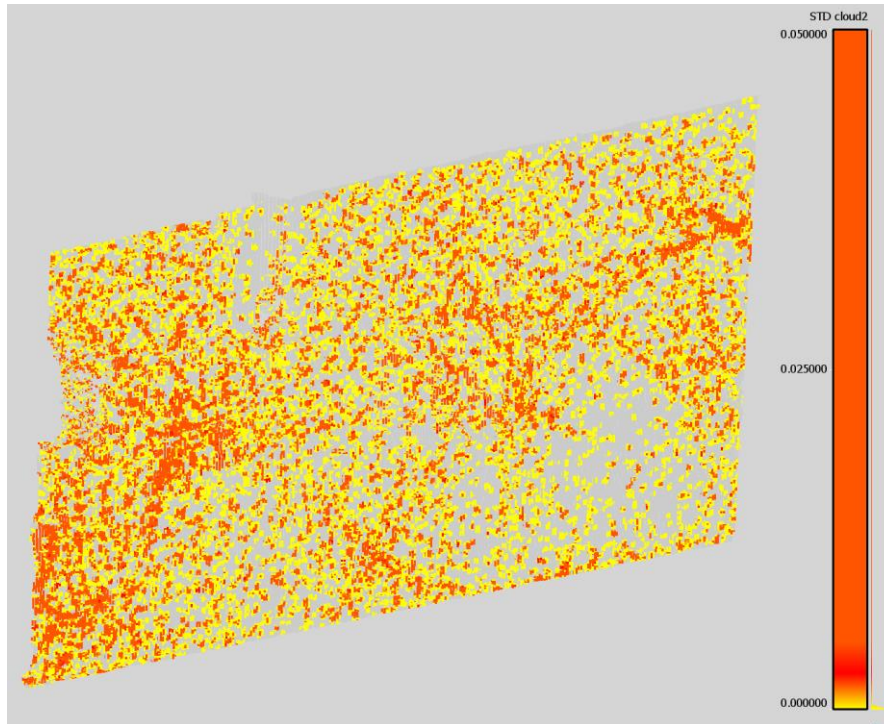
Όσον αφορά τις τραχύτητες των νεφών (Εικόνες 3.80 – 3.82), για το νέφος του Faro οι μεγαλύτερες τιμές της τυπικής απόκλισης αποτυπώνονται με κόκκινο χρώμα και αντιστοιχούν σε απόκλιση της τάξης των 0 mm – 1.5 mm και για το νέφος του Metashape το μεγαλύτερο ποσοστό αποκλίσεων συγκεντρώνεται στο διάστημα 0.00 – 4 mm (μπλέ χρώμα – πράσινο χρώμα), αλλά στο τμήμα του τοίχου που υπάρχουν εσοχές οι αποκλίσεις φτάνουν μέχρι και τα 6 mm (κόκκινο χρώμα). Τέλος, για το Zeb Revo, οι τραχύτητα του νέφους κυμαίνεται από 0 – 50 mm (κόκκινο - κίτρινο χρώμα), όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.82.



Εικόνα 3.80: Τραχύτητα νέφους Faro

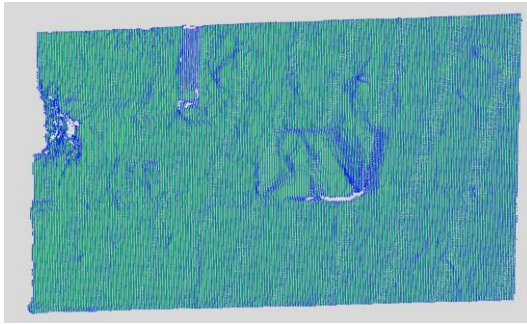


Εικόνα 3.81: Τραχύτητα νέφους Metashape

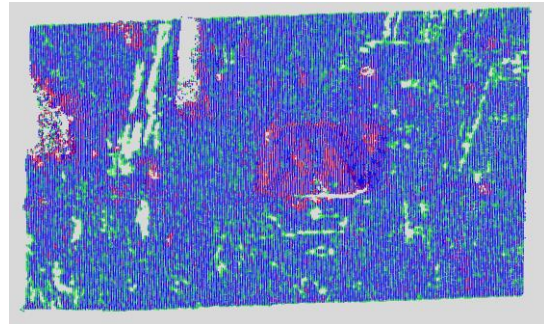


Εικόνα 3.82: Τραχύτητα νέφους Zeb Revo

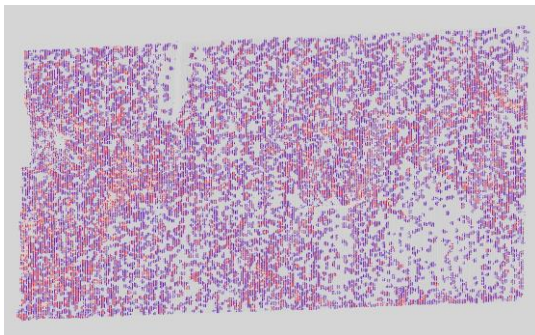
Τέλος, στις εικόνες 3.83 – 3.85 παρουσιάζεται η κατανομή των σημείων στην περιοχή αυτή. Το νέφος του σαρωτή Faro παρουσιάζει ομοιομορφία στην κατανομή των σημείων με μεγαλύτερη συγκέντρωση σημείων στα τμήματα με έντονη αλλαγή του ανάγλυφου (μπλε χρώμα), με σύνολο σημείων στο τμήμα αυτό 223.833 (Εικόνα 3.83). Το νέφος από το Metashape παρουσιάζει μεγαλύτερη ανομοιομορφία στην κατανομή των σημείων του, εμφανίζονται πολλά κενά σε αυτό, ενώ στα σημεία με έντονη αλλαγή της γεωμετρίας, υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση σημείων – θόρυβο. Το σύνολο των σημείων είναι σχεδόν διπλάσιο από το Faro – 432.964, γεγονός που οφείλεται στα υψηλά επίπεδα θορύβου στο τμήμα αυτό (Εικόνα 3.84). Τα σημεία του Zen Revo είναι 11.340 στο σύνολό τους για το τμήμα αυτό και παρουσιάζουν ανομοιομορφία στον τρόπο κατανομής τους σχηματίζοντας περιοχές με κανένα σημείο και περιοχές με μεγάλη πληθώρα σημείων (κόκκινο χρώμα) (Εικόνα 3.85).



Εικόνα 3.83: Κατανομή σημείων νέφους Faro



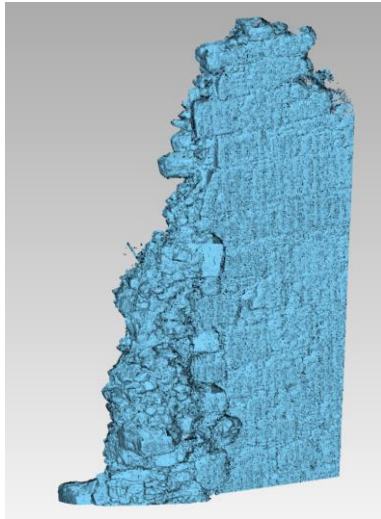
Εικόνα 3.84: Κατανομή σημείων νέφους Metashape



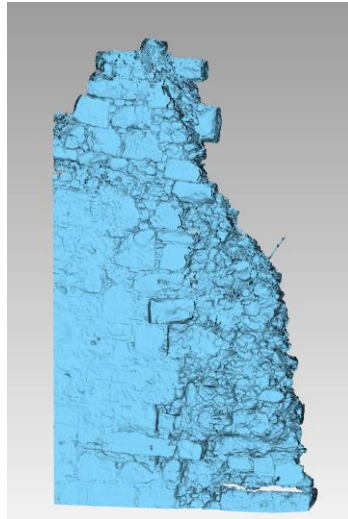
Εικόνα 3.85: Κατανομή σημείων νέφους Zeb Revo

Τμήμα 2^ο – Δυτικός Τοίχος Ναού

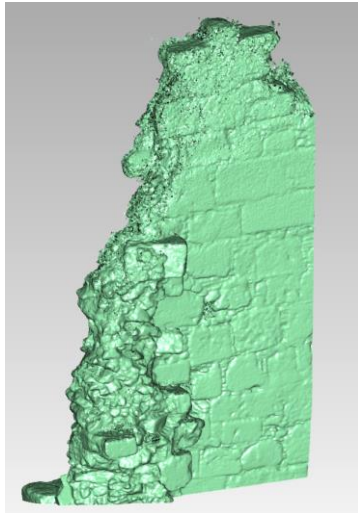
Δεύτερο τμήμα για σύγκριση είναι τμήμα του Δυτικού τοίχου του Ναού στην είσοδό του, το οποίο έχει έντονη γεωμετρία, αποτελούμενο από ακμές και μικρούς πλίνθους. Και οι τρεις μέθοδοι σε αυτό το τμήμα παρουσιάζουν σημαντικά επίπεδα θορύβου και επομένως είναι χρήσιμη μια σύγκριση του τμήματος αυτού. Επειδή το τμήμα αυτό αποτελείται από δύο όψεις, τα αποτελέσματα του αλγόριθμου σύγκρισης θα παρουσιαστούν αναλυτικά για κάθε όψη ξεχωριστά.



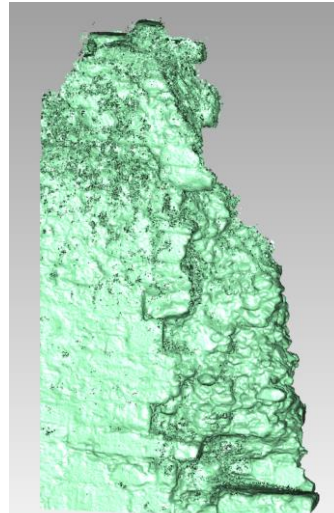
Επίγειος σαρωτής Faro – όψη Α



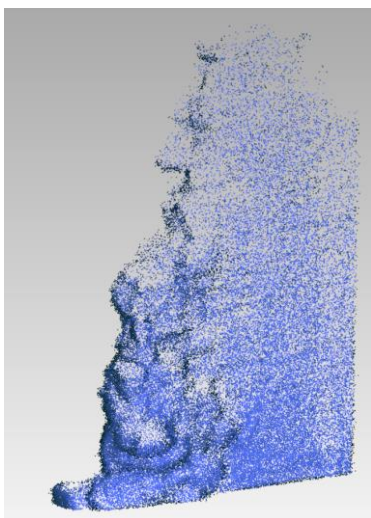
Επίγειος σαρωτής Faro – όψη Β



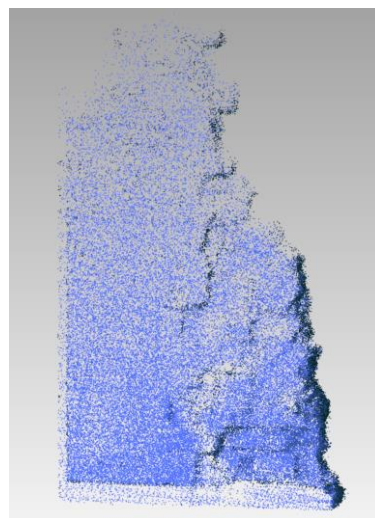
Agisoft Metashape– όψη Α



Agisoft Metashape– όψη Β



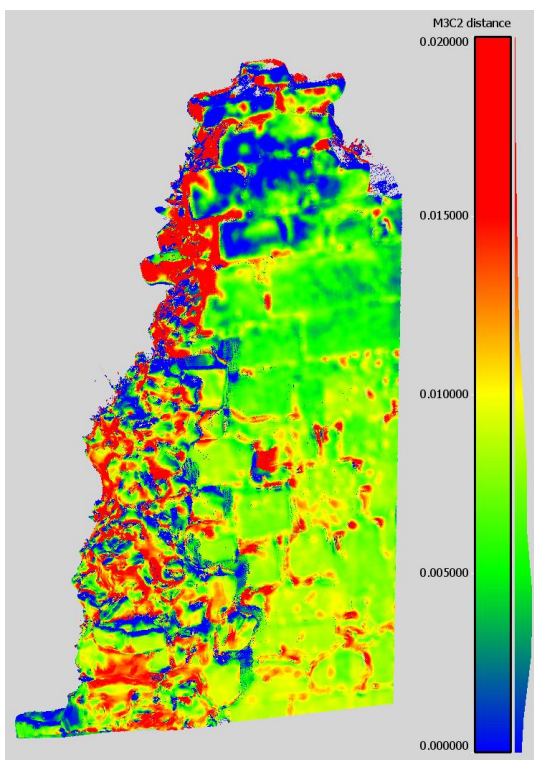
Σαρωτής χειρός Zeb Revo – όψη Α



Σαρωτής χειρός Zeb Revo – όψη Β

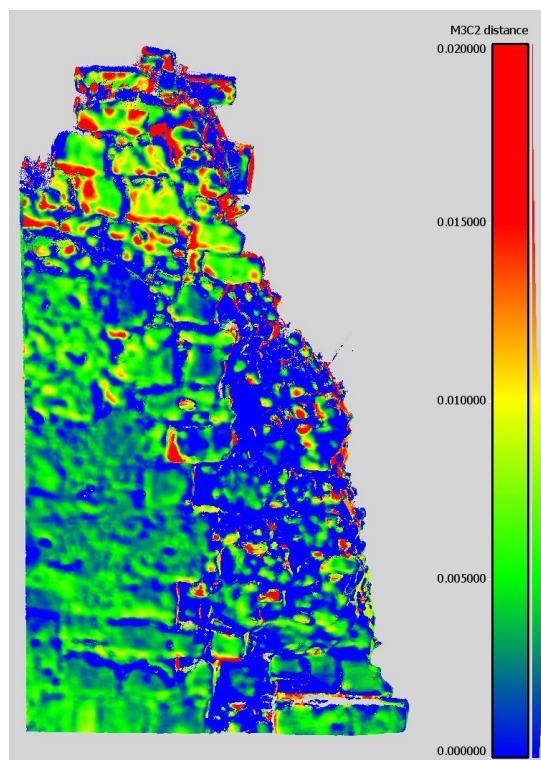
Εικόνα 3.86: 2^ο τμήμα σύγκρισης: Δυτικός τοίχος Ναού

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του M3C2 ανάμεσα στα νέφη του Faro και του Metashape, παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν. Για τα περισσότερα σημεία η απόστασή τους από τα ομόλογά τους εντοπίζεται στο διάστημα 0.00 – 10 mm. Τα σημεία αυτά είναι πάνω στον Δυτικό τοίχο, ο οποίος αποτελείται από μεγάλους λίθους και έχει ομαλό ανάγλυφο. Ωστόσο, στο σημείο που αποτελείται από πλίνθους, αλλά και σε σημεία ψηλά στον τοίχο, οι αποστάσεις ανάμεσα στα νέφη φτάνουν μέχρι και τα 20 mm, καθώς η γεωμετρία είναι πολύπλοκη και τα επίπεδα του θορύβου υψηλά (Εικόνα 3.87, 3.88). Σημαντικές διαφορές των αποστάσεων των ομόλογων σημείων εντοπίζονται σε όλο το τμήμα καθώς οι αποστάσεις κυμαίνονται μέχρι και τα 20 mm (Εικόνα 3.89).



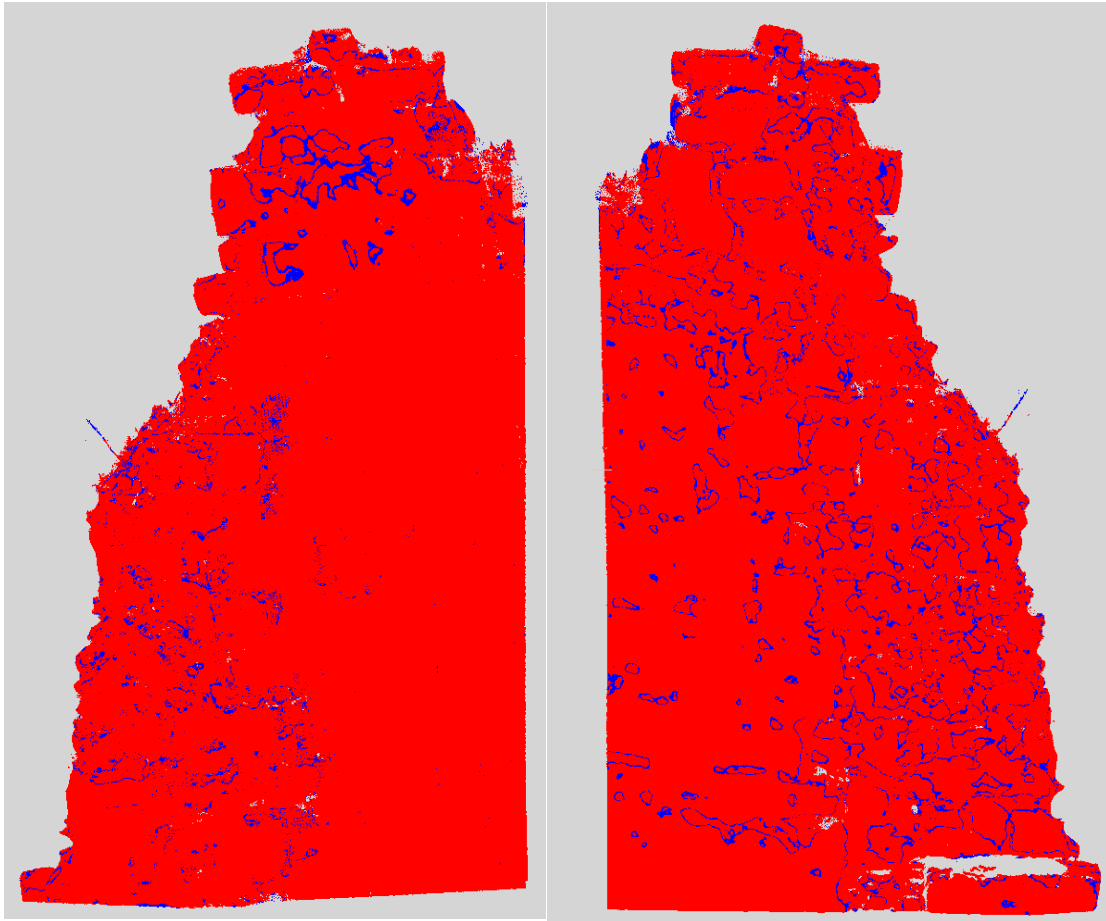
Εικόνα 3.87: M3C2 απόσταση Faro – Metashape

όψη Α



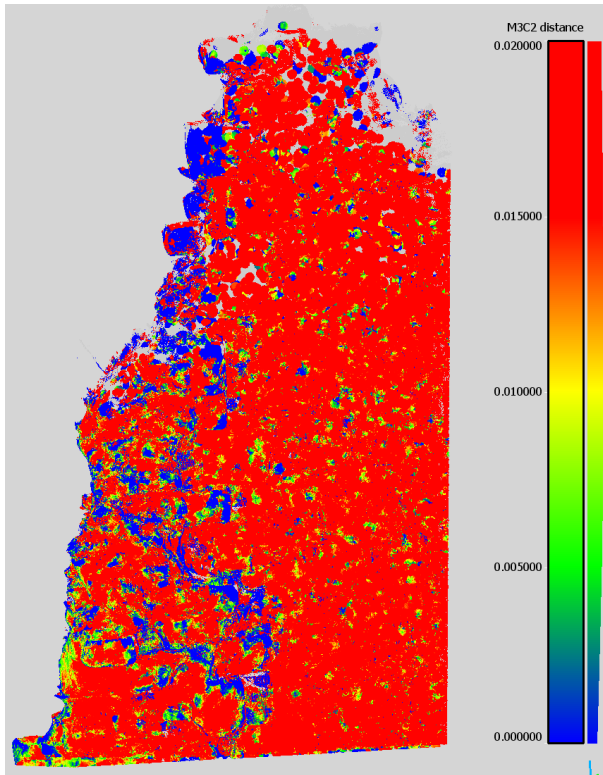
Εικόνα 3.88: M3C2 απόσταση Faro – Metashape

όψη Β

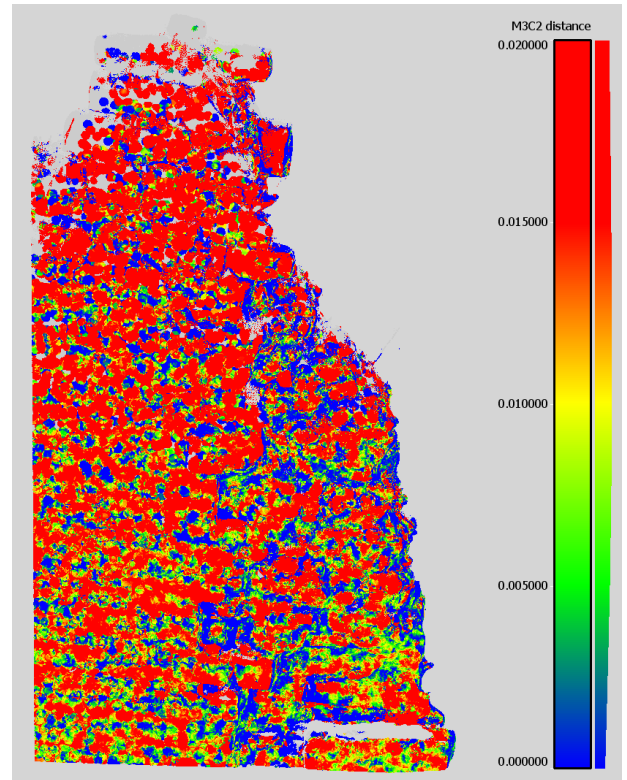


Εικόνα 3.89: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Metashape, όψη Α– όψη Β

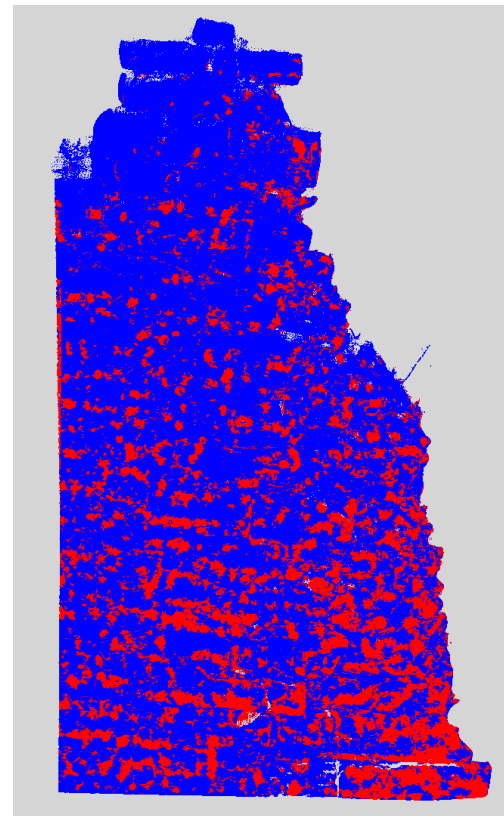
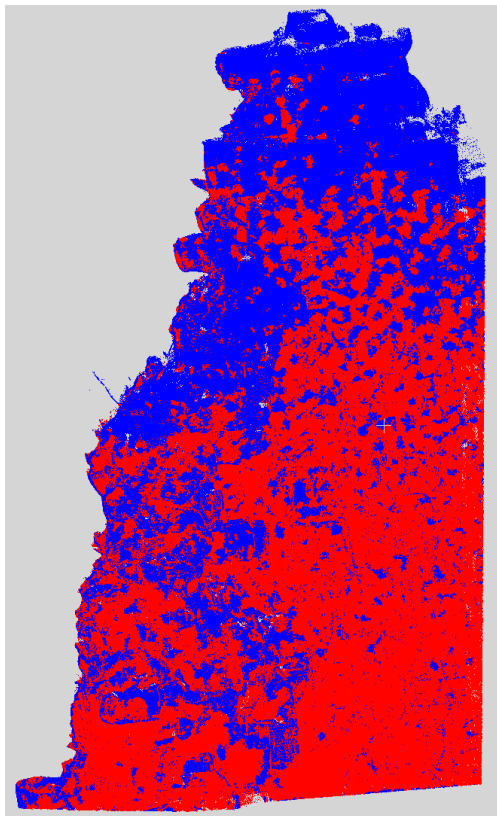
Από τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των νεφών των δύο επίγειων σαρωτών (Εικόνα 3.90, 3.91) παρατηρείται πως το μεγαλύτερο ποσοστό των αποστάσεων συγκεντρώνεται στο διάστημα 12.5 – 20 mm (κόκκινο χρώμα) και παρουσιάζεται σε όλη την επιφάνεια του τμήματος. Στην όψη Β, παρουσιάζονται περισσότερες διαβαθμίσεις των αποστάσεων ομόλογων σημείων, αλλά και εδώ κυριαρχεί το κόκκινο χρώμα. Οι μεγάλες αποστάσεις οφείλονται στο γεγονός ότι το Zeb Revo έχει σαρώσει ελάχιστα σημεία και με μικρή ακρίβεια. Σημαντικότερες διαφορές στις αποστάσεις μεταξύ των ομόλογων σημείων εντοπίζονται κυρίως στις περιοχές που αποτυπώνονται με κόκκινο χρώμα στην Εικόνα 3.92 για τις όψεις Α και Β του τοίχου.



Εικόνα 3.90: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Revo
όψη Α

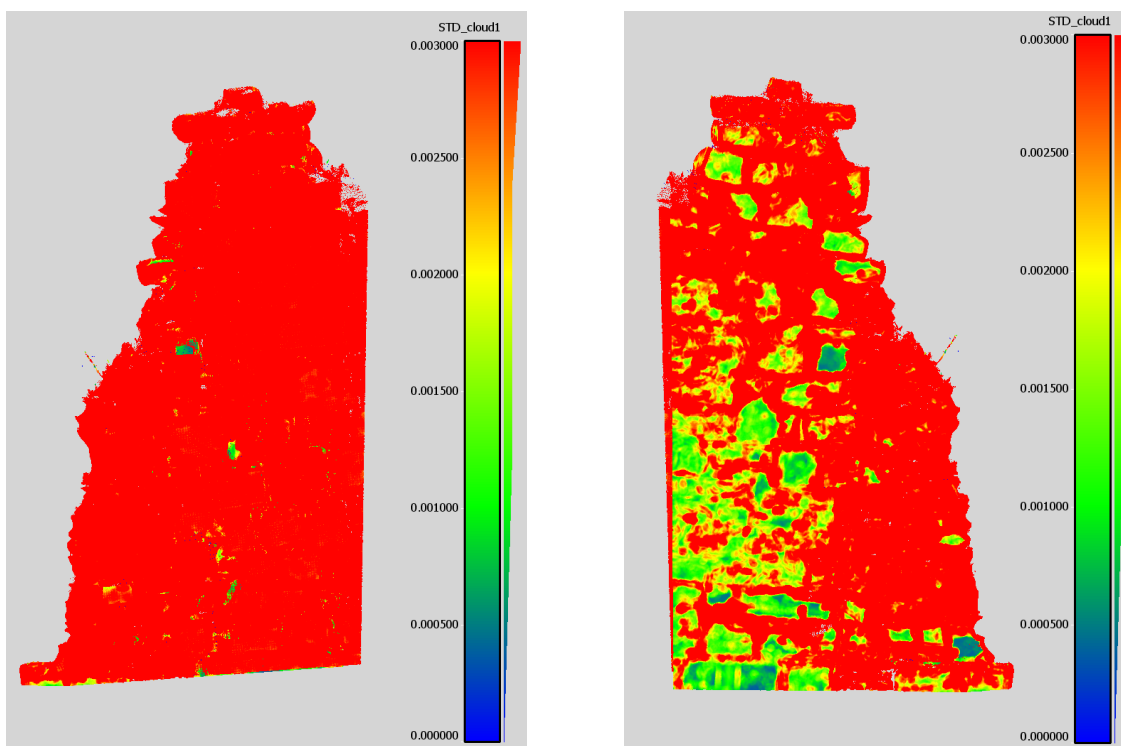


Εικόνα 3.91: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Revo
όψη Β

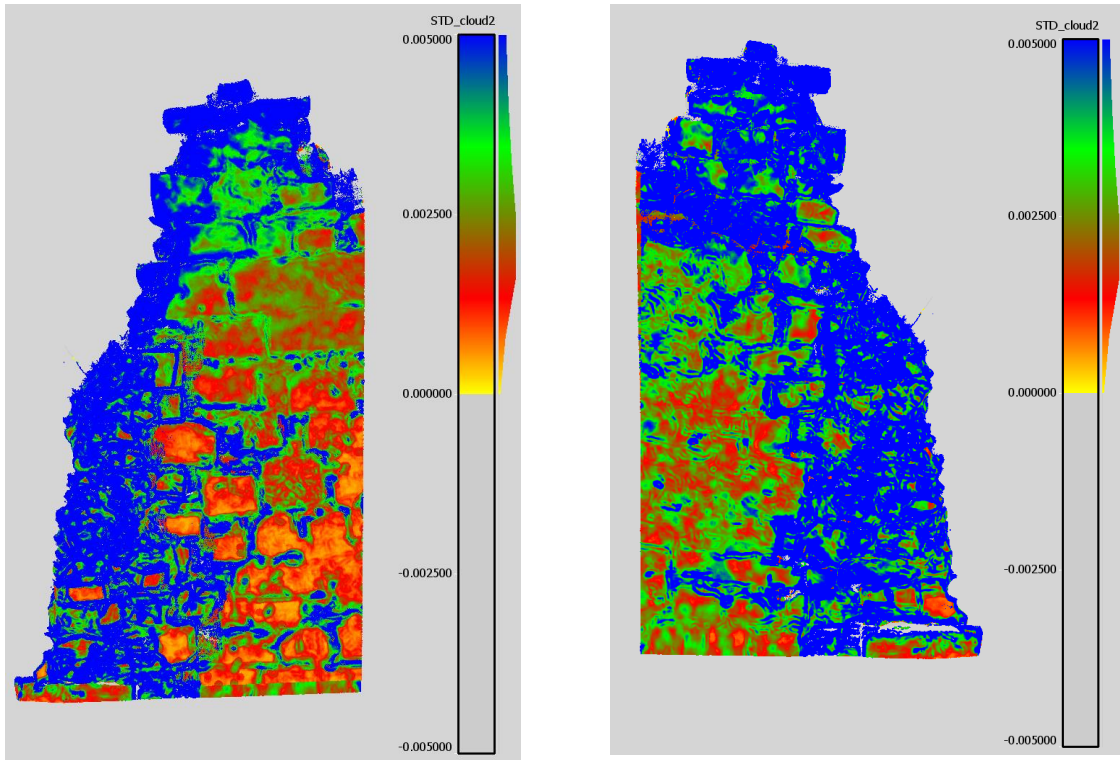


Εικόνα 3.92: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Zeb Revo, όψη Α– όψη Β

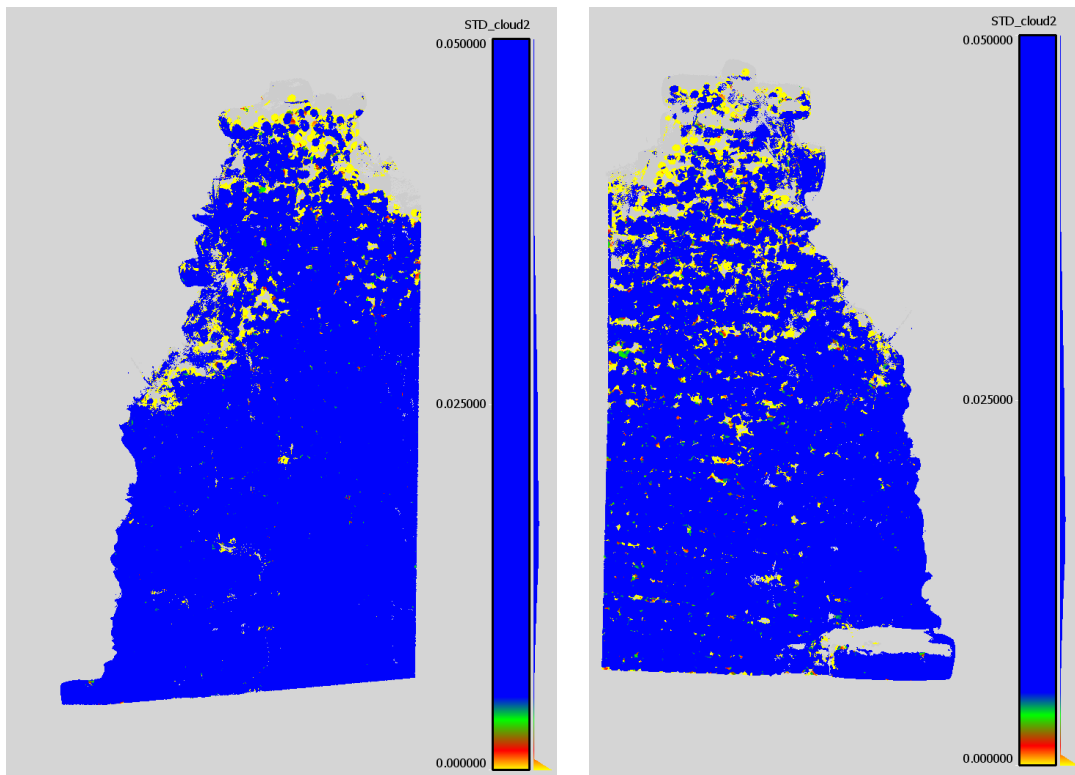
Όσον αφορά στις τραχύτητες των νεφών, για το νέφος του Faro οι μεγαλύτερες τιμές της τυπικής απόκλισης αποτυπώνονται με κόκκινο χρώμα και αντιστοιχούν σε απόκλιση της τάξης των 3 mm, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.93 για την όψη Α, όπου φαίνεται ο θόρυβος που έχει δημιουργηθεί γύρω από τον τοίχο του Ναού. Για την όψη Β παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση των τιμών της τυπικής απόκλισης, με τιμές 1 mm (πράσινο χρώμα) – 3 mm (κόκκινο χρώμα). Για το νέφος του Metashape (Εικόνα 3.94) οι μεγαλύτερες αποκλίσεις συγκεντρώνονται στην άκρη του τοίχου, που αποτελείται από πλίνθους και στο τμήμα του τοίχου που είναι σε μεγάλο ύψος, καθώς εκεί υπάρχει θόρυβος, είναι της τάξης των 5 mm και παρουσιάζεται με μπλε χρώμα. Στην υπόλοιπη επιφάνεια, οι αποκλίσεις είναι μικρότερες, 0 – 2.5 mm (κόκκινο – πράσινο χρώμα). Τέλος, για το Zeb Revo, οι τραχύτητα του νέφους κυμαίνεται από 0 – 50 mm (μπλε χρώμα) σε όλη την επιφάνεια του τοίχου, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.95.



Εικόνα 3.93: Τραχύτητα νέφους Faro, όψη Α - όψη Β

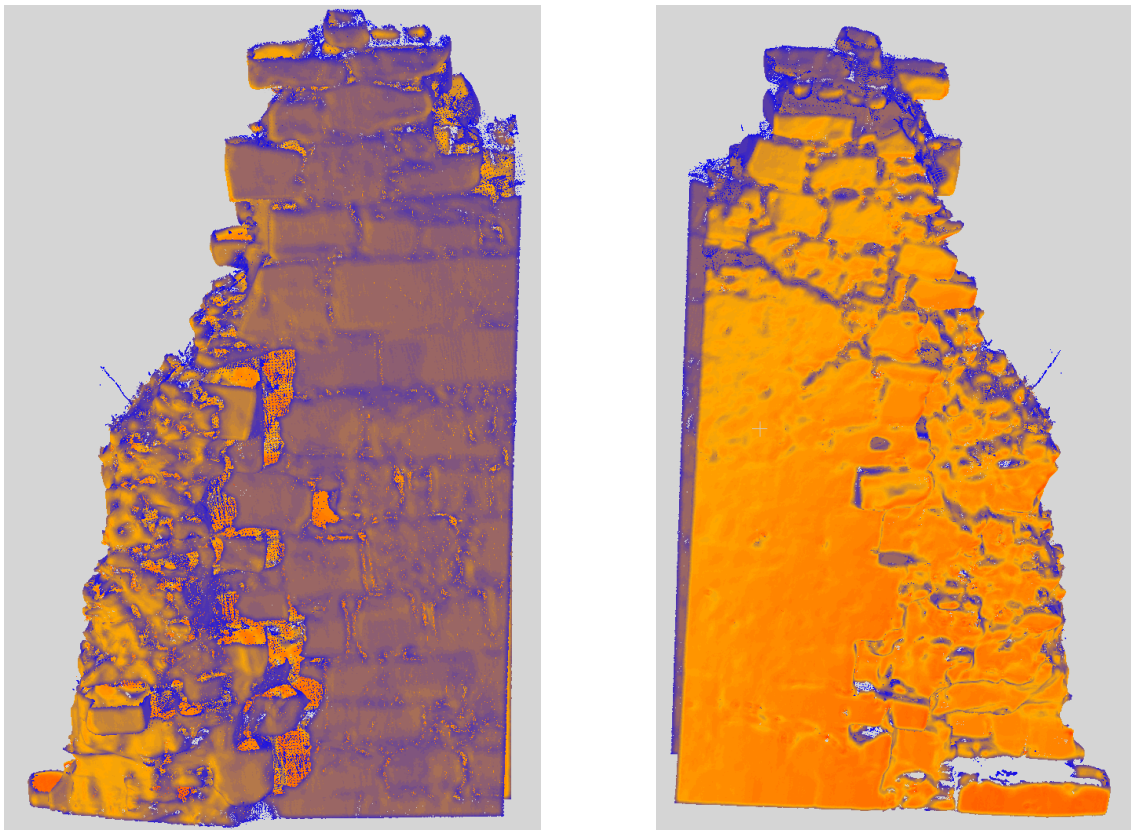


Εικόνα 3.94: Τραχύτητα νέφους Metashape, όψη A - όψη B

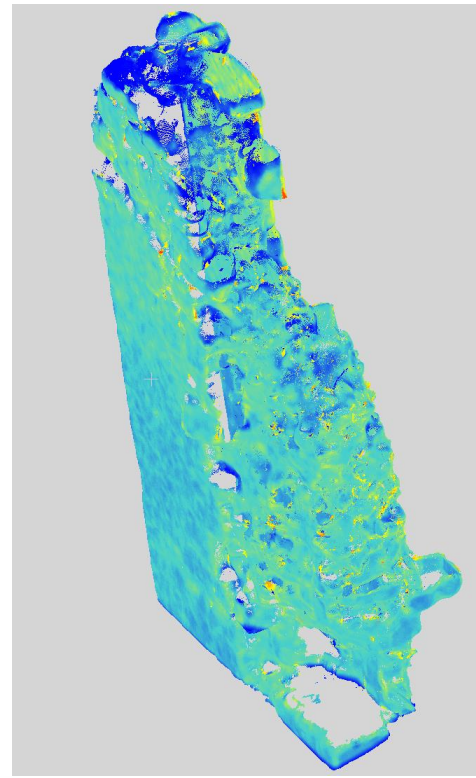
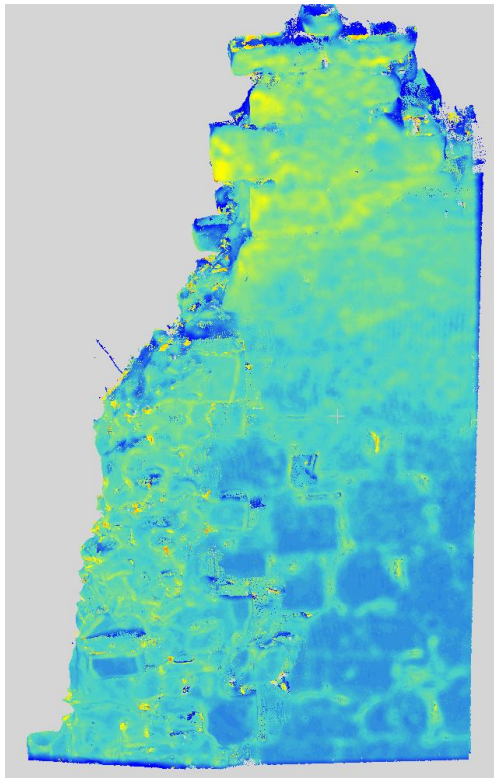


Εικόνα 3.95: Τραχύτητα νέφους Zeb Revo, όψη A - όψη B

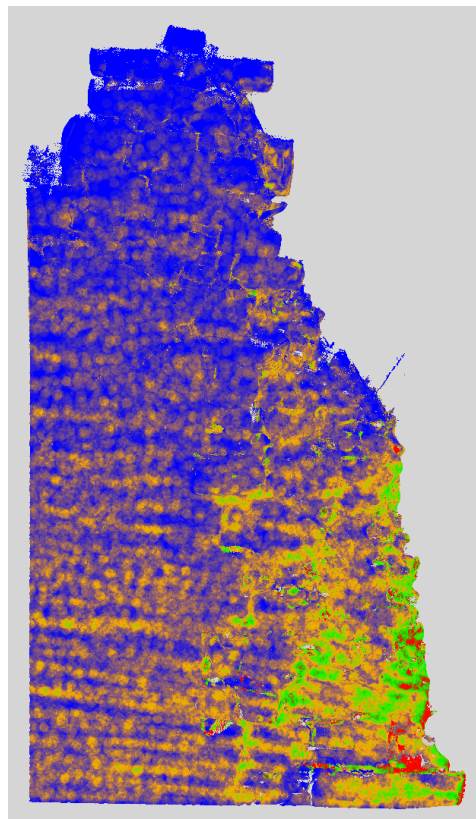
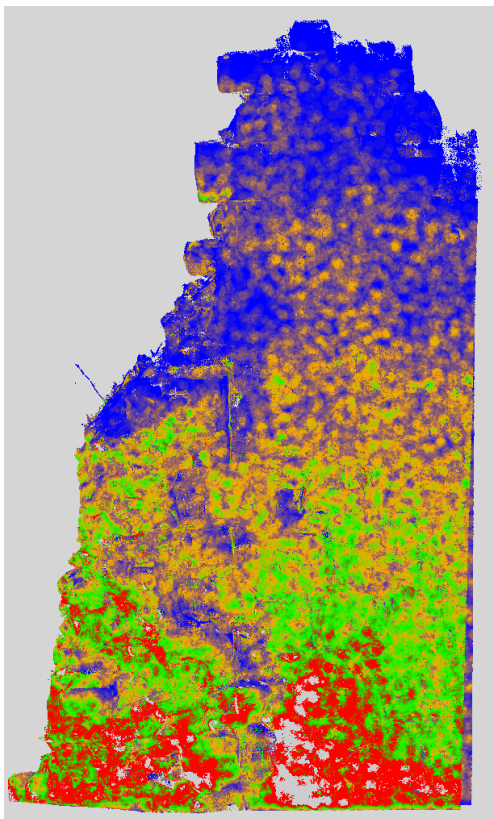
Τέλος, η κατανομή των σημείων του τμήματος αυτού από τον σαρωτή Faro (Εικόνα 3.96), είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια του τοίχου στην όψη Β (πορτοκαλί χρώμα), ενώ λιγότερα σημεία υπάρχουν ψηλά στον τοίχο, αλλά και στην όψη Α, όπου υπάρχουν και κενά ανάμεσα στα σημεία του νέφους (μπλέ χρώμα). Το σύνολο των σημείων είναι 3.589.772. Το νέφος από το Metashape έχει περισσότερα σημεία από εκείνο το Faro - 4.232.391, αλλά όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.97 το νέφος έχει πολλά κενά. Η κατανομή των σημείων είναι ομοιόμορφη (γαλάζιο χρώμα), ωστόσο, ψηλά στον τοίχο, αλλά και στην άκρη του με το γκρέμισμα, παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση σημείων, τα οποία εμπεριέχουν και τον συσσωρευμένο θόρυβο. Το τμήμα του τοίχου από το Zeb Reno αποτελείται από 69.533 σημεία, ενώ όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.98, τα περισσότερα σημεία συσσωρεύονται στα κατώτερα τμήματα του τοίχου (κόκκινο – πράσινο χρώμα) και όσο αυξάνει το ύψος τόσο μειώνονται τα σημεία του σαρωτή (πορτοκαλί – μπλέ χρώμα). Στην όψη Β, υπάρχει αισθητά μικρότερος αριθμός σημείων συγκριτικά με την όψη Α, γεγονός που οφείλεται στην διαδρομή σάρωσης.



Εικόνα 3.96: Κατανομή σημείων νέφους Faro, όψη Α - όψη Β



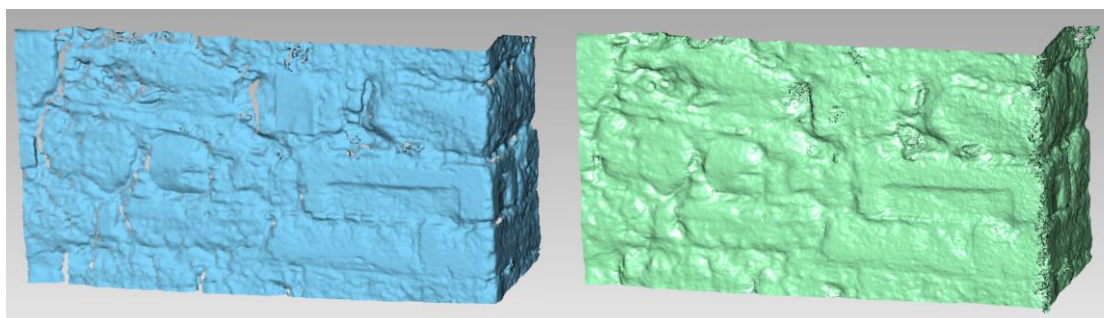
Εικόνα 3.97: Κατανομή σημείων νέφους Metashape, όψη A - όψη B



Εικόνα 3.98: Κατανομή σημείων νέφους Zeb Revo, όψη A - όψη B

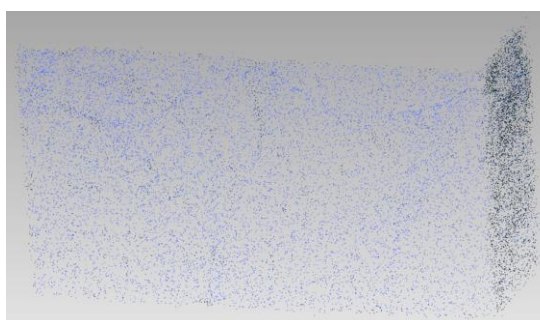
Τμήμα 3^ο – Βόρειος Τοίχος Πύλης

Το τμήμα αυτό βρίσκεται τον Βόρειο τοίχο της Πύλης της Μονής, και είναι το πρώτο τμήμα που θα εξεταστεί από αυτήν. Περιέχει τον τοίχο που αποτελείται από μεγάλους λίθους, αλλά και μια ακμή όπου παρουσιάζονται υψηλά επίπεδα θορύβου, κυρίως από το νέφος του Metashape. Αντίστοιχα με τον Ναό, θα ελεγχθεί ποιο από τα τρία νέφη είναι το καταλληλότερο για την δημιουργία της επιφάνειας.



Επίγειος σαρωτής Faro

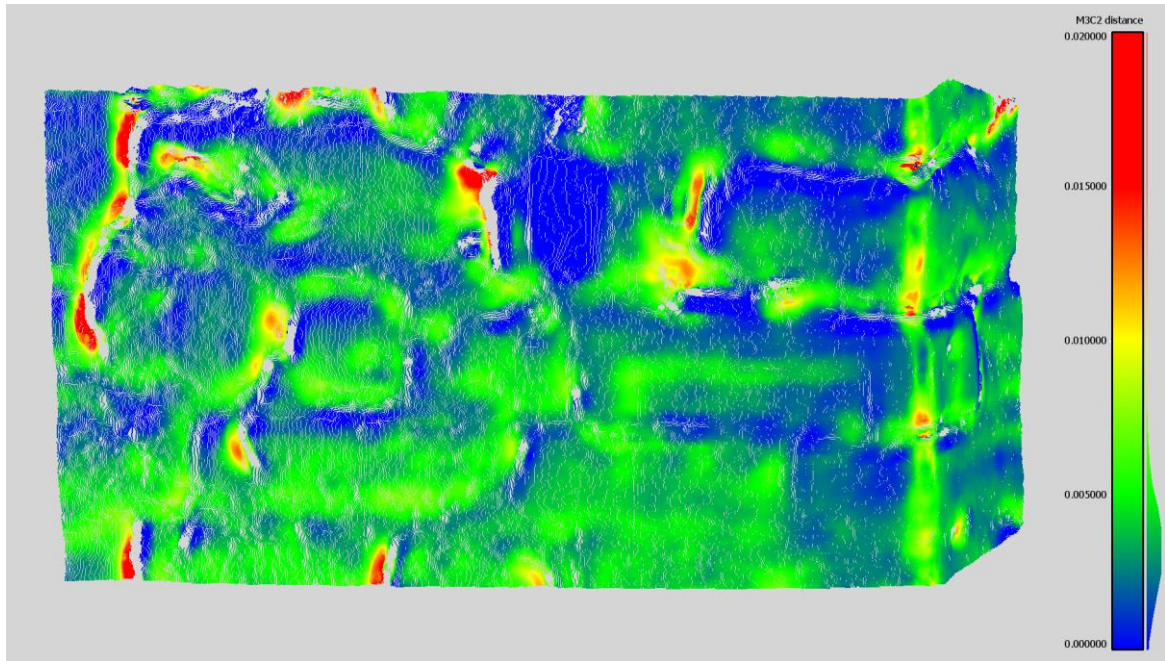
Agisoft Metashape



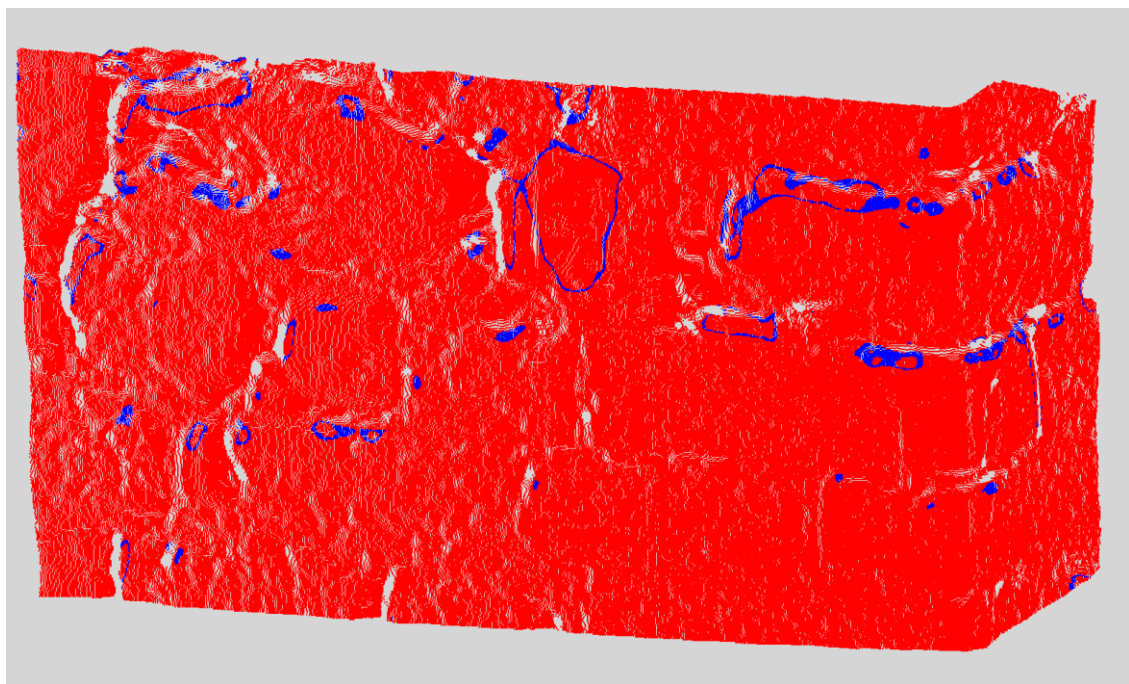
Σαρωτής χειρός Zeb Revo

Εικόνα 3.99: 3^ο τμήμα σύγκρισης: Βόρειος τοίχος Πύλης

Από την εφαρμογή του M3C2 για τα νέφη Faro - Metashape προκύπτει ότι για τα περισσότερα σημεία η απόστασή τους από τα ομόλογά τους εντοπίζεται στο διάστημα 0.00 – 5.00 mm (Εικόνα 3.100). Σε περιοχές όπου υπάρχουν εσοχές, η απόσταση μεταξύ των δύο νεφών αυξάνεται μέχρι και 20 mm, γεγονός που οφείλεται στον τρόπο που κάθε μέθοδος αποτυπώνει το ανάγλυφο του αντικειμένου. Σημαντικότερες διαφορές στις αποστάσεις μεταξύ των ομόλογων σημείων εντοπίζονται σε όλη την περιοχή του αντικειμένου και αποτυπώνονται με κόκκινο χρώμα στην Εικόνα 3.101.



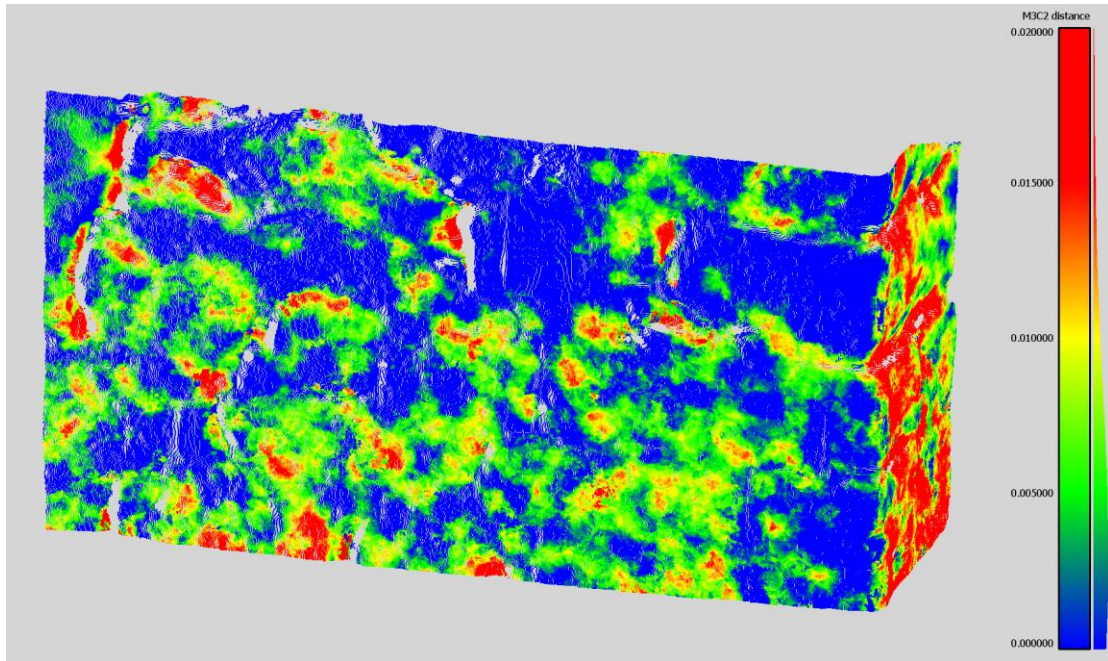
Εικόνα 3.100: M3C2 απόσταση Faro – Metashape



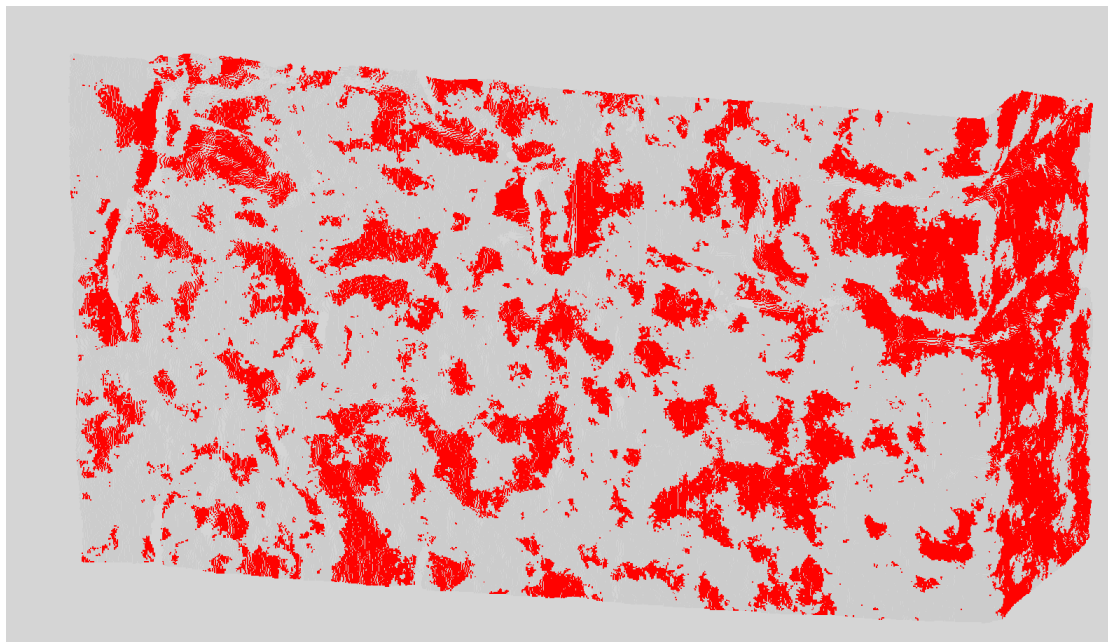
Εικόνα 3.101: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Metashape

Από την σύγκριση του Faro με το Zeb Revo (Εικόνα 3.102) προκύπτει πως οι αποστάσεις ανάμεσα στα δύο νέφη κυμαίνονται από 0 έως και 10 mm, ενώ στα δεξιά μετά την ακμή υπάρχουν μεγαλύτερες αποστάσεις μέχρι και 20 mm (κόκκινο χρώμα). Από αυτό το δείγμα, προκύπτει πως σε σχέση με τον Ναό, το Zeb Revo έχει αποτυπώσει καλύτερα την Πύλη, γεγονός που ενδέχεται να οφείλεται στο ότι η Πύλη

έχει μικρότερη επιφάνεια από τον Ναό με λιγότερα ανοίγματα και γκρεμίσματα. Ως αποτέλεσμα προκύπτει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στην απόσταση μεταξύ ομόλογων σημείων, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.103, όπου με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι διαφορές, οι οποίες είναι λιγότερες από αυτές που παρουσιάζονταν στον Ναό.

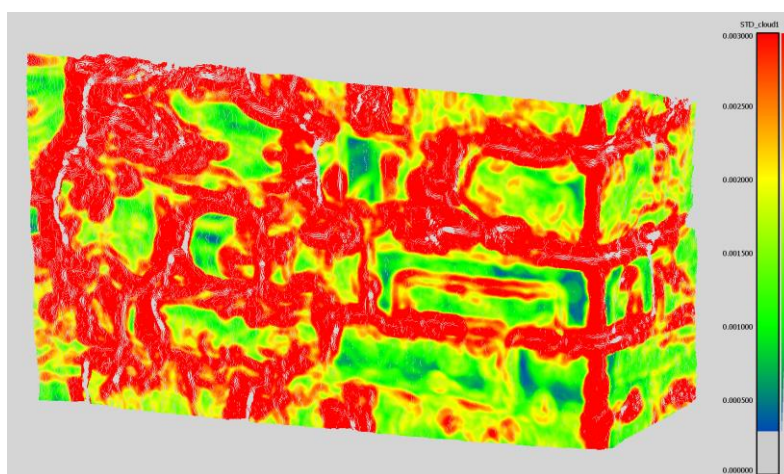


Εικόνα 3.102: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Revo

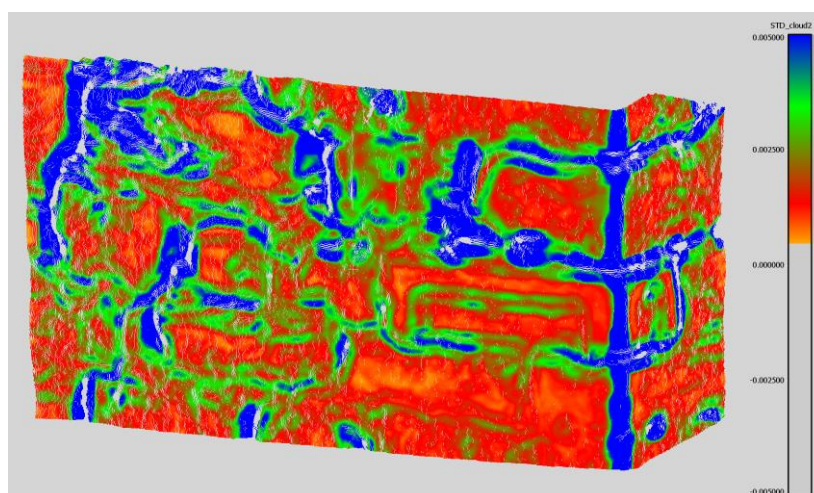


Εικόνα 3.103: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Zeb Revo

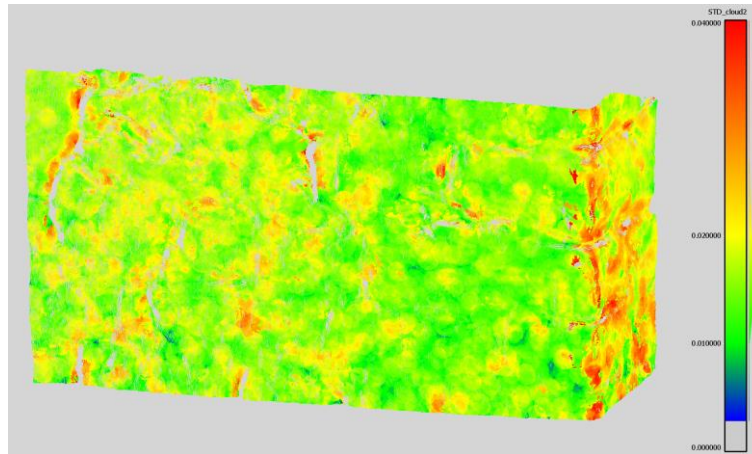
Για το νέφος του Faro, μεγαλύτερες τιμές της τυπικής απόκλισης που εντοπίζονται σε όλο το τμήμα του τοίχου ,αλλά και στην ακμή του, είναι της τάξης των 3 mm και παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα (Εικόνα 3.104). Το νέφος του Metashape, παρουσιάζει μικρότερες τιμές της τυπικής απόκλισης πάνω στην επιφάνεια του τοίχου, με τιμές 0.00 – 2.5 mm (κόκκινο χρώμα), και μεγαλύτερες τιμές μέχρι και 5 mm στους αρμούς των λίθων αλλά και στην ακμή του αντικειμένου (μπλέ χρώμα) (Εικόνα 3.105). Τέλος, η τραχύτητα για το Zeb Revo, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.106, εκφράζεται από τις τιμές 0.01 – 0.02 m της τυπικής απόκλισης που παρουσιάζονται στο μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειας του αντικειμένου, με μια αύξηση της τιμής μέχρι και 0.04 m κοντά στην ακμή και στο δεξί τμήμα του αντικειμένου.



Εικόνα 3.104: Τραχύτητα νέφους Faro

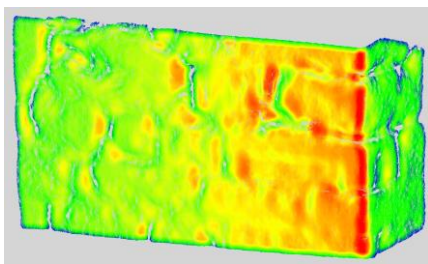


Εικόνα 3.105: Τραχύτητα νέφους Metashape

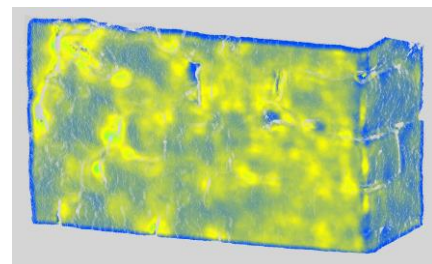


Εικόνα 3.106: Τραχύτητα νέφους Zeb Revo

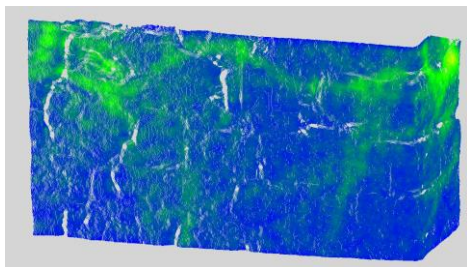
Τέλος, η κατανομή των σημείων για το Faro, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.107 είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια του τοίχου, με αύξηση της συγκέντρωσης τους όσο πλησιάζουν στην ακμή του αντικειμένου. Το σύνολο των σημείων στο τμήμα αυτό είναι 322.709. Για το νέφος από το Metashape τα περισσότερα σημεία παρουσιάζονται με μπλέ χρώμα, ωστόσο σε όλο το μήκος του βόρειου τοίχου αλλά και στην ακμή, υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση σημείων που παρουσιάζεται με κίτρινο χρώμα. Η συγκέντρωση αυτή απεικονίζει τον θόρυβο του νέφους, ο οποίος φαίνεται και στην εικόνα 3.108. Το σύνολο των σημείων είναι 1.182.800. Η κατανομή των σημείων για το Zeb Revo είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια, ωστόσο με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση σημείων, όπου και αυτή καταλαμβάνει μεγάλο μέρος της επιφάνειας. Το σύνολο των σημείων που περιγράφουν το τμήμα αυτό είναι 19.462 (Εικόνα 3.109).



Εικόνα 3.107: Κατανομή σημείων νέφους Faro



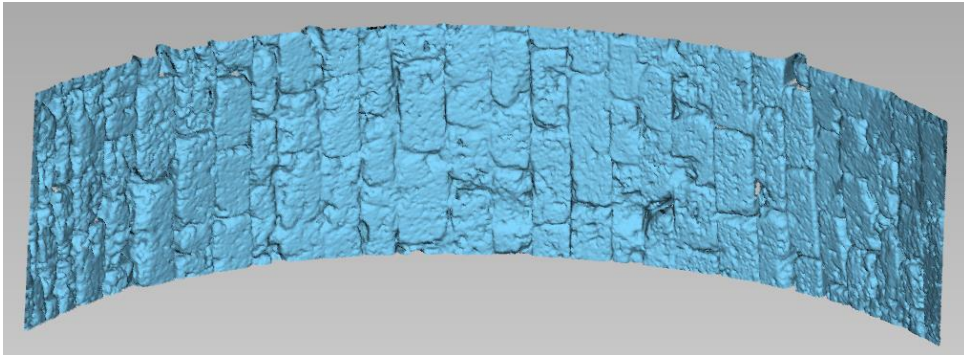
Εικόνα 3.108: Κατανομή σημείων νέφους Metashape



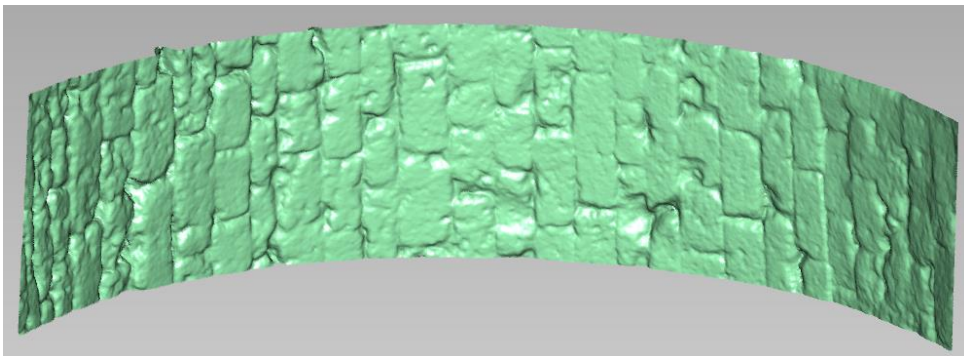
Εικόνα 3.109: Κατανομή σημείων νέφους Zeb Revo

Τμήμα 4^ο – Οροφή Πύλης

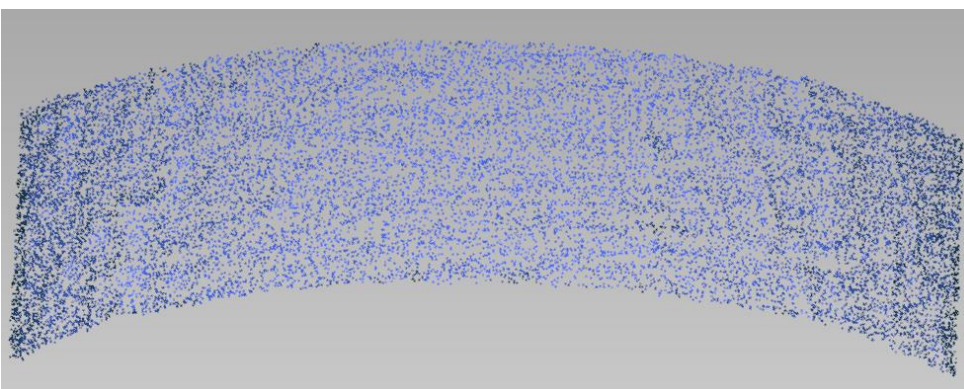
Τελευταίο ως προς σύγκριση τμήμα είναι το τμήμα του εσωτερικού της οροφής της Πύλης. Η επιλογή του έγινε διότι έχει έντονο ανάγλυφο με πολλές εσοχές καθώς επίσης είναι και καμπύλο τμήμα. Έτσι, θα ήταν ενδιαφέρουσα η σύγκριση εδώ, ώστε να εκτιμηθεί ο τρόπος που οι τρεις μέθοδοι περιγράφουν το αντικείμενο, πόσες διαφορές και σε ποια σημεία αυτές παρουσιάζονται.



Επίγειος σαρωτής Faro



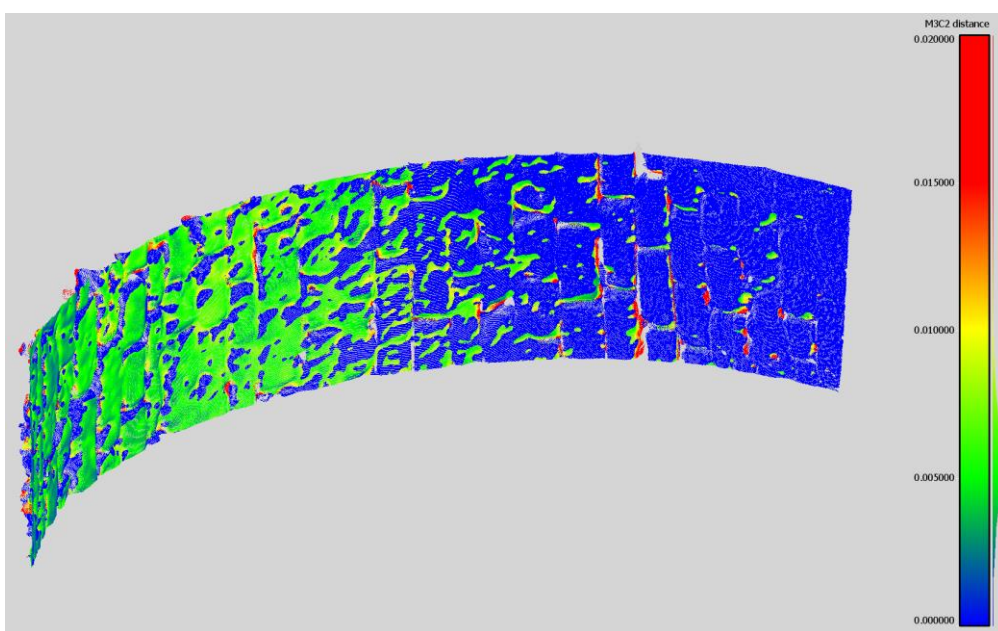
Agisoft Metashape



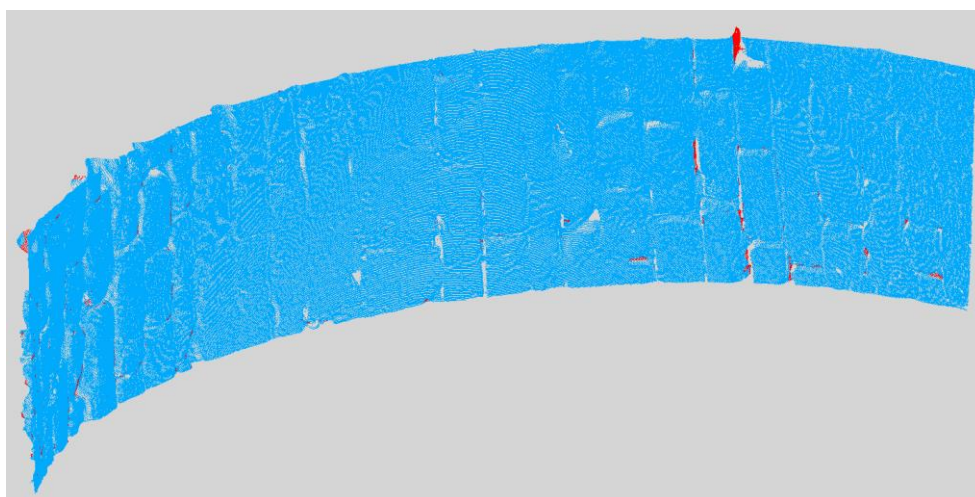
Σαρωτής χειρός Zeb Revo

Εικόνα 3.110: 4^ο τμήμα σύγκρισης: Οροφή Πύλης

Όπως παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί, όλες οι υπολογισμένες αποστάσεις ανάμεσα στο Faro και στο Metashape εντάσσονται στο διάστημα 0.00 – 5 mm (μπλε – πράσινο χρώμα). Σε περιοχές με εσοχές οι αποστάσεις ομόλογων σημείων αγγίζουν μέχρι και τα 20 mm, γεγονός που οφείλεται στην ομαλοποίηση των επιφανειών που προέρχονται από το Metashape, ενώ αντίθετα, ο σαρωτής Faro, πραγματοποιεί απευθείας μετρήσεις στο αντικείμενο με μεγάλη ακρίβεια. Σημαντικές αλλαγές, επομένως, εντοπίζονται μόνο στα σημεία αυτά και παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα στην Εικόνα 3.112.

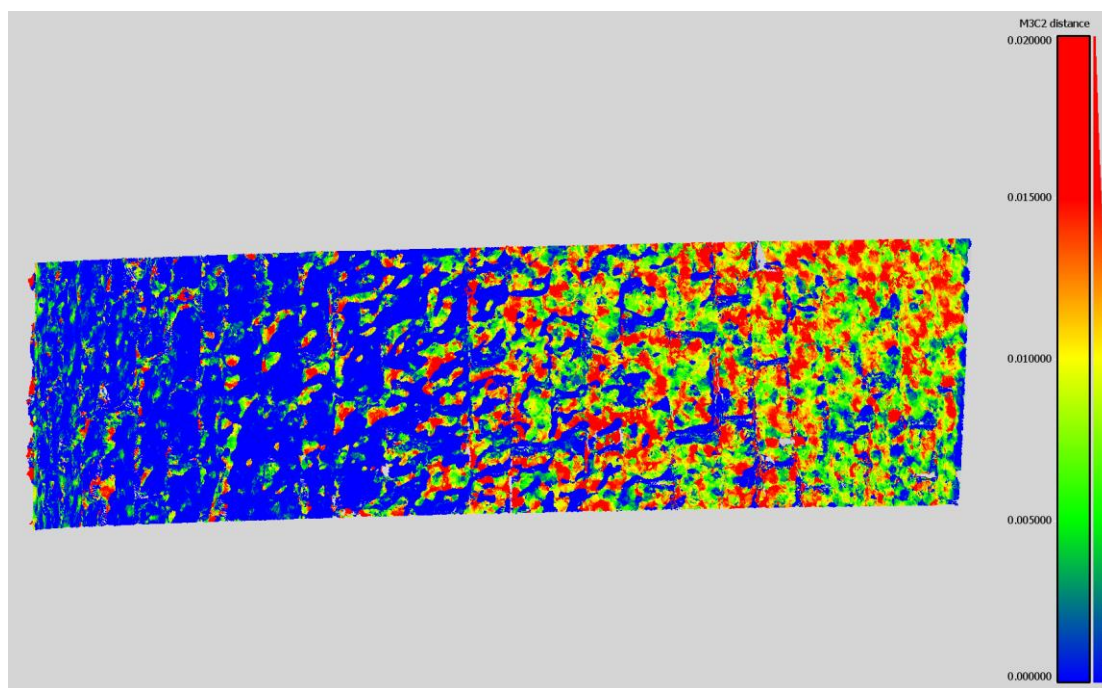


Εικόνα 3.111: M3C2 απόσταση Faro – Metashape

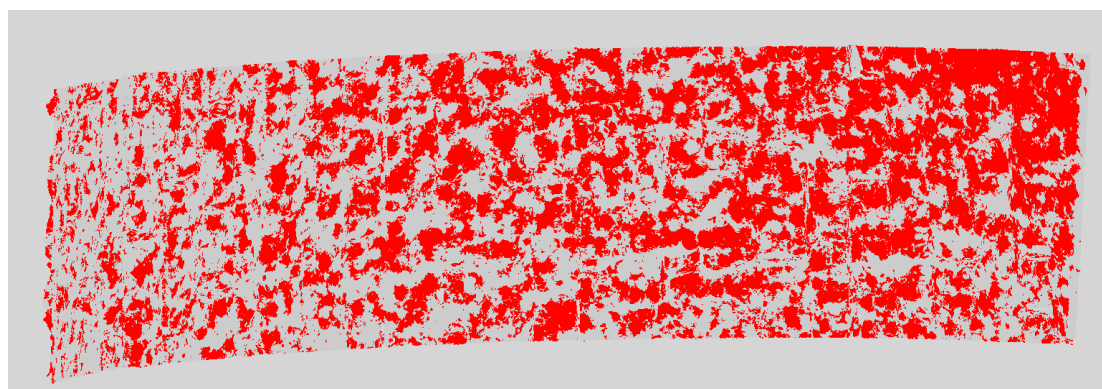


Εικόνα 3.112: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Metashape

Στην σύγκριση των νεφών των δύο επίγειων σαρωτών παρατηρείται αύξηση των τιμών των αποστάσεων έως και 25 mm. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.113 , αύξηση των τιμών υπάρχει στην δεξιά πλευρά της οροφής και οι τιμές ποικίλουν από 5 – 25 mm. Οι μεγάλες τιμές αυτές αναμένονται στην σύγκριση αυτή, καθώς οι σαρώσεις του Zeb Reno, δεν αγγίζουν την πληρότητα των σαρώσεων του Faro. Σημαντικές διαφοροποιήσεις της απόστασης συναντώνται σε όλο το εύρος του τμήματος και παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.114 με κόκκινο χρώμα.



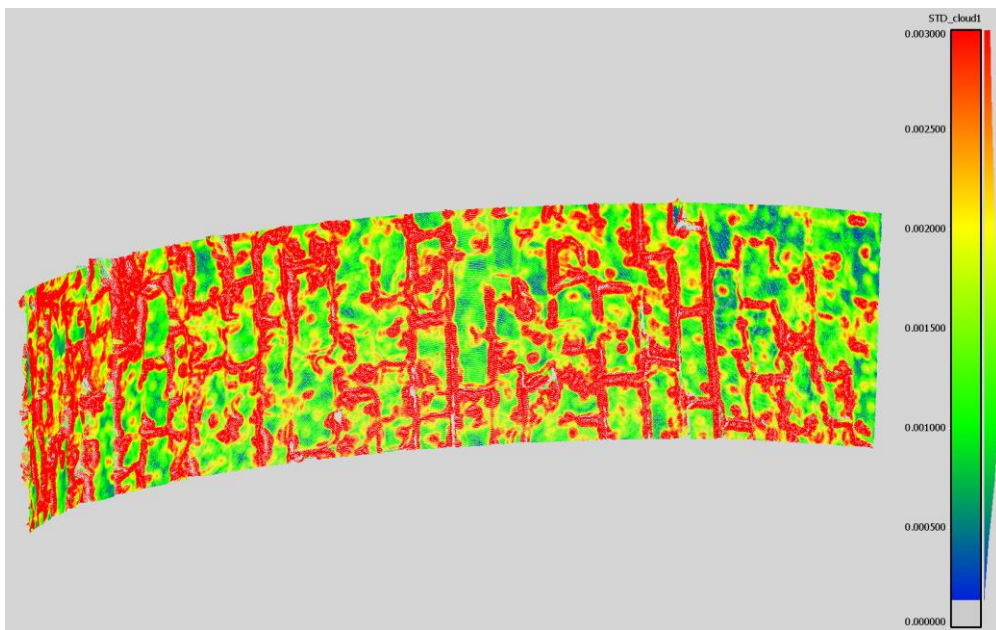
Εικόνα 3.113: M3C2 απόσταση Faro – Zeb Reno



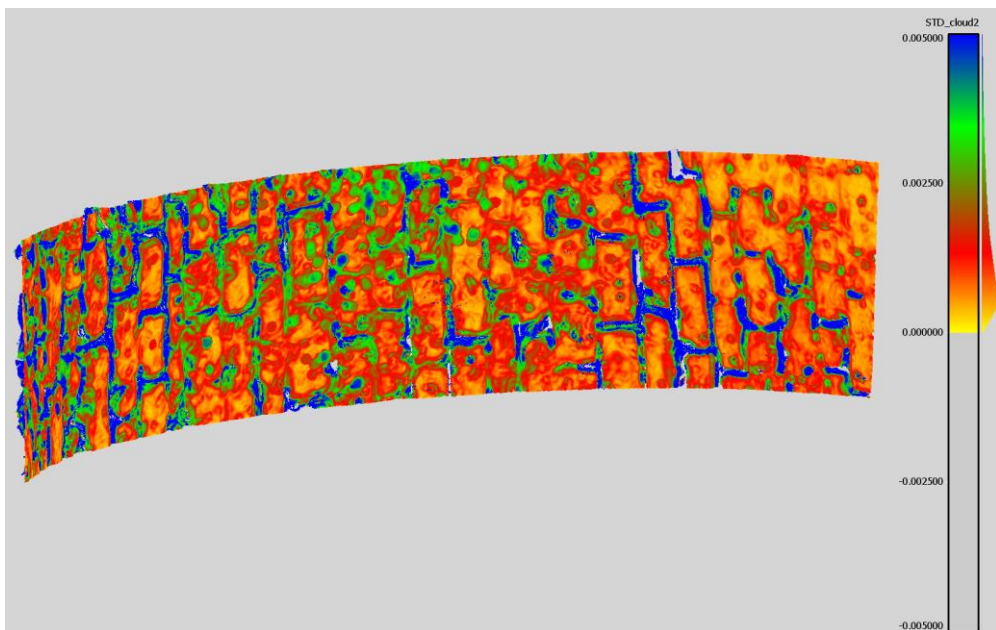
Εικόνα 3.114: Σημαντικές διαφορές αντίστοιχων σημείων Faro – Zeb Reno

Οι τυπικές αποκλίσεις του νέφους του σαρωτή Faro (Εικόνα 3.115), εντοπίζονται κυρίως στο διάστημα 1 – 1.5 mm (πράσινο χρώμα), ενώ σε σημεία με εντονότερη αλλαγή της γεωμετρίας παρουσιάζονται τιμές μέχρι και 3 mm (κόκκινο χρώμα). Από

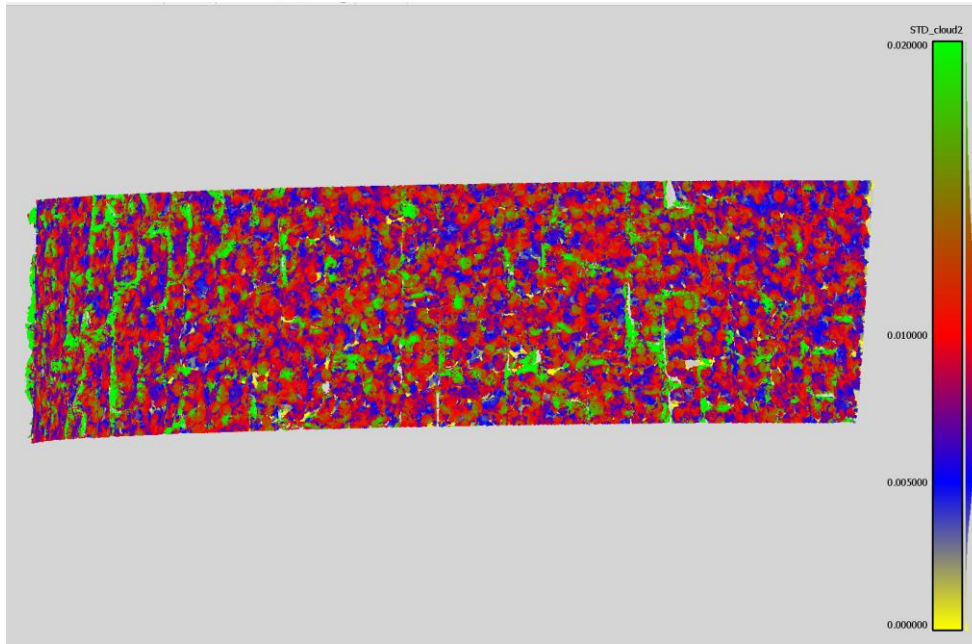
τις τιμές αυτές της τυπικής απόκλισης συνεπάγεται πως και η τραχύτητα του αντικειμένου είναι μικρή, άρα τα επίπεδα θορύβου σε αυτό το τμήμα είναι μικρά. Μικρές τιμές της τυπικής απόκλισης συναντώνται και στο νέφος από το Metashape. Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους οι τιμές της τραχύτητας κυμαίνονται από 0.00 – 2.5 mm, ενώ σε εσοχές οι τιμές αυξάνουν ελάχιστα έως και 5 mm (Εικόνα 3.116). Τέλος, οι τιμές της τυπικής απόκλισης για το τρίτο νέφος, στο μεγαλύτερο ποσοστό τους εντοπίζονται στο διάστημα 5 – 10 mm σε όλη την επιφάνεια του αντικειμένου, ενώ σε ελάχιστα σημεία οι τιμές φτάνουν έως και τα 20 mm (Εικόνα 3.117).



Εικόνα 3.115: Τραχύτητα νέφους Faro

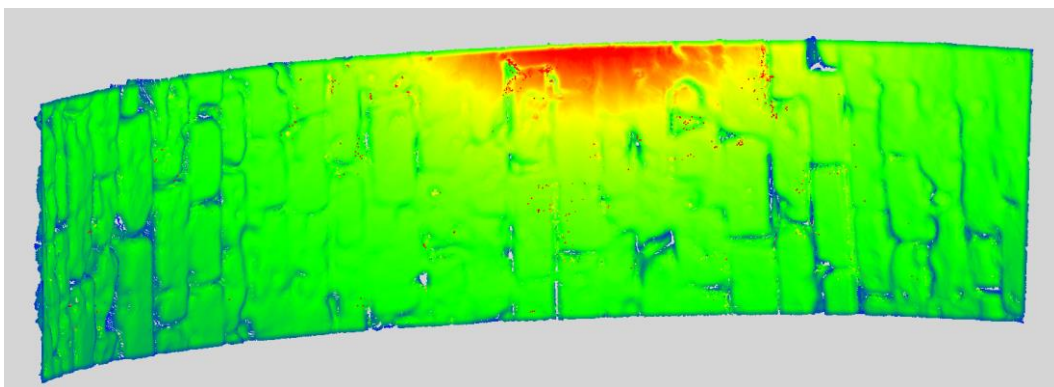


Εικόνα 3.116: Τραχύτητα νέφους Metashape

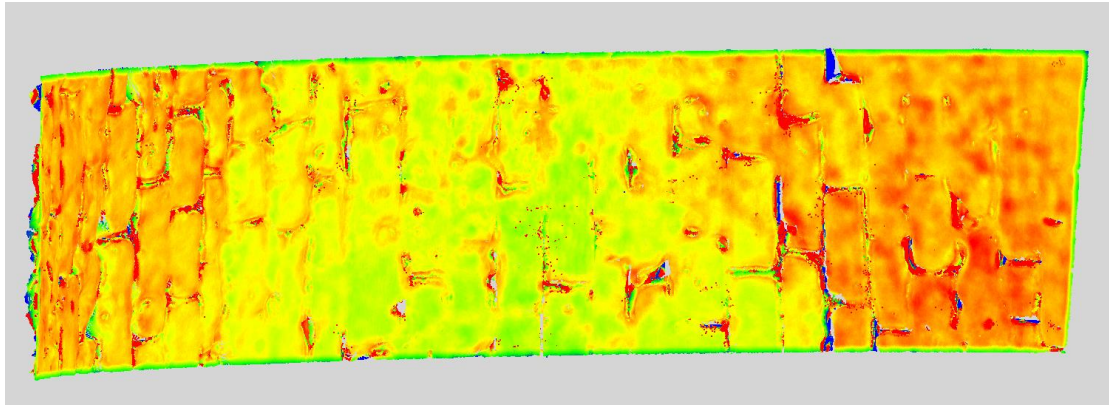


Εικόνα 3.117: Τραχύτητα νέφους Zeb Revo

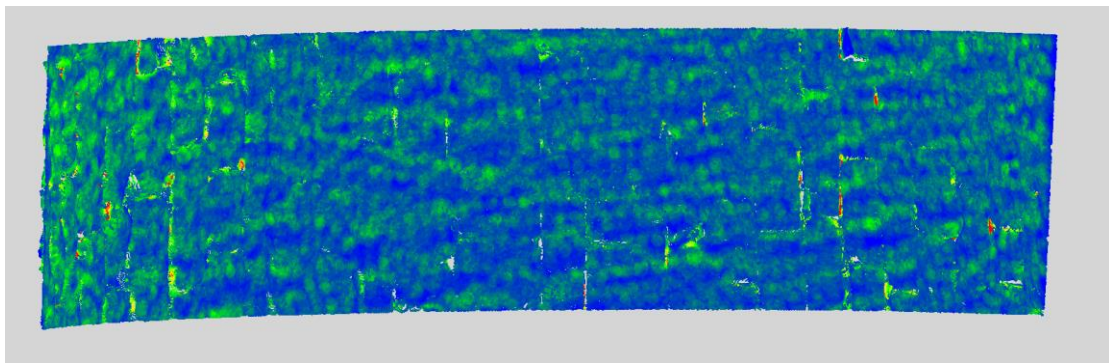
Στο τμήμα αυτό το Faro έχει στο σύνολό του 1.106.501 σημεία, τα οποία όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.118, περιγράφουν ομοιόμορφα το αντικείμενο (πράσινο χρώμα) με ελάχιστο θόρυβο (κόκκινο χρώμα). Ωστόσο στο κέντρο της οροφής, παρουσιάζεται μια συσσώρευση σημείων (κόκκινο χρώμα). Το Metashape έχει περισσότερα σημεία που περιγράφουν το τμήμα αυτό – 1.178.968, τα οποία, αντίθετα με το Faro, παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση κυρίως χαμηλά στην οροφή (κόκκινο χρώμα) (Εικόνα 3.119), γεγονός που οφείλεται στο ότι δεν υπάρχουν πολλές εικόνες για την απεικόνιση της οροφής της πύλης. Τέλος, η κατανομή των σημείων του σαρωτή Zeb Revo (Εικόνα 3.120) είναι ομοιόμορφη σε όλο το τμήμα της οροφής (μπλε χρώμα), ενώ λόγω θορύβου, δημιουργείται μια μικρή αύξηση σημείων (πράσινο χρώμα). Το σύνολο των σημείων του σαρωτή που περιγράφουν την οροφή είναι 20.089.



Εικόνα 3.118: Κατανομή σημείων νέφους Faro



Εικόνα 3.119: Κατανομή σημείων νέφους Metashape



Εικόνα 3.120: Κατανομή σημείων νέφους Zeb Revo

Με την ολοκλήρωση της παραπάνω σύγκρισης που πραγματοποιήθηκε, προκύπτουν συμπεράσματα για κάθε μια από τις μεθόδους, με βάση τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου μνημείου και των μετρήσεων που έγιναν σε αυτό για την παρούσα εργασία.

Ο επίγειος σαρωτής Faro, καταγράφει σημεία με πολύ καλή ακρίβεια. Είναι απαραίτητη η τοποθέτηση στόχων στο μνημείο και η μέτρηση των συντεταγμένων τους. Οι σαρώσεις που πραγματοποιεί είναι σύντομες χρονικά και ο χρήστης μπορεί εκείνη την στιγμή να εκτελεί κάποια άλλη εργασία. Η επεξεργασία των δεδομένων είναι αυτοματοποιημένη, με συνεχή, ωστόσο, επέμβαση από τον χρήστη για διόρθωση λαθών και έλεγχο της ορθότητας της διαδικασίας. Τα τελικά σφάλματα γεωαναφοράς ήταν της τάξης των ± 5 mm. Από τις οριζόντιες και κάθετες τομές στο αντικείμενο προκύπτει πως το αντικείμενο έχει καταγραφεί με μεγάλη ακρίβεια, υπάρχει παρουσία θορύβου, ενώ σε τοίχους με μεγάλο ύψος υπάρχουν κενά, όπως επίσης υπάρχουν κενά και στις οροφές των δύο κτηρίων.

Οι συλλογή φωτογραμμετρικών δεδομένων για το μνημείο απαιτεί σαφώς περισσότερο εξοπλισμό (κάμερες, UAV κ.ά.). Απαραίτητη είναι η τοποθέτηση στόχων στους τοίχους του μνημείου και στο έδαφος και η μέτρηση τους, έτσι ώστε να επιτευχθεί η γεωαναφορά των εικόνων. Η φωτογράφιση έγινε σε τρία στάδια. Αρχικά φωτογραφήθηκαν επίγεια ο Ναός και η Πύλη, στην συνέχεια με το UAV Phantom φωτογραφήθηκαν εναέρια, και τέλος με την χρήση του οκτακόπτερου UAV, πραγματοποιήθηκαν εναέρια λήψεις για τον Ναό. Παράλληλα εκτελούνταν οι τοπογραφικές εργασίες. Η επεξεργασία των εικόνων είναι το πιο χρονοβόρο στάδιο, καθώς απαιτείται η σκόπευση και ο έλεγχος των φωτοσταθερών, αλλά και το ίδιο το λογισμικό δεσμεύει πολύ χρόνο για να ολοκληρώσει τις διαδικασίες για την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων. Τα σφάλματα κατά την γεωαναφορά ήταν ± 5 mm. Με βάση τις τομές που εξήχθησαν, διαπιστώνεται ότι τα σημεία του νέφους περιγράφουν ικανοποιητικά το αντικείμενο, πραγματοποιώντας μια αυθαίρετη εξομάλυνση σε κάποιες περιοχές. Υπάρχει θόρυβος γύρω από το αντικείμενο και σε κάποια σημεία στις οροφές του Ναού και της Πύλης, υπάρχουν κενά στο νέφος.

Η πιο σύντομη χρονικά μέθοδος συλλογής δεδομένων είναι η τρίτη μέθοδος, ο σαρωτής χειρός Zeb Revo. Ο χρήστης πραγματοποιεί κλειστές διαδρομές μέσα και έξω από το αντικείμενο και καταγράφει σημεία με ακρίβεια 2 – 3 cm. Για την γεωαναφορά των νεφών έγινε χρήση του νέφους του σαρωτή Faro και τα τελικά σφάλματα είναι της τάξης των 5 cm. Όπως προκύπτει από τις τομές, το νέφος αυτό αποτελείται από πολύ λιγότερα σημεία, με πολύ θόρυβο και μείωση σημείων όσο αυξάνει το ύψος του αντικειμένου.

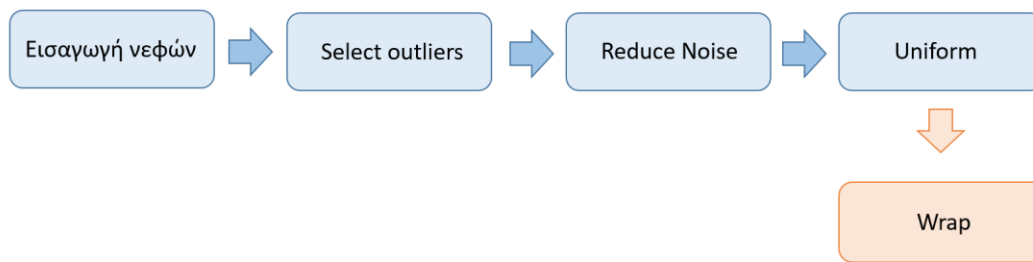
Από την χρήση του αλγορίθμου M3C2 και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, προκύπτει πως το νέφος του Faro συγκρινόμενο με το νέφος από το Metashape, στο σύνολο τους τα τμήματα δεν παρουσιάζουν πολλές διαφορές. Όσον αφορά την απόσταση των αντίστοιχων σημείων τους, οι μέγιστες διαφορές εντοπίζονται σε σημεία με έντονο ανάγλυφο, που όπως έχει ήδη αναφερθεί το Metashape, έχει την τάση να ομαλοποιεί τις επιφάνειες στα τμήματα αυτά. Οι μέγιστες αποστάσεις που εντοπίζονται είναι της τάξης των 2 cm. Η σύγκριση του σαρωτή Faro, με τον σαρωτή χειρός Zeb Revo, παρουσίασε αναμενόμενα αποτελέσματα, καθώς ο σαρωτής Zeb Revo συλλέγει αισθητά λιγότερα σημεία στην επιφάνεια του αντικειμένου αλλά και μεγάλη αβεβαιότητα σε αυτά. Ενδεχομένως αν ο παρατηρητής βάδιζε με μικρότερη ακόμα ταχύτητα αλλά και σχεδιάζοντας άλλες διαδρομές σε ποικίλες αποστάσεις από το αντικείμενο, τα σαρωμένα σημεία να ήταν πολύ περισσότερα. Οι μέγιστη απόσταση μεταξύ ομόλογων σημείων στα νέφη είναι της τάξης των 2.5 cm.

Όσον αφορά στις τραχύτητες των αντικειμένων αλλά και την κατανομή των σημείων στην επιφάνεια του αντικειμένου, το νέφος από το Faro έχει μέγιστη τιμή τυπικής απόκλισης 1.5 mm και ομοιόμορφη κατανομή σημείων πάνω στην επιφάνεια του. Υπήρχαν ωστόσο και τμήματά του με μεγάλη τραχύτητα και συσσώρευση σημείων που αποδίδεται στον θόρυβο του νέφους. Το Metashape και αυτό είχε μικρές τιμές τραχύτητας, με εξαιρέσεις σε σημεία με απότομη αλλαγή της γεωμετρίας του αντικειμένου. Οι τιμές που συναντώνται είναι 0 – 6 mm. Για την κατανομή των σημείων του εντοπίζονται πολύ περισσότερες συσσωρεύσεις σημείων αλλά και κενά στα νέφη. Τέλος, για το νέφος του Zeb Revo, παρατηρείται πολύ μεγαλύτερη τραχύτητα (4 cm), αλλά και στην κατανομή των σημείων φαίνονται τα κενά του νέφους και ο θόρυβος των σαρώσεων.

Συμπερασματικά, με βάση τα παραπάνω και για την επίτευξη του τριπτύχου ακρίβεια, ορθότητα, πληρότητα, προκύπτει πως το νέφος με την καλύτερη ακρίβεια είναι το νέφος του επίγειου σαρωτή Faro, το οποίο ωστόσο δεν καλύπτει την πληρότητα των σημείων, καθώς υπάρχουν κενά. Το νέφος που παρήχθη από το Metashape πληροί και αυτό τις προϋποθέσεις, καθώς τα δεδομένα του έχουν υποστεί επεξεργασία με αυστηρές παραμέτρους στο λογισμικό και τα αποτελέσματά του πλησιάζουν σε ακρίβεια αυτά του επίγειου σαρωτή, με λιγότερες ελλείψεις, καθώς δεν υπήρχαν κενά ανάμεσα σε λήψεις εικόνων. Το νέφος από τον σαρωτή χειρός Zeb Revo, παρουσιάζει πολλές αδυναμίες συγκριτικά με τις άλλες δύο μεθόδους, και για την επίτευξη της ακρίβειας που επιθυμείται για την παρούσα διπλωματική δεν θα χρησιμοποιηθεί. Επομένως, για την παραγωγή της επιφάνειας του Ναού και της Πύλης, θα χρησιμοποιηθούν και τα δύο νέφη σημείων (Faro & Metashape) τα οποία θα συνδυαστούν με κατάλληλο τρόπο ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.

3.5 Δημιουργία επιφάνειας

Στόχος της επεξεργασίας αυτής είναι η δημιουργία επιφανειών, οι οποίες αποτυπώνουν την γεωμετρία των αντικειμένων και είναι πλήρεις. Αφού έγινε η επιλογή των κατάλληλων νεφών, επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία τους. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το *Geomagic Wrap*, το οποίο περιέχει όλα τα κατάλληλα εργαλεία για την επεξεργασία τους. Τα νέφη που υπέστησαν επεξεργασία είναι τα νέφη από τον σαρωτή laser Faro και από το Metashape για τον Ναό και για την Πύλη αντίστοιχα. Για κάθε νέφος πραγματοποιήθηκε η διαδικασία που παρουσιάζεται συνοπτικά στην Εικόνα 3.121.

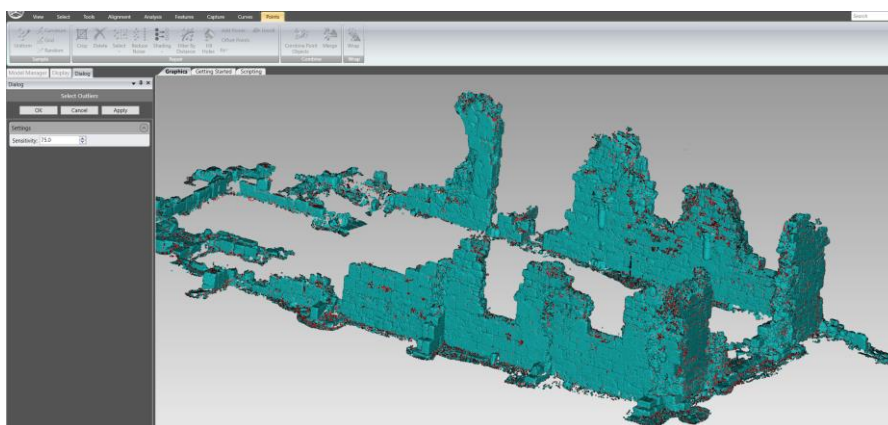


Εικόνα 3.121: Διαδικασία επεξεργασίας νεφών στο λογισμικό geomatic wrap

Κάθε νέφος εισήχθη στο λογισμικό και αποφασίστηκε να αποκοπεί το έδαφος από τον Ναό και την Πύλη, με σκοπό να απλοποιηθούν οι επιφάνειες και έτσι να διευκολυνθούν οι αλγόριθμοι των εργαλείων, να δώσουν τα βέλτιστα αποτελέσματα αλλά και να μειωθεί ο χρόνος επεξεργασίας των project.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη διαγραφή σημείων που αποτελούν θόρυβο στο νέφος και δεν είναι δυνατή η απομάκρυνσή τους με κάποιο εργαλείο του λογισμικού. Τέτοια σημεία αποτελούν λανθασμένα σημεία γύρω από το αντικείμενο (π.χ. ουρανός), κινούμενες φιγούρες ανθρώπων αλλά και όσον αφορά στον Ναό δύο δέντρα στον Βόρειο τμήμα του.

Στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία του λογισμικού που εφαρμόζονται για την επεξεργασία νεφών σημείων. Αρχικά, εφαρμόστηκε το εργαλείο *Select Outliers*, το οποίο εντοπίζει και επιλέγει αυτόματα όλα τα σημεία που βρίσκονται εκτός του εύρους στο οποίο βρίσκονται τα περισσότερα σημεία του νέφους, με την χρήση μιας τιμής περιοχής αναζήτησης που δίνεται από τον χρήστη. Τα σημεία εντοπίζονται από το εργαλείο, όπως φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 3.122 και στην συνέχεια διαγράφονται.



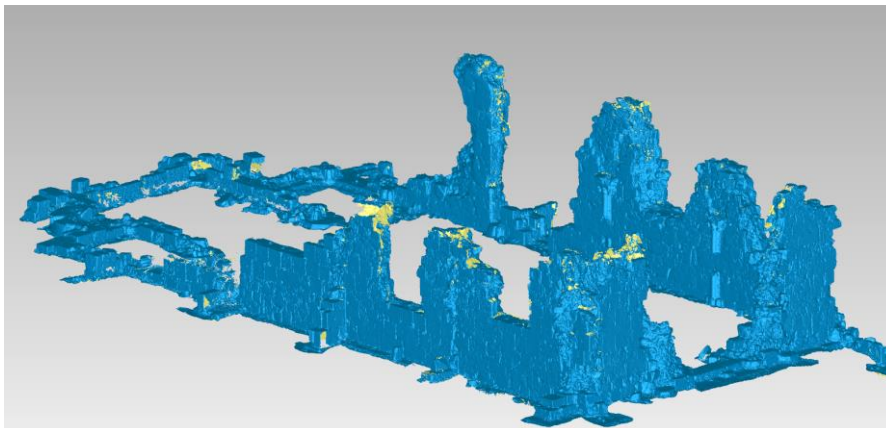
Εικόνα 3.122: Εφαρμογή Select outliers

Έπειτα, έγινε χρήση του εργαλείου *Reduce noise*. Με το εργαλείο αυτό πραγματοποιείται μείωση του θορύβου που προκλήθηκε κατά την σάρωση, χωρίς να χάνονται οι λεπτομέρειες στην επιφάνεια του αντικείμενου. Ο αλγόριθμος διαθέτει τρεις επιλογές για τον προσδιορισμό του τύπου της επιφάνειας έτσι ώστε να επιλεγεί εκείνη που είναι κατάλληλη. Το αντικείμενο δεν προσαρμόζεται σε καμία γνωστή μαθηματική επιφάνεια από αυτές που διαθέτει το λογισμικό και έτσι επιλέχθηκε το *free form shapes*. Ο θόρυβος μειώνεται με βάση τον βαθμό μείωσης που ορίζει ο χρήστης μέσω του *smoothness level*, τον αριθμό των επαναλήψεων και το *deviation limit*.

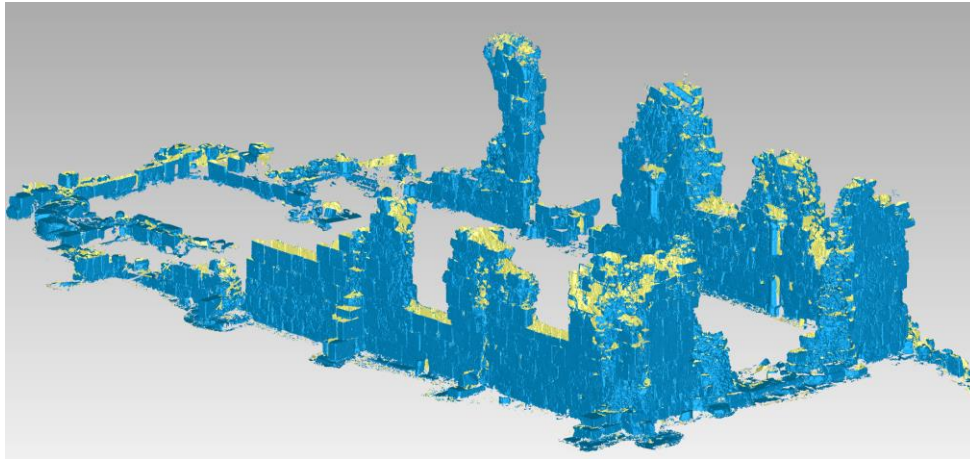
Τελευταίο βήμα πριν τη δημιουργία επιφάνειας είναι το *Uniform*. Το εργαλείο αυτό μειώνει τον αριθμό των σημείων και δημιουργεί έναν κάνναβο σημείων στο αντικείμενο, με βήμα που ορίζεται από τον χρήστη. Το εργαλείο αυτό ελαττώνει τα σημεία μεν, αλλά με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση του σχήματος του αντικείμενου. Η τιμή που δίνεται ορίζεται με την επιλογή *absolute distance* με την οποία ορίζεται η απόσταση των σημείων στις επίπεδες επιφάνειες και με το *curvature priority* εξασφαλίζεται πως προτεραιότητα θα δοθεί στα καμπύλα τμήματα του αντικείμενου.

Στις παραπάνω διαδικασίες χρησιμοποιήθηκαν τιμές τέτοιες ώστε να υποστεί κατάλληλη επεξεργασία το αντικείμενο (Ναός και Πύλη) για την δημιουργία της επιφάνειας αλλά ταυτόχρονα να μην επιφέρουν καμία αλλοίωση σε αυτό λόγω των τιμών που επιλέχθηκαν. Έγιναν πολλές δοκιμές με διάφορες τιμές μέχρι να προκύψουν τα τελικά νέφη από τα οποία δημιουργούνται οι επιφάνειες.

Το εργαλείο που χρησιμοποιείται για την δημιουργία των επιφανειών είναι το *Wrap*, όπου περιγράφει το αντικείμενο με την χρήση τριγώνων. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι επιφάνειες του Ναού και της Πύλης, όπου με μπλε χρώμα φαίνονται τα εξωτερικά τρίγωνα και με κίτρινο χρώμα τα εσωτερικά, και αντιστοιχούν στην αναπαράσταση των επιφανειών εξωτερικά και εσωτερικά σύμφωνα με το λογισμικό.



Εικόνα 3.123: Επιφάνεια Ναού από το νέφος των εικόνων

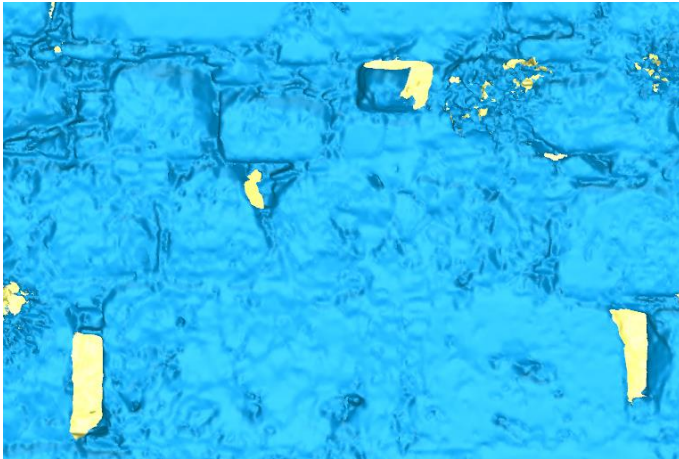


Εικόνα 3.124: Επιφάνεια Ναού από τον επίγειο σαρωτή laser FARO

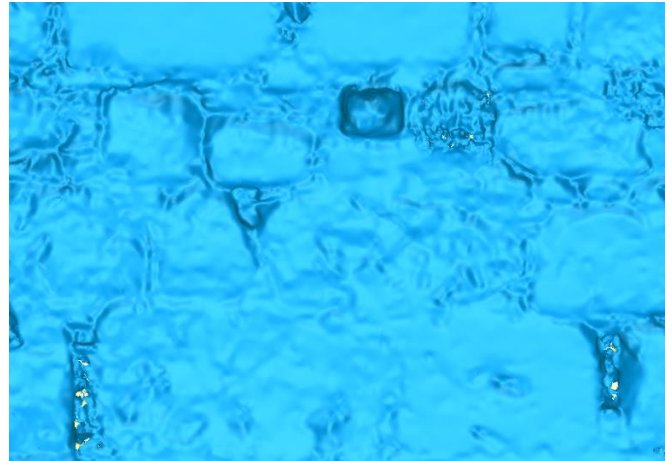
Επόμενο βήμα ήταν ο οπτικός έλεγχος κάθε επιφάνειας έτσι ώστε να διαπιστωθούν οι ελλείψεις, οι αποκρύψεις και τα λάθος τρίγωνα που ενδεχομένως να σχηματίστηκαν και να αποφασιστεί αν για κάθε αντικείμενο είναι χρήσιμο να χρησιμοποιηθούν και να συνδυαστούν, για την περιγραφή του, και οι δύο επιφάνειες που το περιγράφουν.

Όσον αφορά στον Ναό, και οι δύο μέθοδοι έχουν δώσει πολύ καλές επιφάνειες. Η επιφάνεια από τον σαρωτή Faro, λόγω της σάρωσης με υψηλή πυκνότητα έχει επιτύχει δημιουργία επιφάνειας με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια στις όψεις των τοίχων (Εικόνα 3.125). Ωστόσο, υστερεί στις οροφές τους καθώς σε αυτά τα τμήματα υπάρχει έλλειψη σημείων που οφείλονται στις θέσεις σάρωσης του σαρωτή, οι οποίες αναγκαστικά ήταν χαμηλά και έτσι ήταν αδύνατο να σαρωθούν οι οροφές σε ύψος 8 μέτρων. Επίσης σε ορισμένα σημεία υπάρχουν αποκρύψεις κατά την σάρωση, με αποτέλεσμα λιγοστά σημεία και κενό στην επιφάνεια (Εικόνα 3.126).

Η επιφάνεια από το νέφος των εικόνων, παρουσιάζει μια εξομάλυνση της επιφάνειας του αντικειμένου (Εικόνα 3.125), που ωστόσο δεν επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα. Επίσης, παρουσιάζει λιγότερες ελλείψεις και περιγράφει ικανοποιητικά το αντικείμενο, καθώς έγινε λεπτομερής λήψη εικόνων και συμμετείχαν και οι εναέριες εικόνες του Ναού. Ωστόσο, στα σημεία εσοχών έχει δημιουργηθεί επιφάνεια που δεν περιγράφει σωστά το βάθος τους, σε αντίθεση με το νέφος από τον σαρωτή Faro όπου στα σημεία αυτά δεν υπάρχουν τρίγωνα λόγω του ότι η δέσμη του laser δεν μπόρεσε να τις περιγράψει (Εικόνα 3.125).

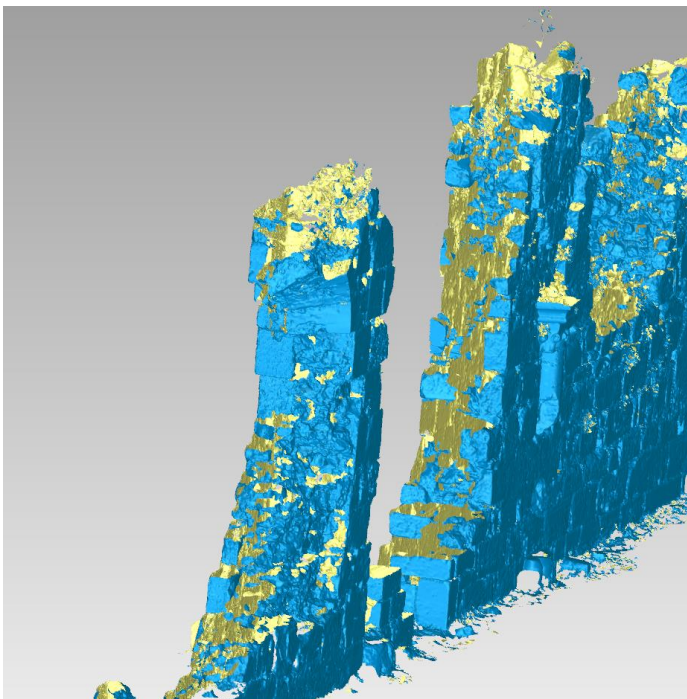


Επιφάνεια Faro

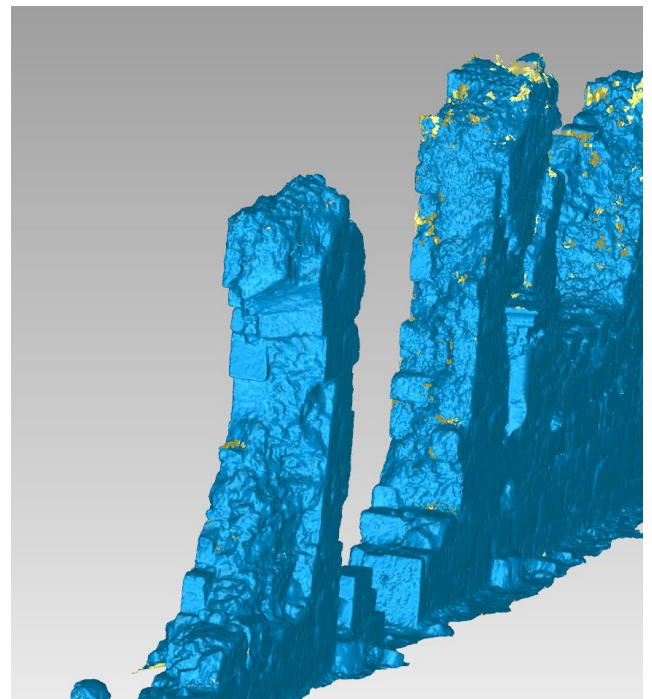


Επιφάνεια εικόνων

Εικόνα 3.125: Οπτικός έλεγχος επιφανειών



Επιφάνεια Faro

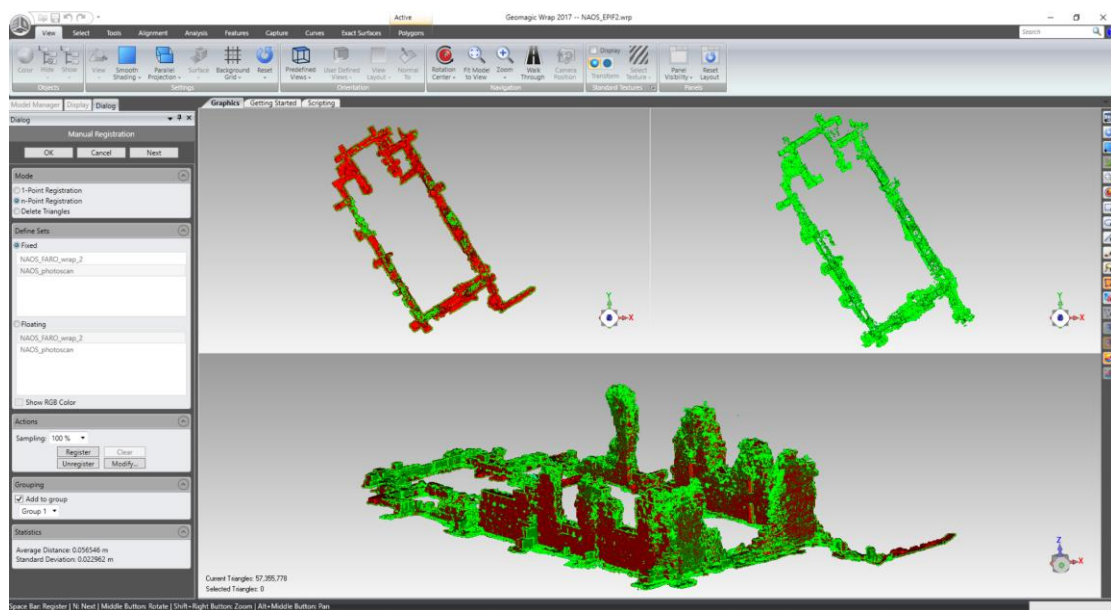


Επιφάνεια εικόνων

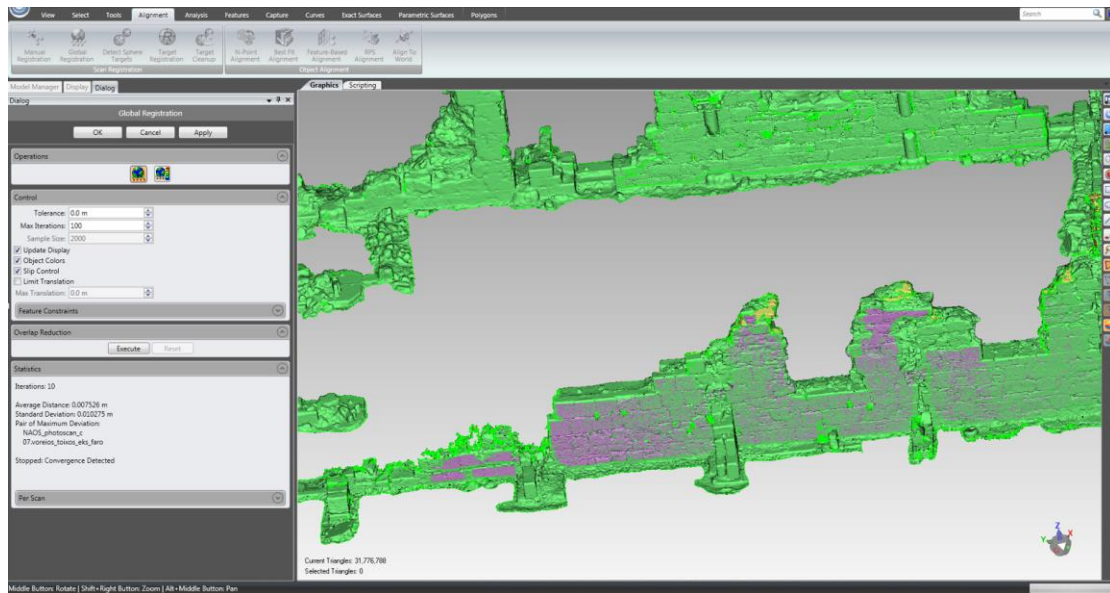
Εικόνα 3.126: Οπτικός έλεγχος επιφανειών

Με βάση τα παραπάνω, χρησιμοποιώντας ως βάση την επιφάνεια από το Metashape, η οποία λόγω κοινής γεωαναφοράς, βρίσκεται στο ίδιο σύστημα με τις εικόνες, ενώθηκαν τμήματα της επιφάνειας του Faro, έτσι ώστε να αξιοποιηθούν και οι δύο μέθοδοι και να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα. Οι τοίχοι τόσο εσωτερικά όσο και

εξωτερικά, αποκόπηκαν και αντικαταστάθηκαν από τους τοίχους της επιφάνειας του σαρωτή Faro. Οι δύο επιφάνειες ωστόσο, παρόλο που είναι στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων παρουσιάζουν μια μικρή διαφορά στην γεωαναφορά τους. Για τον σκοπό αυτό αρχικά πραγματοποιήθηκε *manual registration* των δύο επιφανειών έτσι ώστε να εξασφαλιστούν ικανοποιητικές αρχικές τιμές για την εφαρμογή του *global registration*. Οι μέση απόσταση μεταξύ των νεφών από την εφαρμογή της εντολής *manual registration* ανέρχεται στα 50 mm, τιμή που δικαιολογείται από το γεγονός ότι ο χρήστης σκοπεύει σημεία πάνω στα αντικείμενα. Το σφάλμα από την αυτόματη ταύτισή τους είναι ίσο με 8 mm, το οποίο είναι αποδεκτό σφάλμα, κάτω από τα όρια της ακρίβειας (12.5 mm).

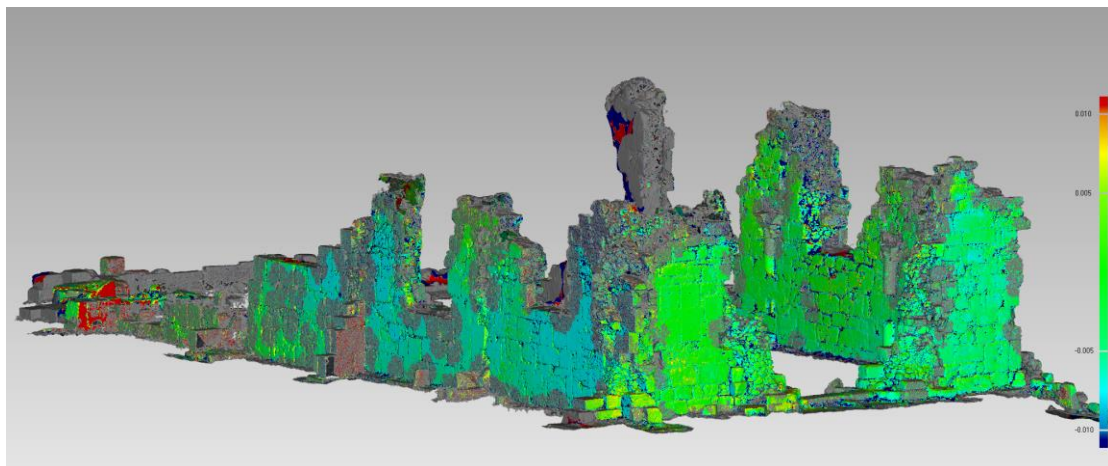


Εικόνα 3.127: Manual registration των δύο επιφανειών



Εικόνα 3.128: Global registration των δύο επιφανειών

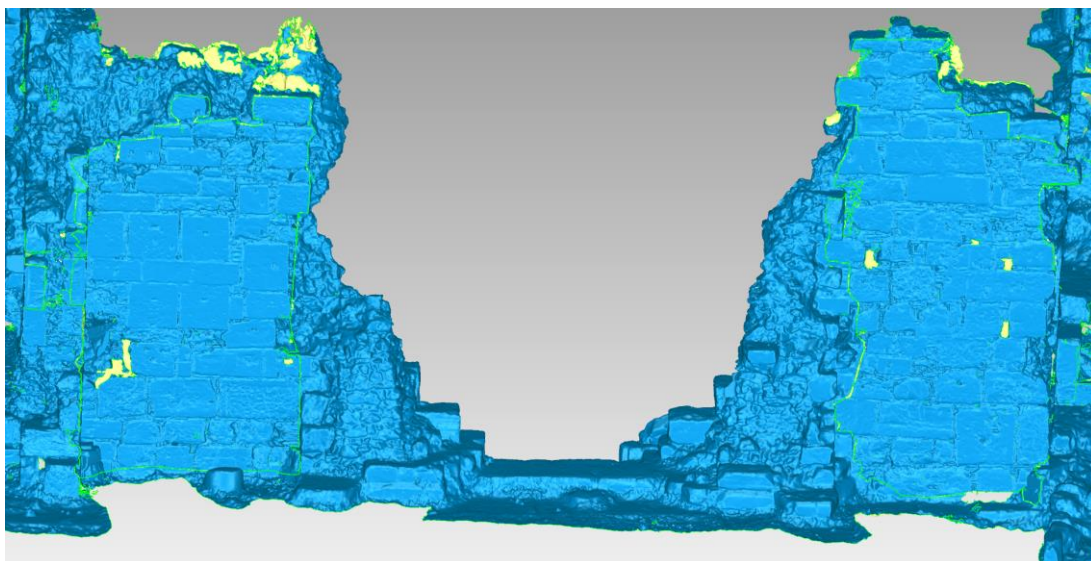
Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων global registration με το εργαλείο *Deviation* οπτικοποιήθηκαν οι διαφορές που υπάρχουν πλέον ανάμεσα στις δυο επιφάνειες και όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.129 οι διαφορές εντοπίζονται κυρίως στο διάστημα - 5 mm έως 5 mm που παρουσιάζονται με πράσινο χρώμα. Ωστόσο, σε κάποια τμήματα οι διαφορές φτάνουν τα 10 mm (κόκκινο χρώμα), που είναι αποδεκτή διαφορά και δεν θα είναι εμφανής για τα όρια της ακρίβειας που προδιαγράφονται.



Εικόνα 3.129: Οπτικοποίηση των διαφορών των δύο επιφανειών

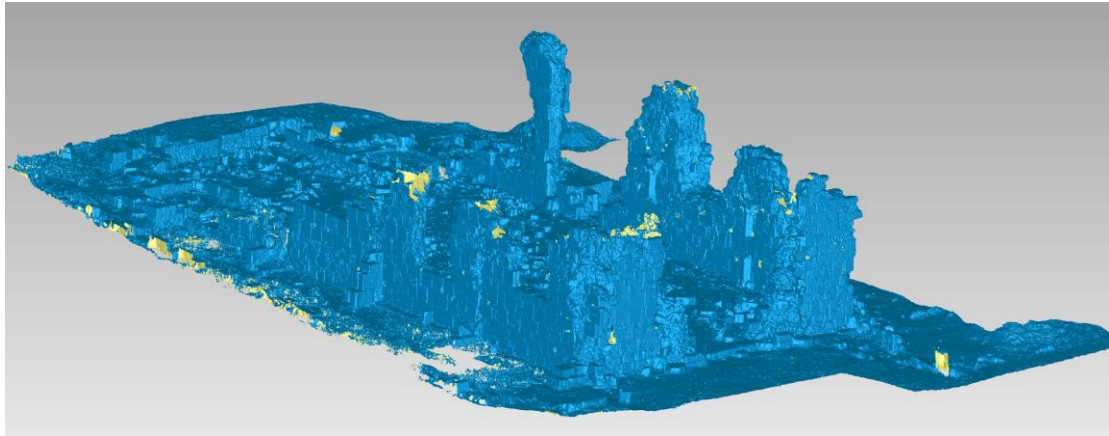
Στην συνέχεια, για κάθε τοίχο του Ναού από την επιφάνεια του Metashape αποκόπηκαν τα ανεπιθύμητα τμήματα και αντικαταστάθηκαν από τα ίδια τμήματα της επιφάνειας του Faro. Η σύνδεση πραγματοποιείτο με την χρήση του εργαλείου *fill hole*,

με το οποίο ενώνονται τρίγωνα και κλείνουν τα κενά που δημιουργούνταν από την διαγραφή και την αντικατάσταση των τοίχων (Εικόνα 3.130).



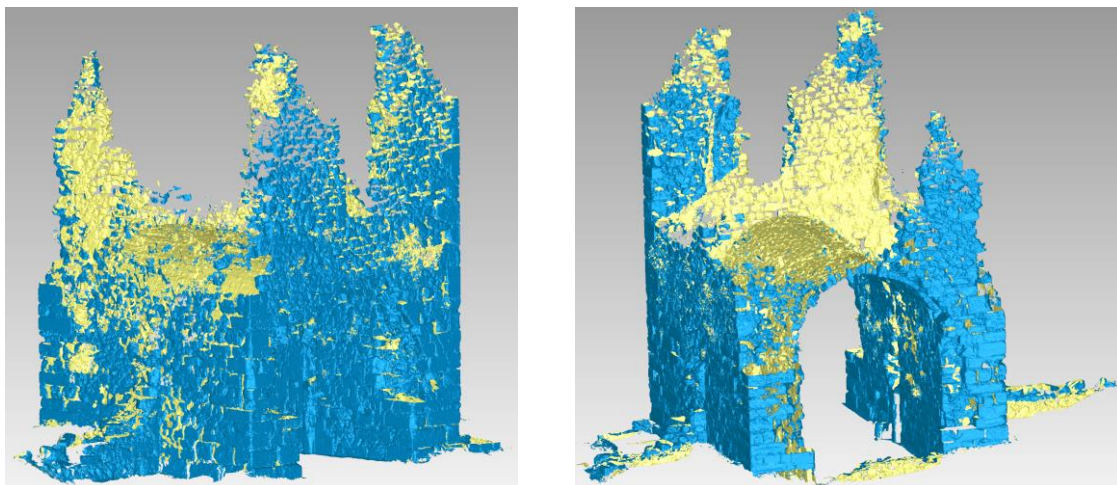
Εικόνα 3.130: Συνδυασμός επιφανειών στις όψεις των τοίχων

Με την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας ελέγχθηκε στο σύνολό της η επιφάνεια του Ναού, διορθώθηκαν λάθος τρίγωνα, διαγράφηκαν τρίγωνα που βρίσκονταν στον αέρα και συμπληρώθηκαν τα κενά/τρύπες της επιφάνειας κατάλληλα, έτσι ώστε το αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται κατά το δυνατόν στην πραγματικότητα. Μεγάλα κενά, όπως αυτά στις οροφές των τοίχων και στις περιοχές που υπήρχαν δέντρα αλλά και μικρές εσοχές των τοίχων δεν συμπληρώθηκαν, καθώς θα δημιουργείτο λάθος επιφάνεια και δεν θα ήταν αληθές το αποτέλεσμα. Καθ' όλη την διαδικασία υπήρχε συνεχώς αντιπαράβολή με τις φωτογραφίες έτσι ώστε να αποφευχθούν χονδροειδή λάθη. Η εργαλειοθήκη που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το τελευταίο στάδιο της δημιουργίας επιφάνειας είναι η εργαλειοθήκη *polygons>fill holes>fill single*. Τέλος, στην επιφάνεια του Ναού, συμπληρώθηκε και η επιφάνεια του εδάφους. Η επιφάνεια του εδάφους προέκυψε μόνο από το νέφος του Metashape, καθώς οι εναέριες λήψεις συνέβαλαν στην δημιουργία επιφάνειας για την περιγραφή των στοιχείων της οροφής και των τοίχων που βρίσκονται στο εσωτερικό του Ναού. Τα αντίστοιχα σημεία των σαρώσεων του Faro, ήταν εμφανώς λιγότερα και για αυτό επιλέχθηκε να μην χρησιμοποιηθεί. Η τελική επιφάνεια παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.131. Τα κενά στο έδαφος που παρουσιάζονται βόρεια του Ναού προκύπτουν διότι στο σημείο αυτό υπήρχε έντονη βλάστηση, λίθοι από τον Ναό που είχαν αποτεθεί εκεί αλλά και δύο δέντρα που εμπόδιζαν στην λήψη εικόνων και σαρώσεων



Εικόνα 3.131: Επιφάνεια Ναού

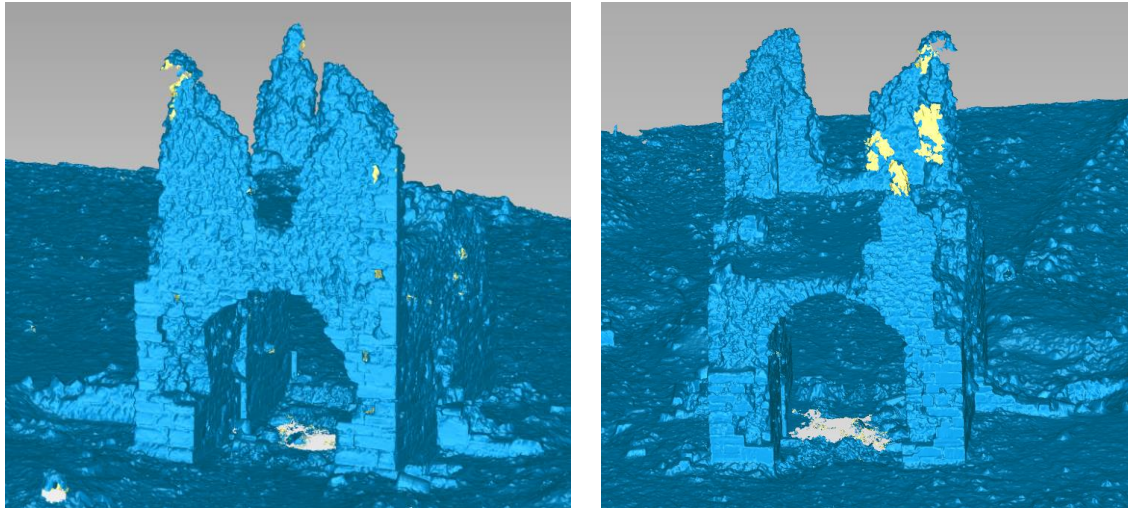
Αντίστοιχη διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για την δημιουργία της επιφάνειας της Πύλης. Τα δύο νέφη υπέστησαν κατάλληλη επεξεργασία και δημιουργήθηκαν δύο επιφάνειες. Σε αντίθεση με τον Ναό, ωστόσο, αποφασίστηκε να μην χρησιμοποιηθεί καθόλου η επιφάνεια που δημιουργήθηκε από το νέφος σημείων του επίγειου σαρωτή. Αυτό συνέβη, διότι η επιφάνεια αυτή παρουσίαζε πολλά κενά σε όλο το μήκος της, τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά. Ειδικότερα στα υψηλά τμήματα των τοίχων της Πύλης όπου έφταναν μέχρι και τα 11 μέτρα παρουσιάζονταν πολλά κενά, και η επέμβαση σε αυτά θα ήταν χρονοβόρα αλλά κυρίως θα επηρέαζε την ορθότητα του αποτελέσματος.



Εικόνα 3.132: Επιφάνεια από τον επίγειο σαρωτή laser FARO

Την πληρότητα που επιθυμείται παρουσιάζει η επιφάνεια από το νέφος των εικόνων. Το νέφος αυτό δημιουργήθηκε από τον συνδυασμό επίγειων και εναέριων λήψεων. Έτσι η επιφάνεια αυτή έχει λιγότερα κενά στα υψηλά τμήματα των τοίχων, καθώς επίσης και στο εσωτερικό του πρώτου της ορόφου. Με την χρήση της ίδιας

εργαλειοθήκης διορθώθηκε και αυτή η επιφάνεια και τέλος ενώθηκε με την επιφάνεια του εδάφους, η οποία προέκυψε από τις εναέριες λήψεις του DJI Phantom 4 Pro. Και αυτή η επιφάνεια, παρά την παρέμβαση, εξακολουθεί να έχει κενά τριγώνων, λόγω αποκρύψεων του αντικειμένου κατά την φωτογράφιση και η συμπλήρωσή τους θα επηρέαζε την ποιότητα του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 3.133: Τελική επιφάνεια Πύλης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Μετά την ολοκλήρωση των προηγούμενων διαδικασιών ακολουθεί η παραγωγή των σχεδίων για την γεωμετρική τεκμηρίωση της Μονής. Για τον σκοπό αυτό αρχικά πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των επιπέδων προβολής για κάθε όψη και τομή του Ναού και της Πύλης και στην συνέχεια έγινε παραγωγή των ορθοφωτογραφιών, ο έλεγχος και η διόρθωσή τους. Τέλος, δημιουργήθηκαν τα τελικά σχέδια, τα οποία περιέχουν όλες τις απαραίτητες μετρητικές πληροφορίες έτσι ώστε να μπορούν τα παράγωγα αυτά να χρησιμοποιηθούν για μελλοντικές μελέτες πάνω στο μνημείο.

4.1. Διερεύνηση επιπέδων προβολής

Από το νέφος σημείων για τα δύο αντικείμενα κόπηκαν οριζόντιες τομές ανά 1 μέτρο, έτσι ώστε να δημιουργηθούν οι κατόψεις τους και ταυτόχρονα να οπτικοποιηθούν οι όποιες διαφορές παρουσιάζουν οι τοίχοι όσο αυξάνεται το ύψος κάθε στοιχείου. Οι τομές αυτές δημιουργήθηκαν στο *geomagic wrap* και στην συνέχεια με την εισαγωγή τους στο *autocad* πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση για τον προσδιορισμό των κατάλληλων επιπέδων προβολής αλλά και τον προσδιορισμό των θέσεών τους για τις όψεις και τις τομές των δύο αντικειμένων.

Ναός

Με την εισαγωγή των τομών στο autocad σχεδιάστηκαν τα επίπεδα προβολής που εφαρμόζονται καλύτερα σε κάθε τοίχο για την δημιουργία των όψεων. Για κάθε τοίχο τα επίπεδα προβολής εσωτερικά και εξωτερικά αποφασίστηκε πως θα είναι παράλληλα καθώς τα σφάλματα κατά την προβολή του εσωτερικού τοίχου στο επίπεδο προβολής του εξωτερικού τοίχου ήταν πολύ μικρότερα της απαιτούμενης ακρίβειας (σχηματιζόμενες γωνίες μεταξύ των δύο επιπέδων $\sim 0.1000^{\circ}$).

Ο βόρειος και ο νότιος τοίχος δεν είναι παράλληλοι μεταξύ τους, καθώς ο Ναός παρουσιάζει διαπλάτυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά ίση με 0.62 m. Για τον λόγο αυτό για την επιλογή του κατάλληλου επιπέδου προβολής για τους δύο τοίχους αυτούς έγινε η εξής διερεύνηση:

i. Κοινό επίπεδο προβολής, παράλληλο στον βόρειο τοίχο

Η γωνία που χρηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο προβολής με τον νότιο τοίχο είναι ίση με 1.3546° και για μήκος νότιου τοίχου περίπου ίσο με 45 μέτρα το σφάλμα προβολής είναι ίσο με 1.02 cm.

ii. Κοινό επίπεδο προβολής, παράλληλο στον νότιο τοίχο

Η γωνία που χρηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο προβολής με τον βόρειο τοίχο είναι ίση με 1.3546° και για μήκος νότιου τοίχου ίσο με 45 μέτρα το σφάλμα προβολής είναι ίσο με 1.02 cm.

iii. Κοινό επίπεδο προβολής με γωνία παραμόρφωσης ίση με 0.6773°

Το σφάλμα προβολής για τους δύο τοίχους στο επίπεδο αυτό είναι ίσο με 2 mm.

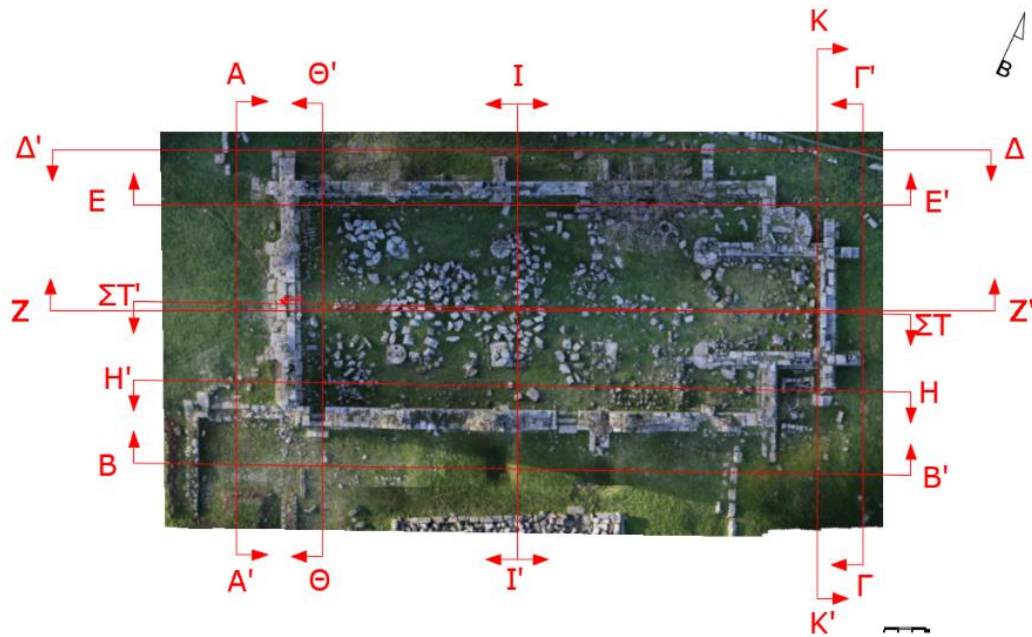
iv. Διαφορετικά επίπεδα προβολής παράλληλα σε κάθε τοίχο.

Τα σφάλματα προβολής σε αυτή την περίπτωση είναι μηδενικά διότι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο προβολής και τον τοίχο είναι μηδέν.

Με βάση την παραπάνω διερεύνηση, επιλέχθηκε η iv περίπτωση όπου τα σφάλματα είναι μηδενικά.

Ο δυτικός τοίχος επιλέχθηκε να προβάλλεται σε επίπεδο προβολής κάθετο σε αυτό του βόρειου τοίχου, καθώς έπειτα από διερεύνηση τα σφάλματα προβολής είναι μικρά και το επιτρέπουν (γωνία μεταξύ επιπέδου κάθετου στον βόρειο τοίχο και επιπέδου παράλληλου στον δυτικό τοίχο $\sim 0.4960^{\circ}$). Κατ' αυτόν τον τρόπο στις αντίστοιχες τομές ο βόρειος τοίχος θα προβάλλεται στο επίπεδο προβολής χωρίς καμία παραμόρφωση. Αντίθετα, ο νότιος τοίχος θα προβάλλεται με αισθητή παραμόρφωση της τάξης του 1.5 cm λόγω της γεωμετρίας του, καθώς οι σχηματιζόμενες γωνίες μεταξύ των επιπέδων προβολής είναι ίσες με 98.9938° και 101.0062° εξωτερικά και εσωτερικά αντίστοιχα. Ο ανατολικός τοίχος είναι παράλληλος με τον δυτικό τοίχο και έτσι έχουν το ίδιο επίπεδο προβολής, κάθετο στον βόρειο τοίχο. Οι τομές του αντικείμενου είναι οκτώ και τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις στο αντικείμενο οι οποίες παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Αποφασίστηκε να γίνουν τέσσερις κατά μήκος τομές, με επίπεδα παράλληλα σε αυτά των όψεων του βόρειου και νότιου τοίχου και τέσσερις εγκάρσιες, με επίπεδο προβολής παράλληλο με αυτό του δυτικού και του ανατολικού τοίχου.

Στην συνέχεια, μέσω του λογισμικού Geomagic Wrap, τα επίπεδα προβολής τοποθετήθηκαν πάνω στο μοντέλο, με την χρήση τριών σημείων του επιπέδου, έτσι ώστε να γίνει διερεύνηση των κατάλληλων θέσεων στο αντικείμενο για τις τομές που του αντικείμενου. Οι τελικές θέσεις των όψεων και των τομών του Ναού παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.134 που ακολουθεί.

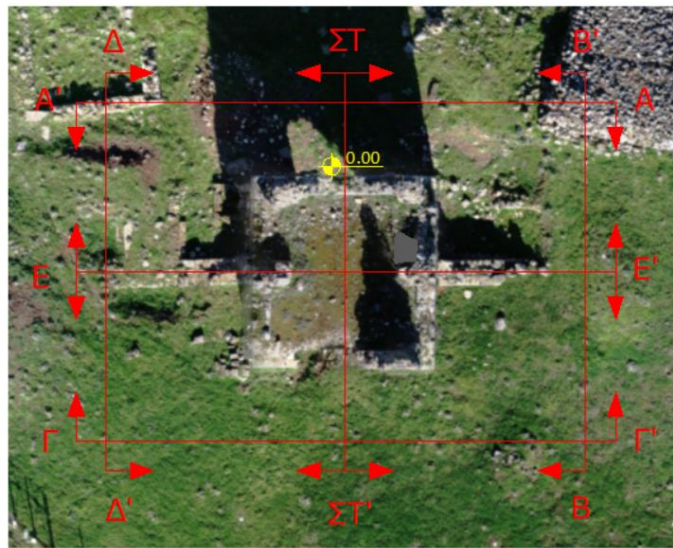


Διάγραμμα Ιχνών Επίπεδων Προβολής

Εικόνα 4.134: Επιλεγμένες θέσεις επιπέδων προβολής Ναού

Πύλη

Αντίστοιχη διερεύνηση πραγματοποιήθηκε και για την Πύλη της Μονής. Με αφετηρία το επίπεδο που εφάπτεται στα σημεία του δυτικού τοίχου της Πύλης, δημιουργήθηκαν και τα υπόλοιπα επίπεδα. Το επίπεδο προβολής του ανατολικού τοίχου της Πύλης επιλέχθηκε να είναι παράλληλο με αυτό του δυτικού τοίχου, διότι η σχηματιζόμενη γωνία μεταξύ των δύο επιπέδων είναι μικρή και ίση με 0.8186° . Το επίπεδο προβολής του βόρειου τοίχου επιλέχθηκε κάθετο στον δυτικό τοίχο καθώς η γωνία με αυτόν τον τοίχο είναι ίση με 0.6876° και η παραμόρφωση βρίσκεται κάτω από τα όρια της απαιτούμενης ακρίβειας. Αντίστοιχη επιλογή έγινε και για τον νότιο τοίχο, όπου και σε αυτόν επιλέχθηκε το επίπεδο προβολής του να είναι κάθετο στον δυτικό τοίχο και κατά συνέπεια παράλληλο στον βόρειο τοίχο, καθώς η γωνία παραμόρφωσης μεταξύ των δύο επιπέδων είναι ίση με 0.2814° . Η γεωμετρία της Πύλης είναι απλούστερη από εκείνη του Ναού και έτσι τα επιλεγμένα επίπεδα προβολής ακολουθούν την ιδανική περίπτωση, σχηματίζοντας μεταξύ τους γωνίες των 100.000° . Οι τομές που επιλέχθηκε να γίνουν είναι πέντε. Δύο κατά μήκος της Πύλης, δύο εγκάρσιες και μια οριζόντια τομή έτσι ώστε να δημιουργηθεί ορθοφωτογραφία άνοψης του εσωτερικού της Πύλης. Οι θέσεις των όψεων και των τομών παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.135 που ακολουθεί.

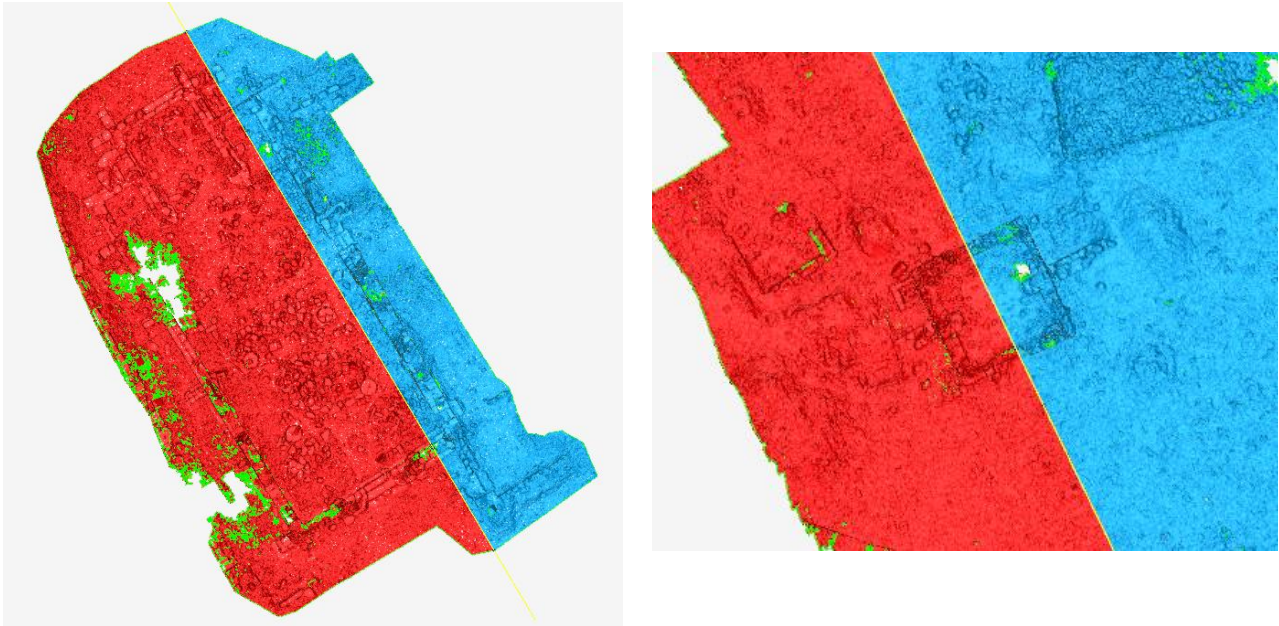


Εικόνα 4.135: Επιλεγμένες θέσεις επιπέδων προβολής Πύλη

4.2 Παραγωγή Ορθοφωτογραφιών

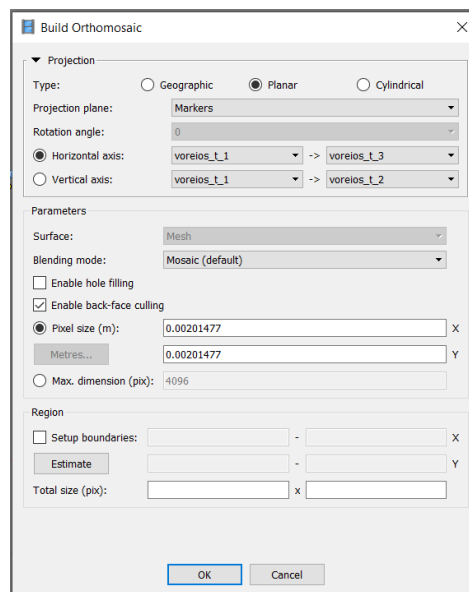
Οι ορθοφωτογραφίες που θα παραχθούν είναι στο σύνολό τους 24. Από τις λήψεις του DJI Phantom 4 Pro παράγονται οι ορθοφωτογραφίες για την οριζοντιογραφία του αρχαιολογικού χώρου. Για τον Ναό παράγονται 4 όψεις των εξωτερικών τοίχων του, 4 κατά μήκος τομές, 4 εγκάρσιες τομές, όπως επίσης και η κάτοψη του. Για την Πύλη δημιουργούνται 4 όψεις των εξωτερικών τοίχων της, 2 κατά μήκος τομές εκατέρωθεν του επιπέδου ΣΤ-ΣΤ', δύο εγκάρσιες τομές εκατέρωθεν του επιπέδου Ε-Ε' και μια άνοψη.

Για την παραγωγή των ορθοφωτογραφιών γίνεται χρήση των επιφανειών όπως αυτές δημιουργήθηκαν και περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.5. Πρώτο βήμα, είναι η εξαγωγή των απαραίτητων επιφανειών οι οποίες περιέχουν όλα τα προβαλλόμενα στοιχεία. Για τον σκοπό αυτό έγινε χρήση των επιπέδων προβολής και των θέσεων που επιλέχθηκαν για κάθε όψη και τομή. Το επίπεδο προβολής τοποθετείται στην κατάλληλη θέση και το νέφος κόβεται, κρατώντας έτσι το τμήμα της επιφάνειας που επιθυμείται. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό *geomagic* μέσω του εργαλείου *Trim with plane*, όπου επιλέγεται το επιθυμητό επίπεδο για να τμήσει την επιφάνεια του αντικειμένου.



Εικόνα 4.136: Αποκοπή επιφάνειας για την δημιουργία τομής

Στην συνέχεια, κάθε επιφάνεια καθώς και τα σημεία που ορίζουν κάθε επίπεδο προβολής εισάγονται στο λογισμικό *Agisoft Metashape* έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν στην δημιουργία της αντίστοιχης ορθοφωτογραφίας. Για κάθε ορθοφωτογραφία έγινε επιλογή των εικόνων που θα συμμετέχουν στην παραγωγή της αυξάνοντας έτσι την ποιότητα του αποτελέσματος και μειώνοντας τον χρόνο παραγωγής αλλά και διόρθωσής της. Ο χρήστης επιλέγει το επίπεδο προβολής που επιθυμεί ορίζοντας στο αντίστοιχο βήμα τα τρία σημεία που το αποτελούν.



Εικόνα 4.137: Επιλογή επιπέδου προβολής για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας



Εικόνα 4.138: Ορθοφωτογραφία δυτικού τοίχου Ναού



Εικόνα 4.139: Ορθοφωτογραφία ανατολικού τοίχου Πύλης

Κάθε ορθοφωτογραφία ελέγχθηκε προσεκτικά και παρατηρήθηκε πως σε αρκετά σημεία, παρουσιάζονταν προβλήματα λόγω της επιλογής των εικόνων που κάνει το ίδιο το λογισμικό για την σύνθεση κάθε ορθοφωτογραφίας. Έτσι, για κάθε μια ορθοφωτογραφία επιλέγονταν οι προβληματικές περιοχές με την χρήση πολυγώνου και επιλεγόταν η κατάλληλη, ή οι κατάλληλες, εικόνες για την απεικόνιση της περιοχής αυτής.

Σε πολλά σημεία ωστόσο, παρά τις προσπάθειες για διόρθωση των προβλημάτων, δεν ήταν δυνατή η διόρθωσή τους. Στις περιοχές αυτές παρουσιάζονται τμήματα του αντικειμένου αλλοιωμένα (Εικόνα 4.140) ή και περιοχές χωρίς καθόλου πληροφορία για το αντικείμενο (Εικόνα 4.141). Τα τμήματα του αντικειμένου που παρουσιάζονται αλλοιωμένα οφείλονται στην έλλειψη εικόνων για την συγκεκριμένη περιοχή ή και στην λάθος τρισδιάστατη επιφάνεια στο σημείο αυτό. Αλλοιωμένα τμήματα στις εικόνες εντοπίζονται κυρίως στα υψηλά τμήματα των τοίχων, διότι οι εναέριες εικόνες δεν απεικόνιζαν κατάλληλα τις όψεις του αντικειμένου και οι επίγειες λήψεις λόγω του μεγάλου ύψους του αντικειμένου έχουν αποκρύψει στα σημεία αυτά αλλά και μεγαλύτερη εδαφοψηφίδα, που επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα (βλ. κεφάλαιο 5).

Οι περιοχές χωρίς πληροφορία, δηλαδή οι «τρύπες», στο αντικείμενο, οφείλονται στην έλλειψη τρισδιάστατης πληροφορίας στο σημείο αυτό. Έλλειψη πληροφορίας εντοπίζεται στις οροφές του Ναού και της Πύλης αλλά και σε τμήματα των τοίχων τους, όπως κάποιες εσοχές, βλάστηση στους τοίχους και σημεία που υπήρχε κάποιο εμπόδιο και διαγράφηκε στο στάδιο της δημιουργίας της επιφάνειας (π.χ. δέντρα βόρειου τοίχου). Στα σημεία αυτά, δεν ήταν δυνατό να δημιουργηθεί επιφάνεια καθώς στις μεν εσοχές των τοίχων δεν ήταν δυνατό να εισχωρήσει η δέσμη laser του σαρωτή και να τις καταγράψει, και η δε βλάστηση παρουσιάζει θόρυβο. Οι προβληματικές περιοχές αυτές θα σημανθούν κατάλληλα στην επεξεργασία των σχεδίων στο περιβάλλον του *autocad*.

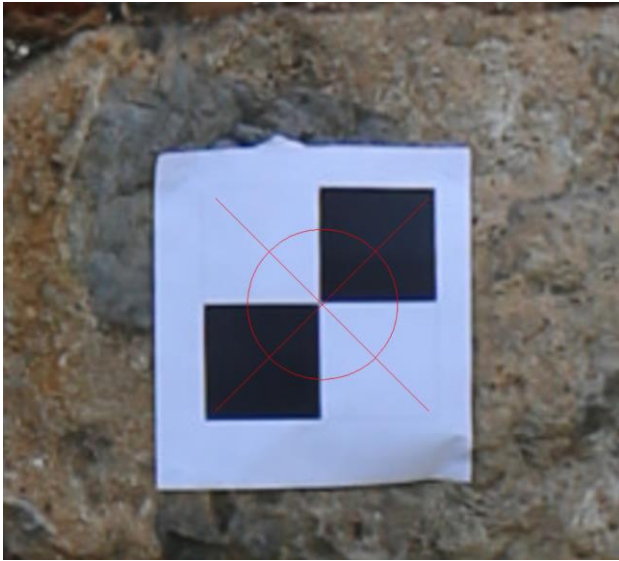


Εικόνα 4.140: Αλλοιωμένη περιοχή στην ορθοφωτογραφία



Εικόνα 4.141: Ελλιπής πληροφορία αντικειμένου

Τέλος, οι ορθοφωτογραφίες ελέγχθηκαν για την εξασφάλιση τη σωστής τους θέσης στο χώρο, με την χρήση των μετρημένων φωτοσταθερών. Για τον σκοπό αυτό έγινε εισαγωγή των ορθοφωτογραφιών στο *autocad* και τοποθέτησή τους στην σωστή τους θέση με βάση τις συντεταγμένες των σημείων των επιπέδων προβολής που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή τους. Στην συνέχεια τα μετρημένα φωτοσταθερά στράφηκαν κατάλληλα έτσι ώστε να τοποθετηθούν στο σύστημα του επιπέδου προβολής κάθε ορθοφωτογραφίας. Τα σφάλματα που προέκυψαν από αυτόν τον έλεγχο ήταν της τάξης των 2 – 5 mm, ενώ κάποια φωτοσταθερά που παρουσίαζαν αποκλίσεις μέχρι 10 mm, είχαν ήδη εξαιρεθεί στο στάδιο της γεωαναφοράς.



Εικόνα 4.142: Απόκλιση φωτοσταθερών

4.3 Απόδοση Σχεδίων

Τελευταίο και σημαντικότερο βήμα της διαδικασίας αποτελεί η απόδοση των σχεδίων της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Τα σχέδια πρέπει να περιγράφουν με ορθό τρόπο κάθε πληροφορία του αντικειμένου που είναι απαραίτητη για την ανάγνωσή του. Είναι πολύ σημαντική η σωστή απόδοση όλων εκείνων των χαρακτηριστικών που καθιστούν ένα σχέδιο κατανοητό και χρηστικό για οποιαδήποτε μελλοντική μελέτη πάνω σε αυτό. Τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτούνται για να είναι ένα σχέδιο ευανάγνωστο είναι τα εξής: Κλίμακα, Βορράς (σε περίπτωση οριζόντιας προβολής), Γεωδαιτικός κάρναβος, Υψομετρικός δείκτης, Σωστή γραμμογραφία, Σκαρίφημα θέσεων όψεων και τομών, Υπόμνημα και Πίνακίδα.

Οι ορθοφωτογραφίες έχουν ήδη τοποθετηθεί στην θέση τους κατά τον έλεγχο των σφαλμάτων με τα φωτοσταθερά. Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή της γραμμής τομής του εδάφους για κάθε σχέδιο. Οι γραμμές τομής στρέφονται κατάλληλα στον 3-D χώρο, έτσι ώστε να μεταφερθούν στο σύστημα του επιπέδου προβολής και πάνω στην ορθοφωτογραφία. Στην συνέχεια, κάθε ορθοφωτογραφία κόβεται με βάση την γραμμή τομής, έτσι ώστε να διαγραφούν αντικείμενα που προβάλλονται κάτω από αυτήν και είναι λάθος, αλλά και σε σημεία όπου υπάρχει λάθος πληροφορία (π.χ. ουρανός).

Σε πολλά τμήματα των Ορθοφωτογραφιών, όπου υπήρχε έλλειψη εικόνων ή αποκρύψεις (δέντρα, δομικά στοιχεία στο μέσο του Ναού) έγινε χρήση της επιφάνειας του αντικειμένου, έτσι ώστε να συμπεριληφθεί όλη η απαραίτητη μετρητική πληροφορία. Κάθε περιοχή στις ορθοφωτογραφίες που παρουσιάζει έλλειψη

πληροφορίας και δεν ήταν δυνατό να συμπληρωθεί από την επιφάνεια, (π.χ. εσοχή του αντικειμένου) επισημάνθηκε με κατάλληλο χρώμα.



Εικόνα 4.143: Χρήση της επιφάνειας στις ορθοφωτογραφίες



Εικόνα 4.144: Επισημάνση ελλιπούς πληροφορίας



Εικόνα 4.145: Επισημάνση ελλιπούς πληροφορίας

Στις ορθοφωτογραφίες των όψεων και των τομών του Ναού, όπου υπήρχαν κενά στις “οροφές” τους, έγινε χρήση των δεδομένων του DJI Phantom 4 Pro, τα οποία είχαν υποστεί επεξεργασία μόνο για την παραγωγή του σχεδίου της οριζοντιογραφίας. Για τον σκοπό αυτό, με την χρήση των επιπέδων προβολής που είχαν οριστεί δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες ορθοφωτογραφίες, με στόχο την κατάλληλη συμπλήρωση των ορθοφωτογραφιών στα «προβληματικά» σημεία. Οι ορθοφωτογραφίες συμπληρώνουν τα κενά που έχουν δημιουργηθεί, αλλά και σε αυτές παρουσιάζονται δύο προβλήματα που επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Ο χρωματισμός των ορθοφωτογραφιών αυτών διαφέρει καθώς άλλαξαν οι καιρικές συνθήκες μέσα στην ημέρα, με αποτέλεσμα οι εικόνες να είναι πολύ φωτεινές εξωτερικά και πολύ σκοτεινές εσωτερικά. Κύριο πρόβλημα ωστόσο αποτελεί το γεγονός πως και σε αυτές τις εικόνες υπάρχουν αλλοιώσεις στις όψεις ακόμα και στα υψηλά τμήματα του αντικειμένου λόγω έλλειψης εικόνων.



Εικόνα 4.146: Χρήση Ο/Φ από το DJI Phantom 4 Pro για συμπλήρωση της Ο/Φ

Η οριζοντιογραφία του αρχαιολογικού χώρου, όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο της συλλογής δεδομένων, προκύπτει από τις ορθοφωτογραφίες του DJI Phantom 4 Pro. Ωστόσο, επειδή οι ορθοφωτογραφίες αυτές δεν καλύπτουν όλο τον αρχαιολογικό χώρο έγινε χρήση ορθοφωτογραφίας που προέκυψε από δεύτερη επίσκεψη στον αρχαιολογικό χώρο στις 08/12/2019, όπου πραγματοποιήθηκε πτήση με το UAV DJI Phantom 4 στα 50 μέτρα.



Σχέδιο 4.4: Σχέδιο Οριζοντιογραφίας

Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία της ορθοφωτογραφίας, για τις όψεις και τις τομές, τοποθετείται εκατέρωθεν ο Υψομετρικός δείκτης, έτσι ώστε να είναι εύκολη η μέτρηση οποιασδήποτε στάθμης. Ως υψομετρική αφετηρία ορίστηκε η είσοδος του Ναού και η είσοδος της Πύλης αντίστοιχα, με αυθαίρετο υψόμετρο 0.00 m. Στις κατόψεις και στην οριζοντιογραφία τοποθετούνται στάθμες σε όλη την επιφάνεια του αντικειμένου και γεωδαιτικός κάρναβος.

Τέλος, στα δεξιά του σχεδίου τοποθετούνται το σκαρίφημα που υποδεικνύει τις θέσεις των όψεων και των τομών, τονίζοντας κάθε φορά αυτήν που παρουσιάζεται στο σχέδιο, το υπόμνημα που παρουσιάζει όλα τα γραμμικά στοιχεία που έχουν σχεδιαστεί

πάνω στην ορθοφωτογραφία, και την πινακίδα, όπου αναγράφονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για την περιγραφή του σχεδίου, όπως ο τίτλος του σχεδίου, ο αριθμός σχεδίου, η κλίμακα, ημερομηνία κ.ά.



Σχέδιο 4.5: Δυτική όψη της Πύλης της Μονής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Προβλήματα στα στάδια συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων

Οι μετρήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκαν στις 13 Μαρτίου 2019, και στόχος ήταν να ολοκληρωθούν μέσα σε μία ημέρα. Για τον σκοπό αυτό πολλές εργασίες πραγματοποιούνταν παράλληλα, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος συλλογής δεδομένων. Το μνημείο χωροθετείται στα ορεινά του νομού Κορινθίας και δεδομένης της ημερομηνίας που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, ο καιρός ήταν άστατος, με βροχή και κρύο το πρωί και ηλιοφάνεια το μεσημέρι.

Η έκταση του αντικείμενου και η γεωμετρία του, απαιτούσαν την τοποθέτηση αρκετών κορυφών του δικτύου αλλά και στόχων στο αντικείμενο αλλά και στο έδαφος. Για τον λόγο αυτό, οι μετρήσεις διήρκησαν όλη την ημέρα με στόχο την επίτευξη των καλύτερων δυνατών μετρήσεων. Η διαδικασία ήταν χρονοβόρα, καθώς απαιτείτο χρόνος κέντρωσης και οριζοντίωσης του total station αλλά και προσεκτικής σκόπευσης σε κάθε κορυφή και στόχο. Στο πλαίσιο αυτό, ωστόσο, δημιουργήθηκε μια σημαντική παράλειψη διότι δεν σκοπεύθηκαν σημεία ελέγχου σε χαρακτηριστικά σημεία του αντικείμενου, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί έλεγχος των ορθοφωτογραφιών ως προς την θέση τους στον χώρο.

Λόγω του ταυτόχρονου των διαδικασιών, στις σαρώσεις, παρά τις προσπάθειες να μην βρίσκεται κανείς εντός της εμβέλειας του σαρωτή, έτσι ώστε να μην υπάρξουν αποκρύψεις στο αντικείμενο, σε κάποιες περιοχές αυτό δεν επετεύχθη. Σε κάποιες περιοχές, στην καταγραφή δεδομένων με τον σαρωτή laser FARO έχουν σαρωθεί φιγούρες που εκείνη την στιγμή διεκπεραίωναν κάποια άλλη εργασία. Ωστόσο, εφόσον τα εμπόδια μετακινούνταν συνεχώς και δεν εφάπτονταν σε κανένα σημείο ενδιαφέροντος, διαγράφηκαν στο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων.

Οι λήψεις εικόνων πραγματοποιούνταν καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, από νωρίς το πρωί μέχρι και αργά το απόγευμα. Όπως αναφέρθηκε, ο καιρός παρουσίαζε συνεχείς αλλαγές γεγονός που αποτυπώνεται στις εικόνες και φυσικά επηρεάζει και το τελικό αποτέλεσμα. Οι επίγειες λήψεις του Ναού και της Πύλης που πραγματοποιήθηκαν νωρίς το πρωί έχουν σκούρο φωτισμό, κάτι που είναι επιθυμητό στις φωτογραμμετρικές διαδικασίες, αλλά σε ορισμένες λήψεις υπάρχουν θολώματα στο αντικείμενο λόγω της βροχής που δημιούργησε στάμπα στον φακό (Εικόνα 4.147). Οι εναέριες λήψεις με την χρήση του DJI Phantom έγιναν αργότερα μέσα στην ημέρα όπου ο καιρός είχε ανοίξει με αποτέλεσμα σε πολλά τμήματα των εικόνων να εμφανίζονται λευκά τα αντικείμενα λόγω της έντονης ηλιοφάνειας αλλά και

δημιουργούνται σκιάσεις (Εικόνα 4.149). Τέλος, κάποιες ακόμη λήψεις για την Πύλη, αλλά και για τον Ναό που πραγματοποιήθηκαν τις απογευματινές ώρες, κατά την δύση του ηλίου και έπειτα, παρουσιάζουν σκιάσεις σε πολλά τμήματά τους, αλλά επίσης, δεν έχουν και την απαραίτητη εστίαση στο αντικείμενο λόγω του φωτισμού κατά την λήψη τους (Εικόνα 4.148). Αντίστοιχα με τις σαρώσεις, και στην φωτογράφιση σε ορισμένες λήψεις παρατηρείται ο εξοπλισμός που είχε τοποθετηθεί εκεί για κάποια άλλη μέτρηση. Ωστόσο, λόγω του ότι βρίσκεται στο βάθος της εικόνας σε περιοχή εκτός της εστίασης η παρουσία τους δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα (Εικόνα 4.150).



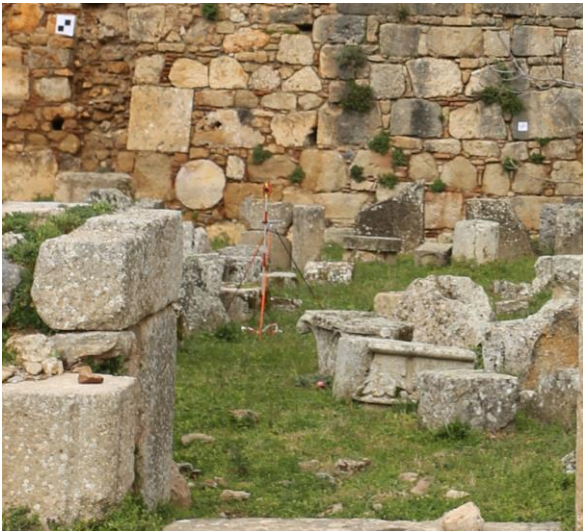
Εικόνα 5.147: Αποκρύψεις κατά την λήψη εικόνων



Εικόνα 5.148: Σκιές από την δύση του ηλίου κατά την λήψη εικόνων



Εικόνα 5.149: Υπερφωτισμένα αντικείμενα στις εικόνες



Εικόνα 5.150: Εξοπλισμός στις λήψεις

Περισσότερα προβλήματα, παρουσιάστηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων. Το πρώτο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν στην επεξεργασία των δεδομένων των σαρωτών. Τα δεδομένα σαρώσεων του επίγειου σαρωτή laser FARO από τις διάφορες θέσεις σάρωσης στον Ναό και στην Πύλη, στην πρώτη προσπάθεια που πραγματοποιήθηκε για την συνένωσή τους, παρουσίασαν μεγάλα σφάλματα. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε στην μικρή επικάλυψη μεταξύ μακρινών σαρώσεων (Ναός – Πύλη) και αποφασίστηκε να γίνουν αρχικά συνενώσεις σε μικρότερες ομάδες σαρώσεων και έπειτα συνολικά για τον Ναό και την Πύλη ξεχωριστά. Με την μέθοδο

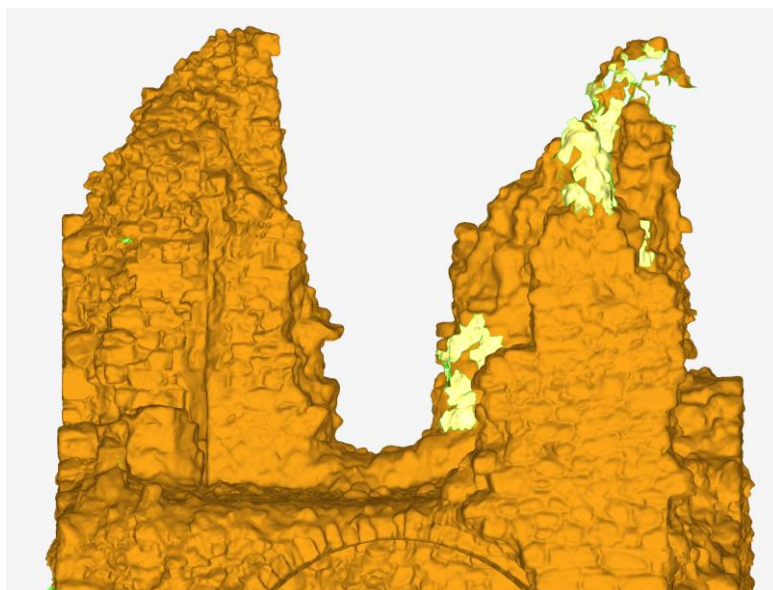
αυτή τα σφάλματα συνένωσης μειώθηκαν αισθητά και είναι ίσα με 4 mm για την πύλη και περίπου 10 mm για τις σαρώσεις του Ναού.

Επόμενο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν η γεωαναφορά των σαρώσεων του σαρωτή χειρός Zeb Revo, καθώς είχαν σαρωθεί μόνο δύο σφαίρες για την γεωαναφορά του και τα διαθέσιμα λογισμικά απαιτούσαν τουλάχιστον τρεις σφαίρες στον χώρο έτσι ώστε να μπορέσουν να ολοκληρώσουν την γεωαναφορά του στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Για τον λόγο αυτό, αποφασίστηκε, τα δεδομένα του σαρωτή να γεωαναφερθούν με βάση το νέφος του επίγειου σαρωτή FARO, καθώς οι σαρώσεις του αποτελούν απευθείας μετρήσεις στο αντικείμενο, έχουν πολύ καλή ακρίβεια και έχουν επιτευχθεί πολύ μικρά σφάλματα στην γεωαναφορά του.

Όσον αφορά στην επεξεργασία των εικόνων, στο στάδιο της σκόπευσης των φωτοσταθερών, ως σημεία σύνδεσης, απαιτείτο μεγάλη προσοχή, έτσι ώστε τα σφάλματα να είναι τα ελάχιστα δυνατά. Στο στάδιο της γεωαναφοράς, ορισμένα φωτοσταθερά δημιουργούσαν μεγάλα σφάλματα στην γεωαναφορά του μοντέλου και έπρεπε να εξαιρεθούν, γεγονός που ήταν εφικτό καθώς υπήρχε πληθώρα σκοπευμένων στόχων και φωτοσταθερών τόσο στους τοίχους όσο και στο έδαφος. Ένα ακόμα πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν ο θόρυβος γύρω από τα αντικείμενα στο στάδιο της επεξεργασίας του πυκνού νέφους σημείων. Για την αντιμετώπισή του στον Ναό αποφασίστηκε να διαγραφεί χειροκίνητα και με την χρήση φίλτρων στην μετέπειτα επεξεργασία του στο λογισμικό *geomagic*, ενώ αντίθετα για την Πύλη αποφασίστηκε η τοποθέτηση μασκών, στις εικόνες πριν την δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων.

Για τα νέφη από τον επίγειο σαρωτή το πρόβλημα εντοπίστηκε στην έλλειψη σημείων, λόγω των θέσεων σάρωσης του σαρωτή. Για τον Ναό, ήταν απαραίτητες περισσότερες σαρώσεις, έτσι ώστε να μην υπάρχουν αποκρύψεις σε διάφορα τμήματά του. Για την Πύλη, λόγω του ύψους των τοίχων της (μέχρι και 11 μέτρα) ήταν απαραίτητες περισσότερες σαρώσεις σε μεγαλύτερο ύψος (π.χ. με μια σκαλωσιά) αλλά και εσωτερικά του ορόφου της έτσι ώστε να γίνει καταγραφή των εσωτερικών της τοίχων. Για το νέφος των εικόνων, κενά δημιουργήθηκαν κυρίως στα υψηλά τμήματα των αντικειμένων, καθώς ήταν απαραίτητη η λήψη εναέριων εικόνων και υπό γωνία στα αντικείμενα, έτσι ώστε να υπάρχουν περισσότερες εικόνες στα σημεία αυτά. Εναλλακτικά, και εδώ οι επίγειες λήψεις θα μπορούσαν να είχαν πραγματοποιηθεί με την χρήση σκάλας ή σκαλωσιάς ή κονταριού. Στο στάδιο αυτό κύριος προβληματισμός ήταν ο τρόπος με τον οποίο θα συμπληρώνονταν τα κενά των επιφανειών που υπήρχαν έτσι ώστε να μην αλλοιωθεί το σχήμα του αντικειμένου. Η διαδικασία αυτή

ήταν χρονοβόρα καθώς για την αποφυγή χονδροειδών λαθών υπήρχε συνεχής αντιπαραβολή με τις εικόνες των αντικειμένων.



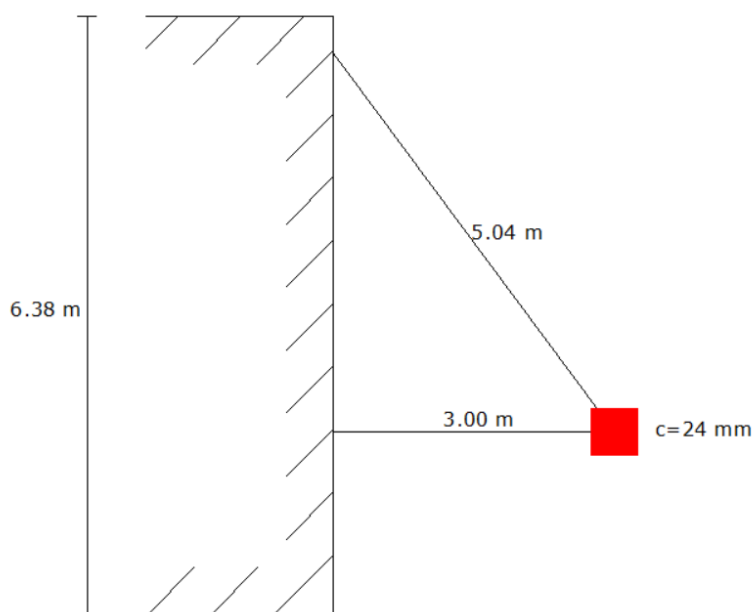
Εικόνα 5.151: Παράδειγμα κενών στην τελική επιφάνεια της Πύλης

Στο τελευταίο στάδιο της διαδικασίας, στο στάδιο παραγωγής ορθοφωτογραφιών παρατηρήθηκαν οι ελλείψεις που υπήρχαν στις λήψεις των εικόνων. Όπως παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4, σε πολλά τμήματα των ορθοφωτογραφιών παρουσιάζονται τρύπες και αλλοιώσεις.

Οι «τρύπες» στις ορθοφωτογραφίες αποδίδονται στα κενά που υπάρχουν στις επιφάνειες και έτσι στο σημείο αυτό δεν μπορεί να γίνει παρεμβολή και δημιουργία ορθοφωτογραφίας. Για την κάλυψη των κενών έγινε χρήση ορθοφωτογραφιών από το μοντέλο του DJI Phantom 4 Pro που ήταν η μόνη μέθοδος που δεν είχε χρησιμοποιηθεί και εξετάστηκε αν κάλυπτε τα κενά. Οι ορθοφωτογραφίες συμπληρώθηκαν στα σημεία αυτά από τις ορθοφωτογραφίες του Phantom, ωστόσο τα χρώματα διέφεραν αισθητά λόγω των συνθηκών φωτογράφισης σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους. Μια μεγαλύτερη ομοιομορφία θα μπορούσε να επιτευχθεί με την κατάλληλη εφαρμογή διαδικασιών ψηφιακής επεξεργασίας στις εικόνες και στην συνέχεια να πραγματοποιηθεί η σύνθεσή τους.

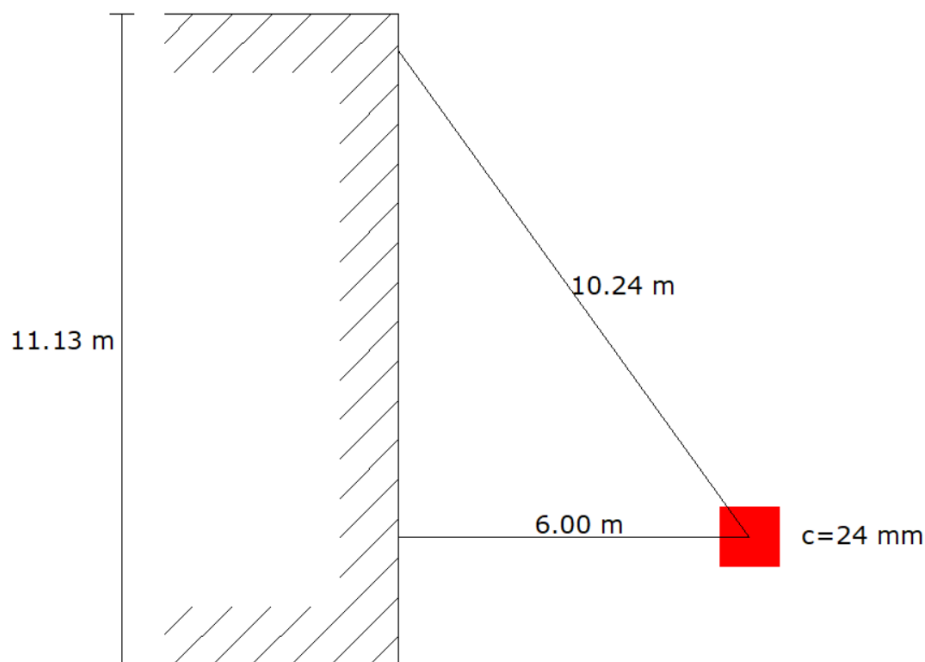
Οι αλλοιώσεις οφείλονται στις εικόνες από τις οποίες έχει γίνει η σύνθεση κάθε ορθοφωτογραφίας. Σε περιοχές όπως στο κέντρο του Ναού, όπου υπήρχαν διάσπαρτα δομικά στοιχεία, αλλά και σε τμήματα των τοίχων όπου δεν είχαν φωτογραφηθεί, οι ορθοφωτογραφίες συμπληρώθηκαν με την χρήση της επιφάνειας

των αντικειμένων. Ωστόσο, οι αλλοιώσεις ως επί το πλείστον συγκεντρώνονται στα υψηλά τμήματα των αντικειμένων. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους: Στις επίγειες εικόνες που αποτυπώνουν το συγκεκριμένο τμήμα το κέντρο λήψης τους βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση σε σχέση με τα χαμηλότερα τμήματα, γεγονός που συνεπάγεται αύξηση του μεγέθους της εδαφοψηφίδας στο σημείο αυτό. Επίσης, λόγω της γωνίας ω που σχηματίζεται υπάρχουν αποκρύψεις στο αντικείμενο σε εκείνο το ύψος. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να επιλυθεί με την χρήση κάποιου κονταριού για την λήψη εικόνων ή κάποιας σκάλας ή σκαλωσιάς, έτσι ώστε να μειωθεί η απόσταση κέντρου λήψης – αντικειμένου αλλά και να μειωθεί η γωνία ω . Ένας ακόμη λόγος, για τον οποίο υπάρχουν οι αλλοιώσεις είναι ότι παρόλο που υπάρχουν εναέριες λήψεις, έχουν υλοποιηθεί με την κάμερα κατακόρυφη προς το αντικείμενο με αποτέλεσμα τα υψηλά τμήματα των αντικειμένων να μην φωτογραφίζονται ούτε κατ' αυτόν τον τρόπο. Μια λύση ακόμη θα ήταν η εναέρια φωτογράφιση του αντικειμένου τόσο με την κάμερα κατακόρυφη, έτσι ώστε να υπάρχουν οι οροφές των αντικειμένων, αλλά και με την κάμερα υπό γωνία από τα αντικείμενα έτσι ώστε να καταγραφεί όλη η απαραίτητη πληροφορία.



1. $S = 5.04$ m, $c = 24$ mm, $1/K = 1/210$, $d = 6.6$ μ m, $D = 1.39$ mm
2. $S = 3.00$ m, $c = 24$ mm, $1/K = 1/125$, $d = 6.6$ μ m, $D = 0.83$ mm

Εικόνα 5.152: Σκαρίφημα αποστάσεων λήψης για τον Ναό



1. $S = 10.24 \text{ m}$, $c = 24 \text{ mm}$, $1/K = 1/427$, $d = 6.6 \text{ }\mu\text{m}$, $D = 2.81 \text{ mm}$
2. $S = 6.00 \text{ m}$, $c = 24 \text{ mm}$, $1/K = 1/250$, $d = 6.6 \text{ }\mu\text{m}$, $D = 1.65 \text{ mm}$

Εικόνα 5.153: Σκαρίφημα αποστάσεων λήψης για την Πύλη

Τέλος, σε όλη την διάρκεια της επεξεργασίας λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων απαιτείτο αρκετός χρόνος επεξεργασίας και πολλές φορές η διαδικασίες επαναλαμβάνονταν πολλές φορές με την επιλογή διαφόρων παραμέτρων μέχρις ότου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

5.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Με την ολοκλήρωση της παραγωγής των ορθοφωτογραφιών και της απόδοσης των σχεδίων, ακολουθεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η ορθότητα και πιστότητα των τελικών προϊόντων.

Η αξιολόγηση της γεωαναφοράς των τελικών ορθοφωτογραφιών, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4, πραγματοποιήθηκε με την χρήση των στόχων που είχαν τοποθετηθεί στο έδαφος και στους τοίχους, λόγω της έλλειψης πρόσθετων σημείων ελέγχου πάνω στα αντικείμενα. Έτσι, οι τελικές ακρίβειες της γεωαναφοράς είναι της τάξης των 5 mm, όπως προέκυψαν από την επεξεργασία των project στο περιβάλλον *Metashape*.

Project	Phantom Ναός	Phantom Πύλη	Επίγειες λήψεις Ναού	UAV κάτοψης Ναού	Επίγειες και εναέριες λήψεις Ναού	Επίγειες λήψεις Πύλης
Σφάλμα γεωαναφοράς	±4.9 mm	±5 mm	±5 mm	±5.8 mm	±4.6 mm	±3.1 mm

Πίνακας 5.15: Σφάλματα γεωαναφοράς

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι στο περιβάλλον του *autocad*. Για κάθε έλεγχο συνδυάζονταν κατάλληλα οι όψεις, οι τομές και οι κατόψεις, έτσι ώστε να πραγματοποιηθούν οριζοντιογραφικοί και υψομετρικοί έλεγχοι σε κάθε σχέδιο.

Για τους οριζοντιογραφικούς ελέγχους, έγινε χρήση των κατόψεων του Ναού και της Πύλης αντίστοιχα, οι οποίες στρέφονταν κατάλληλα στο τρισδιάστατο χώρο κάθε φορά, με βάση το αζιμούθιο του επιπέδου προβολής, έτσι ώστε να τοποθετηθούν σε θέσεις παράλληλες με τις όψεις και τις τομές. Ο έλεγχος σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείτο με την χρήση κατακόρυφων γραμμών σε χαρακτηριστικά σημεία του αντικειμένου (π.χ. ακμές). Αντίστοιχα, για τους υψομετρικούς ελέγχους οι ορθοφωτογραφίες των όψεων και των τομών τοποθετούνταν παράλληλα, με την ίδια υψομετρική αφετηρία και σχεδιάζονταν οριζόντιες γραμμές οι οποίες διέρχονταν από ομόλογα, χαρακτηριστικά σημεία των αντικειμένων.

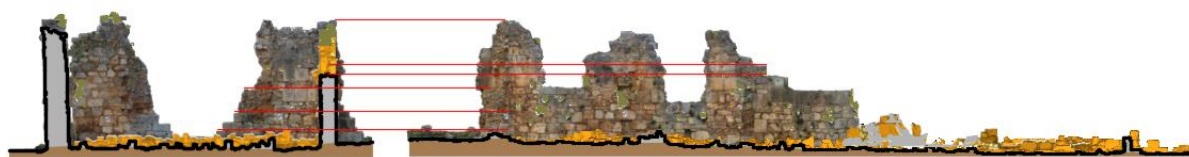
Ενδεικτικά, στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται κάποιοι από τους ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν για τον Ναό και την Πύλη.



Εικόνα 5.154: Οριζοντιογραφικός έλεγχος της Ανατολικής όψης Α – Α' του Ναού της Μονής



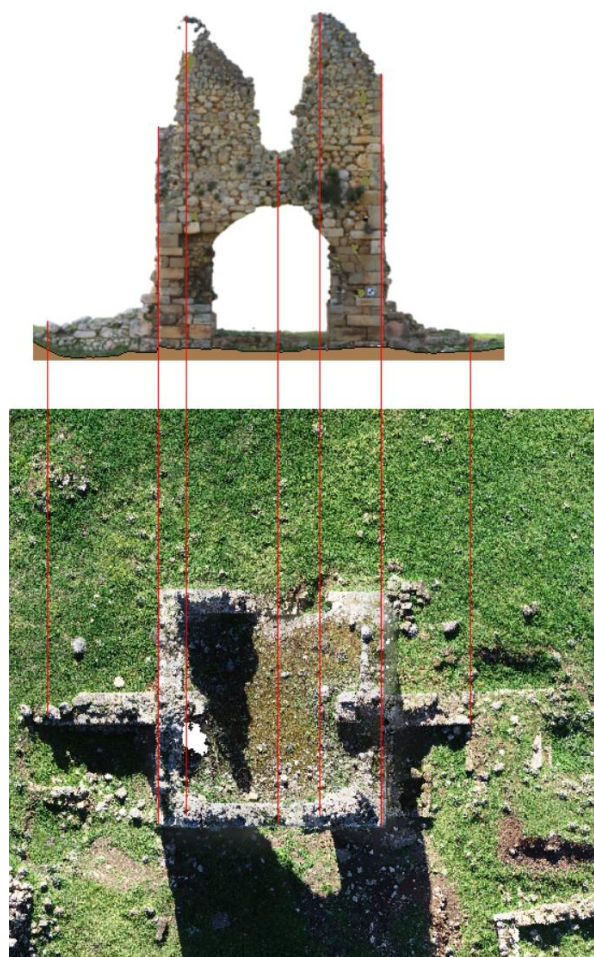
Εικόνα 5.155: Οριζοντιογραφικός έλεγχος της Βόρειας όψης Β – Β' του Ναού της Μονής



Εικόνα 5.156: Υψόμετρικός έλεγχος των τομών Θ – Θ' και Z – Z' του Ναού της Μονής



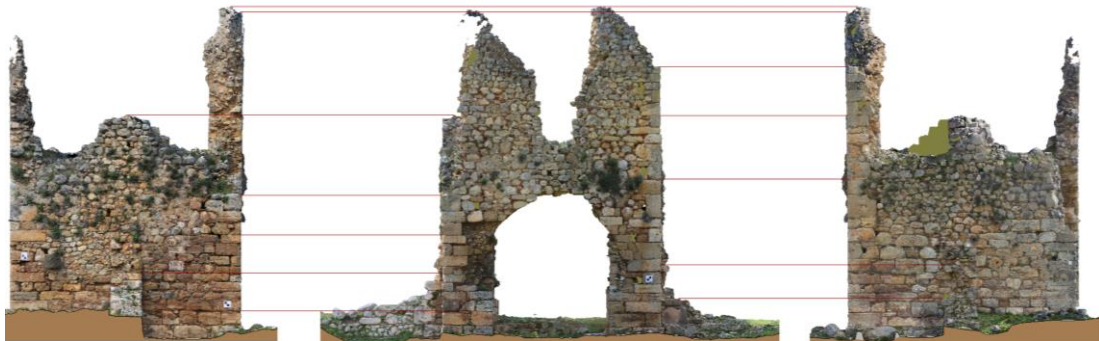
Εικόνα 5.157: Υψόμετρικός έλεγχος των όψεων Α – Α', Β – Β' και της τομής Ε – Ε' του Ναού της Μονής



Εικόνα 5.158: Οριζοντιογραφικός έλεγχος της Δυτικής όψης Α – Α' της Πύλης της Μονής



Εικόνα 5.159: Οριζοντιογραφικός έλεγχος της Βόρειας όψης Β - Β' της Πύλης της Μονής



Εικόνα 5.160: Υψομετρικός έλεγχος των όψεων B – B', A – A' και Δ – Δ' της Πύλης της Μονής



Εικόνα 5.161: Υψομετρικός έλεγχος των τομών ΣΤ – ΣΤ', ΣΤ' – ΣΤ και της όψης Γ – Γ'

Ως αποτέλεσμα προέκυψε πως τα σχέδια έρχονται σε πλήρη ταύτιση μεταξύ τους, ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις οι αποκλίσεις ήταν της τάξης των 4 - 6 χιλιοστών, διαφορά που είναι μικρότερη της απαιτούμενης ακρίβειας (1.25 cm) για την κλίμακα 1:50. Επομένως, τα σχέδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τεκμηριωτικά προϊόντα για την συγκεκριμένη κλίμακα απόδοσης.

5.3 Αποκτηθείσα Εμπειρία

Το σημαντικότερο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας είναι οι γνώσεις και οι εμπειρία που αποκτάται μέσω της ενασχόλησης με τις διαδικασίες της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, όπου αποτυπώνουν το παρόν ενός μνημείου. Επίσης, η διαδικασίες της γεωμετρικής τεκμηρίωσης προσφέρουν την ευκαιρία της κατανόησης της σημασίας και της μοναδικότητας κάθε μνημείου, καθώς και την θέση του μέσα στον χώρο και στον χρόνο αντλώντας πληροφορίες μέσα από τα ιστορικά τους στοιχεία.

Η συλλογή δεδομένων είναι μια διαδικασία που πρέπει να έχει προσχεδιαστεί ως έναν βαθμό, πριν την επίσκεψη στο μνημείο, να μελετηθούν οι ιδιαιτερότητές του και να επιλεγεί ο κατάλληλος εξοπλισμός για τις μετρήσεις πεδίου. Κατά την επίσκεψη στο πεδίο είναι σημαντικό να υπάρχει οργάνωση και συνεννόηση ανάμεσα στα μέλη του συνεργείου έτσι ώστε να επιτευχθεί η τάχιστα ολοκλήρωση των εργασιών, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν παραλείψεις στα δεδομένα. Η συλλογή δεδομένων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει όλο το αντικείμενο, και να μην υπάρχουν αποκρύψεις σε κανένα σημείο του. Χρειάζεται προσοχή ωστόσο ώστε να μην υπάρξει υπερπληθώρα δεδομένων που θα είναι δύσκολη η οργάνωσή τους μετέπειτα, αλλά ούτε και μόνο τα απολύτως απαραίτητα δεδομένα, σε περίπτωση που σε κάποιο στάδιο επεξεργασίας χρειαστεί συμπλήρωσή τους. Παρατηρήθηκε πως για την Πύλη της Μονής, προέκυψε μεγάλος αριθμός επίγειων εικόνων, διότι φωτογραφήθηκε δύο φορές. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε εμπόδιο στο στάδιο της επεξεργασίας, καθώς έπρεπε να γίνει έλεγχος και επιλογή των κατάλληλων εικόνων. Αντίθετα, τμήματα του Ναού δεν είχαν φωτογραφηθεί επαρκώς γεγονός που επίσης δυσχεραίνει την διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων. Επίσης, η ανάγνωση της επιφάνειας του αντικειμένου και των ιδιαιτεροτήτων της είναι πολύ σημαντική, καθώς έτσι ορίζονται οι κατάλληλες παράμετροι στους σαρωτές, και τα αποτελέσματα είναι αρχεία που περιέχουν απαραίτητη πληροφορία και όχι περιττή, η οποία να δυσχεραίνει και να καθυστερεί την διαδικασία της επεξεργασίας τους. Επίσης σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των φωτογραφιών που συλλέγονται παίζουν και οι καιρικές συνθήκες, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να προσαρμόζονται κατάλληλα οι παράμετροι φωτογράφισης.

Το στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων είναι εξίσου πολύ σημαντικό, καθώς γίνεται όλη η αξιοποίηση των συλλεγμένων δεδομένων. Ουσιαστικό είναι ο χρήστης να γνωρίζει την ακρίβεια που επιθυμεί να επιτύχει, καθώς αυτή καθορίζει τον τρόπο επεξεργασίας των μετρήσεων. Ο όγκος των δεδομένων είναι μεγάλος και έτσι πρέπει να υπάρχει σωστή οργάνωση στα αρχεία και καταγραφή των εργασιών που

πραγματοποιούνται, των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν, όπως επίσης και το σε ποια διαδικασία και για ποιον λόγο έγινε αυτή η επιλογή. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης θα είναι σε θέση να γνωρίζει τι έχει πραγματοποιήσει και να ανατρέξει σε οποιοδήποτε στάδιο της διαδικασίας επιθυμεί γνωρίζοντας τι έχει πράξει στο σημείο αυτό. Επίσης, καλό είναι να αποθηκεύεται σε ξεχωριστό αρχείο όποιο στάδιο της επεξεργασίας είναι μη αναστρέψιμο, καθώς έτσι είναι εφικτή η επιστροφή σε προηγούμενο στάδιο σε περίπτωση λάθους.

Μέσω της σύγκρισης που πραγματοποιήθηκε στα νέφη σημείων ως συμπέρασμα προκύπτει πως πολλές φορές οι διάφορες μέθοδοι παραγωγής νεφών σημείων αλληλοσυμπληρώνονται. Σε πολλές περιπτώσεις κρίνεται αναγκαίος ο συνδυασμός των δεδομένων δύο ή και περισσότερων νεφών για την κάλυψη κενών που ενδεχομένως να υπάρχουν σε κάποιο από τα νέφη. Επίσης, κατανοήθηκε ο τρόπος με τον οποίον παράγονται τα νέφη και οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται για την επεξεργασία τους. Κάθε νέφος μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα ανάλογα με την ακρίβεια που επιθυμείται.

Κάθε στάδιο της επεξεργασίας είναι ουσιώδες, καθώς σφάλματα μεταφέρονται από το προηγούμενο στάδιο στο επόμενο και έπειτα είναι δύσκολη η διόρθωσή τους. Για την αντιμετώπιση ενός προβλήματος (π.χ. τρύπες στις ορθοφωτογραφίες) είναι σημαντικό να ελέγχονται όλα τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί, και να εξαντλείται κάθε εναλλακτική λύση, διότι ενδεχομένως, το πρόβλημα να μπορεί να αντιμετωπιστεί με την χρήση κάποιου άλλου δεδομένου το οποίο συμπληρώνει κατάλληλα το αποτέλεσμα. Πολύ σημαντική είναι η μελέτη της γεωμετρίας του αντικειμένου και η κατανόηση του σχήματός του, ώστε να υπάρχει εποπτεία του αποτελέσματος σε οποιοδήποτε στάδιο και να αποφεύγονται λανθασμένες αποφάσεις (π.χ. συμπλήρωση κενών επιφάνειας). Επίσης, με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι στα τελικά σχέδια παρουσιάζεται αληθής πληροφορία χωρίς καμία αλλοίωση από επέμβαση του χρήστη. Τα τελικά σχέδια, πρέπει να είναι ευανάγνωστα από τους χρήστες, και να περιέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία.

Τέλος, και ίσως σημαντικότερο, είναι τα προβλήματα και τα λάθη που αντιμετωπίστηκαν και ξεπεράστηκαν σε όλη την διαδικασία, καθώς μέσα από αυτά έγινε κατανοητός ο τρόπος που πρέπει να συλλέγονται και να υπόκεινται σε επεξεργασία τα δεδομένα αλλά και η προσοχή που πρέπει να δίνεται στις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε μνημείου. Φυσικά, σε όλη την διαδικασία δόθηκαν χρήσιμες συμβουλές οι οποίες ήταν καθοριστικές για την επίτευξη του αποτελέσματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Kinder T., 2002, Cistercian Europe: Architecture of Contemplation, Wm. B. Eerdmans Publishing Co, Cistercian Publications Institute of Cistercian Studies, ISBN: 0-87907-391-8

Brown E. A. R., 2016, «The Cistercians in the Latin Empire of Constantinople and Greece 1204-1276», Cambridge University Press, volume 14 1958, pp 63-120

Tsougarakis N., 2008, The Western Religious Orders in Medieval Greece, The University of Leeds Institute of Medieval Studies.

Panagopoulos Katsiki B., 1979, Cistercian and Medicant Monasteries in Medieval Greece, The University of Chicago Press, ISBN: 0-226-64544-4

Salzer K., 1999, Gatehouse and Mother Houses: A Study of the Cistercian Abbey of Zaraka, medieval studies, vol. 61, pp. 297 – 324

Campbell S., 2018, The Cistercian Monastery of Zaraka, Greece, Medieval Institute Publications, ISBN: 978158044244-2

Campbell S. , 1997, The Cistercian Monastery of Zaraka, University of Toronto Press, Echos du monde classique: Classical Views, volume XLI, n.s. 16, Number 1, pp. 177-196 (article).

Μουτσόπουλος Ν., 1960, Φράγκικες εκκλησίες στην Ελλάδα, τεχνικά χρόνια, σελ: 13 – 33.

Λόςης Γ., «Μονή Ζαρακά: Ένα Ρωμαιοκαθολικό Αββαείο των Μεσαιωνικών Χρόνων στην Στυμφαλία», 2016

Νόμος Υπ' Αριθ. 3028, Αρ. Φύλλου 153, 28 Ιουνίου 2002

Διαφάνειες Διαλέξεων Μαθήματος « Αποτυπώσεις Μνημείων », ετ. 2018 – 2019, Ανδρέας Γεωργόπουλος

The Venice Charter, 1964

Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2013, Εφαρμοσμένη Γεωδαισία, Εκδόσεις Ζήτη, ISBN: 978-960-456-205-3

Kraus K., 2010, Φωτογραμμετρία: Τόμος 1: Βασικές έννοιες και μέθοδοι, Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας.

Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος: Γεωδαισία Ι. ετ. 2014 – 2015

Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος: Φωτογραμμετρία ΙΙ, ετ. 2016 – 2017

Αγατζά – Μπαλοδήμου Α. – Μ., 2009, Θεωρία σφαλμάτων και συνιορθώσεις Ι, σημειώσεις μαθήματος

CloudCompare version 2.6.1 user manual

Besl P, MacKay D., 1992, A method for Registration of 3-D Shapes, IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE VOL. 14

Χλωροκώστας Σ., 2019, Βιβλιογραφική καταγραφή μεθόδων Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM)

Structure from Motion (SfM) Photogrammetry, 2015, Geomorphological Techniques Chap. 2, ISSN 2047 – 0371

Westoby M. J., et. al., 2012, Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost effective tool for geoscience applications, Geomorphology, 179, pp. 300-314

Lowe, D. G. 1999, Object recognition from local scale invariant features, The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on computer vision, 2, 1150-1157

Furukawa Y et. al., Towards Internet – scale Multi-view Stereo

Lague D. et. al, 2013, Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner : application to the Rangitikei canyon (N-Z), ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, volume 82, pp. 10-26

Ιστοσελίδες:

<https://el.wikipedia.org/>(12/01/2020)

<https://www.archaiologia.gr/>(12/01/2020)

<https://www.icomoshellenic.gr/>(12/01/2020)

<https://www.cipaheritagedocumentation.org/>(12/01/2020)

<http://portal.cig-icg.gr/node/90>(12/01/2020)

<https://www.britannica.com/topic/Cistercians>(12/01/2020)

<http://www.newadvent.org/cathen/03780c.htm>(12/01/2020)

<http://listedmonuments.culture.gr/monument.php?code=8874>(12/01/2020)

http://listedmonuments.culture.gr/fek.php?ID_FEKYA=1950(12/01/2020)

http://odysseus.culture.gr/h/2/gh251.jsp?obj_id=12721(12/01/2020) (12/01/2020)

<https://www.dpreview.com/> (13/01/2020)

<https://www.canon.gr/> (13/01/2020)

<https://www.dji.com> (13/01/2020)
<https://www.dronevolt.com> (13/01/2020)
<https://www.faro.com> (13/01/2020)
<http://www.geosense.gr> (13/01/2020)
<http://geoslam.landmark.com.gr/> (13/01/2020)
<http://www.topcon.com> (13/01/2020)
<http://www.geotech.gr> (13/01/2020)
<http://www.geometriki.com> (13/01/2020)
<https://www.agisoft.com/> (14/01/2020)
https://www.fotopo.gr/1/gr/11_18/11.htm(14/01/2020)