



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

**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ Ι.Ν ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΠΟΔΙΘΟΥ ΣΤΗ ΚΥΠΡΟ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σιεητάνης Νικόλας

Επιβλέπων καθηγητής

Γεωργόπουλος Ανδρέας

Οκτώβριος 2008

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γεωργόπουλο Ανδρέα, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με την συγκεκριμένη μελέτη αλλά και για την καθοδήγηση και τις γνώσεις που μου προσέφερε. Παράλληλα, ευχαριστώ τον κ. Ιωαννίδη Χαράλαμπο, για την βοήθεια και το χρόνο που αφοσίωσε για την εκπόνηση της μελέτης αυτής.

Ευχαριστώ, επίσης, τα μέλη του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας για την έμπρακτη και καθοριστική συμβολή τους καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης.

Ακολούθως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Μητρόπολη Μόρφου και το Τμήμα Αρχαιοτήτων για την παραχώρηση άδειας για την πραγματοποίηση των εργασιών στο χώρο του ναού. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον υπεύθυνο της εκκλησίας κ. Κώστα Παπακωνσταντίνου για την εμπιστοσύνη που επέδειξε.

Ακόμη, οφείλω να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και φίλους Ιωακείμ Στέλιο και Χρυσοστόμου Χρήστο τόσο για την υποστήριξη όσο και για τη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την εκπόνηση της μελέτης.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξη και τις συμβουλές τους που μου έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια.

Νικόλας Σιεητάνης

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται μεθοδολογία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων. Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται περιλαμβάνει τη χρήση γεωδαιτικού οργάνου, ψηφιακών φωτογραφιών, τη χρησιμοποίηση επίγειου σαρωτή laser και τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών, έτσι ώστε να εξαχθούν τα τελικά παράγωγα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη τεκμηρίωση μνημείων. Επίσης γίνονται συγκρίσεις μεταξύ κάποιων διαδικασιών που ακολουθήθηκαν καθώς και των αποτελεσμάτων τους. Όλες οι μέθοδοι που περιγράφονται εφαρμόστηκαν για την γεωμετρική τεκμηρίωση του Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου στο χωριό Γαλάτα στη Κύπρο.

Τα τελικά προϊόντα τα οποία δημιουργήθηκαν περιλαμβάνουν τομές καθώς επίσης και ορθοφωτομωσαϊκά σε κλίμακα 1:50. Τα προϊόντα αυτά σε τελικό στάδιο αξιολογήθηκαν για την αξιοπιστία τους.

Summary

In this project is developed methodology which can be used for the geometric documentation of monuments. The methodology that is developed includes the use of total station, digital photographs, the use of terrestrial laser scanner and the use of specialized softwares for the creation of the final products which can be used for the documentation of monuments. Also, comparisons are made between certain processes that were followed. These contemporary methods have been used in order to geometrically document the church of Virgin Mary (Panayia) Podithou near Galata village in Cyprus.

The final results that were created were cross-sections as well as facades of the church at scale 1:50. Finally, accuracy tests were performed for these final products.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	5
2.1	Θέση του Ναού.....	5
2.2	Ιστορικά Στοιχεία.....	6
2.3	Αρχιτεκτονικά και Οικοδομικά Στοιχεία.....	7
2.4	Εσωτερικός Διάκοσμος.....	9
3	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ	14
3.1	Γεωμετρική Τεκμηρίωση.....	14
3.2	Μέθοδοι Τεκμηρίωσης.....	14
3.2.1	Τοπομετρική μέθοδος.....	14
3.2.2	Τοπογραφική μέθοδος.....	15
3.2.3	Φωτογραμμετρικές μέθοδοι αποτύπωσης.....	15
3.2.4	Επίγειες σαρώσεις laser.....	19
3.2.5	Παραγωγή ορθοφωτογραφίας με χρήση έγχρωμου νέφους σημείων.....	20
3.2.6	Μέθοδος πολυεικονικής ανακατασκευής με μονοσκοπική παρατήρηση.....	21
3.2.7	Μονοεικονικές αποδόσεις.....	22
3.3	Επιλογή Μεθοδολογίας.....	22
4	ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ	24
4.1	Περιγραφή Εξοπλισμού.....	24
4.1.1	Τοπογραφικός εξοπλισμός.....	24
4.1.2	Φωτογραμμετρικός εξοπλισμός.....	25
4.1.3	Επίγειος σαρωτής Laser.....	25
4.2	Πορεία Εργασιών.....	26
4.2.1	Αναγνώριση περιοχής μελέτης.....	26
4.2.2	Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου.....	27
4.2.3	Σύνταξη αυτοσχεδίων υπαίθρου.....	28
4.2.4	Προγραμματισμός λήψεων.....	28
4.2.5	Τοποθέτηση φωτοσταθερών.....	29
4.2.6	Λήψη φωτογραφιών.....	30
4.2.7	Σαρώσεις με laser scanner.....	30
4.2.8	Συμπληρωματικές μετρήσεις με την τοπομετρική μέθοδο.....	31
5	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ	32
5.1	Επεξεργασία Δεδομένων.....	32
5.2	Επίλυση Πολυγωνομετρικού Δικτύου.....	32
5.3	Επεξεργασία Νεφών Σημείων στο Λογισμικό Cyclone.....	33
5.3.1	Συνένωση και γεωαναφορά νεφών.....	33
5.3.2	Αποτελέσματα από συνένωση.....	34
5.4	Βαθμονόμηση Φωτογραφικής Μηχανής.....	34
5.5	Φωτογραμμετρική Επεξεργασία.....	36
5.5.1	Φωτογραμμετρικό σύστημα - Επίπεδο προβολής.....	36

5.5.2	Μονοεικονική απόδοση	38
5.5.3	Δεικονική απόδοση.....	38
5.6	Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας με το Λογισμικό ZPR	39
5.7	Σύνταξη Φωτομωσαϊκών	41
6	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	42
6.1	Αξιολόγηση τελικών προϊόντων.....	42
6.2	Αξιολόγηση ορθοφωτογραφίας που προέκυψε από το ελεύθερο λογισμικό ZPR 44	
6.3	Σύγκριση ορθοφωτογραφίας που προέκυψε από το ελεύθερο λογισμικό ZPR και το φωτογραμμετρικό σταθμό SSK.....	45
6.4	Σύγκριση Τελικών Προϊόντων (Συμβατική μέθοδος-Photomodeler)	45
6.5	Συμπεράσματα	46
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	48
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	49
8.1	Αυτοσχέδια Υπαίθρου	49
8.2	Αναφορά Cyclone/Registration.....	58
8.3	Αναφορά SSK	59

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1:	Θέση του Ι.Ν Παναγίας Ποδίου	6
Εικόνα 2.2:	Τμήμα τοίχου που είναι κτισμένος με αργολιθοδομή.....	8
Εικόνα 2.2:	Κάτοψη του ναού	8
Εικόνα 2.3:	Τριγωνικοί φεγγίτες που τοποθετήθηκαν το 1956.....	9
Εικόνα 2.5:	Αγιογραφία στην αψίδα του ιερού	10
Εικόνα 2.6:	Η Σταύρωση στο εσωτερικό δυτικό αέτωμα.....	11
Εικόνα 2.7:	Αγιογραφία στο βόρειο τοίχο του ιερού.....	12
Εικόνα 2.8:	Αγιογραφία του Αγ. Πέτρου στον βόρειο τοίχο του κυρίως ναού.....	12
Εικόνα 3.1:	Σχηματική διαδικασία παραγωγής ψηφιακής ορθοφωτογραφίας.....	18
Εικόνα 3.2:	Αλγόριθμος λογισμικού ZPR.....	21
Εικόνα 4.1:	Δορυφορική λήψη του ναού	26
Εικόνα 4.2:	Πολυγωνομετρικό δίκτυο	27
Εικόνα 4.3:	Θέσεις τοποθέτησης σαρωτή κατά τη σάρωση του ναού.....	30
Εικόνα 5.1:	Συνενωμένα νέφοι σημείων	34
Εικόνα 5.2:	Φωτογραφίες πεδίου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση	35
Εικόνα 5.3:	Το πεδίο ελέγχου	36
Εικόνα 5.4:	Στροφή γεωδαιτικού συστήματος.....	37
Εικόνα 5.5:	Εναπομένον σφάλμα αναγωγής	38
Εικόνα 5.6:	Παραγωγή ορθοφωτογραφίας στο ZPR.....	40
Εικόνα 6.1:	Ελλιπής πληροφορία	44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Εκκλησίες στο παγκόσμιο κατάλογο πολιτιστικής κληρονομιάς της UNESCO	7
Πίνακας 3.1: Πλεονεκτήματα Laser Scanner-Φωτογραμμετρίας.....	20
Πίνακας 3.2: Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στον Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου	23
Πίνακας 4.1: Στάδια εργασιών πεδίου	24
Πίνακας 4.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Γεωδαιτικού Σταθμού.....	24
Πίνακας 4.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψηφιακής μηχανής.....	25
Πίνακας 4.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά σαρωτή CyraX 2500.....	26
Πίνακας 4.5: Φωτοσταθερά που τοποθετήθηκαν	29
Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες κορυφών οδεύσεων	33
Πίνακας 5.2: Σχέσεις φωτογραμμετρικού συστήματος.....	37
Πίνακας 5.3: Συντεταγμένες εικονοστοιχείων (όρθιο φορμάτ).....	39
Πίνακας 6.1: Συστηματικά και τυχαία σφάλματα (ανά όψη)	43
Πίνακας 6.2: Συστηματικά και τυχαία σφάλματα (αξιολόγηση ZPR)	44
Πίνακας 6.3: Συστηματικά και τυχαία σφάλματα (σύγκριση SSK με ZPR)	45
Πίνακας 6.4: Συστηματικά και τυχαία σφάλματα (Συμβατική μέθοδος-Photomodeler)...	46

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στη γεωμετρική τεκμηρίωση της εκκλησίας της Παναγίας Ποδίθου, που βρίσκεται στη περιοχή της οροσειράς του Τροόδους στην Κύπρο. Για την τεκμηρίωση της εκκλησίας χρησιμοποιήθηκαν διάφορες σύγχρονες μέθοδοι. Στη παρούσα μελέτη αναλύονται τα στάδια και οι εργασίες που πραγματοποιούνται για να παραχθούν τα διανυσματικά και εικονιστικά προϊόντα.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρατίθενται τα ιστορικά και οικοδομικά στοιχεία του ναού καθώς και η θέση που βρίσκεται. Επίσης, αναφέρονται τα αρχιτεκτονικά και οικοδομικά στοιχεία καθώς και ο εσωτερικός διάκοσμος. Τα στοιχεία αυτά είναι αναγκαία γιατί περιγράφουν την ιστορικότητα του χώρου καθώς και την σημασία του μνημείου, η γνώση των στοιχείων αυτών βοηθά ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη μέθοδος για την αντιμετώπιση του αντικειμένου.

Ακολούθως, παρουσιάζονται οι διάφορες μέθοδοι τεκμηρίωσης – αποτύπωσης των μνημείων καθώς και η επιλογή των βέλτιστων μεθόδων που θα εφαρμοστούν στη συγκεκριμένη εκκλησία. Για την απόδοση της εκκλησίας χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι, έτσι ώστε να προκύψουν τόσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Μετέπειτα, περιγράφεται η διαδικασία συλλογής των στοιχείων πεδίου. Περιγράφεται, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε τοπογραφικός και φωτογραμμετρικός καθώς και ο σαρωτής laser. Επιπρόσθετα, περιγράφεται αναλυτικά η πορεία εργασιών που αφορά την αναγνώριση της περιοχής, την ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου, τη σύνταξη αυτοσχέδιων υπαίθρου, το προγραμματισμό λήψεων, τη τοποθέτηση των φωτοσταθερών και τελικά την λήψη των φωτογραφιών. Επίσης αναφέρεται και η διαδικασία σάρωσης του ναού με τον επίγειο σαρωτή και τέλος οι συμπληρωματικές μετρήσεις με την τοπομετρική μέθοδο.

Σε επόμενο στάδιο ακολουθεί περιγραφή της επεξεργασίας των στοιχείων που λήφθηκαν στο πεδίο τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την τεκμηρίωση του ναού. Οι εργασίες αυτές περιλαμβάνουν την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, την επίλυση του πολυγωνομετρικού δικτύου, την επεξεργασία των νεφών σημείων, τη βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής, τη φωτογραμμετρική επεξεργασία καθώς και τη σύνταξη των φωτομωσαϊκών.

Τέλος, παρατίθεται η αξιολόγηση των τελικών προϊόντων που προέκυψαν. Επίσης, έγινε αξιολόγηση και σύγκριση διαφόρων μεθόδων χρησιμοποιώντας μετρημένα με το γεωδαιτικό σταθμό φωτοσταθερά αλλά και μεταξύ τους αποστάσεις. Τελικώς, αναφέρονται κάποια συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μελέτης.

2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

Η Κύπρος είναι ένα νησί με ποικιλόμορφο μνημειακό πλούτο. Όπως είναι γνωστό η ιστορία της Κύπρου είναι πολυτάραχη. Γνώρισε πολλούς κατακτητές αρχίζοντας από τους Ασσυρίους, τους Αιγυπτίους, τους Πέρσες καταλήγοντας στην απελευθέρωση της από τον Μέγα Αλέξανδρο, που μετά τον θάνατο του η εξουσία πέρασε στους Έλληνες βασιλιάδες της Αιγύπτου, τους Πτολεμαίους. Κατά την άνθηση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας η Κύπρος πέρασε στα χέρια των Ρωμαίων και αργότερα με το διαχωρισμό της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας η Κύπρος έγινε επαρχία του Βυζαντίου. Κατά τη Βυζαντινή περίοδο το νησί δεχόταν κατά διαστήματα επιδρομές από τους Άραβες Σαρακηνούς. Στη συνέχεια την περίοδο των σταυροφοριών πέρασε στα χέρια των Άγγλων, όμως οι Κύπριοι επαναστάτησαν, έτσι οι Άγγλοι για να απαλλαγούν από αυτούς την πούλησαν στους Ναΐτες. Οι Κύπριοι επαναστάτησαν ακόμα μια φορά και οι Ναΐτες έφυγαν πουλώντας το νησί στους Φράγκους. Ακολούθησαν οι Ενετοί τους οποίους διαδέχτηκαν οι Τούρκοι, οι οποίοι με τη σειρά τους ενοικίασαν το νησί στους Άγγλους. Με τον απελευθερωτικό αγώνα της ΕΟΚΑ το 1955-59 η Κύπρος αποκτά την ελευθερία της. Έτσι η Κύπρος έχει να επιδείξει πανάρχαιες καταβολές που εκτείνονται μέχρι και πριν 10000 χρόνια. Τα πρώτα ευρήματα οικισμών ανάγονται στην λίθινη εποχή και μετέπειτα στην Ελληνιστική περίοδο με την κάθοδο των Μυκηναίων όπου άνθισαν οι τέχνες. Η Κύπρος πήρε τον εθνικό και πολιτιστικό της χαρακτήρα από τους Έλληνες της μυκηναϊκής εποχής. Οι Κύπριοι από τότε μίλησαν ελληνικά και αφομοίωσαν στον τρόπο ζωής και στον πολιτισμό τους ελληνικά χαρακτηριστικά. Ο εθνικός και πολιτιστικός χαρακτήρας μαζί με την ελληνική διάλεκτο διατηρήθηκε από τα αρχαία χρόνια ως σήμερα. Οι επιδράσεις των κατακτητών δεν μπόρεσαν να αποξενώσουν την παράδοσή ούτε να αλλοιώσουν τα βασικά στοιχεία του πολιτισμού.

Σήμερα, με το ολοένα εντονότερο και ευρύτερο ενδιαφέρον σε ότι αφορά την πολιτιστική κληρονομιά διεθνώς, είναι η κατάλληλη συγκυρία να γίνει επένδυση στον τομέα αυτό. Ο καλύτερος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η προβολή των μνημείων, τα οποία τις περισσότερες φορές μαρτυρούν την ιστορία και τον πολιτισμό ενός λαού.

Έτσι η συντήρηση, η αναστήλωση, η τεκμηρίωση και η εν γένει προβολή του μνημειακού πλούτου είναι αναγκαία. Κατά τη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων πέρα από τα γεωμετρικά στοιχεία, αναγκαία είναι και η λεπτομερής γνώση της αρχιτεκτονικής τους και κυρίως της ιστορίας τους, ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη μέθοδος για αντιμετώπιση του αντικειμένου.

2.1 Θέση του Ναού

Η εκκλησία της Παναγίας της Ελεούσας, γνωστή σαν Παναγία της Ποδίθου, είναι κατάλοιπο μιας μικρής μονής. Ο ναός είναι κτισμένος στη μέση μιας μακρόστενης κοιλάδας κοντά στις παραποτάμιες όχθες του ποταμού Κλάριου βόρεια του χωριού Γαλάτα. Η Γαλάτα βρίσκεται 60 χιλιόμετρα δυτικά της Λευκωσίας, στην κοιλάδα της Σολέας σε υψόμετρο 620 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 2.1: Θέση του Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου

2.2 Ιστορικά Στοιχεία

Ο ναός της Παναγίας της Ποδίθου ανήκει στην δικαιοδοσία της Ιεράς Μητρόπολης Μόρφου και περιλαμβάνεται στον κατάλογο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της UNESCO. Η UNESCO είναι επικεφαλής των παγκόσμιων προσπάθειών προστασίας και διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η ιστορική Σύμβαση της UNESCO για την Προστασία της Παγκόσμιας Πολιτιστικής και Φυσικής Κληρονομιάς του 1972, σηματοδότησε μια νέα εποχή για τη διατήρηση των πολιτιστικών και φυσικών χώρων των κρατών-μελών του Οργανισμού.

Η Κύπρος επικύρωσε τη Σύμβαση το 1975 και ξεκίνησε τις διαδικασίες για εγγραφές μνημείων και χώρων της στο πιο διάσημο αρχείο του κόσμου, τον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO. Η πρώτη και επιτυχημένη υποβολή υποψηφιότητας της Κύπρου για εγγραφή στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς έγινε το 1980 και αφορούσε τα μνημεία της Παλαίπαφου. Ακολούθησε η εγγραφή των βυζαντινών και μεταβυζαντινών εκκλησιών του Τροόδους το 1985. Τα μνημεία και οι φυσικοί χώροι που εγγράφονται στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς αποκτούν διεθνή αναγνώριση για την οικουμενική και ιστορική τους αξία.. Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βυζαντινές και μεταβυζαντινές εκκλησίες του Τροόδους που περιλαμβάνονται στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς.

Πόλη / Χωριό	Εκκλησία	Χρονολογία Ίδρυσης
Κακοπετριά	Αγίου Νικολάου της Στέγης	11 ^{ος} αι.
Καλοπαναγιώτης	Αγίου Ιωάννη του Λαμπαδιστή	11 ^{ος} αι.
Νικητάρι	Παναγίας της Ασίνου	12 ^{ος} αι.
Λαγουδερά	Παναγίας του Άρακα	12 ^{ος} αι.
Μουτουλάς	Παναγίας	13 ^{ος} -14 ^{ος} αι.

Πεδουλάς	Αρχαγγέλου Μιχαήλ	15 ^{ος} αι.
Πελένδρι	Τίμιου Σταυρού	13 ^{ος} -15 ^{ος} αι.
Γαλάτα	Παναγίας Ποδίθου	16 ^{ος} αι.
Πλατανίτισσα	Σταυρού του Αγιασμάτι	15 ^{ος} αι.

Πίνακας 2.1: Εκκλησίες στο παγκόσμιο κατάλογο πολιτιστικής κληρονομιάς της UNESCO

Ο ναός της Παναγίας Ποδίθου όπως προκύπτει από επιγραφή που βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά του δυτικού τοίχου του κυρίως ναού, ήταν μοναστηριακός και ολοκληρώθηκε το 1502. Κτήτορες του ναού και της μονής ήταν ο Δημήτριος Δε Κορόν και η σύζυγος του Ελένη. Ο Δημήτριος και η οικογένεια του ήταν μια από τις εξελληνισμένες οικογένειες, λατινικής καταγωγής, της μεσαιωνικής Κύπρου. Το 1461 ο Δημήτριος ήταν διοικητής στην περιοχή της Πεντάγυιας και ήταν υπέρ του Ιακώβου, νόθου αδελφού της νόμιμης βασίλισσας Καρλόττας, που παράνομα διεκδικούσε το βασιλικό στέμμα της Κύπρου. Σαράντα ένα (41) χρόνια αργότερα, το 1502 ο Δημήτριος ντε Κόρον, έχτισε το ναό της Παναγίας της Ελεούσας, που αργότερα ονομάστηκε της Ποδίθου. Η παλαιότερη αναφορά που υπάρχει για τη μονή και το ναό προέρχεται από τον Ρώσο περιηγητή μοναχό Βασίλειο Μπάρσκυ το 1735. Ο Μπάρσκυ αναφέρει ότι υπήρχε ο ναός, ένα μόνο κελί (κτίριο) και δύο μοναχοί οι οποίοι ζούσαν σε άθλια κατάσταση εξ' αιτίας των Μουσουλμάνων οι οποίοι άρπαζαν δια της βίας τη τροφή τους.

2.3 Αρχιτεκτονικά και Οικοδομικά Στοιχεία

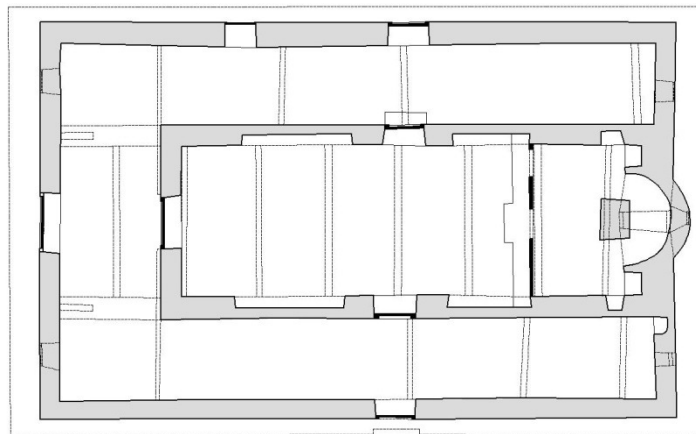
Ο ναός ανήκει στον τύπο του μονόχωρου ξυλόστεγου που καλύπτεται με μεγάλη αμφικλινή στέγη και περιβάλλεται από κλειστή στοά στις τρεις πλευρές του. Ο τύπος του μονόχωρου ξυλόστεγου ναού συναντάται σε μεγάλη έκταση στην περιοχή αυτή και γενικότερα στην περιοχή για την περίοδο από τον 13^ο μέχρι και τον 19^ο αιώνα, στη Γαλάτα υπάρχουν συνολικά έξι ναοί του ίδιου τύπου.

Ο ναός της Παναγίας της Ποδίθου είναι σχετικά μεγάλων διαστάσεων με σχήμα ορθογώνιο και στα ανατολικά καταλήγει με ελαφρά προεξέχουσα αψίδα ιερού. Περιβάλλεται από στοά σχήματος Π που καλύπτεται κάτω από την ίδια «δίρριχτη» ξύλινη στέγη, η οποία καλύπτεται από κεραμιδένιες πλάκες που έχουν κατασκευαστεί από Γαλατίτες κεραμοποιούς. Αποτελείται από τον κυρίως ναό και κλειστές στοές που τον περιβάλλουν από τη βόρεια, δυτική και νότια πλευρά του. Οι στοές δεν είναι οι αρχικές, προστέθηκαν στον ναό σε μεταγενέστερη εποχή, άγνωστο όμως πότε ακριβώς. Οι τοίχοι του ναού είναι κτισμένοι εξ' ολοκλήρου από αργολιθοδομή η οποία ενισχύεται με περιμετρικές ξυλοδεσίδες. Επιχρισμένοι είναι μόνο οι εσωτερικοί τοίχοι του κυρίως ναού, στον οποίο υπάρχουν μερικές τοιχογραφίες.



Εικόνα 2.2: Τμήμα τοίχου που είναι κτισμένος με αργολιθοδομή

Στο κυρίως ναό και ειδικότερα στο βόρειο και νότιο τοίχο υπάρχουν δύο τυφλά τόξα αντίστοιχα, τα οποία έχουν ημικυκλική περίπου μορφή. Τα άκρα των ανατολικών τόξων του βορείου και νοτίου τοίχου που βρίσκονται στο χώρο του ιερού, έχουν συμπληρωθεί με τοιχοποιία και στα τμήματα αυτά έγινε αγιογράφιση. Στα άκρα του ανατολικού τοίχου υπάρχουν δύο ορθογωνικής κάτοψης κόγχες με τοξωτή κάλυψη, αντίστοιχα άλλες δύο υπάρχουν στο ανατολικό άκρο του βόρειου και νότιου τοίχου.



Εικόνα 2.3: Κάτοψη του ναού

Το δάπεδο του κυρίως ναού και της δυτικής στοάς είναι καλυμμένα με σχετικά μεγάλου μεγέθους μάρμαρα, ενώ τμήματα του δαπέδου της βόρειας και νότιας στοάς έχουν οπτόπλινθους. Το δάπεδο των στοών είναι σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτό του κυρίως ναού λόγω της μορφής και του ύψους της στέγης.

Στο κυρίως ναό υπάρχουν τρεις εισοδοί, η κεντρική στη δυτική πλευρά και οι άλλες δύο στο μέσο περίπου του βόρειου και νότιου τοίχου. Πάνω από τη δυτική είσοδο υπάρχει οξυκόρυγχο τόξο, ενώ οξυκόρυγα τυφλά τόξα από οπτόπλινθους υπάρχουν πάνω από τη βόρεια και νότια είσοδο στην εξωτερική πλευρά. Άλλες τρεις εισοδοί υπάρχουν σε αντίστοιχες θέσεις στους τοίχους των περιμετρικών κλειστών στοών.

Στο κυρίως ναό υπάρχουν δύο ορθογώνια παράθυρα, ένα στο ανατολικό αέτωμα και ένα στην αψίδα του ιερού. Το τελευταίο φαίνεται ότι αρχικά ήταν μεγαλύτερο και είχε τοξωτή μορφή. Στους τοίχους των στοών υπάρχουν, δύο παράθυρα στη δυτική πλευρά, ένα στη βόρεια και δύο στην ανατολική πλευρά, ένα στη βόρεια και ένα στη νότια στοά.

Ολόκληρος ο ναός καλύπτεται από μεγάλη δίρριχτη στέγη. Ο κυρίως ναός καλύπτεται από την τυπική για τους ναούς αυτούς διπλή ξύλινη στέγη, την εσωτερική που φέρει το σανίδωμα και την εξωτερική που φέρει τα κεραμίδια. Η βόρεια και νότια στοά καλύπτονται μόνο από την προέκταση της εξωτερικής στέγης. Αποτέλεσμα της στέγασης αυτής, όπως σε όλους τους ξυλόστεγους ναούς είναι η δημιουργία πολύ σκοτεινού εσωτερικού χώρου. Γι' αυτό, κατά της επισκευές που έγιναν το 1956 και προκειμένου να φωτιστεί το εσωτερικό του κυρίως ναού, κατασκευάστηκαν τέσσερις τριγωνικής μορφής μεγάλοι αετωματικοί φεγγίτες, ανά δύο σε κάθε πλευρά της στέγης, Παρά τη βελτίωση του φωτισμού του εσωτερικού χώρου, η επέμβαση θεωρήθηκε σημαντική αλλοίωση της γενικής εικόνας του ναού και κατά τις εργασίες του 2001, που έγιναν από το Τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου, αφαιρέθηκαν οι φεγγίτες και η στέγη αποκαταστάθηκε στην αρχική της μορφή.



Εικόνα 2.4: Τριγωνικοί φεγγίτες που τοποθετήθηκαν το 1956

2.4 Εσωτερικός Διάκοσμος

Ο ναός της Παναγίας της Ποδίθου δεν διακοσμήθηκε ολόκληρος με τοιχογραφίες. Οι τοιχογραφίες που υπάρχουν, καλύπτουν την εξωτερική πλευρά του δυτικού τοίχου του κυρίως ναού, το εσωτερικό δυτικό αέτωμα, το ανατολικό αέτωμα, το τεταρτοσφαίριο της αψίδας και ο ημικυλινδρικός τοίχος της αψίδας.

Επίκεντρο της όλης αγιογράφησης του ναού είναι η Ένθρονη Βρεφοκρατούσα Παρθένος στην αψίδα του Ιερού Βήματος. Η τοποθέτηση της Άφλεκτης Βάτου στο πιο ψηλό σημείο του ναού, αποτελεί μια καινοτομία για να τονιστεί η «Όραση» του Μωυσή. «Λύσαι το υπόδημα εκ των ποδών σου» είπε ο Θεός στον Μωϋσή, όταν βρέθηκε μπροστά στην Άφλεκτη Βάτο στο όρος Χωρήβ. «Αποδύθου το υπόδημα σου» θα εξηγούσαν οι ιερείς και οι ιεροκήρυκες εις τους πιστούς, αναλύοντας τους λόγους του Θεού προς τον Μωϋσέα. Εξού και η Παναγία Ποδίθου ή Ποϋθου εις το στόμα το λαού μέχρι και σήμερα.



Εικόνα 2.5: Αγιογραφία στην αψίδα του ιερού

Στην εξωτερική πλευρά του δυτικού τοίχου, πάνω από την κεντρική είσοδο του κυρίως ναού είναι ζωγραφισμένη η Παναγία. Κάτω από το θρόνο της εικονίζονται οι δωρητές, ένα ζευγάρι αριστερά και ένας άνδρας δεξιά, έχοντας στη μέση το ναό-μακέτα-που προσφέρουν στην Θεοτόκο. Αριστερά και δεξιά της Παναγίας υπάρχουν σε τέσσερις σειρές οι προφήτες, ενώ στη κορυφή απεικονίζεται ο Παλαιός των Ημερών. Κάτω από αυτή τη σύνθεση, υπάρχει η ακόλουθη κτητορική επιγραφή «ΑΝΗΚΩΔΟΜΟΙΘΗ Ο ΘΙΟΣ ΚΑΙ [ΠΑΝΣΕΠΤΟΣ] ΝΑΩΣ ΟΥΤΩΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΑΓΙΑΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΕΛΕΟΥΣΗΣ ΤΗ ΕΧΡΟΝΗΑ ΤΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ Α.Φ.Β (1502) ΔΙΑ ΕΞΩΔΟΥ ΚΑΙ ΠΟΛΛΟΥ ΠΟΘΟΥ ΚΙΡΟΥ ΜΙΣΕΡ ΔΗΜΙΤΡΙ ΔΕ ΚΟΡΟ ΜΕΤΑ ΤΗΣ ΣΗΜΒΗΟΥ ΕΛΕΝΗΣ ΚΑΙ ΚΤΗΤΟΡΩΝ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΜΩΝΗΣ ΤΑΥΤΗΣ ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΑΓΗΝΩΣΚΟΝΤΑΙΣ ΑΥΤΩΝ ΕΥΧΑΙΣΘΕ ΚΑΙ ΜΑΚΑΡΗΣΑΤΕ ΑΥΤΟΥΣ ΔΙΑ ΤΟΝ ΚΥΡΙΟΝ ΑΜΗΝ. Πάνω από την τοξωτή και ελαφρά οξυκόρυφη είσοδο του ναού εικονίζεται σε καθιερωμένο εικονογραφικό σχήμα η κάθοδος του Χριστού στον Άδη, δηλαδή η Ανάσταση. Εκατέρωθεν της δυτικής εισόδου του ναού απεικονίζονται στα αριστερά η Θεοτόκος σε παρακλητική στάση προς τον μετωπικό και με ανοικτό βιβλίο Χριστό που βρίσκεται στα δεξιά.

Η Σταύρωση, στο εσωτερικό δυτικό αέτωμα, δεν μοιάζει με την γνωστή λιτή Σταύρωση της βυζαντινής παράδοσης. Είναι μια πολυπρόσωπη σκηνή επηρεασμένη από τη δυτική ζωγραφική, μοιάζει περισσότερο με θρησκευτικό πίνακα με πολλές λεπτομέρειες, ο Εσταυρωμένος και οι ληστές, οι έφιπποι φραγκοφορεμένοι στρατιώτες, ο στρατιώτης που σπάζει τα σκέλη των ληστών, η Παναγία που σωριάζεται λιπόθυμη, οι στρατιώτες που παίζουν στα ζάρια το χιτώνα του Χριστού και φιλονικούν μεταξύ τους, η Μαρία η Μαγδαληνή που αγκαλιάζει τη βάση του Σταυρού του Χριστού και τέλος η αινιγματική μορφή του γονατισμένου μοναχού.



Εικόνα 2.6: Η Σταύρωση στο εσωτερικό δυτικό αέτωμα

Στην κορυφή του ανατολικού αετώματος εικονίζεται το Άγιον Μανδήλιον, πιο κάτω εικονίζονται οι δύο «Οράσεις» του προφήτη Μωυσή. Στα αριστερά ο Μωυσής παίρνει από τα χέρια του Θεού τις πλάκες με το Δεκάλογο ενώ στα δεξιά ο Μωυσής σκύβει κάτω για να λύσει το κορδόνι του σανδάλου του όπως προαναφέρθηκε πιο πάνω.

Στο τεταρτοσφαίριο της αψίδας σε μια μεγαλοπρεπή σύνθεση εικονίζεται η Θεοτόκος ένθρονη, με το Χριστό στα γόνατά της ενώ οι αρχάγγελοι Μιχαήλ και Γαβριήλ στραμμένοι προς τη Θεοτόκο κρατούν λαμπάδες και την θυμιάζουν. Την αρχή του τεταρτοσφαιρίου οριοθετεί μία ζώνη με συνεχές φυλλοειδές κόσμημα ελισσόμενο γύρω από ένα κεντρικό οριζόντιο στέλεχος. Κάτω ακριβώς από αυτό υπάρχει ταινία με την επιγραφή «ΤΟΥΤΟΝ ΤΟΝ ΝΟΙΚΟΝ Ο ΠΑΤΗΡ ΟΚΟΔΟΜΗΣΕΝ + ΤΟΥΤΟΝ ΤΟΝ ΝΟΙΚΟΝ Ο ΥΙΟΣ ΕΣΤΕΡΕΩΣΕΝ + ΤΟΥΤΟΝ ΤΟΝ ΝΟΙΚΟΝ ΤΟ ΑΓΙΟΝ ΠΝΕΥΜΑ ΑΝΕΚΕΝΙΣΕΝ», που αναφέρεται στα τρία πρόσωπα της Αγίας Τριάδας, την ίδρυση και τη διάρκεια της εκκλησίας.

Κάτω από τη Βρεφοκρατούσα Θεοτόκο, εικονίζεται η Θεία Μετάληψη των Αποστόλων σε δύο σκηνές. Αριστερά η μετάδοση του Άρτου και δεξιά η μετάληψη του Οίνου. Ακολουθούν πιο κάτω Αγιογραφίες από την Παλαιά Διαθήκη, που αναφέρονται στα απόκρυφα Ευαγγέλια του Αγίου Ιακώβου. Ο Ιωακείμ και η Άννα προσφέρουν τα δώρα, η Προσευχή του Ιωακείμ, η προσευχή της Αγίας Άννας, ο ασπασμός του Ιωακείμ και της Άννας, η Γέννηση της Θεοτόκου.

Στον ανατολικό τοίχο του ιερού εικονίζεται ο αρχάγγελος Γαβριήλ με προτεταμένο το δεξί χέρι ευλογώντας και φέρνοντας το θεϊκό άγγιγμα για τη γέννηση του Θεανθρώπου, η Μαρία βρίσκεται δεξιά, καθισμένη σε σκαλιστό θρόνο. Κάτω από αυτές τις μορφές εικονίζονται ολόσωμοι οι προφητάνακτες Δαυίδ και Σολομών.

Έξι παραστάσεις κοσμούν το ανώτερο τμήμα του βόρειου και νότιου τοίχου του ιερού, πρόκειται για έξι σκηνές από την αρχή του κύκλου της παιδικής ηλικίας της Παναγίας,

του οποίου η εξιστόρηση ήταν πιθανώς επιθυμία του χορηγού της τοιχογράφησης του μνημείου.



Εικόνα 2.7: Αγιογραφία στο βόρειο τοίχο του ιερού

Στο κυρίως ναό διατηρούνται επίσης δύο μεμονωμένες παραστάσεις των αγίων Πέτρου και Παύλου στο βόρειο και νότιο τοίχο αντίστοιχα. Οι τοιχογραφίες αυτές είναι μεταγενέστερες των υπολοίπων και χρονολογούνται πιθανότατα στον προχωρημένο 17^ο αιώνα.



Εικόνα 2.8: Αγιογραφία του Αγ. Πέτρου στον βόρειο τοίχο του κυρίως ναού

Στο «ιταλοβυζαντινό» ρεύμα του 16^{ου} αιώνα εντάσσονται οι ωραίες μεγάλες εικόνες που κοσμούσαν το τέμπλο του ναού ορισμένες από τις οποίες βρίσκονται στη συλλογή της μητροπόλεως Μόρφου, από τις δεσποτικές εικόνες διατηρούνται ο Χριστός και ο

Αρχάγγελος Μιχαήλ. Το αρχικό ξυλόγλυπτο τέμπλο του ναού το οποίο σώζεται ακόμα στη θέση του και φέρει οικόσημο που είναι παρεμφερές με αυτό του Δε Κορόν(τρεις κόκκινοι αστέρες σε χρυσό βάθος) και τον λέοντα-σύμβολο της Βενετίας η οποία κατείχε τότε την Κύπρο, απηχεί αντίστοιχες αισθητικές αντιλήψεις, με μίξη υστερογοθικών και αναγεννησιακών στοιχείων, προσδίδοντας αξιοσημείωτη ενότητα στο μνημειακό αυτό σύνολο. Το τέμπλο φέρει μεταγενέστερες επεμβάσεις και χρυσώματα του 1783, που εκτελέστηκαν επί του αρχιερέα Σωφρονίου, σύμφωνα με επιγραφή, με φροντίδα του αρχιερομονάχου Χρύσανθου, «οικονόμου και επιστάτου» της μονής της Παναγίας. Τα βημόθυρα του 16^{ου} αιώνα, βρίσκονται στην συλλογής της Μητροπόλεως Μόρφου ενώ τα μεταγενέστερα βημόθυρα του 18^{ου} αιώνα έχουν κλαπεί στις αρχές του 2003.

3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Η προστασία των Μνημείων καθιερώθηκε διεθνώς τον 20ο αιώνα από διεθνείς συμβάσεις, όπως την Χάρτα της Βενετίας (άρθρο 16) το 1964 και πλέον είναι ένα σημαντικό ζήτημα που απασχολεί τη σύγχρονη κοινωνία. Μέσα από αυτά μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες που αφορούν την εξέλιξη κάποιου τόπου, την ιστορία του, και την πορεία του μέσα στο χρόνο

Η διαδικασία για τη κατασκευή ενός κτίσματος, ακολουθεί συγκεκριμένη πορεία, από την εκπόνηση μελέτης, τα σχέδια που προκύπτουν από αυτήν και τελικώς μέχρι την κατασκευή. Το αντίστροφο πρόβλημα παρουσιάζεται κατά την αποτύπωση ενός ιστορικού μνημείου. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει υφιστάμενο κτίσμα για το οποίο ζητούνται τα κατασκευαστικά του σχέδια. Τα σχέδια αυτά απεικονίζουν την υπάρχουσα κατάσταση, η οποία υλοποιείται πρακτικά με τη σύνταξη κατόψεων, όψεων και τομών του μνημείου. Πιο κάτω ακολουθούν οι γενικές αρχές και τεχνικές που ακολουθούνται κατά την εφαρμογή μεθόδων τεκμηρίωσης – αποτύπωσης των μνημείων.

3.1 Γεωμετρική Τεκμηρίωση

Γεωμετρική Τεκμηρίωση καλείται η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας, απόδοσης και καταχώρησης στοιχείων ενός αντικείμενου και περιλαμβάνει, στοιχεία όπως είναι τα ιστορικά, κατασκευαστικά και μεταξύ άλλων την Γεωμετρική Τοπογραφική Τεκμηρίωση. Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι τεχνικά έργα, μνημεία, αγάλματα, μικρά ή μεγάλα αντικείμενα ή η φυσική γήινη επιφάνεια. Ειδικότερα, γίνεται πλήρης καταγραφή του μνημείου έτσι ώστε σε περίπτωση συντήρησης ή ακόμη καταστροφής του να μπορεί να επαναδομηθεί στην αρχική του μορφή. Στόχος είναι η καταγραφή της επικρατούσας κατάστασης όσον αφορά την πραγματική μορφή στο χώρο των τριών διαστάσεων σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Οι απαιτήσεις για λεπτομερή διαγράμματα μεγάλης ακριβείας επιβάλλουν την εφαρμογή εξειδικευμένων τοπογραφικών μεθόδων και τεχνικών, σε ολόκληρο το φάσμα των δραστηριοτήτων παραγωγής σχεδίων ή ηλεκτρονικών αρχείων, μέσω των οποίων απεικονίζεται η παρούσα κατάσταση του μνημείου. Έτσι ο συνδυασμός της κλασικής Τοπογραφίας με την Φωτογραμμετρία, πρέπει να επωμιστεί το βάρος της λεπτομερούς αποτύπωσης των γεωμετρικών στοιχείων και μορφών του μνημείου.

3.2 Μέθοδοι Τεκμηρίωσης

Οι μέθοδοι αποτύπωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι τοπομετρικές, οι τοπογραφικές, οι φωτογραμμετρικές, οι σαρώσεις με επίγειους σαρωτές laser ή συνδυασμός των πιο πάνω, ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά και ιδιομορφίες του αντικείμενου αποτύπωσης.

3.2.1 Τοπομετρική μέθοδος

Η τοπομετρική μέθοδος βασίζεται σε μηκομετρήσεις τριγώνων, διαγωνίων, πλευρών, αποκλίσεων και υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιώντας νήμα στάθμης,

αλφαδολάστιχο και μετροταινία. Η μέθοδος μειονεκτεί γιατί πολλές φορές εξαναγκάζει τους μελετητές σε παραδοχές που δεν μπορούν να ελεγχθούν και αδυνατούν να συσχετίσουν άνετα διαφορετικά επίπεδα και χώρους. Η τοπομετρική μέθοδος είναι φανερό ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτύπωση κάποιου πολυσύνθετου μνημείου. Έχει εφαρμογή σε μνημεία μικρών διαστάσεων, με επίπεδες όψεις και επιφάνειες, απλή χωρική κατανομή και μικρές απαιτήσεις ακρίβειας. Μερικά από τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι τα μεγάλα σφάλματα στον προσδιορισμό των συντεταγμένων των σημείων που μεταδίδονται από σημείο σε σημείο, η αδυναμία σύνδεσης των επιμέρους χώρων του μνημείου και ο εξαιρετικά μεγάλος χρόνος παραμονής στο ύπαιθρο για την εκπόνηση της.

Η τοπομετρική μέθοδος παρόλα αυτά αποτελεί σημαντικό εργαλείο στα χέρια του μελετητή γιατί με αυτές τις μετρήσεις συνήθως γίνεται ο έλεγχος του τελικού προϊόντος ή συμπληρώνονται στοιχεία του σχεδίου.

3.2.2 Τοπογραφική μέθοδος

Η τοπογραφική μέθοδος κάνει χρήση εξελιγμένων οργάνων ακριβείας όπως είναι οι Γεωδαιτικοί σταθμοί, οι οποίοι μετρούν οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες καθώς και κεκλιμένες αποστάσεις. Στο τέλος της δεκαετίας του '90 κατασκευάστηκαν γεωδαιτικοί σταθμοί που μπορούν να μετρούν αποστάσεις χωρίς την χρήση ανακλαστήρα (reflectorless). Αυτή η τεχνολογία διευκόλυνε πάρα πολύ τη διαδικασία των μετρήσεων, αύξησε την ακρίβεια και επιτάχυνε τη δουλειά στο πεδίο. Οι συντεταγμένες των προς απόδοση σημείων προσδιορίζονται με πολικές συντεταγμένες ή με εμπροσθοτομία στο χώρο. Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης γεωδαιτικού σταθμού για την αποτύπωση μνημείων είναι η δυνατότητα μέτρησης σημείων με μεγάλη ακρίβεια καθώς επίσης η αυτόματη καταγραφή των μετρήσεων. Για την χρήση της μεθόδου αυτής αναγκαία προϋπόθεση είναι η ίδρυση τριγωνομετρικού ή και πολυγωνομετρικού δικτύου, από το οποίο εξαρτάται η αποτύπωση. Η εξάρτηση της αποτύπωσης ενός μνημείου από το πολυγωνομετρικό δίκτυο δίνει την δυνατότητα σύνδεσης των επιμέρους χώρων του μνημείου αλλά και την διαπίστωση των ιδιοτήτων και των καταστάσεων που επικρατούν.

3.2.3 Φωτογραμμετρικές μέθοδοι αποτύπωσης

Οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι εφαρμόζονται συχνά για αποτυπώσεις μνημείων ειδικά μεγάλων κλιμάκων αφού καταφέρνει να διατηρεί την τελεία αναλογία μεταξύ της ακρίβειας, της πληρότητας και του ποσού της πληροφορίας που είναι αναγκαία ή μη. Έχουν τη δυνατότητα αποτύπωσης άπειρων σημείων που σε συνδυασμό με τα μετρητικά στοιχεία αποτελεί ένα ντοκουμέντο για την ιστορία του μνημείου. Η απόδοση των σημείων αυτών στο σύνολό τους μέσα από μια ανηγμένη μετρική φωτογραφία ή μια ορθοφωτογραφία αποτελεί ένα τρόπο αποτύπωσης ειδικών στοιχείων όπως τοιχογραφημένες επιφάνειες, επίπεδες όψεις, εικόνες κλπ.

Το γενικό χαρακτηριστικό της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης είναι το ότι δεν διασπάται η συνέχεια του αντικειμένου από τμηματική και σημειακή διακριτοποίηση,

που είναι η περίπτωση της τοπογραφικής αποτύπωσης. Στη περίπτωση αυτή, το κόστος της συλλογής δεδομένων είναι φθινό, ενώ η επεξεργασία και η απόδοση ακριβή.

➤ **Αναγωγή με προβολικό μετασχηματισμό**

Φωτογραμμετρική αναγωγή αποτελεί τη μονοεικονική διαδικασία παραγωγής ορθοφωτογραφίας με τη χρήση του προβολικού μετασχηματισμού. Ο μετασχηματισμός, δηλαδή της κεντρικής προβολής της φωτογραφίας σε ορθή. Για να γίνει αυτό αναγκαία προϋπόθεση είναι η επιπεδότητα του αντικείμενου ενδιαφέροντος. Σε διαφορετική περίπτωση για να παραχθεί ορθοφωτογραφία θα πρέπει να διατίθεται το ψηφιακό μοντέλο της επιφάνειας ή τα γεωμετρικά σχήματα που την προσομοιάζουν.

Σε μια φωτογραφία καταγράφεται η τρισδιάστατη πραγματικότητα στο επίπεδο, με αποτέλεσμα να χάνεται η τρίτη διάσταση. Η διαδικασία αυτή είναι μη αντιστρέψιμη αφού είναι αδύνατο να αναπλαστεί το τρισδιάστατο αντικείμενο από μια μόνο φωτογραφία. Όταν όμως το αντικείμενο είναι επίπεδο και ουσιαστικά το υψόμετρο του είναι σταθερό, το πρόβλημα της τρίτης διάστασης δεν υφίσταται. Στην περίπτωση αυτή στην δισδιάστατη εικόνα εμφανίζεται ένα δισδιάστατο αντικείμενο στο οποίο εφαρμόζεται αναγωγή.

Η διαδικασία της αναγωγής μπορεί να εκτελεστεί χωρίς τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού καθώς πρόκειται για σχέσεις μεταξύ επιπέδων στις οποίες εφαρμόζεται προβολικός μετασχηματισμός. Οι σχέσεις του προβολικού μετασχηματισμού είναι οι ακόλουθες,

$$X = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_7x + a_8y + 1}, \quad Y = \frac{a_4x + a_5y + a_6}{a_7x + a_8y + 1},$$

όπου X, Y οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων, x, y οι εικονοσυντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων και a_i οι παράμετροι του προβολικού μετασχηματισμού. Ο μετασχηματισμός αυτός ουσιαστικά πραγματοποιεί δύο μεταθέσεις, δύο στροφές, δύο κλίμακες, μια κατά x και μια κατά y και δύο διαφορικές στροφές.

Με τον καθορισμό τουλάχιστον τεσσάρων φωτοσταθερών δημιουργούνται οκτώ εξισώσεις παρατήρησης και προκύπτει η λύση του μετασχηματισμού. Όμως σε κάθε περίπτωση, συνιστάται η χρήση περισσότερων από τα ελάχιστα φωτοσταθερά έτσι ώστε να προκύπτουν οι καλύτερες τιμές των παραμέτρων μέσω συνόρθωσης. Οι καταλληλότερες θέσεις των φωτοσταθερών είναι περιμετρικά της φωτογραφίας γιατί εκεί παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα σφάλματα (μεγαλύτερες ακτινικές παραμορφώσεις). Αφού προσδιοριστούν οι οκτώ άγνωστες παράμετροι, τότε μπορούν να μετασχηματιστούν όλα τα σημεία της εικόνας στο σύστημα συντεταγμένων του αντικείμενου. Τέλος, πραγματοποιείται αναδόμηση της εικόνας και προσδιορίζεται η τιμή του χρώματος κάθε φατνίου, στην ανηγμένη εικόνα μέσω κάποιας μεθόδου παρεμβολής. Οι συνηθέστερες μέθοδοι παρεμβολής είναι η μέθοδος του εγγύτερου γείτονα, η διγραμμική παρεμβολή και η δικυβική παρεμβολή.

➤ **Δεικονική απόδοση και ορθοφωτογραφία**

Η διαφορική αναγωγή είναι η μέθοδος με την οποία παράγεται η ορθή προβολή αντικειμένων με έντονο ανάγλυφο. Συνηθίζεται να λέγεται δεικονική φωτογραμμετρία ή στερεοφωτογραμμετρία. Για να εφαρμοστεί η δεικονική απόδοση πρέπει να αποκατασταθεί ο εσωτερικός και ο εξωτερικός προσανατολισμός των φωτογραφιών έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες κάθε σημείου με επίλυση εμπροσθοτομίας.

Ο εσωτερικός προσανατολισμός αποκαθίσταται με τον προσδιορισμό και την εφαρμογή στους υπολογισμούς της σταθεράς της μηχανής (c), της θέσης του πρωτεύοντος σημείου (x_0, y_0) και της ακτινικής διαστροφής Δr , η οποία υπολογίζεται μέσω του πολυώνυμου $\Delta r = k_0 r + k_1 r^3 + k_2 r^5 + \dots$. Τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού καθορίζουν το μοντέλο της κεντρικής προβολής που περιγράφει τη φωτογραφική μηχανή και προσδιορίζονται με τη βαθμονόμηση της μηχανής.

Ο εξωτερικός προσανατολισμός καλείται η διαδικασία προσδιορισμού της θέσης λήψης της φωτογραφίας. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με την επίλυση της συνθήκης συγραμμικότητας, η οποία θεωρεί ότι το προβολικό κέντρο O μίας λήψης, η εικόνα ενός σημείου στη φωτογραφία και το αντίστοιχο σημείο στο έδαφος ανήκουν στην ίδια ευθεία. Η συνθήκη συγραμμικότητας περιγράφεται από τις πιο κάτω σχέσεις,

$$x = x_0 - c \cdot \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = y_0 - c \cdot \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

όπου,

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cdot \cos \kappa & -\cos \varphi \cdot \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \omega \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \kappa & \cos \omega \cdot \cos \kappa - \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \kappa & -\sin \omega \cdot \cos \varphi \\ \sin \omega \cdot \sin \kappa - \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \kappa & \sin \omega \cdot \cos \kappa + \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa & \cos \omega \cdot \cos \varphi \end{bmatrix}$$

x_0, y_0 οι συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου, $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$ τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού της λήψης και x, y, X, Y οι εικονοσυντεταγμένες και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες του εκάστοτε σημείου.

Επομένως για τον υπολογισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων του σημείου λήψης O , χρειάζονται ως δεδομένα εισόδου τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού, οι εικονοσυντεταγμένες και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες επιλεγμένων σημείων που βρίσκονται περιμετρικά στην εικόνα. Για να γίνει αυτό απαιτείται η γνώση των γεωδαιτικών συντεταγμένων τουλάχιστον τριών σημείων, αν και για να είναι δυνατή η συνόρθωση είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται περισσότερα.

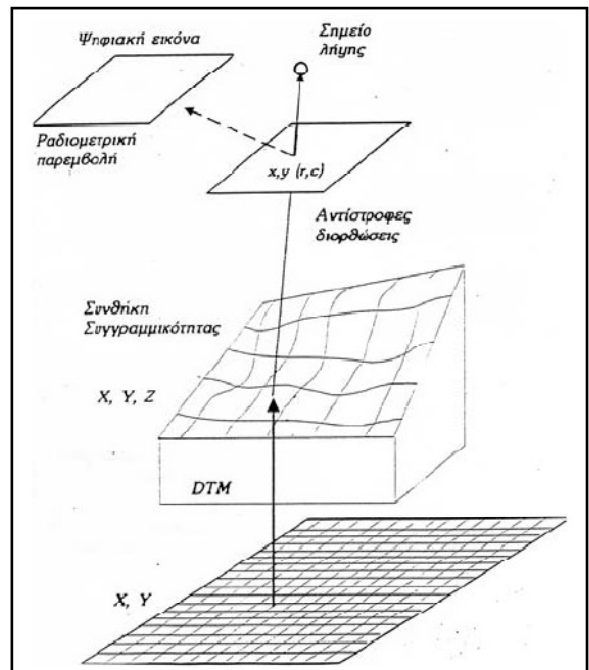
Σε περίπτωση που δύο φωτογραφίες αποτελούν στερεοζεύγος αντί να αποκαθιστάται ο εξωτερικός προσανατολισμός κάθε φωτογραφίας ξεχωριστά είναι προτιμότερο να πραγματοποιείται σχετικός και απόλυτος προσανατολισμό διότι με τον τρόπο αυτό

σχετίζονται οι δύο εικόνες μεταξύ τους και η συνόρθωση συγκλίνει. Σε αντίθετη περίπτωση δηλαδή με δύο ανεξάρτητους προσανατολισμούς, έστω και αν χρησιμοποιηθούν τα ίδια φωτοσταθερά δεν απαλείφεται αναγκαστικά η Υ-παράλλαξη και οι δύο εικόνες δεν συσχετίζονται απαραίτητα μεταξύ τους. Κατά τον σχετικό προσανατολισμό σκοπεύονται ομόλογα σημεία στις δύο φωτογραφίες με αποτέλεσμα την αποκατάσταση του σχήματος του απεικονιζόμενου αντικειμένου. Για την αποκατάσταση του σχετικού προσανατολισμού απαιτείται η σκόπευση τουλάχιστον πέντε κοινών σημείων δηλαδή ζευγών ομόλογων ακτινών. Κατά τον απόλυτο προσανατολισμό δίδεται στο αντικείμενο μέγεθος και προσανατολισμός. Αυτό επιτυγχάνεται με τρεις μεταθέσεις, τρεις στροφές και μια κλίμακα. Επομένως για την αποκατάσταση του απαιτούνται τουλάχιστον δύο πλήρη γεωδαιτικά και ένα υψομετρικό σημείο.

Με την αποκατάσταση των προσανατολισμών (εσωτερικός, σχετικός και απόλυτος) οι δύο δέσμες έχουν την ακριβή θέση κατά τη στιγμή της λήψης, οπότεν μπορεί να προσδιοριστεί η γεωδαιτική θέση κάθε σημείου με την επίλυση της εμπροσθοτομίας.

Η συλλογή του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας στο επικαλυπτόμενο τμήμα του στερεοζεύγους μπορεί να γίνει με τη μέθοδο της διεικονικής απεικόνισης-στερεοαπόδοσης και στη συνέχεια να γίνει παραγωγή ορθοφωτογραφίας ή γραμμική απόδοση.

Η διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας πραγματοποιείται με την ακόλουθη σειρά, αρχικά, καθορίζεται το μέγεθος του εικονοστοιχείου που θα έχει η τελική εικόνα, το οποίο προκύπτει από την τελική ακρίβεια του προϊόντος. Ακολούθως, εφαρμόζεται η συνθήκη συγγραμμικότητας με στοιχεία εισόδου τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού, τις συντεταγμένες X , Y του εικονοστοιχείου της ορθοφωτογραφίας και Z το οποίο προκύπτει με παρεμβολή στο ψηφιακό μοντέλο του αντικειμένου που δημιουργήθηκε. Έτσι, προκύπτουν οι εικονοσυντεταγμένες του φατνίου της αρχικής εικόνας που αντιστοιχεί στο φατνίο της ορθοφωτογραφίας. Έπειτα πραγματοποιείται ο αντίστροφος αφινικός μετασχηματισμός για να καταλήξει σε ένα φατνίο στην αρχική εικόνα ψηφιακή εικόνα, από όπου υπολογίζεται η τιμή του χρώματος μέσω κάποιας μεθόδου παρεμβολής. Η διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας φαίνεται διαγραμματικά στην εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Σχηματική διαδικασία παραγωγής ψηφιακής ορθοφωτογραφίας

3.2.4 Επίγειες σαρώσεις laser

Οι ρίζες της τεχνολογίας laser για την μέτρηση αποστάσεων βρίσκονται στα τέλη της δεκαετίας του 1970, ωστόσο εφαρμογές της όπως οι ψηφιακοί σαρωτές laser, καθυστέρησαν να εμφανιστούν στην αγορά. Πρόσφατα η ανάπτυξή τους έχει επιτρέψει την κατασκευή εμπορικών συσκευών ικανοποιητικής ακρίβειας, φορητών από άποψη μεγέθους και βάρους και προσιτών από άποψη τιμής, εισάγοντας έτσι δυναμικά την χρήση τους στην επίγεια φωτογραμμετρία. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους είναι εμφανή, καθιστούν δυνατή την εύκολη συλλογή πυκνών Ψηφιακών Μοντέλων Επιφανείας μεγάλης ακρίβειας και πυκνότητας σε λίγα μόλις λεπτά. Στις περισσότερες επίγειες εφαρμογές η συλλογή των δεδομένων των μοντέλων με τοπογραφικές μεθόδους είναι σχεδόν αδύνατη λόγω των μεγεθών των αντικειμένων, οπότε η λύση που ακολουθείται είναι η φωτογραμμετρική στερεοαπόδοση, η εξαγωγή δηλαδή υψομετρικής πληροφορίας από προσανατολισμένα ζεύγη φωτογραφιών του αντικειμένου. Η διαδικασία ωστόσο είναι πολύ χρονοβόρα και παρά το γεγονός ότι η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί είναι μεγάλη, η χρήση των σαρωτών laser υπερτερεί.

Οι επίγειοι σαρωτές laser είναι όργανα ενεργής απεικόνισης τα οποία δίνουν σε πραγματικό χρόνο τις τρισδιάστατες συντεταγμένες του αντικειμένου που αποτυπώνεται. Το προϊόν που παράγεται είναι νέφος σημείων με συντεταγμένες x,y,z που αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς της σάρωσης και i η ένταση του ανακλώμενου σήματος. Οι σαρωτές laser ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού της απόστασης διακρίνονται στους παθητικούς (μέθοδος τριγωνισμού) και στους ενεργητικούς (time of flight, τριγωνισμός με μία ή δύο κάμερες CCD). Η δεύτερη μέθοδος έγκειται στη μέτρηση του χρόνου που χρειάζεται το σήμα να πάει και να επιστρέψει στο σαρωτή. Ο χρόνος αυτός μετράται από ειδικά χρονόμετρα ακριβείας που είναι ενσωματωμένα στο σαρωτή. Έπειτα, για κάθε σημείο υπολογίζεται η απόσταση(d) με βάση τη σχέση $d=c.t$, όπου c ταχύτητα του σήματος και t ο χρόνος. Οι κύριες πηγές σφαλμάτων των σαρωτών time of flight είναι η ακρίβεια μέτρησης του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του σήματος, η χρονική υστέρηση στη μέτρηση του σήματος, η αστάθεια του χρονόμετρου κλπ. Η ακρίβεια του σαρωτή time of flight τους επιτρέπει να χρησιμοποιούνται για σαρώσεις αντικειμένων από μεγάλη απόσταση και να πετυχαίνουν ακρίβειες 3mm-3cm.

Η μέθοδος του τριγωνισμού με μία κάμερα CCD αποτελείται από μια βάση της οποίας είναι γνωστή η απόσταση με μεγάλη ακρίβεια έπειτα από βαθμονόμηση στα άκρα της οποίας είναι τοποθετημένη η κάμερα CCD και ο πομπός που παράγει τη δέσμη laser. Τόσο ο πομπός όσο και η κάμερα έχουν γνωστή γωνιακή κίνηση. Στην περίπτωση σαρωτή με δύο κάμερες CCD στα άκρα της βάσης είναι τοποθετημένες οι δύο κάμερες και ο πομπός παράγει τη δέσμη laser. Έτσι, με γνωστή τη βάση και γωνία εκπομπής και λήψης της δέσμης υπολογίζονται οι τρισδιάστατες συντεταγμένες του κάθε σημείου με τριγωνισμό. Το κύριο πλεονέκτημα τη μεθόδου του τριγωνισμού είναι η μεγάλη ακρίβεια που τη χαρακτηρίζει σε σαρώσεις μικρών αποστάσεων και άρα μικρών αντικειμένων. Επομένως, η ακρίβεια των σαρωτών τριγωνισμού εξαρτάται από το μήκος της βάσης και την απόσταση από το προς σάρωση αντικείμενο.

Τα πλεονεκτήματα της σάρωσης laser συγκριτικά με τα πλεονεκτήματα της φωτογραμμετρικής μεθόδου φαίνονται παρακάτω,

Πλεονεκτήματα Laser Scanner
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Απευθείας αποτύπωση σημείων 3D ➤ Επεξεργασία μεγάλου αριθμού σημείων σε επιφάνειες ➤ Άριστη μέθοδος για την αποτύπωση και περιγραφή πολύπλοκων μη κανονικών επιφανειών ➤ Τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα
Πλεονεκτήματα Φωτογραμμετρίας
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Δυνατότητα έγχρωμης πληροφορίας ➤ Απεριόριστη ακτίνα εφαρμογής ➤ Μικρός χρόνος εργασιών πεδίου ➤ Υψηλότερες αναλύσεις ➤ Χαμηλό κόστος των εικόνων ➤ Δυνατότητα εκμετάλλευσης παλιότερων φωτογραφιών

Πίνακας 3.1: Πλεονεκτήματα Laser Scanner-Φωτογραμμετρίας
 Πηγή: Συμεωνίδης Παύλος, Οκτώβριος 2006

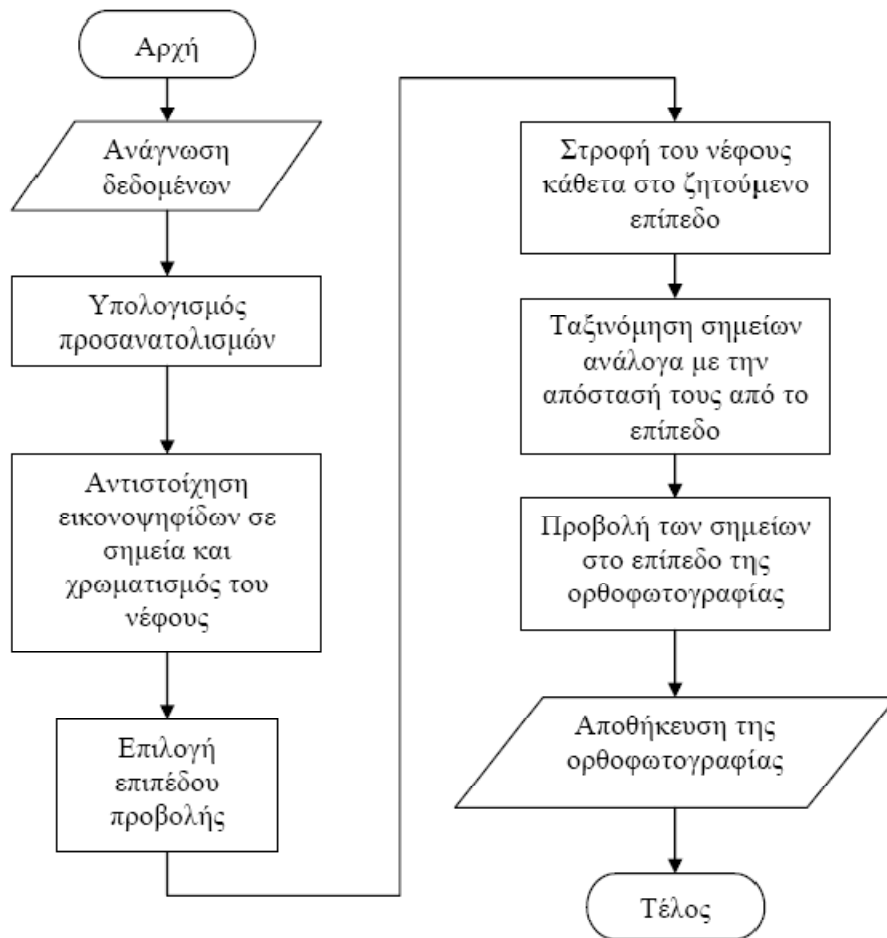
3.2.5 Παραγωγή ορθοφωτογραφίας με χρήση έγχρωμου νέφους σημείων

Μία σύγχρονη και εναλλακτική μέθοδος παραγωγής ορθοφωτογραφίας μπορεί να γίνει με τη χρήση νεφών που προκύπτουν από σαρωτές laser. Η μέθοδος αυτή διαφέρει από τη συνηθισμένη, τη διαφορική δηλαδή αναγωγή των αρχικών εικόνων. Η λογική που ακολουθείται είναι η τελική ορθοφωτογραφία να προκύψει από την ορθή προβολή ενός νέφους χρωματισμένων σημείων στο ζητούμενο επίπεδο προβολής. Το χρωματισμένο νέφος μπορεί να προκύψει είτε απευθείας από τον επίγειο σαρωτή είτε από το χρωματισμό του νέφους με τη χρήση ψηφιακής φωτογραφίας.

Απαραίτητα δεδομένα για τη δεύτερη περίπτωση είναι ένα νέφος σημείων του σαρωμένου με laser scanner αντικειμένου, μια ψηφιακή εικόνα και η ύπαρξη στο νέφος τουλάχιστον έξι φωτοσταθερών σημείων για τον υπολογισμό των προσανατολισμών.

Αντίθετα με τη συνηθισμένη μέθοδο, όπου οι γωνίες στροφής κατά τις φωτογραφικές λήψεις επηρεάζουν έντονα την ποιότητα του αποτελέσματος θέτοντας έτσι αυστηρές προδιαγραφές για τις λήψεις, στην προτεινόμενη μέθοδο κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Έτσι, το επίπεδο προβολής μπορεί να επιλεγεί αφού η διαδικασία σάρωσης και λήψης έχει ολοκληρωθεί, αφού η επιλογή του δεν επηρεάζεται από τις γωνίες στροφής της λήψης, επιτρέποντας από τα ίδια δεδομένα την παραγωγή ορθοφωτογραφιών σε διαφορετικά επίπεδα προβολής και κάνοντας τη μέθοδο πιο προσιτή σε άτομα που δεν είναι εξειδικευμένα με τη φωτογραμμετρία.

Προσπάθεια για τη δημιουργία τέτοιου προγράμματος έγινε στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της ΣΑΤΜ στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας του Στέφανου Νάτση «Σύνταξη λογισμικού για την εφαρμογή εναλλακτικής μεθόδου παραγωγής ψηφιακής ορθοφωτογραφίας». Το λογισμικό αυτό, με την ονομασία ZPR έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρακάτω, φαίνεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 3.2: Αλγόριθμος λογισμικού ZPR

3.2.6 Μέθοδος πολυεικονικής ανακατασκευής με μονοσκοπική παρατήρηση

Η μεγάλη εξέλιξη της τεχνολογίας και ιδιαίτερα των υπολογιστικών συστημάτων και των αυτοματισμών βοήθησε στην ευκολότερη και γρηγορότερη παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων και φωτορεαλιστικών αποδόσεων. Τα λογισμικά αυτά τα οποία βασίζονται στη πολυεικονική ανακατασκευή με μονοσκοπική παρατήρηση προορίζονται κατά κύριο λόγο για επίγειες εφαρμογές. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα πεδία αρχιτεκτονικής και αρχαιολογίας καθώς επίσης και σε εφαρμογές μηχανικού, στην τεκμηρίωση τροχαίων ή άλλων ατυχημάτων, την εγκληματολογία κ.λπ.

Τα πρόγραμμα αυτά μπορούν χρησιμοποιώντας τη γεωμετρική πληροφορία αλλά και την υφή των εικόνων να παράγουν ένα πλήρες οπτικοποιημένο τρισδιάστατο μοντέλο και να πραγματοποιήσουν επ' αυτού μετρήσεις. Είναι λογισμικά διαχείρισης πολλών εικόνων και το αποτέλεσμα τους είναι προϊόν συνόρθωσης που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της δέσμης (Bundle Adjustment). Χρησιμοποιούν ομόλογες ακτίνες από πολλαπλές φωτογραφίες του ίδιου αντικειμένου και κάνουν ανακατασκευή του αντικειμένου μέσα από συνόρθωση των αλληλοτομιών.

Η μέθοδος της δέσμης αποτελεί την πιο γενική μέθοδο πολυεικονικής συνόρθωσης, εξασφαλίζει ταυτόχρονο προσδιορισμό των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού με τη διαδικασία της αυτοβαθμονόμησης και του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων, καθώς επίσης και των γεωδαιτικών συντεταγμένων των μετρημένων σημείων. Η μέθοδος αυτή έχει ξεκινήσει σαν μέθοδος επίλυσης του αεροτριγωνισμού αλλά αποτελεί πλέον την κατεξοχήν αναλυτική διαδικασία τριγωνισμού. Ο βασικός λόγος που την καθιστά κατάλληλη και ολοένα πιο εφαρμόσιμη σε επίγειες εφαρμογές είναι ότι παραμένει αποτελεσματική κατά την χρήση ψηφιακών ερασιτεχνικών-μη μετρητικών μηχανών ακόμα και σε ελεύθερης γεωμετρίας λήψεις.

Σε αυτού του είδους τα λογισμικά οι δέσμες των ακτινών ορίζονται από τις εικονοσυντεταγμένες των ομόλογων σημείων και το προβολικό κέντρο. Με στροφή και μετατόπιση οι ομόλογες ακτίνες τέμνονται όσο το δυνατό καλύτερα σε σχέση πάντα με τις δεσμεύσεις που τίθενται. Οι δεσμεύσεις μπορεί να είναι φωτοσταθερά ή ακόμα και μετρημένες αποστάσεις. Υπολογίζει δηλαδή τις αλληλοτομίες των ακτινών που καθορίζονται από την εικόνα κάθε σημείου στις φωτογραφίες, ορίζει τη τοπολογία και ακολούθως την βελτιστοποιεί.

3.2.7 Μονοεικονικές αποδόσεις

Η μονοεικονική απόδοση αποτελεί λύση σε περίπτωση απόδοσης κυλινδρικών, κωνικών, σφαιρικών επιφανειών κ.α. οι οποίες προσεγγίζονται αναλυτικά με μαθηματικές επιφάνειες 2ου βαθμού. Σε αντίθετη περίπτωση η όλη διαδικασία, θα μπορούσε να αποδοθεί με φωτογραμμετρική διαδικασία η οποία απαιτεί εξειδίκευση και εξοπλισμό (Karras et al, 2006).

Αντικείμενα αυτού του τύπου προκύπτουν συχνά σε επίγειες εφαρμογές όπως αρχαίοι τάφοι, πύργοι, αψίδες, τρούλοι, μύλοι, φάροι και υδραγωγεία. Βασική ιδέα της μονοεικονικής αποτύπωσης είναι ότι η αναλυτική εξίσωση της επιφάνειας συνεισφέρει μια τρίτη εξίσωση, η οποία μπορεί πλέον να 'τμηθεί' στον χώρο από την δέσμη μίας κεντρικής προβολής, ορίζοντας τις 3D συντεταγμένες σημείων της επιφάνειας που έχουν μετρηθεί στην εικόνα. Ακόμα, ζητούμενο σε παρόμοιες περιπτώσεις δεν είναι η ορθή προβολή αλλά αντίθετα το ψηφιακό ανάπτυγμα ή για μη αναπτυκτές επιφάνειες η απεικόνιση σε κατάλληλη χαρτογραφική προβολή (Karras et al., 1997).

3.3 Επιλογή Μεθοδολογίας

Με την ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών, των laser scanner και γενικά της τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί όπως φαίνεται παραπάνω διάφορες μέθοδοι επίγειας γεωμετρικής τεκμηρίωσης.

Η επιλογή μεθοδολογίας για τη τεκμηρίωση και απόδοση ενός μνημείου αποτελεί πλέον συνδυασμό διαφόρων μεθόδων που θα πρέπει να συνδυάζουν το χρόνο, την οικονομία και την ακρίβεια. Λαμβάνοντας υπόψη τα προηγούμενα η τεκμηρίωση του I.N Παναγίας

Ποδίθου έγινε με επιλογή διαφόρων μεθόδων που θα τηρούσε τα προηγούμενα και φαίνεται στο πίνακα 3.2.

Μεθοδολογία	Εφαρμογή
Τοπογραφική	Μέτρηση πολυγωνομετρικού δικτύου, φωτοσταθερών, τοποσταθερών
Φωτογραμμετρική	Στις επιφάνειες του ναού
Παραγωγή ορθοφωτογραφίας με χρήση νέφους σημείων και ψηφιακής φωτογραφίας	Βόρεια και νότια στέγη του ναού
Τοπομετρική	Συμπληρωματικές μετρήσεις

Πίνακας 3.2: Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στον Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου

Η γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού έγινε επίσης με χρήση της πολυεικονικής ανακατασκευής με μονοσκοπική παρατήρηση στο πλαίσιο παράλληλης διπλωματικής εργασίας (Χρυσοστόμου, 2008). Με αφορμή αυτό θα γίνει σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων των δύο διπλωματικών σε παρακάτω κεφάλαιο.

4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού προηγούνται οι εργασίες πεδίου και σε επόμενο στάδιο ακολουθούν οι εργασίες γραφείου οι οποίες αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο. Οι εργασίες πεδίου όπως εφαρμόστηκαν κατά τη διεξαγωγή της τεκμηρίωσης παρουσιάζονται χρονολογικά στο παρακάτω πίνακα και περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια. Επίσης, στο παρών κεφάλαιο περιγράφεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την περάτωση των εργασιών.

α/α	Εργασίες
1	Αναγνώριση περιοχής μελέτης
2	Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου
3	Μέτρηση πολυγωνομετρικού δικτύου
4	Σύνταξη αυτοσχεδίων υπαίθρου (κροκί)
5	Προγραμματισμός λήψεων
6	Τοποθέτηση φωτοσταθερών
7	Μέτρηση φωτοσταθερών και χαρακτηριστικών σημείων
8	Λήψη φωτογραφιών
9	Σαρώσεις με Laser Scanner
10	Συμπληρωματικές μετρήσεις με την τοπομετρική μέθοδο


Πίνακας 4.1: Στάδια εργασιών πεδίου

4.1 Περιγραφή Εξοπλισμού

Για τη γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου σε μεγάλη κλίμακα είναι απαραίτητο να υπάρχει τοπογραφικός και φωτογραμμετρικός εξοπλισμός ακριβείας. Παρακάτω περιγράφεται ο εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε.

4.1.1 Τοπογραφικός εξοπλισμός


Το πολυγωνομετρικό δίκτυο, τα φωτοσταθερά και τα χαρακτηριστικά σημεία προσδιορίστηκαν με γεωδαιτικές μεθόδους και συγκεκριμένα με τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού PENTAX R-323NX, πρίσματος, τρίποδα οργάνου, στυλαιού πρίσματος, τρίποδα στυλαιού, μετροταινίας και «αράχνης». Η μέτρηση αποστάσεων του πολυγωνομετρικού δικτύου έγινε με χρήση πρίσματος, ενώ των φωτοσταθερών και χαρακτηριστικών σημείων με χρήση laser χωρίς πρίσμα.

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ακρίβεια μέτρησης γωνιών: 10^{cc} ✓ Δυνατότητα μέτρησης απόστασης χωρίς πρίσμα (Reflectorless): ✓ Ακρίβεια μέτρησης απόστασης: ±2mm ±2ppm ✓ Εμβέλεια μέτρησης χωρίς πρίσμα: 270m, με πρίσμα 4500m ✓ Χρόνος μέτρησης: 0.4<sec ✓ Διαθέτει φωτεινό οδηγό χάραξης (Point Guide) • Βάρος: 5.7kg
---	---

Πίνακας 4.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Γεωδαιτικού Σταθμού

4.1.2 Φωτογραμμετρικός εξοπλισμός

Για τη λήψη των φωτογραφιών του μνημείου χρησιμοποιήθηκε η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon EOS-1D Mark II του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας. Η μηχανή Canon EOS-1D Mark II υποστηρίζει όλους τους φακούς EF της Canon (εκτός των φακών EF-S). Για την λήψη χρησιμοποιήθηκε φακός με εστιακή απόσταση 24mm. Ο αριθμός των ενεργών εικονοστοιχείων είναι 8.2 εκατομμύρια με μέγεθος περίπου 8.19μm. Διαθέτει αισθητήρα CMOS με ενεργό μέγεθος 28.7 x 19.1mm. Η μέγιστη δυνατή ανάλυση της εικόνας είναι 3504 x 2336 εικονοστοιχεία. Οι εικόνες αποθηκεύονται σε κάρτα Compact Flash (CF/SD) και παρέχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης εγγραφής της εικόνας σε μορμάτ RAW και JPEG. Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζεται η φωτογραφική μηχανή καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά.

	<ul style="list-style-type: none"> • Αισθητήρας Εικόνας: CMOS • Ενεργό Μέγεθος Αισθητήρα: 28.7 x 19.1mm • Ενεργά Pixels: περίπου 8.2 Megapixel • Μέγεθος Pixel: περίπου 8.19μm • Μέγεθος Εικόνας: 3504 x 2336 pixels (περίπου 2.8MB) • Μέσο Εγγραφής: Κάρτα Compact Flash (CF / SD) • Μορφή Εγγραφής: JPEG και RAW • Ταυτόχρονη εγγραφή RAW και JPEG • Διαστάσεις (Π x Υ x Β): 156 x 157.6 x 79.9mm • Βάρος (χωρίς μπαταρία και αξεσουάρ): 1.225gr • Εστιακή απόσταση φακού: 24mm
--	--

Πίνακας 4.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψηφιακής μηχανής

4.1.3 Επίγειος σαρωτής Laser

Για τη συλλογή του απαραίτητου νέφους σημείων, χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής laser Cyrax 2500 του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας. Ο σαρωτής χρησιμοποιεί παλμικό laser με δέσμη διαμέτρου 6mm στα 50m απόσταση και την αρχή «χρόνου πτήσης» για την μέτρηση αποστάσεων, μετρά δηλαδή τον χρόνο που κάνει ο παλμός να επιστρέψει στον δέκτη από την στιγμή που έφυγε από τον πομπό. Η ακρίβεια στις μετρήσεις αποστάσεων είναι $\pm 4\text{mm}$. Για την γωνιακή εκτροπή του παλμού laser υπάρχει οπτικό σύστημα με καθρέπτες οι οποίοι περιστρέφονται με ακρίβεια $\pm 60\mu\text{rad}$ (micro-radians). Η πυκνότητα της σάρωσης μπορεί να φτάσει τα 0,25mm στα 50m απόστασης και το μέγιστο πλήθος σημείων σε μία σάρωση μπορεί να φτάσει τα 1.000.000 (1.000 στον οριζόντιο και 1.000 στον κατακόρυφο άξονα). Έτσι, μπορεί να μετρηθεί η θέση μεμονωμένων σημείων με ακρίβεια $\pm 6\text{mm}$ στον χώρο ή να παραχθεί ψηφιακό μοντέλο επιφανείας με ακρίβεια $\pm 2\text{mm}$. Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζεται ο σαρωτής laser καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

	<ul style="list-style-type: none"> • Αρχή λειτουργίας: Μέθοδος των παλμών(Time of flight) • Μηχανισμός σάρωσης: Περιστρεφόμενοι καθρέφτες • Οπτικό πεδίο: 40°x40° • Ταχύτητα σάρωσης: 1000 σημεία/sec • Ελάχιστη πυκνότητα σαρωτή: 0.25mm / 50m • Μέγιστο βεληνεκές: 250m • Ελάχιστο βεληνεκές: 1.5m • Διάμετρος κουκκίδας laser: ±6mm / 50m • Ακρίβεια θέσης σημείου από απόσταση 50m: ±6mm • Ακρίβεια βεληνεκούς από απόσταση 50m: ±4mm • Γωνιακή ακρίβεια: ±60 micro-radians • Ισχύς δέσμης laser: <1mW • Μήκος κύματος: 532nm • Eye safety class: Class II • Θερμοκρασία λειτουργίας: 0-40°C • Λογισμικό επεξεργασίας: Cyclone • Διάρκεια μπαταρίας: 8h • Διαστάσεις σαρωτή: 40x33x43cm • Βάρος: 20.5kg
---	---

Πίνακας 4.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά σαρωτή CyraX 2500

4.2 Πορεία Εργασιών

Στη συνέχεια φαίνεται με χρονολογική σειρά η πορεία εργασιών όπως εφαρμόστηκε στο πεδίο για τη συλλογή στοιχείων.

4.2.1 Αναγνώριση περιοχής μελέτης

Το πρώτο στάδιο που προηγείται για την τεκμηρίωση ενός μνημείου και έχει ουσιαστικό και πρώτιστης σημασίας ρόλο είναι η αναγνώριση της περιοχής μελέτης. Η εκ των προτέρων αναγνώριση της περιοχής αποβλέπει στον σωστό προγραμματισμό των εργασιών και την αποφυγή σφαλμάτων που μπορεί να κοστίσουν χρονικά και οικονομικά.

Η διαδικασία της αναγνώρισης περιλαμβάνει αρχικά την εκτίμηση των γενικών διαστάσεων του μνημείου, του ελεύθερου χώρου και των εμποδίων που υπάρχουν γύρω από αυτό και την επισήμανση των επιπέδων και των αρχιτεκτονικών στοιχείων που το συνθέτουν. Επίσης, γίνεται έλεγχος της επιπεδότητας και κατά-κορυφότητας των όψεων και της



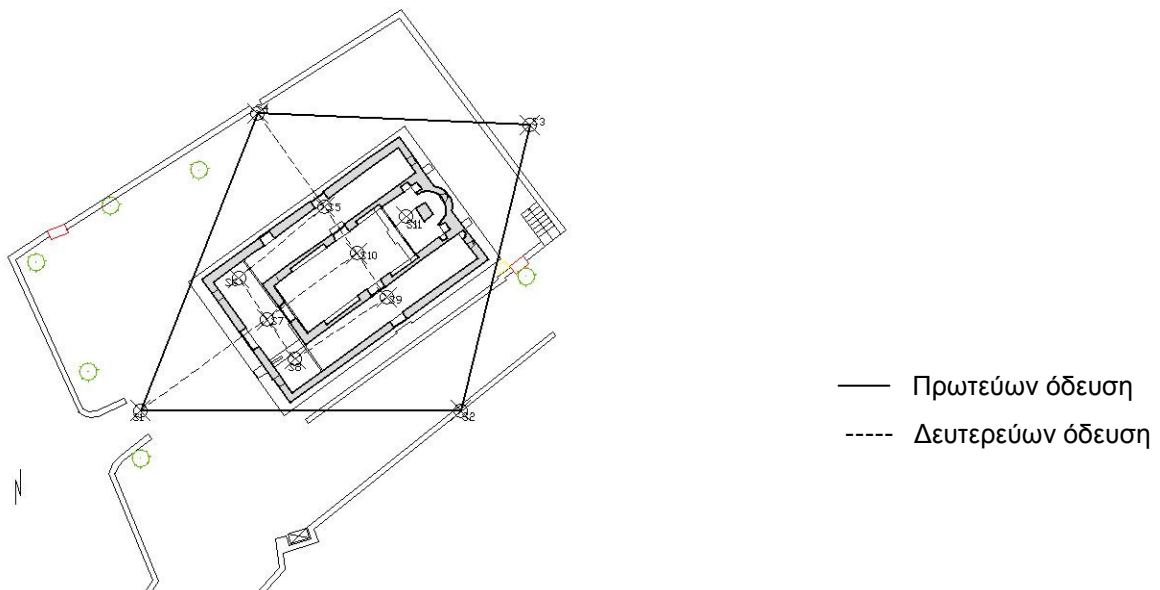
Εικόνα 4.1: Δορυφορική λήψη του ναού
Πηγή: Google Earth

παραλληλίας που έχουν τα επιμέρους στοιχεία μεταξύ τους έτσι ώστε να είναι διαθέσιμες οι απαραίτητες πληροφορίες που θα καθορίσουν το είδος της φωτογραμμετρικής επεξεργασίας και κατά συνέπεια τον τρόπο με τον οποίο θα ληφθούν οι φωτογραφίες.

Στη περίπτωση του προς μελέτη ναού δεν υπάρχουν ιδιαίτερα εμπόδια εκτός από μια ελιά η οποία βρίσκεται στην νοτιοανατολική πλευρά του ναού. Στην νότια και ανατολική πλευρά του ναού υπάρχει πρασιά η οποία όμως είναι εύκολα προσπελάσιμη.

4.2.2 Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου

Μετά από την αναγνώριση της περιοχής ακολούθησε η ίδρυση του πολυγωνομετρικού δικτύου. Οι στάσεις του πολυγωνομετρικού δικτύου επιλέγηκαν έτσι ώστε από αυτές να υπάρχει ορατότητα σε όλο τον ναό. Η πρωτεύων όδευση είναι κλειστή ανεξάρτητη και αποτελείται από τέσσερις στάσεις, ενώ η δευτερεύων όδευση είναι ανοικτή εξαρτημένη από τα δύο άκρα και αποτελείται από έξι στάσεις εντός του ναού. Η δευτερεύων όδευση εξαρτήθηκε στις στάσεις S1 και S4 του εξωτερικού δικτύου. Τα δίκτυα φαίνονται με συνεχή και διακεκομμένη γραμμή στην εικόνα 4.2 αντίστοιχα. Ακόμη, υπάρχει μία τυφλή στάση στο χώρο του ιερού του ναού.



Εικόνα 4.2: Πολυγωνομετρικό δίκτυο

Μετά από την ίδρυση του πολυγωνομετρικού δικτύου ακολούθησε η μέτρηση του. Για τη μέτρηση του χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός που αναφέρθηκε πιο πάνω. Η ακρίβεια των οδεύσεων πρέπει να είναι μεγάλη οπότεν χρησιμοποιήθηκαν τρίποδες για την οριζοντίωση των στυλαιών των κατάφωτων. Στο εσωτερικό του ναού χρησιμοποιήθηκε «αράχνη» για να μη γίνουν φθορές στο πάτωμα.

4.2.3 Σύνταξη αυτοσχέδιων υπαίθρου

Η σύνταξη αυτοσχέδιων υπαίθρου αποτελεί μια από τις σημαντικότερες εργασίες πεδίου η οποία θα βοηθήσει στην ομαλότερη διεκπεραίωση των εργασιών γραφείου. Συντάσσονται με μεγάλη προσοχή περιέχοντας την ανάλογη λεπτομέρεια, πληρότητα και αναλυτικότητα που πηγάζει από την τελική κλίμακα απόδοσης του αντικειμένου. Γίνεται σαφής διαχωρισμός των διάφορων επιπέδων και των προβαλλόμενων στο κύριο επίπεδο αντικειμένων.

Για την απόδοση των εξωτερικών όψεων και τομών του ναού συντάχθηκαν σκαριφήματα για κάθε πλευρά ξεχωριστά. Στα σκαριφήματα σημειώθηκαν οι θέσεις των προσημασμένων φωτοσταθερών, τοποσταθερών καθώς και των χαρακτηριστικών σημείων. Για το εσωτερικό του ναού, συντάχθηκαν αυτοσχέδια για της περιμετρικές στοές καθώς και για τον κυρίως ναό. Για τις αγιογραφίες έγινε επισήμανση των τοποσταθερών σημείων σε φωτογραφίες.

4.2.4 Προγραμματισμός λήψεων

Ο προγραμματισμός των λήψεων των φωτογραφιών αποβλέπει στην εύρεση της βέλτιστης λήψης ώστε αυτή να γίνεται με το ελάχιστο κόστος και τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια και πληρότητα. Η κλίμακα απόδοσης του τελικού διαγράμματος θα είναι 1:50 οπότε η λεπτομέρεια που χρειάζεται να αποδοθεί σε αυτή την κλίμακα μπορεί να αντληθεί από φωτογραφίες μικρότερων κλιμάκων.

Η κλίμακα των ληφθέντων φωτογραφιών καθορίζεται από τον εμπειρικό τύπο,

$$\frac{\lambda_{\alpha}}{\lambda_{\varphi}} \leq \frac{1}{5},$$

όπου λ_{φ} κλίμακα φωτογράφισης και λ_{α} κλίμακα απόδοσης. Από αυτό προκύπτει ότι η ελάχιστη κλίμακα φωτογράφισης είναι 1:250. Η απόσταση λήψης των φωτογραφιών προκύπτει από τον τύπο,

$$\frac{1}{K} = \frac{c}{H}$$

όπου K ο συντελεστής της κλίμακας φωτογράφισης, c η σταθερά της μηχανής και H η μέση απόσταση της μηχανής από το αντικείμενο. Οπότε η απόσταση λήψης των φωτογραφιών υπολογίστηκε στα $H=6m$.

Δεικονική απόδοση θα γίνει στην ανατολική όψη και ειδικότερα στο αψιδωτό ιερό λόγω του έντονου ανάγλυφου οπότε είναι αναγκαία η στερεοσκοπική λήψη φωτογραφιών. Για τις υπόλοιπες επιφάνειες εφαρμόστηκε μονοεικονική απόδοση λόγω επιπεδότητας των επιφανειών. Στην περίπτωση της στερεοσκοπικής λήψης πρέπει να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή στερεοσκοπική όραση. Αυτό σημαίνει ότι ο λόγος της βάσης του στερεοζεύγους προς την απόσταση λήψης πρέπει να είναι μικρότερος από 1/5 με ιδανική τιμή το 1/4, οπότε η βάση λήψης $\beta=1.5m$.

4.2.5 Τοποθέτηση φωτοσταθερών

Φωτοσταθερά είναι προσημασμένα σημεία που τοποθετούνται στο αντικείμενο, των οποίων οι συντεταγμένες προσδιορίζονται με τοπογραφικές μεθόδους και χρησιμοποιούνται στη φωτογραμμετρική διαδικασία για τον προσδιορισμό του εξωτερικού προσανατολισμού της φωτογραφίας ή του στερεοζεύγους. Τα τοποσταθερά εκτελούν την ίδια δουλειά, μόνο που είναι φυσικά σημεία τα οποία είναι εύκολα αναγνωρίσιμα τόσο στο αντικείμενο όσο και στις φωτογραφίες. Χρήση τους γίνεται σε απρόσιτες περιοχές ή όπου η επέμβαση στο αντικείμενο είναι αδύνατη. Η χρήση τους πρέπει να περιορίζεται μόνο στις απολύτως αναγκαστικές περιπτώσεις αφού εισάγουν μεγάλα σφάλματα κατά την επεξεργασία τους.

Η σήμανση των φωτοσταθερών γίνεται με ευδιάκριτους αυτοκόλλητους στόχους, οι οποίοι είναι σε θέση να αποκολληθούν μετά το πέρας των εργασιών. Το μέγεθος των στόχων πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται η διάκρισή τους πάνω στις φωτογραφίες και στη περίπτωση στερεοζευγών επιλέγεται έτσι ώστε να είναι μεγαλύτερο από το μέγεθος της ιπτάμενης μάρκας.

Όσον αφορά την κατανομή και το πλήθος τους, εξαρτάται από την φωτογραμμετρική μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί. Στην μόνο αλλά και στην στέreo- αναγωγή ο ελάχιστος αριθμός φωτοσταθερών που απαιτούνται είναι τέσσερα. Στη μεν μονοεικονική φωτογραμμετρία ο προβολικός μετασχηματισμός που εκτελείται έχει οκτώ αγνώστους. Κάθε φωτοσταθερό δίνει δύο εξισώσεις παρατήρησης. Άρα με τέσσερα λύνεται το σύστημα. Στη δε στερεοφωτογραμμετρία ο εξωτερικός προσανατολισμός έχει δώδεκα αγνώστους. Κάθε φωτοσταθερό δίνει τρεις εξισώσεις παρατήρησης με αποτέλεσμα τέσσερα φωτοσταθερά να είναι ικανά να δώσουν λύση. Όμως σε κάθε περίπτωση τοποθετούνται περισσότερα των ελάχιστων απαιτούμενων φωτοσταθερών έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η συνόρθωση. Οι καταλληλότερες θέσεις των φωτοσταθερών είναι περιμετρικά της φωτογραφίας στην αναγωγή και περιμετρικά στην κοινή περιοχή κάθε ζεύγους, γιατί εκεί παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα σφάλματα (μεγαλύτερες ακτινικές παραμορφώσεις). Με αυτόν τον τρόπο τα σφάλματα είναι ελεγχόμενα. Σημειώνεται βέβαια η ανάγκη τοποθέτησης φωτοσταθερών και στο εσωτερικό της περιοχής για να είναι πλήρως ελεγχόμενα και τα σφάλματα του υψομετρικού δικτύου.

Τα φωτοσταθερά τα οποία τοποθετήθηκαν στις όψεις του ναού φαίνονται στα αυτοσχέδια υπαίθρου. Ο συνολικός αριθμός των φωτοσταθερών που τοποθετήθηκαν και μετρήθηκαν φαίνεται στο πίνακα 4.5, κάποια από τα φωτοσταθερά είναι εκτός από αυτοκόλλητοι στόχοι και στόχοι του laser scanner.

Όψη	Αριθμός φωτοσταθερών
Βόρεια	16
Ανατολική	14
Νότια	17
Δυτική	9
Σύνολο	56

Πίνακας 4.5: Φωτοσταθερά που τοποθετήθηκαν

Μετά από τη τοποθέτηση των φωτοσταθερών ακολούθησε η μέτρηση τους με τη χρήση του γεωδαιτικού σταθμού με τη λειτουργία του laser.

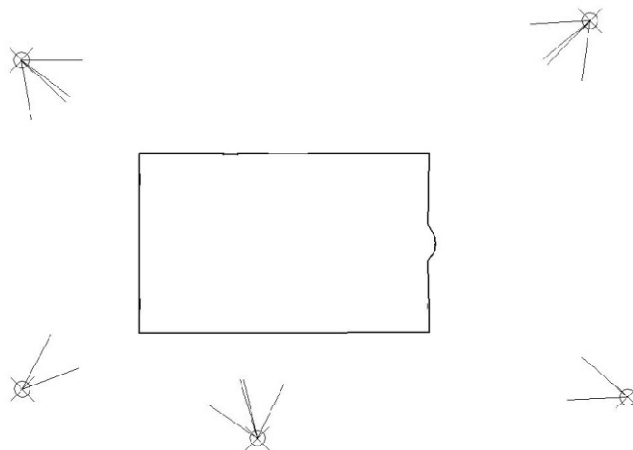
4.2.6 Λήψη φωτογραφιών

Μετά από τον προγραμματισμό των λήψεων και την τοποθέτηση των φωτοσταθερών, ακολούθησε η διαδικασία λήψεων των φωτογραφιών σε όλη την εκκλησία. Δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στον φωτισμό των όψεων του ναού οπότε η κάθε λήψη έγινε ανάλογα με τη θέση του ήλιου έτσι ώστε να έχουμε καλό φωτισμό και εξάλειψη των σκιών, επίσης έγινε προσπάθεια να έχουμε όσο το δυνατόν μη συγκλίνουσες ή αποκλίνουσες λήψεις.

4.2.7 Σαρώσεις με laser scanner

Στη περίπτωση του ναού της Παναγίας της Ποδίθου πραγματοποιήθηκαν συνολικά οκτώ σαρώσεις. Έγινε μία σάρωση στη νοτιοδυτική πλευρά της εκκλησίας, δύο στην νότια πλευρά (μία προς τα ανατολικά και μία προς τα δυτικά), μία στην νοτιοανατολική, δύο στην βόρειο-ανατολική (μία προς τα βόρεια και μία προς τα ανατολικά) και δύο στη βορειοδυτική.

Οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν με ανάλυση 1 cm (οριζόντια και κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των σημείων) και είχαν αρκετή επικάλυψη μεταξύ τους. Επιπλέον, τοποθετήθηκαν σε διάφορα σημεία του ναού 12 ειδικοί στόχοι Cyra που συνοδεύουν το σαρωτή και οι οποίοι σαρώθηκαν με ανάλυση 1 mm.



Εικόνα 4.3: Θέσεις τοποθέτησης σαρωτή κατά τη σάρωση του ναού

4.2.8 Συμπληρωματικές μετρήσεις με την τοπομετρική μέθοδο

Στο στάδιο αυτό μετρήθηκαν με τη χρήση μετροταινίας οι βασικές διαστάσεις του ναού, οι πόρτες και τα παράθυρα. Επίσης, έγινε μέτρηση του πάχους των πόρτων, παραθύρων και γενικά ότι θα μπορούσε να βοηθήσει κατά την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν.

5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Μετά το πέρας των εργασιών που έγιναν στο πεδίο, ακολουθούν οι εργασίες γραφείου οι οποίες θα δώσουν τα τελικά αποτελέσματα της τεκμηρίωσης του ναού. Ειδικότερα, περιλαμβάνονται εργασίες οι οποίες αφορούν την αποθήκευση των δεδομένων (γεωδαιτικές μετρήσεις, εικόνες, μετρήσεις σαρωτή), τον υπολογισμό των τοπογραφικών εργασιών, τις φωτογραμμετρικές επεξεργασίες, την επεξεργασία των νεφών σημείων που προέκυψαν από το σαρωτή και τελικά την παραγωγή των τελικών προϊόντων.

5.1 Επεξεργασία Δεδομένων

Σε αρχικό στάδιο, μετά τις εργασίες πεδίου έγινε μεταφορά των δεδομένων των μετρήσεων από το Total Station στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (H/Y) για περαιτέρω επεξεργασία. Τα αρχεία των μετρήσεων υπέστησαν τέτοια επεξεργασία ώστε να είναι σε στήλες. Ακολούθως, έγινε μεταφορά των εικόνων που λήφθηκαν από την φωτογραφική μηχανή στον H/Y.

5.2 Επίλυση Πολυγωνομετρικού Δικτύου

Ακολούθως σε αυτή τη φάση, πραγματοποιήθηκε η επίλυση της εξωτερικής και εσωτερικής όδευσης αντίστοιχα και προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες του φωτογραμμετρικού δικτύου αλλά και οι συντεταγμένες των σημείων της περιοχής γύρω από το ναό.

Για την επίλυση της όδευσης θεωρήθηκε σταθερή η κορυφή S1 με συντεταγμένες $X=100m$, $Y=100m$, $H=100m$ και η γωνία διεύθυνσης θεωρήθηκε $\alpha_{12}=100grad$. Με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού TopoAll και του MS Office-Excel έγινε επίλυση της εξωτερικής όδευσης και εξάχθηκαν οι καρτεσιανές συντεταγμένες των κορυφών. Ακολούθως, έγινε επίλυση της εσωτερικής όδευσης η οποία εξαρτήθηκε από τα δύο άκρα στην εξωτερική. Επίσης, προσδιορίστηκε μια τυφλή στάση (S11) στο ιερό η οποία ορίστηκε στην ευθυγραμμία των στάσεων S3-S10.

Η εξωτερική όδευση έκλεισε με οριζοντιογραφικό σφάλμα 3mm και υψομετρικό σφάλμα 6mm. Όσον αφορά την εσωτερική όδευση που διατρέχει το ναό έκλεισε με οριζοντιογραφικό σφάλμα 4.5mm και υψομετρικό σφάλμα 13mm. Οι συντεταγμένες των κορυφών των οδεύσεων φαίνονται στον πίνακα 5.1,

ΣΤΑΣΗ	X	Y	Z
Εξωτερική Όδευση			
S1	100.000	100.000	100.000
S2	123.190	100.000	101.803
S3	128.201	120.573	100.854
S4	108.505	121.436	99.751
Εσωτερική Όδευση			
S5	113.313	114.704	100.203

S6	107.130	109.556	100.326
S7	109.168	106.544	100.339
S8	111.206	103.712	100.388
S9	117.830	108.144	100.448
S10	115.673	111.330	100.470
Τυφλή Στάση			
S11	119.269	113.983	100.729

Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες κορυφών οδεύσεων

5.3 Επεξεργασία Νεφών Σημείων στο Λογισμικό Cyclone

Με τη χρήση του λογισμικού Cyclone το οποίο παρέχεται μαζί με το σαρωτή μπορεί να γίνει επεξεργασία στα νέφη σημείων τα οποία σαρώθηκαν. Κατά την επεξεργασία γίνεται ένωση όλων των νεφών και γεωαναφέρονται στο τοπικό σύστημα. Ακολούθως πραγματοποιείται καθαρισμός των νεφών από ανεπιθύμητα αντικείμενα όπως έδαφος και δέντρα.

5.3.1 Συνένωση και γεωαναφορά νεφών

Σε αρχικό στάδιο πραγματοποιείται συνένωση και γεωαναφορά των νεφών που συλλέχθηκαν με τον επίγειο σαρωτή laser. Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα συνένωσης των νεφών με δύο μεθόδους. Η πρώτη επιτυγχάνεται με χρήση ειδικών στόχων και η δεύτερη με χρήση ομόλογων σημείων. Για τη συνένωση των νεφών χρησιμοποιήθηκαν και οι δυο μέθοδοι επειδή κάποιοι στόχοι δεν αναγνωρίστηκαν σωστά με αποτέλεσμα να μη μπορούν να χρησιμοποιηθούν και επειδή ένα νέφος δεν είχε στόχους. Πριν από τη συνένωση των νεφών προηγήθηκε η μεταφορά τους από τον υπολογιστή του laser σε υπολογιστή μεγαλύτερης υπολογιστικής ισχύος. Η συνένωση έγινε διαδοχικά ανά δύο νέφη για μεγαλύτερη ευκολία, εισήχθησαν αρχικά δύο νέφη, συνενώθηκαν και μετέπειτα έγινε εισαγωγή του επόμενου το οποίο συνενώθηκε με τα προηγούμενα.

Η γεωαναφορά γίνεται παράλληλα με τη συνένωση των νεφών με λογισμικό του σαρωτή συνταυτίζοντας τα ομόλογα σημεία των στόχων από το νέφος με τις τελικές υπολογισμένες γεωδαιτικές τους συντεταγμένες. Οι απαραίτητες παράμετροι για τη γεωαναφορά είναι τρεις στροφές (ω , ϕ , κ) και τρεις μεταθέσεις (X , Y , Z).

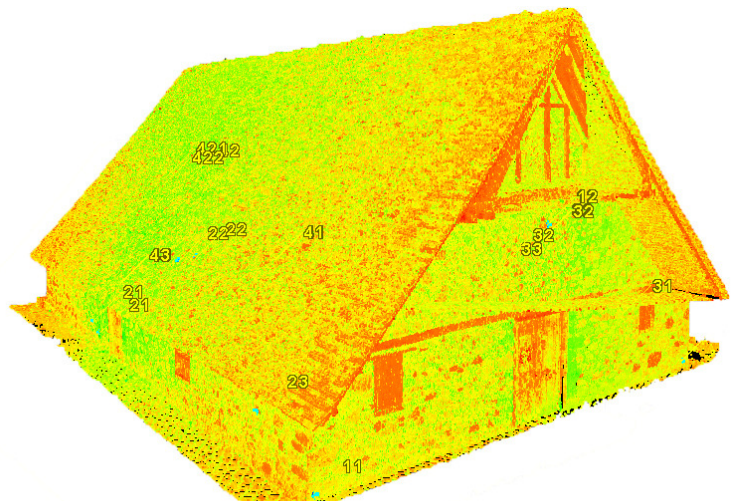
Η συνένωση έγινε με τη χρήση της ρουτίνας Registration του Cyclone. Αρχικά, έγινε εισαγωγή ενός αρχείου *.txt στο οποίο υπάρχουν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των ειδικών στόχων. Για τη συνένωση με ειδικούς στόχους, ορίστηκε ως σύστημα αναφοράς (Home ScanWorld) το αρχείο με τις συντεταγμένες των στόχων, ακολούθως έγινε εισαγωγή δύο νεφών, και με την εντολή Auto Add Constrains όπου το πρόγραμμα εντοπίζει τους κοινούς στόχους μεταξύ των νεφών και του αρχείου με τις συντεταγμένες των στόχων. Ακολούθως, με την εντολή Register τα δύο νέφη συνενώνονται, γεωαναφέρονται και υπολογίζονται τα στατιστικά σημεία (registration diagnostics). Ο χρήστης μπορεί να εξαιρέσει τα σημεία με το μεγαλύτερο σφάλμα και να επαναλάβει τη διαδικασία έως ότου το μέσο τετραγωνικό σφάλμα να περιοριστεί στα επιθυμητά όρια. Η

διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ενωθούν όλα τα νέφη τα οποία έχουν ειδικούς στόχους.

Για την συνένωση με τη χρήση ομόλογων σημείων, επιλέγονται τα νέφη που θα λάβουν μέρος στη συνένωση και έπειτα με την εντολή Add Cloud Constrains εμφανίζονται στην οθόνη δύο παράθυρα στα οποία παρουσιάζονται τα δύο νέφη. Στη συνέχεια επιλέγονται τουλάχιστον τρία ομόλογα σημεία στην επικαλυπτόμενη περιοχή και εκτελείται η συνόρθωση των νεφών με την εντολή Optimize Cloud Alignment. Τα ομόλογα σημεία πρέπει να καλύπτουν κατά το δυνατό όλη την επικαλυπτόμενη περιοχή και να μην είναι συνευθειακά. Αν η σύγκλιση είναι ικανοποιητική τότε το νέφος χαρακτηρίζεται Aligned. Σε κάποιες περιπτώσεις, όμως, η διαδικασία κρίνεται ανεπιτυχής και το συνενωμένο νέφος χαρακτηρίζεται ως Aligned/Underconstrain, αυτό δείχνει ότι η συνένωση είναι υποορισμένη, δηλαδή έχει επιτευχθεί με μικρή ακρίβεια, με τους ελάχιστους περιορισμούς. Σε αυτή τη περίπτωση ο χρήστης ελέγχει τα ομόλογα σημεία, εξαιρεί αυτά με τη μικρότερη ακρίβεια ή προσθέτει άλλα, αν εξακολουθεί το νέφος να παραμένει υποορισμένο μπορούν να αλλάξουν οι παράμετροι της συνένωσης, όπως, οι επαναλήψεις της συνόρθωσης ή και το ποσοστό των σημείων που συγκρίνονται στην επικαλυπτόμενη περιοχή. Αν το συνενωμένο νέφος εξακολουθεί να παραμένει υποορισμένο, τότε το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα παρατήρησης του συνενωμένου νέφους και αν η συνένωση κρίνεται ικανοποιητική και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα βρίσκεται στα επιθυμητά πλαίσια πραγματοποιείται η συνένωση.

5.3.2 Αποτελέσματα από συνένωση

Η συνένωση των νεφών έγινε με τη χρήση των ειδικών στόχων αλλά και με τη χρήση ομόλογων στόχων επειδή κάποιοι από τους στόχους είχαν μεν εντοπιστεί από το λογισμικό αλλά δεν εντοπίστηκαν στο κέντρο του στόχου. Η συνένωση των νεφών έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα με μέσο απόλυτο σφάλμα 2mm. Στην εικόνα 5.1 φαίνεται η βορειοανατολική όψη του συνενωμένου νέφους, οι αριθμοί που εμφανίζονται είναι οι κωδικοί των ειδικών στόχων όπως δόθηκαν κατά τη σάρωση στο πεδίο.



Εικόνα 5.1: Συνενωμένα νέφοι σημείων

5.4 Βαθμονόμηση Φωτογραφικής Μηχανής

Πριν από την έναρξη των φωτογραμμετρικών διαδικασιών (δεικονική απόδοση, ZPR) προηγήθηκε η βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής. Βαθμονόμηση είναι η διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων της εσωτερικής γεωμετρίας της

φωτογραφικής μηχανής με την οποία έγιναν οι λήψεις. Η βαθμονόμηση μίας ερασιτεχνικής μηχανής ορίζει τα χαρακτηριστικά της, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μετρητική κατά κάποιο τρόπο. Με τον τρόπο αυτό γίνονται άμεσα γνωστά τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού της μηχανής, δηλαδή η εστιακή απόσταση, το μέγεθος του CCD, η θέση του πρωτεύοντος σημείου καθώς και η διαστροφή του φακού. Επίσης γίνονται γνωστά το μέγεθος του εικονοστοιχείου (pixel) και η μορφή του (απόκλιση της καθετότητας και κλίμακας x/y).

Όπως προαναφέρθηκε για τις ανάγκες αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκε η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή CANON EOS-1D MARK II του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας. Η βαθμονόμηση της μηχανής έγινε με πρόγραμμα του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας το CALIBRATION_CCD το οποίο τρέχει σε MATLAB.

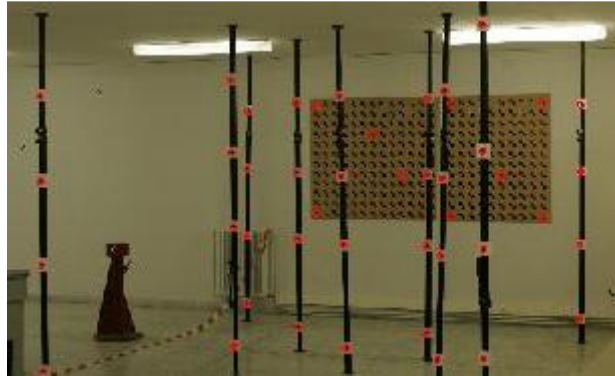
Για την βαθμονόμηση επίγειων φωτογραφικών μηχανών χρησιμοποιείται ένας ειδικά διαμορφωμένος χώρος (πεδίο βαθμονόμησης). Έτσι για την βαθμονόμηση της CANON EOS-1D MARK II πάρθηκαν από απόσταση 6m και 8m, έξι φωτογραφίες, δύο μετωπικές, δύο από δεξιά και δύο από αριστερά υπό γωνία. Πιο κάτω παρουσιάζονται οι φωτογραφίες του πεδίου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση της μηχανής.



Εικόνα 5.2: Φωτογραφίες πεδίου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση

Στη συνέχεια οι εικόνες αυτές εισήχθησαν στο AutoCAD και εξήχθησαν οι εικονοσυντεταγμένες φωτοσταθερών από το πεδίο ελέγχου (από όλα τα φωτοσταθερά που βρίσκονται στους κάθετους σωλήνες και μερικά φωτοσταθερά σε όλο το εύρος του

πίνακα που βρίσκεται στο βάθος). Στην πιο κάτω εικόνα με κόκκινο χρώμα φαίνονται τα φωτοσταθερά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση.



Εικόνα 5.3: Το πεδίο ελέγχου

Έπειτα, στο πρόγραμμα CALIBRATION_CCD έγινε εισαγωγή των γεωδαιτικών συντεταγμένων, των εικονοσυντεταγμένων και ορίστηκε το αρχείο εξόδου. Στο επόμενο βήμα ορίστηκαν οι μονάδες γωνιών, η φωτογραφική μηχανή και ζητήθηκε από το πρόγραμμα να υπολογιστούν προσωρινές τιμές για τον εσωτερικό και εξωτερικό προσανατολισμό. Αφού υπολογίστηκαν οι προσωρινές τιμές το πρόγραμμα υπολογίζει και δίνει τα τελικά αποτελέσματα του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού, τις παραμέτρους της ακτινικής και εφαπτομενικής διαστρόφης, τον λόγο κλίμακας y/x των εικονοστοιχείων καθώς και την απόκλιση των αξόνων από την ορθογωνικότητα. Επίσης στα αποτελέσματα συμπεριλαμβάνεται ο αριθμός των σημείων που έλαβαν μέρος στην όλη διαδικασία, ο αριθμός των επαναλήψεων καθώς και το τυπικό σφάλμα.

Τέλος από το CALIBRATION_CCD αποθηκεύτηκε η αναφορά βαθμονόμησης (calibration report) όπως και το διάγραμμα της ακτινικής διαστρόφης του φακού (Radial Distortion- $\Delta r/r$).

Τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την βαθμονόμηση της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής CANON EOS-1D MARK II είναι $x_0=1772.04$, $y_0=1176.24$ και $c=3000.44$ σε pixel. (Χρυσοστόμου, 2008).

5.5 Φωτογραμμετρική Επεξεργασία

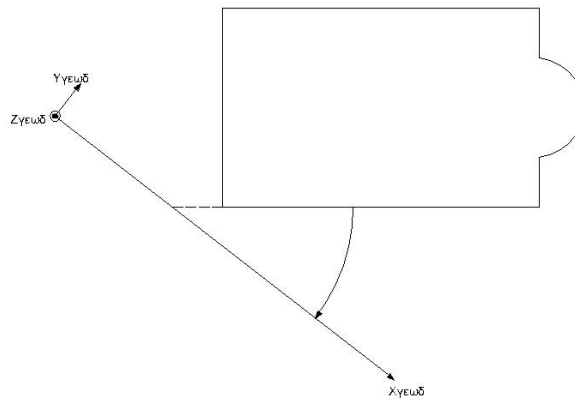
Η επεξεργασία που ακολουθεί αφορά την κύρια εργασία της παρούσας εργασίας, η οποία περιλαμβάνει αρχικά την στροφή των συντεταγμένων των φωτοσταθερών και των τοποσταθερών στο επιθυμητό επίπεδο προβολής. Στη συνέχεια ακολουθούν οι μονοεικονικές και δεικονικές αποδόσεις και η παραγωγή ορθοφωτογραφιών.

5.5.1 Φωτογραμμετρικό σύστημα - Επίπεδο προβολής

Για την παραγωγή των ζητούμενων στη γεωμετρική τεκμηρίωση, δηλαδή οι όψεις και οι τομές, είναι αναγκαία οι συντεταγμένες που ανήκουν σε αυτές να είναι παράλληλες στο επίπεδο αναφοράς. Για να επιτευχθεί αυτό εφαρμόζεται ένας διπλός μετασχηματισμός, μία στροφή του γεωδαιτικού συστήματος, έτσι ώστε να είναι παράλληλο με το ίχνος της

προβολής της όψης και μια εναλλαγή των αξόνων που προκύπτει έτσι ώστε να ταυτίζεται με το σύστημα αξόνων των φωτογραμμετρικών λήψεων. Με τη χρήση των συντεταγμένων από το φωτογραμμετρικό σύστημα μπορεί να γίνει εφαρμογή των κατάλληλων επεξεργασιών.

Για την παραπάνω διαδικασία, αρχικά ραπορτάρονται τα φωτοσταθερά, αλλά και τα σημεία των όψεων με τις γεωδαιτικές συντεταγμένες σε περιβάλλον ηλεκτρονικής σχεδίασης CAD. Τα σημεία αυτά θεωρητικά θα έπρεπε να είναι σε μία ευθεία για κάθε όψη αντίστοιχα, πρακτικά όμως είναι αδύνατον να συμβαίνει λόγω σφαλμάτων που υπήρχαν κατά τη στιγμή των μετρήσεων. Για τον υπολογισμό του αζιμούθιου του ίχνους των επιπέδων κάθε πλευράς, δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στα φωτοσταθερά επειδή μετρήθηκαν με μεγαλύτερη προσοχή, από αυτά επιλέγεται η βέλτιστη ευθεία για κάθε όψη. Για την εφαρμογή θεωρήθηκαν παράλληλα τα επίπεδα της Βόρειας με την Νότια όψη και κάθετα σε αυτές της Ανατολικής και της Δυτικής, η παραλληλία και η καθετότητα των όψεων επιβεβαιώθηκε στο πρόγραμμα CAD.



Εικόνα 5.4: Στροφή γεωδαιτικού συστήματος

Ακολούθως, εφαρμόζεται ο πρώτος μετασχηματισμός με τη χρήση των παρακάτω σχέσεων,

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}$$

Όπου X', Y' οι συντεταγμένες των σημείων που είναι παράλληλες με το επίπεδο προβολής της όψης, X, Y οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων, X_0, Y_0 το αρχικό σημείο του νέου συστήματος(μετάθεση) και θ το αζιμούθιο για στροφή στον κατάλληλο άξονα. Για την εναλλαγή των αξόνων και την παραγωγή των φωτογραμμετρικών συντεταγμένων χρησιμοποιούνται οι σχέσεις που φαίνονται στο παρακάτω πίνακα 5.2,

ΟΨΗ	ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ		
Βόρεια	$X\phi=-X'$	$Y\phi=H$	$H\phi=Y'$
Ανατολική	$X\phi=Y'$	$Y\phi=H$	$H\phi=X'$
Νότια	$X\phi=X'$	$Y\phi=H$	$H\phi=-Y'$
Δυτική	$X\phi=-Y'$	$Y\phi=H$	$H\phi=-X'$

Πίνακας 5.2: Σχέσεις φωτογραμμετρικού συστήματος

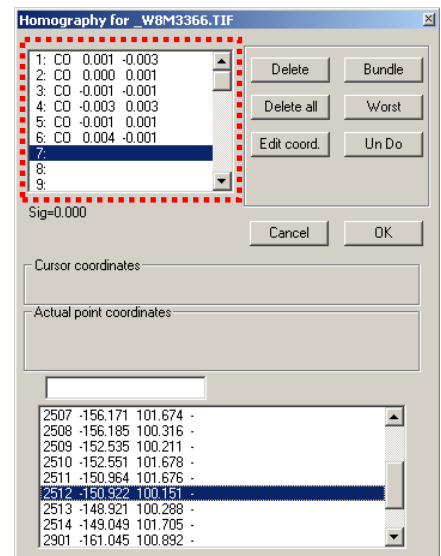
5.5.2 Μονοεικονική απόδοση

Αναγωγή εφαρμόστηκε στις επίπεδες όψεις του ναού, συγκεκριμένα σε όλες τις επιφάνειες εκτός από τις στέγες στα βόρεια και νότια αλλά και στο χώρο του αψιδωτού ιερού.

Για την εφαρμογή της αναγωγής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Archis της SISCAM. Το λογισμικό αυτό απαιτεί τη δημιουργία ενός project στο οποίο έγινε εισαγωγή των εικόνων προς αναγωγή σε μορφή *.tiff αλλά και των συντεταγμένων των στραμμένων φωτοσταθερών σε μορφή *.txt

Μετάπειτα, επιλέγεται η εικόνα στην οποία θα εφαρμοστεί η αναγωγή και στοχεύονται τα φωτοσταθερά πάνω στην εικόνα. Αφού στοχευθούν τουλάχιστον τέσσερα φωτοσταθερά το λογισμικό επιλύει τον μετασχηματισμό (προβολικός) και εμφανίζει τα εναπομένοντα σφάλματα όπως φαίνεται στην εικόνα 5.5. Σε περίπτωση που τα σφάλματα είναι μεγαλύτερα από τη ζητούμενη ακρίβεια επαναλαμβάνεται η στόχευση των σημείων, προστίθενται και άλλα σημεία ή εξαιρούνται τα σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα.

Επίσης, δίνεται η δυνατότητα σχηματισμού κανάβου (bundle) πάνω στη εικόνα, ο οποίος βοηθά στον έλεγχο της κατακορυφότητας και οριζοντιότητας των στοιχείων που βρίσκονται πάνω στο επίπεδο. Στο επόμενο στάδιο προσδιορίζεται η περιοχή στην οποία θα εφαρμοστεί η αναγωγή και ακολούθως ορίζεται ως μέθοδος αναδόμησης της εικόνας η διγραμμική παρεμβολή.



Εικόνα 5.5: Εναπομένον σφάλμα αναγωγής

5.5.3 Διεικονική απόδοση

Η εφαρμογή της διεικονικής απόδοσης έγινε για την ανατολική όψη και συγκεκριμένα για το κομμάτι του αψιδωτού ιερού. Η όλη επεξεργασία έγινε με τη χρήση του ψηφιακού φωτογραμμετρικού σταθμού SSK της Z/I Imaging. Η διεικονική απόδοση δεν είναι αναγκαία στην περίπτωση του ιερού επειδή υπάρχει, όπως αναφέρεται παραπάνω στη παράγραφο 5.3 νέφος σημείων από το οποίο θα προκύψει το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (DTM), ακολουθείται όμως η διαδικασία αυτή για να γίνει έλεγχος του DTM και να συμπληρωθούν κάποια σημεία στα οποία μπορεί να υπάρχει ελλιπής υψομετρική πληροφορία.

Αρχικά, στο περιβάλλον Image Station Digital Measuration δημιουργείται ένα project στο οποίο αποθηκεύονται οι προσανατολισμοί των εικόνων και τα DTM που θα δημιουργηθούν, σε αυτό δίνονται παράμετροι που αφορούν το μέσο υψόμετρο της επιφάνειας όπως προκύπτει από τη τρίτη διάσταση των φωτοσταθερών, η μέση απόσταση λήψης και η τελική μέση ακρίβεια με την οποία επιθυμείται να κλείσουν οι προσανατολισμοί. Για τον εσωτερικό και τον απόλυτο προσανατολισμό επιλέγθηκε

ακρίβεια 10 μ m και για τον απόλυτο 1.25cm όπως προκύπτει από τη διακριτική ικανότητα του ματιού ανηγμένη στη κλίμακα απόδοσης.

Μετάπειτα, εισάγονται τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού όπως προέκυψαν από τη βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής, οι διαστάσεις του φορμάτ και οι συντεταγμένες των εικονοσημάτων για κανονικό φορμάτ σε εικονοκεντρικό σύστημα. Το φορμάτ της μηχανής είναι 2336x3504 pixel οπότε οι συντεταγμένες των ακραίων εικονοστοιχείων που χρησιμοποιούνται σαν εικονοσήματα για τον εσωτερικό προσανατολισμό φαίνονται στο πίνακα 5.3,

α/α	X(pixel)	Y(pixel)
1	1168	1752
2	1168	-1752
3	-1168	-1752
4	-1168	1752

Πίνακας 5.3: Συντεταγμένες εικονοστοιχείων (όρθιο φορμάτ)

Η επίλυση του προσανατολισμού έγινε ενιαία για τις δύο εικόνες χρησιμοποιώντας τη μέθοδο συνόρθωσης κατά δέσμες. Για τον φωτοτριγωνισμό σκοπεύονται έξι σημεία σύνδεσης στο στερεομοντέλο στις θέσεις των σημείων Gruber, όπου αυτό ήταν εφικτό.

Για να γίνει εισαγωγή του νέφους στο λογισμικό πρέπει να προηγηθεί η στροφή και μετάθεση έτσι ώστε να είναι στο ίδιο φωτογραμμετρικό σύστημα με τα φωτοσταθερά. Ακολούθως, το νέφος εισάγεται στο SSK, παρατηρώντας στο στερεοζεύγος αν τα σημεία βρίσκονται σε καλή θέση πάνω στο επικαλυπτόμενο. Αφού, τα σημεία του νέφους ήταν ικανοποιητικά, έγινε εισαγωγή μερικών σημείων και γραμμών απότομης κλίσης (breakline) στο κάτω μέρος (τομή εδάφους και τοίχου εκκλησίας). Έπειτα, έγινε δημιουργία του DTM με τριγωνισμό και ακολούθως παραγωγή του ζητούμενου, δηλαδή ορθοφωτογραφία.

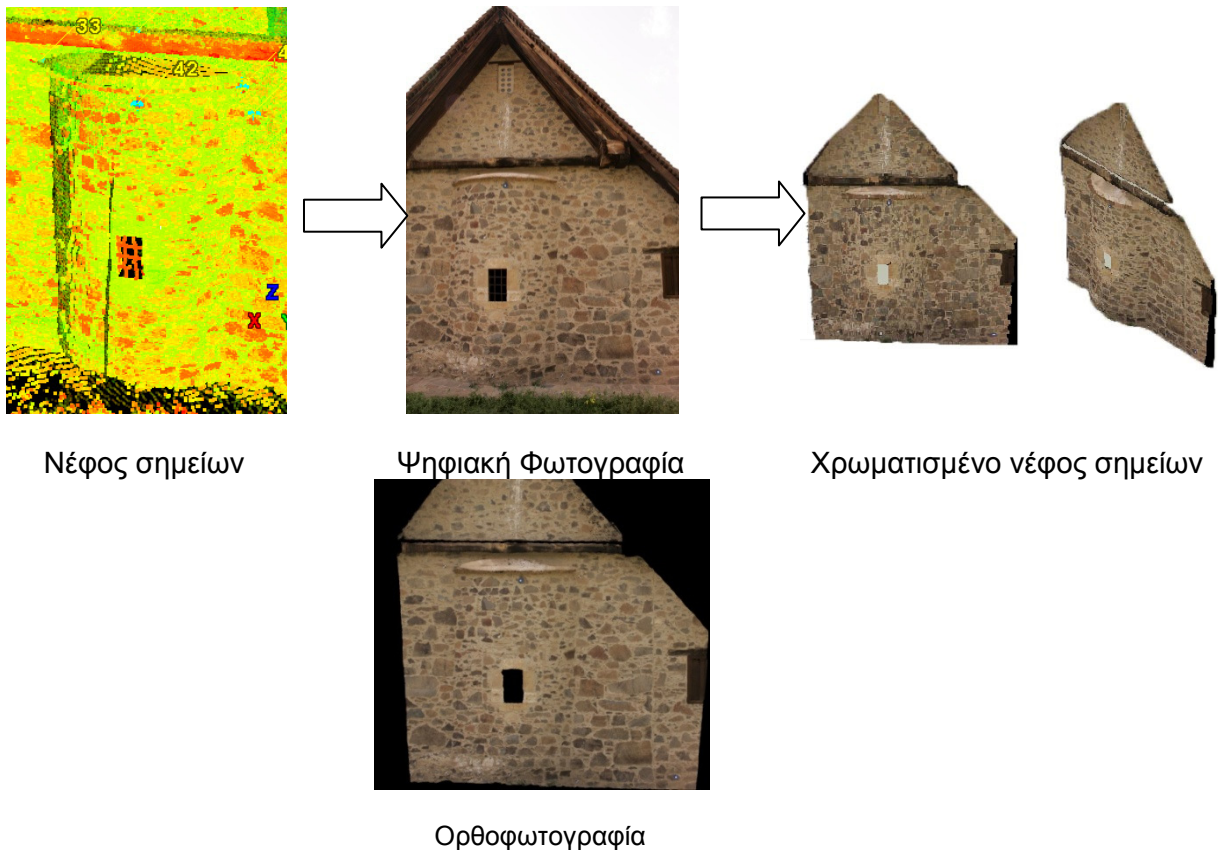
Η επίλυση του σχετικού προσανατολισμού του στερεοζεύγους επιλύθηκε με τέσσερις επαναλήψεις δίνοντας σφάλμα $\sigma = \pm 4.1\mu\text{m}$. Ο απόλυτος προσανατολισμός έδωσε σφάλμα RMS, $\sigma_{\text{RMSX}} = \pm 3\text{mm}$, $\sigma_{\text{RMSY}} = \pm 4\text{mm}$ και $\sigma_{\text{RMSZ}} = 6\text{mm}$.

Το μέγεθος του εικονοστοιχείου στην ορθοφωτογραφία πρέπει να είναι το ένα χιλιοστό της κλίμακας απόδοσης, δηλαδή στη περίπτωση αυτή 5mm. Η αναδόμηση της εικόνας πραγματοποιείται με διγραμμική παρεμβολή.

5.6 Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας με το Λογισμικό ZPR

Αρχικά, από το συνενωμένο νέφος επιλέχθηκε το μέρος του νέφους που θα χρωματιστεί και θα σχηματίσει την ορθοφωτογραφία. Το νέφος εισάχθηκε στο λογισμικό Geomagic έτσι ώστε να γίνει η πύκνωσή του επειδή η πυκνότητα του νέφους δεν είναι ικανοποιητική (της τάξης του 1-1.5cm) ενώ για την κλίμακα απόδοσης πρέπει να έχει πυκνότητα της τάξης των 5mm. Αφού έγινε η πύκνωση, εξήχθη σε μορφή *.txt ώστε να μπορεί να εισαχθεί στο ελεύθερο λογισμικό ZPR το οποίο συντάχθηκε στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας του εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας (Νάτσης, 2008).

Για τη χρήση του ZPR απαραίτητο είναι να συνταχθούν δύο αρχεία με τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων και με τις ομόλογες εικονοσυντεταγμένες τους στην ψηφιακή εικόνα. Τα δεδομένα εισάγονται στην εφαρμογή με την μορφή παραμέτρων στη γραμμή εντολών (command line parameters). Τα εισαγόμενα δεδομένα είναι το νέφος σημείων που χρησιμοποιείται, η αρχική ψηφιακή εικόνα, οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων, οι εικονοσυντεταγμένες των φωτοσταθερών/τοποσταθερών στην εικόνα, μια εκτίμηση της τιμής της εστιακής απόστασης του φακού της φωτομηχανής μετρημένη σε μονάδες rixel (στην προκειμένη περίπτωση η μια εικονοψηφίδα έχει διάσταση 8,1 μ m), το επίπεδο στο οποίο θα γίνει η ορθή προβολή και η διάσταση της εικονοψηφίδας στην τελική ορθοφωτογραφία. Σημειώνεται ότι η κλίμακα φωτογράφισης και η πυκνότητα του νέφους σημείων που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται πάντα από τη ζητούμενη κλίμακα της παραγόμενης ορθοφωτογραφίας όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Με την εκτέλεση του προγράμματος υπολογίζονται ο εσωτερικός και εξωτερικός προσανατολισμός της ψηφιακής εικόνας, χρωματίζεται το νέφος και προβάλλεται ορθά στο επιλεγμένο επίπεδο προβολής. Σε τελικό στάδιο, γίνεται πλήρωση των κενών (μαύρων) εικονοψηφίδων με τη χρήση του αλγόριθμου πλήρωσης κενών του ZPR.



Εικόνα 5.6: Παραγωγή ορθοφωτογραφίας στο ZPR

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε η παραγωγή ορθοφωτογραφίας για τη στέγη του ναού, στη βόρεια και τη νότια πλευρά. Επίσης, παραγωγή ορθοφωτογραφίας έγινε στην ανατολική πλευρά, και ειδικότερα στο αψιδωτό ιερό έτσι

ώστε να γίνει σύγκριση με την παραγωγή ορθοφωτογραφίας με τη χρήση του λογισμικού SSK.

5.7 Σύνταξη Φωτομωσαϊκών

Μετά από τη παραγωγή των ορθοφωτογραφιών που θα συνθέσουν τις όψεις και τις τομές ακολούθησε η εισαγωγή των εικόνων σε περιβάλλον CAD και πραγματοποιήθηκε η ένωση τους και η σύνθεση των φωτομωσαϊκών. Μετά από την εισαγωγή τους στο CAD προσδιορίστηκε η κλίμακα των φωτογραφιών με τη χρήση δύο φωτοσταθερών για κάθε ορθοφωτογραφία. Σε περιοχές όπου εντοπίστηκαν σημεία με κενά πληροφορίας έγινε κατάλληλη διαγράμμιση. Στα τελικά σχέδια, προστέθηκαν κλίμακα υψών, υψομετρικές στάθμες και γραμμή εδάφους.

6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα ορθοφωτομωσαϊκά, τα οποία δημιουργήθηκαν, πρέπει να χαρακτηρίζονται από ακρίβεια και ορθότητα, καθώς και να αποτελούν, κατά το δυνατόν, πιστή αναπαράσταση της πραγματικής κατάστασης της εκκλησίας. Για το λόγο αυτό έγινε έλεγχος των προϊόντων για να αποδειχθεί κατά πόσο αυτά προσεγγίζουν την πραγματικότητα και το επίπεδο ακρίβειας που έχει καθοριστεί εμμέσως από την κλίμακα απόδοσης.

6.1 Αξιολόγηση τελικών προϊόντων

Σε τελικό στάδιο, αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία παραγωγής των τελικών προϊόντων, ακολούθησε η αξιολόγηση τους. Για την αξιολόγηση των ορθοφωτογραφιών έγινε χρήση των φωτοσταθερών τα οποία έχουν μετρηθεί με τη χρήση του γεωδαιτικού σταθμού. Συγκεκριμένα, έγινε μέτρηση των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σε περιβάλλον CAD και υπολογίστηκε η διαφορά των μετρημένων με το γεωδαιτικό σταθμό με αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις στις ορθοφωτογραφίες. Από τη διαδικασία αυτή εξαιρέθηκαν τα φωτοσταθερά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την σύνδεση των επιμέρους εικόνων των φωτομωσαϊκών. Για κάθε όψη υπολογίστηκε το τυπικό και το συστηματικό σφάλμα. Το συστηματικό σφάλμα υπολογίστηκε από το τύπο

$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum U^2}{n-1}}$, όπου U οι διαφορές και n το πλήθος των μετρήσεων. Το τυπικό σφάλμα

υπολογίστηκε από το τύπο $\sigma_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum (S_i - \bar{S})^2}{n-1}}$,

ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ						
Μετρημένα με γεωδαιτικό σταθμό			Μετρημένα στο φωτομωσαϊκό		Διαφορές	
Φ/Σ	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (cm)	ΔY (cm)
2501	-166.478	100.535	-166.479	100.532	-0.03	-0.34
2504	-162.794	100.285	-162.794	100.282	-0.03	-0.29
2505	-159.686	100.278	-159.686	100.274	0.00	-0.39
2502	-166.459	101.837	-166.458	101.834	0.11	-0.30
2901	-161.045	100.892	-161.040	100.889	0.57	-0.31
2508	-156.185	100.316	-156.188	100.315	-0.26	-0.10
2512	-150.922	100.151	-150.916	100.148	0.55	-0.33
2513	-148.921	100.288	-148.913	100.286	0.78	-0.25
2514	-149.049	101.705	-149.040	101.710	0.87	0.50
2511	-150.964	101.676	-150.961	101.680	0.33	0.38
2507	-156.171	101.674	-156.173	101.673	-0.19	-0.12
2902	-150.691	101.284	-150.689	101.282	0.24	-0.16
$\sigma_{\Delta X} = \pm 0.46 \text{cm}$			$\sigma_{\Delta Y} = \pm 0.32 \text{cm}$			
$\sigma_{RMS\Delta X} = \pm 0.38 \text{cm}$			$\sigma_{RMS\Delta Y} = \pm 0.29 \text{cm}$			
ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ						
Μετρημένα με γεωδαιτικό σταθμό			Μετρημένα στο φωτομωσαϊκό		Διαφορές	
Φ/Σ	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (cm)	ΔY (cm)
3504	152.834	100.623	152.834	100.628	-0.03	0.45

3506	155.170	100.791	155.163	100.784	-0.66	-0.64
3508	158.131	100.739	158.133	100.731	0.26	-0.75
3512	163.497	100.785	163.497	100.782	0.04	-0.37
3513	166.502	101.994	166.502	101.996	0.02	0.21
3511	163.489	101.902	163.492	101.905	0.32	0.31
3509	161.350	101.945	161.356	101.938	0.53	-0.66
3507	158.136	102.079	158.130	102.075	-0.60	-0.33
3501	149.156	102.086	149.157	102.090	0.09	0.47
3901	150.864	101.341	150.860	101.340	-0.40	-0.17
3902	156.025	101.556	156.015	101.555	-1.02	-0.09
$\sigma_{\Delta X}=\pm 0.60\text{cm}$ $\sigma_{\Delta Y}=\pm 0.48\text{cm}$						
$\sigma_{\text{RMS}\Delta X}=\pm 0.48\text{cm}$ $\sigma_{\text{RMS}\Delta Y}=\pm 0.45\text{cm}$						
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ						
Μετρημένα με γεωδαιτικό σταθμό			Μετρημένα στο φωτομωσαϊκό		Διαφορές	
Φ/Σ	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (cm)	ΔY (cm)
4901	20.125	100.940	20.126	100.930	0.06	-0.95
4506	23.204	100.812	23.211	100.821	0.67	0.89
4507	24.463	100.692	24.472	100.701	0.84	0.87
4903	26.299	100.766	26.298	100.757	-0.13	-0.87
4510	28.650	101.976	28.645	101.973	-0.52	-0.24
4508	24.505	104.490	24.509	104.488	0.38	-0.17
4902	23.406	104.417	23.417	104.428	1.09	1.03
4504	21.994	104.674	22.000	104.677	0.66	0.35
4503	20.574	104.807	20.577	104.803	0.32	-0.37
4502	17.957	102.365	17.954	102.362	-0.28	-0.29
$\sigma_{\Delta X}=\pm 0.62\text{cm}$ $\sigma_{\Delta Y}=\pm 0.72\text{cm}$						
$\sigma_{\text{RMS}\Delta X}=\pm 0.52\text{cm}$ $\sigma_{\text{RMS}\Delta Y}=\pm 0.72\text{cm}$						
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ						
Μετρημένα με γεωδαιτικό σταθμό			Μετρημένα στο φωτομωσαϊκό		Διαφορές	
Φ/Σ	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (cm)	ΔY (cm)
1903	-17.989	100.558	-17.986	100.556	0.29	-0.11
1501	-28.633	101.859	-28.636	101.862	-0.30	0.37
1506	-19.652	104.317	-19.650	104.302	0.20	-1.51
1902	-23.102	104.443	-23.102	104.434	-0.04	-0.92
1502	-26.635	104.189	-26.634	104.177	0.06	-1.19
$\sigma_{\Delta X}=\pm 0.24\text{cm}$ $\sigma_{\Delta Y}=\pm 1.09\text{cm}$						
$\sigma_{\text{RMS}\Delta X}=\pm 0.23\text{cm}$ $\sigma_{\text{RMS}\Delta Y}=\pm 0.78\text{cm}$						

Πίνακας 6.1: Συστηματικά και τυχαία σφάλματα (ανά όψη)

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η ακρίβεια που επιτεύχθηκε είναι εντός του ορίου που τέθηκε βάση της κλίμακας απόδοσης, δηλαδή καλύτερη από $\pm 1.25\text{cm}$.

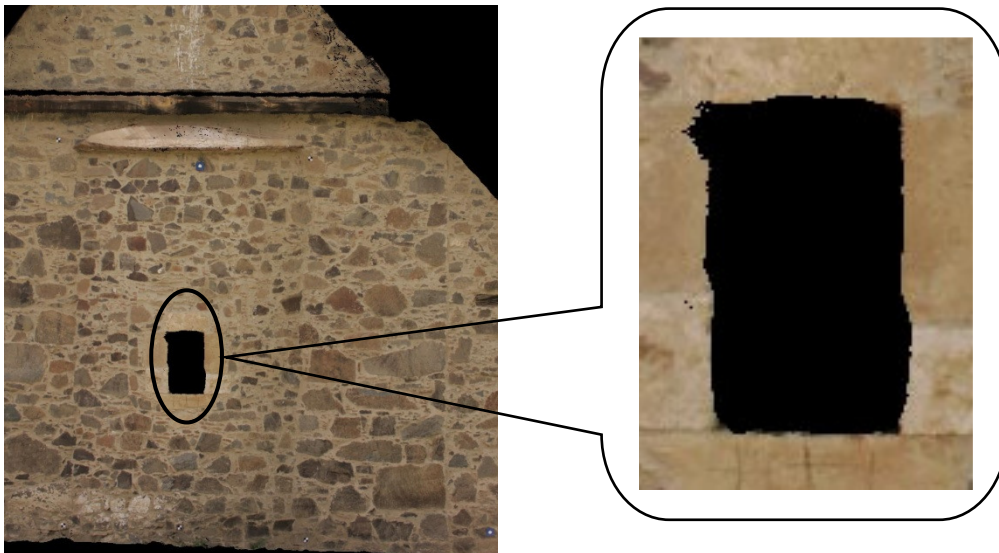
6.2 Αξιολόγηση ορθοφωτογραφίας που προέκυψε από το ελεύθερο λογισμικό ZPR

Για την ορθοφωτογραφία που προέκυψε από το ZPR έγινε αξιολόγηση της χρησιμοποιώντας τα φωτοσταθερά τα οποία μετρήθηκαν με τη χρήση του γεωδαιτικού σταθμού. Η διαδικασία αξιολόγησης η οποία ακολουθήθηκε είναι η ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε πιο πάνω.

Μετρημένα με γεωδαιτικό σταθμό			Μετρημένα στο φωτομωσαϊκό		Διαφορές	
Φ/Σ	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (cm)	ΔY (cm)
4506	23.204	100.812	23.206	100.818	0.21	0.58
4507	24.463	100.692	24.461	100.692	-0.22	0.01
4903	26.299	100.766	26.295	100.769	-0.40	0.30
4902	23.406	104.417	23.407	104.420	0.05	0.21
4504	21.994	104.674	21.995	104.675	0.09	0.14
$\sigma_{\Delta X} = \pm 0.26 \text{ cm}$			$\sigma_{\Delta Y} = \pm 0.35 \text{ cm}$			
$\sigma_{\text{RMS}\Delta X} = \pm 0.25 \text{ cm}$			$\sigma_{\text{RMS}\Delta Y} = \pm 0.21 \text{ cm}$			

Πίνακας 6.2: Συστηματικά και τυχαία σφάλματα (αξιολόγηση ZPR)

Η αξιολόγηση της ορθοφωτογραφίας έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η διαφορές όπως φαίνονται στο παραπάνω πίνακα δεν ξεπερνούν τα 6mm. Το σφάλμα που προέκυψε είναι της τάξης των 2-3mm. Στο θέμα του ποιοτικού ελέγχου παρατηρήθηκε ότι σε κάποια σημεία η ορθοφωτογραφία ήταν ελλιπής, αυτό παρουσιάστηκε στα σημεία στα οποία το νέφος είχε ελλιπή πληροφορία, στη παρακάτω εικόνα φαίνονται κάποιες από τις ελλείψεις αυτές



Εικόνα 6.1: Ελλιπής πληροφορία

6.3 Σύγκριση ορθοφωτογραφίας που προέκυψε από το ελεύθερο λογισμικό ZPR και το φωτογραμμετρικό σταθμό SSK

Όπως αναφέρεται στην παράγραφο 5.6 έγινε παραγωγή ορθοφωτογραφίας του αψιδωτού ιερού με χρήση του λογισμικού ZPR και του φωτογραμμετρικού σταθμού εργασίας SSK. Στις δύο ορθοφωτογραφίες που προέκυψαν έγινε σύγκριση πραγματοποιώντας μετρήσεις αποστάσεων ανάμεσα σε χαρακτηριστικά και ευδιάκριτα σημεία. Οι αποστάσεις αυτές αναφέρονται σε τυχαίες διευθύνσεις διαφόρων μηκών. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, καθώς και οι διαφορές που προέκυψαν φαίνονται στο παρακάτω πίνακα, επίσης φαίνεται το τυπικό και το συστηματικό σφάλμα.

α/α	SSK	ZPR	Διαφορές
	S (m)	S (m)	ΔS (cm)
1	1.166	1.160	-0.60
2	1.267	1.262	-0.50
3	3.837	3.838	0.10
4	1.093	1.102	0.90
5	0.344	0.347	0.30
6	0.620	0.616	-0.40
7	2.486	2.487	0.10
8	3.357	3.350	-0.70
9	3.997	3.996	-0.10
$\sigma_S = \pm 0.52 \text{ cm}$		$\sigma_{RMS} = \pm 0.51 \text{ cm}$	

Πίνακας 6.3: Συστηματικά και τυχαία σφάλματα (σύγκριση SSK με ZPR)

Από τις διαφορές φαίνεται ότι δεν υπάρχει κάποια συστηματική διαφοροποίηση των προϊόντων που συγκρίνονται αφού αυτές δεν ξεπερνούν σε καμία περίπτωση το 1cm. Εξετάζοντας το σφάλμα που προκύπτει παρατηρείται ότι δεν ξεπερνά το $\pm 0.55 \text{ cm}$.

6.4 Σύγκριση Τελικών Προϊόντων (Συμβατική μέθοδος-Photomodeler)

Μετάπειτα, αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία αξιολόγησης των τελικών αποτελεσμάτων ακολούθησε η σύγκριση με τα τελικά αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας «Γεωμετρική τεκμηρίωση του Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου στη Κύπρο με απλές φωτογραμμετρικές μεθόδους» (Χρυσοστόμου, 2008). Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε μετρώντας σαράντα (40) αποστάσεις επί των ορθοφωτομωσαϊκών/ορθοφωτογραφιών ανάμεσα σε χαρακτηριστικά και ευδιάκριτα σημεία των όψεων του μνημείου. Οι αποστάσεις αυτές αναφέρονται σε τυχαίες διευθύνσεις διαφόρων μηκών.

Τα μεγέθη που υπολογίστηκαν είναι οι διαφορές ΔS των αποστάσεων που μετρήθηκαν πάνω σε κάθε όψη, έτσι ώστε να αξιολογηθούν οι διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στις δύο μεθόδους. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν τα συστηματικά (σ_S) και τυπικά (σ_{RMS}) σφάλματα των αποστάσεων. Οι αποστάσεις και οι διαφορές που υπολογίστηκαν φαίνονται στο παρακάτω πίνακα,

α/α	ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ			ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ			
	Συμβατική Μέθοδος	Photomodeler	Διαφορές	Συμβατική Μέθοδος	Photomodeler	Διαφορές	
	S (m)	S (m)	ΔS (cm)	S (m)	S (m)	ΔS (cm)	
1	17.478	17.461	1.7	14.668	14.665	0.3	
2	2.441	2.433	0.8	1.123	1.110	1.3	
3	3.895	3.893	0.2	10.631	10.665	-3.4	
4	13.976	13.962	1.4	3.157	3.161	-0.4	
5	3.624	3.615	0.9	8.906	8.927	-2.1	
6	1.430	1.426	0.4	3.564	3.569	-0.5	
7	5.642	5.661	-1.9	0.156	0.155	0.1	
8	0.866	0.864	0.2	2.300	2.326	-2.6	
9	7.020	7.008	1.2	10.852	10.858	-0.6	
10	0.690	0.696	-0.60	2.408	2.420	-1.20	
$\sigma_S = \pm 1.15 \text{cm}$			$\sigma_{\text{RMSs}} = \pm 1.06 \text{cm}$	$\sigma_S = \pm 0.54 \text{cm}$			$\sigma_{\text{RMSs}} = \pm 1.74 \text{cm}$
α/α	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ			ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ			
	Συμβατική Μέθοδος	Photomodeler	Διαφορές	Συμβατική Μέθοδος	Photomodeler	Διαφορές	
	S (m)	S (m)	ΔS (cm)	S (m)	S (m)	ΔS (cm)	
1	10.94	10.933	-0.20	10.653	10.665	-1.20	
2	9.072	9.085	2.20	3.454	3.441	1.30	
3	1.429	1.440	-1.40	2.865	2.875	-1.00	
4	6.696	6.699	-0.70	4.623	4.613	1.00	
5	7.173	7.183	1.70	6.640	6.639	0.10	
6	2.431	2.419	-1.20	9.310	9.317	-0.70	
7	0.702	0.703	-0.20	0.647	0.639	0.80	
8	1.060	1.058	-0.40	1.453	1.461	-0.80	
9	0.850	0.848	0.40	1.061	1.061	0.00	
10	4.802	4.786	0.80	0.143	0.143	0.00	
$\sigma_S = \pm 0.31 \text{cm}$			$\sigma_{\text{RMSs}} = \pm 0.98 \text{cm}$	$\sigma_S = \pm 0.87 \text{cm}$			$\sigma_{\text{RMSs}} = \pm 0.88 \text{cm}$

Πίνακας 6.4: Συστηματικά και τυχαία σφάλματα (Συμβατική μέθοδος-Photomodeler)

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις συγκρίσεις σε κάθε όψη φαίνεται ότι οι αποκλίσεις των αποστάσεων είναι περίπου 1cm σε όλες τις όψεις με εξαίρεση στη νότια όψη. Επομένως δεν εμφανίζονται μεγάλες διαφορές στην ακρίβεια των δύο μεθόδων.

6.5 Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η γεωμετρική τεκμηρίωση του Ι.Ν Παναγίας Ποδίου με διάφορες σύγχρονες μεθόδους. Η τεκμηρίωση του ναού έγινε με τη χρήση τριών μεθόδων, την αναγωγή ψηφιακών φωτογραφιών, την παραγωγή ορθοφωτογραφίας από στερεοζεύγος με χρήση DTM που προέκυψε από laser scanner, και τη παραγωγή ορθοφωτογραφίας με εναλλακτική μέθοδο με χρησιμοποίηση νέφους σημείων και ψηφιακής φωτογραφίας. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν έδωσαν

ικανοποιητικά αποτελέσματα και συγκεκριμένα έδωσαν ακρίβειες καλύτερες από την κλίμακα απόδοσης.

Η διαδικασία παραγωγής ορθοφωτογραφίας με χρήση του λογισμικού ZPR έδωσαν αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία. Η όλη διαδικασία της εκτέλεσης χρειάζεται μερικά δευτερόλεπτα για να ολοκληρωθεί ενώ η συνολική διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας μόλις μερικά λεπτά. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιεί, δηλαδή το νέφος σημείων, μπορεί να προκύψει μόνο από σαρωτή laser ο οποίος έχει υψηλό κόστος απόκτησης, οπότε αποτελεί ασύμφορη μέθοδο αν ληφθεί υπόψη ο παράγοντας της οικονομίας.

Η παραγωγή ορθοφωτογραφίας με το φωτογραμμετρικό σταθμό SSK έδωσε μεν ικανοποιητική ακρίβεια, αλλά αποτέλεσε χρονοβόρα διαδικασία συγκριτικά με τη διαδικασία που εφαρμόστηκε στο λογισμικό ZPR. Η όλη διαδικασία ήταν πιο σύντομη επειδή χρησιμοποιήθηκε έτοιμο DTM και δεν ήταν αναγκαία η συλλογή του με στερεοαπόδοση. Η διαδικασία αναγωγής των ψηφιακών φωτογραφιών για τις επίπεδες επιφάνειες της εκκλησίας αποτέλεσε ίσως την πιο εύκολη και λιγότερο χρονοβόρα διαδικασία κατά την εκπόνηση της μελέτης.

Κατά τη διάρκεια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του ναού δεν αντιμετωπίστηκαν ιδιαίτερα προβλήματα, εκτός βέβαια από την δυσκολία στην εξοικείωση με τα λογισμικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν. Η συλλογή στοιχείων πεδίου διήρκησε περίπου πέντε μέρες και η επεξεργασία τους περίπου δύο μήνες. Ο χρόνος αυτός θα μπορούσε να μειωθεί πολύ αν γινόταν τώρα εξ αρχής η μελέτη, λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρία και την εξοικείωση που αποκτήθηκε.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Kraus, K., 2003. Φωτογραμμετρία, τόμος 1. Μετάφραση από το Γερμανικό πρωτότυπο, εκδόσεις Τ.Ε.Ε., 158-165 σελ.

Ιωαννίδης Χ., 2008. Φωτογραμμετρία ΙΙ, Συμπληρωματικές σημειώσεις και διαφάνειες από τις παραδόσεις, ΣΑΤΜ ΕΜΠ, 47 σελ.

Καρράς Γ., Πέτσα Ε., 2006. Σύγχρονες ψηφιακές τεχνικές τεκμηρίωσης στην επίγεια φωτογραμμετρία, Υπουργείο Πολιτισμού

Κατωπόδη Ε., 2005. Αξιολόγηση μεθόδων δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων και ορθοφωτογραφιών μνημείων. Πρακτική εφαρμογή στο Βυζαντινό Ναό Αγ. Σαμαρίνας Ανδρούσας, Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.

Νάτσης Σ., 2008. Σύνταξη λογισμικού για την εφαρμογή εναλλακτικής μεθόδου παραγωγής ορθοφωτογραφίας, Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.

Παττιάς Π., 1991, Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία, Εκδόσεις Ζήτη, 68-70 σελ

Πολιτιστικό Ίδρυμα Τραπέζης Κύπρου, Ιερά Μητρόπολις Μόρφου, 2005, Οι ναοί της Παναγίας Ποδύθου και της Θεοτόκου (ή του Αρχαγγέλου) στη Γαλάτα, τουριστικός Οδηγός, 1-40 σελ.

Σοφοκλέους Ε, 2006. Γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού της Παναγίας Φορβιώτισσας, Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Συμεωνίδης Π, 2004. Συστήματα τεκμηρίωσης πολιτιστικών πόρων, σημειώσεις μαθημάτων, ΤΕΙ Γεωπληροφορικής Σερρών.

Τοκμακίδης Κ, 2004. Αποτυπώσεις Μνημείων, Α.Π.Θ

Χρυσοστόμου Χ, 2008, Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ι.Ν Ποδύθου Κύπρου με απλές φωτογραμμετρικές μεθόδους, Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.

Παγκόσμιος Ιστός (τελευταία επίσκεψη: Οκτώβριος 2008)

http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner/

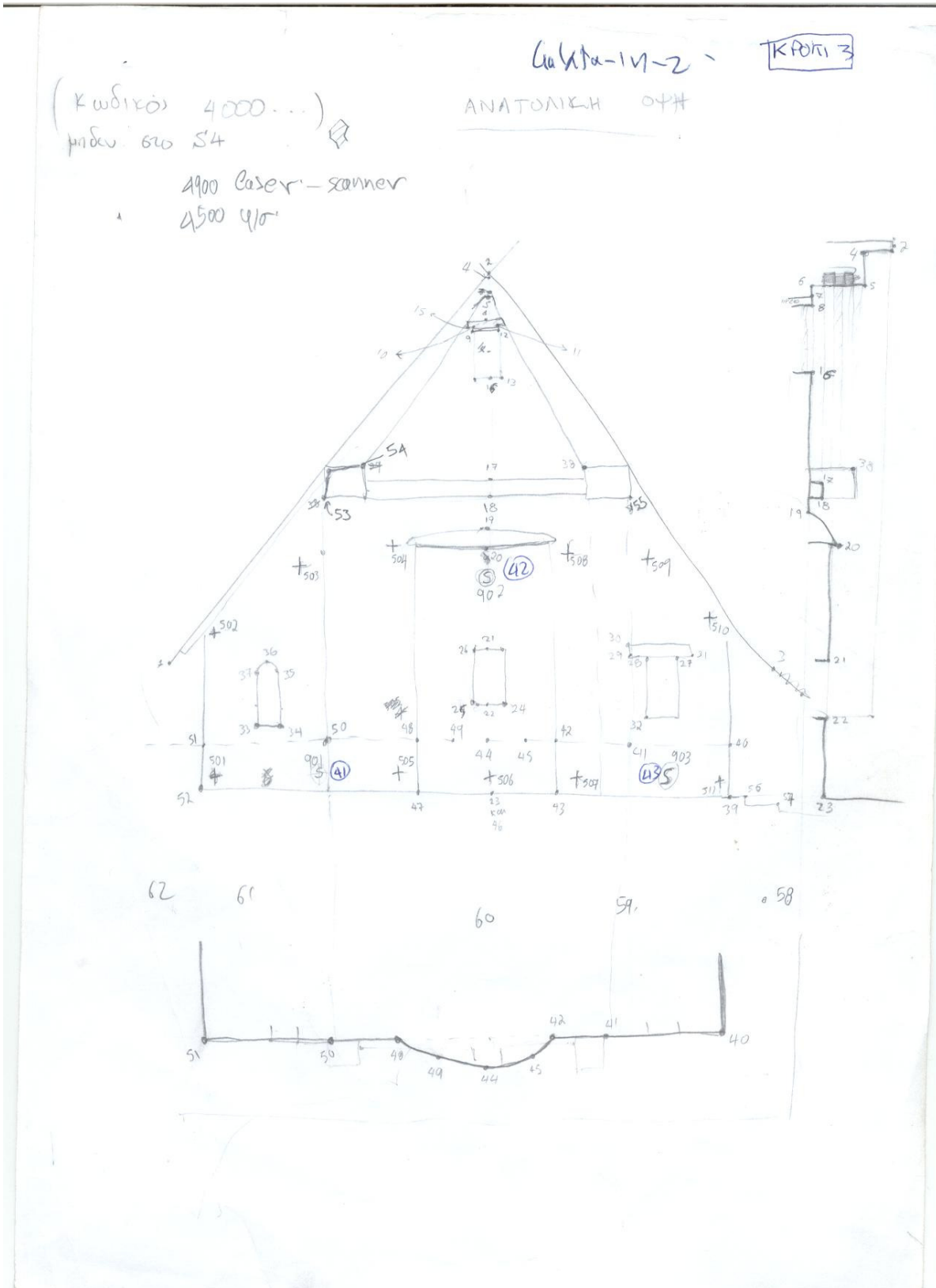
Ιστοσελίδα Κυπριακής Δημοκρατίας, <http://www.cyprus.gov.cy>

Ιστοσελίδα χωριού Γαλάτας, <http://www.galata.org.cy>

Τμήμα Αρχαιοτήτων, Υπουργείο Συγκοινωνιών, <http://www.mcw.gov.cy>

8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

8.1 Αυτοσχέδια Υπαίθρου



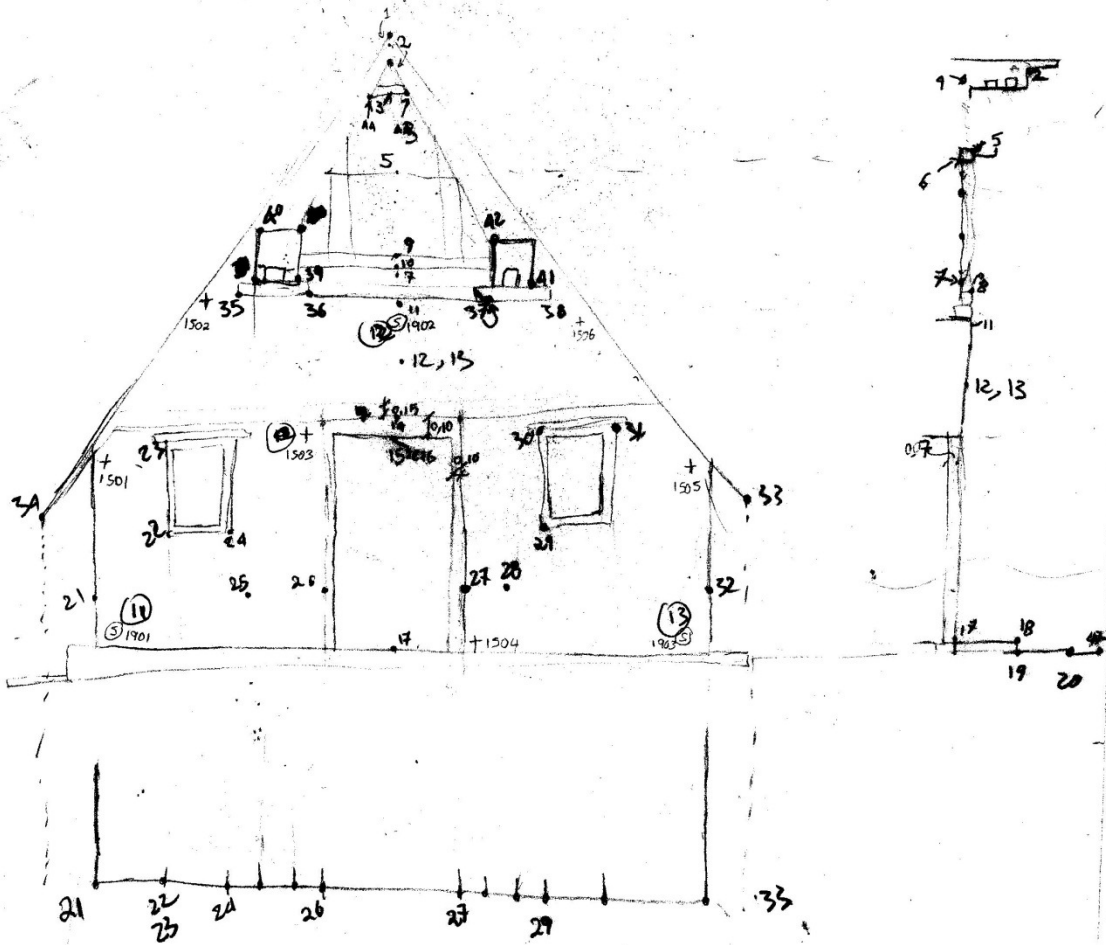
κωδικός (1000 - -)

Γραβιτά-ΙV-2.

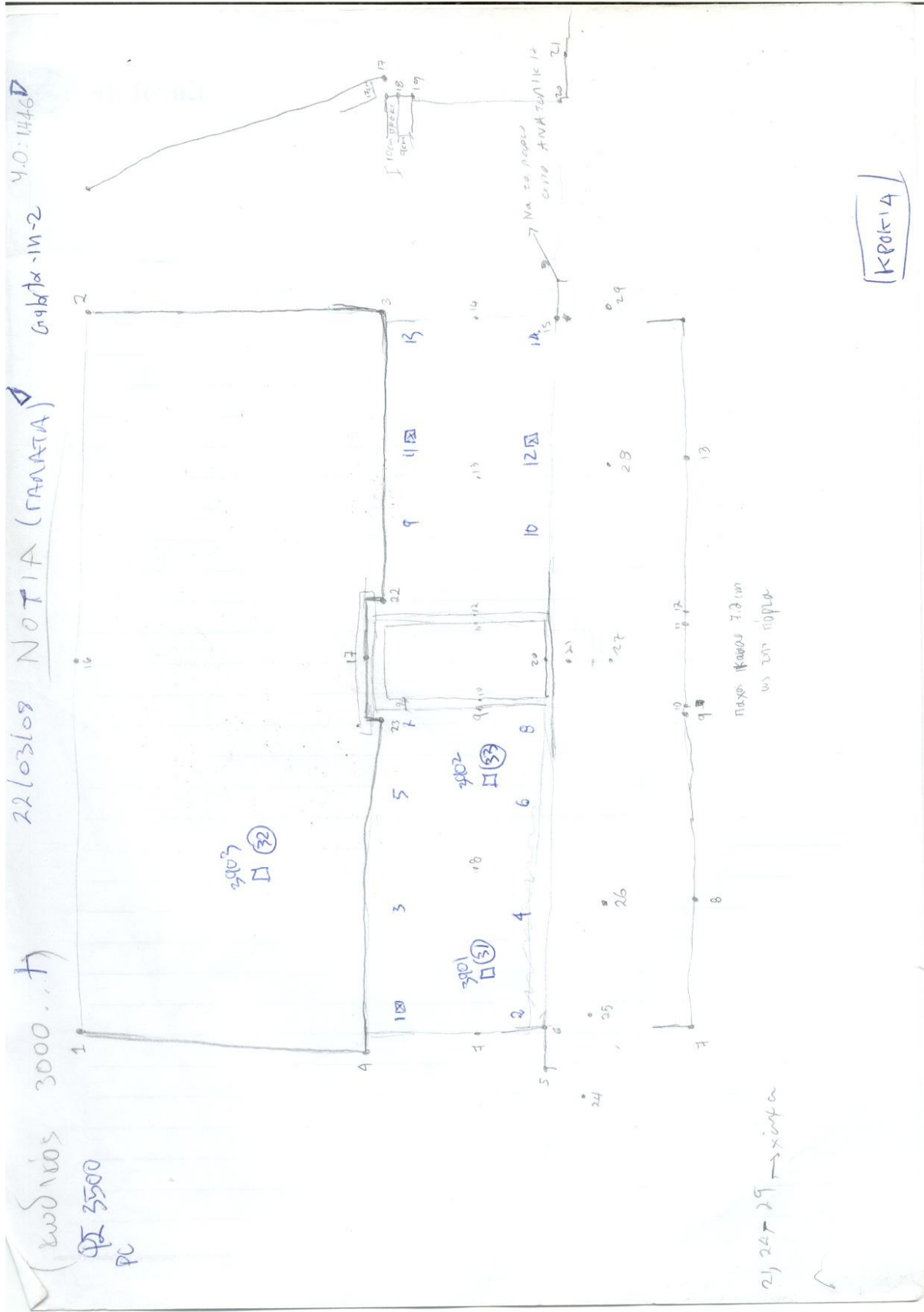
ΚΡΟΚΙ 2

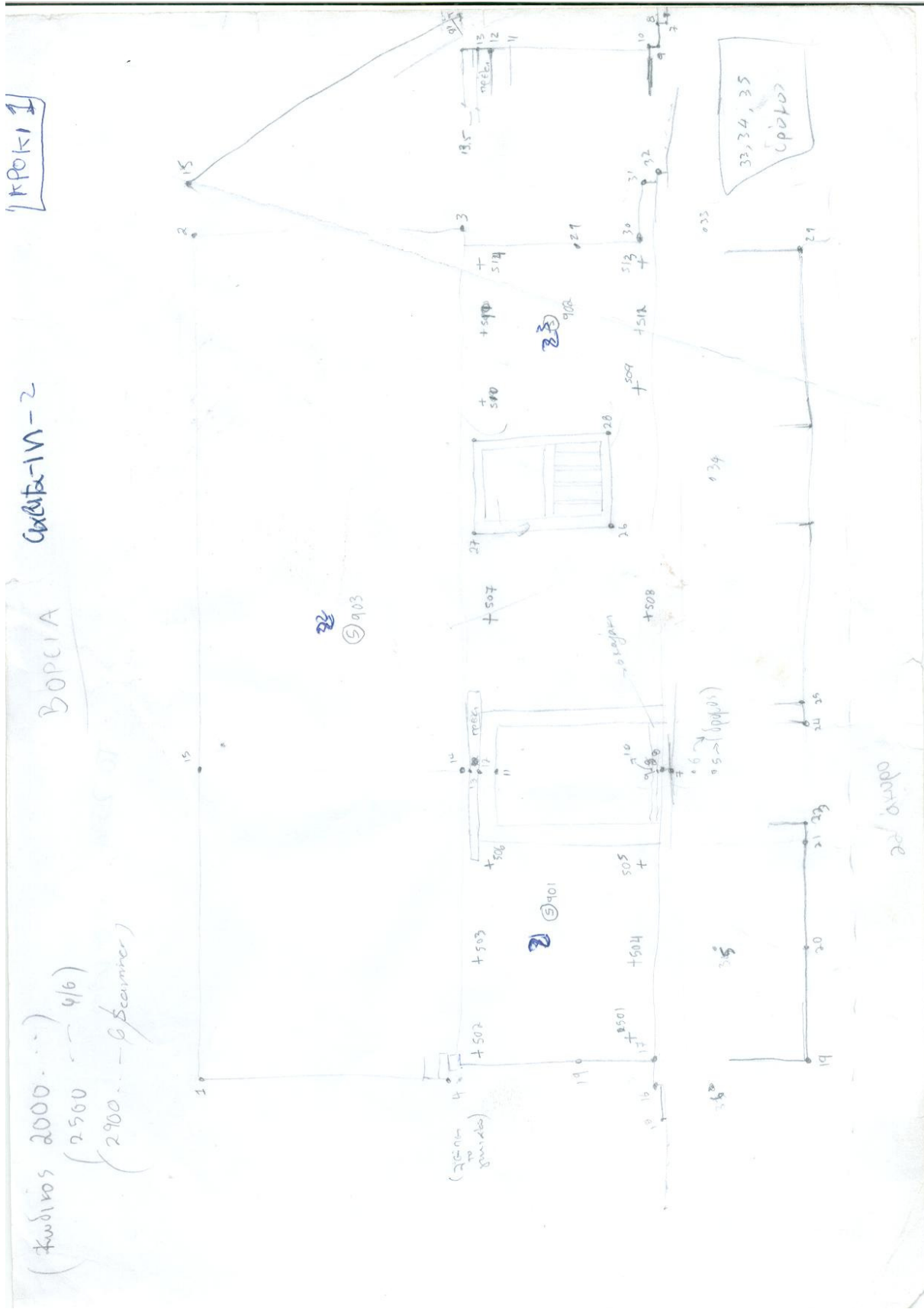
ΔΥΤΙΚΗ ΟΥΣΗ

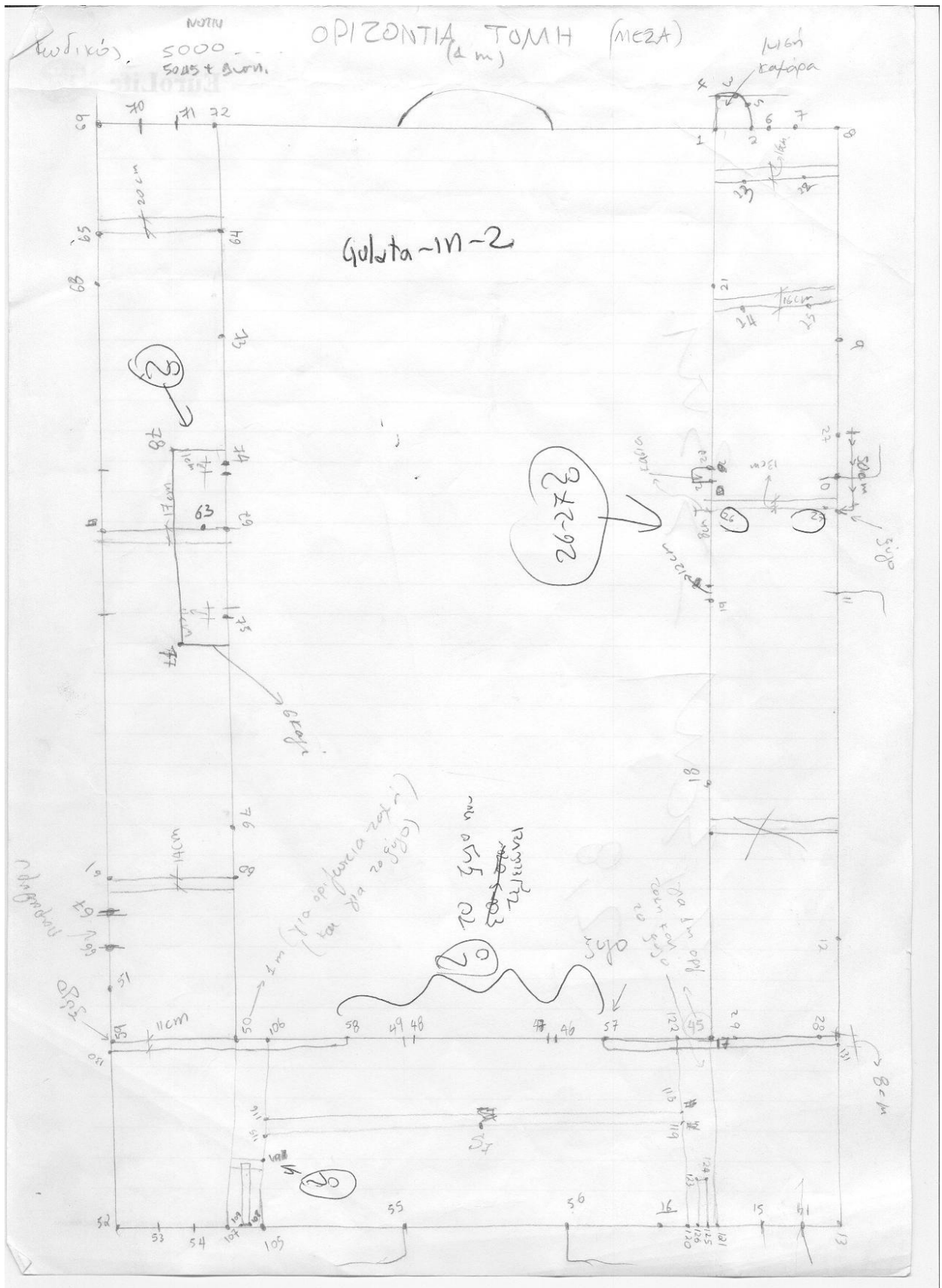
(κωδικός φ/s 2500 - -
φ/s αναρ 1900 -)



46, 47, 48, 49







8.2 Αναφορά Cyclone/Registration

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.002 m

for Disabled Constraints = 0.284 m

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error
TargetID: 42	geo (Leveled)	Notio_Anatolik...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m
TargetID: 42	geo (Leveled)	Vorio_Anatoliki...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 12	geo (Leveled)	Notio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m
Cloud/Mes...	Dytiki_1	Notio_Dytiki_2	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	0.5000	0.002 m
TargetID: 31	geo (Leveled)	Notio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m
TargetID: 33	geo (Leveled)	Notio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m
Cloud/Mes...	Dytiki_2	Notio_Anatolik...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.000 m
Cloud/Mes...	Notio_Anatolik...	Vorio_Anatoliki...	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.003 m
TargetID: 13	geo (Leveled)	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m
TargetID: 12	geo (Leveled)	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m
TargetID: 11	geo (Leveled)	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m
TargetID: 11	geo (Leveled)	Vorio_Dytiki_1	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 12	geo (Leveled)	Vorio_Dytiki_1	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 43	Notio_Anatolik...	Vorio_Anatoliki...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 11	Notio_Dytiki_2	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
Cloud/Mes...	Notio_Dytiki_2	Vorio_Dytiki_1	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.002 m
TargetID: 11	Notio_Dytiki_2	Vorio_Dytiki_1	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m
TargetID: 12	Notio_Dytiki_2	Vorio_Dytiki_1	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m
TargetID: 13	Notio_Dytiki_2	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.004 m
TargetID: 23	Vorio_Dytiki_1	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 11	Vorio_Dytiki_1	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 12	Vorio_Dytiki_1	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 43	geo (Leveled)	Notio_Anatolik...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m
TargetID: 31	Notio_Dytiki_2	Dytiki_1	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 11	geo (Leveled)	Notio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m
TargetID: 43	geo (Leveled)	Vorio_Anatoliki...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 41	geo (Leveled)	Notio_Anatolik...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m
TargetID: 22	geo (Leveled)	Vorio_Anatoliki...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 23	geo (Leveled)	Vorio_Anatoliki...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m
TargetID: 21	geo (Leveled)	Vorio_Anatoliki...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 33	Notio_Dytiki_2	Dytiki_1	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 31	geo (Leveled)	Dytiki_1	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m
TargetID: 33	geo (Leveled)	Dytiki_1	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 12	Notio_Dytiki_2	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 42	Notio_Anatolik...	Vorio_Anatoliki...	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m
TargetID: 23	Vorio_Anatoliki...	Vorio_Dytiki_2	Coincident: Vertex-Vertex	Off	1.0000	0.021 m
TargetID: 23	Vorio_Dytiki_1	Vorio_Anatoliki...	Coincident: Vertex-Vertex	Off	1.0000	0.021 m
TargetID: 21	Vorio_Dytiki_1	Vorio_Anatoliki...	Coincident: Vertex-Vertex	Off	1.0000	0.627 m

ScanWorlds are registered and frozen

8.3 Αναφορά SSK

- Απόλυτος προσανατολισμός

σ

Additional Absolute Orientation Parameters

Point...	St...	Type	X-Re...	Y-Re...	Z-Re...	X-Adjusted	Y-Adjusted	Z-Adju...	Parameter	Left Photo	Right Photo
4504	M...	Co...	-0.002	-0.003	0.000	21.992	104.671	166.456	XC	22.639	24.649
4505	M...	Co...	-0.006	-0.002	0.005	22.039	100.837	166.457	YC	102.776	102.710
4506	M...	Co...	0.001	-0.001	-0.012	23.205	100.811	166.903	ZC	173.750	173.718
4507	M...	Co...	0.003	0.005	0.006	24.466	100.697	166.458	Omega	10.736	9.936
4508	M...	Co...	0.000	-0.005	0.001	24.505	104.485	166.413	Phi	1.441	4.063
4902	M...	Co...	0.004	0.007	0.000	23.410	104.424	166.907	Kappa	-1.297	-1.396

Summary
DOF: 11, Iterations: 4
Warning
RMS exceeds tolerance
Max X Residual 0.006 exceeds tolerance
Max Y Residual 0.007 exceeds tolerance
Max Z Residual 0.012 exceeds tolerance

Angular Units: Degrees
Linear Units: Meters

Withhold Reinststate Delete

RMS	X	Y	Z	XY
Control:	0.003	0.004	0.006	0.004
Check:	0.000	0.000	0.000	0.000
Limits:	0.001	0.001	0.001	

Close Help

- Σχετικός προσανατολισμός

Relative Orientation

Id: 1left-n.TIF100

Point Id	Py	L...	R...	Ra...
4503				0
4504	4.7	M...	M...	2
4505	4.8	M...	M...	2
4506	1.5	M...	M...	2
4507	6.3	M...	M...	2
4508	0.1	M...	M...	2
4509				0
4901				0
4902	4.1	M...	M...	2
4903				0
1left-n...	3.0	M...	M...	2
1left-n...	1.1	M...	M...	2
1left-n...	2.6	M...	M...	2
1right-n...	3.6	M...	M...	2
1right-n...	3.4	M...	M...	2
1right-n...	9.7	M...	M...	2

More...
Apply
Reset
Advanced...
Auto RO...
Close
Help

Sorted Withhold Reinststate Delete

Good Solution (Sigma 4.1, Py: 9.7um)