



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ Ι.Ν ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΠΟΔΙΘΟΥ ΣΤΗ ΚΥΠΡΟ
ΜΕ ΑΠΛΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**

Επιβλέπων καθηγητής
Χαράλαμπος Ιωαννίδης

Συντάξας
Χρήστος Χρυσοστόμου

Οκτώβριος 2008

Ευχαριστίες

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χαράλαμπο Ιωαννίδη και τον κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο, που μου έδωσαν την ευκαιρία να εκπονήσω την συγκεκριμένη μελέτη αλλά και για την καθοδήγηση και τις γνώσεις που μου προσέφεραν.

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 Νικόλα Σιεητάνη και Στέλιο Ιωακείμ τόσο για την υποστήριξη όσο και για τη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την εκπόνηση της μελέτης.

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται μεθοδολογία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων. Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται περιλαμβάνει τη χρήση γεωδαιτικών οργάνων, ψηφιακών φωτογραφιών, τη χρησιμοποίηση και τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών, έτσι ώστε να εξαχθούν τα τελικά παράγωγα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη τεκμηρίωση μνημείων. Συγκεκριμένα αφορά την γεωμετρική τεκμηρίωση του Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου στην Κύπρο με χρήση του λογισμικού PhotoModeler.

Τα τελικά προϊόντα τα οποία δημιουργήθηκαν σε κλίμακα 1:50 περιλαμβάνουν δύο κατακόρυφες τομές και μία οριζόντια καθώς επίσης και ορθοφωτογραφίες για τις τέσσερις όψεις του ναού. Τα προϊόντα αυτά σε τελικό στάδιο αξιολογήθηκαν για την αξιοπιστία τους.

Summary

In the present final thesis 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, and the use of specialised softwares, so as to are exported the final derivatives which can be used for the documentation of monuments. Concretely it concerns the geometric documentation of Virgin Mary Podithou in Cyprus with use of PhotoModeler. The final products which were created in scale 1:50 include two vertical sections and one horizontal as well as orthophotos for the four facedes of temple. These products in final stage were evaluated for their reliability.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
2	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ	11
2.1	Θέση του Ναού.....	11
2.2	Ιστορικά Στοιχεία	12
2.3	Αρχιτεκτονικά και Οικοδομικά Στοιχεία	13
2.4	Εσωτερικός Διάκοσμος	15
3	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ	20
3.1	Γεωμετρική Τεκμηρίωση.....	20
3.2	Μέθοδοι Τεκμηρίωσης.....	20
3.2.1	Τοπομετρική μέθοδος.....	21
3.2.2	Τοπογραφική μέθοδος.....	21
3.2.3	Φωτογραμμετρικές μέθοδοι αποτύπωσης	21
3.2.4	Επίγειες σαρώσεις laser	25
3.2.5	Παραγωγή ορθοφωτογραφίας με χρήση έγχρωμου νέφους σημείων.....	27
3.2.6	Μέθοδος πολυεικονικής ανακατασκευής με μονοσκοπική παρατήρηση.....	28
3.2.7	Μονοεικονικές αποδόσεις.....	29
3.3	Επιλογή Μεθοδολογίας	29
4	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PHOTOMODELER	31
4.1	Γενικά	31
4.2	Βασικές Αρχές	31
4.3	Δυνατότητες του PhotoModeler.....	32
4.4	Βασικά Εργαλεία του PhotoModeler.....	33
5	ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ	34
5.1	Περιγραφή Εξοπλισμού.....	34
5.1.1	Τοπογραφικός εξοπλισμός.....	34
5.1.2	Φωτογραμμετρικός εξοπλισμός	35
5.2	Πορεία Εργασιών	35
5.2.1	Αναγνώριση περιοχής μελέτης	35
5.2.2	Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου.....	36
5.2.3	Σύνταξη αυτοσχεδίων υπαίθρου.....	37
5.2.4	Προγραμματισμός λήψεων	37
5.2.5	Τοποθέτηση φωτοσταθερών	38
5.2.6	Λήψη φωτογραφιών	39
5.2.7	Συμπληρωματικές μετρήσεις με την τοπομετρική μέθοδο	40
6	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ	41
6.1	Επεξεργασία Δεδομένων.....	41
6.2	Επίλυση Πολυγωνομετρικού Δικτύου	41
6.3	Βαθμονόμηση Φωτογραφικής Μηχανής.....	42
6.4	Δημιουργία Τρισδιάστατου Μοντέλου με το PhotoModeler	46
6.4.1	Εισαγωγή φωτογραφιών και στοιχείων μηχανής.....	46
6.4.2	Δημιουργία μοντέλου	46

6.4.3	Δημιουργία τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου	50
6.4.4	Εξαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου.....	51
6.5	Αποτελέσματα	51
6.6	Τελικά Προϊόντα	53
6.6.1	Δημιουργία τομών από το τρισδιάστατο μοντέλο	53
6.6.2	Εξαγωγή ορθοφωτογραφιών.....	53
7	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	57
7.1	Σύγκριση Τελικών Προϊόντων (Συμβατική μέθοδος-Photomodeler)	57
7.2	Συμπεράσματα	58
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60
9	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	61
9.1	Αυτοσχέδια Υπαίθρου	61
9.2	Στατιστικά Στοιχεία από PhotoModeler.....	70
9.3	Αποτελέσματα Ελέγχων των Τρισδιάστατων Μοντέλων.....	73

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1:	Θέση του Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου	12
Εικόνα 2.2:	Τμήμα τοίχου που είναι κτισμένος με αργολιθοδομή	14
Εικόνα 2.3:	Κάτοψη του ναού	14
Εικόνα 2.4:	Τριγωνικοί φεγγίτες που τοποθετήθηκαν το 1956.....	15
Εικόνα 2.5:	Αγιογραφία στην ασίδα του ιερού	16
Εικόνα 2.6:	Η Σταύρωση στο εσωτερικό δυτικό αέτωμα.....	17
Εικόνα 2.7:	Αγιογραφία στο βόρειο τοίχο του ιερού.....	18
Εικόνα 2.8:	Αγιογραφία του Αγ. Πέτρου στον βόρειο τοίχο του κυρίως ναού.....	18
Εικόνα 3.1:	Σχηματική διαδικασία παραγωγής ψηφιακής ορθοφωτογραφίας.....	24
Εικόνα 3.2:	Αλγόριθμος λογισμικού ZPR	28
Εικόνα 5.1:	Δορυφορική λήψη του ναού	36
Εικόνα 5.2:	Πολυγωνομετρικό δίκτυο	37
Εικόνα 5.3:	Σημεία λήψης των φωτογραφιών	40
Εικόνα 6.1:	Οι φωτογραφίες του πεδίου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση της μηχανής.....	43
Εικόνα 6.2:	Το πεδίο ελέγχου	43

Εικόνα 6.3: Τα παράθυρα λειτουργίας του προγράμματος CALIBRATION_CCD που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση της μηχανής	44
Εικόνα 6.4: Διαγράμματα της ακτινικής διαστροφής που προέκυψαν από το CALIBRATION_CCD.....	45
Εικόνα 6.5: Παράθυρο εισαγωγής των στοιχείων της βαθμονόμησης.....	46
Εικόνα 6.6: Οθόνη λειτουργίας κατά την αντιστοίχιση ομόλογων σημείων.....	47
Εικόνα 6.7: Εισαγωγή σημείων ελέγχου (φωτοσταθερών).....	47
Εικόνα 6.8: Στάδια επίλυσης.....	48
Εικόνα 6.9: Λογαριθμικό σφάλμα.....	48
Εικόνα 6.10: Παράθυρο αναφοράς μετά την επίλυση.....	49
Εικόνα 6.11: Το τρισδιάστατο μοντέλο στο 3D Viewer από διαφορετικές γωνίες.....	49
Εικόνα 6.12: Νοτιοδυτική άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου και σημεία λήψης των φωτογραφιών όπως παρουσιάζονται στο 3D Viewer.....	50
Εικόνα 6.13: Βορειοανατολική άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου όπως παρουσιάζεται στο 3D Viewer.....	50
Εικόνα 6.14: Παράθυρο επιλογών για εξαγωγή τρισδιάστατου μοντέλου.....	51
Εικόνα 6.15: Παράθυρο επιλογών για εξαγωγή ορθοφωτογραφιών.....	53
Εικόνα 6.16: Ορθοφωτογραφία της ανατολικής όψης πριν και μετά την επεξεργασία στο Photoshop.....	55
Εικόνα 6.17: Ορθοφωτογραφία της δυτικής όψης πριν και μετά την επεξεργασία στο Photoshop.....	55
Εικόνα 6.18: Ορθοφωτογραφία της νότιας όψης.....	55
Εικόνα 6.19: Ορθοφωτογραφία της βόρειας όψης.....	56

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εκκλησίες στο παγκόσμιο κατάλογο πολιτιστικής κληρονομιάς της UNESCO	13
Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα Laser Scanner-Φωτογραμμετρίας	26
Πίνακας 3: Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στον Ι.Ν Παναγίας Ποδίου	30
Πίνακας 4: Στάδια εργασιών πεδίου	34

Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά Γεωδαιτικού Σταθμού	34
Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψηφιακής μηχανής.....	35
Πίνακας 7: Φωτοσταθερά που τοποθετήθηκαν	39
Πίνακας 8: Συντεταγμένες κορυφών οδεύσεων	41
Πίνακας 9: Αποτελέσματα που προέκυψαν από την βαθμονόμηση της μηχανής.....	45
Πίνακας 10:Αξιολόγηση αποτελεσμάτων τρισδιάστατου μοντέλου με 8 φωτοσταθερά..	52
Πίνακας 11: Συστηματικά και τυχαία σφάλματα (Συμβατική μέθοδος-Photomodeler)....	58

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συντήρηση, η αναστήλωση και η τεκμηρίωση των ιστορικών μνημείων έχει γίνει πλέον μια αναπόφευκτη εθνική αλλά και διεθνής προτεραιότητα. Η φωτογραμμετρία ακολουθώντας και αυτή την συνεχώς αυξανόμενη πρόοδο των τεχνολογικών μέσων, πέρασε από την αναλογική στην αναλυτική και βρίσκεται πλέον στο στάδιο της ψηφιακής της εξέλιξης. Οι ψηφιακές φωτογραμμετρικές τεχνικές εμφανίζονται σήμερα ως ο αποδοτικότερος και ο πιο ανέξοδος τρόπος για υλοποίηση μιας τεκμηρίωσης ενός μνημείου.

Όπως προαναφέρθηκε για την αποτύπωση-τεκμηρίωση μνημείων, η φωτογραμμετρία χρησιμοποιείται ευρέως πια διότι η φύση του αντικειμένου και οι αυξημένες απαιτήσεις ακριβείας την καθιστούν απαραίτητη. Επίσης η φωτογραμμετρία μπορεί να δώσει τρισδιάστατα αποτελέσματα όμως ο απαιτούμενος εξοπλισμός είναι αρκετά ακριβός, απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις, η παραγωγή του τελικού προϊόντος είναι χρονοβόρα και πολλές φορές χαρακτηρίζεται ως επίπονη. Για παράδειγμα, για την παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου με τις παραδοσιακές φωτογραμμετρικές μεθόδους χρησιμοποιείται απόδοση σε αναλυτικά ή ψηφιακά όργανα. Συνήθως χρησιμοποιούνται περισσότερες από δύο φωτογραφίες και το προς μελέτη αντικείμενο φωτογραφίζεται από διάφορες θέσεις, συνήθως γύρω από αυτό, και πρέπει οποιοδήποτε σημείο του αντικειμένου να είναι κοινό τουλάχιστον σε δύο από αυτές. Με αποκατάσταση των προσανατολισμών και με στερεοσκοπική παρατήρηση από τα ζεύγη των φωτογραφιών μπορεί να παραχθεί το μοντέλο του προς μελέτη αντικειμένου.

Την αποφυγή αυτής της επίπονης διαδικασίας και την ευκολότερη και γρηγορότερη παραγωγή όχι μόνο τρισδιάστατων μοντέλων αλλά και των φωτορεαλιστικών τους αποδόσεων, βοήθησε η μεγάλη εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων αλλά και των αυτοματισμών. Στην αγορά πλέον κυκλοφορούν διάφορα τέτοια λογισμικά τα οποία να μεν βασίζονται στην ενσωμάτωση των απαραίτητων φωτογραμμετρικών αλγορίθμων, συχνά όμως αποκρύπτουν τον τρόπο υλοποίησης τους και γενικά την μεθοδολογία που χρησιμοποιούν πίσω από τις απλοποιημένες διαδικασίες και το φιλικό περιβάλλον λειτουργίας τους.

Ένα τέτοιο λογισμικό πακέτο είναι και το PhotoModeler Pro της Eos Systems Inc. Με το PhotoModeler μπορεί να παραχθεί τρισδιάστατο μοντέλο χρησιμοποιώντας την μέθοδο της δέσμης σε συνδυασμό με διάφορους φωτογραμμετρικούς αλγόριθμους που όμως ο τρόπος υλοποίησης τους δεν ξεκαθαρίζεται. Το παραγόμενο μοντέλο μπορεί να εξαχθεί σε ή 3D Studio Max ή ακόμα και σε άλλα παρόμοια προγράμματα για περαιτέρω επεξεργασία. Το PhotoModeler μπορεί να χαρακτηριστεί ιδιαίτερα χρήσιμο στις αποτυπώσεις μνημείων παράγοντας εύκολα και γρήγορα τρισδιάστατα μοντέλα με φωτορεαλιστική υφή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές, από απλές, με μικρή σχετικά ακρίβεια μέχρι και εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις ακριβείας. Για την επίτευξη όμως υψηλού βαθμού ακρίβειας πρέπει να πληρούνται κάποιες επιπλέον προϋποθέσεις όπως η γνώση του εσωτερικού προσανατολισμού της φωτογραφικής

μηχανής, η χρήση φωτογραφιών με τις κατάλληλες γωνίες μεταξύ τους καθώς και η μέτρηση φωτοσταθερών σημείων στο προς μελέτη αντικείμενο.

Ο χρήστης ενός τέτοιου λογισμικού δεν είναι απαραίτητο να έχει γνώσεις φωτογραμμετρίας. Η γνώση φωτογραμμετρίας όμως βοηθά στην πιο γρήγορη εξοικείωση με το λογισμικό, διότι μπορεί να αντιληφθεί τι κάνει κάθε φορά και επιπλέον είναι πιο εύκολο να εντοπίσει την πηγή διαφόρων σφαλμάτων και να τα αποφύγει.

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 διαδέχθηκαν 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 παραποτάμιας 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 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. Σαραντα 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.

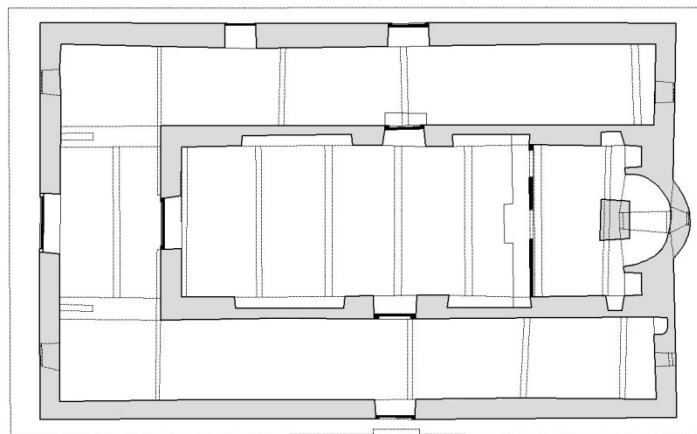
Ο ναός της Παναγίας της Ποδίθου είναι σχετικά μεγάλων διαστάσεων με σχήμα ορθογώνιο και στα ανατολικά καταλήγει με ελαφρά προεξέχουσα αψίδα ιερού. Περιβάλλεται από στοά σχήματος Π που καλύπτεται κάτω από την ίδια «δύριχητη» ξύλινη στέγη, η οποία καλύπτεται από κεραμιδένιες πλάκες που έχουν κατασκευαστεί 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 ξυλοδεσιές. 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 βορείου 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 είσοδοι υπάρχουν σε αντίστοιχες θέσεις στους τοίχους των περιμετρικών κλειστών στοών.

Στο κυρίως ναό υπάρχουν δύο ορθογώνια παράθυρα, ένα στο ανατολικό αέτωμα και ένα στην ασίδα 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 ασίδας και ο ημικυλινδρικός τοίχος της ασίδας.

Επίκεντρο της όλης αγιογράφησης του ναού είναι η Ένθρονη Βρεφοκρατούσα Παρθένος στην ασίδα 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 χιτώννα 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 τεταρτοσφαιρίο 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 συλλογή 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. Τη δεκαετία του '80 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 αντικειμένου 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

αντικειμένου. 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. 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 και του προσανατολισμού της λήψης της φωτογραφίας. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με την επίλυση της συνθήκης συγγραμμικότητας, 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 συγγραμμικότητας 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.

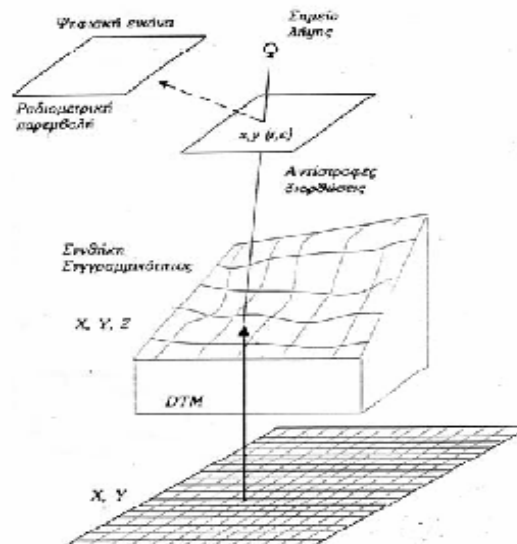
Επομένως για τον υπολογισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων του σημείου λήψης O , χρειάζονται ως δεδομένα εισόδου τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού, οι εικονοσυντεταγμένες και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες επιλεγμένων σημείων που βρίσκονται περιμετρικά στην εικόνα. Για να γίνει αυτό απαιτείται 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 απεικονιζόμενο αντικείμενου. 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, οπότε 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 δεικονικής απεικόνισης-στερεοαπόδοσης και στη συνέχεια να γίνει παραγωγή ορθοφωτογραφίας ή γραμμική απόδοση.



Εικόνα 3.1: Σχηματική διαδικασία παραγωγής ψηφιακής ορθοφωτογραφίας

Η διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας-διαφορική αναγωγή- 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.

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 ενεργητικής 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 η ένταση του ανακλώμενου σήματος. Οι σαρωτές laser διαχωρίζονται ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού της απόστασης, σε αυτούς που χρησιμοποιούν τη μέθοδο του τριγωνισμού (με μία ή δύο κάμερες CCD) και σε αυτούς που χρησιμοποιούν τη μέθοδο time of flight. 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 $d=c \cdot t/2$, 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. Με γνωστή τη βάση τριγώνου και τη γωνία μεταξύ του ccd και του πομπού γίνεται επίλυση τριγώνου και υπολογίζονται οι συντεταγμένες της άλλης κορυφής του τριγώνου που είναι το σημείο λεπτομέρειας. 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 2: Πλεονεκτήματα Laser Scanner-Φωτογραμμετρίας

Πηγή: Συμεωνίδης Παύλος, Οκτώβριος 2006

3.2.5 Παραγωγή ορθοφωτογραφίας με χρήση έγχρωμου νέφους σημείων

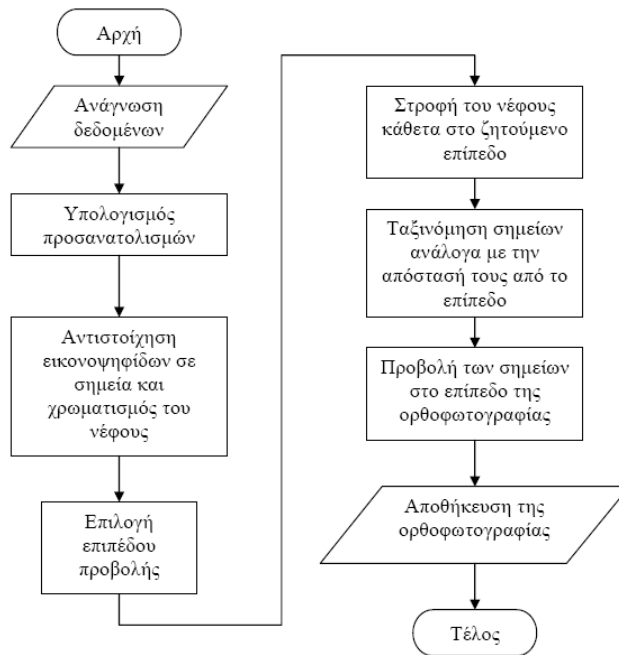
Μία σύγχρονη και εναλλακτική μέθοδος παραγωγής ορθοφωτογραφίας μπορεί να γίνει με τη χρήση νεφών που προκύπτουν από σαρωτές laser. Η μέθοδος αυτή διαφέρει από τη συνηθισμένη, τη διαφορική δηλαδή αναγωγή των αρχικών εικόνων. Η λογική που ακολουθείται είναι η τελική ορθοφωτογραφία να προκύψει από την ορθή 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.

Η διαδικασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού της φωτογραφίας, την αντιστοίχιση πληροφορίας χρώματος από την εικόνα στα σημεία του νέφους και τέλος την προβολή των σημείων στο ζητούμενο επίπεδο. Εξαιτίας της λογικής της μεθόδου δεν απαιτούνται αυστηρές φωτογραμμετρικές προδιαγραφές κατά την λήψη των φωτογραφιών καθώς η διαδικασία της προβολής είναι εντελώς ανεξάρτητη από τους προσανατολισμούς της λήψης.

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 «Σύνταξη λογισμικού για την εφαρμογή εναλλακτικής μεθόδου παραγωγής ψηφιακής ορθοφωτογραφίας» (Νάτσης, 2008). 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 παράξουν 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)(Κομζιά Β., 2004). 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 ακολουθώς 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 μία 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 αναπτυσσόμενες επιφάνειες η απεικόνιση σε κατάλληλη χαρτογραφική προβολή (Karras et al., 1997).

3.3 Επιλογή Μεθοδολογίας

Η μεγάλη εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων αλλά και των αυτοματισμών έχει επιρεάσει ως επακόλουθο και τη φωτογραμμετρία η οποία ακολουθώντας την συνεχώς αυξανόμενη πρόοδο των τεχνολογικών μέσων, πέρασε από την αναλογική στην αναλυτική και βρίσκεται πλέον στο στάδιο της ψηφιακής της εξέλιξης. Οι ψηφιακές φωτογραμμετρικές τεχνικές εμφανίζονται σήμερα ως ο αποδοτικότερος και ο πιο ανέξοδος τρόπος για υλοποίηση μιας τεκμηρίωσης ενός μνημείου.

Η επιλογή μεθοδολογίας για τη τεκμηρίωση και απόδοση ενός μνημείου αποτελεί πλέον συνδυασμό διαφόρων μεθόδων που θα πρέπει να βρίσκονται ανάμεσα στους τρεις πυλώνες του χρόνου, της οικονομίας και της ακρίβειας. Λαμβάνοντας υπόψη τα προηγούμενα η τεκμηρίωση του Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου έγινε με επιλογή διαφόρων μεθόδων και φαίνεται στο πίνακα 3.2.

Μεθοδολογία	Εφαρμογή
Τοπογραφική	Μέτρηση πολυγωνομετρικού δικτύου, φωτοσταθερών, τοποσταθερών
Πολυεικονικής ανακατασκευής με μονοσκοπική παρατήρηση	Παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου και ορθοφωτογραφιών
Τοπομετρική	Συμπληρωματικές μετρήσεις

Πίνακας 3: Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στον Ι.Ν Παναγίας Ποδίου

Παράλληλα με αυτή την διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μία ακόμα από τον συνάδερφο Σιεητάνη Νικόλα με σκοπό την γεωμετρική τεκμηρίωση του ίδιου ναού με τις παραδοσιακές φωτογραμμετρικές μεθόδους σε συνδυασμό με σαρώσεις Laser Scanning. Τα αποτελέσματα των δύο αυτών εργασιών συγκρίθηκαν και τα συμπεράσματα που προέκυψαν ακολουθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

4 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PHOTOMODELER

4.1 Γενικά

Όπως ήδη αναφέρθηκε, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση και συγκεκριμένα η παραγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου του βυζαντινού ναού της Παναγίας Ποδίθου στη Γαλάτα της Κύπρου. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PhotoModeler Pro 5 της Eos Systems Inc.

4.2 Βασικές Αρχές

Το PhotoModeler προορίζεται κατά κύριο λόγο για επίγειες εφαρμογές πολυεικονικής ανακατασκευής με μονοσκοπική παρατήρηση. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα πεδία Αρχιτεκτονικής και Αρχαιολογίας καθώς επίσης και σε εφαρμογές μηχανικού, στην τεκμηρίωση τροχαίων ή άλλων ατυχημάτων, την εγκληματολογία κ.λ.π.

Το PhotoModeler είναι ένα πρόγραμμα με το οποίο μπορεί κάποιος χρησιμοποιώντας τη γεωμετρική πληροφορία αλλά και την υφή των εικόνων να παράξει ένα πλήρες οπτικοποιημένο τρισδιάστατο μοντέλο και να πραγματοποιήσει επ' αυτού μετρήσεις. Είναι λογισμικό διαχείρισης πολλών εικόνων και το αποτέλεσμα του είναι προϊόν συνόρθωσης που επιτυγχάνεται κατά πάσα πιθανότητα με τη μέθοδο της δέσμης (Bundle Adjustment). Αυτό φυσικά δεν διευκρινίζεται στα εγχειρίδια.

Για την σωστή λειτουργία του PhotoModeler χρειάζονται τουλάχιστον έξι φωτογραφίες. Σε τουλάχιστον δύο από αυτές τις φωτογραφίες ο χρήστης μαρκάρει χαρακτηριστικά σημεία και τα αντιστοιχίζει πάνω σ' αυτές. Το πρόγραμμα συνδυάζει τα δεδομένα και εντοπίζει τα μαρκαρισμένα χαρακτηριστικά σε τρεις διαστάσεις και τα μετατρέπει σε μετρημένα με ακρίβεια σημεία, γραμμές, επιφάνειες ή κυλίνδρους σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς. Το τρισδιάστατο μοντέλο που προκύπτει από αυτά μπορεί να εξαχθεί σε διάφορα πακέτα γραφικών ή CAD προγράμματα. Τα φορματ εξόδου είναι: 3D DXF, 2D DXF, 3D Studio, VRML 1.0, VRML 2.0, Wavefront, Raw, IGES, Rhino και στερεολιθογραφικό.

Ένα άλλο θέμα που δεν διευκρινίζεται στο PhotoModeler είναι η ποιότητα ή ακρίβεια της συνόρθωσης, με αποτέλεσμα η ακρίβεια των αποτελεσμάτων να μην είναι σαφής. Για την αξιολόγηση της συνόρθωσης χρησιμοποιείται το Tightness (σημείου) και το Λογαριθμικό Διάγραμμα Επαναλήψεων.

To Tightness (σημείου) εκφράζει την ποιότητα αλληλοτομίας των ακτινών. Μπορεί να υπολογιστεί μόνο όταν προσανατολιστούν οι φωτογραφίες. Η τιμή του δίνεται σε χιλιοστά αλλά και ως ποσοστό. Συγκεκριμένα όσο μικρότερη τιμή έχει τόσο το καλύτερο.

Το Λογαριθμικό Διάγραμμα Επαναλήψεων αποτελεί το τελικό σφάλμα επίλυσης όμως το τι ακριβώς εκφράζει είναι άγνωστο αφού ούτε αυτό διευκρινίζεται στα εγχειρίδια. (Φασούλας Σ., 2004, Κομζιά Β., 2004)

Για να επιτευχθεί ικανοποιητική ακρίβεια στο PhotoModeler το σίγουρο είναι ότι πρέπει να είναι γνωστή η εστιακή απόσταση της φωτογραφικής μηχανής ώστε το πρόγραμμα να την χρησιμοποιήσει για τον υπολογισμό των θέσεων των φωτογραφικών μηχανών και την δημιουργία των τρισδιάστατων σημείων για το μοντέλο. Επίσης σημαντική είναι και η γνώση του φορμάτ της εικόνας.

Επομένως για τον σχεδιασμό ενός τρισδιάστατου μοντέλου με ικανοποιητική ακρίβεια χρειάζονται πολλές επικαλυπτόμενες φωτογραφίες του αντικειμένου παρμένες με βαθμονομημένη φωτογραφική μηχανή, τρισδιάστατες συντεταγμένες φωτοσταθερών σημείων (σημείων ελέγχου-3D Control Points) για απόδοση της κλίμακας και εξασφάλιση της γεωμετρίας του μοντέλου, καθώς επίσης και μετρήσεις μηκών επί του αντικειμένου για έλεγχο.

4.3 Δυνατότητες του PhotoModeler

Πιο κάτω παραθέτονται οι δυνατότητες του λογισμικού:

- Αυτοβαθμονόμηση της μηχανής με αλλαγή όλων ή μερικών παραμέτρων της.(σταθερά μηχανής, πρωτεύον σημείο, ακτινική διαστροφή του φακού, μέγεθος και τετραγωνικότητα του pixel)
- Χρησιμοποίηση γραμμών μεταξύ των σημείων για την απόδοση των περιγραμμάτων ή για διευκόλυνση του χρήστη.
- Άμεση διόρθωση οποιουδήποτε λάθους κατά την διαδικασία επεξεργασίας των εικόνων. Σε περίπτωση που έχει προηγηθεί επίλυση τα αποτελέσματα ενημερώνονται αυτόματα, χωρίς να απαιτείται επανάληψη της.
- Απενεργοποίηση οποιασδήποτε εικόνας, οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς την διαγραφή της από το project.
- Εμπλουτισμός του project με νέες εικόνες ακόμα και σε περίπτωση που έχει προηγηθεί επίλυση.
- Επιβολή δεσμεύσεων σε σημεία, κατά την δημιουργία του μοντέλου. Τα σημεία αυτά μπορούν να ανήκουν στην ίδια ευθεία, να ανήκουν στο ίδιο επίπεδο ή ακόμα και να ορίζουν κάρναβο.
- Παραγωγή μοντέλου από τουλάχιστον δύο εικόνες βαθμονομημένης μηχανής χωρίς την ανάγκη χρήσης φωτοσταθερών. Στην περίπτωση αυτή το μοντέλο θα έχει αυθαίρετη κλίμακα και θέση.
- Απόδοση κλίμακας στο μοντέλο με χρήση μιας απόστασης.
- Σύνδεση κάθε εικόνας με διαφορετική μηχανή και ενιαία επίλυση με πλήρη, μερική ή ακόμα και χωρίς αυτοβαθμονόμηση.

- Απόδοση υφής στο μοντέλο χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη εικόνα ή χρωματική πληροφορία από συγκεκριμένη εικόνα ή χρώμα από ανεξάρτητη παλέτα του λογισμικού.
- Χρησιμοποίηση μιας μόνο εικόνας, για την δημιουργία επιπέδου αλλά με την χρήση τουλάχιστον 6 φωτοσταθερά.(Φασούλας Σ., 2004, Κομζιά Β., 2004)

4.4 Βασικά Εργαλεία του PhotoModeler

Μερικά από τα σημαντικότερα εργαλεία του λογισμικού είναι τα πιο κάτω:

- **Curve Helper:** Υπόδειξη της επιπολικής ευθείας μετά από μια επίλυση παρέχοντας καθοδήγηση για τον εντοπισμό του ομόλογου σημείου στην άλλη εικόνα, κατά τον εμπλουτισμό του μοντέλου με σημεία.
- **Cylinder Mode:** «Μαρκάρισμα» κυλινδρικών απεικονίσεων οι οποίες αντιστοιχίζονται μεταξύ τους όπως τα ομόλογα σημεία και μετά την επίλυση οι κύλινδροι αποδίδονται τρισδιάστατα στο 3D Viewer.
- **Surface Point Mode:** Επέκταση με γραμμές ενός ήδη ορισμένου επιπέδου ως τρίγωνο ή άθροισμα τριγώνων σχηματισμένων από ομόλογα σημεία. Ενδείκνυται για επιφάνειες που είναι εμφανείς σε μια μόνο εικόνα ή που γενικότερα αδυνατούν να οριστούν.
- **Marking Residual Display:** Επιτρέπει τη μείωση του σφάλματος σκόπευσης ενός σημείου, μέσω μιας γραμμής η οποία υποδεικνύει τη φορά της διόρθωσης βάση του αναπροσμετρημένου σφάλματος.(Κομζιά Β., 2004, Φασούλας Σ., 2004)

5 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 παρόν 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	Συμπληρωματικές μετρήσεις με την τοπομετρική μέθοδο


Πίνακας 4: Στάδια εργασιών πεδίου

5.1 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.

5.1.1 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, στυλαιό 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: ±2 mm ±2 ppm✓ Εμβέλεια μέτρησης χωρίς πρίσμα: 270m, με πρίσμα 4500m✓ Χρόνος μέτρησης: <0.4 sec✓ Διαθέτει φωτεινό οδηγό χάραξης (Point Guide)✓ Βάρος: 5.7kg
---	---

Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά Γεωδαιτικού Σταθμού

5.1.2 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 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψηφιακής μηχανής

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, φωτογραφίες), τον υπολογισμό των τοπογραφικών εργασιών, τις φωτογραμμετρικές επεξεργασίες και τελικά την παραγωγή των τελικών προϊόντων.

5.2 Πορεία Εργασιών

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

5.2.1 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 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.



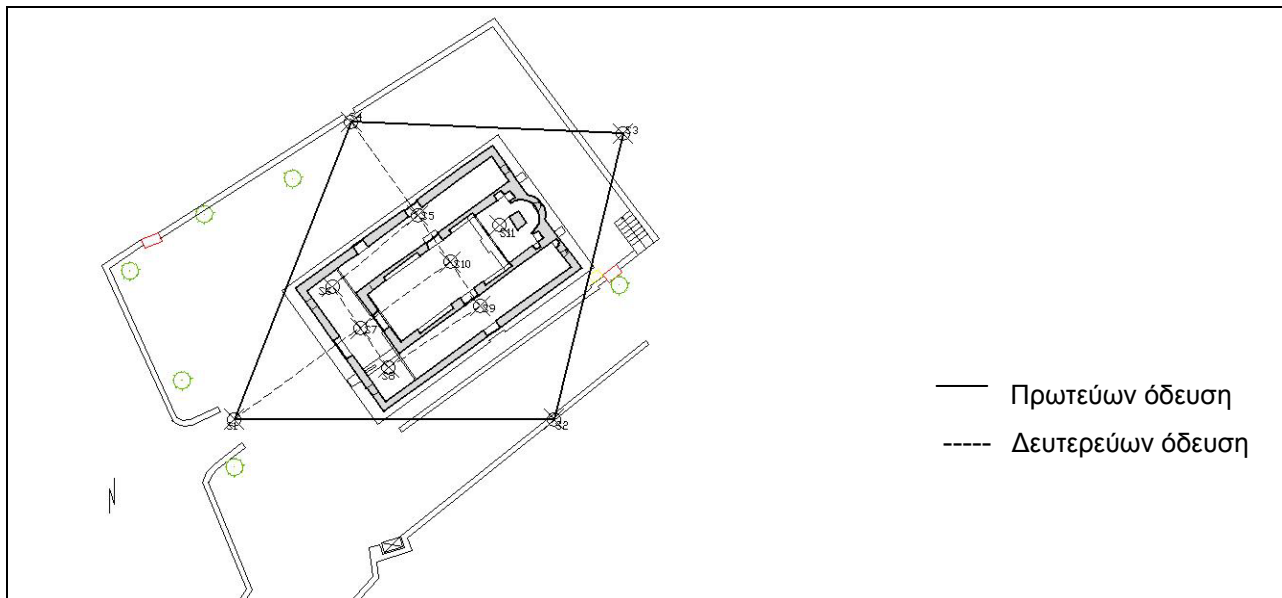
Εικόνα 5.1: Δορυφορική λήψη του ναού

Πηγή: Google Earth

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 ένα ανάχωμα το οποίο όμως είναι εύκολα προσπελάσιμο.

5.2.2 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 5,2 αντίστοιχα. Ακόμη, υπάρχει μία τυφλή στάση στο χώρο του ιερού του ναού η οποία ορίστηκε στην ευθυγραμμία των στάσεων S10-S3.



Εικόνα 5.2: 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.

5.2.3 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.

5.2.4 Προγραμματισμός λήψεων

Ο προγραμματισμός των φωτογραμμετρικών λήψεων γίνεται πάντα με βάση τις προδιαγραφές, τον διαθέσιμο εξοπλισμό, τη ζητούμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος και της φωτογράφισης, το σκοπό της απόδοσης και το είδος των λήψεων.

Η επιλογή των θέσεων λήψης δεν είναι πάντοτε απλή και πολλές φορές στο πεδίο εφαρμογής παρουσιάζονται διάφορα προβλήματα, όπως για παράδειγμα εμπόδια στη φωτογράφιση, δύσκολη πρόσβαση στον περιβάλλοντα χώρο, τα οποία ανάλογα με την κάθε περίπτωση πρέπει να λύνονται με τον βέλτιστο τρόπο.

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας οι λήψεις πρέπει να γίνουν με προσοχή διότι τα αποτελέσματα της εξαρτώνται πάρα πολύ από την φύση και την ποιότητα των φωτογραφιών.

Συγκεκριμένα για καλύτερα αποτελέσματα πρέπει να ακολουθούνται κάποιες οδηγίες για την θέση της μηχανής κατά την λήψη των φωτογραφιών.

- Οι γωνίες μεταξύ των λήψεων να είναι όσο γίνεται πιο κοντά στις 90° ούτως ώστε οι αλληλοτομίες μεταξύ των ομόλογων ακτινών να είναι οι βέλτιστες.
- Λήψη τουλάχιστον τριών φωτογραφιών που να περιλαμβάνουν όλα τα σημαντικά σημεία
- Να υπάρχει καλός οριζόντιος και κάθετος διαχωρισμός των θέσεων λήψης.
- Να υπάρχει όσο το δυνατό περισσότερη επικάλυψη μεταξύ γειτονικών φωτογραφιών.
- Λήψη πολλών φωτογραφιών του αντικείμενου αλλά χρησιμοποίηση μόνο τεσσάρων στην αρχή μέχρι να διαπιστωθεί ότι χρειάζονται κι άλλες.

5.2.5 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 στέρεο- 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 7.

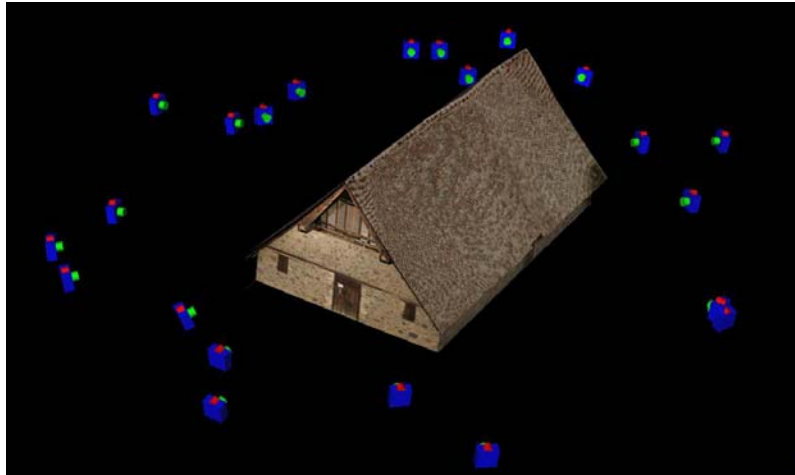
Όψη	Αριθμός φωτοσταθερών
Βόρεια	16
Ανατολική	14
Νότια	17
Δυτική	9
Σύνολο	56

Πίνακας 7: Φωτοσταθερά που τοποθετήθηκαν

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

5.2.6 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 συγκλίνουσες ή αποκλίνουσες λήψεις με τις κατάλληλες γωνίες μεταξύ των φωτογραφιών και της κάθε μιας με τον ναό. Μερικές από τις λήψεις και συγκεκριμένα αυτές που χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου φαίνονται στη πιο κάτω εικόνα.



Εικόνα 5.3: Σημεία λήψης των φωτογραφιών

5.2.7 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 πórτων, παραθύρων και γενικά ο,τι θα μπορούσε να βοηθήσει κατά την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν.

6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

6.1 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 επεξεργάστηκαν έτσι ώστε να είναι σε στήλες. Ακολούθως, έγινε μεταφορά των φωτογραφιών που λήφθηκαν από την φωτογραφική μηχανή στον H/Y.

6.2 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 8,

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 8: Συντεταγμένες κορυφών οδεύσεων

6.3 Βαθμονόμηση Φωτογραφικής Μηχανής

Βαθμονόμηση είναι η διαδικασία προσδιορισμού των αληθινών παραμέτρων 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. Με τον τρόπο αυτό γίνονται άμεσα γνωστά τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού της μηχανής, δηλαδή η εστιακή απόσταση, 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 καθετότητα και κλίμακα x/y).

Το λογισμικό PhotoModeler παρέχει διάφορους τρόπους βαθμονόμησης της φωτογραφικής μηχανής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το συμπεριλαμβανόμενο πρόγραμμα βαθμονόμησης ή οι λειτουργίες Self Calibration/Field Calibration οι οποίες όμως απαιτούν περισσότερες προϋποθέσεις από το πρόγραμμα βαθμονόμησης. Στην περίπτωση μηχανής με άγνωστα στοιχεία και με την ύπαρξη φωτοσταθερών μπορεί να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία Inverse Camera για βαθμονόμηση με επίλυση οπισθοτομιών. Επίσης υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής των στοιχείων της βαθμονόμησης από προηγούμενη ή εξωτερική βαθμονόμηση καθώς και αλλαγή τους.

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 επιλέχθηκε να γίνει εξωτερικά, δηλαδή χωρίς την χρήση των μεθόδων βαθμονόμησης που χρησιμοποιεί το PhotoModeler. Έτσι η βαθμονόμηση της έγινε με ένα πρόγραμμα του εργαστηρίου φωτογραμμετρίας το CALIBRATION_CCD το οποίο είναι γραμμένο σε MADLAB.

Για την βαθμονόμηση επίγειων φωτογραφικών μηχανών χρησιμοποιείται ένας ειδικά διαμορφωμένος χώρος(πεδίο βαθμονόμησης) του εργαστηρίου φωτογραμμετρίας. Έτσι για την βαθμονόμηση της CANON EOS-1D MARK II πάρθηκαν από απόσταση περίπου 8m τρεις φωτογραφίες, μια μετωπική, μια από δεξιά και μια από αριστερά υπό γωνία.

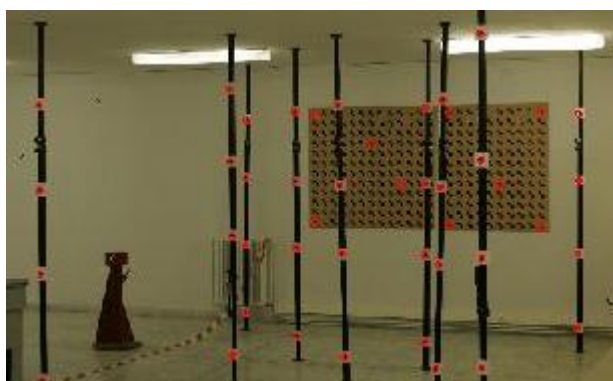
Πιο κάτω παρουσιάζονται οι φωτογραφίες του πεδίου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση της μηχανής.





Εικόνα 6.1: Οι φωτογραφίες του πεδίου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση της μηχανής

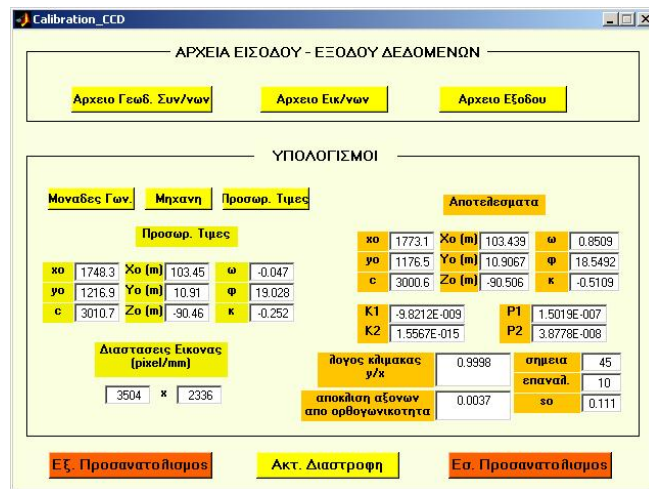
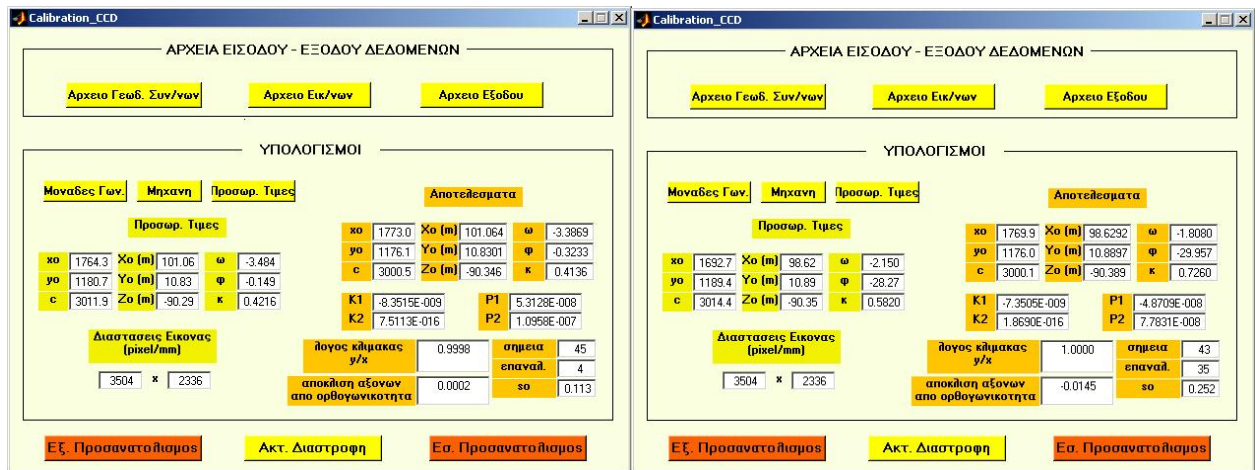
Στη συνέχεια οι εικόνες αυτές εισήχθησαν στο AutoCAD και εξάχθηκαν οι εικονοσυντεταγμένες φωτοσταθερών από το πεδίο ελέγχου (από όλα τα φωτοσταθερά που βρίσκονται στους κάθετους σωλήνες και μερικά φωτοσταθερά σε όλο το εύρος του πίνακα που βρίσκεται στο βάθος). Στην πιο κάτω εικόνα με κόκκινο χρώμα φαίνονται τα φωτοσταθερά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση.



Εικόνα 6.2: Το πεδίο ελέγχου

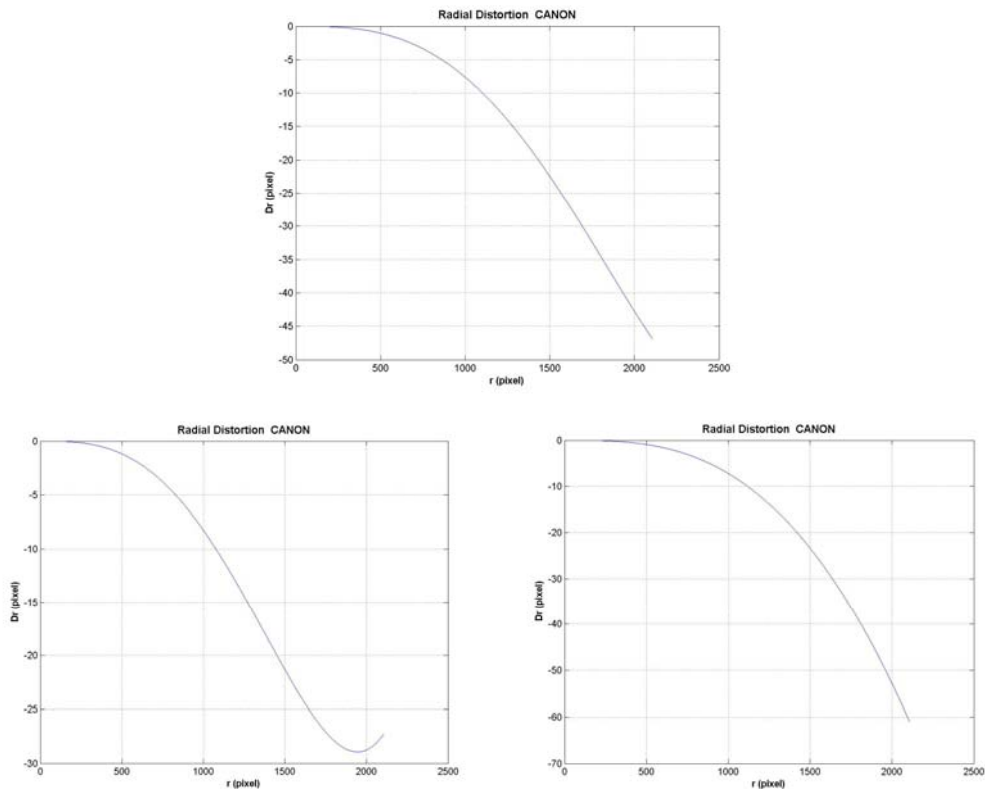
Έπειτα, στο πρόγραμμα CALIBRATION_CCD έγινε εισαγωγή των γεωδαιτικών συντεταγμένων, των εικονοσυντεταγμένων και ορίστηκε το αρχείο εξόδου. Στο επόμενο βήμα ορίστηκαν οι μονάδες γωνιών, η φωτογραφική μηχανή και ζητήθηκε από το πρόγραμμα να υπολογιστούν προσωρινές τιμές για τον εσωτερικό και εξωτερικό 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 διαστροφής, 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.

Στις πιο κάτω εικόνες παρουσιάζονται τα παράθυρα λειτουργίας του προγράμματος CALIBRATION_CCD στα οποία φαίνονται οι προσωρινές τιμές και τα τελικά αποτελέσματα για κάθε μια από τις τρεις λήψεις που έγιναν.



Εικόνα 6.3: Τα παράθυρα λειτουργίας του προγράμματος CALIBRATION_CCD που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση της μηχανής

Τέλος από το CALIBRATION_CCD αποθηκεύτηκε η αναφορά βαθμονόμησης (calibration report) όπως και το διάγραμμα της ακτινικής διαστρώσης του φακού (Radial Distortion- $\Delta r/r$). Τα τρία διαγράμματα της ακτινικής διαστρώσης που προέκυψαν παρουσιάζονται στις πιο κάτω εικόνες. Οι αναφορές βαθμονόμηση παραθέτονται στο παράρτημα.



Εικόνα 6.4: Διαγράμματα της ακτινικής διαστρώσης που προέκυψαν από το CALIBRATION_CCD.

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την βαθμονόμηση της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής CANON EOS-1D MARK II.

	x_0	y_0	c	k_1	k_2	p_1	p_2	y/x	απόκλιση
8mO	1773,0202	1176,1683	3000,6	-8,35E-09	7,51E-16	5,31E-08	1,10E-07	0,99978	0,00016
8mL	1769,9463	1176,0419	3000,1	-7,35E-09	1,87E-16	-4,87E-08	7,78E-08	1,00001	-0,01455
8mR	1773,1654	1176,5201	3000,7	-9,82E-09	1,56E-15	1,50E-07	3,88E-08	0,99978	0,0037
M.O	1772,04397	1176,24343	3000,4	-8,508E-09	8,31578E-16	5,153E-08	7,53971E-08	0,99985667	0,003563333
ΜΕΓΕΘΟΣ (mm)	14,5307605	9,64519615	24,604						

Πίνακας 9: Αποτελέσματα που προέκυψαν από την βαθμονόμηση της μηχανής

Η τυπική απόκλιση υπολογίστηκε για το πρωτεύον σημείο και την εστιακή απόσταση. Συγκεκριμένα $\sigma_{rmsc_0} = \pm 0.299$ pixel , $\sigma_{rmsx_0} = \pm 1.818$ pixel , $\sigma_{rmsy_0} = \pm 0.248$ pixel

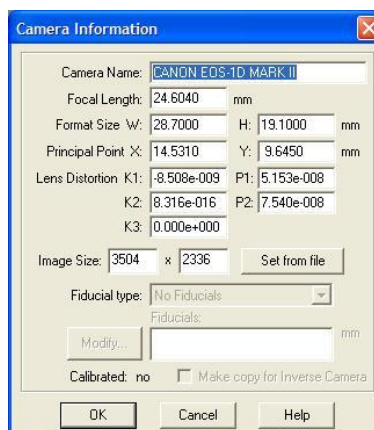
Όπως παρατηρείται η απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων είναι αρκετά μικρή έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι η βαθμονόμηση είναι αξιόπιστη Τα τελικά μεγέθη του πρωτεύοντος σημείου και της εστιακής απόστασης που προέκυψαν σε mm και φαίνονται στον πιο πάνω πίνακα υπολογίστηκαν βάση του μεγέθους των εικονοστοιχείων της μηχανής που προκύπτουν από τα στοιχεία που δίδονται στο εγχειρίδιο της μηχανής.

6.4 Δημιουργία Τρισδιάστατου Μοντέλου με το PhotoModeler

Αφού υπολογίστηκαν τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού και οι παράμετροι της ακτινικής και εφαπτομενικής διαστροφής ξεκίνησε η διαδικασία παραγωγής του τρισδιάστατου μοντέλου με το λογισμικό PhotoModeler.

6.4.1 Εισαγωγή φωτογραφιών και στοιχείων μηχανής

Για την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου έγινε μόνο ένα project. Αρχίζοντας λοιπόν ένα νέο project εισάγεται η εκτίμηση για την μεγαλύτερη διάσταση του αντικειμένου και οι μονάδες εισόδου και αναφοράς. Στην προκειμένη περίπτωση αφού είναι η πρώτη φορά που χρησιμοποιείται η φωτογραφική μηχανή, εισάγονται λεπτομερώς το όνομά της το είδος της (αναλογική/ψηφιακή), αν ο φακός της έχει zoom κ.α. Στην πιο κάτω εικόνα φαίνονται τα στοιχεία της μηχανής που εισήχθησαν στο PhotoModeler.



Εικόνα 6.5: Παράθυρο εισαγωγής των στοιχείων της βαθμονόμησης.

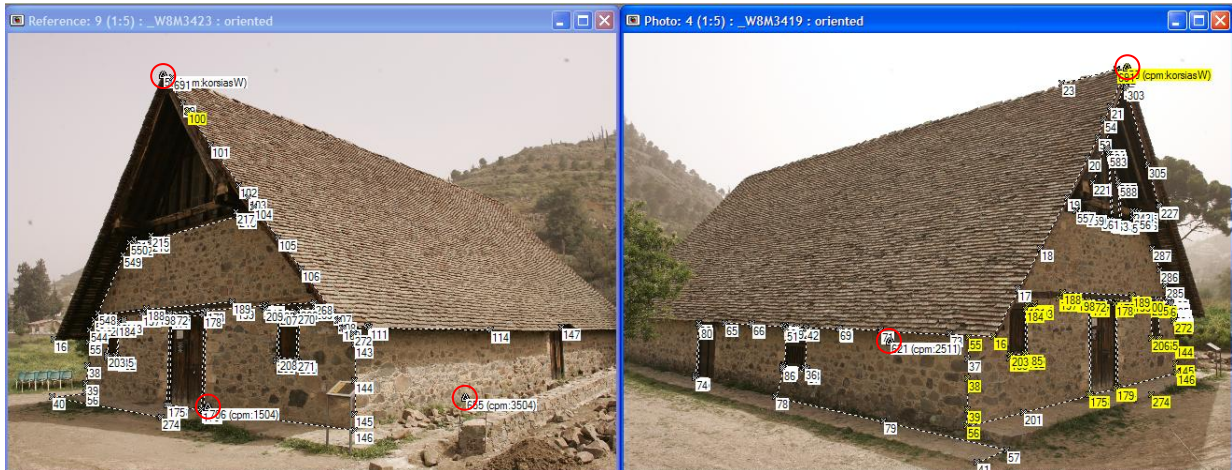
Επιλέχθηκαν οι φωτογραφίες εκείνες που πιθανότατα να χρειάζονταν για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου και έγινε εισαγωγή τους στο πρόγραμμα. Κατά την διάρκεια μαρκαρίσματος σημείων υπήρξαν περιπτώσεις που έγινε εισαγωγή νέων εικόνων αλλά και διαγραφή κάποιων από το project.

Οι εικόνες που τελικά χρησιμοποιήθηκαν καθώς και ένας πίνακας με τα στοιχεία της κάθε εικόνας παρατίθενται στο παράρτημα.

6.4.2 Δημιουργία μοντέλου

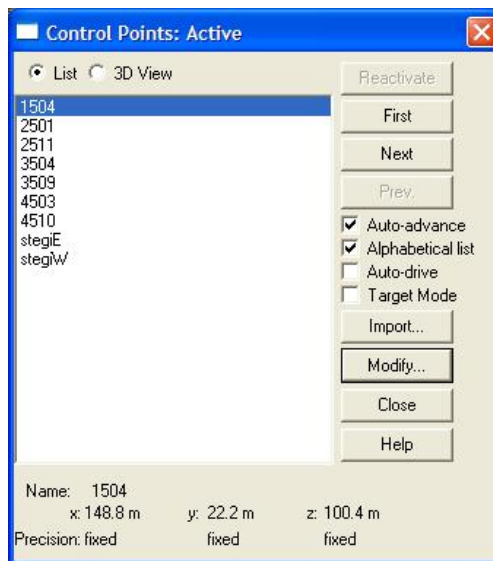
Κατά την διαδικασία δόμησης του μοντέλου μαρκάρονται και ταυτίζονται τα ομόλογα σημεία και αντικείμενα στις φωτογραφίες χρησιμοποιώντας τα εργαλεία του προγράμματος. Λόγω της πληθώρας των προς εισαγωγή εικόνων και των εκτεταμένων συσχετίσεων ομόλογων σημείων που απαιτεί η αποπεράτωση του μοντέλου, οι εικόνες ανοίγονταν κατά ζεύγη, τοποθετούνταν τα ομόλογα σημεία, γραμμές κ.τ.λ σε χαρακτηριστικές θέσεις και συνδέονταν μεταξύ τους με την εντολή αναφοράς (Reference Mode) του λογισμικού (Εικόνα 6.6). Στη συνέχεια εισήχθησαν τα φωτοσταθερά που προέρχονταν από τοπογραφικές μετρήσεις. Για την εισαγωγή των φωτοσταθερών αρχικά αποφασίζεται ο τύπος της πηγής τους (txt/dxf) και ακολουθεί

μαρκάρισμα των φωτοσταθερών στις φωτογραφίες, αντιστοίχιση και επεξεργασία (εικόνα 6.7).



Εικόνα 6.6: Οθόνη λειτουργίας κατά την αντιστοίχιση ομόλογων σημείων.

Τα σημεία που συμβολίζονται με τρίγωνο και είναι σε κόκκινο κύκλο είναι φωτοσταθερά τα οποία εισήχθησαν στο πρόγραμμα για καλύτερη ακρίβεια, για απόδοση της κλίμακας και εξασφάλιση της γεωμετρίας του μοντέλου.

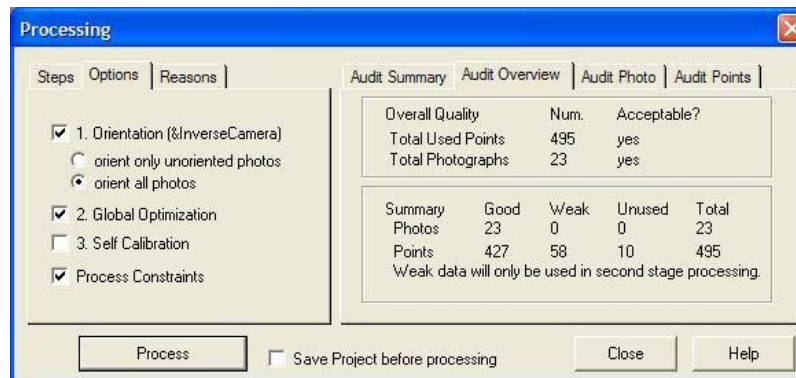


Εικόνα 6.7: Εισαγωγή σημείων ελέγχου (φωτοσταθερών).

Αφού ολοκληρωθούν οι συσχετίσεις των ομόλογων σημείων, ακολούθησε η συνόρθωση των παρατηρήσεων (Process), που περιλαμβάνει την αποκατάσταση του σχετικού προσανατολισμού των εικόνων και τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων.(σχετικοί πίνακες που φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία των μαρκαρισμένων σημείων καθώς και στοιχεία των σημείων λήψης των φωτογραφιών παραθέτονται στο παράρτημα)

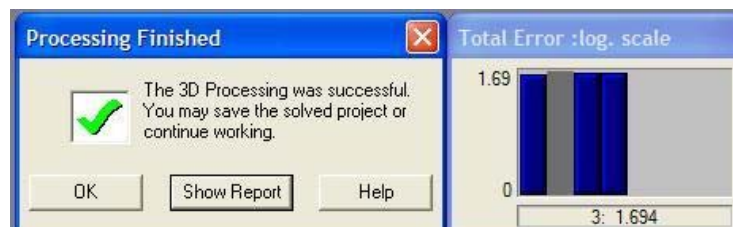
Η επίλυση αναλύεται σε τρία στάδια (εικόνα 6.8).

- Audit Summary: Στατιστική και ποιοτική ενημέρωση για τα σημεία και τις εικόνες.
- Processing Steps: Καθορισμός των δυνατοτήτων επίλυσης οι οποίες είναι: α) προσανατολισμός (Orientation), β) Ολική βελτιστοποίηση (Global Optimization) δηλαδή ελαχιστοποίηση του σφάλματος σε όλα τα σημεία που έχουν σκοπευτεί και στα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού και γ) Αυτοβαθμονόμηση (Self Calibration)-η οποία σε αυτή την περίπτωση δεν χρησιμοποιήθηκε.
- Υπολογισμός και παρουσίαση του τελικού συνολικού σφάλματος και ένδειξη ότι η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί.



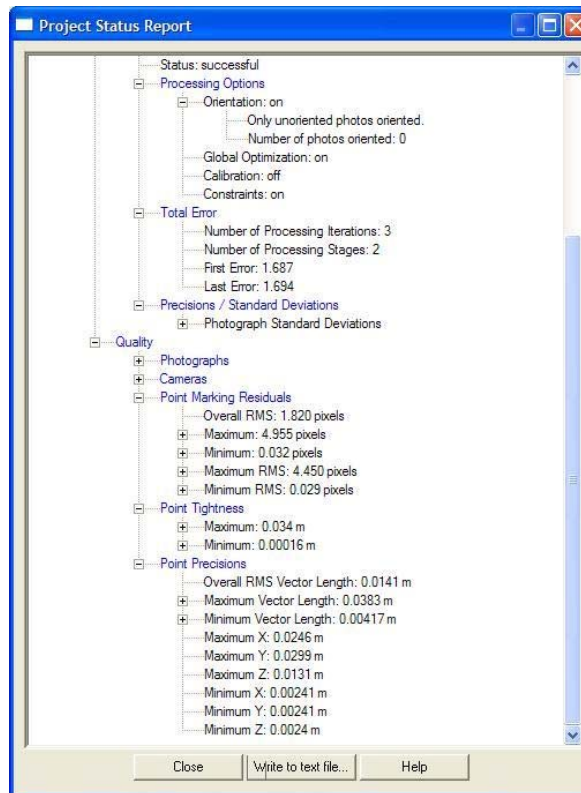
Εικόνα 6.8: Στάδια επίλυσης.

Στην συνέχεια ακολουθεί το λογαριθμικό διάγραμμα στο οποίο φαίνεται το συνολικό σφάλμα της επίλυσης. Συγκεκριμένα στον κατακόρυφο άξονα φαίνεται το αρχικό σφάλμα και στον οριζόντιο ο αριθμός των επαναλήψεων και το τελικό σφάλμα μετά την διαδικασία βελτιστοποίησης.



Εικόνα 6.9: Λογαριθμικό σφάλμα

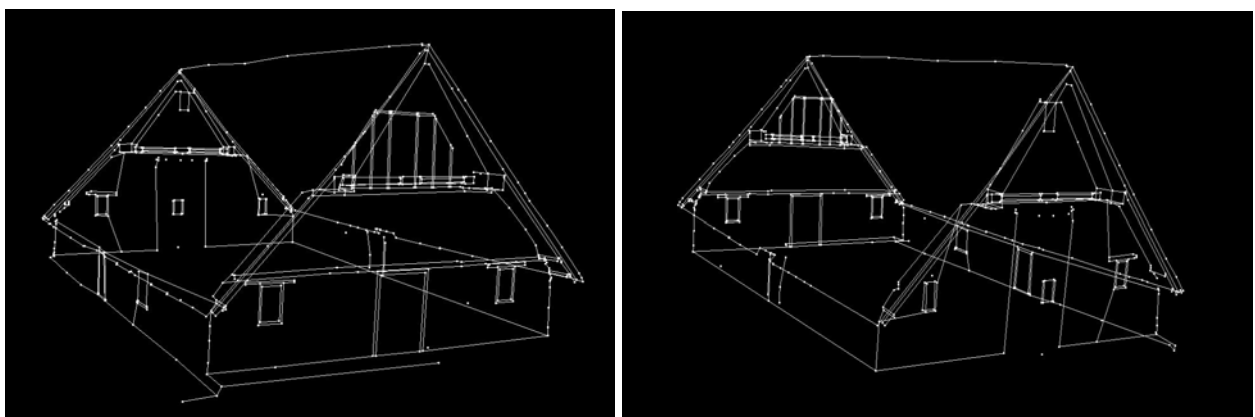
Μετά την επίλυση εμφανίζεται σε νέο παράθυρο αναφορά με τα αποτελέσματα. Εκτός των άλλων εκεί αναφέρονται τα σημεία με τα υψηλότερα σφάλματα και την μεγαλύτερη τιμή Tightness. Με αυτό το τρόπο διορθώνονται τα σημεία που έχουν μεγαλύτερο από το ανεχτό σφάλμα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνετε μέχρι να επιτευχθεί ακρίβεια μικρότερη των 5 pixel. Η αναφορά αυτή παρουσιάζεται στη πιο κάτω εικόνα.



Εικόνα 6.10: Παράθυρο αναφοράς μετά την επίλυση.

Τέλος δόθηκε κλίμακα στο μοντέλο με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Στο πρώτο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν όσο το δυνατό περισσότερα φωτοσταθερά (29), στο δεύτερο χρησιμοποιήθηκαν δύο σε κάθε όψη του ναού (8) και στο τρίτο χρησιμοποιήθηκε μια απόσταση για την απόδοση της κλίμακας.

Μετά την επίλυση παρέχεται η δυνατότητα προβολής του μοντέλου σε τρεις διαστάσεις, μεγέθυνση και σμίκρυνση, στροφή και μέτρηση στο 3D Viewer. Στις πιο κάτω εικόνες φαίνεται το τρισδιάστατο μοντέλο όπως παρουσιάζεται από το 3D Viewer.

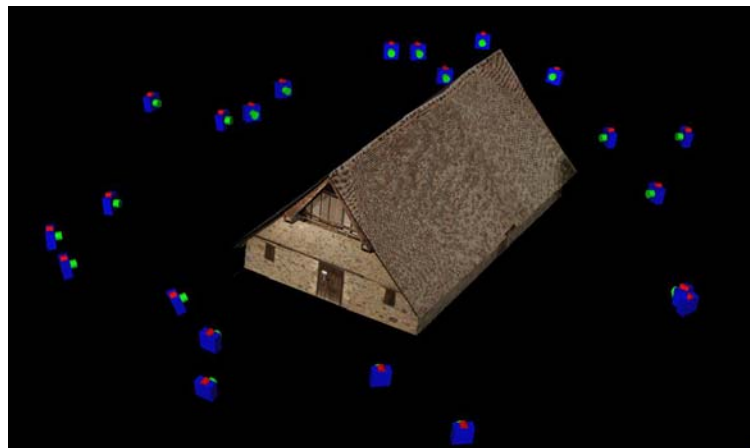


Εικόνα 6.11: Το τρισδιάστατο μοντέλο στο 3D Viewer από διαφορετικές γωνίες.

6.4.3 Δημιουργία τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου

Επόμενο στάδιο ήταν η απόδοση υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε. Προϋπόθεση ήταν η τμηματική δημιουργία επιπέδων του μοντέλου, μια μηχανική διαδικασία πάνω στις εικόνες μέσω της εντολής Surface/ Path Mode. Βοηθητικά λειτούργησε η δυνατότητα ένωσης σημείων και σχηματισμού επιπέδων στο 3D Viewer. Για την απόδοση υφής γίνεται επιλογή του επιπέδου ή των επιπέδων που επιθυμείται να αποδοθεί υφή και καθορίζεται το είδος της. Υπάρχουν οι δυνατότητες απόδοσης χρώματος και υφής από πολλές εικόνες.

Σε γενικές γραμμές η επίτευξη ικανοποιητικού φωτορεαλιστικού αποτελέσματος είναι αρκετά σύνθετη και χρονοβόρα διαδικασία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάστηκαν πολλές δυσκολίες από τις διαφοροποιήσεις στη φωτεινότητα μεταξύ των διάφορων επιπέδων καθώς και σε κάποιες προβληματικές απεικονίσεις, όπως στην προβολή δέντρων πάνω στη στέγη της βόρειας όψης και γενικά στη απεικόνιση της στέγης στη οποία η υφή στα γειτονικά επίπεδα δεν είναι συνεχής και έτσι φαίνεται κάπως παραμορφωμένη.



Εικόνα 6.12: Νοτιοδυτική άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου και σημεία λήψης των φωτογραφιών όπως παρουσιάζονται στο 3D Viewer.

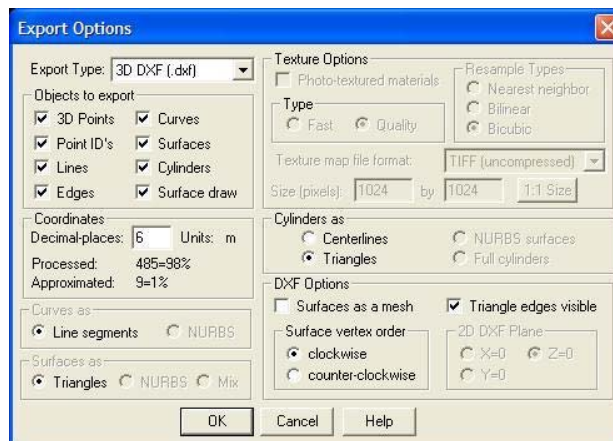


Εικόνα 6.13: Βορειοανατολική άποψη του τρισδιάστατου μοντέλου όπως παρουσιάζεται στο 3D Viewer.

6.4.4 Εξαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου

Το επόμενο βήμα στην όλη διαδικασία ήταν η εξαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου στο AutoCAD, όπου μετρήθηκαν οι αποστάσεις που είχαν μετρηθεί στο χώρο, για έλεγχο της ακρίβειας και δημιουργία τομών.

Στο παράθυρο επιλογών εξαγωγής μοντέλου (εικόνα 6.14) ελέγχονται όλες οι επιλογές για την εξαγωγή όλων των τρισδιάστατων μοντέλων στο PhotoModeler για χρήση σε προγράμματα CAD, προγράμματα τρισδιάστατων γραφικών για τη φωτορεαλιστική απόδοση του προϊόντος καθώς και σε προγράμματα απόδοσης κίνησης και παραγωγής video.



Εικόνα 6.14: Παράθυρο επιλογών για εξαγωγή τρισδιάστατου μοντέλου.

Όπως προαναφέρθηκε το PhotoModeler δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής μοντέλου σε 3D DXF, 2D DXF, 3D Studio, VRML 1.0, VRML 2.0, Wavefront, Raw, IGES, Rhino και στερεολιθογραφικό.

6.5 Αποτελέσματα

Με την ολοκλήρωση της εξαγωγής των τρισδιάστατων μοντέλων στο AutoCAD άρχισε η διαδικασία ελέγχου των τριών μοντέλων που προαναφέρθηκαν, μοντέλο με 29 φωτοσταθερά, μοντέλο με 8 φωτοσταθερά και μοντέλο χωρίς φωτοσταθερά.

Ο έλεγχος για την πληρότητα και την πιστότητα αυτών των μοντέλων πραγματοποιήθηκε με δειγματοληπτικό έλεγχο διαστάσεων. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν 38 διαφορετικού μεγέθους μήκη επί του ναού και συγκρίθηκαν με το φωτογραμμετρικό προϊόν, δηλαδή τις αντίστοιχες μετρήσεις στο AutoCAD.

Η μικρότερη απόσταση που μετρήθηκε ήταν 9cm και η μεγαλύτερη 19,31 m. Οι έλεγχοι έγιναν και για τα τρία μοντέλα που προέκυψαν. Στις δύο πρώτες περιπτώσεις οι διαφορές των αποστάσεων που μετρήθηκαν στο ναό από αυτές του προέκυψαν από το τρισδιάστατο μοντέλο έχουν μέσο όρο ίσο με 1 mm και 2 mm αντίστοιχα, επομένως η διαφορά κλίμακας είναι αμελητέα και δεν υπάρχουν συστηματικά σφάλματα. Στην τρίτη περίπτωση ο μέσος όρος των διαφορών αυξάνεται στα 6mm.

Και στις τρεις περιπτώσεις υπολογίστηκε το εναπομένον σφάλμα RMS των αποστάσεων και από την σύγκριση προκύπτει ότι το βέλτιστο μοντέλο είναι αυτό που χρησιμοποιήθηκαν 8 φωτοσταθερά για την απόδοση της κλίμακας του. Το μοντέλο με τα 29 φωτοσταθερά ακολουθεί με πολύ ελάχιστη διαφορά ενώ το μοντέλο χωρίς φωτοσταθερά έχει λίγο μεγαλύτερο σφάλμα. Συγκεκριμένα στο πρώτο μοντέλο το εναπομένον σφάλμα RMS είναι 1.86cm, στη δεύτερη περίπτωση είναι 1.99cm και στην τρίτη είναι 2.42cm (Τα αναλυτικά αποτελέσματα από το πρώτο μοντέλο παρουσιάζονται στον πίνακα 10 και για τα άλλα δύο στο παράρτημα).

Τέλος η επιλογή του βέλτιστου τρισδιάστατου μοντέλου έγινε ανάμεσα στα δύο πρώτα μοντέλα τα οποία είχαν σχεδόν την ίδια ακρίβεια. Για την εξαγωγή των τελικών προϊόντων (τομές, ορθοφωτογραφίες) επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο με τα 8 φωτοσταθερά το οποίο είχε μέσο όρο διαφορών **1mm** και εναπομένον σφάλμα $\sigma_{rms} = \pm 1,86cm$

	ΕΛΕΓΧΟΙ 3D ΜΕ 8 Φ/Σ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΑ	3D	Δ	ΔΔ	
ΝΟΤΙΑ	ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,085	1,09	-0,005	0,0000250	
	ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΣΙΑΣ	0,09	0,093	-0,003	0,0000090	
	ΥΨΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,68	1,635	0,045	0,0020250	
	ΚΕΡΑΜΥΔΙΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΠΟΡΤΑ	1,275	1,27	0,005	0,0000250	
ΒΟΡΕΙΑ	Α-Δ ΓΩΝΙΑ-ΠΟΡΤΑ	6,86	6,85	0,010	0,0001000	
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,13	1,14	-0,010	0,0001000	
	Α-Δ ΠΟΡΤΑ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ	3,68	3,69	-0,010	0,0001000	
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,86	0,875	-0,015	0,0002250	
	Α-Δ ΠΑΡΑΘΥΡΟ-ΓΩΝΙΑ	5,13	5,11	0,020	0,0004000	
	ΚΑΤΩ ΚΕΡΑΜΥΔΙΑ ΒΟΡΕΙΑΣ	19,31	19,31	0,000	0,0000000	
	Α-Δ ΓΩΝΙΑ-ΔΕΞΙΑ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	12,53	12,555	-0,025	0,0006250	
	Α-Δ ΑΡΙΣΤ ΠΟΡΤΑΣ-ΓΩΝΙΑ	10,8	10,8	0,000	0,0000000	
	ΥΨΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,66	1,68	-0,020	0,0004000	
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ	Ν-Β ΓΩΝΙΑ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ	1,48	1,48	0,000	0,0000000	
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,33	0,33	0,000	0,0000000	
	ΕΔΑΦΟΣ-ΚΑΤΩ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	1,41	1,38	0,030	0,0009000	
	Ν-Β ΠΑΡΑΘΥΡΟ-ΙΕΡΟ	2,6	2,605	-0,005	0,0000250	
	Ν-Β ΙΕΡΟ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,1	2,125	-0,025	0,0006250	
	Ν-Β ΠΑΡΑΘΥΡΟ-ΓΩΝΙΑ	1,65	1,66	-0,010	0,0001000	
	Ν-Β ΓΩΝΙΑ-ΙΕΡΟ	4,41	4,415	-0,005	0,0000250	
	Ν-Β ΙΕΡΟ-ΓΩΝΙΑ	4,28	4,325	-0,045	0,0020250	
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,53	0,53	0,000	0,0000000	
	ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,89	0,89	0,000	0,0000000	
	ΠΡΕΚΙ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ ΥΨΟΣ	0,14	0,135	0,005	0,0000250	
	ΕΔΑΦΟΣ-ΚΑΤΩ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	1,6	1,6	0,000	0,0000000	
	ΔΥΤΙΚΗ	Β-Ν ΓΩΝΙΑ-ΠΟΡΤΑ	4,73	4,705	0,025	0,0006250
Β-Ν ΠΟΡΤΑ-ΓΩΝΙΑ		4,635	4,63	0,005	0,0000250	
ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΡΤΑΣ		1,63	1,63	0,000	0,0000000	
ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		2,34	2,31	0,030	0,0009000	
ΠΡΕΚΙ ΑΡΙΣΤ.ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		1,35	1,36	-0,010	0,0001000	
ΠΛΑΤΟΣ ΑΡΙΣΤ. ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		0,64	0,64	0,000	0,0000000	
ΠΡΕΚΙ ΔΕΞ. ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		1,41	1,43	-0,020	0,0004000	
ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΞ. ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		0,64	0,65	-0,010	0,0001000	
ΥΨΟΣ ΠΡΕΚΙΟΥ		0,145	0,15	-0,005	0,0000250	
Α-Δ ΚΕΡΑΜΥΔΙΑ ΠΑΝΩ		19,228	19,19	0,038	0,0014440	
		6,25	6,27	-0,020	0,0004000	
		Β-Ν ΓΩΝΙΑ- ΑΡΙΣΤ. ΠΑΡΑΘΥΡΟ	8,865	8,855	0,010	0,0001000
		ΟΛΗ ΠΛΕΥΡΑ	10,995	10,975	0,020	0,0004000
		ΔΥΤΙΚΗ ΓΩΝΙΑ-ΔΕΞ ΠΟΡΤΑΣ	6,375	6,345	0,030	0,0009000
					0,001	0,0131780

Πίνακας 10:Αξιολόγηση αποτελεσμάτων τρισδιάστατου μοντέλου με 8 φωτοσταθερά

6.6 Τελικά Προϊόντα

Όπως προέκυψε από την προηγούμενη ενότητα το τρισδιάστατο μοντέλο με την καλύτερη ακρίβεια ήταν τελικά το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκαν τα 8 φωτοσταθερά. Από αυτό το μοντέλο δημιουργήθηκαν τρεις τομές και τέσσερις ορθοφωτογραφίες όπως περιγράφεται στις πιο κάτω υποενότητες.

6.6.1 Δημιουργία τομών από το τρισδιάστατο μοντέλο

Όπως έχει ήδη αναφερθεί από το τρισδιάστατο DXF έγινε δημιουργία δύο κατακόρυφων τομών και μιας οριζόντιας. Η οριζόντια τομή έγινε σε ύψος 1 μέτρου από την δυτική είσοδο του ναού. Οι δύο κατακόρυφες, εγκάρσια και διαμήκεις, έχουν διεύθυνση δυτικά και βόρεια αντίστοιχα.

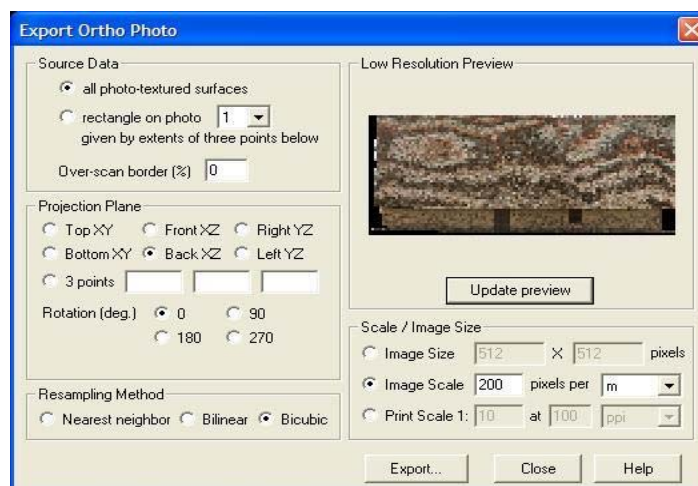
Η εξωτερικές τομές δημιουργήθηκαν από το εξαγόμενο τρισδιάστατο DXF ενώ οι εσωτερικές από τα μετρημένα σημεία που αποτυπώθηκαν με τον γεωδαιτικό σταθμό κατά τις εργασίες υπαίθρου.

Οι τομές έχουν εκτυπωθεί σε κλίμακα 1:50 και επισυνάπτονται στο παρόν τεύχος.

6.6.2 Εξαγωγή ορθοφωτογραφιών

Οι ορθοφωτογραφίες είναι εικόνες σε ορθή προβολή και έχουν μια συγκεκριμένη κλίμακα. Για τον λόγο αυτό είναι δυνατή η μέτρηση των διαστάσεων ενός αντικειμένου στην ορθοφωτογραφία, κάτι που δεν μπορεί να γίνει στις κοινές φωτογραφίες.

Για την δημιουργία μιας ορθοφωτογραφίας στο PhotoModeler γίνονται οι κατάλληλες ρυθμίσεις στο παράθυρο εξαγωγής ορθοφωτογραφίας (εικόνα 6.15)



Εικόνα 6.15: Παράθυρο επιλογών για εξαγωγή ορθοφωτογραφιών.

Πρώτο βήμα για τη δημιουργία μιας ορθοφωτογραφίας είναι η επιλογή της πηγής των φωτογραφικών δεδομένων. Η άντληση της φωτογραφικής πληροφορίας μπορεί να γίνει από μια φωτογραφία ή από τις ήδη δημιουργημένες επιφάνειες με φωτορεαλιστική υφή.

Δεύτερο βήμα είναι η επιλογή του επιπέδου προβολής. Ο καθορισμός του μπορεί να γίνει είτε με την επιλογή ενός επιπέδου και διεύθυνσης προβολής (top/bottom-XY, front/back-XZ, right/left-YZ) είτε με καθορισμό του επιπέδου προβολής με τρία σημεία του αντικειμένου. Επίσης υπάρχει ένας έλεγχος στροφής που ο οποίος καθορίζει τον τρόπο που η ορθοφωτογραφία είναι προσανατολισμένη. Οι γωνιές είναι σε μοίρες, ορισμένες δεξιόστροφα.

Στο σημείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί η χαμηλής ανάλυσης προεπισκόπηση η οποία είναι το τρίτο βήμα της όλης διαδικασίας για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας. Ο βασικός λόγος που χρησιμοποιείται η προεπισκόπηση είναι για να εξασφαλιστεί ότι το αποτέλεσμα θα προσανατολιστεί όπως είναι επιθυμητό και ότι έχουν επιλεγεί οι σωστοί άξονες.

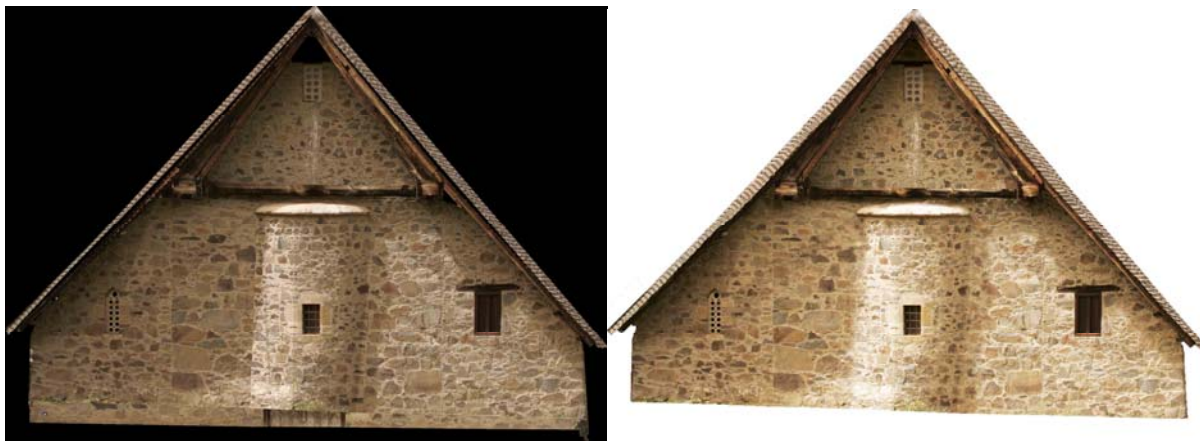
Το τέταρτο βήμα είναι η επιλογή της μεθόδου παρεμβολής που θα χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της χρωματικής πληροφορίας του κάθε εικονοστοιχείου της τελικής ορθοφωτογραφίας. Η επιλογή γίνεται ανάμεσα στη μέθοδο παρεμβολής του πλησιέστερου γείτονα, τη διγραμμική και τη δικυβική παρεμβολή. Για τις ανάγκες της εργασίας επιλέχθηκε η δικυβική παρεμβολή.

Το πέμπτο βήμα της διαδικασίας παραγωγής της ορθοφωτογραφίας είναι ο καθορισμός του μεγέθους και της κλίμακας της εικόνας. Υπάρχουν τρεις τρόποι ορισμού του μεγέθους της εικόνας παραγωγής και της κλίμακας. Ο πρώτος και ο απλούστερος είναι η εισαγωγή της ανάλυσης της ορθοφωτογραφίας δηλαδή ο αριθμός των εικονοστοιχείων στον οριζόντιο και τον κάθετο άξονα. Ο τρόπος αυτός μειονεκτεί διότι παρέχει μια εικόνα γνωστού μεγέθους αλλά άγνωστης κλίμακας. Με τον δεύτερο τρόπο καθορίζεται η κλίμακα της εικόνας από τον αριθμό των εικονοστοιχείων ανά μονάδα μέτρησης και ο τρίτος τρόπος είναι να καθοριστεί η κλίμακα εκτύπωσης της εικόνας με δεδομένη ανάλυση δηλαδή καθορίζεται πρώτα η κλίμακα εκτύπωσης και κατόπιν η ανάλυση. Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε ο δεύτερος τρόπος με 200 εικονοστοιχεία ανά μέτρο.

Τέλος αφού επιλέγει ο τύπος και το όνομα του εξαγόμενου αρχείου εικόνας ακολουθεί η παραγωγή της ορθοφωτογραφίας.

Όπως προαναφέρθηκε τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν από τις διαφοροποιήσεις στη φωτεινότητα μεταξύ των διαφόρων επιπέδων καθώς και σε κάποιες προβληματικές απεικονίσεις ήταν ορατά και στις ορθοφωτογραφίες. Έγινε προσπάθεια βελτιστοποίησης αυτών των διαφοροποιήσεων στη φωτεινότητα μεταξύ των επιπέδων καθώς και για τις προβληματικές απεικονίσεις στο λογισμικό Photoshop, παράδειγμα αυτής της προσπάθειας παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Οι ορθοφωτογραφίες έχουν εκτυπωθεί σε κλίμακα 1:50 και επισυνάπτονται στο παρόν τεύχος.



Εικόνα 6.16: Ορθοφωτογραφία της ανατολικής όψης πριν και μετά την επεξεργασία στο Photoshop.



Εικόνα 6.17: Ορθοφωτογραφία της δυτικής όψης πριν και μετά την επεξεργασία στο Photoshop.



Εικόνα 6.18: Ορθοφωτογραφία της νότιας όψης.



Εικόνα 6.19: Ορθοφωτογραφία της βόρειας όψης.

7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Τα τελικά προϊόντα μιας γεωμετρικής τεκμηρίωσης τα οποία αποτελούν πιστή αναπαράσταση της πραγματικής κατάστασης ενός μνημείου πρέπει να έχουν ικανοποιητική ακρίβεια και η ορθότητα. Για το λόγο αυτό έγινε έλεγχος των τελικών προϊόντων για να αποδειχθεί κατά πόσο αυτά προσεγγίζουν την πραγματικότητα και το επίπεδο ακρίβειας που έχει καθοριστεί από την κλίμακα απόδοσης

7.1 Σύγκριση Τελικών Προϊόντων (Συμβατική μέθοδος-Photomodeler)

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία αξιολόγησης των τελικών αποτελεσμάτων ακολούθησε η σύγκριση με τα τελικά αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας «Σύγχρονες Μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης με Εφαρμογή στον Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου στη Κύπρο» (Σιεητάνης, 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 στον 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 11: 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 και επομένως δεν εμφανίζονται μεγάλες διαφορές στην ακρίβεια τους.

7.2 Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η γεωμετρική τεκμηρίωση του Ι.Ν Παναγίας Ποδίου με απλή φωτογραμμετρική μέθοδο. Η τεκμηρίωση του ναού έγινε με τη χρήση του λογισμικού Photomodeler. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν είναι ικανοποιητικά, συγκεκριμένα έδωσαν τις απαιτούμενες ακρίβειες βάση της κλίμακας απόδοσης.

Βάση αυτού συμπεραίνεται ότι το PhotoModeler αποτελεί ένα οικονομικό, εύχρηστο και με πολλές δυνατότητες φωτογραμμετρικό λογισμικό, που με γρήγορο τρόπο και σχετική

ακρίβεια επιτρέπει τη δημιουργία τρισδιάστατων και οπτικοποιημένων και αφού μπορεί να επιτύχει ικανοποιητικές ακρίβειες ενδείκνυται για τέτοιου είδους εργασίες.

Παρ' όλα αυτά συναντήθηκαν αρκετές δυσκολίες κατά την διεκπεραίωση της εργασίας, κυρίως στην επεξεργασία στο Photomodeler αλλά και στις εργασίες πεδίου.

Κατά την φωτογράφιση του ναού λόγο κάποιων δέντρων που υπάρχουν στη περιοχή και λόγο του σχήματος της στέγης υπήρξαν αρκετές φωτογραφίες που μεταξύ τους είχαν μικρές γωνίες και αυτό επηρέαζε στη μετέπειτα επεξεργασία.

Η πρώτη και αρκετά μεγάλης σημασίας δυσκολία που αντιμετωπίστηκε στο Photomodeler ήταν κατά την διαδικασία ταύτισης των ομόλογων σημείων. Συγκεκριμένα όπως προαναφέρθηκε λόγω των μικρών γωνιών ($<5^\circ$) μεταξύ των φωτογραφιών (προτείνεται $20-90^\circ$) προέκυπτε πρόβλημα ακρίβειας το οποίο αντιμετωπίστηκε μερικώς αφαιρώντας κάποιες από αυτές τις εικόνες και με την προσπάθεια ταύτισης των επηρεαζόμενων σημείων από άλλες εικόνες.

Σημαντικές δυσκολίες συναντήθηκαν επίσης στη προσθήκη υψής όπου αυτή δεν ήταν παντού σωστή λόγω της προβολής κάποιων στοιχείων πάνω σε αυτές. Συγκεκριμένα στη νότια στέγη του ναού φαινόταν μέρος από το φύλλωμα του δέντρου που βρίσκεται εκεί. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε όσο ήταν δυνατό με τον αποκλεισμό των φωτογραφιών που απεικόνιζαν το συγκεκριμένο δέντρο από τη διαδικασία δημιουργίας της υψής. Επίσης παρουσιάστηκε πρόβλημα στην υφή που προστέθηκε στη στέγη και σε ορισμένα σημεία του ναού κυρίως λόγω του ότι χρησιμοποιούταν υφή από διαφορετικές φωτογραφίες σε γειτονικά πολύγωνα. Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα διορθώθηκαν σε μεγάλο βαθμό στο Photoshop. Επίσης λόγω αυτού του προβλήματος παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές στη μέτρηση αποστάσεων μεταξύ του τρισδιάστατου vector και των ορθοφωτογραφιών. Οι διαφορές είναι πολύ μικρές, της τάξης μερικών χιλιοστών, οι οποίες στη κλίμακα απόδοσης δεν μπορούν να διακριθούν.

Εν κατακλείδι συμπεραίνεται ότι το PhotoModeler αποτελεί ένα οικονομικό, εύχρηστο και με πολλές δυνατότητες φωτογραμμετρικό λογισμικό, που με γρήγορο τρόπο και σχετική ακρίβεια επιτρέπει τη δημιουργία τρισδιάστατων και οπτικοποιημένων και αφού μπορεί να επιτύχει ικανοποιητικές ακρίβειες (περίπου ίδιας τάξης με αυτές που επιτυγχάνονται με τις παραδοσιακές μεθόδους) ενδείκνυται για τέτοιου είδους εργασίες.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Karl Kraus, Φωτογραμμετρία Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα 2003.

Ιωαννίδης Χαράλαμπος, 2008. Φωτογραμμετρία II, Συμπληρωματικές σημειώσεις και διαφάνειες από τις παραδόσεις, Αθήνα.

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

Κατωπόδη Ε., 2005. Αξιολόγηση μεθόδων δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων και ορθοφωτογραφιών μνημείων. Πρακτική εφαρμογή στον Βυζαντινό ναό Αγ. Σαμαρίνας Ανδρούσας, Διπλωματική εργασία στη Σ.Α.Τ.Μ.

Κομζιά Β., 2004. Τρισδιάστατη απεικόνιση του Ι.Ν «Καπνικαρέα» με εφαρμογή του προγράμματος PhotoModeler, Διπλωματική εργασία στη Σ.Α.Τ.Μ.

Παττιάς Π., 1991, Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία, Εκδόσεις Ζητη

Πολιτιστικό Ίδρυμα Τράπεζας Κύπρου-Ιερά Μητρόπολις Μόρφου, 2005. Οι ναοί της Παναγίας Ποδύθου και της Θεοτόκου (ή Αρχάγγελου) στη Γαλάτα.

Σειπτάνης Ν., 2008. Σύγχρονες μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης με εφαρμογή στον Ι.Ν Παναγίας Ποδίθου στη Κύπρο, Διπλωματική εργασία στη Σ.Α.Τ.Μ.

Σοφοκλέους Ε., 2006. Γεωμετρική Τεκμηρίωση του ναού της Παναγίας της Φορβιώτισσας, Διπλωματική εργασία στη Σ.Α.Τ.Μ.

Συμεωνίδης Π., 2006. Μέθοδοι αποτύπωσης που μπορούν να εφαρμοστούν στην αποτύπωση Μνημείων-Συστήματα Τεκμηρίωσης Πολιτιστικών Πόρων.

Τοκμακίδης Κ., 2004. Αποτυπώσεις μνημείων.

Φασουλας Σ., 2004. Πολυεικονική ανακατασκευή και φωτορεαλιστική οπτικοποίηση κτιρίου με PhotoModeler, Διπλωματική εργασία στη Σ.Α.Τ.Μ.

www.cyprus.gov.cy

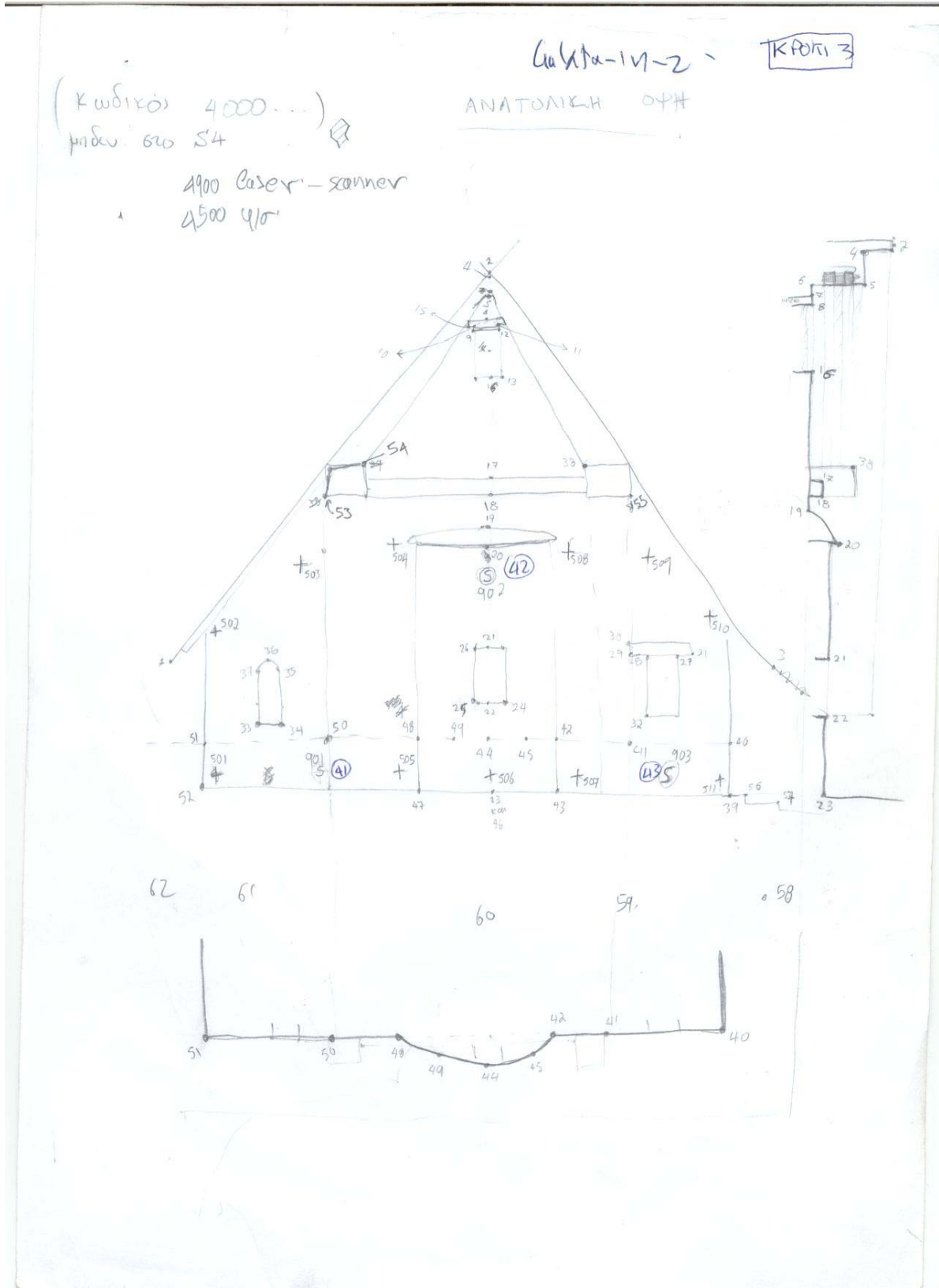
www.galata.org.cy

www.mcw.gov.cy

www.photomodeler.com

9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

9.1 Αυτοσχέδια Υπαίθρου



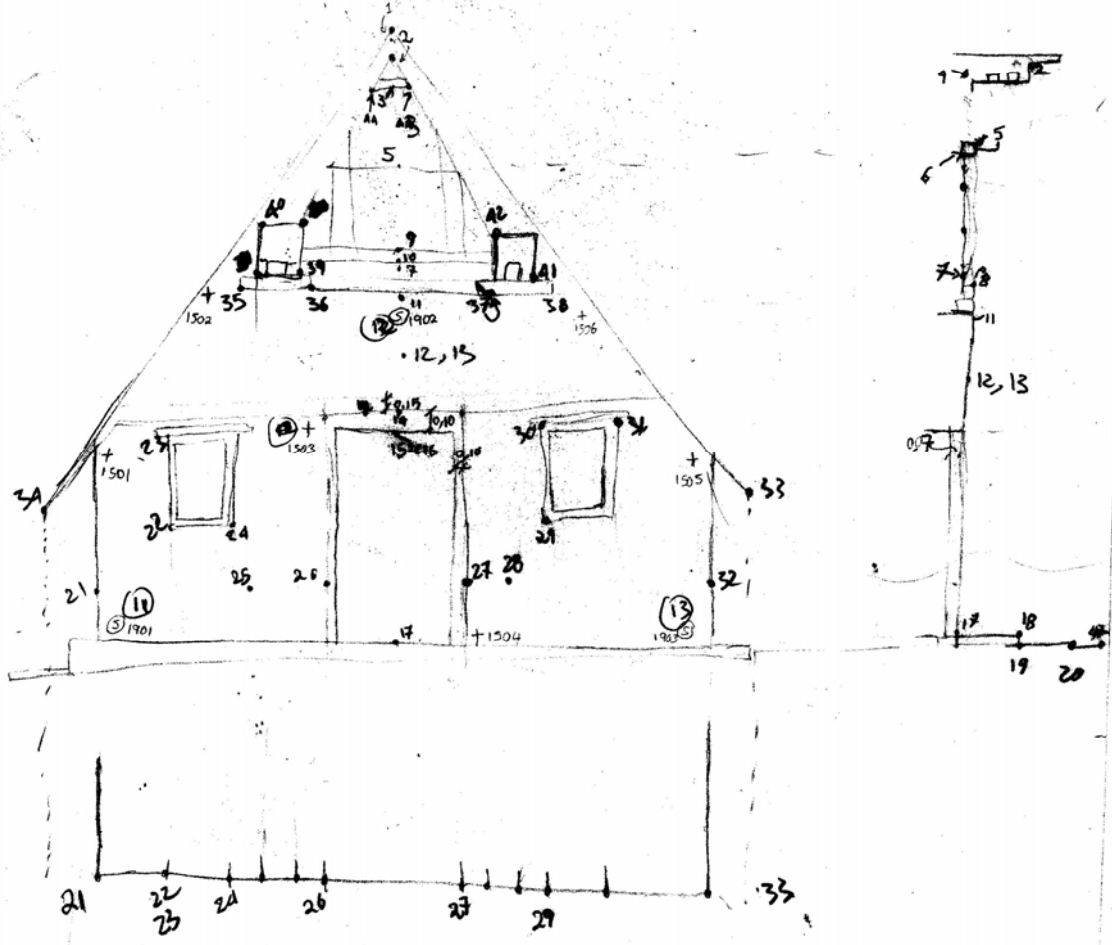
κωδικός (1000 -)

Γραβιτάς-1N-2.

ΚΡΟΚΙ 2

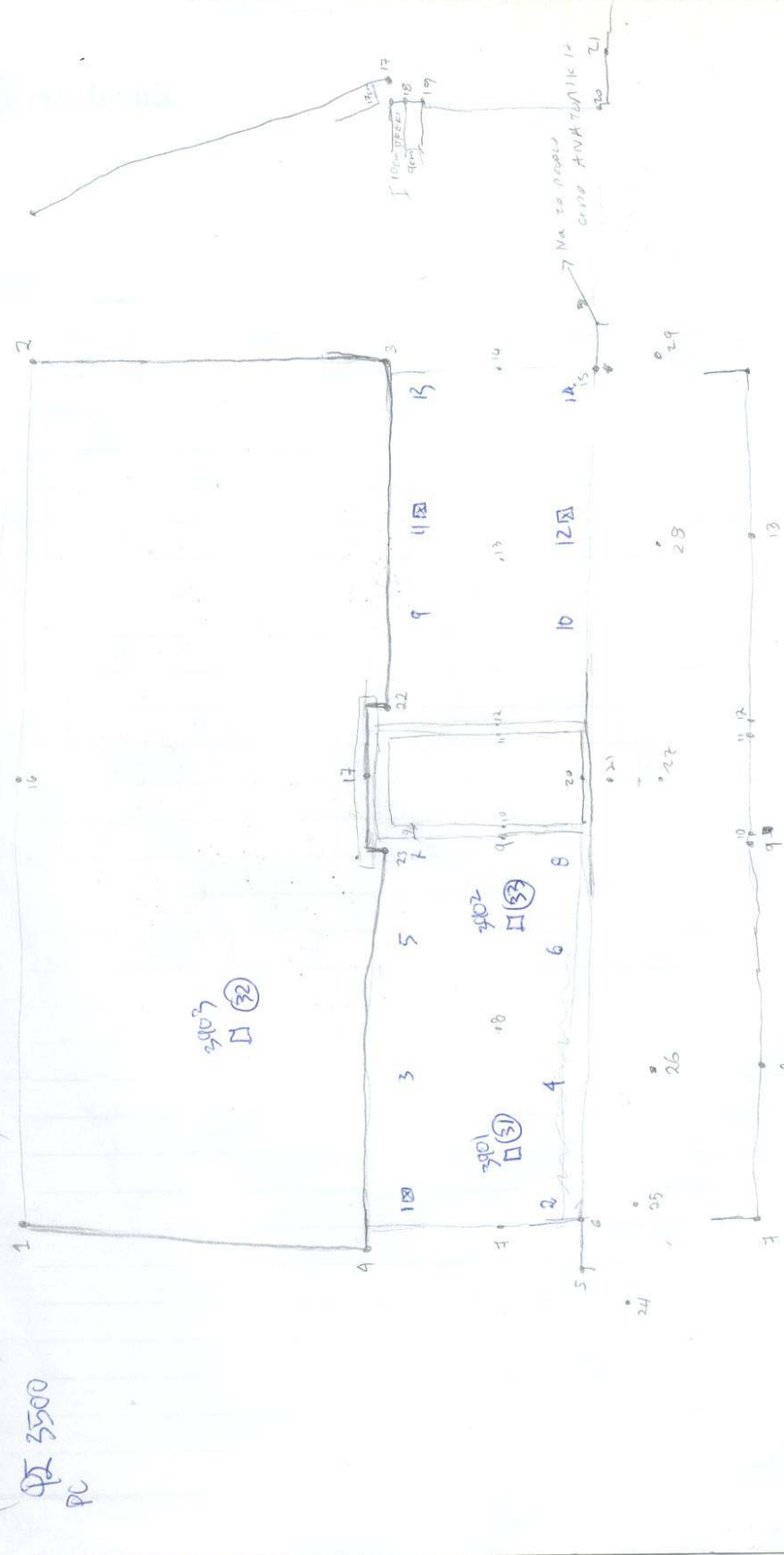
ΔΥΤΙΚΗ ΟΥΣΗ

(κωδικός φ/s 2500 -
φ/scaner 1900 -)



46, 47, 48, 49

3000... (T) 22/03/08 NOTIA (ΓΑΛΑΤΙΑ) 4.0: 1446
 3500 PC 69/10-11-2



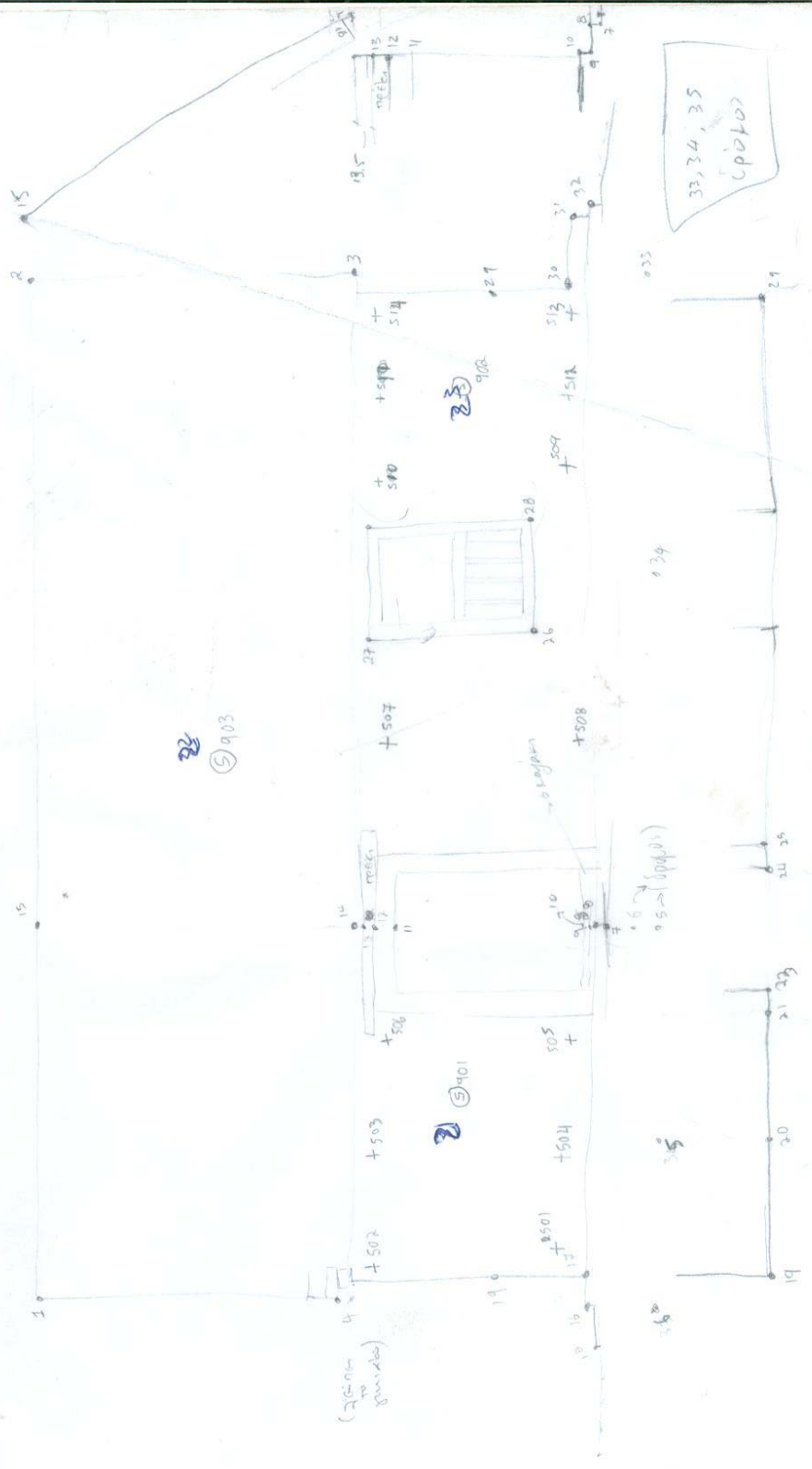
2) 24 29 → xίμα
 Max 20 people
 KPOIKIA

КРОКИ 1

Сектор-1М-2

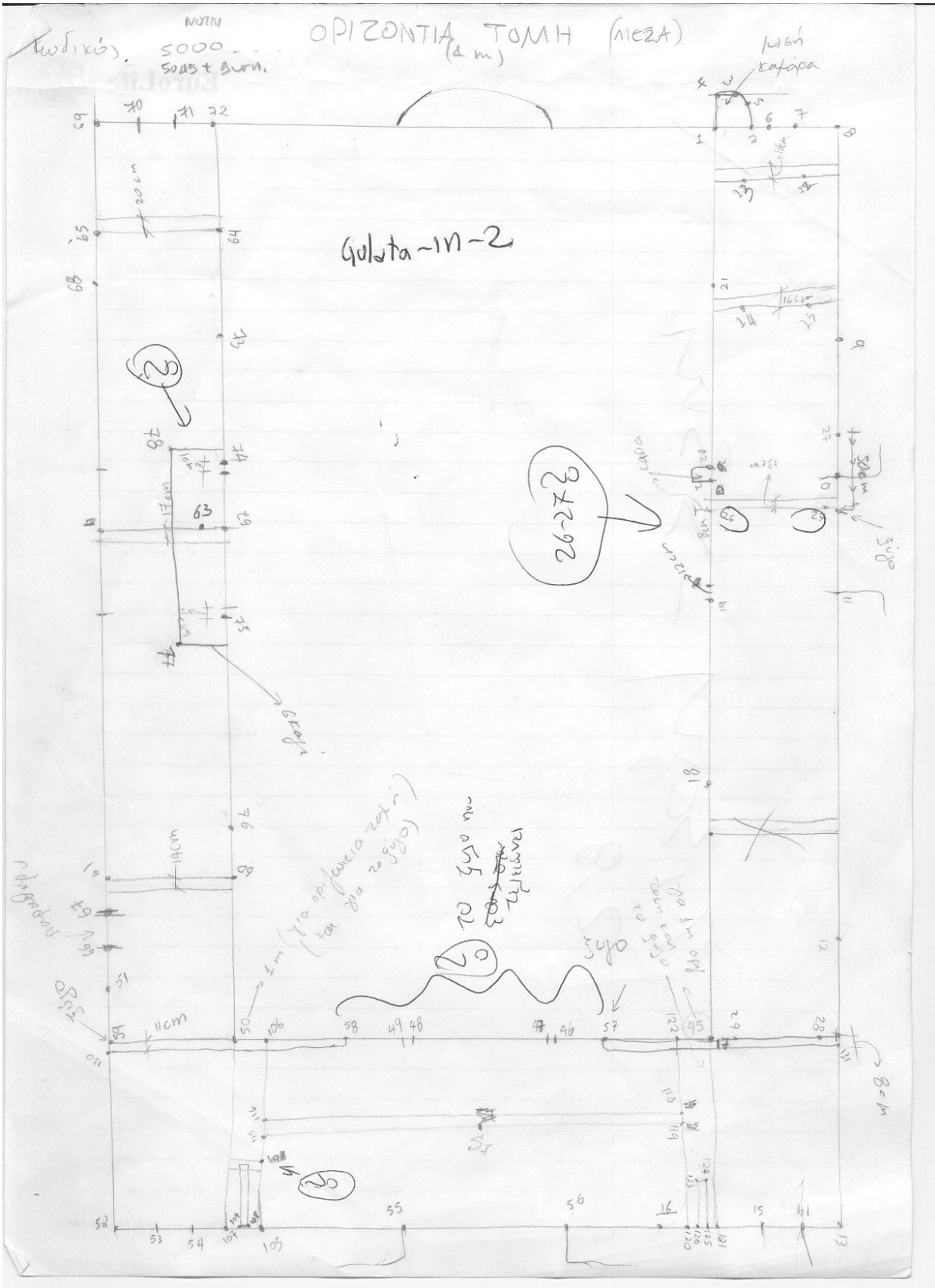
БОПСА

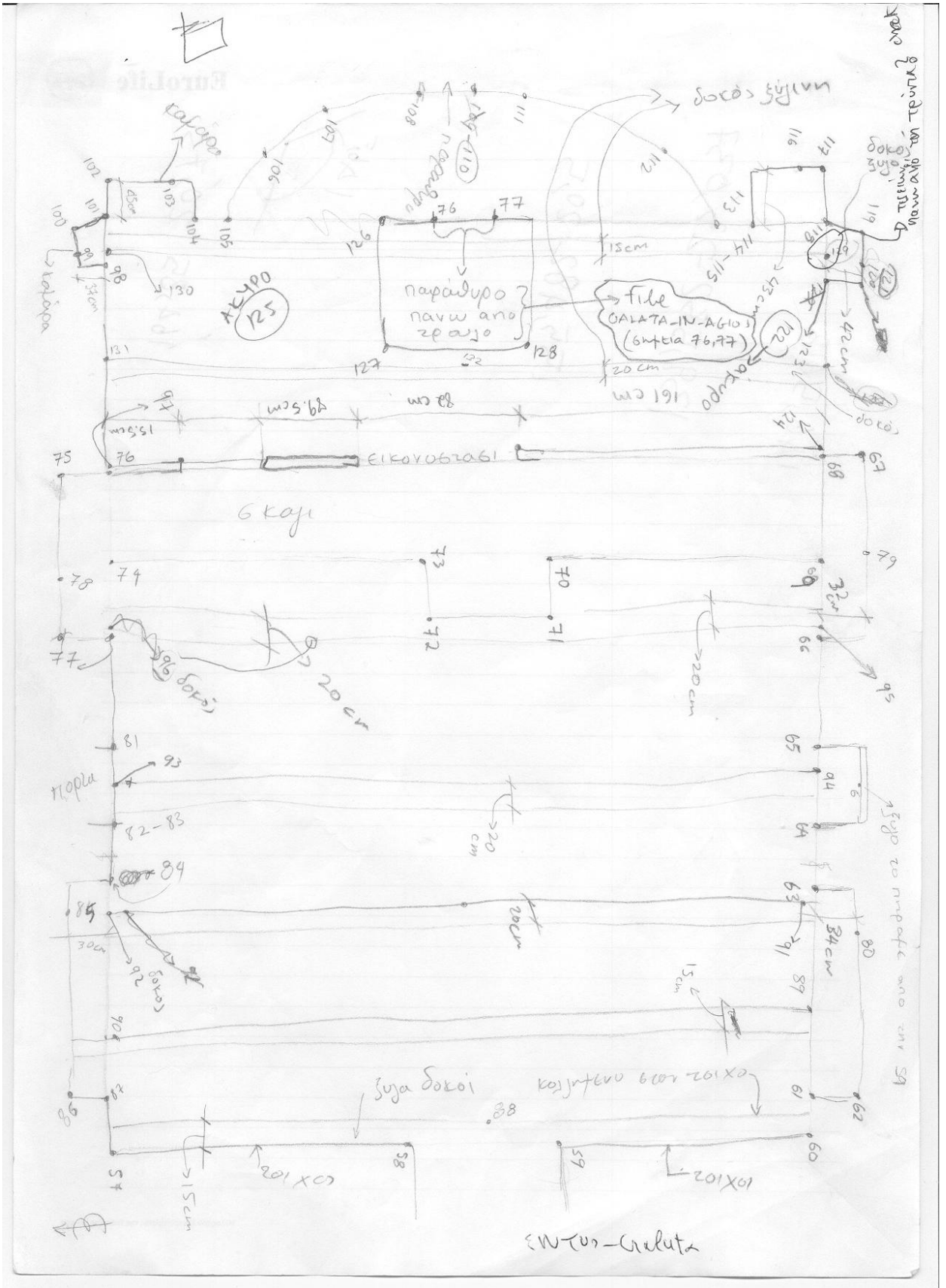
(Кубовос 2000...)
(2500 -- 4/6)
(2900 -- 0 scanner)

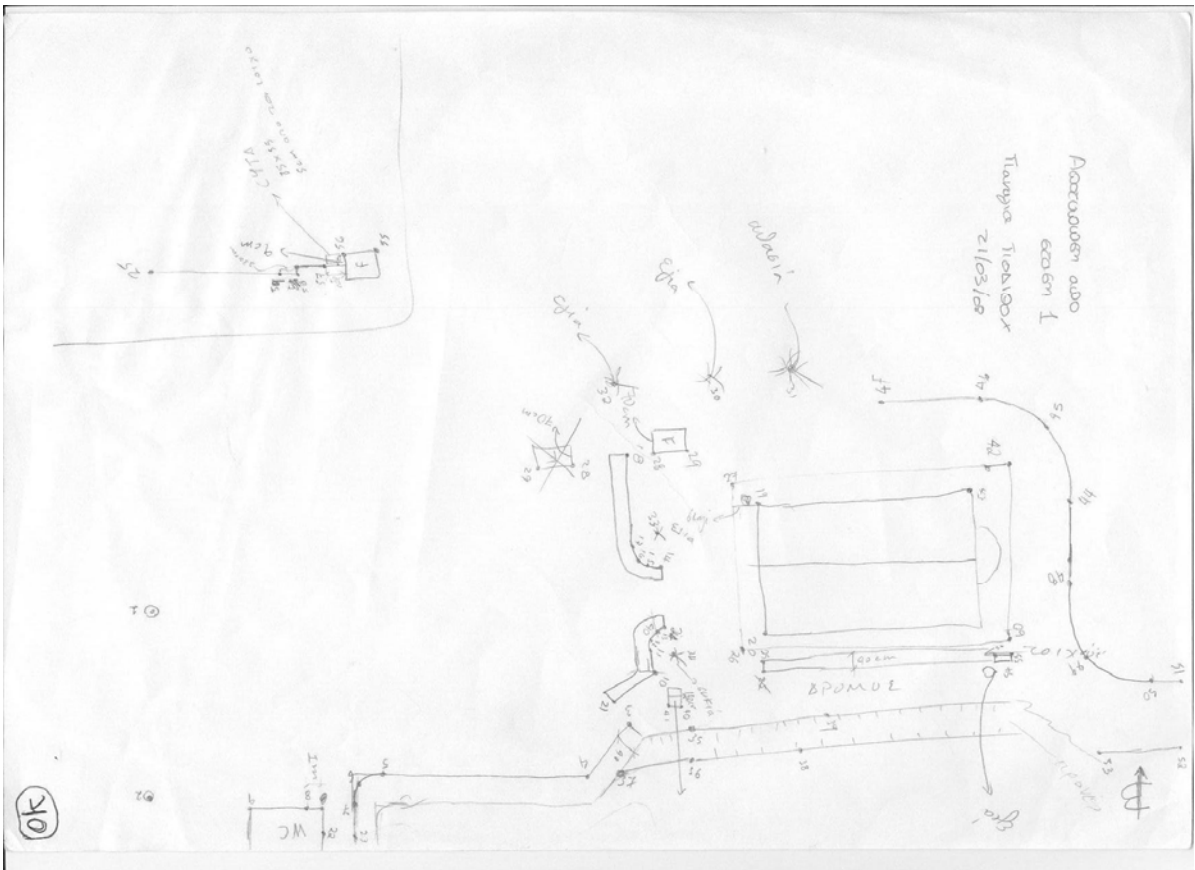
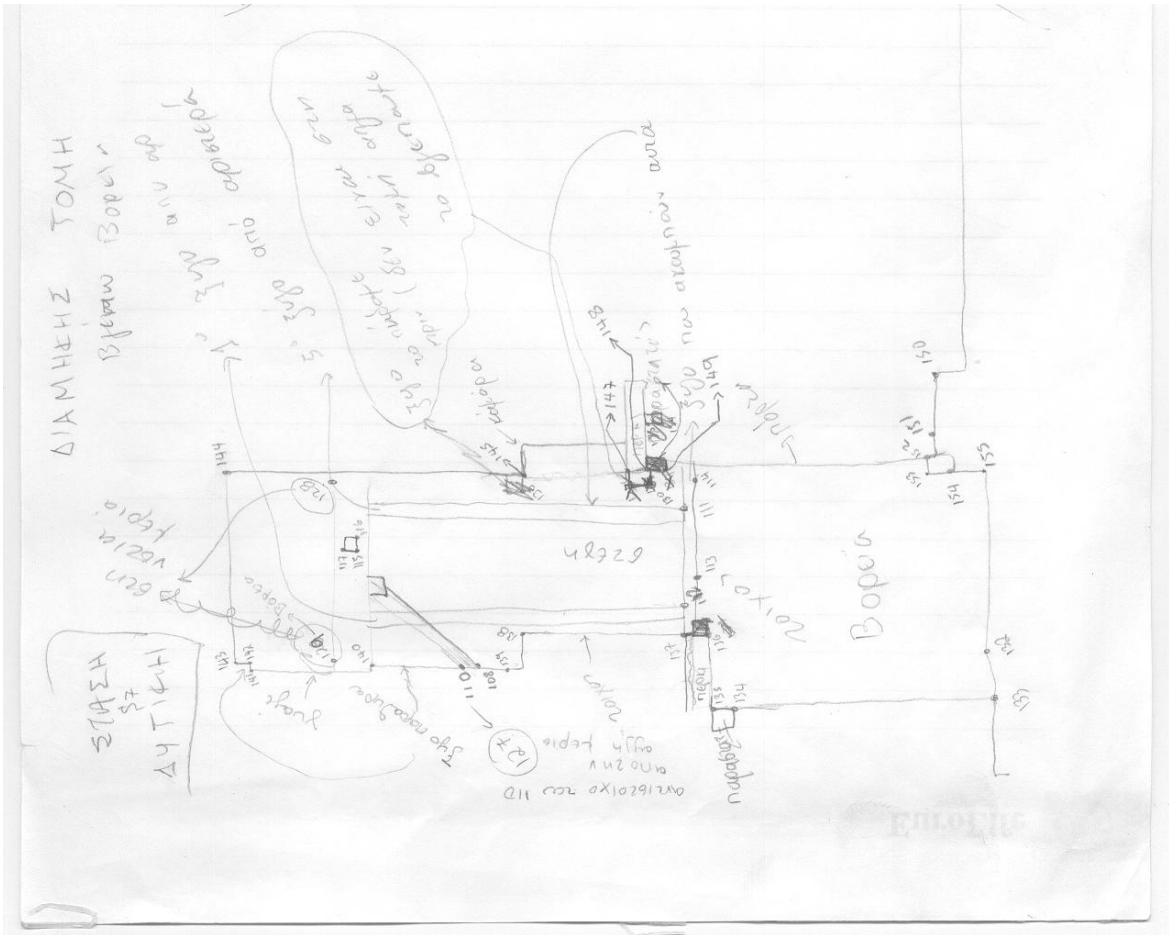


админ ре

32, 34, 35
Српско



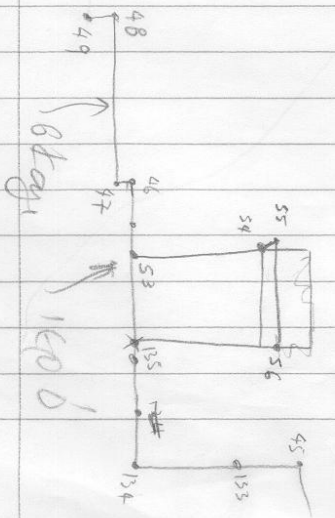
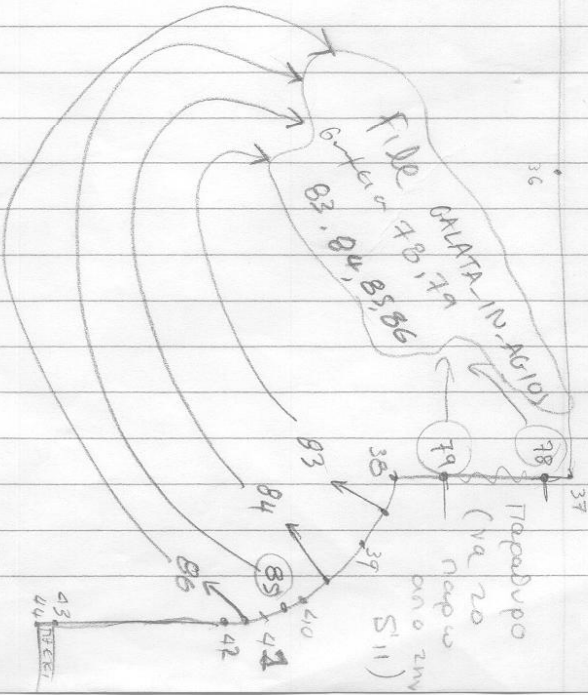
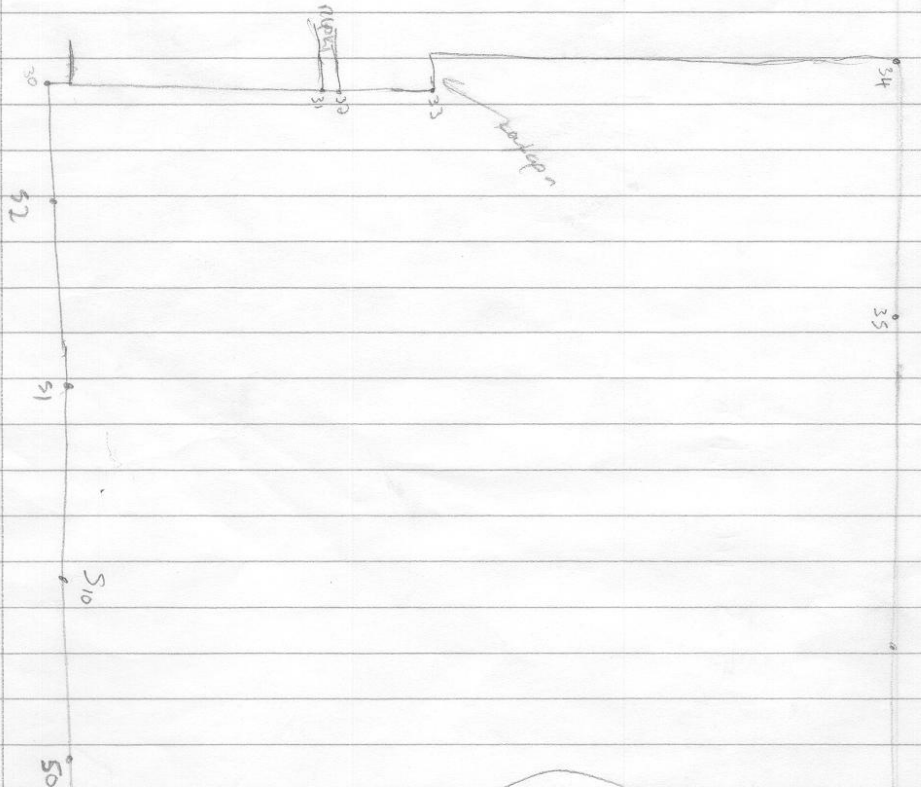















ΕΝΤΟΣ ΓΑΛΑΤΙΑ











ΔΙΑΜΕΤΡΗΣ ΤΟΜΗ

ΔΥΣΗ



9.2 Στατιστικά Στοιχεία από PhotoModeler

Photo #	Image Chip	Description	Processing	Can be Processed	Oriented	Image Width (pixels)	Image Height (pixels)	Camera	Focal Length (mm)	RMS Residual (pixels)	# Marks
1		_W8M3414	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,802214	47
2		_W8M3415	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	2,208031	52
3		_W8M3416	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,735045	61
4		_W8M3419	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,949013	127
5		_W8M3438	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	2,034222	42
7		_W8M3417	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,762006	39
8		_W8M3413	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,906657	20
9		_W8M3423	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,78782	84
14		_W8M3449	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,088294	33
16		_W8M3348	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,816292	47
17		_W8M3349	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,410283	25

18		_W8M3347	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	canon eos-1d	24,604	1,738854	21
22		_W8M3451	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	1,724569	143
23		_W8M3453	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	2,425077	138
25		_W8M3361	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	1,84595	124
27		_W8M3370	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	2,095664	103
28		_W8M3371	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	1,730656	198
29		_W8M3431	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	1,472639	63
30		_W8M3436	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	1,475187	75
32		_W8M3443	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	1,330429	106
33		_W8M3442	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	1,553374	94



34		_W8M3444	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	1,525882	110
36		_W8M3446	Use and adjust	yes	yes	3504	2336	CANON EOS...	24,604	2,106478	99

Photo #	Processing	Can be Processed	Oriented	Camera	Inverse Focal Length	Inverse Principal	Inverse Format	# Surfaces	Camera's Eff Focal Length	FOV/W (deg.)	Largest Residual	RMS Residual (pixels)	# Marks	# Referenced Points	# Control Points	# Curve Marks
1	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	6	24	42.427273	4.331718	1.802214	47	47	2	0
2	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	4	24	42.427273	4.36803	2.208031	52	52	1	0
3	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	6	24	42.427273	3.508478	1.735045	61	61	0	0
4	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	9	24	42.427273	4.73297	1.949013	127	127	2	0
5	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	4	24	42.427273	4.468356	2.034222	42	42	1	0
7	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	2	24	42.427273	3.522004	1.762006	39	39	1	0
8	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	2	24	42.427273	4.041414	1.906657	20	20	1	0
9	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	5	24	42.427273	4.831919	1.78782	84	84	3	0
14	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	2	24	42.427273	3.33225	1.088294	33	33	2	0
16	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	2	24	42.427273	3.803977	1.816292	47	47	2	0
17	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	2	24	42.427273	2.968599	1.410283	25	25	2	0
18	Use and adjust	yes	yes	canon eo...	no	no	no	2	24	42.427273	2.678566	1.738854	21	21	0	0
22	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	25	24	42.427273	4.309471	1.724569	143	143	0	0
23	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	28	24	42.427273	4.954062	2.425077	138	138	0	0
25	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	21	24	42.427273	4.213673	1.94595	124	124	1	0
27	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	15	24	42.427273	4.443691	2.095664	103	103	0	0
28	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	38	24	42.427273	4.875013	1.730656	198	198	2	0
29	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	7	24	42.427273	3.277773	1.472639	63	63	2	0
30	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	11	24	42.427273	4.072398	1.475187	75	75	2	0
32	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	22	24	42.427273	4.436715	1.330429	106	105	1	0
33	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	20	24	42.427273	3.865459	1.553374	94	94	2	0
34	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	28	24	42.427273	4.564904	1.525882	110	110	0	0
36	Use and adjust	yes	yes	CANON E...	no	no	no	17	24	42.427273	4.87484	2.106478	99	99	0	1

Photo #	Description	Center X (m)	Center Y (m)	Center Z (m)	Omega (deg.)	Phi (deg.)	Kappa (deg.)	Oriented
1	_W8M3414	160,592773	38,404523	101,186259	258,566445	-8,035447	-183,39113	yes
2	_W8M3415	162,294292	37,425195	101,340403	-102,471422	32,344051	-173,465191	yes
3	_W8M3416	159,624465	43,14809	101,206645	-98,455513	0,220744	-180,48944	yes
4	_W8M3419	142,276947	36,804913	102,360068	-97,211412	-40,252805	-183,802931	yes
5	_W8M3438	173,814511	34,131382	102,357834	255,332663	56,709053	-168,69653	yes
7	_W8M3417	148,358181	37,543756	101,30836	-99,121335	-13,769367	-181,886174	yes
8	_W8M3413	166,493253	37,828966	101,170157	-101,602314	22,182599	-174,815222	yes
9	_W8M3423	141,029114	10,848712	102,170754	101,215558	-46,95818	8,044625	yes
14	_W8M3449	166,368568	11,80826	103,253925	97,974537	56,788832	-9,451219	yes
16	_W8M3348	156,340365	6,000491	103,825507	89,349676	6,728228	0,282135	yes
17	_W8M3349	156,354193	6,089456	103,829815	88,343946	-17,660108	-0,317855	yes
18	_W8M3347	156,153092	5,667134	103,559212	97,370382	-24,164984	7,724008	yes
22	_W8M3451	142,935116	16,514015	101,843593	103,250547	-44,702605	9,673701	yes
23	_W8M3453	142,087113	28,372016	101,801486	-125,9827	-49,094367	-210,719322	yes
25	_W8M3361	141,335323	35,059177	101,684982	-104,244504	-49,012016	-191,488435	yes
27	_W8M3370	140,461473	25,057119	101,70895	16,575594	-99,510077	-72,925387	yes
28	_W8M3371	137,297931	23,062138	101,498343	4,166817	-102,839925	-85,34026	yes
29	_W8M3431	173,506456	12,940319	103,529089	94,375491	45,227739	3,01507	yes
30	_W8M3436	175,058232	32,794392	102,267838	258,688489	45,146931	-175,080079	yes
32	_W8M3443	171,392345	17,066252	102,90409	93,420001	48,095405	-5,074441	yes
33	_W8M3442	179,196115	30,028953	102,397575	247,242517	66,088346	-161,758752	yes
34	_W8M3444	172,972498	29,577035	102,353853	262,337014	47,692198	-172,488337	yes
36	_W8M3446	177,32239	23,632401	102,583605	187,541191	71,552463	-96,766273	yes

9.3 Αποτελέσματα Ελέγχων των Τρισδιάστατων Μοντέλων.

	ΕΛΕΓΧΟΙ 3D ΜΕ 29 Φ/Σ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΑ	3D	Δ	ΔΔ
ΝΟΤΙΑ	ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,09	1,1	-0,010	0,0001000
		6,25	6,27	-0,020	0,0004000
	ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΣΙΑΣ	0,09	0,088	0,002	0,0000040
		8,865	8,85	0,015	0,0002250
	ΔΥΤΙΚΗ ΓΩΝΙΑ-ΔΕΞ ΠΟΡΤΑΣ	6,375	6,345	0,030	0,0009000
	ΥΨΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,68	1,64	0,040	0,0016000
	ΚΕΡΑΜΥΔΙΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΠΟΡΤΑ	1,28	1,28	0,000	0,0000000
ΒΟΡΕΙΑ	Α-Δ ΓΩΝΙΑ-ΠΟΡΤΑ	6,86	6,86	0,000	0,0000000
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,13	1,14	-0,010	0,0001000
	Α-Δ ΠΟΡΤΑ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ	3,68	3,69	-0,010	0,0001000
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,86	0,87	-0,010	0,0001000
	Α-Δ ΠΑΡΑΘΥΡΟ-ΓΩΝΙΑ	5,13	5,1	0,030	0,0009000
	ΚΑΤΩ ΚΕΡΑΜΥΔΙΑ ΒΟΡΕΙΑΣ	19,307	19,294	0,013	0,0001690
	Α-Δ ΓΩΝΙΑ-ΔΕΞΙΑ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	12,53	12,55	-0,020	0,0004000
	Α-Δ ΑΡΙΣΤ ΠΟΡΤΑΣ-ΓΩΝΙΑ	10,8	10,79	0,010	0,0001000
	ΥΨΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,66	1,68	-0,020	0,0004000
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ	Ν-Β ΓΩΝΙΑ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ	1,48	1,48	0,000	0,0000000
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,33	0,33	0,000	0,0000000
	ΕΔΑΦΟΣ-ΚΑΤΩ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	1,41	1,38	0,030	0,0009000
	Ν-Β ΠΑΡΑΘΥΡΟ-ΙΕΡΟ	2,6	2,61	-0,010	0,0001000
	Ν-Β ΙΕΡΟ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2,1	2,12	-0,020	0,0004000
	Ν-Β ΠΑΡΑΘΥΡΟ-ΓΩΝΙΑ	1,65	1,66	-0,010	0,0001000
	Ν-Β ΓΩΝΙΑ-ΙΕΡΟ	4,41	4,42	-0,010	0,0001000
	Ν-Β ΙΕΡΟ-ΓΩΝΙΑ	4,28	4,32	-0,040	0,0016000
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,53	0,53	0,000	0,0000000
	ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,89	0,89	0,000	0,0000000
	ΠΡΕΚΙ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ ΥΨΟΣ	0,14	0,13	0,010	0,0001000
	ΕΔΑΦΟΣ-ΚΑΤΩ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	1,6	1,6	0,000	0,0000000
ΔΥΤΙΚΗ	Β-Ν ΓΩΝΙΑ-ΠΟΡΤΑ	4,745	4,705	0,040	0,0016000
	Β-Ν ΠΟΡΤΑ-ΓΩΝΙΑ	4,635	4,635	0,000	0,0000000
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,63	1,64	-0,010	0,0001000
	ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	2,34	2,31	0,030	0,0009000
	ΠΡΕΚΙ ΑΡΙΣΤ.ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	1,35	1,36	-0,010	0,0001000
	ΠΛΑΤΟΣ ΑΡΙΣΤ. ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,64	0,64	0,000	0,0000000
	ΠΡΕΚΙ ΔΕΞ. ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	1,41	1,43	-0,020	0,0004000
	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΞ. ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,64	0,65	-0,010	0,0001000
	ΥΨΟΣ ΠΡΕΚΙΟΥ	0,145	0,145	0,000	0,0000000
	ΟΛΗ ΠΛΕΥΡΑ	10,995	10,965	0,030	0,0009000
	Α-Δ ΚΕΡΑΜΥΔΙΑ ΠΑΝΩ	19,228	19,187	0,041	0,0016810
				0,002	0,0145790

$$\sigma_{rms} = \pm 0,01985m$$

	ΕΛΕΓΧΟΙ 3D ΜΕ 0 Φ/Σ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΑ	3D	Δ	ΔΔ	
ΝΟΤΙΑ	ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,09	1,1	-0,010	0,0001000	
	ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΣΙΑΣ	0,09	0,094	-0,004	0,0000160	
	Δ-Α ΑΠΟ ΓΩΝΙΑ-ΠΟΡΤΑ	9,32	9,325	-0,005	0,0000250	
	ΥΨΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,68	1,65	0,030	0,0009000	
	ΚΕΡΑΜΥΔΙΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΠΟΡΤΑ	1,28	1,275	0,005	0,0000250	
ΒΟΡΕΙΑ	Α-Δ ΓΩΝΙΑ-ΠΟΡΤΑ	6,86	6,81	0,050	0,0025000	
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,13	1,145	-0,015	0,0002250	
	Α-Δ ΠΟΡΤΑ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ	3,68	3,7	-0,020	0,0004000	
	ΠΛΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,86	0,87	-0,010	0,0001000	
	Α-Δ ΠΑΡΑΘΥΡΟ-ΓΩΝΙΑ	5,13	5,14	-0,010	0,0001000	
	ΚΑΤΩ ΚΕΡΑΜΥΔΙΑ ΒΟΡΕΙΑΣ	19,307	19,302	0,005	0,0000250	
	Α-Δ ΓΩΝΙΑ-ΔΕΞΙΑ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	12,53	12,52	0,010	0,0001000	
	Α-Δ ΑΡΙΣΤ ΠΟΡΤΑΣ-ΓΩΝΙΑ	10,8	10,85	-0,050	0,0025000	
	ΥΨΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,66	1,68	-0,020	0,0004000	
	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ	Ν-Β ΓΩΝΙΑ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ	1,48	1,46	0,020	0,0004000
ΠΛΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		0,33	0,325	0,005	0,0000250	
ΕΔΑΦΟΣ-ΚΑΤΩ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		1,41	1,365	0,045	0,0020250	
Ν-Β ΠΑΡΑΘΥΡΟ-ΙΕΡΟ		2,6	2,57	0,030	0,0009000	
Ν-Β ΙΕΡΟ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ		2,1	2,09	0,010	0,0001000	
Ν-Β ΠΑΡΑΘΥΡΟ-ΓΩΝΙΑ		1,65	1,64	0,010	0,0001000	
Ν-Β ΓΩΝΙΑ-ΙΕΡΟ		4,41	4,355	0,055	0,0030250	
Ν-Β ΙΕΡΟ-ΓΩΝΙΑ		4,28	4,27	0,010	0,0001000	
ΠΛΑΤΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		0,53	0,52	0,010	0,0001000	
ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		0,89	0,875	0,015	0,0002250	
ΠΡΕΚΙ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ ΥΨΟΣ		0,14	0,13	0,010	0,0001000	
ΕΔΑΦΟΣ-ΚΑΤΩ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ		1,6	1,575	0,025	0,0006250	
ΔΥΤΙΚΗ		Β-Ν ΓΩΝΙΑ-ΠΟΡΤΑ	4,73	4,695	0,035	0,0012250
		Β-Ν ΠΟΡΤΑ-ΓΩΝΙΑ	4,635	4,645	-0,010	0,0001000
		ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΡΤΑΣ	1,63	1,64	-0,010	0,0001000
	ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	2,34	2,31	0,030	0,0009000	
	ΠΡΕΚΙ ΑΡΙΣΤ.ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	1,35	1,365	-0,015	0,0002250	
	ΠΛΑΤΟΣ ΑΡΙΣΤ. ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,64	0,64	0,000	0,0000000	
	ΠΡΕΚΙ ΔΕΞ. ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	1,41	1,43	-0,020	0,0004000	
	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΞ. ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ	0,64	0,65	-0,010	0,0001000	
	ΥΨΟΣ ΠΡΕΚΙΟΥ	0,145	0,15	-0,005	0,0000250	
		6,25	6,28	-0,030	0,0009000	
	Β-Ν ΓΩΝΙΑ- ΑΡΙΣΤ. ΠΑΡΑΘΥΡΟ	8,865	8,855	0,010	0,0001000	
	ΟΛΗ ΠΛΕΥΡΑ	10,995	10,975	0,020	0,0004000	
	ΔΥΤΙΚΗ ΓΩΝΙΑ-ΔΕΞ ΠΟΡΤΑΣ	6,375	6,33	0,045	0,0020250	
			0,006	0,0216410		

$$\sigma_{rms} = \pm 0,023864m$$