



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών  
Τομέας Τοπογραφίας  
Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας

---

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ Ι. Ν. ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΥ  
ΜΙΧΑΗΛ ΣΤΟΝ ΠΕΔΟΥΛΑ ΚΥΠΡΟΥ  
ΜΕΣΩ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ**



Στεφανία Γαβριήλ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2015





**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών  
Τομέας Τοπογραφίας  
Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας

---

**Γεωμετρική Τεκμηρίωση Ι. Ν. Αρχαγγέλου Μιχαήλ  
στον Πεδουλά Κύπρου  
μέσω Τριδιάστατης Απεικόνισης**

Διπλωματική Εργασία

της

**Στεφανίας Γαβριήλ**

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 30/03/15:

.....  
Α. Γεωργόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Χ. Ιωαννίδης  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γ. Πανταζής  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015



## *Ευχαριστίες*

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που βοήθησαν άμεσα και έμμεσα στην επίτευξή της.

Αρχικά οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντά μου Ανδρέα Γεωργόπουλο, Καθηγητή Ε.Μ.Π., τόσο για την πολύτιμη βοήθειά του στα επιμέρους στάδια αυτής της εργασίας όσο και για το συνεχές ενδιαφέρον του. Ακόμη θέλω να ευχαριστήσω τη φίλη και συμφοιτήτριά μου Ελόνα Μπεντίνι για την όμορφη συνεργασία μας, ώστε να πραγματοποιηθεί αυτή η διπλωματική εργασία. Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω τη Σεβαστή Ταπεινάκη, μέλος Ε.Τ.Ε.Π., για τις εύστοχες παρατηρήσεις της καθώς και για την ουσιαστική της βοήθεια όσον αφορά στην εξοικείωση με τα λογισμικά που απαιτήθηκαν.

Τέλος, σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε τόσο η οικογένεια μου όσο και οι φίλοι μου, που με την αμέριστη συμπαράσταση και αγάπη τους ολοκληρώνεται αυτό το κεφάλαιο της ζωής μου.



**Γεωμετρική Τεκμηρίωση I. N. Αρχαγγέλου Μιχαήλ  
στον Πεδουλά Κύπρου  
μέσω Τριδιάστατης Απεικόνισης**

---

Στεφανία Γαβριήλ

Διπλωματική Εργασία

Αθήνα, Μάρτιος 2015

## ***Περίληψη***

Με την πάροδο των χρόνων γίνεται ακόμα εντονότερη η προσπάθεια για την καταγραφή της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς. Τόσο οι φυσικές καταστροφές όσο και η ανθρώπινη παρέμβαση τείνουν να αλλοιώνουν ή και να καταστρέφουν τα μνημεία. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη της γεωμετρικής τεκμηρίωσης των μνημείων, διαδικασία η οποία αποτελεί σημαντικό κομμάτι για την αποκατάσταση και αξιοποίηση τους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τριδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση του I.N του Αρχαγγέλου Μιχαήλ, στον Πεδουλά της Κύπρου. Η βυζαντινή εκκλησία αυτή αποτελεί μία από τις δέκα, της περιοχής του Τροόδους, που έχουν κηρυχθεί από την UNESCO μνημεία παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η δημιουργία του τριδιάστατου μοντέλου ακριβείας είναι αποτέλεσμα συνδυασμού μεθόδων όπως γεωδαιτικές μετρήσεις, επίγειες σαρώσεις και φωτογραμμετρίας. Τα τελικά παράγωγα της εργασίας είναι ένα φωτορεαλιστικό τριδιάστατο μοντέλο ακριβείας καθώς και μια οπτικοποίηση του μοντέλου μέσω εικονικής περιήγησης.

*Λέξεις κλειδιά:* Γεωμετρική Τεκμηρίωση, UNESCO, Επίγεια Σάρωση, Φωτορεαλιστικό Τριδιάστατο μοντέλο, Εικονική περιήγηση





National Technical University of Athens  
School of Rural and Surveying Engineering  
Department of Topography  
Laboratory of Photogrammetry

---

**Geometric Documentation of Church of Archangelos Michael at  
Pedhoulas, Cyprus  
By means of 3D visualization**

---

Stefania Gavriil

Diploma thesis

*Athens, March 2015*

***Abstract***

Over recent years, the effort of documenting world cultural heritage is increasing. Natural disasters as well as human intervention tend to cause deterioration or destruction of monuments. This results in the need for geometric documentation of monuments, a process which goes a long way towards restoring and utilizing them.

The goal of this thesis is the 3D geometric documentation of Church of Archangelos Michael. This byzantine church is one of ten to have been declared as world cultural heritage sites by UNESCO, in the region of Troodos.

The construction of the precision 3D model is the result of a combination of techniques such as geodetic measurement, laser scanning and photogrammetry. The end result of this thesis is a photorealistic precision 3D model as well as a visualization of it by means of a virtual tour.

*Keywords:* Geometric documentation, UNESCO, Laser scanning, 3D Photorealistic Model, Virtual tour



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>I</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ</b> .....	<b>1</b>
<b>2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	<b>3</b>
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	3
2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ .....	3
2.3 ΑΓΙΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	5
<b>3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b> .....	<b>7</b>
3.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ .....	7
3.2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	8
3.2.1 Πολυγωνομετρικό δίκτυο.....	8
3.2.2 Αυτοσχέδια υπαίθρου.....	10
3.3 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	10
3.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΕΠΙΓΕΙΟ ΣΑΡΩΤΗ LASER .....	11
3.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	13
3.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	13
<b>4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b> .....	<b>15</b>
4.1 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	15
4.2 ΣΥΝΕΝΩΣΗ & ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΝΕΦΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ.....	16
4.2.1 Συνένωση νεφών εξωτερικά του ναού .....	17
4.2.2 Συνένωση νεφών εσωτερικά του ναού.....	18
4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ.....	18
4.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	21
4.4.1 Δημιουργία επιφάνειας εξωτερικά του ναού .....	21
4.4.2 Δημιουργία επιφάνειας εσωτερικά του ναού .....	26
4.5 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΙ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	28
4.5.1 Εσωτερικός προσανατολισμός.....	28
4.5.2 Εξωτερικός προσανατολισμός.....	29
<b>5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΟΥ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ</b> .....	<b>33</b>
5.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΦΗΣ ΣΤΟ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	33
5.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	34
5.3 ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	35
5.4 ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	36
<b>6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>37</b>
6.1 ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ .....	37
6.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	38
6.2.1 Γεωδαιτικές Μετρήσεις .....	38
6.2.2 Σαρώσεις.....	38
6.2.3 Λήψεις Εικόνων .....	39

6.3	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	39
6.3.1	Συνένωση- Επεξεργασία νεφών.....	39
6.3.2	Δημιουργία- Επεξεργασία επιφάνειας.....	39
6.3.3	Προσανατολισμοί εικόνων .....	40
6.4	ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΦΗΣ .....	40
6.5	ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	40
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>43</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>46</b>

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

ΕΙΚΟΝΑ 2.1:	ΘΕΣΗ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΥ ΜΙΧΑΗΛ.....	3
ΕΙΚΟΝΑ 2.2:	Α) ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ Β) ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ (ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ) .....	4
ΕΙΚΟΝΑ 2.3:	ΚΤΙΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΓΡΑΦΗ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΥ ΜΙΧΑΗΛ.....	6
ΕΙΚΟΝΑ 4.1:	Α,Β) ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΩΝ ΣΤΟΧΩΝ 6012 ΚΑΙ 6006 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ Γ) ΜΗ ΤΑΥΤΙΣΗ ΤΗΣ ΕΤΙΚΕΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ 6006 .....	17
ΕΙΚΟΝΑ 4.2:	ΣΥΝΕΝΩΜΕΝΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ.....	18
ΕΙΚΟΝΑ 4.3:	ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΘΟΥΡΥΒΟΥ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΘΟΥΡΥΒΟΥ (ΔΕΞΙΑ). ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΥΠΟΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ. ....	19
ΕΙΚΟΝΑ 4.4:	ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ, ΕΝΟΣ ΜΙΚΡΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΟΡΤΑΣ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ .....	20
ΕΙΚΟΝΑ 4.5:	ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΟΨΗΣ (ΔΕΞΙΑ).....	22
ΕΙΚΟΝΑ 4.6:	ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (ΔΕΞΙΑ), ΜΕΣΩ ΔΙΑΓΡΑΦΗΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΩΝ ΤΡΙΓΩΝΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	23
ΕΙΚΟΝΑ 4.7:	ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΑΝΩ ΜΕΡΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ ΜΕ ΑΝΤΙΓΡΑΦΗ – ΕΠΙΚΟΛΛΗΣΗ .....	23
ΕΙΚΟΝΑ 4.8:	ΈΛΛΕΙΨΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΚΚΛΗΣΙΑΣ. ....	24
ΕΙΚΟΝΑ 4.9:	ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΤΟ ΙΕΡΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΟΠΩΣ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ IMAGE MASTER.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 4.10:	ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΙΕΡΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 4.11:	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΙΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΜΕΤΑ (ΔΕΞΙΑ) ΤΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ .....	26
ΕΙΚΟΝΑ 4.12:	ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕ ΕΛΛΕΙΨΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ Α) ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ (ΠΑΝΩ ΑΡΙΣΤΕΡΑ) Β) ΔΟΚΑΡΙΑ ΔΙΑΔΡΟΜΟΥ (ΠΑΝΩ ΔΕΞΙΑ) Γ) ΔΟΚΑΡΙΑ ΚΥΡΙΩΣ ΝΑΟΥ (ΚΑΤΩ ΑΡΙΣΤΕΡΑ) Δ) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΙΕΡΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ (ΚΑΤΩ ΔΕΞΙΑ).....	26
ΕΙΚΟΝΑ 4.13:	ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥΣ Α) ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ (ΠΑΝΩ ΑΡΙΣΤΕΡΑ) Β) ΔΟΚΑΡΙΑ ΔΙΑΔΡΟΜΟΥ (ΠΑΝΩ ΔΕΞΙΑ) Γ) ΔΟΚΑΡΙΑ ΚΥΡΙΩΣ ΝΑΟΥ (ΚΑΤΩ ΑΡΙΣΤΕΡΑ) Δ) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΙΕΡΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ (ΚΑΤΩ ΔΕΞΙΑ).....	27
ΕΙΚΟΝΑ 4.14:	ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΕΛΛΙΠΟΥΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΥΦΛΟΥ ΤΟΞΟΥ ΣΤΟΝ ΔΙΑΔΡΟΜΟ Α) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΙΝ Β) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΠΟ ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΔΟΣΗ Γ) ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ .....	27
ΕΙΚΟΝΑ 4.15:	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΖΥΓΗ (ΚΟΚΚΙΝΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ) ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ, ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ <i>IMAGE MASTER</i> .....	30
ΕΙΚΟΝΑ 4.16:	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΠΟΥ ΕΠΙΤΕΥΧΘΗΚΕ ΧΑΡΙΣ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΠΟΥ ΕΞΗΧΘΗΣΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (ΔΕΞΙΑ).....	31
ΕΙΚΟΝΑ 5.1:	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΔΙΑΙΡΟΥΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΥΦΗΣ. Ο ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ, Ο ΝΑΡΘΗΚΑΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ Η ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ (ΔΕΞΙΑ) .....	33

ΕΙΚΟΝΑ 5.2: ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΑΕΤΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΨΙΔΑΣ ΙΕΡΟΥ .....	34
ΕΙΚΟΝΑ 5.3: ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΦΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ. ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΔΟΚΑΡΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ .....	35
ΕΙΚΟΝΑ 5.4: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΘΕΣΕΩΝ ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝΟ ΜΕ ΥΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	35
ΕΙΚΟΝΑ 5.5: ΈΝΩΣΗ ΑΡΧΕΙΩΝ ΥΦΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΣΕ ΕΥΡΥΤΕΡΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΕ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ (ΔΕΞΙΑ) .....	36
ΕΙΚΟΝΑ 6.1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΛΗΨΕΩΝ ΜΕ ΑΥΤΕΣ ΠΟΥ ΤΕΛΙΚΑ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΤΗΚΑΝ .....	40
ΕΙΚΟΝΑ Β.1: ΛΗΨΕΙΣ ΚΑΝΝΑΒΟΥ ΚΑΛΙΜΠΡΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ <i>IMAGE MASTER CALIB</i> .....	47

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

---

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: ΕΚΚΛΗΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΤΡΟΟΔΟΥΣ ΠΟΥ ΣΥΓΚΑΤΑΛΕΓΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΛΙΣΤΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ ΤΗΣ UNESCO .....	1
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΙΚΟΝΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ TOPCON 7003I .....	7
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ DSLR CANON EOS-1Ds MARK III .....	7
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ ΤΗΣ LEICA, SCANSTATION2 <sup>[13]</sup> .....	8
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4: ΣΤΟΧΟΙ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΗΚΑΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΣΕ ΚΑΘΕ ΘΕΣΗ ΣΑΡΩΣΗΣ .....	13
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5: ΣΤΟΧΟΙ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΗΚΑΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΣΕ ΚΑΘΕ ΘΕΣΗ ΣΑΡΩΣΗΣ .....	13
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΥΡΙΑΣ ΟΔΕΥΣΗΣ ΣΕ Μ. ....	15
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΟΔΕΥΣΗΣ ΣΕ Μ. ....	15
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: ΓΩΝΙΑΚΟ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΟΣ ΚΥΡΙΑΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΟΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ALLER-RETOUR .....	16
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΝΑΟΥ .....	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ .....	21
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΦΑΚΟΥ 24MM .....	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΦΑΚΟΥ 50MM .....	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1: ΧΡΟΝΟΙ ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΧΡΟΝΟΙ ΚΑΘΕ ΣΤΑΔΙΟΥ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	37
ΠΙΝΑΚΑΣ Α.1: ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟΧΩΝ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΗΚΑΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ (ΔΕΞΙΑ) ΤΟΥ ΝΑΟΥ .....	46

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

---

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.1: ΠΟΛΥΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (Η ΚΥΡΙΑ ΟΔΕΥΣΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΕΝΩ Η ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ) .....	9
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.2: ΘΕΣΕΙΣ ΣΑΡΩΤΗ (ΜΑΥΡΟ) ΚΑΙ ΘΕΣΕΙΣ ΣΤΟΧΩΝ ΣΑΡΩΤΗ (ΚΟΚΚΙΝΟ) ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΗΚΑΝ ΕΝΤΟΣ ΚΙ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ .....	12
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΗΘΗΚΑΝ ΣΤΑ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΑΔΙΑ .....	38



## Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τριδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση του Ι.Ν. του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά της Κύπρου. Η βυζαντινή εκκλησία αυτή αποτελεί μία από τις δέκα, της περιοχής του Τροόδους, που έχουν κηρυχθεί από την UNESCO μνημεία παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς.

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των κεφαλαίων που θα ακολουθήσουν.

Στο *πρώτο* κεφάλαιο παρουσιάζεται μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση των διπλωματικών εργασιών που έχουν προηγηθεί και αφορούν στις εκκλησίες της περιοχής του Τροόδους που έχουν ήδη τεκμηριωθεί. Παρατίθενται το μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθήθηκε καθώς και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του τριδιάστατου μοντέλου.

Στο *δεύτερο* κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον του ναού, την αρχιτεκτονική του καθώς και τις αγιογραφίες του. Ακόμη, πραγματοποιείται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση στις υπόλοιπες βυζαντινές τοιχογραφημένες εκκλησίες του Τροόδους που έχουν αποτυπωθεί.

Στο  *τρίτο* κεφάλαιο παρατίθενται ο διαθέσιμος εξοπλισμός, τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και όλες οι εργασίες πεδίου που απαιτήθηκαν για την παρούσα εργασία.

Στο *τέταρτο* κεφάλαιο αναλύεται η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιείται η επίλυση των γεωδαιτικών μετρήσεων, η συνένωση και γεωαναφορά των νεφών, η επεξεργασία του τελικού νέφους σημείων, η μοντελοποίηση της επιφάνειας καθώς επίσης και οι προσανατολισμοί των εικόνων που ελήφθησαν.

Στο *πέμπτο* κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία κατά την οποία γίνεται η απόδοση της υψής στο τριδιάστατο μοντέλο και η ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων.

Στο *έκτο* και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται κάποια συμπεράσματα όπως προκύπτουν από τα επιμέρους στάδια της εργασίας και ο ενδεικτικός χρόνος που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.









## 1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Με τον όρο *γεωμετρική τεκμηρίωση* ορίζεται η καταγραφή της θέσης, του μεγέθους και της μορφής ενός μνημείου σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή στον χώρο των τριών διαστάσεων. Σκοπός είναι η παρουσίαση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται το μνημείο τη χρονική στιγμή της τεκμηρίωσης. Έτσι είναι δυνατή η παρουσίαση των στοιχείων λεπτομερειών που περιλαμβάνονται σε αυτή και ο εντοπισμός πιθανών κατασκευαστικών αποκλίσεων ή φθορών που έχει υποστεί.<sup>[1]</sup>

Στη λίστα της UNESCO συγκαταλέγονται συνολικά δέκα βυζαντινές και μεταβυζαντινές εκκλησίες (Πίνακας 1.1) με πλούσιο σε αγιογραφίες εσωτερικό διάκοσμο.

Εκκλησία
<i>Αγ. Νικολάου της Στέγης, Κακοπετριά</i>
<i>Αγ. Ιωάννη του Λαμπαδιστή, Καλοπαναγιώτης</i>
<i>Παναγία Φορβιώτισσα ή Παναγία της Ασίνου, Νικητάρι</i>
<i>Παναγία του Άρακα, Λαγουδερά</i>
<i>Αρχαγγέλου Μιχαήλ, Πεδουλάς</i>
<i>Παναγία του Μουτουλλά, Μουτουλλάς</i>
<i>Τίμιου Σταυρού, Πελένδρι</i>
<i>Τίμιου Σταυρού του Αγιασμάτι, Πλατανιστάσα</i>
<i>Παναγίας της Ποδίθου, Γαλάτα</i>
<i>Μεταμόρφωσης του Σωτήρος, Παλαιχώρι</i>

Πίνακας 1.1: Εκκλησίες στην περιοχή του Τροόδους που συγκαταλέγονται στη λίστα παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς της UNESCO

Μέχρι σήμερα έχει ολοκληρωθεί η γεωμετρική τεκμηρίωση τριών εκκλησιών στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή κάθε εργασίας και το μεθοδολογικό πλαίσιο που εφαρμόστηκε για την απόδοση του τριδιάστατου μοντέλου με υφή.

Η πρώτη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε το 2006 για την εκκλησία της Ασίνου στο Νικητάρι. Το τριδιάστατο μοντέλο προέκυψε από συνδυασμό επίγειων σαρώσεων *laser* καθώς επίσης και από την στερεοσκοπική απόδοση εικόνων. Όσον αφορά στο εξωτερικό τμήμα του ναού το τριδιάστατο μοντέλο εξήχθη αποκλειστικά από τον επίγειο σαρωτή της *Leica, HDS-2500*. Στο εσωτερικό του ναού όμως ο επίγειος σαρωτής χρησιμοποιήθηκε μόνο σε σημεία με πολύπλοκο ανάγλυφο (θόλο, αψίδα κ.α.) ενώ τα υπόλοιπα τμήματα προέκυψαν από στερεοσκοπική απόδοση. Η συνένωση των νεφών πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό *Cyclone (Leica)* και για τη στερεοαπόδοση ο ψηφιακός φωτογραμμετρικός σταθμός *SSK (ZI Imaging)*. Το λογισμικό *Geomagic Studio v.7* χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία του νέφους των σημείων ενώ για την απόδοση της υφής το λογισμικό *MODO v2.0.1*.<sup>[2]</sup>

Η επόμενη εργασία πραγματοποιήθηκε δύο χρόνια αργότερα, το 2008, ως αντικείμενο μελέτης ορίστηκε η εκκλησία της Παναγίας της Ποδίθου στη Γαλάτα, και εκπονήθηκε από δύο φοιτητές, οι οποίοι αξιοποίησαν διαφορετικές μεθόδους για να δημιουργήσουν το τριδιάστατο μοντέλο, μόνο για το εξωτερικό τμήμα του ναού. Στην πρώτη περίπτωση πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις με τον επίγειο σαρωτή *laser Cyrax 2500* και ψηφιακές λήψεις με σκοπό την μονοεικονική και στερεοσκοπική απόδοση. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των νεφών ήταν το *Cyclone (Leica)*, για τη μονοεικονική απόδοση το *Archis (Siscam)* ενώ για τη στερεοσκοπική απόδοση το *SSK (ZI Imaging)*. Στην εργασία αυτή δεν αποδόθηκε υφή στο μοντέλο.<sup>[3]</sup> Στη δεύτερη περίπτωση το μοντέλο δημιουργήθηκε αποκλειστικά από ψηφιακές εικόνες που επιλύθηκαν ως στερεοζεύγη για να προκύψει έτσι το αντίστοιχο *DTM*. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τους προσανατολισμούς των εικόνων ήταν το *PhotoModeler* όπου έγινε και η απόδοση της υφής του.<sup>[4]</sup>

Η τελευταία εκκλησία που τεκμηριώθηκε ήταν αυτή του Τίμιου Σταυρού στην κοινότητα του Πελενδρίου, το 2011. Και σε αυτή την εργασία εξετάστηκαν και εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες. Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη εργασία πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις με τον επίγειο σαρωτή *Laser ScanStation2* της *Leica* και λήψεις ψηφιακών εικόνων που προσανατολίστηκαν στο λογισμικό *Image Master (Topcon)*. Για τη συνένωση των νεφών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *Cyclone*, όπως και στην προηγούμενη εργασία, ενώ για τα στάδια επεξεργασίας των νεφών και της επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε το *Geomagic Studio*.<sup>[5]</sup> Στη δεύτερη εργασία πραγματοποιήθηκε εφαρμογή ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ψηφιακής φωτογραμμετρίας. Οι εικόνες ελήφθησαν από ψηφιακή φωτογραφική μηχανή τοποθετημένη σε μία βαθμονομημένη ράβδο με συγκεκριμένη βάση λήψης. Το λογισμικό επεξεργασίας ήταν το *Zscan*, στο οποίο πραγματοποιήθηκαν τόσο η επίλυση των προσανατολισμών όσο και η απόδοση της υφής του μοντέλου.<sup>[6]</sup>

## 2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται αρχικά ορισμένα γενικά στοιχεία που αφορούν στη γεωγραφική θέση του Ιερού Ναού που αποτελεί το αντικείμενο μελέτης. Στη συνέχεια, δίνονται στοιχεία σχετικά με την αρχιτεκτονική και τις αγιογραφίες της εκκλησίας.

### 2.1 Γενικά Στοιχεία

Ο Ιερός Ναός του Αρχαγγέλου Μιχαήλ χρονολογείται από το 1474 και βρίσκεται στους πρόποδες της οροσειράς του Τροόδους, στην κοιλάδα της Μαραθάσας. Η εκκλησία είναι χτισμένη στην κοινότητα του Πεδουλά (Εικόνα 2.1). Εντάσσεται, από το 1985, μαζί με άλλες εννιά βυζαντινές και μεταβυζαντινές τοιχογραφημένες εκκλησίες, που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της οροσειράς του Τροόδους, στον κατάλογο της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς της UNESCO. Πρόκειται για μνημεία που διατηρούνται μέχρι σήμερα σε πολύ καλή κατάσταση με πλούσιο σε τοιχογραφίες εσωτερικό χώρο ενώ το είδος της κατασκευής τους συναντάται μόνο στην Κύπρο. Τέλος, μαρτυρούν την ύπαρξη του Βυζαντινού πολιτισμού στην Κύπρο καθώς επίσης και τη σχέση της ανατολικής και δυτικής χριστιανικής τέχνης.<sup>[7][8]</sup>



Εικόνα 2.1: Θέση Ιερού Ναού Αρχαγγέλου Μιχαήλ

Πηγή: Τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου<sup>[9]</sup>

### 2.2 Αρχιτεκτονική

Η εκκλησία του Αρχαγγέλου Μιχαήλ είναι μονόκλιτη. Αποτελείται δηλαδή από ένα χώρο ορθογωνικής κάτοψης, τον κυρίως ναό και το ιερό στα ανατολικά. Ο κυρίως ναός χωρίζεται από το τέμπλο έχοντας υψομετρική διαφορά μιας βαθμίδας. Η καμπύλη της αψίδας του ιερού, που προεξέχει

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

εξωτερικά, είναι ημικυκλική (Εικόνα 2.2 α). Η προσθήκη του νάρθηκα δυτικά και του διαδρόμου νότια έγινε μεταγενέστερα για την αύξηση του ωφέλιμου χώρου του ναού καθώς και για τον διαχωρισμό ανδρών και γυναικών (ο διάδρομος ονομάζεται και γυναικωνίτης).



Εικόνα 2.2: α) Εξωτερικό τμήμα του ιερού β) Εξωτερική δυτική όψη (διαφορά κλίσεων της στέγης)

Ο ναός φέρει διπλή και αμφικλινή στέγη. Αυτός ο τύπος στέγασης αποτελείται από την εσωτερική και την εξωτερική στέγη με την πρώτη να παρουσιάζει μεγαλύτερη κλίση (Εικόνα 2.2 β). Η εσωτερική και η εξωτερική στέγη φέρουν κεκλιμένες δοκούς με τη διαφορά ότι η εσωτερική καλύπτεται με σανίδωμα. Ακόμη, στην εξωτερική στέγη εδράζονται τα ορθογώνια πλακοειδούς μορφής αγκιστρωτά κεραμίδια. Οι δοκοί εσωτερικά εδράζονται στις μαντωσιές (οριζόντιες ζώνες με ξύλινα δοκάρια) της εσωτερικής παρειάς του βόρειου και του νότιου τοίχου, ενώ οι εξωτερικές στις αντίστοιχες της εξωτερικής παρειάς των τοίχων και προεξέχουν για προστασία του ναού από τις καιρικές συνθήκες. Οι δοκοί (εσωτερικές και εξωτερικές) συνδέονται στην κορυφή της στέγης με την ίδια κατά μήκος δοκό. Ακόμη, οι μαντωσιές μεταξύ του βόρειου και νότιου τοίχου συνδέονται μεταξύ τους με εγκάρσια οριζόντια δοκάρια, προσδίδοντας έτσι ακαμψία στη στέγη. Η στέγη προεκτείνεται στα ανατολικά καλύπτοντας την αψίδα του ιερού και υποστηρίζεται στη βόρεια πλευρά του ανατολικού τοίχου με κεκλιμένες δοκούς και στην παρειά του νότιου τοίχου. Ο πλευρικός διάδρομος καλύπτεται με απλή προέκταση της εξωτερικής στέγης του κυρίως ναού χωρίς να υπάρχει εσωτερική στέγη με σανίδωμα και έτσι είναι ορατή η κάτω επιφάνεια των κεραμιδιών.

Ο τρόπος δόμησης της τοιχοποιίας του ναού είναι απλός ενώ χρησιμοποιήθηκαν σκληροί, ακανόνιστου σχήματος λίθοι από την περιοχή, που δεν επιδέχονταν λάξευση. Η συμπλήρωση των αρμών έγινε με χαλικώματα από πέτρα και συνδετικό κονίαμα από λάσπη.

Ο κυρίως ναός διαθέτει τρεις θύρες στον βόρειο, νότιο και δυτικό τοίχο (η τελευταία είναι αξονικά τοποθετημένη). Υπάρχουν δύο ακόμα θύρες στους διαδρόμους στον δυτικό και ανατολικό τοίχο. Οι θύρες είναι ξύλινες δίφυλλες με ορθογώνια ανοίγματα και ξύλινα ανώφλια. Τα πλαίσιά τους είναι από

λίθους όμοιους με αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στην τοιχοποιία εκτός από τις θύρες στον κυρίως ναό που καλύπτονται με αγιογραφίες. Ο ναός διαθέτει ένα παράθυρο στον δυτικό εξωτερικό τοίχο που όμως χτίστηκε μεταγενέστερα, μαζί με τους διαδρόμους. Στον κυρίως ναό υπάρχουν τρεις μικροί ορθογώνιοι φεγγίτες: ένας στο δυτικό αέτωμα, ένας στο ανατολικό και άλλος ένας στο ιερό στο ύψος της αγίας τράπεζας. Οι φεγγίτες αυτοί ήταν οι μόνες πηγές φωτισμού και εξαερισμού του εσωτερικού του ναού.<sup>[10]</sup>

### 2.3 Αγιογραφίες

Η υπογραφή του δημιουργού των τοιχογραφιών ανήκει στον ζωγράφο Μηνά από την περιοχή της Μαραθάσας. Ο Μηνάς προτίμησε έναν ιδιαίτερο τρόπο για να αποδώσει τις αγιογραφίες, επηρεασμένος τόσο από την τελευταία φάση της βυζαντινής ζωγραφικής, που αναπτύχθηκε στην ανατολή, όσο και από τη δυτική ζωγραφική. Παρατηρείται ότι δεν χρησιμοποίησε σωστές αναλογίες στις ανθρώπινες μορφές και δεν κατόρθωσε να αποδώσει σωστά την τρίτη διάσταση και τους όγκους. Ακόμη, φαίνεται να έχει μια ιδιαίτερη προτίμηση στο κόκκινο χρώμα το οποίο χρησιμοποιεί σε διάφορες αποχρώσεις.

Η νότια είσοδος ήταν αρχικά η κύρια είσοδος της εκκλησίας, καθώς πάνω από αυτή είναι κατασκευασμένο ένα μικρό τυφλό τόξο στο οποίο αναπαρίσταται ο Αρχάγγελος Μιχαήλ στηθαίος. Εκατέρωθεν αυτού, στα αριστερά και δεξιά της θύρας, απεικονίζονται η Θεοτόκος Οδηγήτρια και ο Χριστός Ζωοδότης αντίστοιχα.

Στον ναό του Αρχαγγέλου Μιχαήλ οι αγιογραφίες καταλαμβάνουν περιορισμένη έκταση, αφού καλύπτουν μόνο τις κατακόρυφες επιφάνειες των τοίχων και την αψίδα του ιερού. Η αγιογράφιση του ναού είναι πολύ σημαντική διότι έδωσε στοιχεία για τη χρονολόγησή του. Συγκεκριμένα υπάρχει κτιτορική επιγραφή, που βρίσκεται στον βόρειο τοίχο του ναού, στην οποία γίνεται αναφορά στον δωρητή ιερέα Βασίλειο Χάμαδο και στο έτος κατασκευής της (1474). Ο ιερέας απεικονίζεται πάνω από την κτιτορική επιγραφή να προσφέρει ομοίωμα της εκκλησίας στον Αρχάγγελο Μιχαήλ, συνοδευόμενος από τη σύζυγο και τις δύο θυγατέρες του (Εικόνα 2.3)..



Εικόνα 2.3: Κτιτορική επιγραφή Ιερού Ναού Αρχαγγέλου Μιχαήλ

Στο εσωτερικό τμήμα του ναού αναπαριστώνται σκηνές από την Καινή και από την Παλαιά Διαθήκη καθώς και μορφές αγίων. Πιο συγκεκριμένα, στον κυρίως ναό ο ζωγράφος ακολούθησε τον καθιερωμένο Χριστολογικό κύκλο στην ανώτερη ζώνη, ενώ αφιέρωσε στους αγίους το υπόλοιπο τμήμα του. Πιο αναλυτικά, στον νότιο τοίχο αποδίδονται η Γέννηση, τα Εισόδια και ο Ευαγγελισμός της Θεοτόκου. Ακολουθεί η Γέννηση και η Υπαπαντή του Ιησού. Στον ίδιο τοίχο, δεξιά από το τέμπλο, απεικονίζεται σε υπερφυσικό μέγεθος ο Άγ. Γεώργιος ο Διασωρίτης καθώς και οι Άγ. Παύλος, Αγ. Μάμας, η Αγ. Παρασκευή και ο Άγ. Ονούφριος (υπάρχει μια ακόμη μορφή που δεν είναι διακριτή). Στον δυτικό τοίχο αναπαριστώνται η Βάπτιση του Ιησού, η Βαϊοφόρος και η προδοσία του Ιούδα. Το δυτικό αέτωμα είναι αφιερωμένο στη Σταύρωση του Χριστού ενώ ανάμεσα σε αυτό και στην κατώτερη ζώνη απεικονίζονται οι προφήτες Ζαχαρίας και Ιερεμίας. Στα νότια της δυτικής εισόδου διακρίνονται ο Άγ. Ανδρόνικος και η Αγ. Αθανασία και στα βόρεια αυτής ο Άγ. Κωνσταντίνος και η Αγ. Ελένη. Τέλος, στον βόρειο τοίχο, στην ανώτερη ζώνη του απεικονίζονται ο Επιτάφιος Θρήνος, η Ανάσταση του Χριστού και η Κοίμηση της Θεοτόκου. Στην κάτω ζώνη του βόρειου τοίχου στα δυτικά της εισόδου απεικονίζονται η Αγ. Βαρβάρα, η Αγ. Μαρίνα, η Αγ. Κυριακή που περιλαμβάνει καθεμιά από τις μέρες, ο Άγ. Θεόδωρος ο Στρατηλάτης, ο Άγ. Δημήτριος και ο Απόστολος Πέτρος, ενώ στα ανατολικά της εισόδου δεσπόζει ο Αρχάγγελος Μιχαήλ. Στο Ιερό Βήμα και πιο συγκεκριμένα στο ανατολικό τμήμα του βόρειου τοίχου πίσω από το τέμπλο απεικονίζεται η Θυσία του Αβραάμ και απέναντι, στον νότιο τοίχο, ο Άγ. Αθανάσιος. Στο ανατολικό αέτωμα της εκκλησίας διακρίνεται η Ανάληψη και στο τεταρτοσφαίριο της αψίδας η Παναγία η Βλαχερνιώτισσα με τον Χριστό. Κάτω από την Παναγία αναπαριστώνται οι Άγ. Νικόλαος, Αγ. Επιφάνιος, Άγ. Ιωάννης, Χρυσόστομος, Μέγας Βασίλειος, Γρηγόριος ο Θεολόγος και Αγ. Σπυρίδωνας.

Όσον αφορά στο τέμπλο, αυτό αποτελεί ένα από τα καλύτερα δείγματα του είδους του που σώζονται στην Κύπρο. Είναι ξύλινο και πάνω του είναι ζωγραφισμένο το οικόσημο του μεσαιωνικού Βασιλείου της Κύπρου καθώς και ο Δικέφαλος αετός, σύμβολο των Παλαιολόγων, των τελευταίων αυτοκρατόρων του Βυζαντίου.<sup>[11][12]</sup>



### 3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στόχος του κεφαλαίου είναι η ανάλυση των διαδικασιών που πραγματοποιήθηκαν για τη συλλογή των δεδομένων και των αντίστοιχων εργασιών υπαίθρου. Γίνεται ακόμη αναφορά στον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε και τις προδιαγραφές του.

#### 3.1 Εξοπλισμός

Χρησιμοποιήθηκε τοπογραφικός και φωτογραμμετρικός εξοπλισμός συλλογής δεδομένων καθώς και λογισμικά επεξεργασίας αυτών. Πιο αναλυτικά:

- Ολοκληρωμένος Εικονογεωδαιτικός Σταθμός, με τα παρελκόμενά του ( τρίποδας και δύο κατάφωτα), με τις εξής τεχνικές προδιαγραφές:

<b>Topcon 7003i</b>	
<b>Γωνιομετρική ακρίβεια</b>	$\leq 3'' (9^{cc})$
<b>Ελάχιστη γωνία αναγνώρισης</b>	$1'' / 5''$
<b>Εμβέλεια απόστασης με 1 πρίσμα</b>	$\leq 3.000m$
<b>Ακρίβεια στην απόσταση</b>	$\pm (2mm + 2ppm \times D)$
<b>Ακρίβεια στην απόσταση χωρίς πρίσμα</b>	$\leq \pm 5mm$
<b>Εμβέλεια απόστασης χωρίς πρίσμα</b>	$\leq 250m$
<b>OS</b>	<i>Microsoft Windows CE.Net 4.2</i>

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Εικονογεωδαιτικού Σταθμού Topcon 7003i

- Ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

<b>Canon EOS-1Ds Mark III</b>	
<b>Full Frame</b>	$36 \times 24mm$
<b>Διαθέσιμοι φακοί</b>	$24mm, 50mm$
<b>Μέγεθος εικονοηφίδας</b>	$6,4\mu m$

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά της DSLR Canon EOS-1Ds Mark III

- Studio flash kit Bowens(BW3005 DUO & BW3015 DUO), για τη λήψη φωτογραφιών εντός του ναού με επαρκή φωτισμό.
- Επίγειος Σαρωτής Laser, μαζί με τα παρελκόμενα (ειδικοί στόχοι υψηλής ανακλαστικότητας), που χρησιμοποιήθηκε για τις σαρώσεις, με τις παρακάτω τεχνικές προδιαγραφές:

<b>Leica Scanstation2</b>	
<b>Scan Method</b>	<i>Time-of-Flight</i>
<b>Field of view</b>	<i>Horizontal: 360° max Vertical: 270° max</i>
<b>Scan distance</b>	<i>300m</i>
<b>Scanning speed</b>	<i>≤50.000 pts/s</i>
<b>Vertical Ang. Resolution</b>	<i>0,0034°</i>
<b>Horizontal Ang. Resolution</b>	<i>0,0034°</i>
<b>3D scan precision</b>	<i>6mm/50m</i>
<b>Camera</b>	<i>integrated</i>
<b>Inclination sensor</b>	<i>compensator</i>

Πίνακας 3.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά του επίγειου σαρωτή της Leica, Scanstation2<sup>[13]</sup>

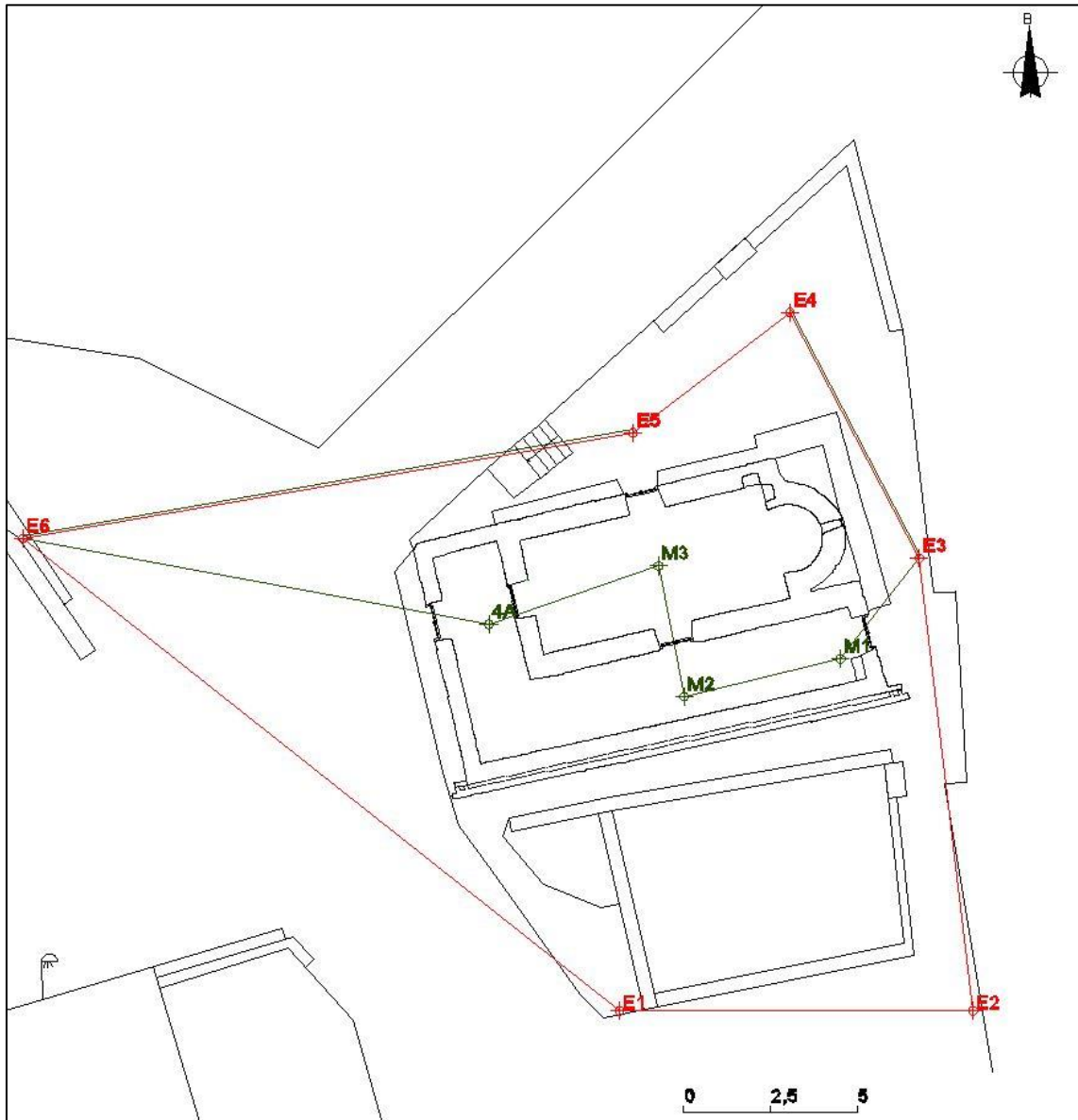
- Λογισμικό Επεξεργασίας Νεφών Σημείων κατάλληλο για τα αρχεία συλλογής και με δυνατότητα συνένωσης με εφαρμογή ICP (Cyclone)
- Λογισμικό δημιουργίας επιφανειών και τομών από νέφη σημείων (Geomagic studio)
- Φωτογραμμετρικό Λογισμικό επεξεργασίας εικόνων (Image Master)
- Λογισμικό Επεξεργασίας και Επίλυσης Τοπογραφικών Δεδομένων (Ταχυμετρία)
- Λογισμικό ηλεκτρονικής σχεδίασης (Autocad)

## 3.2 Γεωδαιτικές Μετρήσεις

### 3.2.1 Πολυγωνομετρικό δίκτυο

Για τη μέτρηση των φωτοσταθερών, των σημείων λεπτομερειών, των στόχων των σαρώσεων και άλλων σημείων που αφορούν στο γενικό τοπογραφικό γύρω από την εκκλησία ιδρύθηκε ένα πολυγωνομετρικό δίκτυο σε τοπικό αυθαίρετο σύστημα. Επιλέχθηκε να ιδρυθούν δύο οδεύσεις (Διάγραμμα 3.1), ως εξής:

- Κύρια όδευση: κλειστή ανεξάρτητη όδευση, περιμετρικά του ναού με έξι πολυγωνομετρικές στάσεις.
- Δευτερεύουσα όδευση: ανοιχτή όδευση, πλήρως εξαρτημένη από την κύρια, εντός του ναού με τέσσερις πολυγωνομετρικές στάσεις.



Διάγραμμα 3.1: Πολυγωνομετρικό Δίκτυο

(Η κύρια όδευση απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα ενώ η δευτερεύουσα με πράσινο)

Για να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των σημείων των οδεύσεων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αποστάσεων και γωνιών σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου και σε μια περίοδο μετρήσεων. Ως αφετηρία επιλέχθηκε η στάση  $E_1$  με συντεταγμένες  $X_{E_1} = Y_{E_1} = 100$  m και  $Z_{E_1} = 0$  m. Ορίστηκε επίσης η γωνία διεύθυνσης  $\alpha_{E_1E_2} = 100$  grad. Για την υψομετρική επίλυση του δικτύου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της τριγωνομετρικής υψομετρίας.

### 3.2.2 Αυτοσχέδια υπαίθρου

Σημαντικό ρόλο έχουν τα αυτοσχέδια υπαίθρου, τα οποία εμφανίζουν τη θέση των ταχυμετρικών σημείων και των φωτοσταθερών στον ναό. Δημιουργήθηκαν αυτοσχέδια για τα:

- Σημεία του τοπογραφικού διαγράμματος
- Φωτοσταθερά και στόχους σαρωτή

### 3.3 Φωτογραμμετρικά Δεδομένα

Τα φωτογραμμετρικά δεδομένα που ελήφθησαν ήταν ψηφιακές εικόνες εντός και εκτός του ναού, με σκοπό την απόδοση υψής στο τριδιάστατο μοντέλο. Ο προγραμματισμός λήψης των εικόνων καθορίζεται από το λογισμικό επεξεργασίας τους και τις απαιτήσεις του (Image Master, Topcon). Για τον προσανατολισμό των εικόνων απαιτούνται σημεία με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες και συγκεκριμένα τέσσερα (4) σημεία σε κάθε λήψη περιμετρικά της εικόνας. Εξωτερικά του ναού τοποθετήθηκαν προσημασμένα φωτοσταθερά στα χαμηλά σημεία, ενώ για τα υψηλότερα ελήφθησαν σημεία λεπτομερειών. Εσωτερικά του ναού και συγκεκριμένα στον νάρθηκα που δεν υπήρχαν αγιογραφίες τοποθετήθηκαν προσημασμένα φωτοσταθερά, ενώ στον κυρίως ναό μόνο σημεία λεπτομέρειας κυρίως για λόγους προστασίας των αγιογραφιών. Τα σημεία λεπτομέρειας σημειώθηκαν στο αντίστοιχο αυτοσχέδιο υπαίθρου και ορισμένα (στον κυρίως ναό εσωτερικά) σε φωτογραφίες που ελήφθησαν ειδικά για αυτόν τον σκοπό.

Οι περισσότερες εικόνες ελήφθησαν με σκεπτικό τη μονοεικονική απόδοση του αντικειμένου, εκτός από το εξωτερικό τμήμα του ιερού εφόσον το αντικείμενο δεν μπορούσε να θεωρηθεί επίπεδο.

Εξωτερικά του ναού (βόρεια, νότια και ανατολική όψη) οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν με τον ευρυγώνιο φακό των 24 mm και με μέγιστη απόσταση λήψης τα 7 m. Συνεπώς, προκύπτει μέγιστη κλίμακα λήψης  $1:k=1:292 \approx 1:300$ . Το μέγεθος της εικονοψηφίδας είναι 6,4 μm, επομένως προκύπτει εδαφοψηφίδα  $300 \times 6,4 \approx 2 \text{ mm} < 5 \text{ mm}$ , όπου 5 mm το μέγεθος της εδαφοψηφίδας του τελικού προϊόντος. Επομένως, η παραπάνω κλίμακα καλύπτει τις προδιαγραφές. Όσον αφορά στη δυτική όψη, οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν με τον κανονικό φακό των 50 mm και με μέγιστη απόσταση λήψης τα 15 m. Ομοίως με παραπάνω, προκύπτει μέγιστη κλίμακα λήψης  $1:k=1:300$  και μέγεθος εδαφοψηφίδας  $2 \text{ mm} < 5 \text{ mm}$ .

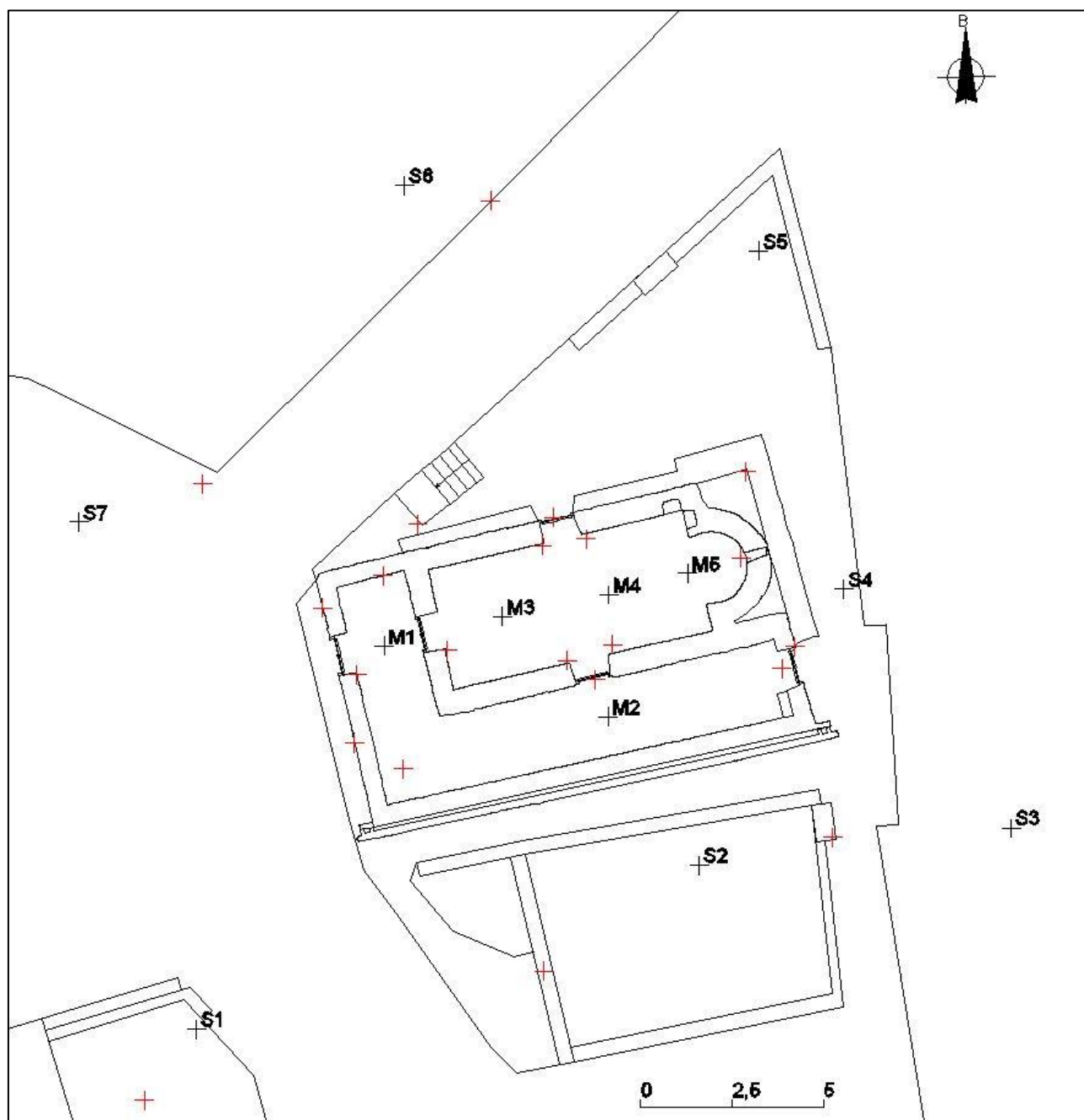
Εσωτερικά στον κυρίως ναό η απόσταση λήψης κυμαίνεται από 1-2 m και με χρήση του φακού σταθεράς 24 mm προκύπτει κλίμακα της τάξης του 1:100 άρα και μέγεθος εδαφοψηφίδας περίπου ίσο με 1 mm. Στον νάρθηκα οι λήψεις είναι πολύ πλάγιες λόγω του περιορισμένου χώρου και με χρήση

του φακού 24 mm και αποστάσεις από 2-3 m περίπου, προκύπτει κλίμακα 1:100 και μέγεθος εδαφοψηφίδας 1mm.

### 3.4 Μετρήσεις με Επίγειο Σαρωτή Laser

Η σάρωση του αντικειμένου εξ ολοκλήρου δεν ήταν εφικτή, για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε σε περισσότερες από μία διαφορετικές θέσεις του επίγειου σαρωτή. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιήθηκαν επτά σαρώσεις εξωτερικά και πέντε εσωτερικά του ναού (Διάγραμμα 3.2). Ο αριθμός των σαρώσεων και η θέση του σαρωτή προέκυψε έτσι ώστε οι διαδοχικές σαρώσεις να έχουν επαρκή επικάλυψη μεταξύ τους και να μην υπάρχουν κενά στο τελικό νέφος σημείων. Η πυκνότητα σάρωσης, η οποία εξαρτάται κυρίως από την πολυπλοκότητα της επιφάνειας του αντικειμένου, ορίστηκε να είναι το 1 cm σε όλες τις θέσεις του σαρωτή. Προτιμήθηκε η συλλογή περισσότερων δεδομένων από αυτά που απαιτούνται προκειμένου να μην υπάρξει έλλειψη πληροφορίας στο στάδιο της επεξεργασίας στη συνέχεια.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην τοποθέτηση των ειδικών στόχων (Διάγραμμα 3.3) μεταξύ των σαρώσεων. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η γεωαναφορά και συνένωση των νεφών είναι απαραίτητη η παρουσία τουλάχιστον τριών στόχων σε κάθε σαρωμένο νέφος σημείων καθώς και μεταξύ αυτών. Εφόσον τα νέφη σημείων που προέκυψαν από τις σαρώσεις βρίσκονται σε σύστημα συντεταγμένων διαφορετικό από το τοπικό αυθαίρετο σύστημα που ιδρύθηκε για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του αντικειμένου (αναφέρονται στο σύστημα του σαρωτή) απαιτείται γεωαναφορά τους ώστε να αναχθούν στο υλοποιημένο τοπικό σύστημα αναφοράς. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν γεωδαιτικές μετρήσεις των στόχων του σαρωτή.



Διάγραμμα 3.2: Θέσεις σαρωτή (μαύρο) και θέσεις στόχων σαρωτή (κόκκινο) που τοποθετήθηκαν εντός κι εκτός του ναού

Στους πίνακες 2.4 και 2.5 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι στόχοι που είναι ορατοί σε κάθε θέση του σαρωτή εξωτερικά και εσωτερικά αντίστοιχα..

Θέση Σαρωτή	Στόχοι εξωτερικά του ναού
<b>S<sub>1</sub> (Νοτιοδυτικά)</b>	6001, 6002, 6003, 6004, 6005, 6006, 6007
<b>S<sub>2</sub> (Νότια)</b>	6001, 6002, 6003
<b>S<sub>3</sub> (Νοτιοανατολικά)</b>	6001, 6002, 6003, 6007, 6008
<b>S<sub>4</sub> (Ανατολικά)</b>	6002, 6007, 6008, 6009
<b>S<sub>5</sub> (Βορειοανατολικά)</b>	6004, 6007, 6009, 6010, 6012
<b>S<sub>6</sub> (Βόρεια-Ταράτσα)</b>	6003, 6009, 6010, 6012
<b>S<sub>7</sub> (Βορειοδυτικά)</b>	6003, 6004, 6005, 6006, 6009, 6010, 6012

Πίνακας 3.4: Στόχοι που τοποθετήθηκαν εξωτερικά του ναού σε κάθε θέση σάρωσης

Θέση Σαρωτή	Στόχοι εσωτερικά του ναού
<b>M<sub>1</sub> (Νάρθηκας)</b>	7001, 7002, 7003
<b>M<sub>2</sub> (Διάδρομος)</b>	7003, 7004, 7005
<b>M<sub>3</sub> (Κυρίως Ναός-Δύση)</b>	7006, 7007, 7008, 7009, 7010, 7011
<b>M<sub>4</sub> (Κυρίως Ναός-Ανατολή)</b>	7006, 7007, 7008, 7009, 7010, 7011
<b>M<sub>5</sub> (Ιερό)</b>	7006, 7007, 7008, 7009

Πίνακας 3.5: Στόχοι που τοποθετήθηκαν εσωτερικά του ναού σε κάθε θέση σάρωσης

### 3.5 Στατιστικά στοιχεία

Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε επτά ημέρες. Η αναγνώριση της περιοχής μελέτης, η ίδρυση και η μέτρηση του πολυγωνομετρικού δικτύου έγιναν σε δύο ημέρες όπως και η σάρωση του ναού εξωτερικά και εσωτερικά. Οι υπόλοιπες μετρήσεις που αφορούσαν σε ταχυμετρικά σημεία, φωτοσταθερά, στόχους σαρωτή και σημεία τομών έγιναν παράλληλα με τις σαρώσεις και τις φωτογραφίσεις. Με τον εικονογεωδαιτικό σταθμό πραγματοποιήθηκαν συνολικά 268 μετρήσεις από το όργανο προς τον στόχο (δεν συμπεριλαμβάνονται οι μετρήσεις της τελευταίας ημέρας). Πιο αναλυτικά, έγιναν μετρήσεις 144 φωτοσταθερών-σημείων λεπτομέρειας, 34 μετρήσεις στόχων του σαρωτή (μετρήθηκαν σε περισσότερες από μία στάσεις του οργάνου), 90 σημεία για τη σύνταξη του τοπογραφικού διαγράμματος. Ακόμα, ελήφθησαν 15 φωτογραφίες με τον φακό των 50mm και 169 με τον φακό των 24mm. Ο χρόνος απασχόλησης στο πεδίο ήταν περίπου 48 ώρες καθαρής εργασίας.

### 3.6 Αξιολόγηση Δεδομένων

Κατά τη διαδικασία υλοποίησης των τοπογραφικών μετρήσεων προέκυψαν ορισμένα προβλήματα τα οποία καθυστέρησαν τη διαδικασία των μετρήσεων αλλά επηρέασαν και τη φάση επεξεργασίας των δεδομένων αργότερα.

Πιο συγκεκριμένα:

- Η στάση M<sub>4</sub> της δευτερεύουσας όδευσης εσωτερικά του ναού, η οποία είχε σημανθεί με φωτοσταθερό υπέστη φθορά και ιδρύθηκε νέα στάση (4A), η οποία μετρήθηκε εκ νέου ως «τυφλή» στάση.
- Το αρχείο που περιείχε τις μετρήσεις της τελευταίας ημέρας εργασιών καταστράφηκε εξαιτίας κάποιου σφάλματος καταγραφής του οργάνου μέτρησης (περιελάμβανε όλες τις μετρήσεις των φωτοσταθερών της εξωτερικής ανατολικής όψης καθώς και τεσσάρων σημείων λεπτομέρειας στον κυρίως ναό).

Να σημειωθεί στο σημείο αυτό πως έγιναν κάποιες επιπλέον μετρήσεις και συλλογή φωτογραφιών ένα χρόνο μετά (Νοέμβριος '14), που σκοπό είχαν τη βελτίωση και συμπλήρωση των τελικών αποτελεσμάτων. Οι μετρήσεις αφορούσαν κάποια σημεία λεπτομέρειας στην ανατολική όψη του ναού ενώ οι επιπλέον φωτογραφίες στην κάλυψη κενών που προέκυψαν στο ιερό εσωτερικά αλλά και στον βόρειο τοίχο του διαδρόμου.



## 4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν στο πεδίο. Αυτές αφορούν στην επίλυση των γεωδαιτικών μετρήσεων, στη συνένωση των νεφών σημείων που προέκυψαν από τις διαφορετικές σαρώσεις, στη μοντελοποίηση της επιφάνειας καθώς και στη διαδικασία προσανατολισμού των εικόνων.

### 4.1 Γεωδαιτικές μετρήσεις

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των συντεταγμένων τόσο των κορυφών των οδεύσεων όσο και των υπόλοιπων μετρημένων σημείων, δηλαδή των ταχυμετρικών, των φωτοσταθερών (προσημασμένων και μη) και των στόχων του σαρωτή (μέθοδος πολικών συντεταγμένων).

Η εξωτερική όδευση επιλύθηκε ως κλειστή ανεξάρτητη ενώ η εσωτερική ως ανοιχτή πλήρως εξαρτημένη από την πρώτη. Παρακάτω, στους πίνακες 4.1 και 4.2 δίνονται οι συντεταγμένες των κορυφών της κύριας και δευτερεύουσας όδευσης αντίστοιχα, ενώ στον πίνακα 4.3 τα σφάλματα κλεισίματος των δυο οδεύσεων.

	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>H (m)</b>
<b>E<sub>1</sub></b>	100,000	100,000	0,000
<b>E<sub>2</sub></b>	110,183	100,000	-0,898
<b>E<sub>3</sub></b>	108,636	113,060	-1,390
<b>E<sub>4</sub></b>	104,909	120,148	-1,623
<b>E<sub>5</sub></b>	100,385	116,679	-1,282
<b>E<sub>6</sub></b>	82,812	113,632	-1,414

Πίνακας 4.1: Συντεταγμένες κύριας όδευσης σε m

	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>H (m)</b>
<b>M<sub>4</sub></b>	95,524	110,987	-1,130
<b>4A</b>	96,234	111,154	-1,126
<b>M<sub>3</sub></b>	101,12	112,837	-1,136
<b>M<sub>2</sub></b>	101,858	109,062	-1,134
<b>M<sub>1</sub></b>	106,365	110,153	-1,128

Πίνακας 4.2: Συντεταγμένες δευτερεύουσας όδευσης σε m

	$\delta_B$ (grad)	$\delta_S$ (m)	$\delta_{\text{Haller-retour}}$ (m)
<b>Κύρια όδευση (εξωτερική)</b>	-0,0010	0,006	0,009
<b>Δευτερεύουσα όδευση (εσωτερική)</b>	-0,0048	0,007	0,008

Πίνακας 4.3: Γωνιακό και γραμμικό σφάλμα κλεισίματος κύριας και δευτερεύουσας όδευσης και μέσος όρος υψομετρικών διαφορών aller-retour

## 4.2 Συνένωση & Γεωαναφορά Νεφών Σημείων

Η συνένωση των νεφών εξωτερικά και εσωτερικά πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά στο λογισμικό Cyclone της Leica και τα στάδια υλοποίησης τους αναλύονται παρακάτω. Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι σύμφωνα και με τις δυνατότητες του λογισμικού, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι συνένωσης των νεφών. Οι μέθοδοι αυτές είναι:

- Συνένωση βασισόμενη σε κοινούς στόχους
- Συνένωση βασισόμενη στο επικαλυπτόμενο τμήμα σαρώσεων

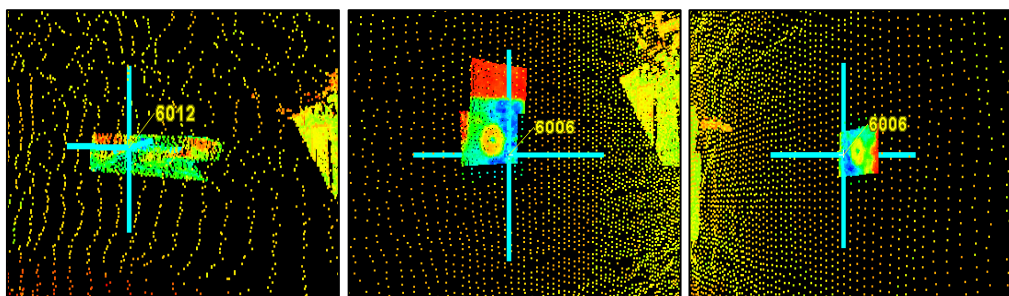
Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο γίνεται χρήση τεχνητών στόχων που τοποθετήθηκαν πριν τη σάρωση για να προσανατολιστούν τα νέφη. Απαιτούνται τουλάχιστον τρεις κοινοί στόχοι στα διαδοχικά νέφη σημείων προκειμένου να καθοριστούν οι παράμετροι του μετασχηματισμού (τρεις μεταθέσεις και τρεις στροφές μεταξύ των αξόνων του συστήματος) και να πραγματοποιηθεί η συνένωση. Στη δεύτερη μέθοδο θα πρέπει τα δύο νέφη σημείων να έχουν επαρκή επικάλυψη μεταξύ τους (τουλάχιστον 30%). Μια τεχνική που ονομάζεται ICP (Iterative Closed Point) εφαρμόζεται για να συνενωθούν τα δυο νέφη. Η τεχνική αυτή απαιτεί από τον χρήστη να επιλέξει χειροκίνητα τουλάχιστον τρία αντίστοιχα σημεία στα νέφη σημείων. Δεδομένου ότι αυτά τα 3 σημεία δεν θα είναι ποτέ ακριβώς τα ίδια, ο αλγόριθμος ICP ελέγχει επαναληπτικά τις αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων του νέφους και εκτιμά τον μετασχηματισμό για να προσανατολίσει τα διαδοχικά νέφη, ώστε το αποτέλεσμα να έχει το ελάχιστο σφάλμα. Στις προηγούμενες δύο μεθόδους το σύστημα που αναφέρονται τα συνενωμένα πλέον νέφη σημείων είναι αυθαίρετο και απαιτούνται τρεις τουλάχιστον μετρημένοι στόχοι για να γίνει η γεωαναφορά του ενιαίου μοντέλου.<sup>[14],[15]</sup>

Στην προκειμένη περίπτωση εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων. Οι στόχοι που απαιτούνταν για την συνένωση μετρήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν και για τη γεωαναφορά των νεφών σημείων. Κατά την συνένωση, όλα τα νέφη σημείων μετασχηματίζονται σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το υλοποιημένο σύστημα αναφοράς των μετρημένων στόχων. Έπειτα εφαρμόζεται μια αυτοματοποιημένη διαδικασία με βάση τον αλγόριθμο ICP, που εισάγει επιπλέον δεσμεύσεις μεταξύ των επικαλυπτόμενων σαρώσεων.

### 4.2.1 Συνένωση νεφών εξωτερικά του ναού

Για τη συνένωση των νεφών εξωτερικά του ναού τοποθετήθηκαν συνολικά έντεκα (11) στόχοι. Πριν τη συνένωσή τους, εισάγεται στο λογισμικό το αρχείο με τις συντεταγμένες των στόχων (βλ. Παράρτημα Ι). Στη συνέχεια δημιουργείται ένα αρχείο συνένωσης στο οποίο προστίθενται οι επιμέρους σαρώσεις και το αρχείο των στόχων. Το σύστημα των στόχων επιλέγεται να παραμείνει σταθερό και όλες οι σαρώσεις μετασχηματίζονται ως προς αυτό. Έπειτα, πραγματοποιείται με αυτόματο τρόπο η διαδικασία αντιστοίχισης των στόχων μεταξύ των διαφορετικών σαρώσεων. Στο τέλος της διαδικασίας αυτής εμφανίζεται ένα μήνυμα με τους πιθανούς στόχους που εμπεριέχουν λάθη, οι οποίοι είναι οι 6004, 6006 και 6012. Ακολουθεί ένας έλεγχος των στόχων κατά τον οποίο παρατηρούνται τα εξής:

- Ο στόχος 6004 στη σάρωση  $S_1$  και ο 6011 στη σάρωση  $S_7$  ταυτίζονται
- Ο στόχος 6012 στη σάρωση  $S_7$  είναι παραμορφωμένος (Εικόνα 4.1 α)
- Ο στόχος 6006 στη σάρωση  $S_7$  δεν είναι καλά σαρωμένος (Εικόνα 4.1 β). Και ο ίδιος στόχος στη σάρωση  $S_1$  έχει μεν σαρωθεί καλά αλλά η ετικέτα του δεν συμπίπτει με το κέντρο του (Εικόνα 4.1 γ).



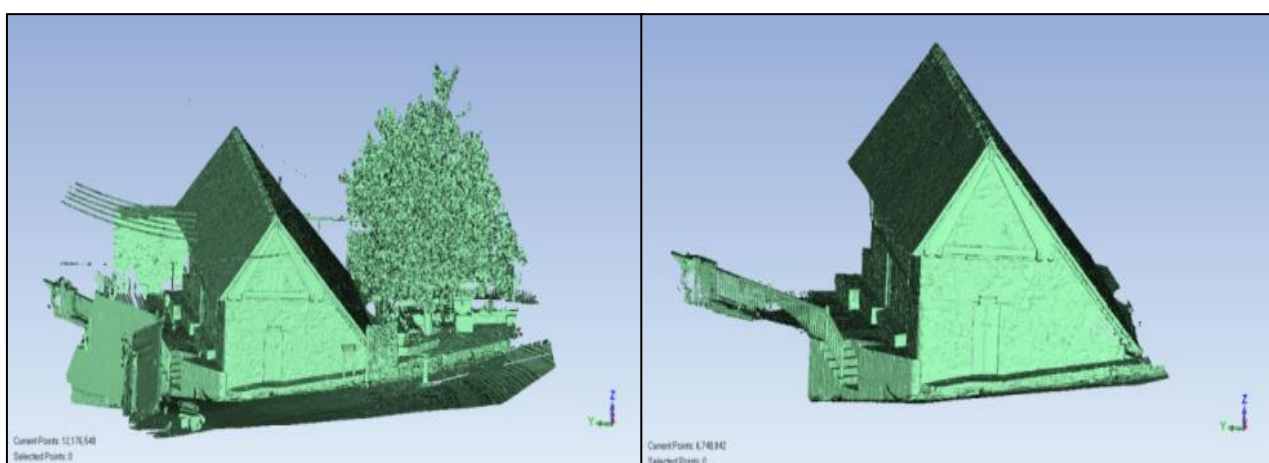
Εικόνα 4.1: α,β) Παραδείγματα των παραμορφωμένων στόχων 6012 και 6006 αντίστοιχα γ) Μη ταύτιση της ετικέτας και του κέντρου του στόχου 6006

Αρχικά γίνεται η μετονομασία του στόχου 6011 και αμέσως μετά μια πρώτη συνένωση χωρίς να γίνει καμία διόρθωση. Με την πρώτη απόπειρα συνένωσης προκύπτει μέσο σφάλμα 3cm, το οποίο είναι εκτός των αποδεκτών ορίων. Στη συνέχεια εξαιρούνται από τη διαδικασία οι προβληματικοί στόχοι (6012 και 6006 στο νέφος σημείων  $S_7$ ) και γίνεται διόρθωση της μετατοπισμένης ετικέτας του στόχου 6006 ( $S_1$ ). Για τη βελτίωση της συνένωσης εισάγονται αυτόματα επιπλέον δεσμεύσεις μεταξύ των επικαλυπτόμενων νεφών (εφαρμογή αλγόριθμου ICP) και προκύπτει μέσο σφάλμα της τάξης των 2mm.



Αρχικά, πραγματοποιείται χειροκίνητη αφαίρεση της ανεπιθύμητης πληροφορίας πέρα από το αντικείμενο αποτύπωσης. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής συναντάται στο εξωτερικό τμήμα του ναού(Εικόνα 4.2).

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μείωση θορύβου λόγω σφαλμάτων του οργάνου. Κατά τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι του λογισμικού επεξεργασίας *Geomagic Studio 2012*. Οι παράμετροι που ορίστηκαν αναλύονται παρακάτω. Να τονιστεί ότι στο στάδιο αυτό δεν αφαιρούνται σημεία, αλλά τα ήδη υπάρχοντα μετακινούνται προκειμένου να περιγράψουν με μεγαλύτερη πιστότητα το αντικείμενο.<sup>[11]</sup>



Εικόνα 4.3: Νέφος σημείων εξωτερικά του ναού πριν την αφαίρεση του θορύβου (αριστερά) και μετά την αφαίρεση του θορύβου (δεξιά). Παρατηρείται υποδιπλασιασμός των σημείων.

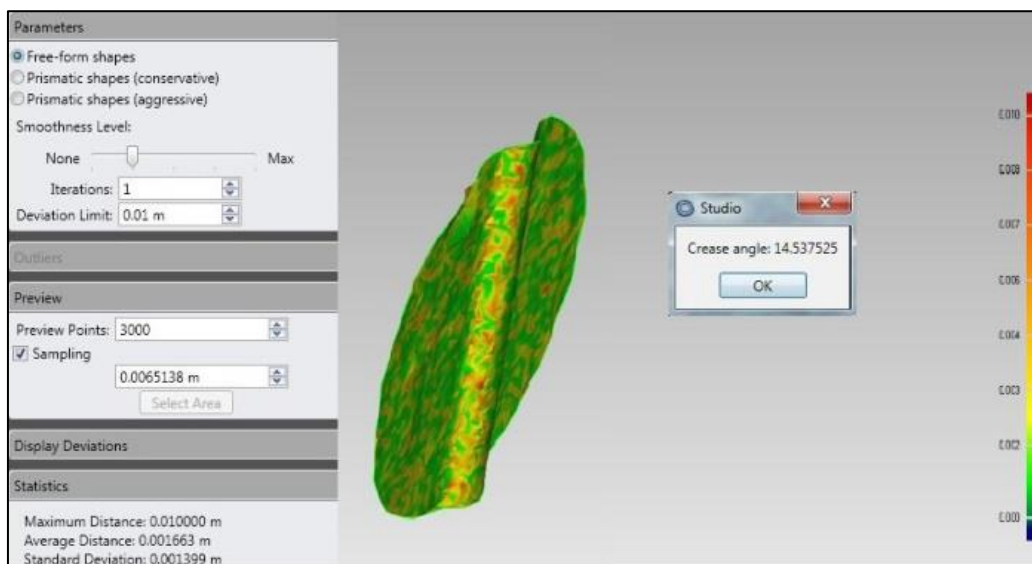
Να σημειωθεί ότι το αντικείμενο τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά αντιμετωπίστηκε συνολικά και όχι τμηματικά. Δηλαδή, στο σύνολο του αντικειμένου ορίστηκαν οι ίδιες παράμετροι. Το εργαλείο μείωσης θορύβου προσφέρει αρκετές δυνατότητες χωρίς να χάνονται οι λεπτομέρειες του αντικειμένου και η ακρίβεια των δεδομένων. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί αλγόριθμοι μείωσης θορύβου, όπου ο καθένας χρησιμοποιείται για διαφορετικού τύπου αντικείμενο. Στην προκειμένη περίπτωση που το υπό μελέτη κτίριο δεν προσομοιάζει κάποια μαθηματική επιφάνεια εφαρμόστηκε ο *free-form shapes* αλγόριθμος. Ο αλγόριθμος αυτός μειώνει τον θόρυβο ανάλογα με την καμπυλότητα της επιφάνειας. Με τη συγκεκριμένη επιλογή θα μειωθεί το ελάχιστο ποσό του θορύβου στο μοντέλο.<sup>[16]</sup>

Για τον έλεγχο του ποσοστού μείωσης του θορύβου, το λογισμικό προσφέρει τρεις παραμέτρους, το *smoothness level* (καθορίζει το βαθμό μείωσης του θορύβου), τον αριθμό των επαναλήψεων του αλγορίθμου και το *deviation limit* (η μέγιστη μετακίνηση του σημείου από την αρχική του θέση).

Τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό τμήμα του ναού και ύστερα από πειραματισμούς επιλέχθηκε η χαμηλότερη ρύθμιση για το *smoothness level* και ο ελάχιστος αριθμός επαναλήψεων (μια επανάληψη), ενώ η τιμή του *deviation limit* ορίστηκε στο 0,01 m. Οι παραπάνω παράμετροι ορίστηκαν με το σκεπτικό να μην υπάρξει απώλεια στην λεπτομέρεια σάρωσης, τα αποτελέσματα να είναι αποδεκτά και το τελικό οπτικό αποτέλεσμα να είναι ικανοποιητικό. Μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου ελέγχεται η τιμή της κρίσιμης γωνίας, η τιμή της οποίας είναι ένας δείκτης της ποιότητας της επιφάνειας που θα δημιουργηθεί στη συνέχεια. Τιμή μεγαλύτερη του 10 δείχνει ότι απαιτείται περαιτέρω μείωση θορύβου. Τα στατιστικά αποτελέσματα που προέκυψαν ακολουθούν στον Πίνακα 4.4, ενώ στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζεται η προεπισκόπηση ενός τμήματος με τις μετακινήσεις που προκύπτουν για την μείωση του θορύβου.

Στατιστικά Στοιχεία Μείωσης Θορύβου		
	Εξωτερικό τμήμα	Εσωτερικό τμήμα
<i>maximum distance</i>	0.0100 m	0.0097 m
<i>average distance</i>	0.0016 m	0.0011 m
<i>standard deviation</i>	0.0014 m	0.0010 m
<i>crease angle</i>	14.537	14.185

Πίνακας 4.4: Στατιστικά στοιχεία μείωσης του θορύβου για το εξωτερικό και εσωτερικό τμήμα του ναού



Εικόνα 4.4: Προεπισκόπηση των μετακινούμενων σημείων, ενός μικρού τμήματος της πόρτας της δυτικής εισόδου

Ως τελευταίο βήμα επεξεργασίας των σημείων, πριν τη δημιουργία της επιφάνειας, αποτελεί η διαδικασία μείωσης του πλήθους των σημείων (*uniform*). Το στάδιο αυτό είναι απαραίτητο, καθώς με αυτόν τον τρόπο μειώνεται το μέγεθος του αρχείου και ο χρόνος υπολογισμού σε επόμενα στάδια. Με τη συγκεκριμένη εντολή μειώνεται με ομοιόμορφο τρόπο ο αριθμός των σημείων στις επίπεδες

επιφάνειες, ενώ δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στα καμπύλα τμήματα. Στον διάλογο που εμφανίζεται χρησιμοποιείται η πρώτη εντολή (*absolute distance*) για ακριβέστερα αποτελέσματα, στην οποία καθορίζεται η απόσταση των σημείων στις επίπεδες επιφάνειες. Έπειτα επιλέγεται η προτεραιότητα που θα δοθεί στα καμπύλα τμήματα (*curvature priority*). Στην κλίμακα που εμφανίζεται, η μέγιστη τιμή υποδηλώνει ότι η απόσταση των σημείων στις καμπύλες επιφάνειες θα είναι περίπου υποδεκαπλάσια από την απόσταση που ορίστηκε στις επίπεδες.

Στο εξωτερικό τμήμα του ναού η τιμή *absolute distance* ορίστηκε στα 0,006 m και στην κλίμακα *curvature priority* επιλέχθηκε η μέγιστη τιμή. Μετά την εφαρμογή της δειγματοληψίας τα σημεία μειώνονται κατά 34% περίπου. Αντίστοιχα, στο εσωτερικό του ναού, ορίστηκε η τιμή *absolute distance* να είναι 0,003 m και στην κλίμακα *curvature priority* επιλέγεται η μέγιστη τιμή. Μετά την εφαρμογή της δειγματοληψίας τα σημεία μειώνονται κατά 25% περίπου.

Μείωση σημείων		
Αριθμός Σημείων	πριν	μετά
Εξωτερικό Τμήμα	6.748.842	4.461.963
Εσωτερικό Τμήμα	8,629,518	6.624.955

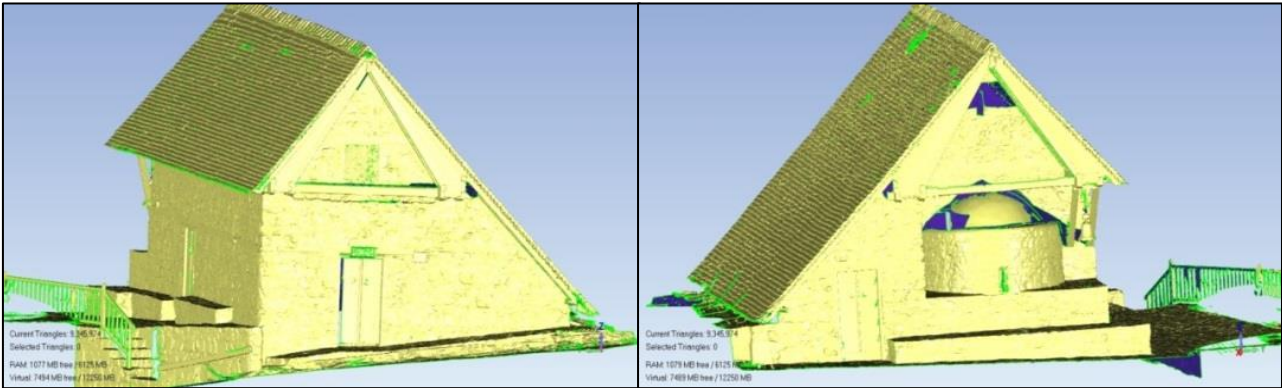
Πίνακας 4.5: Αριθμός σημείων πριν και μετά τη μείωση των σημείων

## 4.4 Δημιουργία Επιφάνειας

Ύστερα από τη μείωση του θορύβου και τη μείωση των σημείων σε επίπεδο που αυτά να μπορούν να είναι διαχειρίσιμα και ταυτόχρονα να διατηρείται η αρχική ακρίβειά τους, ακολουθεί η δημιουργία της τριδιάστατης επιφάνειας με τη μέθοδο των ακανόνιστων τριγώνων (*Triangulated Irregular Network*) στο λογισμικό *Geomagic*. Τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους μέχρι το τελικό αποτέλεσμα εξωτερικά και εσωτερικά του ναού αναλύονται αμέσως μετά.

### 4.4.1 Δημιουργία επιφάνειας εξωτερικά του ναού

Για τη δημιουργία της επιφάνειας λαμβάνονται ως αρχικά δεδομένα το συνενωμένο και διορθωμένο νέφος σημείων εξωτερικά του ναού. Στη συνέχεια, με την εντολή *point-wrap* δημιουργείται η επιφάνεια που περιγράφει το αντικείμενο. Στην Εικόνα 4.5 παρακάτω απεικονίζεται η βορειοδυτική και νοτιοανατολική όψη, όπως προέκυψαν μετά την εφαρμογή της εντολής.



Εικόνα 4.5: Αρχική επιφάνεια βορειοδυτικής όψης (αριστερά) και νοτιοανατολικής όψης (δεξιά).

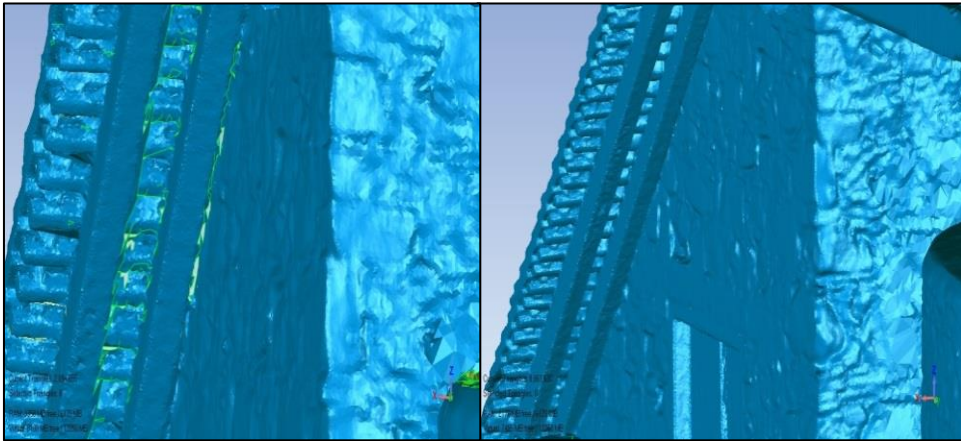
Παρατηρείται ότι η επιφάνεια που προκύπτει έχει κίτρινο χρώμα εξωτερικά και μπλε εσωτερικά. Μέσω της εντολής *Flip Normals* αντιστρέφονται τα χρώματα και η εξωτερική επιφάνεια απεικονίζεται πλέον με μπλε χρώμα, το οποίο είναι και το συνηθέστερο.

Στη συνέχεια ακολουθεί η εξέταση της επιφάνειας για τυχόν ατέλειες και η βελτίωσή της. Υπάρχουν αρκετά ανεστραμμένα τρίγωνα, δηλαδή έχουν αντίθετη κλίση από αυτή της επιφάνειας που περιγράφουν. Τα συγκεκριμένα τρίγωνα είτε διαγράφονται, είτε διατηρούνται εφόσον προηγουμένως αντιστραφεί η κλίση τους. Ακόμα, παρατηρείται ότι υπάρχουν τρίγωνα με σωστή κλίση που παρόλα αυτά δεν περιγράφουν σωστά την επιφάνεια. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στα σημεία από τα οποία δημιουργήθηκε η επιφάνεια δεν απομακρύνθηκε πλήρως ο θόρυβος που εμπεριείχαν.

Τα λανθασμένα τρίγωνα πρέπει να διαγραφούν και η επιφάνεια να συμπληρωθεί με καινούρια πληροφορία ώστε να περιγράψει καλύτερα το αποδιδόμενο αντικείμενο.

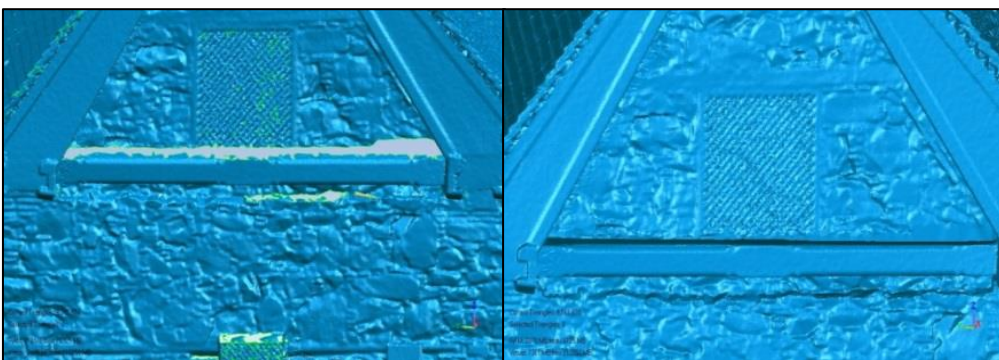
Επιπλέον, σε αρκετές περιοχές παρατηρείται έλλειψη πληροφορίας, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιοχές αυτές δεν σαρώθηκαν επαρκώς. Στην περίπτωση που πρόκειται για μικρές περιοχές έλλειψης πληροφορίας, πραγματοποιείται διαγραφή των λανθασμένων τριγώνων (καθαρισμός ορίων) και συμπλήρωση της πληροφορίας με τη βοήθεια των εργαλείων του λογισμικού (*fill-holes*), τα οποία βασίζονται στην πληροφορία των γειτονικών τριγώνων για την αυτόματη συμπλήρωση. Κατά την εφαρμογή των εργαλείων πρέπει να δοθεί προσοχή στην καμπυλότητα της νέας επιφάνειας που θα δημιουργηθεί (επίπεδη, μεσαία ή μεγάλη καμπυλότητα), ώστε να ταιριάζει στην υπάρχουσα. Στην Εικόνα 4.6 παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα μιας επιφάνειας που υπέστη την παραπάνω διόρθωση.





Εικόνα 4.6: Αρχική επιφάνεια (αριστερά) και διορθωμένη επιφάνεια (δεξιά), μέσω διαγραφής λανθασμένων τριγώνων και συμπλήρωσης πληροφορίας με τα εργαλεία του λογισμικού επεξεργασίας

Υπήρχαν αρκετές περιπτώσεις όπου η έλλειψη πληροφορίας είχε μεγαλύτερη έκταση και δεν μπορούσε να συμπληρωθεί με τη βοήθεια της εντολής *fill-holes*. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με τη βοήθεια των εντολών *copy polygon*, *manual alignment* και *combine polygons*. Δηλαδή, αντιγράφεται η πληροφορία από κάποιο σημείο του μοντέλου που έχει αποδοθεί επαρκώς και πραγματοποιείται επικόλληση στο σημείο όπου υπάρχει η έλλειψη. Με την εντολή *alignment* το «αιωρούμενο» αντικείμενο που αντιγράφεται μεταφέρεται στην επιθυμητή θέση, ενώ με την εντολή *combine polygons* οι δύο επιφάνειες ενώνονται έχοντας πλέον τις ίδιες ιδιότητες. Στην Εικόνα 4.7 παρακάτω το πάνω μέρος του δοκαριού συμπληρώθηκε με πληροφορία από άλλο σημείο του μοντέλου (*copy-paste*).

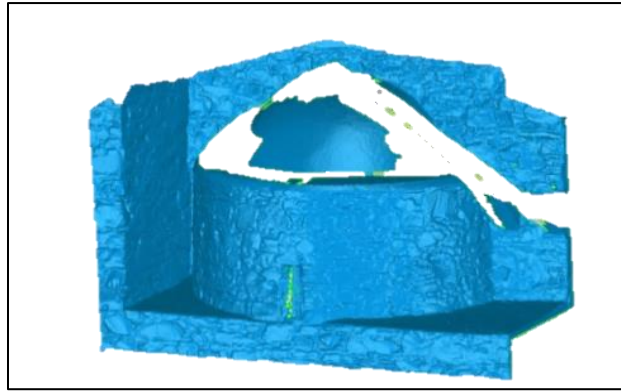


Εικόνα 4.7: Συμπλήρωση πληροφορίας πάνω μέρος δοκαριού με αντιγραφή – επικόλληση

Να σημειωθεί ακόμα, ότι ανατολικά του ναού, στο ιερό, η έλλειψη πληροφορίας (Εικόνα 4.8) που υπήρχε δεν ήταν δυνατόν να συμπληρωθεί όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις που αναφέρθηκαν.

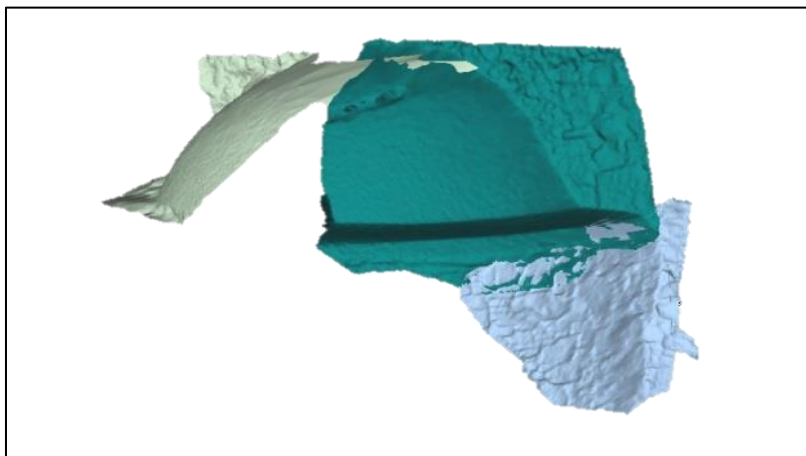
## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

Για τον λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να αποδοθεί η επιφάνεια αυτή από τις προσανατολισμένες εικόνες στο λογισμικό *Image Master* (βλ. 4.5) και την εισαγωγή της στο κυρίως μοντέλο.



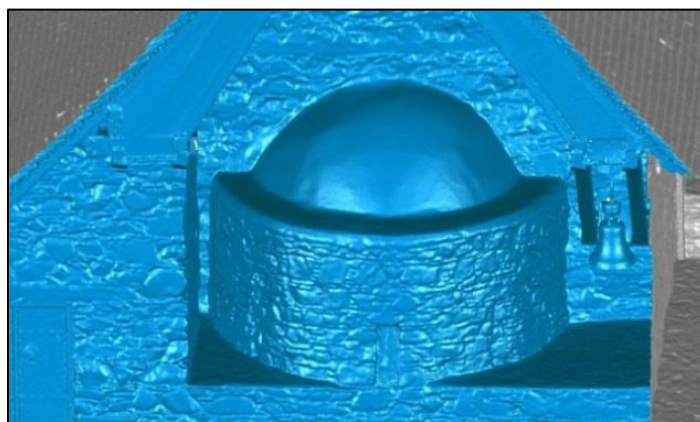
Εικόνα 4.8: Έλλειψη πληροφορίας ανατολικά στο εξωτερικό μέρος της εκκλησίας.

Για την παραγωγή της τριδιάστατης επιφάνειας στο λογισμικό *Image Master* απαιτείται ζεύγος προσανατολισμένων εικόνων που στο κοινό επικαλυπτόμενο τμήμα τους εμπεριέχουν την επιφάνεια προς απόδοση. Οριοθετείται με κλειστό πολύγωνο (οι κορυφές του οποίου αποτελούν ομόλογα σημεία στις δύο εικόνες του στερεοζεύγους) η περιοχή προς απόδοση και στη συνέχεια ακολουθείται αυτοματοποιημένη διαδικασία παραγωγής της τριδιάστατης επιφάνειας. Στην Εικόνα 4.9 απεικονίζονται οι τρεις επιφάνειες που προέκυψαν και περιγράφουν το ιερό. Παρατηρείται ότι οι επιφάνειες βρίσκονται στη σωστή γεωμετρική τους θέση, εφόσον προέκυψαν από προσανατολισμένα ζεύγη εικόνων. Επιπλέον, οι επιφάνειες έχουν κάποιες ατέλειες (λανθασμένα τρίγωνα στα άκρα τους και ορισμένες επικαλύψεις).



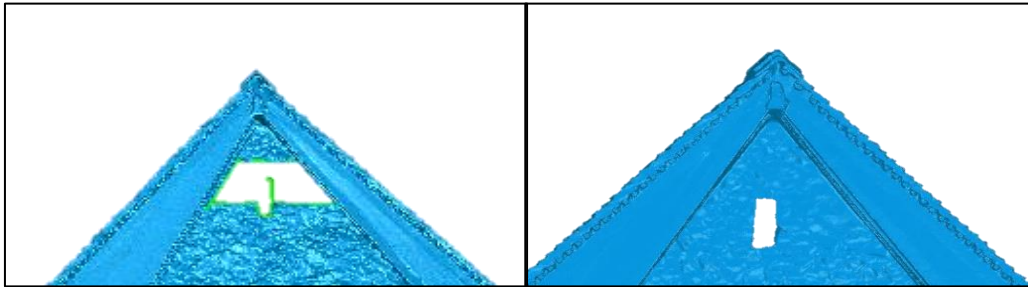
Εικόνα 4.9: Τριδιάστατη επιφάνεια που περιγράφει το ιερό ανατολικά του ναού όπως προέκυψε από το λογισμικό Image Master

Στη συνέχεια, οι επιφάνειες εισάγονται στη συνολική επιφάνεια, διορθώνονται οι ατέλειες που περιγράφηκαν παραπάνω και ενσωματώνονται στο υπόλοιπο μοντέλο. Το τελικό αποτέλεσμα απεικονίζεται στην Εικόνα 4.10.



Εικόνα 4.10: Τελική επιφάνεια ιερού εξωτερικά μετά τη συμπλήρωση της πληροφορίας

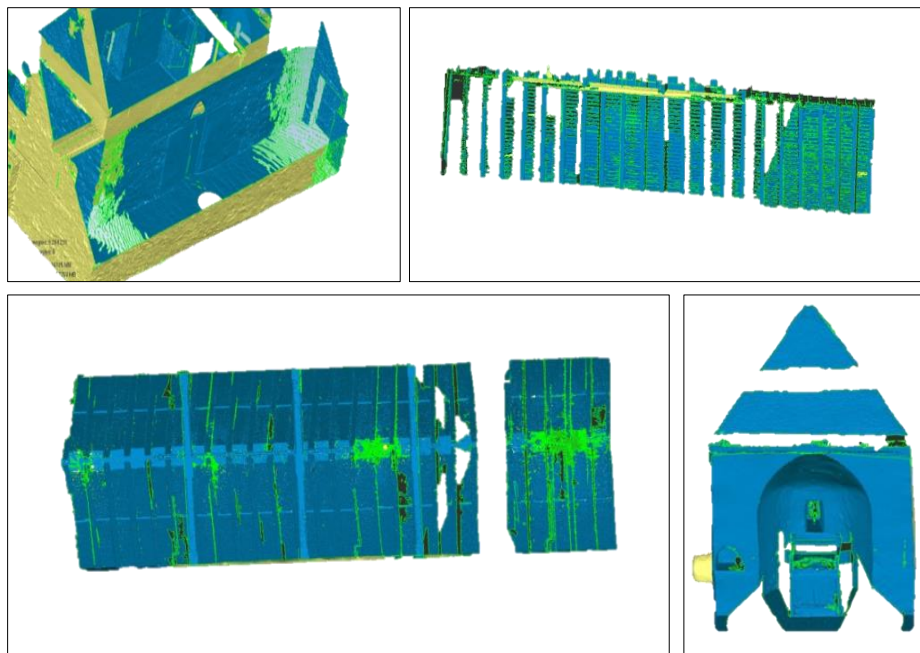
Η διαδικασία που αναλύθηκε παραπάνω χρησιμοποιήθηκε και για την συμπλήρωση περιμετρικά του παραθύρου στο ανατολικό τμήμα του ναού (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11: Επιφάνεια πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη συμπλήρωση της πληροφορίας

#### 4.4.2 Δημιουργία επιφάνειας εσωτερικά του ναού

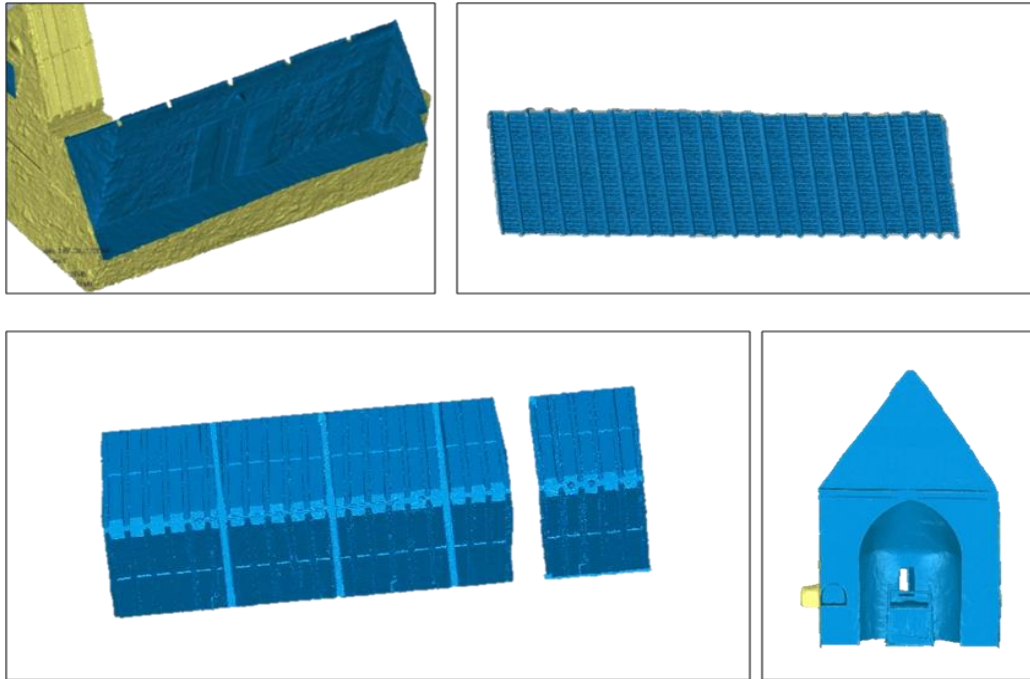
Η ίδια διαδικασία βήμα προς βήμα, που εφαρμόστηκε για τη δημιουργία του μοντέλου εξωτερικά του ναού, εφαρμόστηκε και στο εσωτερικό του. Όπως και στο εξωτερικό τμήμα έτσι και στο εσωτερικό αντιμετωπίστηκαν προβλήματα έλλειψης πληροφορίας (Εικόνα 4.12) τα οποία αποκαταστάθηκαν (Εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.12: Τμήματα του ναού εσωτερικά με έλλειψη πληροφορίας α) Διάδρομος (πάνω αριστερά) β) Δοκάρια διαδρόμου (πάνω δεξιά) γ) Δοκάρια κυρίως ναού (κάτω αριστερά) δ) Επιφάνεια ιερού ανατολικά (κάτω δεξιά)

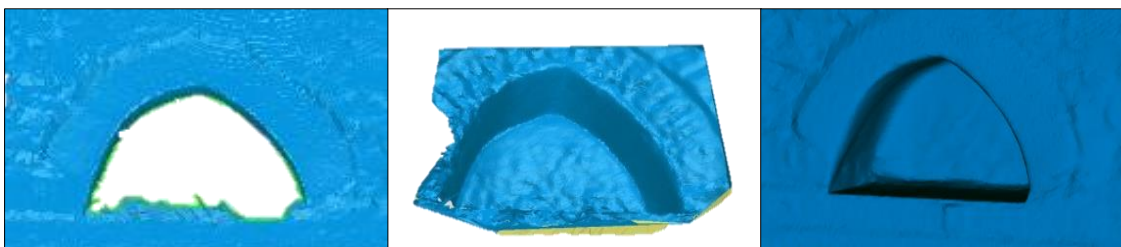
Στην περίπτωση του διαδρόμου, παρατηρείται ότι η αρχική επιφάνεια (Εικόνα 4.12 α) παρουσιάζει μια εκτενή περιοχή με έλλειψη πληροφορίας εξαιτίας μη επαρκούς σάρωσής της. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος εφαρμόστηκε η εντολή *polygon-rewrap* με την οποία οι

κορυφές των τριγώνων της αρχικής επιφάνειας διατηρούνται σταθερές και μεταβάλλεται ο τρόπος με τον οποίο αυτά ενώνονται προκειμένου να δημιουργηθεί μια νέα επιφάνεια χωρίς κενά (Εικόνα 4.13 α).



Εικόνα 4.13: Τμήματα του ναού εσωτερικά μετά την αποκατάσταση τους α) Διάδρομος (πάνω αριστερά) β) Δοκάρια διαδρόμου (πάνω δεξιά) γ) Δοκάρια κυρίως ναού (κάτω αριστερά) δ) Επιφάνεια ιερού ανατολικά (κάτω δεξιά)

Επιπλέον, στον βόρειο τοίχο του διαδρόμου, το τυφλό τόξο δεν είχε σαρωθεί επαρκώς. Επομένως, η επιφάνεια αυτή αποδόθηκε από το αντίστοιχο προσανατολισμένο ζεύγος εικόνων (βλ. 4.5). Στην Εικόνα 4.14 παρακάτω φαίνεται η επιφάνεια πριν τη διόρθωση (α), η επιφάνεια που προέκυψε στο *Image Master* (β) καθώς και η τελική επιφάνεια (γ).



Εικόνα 4.14: Συμπλήρωση ελλειπούς επιφάνειας τυφλού τόξου στον διάδρομο  
α) Επιφάνεια πριν β) Επιφάνεια από στερεοαπόδοση γ) Τελική επιφάνεια

## 4.5 Προσανατολισμοί Εικόνων

Ο προσανατολισμός των εικόνων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό *Image Master της Topcon*. Για κάθε σύνολο εικόνων που επιθυμείται ο προσανατολισμός τους, δημιουργείται ένα μοντέλο με τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού τους. Έπειτα, σκοπεύονται τα σημεία με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες σε κάθε εικόνα (φωτοσταθερά ή σημεία λεπτομέρειας). Στην περίπτωση όπου στην εικόνα δεν αντιστοιχούν τέσσερα τουλάχιστον φωτοσταθερά, είτε επειδή δεν μετρήθηκαν είτε λόγω απώλειας των αντίστοιχων μετρήσεων (βλέπε 3.6 Αξιολόγηση Δεδομένων), δημιουργούνται στερεοζεύγη και σκοπεύονται σημεία σύνδεσης στο επικαλυπτόμενο μέρος των εικόνων. Επίσης, σε όσες εικόνες δεν υπήρχε η δυνατότητα δημιουργίας στερεοζεύγους και δεν υπήρχαν μετρημένα σημεία γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων, χρησιμοποιήθηκαν σημεία από το τριδιάστατο νέφος σημείων ή από την επιφάνεια όπως προέκυψε πριν από την επεξεργασία της. Τέλος, πραγματοποιείται η επίλυση του τριγωνισμού με τη μέθοδο της συνόρθωσης κατά δέσμες και υπολογίζονται οι εξωτερικοί προσανατολισμοί των εικόνων.

### 4.5.1 Εσωτερικός προσανατολισμός

Οι λήψεις των εικόνων πραγματοποιήθηκαν με δύο φακούς διαφορετικής εστιακής απόστασης (24mm & 50mm). Επίσης ελήφθησαν με οριζόντιο ή κατακόρυφο κάδρο (αριστερόστροφο ή δεξιόστροφο). Οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού διαφοροποιούνται για κάθε φακό αλλά και για κάθε κάδρο (μεταβάλλεται η θέση του πρωτεύοντος σημείου). Για τον φακό των 24mm είναι ήδη γνωστές οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού (Πίνακας 4.5) από παλαιότερη βαθμονόμηση της μηχανής. Όσον αφορά στον φακό των 50mm, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του στο εργαστήριο (Παράρτημα Β) και προέκυψαν οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού (Πίνακας 4.6).

Οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού είναι οι εξής:

- Σταθερά της φωτογραφικής μηχανής
- Συντεταγμένες πρωτεύοντος σημείου
- Ακτινική διαστροφή
- Μέγεθος εικονοπηφίδας

<b>Στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού φακού 24mm</b>		
Σταθερά της μηχανής (mm)		24.015
Πρωτεύον σημείο	$x_0, y_0$ (mm)	17.317, 11.443
Παράμετροι διαστροφής	$k_1$	1.36e-004
	$k_2$	-2.17e-007
	$p_1$	9.70e-006
	$p_2$	-1.13e-005
Μέγεθος εικονοψηφίδας (mm)		0.0062

Πίνακας 4.6: Παράμετροι εσωτερικού προσανατολισμού φακού 24mm

<b>Στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού φακού 50mm</b>		
Σταθερά της μηχανής (mm)		50.009
Πρωτεύον σημείο	$x_0, y_0$ (mm)	16.880, 11.147
Παράμετροι ακτινικής διαστροφής	$k_1$	8.186864e-005
	$k_2$	-5.575112e-008
	$p_1$	1.102012e-005
	$p_2$	1.270703e-005
Μέγεθος εικονοψηφίδας (mm)		0.0061

Πίνακας 4.7: Παράμετροι εσωτερικού προσανατολισμού φακού 50mm

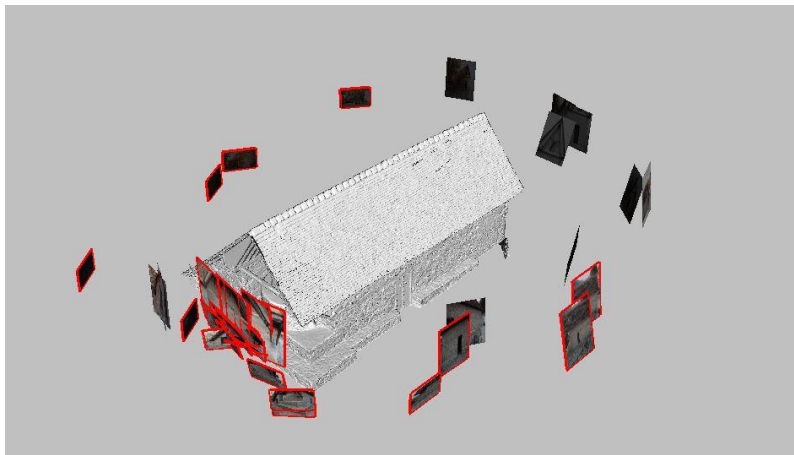
#### 4.5.2 Εξωτερικός προσανατολισμός

Η συνόρθωση ενός μπλοκ εικόνων αποτελεί ένα σύνολο σχετικών και απόλυτων προσανατολισμών όλων των μοντέλων ή των εικόνων, ώστε να προκύψουν οι εξωτερικοί προσανατολισμοί όλων των εικόνων και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες όλων των άγνωστων σημείων. Στη συνόρθωση του μπλοκ με τη μέθοδο των δεσμών, όπου το μοναδιαίο στοιχείο θεωρείται η δέσμη των ακτίνων, χρησιμοποιούνται απευθείας οι σχέσεις μεταξύ των εικονοσυντεταγμένων και των συντεταγμένων του αντικειμένου. Ως εξισώσεις παρατήρησης χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις της συνθήκης συγγραμμικότητας. Τα αρχικά δεδομένα είναι οι εικονοσυντεταγμένες των σημείων σύνδεσης και των φωτοσταθερών, αλλά και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των τελευταίων. Οι δέσμες μετατοπίζονται (τρεις μετατοπίσεις:  $X_0, Y_0, Z_0$ ) και στρέφονται (τρεις στροφές:  $\omega, \phi, \kappa$ ) ώστε οι ομόλογες ακτίνες να τέμνονται όσο το δυνατόν καλύτερα στα σημεία σύνδεσης και να ταυτίζονται στα φωτοσταθερά. Οι άγνωστοι είναι τα έξι στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού της κάθε εικόνας και οι τρεις γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης.<sup>[17]</sup>

Σε κάθε εικόνα σκοπεύθηκαν τουλάχιστον τέσσερα φωτοσταθερά και όπου αυτό δεν ήταν δυνατό δημιουργήθηκαν στερεοζεύγη με διπλανάς εικόνες που είχαν προσανατολιστεί (περίπτωση ανατολικού τμήματος εξωτερικά λόγω έλλειψης φωτοσταθερών).

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

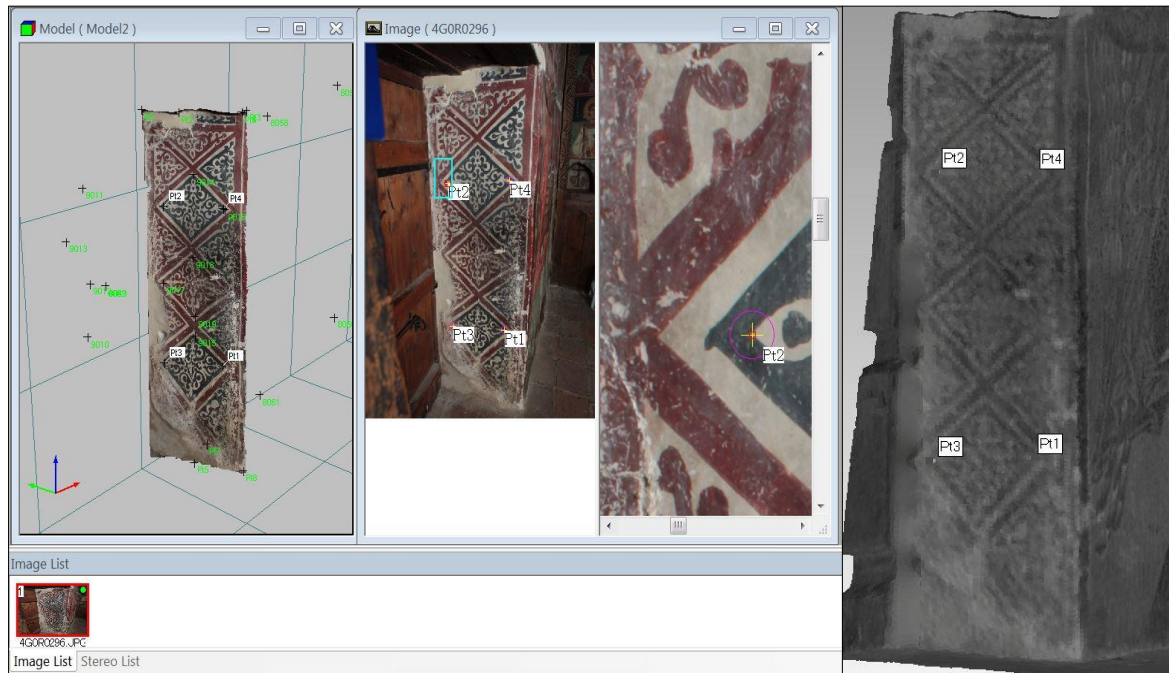
Για τη συνόρθωση του εξωτερικού μπλοκ προσανατολίστηκαν συνολικά 40 εικόνες και δημιουργήθηκαν 25 στερεοζεύγη σε ένα ενιαίο μοντέλο (Εικόνα 4.15). Τα σφάλματα που προέκυψαν από τον υπολογισμό των συντεταγμένων των φωτοσταθερών κατά τον άξονα X, Y και Z είναι αντίστοιχα 0,005, 0,004 και 0,004 m. Όσον αφορά στο τμήμα του νάρθηκα και του διαδρόμου χρησιμοποιήθηκαν 29 εικόνες και δημιουργήθηκαν 5 στερεοζεύγη ενώ προέκυψαν σφάλματα κατά X, Y, Z ίσα με 0,009, 0,008 και 0,007 m αντίστοιχα. Για το κομμάτι του κυρίως ναού χρησιμοποιήθηκαν 23 εικόνες συνολικά. Για το μεν τμήμα της αψίδας του ναού δημιουργήθηκε μπλοκ 7 φωτογραφιών, όπου μετά τον προσανατολισμό τους προέκυψαν τα σφάλματα 0,005, 0,004, 0,004 m κατά X, Y, Z αντίστοιχα. Για το υπόλοιπο κομμάτι του κυρίως ναού (επίπεδα μέρη) οι εικόνες προσανατολίστηκαν μονοεικονικά με τα αντίστοιχα σφάλματα να μην ξεπερνούν το 1 pixel ανά εικόνα..



Εικόνα 4.15: Προσανατολισμένες εικόνες και στερεοζεύγη (κόκκινο περίγραμμα) εξωτερικά, στο περιβάλλον του λογισμικού *Image Master*

Να σημειωθεί ότι προσανατολίστηκαν ακόμη κάποιες εικόνες, που απεικόνιζαν τα πλαϊνά των θυρών του κυρίως ναού (Εικόνα 4.16) και το τέμπλο, με σημεία που μετρήθηκαν από την επιφάνεια πριν την επεξεργασία της.





Εικόνα 4.16: Προσανατολισμό εικόνας (αριστερά) που επιτεύχθηκε χάρις στα σημεία που εξήχθησαν από την επιφάνεια (δεξιά)

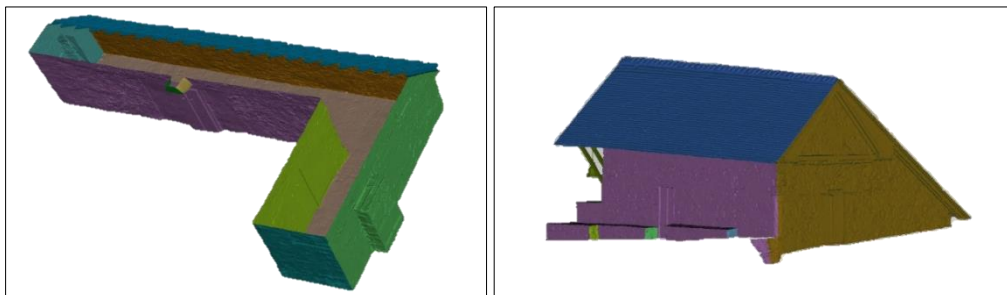


## 5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΟΥ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα στάδια κατά τη δημιουργία του τελικού φωτορεαλιστικού τριδιάστατου μοντέλου. Αρχικά, πραγματοποιείται η απόδοση υφής στο μοντέλο με τη βοήθεια του λογισμικού *Image Master* και ακολουθεί η ραδιομετρική επεξεργασία και συνένωση των εικόνων στο πρόγραμμα *Photoshop* της *Adobe*.

### 5.1 Απόδοση Υφής στο Τριδιάστατο Μοντέλο

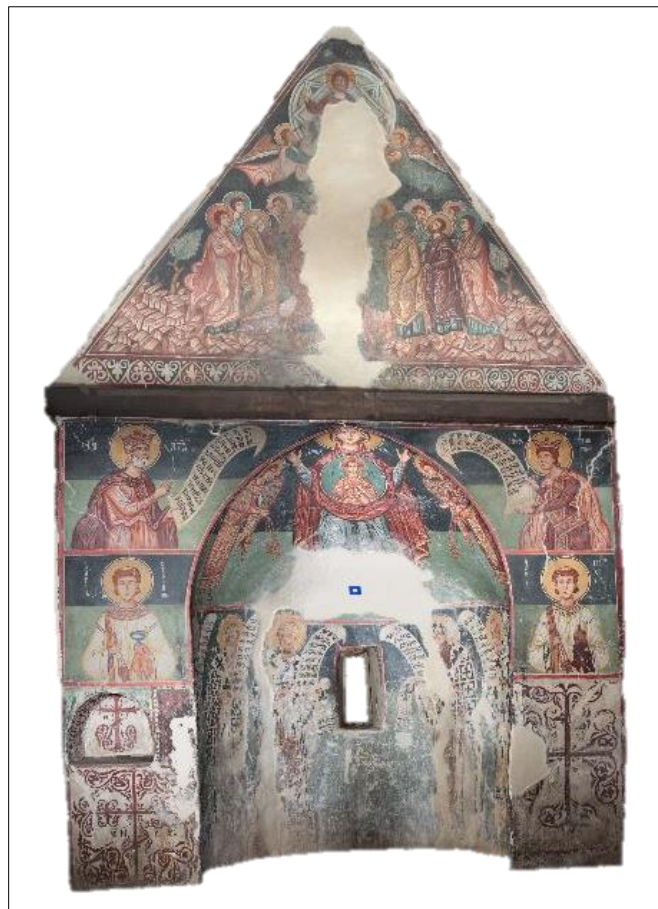
Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί ο προσανατολισμός των εικόνων στο *Image Master* (βλ. Κεφάλαιο 4.5) είναι εύκολο να γίνει και απόδοση της υφής στο μοντέλο (αποτελεί μια αυτοματοποιημένη διαδικασία στο περιβάλλον του λογισμικού). Τόσο το μοντέλο όσο και οι εικόνες βρίσκονται σε ενιαίο σύστημα αναφοράς μετά τον προσανατολισμό τους. Η εισαγωγή του μοντέλου στο πρόγραμμα πραγματοποιείται σταδιακά μετά τη διαίρεση της επιφάνειας σε μικρότερα τμήματα (Εικόνα 5.1), σαν αρχεία *.dxf*. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν 33 θεματικά επίπεδα για το εσωτερικό τμήμα του ναού και η υφή τους προέκυψε από 70 εικόνες. Όσον αφορά στο εξωτερικό τμήμα του χρησιμοποιήθηκαν 54 εικόνες για 14 θεματικά επίπεδα (βλ. Παράρτημα Γ). Αυτό συμβαίνει διότι ο υπολογισμός της υφής γίνεται σύμφωνα με την εκάστοτε γωνία στροφής του μοντέλου και κάθε επιφάνεια προς απόδοση θα πρέπει να αντιμετωπίζεται διαφορετικά ανάλογα και με τη λήψη των εικόνων<sup>[18]</sup>. Κάθε εικόνα που επιλέγεται για την επένδυση του μοντέλου προβάλλεται μέσω ενός είδους ορθής προβολής στην επιφάνεια του αντικειμένου και έτσι υπολογίζεται η υφή που αντιστοιχεί σε κάθε τρίγωνο.<sup>[19]</sup>



Εικόνα 5.1: Παραδείγματα διαιρούμενης επιφάνειας για την απόδοση της υφής. Ο διάδρομος, ο νάρθηκας (αριστερά) και η βορειοδυτική όψη (δεξιά)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση υφής παίζει η γωνία στροφής (*rotate angle*) του μοντέλου. Για την καλύτερη επένδυση του αντικειμένου η βέλτιστη γωνία είναι

αυτή με την οποία πραγματοποιήθηκε η λήψη της εικόνας. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι εφικτό εφόσον μόνο μία εικόνα δεν είναι αρκετή για να καλύψει εξ ολοκλήρου την επιφάνεια του μοντέλου. Επομένως κάποιες φορές αρκούσε ο μέσος όρος των στροφών των επιλεγθεισών εικόνων αλλά κάποιες άλλες χρειάστηκε να γίνουν αρκετές δοκιμές ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο οπτικά αποτέλεσμα κυρίως στα μη επίπεδα τμήματα του ναού (Εικόνα 5.2). Η εξαγωγή της υφής του μοντέλου πραγματοποιείται αμέσως μετά τον υπολογισμό της σε μορφή αρχείου εικονικής πραγματικότητας (.vrml: Virtual Reality Modeling Language)



Εικόνα 5.2: Τελική επιφάνεια ανατολικού αετώματος και αψίδας ιερού

## 5.2 Προβλήματα κατά τη Δημιουργία του Τριδιάστατου Μοντέλου

Κατά τη διαδικασία της απόδοσης υφής προέκυψαν κάποια προβλήματα που οφείλονταν κυρίως στη λάθος προβολή χρώματος στα αντίστοιχα τρίγωνα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα οριζόντια δοκάρια του ναού και στο εσωτερικό και στο εξωτερικό τμήμα του, που προβάλλονται στον τοίχο (Εικόνα 5.3). Εσωτερικά του κυρίως ναού αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε διότι είχαν ληφθεί και εικόνες από πιο ψηλά επομένως συμπληρώθηκε πληροφορία από αυτές.



Εικόνα 5.3: Λανθασμένη απόδοση υφής στην επιφάνεια. Οριζόντιο δοκάρι δυτικής όψης εξωτερικά

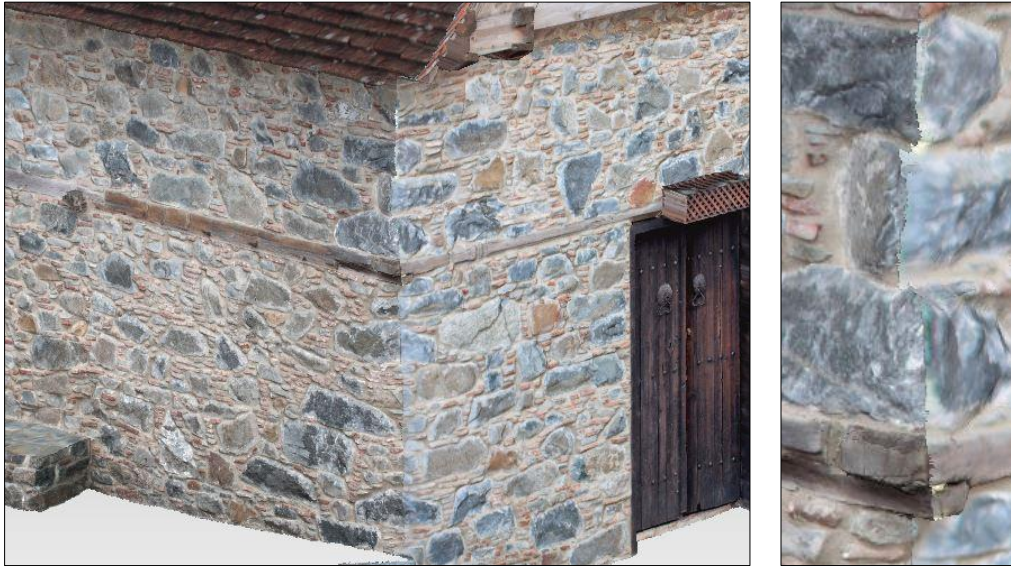
### 5.3 Έλεγχος τριδιάστατου μοντέλου

Σε πρώτο στάδιο είναι δυνατός ο έλεγχος στο λογισμικό *Image Master* κατά τη διάρκεια εξαγωγής της υφής. Όταν δημιουργείται η υφή παρατηρείται αν όλα τα φωτοσταθερά είναι εντός των αποδεκτών ορίων.



Εικόνα 5.4: Παράδειγμα θέσεων φωτοσταθερών σε σχέση με το αποδιδόμενο με υφή μοντέλο

Ακόμη για να εξακριβωθεί εάν το τελικό μοντέλο με υφή που δημιουργήθηκε ήταν σωστό πραγματοποιήθηκε ένας συνολικός οπτικός έλεγχος μεταξύ των διαφορετικών αρχείων .vml (ενώσεις).



Εικόνα 5.5: Ένωση αρχαίων υφής μεταξύ της βόρειας και δυτικής όψης σε ευρύτερο πλαίσιο (αριστερά) και τμήμα της περιοχής σε μεγέθυνση (δεξιά)

Τέλος, έγινε εισαγωγή όλων των μετρημένων γεωδαιτικά σημείων (και τα σημεία των τομών<sup>[20]</sup>) και ακολούθησε ένας οπτικός έλεγχος μεταξύ αυτών και του αποδιδόμενου με υφή μοντέλου. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά.

#### 5.4 Ραδιομετρική Διόρθωση Εικόνων

Η ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό της *Adobe, Photoshop*. Κατά τη ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων οι συνενωμένες εικόνες αποκτούν ενιαίο τόνο και ένταση ώστε να μην διαφοροποιούνται μεταξύ τους. Τέλος εξαλείφονται τυχόν σκιές που υπάρχουν και αφαιρούνται τυχόν αντικείμενα.

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται μια αξιολόγηση των επιμέρους εργασιών που προηγήθηκαν ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική εργασία. Ακόμη, εκτιμάται ο χρόνος που απαιτήθηκε για κάθε στάδιο της.

### 6.1 Χρονοδιάγραμμα Εργασιών

Αξίζει να σημειωθεί ο χρόνος των εργασιών που απαιτήθηκαν στα επιμέρους στάδια της παρούσας εργασίας και ο χρόνος εξοικείωσης με τα λογισμικά και τα όργανα που διατέθηκαν (Πίνακας 6.1).

	Εργασία	Χρόνος Εξοικείωσης (ώρες)	Απαιτούμενος Χρόνος (ώρες)
<b>Συλλογή δεδομένων</b>	Γεωδαιτικές Μετρήσεις (Μέτρηση Στόχων Σαρωτή & Φωτοσταθερών)	~1	~8
	Συλλογή Τριδιάστατης Πληροφορίας	~1	~14
	Λήψη Φωτογραφιών	-	~5
<b>Επεξεργασία Δεδομένων</b>	Επεξεργασία Γεωδαιτικών Μετρήσεων	~1	~24
	Συνένωση νεφών ( <i>Cyclone</i> )	~24	~8
	Καθαρισμός Νέφους, Δημιουργία & Επεξεργασία Επιφάνειας ( <i>Geomagic</i> )	~90	~320
	Προσανατολισμοί Εικόνων ( <i>Image master</i> )	~150	~150
	Απόδοση Υφής Τριδιάστατου Μοντέλου ( <i>Image Master</i> )	~1	~40
	Ραδιομετρική Επεξεργασία Εικόνων ( <i>Photoshop</i> )	~8	~40

Πίνακας 6.1: Χρόνοι εξοικείωσης με τα όργανα και τα λογισμικά και απαιτούμενοι χρόνοι κάθε σταδίου της εργασίας

Στο διάγραμμα 6.1 παρουσιάζεται σε ποσοστά η κατανομή των εργασιών πεδίου και γραφείου.



Διάγραμμα 6.1: Κατανομή εργασιών που απαιτήθηκαν στα επιμέρους στάδια

## 6.2 Συλλογή Δεδομένων

### 6.2.1 Γεωδαιτικές Μετρήσεις

Ίσως το σημαντικότερο θέμα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η απώλεια δεδομένων λόγω κάποιου σφάλματος καταγραφής του οργάνου. Είναι απαραίτητο να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στα θέματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου και αυτά να μπορούν να αντιμετωπίζονται άμεσα. Είναι ακόμα πολύ χρήσιμο να πραγματοποιείται έγκαιρος προγραμματισμός όλων των εργασιών που θα ακολουθήσουν καθώς και να υπάρχει μια συνεχής καταγραφή αυτών.

### 6.2.2 Σαρώσεις

Οι απαιτήσεις που μπορεί να έχει μια τέτοια διαδικασία είναι πολλές. Η επιλογή των θέσεων του σαρωτή και των στόχων είναι πολύ σημαντική καθώς η συνένωση των νεφών μπορεί να πραγματοποιηθεί μεν αλλά με μεγάλα σφάλματα. Ακόμη μπορεί να υπάρξει εκτενής έλλειψη πληροφορίας όπως συνέβη σε αρκετά τμήματα του ναού στην προκειμένη περίπτωση. Σε μερικά σημεία η έλλειψη πληροφορίας ήταν αναπόφευκτη όπως για παράδειγμα στα δοκάρια του διαδρόμου καθώς για να σαρωθούν όλα θα έπρεπε ο σαρωτής να στηθεί σε κάθε άνοιγμα τους. Το μεγαλύτερο πρόβλημα όσον αφορά στα κενά που δημιουργήθηκαν ήταν αυτό ανατολικά του ναού εξωτερικά,



λόγω του οριζόντιου δοκαριού που απέκρυπτε μεγάλο τμήμα του. Ωστόσο χάρις στη φωτογραμμετρική απόδοση η πλήρωση του κενού πραγματοποιήθηκε με ευκολία. Το τελευταίο πρόβλημα θα μπορούσε να επιλυθεί εάν πραγματοποιείτο μια σάρωση από ακόμα πιο ψηλά. Κάτι τέτοιο όμως δεν ήταν εφικτό εφόσον δεν υπήρχε τέτοια δυνατότητα αλλά και λόγω του βάρους και του όγκου του σαρωτή.

### **6.2.3 Λήψεις Εικόνων**

Οι λήψεις των εικόνων δεν παρουσίασαν ιδιαίτερα προβλήματα. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι στο εξωτερικό νότιο τμήμα του ναού οι λήψεις που πραγματοποιήθηκαν δεν ήταν πολύ καλές από άποψη ραδιομετρίας λόγω των σκιών των δέντρων που προβάλλονταν στη σκεπή αλλά και του συρματοπλέγματος που υπήρχε μπροστά από αυτή. Δεν υπήρχε δυνατότητα λήψης από πιο ψηλά (όπως στη βόρεια σκεπή) και έτσι το αποτέλεσμα δεν είναι αισθητικά όμορφο.

## **6.3 Επεξεργασία Δεδομένων**

### **6.3.1 Συνένωση- Επεξεργασία νεφών**

Κατά τη συνένωση των νεφών δεν παρουσιάστηκε κάποια δυσκολία εκτός του ότι υπήρξαν κάποιοι στόχοι που δεν σαρώθηκαν καλά κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου. Αυτό όμως δεν αποτέλεσε πρόβλημα καθώς στις περιπτώσεις αυτές ο αριθμός των στόχων ήταν επαρκής για τη συνένωση των επιμέρους νεφών. Όσον αφορά στην επεξεργασία των νεφών δημιουργήθηκαν αρκετές απορίες κατά τη μείωση του θορύβου ώστε να μην υπάρξει μεγάλος φόρτος και χρόνος επεξεργασίας της επιφάνειας αλλά και αλλοίωσής της. Έτσι κρατήθηκε μια επιφυλακτική στάση όσον αφορά σε αυτό το κομμάτι όπως και στη μείωση των σημείων αμέσως μετά τη μείωση του θορύβου.

### **6.3.2 Δημιουργία- Επεξεργασία επιφάνειας**

Η δημιουργία της επιφάνειας αποτέλεσε μια αυτόματη διαδικασία που δεν δυσκόλεψε τις εργασίες γραφείου. Αντίθετα, η επεξεργασία της επιφάνειας (αφαίρεση ανεστραμμένων τριγώνων, κλείσιμο οπών κ.ά.) αποτέλεσε μια διαδικασία χρονοβόρα καλύπτοντας τον μεγαλύτερο χρόνο εργασιών. Μια λύση για την ελαχιστοποίηση του χρόνου επεξεργασίας θα ήταν να είχε εφαρμοστεί με λιγότερη επιφυλακτικότητα ο αλγόριθμος μείωσης του θορύβου ώστε να μην υπάρχουν τόσα λανθασμένα τρίγωνα.

### 6.3.3 Προσανατολισμοί εικόνων

Η διαδικασία των προσανατολισμών των εικόνων αποτέλεσε μια χρονοβόρα διαδικασία, έπειτα από πολλούς πειραματισμού, ούτως ώστε να επιτευχθεί το τελικό αποδεκτό αποτέλεσμα. Τόσο οι μεγάλες στροφές των μεταξύ εικόνων όσο και η μη επιπεδότητα του ναού σε ορισμένα σημεία δυσχέραναν τη σωστή επίλυση των προσανατολισμών. Ακόμη, στο τμήμα του κυρίως ναού που είχαν ληφθεί για φωτοσταθερά σημεία λεπτομέρειας, οι στοχεύσεις τους ήταν κάποιες φορές δυσδιάκριτες με αποτέλεσμα να προκύπτουν αβεβαιότητες σε αυτές και οι επιλύσεις να μην είναι σωστές.

	Εξωτερικό Τμήμα	Κυρίως Ναός	Νάρθηκας & Διάδρομος
Αριθμός Προσανατολισμένων Εικόνων	40	23	29
Συνολικός Αριθμός Εικόνων	145	71	55

Εικόνα 6.1: Σύγκριση πρωτογενών λήψεων με αυτές που τελικά προσανατολίστηκαν

### 6.4 Απόδοση Υφής

Πολύ σημαντικό ρόλο στη διαδικασία εξαγωγής των αρχείων της υφής έπαιξε η καλή οργάνωσή τους γιατί λόγω της πολυπλοκότητας της επιφάνειας έπρεπε να γίνει διαίρεση σε μικρότερα τμήματα για την ορθότερη απόδοση. Ακόμη, ο μεγάλος αριθμός των τριγώνων καθυστέρησε αρκετά τις διαδικασίες λόγω βέβαια και της χαμηλής υπολογιστικής ισχύος.

### 6.5 Ραδιομετρική Διόρθωση Εικόνων

Η μεγαλύτερη δυσκολία που αντιμετωπίστηκε ήταν κυρίως στη συνένωση των πρώτων λήψεων με τις μεταγενέστερες στο εσωτερικό του ναού καθώς τη δεύτερη φορά δεν υπήρχε διαθέσιμος φωτισμός με φλας. Ακόμη, η νότια σκεπή λήφθηκε σε ώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια με αποτέλεσμα το φύλλωμα των δέντρων να σκιάζει μεγάλο μέρος της. Τέλος, μπροστά από τη σκεπή είχε τοποθετηθεί ένα συρματόπλεγμα το οποίο ήταν αναπόφευκτο να φωτογραφηθεί και έτσι να προβληθεί επάνω σε αυτή κατά τη δημιουργία του επενδυμένου μοντέλου.





## **Βιβλιογραφικές Αναφορές**

[1] Διαφάνειες Διαλέξεων Μαθήματος «Αποτυπώσεις Μνημείων», ΣΑΤΜ, ΕΜΠ (01/10/14)

[http://ecourses.dbnet.ntua.gr/el/apotypvseis\\_mnhmeivn.html](http://ecourses.dbnet.ntua.gr/el/apotypvseis_mnhmeivn.html)

[2] Ε. Σοφοκλέους, ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΤΗΣ ΦΟΡΒΙΩΤΙΣΣΑΣ, 2006, Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ

[3] Ν. Σιεηττάνης, ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ Ι. Ν. ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΠΟΔΙΘΟΥ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ, 2008, Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ

[4] Χ. Χρυσοστόμου, ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ Ι. Ν. ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΠΟΔΙΘΟΥ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ ΜΕ ΑΠΛΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ, 2008, Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ

[5] Μ. Φάκα, ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ Ι. Ν. ΤΙΜΙΟΥ ΣΤΑΥΡΟΥ ΣΤΟ ΠΕΛΕΝΔΡΙ ΚΥΠΡΟΣ, 2011, Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ

[6] Γ. Μπαριάμη, ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ Ι. Ν. ΤΙΜΙΟΥ ΣΤΑΥΡΟΥ ΣΤΟ ΠΕΛΕΝΔΡΙ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ, 2011, Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ

[7] Τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου, Μνημεία UNESCO (27/09/14)

[http://www.mcw.gov.cy/mcw/da/da.nsf/DMLunesco\\_gr/DMLunesco\\_gr?OpenDocument](http://www.mcw.gov.cy/mcw/da/da.nsf/DMLunesco_gr/DMLunesco_gr?OpenDocument)

[8] Κυπριακή Εθνική Επιτροπή UNESCO, Παγκόσμια Κληρονομιά της Κύπρου (27/09/14)

[http://www.unesco.org.cy/Programmes-Pagkosmia\\_Klironomia\\_tis\\_Kyproy,GR-PROGRAMMES-04-01-03,GR](http://www.unesco.org.cy/Programmes-Pagkosmia_Klironomia_tis_Kyproy,GR-PROGRAMMES-04-01-03,GR)

[9] Τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου, Εκκλησία Αρχαγγέλου Μιχαήλ (28/09/14)

<http://www.mcw.gov.cy/mcw/DA/DA.nsf/All/45811068711B667542257A780033FD96?OpenDocumev>

t

- [10] Ιερά Μητρόπολης Μόρφου, Εκκλησιαστική αρχιτεκτονική (30/09/14)  
<http://www.immorfou.org.cy/monuments-architecture/324-ecclesiastical-architecture-13th-20th-centuries.html>
- [11] Ιερά Μητρόπολης Μόρφου, Εκκλησία Αρχαγγέλου Μιχαήλ (30/09/14)  
<http://www.immorfou.org.cy/unesco/pedoulas-archangel-michael.html>
- [12] Αρχαιολογικοί Χώροι και Μνημεία της Κύπρου (30/09/14)  
<http://www.unesco.org.cy/DocumentStream.aspx?ObjectType=Document&ObjectID=70>
- [13] Προδιαγραφές επίγειου σαρωτή Scanstation2, Leica (01/10/14)  
[http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation/brochures-datasheet/Leica\\_ScanStation%202\\_datasheet\\_en.pdf](http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation/brochures-datasheet/Leica_ScanStation%202_datasheet_en.pdf)
- [14] Y. Reshetyuk, SELF-CALIBRATION AND DIRECT GEOREFERENCING IN TERRESTRIAL LASER SCANNING, 2009, Doctoral thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden
- [15] J.L. Lerma García, B. Van Genechten, E. Heine, M. Santana Quintero, THEORY AND PRACTICE ON TERRESTRIAL LASER SCANNING, TRAINING MATERIAL BASED ON PRACTICAL APPLICATIONS, 2008, Universidad Politécnica de Valencia, Spain
- [16] Geomagic Studio Support Center  
<http://support1.geomagic.com/ics/support/splash.asp?deptID=5668>
- [17] K. Kraus, ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ, ΤΟΜΟΣ Ι: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ, 2010, Εκδόσεις Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος
- [18] A. Valanis, S. Tapinaki, A. Georgopoulos, C. Ioannidis, HIGH RESOLUTION TEXTURED MODELS FOR ENGINEERING APPLICATIONS, 2009, 22nd CIPA Symposium, Kyoto, Japan
- [19] A. Valanis, S. Fournaros, A. Georgopoulos, PHOTOGRAMMETRIC TEXTURE MAPPING OF COMPLEX OBJECTS, 2010, Euromed Conference, Limassol, Cyprus
- [20] Ε. Μπεντίνι, ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ Ι. Ν. ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΥ ΜΙΧΑΗΛ ΣΤΟΝ ΠΕΔΟΥΛΑ ΚΥΠΡΟΥ, 2015, Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Α. Συντεταγμένες Στόχων Σαρωτή Laser

Εξωτερικά			
a/a	X (m)	Y (m)	H (m)
<b>6001</b>	100.283	102.582	1.276
<b>6002</b>	108.19	106.242	0.872
<b>6003</b>	89.365	99.041	2.039
<b>6004</b>	90.946	115.929	-1.517
<b>6005</b>	94.233	112.518	0.584
<b>6006</b>	95.110	108.818	0.576
<b>6007</b>	98.8315	123.6815	-0.614
<b>6008</b>	107.147	111.468	0.640
<b>6009</b>	105.821	116.257	0.016
<b>6010</b>	96.835	114.825	-0.791
<b>6012</b>	100.555	115.011	0.749

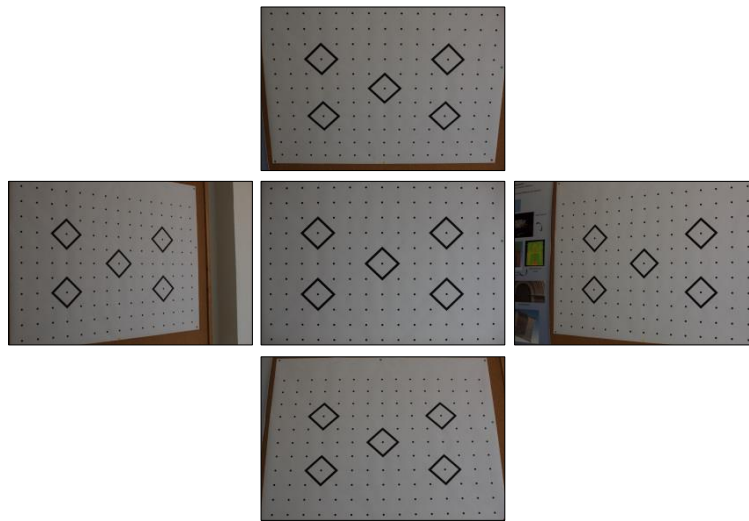
Εσωτερικά			
a/a	X (m)	Y (m)	H (m)
<b>7001</b>	95.887	113.418	0.752
<b>7002</b>	95.166	110.702	-0.466
<b>7003</b>	96.449	108.121	-0.89
<b>7004</b>	106.800	110.864	0.644
<b>7005</b>	101.691	110.572	0.906
<b>7006</b>	100.926	111.087	0.417
<b>7007</b>	97.648	111.373	0.475
<b>7008</b>	100.249	114.233	0.457
<b>7009</b>	105.687	113.892	0.802
<b>7010</b>	101.445	114.4145	-0.9115
<b>7011</b>	102.171	111.526	-0.915

Πίνακας Α.1: Συντεταγμένες στόχων που τοποθετήθηκαν εξωτερικά (αριστερά) και εσωτερικά (δεξιά) του ναού



## **B. Εσωτερικός προσανατολισμός φακού σταθεράς 50 mm**

Στο παράρτημα αυτό παρατίθενται η διαδικασία βαθμονόμησης της φωτογραφικής μηχανής *Canon EOS-1Ds Mark III* με φακό σταθεράς 50mm, που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σ.Α.Τ.Μ. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη βαθμονόμηση της μηχανής είναι το *Image Master Calib*. Η διαδικασία της βαθμονόμησης αποτελεί μια αυτοματοποιημένη διαδικασία και αρκεί μόνο η λήψη πέντε εικόνων (Εικόνα Β.1). του ειδικού φύλλου καλιμπραρίσματος ώστε να προκύψουν οι παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού.



Εικόνα Β.1: Λήψεις καννάβου καλιμπραρίσματος του λογισμικού *Image Master Calib*

## Γ. Θεματικά επίπεδα διαχωρισμού επιφάνειας για την απόδοση της υφής

	α/α	Επιφάνεια	Αρχεία vml		Εικόνες .jpg		
			πριν	μετά	πριν	μετά	
Εσωτερικά	Ιερό Βήμα	1	Αψίδα (αριστερά)	1	1	5	1
		2	Αψίδα (δεξιά)	1	1	6	1
		3	Ανατολικό αέτωμα	1	1	6	1
			Τυφλό τόξο (αριστερά)	1		1	1
			Τυφλό τόξο (δεξιά)	1		1	1
		4	Βόρειος τοίχος	1	1	1	1
			Νότιος τοίχος	1		1	1
			Τέμπλο φάτσα (αριστερά & δεξιά)	2		1	1
			Τέμπλο (σύμβολα)	1		3	1
		Κυρίως Ναός	5	Βόρειος τοίχος	1	1	3
	Πλαίσιο πόρτας (αριστερά)			1	1		1
	Πλαίσιο πόρτας (δεξιά)			1	1		1
	6		Νότιος τοίχος	1	1	3	1
			Πλαίσιο πόρτας (αριστερά)	1		1	1
			Πλαίσιο πόρτας (δεξιά)	1		1	1
	7		Δυτικό αέτωμα	1	1	2	1
			Πλαίσιο πόρτας (αριστερά)	1		1	1
			Πλαίσιο πόρτας (δεξιά)	1		1	1
	8		Δοκάρια	1	1	-	-
	9	Πάτωμα	1	1	-	-	
	10	Αγ. Τράπεζα	1	1	1	1	
	Νάρθηκας & Διαδρόμος	11	Βόρειος τοίχος διαδρόμου	1	1	9	1
Τυφλό τόξο (αριστερά)			1	1		1	
Τυφλό τόξο (δεξιά)			1	1		1	
12		Νότιος τοίχος διαδρόμου	1	1	6	1	
13		Ανατολική είσοδος διαδρόμου	1	1	1	1	
14		Βόρειος τοίχος νάρθηκα	1	1	1	1	
15		Ανατολικός τοίχος νάρθηκα	1	1	4	1	
16		Δυτικός τοίχος νάρθηκα	1	1	7	1	
17	Δοκάρια διαδρόμου	1	1	-	-		
	Δοκάρια νάρθηκα	1		-	-		
18	Πάτωμα	1	1	-	-		
Εξωτερικά	19	Δυτική όψη	1	1	6	1	
	20	Αψίδα ιερού	1	1	18	1	
		Πεζούλι	1	1	4	1	
		Ανατολική είσοδος	2	1	5	2	
		Νότιος Τόιχος	1	1	4	1	
		Δοκάρια & Καμπάνα Ιερού	1	1	2	1	
	21	Βόρεια όψη	1	1	4	1	
		Πλαϊνά πεζουλιών	4	1	4	4	
Βόρεια σκεπή		1	1	2	1		
22	Νότια Σκεπή	1	1	5	1		

