



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

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ**  
**ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΤΙΜΙΟΥ ΣΤΑΥΡΟΥ,**  
**ΣΤΟ ΠΕΛΕΝΔΡΙ, ΚΥΠΡΟΣ.**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΑΡΙΝΑ ΦΑΚΑ**

Αθήνα, Δεκέμβριος 2011



*Στα ανιψάκια μου...*







# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα από όλα, τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, δίνοντάς μου το θέμα αυτό και για τον χρόνο που αφιέρωσε για την επίβλεψη αυτής της εργασίας, αλλά και που σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπισα με χαρά με βοηθούσε, δίνοντάς μου πάντα πολύτιμες συμβουλές και λύσεις στα προβλήματά μου.

Πολλές ευχαριστίες θέλω να εκφράσω για την μεγάλη βοήθειά της στην φίλη και συμφοιτήτρια μου, Γωγώ Μπαριάμη, που σε αυτό το μεγάλο ταξίδι και αγώνα ήμασταν συνοδοιπόρες.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στα μέλη του εργαστηρίου για την βοήθεια τους, κυρίως τον κ. Χαράλαμπο Ιωαννίδη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και την Σεβαστή Ταπεινάκη ΑΤΜ, ΥΔ ΕΜΠ και μέλος Ι.Δ.Α.Χ. Όπως επίσης και τις συμφοιτήτριες μου, Κατερίνα Αδάμ που με χαρά ήρθε μαζί μας στην Κύπρο για να μας βοηθήσει στις εκεί εργασίες και την Έλλη Σταθόπουλου για την βοήθεια που μου πρόσφερε όποτε και αν την χρειάστηκα. Ευχαριστίες οφείλω και στον Κυριάκο Τούμπα, ο οποίος σωτήρια κάθε φορά ασχολείτο με τον υπολογιστή μου για να μου παρέχει ότι μέσα χρειαζόμουν για την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στον κ. Μαρίνο Ιωαννίδη που στο ξεκίνημα φρόντισε για να κυλίσουν όλα ομαλά. Όπως και στον κ. Δημήτρη Σκαρλάτο, Λέκτορα του ΤΕ.ΠΑ.Κ., για τα μέσα που μας παρείχε. Επίσης, ευχαριστούμε τον Μητροπολίτη Λεμεσού, κκ. Αθανάσιο και το Τμήμα Αρχαιοτήτων που μας επέτρεψαν να πραγματοποιήσουμε αυτή την εργασία. Επίσης και τις Κυπριακές αερογραμμές για την δωρεάν μεταφορά των οργάνων. Καθώς επίσης και τον κ. Αντρέα, νεωκόρο της εκκλησίας και την γυναίκα του κ. Αναστασία, που μας διευκόλυναν κατά την διάρκεια των μετρήσεων στο Πελένδρι.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που μου έδωσε την ευκαιρία να δοκιμάσω αυτό το εγχείρημα και για τη στήριξη που μου έδειξαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερα, τώρα στο τέλος, ευχαριστώ την μητέρα μου Μαρία και την νονά μου Όλγα, που με εμπύχωναν και με στήριζαν για να ολοκληρώσω την εργασία μου.





# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καταγραφή και τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι το πρώτο απαραίτητο βήμα για την προστασία της. Η εργασία αυτή, έχει σκοπό την γεωμετρική τεκμηρίωση του Ιερού Ναού του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι. Η μεγάλη καλλιτεχνική αξία των τοιχογραφιών του ναού επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι ο ναός έχει εγγραφεί στον κατάλογο μνημείων της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς του διεθνούς οργανισμού UNESCO μαζί με άλλες εννέα εκκλησίες στην περιοχή του όρους Τροόδους της Κύπρου.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού επιτεύχθηκε με τη συλλογή των δεδομένων, την επεξεργασία τους, για τον προσδιορισμό της θέσης και της πραγματικής μορφής, του σχήματος και του μεγέθους του Ιερού Ναού στο χώρο των τριών διαστάσεων.

Η συλλογή των δεδομένων έγινε με συνδυασμένες μεθόδους τόσο με γεωδαιτικές μετρήσεις, όσο και με φωτογραμμετρικές μετρήσεις, αλλά και με επίγειο σαρωτή Laser. Όλες οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων κάλυπταν τις προκαθορισμένες ακρίβειες.

Στο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων περιλαμβάνεται: η επεξεργασία των τοπογραφικών μετρήσεων, ώστε να ενταχθούν όλες οι μετρήσεις και συνεπώς και τα αποτελέσματα σε ένα ενιαίο τοπικό σύστημα αναφοράς, η επεξεργασία των νεφών σημείων που συλλέχτηκαν από τον επίγειο σαρωτή Laser, ώστε να ενταχθούν και αυτά με τη σειρά τους στο τοπικό σύστημα αναφοράς, καθώς και η μετατροπή τους σε επιφάνεια. Η μετατροπή του νέφους σημείων σε επιφάνεια είναι μια απαραίτητη διαδικασία ώστε να δημιουργηθεί το μοντέλο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας για το στάδιο παραγωγής των ορθοφωτογραφιών, αλλά και για να επενδυθεί με εικονιστική πληροφορία, με παράγωγο την τρισδιάστατη απόδοση. Το τρισδιάστατο αυτό μοντέλο πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις ακριβείας και ταυτόχρονα να είναι εύκολα διαχειρίσιμο, ώστε να είναι κατάλληλο και για διάδοση μέσω διαδικτύου. Οι εικόνες που πάρθηκαν και περιγράφουν το μνημείο προσανατολίστηκαν με φωτογραμμετρικές μεθόδους, ώστε να προκύψουν ορθοφωτογραφίες, αλλά και για την επένδυση του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας.

Τέλος, στην εργασία αυτή συγκρίνονται τα παράγωγα που προέκυψαν από τα διάφορα στάδια της όλης διαδικασίας, καθώς επίσης συγκρίνονται και τα τελικά προϊόντα, με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μία άλλη φωτογραμμετρική διαδικασία συλλογής δεδομένων, με την χρήση του συστήματος Z-Scan, που εφαρμόστηκε στην περίπτωση αυτή. Το Z – Scan έχει το πλεονέκτημα ότι είναι μια αυτοματοποιημένη μέθοδος και δεν απαιτείται ο χρήστης να έχει φωτογραμμετρικές γνώσεις, ενώ το μειονέκτημα είναι η ασυμβατότητά του με άλλα λογισμικά. Το πλεονέκτημα της συμβατικής μεθόδου είναι ότι η λήψη της τρισδιάστατης πληροφορίας με σαρωτή έχει μεγάλη εμβέλεια (200m) και το μειονέκτημά της είναι ότι απαιτείται μεγάλη επεξεργασία του τεράστιου όγκου δεδομένων από τον χειριστή για την κατάληξη στα τελικά προϊόντα.



# ABSTRACT

The documentation of the cultural heritage of a country is the first step towards its preservation and protection. The objective of this project is the geometrical documentation of the Byzantine church of the Holy Cross in the village of Pelendri in the region of the Mount Troodos in Cyprus. The wall paintings in the church are of such great artistic value that the church has been included on the World Heritage List of UNESCO together with 9 other churches of the same region.

The geometrical documentation of the church has been made possible with the collection and processing of all necessary data for the purpose of the determination of its position, its form, its shape and size in 3D.

Data collection was carried out by using Geodetic and Photogrammetric Methodology, as well as Laser scanning all of which covered the pre determined accuracies.

The data processing stage includes: the processing of the topographic measurements for the purpose of their inclusion along with their results in a single local reference system, the processing of point clouds collected by the laser scanner so that they are also included in the local reference system, as well as their conversion into surfaces. Converting point clouds into surfaces is a necessary process for the creation of the model, which will be used as a Digital Surface Model for the stage of orthoimage production but as well for the rendering of the Digital Surface Model. The 3D model has to cover all the demands accurately and at the same time be easily manageable and potentially become available through the internet. The pictures taken depicting the monument were oriented with the use of photogrammetric methods for the creation of orthoimage but also for the texture mapping of the Digital Surface Model.

Finally in this project the various intermediate products are compared, as produced by each stage of the process. In addition the final products are compared to the results which were produced from a different photogrammetric process of data collection that of Z-Scan system, which was used in this case. Z-Scan has the advantage of being an automated method that does not require the user of having a photogrammetric knowledge whereas the disadvantage is the incompatibility with other software. The advantage of this compatible method is the 3D information collection can be in long range (200m) and its disadvantage is the great processing requirement because of the huge volume of data by the user for the production of its final results.



# Πίνακας Περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iii
ABSTRACT .....	v
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	1
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ.....	2
2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	3
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	4
2.3 ΤΟΙΧΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	5
3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	7
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
3.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΗΨΕΩΝ .....	7
3.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ .....	8
3.4 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	9
3.4.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΥΠΑΙΘΡΟΥ.....	12
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	13
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	13
4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ .....	13
4.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
4.2.2 ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΟΥΣ.....	13
4.2.2.1 ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΣΧΕΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ..	13
4.2.2.3 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΥΝΕΝΩΜΕΝΩΝ ΝΕΦΩΝ.....	15
4.2.3 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΝΕΦΟΥΣ ΑΠΟ ΘΟΡΥΒΟ.....	16
4.2.4 ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΜΩΝ.....	18
4.2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	19
4.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ .....	19
4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
4.3.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΤΙΜΙΟΥ ΣΤΑΥΡΟΥ ΣΤΟ ΠΕΛΕΝΔΡΙ.....	19
4.3.2.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	20
4.3.2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	

ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	24
4.3.3 ΕΞΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	27
4.3.4 ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΜΩΝ.....	27
4.3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	27
4.4 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	28
4.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	28
4.4.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	28
4.4.3 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ.....	28
4.4.4 ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΚΑΤΑ ΔΕΣΜΕΣ (BUNDLE ADJUSTMENT).....	29
4.4.4.1 ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΜΠΛΟΚ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	30
4.4.4.2 ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΜΠΛΟΚ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	31
5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	33
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	33
5.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	33
5.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	33
5.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	33
5.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	37
5.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	37
5.3.2 ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ ΣΤΟ IMAGE MASTER.....	37
5.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΧΕΔΙΩΝ.....	40
6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	41
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	41
6.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΤΟΜΩΝ.....	41
6.3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	43
6.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	44
6.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	44
6.4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ.....	45
6.4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.....	48
6.4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	51
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	51
7.2 ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	55







# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η καταγραφή της πολιτισμικής κληρονομιάς κρίνεται απαραίτητο βήμα για την προστασία της. Η εργασία αυτή, έχει σαν σκοπό την γεωμετρική τεκμηρίωση του Ιερού Ναού Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι. Η μεγάλη αξία των τοιχογραφιών του ναού για την τέχνη επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι ναός έχει εγγραφεί στον κατάλογο μνημείων της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς του διεθνούς οργανισμού UNESCO.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού επιτεύχθηκε με τη συλλογή των δεδομένων, την επεξεργασία τους, για τον προσδιορισμό της θέσης και της πραγματικής μορφής, του σχήματος και του μεγέθους του Ιερού Ναού στο χώρο των τριών διαστάσεων.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση περιλαμβάνει την δημιουργία σχεδίων με την γενική οριζοντιογραφία, με τις εξωτερικές όψεις και τις κατακόρυφες τομές. Επίσης περιλαμβάνει την τρισδιάστατη απόδοση με φωτορεαλισμό.

Η συλλογή των δεδομένων έγινε με συνδυασμένη αποτύπωση, τόσο με γεωδαιτικές μεθόδους, όσο και με φωτογραμμετρικές μεθόδους, αλλά και με επίγειο σαρωτή Laser. Η βασική γεωμετρική τεκμηρίωση απαιτεί κλίμακες αποτύπωσης 1:100, ενώ για την λεπτομερειακή γεωμετρική τεκμηρίωση 1:50. Έτσι, όλες οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων κάλυπταν τις προκαθορισμένες ακρίβειες που τέθηκαν για τις κλίμακες αυτές.

Στο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων περιλαμβάνεται: η επεξεργασία των τοπογραφικών μετρήσεων, ώστε να ενταχθούν όλες οι μετρήσεις και συνεπώς και τα αποτελέσματα σε ένα ενιαίο τοπικό σύστημα αναφοράς, η επεξεργασία των νεφών σημείων που συλλέχτηκαν από τον επίγειο σαρωτή Laser ώστε να ενταχθούν και αυτά με τη σειρά τους στο τοπικό σύστημα αναφοράς καθώς και η μετατροπή τους σε επιφάνεια. Η μετατροπή του νέφους σημείων σε επιφάνεια είναι μια απαραίτητη διαδικασία ώστε να δημιουργηθεί το μοντέλο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας για το στάδιο παραγωγής των ορθοφωτογραφιών αλλά και για να επενδυθεί με εικονιστική πληροφορία, με παράγωγο την τρισδιάστατη απόδοση. Το τρισδιάστατο αυτό μοντέλο πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις ακριβείας και ταυτόχρονα να είναι εύκολα διαχειρίσιμο ώστε να είναι κατάλληλο και για διάδοση μέσω διαδικτύου. Οι εικόνες που ελήφθησαν και περιγράφουν τον μνημείο προσανατολίστηκαν με φωτογραμμετρικές μεθόδους ώστε να προκύψουν ορθοφωτογραφίες αλλά και για την επένδυση του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας.

## 1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε επτά συνολικά κεφάλαια.

- Κεφάλαιο 1: Σύντομη εισαγωγή, για το τι διαπραγματεύεται η εργασία αυτή.
- Κεφάλαιο 2: Αναφορά στα ιστορικά στοιχεία του Ιερού Ναού Τιμίου Σταυρού, καθώς και στην αρχιτεκτονική εξέλιξή του και μερικές πληροφορίες για τις τοιχογραφίες που κοσμούν τον Ναό.
- Κεφάλαιο 3: Περιγράφει τη συλλογή των δεδομένων για την παραγωγή των τελικών προϊόντων.
- Κεφάλαιο 4: Περιγράφονται τα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν στο πεδίο, με τη σειρά που ακολουθήθηκαν.
- Κεφάλαιο 5: Περιγράφεται ο τρόπος παραγωγής των τελικών αποτελεσμάτων, των ορθοφωτογραφιών και της τρισδιάστατης περιήγησης.
- Κεφάλαιο 6: Συγκρίνονται τα παράγωγα που προέκυψαν από τα διάφορα στάδια της όλης διαδικασίας καθώς επίσης συγκρίνονται και τα τελικά προϊόντα, με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μία άλλη φωτογραμμετρική διαδικασία συλλογής δεδομένων, αυτής του Z-Scan, που εφαρμόστηκε στην περίπτωση αυτή, καθώς και των δύο μεθοδολογιών.
- Κεφάλαιο 7: Αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν την εργασία και κάποιες προτάσεις.

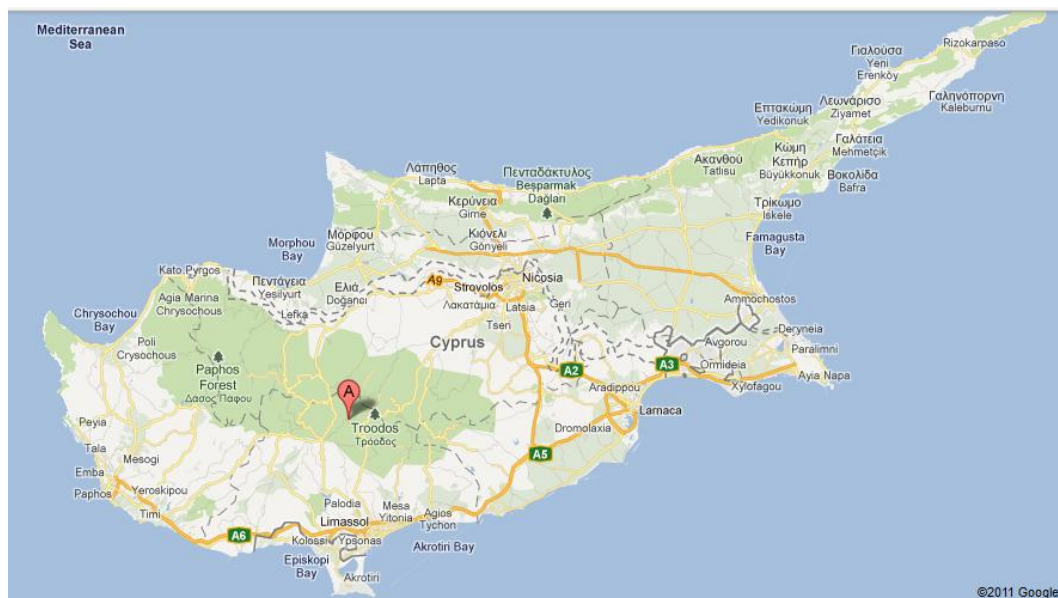
## 2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

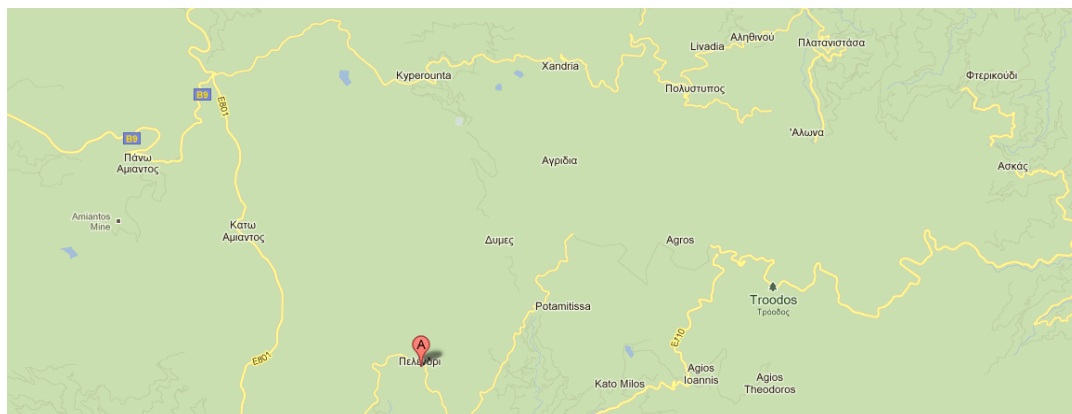
Η εκκλησία του Τίμιου Σταυρού αποτελεί το σημαντικότερο μνημείο της ιστορικής κοινότητας Πελενδρίου και ένα από τα σπουδαιότερα της Κύπρου. Η μεγάλη αξία των τοιχογραφιών του για την τέχνη της Νήσου επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι ναός έχει εγγραφεί στον κατάλογο μνημείων της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς του διεθνούς οργανισμού UNESCO.

Η κοινότητα Πελενδρίου ανήκει στην επαρχία Λεμεσού και βρίσκεται στην οροσειρά του Τροόδους, στο δυτικό άκρο της περιοχής Πιτσιλιάς.

Οι πληροφορίες που παρατίθενται είναι από το βιβλίο του Δόκτωρ Νεκτάριου Ζάρρα που έχει γραφτεί ειδικά για τον συγκεκριμένο Ναό.



Εικόνα 2.1: Κοινότητα Πελενδρίου (A), ο χάρτης προέρχεται από το Googlemaps



Εικόνα 2.2: Κομμάτι του χάρτη 2.1 σε μεγέθυνση στην περιοχή του Πελενδρίου.

## 2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Ο ναός του Τιμίου Σταυρού βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της κοινότητας Πελενδρίου, στη νότια πλευρά της οροσειράς του Τροόδους. Η σημερινή μορφή του ναού δεν είναι αποτέλεσμα μιας οικοδομικής φάσης, αλλά οφείλεται σε πολλές προσθήκες και επεμβάσεις που έγιναν σε διάφορες εποχές. Η εκκλησία του Τιμίου Σταυρού είναι τρίκλιτη βασιλική με τρούλο.

Αρχικά κτίστηκε πιθανότατα ένας μονόχωρος ναός με τρούλο, ενώ δε θα πρέπει να αποκλειστεί και η περίπτωση να ήταν ξυλόστεγος. Σύμφωνα με επιγραφή πάνω από το παράθυρο της αψίδας του Ιερού, η ανέγερση και η πρώτη φάση διακόσμησης του ναού χρονολογούνται το 1178 μΧ.

Στις αρχές του 14<sup>ου</sup> αιώνα η εκκλησία καταστρέφεται από άγνωστη αιτία. Κατά την ανακατασκευή του ναού αυτή την εποχή και πιθανόν στο πλαίσιο του ίδιου οικοδομικού προγράμματος, προστέθηκαν δύο κλίτη στα βόρεια και νότια. Από το αρχικό κτίσμα διασώθηκαν η αψίδα του Ιερού, η οποία ενσωματώθηκε στο νεότερο ναό, οι τοξοστοιχίες, που διαχωρίζουν το κεντρικό από τα πλάγια κλίτη και ο δυτικός τοίχος. Τμήμα του βορείου κλίτους και ολόκληρο σχεδόν το νότιο κατέρρευσαν από άγνωστη επίσης αιτία ίσως στο 15<sup>ο</sup> αιώνα. Κατά την ανακατασκευή τους τα δύο κλίτη κατασκευάζονται φαρδύτερα από τα αρχικά και οι ανατολικοί τοίχοι τους γίνονται ευθύγραμμοι χωρίς αψίδα.

Ο πυρήνας του κεντρικού κλίτους διαμορφώνεται από τέσσερις παραστάδες, οι οποίες φέρουν τόξα στα βόρεια και νότια και καμάρες στα ανατολικά και δυτικά που στηρίζουν τον τρούλο. Στα δυτικά η καμάρα στηρίζεται σε τόξα, τα οποία εδράζονται στις παραστάδες του κεντρικού πυρήνα και σε εκείνες που εφάπτονται με το δυτικό τοίχο. Με ανάλογο τρόπο επιτυγχάνεται και η στήριξη της ανατολικής καμάρας. Τα πλάγια κλίτη καλύπτονται από ελαφρώς οξυκόρυφες καμάρες και επικοινωνούν με το κεντρικό από τα δύο τοξωτά ανοίγματα της νότιας και βόρειας τοξοστοιχίας.

Από το εσωτερικό του ναού του Τιμίου Σταυρού αξίζει να σημειωθεί η ξύλινη κατασκευή πάνω από την δυτική είσοδο. Πρόκειται για μικρό εξώστη που στηρίζεται σε ξύλινες δοκούς από το δυτικό τοίχο. Η στερέωσή του είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή των τοιχογραφιών στη θέση αυτή και τμήματος της κτιτορικής επιγραφής, που αναφέρεται στη διακόσμηση του ναού το 14<sup>ο</sup> αιώνα.

Εξωτερικά η τοιχοδομία αποτελείται από την τυπική για την περιοχή αργολιθοδομή σε συνδυασμό με οπτόπλινθους. Ο ανθεκτικός γκριζοπράσινος λίθος της οροσειράς του Τροόδους αποτελεί χαρακτηριστικό υλικό της τοιχοποιίας μαζί με σπασμένα τούβλα και χαλίκια. Με εξαίρεση τον τρούλο, ολόκληρος ο ναός καλύπτεται σήμερα από μεγάλη δίρριχτη στέγη καλυμμένη με κεραμίδια. Στην ανατολική πλευρά του νότιου κλίτους διατηρείται σε χαμηλό ύψος η θεμελίωση της αψίδας του Ιερού που πιθανόν να σχετίζεται με τη φάση του 14<sup>ου</sup> αιώνα, όταν ανακατασκευάζεται ο ναός. Στην αψίδα του Ιερού το γείσο από μονή σειρά πλίνθων αποτελεί το μοναδικό διακοσμητικό στοιχείο.



Εικόνα 2.3: Βόρεια άποψη της εκκλησίας του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι.

Τα λιγοστά παράθυρα στους τοίχους και στον τρούλο καλύπτονται από νεότερα γύψινα διαφράγματα που σχηματίζουν γεωμετρικά μοτίβα εκτός από το ανατολικό παράθυρο του νότιου κλίτους και το δυτικό του βορείου, τα οποία φέρουν τζαμιλίκι και φράζονται με σιδεριά. Ο ναός του Τιμίου Σταυρού σήμερα έχει τρεις εισόδους στα βόρεια, στα νότια και μία στο κέντρο της δυτικής πλευράς, πάνω από την οποία ανοίγεται αβαθές τυφλό αψίδωμα που φέρει ίχνη γραπτού διακόσμου.

Το διάστημα 1971-1972, κατά τη διάρκεια εργασιών συντήρησης του ναού, διαπιστώθηκε η ύπαρξη παλαιότερων τοιχογραφιών κάτω από το στρώμα του 14<sup>ου</sup> αιώνα στην αψίδα του ιερού Βήματος. Συγκεκριμένα αποκαλύφθηκαν η Μικρή Δέηση, έξι συλλειτουργούντες ιεράρχες και ο διάκονος Στέφανος. Για αυτές τις τοιχογραφίες σημαντικές πληροφορίες παρέχει η επιγραφή στο κέντρο της αψίδας.

Οι τοιχογραφίες φέρουν πολλαπλά χτυπήματα για τη στερέωση του κονιάματος της διακόσμησης του 14<sup>ου</sup> αιώνα.

## 2.3 ΤΟΙΧΟΓΡΑΦΙΕΣ

Από άποψη τεχνοτροπίας, οι τοιχογραφίες του 1178 στο ναό ακολουθούν μια έντονη σχηματοποίηση και γραμμικότητα στο σχέδιο, στοιχεία που συνδυάζονται με κάποια στοιχεία μανιερισμού. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εντάσσουν τις τοιχογραφίες σε ένα επαρχιακό, λαϊκότροπο ρεύμα, που βρίσκεται στον αντίποδα της μεγάλης υστεροκομνήνειας τέχνης του τέλους του 12<sup>ου</sup> αιώνα στην Κύπρο. Το διαφορετικό ύφος των τοιχογραφιών οδήγησε στην άποψη περί ενδεχόμενης παλαιστινιακής προέλευσης ζωγράφου.

Ο ναός μετά την καταστροφή που υπέστη το 14<sup>ο</sup> αιώνα ανακατασκευάστηκε και διακοσμήθηκε με τοιχογραφίες, οι οποίες σήμερα καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του. Βασικό χαρακτηριστικό της διακόσμησης του 14<sup>ου</sup> αιώνα στο ναό είναι η

συνύπαρξη διαφορετικών καλλιτεχνικών τάσεων. Η μελέτη της τεχνοτροπίας στο κεντρικό κλίτος του ναού οδηγεί στη διαπίστωση ότι εργάστηκαν τέσσερις ζωγράφοι.

Μετά την αποκάλυψη των τοιχογραφιών του 1178 στην αψίδα του Βήματος, κατά τις εργασίες καθαρισμού και συντήρησης του διακόσμου του ναού από το Τμήμα Αρχαιοτήτων της Κύπρου, εκείνες του δεύτερου στρώματος αποκολλήθηκαν και τοποθετήθηκαν επάνω σε ένα πρόσθετο ψευδότοιχο, στο αντίστοιχο σημείο του νότιου κλίτους, όπου βρίσκονται μέχρι και σήμερα.



*Εικόνα 2.4 & 2.5: Κομμάτι της τοιχογραφίας του 1178 μ.Χ., της αψίδας του Βήματος, που αποκαλύφθηκε κατά τις εργασίες καθαρισμού και συντήρησης του ναού. Στην δεύτερη εικόνα είναι κομμάτι της τοιχογραφίας του δεύτερου στρώματος που αποκολλήθηκε και βρίσκεται στο νότιο κλίτος.*

Οι τοιχογραφίες καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του ναού, ενώ η συνύπαρξη της παλαιολόγιας βυζαντινής και της εντόπιας ζωγραφικής αντικατοπτρίζει τις κοινωνικές και πολιτισμικές συνθήκες που επικρατούν στην Κύπρο.

Επειδή πρόκειται για μία ιστορικής και ταυτόχρονα μεγάλης καλλιτεχνικής σημασίας εκκλησία, κρίθηκε απαραίτητη η αποτύπωσή της με φωτογραμμετρική μεθοδολογία, λόγω της σημαντικότητας και της λεπτομέρειας των τοιχογραφιών.

## 3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή όλων των εργασιών που έγιναν στην εκκλησία του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι με στόχο τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για την παραγωγή των τελικών προϊόντων.

### 3.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΗΨΕΩΝ

Πριν από κάθε τεχνική ενέργεια είναι απαραίτητη η αναγνώριση της περιοχής και η εξοικείωση με το ίδιο το αντικείμενο τόσο από άποψη γεωμετρίας, όσο και από ιστορική άποψη. Η ενημέρωση για τη σπουδαιότητα του ιστορικού χώρου και την ιστορία της κατασκευής του έγινε με τη βοήθεια σχετικών βιβλίων που αναφέρονταν στο συγκεκριμένο ναό.

Παράλληλα, τέθηκε ο βασικός στόχος της γεωμετρικής τεκμηρίωσης της εκκλησίας με την παραγωγή των 4 εξωτερικών όψεων, 7 εσωτερικών κατακόρυφων τομών και μιας οριζόντιας τομής. Οι τομές αυτές θα περιλαμβάνουν και ορθοφωτογραφίες των λεπτομερειών του Ναού. Επίσης, θα καταβληθεί προσπάθεια για την παραγωγή μιας τρισδιάστατης εικονικής περιήγησης. Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες του αντικείμενου και τις απαιτήσεις σε ακρίβεια της συγκεκριμένης εργασίας έγινε η επιλογή της 1:50 ως κλίμακα των τελικών προϊόντων, ώστε να προγραμματιστούν οι διάφορες εργασίες έτσι που να ανταποκρίνονται κάθε φορά σε αυτήν.

Για το σκοπό αυτό αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από διάφορες σύγχρονες πηγές, δηλαδή τοπογραφικές μετρήσεις, φωτογραμμετρικές λήψεις και σαρώσεις με επίγειο σαρωτή laser. Οι εικόνες πάρθηκαν με σκοπό να μπορούν να αποδώσουν την υφή στο τρισδιάστατο μοντέλο, με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, όπως το Image Master<sup>®</sup> της Topcon. Από το επενδεδυμένο μοντέλο θα προκύψουν και οι ορθοφωτογραφίες των οψοτομών. Για την διαδικασία επένδυσης του τρισδιάστατου μοντέλου απαιτούνται προσανατολισμένες εικόνες και τον προσανατολισμό στις εικόνες δίνουν τα φωτοσταθερά.

Η τοποθέτηση και μέτρηση φωτοσταθερών (προσημασμένων σημείων) ή σημείων λεπτομέρειας πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας κατά το δυνατόν το πρότυπο που περιγράφεται στον προγραμματισμό πτήσης (Kraus, 2003).

Η τοποθέτηση των φωτοσταθερών για τις εξωτερικές όψεις έγινε σε σημεία που απείχαν όσο το δυνατόν λιγότερο από τα ιδεατά σημεία, στις θέσεις Gruber, που προέκυψαν μέσα από τον θεωρητικό σχεδιασμό. Για τη σήμανσή τους χρησιμοποιήθηκαν τετράγωνοι στόχοι διαστάσεων 4x4 cm, οι οποίοι κολλήθηκαν πάνω σε πέτρες, ενώ για τα υψηλότερα σημεία όπου ήταν απρόσιτα αντί για φωτοσταθερά επιλέγησαν σημεία λεπτομερειών. Για το εσωτερικό, επειδή ήταν αδύνατη η τοποθέτηση φωτοσταθερών μιας και θα προκαλούσαν ζημιά στις αγιογραφίες, ενώ ταυτόχρονα τα φ/σ θα απόκρυπταν και πολύτιμη πληροφορία,

μετρήθηκαν μόνο σημεία λεπτομερειών. Τα σημεία αυτά (φ/σ και σημεία λεπτομερειών) μετρήθηκαν και σημειώθηκαν σε φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν ως κροκί. Η μέτρηση των φωτοσταθερών έγινε από στάσεις που υπήρχε ορατότητα.

Σε όσα τμήματα το προς αποτύπωση αντικείμενο ήταν επίπεδο, η λήψη των εικόνων έγινε με το σκεπτικό η παραγωγή των ορθοφωτογραφιών να γίνει με αναγωγή. Ενώ σε περιπτώσεις που το αντικείμενο δεν ήταν επίπεδο πάρθηκαν στερεοσκοπικά ζεύγη. Οι περισσότερες εικόνες πάρθηκαν μετωπικά προς τις λεπτομέρειες (ειδικά στο εσωτερικό του ναού).

Ο διαθέσιμος εξοπλισμός φωτογράφισης ήταν μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, CANON EOS MIII με μέγεθος αρνητικού 36x24mm (Full frame) με φακό 24mm και 50mm. Η κλίμακα λήψης μπορεί κατά κανόνα να είναι μικρότερη από την κλίμακα του παραγώγου, συνεπώς μικρότερη από 1:50. Εμπειρικά έχει αποδειχθεί ότι η κλίμακα λήψης δεν πρέπει να είναι περισσότερο από 5-6 φορές μικρότερη από την κλίμακα παραγώγου, έτσι έγινε προσπάθεια η κλίμακα των φωτογραφιών να μην είναι μικρότερη από 1:300. Το μέγεθος του pixel της μηχανής είναι 6.4μm. Με κλίμακα λήψης 1:300 αυτό δημιουργεί μια εδαφοψηφίδα (μέγεθος αντικειμένου που απεικονίζεται σε ένα pixel)  $300 \times 0.0064 \text{mm} = 1,92 \text{mm}$ . Η απαιτούμενη ακρίβεια στην 1:50 είναι 15mm ή στα ψηφιακά 5mm. Συνεπώς και με ένα pixel ακρίβεια να γίνονται οι μετρήσεις, που είναι καλύτερη από την απαιτούμενη, η συγκεκριμένη κλίμακα καλύπτει τις προδιαγραφές. Σε αυτήν την περίπτωση ούτως ή αλλιώς δεν υπάρχει πρόβλημα κατά την απόδοση λόγω και της μεγάλης ανάλυσης της μηχανής.

### 3.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ

Για την καταγραφή όσον το δυνατόν περισσότερης πληροφορίας και λεπτομέρειας του μνημείου, χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής *Laser Scan Station 2* της εταιρείας *Leica*. Ο συγκεκριμένος σαρωτής είναι ένας σαρωτής παλμού με μεγάλο βεληνεκές που μπορεί να φτάσει και τα 250 m, αλλά περιορισμένης ακρίβειας που είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών. Ενδεικτικά, δίνεται ως ακρίβεια σάρωσης 6 mm σε απόσταση 50 m από το αντικείμενο. Το πεδίο σάρωσης του σαρωτή είναι  $360^\circ \times 270^\circ$ . Με σκοπό τη συνένωση των νεφών που θα προέκυπταν από τις διάφορες σαρώσεις τόσο για το εξωτερικό όσο και για το εσωτερικό του ναού τοποθετήθηκαν ειδικοί στόχοι με υψηλή ανακλαστικότητα προκειμένου να τους αναγνωρίζει αυτόματα ο σαρωτής. Οι στόχοι καταγράφηκαν σε αυτοσχέδια που δημιουργήθηκαν.

Για να πραγματοποιηθεί η πλήρης σάρωση του ναού ο σαρωτής στήθηκε σε πέντε διαφορετικές θέσεις στο εσωτερικό και σε επτά στο εξωτερικό. Οι διάφορες θέσεις που τοποθετήθηκε ο σαρωτής καθώς και το πεδίο συλλογής πληροφορίας φαίνεται στο σκαρίφημα που ακολουθεί (*Εικόνα 3.1*). Με σκοπό τη συλλογή δεδομένων για όλο το ναό, δόθηκε μεγάλη προσοχή προκειμένου να μη δημιουργούνται κενά μεταξύ των σαρώσεων που θα οδηγήσουν σε έλλειψη πληροφορίας, καθώς και στην ύπαρξη τουλάχιστον τριών κοινών στόχων μεταξύ των διαδοχικών σαρώσεων, προκειμένου να είναι δυνατή η συνένωσή τους. Στο τέλος κάθε σάρωσης, γίνονταν η αντιστοίχιση της ορθής αριθμησης τους. Οι ειδικοί στόχοι μετρήθηκαν και γεωδαιτικά



με γεωδαιτικό σταθμό και οι συντεταγμένες των στόχων δόθηκαν στο τοπικό σύστημα που δημιουργήθηκε. Για τις σαρώσεις επιλέχτηκε πυκνότητα σημείων 1cm με βάση την λεπτομέρεια του αντικειμένου.



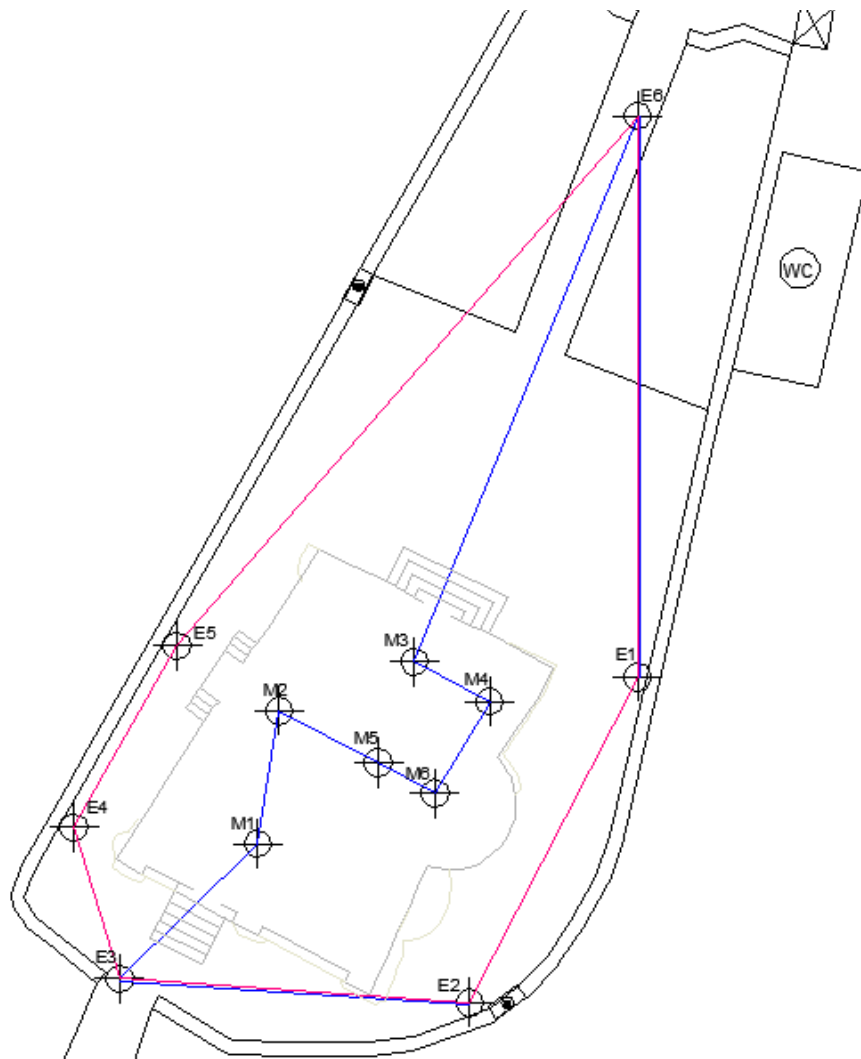
Εικόνα 3.1: Σκαρίφημα με τις θέσεις του σαρωτή και το άνοιγμά του. Το σκαρίφημα προέρχεται από τις τομές που προέκυψαν από το λογισμικό Cyclone.

### 3.4 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Για την μέτρηση των φωτοσταθερών, των στόχων των σαρώσεων, αλλά και για τον προσδιορισμό των γραμμών τομής δημιουργήθηκε ένα πολυγωνομετρικό δίκτυο. Η επιλογή των στάσεων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να μην δημιουργούνται κενά στις μετρήσεις, αλλά ταυτόχρονα να είναι και οι ελάχιστες δυνατές. Δημιουργήθηκαν δύο οδεύσεις, μία κλειστή εξωτερικά του ναού, περιμετρικά της εκκλησίας, στον περίβολο, η οποία ήταν η κύρια όδευση και μία στο εσωτερικό του ναού που κάλυπτε το εσωτερικό της εκκλησίας, η δευτερεύουσα. Η κύρια όδευση ήταν κλειστή ανεξάρτητη και αποτελείτο από έξι στάσεις. Η δευτερεύουσα όδευση ήταν ανοικτή εξαρτημένη από τις στάσεις της εξωτερικής όδευσης. Σχεδιάγραμμα με τις στάσεις των οδεύσεων παρατίθεται παρακάτω (Εικόνα 3.2).

Για να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των στάσεων των οδεύσεων, έγιναν κατάλληλες μετρήσεις από όλες τις στάσεις. Το πολύγωνο και η τεθλασμένη γραμμή

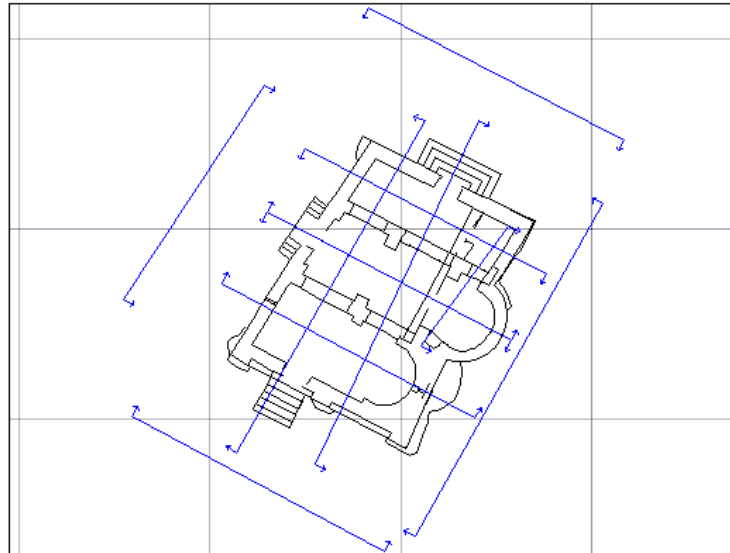
που σχηματίζουν οι κορυφές των στάσεων αντιμετωπίστηκαν ως δίκτυο και επιλύθηκαν με εφαρμογή MET. Ως αφετηρία θεωρήθηκε η E1 της εξωτερικής όδευσης με συντεταγμένες  $X_{E1}=Y_{E1}=Z_{E1}=100m$ . Για την εύρεση των υψομέτρων των στάσεων προτιμήθηκε να εφαρμοστεί η μέθοδος της τριγωνομετρικής υψομετρίας αντί της γεωμετρικής χωροστάθμησης. Η χρήση αυτής της μεθόδου για τον προσδιορισμό των υψομέτρων των κορυφών των οδεύσεων έγινε καθώς υπήρχαν απρόσιτα σημεία με δυσκολία πρόσβασης. Επιπλέον, η ακρίβεια από την τριγωνομετρική υψομετρία καλύπτει την απαιτούμενη ακρίβεια της εργασίας, συμβάλλοντας παράλληλα και στην οικονομία χρόνου αφού μειώθηκε ο χρόνος παραμονής στο πεδίο για αυτή την εργασία.



Εικόνα 3.2: Τμήμα του τοπογραφικού σχεδίου, με τις οδεύσεις. Η τεθλασμένη γραμμή με το χρώμα ματζέντα απεικονίζει την κύρια όδευση, ενώ με το μπλε χρώμα τη δευτερεύουσα.

Αφού επιλύθηκε η όδευση και με γνωστές πλέον τις συντεταγμένες των κορυφών, μετρήθηκαν τα απαραίτητα σημεία για τις τομές. Οι τομές που αποφασίστηκε να γίνουν ήταν η κατά μήκος νότια, η βόρεια, οι δύο κεντρικές (μία με προβολή προς νότο και η άλλη προς βορρά), εγκάρσια δυτική, κεντρική και ανατολική, καθώς και μία οριζόντια. Οι τομές έγιναν και για το εσωτερικό και για το εξωτερικό του ναού εκτός

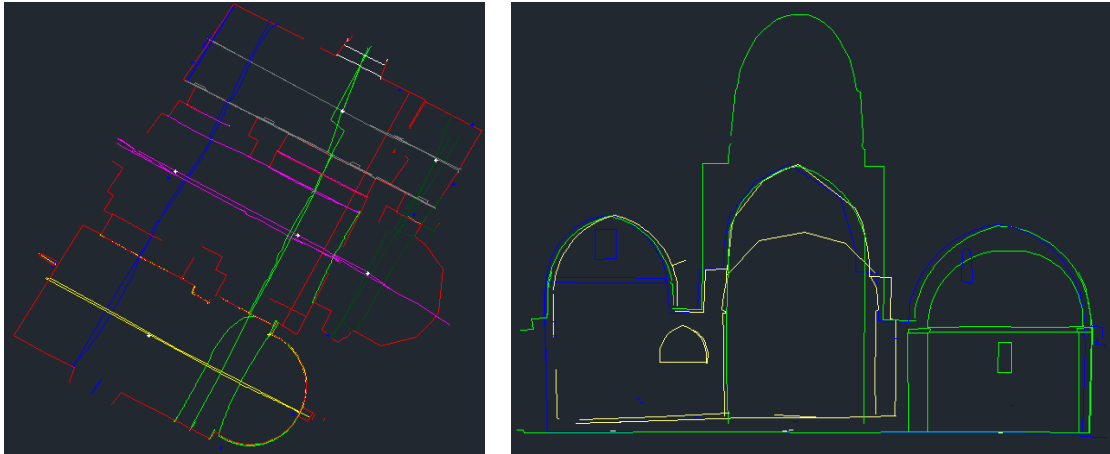
από την κατά μήκος ανατολική, η οποία είναι αυτή που τεκμηριώνει το ιερό και έγινε μόνο για το εσωτερικό για να δώσει μια λεπτομερή άποψη του. Επίσης, η οριζόντια τομή έγινε στο ένα μέτρο από το δάπεδο του εσωτερικού του ναού και σύμφωνα με αυτήν τη στάθμη μετρήθηκαν και τα εξωτερικά στοιχεία της.



Εικόνα 3.3: Κάτοψη του ναού με τα ίχνη των τομών και των οψοτομών.

Για τις τομές στο εσωτερικό του ναού έγινε χρήση του λογισμικού TheoLT. Το πρόγραμμα αυτό, συνδέεται μέσω του υπολογιστή με τον γεωδαιτικό σταθμό και ταυτόχρονα με ένα σχεδιαστικό περιβάλλον CAD. Αποτελεί ουσιαστικά τον ενδιάμεσο κρίκο, ώστε οι μετρήσεις από το όργανο να σχεδιάζονται απευθείας στο περιβάλλον του AutoCAD. Στο πρόγραμμα αυτό, εισάγονται οι συντεταγμένες των κορυφών της όδευσης. Στη συνέχεια ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετείτε σε όποια κορυφή είναι αναγκαία η λήψη σημείων, στο πρόγραμμα δηλώνονται σε ποια στάση βρίσκεται το όργανο και το ύψος του, καθώς επίσης και η στάση μηδενισμού. Αφού ο γεωδαιτικός σταθμός πάρει την μέτρηση, γίνεται από το πρόγραμμα ένας έλεγχος αν συμφωνούν τα στοιχεία του μηδενισμού με τα στοιχεία των συντεταγμένων που εισήχθησαν σε προηγούμενο στάδιο και καλείται ο χειριστής να αποδεχτεί ή να απορρίψει και να επαναληφθεί η μέτρηση μηδενισμού ανάλογα με το σφάλμα που υπολογίζει το πρόγραμμα.

Το πρόγραμμα αυτό, παρέχει την δυνατότητα παρακολούθησης των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο σε σχεδιαστικό περιβάλλον, καθώς και την ένωση των διαφόρων σημείων μεταξύ τους με γραμμές, ή τόξα ή οτιδήποτε άλλο περιγράφει καλύτερα τα σημεία. Έτσι μετά το τέλος των μετρήσεων των τομών, υπάρχουν έτοιμα σχέδια των τομών με πληροφορία στις τρεις διαστάσεις.



Εικόνα 3.4 & 3.5: Το AutoCAD αρχείο όπως προέκυψε μετά το τέλος των μετρήσεων σε άνοψη (3.4), και με γωνία θέασης από δυσμάς προς ανατολάς (3.5).

Τέλος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την αποτύπωση της ευρύτερης περιοχής του ναού για τη δημιουργία ενός τοπογραφικού σε μικρότερη κλίμακα (1:100).

### 3.4.1 Προβλήματα Μετρήσεων Υπαίθρου

Κατά την διάρκεια των τοπογραφικών μετρήσεων παρουσιάστηκαν διάφορα προβλήματα, τα οποία δυσκόλεψαν και καθυστέρησαν την πρόοδο των εργασιών.

- Οι καιρικές συνθήκες: οι έντονες βροχοπτώσεις απαγόρευαν τις εξωτερικές μετρήσεις για τρεις μέρες, ενώ ταυτόχρονα κατέστρεψαν φωτοσταθερά με αποτέλεσμα να πρέπει να παρθούν περιμετρικά των φ/σ σημεία λεπτομερειών.
- Λόγω της σημαντικότητας του μνημείου, υπήρχε αθρόα προσέλευση προσκυνητών, αλλά και περιηγητών, προκαλώντας καθυστέρηση στις εργασίες της ομάδας, αλλά και φθορά στα σημάδια των κορυφών της όδευσης.

Κατά τη μέτρηση των σημείων λεπτομέρειας, στο εσωτερικό του ναού, από τη στάση M5, παρατηρήθηκε η έντονη φθορά του σημείου της στάσης από τον νεωκόρο, ο οποίος κατά τον καθαρισμό της εκκλησίας αλλοίωσε το σημείο.

## 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων από τον Ιερό Ναό, ακολουθεί η επεξεργασία τους, ώστε να προκύψουν τα τελικά προϊόντα. Οι διαδικασίες όπου αναπτύσσονται παρακάτω είναι με τη σειρά που έχουν γίνει.

### 4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ

#### 4.2.1 Εισαγωγή

Η επεξεργασία των νεφών περιλαμβάνει τη διαδικασία της συνένωσης των νεφών στο ειδικό λογισμικό Cyclone 7.1.1 της Leica που συνοδεύει τον σαρωτή, αλλά και τον καθαρισμό των νεφών από το θόρυβο. Προκειμένου να συνενωθούν τα διάφορα νέφη σημείων, που είναι το αποτέλεσμα κάθε επί μέρους σάρωσης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη τουλάχιστον τριών κοινών, δηλαδή ομόλογων, σημείων σε κάθε ζεύγος νεφών, όπως, άλλωστε αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Οι άγνωστοι σε κάθε συνένωση είναι οι τρεις στροφές και οι τρεις μεταθέσεις. Η κλίμακα είναι η ίδια και γνωστή (1:1) για όλα τα νέφη με δεδομένο τον τρόπο λειτουργίας του σαρωτή. Θεωρητικά, για τον προσδιορισμό των αγνώστων είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός πλήρους σημείου (X,Y,Z) και τριών υψομετρικών σημείων. Εν προκειμένω όμως, δεν είναι δυνατός ο διαχωρισμός υψομετρικών και πλήρων σημείων, συνεπώς απαιτούνται τρία (πλήρη) σημεία. Αποτέλεσμα της διαδικασίας συνένωσης είναι η δημιουργία ενός κοινού νέφους σημείων σε ένα σύστημα αναφοράς και η εκτίμηση του σφάλματος για τη συνένωση. Η δεύτερη διαδικασία που πραγματοποιείται σε αυτό το στάδιο είναι ο χονδροειδής καθαρισμός των νεφών από το θόρυβο που περιλήφθηκε στις σαρώσεις.

#### 4.2.2 Συνένωση των Νεφών και Γεωαναφορά τους

Για την αποτελεσματικότερη συνένωση των νεφών, κατά την διάρκεια των σαρώσεων δημιουργήθηκαν δύο βάσεις σημείων, μία μέσα και μία έξω, όπου στην κάθε μία συμπεριλαμβάνονται τα αντίστοιχα νέφη σημείων (5 και 7 αντίστοιχα). Αυτό είχε ως πρόσθετο πλεονέκτημα την ευκολότερη διαχείριση της συνένωσης και τον αποτελεσματικότερο καθαρισμό τους από τον θόρυβο και τα περιττά σημεία. Στο τέλος, με τη βοήθεια των στόχων που είχαν μετρηθεί σε κοινό σύστημα αναφοράς, πραγματοποιήθηκε η συνένωση των επιμέρους σαρώσεων της κάθε βάσης.

##### 4.2.2.1 Συνένωση των νεφών σε ένα σχετικό σύστημα

Η διαδικασία της συνένωσης που ακολουθείται στο Cyclone περιγράφεται παρακάτω. Στις δύο βάσεις, δημιουργήθηκε ένα καινούριο ScanWorld και σε αυτό ένα Registration, στο οποίο εισήχθησαν όλα τα νέφη. Σε αυτό το Registration δόθηκε η εντολή να γίνει η συνένωση των νεφών σε ένα σύστημα με σωστή κλίμακα αλλά

αυθαίρετο, με βάση τους ειδικούς στόχους του οργάνου, αλλά και με την ειδική εντολή που παρέχει για συνένωση σημείου με σημείου.

Το πρόγραμμα υπολογίζει τα σφάλματα της συνένωσης για κάθε στόχο μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων. Εξετάζοντας τα σφάλματα αυτά και πραγματοποιώντας δοκιμές με τους στόχους που θα χρησιμοποιηθούν στην τελική συνένωση γίνεται προσπάθεια για τη βέλτιστη επίλυση με τα μικρότερα δυνατά σφάλματα.

Μέχρι την κατάληξη στη βέλτιστη λύση, δημιουργήθηκαν διάφορα Registrations και ελέχθησαν τα αποτελέσματά τους προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η βέλτιστη επίλυση.

Το μεγαλύτερο σφάλμα από τη συνένωση στο εσωτερικό του ναού το έδωσε ο στόχος ST2 μεταξύ της συνένωσης της Βόρειας και της Νότιας στάσης με σφάλμα 4mm το οποίο όμως είναι μέσα στα ανεκτά σφάλματα. Επίσης, κατά την εξωτερική συνένωση το σφάλμα στο στόχο ST12 μεταξύ της Στάσης 1 και της 2 ήταν μεγαλύτερο, 9mm, αλλά και πάλι εντός των ανεκτών ορίων. Τα αποτελέσματα που έδωσε το πρόγραμμα κατά τις συνενώσεις δίνονται σε πίνακες στο παράρτημα. Κατά τη συνένωση των νεφών στο εξωτερικό του ναού, 3 στόχοι δεν συμπερίληφθηκαν καθόλου στη συνένωση γιατί η σάρωσή τους από τις συγκεκριμένες στάσεις δεν ήταν καλή, καθώς και επειδή δίνουν μεγάλα σφάλματα. Ο λόγος που δεν σαρώθηκαν σωστά είναι ότι η γωνία θέασης του στόχου από το σαρωτή δεν ήταν αρκετά μετωπική με αποτέλεσμα ο στόχος να μην έχει υψηλή ανατανακλαστικότητα και έτσι ο σαρωτής αδυνατούσε να τον ανιχνεύσει ως στόχο και συνεπώς να ανιχνεύσει το κέντρο του.

Το μέσο σφάλμα ήταν εντός των ορίων τόσο για τη συνένωση των εσωτερικών νεφών, όσο και για τα εξωτερικά νέφη. Τα μέγιστα σφάλματα δεν ήταν στα ανεκτά όρια σφάλματος, φτάνοντας σε μερικές περιπτώσεις τα 11cm, όμως αυτά πιθανώς να οφείλονται σε μετακινούμενα στοιχεία, όπως τα σύρματα του υπολογιστή, αλλά και διάφορα άλλα αντικείμενα που συνόδευσαν τον σαρωτή από μία θέση σε άλλη και δεν παρέμεναν σταθερά με αποτέλεσμα να προκαλούν αυτά τα μεγάλα σφάλματα.

Νέφη σημείων	Αριθμός κοινών στόχων	Κοινοί στόχοι
Μεσαία–Βόρεια	4	ST1, ST2, ST3, ST5
Μεσαία–Νότια	3	ST1, ST2, ST4
Ιερό Κεντρική–Ιερό Βόρεια	3	ST7, ST8, ST9
Βόρεια–Νότια	2	ST1, ST2
Μεσαία-Ιερό Κεντρική	1	ST1
Βόρεια–Ιερό Κεντρική	1	ST1
Μεσαία-Ιερό Βόρειο	1	ST3
Νότια–Ιερό κεντρική	1	ST1
Ιερό Βόρεια–Βόρεια	2	ST6, ST3

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας με το πλήθος των στόχων ανά ζεύγος σαρώσεων για το εσωτερικό του ναού.

Νέφη Σημείων	Αριθμός κοινών στόχων	Κοινοί στόχοι
S1-S2	4	ST12, ST13, ST14, ST15
S2-S3	4	ST13, ST14, ST15, ST16
S3-S4	4	ST17, ST18, ST19, ST20
S4-S5	2	ST18, ST19
S5-S6	3	ST10, ST18, ST21
S6-S7	1	ST10
S1-S7	4	ST10, ST11, ST12, ST13
S7-S2	2	ST12, ST13
S1-S3	3	ST13, ST14, ST15
S3-S5	2	ST18, ST19
S1-S6	1	ST10
S5-S7	1	ST10
S4-S6	1	ST18
S3-S7	1	ST13
S1-S5	1	ST10
S3-S6	1	ST18

*Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικός πίνακας με το πλήθος των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν ανά ζεύγος σαρώσεων στο εξωτερικό του ναού.*

Οι παραπάνω πίνακες δείχνουν για το εσωτερικό και το εξωτερικό του ναού αντίστοιχα, τον αριθμό των κοινών στόχων που υπήρχαν ανά ζεύγος σαρώσεων. Όπως φαίνεται από τους πίνακες, δεν είναι αναγκαίο όλες οι σαρώσεις να έχουν μεταξύ τους τρεις κοινούς στόχους για να επιτευχθεί η συνένωση τους. Το πρόγραμμα αρχίζει με τη συνένωση όσων σαρώσεων έχουν μεταξύ τους τρεις τουλάχιστον στόχους και με τα συνενωμένα πλέον νέφη προχωρά στη συνένωση με τα υπόλοιπα, αφού αθροίζεται και το πλήθος των στόχων, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η συνθήκη για τους 3 στόχους και να επιτυγχάνεται η συνένωση όλων των νεφών.

#### 4.2.2.3 Γεωαναφορά των συνενωμένων νεφών

Στη συνέχεια εισάγονται στο πρόγραμμα οι γεωδαιτικές μετρήσεις των στόχων. Στο αρχείο ASCII με τις συντεταγμένες των στόχων γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις ώστε να αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα. Ακολούθως, δημιουργείται ένα νέο Registration, στο οποίο εισάγεται το συνενωμένο πλέον ScanWorld με όλα τα νέφη καθώς και το ScanWorld με τους στόχους. Το καινούριο αρχείο που προέκυψε είναι ενταγμένο στο τοπικό σύστημα που υλοποιήθηκε για χάρη των μετρήσεων. Η διαδικασία αυτή ήταν απαραίτητη για πολλούς λόγους. Αρχικά, για να είναι εφικτή σε επόμενο στάδιο η συνένωση του εξωτερικού με το εσωτερικό του ναού, επίσης για να μπορούν να είναι συγκρίσιμες οι τομές που θα προκύψουν από τις διάφορες μεθόδους, αλλά και το σημαντικότερο, για να είναι ενταγμένες όλες οι μετρήσεις και

τα αποτελέσματα σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς, στο τοπικό σύστημα που υλοποιήθηκε.

Στο παρόν στάδιο για την κατάληξη στη βέλτιστη λύση, δημιουργήθηκαν διάφορα Registrations και ελέγχθηκαν τα αποτελέσματά τους προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η βέλτιστη επίλυση.

Παρακάτω αναφέρονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη βέλτιστη επίλυση.

Σαν σύστημα αναφοράς για όλες τις σαρώσεις χρησιμοποιήθηκε το σύστημα αναφοράς των γεωδαιτικών μετρήσεων. Με τον τρόπο αυτό τα συνενωμένα νέφη γεωαναφέρονται ξεχωριστά στο τοπικό σύστημα μέτρησης των γεωδαιτικών συντεταγμένων.

Ακολουθως, το πρόγραμμα υπολογίζει τα σφάλματα της συνένωσης γεωδαιτικών συντεταγμένων με το συνενωμένο νέφος. Εξετάζοντας τα σφάλματα και πραγματοποιώντας δοκιμές με τους στόχους που θα χρησιμοποιηθούν στην τελική συνένωση γίνεται προσπάθεια για τη βέλτιστη επίλυση με τα μικρότερα δυνατά σφάλματα. Για το εσωτερικό του ναού, το μεγαλύτερο σφάλμα βρίσκεται στο στόχο 6 και 8 με σφάλμα 15mm, όσο και το σφάλμα που είναι το ανεκτό για κλίμακα 1:50. Ωστόσο, θεωρήθηκε αποδεκτό μιας και κανένας άλλος συνδυασμός δεν βελτίωνε τα σφάλματα αυτά. Για το εξωτερικό, το μεγαλύτερο σφάλμα είναι 12mm, μικρότερο από το ανεκτό. Γενικά, η συγκεκριμένη λύση είχε μικρά σφάλματα και έτσι θεωρήθηκε αποδεκτή. Οι πίνακες που προκύπτουν από το πρόγραμμα συμπεριλαμβάνονται στο παράρτημα.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, από τα παραγόμενα αποτελέσματα έγιναν αποδεκτές οι λύσεις, καθώς τα σφάλματα είναι μέσα στα αποδεκτά όρια για κλίμακα 1:50, ορίζοντας ως μέγιστο σφάλμα ίσο με 1,5cm.

### 4.2.3 Καθαρισμός Νέφους από Θόρυβο

Κατά τη διάρκεια των σαρώσεων τόσο στο εξωτερικό, όσο και στο εσωτερικό του ναού, σαρώθηκαν πολλά στοιχεία που δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης και πρέπει να αφαιρεθούν από τα νέφη. Αυτά μαζί με τυχαία σφάλματα του σαρωτή αποτελούν το λεγόμενο θόρυβο των νεφών.

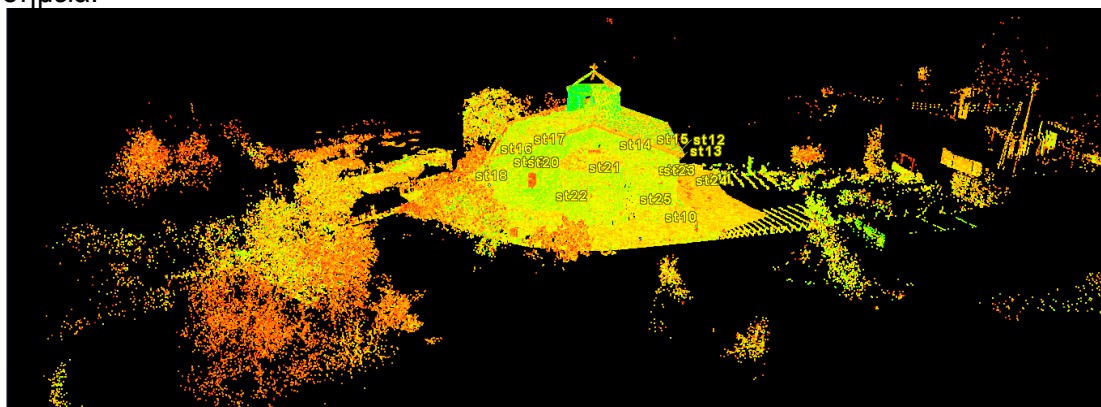
Κατά τη σάρωση του εξωτερικού τμήματος του ναού, υπήρχαν πολλά δέντρα που αναπόφευκτα συμπεριελήφθησαν στη σάρωση. Επίσης από μια στάση πάρθηκαν σπίτια που γειτνιάζουν με τον ναό, καθώς και σημεία που περιγράφουν τα σύρματα, άλλα και αντικείμενα που συνόδευαν το σαρωτή από στάση σε στάση. Όλα αυτά τα στοιχεία που συμπεριλήφθηκαν στα νέφη αποτελούν θόρυβο και απομακρύνθηκαν από το νέφος με την ειδική εντολή του προγράμματος (Polygonal Fence Mode, επιλογή της περιοχής προς απομάκρυνση → Fence → Delete inside).

Κατά τη σάρωση του εσωτερικού, εκτός από τα διάφορα σύρματα που ήταν αναπόφευκτο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω να μη συμπεριληφθούν στη σάρωση, πάρθηκαν σημεία δομικών συστατικών του ναού, όπως στασίδια, μανουάλια, τραπέζια, καθώς η απομάκρυνσή τους ήταν δύσκολη λόγω του μεγάλου βάρους τους. Σε περίπτωση επανάληψης της διαδικασίας, ειδική προσοχή θα δινόταν για την μετακίνηση όσο το δυνατόν περισσότερων αντικειμένων από το πεδίο

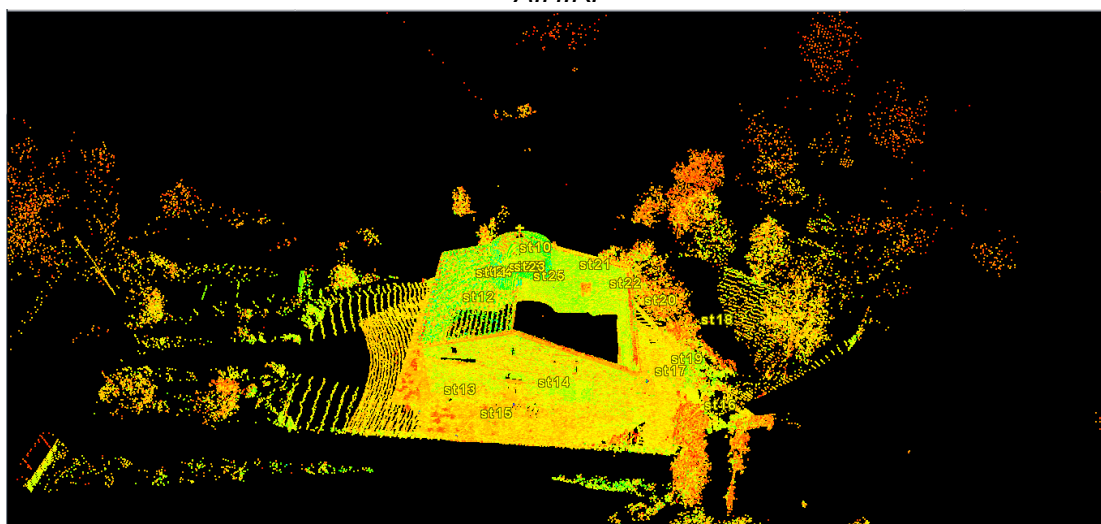


της σάρωσης, ώστε η διαδικασία του καθαρισμού να γινόταν γρηγορότερα. Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνονται μερικά παραδείγματα από το εξωτερικό και το εσωτερικό του ναού με θόρυβο αλλά και μετά την απομάκρυνση του.

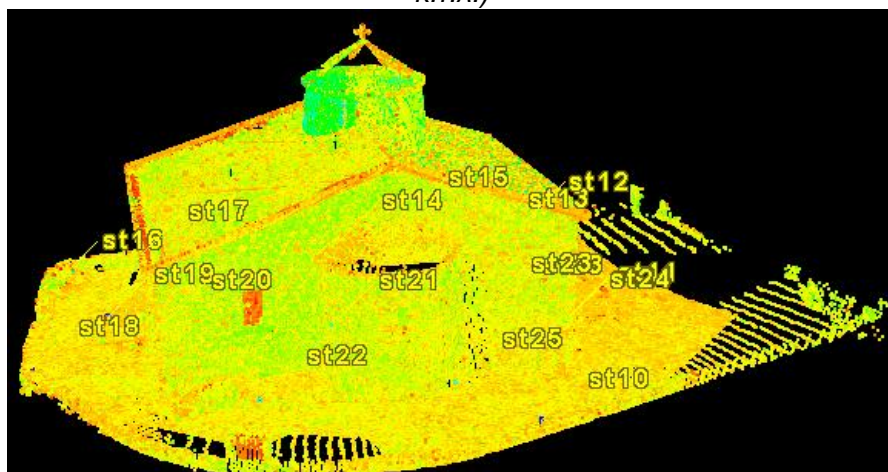
Κατά την σάρωση του εξωτερικού τμήματος του ναού συλλέχθηκαν 23.289.798 σημεία ενώ μετά τον καθαρισμό από τον θόρυβο μειώθηκαν σε 22.711.780 σημεία, και για το εσωτερικό ενώ συλλέχθηκαν 167,320,985 μειώθηκαν σε 162.264.000 σημεία.



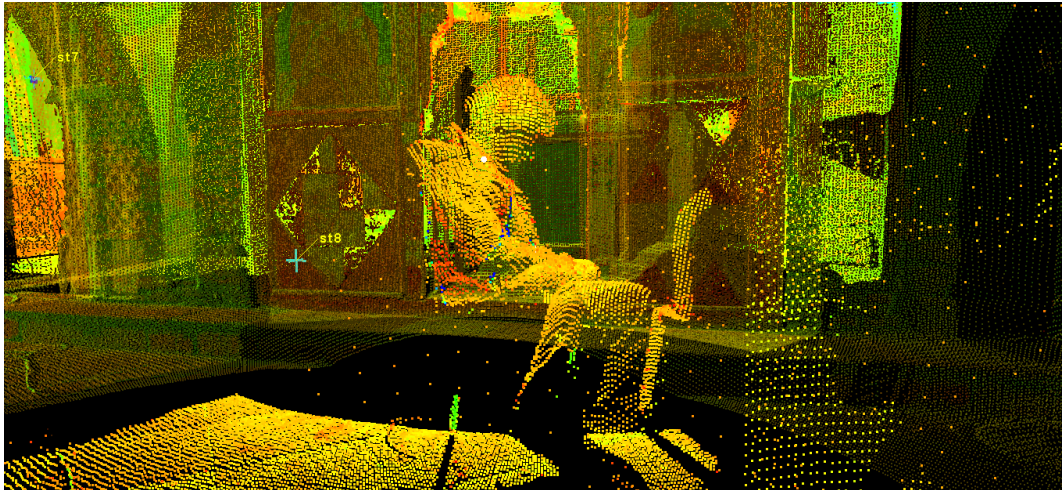
Εικόνα 4.1.: Ανατολική άποψη της εκκλησίας με τον θόρυβο, δέντρα, σπίτια, κολώνες Α.Η.Κ.



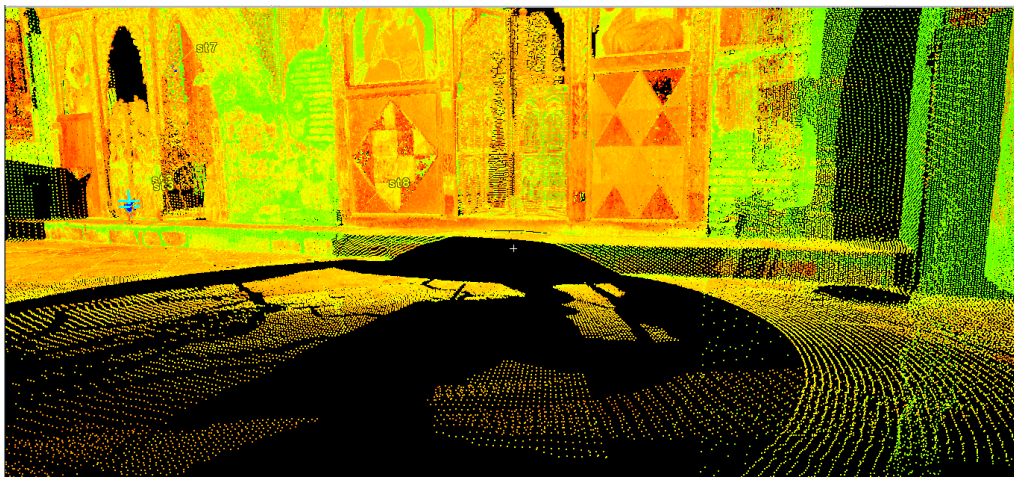
Εικόνα 4.2.: Δυτική άποψη της εκκλησίας με τον θόρυβο (δέντρα, κολώνες Α.Η.Κ., κ.τ.λ.)



Εικόνα 4.3.: Ανατολική άποψη της εκκλησίας μετά τον καθαρισμό από τον θόρυβο.



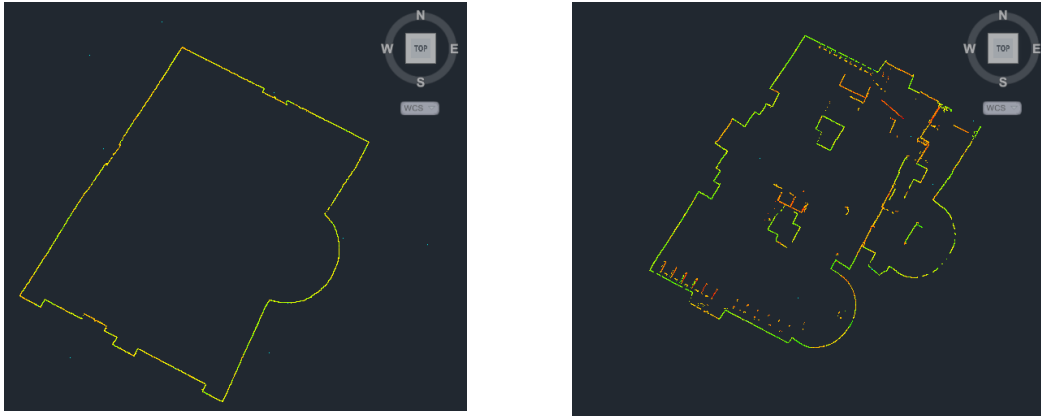
Εικόνα 4.4.: Εσωτερικό της εκκλησίας με τον θόρυβο (κινητά αντικείμενα, διερχόμενα πρόσωπα κ.τ.λ.)



Εικόνα 4.5.: Εσωτερικό της εκκλησίας μετά τον καθαρισμό από τον θόρυβο.

#### 4.2.4 Εξαγωγή Τομών

Μετά την ολοκλήρωση του καθαρίσματος του νέφους, γίνεται η εξαγωγή οριζόντιας τομής για το εξωτερικό, αλλά και για το εσωτερικό του ναού. Με το βελάκι (Pick mode) επιλέγεται το ύψος στο οποίο θα γίνει η τομή (στο 1m) και με την εντολή Reference Plane → Set Plane Origin at Pick Point εμφανίζεται το επίπεδο της τομής. Με την εντολή Set Cutplane from Active Ref Plane γίνεται η επιλογή της τομής και από εκεί εξάγεται σε μορφή dxf. Οι τομές είναι ενταγμένες στο τοπικό σύστημα που δημιουργήθηκε και η εξαγωγή τους πραγματοποιήθηκε ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις σε μετέπειτα στάδιο. Οι εξαγωγές όπως εμφανίζονται στο σχεδιαστικό πακέτο Autocad φαίνονται στις εικόνες παρακάτω.



Εικόνες 4.5 & 4.6: Οριζόντια τομή όπως προέκυψε από την εξαγωγή από το πρόγραμμα για το εξωτερικό και για το εσωτερικό του ναού.

#### 4.2.5 Συμπεράσματα

Τα δύο νέφη που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία έχουν διάφορες χρησιμότητες. Όπως φαίνεται και πιο πάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή τομών. Επίσης, μετά από επεξεργασία θα αποτελέσουν την βάση του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας ώστε να προκύψουν οι ορθοφωτογραφίες του ναού. Παράλληλα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου του ναού.

### 4.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

#### 4.3.1 Εισαγωγή

Η δημιουργία μοντέλου επιφανειών (μοντελοποίηση) του αντικείμενου μελέτης είναι μια ψηφιακή αναπαράστασή του, που προσεγγίζει την πραγματικότητα και διατηρεί τα βασικά χαρακτηριστικά του. Στο στάδιο αυτό τα νέφη σημείων μετατρέπονται σε επιφάνειες ώστε να μπορεί σε μετέπειτα στάδιο να δοθεί στο μοντελοποιημένο πια αντικείμενο υφή και χρώμα. Με την μοντελοποίηση δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας εικονικής περιήγησης.

#### 4.3.2 Μοντελοποίηση Ιερού Ναού Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι

Η μοντελοποίηση του Ιερού Ναού έγινε με το λογισμικό Geomagic studio 10 της Geomagic. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των επεξεργασμένων δεδομένων στο λογισμικό. Η διαδικασία έγινε ξεχωριστά για το εσωτερικό και το εξωτερικό κομμάτι του ναού, ούτως ώστε να είναι πιο εύκολη η διαχείριση των αρχείων λόγω του μεγάλου όγκου τους. Ειδικά για το εσωτερικό και λόγω του τεράστιου όγκου δεδομένων που πάρθηκε από το σαρωτή έγινε τμηματικά η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε θα περιγραφεί ξεχωριστά τόσο για το εσωτερικό, όσο και για το εξωτερικό τμήμα του ναού μιας και στην πρώτη περίπτωση έγιναν επιπλέον εφαρμογές αλγορίθμων μείωσης σημείων και τριγώνων.

#### 4.3.2.1 Επεξεργασία δεδομένων εξωτερικού τμήματος του ναού

Αρχικά το νέφος των σημείων χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα, τέσσερα στο σύνολο, για να είναι πιο εύκολη η διαχείριση τους, αφού και το λογισμικό διαχειρίζεται καλύτερα νέφη έως 5 εκατομμυρίων σημείων. Κάθε ένα από αυτά τα τμήματα που δημιουργήθηκαν θα υποστεί αυτόνομη επεξεργασία.

Με τη σάρωση λαμβάνεται περισσότερη πληροφορία από αυτήν που χρειάζεται για να δημιουργηθεί η επιφάνεια, έτσι απαιτείται μείωση των σημείων που περιγράφουν το αντικείμενο. Η μείωση του θορύβου έγινε με κατάλληλη εντολή (Points→reduce noise). Το εργαλείο του λογισμικού για την μείωση του θορύβου, έχει τρεις διαφορετικούς αλγόριθμους με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί η μείωση. Η διαφοροποίηση είναι ανάλογα με το αντικείμενο επεξεργασίας, για ακριβή αποτελέσματα και όχι προσεγγιστικά έγινε η χρήση του αλγορίθμου για διάφορες μορφές σχημάτων (Free form shapes), με τον οποίο απομακρύνεται ο θόρυβος, ενώ ταυτόχρονα παραμένει ικανοποιητική πληροφορία για την δημιουργία επιφάνειας. Για την λειτουργία αυτή ορίστηκαν οι απαραίτητες παράμετροι που είναι ο βαθμός ομαλότητας (Smoothness level), ο αριθμός των επαναλήψεων (Iterations), η μέγιστη απόσταση που αντιστοιχεί σε ανάγλυφο και συνεπώς δεν μπορεί να θεωρηθεί θόρυβος, το όριο απόκλισης του ανάγλυφου (Deviation limit) και ένα κατώφλι διαφοράς της απόστασης σημείου από σημείο που αντιστοιχεί σε θόρυβο (Threshold). Για τις τιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν πάλι δοκιμές (με τη βοήθεια της λειτουργίας προεπισκόπησης) κρίνοντας καταλληλότερες τις προεπιλεγμένες τιμές από το πρόγραμμα. Στο τέλος της εφαρμογής αυτού του αλγορίθμου ελέγχεται η τιμή crease angle, ο αριθμός της οποίας είναι ικανοποιητικός όταν δεν ξεπερνά την τιμή 10. Στην περίπτωση που η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από το 10, σημαίνει πως απαιτείται περαιτέρω μείωση των σημείων. Ακολουθεί ο πίνακας με τα στοιχεία της μείωσης για κάθε τμήμα του εξωτερικού του ναού.

Τμήμα	Περίβολος	Στέγη και τρούλος	Νότιο-δυτικό-βόρειο	Νότιο-ανατολικό-βόρειο
Iterations	1	1	1	1
Deviation Limit (m)	1.400	1.318	0.965	0.907
Threshold (mm)	9.4	7.0	6.2	6.4
Statistics, Noise Level				
Maximum Distance (mm)	28.3	17.7	16.8	16.4
Average Distance (mm)	1.82	1.54	1.36	1.44
Standard Deviations (mm)	1.89	1.37	1.20	1.24
Crease angle	5.45	9.09	7.47	6.55
Selected points	47 544	27 038	39 932	29 443
Ποσοστό μείωσης (%)	0.9	0.5	0.6	0.5

Πίνακας 4.3: Πίνακας με τα στοιχεία της μείωσης του κάθε θεματικού επιπέδου, όπως αυτά προέκυψαν από το πρόγραμμα, καθώς και το ποσοστό των σημείων που απομακρύνθηκαν ως θόρυβος.

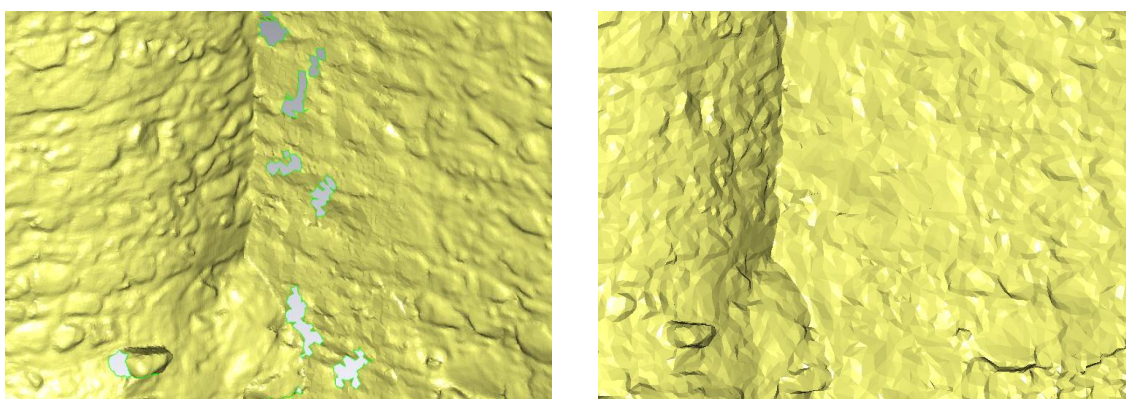
Ο αλγόριθμος αυτός, ουσιαστικά υλοποιεί ένα θεωρητικό επίπεδο. Έτσι, υπολογίζεται η μέγιστη απόσταση που υπάρχει ανάμεσα από αυτό και τα σημεία που περιγράφουν το θεωρητικό ανάγλυφο και επομένως σημεία πέρα από αυτήν αποτελούν θόρυβο και απομακρύνονται. Σε αυτό το στάδιο, ο χειριστής δεν μπορεί να την αυξήσει, παρά μόνο να την μειώσει. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί, πως η μεταβολή αυτής της τιμής δεν επηρεάζει το πλήθος των σημείων που θα θεωρηθούν ως θόρυβος και θα απομακρυνθούν. Αυτό που τα καθορίζει είναι το κατώφλι της απόστασης σημείου από σημείο, δηλαδή, όσο πιο μικρό είναι το βήμα αυτό, τόσο πιο πολλά σημεία απομακρύνονται. Αυτό που φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα είναι πως όσο μεγαλύτερη υπολογιστεί η απόσταση που οφείλεται στο ανάγλυφο, τόσο πιο μεγάλο θέτει και το κατώφλι, αφού θεωρείται πως οι αποκλίσεις των σημείων οφείλονται στο ανάγλυφο και όχι σε θόρυβο. Τα στατιστικά στοιχεία του πίνακα αναφέρονται στις αποστάσεις μεταξύ των σημείων που έχουν προκύψει από την εφαρμογή του αλγορίθμου ως θόρυβος. Η τιμή *crease angle* σε όλες τις περιπτώσεις είναι στα ανεκτά επίπεδα, δηλαδή δεν απαιτείται επιπλέον μείωση εξαιτίας του θορύβου. Το ποσοστό των σημείων που απομακρύνθηκε όπως φαίνεται είναι πολύ μικρό, κατά συνέπεια αν κάποια σημεία που δεν αποτελούν θόρυβο απομακρύνθηκαν, το τελικό αποτέλεσμα δεν αλλοιώνεται.

Στη συνέχεια ακολουθεί μείωση του αριθμού των σημείων, όπου αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να δημιουργηθούν λιγότερα τρίγωνα στο επόμενο στάδιο. Κατά τη διαδικασία της σάρωσης, είναι ορθό να συλλέγεται όσο περισσότερη πληροφορία (στα πλαίσια της οικονομίας πάντοτε), ώστε να μην υπάρχουν κενά κατά την δημιουργία των επιφανειών. Είναι προτιμότερο να υπάρχει περισσότερη πληροφορία και να χρειάζεται περισσότερη επεξεργασία στο γραφείο, παρά να χρειαστεί η επιστροφή στο πεδίο από έλλειψη πληροφορίας. Επίσης, ακόμα ένας σημαντικός λόγος που χρειάζεται να μειώνονται τα σημεία πριν από τη δημιουργία των επιφανειών είναι για να προκύπτουν πιο ομαλές και λείες επιφάνειες. Με την εντολή *Points→Uniform Sample* εκτελείται η προαναφερθείσα διαδικασία, θέτοντας την απόλυτη απόσταση (*Absolute distance*) μεταξύ των σημείων στο νέο νέφος που θα προκύψει ίση με 2 mm για το τμήμα νότια-ιερό-βόρεια, σε 3 mm για τον περίβολο, και σε 1,5 mm για το τμήμα νότια-δυτικά-βόρεια και το τμήμα της στέγης με τον τρούλο και το *Curvature Priority Slider* στο *max*. Η κλίμακα αυτή (*Curvature priority*), έχει 11 βαθμίδες, ανάλογα με την βαθμίδα που τίθεται και την απόλυτη απόσταση, στις περιοχές με καμπυλότητα γίνεται μικρότερη μείωση (απόσταση/βαθμίδα) ώστε να μην απομακρύνονται σημεία αλλαγής κλίσης. Οι προτεινόμενες τιμές από το λογισμικό ήταν όλες γύρω στο εκατοστό (cm), αλλά με διάφορες δοκιμές το οπτικό αποτέλεσμα δεν ήταν ικανοποιητικό. Έτσι, ανάλογα με το τμήμα, τέθηκε διαφορετική η απόλυτη απόσταση, με στόχο τη διατήρηση των βασικών και απαραίτητων λεπτομερειών ώστε παράλληλα τα σημεία που απομένουν να είναι διαχειρίσιμα. Το νέφος με τα σημεία που απέμειναν μετά από τις μειώσεις είναι έτοιμο για τη δημιουργία των τριγώνων.

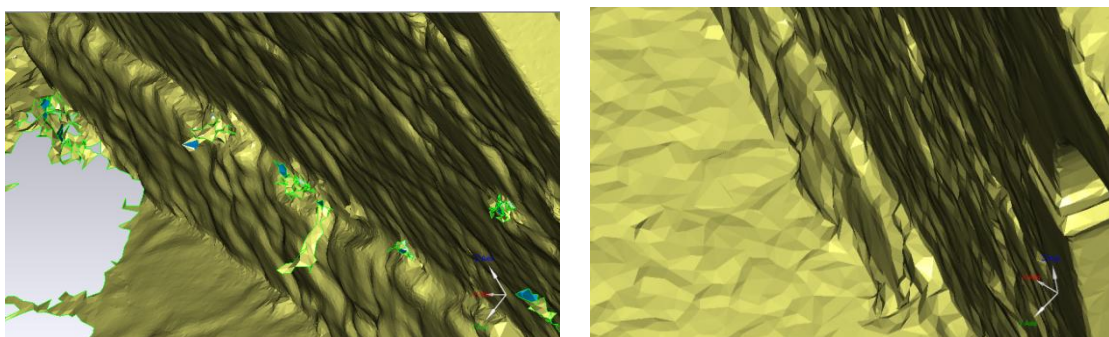
Στο επόμενο βήμα, με την εντολή *Points→Wrap* δημιουργείται από το νέφος σημείων η επιφάνεια των τριγώνων που περιγράφει την εκκλησία με λεπτομέρεια. Για κάθε σημείο του νέφους το *Geomagic* δημιουργεί κατά μέσο όρο δύο τρίγωνα. Ο συνολικός αριθμός των τριγώνων που δημιουργήθηκε ήταν 9.000.000. Τα τρίγωνα που δημιουργούνται έχουν δύο χρώματα, μπλε είναι τα τρίγωνα της εσωτερικής επιφάνειας και κίτρινα είναι τα τρίγωνα της εξωτερικής πλευράς της εκκλησίας

προκειμένου να είναι εύκολα αντιληπτά από τον χρήστη. Πολλά από αυτά τα τρίγωνα που δημιουργούνται είναι λανθασμένα και για τον λόγο αυτό ακολουθεί η διόρθωση των τριγώνων. Περιπτώσεις λανθασμένων τριγώνων είναι είτε αυτά να βρίσκονται εκτός της επιφάνειας (Εικόνα 4.9) είτε να είναι ανάποδα. Στην πρώτη περίπτωση τα λάθος τρίγωνα πρέπει να διαγραφούν (Εικόνα 4.10), ενώ στη δεύτερη να διορθωθούν με την εντολή Polygons→Flip normals με την οποία τα επιλεγμένα τρίγωνα αναποδογυρίζονται.

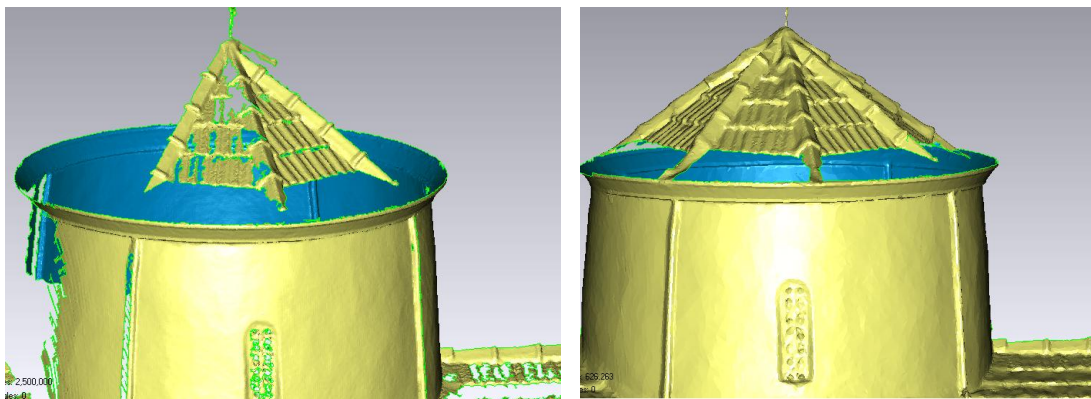
Υπάρχουν ακόμα περιπτώσεις που δημιουργούνται κενά στο τρισδιάστατο μοντέλο από έλλειψη της απαιτούμενης πληροφορίας (Εικόνα 4.7). Τα κενά αυτά σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να καλυφθούν με την εντολή Polygons→Fill holes και επιλογή ενός εκ των υπάρχοντων αλγορίθμων. Πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές χρησιμοποιώντας την εντολή Fill Holes προκειμένου να ανιχνευθεί ο αλγόριθμος που ταιριάζει καλύτερα στην κάθε περίπτωση και αποδεκτός γινόταν αυτός που έδινε οπτικά το καλύτερο αποτέλεσμα. Σε μερικές περιπτώσεις τα κενά είναι τόσο μεγάλα που το γέμισμα τους δεν είναι δυνατό (Εικόνα 4.11). Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, υπήρχε η δυνατότητα να εφαρμοστεί κάποιου είδους αντιγραφή και ακολούθως επικόλληση (Εικόνα 4.11 & 4.12). Η διαδικασία αυτή γινόταν χειροκίνητα, δηλαδή έπρεπε να επιλεχτούν τα τρίγωνα προς αντιγραφή και ακολούθως με την κατάλληλη επιλογή από διάφορους αλγορίθμους γινόταν η επικόλληση.



Εικόνα 4.7 & 4.8: Έλλειψη πληροφορίας από το τρισδιάστατο μοντέλο και γέμισμα αυτών με τα ειδικά εργαλεία του προγράμματος.



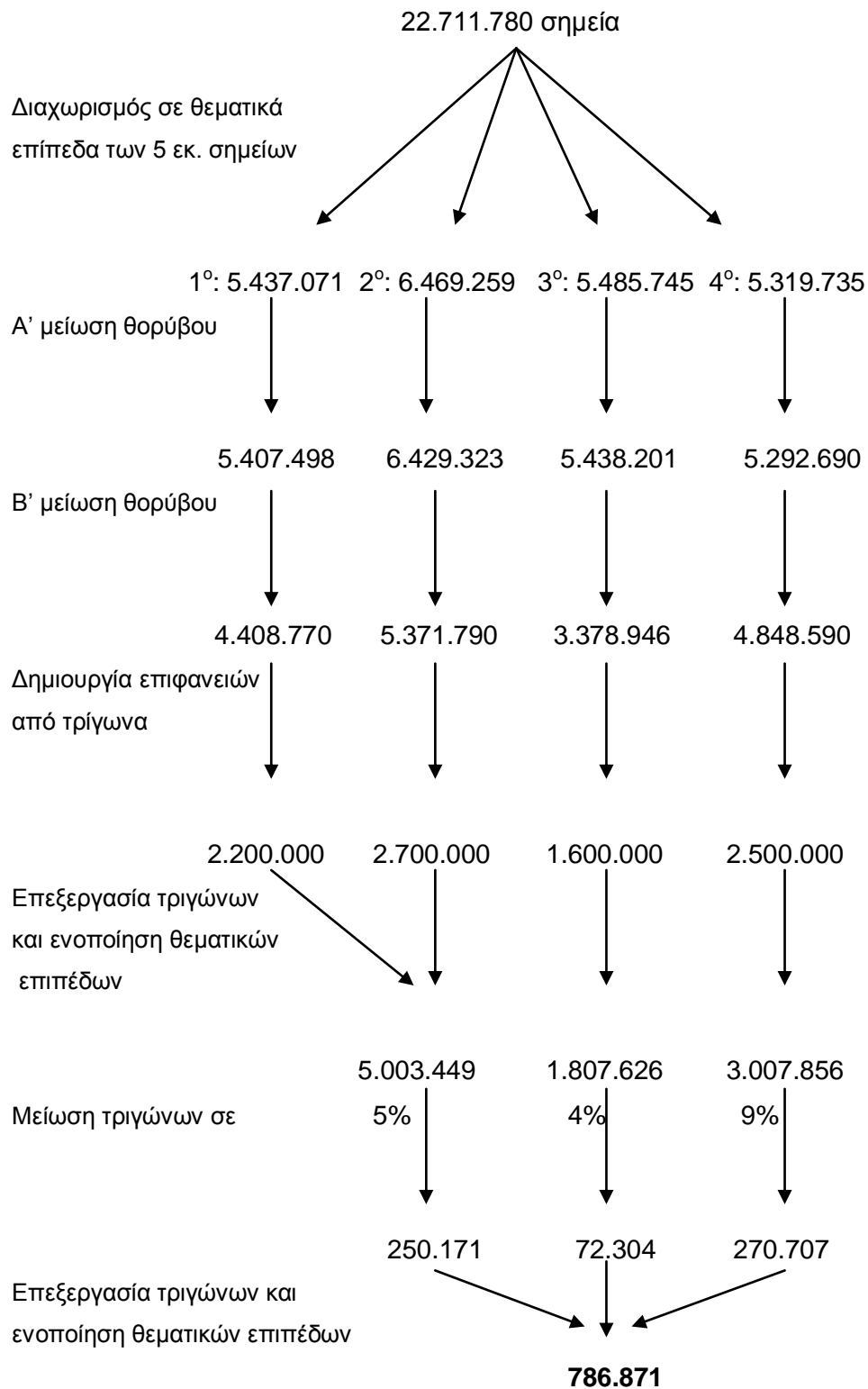
Εικόνα 4.9 & 4.10: Περιπτώσεις λανθασμένων τριγώνων όπου διαγράφονται για να γίνει γέμισμα με σωστή πληροφορία.



*Εικόνα 4.11 & 4.12: Στον τρούλο υπήρχαν μεγάλα κενά λόγω έλλειψης πληροφορίας και ήταν αδύνατον να συμπληρωθούν με τρίγωνα, για αυτό εφαρμόστηκε η εντολή της αντιγραφής και της επικόλλησης από το κομμάτι που είχε παρθεί.*

Μετά το τέλος της διαδικασίας επεξεργασίας των επιφανειών του μοντέλου ακολούθησε μια τελευταία μείωση. Μειώθηκαν τα τρίγωνα με εντολή του προγράμματος Polygons→Decimate Polygons. Με την εντολή αυτή, δινόταν στο πρόγραμμα το ποσοστό των τριγώνων που θα παρέμεναν (Reduce to percentage). Επίσης, υπήρχε η δυνατότητα της περισκόπησης πριν την εφαρμογή της μείωσης. Για αυτό κάθε φορά επιλεγόταν διαφορετικό ποσοστό σε κάθε περιοχή, έτσι ώστε να μην αλλοιώνεται η υφή της επιφάνειας του μοντέλου από την πραγματική, αλλά ταυτόχρονα το αρχείο να είναι εύχρηστο.

Ο παρακάτω πίνακας είναι συγκεντρωτικός και δείχνει τις μειώσεις που έγιναν στο αρχείο, τα νούμερα δεν έχουν συνέχεια δεδομένου ότι κατά την διάρκεια της διαδικασίας προστέθηκαν αλλά και αφαιρέθηκαν τρίγωνα. Επίσης όπως αναφέρθηκε, το αρχείο είχε διαχωριστεί σε θεματικά επίπεδα, αλλά μετά από ορισμένες μειώσεις και επεξεργασία ξαναενώθηκαν σε ένα, ώστε το εξωτερικό του ναού να αποτελείται από ένα ενοποιημένο μοντέλο.



#### 4.3.2.2 Επεξεργασία δεδομένων εσωτερικού τμήματος του ναού

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων για το εσωτερικό τμήμα του ναού ήταν η ίδια με αυτή που εφαρμόστηκε στο εξωτερικό τμήμα. Στο εσωτερικό του ναού, λόγω της σημαντικότητας των αγιογραφιών, προέκυψε η ανάγκη για μεγαλύτερη αξιοπιστία στην περιγραφή των επιφανειών. Έτσι, η συλλογή των σημείων με το σαρωτή ήταν πυκνότερη, ιδίως στην περιοχή του τρούλου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να συλλεχθεί ένα νέφος σημείων αποτελούμενο



από περίπου 162.264.000 σημεία. Αυτό προκάλεσε καθυστερήσεις στην επεξεργασία καθώς ήταν αδύνατη η ταυτόχρονη εισαγωγή όλων των σημείων στο λογισμικό. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, το νέφος αυτό χωρίστηκε σε νέφη των 30.000.000 σημείων με την βοήθεια ενός αλγόριθμου που υλοποιήθηκε για να εξυπηρετεί το σκοπό αυτό. Στη συνέχεια, αυτά τα 6 αρχεία που προέκυψαν ξεχωριστά εισάγονταν στο Geomagic και διαχωρίζονταν ανάλογα με περιοχές σε άλλα αρχεία. Έτσι έγινε μια ομαδοποίηση των αρχείων ανάλογα με την περιοχή τους.

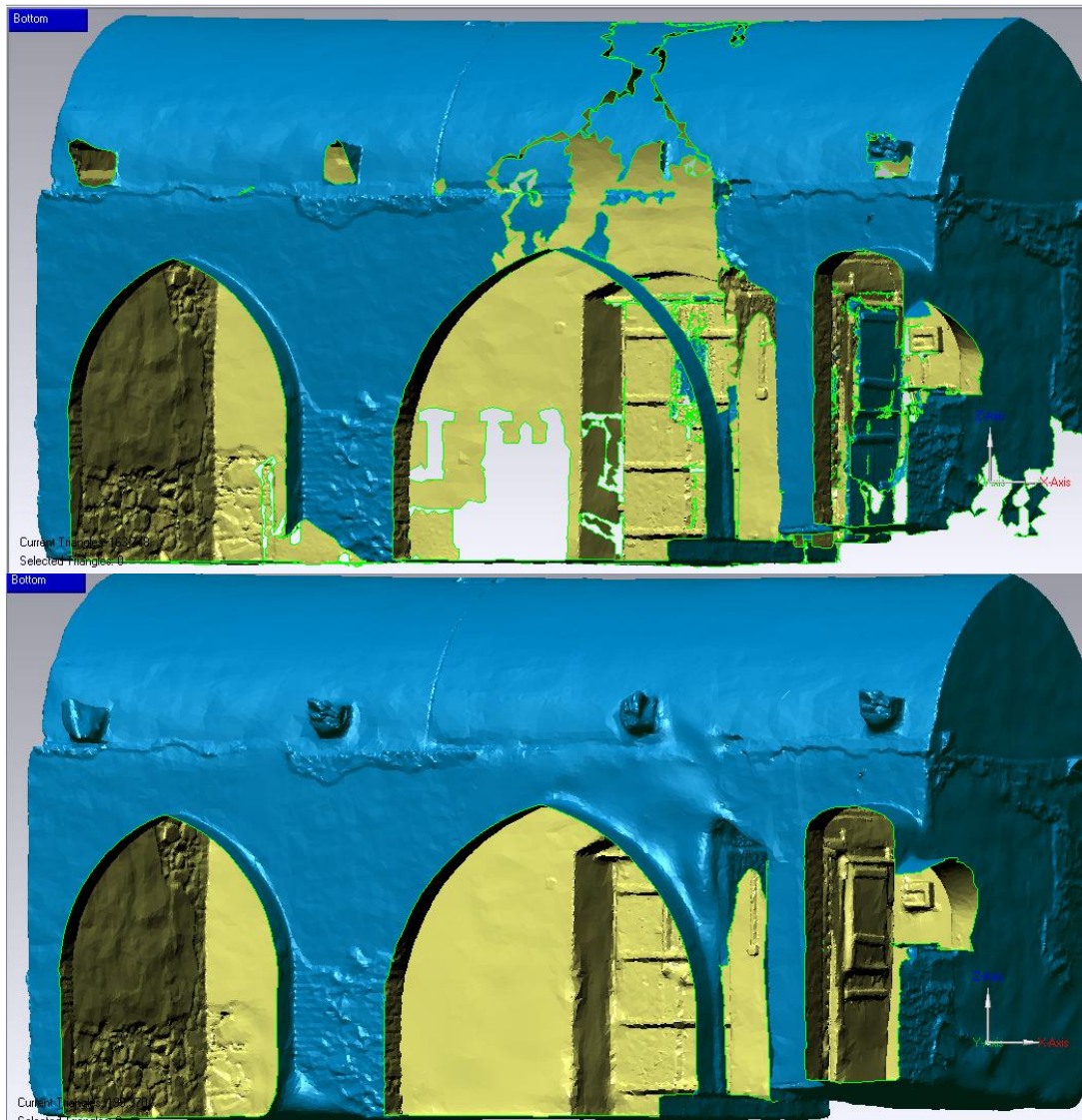
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, με τη σάρωση λαμβάνεται περισσότερη πληροφορία από αυτήν που χρειάζεται για να δημιουργηθεί η επιφάνεια και άρα απαιτείται μια μείωση των σημείων που αποτελούν το αντικείμενο. Για το εσωτερικό του ναού εφαρμόστηκαν περισσότερες μειώσεις χρησιμοποιώντας αλγορίθμους που διαθέτει το λογισμικό, σε ορισμένες περιοχές εφαρμόστηκαν περισσότερες από μια φορές οι αλγόριθμοι, καθώς συλλέχτηκε περισσότερη πληροφορία.

Πρώτα έγινε η αφαίρεση του θορύβου, δηλαδή σημείων που δεν ανήκουν στο κύριο νέφος σημείων που περιγράφει την εκκλησία. Σε πρώτο στάδιο έγινε μια χειροκίνητη αφαίρεση του θορύβου επιλέγοντας τα σημεία που αποτελούσαν θόρυβο και διαγράφοντας τα με την εντολή Delete. Στη συνέχεια ακολουθήθηκε η αφαίρεση του θορύβου χρησιμοποιώντας τα αυτοματοποιημένα εργαλεία του Geomagic. Αρχικά, με την εντολή Edit→select→outliers ορίζεται ένα όριο ευαισθησίας (Sensitivity). Η παράμετρος αυτή προτείνει την διαγραφή σημείων που σύμφωνα με το όριο ευαισθησίας απέχουν από το αντικείμενο. Πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές για τον καθορισμό αυτής της τιμής του ορίου, εφαρμόζοντας σε κάθε περιοχή διαφορετική μείωση, αλλά πάντα τέτοια ώστε να μην προκαλεί πρόβλημα στο επόμενο στάδιο, αυτό της δημιουργίας των επιφανειών.

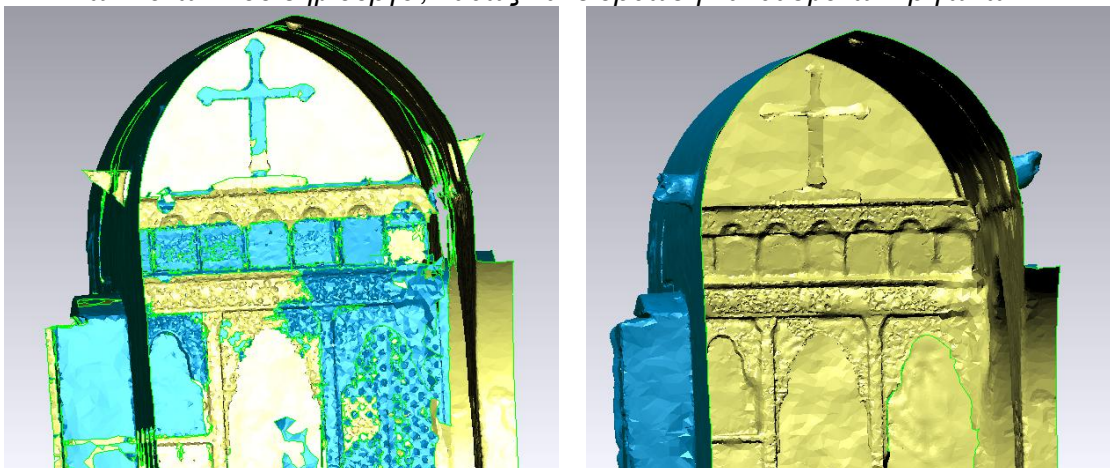
Μια δεύτερη μείωση του θορύβου έγινε με την εντολή Points→reduce noise με τη βοήθεια του αλγορίθμου Free from shapes. Στη συνέχεια ακολούθησε μία τρίτη μείωση του αριθμού των σημείων, με την εντολή Points→Uniform Sample, θέτοντας ως απόλυτη απόσταση (Absolute distance) μεταξύ των σημείων στο νέο νέφος τις προεπιλεγμένες τιμές που έδινε το πρόγραμμα, αφού κρίθηκαν τις περισσότερες φορές οι καταλληλότερες. Το νέφος με τα σημεία που έχουν απομείνει (1.895.840) μετά από τις μειώσεις είναι έτοιμο για τη δημιουργία των τριγώνων.

Στο επόμενο βήμα, δημιουργείται από το νέφος σημείων η επιφάνεια των τριγώνων που περιγράφει την εκκλησία με λεπτομέρεια. Ο συνολικός αριθμός των τριγώνων που δημιουργήθηκε ήταν γύρω στο 1.000.000. Τα τρίγωνα που δημιουργούνται έχουν δύο χρώματα, μπλε είναι τα τρίγωνα της εξωτερικής επιφάνειας και κίτρινα είναι τα τρίγωνα της εσωτερικής πλευράς της εκκλησίας προκειμένου να είναι εύκολα αντιληπτά από τον χρήστη. Πολλά από αυτά τα τρίγωνα που δημιουργούνται είναι λανθασμένα και για τον λόγο αυτό ακολουθεί η διόρθωση των τριγώνων. Περιπτώσεις λανθασμένων τριγώνων είναι αυτά να βρίσκονται εκτός της επιφάνειας ή να είναι ανάποδα (Εικόνα 5.9). Στην περίπτωση που τα τρίγωνα είναι αναποδογυρισμένα, πρέπει να διορθωθούν με την εντολή Flip normals (Εικόνα 5.10).

Και στο εσωτερικό του ναού υπήρχαν περιπτώσεις που δημιουργήθηκαν κενά στο τρισδιάστατο μοντέλο από έλλειψη της απαιτούμενης πληροφορίας (Εικόνα 5.7). Τα κενά αυτά καλύφθηκαν με την αντίστοιχη εντολή και τους αλγορίθμους της. Αλλά και μεγάλα κενά που ήταν αδύνατο το γέμισμα καλύφθηκαν με επικόλληση αντίστοιχης περιοχής από άλλο μέρος του ναού.



Εικόνα 4.13 & 4.14: Νότιο κλίτος, περιπτώσεις με έλλειψη πληροφορίας και γέμισμα των κενών που δημιουργεί, καθώς και διόρθωση λανθασμένων τριγώνων.



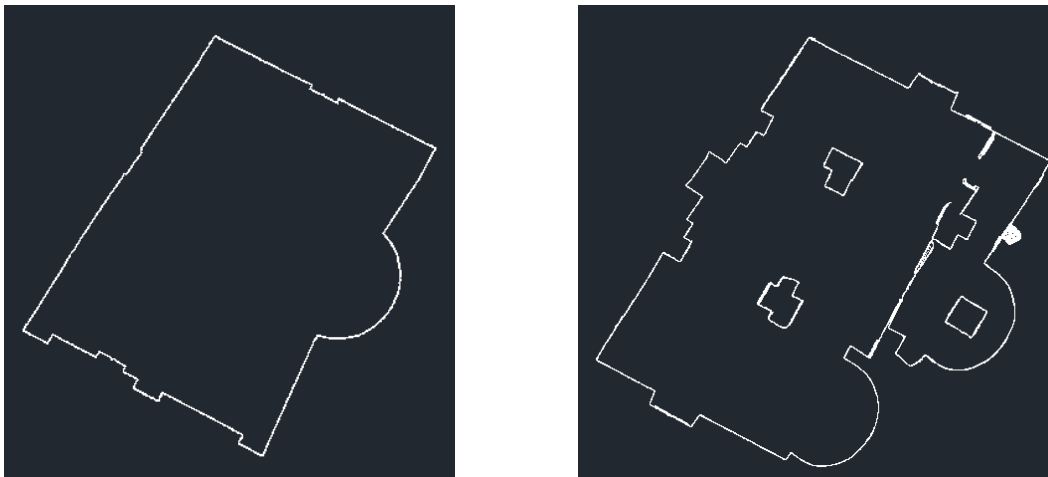
Εικόνα 4.15 & 4.16: Περίπτωση αναποδογυρισμένων τριγώνων και διόρθωση τους καθώς και γέμισμα κενών.

### 4.3.3 Εξαγωγή Δεδομένων

Μετά την παραπάνω επεξεργασία, το μοντέλο για το εξωτερικό και το εσωτερικό του ναού έχει ολοκληρωθεί. Το εσωτερικό μοντέλο αποτελείται από 748.541 τρίγωνα και το εξωτερικό από 653.723 τρίγωνα. Τα μοντέλα αυτά όπως αναφέρθηκε δεν έχουν χρώμα. Το επόμενο στάδιο είναι να γίνει η απόδοση της φωτοϋφής στο μοντέλο με τις εικόνες που θα του δώσουν το πραγματικό χρώμα και την πραγματική υφή. Το «ντύσιμο» του μοντέλου θα γίνει με χρήση άλλου λογισμικού και για αυτό το λόγο γίνεται εξαγωγή των αρχείων σε μορφή dxf.

### 4.3.4 Εξαγωγή Τομών

Από τα δύο μοντέλα που προέκυψαν γίνεται η εξαγωγή οριζόντιας τομής για το εξωτερικό αλλά και για το εσωτερικό του ναού. Με την εντολή Section by plane το πρόγραμμα δίνει διάφορες επιλογές για το πώς να οριστεί το επίπεδο. Το επίπεδο ορίστηκε με την επιλογή 3 σημείων στο μοντέλο. Τα σημεία που επιλέχθηκαν βρίσκονται κοντά στο 1m, και έτσι εμφανίζεται το επίπεδο της τομής. Οι δύο τομές που προκύπτουν εξάγονται σε μορφή dxf. Οι τομές είναι ενταγμένες στο τοπικό σύστημα που δημιουργήθηκε και η εξαγωγή τους πραγματοποιήθηκε ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις σε μετέπειτα στάδιο. Οι εξαγωγές όπως εμφανίζονται στο σχεδιαστικό πακέτο Autocad φαίνονται στις εικόνες παρακάτω.



Εικόνες 4.17 & 4.18: Οριζόντια τομή όπως προέκυψε από την εξαγωγή από το πρόγραμμα για το εξωτερικό και για το εσωτερικό του ναού.

### 4.3.5 Συμπεράσματα

Από την διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως, προκύπτουν κάποια συμπεράσματα. Για το εξωτερικό τμήμα του ναού πάρθηκαν περισσότερα σημεία από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των επιφανειών, συνεπώς προκύπτει ότι έπρεπε να παρθούν λιγότερα σημεία. Επίσης, η διαδικασία θα ήταν ορθότερη, αποτελεσματικότερη και ταχύτερη αν λαμβανόταν η πληροφορία που περιγράφει τη στέγη και τον τρούλο, η οποία εξαιτίας της τοποθέτησης του ναού στο χώρο, αλλά και της διαμόρφωσης του περιβάλλοντος χώρου δεν ήταν εύκολη. Το

πρόβλημα αυτό θα αντιμετωπιζόταν με χρήση ενός ανυψωτικού, στο οποίο ο σαρωτής θα ήταν τοποθετημένος. Για το εσωτερικό τμήμα του ναού πάρθηκαν 167.320.985 σημεία, η πλειοψηφία των οποίων περιγράφουν τον τρούλο. Ο λόγος που προέκυψε αυτή η πληθώρα των σημείων, είναι γιατί ο τρούλος μετρήθηκε με βήμα 1 mm στα 7 m, με αποτέλεσμα από τα 167.220.985 σημεία τα 141.000.000 περίπου ανήκουν στο τρούλο. Χρησιμοποιήθηκε αυτό το βήμα σάρωσης, ώστε να εξασφαλιστεί η πλήρης περιγραφή του τρούλου. Παρόλα αυτά, τελικά αποδείχτηκε ανώφελο, χρονοβόρο και ο τεράστιος όγκος προκάλεσε και προβλήματα διαχείρισης των αρχείων. Η διαδικασία θα είχε την ίδια ακρίβεια και θα προέκυπταν τα ίδια αποτελέσματα και με 800.000 σημεία στην περιοχή του τρούλου.

## 4.4 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

### 4.4.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του Ιερού Ναού Τιμίου Σταυρού απαραίτητη ήταν και η καταγραφή των αγιογραφιών που κοσμούν το εσωτερικό του ναού και η ιστορική και καλλιτεχνική αξία των οποίων ήταν η αφορμή για τον χαρακτηρισμό αυτών των 10 βυζαντινών εκκλησιών ως μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς από την UNESCO. Οι εικόνες που πάρθηκαν καλύπτουν τόσο το εξωτερικό όσο και το εσωτερικό της εκκλησίας και μετά από κατάλληλη επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν στα αντίστοιχα σχέδια, αλλά ταυτοχρόνως και για την επένδυση του τρισδιάστατου μοντέλου με υφή.

### 4.4.2 Προσανατολισμός των εικόνων

Για τον προσανατολισμό των εικόνων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Image Master® της εταιρείας Topcon. Το πρόγραμμα αυτό παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να προσανατολίσει τις εικόνες με πολυεικονικές, αλλά ακόμα και με μονοεικονικές διαδικασίες, δηλαδή με οπισθοτομία.

Γενικά τα τρία στάδια της αποκατάστασης των προσανατολισμών περιλαμβάνουν: την αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού, την επίλυση του σχετικού προσανατολισμού και την αποκατάσταση του απόλυτου προσανατολισμού. Χρησιμοποιώντας αυτό το λογισμικό, έγινε ο προσανατολισμός των εικόνων, με την εισαγωγή στοιχείων του εσωτερικού προσανατολισμού και μετρώντας κοινά σημεία και σημεία γνωστών συντεταγμένων επιτυγχάνεται η συνόρθωση κατά δέσμες.

### 4.4.3 Αποκατάσταση του Εσωτερικού Προσανατολισμού

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω με την βοήθεια του λογισμικού Image Master, δημιουργήθηκε αρχικά το έργο με την ονομασία Τίμιος Σταυρός (timios\_stavros.img). Ακολούθως, εισήχθησαν στο πρόγραμμα οι εικόνες, σε ξεχωριστό μοντέλο για το εξωτερικό και για το εσωτερικό του ναού, καθώς επίσης και οι γνωστές παράμετροι της γεωμετρίας της ψηφιακής μηχανής:

- η σταθερά της μηχανής:  $c=24\text{mm}$  ή  $50\text{mm}$

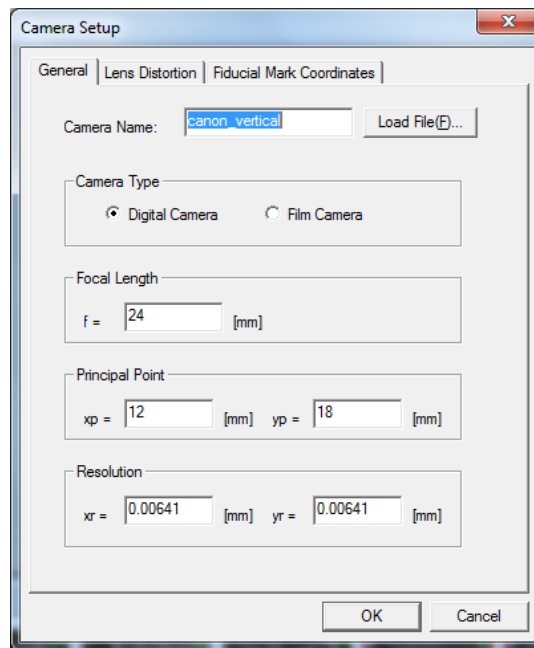
- το μέγεθος της εικονοψηφίδας:  $\text{pixel}=6,41\mu\text{m}$
- οι συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου:

$X_p=18\text{mm}$   $Y_p=12\text{mm}$  για το οριζόντιο καρέ

$X_p=12\text{mm}$   $Y_p=18\text{mm}$  για το κατακόρυφο καρέ

Η ψηφιακή μηχανή που χρησιμοποιήθηκε δεν έχει βαθμονομηθεί και δεν κρίθηκε απαραίτητο να βαθμονομηθεί αφού η μη διόρθωση από την ακτινική διαστρόφη εκτιμάται ότι δεν θα επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Οι συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου προκύπτουν από το μέγεθος της μεγάλης πλευράς του αρνητικού που είναι 36 mm και της μικρής 24 mm.

Στο πρόγραμμα εισήχθησαν τρία αρχεία με τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού που διαφοροποιούνταν όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, έτσι ώστε κάθε εικόνα που εισήχθηκε στο πρόγραμμα, ανάλογα με το καρέ της και το φακό που χρησιμοποιήθηκε στη λήψη να έχει τα σωστά στοιχεία.



Εικόνα 4.19: Εισαγωγή των στοιχείων του εσωτερικού προσανατολισμού για τις εικόνες με κατακόρυφο καρέ και φακό  $c=24\text{mm}$ .

#### 4.4.4 Συνόρθωση Κατά Δέσμες (Bundle Adjustment)

Η συνόρθωση του μπλοκ των εικόνων είναι ένα σύνολο σχετικών και απόλυτων προσανατολισμών των εικόνων, ώστε να προκύψουν τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού όλων των εικόνων, αλλά και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των άγνωστων σημείων σύνδεσης.

Στη συνόρθωση κατά δέσμες γίνεται ο ταυτόχρονος προσανατολισμός των εικόνων σε ένα βήμα. Με τη βοήθεια φωτοσταθερών προσδιορίζονται τα δώδεκα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των νέων σημείων.

Ταυτόχρονα, εξασφαλίζεται η αλληλοτομία των ομόλογων ακτινών στα φωτοσταθερά και στα σημεία σύνδεσης. Αποκαθίσταται με αναλυτικό και άμεσο τρόπο η σχέση μεταξύ εικονοσυντεταγμένων και γεωδαιτικών συντεταγμένων, χωρίς τη μεσολάβηση των συντεταγμένων του μοντέλου. Για τη συνόρθωση κατά δέσμες η στοιχειώδης μονάδα είναι η δέσμη.

Οι εικονοσυντεταγμένες και το αντίστοιχο προβολικό κέντρο ορίζουν μια δέσμη ακτινών στο χώρο. Τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού προσδιορίζονται ταυτόχρονα για όλες τις δέσμες του μπλοκ. Ως γνωστή πληροφορία για το σκοπό αυτό θεωρούνται οι εικονοσυντεταγμένες των σημείων σύνδεσης, οι εικονοσυντεταγμένες και γεωδαιτικές συντεταγμένες των φωτοσταθερών.

Η αρχή της συνόρθωσης μπορεί συνεπώς να διατυπωθεί ως εξής:

- οι δέσμες μετατοπίζονται (τρεις μετατοπίσεις  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ )
- στρέφονται (τρεις στροφές  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ ), έως ότου
- οι ομόλογες ακτίνες να τέμνονται κατά το δυνατόν καλύτερα στα σημεία σύνδεσης και/ή
- να ταυτίζονται κατά το δυνατόν καλύτερα στα φωτοσταθερά.

Οι άγνωστοι είναι τα έξι στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης (3 για κάθε σημείο σύνδεσης). Οι γνωστές παράμετροι είναι οι εικονοσυντεταγμένες των σημείων (2 για κάθε φ/σ και σημείο σύνδεσης σε κάθε εικόνα), οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των φωτοσταθερών και τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού. Οι εξισώσεις παρατήρησης είναι οι εξισώσεις της Συνθήκης Συγγραμμικότητας και απαιτούν γραμμικοποίηση.

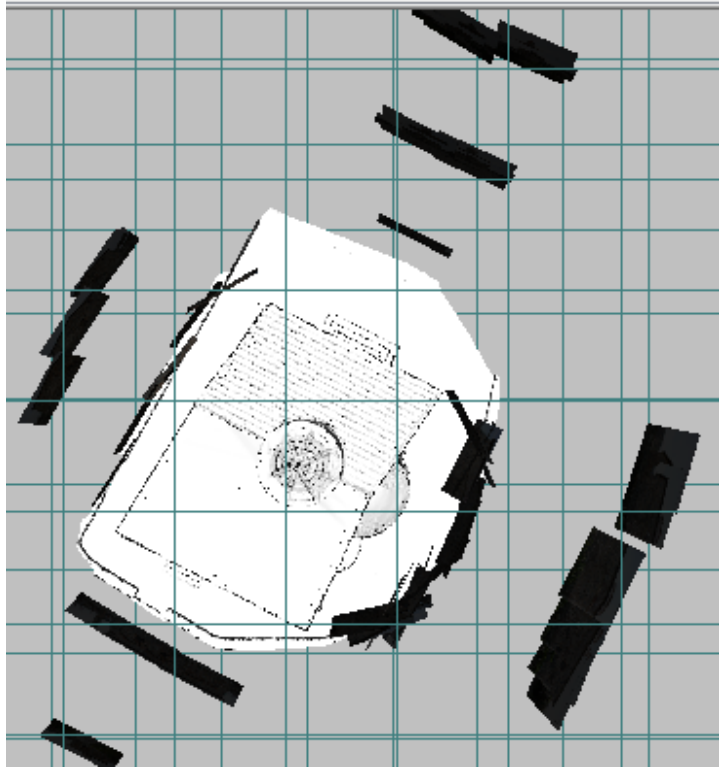
Με τη συνόρθωση διορθώνονται οι προσεγγιστικές τιμές των στοιχείων του εξωτερικού προσανατολισμού κάθε εικόνας και οι προσεγγιστικές τιμές των συντεταγμένων των νέων σημείων. Όταν οι προσεγγιστικές τιμές είναι πολύ κακές θα πρέπει οι διορθωμένες τιμές να θεωρούνται εκ νέου ως προσεγγιστικές. Η συνόρθωση επαναλαμβάνεται, έως ότου οι άγνωστοι της συνόρθωσης του μπλοκ κατά δέσμες να παύουν να μεταβάλλονται σημαντικά.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η συνόρθωση των εικόνων της εκκλησίας έγινε σαν ενιαίο μπλοκ για το εξωτερικό και ξεχωριστά για το εσωτερικό του ναού. Το πρόγραμμα απαιτεί να μετρηθούν τουλάχιστον τέσσερα φωτοσταθερά για να υπάρξει λύση.

Το πρόγραμμα δίνει την αβεβαιότητα των προσανατολισμών με ακρίβεια το pixel.

#### 4.4.4.1 Συνόρθωση εξωτερικού μπλοκ εικόνων

Για το μπλοκ εικόνων του εξωτερικού του ναού, το οποίο αποτελείται από 45 εικόνες, έγινε η εισαγωγή του αντίστοιχου αρχείου με τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών. Η ακρίβεια με την οποία μετρήθηκαν τα φωτοσταθερά προέκυψε από την ακρίβεια κλεισίματος της όδευσης και την μέγιστη απόσταση των φ/σ από τις στάσεις και τέθηκε ίση με 0,015m. Σε κάθε εικόνα μετρήθηκαν κατά μέσο όρο εννέα σημεία.



Εικόνα 4.20: Κάτοψη της εκκλησίας, με τις θέσεις λήψης των εικόνων.

Το μέσο σφάλμα των μετρημένων συντεταγμένων προέκυψε μεγαλύτερο από την ακρίβεια που απαιτείται για την εργασία αυτή, αλλά όχι τόσο ώστε να απαιτείται επανάληψη οποιασδήποτε διαδικασίας από την αρχή.

Γενικά, κατά την εφαρμογή του φωτοτριγωνισμού, έγιναν αρκετές δοκιμές με βασικό γνώμονα την επίτευξη του συνδυασμού που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα ακρίβειας για την κλίμακα 1:50, αλλά παράλληλα ακολουθώντας και τις βασικές αρχές για την κατανομή των φωτοσταθερών πάνω στο μπλοκ.

Τα σφάλματα όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα για την επίλυση του μπλοκ εικόνων του εξωτερικού τμήματος του ναού είναι κατά τον άξονα των X ίσο με 0,0155 m, κατά τον Y 0,0185 m και κατά Z είναι 0,0136 m.

Το πρόγραμμα στην αναφορά για το εξωτερικό μοντέλο δίνει τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού κάθε εικόνας. Έτσι, υπάρχουν οι γωνίες στροφής  $\omega, \varphi, \kappa$  καθώς και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των προβολικών κέντρων, όμως δεν αναφέρει τις γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης, οι συντεταγμένες αυτές αναγράφονται στο παράθυρο της επίλυσης.

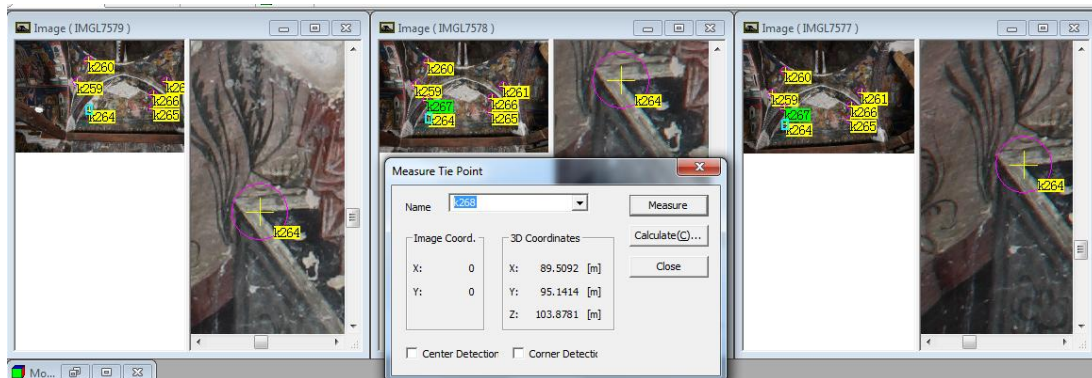
#### 4.4.4.2 Συνόρθωση εσωτερικού μπλοκ εικόνων

Για το εσωτερικό μπλοκ εικόνων, το οποίο αποτελείται από 112 εικόνες, έγινε η εισαγωγή του αρχείου με τις συντεταγμένες των σημείων λεπτομέρειας ( $\varphi/\sigma$ ). Η ακρίβεια με την οποία μετρήθηκαν τα φωτοσταθερά τέθηκε ίση με 0,015 m, για τον ίδιο λόγο που τέθηκε στο εξωτερικό τμήμα. Κατά μέσο όρο σε κάθε εικόνα μετρήθηκαν επτά σημεία σύνδεσης.

Το μέσο σφάλμα των μετρημένων συντεταγμένων είναι αποδεκτό για την ακρίβεια που απαιτείται για την εργασία αυτή.

Γενικά, κατά την εφαρμογή του φωτοτριγωνισμού έγιναν αρκετές δοκιμές και σε αυτή την περίπτωση, με βασικό γνώμονα την επίτευξη του συνδυασμού που θα έδινε τα καλύτερα αποτελέσματα ακρίβειας για την κλίμακα 1:50, αλλά παράλληλα ακολουθώντας και τις βασικές αρχές για την κατανομή των φωτοσταθερών πάνω στο μπλοκ.

Τα σφάλματα όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα για την επίλυση του μπλοκ εικόνων του εσωτερικού τμήματος του ναού για τον άξονα των X είναι ίσο με 0,0113 m, κατά Y ίσο 0,0089 m, και κατά Z 0,0121 m.



Εικόνα 4.21: Παράδειγμα σκόπησης, και μέτρησης σε τρεις εικόνες φωτοσταθερών.



# 5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

## 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο βασικός στόχος είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού με την παραγωγή τεσσάρων εξωτερικών όψεων, επτά εσωτερικών κατακόρυφων τομών και μιας οριζόντιας τομής. Σκοπός των τομών αυτών είναι να περιλαμβάνουν και ορθοφωτογραφίες των λεπτομερειών του Ναού. Ένας ακόμα στόχος που τέθηκε είναι η παραγωγή μιας τρισδιάστατης εικονικής περιήγησης. Μετά την δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας και τον προσανατολισμό των εικόνων, έγιναν οι απαραίτητες ενέργειες και προεργασίες για την παραγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων, ορθοφωτογραφιών και τρισδιάστατης απεικόνισης του ναού.

## 5.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

### 5.2.1 Εισαγωγή

Η ορθοφωτογραφία είναι μια ψηφιακή εικόνα που διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά ενός χάρτη, δηλαδή είναι ορθή προβολή και έχει ενιαία κλίμακα. Παράλληλα όμως έχει όλη την φωτογραφική (εικονιστική) πληροφορία της αρχικής εικόνας από την οποία προέκυψε. (Γεωργόπουλος,2010)

Η παραγωγή της ορθοφωτογραφίας είναι μια μονοεικονική διαδικασία. Απαραίτητα δεδομένα για την παραγωγή της είναι η εικόνα από την οποία θα δημιουργηθεί ορθοφωτογραφία, τα στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού της και το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, στη συγκεκριμένη περίπτωση Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας.

### 5.2.2 Παραγωγή Ορθοφωτογραφιών

Η παραγωγή των ορθοφωτογραφιών στη συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το ίδιο πρόγραμμα με αυτό με το οποίο έγινε ο προσανατολισμός των εικόνων. Ο εξωτερικός προσανατολισμός όλων των εικόνων, από τις οποίες προέκυψαν οι ορθοφωτογραφίες, είναι γνωστός από το προηγούμενο στάδιο. Επίσης, έγινε η εισαγωγή στο πρόγραμμα του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας, όπως αυτό δημιουργήθηκε και διαμορφώθηκε στο λογισμικό Geomagic. Το ΨΜΕ διαχωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα ώστε να είναι εύκολη η διαχείρισή του.

Όπως αναφέρθηκε σκοπός των παραγόμενων ορθοφωτογραφιών είναι η ακριβής τοποθέτησή τους στα σχέδια. Για την παραγωγή των σχεδίων αυτών, όλα τα σημεία που υλοποιούν και περιγράφουν κάθε τομή στράφηκαν ως προς αζιμούθιο, όπως αυτό προέκυψε από δύο σημεία πάνω στην ευθεία της τομής, ώστε να καταστούν ορθές προβολές. Στο ΨΜΕ εφαρμόστηκαν δύο μετασχηματισμοί ώστε να συμφωνεί με τα σχέδια. Με την εφαρμογή του πρώτου, το γεωδαιτικό σύστημα στρέφεται ώστε να γίνει παράλληλο με την τομή και συνεπώς με το αντικείμενο που περιγράφεται σε

κάθε τομή και στο δεύτερο μετασχηματισμό, το σύστημα στρέφεται γύρω από τον άξονα X κατά  $90^\circ$ , που μεταφράζεται σε αντιμετάθεση των αξόνων Y και Z. Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα για στροφή των αξόνων κατά γωνίες  $\omega, \varphi$  και  $\kappa$ , ώστε να αλλάξει η γωνία θέασης του ΨΜΕ. Με αυτόν τον τρόπο, κατά την διάρκεια της διαδικασίας το ΨΜΕ είναι στραμμένο όπως ακριβώς και η τομή. Έτσι λοιπόν, οι ορθοφωτογραφίες που προκύπτουν από τις εικόνες είναι στραμμένες σύμφωνα με τις γωνίες που έχουν οριστεί στο πρόγραμμα.

Στις ρυθμίσεις για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας πρέπει να τεθεί και το μέγεθος της εδαφοψηφίδας της νέας εικόνας που θα προκύψει. Η τιμή της εδαφοψηφίδας, προκύπτει από την εμπειρική σχέση:

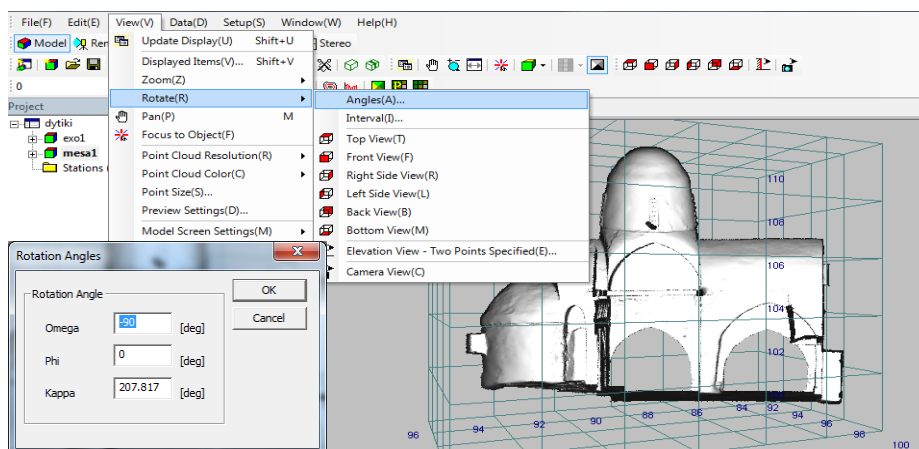
$$0,1 \text{ mm} * \text{Συντελεστή Κλίμακας} = 0,0001\text{m} * 50 = 0,005\text{m}$$

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου το οπτικό αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικό το μέγεθος της εδαφοψηφίδας οριζόταν ακόμα πιο μικρό στα 0,002m, στις περιπτώσεις αυτές με ακρίβεια 0,005 διακρίνονταν τα pixel.

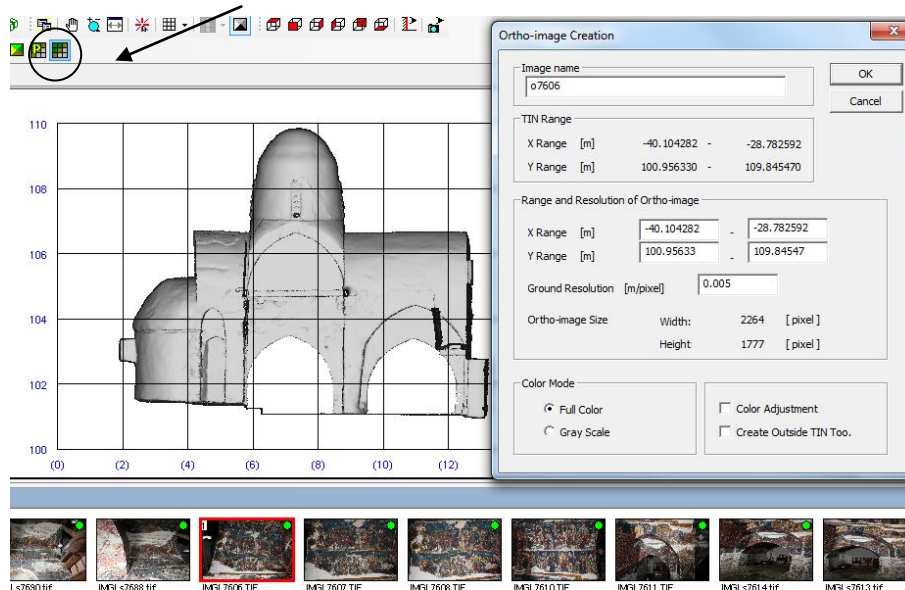
Τα βήματα που απαιτούνται για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας παρουσιάζονται παρακάτω σε εικόνες, όπως εμφανίζονται στο πρόγραμμα. Οι εικόνες που περιγράφουν την διαδικασία αναφέρονται στην κατά μήκος κεντρική τομή με προβολή προς το νότο.

Αφού επιλεγθεί η εικόνα από την οποία θα προκύψει η ορθοφωτογραφία (Εικόνα 5.1) για την παραγωγή της ανοίγει το παράθυρο που εισάγεται το όνομα που θα έχει η νέα εικόνα, καθώς και άλλες πληροφορίες (Εικόνα 5.2). Το πρόγραμμα δίνει κάποιες τιμές τις οποίες ο χειριστής έχει την δυνατότητα να τις αλλάξει αν δεν ανταποκρίνονται στις ακρίβειες των τελικών προϊόντων. Τις περισσότερες φορές η τιμή του μεγέθους της εδαφοψηφίδας που είχε το πρόγραμμα ήταν μεγαλύτερη από την επιθυμητή και για αυτό, η προκαθορισμένη τιμή έπρεπε να αλλάξει. Τα υπόλοιπα πεδία αναφέρονται στο εύρος τιμών X και Y που καλύπτει το ΨΜΕ και συνεπώς το ίδιο εύρος τιμών θα έχει και η παραγόμενη ορθοφωτογραφία.

Από την διαδικασία προκύπτει η εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 5.4), σε αντιπαράβολή παρατίθεται η εικόνα από την οποία έχει προκύψει (Εικόνα 5.3). Ακολουθούν και άλλες εικόνες, αρχικές και ορθοφωτογραφίες, από διάφορα τμήματα του ναού.



Εικόνα 5.1: Το ΨΜΕ της περιοχής που περιγράφει την κατά μήκος κεντρική τομή με τις κατάλληλες γωνίες στροφής.



Εικόνα 5.2: Παράθυρο εισαγωγής στοιχείων για παραγωγή ορθοφωτογραφίας.



Εικόνα 5.3: Η εικόνα περιγράφει τμήμα της τομής, ακολουθεί η ορθοφωτογραφία που προέκυψε από αυτή την εικόνα.



Εικόνα 5.4: Η ορθοφωτογραφία που προέκυψε από την 5.3, όπως έχει οριστεί στο πρόγραμμα είναι προβαλλόμενη σε αυτήν την τομή και είναι απαλλαγμένη από τις προοπτικές παραμορφώσεις.



Εικόνα 5.4 & 5.5: Τμήμα τοιχογραφίας του βόρειου κλίτους. Η εικόνα περιγράφει ένα τμήμα της βόρειας κατά μήκος τομής. Η ορθοφωτογραφία που προέκυψε είναι σε ορθή προβολή.



Εικόνα 5.6: Νότια όψη της εκκλησίας. Η λήψη φαίνεται ότι δεν είναι παράλληλη με το αντικείμενο αλλά έχει μια μικρή κλίση ( $\omega = -103, 103^\circ$  αντί για  $-90^\circ$ ).



Εικόνα 5.7: Ορθοφωτογραφία της 5.6 μετά το γεωμετρικό μετασχηματισμό της κεντρικής προβολής σε ορθή, η όψη απεικονίζεται στη σωστή οριζοντιογραφική της θέση απαλλαγμένη από τις παραμορφώσεις της κλίσης της φωτογραφικής μηχανής.

## 5.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

### 5.3.1 Εισαγωγή

Για την παραγωγή της τρισδιάστατης εικονικής περιήγησης απαραίτητο βήμα είναι η επένδυση του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας (ΨΜΕ) με τις προσανατολισμένες εικόνες, δηλαδή η απόδοση της φωτοϋφής. Η επένδυση του ΨΜΕ με εικόνες, όπως και ο προσανατολισμός τους, έγινε στο πρόγραμμα Image Master® της εταιρείας Topcon.

### 5.3.2 Επένδυση του μοντέλου με εικόνες στο Image Master

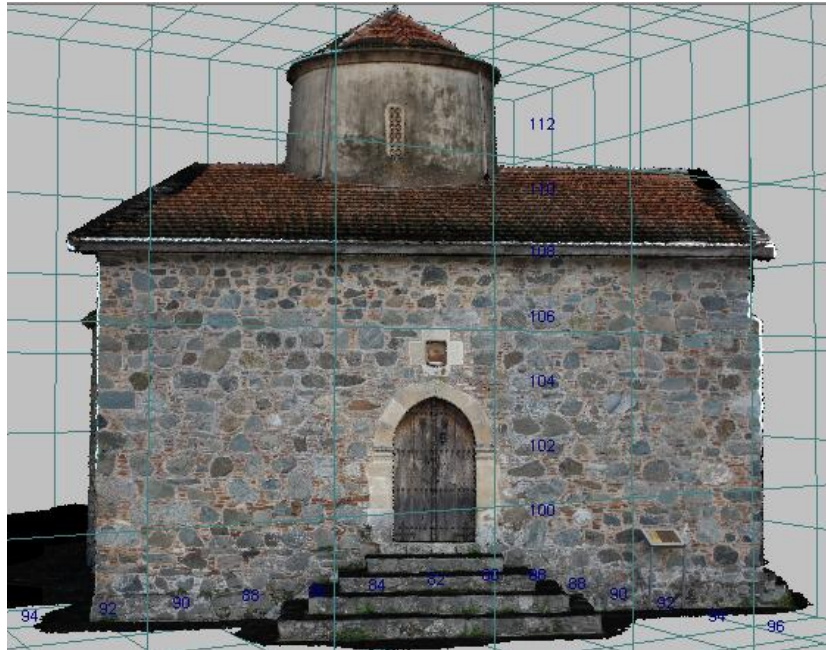
Το Image Master για την απόδοση υφής στο μοντέλο με τις εικόνες χρειάζεται το ΨΜΕ και τις εικόνες προσανατολισμένες σε κοινό σύστημα αναφοράς. Σε αυτή την περίπτωση όλοι οι προσανατολισμοί έχουν γίνει σε κοινό σύστημα αναφοράς με το ΨΜΕ. Οι εικόνες περιγράφουν διάφορα τμήματα του ναού, τα οποία δεν βρίσκονται

στο ίδιο επίπεδο, ενώ οι εικόνες δεν πάρθηκαν με τις ίδιες γωνίες στροφής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται κατά την εισαγωγή του ΨΜΕ στο λογισμικό να έχει ήδη διαχωριστεί σε τμήματα που να αντιστοιχούν σε όσο το δυνατόν περισσότερες εικόνες που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και με περίπου ίδιες γωνίες στροφής. Αυτό συμβαίνει με δεδομένο τον τρόπο απόδοσης της υψής του λογισμικού, το οποίο δίνει ως αποτέλεσμα μια επενδεδυμένη εικόνα του μοντέλου από μια επιλεγμένη οπτική γωνία και όχι το ανάπτυγμά της. Αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές που δεν είναι ορατές από την συγκεκριμένη οπτική δεν επενδύονται σωστά [Valanis et al., 2009]. Είναι πολύ σημαντικό λοιπόν, να έχει επιλεγθεί η σωστή γωνία θέασης για κάθε επιφάνεια πριν την προβολή της εικόνας πάνω σε αυτή.

Για την επένδυση του εξωτερικού τμήματος του ναού το ΨΜΕ διαχωρίστηκε σε 20 τμήματα, ενώ το εσωτερικό σε 49 τμήματα. Το κάθε τμήμα για να επενδυθεί ορθά έχει ως γωνία θέασης, τις γωνίες στροφής της εικόνας κατά την λήψη. Με την θεώρηση ότι η ορθότερη γωνία θέασης του αντικείμενου είναι οι γωνίες στροφής της εικόνας κατά την λήψη τέθηκαν ως γωνίες θέασης ω, φ, κ, οι γωνίες που προέκυψαν από την επίλυση του εξωτερικού προσανατολισμού. Όταν για την επένδυση χρησιμοποιείται παραπάνω από μια εικόνα, ως γωνία θέασης ορίζεται ο μέσος όρος των γωνιών στροφής των εικόνων που θα ντύσουν το ΨΜΕ.

Έτσι η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής: επιλέγεται το τμήμα προς επένδυση και η εικόνα, με γωνία θέασης τις γωνίες στροφής, όπως προκύπτουν από τον εξωτερικό προσανατολισμό και με την ειδική εντολή του προγράμματος (Data-> Texture-> Texture Mapping) αρχίζει η διαδικασία της επένδυσης. Ο χρήστης καλείται να προσδιορίσει την ακρίβεια που θα έχει η εικόνα που θα παραχθεί και έτσι ορίζεται το μέγεθος της εδαφοψηφίδας που θα έχει η εικόνα που θα προκύψει. Το πρόγραμμα για κάθε τμήμα του ΨΜΕ φτιάχνει μια καινούρια εικόνα, η οποία συνοδεύεται από ένα αρχείο VRML (wrl). Τα αρχεία VRML είναι σε γλώσσα σχηματισμού εικονικής πραγματικότητας. Αφού αποθηκευτεί ένα αρχείο world, ο περιηγητής VRML το αποδίδει αναλόγως και επιτρέπει στον χρήστη να περιπλανηθεί στον εικονικό αυτό κόσμο. Η ανάγνωση των VRML γίνεται με ειδικά λογισμικά παρατήρησης (3d viewers), τα οποία συνήθως είναι πρόσθετα (plug-ins) στα λογισμικά περιήγησης στο διαδίκτυο (Web Browsers). Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Cortona 3d, αφού είναι σχετικά πιο γρήγορο από τα υπόλοιπα.

Όπως αναφέρθηκε, για κάθε επιφάνεια προκύπτει μία εικόνα και ένα αρχείο VRML, για το εσωτερικό όπου το ΨΜΕ διαχωρίστηκε σε 49 κομμάτια ήταν αδύνατο οι εικόνες που προέκυψαν να έχουν υψηλή ακρίβεια και για αυτό μειώθηκε η ακρίβεια τους τόσο ώστε ο περιηγητής VRML να μπορεί τις διαβάξει όλες μαζί, αλλά ταυτόχρονα να παραμένουν ευκρινείς.



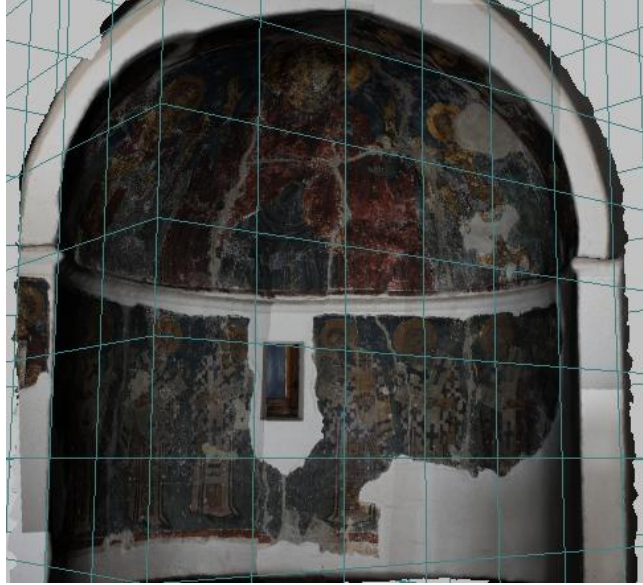
Εικόνα 5.8: Απόδοση της υφής στην βόρεια όψη με καλό οπτικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 5.9: Απόδοση της υφής στην νότια όψη. Η εικόνα που προέκυψε από το λογισμικό προέρχεται από δύο εικόνες με διαφορετική ραδιομετρία, ενώ η γεωμετρία είναι ορθή.



Εικόνα 5.10: Απόδοση της υφής στο μεσαίο κλίτος, στα σημεία όπου αποκρύπτονται στην γωνία θέασης προβάλλεται λάθος χρώμα. Τα λάθη *επισημαίνονται με κύκλους*.



Εικόνα 5.11: Απόδοση υφής στο νοτιοανατολικό τμήμα του ναού. Το απεικονιζόμενο τμήμα είναι διαχωρισμένο σε δύο επιμέρους τμήματα για την ορθότερη απόδοση της υφής.

#### 5.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΧΕΔΙΩΝ

Τα σχέδια έγιναν σε περιβάλλον AutoCAD και σε αυτά τοποθετήθηκαν με τη γεωαναφορά τους οι ορθοφωτογραφίες που περιλαμβάνουν τις αγιογραφίες, σύμφωνα με το επίπεδο τομής. Εξαιτίας του χαμηλού φωτισμού στο εσωτερικό του ναού, χρησιμοποιήθηκαν ειδικές φωτιστικές διατάξεις (studio flash) για τον φωτισμό των αγιογραφιών, αυτό όμως προκάλεσε προβλήματα στην ραδιομετρία των εικόνων στις διαφορετικές θέσεις λήψης των εικόνων. Έτσι, οι ορθοφωτογραφίες εκτός από την ποιοτική ταύτισή τους έπρεπε να έχουν και ραδιομετρική ταύτιση. Η ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων έγινε στο λογισμικό Adobe Photoshop. Τα σχέδια των ορθοφωτομωσαϊκών που προέκυψαν παρατίθενται στο τέλος αυτής της εργασίας.



# 6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

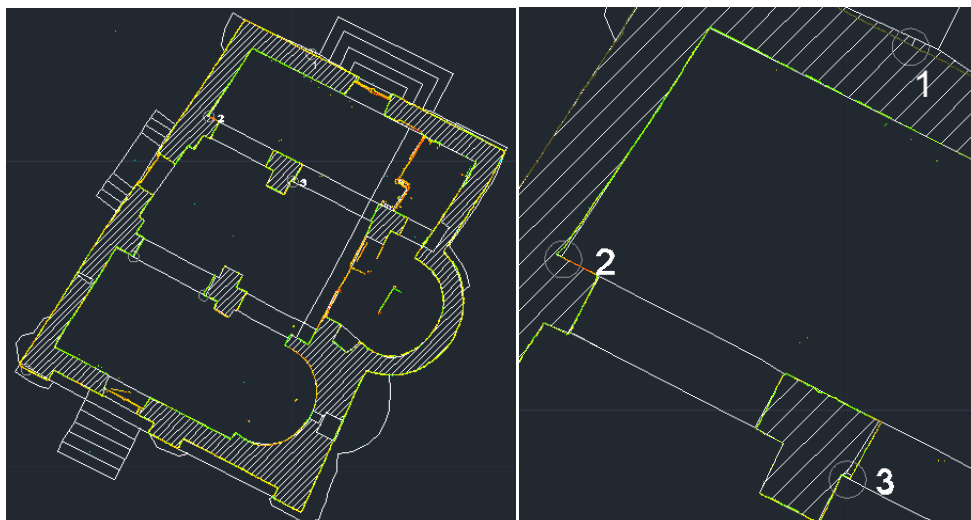
## 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία για να προκύψουν τα τελικά προϊόντα πέρασε από διάφορα στάδια, όπως αυτά αναφέρθηκαν παραπάνω. Από τα στάδια αυτά υπήρξαν κάποια παράγωγα, στα οποία μπορούν να γίνουν κάποιες αξιολογήσεις. Επίσης, τα τελικά προϊόντα της διαδικασίας που περιγράφηκε συγκρίνονται και με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μία άλλη φωτογραμμετρική διαδικασία συλλογής δεδομένων, αυτής του Z-Scan (Μπαριάμη, 2011), που εφαρμόστηκε στην περίπτωση της γεωμετρική τεκμηρίωσης του Ιερού Ναού του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι. Εκτός από την σύγκριση των τελικών προϊόντων, θα γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο μεθοδολογιών μέχρι την τελική παραγωγή προϊόντων.

## 6.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΤΟΜΩΝ

Οι τομές που προέκυψαν από την όλη διαδικασία προήλθαν από τις τοπογραφικές μετρήσεις, από το λογισμικό της συνένωσης των νεφών (Cyclone) και από το λογισμικό όπου έγινε η μοντελοποίηση του αντικειμένου (Geomagic).

Οι οριζόντιες τομές που προέκυψαν από το Cyclone, για το εσωτερικό και για το εξωτερικό τμήμα του Ναού, είναι στο 1m με υψομετρική αφετηρία το δάπεδο του εσωτερικού τμήματος του ναού. Η τομή που προέκυψε από το Cyclone είναι όλα τα σημεία που κατέγραψε ο σαρωτής σε αυτό το ύψος. Μεταξύ της οριζόντιας τομής που προέκυψε από τις τοπογραφικές μετρήσεις και αυτής του Cyclone υπάρχουν μικρές διαφορές. Τα σημεία στα οποία δεν συμφωνούν τα δύο παράγωγα βρίσκονται κυρίως στα τόξα, όπου κατά τη διαδικασία των τοπογραφικών μετρήσεων τα σημεία που μετρήθηκαν ήταν στο δάπεδο, δηλαδή το τέλος του τόξου, ούτως ώστε να απεικονιστεί στο σχέδιο η βάση ως τομή και το τόξο ως προβαλλόμενο, ενώ κατά τη διαδικασία της εξαγωγής της τομής από το cyclone, όπου έγινε στο 1m το πάχος του τοίχου στο οποίο στηρίζεται η καμάρα φαίνεται μεγαλύτερο δεδομένου ότι στο 1m έχει ήδη αρχίσει να σχηματίζεται το τόξο. Γενικά σε όσα σημεία διαφωνούν οι δύο τομές, η βασική αιτία είναι η διαφορές στα επίπεδα τομής. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται σε επίθεση οι δύο οριζόντιες τομές.



Εικόνα 6.1 & 6.2: Αριστερά: Οι οριζόντιες τομές όπως προέκυψαν από τις τοπογραφικές μετρήσεις (λευκό) και από το λογισμικό cyclone (πολύχρωμο) σε επίθεση. Τα δύο περιγράμματα ταυτίζονται, ενώ επισημαίνονται με κύκλους οι περιοχές που υπάρχουν αποκλίσεις. Δεξιά: Η απόκλιση στο σημείο 1 είναι ίση με 7.3cm, στο σημείο 2, 5cm και στο σημείο 3 η απόκλιση είναι 4.5cm. Οι αποκλίσεις οφείλονται στην διαφορετική στάθμη των επιπέδων των τομών.

Οι οριζόντιες τομές που προέκυψαν από το Geomagic, για το εσωτερικό και για το εξωτερικό τμήμα του Ναού, είναι περίπου στο 1m με υψομετρική αφετηρία το δάπεδο του εσωτερικού τμήματος του ναού. Η τομή προέκυψε από το Geomagic με την επιλογή 3 σημείων που όρισαν το επίπεδο τομής, δεδομένης της δυσκολίας της επιλογής των σημείων στο 1m ακριβώς, η τομή που προέκυψε δεν είναι ακριβώς στο 1m. Η τομή όπως προέκυψε από το Geomagic, έχει πάχος, το πάχος αυτό ορίζεται στο λογισμικό, συνεπώς κατά την εξαγωγή της τομής σε dxι μορφή, περιέχει όλα τα τρίγωνα που υπάρχουν σε αυτό το ύψος. Μεταξύ της οριζόντιας τομής που προέκυψε από τις τοπογραφικές μετρήσεις και αυτής του Geomagic υπάρχουν πάλι διαφορές. Οι περισσότερες διαφορές είναι στα τόξα λόγω του διαφορετικού ύψους λήψης των τομών, ενώ στο μεσαίο κλίτος (1 Εικόνα 6.4) και στο νότιο κλίτος (2 Εικόνα 6.4) όπου παρατηρείται μεγάλη απόκλιση μεταξύ των δύο τομών, οφείλεται στην έλλειψη πληροφορίας και συνεπώς στην λανθασμένη δημιουργία τριγώνων. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται επιτεθημένες οι δύο οριζόντιες τομές και στην Εικόνα 6.5 είναι όλες οι τομές μαζί όπως προέκυψαν από όλες τις μεθόδους. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.5 υπάρχει ταύτιση των τομών που προέκυψαν από το Cyclone και από το Geomagic. Αυτό ήταν αναμενόμενο δεδομένου ότι η δεύτερη προκύπτει από την πρώτη, άρα οι δύο τομές αυτές είναι συσχετισμένες.



Εικόνα 6.3 & 6.4: Οι οριζόντιες τομές όπως προέκυψαν από τις τοπογραφικές μετρήσεις (λευκό) και από το λογισμικό Geomatic (ροζ) σε επίθεση. Τα δύο περιγράμματα ταυτίζονται, οι περιοχές που υπάρχουν αποκλίσεις επισημαίνονται με κύκλους. Εικόνα 6.4: Σημεία με μεγάλη απόκλιση που οφείλονται στην έλλειψη πληροφορίας (σημείων) με αποτέλεσμα την λανθασμένη δημιουργία των τριγώνων. Στην 1<sup>η</sup> περίπτωση η απόκλιση ισούται με 14cm, και στην 2<sup>η</sup> 7.3cm



Εικόνα 6.5: Οι οριζόντιες τομές όπως προέκυψαν και από τις τρεις μεθόδους.

### 6.3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η όλη διαδικασία μέχρι την παραγωγή των τελικών προϊόντων έκανε χρήση διαφόρων λογισμικών. Στον Πίνακα 6.1 αναφέρονται συνοπτικά οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν, καθώς και οι ανθρωποώρες που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση των εργασιών. Στις ώρες που αναγράφονται, δεν συμπεριλαμβάνονται οι ώρες εξοικείωσης με τις διαδικασίες και τα λογισμικά, αλλά ούτε και οι ώρες που χρειάστηκαν για δοκιμές μέχρι την παραγωγή των τελικών αποτελεσμάτων.

Εργασία	Ανθρωποώρες:	Εσωτερικό Τμήμα	Εξωτερικό Τμήμα
<b>Τοπογραφικές μετρήσεις</b> (Ίδρυση και μέτρηση όδευσης, μέτρηση φωτοσταθερών, μέτρηση σημείων τομών)		110 ώρες	
<b>Συλλογή 3d πληροφορίας με Laser Scanner</b>		22 ώρες	
<b>Λήψη εικόνων προς προσανατολισμό</b>		13 ώρες	
<b>Cyclone</b> (καθαρισμός και συνένωση των νεφών)		80 ώρες	
<b>Geomagic</b>			
Επεξεργασία σημείων, δημιουργία και επεξεργασία επιφανειών		200 ώρες	160 ώρες
<b>Image Master</b>			
Προσανατολισμός εικόνων		240 ώρες	80 ώρες
Παραγωγή ορθοφωτογραφιών		24 ώρες	16 ώρες
Απόδοση φωτοϋφής στο Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας		25 ώρες	8 ώρες
<b>Ραδιομετρική διόρθωση εικόνων</b>		35 ώρες	
<b>Παραγωγή σχεδίων</b>		120 ώρες	
<b>Σύνολο</b>		1133 ώρες	

Πίνακας 6.1: Συνοπτικός πίνακας με τις ανθρωποώρες που χρειάστηκαν σε κάθε στάδιο.

## 6.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 6.4.1 Εισαγωγή

Στον Ιερό Ναό, ταυτόχρονα με την συγκεκριμένη μεθοδολογία που αναλύθηκε, έγινε και εφαρμογή μιας εναλλακτικής φωτογραμμετρικής διαδικασίας με την χρήση του συστήματος Z-Scan της εταιρείας Menci.

Το σύστημα Z-Scan είναι ουσιαστικά μια μέθοδος παραγωγής έγχρωμου τρισδιάστατου νέφους σημείων μέσω ψηφιακών εικόνων. Ο εξοπλισμός του Z-scan σε συνδυασμό με το λογισμικό πακέτο που το συνοδεύει εκμεταλλεύεται τη γεωμετρία της ειδικής βαθμονομημένης ράβδου και τους αλγορίθμους της ψηφιακής ταύτισης των εικόνων και από μία τριάδα φωτογραφιών, που αποτελεί την πρωτογενή πηγή της πληροφορίας δημιουργεί τρισδιάστατο νέφος σημείων, ενώ η χρωματική πληροφορία πηγάζει από το χρώμα της εικόνας (Μπαριάμη, 2011).

Έτσι, προέκυψαν τα ίδια προϊόντα με δύο διαφορετικές μεθόδους, ώστε να γίνει σύγκριση μεταξύ αυτών των δύο. Παρακάτω αναλύονται βασικές διαφορές μεταξύ τους και παρατίθενται συνοπτικά στον Πίνακα 6.2.

### 6.4.2 Σύγκριση Μεθοδολογιών

Μέσα από αυτή την εργασία αναδείχτηκαν οι αδυναμίες και τα δυνατά σημεία των δύο μεθόδων ως εξής:

- Το Z – Scan έχει εμβέλεια 10 m, γεγονός που θέτει περιορισμούς στον προγραμματισμό λήψης. Σε αντικείμενα με αρκετό ύψος ο χειριστής δεν μπορεί να απομακρυνθεί για να καλύψει την περιοχή. Αντίθετα, ο Επίγειος σαρωτής laser έχει μεγάλη εμβέλεια και αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι σαρώσεις να καλύπτουν απομακρυσμένες περιοχές. Επίσης, η λήψη των εικόνων από το Z-Scan λόγω της μικρής εμβέλειας, πρέπει να γίνεται κοντά στο αντικείμενο, γεγονός που επιφέρει δυσκολίες στο ραδιομετρικό αποτέλεσμα των εικόνων, αφού ο φωτισμός δεν είναι ομοιόμορφος με αποτέλεσμα οι εικόνες να χρειάζονται μεγάλη επεξεργασία ώστε να διορθωθούν ραδιομετρικά.
- Ο εξοπλισμός του Z – Scan είναι εύκολος στην μετακίνηση σε σχέση με τον Επίγειο σαρωτή laser που είναι ογκώδες και βαρύ.
- Ο Επίγειος σαρωτής laser Scanner σαρώνει τον χώρο και η τρισδιάστατη πληροφορία που λαμβάνεται καταγράφεται σε πραγματικό χρόνο, δίνοντας στο χειριστή τη δυνατότητα να την παρακολουθεί, ώστε να γνωρίζει τα κενά που δημιουργούνται. Αντίθετα, στο Z – Scan, η τρισδιάστατη πληροφορία προκύπτει από την τριάδα εικόνων και απαιτείται επεξεργασία για να προκύψει το νέφος σημείων.
- Το λογισμικό Z – Scan είναι αυτόνομο. Δίνει στο χειριστή τη δυνατότητα να αρχίσει και να ολοκληρώσει μια εργασία στα δύο λογισμικά που το συνοδεύουν, το Z – Scan και το Z – Map. Για αυτό το λόγο, τα παράγωγα που δίνουν τα δύο λογισμικά είναι συμβατά μεταξύ τους και για να γίνουν συμβατά με άλλα λογισμικά πρέπει τα αρχεία που συνοδεύουν τις εξαγωγές να υποστούν αρκετά μεγάλη επεξεργασία ώστε να καταστούν συμβατά με άλλα λογισμικά. Ενώ στη δεύτερη μέθοδο υπάρχει συμβατότητα στις μορφές αρχείων από το ένα στο άλλο.
- Ο Επίγειος σαρωτής laser συλλέγει την τρισδιάστατη πληροφορία από την οποία μπορεί να προκύψει το ΨΜΕ, όπως αυτό θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των ορθοφωτογραφιών. Όμως πρέπει οι εικόνες που θα συνδυαστούν με το ΨΜΕ να έχουν ίδιο σύστημα αναφοράς, συνεπώς απαιτούνται σημεία γνωστών συντεταγμένων για τη συσχέτισή τους. Στο Z – Scan αυτό δεν είναι αναγκαίο, αφού το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα της δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου με υφή, αλλά και της παραγωγής ορθοφωτογραφιών σε ένα σύστημα με σωστή κλίμακα, αλλά αυθαίρετο και δεν απαιτούνται σημεία γνωστών συντεταγμένων.
- Στη συμβατική μέθοδο, κατά τη διάρκεια της σάρωσης, ορίζεται το βήμα της σάρωσης και με αυτό το βήμα λαμβάνεται η τρισδιάστατη πληροφορία για μια συγκεκριμένη περιοχή. Αν ο χρήστης θέλει σε αυτή την περιοχή σε κάποιο κομμάτι να πάρει τα σημεία με μεγαλύτερο βήμα (π.χ. ένας επίπεδος τοίχος), ενώ σε κάποιο άλλο με ανάγλυφο να πρέπει να είναι πιο πυκνό, θα πρέπει να διαχωρίσει τη σάρωση σε επιμέρους τμήματα και να διαφοροποιήσει το βήμα συλλογής της πληροφορίας. Για αυτό το λόγο, τις περισσότερες φορές η συλλογή των σημείων γίνεται σύμφωνα με την επιφάνεια που απαιτείται πυκνό βήμα σάρωσης και η μείωση των σημείων των υπόλοιπων περιοχών

γίνεται σε μεταγενέστερο στάδιο. Αντίθετα, στο Z – Scan το βήμα της δημιουργία του νέφους ορίζεται ανά τριάδα εικόνων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Αυτό δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα σε περιοχές όπου δεν έχει νόημα η πυκνή πληροφορία, να επιλέγει τη δημιουργία των σημείων με μεγάλο βήμα και σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη λεπτομέρεια να επιλέγει τη δημιουργία πυκνών σημείων. Βέβαια αυτή η διαδικασία στο Z – Scan είναι χρονοβόρα, δεδομένου ότι για την δημιουργία νέφους σημείων από μια τριάδα εικόνων χρειάζεται γύρω στα 40 λεπτά και στην προκειμένη περίπτωση υπήρχαν 211 τέτοιες τριάδες.

	<b>Z – Scan</b>	<b>Συμβατική μέθοδος</b>
Χρόνος Συλλογής Δεδομένων	Λιγότερος χρόνος παραμονής στο πεδίο	40% περισσότερος χρόνος στο πεδίο
Εμβέλεια Λειτουργίας	10 m	200 m
Ακρίβεια	1 cm στα 10 m	6 mm στα 50 m
Εξοπλισμός	Ευκολία στην μετακίνηση και διαχείριση	Δυσκολία στη μεταφορά εξαιτίας του βάρους και του όγκου (Επίγειος σαρωτής Laser)
	Συγκριτικά πιο φτηνός εξοπλισμός	Ακριβότερος εξοπλισμός
Νέφος Σημείων	Απαιτεί επεξεργασία στο λογισμικό για τη δημιουργία του νέφους σημείων	Δημιουργία σε πραγματικό χρόνο
	Πραγματικό χρώμα στα σημεία	Χωρίς χρώμα – Μπορεί να προστεθεί αργότερα
	Περισσότερες πηγές σφαλμάτων εξαιτίας πολλών στάσεων για λήψη των εικόνων	Λιγότερες πηγές σφαλμάτων εξαιτίας λιγότερων στάσεων για συλλογή της πληροφορίας
Παραγωγή ορθοφωτογραφιών	Δεν απαιτούνται σημεία γνωστών συντεταγμένων	Απαιτούνται σημεία γνωστών συν/νων
Συμβατότητα αρχείων με άλλα προγράμματα	Ειδική επεξεργασία των αρχείων για την δυνατότητα εισαγωγής τους σε άλλα προγράμματα.	Δυνατότητα εξαγωγής σε διάφορες μορφές αρχείων.
Χρήστες	Αυτοματοποιημένη μέθοδος, δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού.	Απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό για την διεκπεραίωση των εργασιών.

*Πίνακας 6.2: Συγκριτικός πίνακας των μεθόδων με χρήση Z-Scan και συμβατικής μεθόδου με χρήση Επίγειου σαρωτή Laser και ψηφιακής μηχανής.*

- Από το Z – Scan το νέφος σημείων που προκύπτει περιέχει τη χρωματική πληροφορία, ενώ με τη δεύτερη μέθοδο πρέπει να γίνει χρονοβόρα επεξεργασία, ώστε το ΨΜΕ να αποκτήσει τη χρωματική πληροφορία.

- Το Z – Scan είναι ένα αυτοματοποιημένο πρόγραμμα και δεν απαιτείται ο χειριστής να έχει φωτογραμμετρικές γνώσεις, αντίθετα στη συμβατική μέθοδο ο χρήστης πρέπει να πάρει αποφάσεις σε όλα τα στάδια της διαδικασίας και οι αποφάσεις αυτές είναι καθοριστικές για το τελικό αποτέλεσμα.
- Ο Επίγειος σαρωτής laser έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από το Z – Scan.

Για να συγκριθούν οι δύο μέθοδοι ως προς το κόστος έγιναν κάποιοι υπολογισμοί, ώστε να αναχθεί το κόστος σε ημερήσιο και έτσι οι δύο μέθοδοι να καταστούν συγκρίσιμες. Ο χρόνος απόσβεσης της αγοράς των οργάνων, αλλά και των λογισμικών είναι τα πέντε χρόνια. Σε έναν χρόνο οι εργάσιμες μέρες είναι περίπου 180. Επομένως για την αναγωγή των τιμών σε ημερήσιο κόστος λαμβάνεται υπόψη η τιμή απόκτησης του προϊόντος σε σχέση με το χρόνο απόσβεσης και τις εργάσιμες μέρες που μπορεί να γίνει η χρήση του. Με βασικό γνώμονα τα παραπάνω προκύπτει ο Πίνακας 6.3 και 6.4.

Κόστος εξοπλισμού και λογισμικών	€	Αναγωγή σε ημερήσιο κόστος € (Αρχικό κόστος/(Χρόνος Απόσβεσης* Εργάσιμες μέρες Έτους)):
Topcon 7003i	25.000	27,78
TheoLT	800	0,89
AutoCAD	4.500	5
Z-Scan	20.000	22,22
Z-Map	40.000	44,44
Laser Scanner - Cyclone	100.000	111,11
Photoshop	800	0,89
Geomagic	30.000	33,33
Image Master	10.000	11,11
Canon EOS MIII	6.500	7,22

*Πίνακας 6.3: Κόστος απαραίτητου εξοπλισμού και λογισμικών για την ολοκλήρωση των εργασιών και η αναγωγή των τιμών σε ημερήσιο κόστος.*

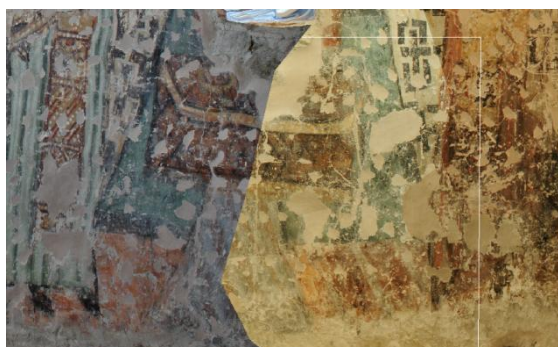
	Συμβατική Μέθοδος	Z - Scan
<b>Κόστος παρελκόμενων €</b>		
Τοπογραφικών οργάνων	394.17	394.17
Σχεδιαστικού πακέτου	75	75
Οργάνων και λογισμικών	4129.79	3130.56
Πρόγραμμα επεξεργασίας ραδιομετρίας των εικόνων	3.56	8.89
<b>Σύνολο</b>	<b>4602,51</b>	<b>3608.61</b>
<b>Αξία Εργασίας €</b>		
Για εργασίες υπαίθρου	2900	2740
Για εργασίες γραφείου	10000	9850
<b>Σύνολο</b>	<b>12750</b>	<b>12740</b>
<b>Συνολικό κόστος εργασίας</b>	<b>17353</b>	<b>16349</b>

Πίνακας 6.4: Το συνολικό κόστος εργασίας των δύο μεθόδων σύμφωνα με τις ώρες που δαπανήθηκαν σε διαφορετικά στάδια της εργασίας.

Αυτό που φαίνεται στους πιο πάνω πίνακες είναι το μεγάλο αρχικό κόστος που απαιτείται για τον εξοπλισμό και για την χρήση των λογισμικών, όπως επίσης οι πολλές ώρες για επεξεργασία. Το αποτέλεσμα που προέκυψε από τις δύο μεθόδους τιμολογείται σχεδόν το ίδιο, η συμβατική μέθοδος είναι μόλις κατά 6% πιο ακριβή από την δεύτερη μέθοδο αν θεωρηθεί ότι το κόστος είναι ημερήσιο.

### 6.4.3 Σύγκριση Παραγόμενων Προϊόντων

Από τις δύο μεθόδους προέκυψαν οι ορθοφωτογραφίες που τοποθετήθηκαν στα αντίστοιχα σχέδια. Τα σχέδια που προέκυψαν και από τις δύο μεθόδους είχαν ορισμένα κενά, τα οποία καλύφθηκαν από τα αντίστοιχα σχέδια της άλλης μεθόδου. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται τμήματα από τα σχέδια της εγκάρσιας ανατολικής και από την κατά μήκος βόρεια. Στη γεωμετρία των εικόνων δεν υπάρχουν διαφορές, αλλά η διαφορά είναι έντονη στη ραδιομετρία.



Εικόνα 6.6: Τμήμα της εγκάρσιας ανατολικής τομής. Οι δύο ορθοφωτογραφίες όπως προέκυψαν από τις δύο μεθόδους: η αριστερή όπως προέκυψε από το Image Master και η δεξιά όπως προέκυψε από το Z – Scan. Αν και η διαφορά στην ραδιομετρία είναι εμφανής, δεν υπάρχουν διαφορές στη γεωμετρία.





*Εικόνα 6.7: Τμήμα της κατά μήκος βόρειας. Η γεωμετρία των εικόνων έχει ανεπαίσθητη διαφορά για την κλίμακα 1:50 που είναι η κλίμακα εκτύπωσης, η διαφορά στην ραδιομετρία δεν είναι τόσο έντονη, όσο στην εικόνα 6.6.*

Από τις δύο μεθόδους προκύπτει Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας. Στη μέθοδο του Z – Scan το ΨΜΕ που προκύπτει περιέχει τη χρωματική πληροφορία και επομένως το στάδιο της επένδυσης του μοντέλου με φωτοϋφή δεν υπάρχει. Αντίθετα, στη συμβατική μέθοδο ο συγκεκριμένος σαρωτής δεν καταγράφει το χρώμα και πρέπει το μοντέλο που θα προκύψει να επενδυθεί από εικόνες που περιγράφουν το αντικείμενο. Όμως στην περίπτωση του Z – Scan, όταν τα αρχεία εξαχθούν από τα λογισμικά του προγράμματος κατά την εισαγωγή τους σε ξένα λογισμικά χάνουν την γεωαναφορά τους, σε αντίθεση με τη συμβατική μέθοδο που εκ των πραγμάτων απαιτείται γεωδαιτική συσχέτιση για να υπάρχει σύνδεση από το ένα πρόγραμμα στο άλλο.

#### 6.4.4 Συμπεράσματα

Οι δύο μέθοδοι έχουν τα υπέρ και τα κατά τους. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει μεγάλο αρχικό κόστος, αφού ο εξοπλισμός είναι πολύ ακριβός, όπως και τα λογισμικά για την επεξεργασία, όμως και οι δύο μέθοδοι δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Το Z – Scan έχει το πλεονέκτημα ότι είναι μια αυτοματοποιημένη μέθοδος και δεν απαιτείται ο χρήστης να έχει φωτογραμμετρικές γνώσεις, ενώ σημαντικό μειονέκτημά του είναι η ασυμβατότητά του με άλλα λογισμικά. Το πλεονέκτημα της συμβατικής μεθόδου είναι ότι η λήψη της τρισδιάστατης πληροφορίας με σαρωτή έχει μεγάλη εμβέλεια (200 m) και το μειονέκτημά της είναι ότι απαιτείται χρονοβόρα επεξεργασία του τεράστιου όγκου δεδομένων από το χειριστή για την παραγωγή των τελικών προϊόντων.







# 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## 7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ιερού Ναού Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι. Στο τελευταίο κεφάλαιο σχολιάζονται οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, ενώ ακόμα εκτίθενται ορισμένες ιδέες και προτάσεις.

## 7.2 ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Η γεωμετρική τεκμηρίωση του συγκεκριμένου θρησκευτικού μνημείου έθετε κάποιους περιορισμούς, διότι κυρίως απαιτούσε υψηλές ακρίβειες και απόδοση σε μεγάλες κλίμακες (1:50, 1:100). Αυτές οι παράμετροι στο πεδίο έθεταν κάποιες προδιαγραφές ως προς την συλλογή των δεδομένων.

Χρήσιμο είναι σε εργασίες με τέτοιες απαιτήσεις να υπάρχει καλός προγραμματισμός συλλογής των δεδομένων και συστηματική καταγραφή όλων των εργασιών που διεξάγονται. Καθώς και συνεχής ενημέρωση της αρχειοθέτησης των δεδομένων.

Ως αυτοσχέδια για τον εντοπισμό των φωτοσταθερών χρησιμοποιήθηκαν εικόνες που πάρθηκαν από τον ναό. Θα ήταν πιο αποδοτικό αν το συνεργείο είχε όλες τις εικόνες προς προσανατολισμό στη διάθεσή του, έτσι ώστε να μην υπάρχουν εικόνες οι οποίες να μην έχουν φωτοσταθερά και ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να προσανατολιστούν. Υπήρχαν περιπτώσεις που εικόνες δεν προσανατολίστηκαν λόγω της έλλειψης του αναγκαίου αριθμού φωτοσταθερών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κενά κατά την παραγωγή των σχεδίων. Επίσης, παρατηρήθηκε πως το πρόγραμμα προσανατολισμού των εικόνων, στις περιπτώσεις που υπήρχαν γραμμές απότομης αλλαγής κλίσης και δεν υπήρχαν φωτοσταθερά, τα σημεία αυτά στις ορθοφωτογραφίες που προέκυψαν ήταν παραμορφωμένα. Συνεπώς, αυτές οι περιοχές απαιτούν περισσότερα σημεία γνωστών συντεταγμένων.

Στο στάδιο της συλλογής της τρισδιάστατης πληροφορίας με σαρωτή, τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό υπήρχαν κάποια σημεία που δεν σαρώθηκαν. Στο εξωτερικό τμήμα του ναού η περιοχή που δεν σαρώθηκε ήταν αυτή της στέγης και του τρούλου αυτό οφείλεται στον τρόπο που είναι τοποθετημένος ο ναός στο χώρο. Ενώ για το εσωτερικό τμήμα του ναού τα κενά δημιουργήθηκαν εξαιτίας βαρέων αντικειμένων που βρίσκονταν μπροστά από τα δομικά στοιχεία του ναού, με αποτέλεσμα να αποκρύπτουν αυτή την πληροφορία. Αυτό δημιούργησε προβλήματα στην όλη διαδικασία, αφού δεν υπήρχαν τα σημεία, δεν δημιουργήθηκαν τρίγωνα ή δημιουργήθηκαν λάθος τρίγωνα. Αυτά τα μεγάλα κενά στην επιφάνεια καλύπτονταν δύσκολα και το αποτέλεσμα σε μερικές περιπτώσεις δεν ήταν ικανοποιητικό. Λύση στο πρόβλημα αυτό, για το εξωτερικό τμήμα του ναού θα ήταν η ανύψωση του σαρωτή σε ψηλότερο σημείο ώστε να παρθούν τα σημεία που περιγράφουν την στέγη, τα κεραμίδια και το τρούλο, ενώ για το εσωτερικό τμήμα θα ήταν η

απομάκρυνσή τους. Επίσης, στο εσωτερικό τμήμα του ναού όπου πάρθηκε υπερβολικά μεγάλος όγκος σημείων με αποτέλεσμα να προκληθούν πολλά προβλήματα και καθυστερήσεις στην όλη διαδικασία, το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας θα είχε την ίδια ακρίβεια με πολύ πιο λίγα σημεία.

Γενικά, υπάρχει τεράστιος όγκος δεδομένων και σε συνδυασμό με την μέτρια υπολογιστική ισχύ, η ροή των εργασιών δυσχεραίνεται και καθυστερεί. Με αποτέλεσμα, ο χειριστής να αναγκάζεται να μειώνει τον όγκο των δεδομένων δίνοντας έμφαση στην διατήρηση της ακρίβειας του τελικού προϊόντος.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αδάμ Κ., Κιστάκης Δ., Μπαριάμη Γ., Φάκα Μ., 2011, *Μάθημα – Θέμα: Αποτυπώσεις Μνημείων*. Εξαμηνιαία εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.

Γεωργόπουλος Α., 2010, *Σημειώσεις Μαθήματος Φωτογραμμετρίας 2*.

Ζάρρας Ν., 2010, *Ο Ναός του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι*, Λευκωσία.

Ιωαννίδης Χ., 2010, *Σημειώσεις Μαθήματος Αποτυπώσεις Μνημείων*.

Kraus, K., 2003. *Φωτογραμμετρία*. Τόμος 1, Εκδόσεις ΤΕΕ.

Κιστάκης Δ., 2011, *Συγκριτική αξιολόγηση φωτογραμμετρικών μεθόδων συλλογής τρισδιάστατης πληροφορίας*. Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Lerma Garcia, J.L, Van Genechten, B., Heine, E., Santana Quintero, M. (eds), 2008. *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning. Training material based on practical applications*. Universidad Politécnica de Valencia, Spain.

Μπαριάμη Γ., 2011. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ιερού Ναού Τιμίου Σταυρού, στο Πελένδρι με εφαρμογές ψηφιακής φωτογραμμετρίας*. Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Πατιάς, Π., 1991. *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Σταθοπούλου Ε., 1011, *Τρισδιάστατα Μοντέλα Αρχιτεκτονικά Σύνθετων Αντικειμένων*. Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Σισμανίδης Π, Φάκα Μ., 2010, *Μεγάλες Θερινές ασκήσεις Φωτογραμμετρίας*. Εξαμηνιαία εργασία, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.

Valanis, A., Tapinaki, S., Georgopoulos, A., Ioannidis, C., 2009. *High Resolution Textured Models for Engineering Applications*. 22nd CIPA Symposium, Kyoto, Japan.

## **Διαδικτυακοί Τόποι**

<http://maps.google.com/> (Accessed 21/11/2011)

<http://www.it.uom.gr/gr/project/vrml/vrml02/index.html> (Accessed 10/09/2011)

<http://www.mcw.gov.cy/mcw/da/da.nsf/All/392748EE7D67CFE0C2257199002A042E?OpenDocument> (Accessed 20/11/2011)

[http://www.pelendri.org/timios\\_stavros.shtm](http://www.pelendri.org/timios_stavros.shtm) (Accessed on 20/11/2011)

<http://www.theolt.com/web/> (Accessed 1/10/2011)









# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

	$W_{\beta}$ (grad)	$W_s$ (m)
Κύρια όδευση	0,0260	0,011
Δευτερεύουσα όδευση	0,0389	0,006

Πίνακας Π.1: Το γωνιακό σφάλμα που προέκυψε και ισομοιράστηκε στις 6 και 8 κορυφές αντίστοιχα καθώς και το γραμμικό σφάλμα κλεισίματος των δύο οδεύσεων.

	X	Y	Z
E1	100	100	100
E2	93,902	88,162	99,833
E3	81,190	89,034	99,629
E4	79,519	94,541	99,831
E5	83,274	101,137	100,089
E6	99,998	120,388	100,237
M1	86,215	93,959	101,012
M2	86,995	98,781	101,035
M3	91,892	100,560	101,048
M4	94,632	99,115	101,226
M5	90,594	96,901	101,071
M6	92,643	95,786	101,362

Πίνακας Π.2: Ο πίνακας με τις τελικές συντεταγμένες των στάσεων των δύο οδεύσεων.

Εσωτερικές σαρώσεις			
Έργο	Σάρωση	Βήμα	Παρατηρήσεις
Μεσαία (Mesaia)	1	1cm στα 7m	Όλα, με κλειστή πόρτα ιερού
	2	1cm στα 7m	Ανοικτή πόρτα ιερού
	3	1mm στα 7m	Τρούλος
	4	1cm στα 7m	Πόρτα εισόδου
Βόρεια (boreia)	1	1cm στα 5m	Όλα
Νότια (Notia)	1	1cm στα 5m	Όλα
Κεντρικό Ιερό (Iero Kentriki)	1	1cm στα 5m	Όλα
Ιερό Βόρεια (Iero Boreia)		1cm στα 5m	Όλα
Εξωτερικές σαρώσεις			
Έργο	Σάρωση	Βήμα	Παρατηρήσεις
S1 (Πλησίον E6)	1	1cm στα 20m	Όλα
	2	5mm στα 20m	Στέγη και τρούλος
S2 (ΒΔ γωνία περιβολού)	1	1cm στα 15m	Όλα
S3 (ΝΔ γωνία)	1	1cm στα 15m	Αριστερό τμήμα
	2	1cm στα 15m	Δεξί τμήμα με επικάλυψη τη ΒΔ γωνία
S4 (Νότια όψη)	1	1cm στα 15m	Όλα, Νότια όψη
	2	1mm στα 25m	Νότια τρούλος μόνο
S5 (ΝΑ γωνία)	1	1cm στα 10m	Όλα, Ανατολική όψη
	2	1cm στα 10m	Στόχους που ήταν ανάποδοι
S6 (Ανατολική όψη)	1	1cm στα 10m	Όλα, Ιερό
S7 (ΒΑ γωνία)	1	1cm στα 10m	Όλα, Ανατολική όψη

Πίνακας Π.3: Βήμα συλλογής πληροφορίας από κάθε θέση σάρωσης.

Όνομα στόχου	Νέφος 1	Νέφος 2	Κατάσταση	Σφάλμα
ST1	Mesaia	IERO kentriki	On	0.001m
ST1	Mesaia	Notia	On	0.001m
ST1	Mesaia	Voreia	On	0.002m
ST1	Notia	IERO kentriki	On	0.001m
ST1	Voreia	IERO kentriki	On	0.001m
ST1	Voreia	Notia	On	0.002m
ST2	Mesaia	Notia	On	0.002m
ST2	Mesaia	Voreia	On	0.002m
ST2	Voreia	Notia	On	0.004m
ST3	Mesaia	IERO Boreia	On	0.000m
ST3	Mesaia	Voreia	On	0.002m
ST3	Voreia	IERO Boreia	On	0.002m
ST4	Mesaia	Notia	On	0.002m
ST5	Mesaia	Voreia	On	0.002m
ST6	Voreia	IERO Boreia	On	0.003m
ST7	IERO kentriki	IERO Boreia	On	0.001m
ST8	IERO kentriki	IERO Boreia	On	0.001m
ST9	IERO kentriki	IERO Boreia	On	0.001m

Πίνακας Π.4: Αποτελέσματα συνένωσης των νεφών για το εσωτερικό του ναού, μόνο με στόχους.

Όνομα στόχου	Νέφος 1	Νέφος 2	Κατάσταση	Σφάλμα
ST23	S6	S7	Off	0.364m
ST24	S6	S7	Off	0.037m
ST12	S1	S7	Off	0.034m
ST12	S2	S7	Off	0.026m
ST12	S1	S2	On	0.009m
ST20	S3	S4	On	0.005m
ST15	S1	S2	On	0.004m
ST14	S2	S3	On	0.004m
ST17	S3	S4	On	0.004m
ST16	S2	S3	On	0.003m
ST15	S1	S3	On	0.003m
ST14	S1	S2	On	0.003m
ST13	S1	S7	On	0.002m
ST15	S2	S3	On	0.002m
ST13	S1	S3	On	0.002m
ST14	S1	S3	On	0.002m
ST13	S1	S2	On	0.002m
ST19	S3	S5	On	0.002m
ST19	S3	S4	On	0.002m
ST10	S1	S6	On	0.002m
ST10	S5	S6	On	0.002m
ST21	S5	S6	On	0.002m
ST10	S1	S7	On	0.002m
ST18	S5	S6	On	0.001m
ST10	S5	S7	On	0.001m
ST13	S2	S3	On	0.001m
ST18	S3	S6	On	0.001m

ST18	S4	S5	On	0.001m
ST10	S6	S7	On	0.001m
ST13	S3	S7	On	0.001m
ST18	S4	S6	On	0.001m
ST18	S3	S5	On	0.001m
ST10	S1	S5	On	0.001m
ST11	S1	S7	On	0.001m
ST13	S2	S7	On	0.001m
ST18	S3	S4	On	0.000m
ST19	S4	S5	On	0.000m

Πίνακας Π.5: Αποτελέσματα συνένωσης των νεφών για το εξωτερικό του ναού, μόνο με στόχους.

Όνομα στόχου	Νέφος 1	Νέφος 2	Κατάσταση	Σφάλμα
ST1	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.013m
ST2	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.014m
ST3	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	Off	0.055m
ST4	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.011m
ST5	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	Off	0.068m
ST6	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.015m
ST7	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.014m
ST8	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.015m
ST9	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	Off	0.039m

Πίνακας Π.6: Αποτελέσματα της συνένωσης των νεφών με τους γεωδαιτικούς στόχους για το εσωτερικό του ναού.

Όνομα στόχου	Νέφος 1	Νέφος 2	Κατάσταση	Σφάλμα
ST10	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.006m
ST11	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.007m
ST12	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.012m
ST13	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.001m
ST14	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.007m
ST15	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.004m
ST16	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.006m
ST17	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.007m
ST18	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.004m
ST19	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.005m
ST20	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.008m
ST21	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.007m
ST22	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	On	0.006m
ST25	Νέφη	Γεωδαιτικοί στόχοι	Off	0.015m

Πίνακας Π.7: Αποτελέσματα της συνένωσης των νεφών με τους γεωδαιτικούς στόχους για το εξωτερικό του ναού.