



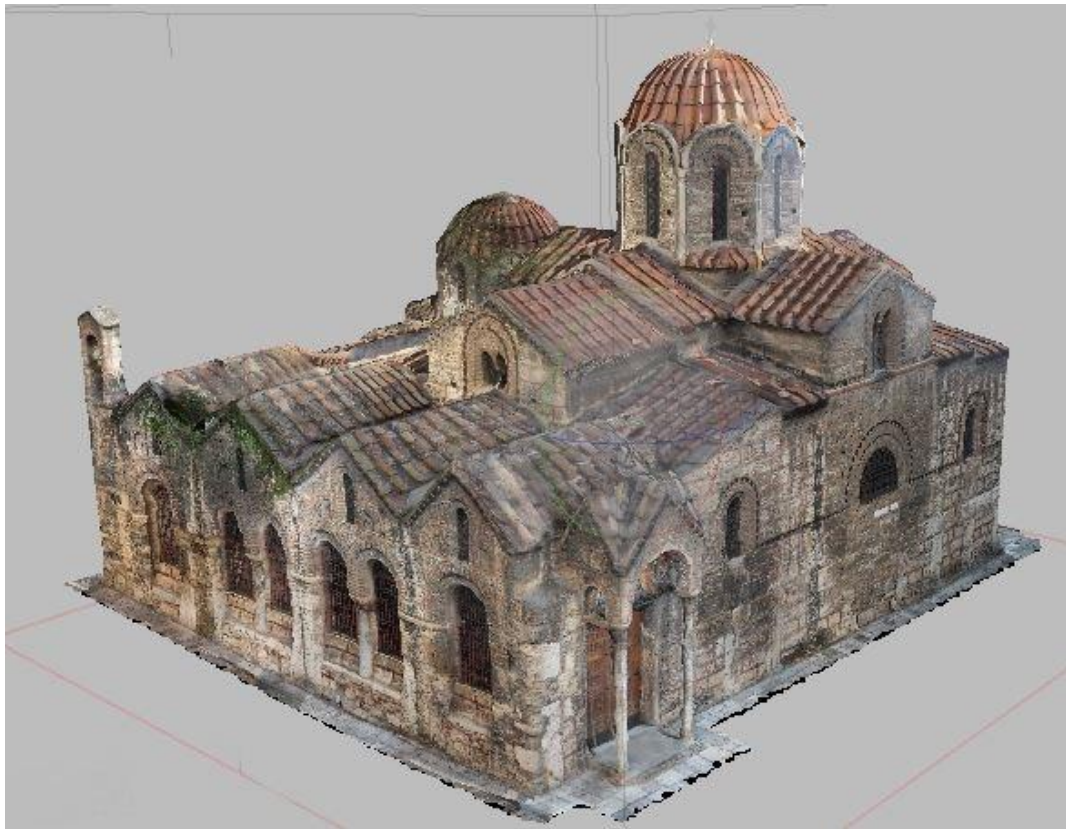
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

**«Η Συμβολή των Φωτογραμμετρικών
Αυτοματισμών στην Γεωμετρική Τεκμηρίωση
Μνημείων»**



Καληνοκτάκης Αντώνιος Εμμ.

Επιβλέπων Καθηγητής: Ανδρέας Γεωργόπουλος

Ιούνιος 2015

Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα

Κ.Π.Καβάφης «Ιθάκη»

Σα βγεις στον πηγαιμό για την Ιθάκη,
να εύχεσαι νάναι μακρύς ο δρόμος,
γεμάτος περιπέτειες, γεμάτος γνώσεις.
Τους Λαιστρυγόνας και τους Κύκλωπας,
τον θυμωμένο Ποσειδάωνα μη φοβάσαι,
τέτοια στον δρόμο σου ποτέ σου δεν θα βρεις,
αν μέν' η σκέψις σου υψηλή, αν εκλεκτή
συγκίνησις το πνεύμα και το σώμα σου αγγίζει.
Τους Λαιστρυγόνας και τους Κύκλωπας,
τον άγριο Ποσειδάωνα δεν θα συναντήσεις,
αν δεν τους κουβανείς μες στην ψυχή σου,
αν η ψυχή σου δεν τους στήνει εμπρός σου.

Να εύχεσαι νάναι μακρύς ο δρόμος.
Πολλά τα καλοκαιρινά πρωιά να είναι
που με τι ευχαρίστησι, με τι χαρά
θα μπαίνεις σε λιμένας πρωτοειδωμένους·
να σταματήσεις σ' εμπορεία Φοινικικά,
και τες καλές πραγμάτειες ν' αποκτήσεις,
σεντέφια και κοράλλια, κεχριμπάρια κ' έβενους,
και ηδονικά μυρωδικά κάθε λογής,
όσο μπορείς πιο άφθονα ηδονικά μυρωδικά·
σε πόλεις Αιγυπτιακές πολλές να πας,
να μάθεις και να μάθεις απ' τους σπουδασμένους.

Πάντα στον νου σου νάχεις την Ιθάκη.
Το φθάσιμον εκεί είν' ο προορισμός σου.
Αλλά μη βιάζεις το ταξείδι διόλου.
Καλλίτερα χρόνια πολλά να διαρκέσει
και γέρος πια ν' αράζεις στο νησί,
πλούσιος με όσα κέρδισες στον δρόμο,
μη προσδοκώντας πλούτη να σε δώσει η Ιθάκη.

Η Ιθάκη σ' έδωσε τ' ωραίο ταξείδι.
Χωρίς αυτήν δεν θάβγαινες στον δρόμο.
Αλλά δεν έχει να σε δώσει πια.

Κι αν πτωχική την βρεις, η Ιθάκη δεν σε γέλασε.
Έτσι σοφός που έγινες, με τόση πείρα,
ήδη θα το κατάλαβες η Ιθάκες τι σημαίνουν.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Φωτογραμμετρία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την μέτρηση γραμμών φωτός (ακτίνων), όπως μαρτυρά και το όνομά της. Αν και σχετικά πρόσφατη επιστήμη, έχει παρουσιάσει μεγάλη άνθιση τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της ανάπτυξης των ικανοτήτων των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών. Οι εφαρμογές της Φωτογραμμετρίας ποικίλλουν και όσο περνάει ο καιρός και η τεχνολογική πρόοδος δίνει νέες δυνατότητες, οι εφαρμογές της θα πληθαίνουν. Ένα πεδίο στο οποίο η Φωτογραμμετρία χρησιμοποιείται κατά κόρον, είναι αυτό της γεωμετρικής τεκμηρίωσης των μνημείων. Όπως εύκολα μπορεί να αντιληφθεί κάποιος, η γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων είναι ένα αντικείμενο το οποίο παρουσιάζει ενδιαφέρον για πλήθος επιστημόνων, όπως π.χ. αρχαιολόγους, αρχιτέκτονες, ιστορικούς ερευνητές και άλλους. Αν και φαινομενικά είναι «απλώς» μια διαδικασία αποτύπωσης, η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου απαιτεί αυξημένη ακρίβεια και ακριβώς γι αυτό, δεν μπορεί να γίνει από οποιονδήποτε επιστήμονα ή μηχανικό αλλά μόνο από έναν Τοπογράφο Μηχανικό και μάλιστα κάποιον Τοπογράφο ειδικευμένο πάνω σε αυτό το αντικείμενο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλάμβανε την γεωμετρική τεκμηρίωση του Ιερού Ναού της Καπνικαρέας, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας και είναι μάλλον γνωστός στην πλειονότητα των αναγνωστών, αν όχι ως όνομα, σίγουρα ως όψη, καθ' ότι είναι σε ένα από τα πιο κεντρικά σημεία της Αθήνας και δεν μπορεί να μην τον αντικρύσει κάποιος, έστω και φευγαλέα. Ως εγχείρημα, η εν λόγω διπλωματική εργασία ήταν ένα ταξίδι. Ένα ταξίδι δύσκολο μεν, πράγμα το οποίο ήταν γνωστό από την πρώτη στιγμή, αλλά ταξίδι στο οποίο δύσκολα μπορεί να πει κάποιος όχι. Ακόμα και αν εξαιρέσουμε το ιδιαίτερο ενδιαφέρον του συγγραφέα για τη Φωτογραμμετρία και τις αποτυπώσεις ακριβείας, είναι αδύνατον να αρνηθεί κάποιος να αναλάβει αυτό το εγχείρημα, πολύ απλά γιατί οι εμπειρίες που θα αποκτήσει και η συνολική πείρα που θα έχει στο τέλος του έχουν ανεκτίμητη εκπαιδευτική αξία. Τα υψηλής τεχνολογίας όργανα, η πολυπλοκότητα του εγχειρήματος και τα υπερσύγχρονα λογισμικά είναι μεγάλο δέλεαρ για κάθε ανήσυχο πνεύμα. Εκτός από τα όργανα όμως, η πείρα που έχουν τα άτομα που συνεργάστηκαν και βοήθησαν στην πραγμάτωση αυτής της διπλωματικής (την οποία είναι πρόθυμοι να μεταδώσουν) ήταν άλλος ένας λόγος για να την δεχτεί κάποιος.

Εκτός από όλα αυτά όμως, υπάρχει και κάτι που είναι διαφορετικό από την εκπαιδευτική αξία της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το οποίο της δίνει άλλη σημασία. Η αφορμή της διπλωματικής εργασίας αυτής ήταν ουσιαστικά η ανάγκη εξαγωγής ενός τρισδιάστατου μοντέλου του Ι.Ν. για μελέτη της στατικότητάς του υπό την καταπόνηση των δονήσεων της γραμμής ΜΕΤΡΟ που διέρχεται κάτωθεν του. Αυτό ίσως δεν ακούγεται πολύ σημαντικό, όμως είναι ακλόνητη πεποίθηση του συγγραφέα, ότι όταν η επιστημονική γνώση μπορεί να συνδυαστεί και να εξαγάγει κάτι το οποίο είναι *πραγματικά χρήσιμο στην κοινωνία*, τότε η γνώση παύει να είναι απλά κομμάτι της εκπαιδευτικής διαδικασίας ενός τεχνολογικού ιδρύματος, με αποτελέσματα άνευ σημασίας, και μετασχηματίζεται σε *χρήσιμο υλικό*, το οποίο μάλιστα

μπορεί να γίνει το υπόβαθρο για την εργασία κάποιου άλλου επιστήμονα. Είναι η έννοια της κοινωνικής προσφοράς και της διεπιστημονικότητας που δίνει άλλη βαρύτητα σε διαδικασίες που σε άλλη συγκυρία θα ήταν στην καλύτερη περίπτωση αδιάφορες και τυπικές.

Εν κατακλείδι, μπορούμε κάλλιστα να πούμε ότι παρ' όλα τα εμπόδια που προέκυψαν στην πορεία αυτής της εργασίας, η ολική εμπειρία είναι απολύτως θετική, όχι τόσο για το αποτέλεσμα *eo ipso*, όσο για το ταξίδι προς την εκπλήρωσή της, όπως άλλωστε είναι γνωστό και έχει αποτυπωθεί και στο γνωστό ποίημα του Κ. Καβάφη. Παρ' όλο που ακούγεται εντελώς «κλισέ» η φράση αυτή, το νόημά της είναι κατ' αρχήν αληθές για όλους τους ανθρώπους, για άλλους περισσότερο και για άλλους λιγότερο, όμως για να εκτιμήσει κάποιος την αξία που έχει κάθε ταξίδι, πρέπει πρώτα να φτάσει στον προορισμό του, όσο αργά ή γρήγορα και αν γίνει αυτό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Όταν ξεκινάει κάποιος ένα δύσκολο και χρονοβόρο εγχείρημα, το τέλος του φαντάζει απίστευτα μακρινό και δεν δίνει ιδιαίτερη σημασία σε αυτό. Όταν όμως έρθει αυτό το πολυπόθητο τέλος, το άτομο έρχεται αντιμέτωπο με την εκπόνηση διαφόρων εργασιών που στην αρχή φάνταζαν σαν όνειρο θερινής νυκτός. Ο πρόλογος της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι ένα από αυτά και η στιγμή που θα γραφόταν εν τέλει μου φάνταζε πως δεν θα φτάσει ποτέ, αλλά ευτυχώς διατηρούσα πάντα μια ελπίδα, όπως οι ήρωες του Samuel Becket περίμεναν πάντα τον Godot να έρθει. Σε αντίθεση όμως με τον Godot, ο οποίος δεν πηγαίνει ποτέ προς απογοήτευση όλων, το τέλος αυτής της διπλωματικής εργασίας ήρθε, πράγμα που σηματοδοτεί την έναρξη και το τέλος πολλών άλλων γεγονότων.

Κατ' αρχάς, με το πέρας αυτής της ΔΕ, ο κύκλος σπουδών μου στο Πολυτεχνείο φτάνει (επιτέλους!) στο τέλος του και ξεκινάει το μακρύ και δύσκολο ταξίδι που έχει να διανύσει ένας νέος απόφοιτος μέχρι να «πατήσει» γερά στα πόδια του (αυτό συνήθως ταυτίζεται με την οικονομική αυτονομία του ατόμου, όμως κατά την γνώμη μου είναι πολλά περισσότερα από αυτό). Επίσης, το τέλος αυτής της διπλωματικής πιθανώς θα είναι το έναυσμα για μια εκ νέου ενασχόληση με τις σπουδές, σε μεταπτυχιακό επίπεδο όμως, δηλαδή πιο στοχευμένο, πιο βαθύ και πιο ώριμο. Τέλος, το πέρας της ΔΕ έρχεται να ορίσει την (ελπίζω προσωρινή) λήξη της συνεργασίας που είχα με πολλά άτομα της πολυτεχνειακής κοινότητας και μη, τα οποία άλλα σε μικρό και άλλα σε μεγάλο βαθμό, συνετέλεσαν στο να ολοκληρωθεί αυτό το δύσκολο εγχείρημα. Προσπαθώντας να μην ξεχάσω κανέναν λοιπόν, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους εξής:

Αρχικά ευχαριστώ τον υπεύθυνο καθηγητή Δρ. Ανδρέα Γεωργόπουλο για την αστείρευτη βοήθειά του, τις ιδέες του και για το γεγονός ότι ήταν ουσιαστικά ο πρώτος που οραματίστηκε την διπλωματική αυτή, την οποία είχα την τιμή να φέρω σε πέρας. Έπειτα, θα πρέπει να ευχαριστήσω ιδιαίτερος την υποψήφια διδάκτορα του UCL Άννα Μαρία Μεθενίτη, η οποία ήταν στην ουσία η αφορμή για να ξεκινήσει αυτή η ΔΕ. Για την πολύτιμη συμβολή της σε τεχνικά ζητήματα της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Σέβη Ταπεινάκη. Επίσης, ευχαριστώ πολύ την κα Ρεγγίνα Χλιβερού, η οποία με μύησε στα μυστικά μιας «τεχνικής» φωτογραφίας και με έμαθε να «ζωγραφίζω με το φως», καθώς και στην κα Λάμπρου η οποία όποτε χρειάστηκε ο εξεζητημένος εξοπλισμός του Εργαστηρίου Γεωδαισίας, μου τον παρείχε πρόθυμα.

Σε ό,τι αφορά στις μετρήσεις πεδίου, εντός και εκτός του Ναού, τα άτομα που βοήθησαν ήταν τόσα πολλά που αξίζει να μνημονευτούν ξεχωριστά. Έτσι λοιπόν ευχαριστώ ιδιαίτερος: τους εκλεκτούς συναδέλφους και φίλους Θωμαΐδη Αλέξανδρο – Θεόφιλο Αγραφιώτη Παναγιώτη, Αγγελόπουλο Ερωτόκριτο, Γκέζο Χρήστο, Γόγολου Χριστίνα και Μπάκα Βασίλη. Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερος την

οικογένειά μου και τον νονό μου, τον κο Τάσο Μεθενίτη και τον φίλο και μουσικό Πάρη Χατζηπαρέ. Τέλος να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τις νεωκόρους του Ναού για την βοήθειά τους όποτε αυτή χρειάστηκε.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1 Στόχοι – Δομή διπλωματικής εργασίας.....	16
1.2 Ιστορικά και Αρχιτεκτονικά Στοιχεία Του Ναού Της Καπνικαρέας	17
1.3 Η Σπουδαιότητα της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων	19
1.4 Οι Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί – Μία σύντομη ιστορική αναδρομή	20
1.4.1 Οι Αναλογικοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί	20
1.4.2 Οι Αναλυτικοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί	21
1.4.3 Οι Ψηφιακοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί	22
1.5 Διαφορές Των Μεθόδων Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων	22
1.5.1 Ο συνδυασμός τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών οργάνων στη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων και η εξέλιξή τους.....	23
1.5.3 Ο Σαρωτής Laser στην αποτύπωση μνημείων	25
1.5.4 Νέες τεχνολογίες στην αποτύπωση μνημείων – Η τεχνολογία Structure from Motion.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	28
2.1 Στοιχεία που μετρήθηκαν - Εισαγωγή	29
2.2 Συλλογή Τοπογραφικών Δεδομένων	29
2.2.1 Ίδρυση και μέτρηση δικτύου ελέγχου – Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν.....	29
2.2.2 Μέτρηση Φωτοσταθερών και στόχων σαρωτή.....	31
2.2.3 Χρήσιμα στοιχεία των τοπογραφικών μετρήσεων.....	32
2.3 Συλλογή Φωτογραφικών Δεδομένων	34
2.3.1 Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε.....	34
2.3.2 Οι λήψεις των εικόνων – χρήσιμα στοιχεία και λεπτομέρειες.....	34
2.4 Συλλογή Δεδομένων Σαρωτή Laser	37
2.4.1 Η λειτουργία του Σαρωτή – Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε	37
2.4.2 Χρήσιμα στοιχεία για τις σαρώσεις	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	40
3.1 Δεδομένα προς επεξεργασία - Εισαγωγή.....	41
3.2 Επεξεργασία Τοπογραφικών Δεδομένων και Αποτελέσματα.....	41
3.2.1. Επίλυση Δικτύου Ελέγχου	41
3.2.2. Επίλυση ταχυμετρικών σημείων	42
3.2.3. Αποτελέσματα επίλυσης τοπογραφικών δεδομένων	43
3.3 Επεξεργασία Δεδομένων Σαρωτή Laser	44
3.3.1. Καθαρισμός νεφών σημείων – Το πρόγραμμα Cyclone	44
3.3.2. Συνένωση και γεωαναφορά νεφών – Αποτελέσματα και εικόνες	48
3.4 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου από τα νέφη σημείων	50
3.4.1 Το πρόγραμμα Geomagic Studio	50
3.4.2. Αποτελέσματα της δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου με το πρόγραμμα Geomagic Studio	52
3.4.2.1. Τα αποτελέσματα σε εικονιστική μορφή	52
3.4.2.2. Τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα.....	57
3.4. Επεξεργασία Φωτογραφικών Δεδομένων	59
3.4.1. Η επεξεργασία με το λογισμικό Image Master	59
3.4.1.1. Βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής	59
3.4.1.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας με το λογισμικό I.M.....	61
3.4.2. Η επεξεργασία με το λογισμικό PhotoScan	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	70
4.1 Εισαγωγή	71
4.2 Αξιολόγηση Συλλογής Δεδομένων	71
4.2.1 Τοπογραφικά Δεδομένα.....	71
4.2.2 Δεδομένα Σαρωτή Laser	71
4.2.3 Φωτογραφικά Δεδομένα	72
4.3 Αξιολόγηση Επεξεργασίας Δεδομένων.....	73
4.3.1 Επεξεργασία Τοπογραφικών Δεδομένων	73
4.3.2 Επεξεργασία Δεδομένων Σαρωτή Laser και Δημιουργίας Τρισδιάστατου Μοντέλου	74

4.3.3 Επεξεργασία Φωτογραφικών Δεδομένων.....	75
4.4 Κατακλείδα – Ενδεικτική Κοστολόγηση.....	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:.....	79
Π1: Εξασφαλίσεις των στάσεων που ιδρύθηκαν περίξ του Ιερού Ναού	80
Π2: Συντεταγμένες των στάσεων που ιδρύθηκαν περίξ του Ιερού Ναού και ακρίβεια αυτών.....	85
Π3: Συντεταγμένες των Φωτοσταθερών που χρησιμοποιήθηκαν.....	86
Βιβλιογραφία	90

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Ο Ιερός Ναός της Παναγίας Καπνικαρέας.....	18
Εικόνα 2: Ο Αναλογικός Φωτογραμμετρικός Σταθμός Stereoplanigraph C8 της εταιρείας Zeiss.....	21
Εικόνα 3: Ο Αναλυτικός Φωτογραμμετρικός Σταθμός Zeiss P3.....	22
Εικόνα 4: Το θεοδόλιχο WILD T-16, ένα από τα πιο γνωστά θεοδόλιχα	24
Εικόνα 5: Μεταλλική μετροταινία για την μέτρηση αποστάσεων.....	24
Εικόνα 6: Ένας Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός.....	25
Εικόνα 7: Ένας Σαρωτής Laser.....	26
Εικόνα 8: Σκαρίφημα με τις κορυφές του δικτύου ελέγχου	30
Εικόνα 9: Ο Ο.Γ.Σ. Topcon GPT3000LN που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του δικτύου ελέγχου.....	31
Εικόνα 10: Το πρίσμα που χρησιμοποιήθηκε στην μέτρηση του δικτύου ελέγχου.....	31
Εικόνα 11: Ο Ο.Γ.Σ. Topcon GPT 7000i I.S. – πολύτιμος συντελεστής στην διεκπεραίωση των μετρήσεων των Φ/Σ.....	32
Εικόνα 12: Η φωτογραφική μηχανή Canon EOS DS1 Mark III.....	34
Εικόνα 13: Σκαρίφημα με τις θέσεις λήψεων των φωτογραφιών από κτήρια πλησίον του Ναού.	35
Εικόνα 14: Ο Σαρωτής ScanStation της εταιρείας Leica.....	38
Εικόνα 15: Ένα νέφος σημείων, όπως φαίνεται από το σημείο στάσης του σαρωτή.....	45
Εικόνα 16: Ένα νέφος σημείων, όπως φαίνεται από τυχαία θέση.....	46
Εικόνα 17: Παράδειγμα εξωτερικού νέφους σημείων με θόρυβο	46
Εικόνα 18: Παράδειγμα εξωτερικού νέφους σημείων (βλ. εικόνα 16) χωρίς θόρυβο	47
Εικόνα 19: Παράδειγμα εξωτερικού νέφους σημείων με θόρυβο	47
Εικόνα 20: Παράδειγμα εσωτερικού νέφους σημείων χωρίς θόρυβο.....	48
Εικόνα 21: Το τελικό εξωτερικό νέφος, συνενωμένο και γεωαναφερμένο	49
Εικόνα 22: Το τελικό εσωτερικό νέφος, συνενωμένο και γεωαναφερμένο.....	50
Εικόνα 23: Παράδειγμα αρχικού τριδιάστατου μοντέλου επιφανείας, στο οποίο φαίνονται οι «τρύπες» που δημιουργούνται από το πρόγραμμα.....	52
Εικόνα 24: Το αρχικό εξωτερικό νέφος σημείων, όπως φαίνεται στο λογισμικό Geomagic Studio.....	53

Εικόνα 25: Το τριδιάστατο μοντέλο επιφάνειας του εξωτερικού νέφους.....	53
Εικόνα 26: Το αρχικό εσωτερικό νέφος σημείων, όπως φαίνεται στο λογισμικό Geomagic Studio	54
Εικόνα 27: Το τριδιάστατο μοντέλο επιφάνειας του εσωτερικού νέφους	54
Εικόνα 28: Το αρχικό εξωτερικό νέφος με τις «τρύπες»	55
Εικόνα 29: Το εξωτερικό νέφος μετά την επεξεργασία και το κλείσιμο των «τρυπών»	55
Εικόνα 30: Παράδειγμα μοντέλου του εσωτερικού του Ναού με «τρύπες».....	56
Εικόνα 31: Το σημείο της εικόνας 27 μετά την επεξεργασία, χωρίς «τρύπες»	56
Εικόνα 32: Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην πορεία της διπλωματικής.....	58
Εικόνα 33: Η επίπεδη επιφάνεια που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση	60
Εικόνα 34: Τοποθέτηση υψής σε εσωτερικό τμήμα του Ναού, με το πρόγραμμα I.M.	62
Εικόνα 35: Η κάτοψη του I.N. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan.....	64
Εικόνα 36: Η Βόρεια όψη του I.N. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan	65
Εικόνα 37: Η Δυτική όψη του I.N. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan	65
Εικόνα 38: Η Νότια όψη του I.N. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan.....	66
Εικόνα 39: Η Ανατολική όψη του I.N. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan	66
Εικόνα 40: Ορθοφωτογραφία της Ανατολικής όψης του I.N. Καπνικαρέας.....	67
Εικόνα 41: Ορθοφωτογραφία της Ανατολικής όψης του I.N. Καπνικαρέας.....	67
Εικόνα 42: Ορθοφωτογραφία της Νότιας όψης του I.N. Καπνικαρέας.....	68
Εικόνα 43: Ορθοφωτογραφία της Ανατολικής όψης του I.N. Καπνικαρέας.....	68
Εικόνα 44: Ορθοφωτογραφία της κάτοψης στεγών του I.N. Καπνικαρέας.....	69
Εικόνα 45: Στιγμιότυπο από το λογισμικό Image Master, στο οποίο η απόδοση της υψής στο μοντέλο είναι καλή	76
Εικόνα 46: Στιγμιότυπο από το λογισμικό Image Master, στο οποίο η απόδοση υψής στο μοντέλο είναι ικανοποιητική και αποδεκτή.....	76
Εικόνα 47: Στιγμιότυπο από το λογισμικό Image Master, στο οποίο η απόδοση υψής στο μοντέλο είναι μη αποδεκτή.....	77

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Χρόνος υλοποίησης των τοπογραφικών μετρήσεων.....	33
Πίνακας 2: Πλήθος συλλεχθέντων τοπογραφικών στοιχείων.....	33
Πίνακας 3: Χρόνος υλοποίησης των φωτογραφικών λήψεων.....	36
Πίνακας 4: Πλήθος συλλεχθεισών φωτογραφικών εικόνων.....	36
Πίνακας 5: Χρόνος υλοποίησης σαρώσεων.....	39
Πίνακας 6: Πλήθος συλλεχθέντων στοιχείων Σαρωτή	39
Πίνακας 7: Ακρίβεια επίλυσης δικτύων ελέγχου.....	43
Πίνακας 8: Συντεταγμένες στάσεων εσωτερικού δικτύου ελέγχου	43
Πίνακας 9: Ακρίβεια επίλυσης ταχυμετρικών σημείων.....	44
Πίνακας 10: Συντεταγμένες στάσεων εξωτερικού δικτύου ελέγχου	44
Πίνακας 11: Ακρίβεια Συνένωσης Νεφών Σημείων	49
Πίνακας 12: Αποτελέσματα της δημιουργίας τριδιάστατου μοντέλου και λοιπά στοιχεία	57
Πίνακας 13: Τα τρίγωνα της επιφάνειας των μοντέλων	57
Πίνακας 14: Τα αποτελέσματα της Βαθμονόμησης	60
Πίνακας 15: Τα αποτελέσματα και οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν με το λογισμικό PhotoScan.....	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Στόχοι – Δομή διπλωματικής εργασίας

Οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής ήταν αρχικά η γεωμετρική τεκμηρίωση του Ιερού Ναού της Καπνικαρέας¹ για λόγους μελέτης της στατικότητας του Ναού κάτω από τις δονήσεις του συρμού της γραμμής μετρό που συνδέει το Σύνταγμα με το Μοναστηράκι, για λογαριασμό της υποψήφιας διδάκτορος του UCL κας Άννας-Μαρίας Μεθενίτη. Αν και η παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου του συγκεκριμένου Ναού είχε πραγματοποιηθεί και στο παρελθόν από το εργαστήριο φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (Κομζιά, 2004), ο συγκεκριμένος Ναός έχει ιδιαιτερότητες που είχε φανεί από την αρχή ότι θα δώσουν διαφορετική χροιά στην τεκμηρίωσή του². Ως εκ τούτου, η διπλωματική ετούτη έπρεπε να διαφοροποιηθεί από τις παρελθούσες αντίστοιχες διπλωματικές και αυτό επετεύχθη με τη χρήση λογισμικού τελευταίας τεχνολογίας (Photoscan), το οποίο χρησιμοποιεί αλγορίθμους τελευταίας τεχνολογίας (Structure From Motion -SFM) για τις συνήθεις φωτογραμμετρικές διαδικασίες. Όμως το πρόγραμμα αυτό είναι εντελώς αυτόματο, περιορίζοντας αρκετά τον χρήστη και επιτρέποντάς του μόνο τη ρύθμιση κάποιων επιμέρους παραμέτρων, χωρίς να έχει ο ίδιος άμεσο έλεγχο στις φωτογραμμετρικές διαδικασίες. Γι' αυτό ο στόχος της διπλωματικής αυτής αναπροσαρμόστηκε και απέκτησε διττή φύση: αφ' ενός να εκτιμηθεί αυτόνομα η συμβολή των αυτοματοποιημένων μεθόδων (αυτοματισμών) στη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων και αφ' ετέρου να ερευνηθεί αν οι αυτοματισμοί είναι συμβατοί με τις μέχρι τώρα κλασσικές μεθόδους φωτογραμμετρίας και αν ναι, το πώς συνδυάζονται. Ως εκ τούτου ο τίτλος της διπλωματικής αυτής άλλαξε από "Η γεωμετρική τεκμηρίωση του Ι.Ν. Καπνικαρέας" σε "Η συμβολή των αυτοματισμών στην γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων και ο συνδυασμός τους με κλασσικές μεθόδους φωτογραμμετρίας".

Η παρούσα διπλωματική χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια, με το πρώτο να είναι το εισαγωγικό κεφάλαιο, στο οποίο περιλαμβάνονται οι στόχοι της διπλωματικής, η σημασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων, κάποια ιστορικά στοιχεία του ναού της Καπνικαρέας και η διαφορά και η εξέλιξη των μεθόδων τεκμηρίωσης με το πέρασμα του χρόνου. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται εκτενώς η πορεία που ακολούθησε η συλλογή των τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών δεδομένων και παρουσιάζονται όσα στοιχεία θεωρούνται απαραίτητα για να καταλάβει ο αναγνώστης ποιες παράμετροι ελήφθησαν υπ' όψιν, τόσο κατά την προετοιμασία των μετρήσεων όσο και κατά τη διαδικασία των μετρήσεων. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται εκτενώς όλες οι διαδικασίες που έγιναν ώστε να υποστούν επεξεργασία τα δεδομένα που συλλέχθηκαν. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, χωρίς όμως να δίνονται λεπτομέρειες που αφορούν στην χρήση των προγραμμάτων αυτών διότι πιθανώς ο αναγνώστης θα μπερδευτεί με την υπέρ-πληθώρα πληροφορίας που θα δεχθεί και θα απολέσει το πραγματικό νόημα της διπλωματικής αυτής. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και όλης

¹ Ο πραγματικός τίτλος του Ναού είναι "Τα Εισόδια Της Θεοτόκου", όμως είναι ευρέως γνωστός ως Ναός της Καπνικαρέας.

² Περισσότερες λεπτομέρειες στο Κεφάλαιο 3 - Επεξεργασία Δεδομένων.

της διαδικασίας ενώ παράλληλα παρατίθενται και οι προτάσεις, οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες για όποιον θελήσει να κάνει κάποια στιγμή στο μέλλον κάποια εργασία αντίστοιχης φύσεως. Οι προτάσεις αυτές αποτελούν αποκύημα της πείρας που αποκτήθηκε από την εκπόνηση αυτής της εργασίας και η αξία τους είναι σημαντική, όπως άλλωστε και η αξία της γνώσεως εν γένει.

1.2 Ιστορικά και Αρχιτεκτονικά Στοιχεία Του Ναού Της Καπνικαρέας

Η εκκλησία της Καπνικαρέας είναι βυζαντινός ναός, το αρχικό κτίσμα του οποίου είναι σταυροειδής ναός μετά τρούλου, ο οποίος στηρίζεται σε τέσσερις κίονες με ρωμαϊκά κιονόκρανα. Κτίστηκε τον ενδέκατο αιώνα μ.Χ. προς τιμήν της Θεοτόκου και σε ανάμνηση της εισόδου της στο Ναό του Κυρίου. Αργότερα, στη βόρεια πλευρά του προστέθηκε παρεκκλήσι με τρούλο, το οποίο τιμά τη μνήμη της Αγίας Βαρβάρας. Ακόμα πιο μετά, προστέθηκε εξωνάρθηκας με πολλές αμφικλινείς στέγες και τέσσερα μεγάλα ανοίγματα, τα οποία χωρίζονταν με κίονες. Στη νότια πλευρά του νάρθηκα υπάρχει μικρό πρόοστο, το οποίο στηρίζεται σε δύο κίονες, ενώ άνωθεν της θύρας υπάρχει τόξο σε σχήμα πετάλου. Στη δυτική πλευρά είναι εντοιχισμένα γλυπτά και επιγραφές, η δε εικόνα της Πλατυτέρας στο Ιερό του Ναού είναι έργο του Φώτη Κόντογλου. Ο ναός εξωτερικά έχει την περίτεχνη και επιμελή πλινθοπερίκλειστη τοιχοδομία των αθηναϊκών ναών, καθώς και τις χαρακτηριστικές οδοντωτές ταινίες. Το ψηφιδωτό που βρίσκεται πάνω από την είσοδο του είναι νεότερη κατασκευή ("ΚΑΠΝΙΚΑΡΕΑ" - Επεξηγηματικό φυλλάδιο του Πανεπιστημίου Αθηνών για τον Ναό της Καπνικαρέας).

Όπως αναφέρεται και προηγουμένως, ο ναός κτίστηκε τον ενδέκατο αιώνα, πάνω στα ερείπια αρχαίου ναού, ο οποίος ήταν αφιερωμένος στην Αθηνά ή στη Δήμητρα. Το όνομα της εκκλησίας έχει άγνωστη προέλευση. Κατά μια άποψη, ονομάστηκε έτσι από αυτόν που έκτισε τον ναό, εισπράττοντας τον λεγόμενο *καπνικό φόρο*, δηλαδή ένα είδος φόρου των οικοδομών στα χρόνια του Βυζαντίου. Παλαιότερα, ο ναός ονομαζόταν Καμουχαρέα, από τη λέξη Καμουχά, με την οποία στα χρόνια του Βυζαντίου ονόμαζαν τα χρυσοϋφαντα υφάσματα, πιθανώς γιατί βρισκόταν δίπλα σε εργαστήρια τέτοιων υφασμάτων. ("ΚΑΠΝΙΚΑΡΕΑ" - Επεξηγηματικό φυλλάδιο του Πανεπιστημίου Αθηνών για τον Ναό της Καπνικαρέας). Άλλες πάλι πηγές, αναφέρουν ότι το όνομα του ναού προέρχεται από τους Καπνικάρηδες, δηλαδή τους εφοριακούς της εποχής (Καπνικάρης ήταν ο άνθρωπος που κάνει χάρη σε κάποιον). (Κομζιά, 2004).

Ο ναός ήταν αφιερωμένος στη βυζαντινή αυτοκράτειρα Ειρήνη, η οποία βασίλευσε από το 797 μέχρι το 802 μ.Χ. και αργότερα ανακηρύχθηκε Αγία. Στα χρόνια της Τουρκοκρατίας, ο ναός ονομαζόταν εκκλησία της Βασιλοπούλας και του Πρέντζα. Το 1834, το ρυμοτομικό σχέδιο που πρότειναν οι αρχιτέκτονες του Όθωνος απαιτούσε την κατεδάφιση όλων των κτισμάτων που βρίσκονταν πάνω στην ευθεία που ένωνε το παλάτι με τον Πειραιά, ώστε να ενωθούν οι δύο αυτές περιοχές με δρόμο. Στα κτίσματα αυτά περιλαμβανόταν και ο ναός της Καπνικαρέας και ως εκ τούτου έπρεπε να κατεδαφιστεί, όμως αυτό απετράπη χάρη στην παρέμβαση των ενοριτών της εκκλησίας. Οι ενορίτες μίλησαν απ' ευθείας στον πατέρα

του Όθωνος, τον Λουδοβίκο της Βαυαρίας, και εκείνος πέτυχε τροποποίηση του ρυμοτομικού σχεδίου. Σε αυτήν την τροποποίηση οφείλεται και η θέση της εκκλησίας καταμεσής της οδού Ερμού. Η παρέμβαση του Λουδοβίκου δεν ήταν ευνοϊκή για τον ναό αυτό καθεαυτό, αλλά και για τον ελληνικό πολιτισμό συνολικά, διότι η αξία ενός δρόμου που ενώνει το παλάτι με τον Πειραιά είναι μηδαμινή μπροστά στην πολιτισμική αξία που έχει ένας ναός με ζωή εννέα αιώνων.

Ένα πράγμα που μεγεθύνει τη σημασία του ναού της Καπνικαρέας είναι το γεγονός ότι η πλειονότητα των τοιχογραφιών του ναού είναι έργα του διάσημου ζωγράφου Φώτη Κόντογλου (1895-1965). Το έτος που φιλοτεχνήθηκαν οι τοιχογραφίες είναι το 1955 και η τεχνοτροπία που ακολούθησε ο διάσημος ζωγράφος ήταν η αυστηρή μοναστική. Το πιο συγκλονιστικό γεγονός είναι ότι ο Φώτης Κόντογλου πούλησε το σπίτι του προκειμένου να αγοράσει τα αναγκαία λάδια και χρώματα ώστε να πραγματοποιήσει τις τοιχογραφίες. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο κατά την γνώμη του συγγραφέα δίνει άλλη χροιά στις τοιχογραφίες και στην εκκλησία της Καπνικαρέας συνολικά. Γνωρίζοντας την ιστορία αυτή και βλέποντας ίδιους όμμασι κάποιος τις τοιχογραφίες, δεν μπορεί παρά να νιώσει συγκίνηση και ευλάβεια. Ευτυχώς, στις μέρες μας διεξάγονται εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης των τοιχογραφιών, διότι η φθορά του χρόνου απέκρυπτε σταδιακά το μεγαλείο τους. Ο ναός δόθηκε το 1931 από την Εκκλησία της Ελλάδος στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, στη σχολή της Θεολογίας, η οποία είναι και υπεύθυνη για την συντήρηση του ναού, μαζί με την 1^η εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, στην οποία ανήκει.



Εικόνα 1: Ο Ιερός Ναός της Παναγίας Καπνικαρέας

1.3 Η Σπουδαιότητα της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων

Η γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων είναι η διαδικασία λήψης, επεξεργασίας, αρχειοθέτησης και παρουσίασης των στοιχείων εκείνων, που καθορίζουν τη μορφή, το σχήμα και το μέγεθος ενός μνημείου στον τριδιάστατο χώρο, σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ουσιαστικά, η Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων με την χρήση τοπογραφικών μεθοδολογιών είναι η ορθή προβολή ενός επιλεγμένου συνόλου σημείων στον χώρο σε οριζόντια και κατακόρυφα επίπεδα (συνήθως), με στόχο να καταγραφούν οι γεωμετρικές -και όχι μόνο- ιδιότητες ενός μνημείου. (Γεωργόπουλος & Μπαλοδήμος, 2011).

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον αναγνώστη, η σημασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης ενός μνημείου έχει πολλές χρησιμότητες και εφαρμογές. Με την αποτύπωση των μνημείων είναι δυνατή η εκτίμηση της φθοράς που μπορεί να έχουν υποστεί αυτά, και με βάση αυτά τα δεδομένα να δρομολογηθούν οι απαραίτητες διαδικασίες συντήρησής τους. Άλλες πάλι εφαρμογές μπορεί να αφορούν λόγους επίδειξης ενός μνημείου σε κάθε ενδιαφερόμενο. Χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία κάποιου, του δίνεται η δυνατότητα να έχει πλήρη εποπτεία και ακριβέστατη μετρητική πληροφορία για κάθε μνημείο που τεκμηριώνεται. Επιπρόσθετα, με την Γεωμετρική Τεκμηρίωση ενός μνημείου σε ηλεκτρονική μορφή δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων για μνημεία μιας χώρας/ενός μουσείου/ενός τόπου κλπ, πράγμα που διευκολύνει κατά πολύ την διαχείριση των μνημείων.

Όμως, κατά την άποψη του γράφοντος, η σημασία της τεκμηρίωσης ενός μνημείου είναι κάτι πολύ περισσότερο από όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, και πηγάζει απ' ευθείας από τον ορισμό που δίδεται για αυτήν. Πιο συγκεκριμένα, η τεκμηρίωση ενός μνημείου είναι ένα *πολιτισμικό στιγμιότυπο*, μια πολιτιστική «φωτογραφία», εφόσον επιτραπεί η χρήση αυτού του όρου. Εξετάζοντας κάποιος ένα μνημείο μπορεί να βγάλει πολλά χρήσιμα συμπεράσματα για το παρελθόν και την ιστορία του λαού που το έκτισε, για το πολιτικο-κοινωνικο-οικονομικό γίνεσθαι της εποχής, για την αρχιτεκτονική της εποχής και πληθώρα άλλων συμπερασμάτων. Αντίστοιχα σκεπτόμενοι, οι άνθρωποι στις μέρες μας μπορούν να χρησιμοποιήσουν την γεωμετρική τεκμηρίωση των *σύγχρονων κτηρίων* για να αποστείλουν την δική τους «πολιτιστική φωτογραφία» στο μέλλον, όχι αναγκαστικά το άμεσο, αλλά ακόμα και το μακρινό. Όπως ακριβώς εστάλη ο χρυσός δίσκος του διαστημοπλοίου Voyager, ώστε αν την βρει κάποιος στο μέλλον να γνωρίζει τις πιο συνηθισμένες γλώσσες επί γης (τη στιγμή που γράφτηκε ο χρυσός δίσκος), μια επιλογή από την καλύτερη μουσική που είχε γραφτεί επί γης, τις φιγούρες των όντων που την κατοικούσαν και άλλα συναφή (Wikipedia), κάτι αντίστοιχο θα μπορούσε να γίνει με την γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων, ειδικά αν είναι σε ηλεκτρονική μορφή.

Υπό αυτή την οπτική γωνία γίνεται αντιληπτό ότι είναι ανυπέβλητης αξίας η τεκμηρίωση των παλαιών μνημείων, αλλά και η τεκμηρίωση των πιο σύγχρονων κτηρίων (τα κτήρια που είναι σε λειτουργία δεν μπορούν να θεωρηθούν μνημεία). Ιδιαίτερα σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, όπου παντρεύεται ο αρχαίος

ελληνικός και ο ελληνορθόδοξος (βυζαντινός) πολιτισμός και τα μνημεία της είναι όχι μόνο πολλά, αλλά και αυξημένης πολιτιστικής αξίας, η Γεωμετρική Τεκμηρίωσή τους είναι αδήριτη αναγκαιότητα και όχι περιττή, επιστημονική πολυτέλεια.

1.4 Οι Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί – Μία σύντομη ιστορική αναδρομή

Για την εκπόνηση οποιασδήποτε φωτογραμμετρικής διαδικασίας απαιτείται η χρήση εξειδικευμένων οργάνων. Το όργανο που δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να προσανατολίσει εσωτερικά και εξωτερικά ζεύγη από φωτογραφίες και να κάνει και απόδοση σχεδίου από αυτές, ονομάζεται Φωτογραμμετρικός Σταθμός ή Φωτογραμμετρικό Όργανο. Η Φωτογραμμετρία στην σύγχρονη εποχή γίνεται εξ ολοκλήρου μέσω των κατάλληλων προγραμμάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, όμως δεν ήταν πάντα έτσι. Από τις απαρχές της Φωτογραμμετρίας μέχρι τη σημερινή εποχή, πέρασαν διάφορα στάδια κατά τα οποία σταδιακά αντικαταστάθηκαν τα μηχανικά μέρη των φωτογραμμετρικών σταθμών από μηχανισμούς ελεγχόμενους από ηλεκτρονικό υπολογιστή ή από διαδικασίες που γίνονταν εξ ολοκλήρου μέσω του υπολογιστή. Τα φωτογραμμετρικά όργανα που ήταν αποκλειστικά μηχανικά ή/και οπτικά, ονομάζονται αναλογικά (αναλογικοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί αντίστοιχα). Οι δε φωτογραμμετρικοί σταθμοί που λειτουργούσαν όπως οι αναλογικοί, αλλά με υποστήριξη κάποιων λειτουργιών από ηλεκτρονικό υπολογιστή, ονομάζονται αναλυτικοί, ενώ τα προγράμματα που δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να κάνει όλες τις φωτογραμμετρικές διαδικασίες ψηφιακά, με τη χρήση μόνον του υπολογιστή, ονομάζονται (όπως είναι προφανές) ψηφιακοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί. Στα παρακάτω εδάφια παρουσιάζονται συνοπτικά οι παραπάνω κατηγορίες φωτογραμμετρικών οργάνων, συνοδευόμενες από εικόνες, για καλύτερη εποπτεία.

1.4.1 Οι Αναλογικοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί

Πριν αναπτυχθεί ο Η/Υ, τα φωτογραμμετρικά όργανα ήταν ογκώδεις κατασκευές, οι οποίες έδιναν την δυνατότητα παραγωγής σχεδίου από τον μηχανικό, χρησιμοποιώντας γραφίδα και σχεδιαστικό τραπέζι. Οι οριζοντιογραφικές κινήσεις της γραφίδας (κατά X και κατά Y δηλαδή) ήταν άμεσα συνδεδεμένες με τις κινήσεις του οργάνου, το οποίο και ρύθμιζε ο χειριστής. Η σύνδεση της γραφίδας με τις κινήσεις του οργάνου γινόταν με μηχανικό τρόπο, ενώ μεσολαβούσαν γρανάζια για να καθορίσουν την σχέση κλίμακας απόδοσης και κλίμακας μοντέλου. Η δε διόρθωση του Z, γινόταν από τον χειριστή με ειδικό ποδοδίσκο. Ο χειριστής, ακολουθούσε τις επιθυμητές λεπτομέρειες με τους χειροστρόφαλους που χειριζόταν το όργανο και η γραφίδα χάραζε την ορθή προβολή της παραγόμενης γραμμής σε χαρτί ή σε αδιάσταλο διαφανές. Με τον τρόπο παραγόταν σχέδιο από προσανατολισμένες φωτογραφίες με αναλογικό όργανο.



Εικόνα 2: Ο Αναλογικός Φωτογραμμετρικός Σταθμός Stereoplanigraph C8 της εταιρείας Zeiss

1.4.2 Οι Αναλυτικοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί

Οι αναλυτικοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί έχουν δύο «εκδόσεις». Η πρώτη έκδοση των αναλυτικών σταθμών, αφορά σταθμούς οι οποίοι δεν ήταν πολύ διαφορετικοί από τους αναλογικούς, με τη διαφορά όμως ότι ήταν συνδεδεμένοι με ηλεκτρονικό υπολογιστή, στον οποίο μεταδίδονταν οι μετρήσεις που γίνονταν στο σταθμό. Έτσι, υπολογίζονταν αναλυτικά οι προσανατολισμοί των εικόνων, καθώς οι κινήσεις των χειροστροφάλων (και επομένως και οι μετρήσεις, δηλαδή οι εικονοσυντεταγμένες) μετατρέπονταν σε ψηφιακό σήμα, το οποίο βέβαια είναι και αυτό που αντιλαμβάνεται ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Μετά τον υπολογισμό των προσανατολισμών, ο χειριστής εισάγει τις αναγνώσεις στις συνιστώσες της βάσης (ήτοι τα ω , φ , κ , ΔX , ΔY , ΔZ) και η απόδοση γίνεται όπως και στα συνήθη αναλογικά όργανα.

Η δεύτερη και πιο εξελιγμένη έκδοση των αναλυτικών φωτογραμμετρικών σταθμών είναι οι πλήρως αναλυτικοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί, οι οποίοι εμφανίστηκαν γύρω στο 1972. Σε αυτούς τους σταθμούς, υπήρχε η δυνατότητα κίνησης των εικονοφορέων απ' ευθείας από τον υπολογιστή μέσω κατάλληλων σερβομηχανισμών, πράγμα που σήμαινε πιο απλή κατασκευή και καλύτερη ακρίβεια. Για κάθε μηχανικό (όχι μόνο για τον Τοπογράφο Μηχανικό), μειωμένο κόστος και καλύτερη ακρίβεια σημαίνει επανάσταση, και ακριβώς αυτό ήταν οι πλήρως αναλυτικοί φωτογραμμετρικοί σταθμοί. Ο εκάστοτε χειριστής λοιπόν,

μπορούσε να περιηγηθεί στο μοντέλο κινώντας τους χειροστροφάλους³ και το λογισμικό αποκαθιστούσε συνεχώς τη θέση των φωτογραφιών, ώστε ο χειριστής να βλέπει συνέχεια στερεοσκοπικά για να μπορεί να σκοπεύσει όσα σημεία χρειαζόνταν και να μεταφέρει τις εικονοσυντεταγμένες τους στον υπολογιστή.



Εικόνα 3: Ο Αναλυτικός Φωτογραμμετρικός Σταθμός Zeiss P3

1.4.3 Οι Ψηφιακοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί

Από το προηγούμενο εδάφιο μπορεί να καταλάβει ο αναγνώστης ότι η διαφορά των αμιγώς ψηφιακών σταθμών από τους πλήρως αναλυτικούς, είναι ότι στους τελευταίους δεν υπάρχουν καθόλου οπτικά και κινούμενα μηχανικά μέρη και όλες οι διαδικασίες γίνονται πλέον μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού. Η απόδοση γίνεται πλέον μόνο με τη χρήση κατάλληλων σχεδιαστικών προγραμμάτων (CAD) και οι δυνατότητες των παραγομένων προϊόντων από το κάθε λογισμικό είναι πάρα πολλές. Τέτοια προϊόντα μπορεί να είναι ορθοφωτογραφίες, ψηφιακά μοντέλα εδάφους / αναγλύφου, τομές, συντεταγμένες σημείων, εμβαδά και ό,τι άλλο μπορεί να είναι χρήσιμο.

1.5 Διαφορές Των Μεθόδων Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων

Η επιστήμη της Φωτογραμμετρίας είναι συγγενής επιστήμη με αυτήν της τοπογραφίας, οπότε είναι εύλογο ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην μια επιστήμη χρησιμοποιούνται και στην άλλη. Πιο συγκεκριμένα, στη Φωτογραμμετρία απαιτείται η γνώση των συντεταγμένων κάποιων σταθερών σημείων τα οποία συνήθως ονομάζονται φωτοσταθερά ή αγγλιστί ground control points. Τα σημεία αυτά είναι

³ Οι χειροστροφάλοι (και οι ποδοδίσκοι βέβαια) στα μηχανήματα αυτά υπήρχαν μάλλον για συναισθηματικούς λόγους και όχι επειδή όντως χρησίμευαν κάπου, αφού οι εικονοφορείς μπορούσαν να κινηθούν μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή από ειδικό joystick ή ακόμα και από το «ποντίκι».

ευδιάκριτα στις φωτογραφίες και χρησιμεύουν τόσο στον εσωτερικό όσο και στον εξωτερικό προσανατολισμό των μοντέλων. Για να υπολογιστούν οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών χρησιμοποιούνται μέθοδοι κλασσικής Γεωδαισίας και βεβαίως η πρόοδος που σημειώνεται στην επιστήμη της Γεωδαισίας δεν αφήνει ασυγκίνητη και ανεπηρέαστη την επιστήμη της Φωτογραμμετρίας.

Πολύ απλοϊκά αλλά εύστοχα, μπορεί κάποιος να πει ότι οι διαδικασίες που ακολουθούνται στη γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου είναι κατ' αρχήν οι ίδιες για κάθε μνημείο και ότι μόνο ο τρόπος διεκπεραίωσης της τεκμηρίωσης αλλάζει, ανάλογα με τη διαθέσιμη τεχνολογία. Αν θεωρηθεί σωστή μια τέτοια προσέγγιση, τότε οι διαδικασίες για την γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου είναι οι εξής:

- Λήψη φωτογραφιών
- Μέτρηση φωτοσταθερών
- Μέτρηση λοιπών σημείων
- Επεξεργασία δεδομένων (εσωτερικός και εξωτερικός προσανατολισμός των εικόνων)
- Παραγωγή σχεδίων/λοιπών προϊόντων

Όπως είναι φανερό, η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου είναι ένας συνδυασμός τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών μεθόδων και οργάνων. Στα εδάφια που ακολουθούν παρουσιάζονται οι διάφοροι αυτοί συνδυασμοί και η εξέλιξή τους στο πέρασμα του χρόνου.

1.5.1 Ο συνδυασμός τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών οργάνων στη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων και η εξέλιξή τους

Η πιο παλαιά μέθοδος τεκμηρίωσης ενός μνημείου είναι με τη χρήση θεοδόλιχου και μεταλλικής μετροταινίας για την διεκπεραίωση όλων των απαραίτητων γεωδαιτικών διαδικασιών (ίδρυση δικτύου ελέγχου, αποτύπωση σημείων), η χρήση μετρητικών ή ακόμα και μη-μετρητικών φωτογραφικών μηχανών για την λήψη των φωτογραφιών και η χρήση αναλογικού φωτογραμμετρικού σταθμού για όλες τις απαραίτητες φωτογραμμετρικές διαδικασίες. Η μέχρι τότε εμπειρία είχε δείξει ότι οι μη-μετρητικές φωτογραφικές μηχανές μπορούν να είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες και πολύ καλό συμπληρωματικό εργαλείο σε μια μετρητική μηχανή (Σταμπούλογλου, 1980). Χαρακτηριστικό παράδειγμα της χρήσης των μεθόδων αυτών για μια ολοκληρωμένη αποτύπωση ενός μνημείου, αποτελεί η αποτύπωση σε κλίμακα 1:20 της αρχαίας περιοχής της Κνωσού. Το εγχείρημα αυτό ήταν πολύ δύσκολο και χρονοβόρο, ένεκα της μεγάλης έκτασης του αρχαιολογικού χώρου (23.000 τμ) και των μεθόδων που ήταν διαθέσιμες εκείνη την εποχή, όμως η συνολική ακρίβεια που επετεύχθη ήταν της τάξης των 6 mm, πράγμα πολύ ικανοποιητικό δεδομένων των συνθηκών. (Γεωργόπουλος, Μοναχός, & Σταμπούλογλου, 1986).



Εικόνα 4: Το θεοδόλιγο WILD T-16, ένα από τα πιο γνωστά θεοδόλιγα



Εικόνα 5: Μεταλλική μετροταινία για την μέτρηση αποστάσεων

1.5.2 Ο Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός στην αποτύπωση μνημείων

Με την εφεύρεση του Ολοκληρωμένου Γεωδαιτικού Σταθμού (Ο.Γ.Σ) με δυνατότητα μέτρησης απόστασης χωρίς κατάφωτο (reflectorless) οι γεωδαιτικές διαδικασίες επιταχύνθηκαν και απλοποιήθηκαν

καθώς καταργήθηκε η χρήση της μεταλλικής μετροταινίας. Ένας ΟΓΣ δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονου υπολογισμού και καταγραφής γωνιών και αποστάσεων, πράγμα που επιτάχυνε πάρα πολύ το έργο του Τοπογράφου Μηχανικού σε ό,τι αφορά στις αποτυπώσεις εν γένει, καθώς οι συντεταγμένες των απαραίτητων σημείων ήταν πολύ πιο εύκολο να υπολογιστούν. Οι ΟΓΣ έχουν εξελιχθεί πολύ από την αρχή της δημιουργίας τους, όμως παραμένουν ακόμα το κύριο όργανο που χρησιμοποιεί ο Τοπογράφος Μηχανικός για την αποτύπωση πάσης φύσεως σημείων. Ταυτόχρονα, έγινε και το πέρασμα από τους αναλογικούς στους αναλυτικούς φωτογραμμετρικούς σταθμούς, με την αποτύπωση μνημείων να περνάει σε άλλο επίπεδο από αυτό που ήταν, πολύ πιο εξελιγμένο και πολύ πιο γρήγορο.



Εικόνα 6: Ένας Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός

1.5.3 Ο Σαρωτής Laser στην αποτύπωση μνημείων

Εδώ και λίγα έτη, έχει κατασκευαστεί ένα τοπογραφικό όργανο το οποίο μοιάζει με τον ΟΓΣ με τη διαφορά ότι καταγράφει σημεία αυτόματα, χωρίς να απαιτείται η παρουσία χειριστή, παρά μόνον στην αρχή της λειτουργίας του, όπου και ρυθμίζεται. Το όργανο αυτό ονομάζεται Σαρωτής Laser (ΣΛ - Laser Scanner), ακριβώς γιατί δεν αποτυπώνει επιλεκτικά σημεία, αλλά αντίθετα σαρώνει τον χώρο και λαμβάνει όσα σημεία εμπίπτουν στην εμβέλειά του. Τα όργανα αυτά έφεραν επανάσταση στις αποτυπώσεις μνημείων, γιατί μέσα σε πολύ λίγο χρόνο αποτυπώνουν χιλιάδες φορές περισσότερα σημεία απ' όσα μπορεί να αποτυπώσει ένας Τοπογράφος με έναν ΟΓΣ Αυτό συνεπάγεται και αυξημένη απόδοση των λεπτομερειών σε μνημεία που απαιτείται, πχ σε αγάλματα και άλλα συναφή. Η προσωπική γνώμη του συγγραφέως είναι ότι τα όργανα αυτά είναι απαραίτητα για όποιον θέλει να αποτυπώσει ένα μνημείο, δεδομένης της πληθώρας πληροφορίας που καταγράφουν. Βέβαια, ακριβώς επειδή αυτά τα όργανα καταγράφουν υπερβολικά πολλά σημεία, λαμβάνουν σε μεγάλο ποσοστό και θόρυβο ή άχρηστη πληροφορία και απαιτείται πολλή δουλειά γραφείου ώστε να αξιοποιηθούν τα σημεία που είναι όντως χρήσιμα. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο όμως, ότι για την γεωαναφορά των σημείων που συλλέγει ο ΣΛ είναι απαραίτητη η χρήση του ΟΓΣ



Εικόνα 7: Ένας Σαρωτής Laser

Η γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων στις μέρες μας γίνεται συνήθως με συνδυασμό όλων των προαναφερθέντων οργάνων, ακόμα και της μετροταινίας, πράγμα που δεν πρέπει να προκαλέσει καμία εντύπωση. Σε περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται η ένταξη ενός μνημείου σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων, αλλά είναι υψίστης σημασίας η σωστή κλίμακά του, η χρήση της μετροταινίας είναι μακράν ο πιο συμφέρον τρόπος να δοθεί σωστή κλίμακα σε όλα τα παραγόμενα προϊόντα, τόσο από άποψη χρόνου όσο και από άποψη κόστους.

1.5.4 Νέες τεχνολογίες στην αποτύπωση μνημείων – Η τεχνολογία Structure from Motion

Καθώς η Φωτογραμμετρία εξελίσσεται και αυξάνουν οι ικανότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, αλλά και η ανάμιξη των ηλεκτρολόγων μηχανικών και των προγραμματιστών στην παραγωγή φωτογραμμετρικών προγραμμάτων, ανοίγονται πολύ ενδιαφέροντα μονοπάτια για τον Τοπογράφο Μηχανικό και ειδικά για το πεδίο της γεωμετρική τεκμηρίωσης μνημείων. Ένα από αυτά τα μονοπάτια, είναι η υπερσύγχρονη τεχνολογία «Structure From Motion – SFM». Η τεχνολογία αυτή, επιτρέπει τον εντοπισμό και την τοποθέτηση σημείων στο χώρο μόνο με τη χρήση φωτογραφιών, χωρίς καμία εμπλοκή γεωδαιτικού οργάνου. Ουσιαστικά είναι η αυτοματοποιημένη εφαρμογή των κλασικών φωτογραμμετρικών διαδικασιών, δηλαδή του εσωτερικού, σχετικού προσανατολισμού και φωτοτριγωνισμού. Εν ολίγοις, η τεχνολογία SFM επιτρέπει την εξαγωγή τριδιάστατης πληροφορίας από διδιάστατες εικόνες. Η τοποθέτηση των σημείων στο χώρο στα προγράμματα αυτά γίνεται με τον εντοπισμό των ομόλογων σημείων σε κάθε εικόνα και εξαγωγής της θέσης τους στο χώρο με διαδικασίες τριγωνισμού. (Hoiem, 2012).

Ένα τέτοιο λογισμικό χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διπλωματική, το όνομα του οποίου είναι Photoscan. Τα προγράμματα αυτά, επειδή έχουν αναπτυχθεί κυρίως από προγραμματιστές και δεν απευθύνονται μόνο σε Τοπογράφους Μηχανικούς, είναι ιδιαίτερα εύκολα στη χρήση και εκτελούν τις περισσότερες διαδικασίες αυτόματα, χωρίς να επιτρέπουν στο χρήστη να επέμβει σε κάποια διαδικασία, παρά μόνο ρυθμίζοντας παραμέτρους. Γι αυτό και ονομάζονται και «αυτοματισμοί» στον τίτλο της παρούσας διπλωματικής. Τα προγράμματα αυτά χρησιμεύουν ιδιαίτερα σε Τοπογράφους Μηχανικούς, Αρχιτέκτονες, Αρχαιολόγους και γενικά οποιονδήποτε θέλει να αποτυπώσει λεπτομερώς ένα αντικείμενο χωρίς να τον ενδιαφέρουν οι γεωδαιτικοί υπολογισμοί όπως η ένταξη σε ένα σύστημα αναφοράς. Παρ' όλ' αυτά, το πρόγραμμα Photoscan απέτελεσε καταλύτη για την διπλωματική αυτή και χωρίς τη συμβολή του το αποτέλεσμα αυτής θα ήτο αμφίβολης ποιότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:
ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.1 Στοιχεία που μετρήθηκαν - Εισαγωγή

Ο αρχικός στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν η τεκμηρίωση του Ναού της Καπνικαρέας και μόνο. Παρ' όλ' αυτά, λόγω των πολλών αντιξοοτήτων, η διπλωματική περιστράφηκε κυρίως γύρω από το πώς μπορεί ένα λογισμικό αυτοματοποιημένης εφαρμογής των φωτογραμμετρικών αλγορίθμων, όπως το Photoscan που χρησιμοποιήθηκε και στην πράξη, να συνδράμει στην επίλυση των φωτογραμμετρικών προβλημάτων στην αποτύπωση μνημείων. Ανεξάρτητα από αυτό το γεγονός, τα απαραίτητα προς συλλογή δεδομένα θα διαφοροποιούνταν και σε κάθε περίπτωση θα εντάσσονταν σε μια από τις τρεις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Τοπογραφικά Δεδομένα
2. Φωτογραμμετρικά Δεδομένα
3. Δεδομένα Σάρωσης με Laser

Αν και η κατηγορία 3 θα μπορούσε να υπάγεται ουσιαστικά στην πρώτη, ένεκα του γεγονότος ότι και στις δύο περιπτώσεις συλλέγονται σημεία του χώρου, στην συγγραφή του παρόντος κεφαλαίου θεωρήθηκε σκόπιμο να διαφοροποιηθούν οι δύο μέθοδοι γιατί η μεθοδολογία συλλογής των σημείων είναι εντελώς διαφορετική σε κάθε μία, οπότε δικαιολογείται ο διαχωρισμός.

Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν, αναλύονται οι τρεις κατηγορίες μετρήσεων και παρουσιάζονται χρήσιμα στοιχεία, όπως τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, κάποια στατιστικά στοιχεία, ο όγκος των μετρήσεων και κάθε λεπτομέρεια στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

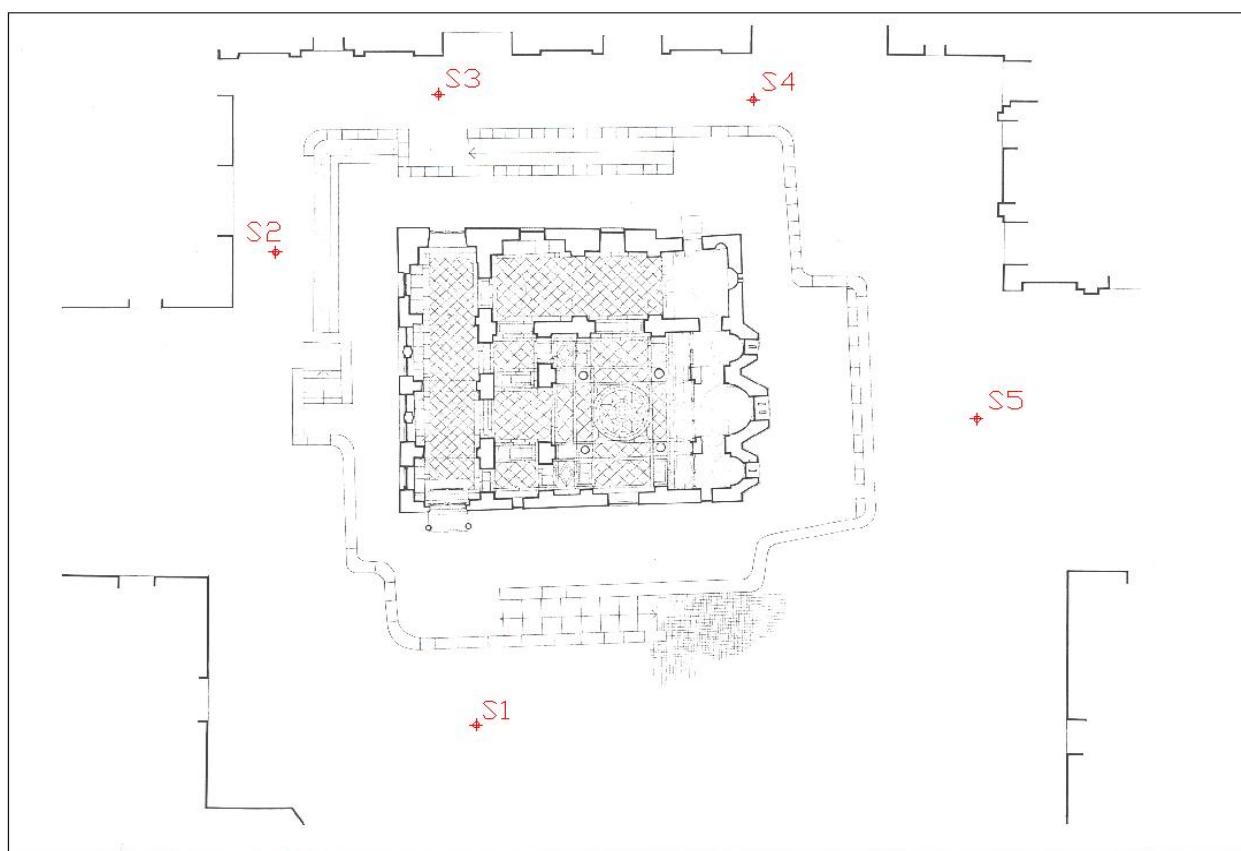
2.2 Συλλογή Τοπογραφικών Δεδομένων

2.2.1. Ίδρυση και μέτρηση δικτύου ελέγχου – Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν

Για να γίνει μια οποιαδήποτε αποτύπωση μνημείου, είναι σημαντική η δημιουργία και η μέτρηση ενός δικτύου ελέγχου, δηλαδή ενός δικτύου από σημεία που θα έχουν πολύ ακριβείς συντεταγμένες. Η χρησιμότητα του δικτύου ελέγχου είναι ότι δίνει τη δυνατότητα να μετρηθούν τα υπόλοιπα σημεία της αποτύπωσης, όπως πχ τα φωτοσταθερά (Φ/Σ) με υψηλή ακρίβεια. Τα σημεία του δικτύου συνήθως αποτελούν κορυφές μιας κλειστής όδευσης και είναι έτσι τοποθετημένα στο χώρο ώστε να περικυκλώνουν το εκάστοτε μνημείο. Έτσι και στην γεωμετρική τεκμηρίωση του Ναού της Καπνικαρέας, δημιουργήθηκε μια κλειστή όδευση με πέντε κορυφές. Η επιλογή των κορυφών έγινε με βάση την όσο το δυνατόν καλύτερη ορατότητα στο μνημείο, αλλά και τους περιορισμούς λόγω της γεωμετρίας του περιβάλλοντα χώρου (πολύ λίγος χώρος σε κάποιες πλευρές, αυτοκίνητα, πλανόδιοι πωλητές κ.ά.). Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν στην πορεία της διπλωματικής αυτής παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4 – Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και διαδικασίας – Προτάσεις. Επειδή είχαν προγραμματιστεί σαρώσεις και

στον εσωτερικό χώρο της εκκλησίας, ιδρύθηκε και δευτερεύουσα εσωτερική όδευση. Η εσωτερική όδευση βοήθησε στην αποτύπωση των στόχων του σαρωτή και στην αποτύπωση των Φ/Σ που έπρεπε να παρθούν στο εσωτερικό του ναού.

Επειδή απαιτούνταν μεγάλη ακρίβεια για τις μετρήσεις των κορυφών του δικτύου ελέγχου, αποφασίστηκε να σχηματιστεί μια κλειστή όδευση γύρω από το μνημείο, με όσο το δυνατόν ίσες αποστάσεις μεταξύ των κορυφών. Τα σημεία στο έδαφος επισημάνθηκαν με ειδικά καρφιά (ζουμποκάρφα) και μεταλλική ροδέλα ώστε να είναι ορατά ακόμα και αν περάσει καιρός, διότι δεν ήταν δυνατόν όλες οι μετρήσεις να πραγματοποιηθούν σε μια ημέρα ή σε συνεχόμενες ημέρες. Παρακάτω παρατίθεται σκαρίφημα στο οποίο φαίνονται οι στάσεις όπως αυτές υλοποιήθηκαν και μετρήθηκαν.



Εικόνα 8: Σκαρίφημα με τις κορυφές του δικτύου ελέγχου

Για την ίδρυση του δικτύου μετρήθηκαν οι γωνίες και οι αποστάσεις σε δύο περιόδους και υπολογίστηκε ο μέσος όρος των γωνιών και των αποστάσεων αντίστοιχα, αφού έγιναν όλες οι απαραίτητες συννορθώσεις. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο Ο.Γ.Σ. Topcon GPT 3000LN και το πτυσσόμενο πρίσμα της εταιρείας Leica, με σταθερά 17mm. Για την σωστή στήριξη του στυλεού χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί τρίποδες, οι οποίοι συμβάλλουν στην αύξηση της ακρίβειας των μετρήσεων. Κατά την ίδρυση του δικτύου έγιναν οι απαραίτητες εξασφαλίσεις των στάσεων και έγινε και το απαραίτητο αυτοσχέδιο υπαίθρου.



Εικόνα 9: Ο Ο.Γ.Σ. Topcon GPT3000LN που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του δικτύου ελέγχου



Εικόνα 10: Το πρίσμα που χρησιμοποιήθηκε στην μέτρηση του δικτύου ελέγχου

2.2.2 Μέτρηση Φωτοσταθερών και στόχων σαρωτή

Εκτός από τον υπολογισμό των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου ελέγχου, ήταν απαραίτητο να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των Φωτοσταθερών (Φ/Σ) και των στόχων του σαρωτή laser. Τα Φ/Σ χρησιμεύουν στην γεωαναφορά των φωτογραφιών, ήτοι την ένταξη των προσανατολισμένων εικόνων σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς, το οποίο προέκυψε από το δίκτυο ελέγχου. Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των στόχων του σαρωτή laser χρησιμεύει τόσο για την συνένωση των νεφών σημείων που συλλέχθηκαν όσο

και για την ένταξη του τελικού συνενωμένου νέφους στο σύστημα αναφοράς που δημιουργήθηκε από το δίκτυο ελέγχου.

Για τον προσδιορισμό των Φ/Σ χρησιμοποιήθηκαν δύο Ο.Γ.Σ., ο προαναφερθείς Topcon GPT 3000LN και ο Topcon GPT 7000i I.S. Ο τελευταίος γεωδαιτικός σταθμός είναι ένα όργανο που πραγματοποιεί πολλές άλλες λειτουργίες πέρα από την απλή καταγραφή γωνιών και αποστάσεων σημείων, όπως για παράδειγμα η λήψη φωτογραφιών, η σάρωση σημείων και άλλα. Οι λειτουργίες του αυτές αποδείχθηκαν πολύ χρήσιμες για την μέτρηση των Φ/Σ και ήταν καταλύτης η χρήση του στην ολοκλήρωση των μετρήσεων. Για να μετρηθούν τα Φ/Σ, εκτυπώθηκαν οι φωτογραφίες που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν από τα προγράμματα επεξεργασίας και αφού μελετήθηκαν ενδελεχώς τόσο στον υπολογιστή όσο και στο τυπωμένο χαρτί, τρυπήθηκαν στα σημεία που θα αποτελούσαν τα Φ/Σ με καρφίτσα και σημειώθηκαν τα σημεία σε αυτές με κόκκινο στυλό. Αυτό έγινε για να είναι εύκολος ο εντοπισμός τους τόσο στο γραφείο όσο και στο ύπαιθρο. Ο προσδιορισμός των στόχων του σαρωτή έγινε χρησιμοποιώντας τις υφιστάμενες στάσεις από το δίκτυο ελέγχου και μετρώντας τα σημεία αυτά ως απλά ταχυμετρικά.



Εικόνα 11: Ο Ο.Γ.Σ. Topcon GPT 7000i I.S. – πολύτιμος συντελεστής στην διεκπεραίωση των μετρήσεων των Φ/Σ.

2.2.3 Χρήσιμα στοιχεία των τοπογραφικών μετρήσεων

Για τις τοπογραφικές μετρήσεις απασχολήθηκε ως επί το πλείστον συνεργείο των δύο ατόμων, με εξαίρεση δύο ημέρες όπου απασχολήθηκε συνεργείο των τριών ατόμων. Στους πίνακες που ακολουθούν

παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία που έχουν ιδιαίτερη χρησιμότητα, όπως για παράδειγμα το πλήθος των δεδομένων που συλλέχθηκαν, ο χρόνος που χρειάστηκε για να γίνει αυτό και άλλα.

Πίνακας 1: Χρόνος υλοποίησης των τοπογραφικών μετρήσεων

ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
Έργο	Άτομα που απασχολήθηκαν	Χρόνος υλοποίησης (σε ημέρες)	Ανθρωπομέρες
Ίδρυση Δικτύου Ελέγχου	2	1	2
Μέτρηση Δικτύου Ελέγχου και Στόχων Σαρωτή	2	1	2
Μέτρηση Εξωτερικών Φωτοσταθερών (1)	3	2	6
Μέτρηση Εξωτερικών Φωτοσταθερών (2)	2	4	8
Μέτρηση Εσωτερικών Φωτοσταθερών	2	7	14

Πίνακας 2: Πλήθος συλλεχθέντων τοπογραφικών στοιχείων

ΠΛΗΘΟΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
Στοιχεία	Πλήθος
Στάσεις Δικτύου Ελέγχου	5
Εσωτερικοί Στόχοι Σαρωτή	16
Εξωτερικοί Στόχοι Σαρωτή	27
Φωτοσταθερά Εξωτερικά	299
Φωτοσταθερά Εσωτερικά	450 (προσεγγιστικά)
Συμπληρωματικές - "Τυφλές" Στάσεις	3

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι ιδρύθηκε και συμπληρωματική εσωτερική όδευση για να ληφθούν οι συντεταγμένες των στόχων του σαρωτή και τα απαραίτητα φωτοσταθερά εντός της εκκλησίας. Όμως, επειδή η φύση της διπλωματικής άλλαξε εν παρόδω και τα στοιχεία αυτά αξιοποιήθηκαν σε μικρό βαθμό, δεν δόθηκε ιδιαίτερη βάση στην περιγραφή της διαδικασίας της ίδρυσης και της μέτρησης του εσωτερικού δικτύου στην παρούσα διπλωματική. Συνοπτικά, αξίζει να σημειωθεί ότι οι στάσεις στο εσωτερικό της εκκλησίας ήταν τετράγωνοι στόχοι με πλευρά ένα εκατοστό, οι οποίοι δημιουργήθηκαν ad hoc από κατάλληλο σχεδιαστικό πακέτο CAD, ότι το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Topcon GPT 3000LN και ότι οι εσωτερικές στάσεις ήταν δώδεκα στο πλήθος.

Σε ότι αφορά την αξιοποίηση των στοιχείων, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν οι στόχοι του σαρωτή στο εσωτερικό και στο εξωτερικό ώστε να συνενωθούν τα νέφη του ναού και να υποστούν επεξεργασία από την κα. Άννα Μαρία Μεθενίτη (Metheniti, Kaliniktakis, & Georgopoulos, 2012). Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ένα μικρό κομμάτι των Φ/Σ στο εσωτερικό του ναού για να εφαρμοσθεί υφή σε ένα κομμάτι του τριδιάστατου μοντέλου του ιερού της εκκλησίας. (Metheniti, Kaliniktakis, & Georgopoulos, 2012).

2.3 Συλλογή Φωτογραφικών Δεδομένων

2.3.1 Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε

Οι φωτογραφίες είναι αναπόσπαστο κομμάτι της επιστήμης της Φωτογραμμετρίας. Για την αποτύπωση του Ναού της Καπνικαρέας θεωρήθηκε σκόπιμο να ληφθούν αρκετές φωτογραφίες τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για τις λήψεις είναι η Digital Single Lens Reflex (DSLR) EOS DS1 Mark III της εταιρείας Canon. Αυτή η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή έχει ανάλυση που φτάνει τα 21.1 Μρ, μέγεθος αισθητήρα full frame, ήτοι 36x24 mm² και οθόνη 3 ιντσών. Για όλες τις φωτογραφίες χρησιμοποιήθηκε ευαισθησία του «φίλμ» ίση με 400 ISO. Ο φακός που χρησιμοποιήθηκε ήταν των 24mm χωρίς ζουμ, της εταιρείας Canon.

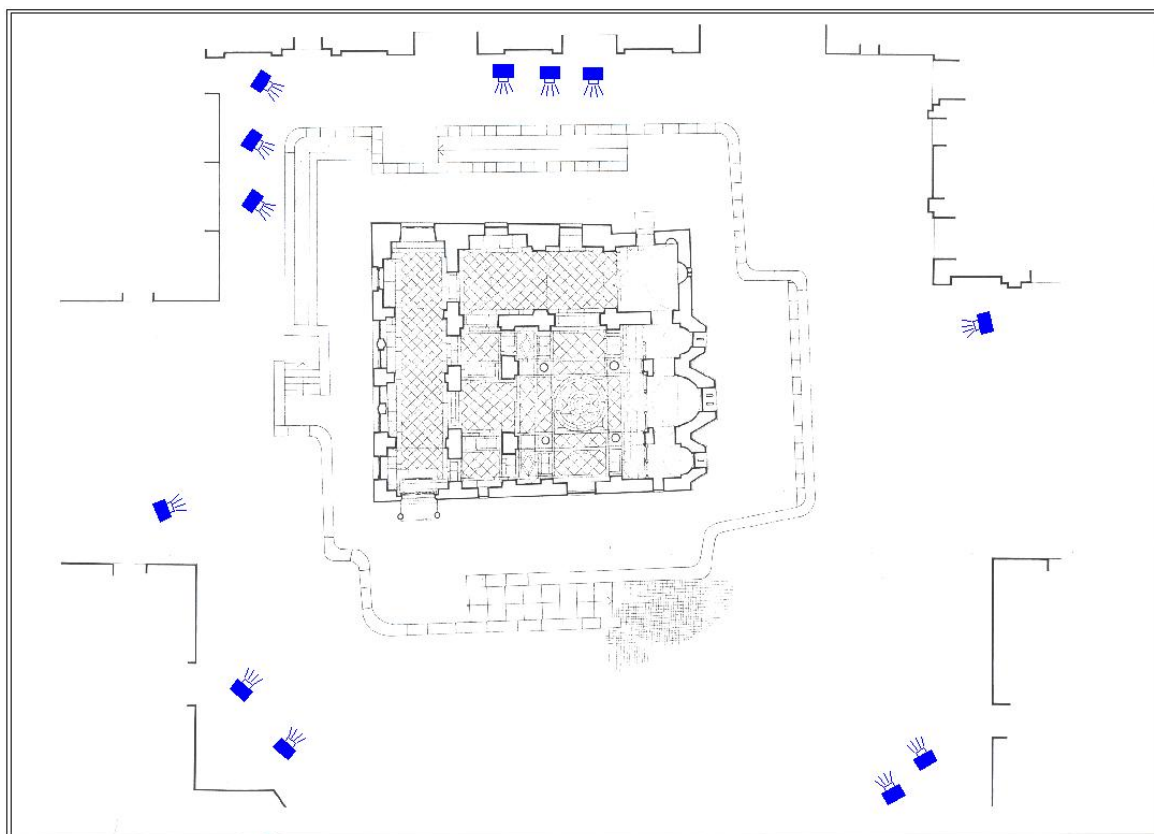


Εικόνα 12: Η φωτογραφική μηχανή Canon EOS DS1 Mark III

2.3.2 Οι λήψεις των εικόνων – χρήσιμα στοιχεία και λεπτομέρειες

Οι λήψεις των φωτογραφιών έγιναν από όλα τα δυνατά σημεία που ήταν προσβάσιμα πλησίον της εκκλησίας. Για να είναι όσο το δυνατόν πληρέστερο το αποτέλεσμα έπρεπε να ληφθεί πλήθος από φωτογραφίες, τόσο έξω όσο και μέσα από τον Ναό. Για το εσωτερικό του Ναού χρησιμοποιήθηκαν ειδικά

στόντιο φλας για να ενισχύσουν τον χαμηλό φωτισμό και να προκύψουν φωτογραφίες υψηλής ποιότητας. Οι φωτογραφίες στο εξωτερικό της εκκλησίας ελήφθησαν πιο εύκολα, όμως επειδή η εκκλησία έχει σημαντικό ύψος και πολύ μεγάλο τμήμα της δεν ήταν ορατό από το επίπεδο του δρόμου, παρουσιάστηκε η ανάγκη να ληφθούν φωτογραφίες και από τα γύρω κτήρια που είχαν θέα προς τον Ναό. Το παρακάτω σκαρίφημα παρουσιάζει τα κτήρια από τα οποία έγιναν οι λήψεις των φωτογραφιών.



Εικόνα 13: Σκαρίφημα με τις θέσεις λήψεις των φωτογραφιών από κτήρια πλησίον του Ναού.

Οι αρχικές προγραμματισμένες λήψεις έγιναν ταυτόχρονα με τις σαρώσεις και τις μετρήσεις των στόχων του σαρωτή, όμως στην πορεία, εξ αιτίας της χρήσης του λογισμικού Photoscan, χρειάστηκε να γίνουν συμπληρωματικές λήψεις ώστε να προκύψουν βέλτιστα αποτελέσματα στην παραγωγή του τριδιάστατου μοντέλου. Η ώρα των λήψεων ήταν το πρωί, διότι τότε ήταν καλύτερο το φως του ηλίου για την ορθή απόδοση των χρωμάτων του Ναού. Βέβαια, κάποιες λήψεις από τις αρχικές, έγιναν και το μεσημέρι γιατί παράλληλα εκτελούνταν και άλλες εργασίες, όπως για παράδειγμα οι εξωτερικές σαρώσεις. Αυτός ήταν και ο λόγος που κάποιες από τις αρχικές φωτογραφίες είχαν κακό φωτισμό που αλλοίωνε το αποτέλεσμα. Έτσι, οι συμπληρωματικές λήψεις, έγιναν σε ένα αυστηρά καθορισμένο χρονικό πλαίσιο, ώστε ο φωτισμός να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφος. Μάλιστα, για τον καθορισμό του σωστού φωτισμού επιστρατεύθηκε ειδικευμένο προσωπικό από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, ήτοι η κα. Ρεγγίνα

Χλιβερού. Οι ώρες που έπρεπε να γίνουν οι λήψεις ήταν αναγκαστικά πολύ πρωινές, γιατί εκείνες τις ώρες ο Ναός δεν περιβάλλεται από κόσμο. Στο σημείο που βρίσκεται η εκκλησία, είναι πρακτικά αδύνατον να γίνει οποιαδήποτε τοπογραφική εργασία το απόγευμα, εξ' αιτίας της πολυκοσμίας. Στην συνέχεια, ακολουθούν οι πίνακες που δείχνουν τον χρόνο που απαιτήθηκε για τις λήψεις των φωτογραφιών, τόσο των αρχικών όσο και των συμπληρωματικών, αλλά και το πλήθος των εικόνων που συλλέχτηκε.

Πίνακας 3: Χρόνος υλοποίησης των φωτογραφικών λήψεων

ΣΥΛΛΟΓΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
Έργο	Άτομα που απασχολήθηκαν	Χρόνος υλοποίησης (σε ημέρες)	Ανθρωπομέρες
Λήψη Αρχικών Εξωτερικών Εικόνων	1	1	1
Λήψη Αρχικών Εσωτερικών Εικόνων	3	1	3
Συμπληρωματικές Εξωτερικές Λήψεις (1)	2	1	2
Συμπληρωματικές Εξωτερικές Λήψεις (2)	1	1	1

Πίνακας 4: Πλήθος συλλεχθεισών φωτογραφικών εικόνων

ΠΛΗΘΟΣ ΦΩΤΟΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
Στοιχεία	Πλήθος
Αρχικές Εξωτερικές Εικόνες	67
Αρχικές Εσωτερικές Εικόνες	173
Συμπληρωματικές Εξωτερικές Εικόνες	220
Συμπληρωματικές Εξωτερικές Εικόνες (με κινητό τηλέφωνο)	14
Συμπληρωματικές Εξωτερικές Εικόνες (με φωτογραφική μηχανή υψηλής ανάλυσης)	206

Στο σημείο αυτό, να σημειωθεί ότι δεν χρησιμοποιήθηκαν όλες οι εικόνες, αλλά μόνο όσες βελτίωναν την τελική εμφάνιση του μοντέλου του Ναού. Περισσότερες λεπτομέρειες δίδονται στο Κεφάλαιο 3 – Επεξεργασία Δεδομένων. Επίσης, σε μια προσπάθεια να γίνει καλύτερη κατανόηση του προγράμματος Photoscan, τραβήχτηκαν κάποιες εντελώς πρόχειρες φωτογραφίες από κινητό τηλέφωνο, οι οποίες όμως ακριβώς επειδή πραγματικά συντέλεσαν δραστικά στην καλύτερη κατανόηση των προδιαγραφών που απαιτούνταν για τις συμπληρωματικές φωτογραφίες, έχουν προσμετρηθεί στον ανωτέρω πίνακα, χωρίς βέβαια να χρησιμοποιηθούν στην τελική επίλυση.

2.4 Συλλογή Δεδομένων Σαρωτή Laser

2.4.1 Η λειτουργία του Σαρωτή – Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε

Η λειτουργία του Σαρωτή laser είναι –λιτά και περιεκτικά– η σάρωση του χώρου και η καταγραφή κάθε σημείου που εμπίπτει στην εμβέλειά του. Η κεφαλή του Σαρωτή έχει την δυνατότητα περιστροφή 360 μοιρών γύρω από τον κατακόρυφο άξονα που διέρχεται από το κέντρο του και 270 μοίρες γύρω από τον άξονα που διέρχεται από το κέντρο του και είναι κάθετος στο πρίσμα του και στον προαναφερθέντα κατακόρυφο άξονα που. Έτσι, όταν το όργανο στηθεί σε ένα σημείο λαμβάνει πρακτικά όλα τα σημεία που είναι γύρω του, με εξαίρεση αυτά που είναι κοντά στον τρίποδα στον οποίο είναι στημένο το όργανο. Η ακρίβεια κατά την οποία λαμβάνει τα σημεία ορίζεται από την γωνία κατά την οποία περιστρέφεται το ειδικό κάτοπτρο το οποίο κατευθύνει την δέσμη του laser. Η γωνία δίνεται από δύο παραμέτρους, την μέση απόσταση των σημείων του χώρου από τον σαρωτή και την επιθυμητή πυκνότητα των σημείων στην απόσταση αυτή. Για παράδειγμα, όταν ο χρήστης ορίσει ως μέση απόσταση έστω τα δέκα μέτρα και επιθυμητή ακρίβεια το ένα εκατοστό, αυτό σημαίνει ότι η γωνία κατά την οποία θα περιστρέφεται το κάτοπτρο και στους δύο προαναφερθέντες άξονες θα είναι τέτοια ώστε σε δέκα μέτρα απόσταση, τα σημεία που λαμβάνει να απέχουν ένα εκατοστό. Τα σημεία που είναι πιο κοντά θα λαμβάνονται πιο πυκνά ενώ αντίστοιχα αυτά που είναι πιο μακριά θα λαμβάνονται πιο αραιά, καθ' ότι η γωνία στροφής είναι πάντα ίδια αλλά η απόσταση μεταβάλλεται. Το αποτέλεσμα της σάρωσης είναι ένα σύνολο από κάποιες χιλιάδες ή και εκατομμύρια σημεία, το οποίο λέγεται νέφος σημείων. Οι ειδικοί στόχοι του Σαρωτή επιτρέπουν την σύνδεση των νεφών μεταξύ τους και την γεωαναφορά του συνενωμένου νέφους. Γι αυτόν τον λόγο έπρεπε να στηθεί τόσο το δίκτυο ελέγχου στον εξωτερικό χώρο της εκκλησίας αλλά και το δευτερεύον δίκτυο στο εσωτερικό της, όπως αναφέρεται στο εδάφιο 2.2.1.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική είναι το ScanStation της εταιρείας Leica, το οποίο ήταν για την εποχή του ένα πολύ πρωτοποριακό όργανο. Το όργανο αυτό διαθέτει πολύ καλό φακό, πολύ δυνατό laser και έχει τη δυνατότητα πολύ μεγάλου εύρους κίνησης. Επίσης, είναι εύκολο στη χρήση και σχετικά γρήγορο (μια σάρωση απαιτεί περίπου 45 λεπτά της ώρας). Τον Σαρωτή μπορεί να δει ο αναγνώστης στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 14: Ο Σαρωτής ScanStation της εταιρείας Leica

2.4.2 Χρήσιμα στοιχεία για τις σαρώσεις

Η διαδικασία αποτύπωσης με τη χρήση του Σαρωτή Laser είναι ως εξής: Το όργανο στήνεται σε σημεία όπου έχει όσο το δυνατόν καλύτερη ορατότητα προς όλες τις πλευρές του αντικειμένου που ενδιαφέρει και από εκεί σαρώνεται ο χώρος. Μαζί με το αντικείμενο που ενδιαφέρει αποτυπώνονται και άχρηστα σημεία (θόρυβος), τα οποία υπόκεινται σε επεξεργασία όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 3 – Επεξεργασία Δεδομένων. Επειδή το στήσιμο και η προετοιμασία του Σαρωτή δεν είναι απλές διαδικασίες και επειδή το όργανο από μόνο του είναι πολύ ακριβό, χρειάζονται πολύ προσεκτικοί χειρισμοί. Παρ' όλη την προσοχή που δόθηκε, υπήρξαν κάποιες στάσεις που δυστυχώς ακυρώθηκαν, καθότι δεν είχε προετοιμαστεί σωστά το όργανο και δεν μετρήθηκαν σωστά τα σημεία του χώρου. Προφανώς, οι σαρώσεις από τις στάσεις αυτές έγιναν ξανά, γιατί ήταν πολύ σημαντική η θέση τους. Όλα τα σημαντικά στοιχεία παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 5: Χρόνος υλοποίησης σαρώσεων

ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΤΗ			
Έργο	Άτομα που απασχολήθηκαν	Χρόνος υλοποίησης (σε ημέρες)	Ανθρωπομέρες
Εσωτερικές Σαρώσεις	3	1	3
Εξωτερικές Σαρώσεις	3	1	3

Πίνακας 6: Πλήθος συλλεχθέντων στοιχείων Σαρωτή

ΠΛΗΘΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΤΗ	
Στοιχεία	Πλήθος
Στάσεις Εσωτερικών Σαρώσεων	11
Στάσεις Εξωτερικών Σαρώσεων	13
Άκυρες Εσωτερικές Στάσεις	0
Άκυρες Εξωτερικές Στάσεις	2
Στόχοι για την συνένωση των Εσωτερικών Σαρώσεων	16
Στόχοι για την συνένωση των Εξωτερικών Σαρώσεων	27
Σημεία Εσωτερικών Σαρώσεων	περ. 13.000.000
Σημεία Εξωτερικών Σαρώσεων	περ. 11.000.000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Δεδομένα προς επεξεργασία - Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2) αναλύθηκε εκτενώς η διαδικασία της συλλογής των στοιχείων εκείνων που ήταν απαραίτητα για την διεκπεραίωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Βέβαια, η συλλογή στοιχείων από μόνη της δεν είναι αρκετή. Είναι απαραίτητη η επίπονη επεξεργασία των στοιχείων αυτών ώστε να μετατραπούν σε χρήσιμη τοπογραφική και φωτογραμμετρική πληροφορία και να γίνουν τελικά ένα εικονιστικό μετρητικό προϊόν με αξία σε κάποιον μηχανικό ή σε κάποιον άλλο επιστήμονα.

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων και αναφέρονται τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν. Επειδή δεν ενδιαφέρει τόσο πολύ ο τρόπος χειρισμού των προγραμμάτων δεν αναφέρονται λεπτομέρειες όπως π.χ. το ποια κουμπιά κάνουν τι σε κάθε πρόγραμμα, αλλά περιγράφεται η γενικότερη διαδικασία που ακολουθήθηκε και η χρησιμότητα κάθε σταδίου επεξεργασίας. Σύμφωνα με το πλάνο που καταστρώθηκε πριν την έναρξη των διαδικασιών συλλογής στοιχείων, η επεξεργασία κάθε στοιχείου θα έδινε την δυνατότητα να αξιοποιηθεί κάποιο άλλο στοιχείο, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί και αυτόματα μια χρονική σειρά της επεξεργασίας των συλλεχθέντων στοιχείων. Η σειρά αυτή είναι η εξής:

1. Επεξεργασία Τοπογραφικών Δεδομένων
2. Επεξεργασία Δεδομένων Σαρωτή
3. Επεξεργασία Φωτογραφικών Δεδομένων

Ακριβώς με αυτήν την σειρά παρουσιάζεται η διαδικασία της επεξεργασίας κάθε στοιχείου και στο παρόν Κεφάλαιο. Στο τέλος κάθε εδαφίου δίνονται και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας και παρατίθενται και εικόνες όπου είναι δυνατόν, ώστε να υπάρχει καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων.

3.2 Επεξεργασία Τοπογραφικών Δεδομένων και Αποτελέσματα

3.2.1. Επίλυση Δικτύου Ελέγχου

Το δίκτυο ελέγχου, όπως αναφέρεται αναλυτικά και στο Κεφάλαιο 2, είναι μια κλειστή εξωτερική όδευση που περιβάλλει τον εξωτερικό, προαύλιο χώρο της εκκλησίας. Η όδευση αυτή αποφασίστηκε να μην ενταχθεί στο κρατικό σύστημα, ήτοι το ΕΓΣΑ '87, διότι αφ' ενός δεν απαιτείτο και αφ' ετέρου υπήρχε κίνδυνος να προκύψει αυξημένο σφάλμα, λόγω της προβολής. Στις περιπτώσεις αυτές, και εφόσον απαιτείται η ένταξη μιας ακριβούς αποτύπωσης στο κρατικό σύστημα, η ένταξη αυτή γίνεται με τις ελάχιστες δεσμεύσεις, δηλαδή εντάσσεται ένα σημείο στο κρατικό σύστημα και αποκαθίσταται ο προσανατολισμός με βάση αυτό.

Έτσι αποφασίστηκε η πρώτη της κορυφή της οδούσεως, η S1, να λάβει αυθαίρετες συντεταγμένες και όλη η οδουση να ενταθεί σε ένα αυθαίρετο τοπικό σύστημα. Οι συντεταγμένες που αποφασίστηκε να λάβει αυτή η στάση είναι οι (1000,1000,100) σε ένα σύστημα αξόνων (X,Y,Z), όπου X και Y είναι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες και Z είναι το υψόμετρο. Αυτή η επιλογή ήταν καθοριστική, καθώς συνετέλεσε στο να επιτευχθούν οι ακρίβειες που είχαν τεθεί ως πρωταρχικός στόχος. Ειρρήσθω εν παρόδω, είχε τεθεί ως στόχος κλεισίματος της οδουσης (W_s) το ένα εκατοστό. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το μέτρο του διανύσματος του σφάλματος κατά X και κατά Y, W_x και W_y αντίστοιχα θα πρέπει να ισχύει:

$$W_s = \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \leq 0,01m$$

Η επίλυση της οδουσης έγινε ακολουθώντας την συνήθη τοπογραφική διαδικασία⁴ (Μπαλοδήμος, 2008), αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο συγκεκριμένο λογισμικό. Ότι λογισμικό χρησιμοποιήθηκε έγινε σε υπολογιστικά φύλλα Excel τα οποία είχαν φτιαχτεί από τον συγγραφέα ad hoc.

Για την εσωτερική οδουση ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία. Οι κύριες κορυφές της εσωτερικής οδουσης είναι εννέα και τρεις κορυφές της είναι «τυφλές» στάσεις, διότι η ορατότητα μέσα στον ναό είναι περιορισμένη λόγω εμποδίων. Ως αρχική κορυφή επιλέχθηκε η κορυφή η οποία είχε το μικρότερο σφάλμα από τις εξωτερικές μετρήσεις. Όλα τα απαραίτητα στοιχεία παρουσιάζονται στους πίνακες των αποτελεσμάτων.

Η επίλυση του δικτύου ελέγχου ήταν η πρώτη διαδικασία που έπρεπε να γίνει για να ξεκινήσει το μακρύ ταξίδι αυτής της διπλωματικής. Μετά τον υπολογισμό τους μπορούσαν να υπολογιστούν τα ταχυμετρικά σημεία και με αυτό το βήμα να γίνουν όλες οι άλλες επεξεργασίες που περιγράφονται.

3.2.2. Επίλυση ταχυμετρικών σημείων

Τα ταχυμετρικά σημεία, όπως π.χ. οι στόχοι του σαρωτή ή τα Φ/Σ υπολογίστηκαν επίσης μέσω υπολογιστικού φύλλου Excel στο οποίο δίνονταν οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες της στάσης

⁴ Η συνήθης τοπογραφική διαδικασία για την επίλυση μιας οδουσης είναι η εξής: Αφού έχουν συνορθωθεί οι παρατηρήσεις και έχουν καθοριστεί οι μέσες τιμές για τα μεγέθη της οδουσης, δηλαδή τις γωνίες και τις αποστάσεις της, δίνονται προσωρινές τιμές στις κορυφές της, ξεκινώντας από αυτήν που θεωρείται σταθερή. Εν προκειμένω, σταθερή θεωρήθηκε η S1 και οι συντεταγμένες που τις αποδόθηκαν είναι X=1000, Y=1000, Z=100. Επειδή η οδουση είναι κλειστή και οι πλευρές της είναι γνωστές, είναι γνωστό το θεωρητικό άθροισμα των γωνιών της. Το άθροισμα των μετρημένων γωνιών και το θεωρητικό άθροισμα διαφέρουν, και η διαφορά αυτή ισομοιράζεται στις γωνίες της οδουσης. Οπότε υπολογίζονται εκ νέου οι γωνίες της και η οδουση λύνεται ξεκινώντας από τη σταθερή κορυφή S1 υπολογίζοντας και τις συντεταγμένες των άλλων κορυφών. Έπειτα, υπολογίζονται οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν στις συντεταγμένες της οδουσης κατά X και κατά Y αντίστοιχα. Το άθροισμα $\Sigma \Delta X$ είναι το W_x και το $\Sigma \Delta Y$ είναι το W_y αντίστοιχα.

Αντίστοιχα συμβαίνει και με τα υψόμετρα των στάσεων, όπου υπολογίζονται τα υψόμετρα για όλες τις στάσεις, συμπεριλαμβανομένης και της S1, και η διαφορά του υπολογισμένου υψόμετρου από το αυθαίρετο υψόμετρο των 100 μέτρων δίνει την συνολική υψομετρική διόρθωση που απαιτείται να γίνει στην οδουση. Και εδώ το σφάλμα ισομοιράζεται στις κορυφές της οδουσης.

μηδενισμού, οι πλήρεις συντεταγμένες της στάσης αποτύπωσης, το ύψος οργάνου και το ύψος σκόπευσης και οι συντεταγμένες των ταχυμετρικών υπολογίζονται αυτόματα. Κάποια Φ/Σ υπολογίστηκαν αυτόματα από το όργανο, καθότι το Topcon GPT 3003LN δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να δώσει στο πεδίο τις συντεταγμένες της στάσης μηδενισμού και της στάσης αποτύπωσης και τα ύψη σκόπευσης και οργάνου αντίστοιχα και υπολογίζει αυτόματα τις συντεταγμένες των σημείων που αποτυπώνονται. Από την άλλη, το Topcon 7000i IS δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη, εκτός από τον αυτόματο υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων αποτύπωσης να εξάγει και ένα ψηφιακό αρχείο σχεδίου, στο οποίο φαίνονται τα σημεία αποτυπωμένα, με βάση τις συντεταγμένες που είχαν υπολογιστεί. Οι συντεταγμένες των Φ/Σ δεν αναφέρονται στο κυρίως μέρος της διπλωματικής, αλλά αναφέρονται στο παράρτημα.

3.2.3. Αποτελέσματα επίλυσης τοπογραφικών δεδομένων

Τα αποτελέσματα της επίλυσης των τοπογραφικών δεδομένων παρουσιάζονται αναλυτικά στους κατωτέρω πίνακες:

Πίνακας 7: Ακρίβεια επίλυσης δικτύων ελέγχου

Αποτελέσματα Επίλυσης Δικτύων Ελέγχου		
	Εξωτερικό δίκτυο ελέγχου (κύρια όδευση)	Εσωτερικό δίκτυο ελέγχου (δευτερεύουσα όδευση)
Wx σε m	0.006	0.004
Wy σε m	0.007	0.008
Ws σε m	0.009	0.009

Πίνακας 8: Συντεταγμένες στάσεων εσωτερικού δικτύου ελέγχου

Συντεταγμένες Στάσεων Εσωτερικού Δικτύου			
	X	Y	Z
K1	999.563	1013.724	99.420
K2	999.138	1020.089	99.423
K3	1002.479	1019.944	99.435
K4	1007.557	1020.141	99.474
K5	1007.364	1017.276	99.468
K6	1011.474	1017.514	99.827
K7	1011.468	1014.101	99.828
K8	1007.340	1014.016	99.492
K9	1002.428	1013.959	99.483
K10	1002.494	1010.450	99.492
K11	1011.809	1010.941	99.815
K12	1011.066	1020.092	99.847

Πίνακας 9: Ακρίβεια επίλυσης ταχυμετρικών σημείων

Ακρίβεια επίλυσης ταχυμετρικών σημείων	
Είδος σημείου	Ακρίβεια σε m
Στόχοι Σαρωτή	± 0.01
Φωτοσταθερά	± 0.01

Πίνακας 10: Συντεταγμένες στάσεων εξωτερικού δικτύου ελέγχου

Συντεταγμένες Στάσεων Εξωτερικού Δικτύου			
	X	Y	Z
S1	1000.000	1000.000	100.000
S2	990.765	1022.302	100.400
S3	998.798	1028.733	100.671
S4	1011.708	1029.586	100.644
S5	1023.431	1014.331	100.309

Μόλις υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των στόχων του σαρωτή, οι οποίες παρατίθενται στο παράρτημα του παρόντος βιβλίου, κατέστη δυνατή η επεξεργασία των συλλεχθέντων νεφών σημείων, η οποία και περιγράφεται παρακάτω.

3.3 Επεξεργασία Δεδομένων Σαρωτή Laser

3.3.1. Καθαρισμός νεφών σημείων – Το πρόγραμμα Cyclone

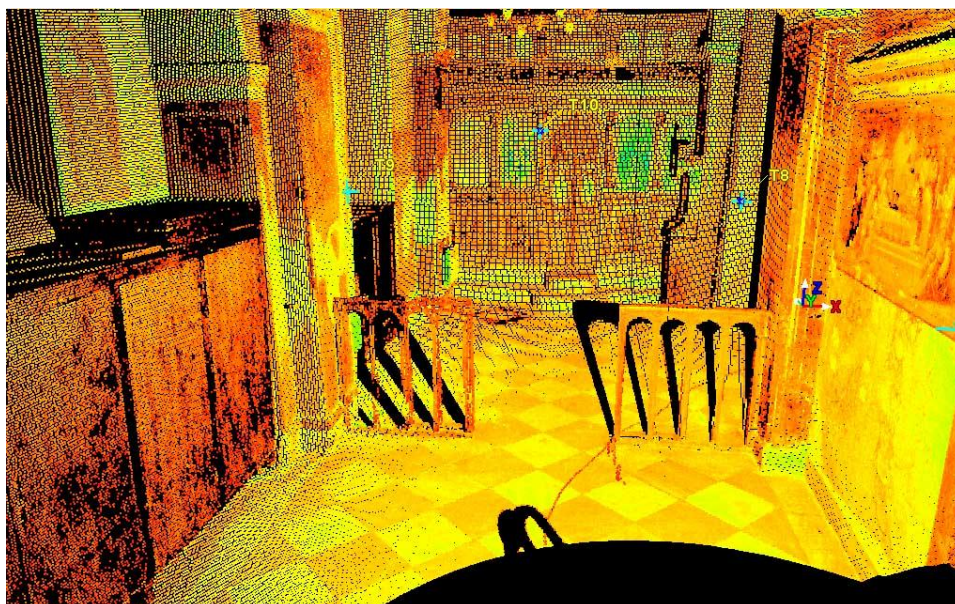
Τα δεδομένα του σαρωτή είναι πολλά και πυκνά σημεία του χώρου (τα λεγόμενα «νέφη σημείων»), που από μόνα τους δεν είναι εύκολα διαχειρίσιμα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι ότι είναι τόσο πολλά και τόσο πυκνά που δεν γίνεται να ξεχωρίσει κάποιος ένα ή περισσότερα μεμονωμένα σημεία, ώστε να αποδώσει ένα αντικείμενο χρησιμοποιώντας αυτά τα σημεία. Παράλληλα τα σημεία που έχουν συλλεχθεί είναι σε τυχαίες θέσεις και όχι κατ' ανάγκην στις απαιτούμενες λεπτομέρειες των αντικειμένων, όπως π.χ. ακμές, γωνίες κ.τ.λ. Αντίθετα, ο χρήστης αντιλαμβάνεται τη γεωμετρία του χώρου και των αντικειμένων από το σχήμα που έχουν τα νέφη των σημείων.

Αυτή η σωρηδόν αποτύπωση σημείων του χώρου έχει και ως αποτέλεσμα να αποτυπωθεί πολλές φορές μεγάλο ποσό κυριολεκτικά άχρηστης πληροφορίας. Στον Ιερό Ναό (I.N.) της Καπνικαρέας, ενδιαφέρει η αποτύπωση μόνο των δομικών του στοιχείων. Επομένως, οποιοδήποτε στοιχείο τοιχοποιίας, δαπέδου, οροφής κ.τ.λ. ήταν χρήσιμη πληροφορία και οτιδήποτε άλλο ήταν άχρηστη. Με αυτό το κριτήριο, πριν

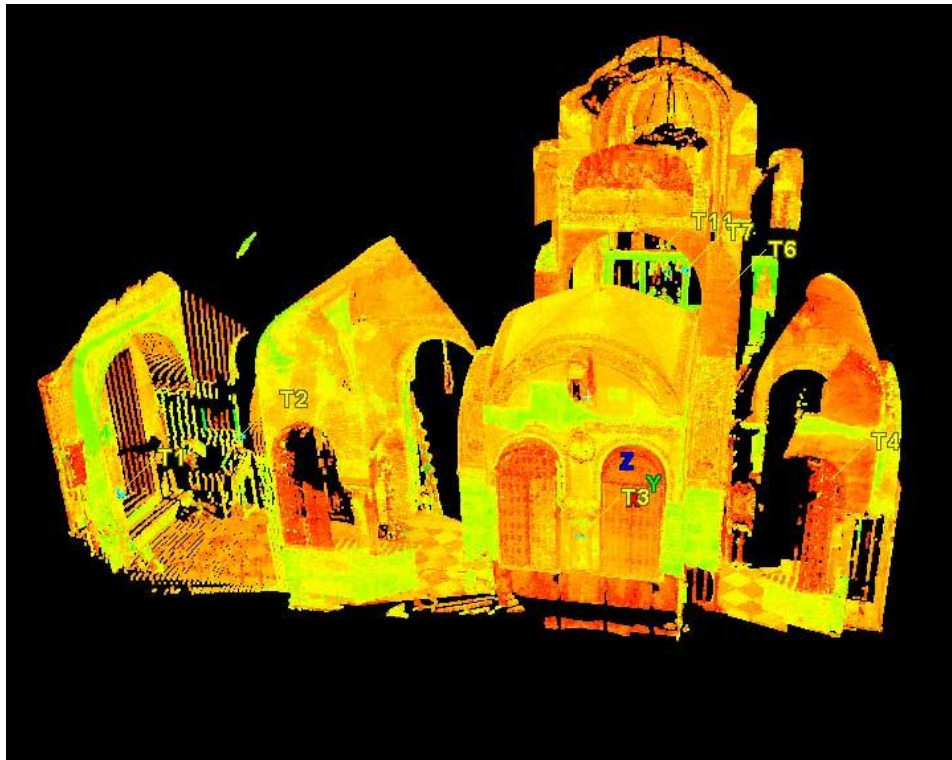
γεωαναφερθούν τα νέφη σημείων έγινε ένας καθαρισμός αυτών, με τη διαγραφή των σημείων που δεν είχαν κάποιο ενδιαφέρον. Τέτοια σημεία ήταν για παράδειγμα:

- Στο εσωτερικό της εκκλησίας: τα στασίδια του Ναού, τα κηροπήγια (μανουάλια), διάφορες ηλεκτρικές συσκευές, διάφορα εργαλεία, κουτιά, παρελκόμενα των ιερών μυστηρίων όπως κολυπήθρες και εξαπτέρυγα, εικονοστάσια, εικόνες, άμβωνες, ντουλάπες και άλλα συναφή, κυρίως κινητά αντικείμενα που δεν ανήκουν στο κτήριο του μνημείου
- Στο εξωτερικό της εκκλησίας: Αυτοκίνητα, περαστικοί, πλανόδιοι πωλητές, περιστέρια, δέντρα, κάδοι σκουπιδιών, τα περίξ κτήρια και καλώδια.

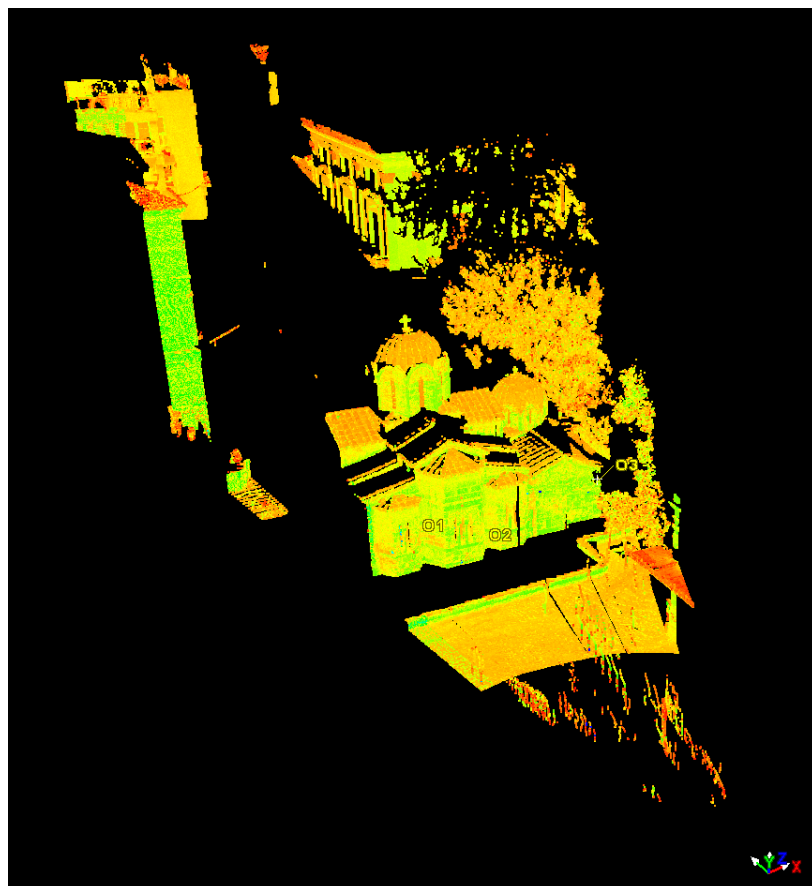
Ο καθαρισμός των νεφών σημείων έγινε παράλληλα με την επίλυση του δικτύου ελέγχου, γιατί είναι μια ανεξάρτητη διαδικασία που δεν υπήρχε λόγος να καθυστερήσει. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τον καθαρισμό των σημείων είναι το Cyclone 6.0 της εταιρείας Leica, της ίδιας εταιρείας που κατασκεύασε και τον Σαρωτή Laser. Παρακάτω παρατίθενται αρκετές εικόνες στις οποίες φαίνεται τόσο το πώς είναι ένα νέφος σημείων, όσο και η διαφορά ενός νέφους σημείων με θόρυβο σε σύγκριση με ένα καθαρισμένο νέφος.



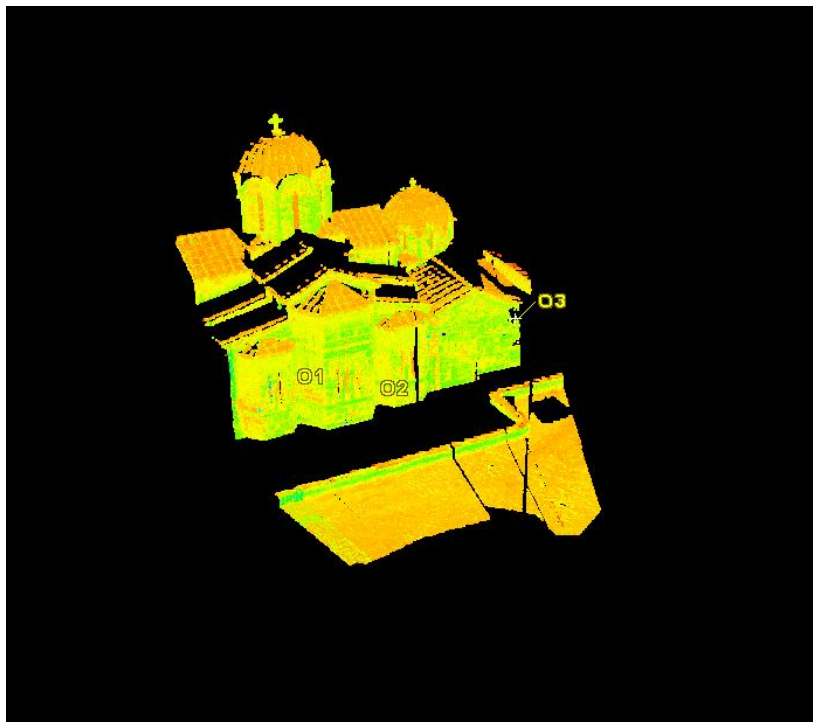
Εικόνα 15: Ένα νέφος σημείων, όπως φαίνεται από το σημείο στάσης του σαρωτή



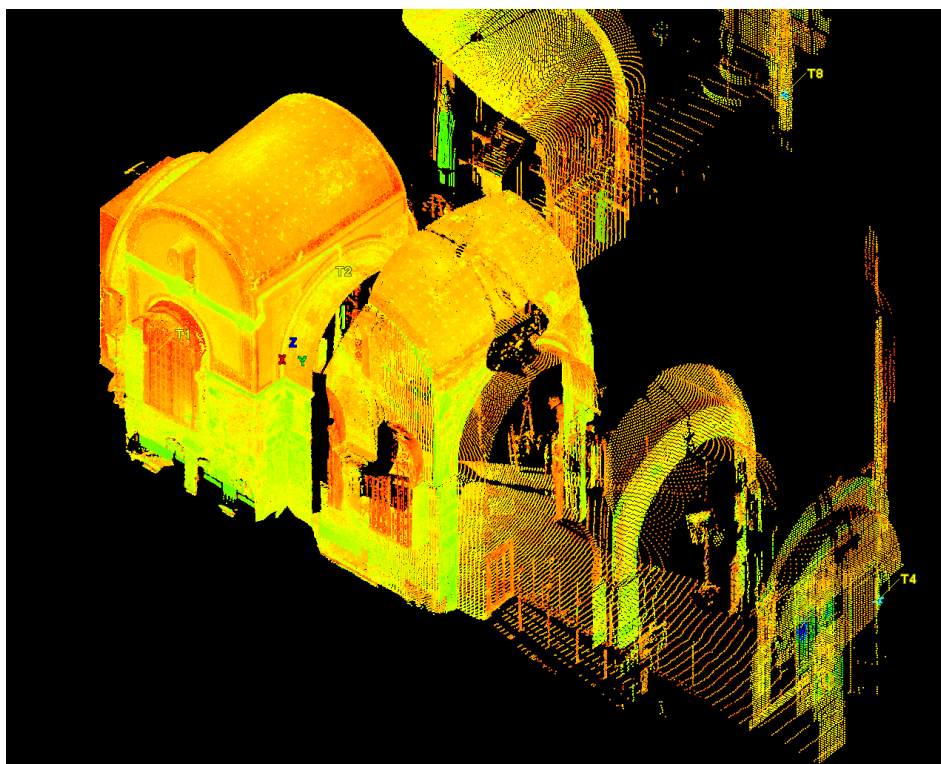
Εικόνα 16: Ένα νέφος σημείων, όπως φαίνεται από τυχαία θέση



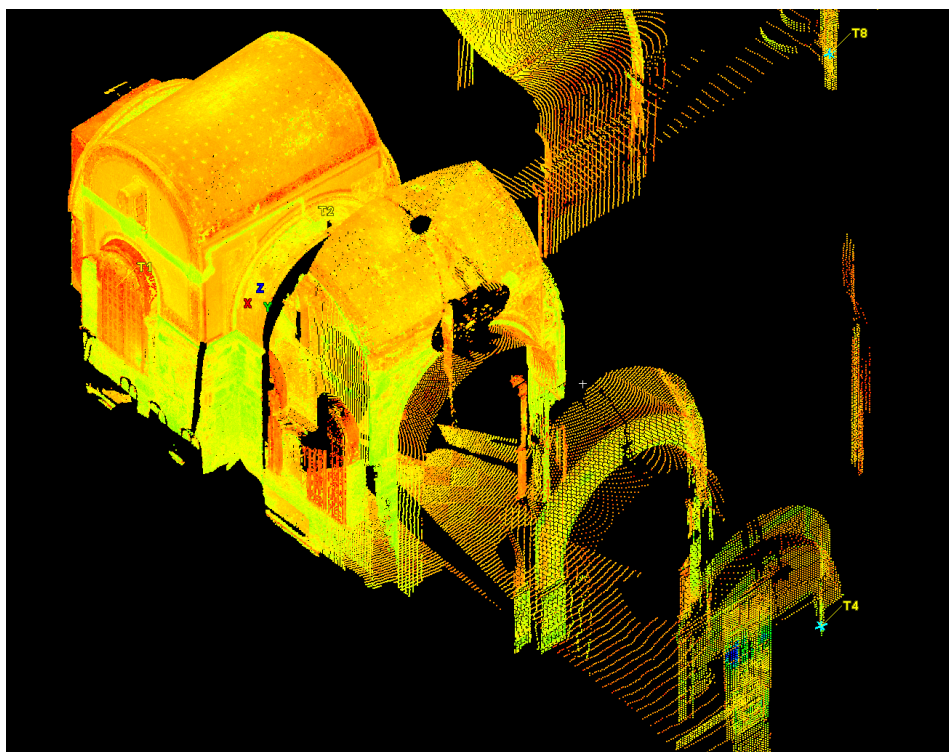
Εικόνα 17: Παράδειγμα εξωτερικού νέφους σημείων με θόρυβο



Εικόνα 18: Παράδειγμα εξωτερικού νέφους σημείων (βλ. εικόνα 16) χωρίς θόρυβο



Εικόνα 19: Παράδειγμα εξωτερικού νέφους σημείων με θόρυβο



Εικόνα 20: Παράδειγμα εσωτερικού νέφους σημείων χωρίς θόρυβο

Όπως φαίνεται και στις παραπάνω φωτογραφίες, στο εξωτερικό της εκκλησίας ο θόρυβος ήταν πολύ μεγάλος, δεδομένου του γεγονότος ότι δεν υπήρχε κανένας περιορισμός στα σημεία τα οποία θα αποτυπώσει η σαρωτής, με αποτέλεσμα η πλειονότητα των σημείων να είναι θόρυβος. Ως εκ τούτου είναι μεγάλη η διαφορά του καθαρισμένου νέφους από το πρωτογενές, ακαθάριστο νέφος. Στο εσωτερικό δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα δύο νέφη, όμως όπως είναι φανερό, για να διορθωθεί ο θόρυβος του εσωτερικού νέφους απομακρύνθηκαν και σημεία του I.N., όπως π.χ. σημεία του πατώματος ή της οροφής.

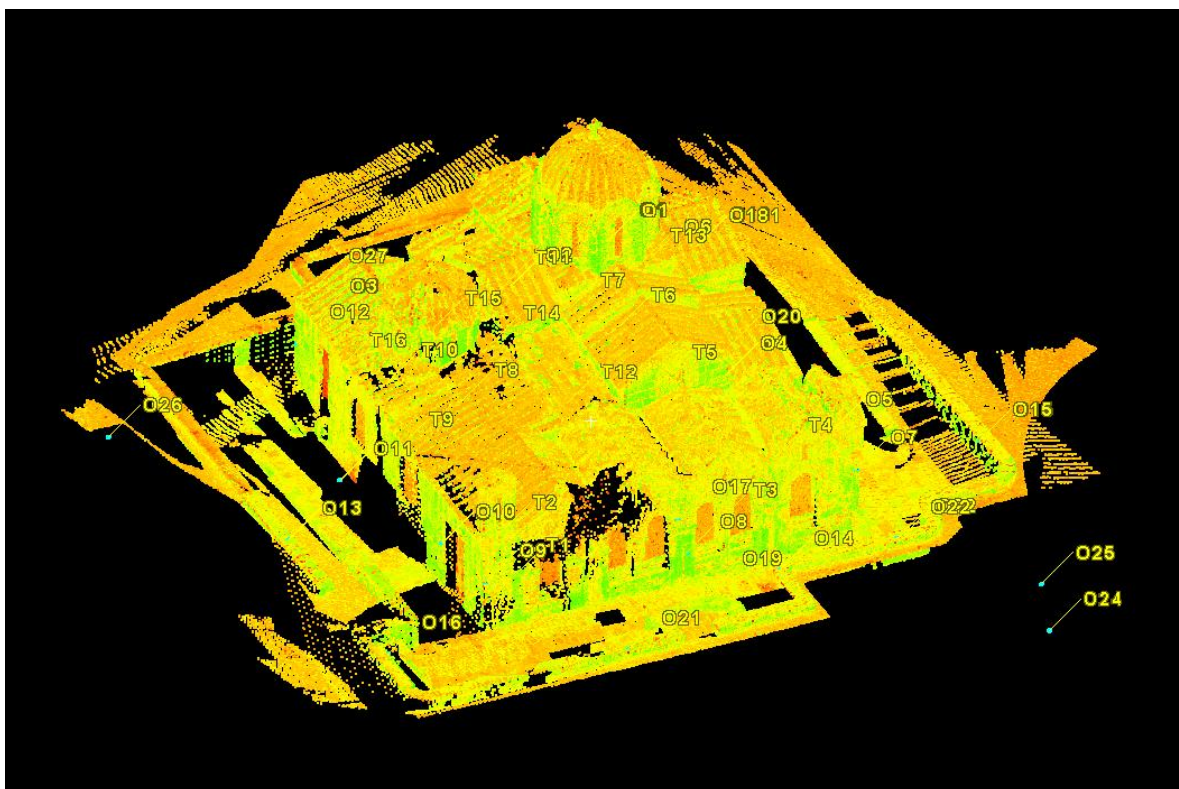
3.3.2. Συνένωση και γεωαναφορά νεφών - Αποτελέσματα και εικόνες

Για να συνενωθούν τα διάφορα νέφη σημείων πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις κοινοί στόχοι ανά δύο νέφη σημείων. Τότε, το πρόγραμμα Cyclone δίνει την δυνατότητα να συνενωθούν τα νέφη που πληρούν αυτήν την προϋπόθεση, όμως χωρίς να ενταχθούν σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Για να ενταχθούν σε ένα σύστημα αναφοράς πρέπει ο χρήστης να εισαγάγει τις συντεταγμένες κάθε στόχου στο εκάστοτε σύστημα. Γι' αυτό, μόλις υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των στόχων του σαρωτή στο αυθαίρετο τοπικό σύστημα που ιδρύθηκε γύρω από τον I.N. Καπνικαρέας, εισήχθησαν στο Cyclone και συνενώθηκαν τα καθαρισμένα νέφη σημείων. Πρώτα συνενώθηκε το εσωτερικό του ναού και έπειτα το εξωτερικό.

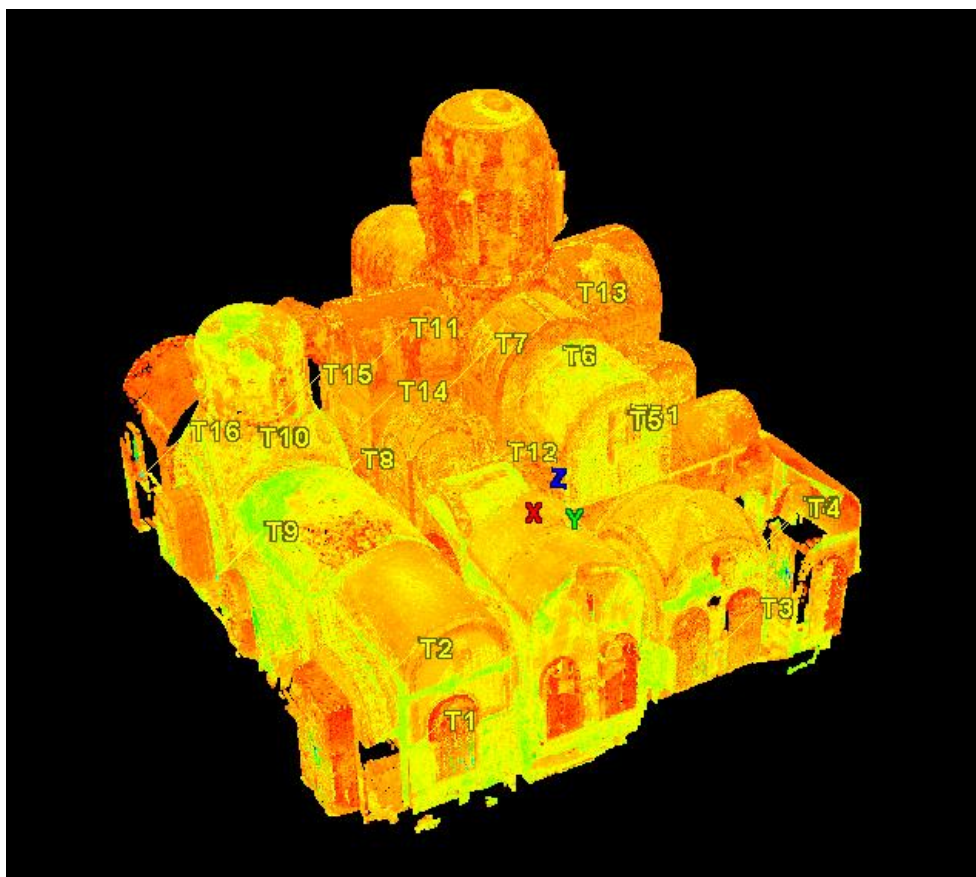
Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το λογισμικό Cyclone συνενώνει τα νέφη με συνδυασμό δύο μεθόδων. Πρώτα λαμβάνει υπ' όψιν του τη θέση κάθε στόχου και ενώνει κάθε νέφος με το επόμενο ταυτίζοντας τους ίδιους στόχους. Έπειτα, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος (ICP – Iterative Closest Point), κατά τον οποίον μειώνονται οι αποστάσεις των σημείων των δύο νεφών έως την «ταύτιση» τους. Δηλαδή, σε πρώτη φάση τα νέφη συνενώνονται με βάση τους κοινούς στόχους και σε δεύτερη φάση, ολοκληρώνεται η συνένωση με εφαρμογή του αλγορίθμου ICP. Στο τέλος της διαδικασίας το πρόγραμμα εμφανίζει και τα στατιστικά στοιχεία που δείχνουν την ακρίβεια της συνένωσης. Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες με το αποτέλεσμα της συνένωσης των νεφών αλλά και ο πίνακας στον οποίο φαίνονται τα αντίστοιχα σφάλματα.

Πίνακας 11: Ακρίβεια Συνένωσης Νεφών Σημείων

Ακρίβεια Συνένωσης σε m	
Εσωτερικό Ναού	±0.004
Εξωτερικό Ναού	±0.006
Εσωτερικό και Εξωτερικό Ναού	±0.004



Εικόνα 21: Το τελικό εξωτερικό νέφος, συνενωμένο και γεωαναφερμένο



Εικόνα 22: Το τελικό εσωτερικό νέφος, συνενωμένο και γεωαναφερμένο

3.4 Κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου από τα νέφη σημείων

3.4.1 Το πρόγραμμα Geomagic Studio

Η πεμπτοσύα της συλλογής δεδομένων από έναν σαρωτή είναι η τελική δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου από τα συνενωμένα και γεωαναφερμένα νέφη σημείων. Επομένως, μετά την γεωαναφορά των νεφών σημείων, σειρά είχε η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων τόσο για το εσωτερικό του Ι.Ν. όσο και για το εξωτερικό του και αλλά για όλο τον Ναό αντίστοιχα. Υπάρχει πληθώρα λογισμικών τα οποία κάνουν αυτήν τη διαδικασία αλλά στην συγκεκριμένη διπλωματική χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Geomagic Studio (G.S.). Για την ακρίβεια, χρησιμοποιήθηκαν δύο εκδόσεις του, η έκδοση G.S. 10.0 και η έκδοση G.S. 12.0. Η τελευταία χρησιμοποιήθηκε και για την παραγωγή του τελικού μοντέλου της εκκλησίας διότι ως μεταγενέστερη είναι καλύτερη από πολλές απόψεις.

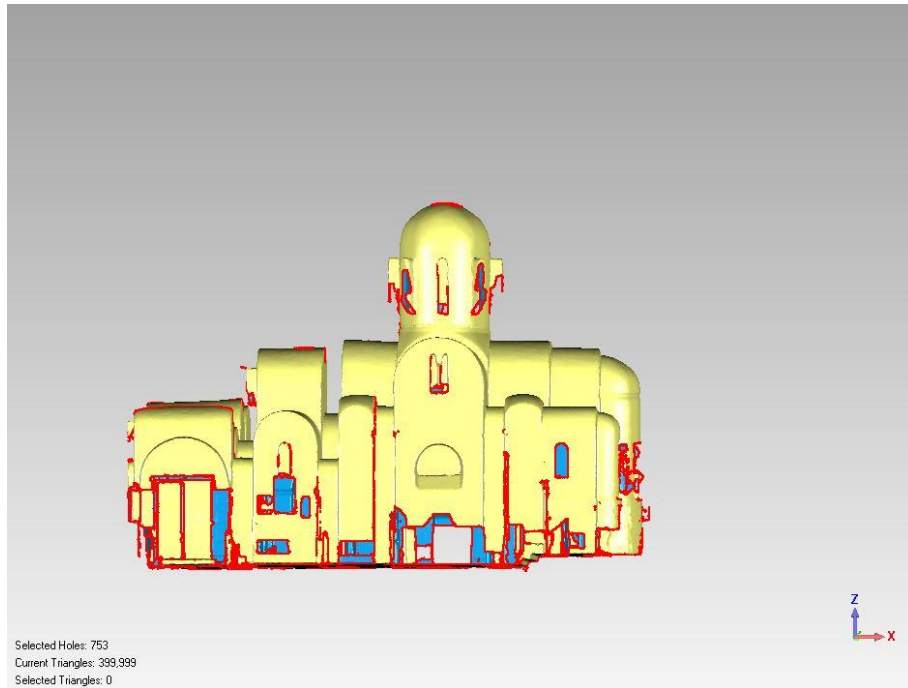
Τα προγράμματα όπως το G.S. χρησιμοποιούν ως επί το πλείστον την ίδια φιλοσοφία για να κατασκευάσουν επιφάνεια από νέφη σημείων, η οποία είναι συνοπτικά η ακόλουθη: Από τα υπάρχοντα σημεία του ολοκληρωμένου νέφους σημείων, δημιουργούνται τρίγωνα μεταξύ των σημείων, με πυκνότητα και αριθμό που ορίζεται (συνήθως) από το χρήστη. Από τα τρίγωνα αυτά σχηματίζονται επιφάνειες, οι

οποίες δίνουν και το σχήμα στο τριδιάστατο μοντέλο. Απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει σωστά ένα μοντέλο, είναι τα σημεία να είναι αντιπροσωπευτικά του σχήματος του αντικειμένου και σχετικά πυκνά. Με τα σημεία που έχει το νέφος σημείων από μια σάρωση, αυτή η απαίτηση καλύπτεται τις περισσότερες φορές. Βέβαια, κανένας αλγόριθμος δεν είναι πανάκεια και δεν είναι αλάνθαστος. Έτσι, ακόμα και στην εξελιγμένη έκδοση του G.S., δηλαδή την 12.0, δεν ήταν δυνατή η κατασκευή ενός οπτικά σωστού και συνάμα αποδεκτού τριδιάστατου μοντέλου χωρίς την παρέμβαση του χρήστη, παρόλο που ο αριθμός των σημείων που δόθηκαν στο πρόγραμμα για επεξεργασία ήταν αρκετά μεγάλος.

Τα προβλήματα που παρουσιάζονται σε τέτοιες περιπτώσεις, χωρίς σχεδόν καμμία εξαίρεση, είναι ότι το τελικό παραγόμενο μοντέλο έχει κενά στην επιφάνειά του και ότι κάποιες επιφάνειες δεν αποδίδουν σωστά την γεωμετρία του αντικειμένου που ενδιαφέρει. Έτσι και στην περίπτωση της διπλωματικής αυτής, τα αρχικά μοντέλα είχαν κενά (τρύπες) στην επιφάνειά τους και έπρεπε ο συγγραφέας και χρήστης να κάνει κατάλληλες ρυθμίσεις από το πρόγραμμα, δίνοντας κατευθύνσεις και οδηγίες για τη δημιουργία νέων επιφανειών, που δεν είχαν σχηματιστεί αρχικά. Στη συνέχεια παρατίθενται συγκεκριμένες εικόνες όπου παρουσιάζεται ένα κομμάτι του μοντέλου του I.N. πριν και μετά την παρέμβαση του χρήστη.

Είναι σημαντικό να ειπωθεί επίσης ότι στο λογισμικό G.S. τα δεδομένα που εισήχθησαν ήταν μόνο οι συντεταγμένες X,Y,Z των σημείων από το συνενωμένο εξωτερικό και εσωτερικό νέφος αντίστοιχα, όπως αυτά προέκυψαν από το προηγούμενο στάδιο επεξεργασίας, με χρήση του λογισμικού Cyclone. Στο λογισμικό G.S. το νέφος υπέστη επεξεργασία, η οποία αφορούσε κυρίως την απομάκρυνση όσων σημείων θεωρούνταν απομακρυσμένα από τα υπόλοιπα, την μείωση του θορύβου και την δημιουργία ομοιόμορφου νέφους. Επίσης, τα σημεία μειώθηκαν περαιτέρω μέσω ειδικών αλγορίθμων του λογισμικού G.S. καθότι αν χρησιμοποιούνταν όλα, το τελικό αποτέλεσμα θα ήταν ένα πολύ βαρύ αρχείο το οποίο υπήρχε κίνδυνος να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλα προγράμματα.

Επειδή το σχήμα της εκκλησίας είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο, δόθηκε η μέγιστη προτεραιότητα κατά την δημιουργία του νέφους στην δημιουργία καμπυλών, όπως επίσης δόθηκε και εντολή για μέγιστη ομαλότητα των επιφανειών. Αυτές οι παράμετροι ήταν καθοριστικές για την δημιουργία ενός μοντέλου όσο το δυνατόν πιο πιστού στην πραγματικότητα, δεδομένου ότι το κτήριο της εκκλησίας έχει πολύπλοκο σχήμα που δεν μπορεί να αποδοθεί με απλές μεθόδους και με παραδοχές που απλουστεύουν την γεωμετρία του (όπως π.χ. η θεώρηση ομαλών επιφανειών).

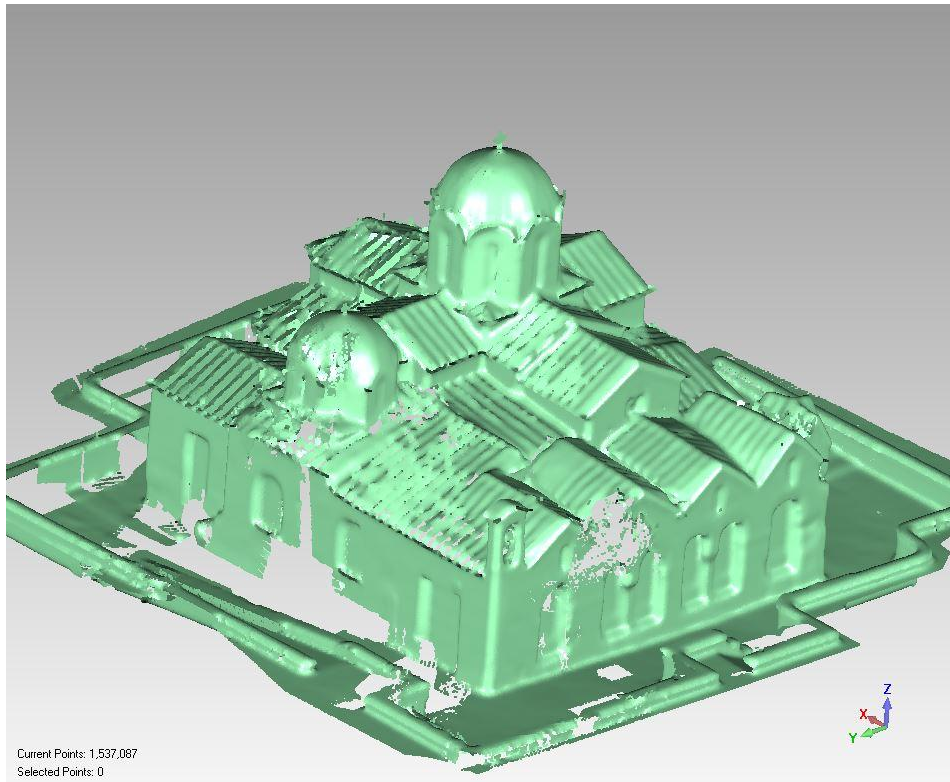


Εικόνα 23: Παράδειγμα αρχικού τριδιάστατου μοντέλου επιφανείας, στο οποίο φαίνονται οι «τρύπες» που δημιουργούνται από το πρόγραμμα

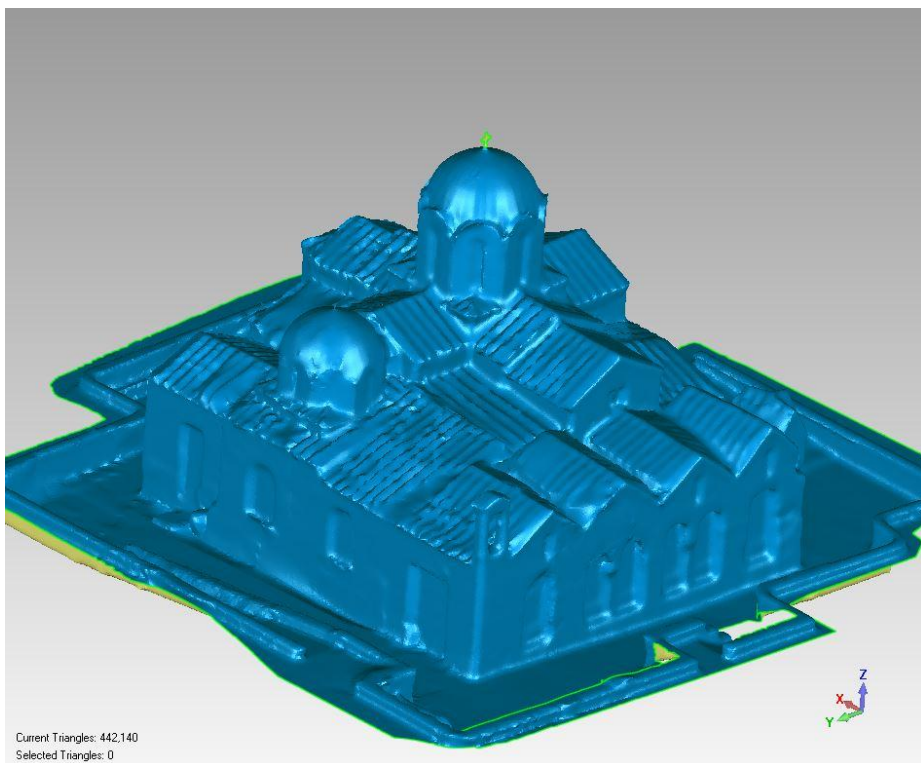
3.4.2. Αποτελέσματα της δημιουργίας τριδιάστατου μοντέλου με το πρόγραμμα Geomagic Studio

3.4.2.1. Τα αποτελέσματα σε εικονιστική μορφή

Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες που δείχνουν τη μετατροπή του νέφους σημείων σε τριδιάστατο μοντέλο, όπως αυτό εξήχθη από το λογισμικό Cyclone και αφού υπέστη επεξεργασία στο λογισμικό G.S. Το μπλε χρώμα στα μοντέλα υποδεικνύει ότι η πλευρά αυτή είναι η πλευρά που είναι εξωτερική, δηλαδή αυτή που είναι ορατή με το γυμνό μάτι ενός παρατηρητή. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι και η πλευρά με το μπλε χρώμα είναι αυτή η οποία θα αποκτήσει υφή με βάση τις εικόνες που ελήφθησαν. Επίσης, παρατίθενται και εικόνες οι οποίες δείχνουν την διαφορά ενός αρχικού μοντέλου με κενά («τρύπες») σε σχέση με το μοντέλο που προέκυψε μετά την επεξεργασία από τον συγγραφέα.



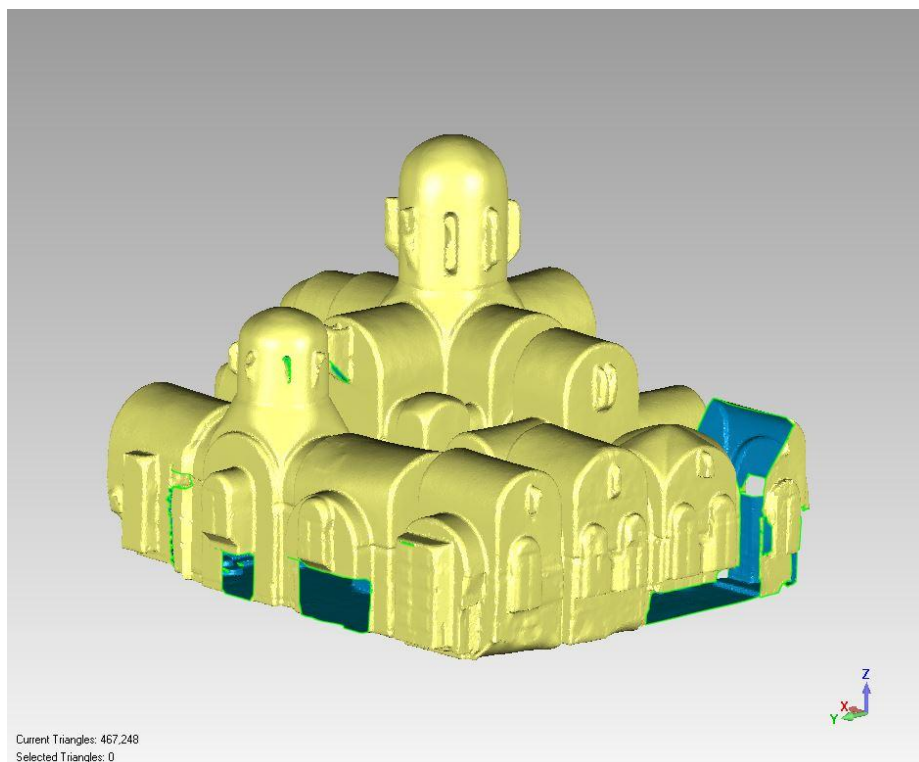
Εικόνα 24: Το αρχικό εξωτερικό νέφος σημείων, όπως φαίνεται στο λογισμικό Geomagic Studio



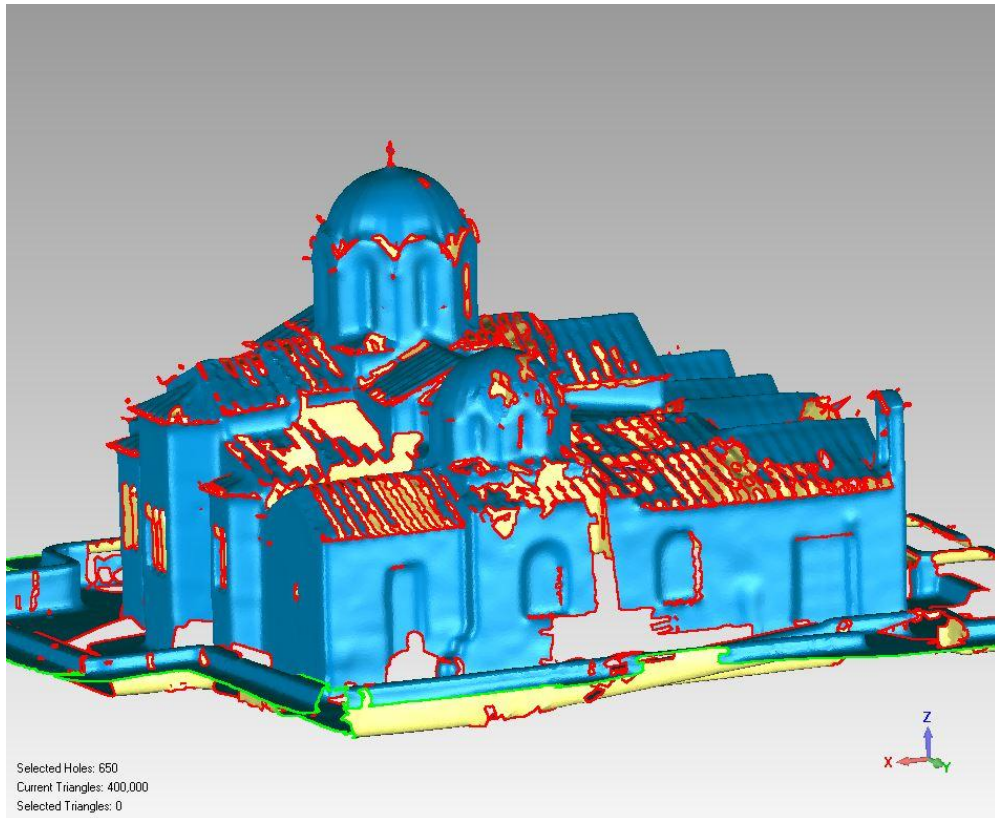
Εικόνα 25: Το τριδιάστατο μοντέλο επιφάνειας του εξωτερικού νέφους



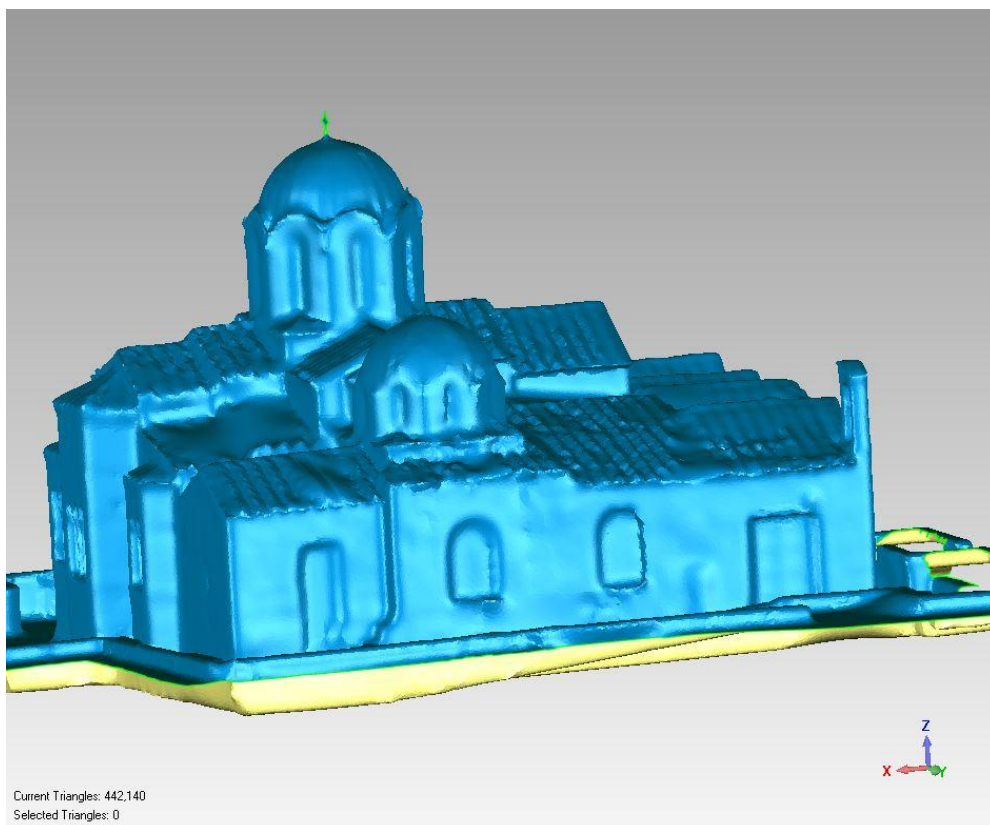
Εικόνα 26: Το αρχικό εσωτερικό νέφος σημείων, όπως φαίνεται στο λογισμικό Geomagic Studio



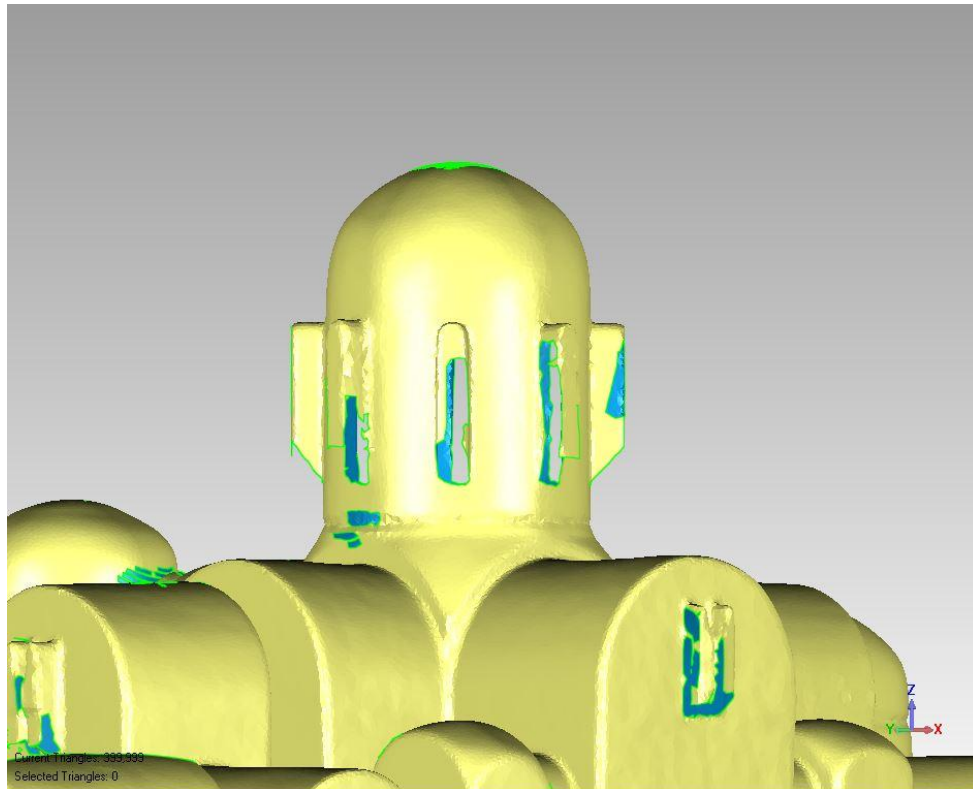
Εικόνα 27: Το τριδιάστατο μοντέλο επιφανείας του εσωτερικού νέφους



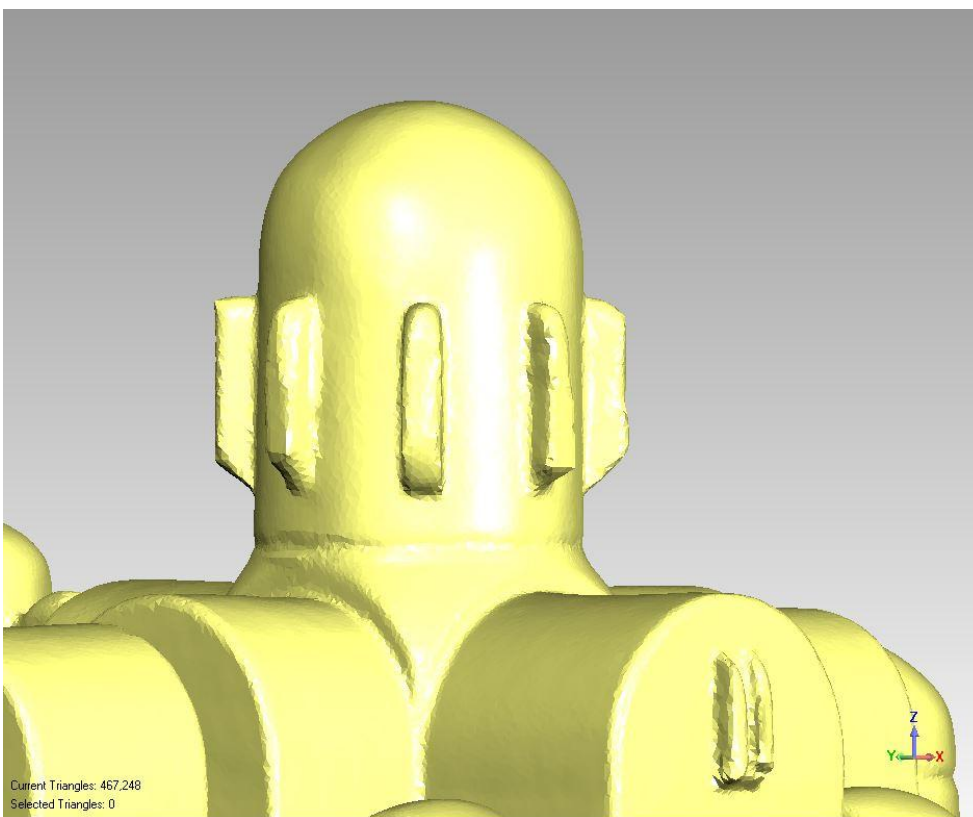
Εικόνα 28: Το αρχικό εξωτερικό νέφος με τις «τρύπες»



Εικόνα 29: Το εξωτερικό νέφος μετά την επεξεργασία και το κλείσιμο των «τρυπών»



Εικόνα 30: Παράδειγμα μοντέλου του εσωτερικού του Ναού με «τρύπες»



Εικόνα 31: Το σημείο της εικόνας 27 μετά την επεξεργασία, χωρίς «τρύπες»

3.4.2.2. Τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα

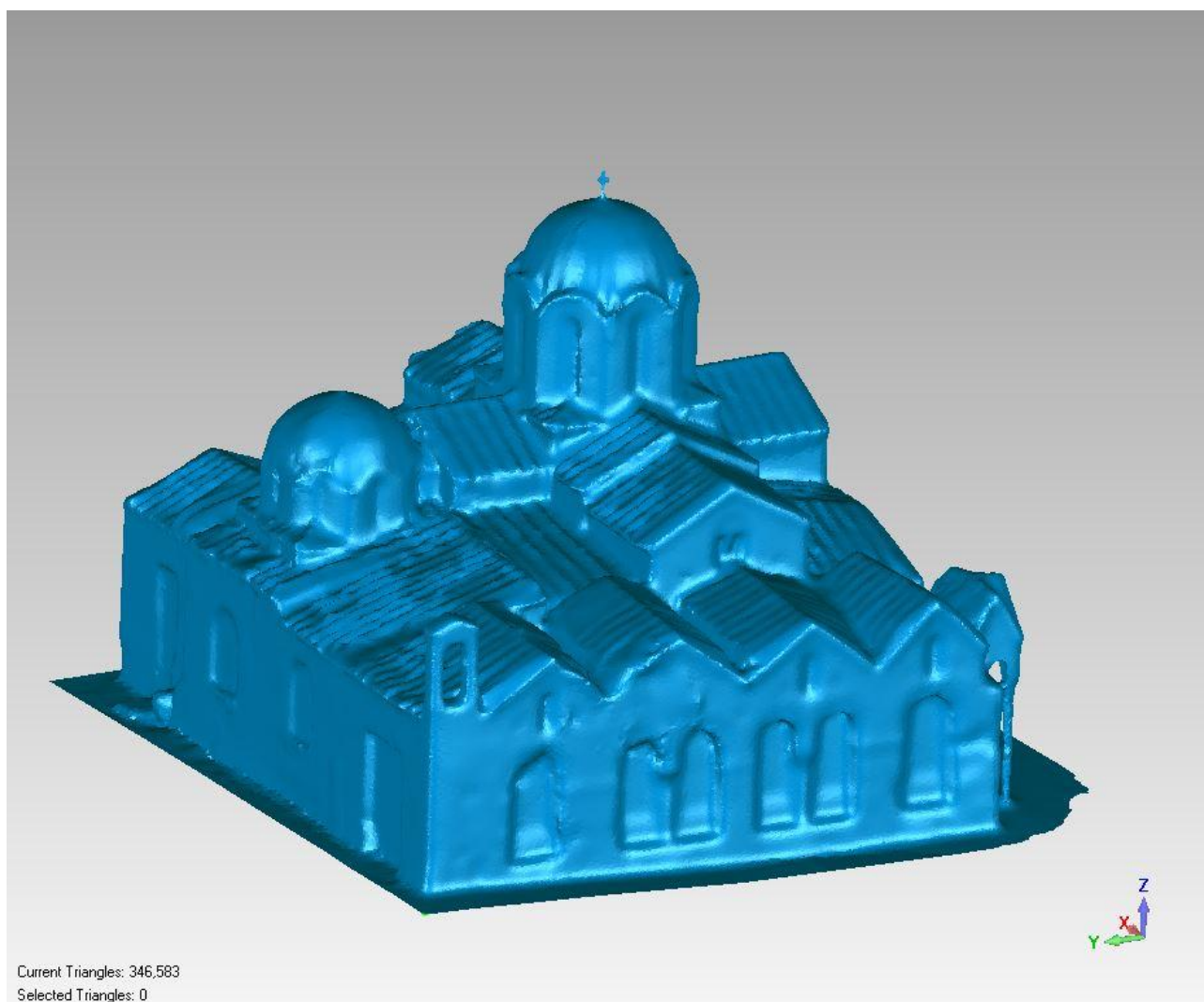
Στο εδάφιο αυτό παρατίθενται σε μορφή πινάκων οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την δημιουργία των τριδιάστατων μοντέλων καθώς και διάφορα στοιχεία της διαδικασίας που μπορεί να ενδιαφέρουν, όπως π.χ. τα αρχικά σημεία, τα τελικά σημεία, τα κενά που υπήρχαν κ.ά. Επίσης, παρατίθεται και μια εικόνα του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στην πορεία της διπλωματικής αυτής ώστε να αποκτήσει τελικά υφή από τις ληφθείσες εικόνες.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα της δημιουργίας τριδιάστατου μοντέλου και λοιπά στοιχεία

Αποτελέσματα Δημιουργίας Τριδιάστατου Μοντέλου από τα Νέφη Σημείων		
Αποτελέσματα	Εσωτερικό Νέφος	Εξωτερικό Νέφος
Αρχικά σημεία	11.227.555	5.508.917
Τελικά Σημεία	1.863.102	1.557.087
Τρύπες Αρχικού Μοντέλου	753	650
Απομακρυσμένα Σημεία	26	103
Επαναλήψεις αλγορίθμου για την δημιουργία επιφάνειας	3	3
Επιτρεπτή απόσταση σχηματισμένων τριγώνων (σε m)	0.02	0.02

Πίνακας 13: Τα τρίγωνα της επιφάνειας των μοντέλων

Τελικά Τρίγωνα Επιφάνειας Μοντέλων	
Εσωτερικό Μοντέλο	467.248
Εξωτερικό Μοντέλο	442.140
Τελικό Μοντέλο	346.583



Εικόνα 32: Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην πορεία της διπλωματικής

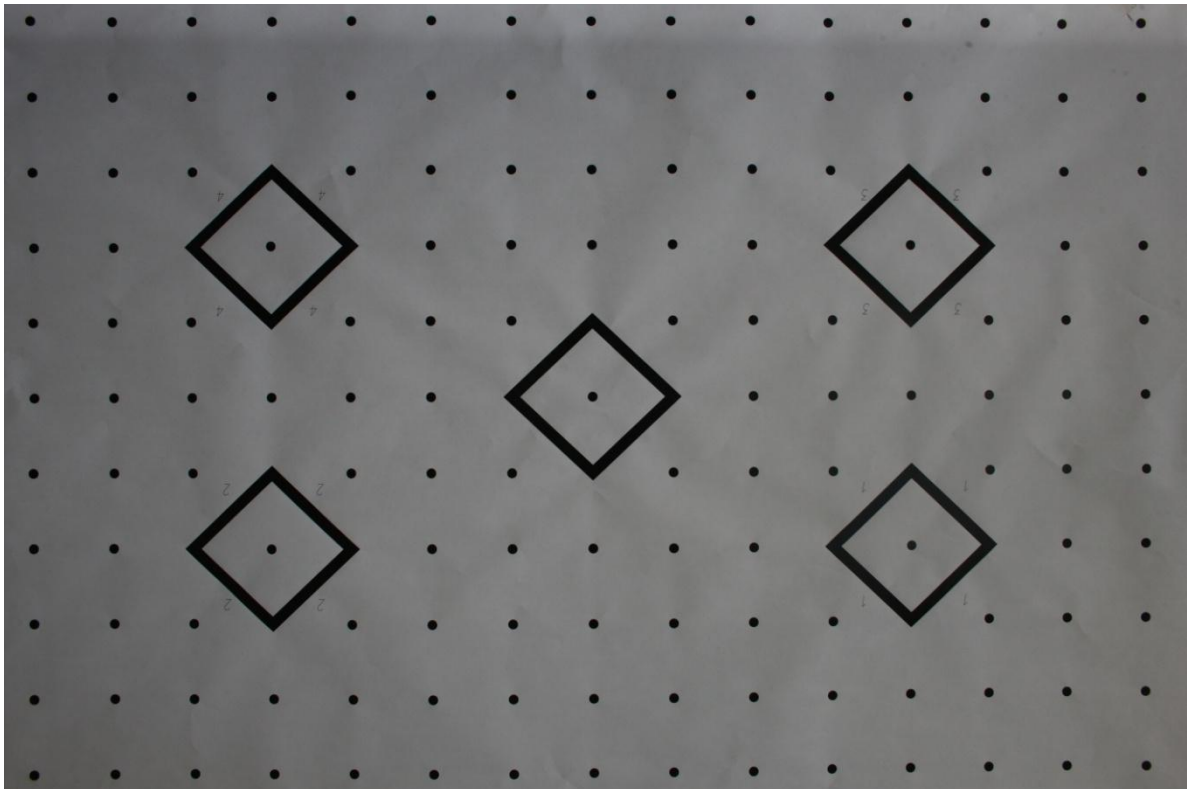
3.4. Επεξεργασία Φωτογραφικών Δεδομένων

Μετά την δημιουργία των τριδιάστατων μοντέλων σειρά είχε η τοποθέτηση υψής σε αυτά. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκαν το λογισμικό Image Master (I.M.) και εν συνεχεία το λογισμικό PhotoScan (PS). Η χρήση του λογισμικού I.M. ήταν η πρώτη επιλογή που υπήρχε διαθέσιμη και χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για την τοποθέτηση υψής σε ένα κομμάτι του εσωτερικού του I.N. της Καπνικαρέας (Μεθενίτη, Καληνυκτάκης, & Γεωργόπουλος, 2012). Όμως, η δυσκολία της τοποθέτησης υψής στο εξωτερικό του I.N. ήταν το εφιαλτήριο για την αναζήτηση νέων τρόπων τοποθέτησης υψής στο μοντέλο της εκκλησίας και τότε ήταν που το λογισμικό PhotoScan έδωσε τη λύση στο μέχρι τότε δυσεπίλυτο πρόβλημα. Επομένως, για την τοποθέτηση υψής σε έναν θόλο του ιερού του Ναού χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό I.M. ενώ για την τοποθέτηση υψής στο εξωτερικό μοντέλο του Ναού χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PS και διερευνήθηκε το κατά πόσο μπορεί ένα λογισμικό που δεν δίνει πολλές επιλογές στο χρήστη αλλά κάνει αυτόματα όλες τις διαδικασίες να είναι χρήσιμο στην επιστήμη της Φωτογραμμετρίας. Κάτωθι ακολουθεί η περιγραφή της επεξεργασίας τόσο με το λογισμικό I.M. όσο και με το λογισμικό PS.

3.4.1. Η επεξεργασία με το λογισμικό Image Master

3.4.1.1. Βαθμονόμηση της φωτογραφικής μηχανής

Στην αρχή της επεξεργασίας με το I.M., θεωρήθηκε ότι δεν ήταν απαραίτητη η βαθμονόμηση της μηχανής. Όμως στην πορεία, προέκυψε η ανάγκη βαθμονόμησής της γιατί η επιτυχία των επιθυμητών αποτελεσμάτων ήταν υπέρ το δέον χρονοβόρα. Για να γίνει η βαθμονόμηση της μηχανής, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Image Master Calib. Η διαδικασία της βαθμονόμησης είναι η εξής: Αρχικά λαμβάνονται φωτογραφίες μιας ειδικής, επίπεδης επιφάνειας με τον φακό που χρησιμοποιήθηκε για τις εικόνες, από τουλάχιστον πέντε διαφορετικές γωνίες. Η επίπεδη επιφάνεια είναι στην ουσία ένα κομμάτι χαρτί σε μέγεθος A0, στο οποίο είναι εκτυπωμένες κουκκίδες και διάφοροι στόχοι με συγκεκριμένη διάταξη. Η αναγνώριση των εν λόγω στόχων από το λογισμικό και η σύγκριση των φωτογραφιών μεταξύ τους είναι και ο τρόπος που υπολογίζονται οι παράμετροι της βαθμονόμησης. Το αποτέλεσμα της βαθμονόμησης προκύπτει αφού εισαχθούν οι εν λόγω φωτογραφίες στο λογισμικό και εκτελεστούν κάποιες πολύ απλές εντολές. Τα στοιχεία της βαθμονόμησης, όπως για παράδειγμα η απόκλιση του κέντρου του φακού από το θεωρητικό κέντρο, οι παράμετροι της διαστροφής του, η εστιακή του απόσταση και άλλα προκύπτουν σε μορφή πίνακα. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το λογισμικό βαθμονόμησης είναι κλειστός και η διαδικασία είναι αυτόματη. Παρακάτω παρατίθεται μια εικόνα της επίπεδης επιφάνειας που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, σε μορφή πίνακα.



Εικόνα 33: Η επίπεδη επιφάνεια που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση

Πίνακας 14: Τα αποτελέσματα της Βαθμονόμησης

Αποτελέσματα Βαθμονόμησης	
Εστιακή Απόσταση (σε mm)	24.015488
Εικονοσυντεταγμένη Χ πρωτεύοντος Σημείου (σε mm)	17.316978
Εικονοσυντεταγμένη Υ πρωτεύοντος Σημείου (σε mm)	11.443121
1η παράμετρος ακτινικής διαστρόφης	1.3624E-04
2η παράμετρος ακτινικής διαστρόφης	-2.1699E-07
3η παράμετρος ακτινικής διαστρόφης	9.70243E-06
4η παράμετρος ακτινικής διαστρόφης	-1.1265E-05
Ανάλυση κατά x (σε mm/pixel)	0.0062
Ανάλυση κατά y (σε mm/pixel)	0.0062

3.4.1.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας με το λογισμικό I.M.

Η επεξεργασία με το λογισμικό I.M. περιλαμβάνει τις εξής διαδικασίες:

1. Αποκατάσταση του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού κάθε εικόνας ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας τα γνωστά Φ/Σ ως σημεία σύνδεσης. Τοιουτοτρόπως, με την δημιουργία του στερεομοντέλου, δίνονται και συντεταγμένες σε αυτό, δηλαδή γεωαναφέρεται παράλληλα. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατόν, δημιουργείται πρώτα το στερεομοντέλο με σημεία σύνδεσης που εισάγει ο χρήστης και έπειτα τοποθετούνται τα Φ/Σ για να δοθούν συντεταγμένες στο τελικό στερεομοντέλο.
2. Τοποθέτηση υψής σε ένα τριδιάστατο μοντέλο επιφάνειας, όπως αυτό που έχει δημιουργηθεί από το λογισμικό G.S.

Για να γίνει αποδεκτός ο προσανατολισμός των εικόνων, θεωρήθηκε ως αποδεκτό σφάλμα αυτό που δεν ξεπερνούσε το ένα pixel στις εικόνες και το ένα εκατοστό στις γεωδαιτικές συντεταγμένες. Με την ολοκλήρωση της βαθμονόμησης, οι παραπάνω διαδικασίες ολοκληρώθηκαν σχετικά εύκολα, για το μεγαλύτερο κομμάτι του I.N. Παρ' όλ' αυτά, το βήμα 2. δεν έδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα για όλο το εξωτερικό τμήμα του ναού, γι αυτό και απορρίφθηκε ως μη αποδεκτή λύση. Παρ' όλ' αυτά, όπως αναφέρεται και στο εδάφιο 3.4.1.1., το λογισμικό I.M. χρησιμοποιήθηκε εξ ολοκλήρου για να τοποθετηθεί υφή σε ένα τμήμα του εσωτερικού του I.N. (Μεθενίτη, Καληνυκτάκης, & Γεωργόπουλος, 2012). Το αποτέλεσμα είναι εμφανές σε εικόνα που ακολουθεί παρακάτω.



Εικόνα 34: Τοποθέτηση υφής σε εσωτερικό τμήμα του Ναού, με το πρόγραμμα I.M.

3.4.2. Η επεξεργασία με το λογισμικό PhotoScan

Η ροή της παρούσας διπλωματικής ήταν εν γένει απρόσκοπτη, μέχρι το σημείο όπου έπρεπε να τοποθετηθεί υφή στο τρισδιάστατο μοντέλο επιφανείας. Μετά την τοποθέτηση υφής στο εσωτερικό κομμάτι, η διαδικασία επρόκειτο να επαναληφθεί και για το εξωτερικό τμήμα του ναού. Όμως, μετά από αρκετές δοκιμές φάνηκε ότι αυτό δεν ήταν εφικτό να γίνει χωρίς παράλληλα να γίνει συμβιβασμός στην ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Έτσι, αναγκαστικά έπρεπε να βρεθεί μια λύση στην τοποθέτηση υφής στο εξωτερικό του τρισδιάστατου μοντέλου. Το λογισμικό PhotoScan (PS) της εταιρείας Agisoft, έδωσε την λύση σε αυτό το πρόβλημα, χωρίς όμως να είναι αυτή η βασική λειτουργία του. Η βασική λειτουργία του λογισμικού αυτού, είναι η δημιουργία νέφους σημείων από τυχαίες, πυκνά επικαλυπτόμενες φωτογραφίες,

με μόνη προϋπόθεση την απεικόνιση του αντικειμένου που ενδιαφέρει σε τουλάχιστον τρεις φωτογραφίες. Τα στάδια της επεξεργασίας με το λογισμικό αυτό είναι τα ακόλουθα τέσσερα:

1. Αρχικά εισάγονται οι εικόνες και το μοντέλο τις συσχετίζει, υπολογίζοντας τον εσωτερικό και σχετικό προσανατολισμό τους. Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο για να γίνει οτιδήποτε άλλο και δίνει μια πρώτη εντύπωση του νέφους σημείων που πρόκειται να σχηματιστεί
2. Στο δεύτερο στάδιο, το λογισμικό χρησιμοποιεί αλγορίθμους για να πυκνώσει το νέφος που σχηματίστηκε στο προηγούμενο στάδιο.
3. Στο τρίτο στάδιο δημιουργείται το μοντέλο επιφανείας με βάση είτε το νέφος σημείων που σχηματίστηκε στο πρώτο στάδιο, είτε με αυτό που σχηματίστηκε στο δεύτερο.
4. Στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο, το μοντέλο επιφανείας που σχηματίστηκε προηγουμένως επενδύεται με υφή από τις εικόνες.

Γενικά, το λογισμικό PS δεν δίνει πολλά περιθώρια επέμβασης στις διαδικασίες που αναφέρονται, του δίνει όμως την δυνατότητα να αλλάξει πολλές επιμέρους παραμέτρους σχεδόν σε όλα τα στάδια. Για την παρούσα διπλωματική αυτό το γεγονός απεδείχθη «σωτήριο» διότι έδωσε τη δυνατότητα το μοντέλο που είχε ήδη δημιουργηθεί να αξιοποιηθεί και να επενδυθεί με υφή.

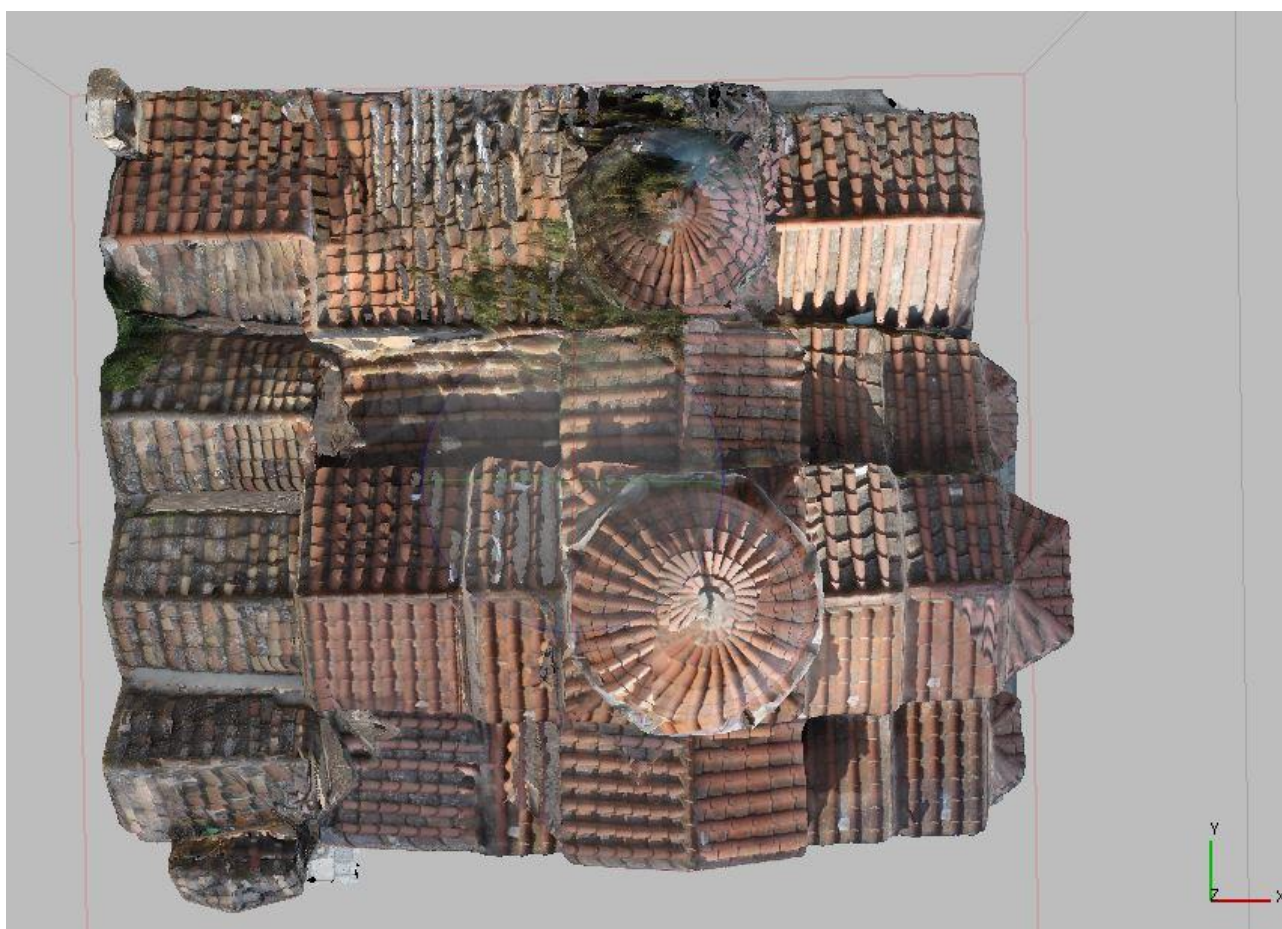
Οι φωτογραφίες που είχαν τραβηχθεί αρχικά δεν ήταν σύμφωνες με τις προδιαγραφές και τις προϋποθέσεις που χρειάζεται το PS οπότε ήταν αδύνατο να εφαρμοσθούν τα στάδια που αναφέρονται παραπάνω και να υπάρξει αποτέλεσμα. Δηλαδή, ο προσανατολισμός όλων των εικόνων μαζί δεν είχε επιτυχία. Όμως, επειδή ήταν δυνατόν να προσανατολιστούν οι ειλημμένες εικόνες ανά ζεύγη (ανάλογα με το κομμάτι του Ναού που απεικονίζουν), χωρίστηκε ο I.N σε μέρη και προσανατολίστηκαν οι διαθέσιμες εικόνες σε αυτά. Έπειτα, αξιοποιήθηκε μια άλλη λειτουργία που έχει το PS, η οποία δίνει τη δυνατότητα να προσανατολιστούν εικόνες που δεν γίνεται να προσανατολιστούν υπό φυσιολογικές συνθήκες, με την προϋπόθεση να εισαχθεί ένα κοινό τρισδιάστατο μοντέλο και επενδυθεί με υφή από κάθε ομάδα εικόνων. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε το ήδη υπάρχον μοντέλο και επενδύθηκε με υφή σε κάθε τμήμα του ξεχωριστά. Τα μέρη στα οποία χωρίστηκε ο I.N. είναι 5: Ανατολικά, Δυτικά, Βόρεια, Νότια και Στέγη. Έπειτα προσανατολίστηκαν όλες οι ομάδες των εικόνων μαζί και επενδύθηκε εκ νέου ο Ναός με υφή. Σε αυτό το σημείο έγινε εμφανές ότι έπρεπε να ληφθούν κάποιες επιπλέον εικόνες ώστε το εικονιστικό προϊόν να είναι όχι απλώς αποδεκτό, αλλά κοντά στις αρχικές προσδοκίες.

Αφού ελήφθησαν οι πρόσθετες εικόνες, επαναλήφθηκε η διαδικασία εισάγοντας τις νέες εικόνες, κρατώντας παράλληλα όσες από τις παλαιότερες θεωρήθηκε ότι θα συνέδραμαν σε ένα αποτέλεσμα υψηλής ποιότητας. Μόλις επενδύθηκε το μοντέλο με υφή, εξήχθησαν από το λογισμικό PS πέντε ορθοφωτογραφίες, μια για κάθε όψη του ναού (Βόρεια, Νότια, Ανατολικά, Δυτικά) και μια κάτοψη. Το μέγεθος της εδαφοψηφίδας ορίστηκε στα 0.004m. Τα φωτοσταθερά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ίδια που

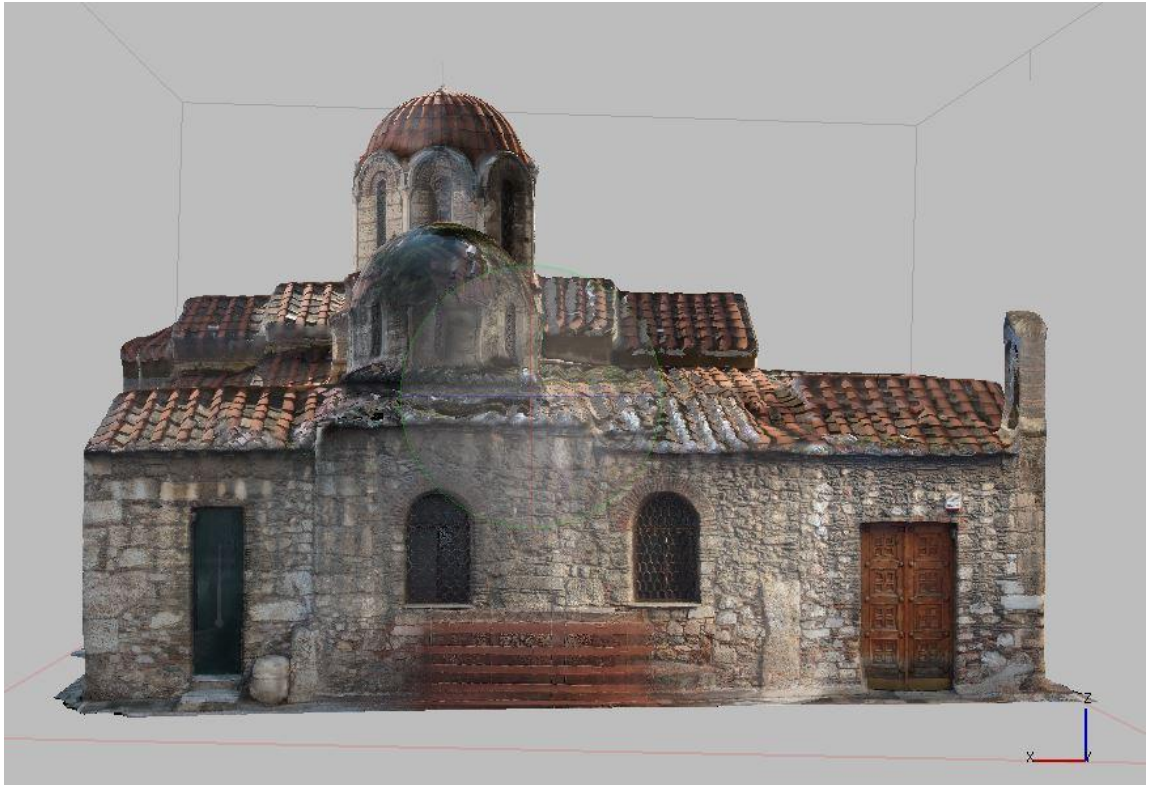
χρησιμοποιήθηκαν και με το λογισμικό I.M. Το PS δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει μια εικόνα της ακρίβειας της γεωαναφοράς του μοντέλου, δίνοντάς το σφάλμα των υπολογισμένων φωτοσταθερών αλλά και το μέσο σφάλμα. Στο τελικό μοντέλο, το σφάλμα ήταν της τάξης του ενός εκατοστού, πιο συγκεκριμένα ήταν 0.009m. Παρακάτω, παρατίθενται οι ορθοφωτογραφίες που εξήχθησαν, οι αντίστοιχες εικόνες από το παράθυρο του λογισμικού και ένας πίνακας όπου φαίνονται όλα τα παραπάνω αποτελέσματα συνολικά.

Πίνακας 15: Τα αποτελέσματα και οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν με το λογισμικό PhotoScan

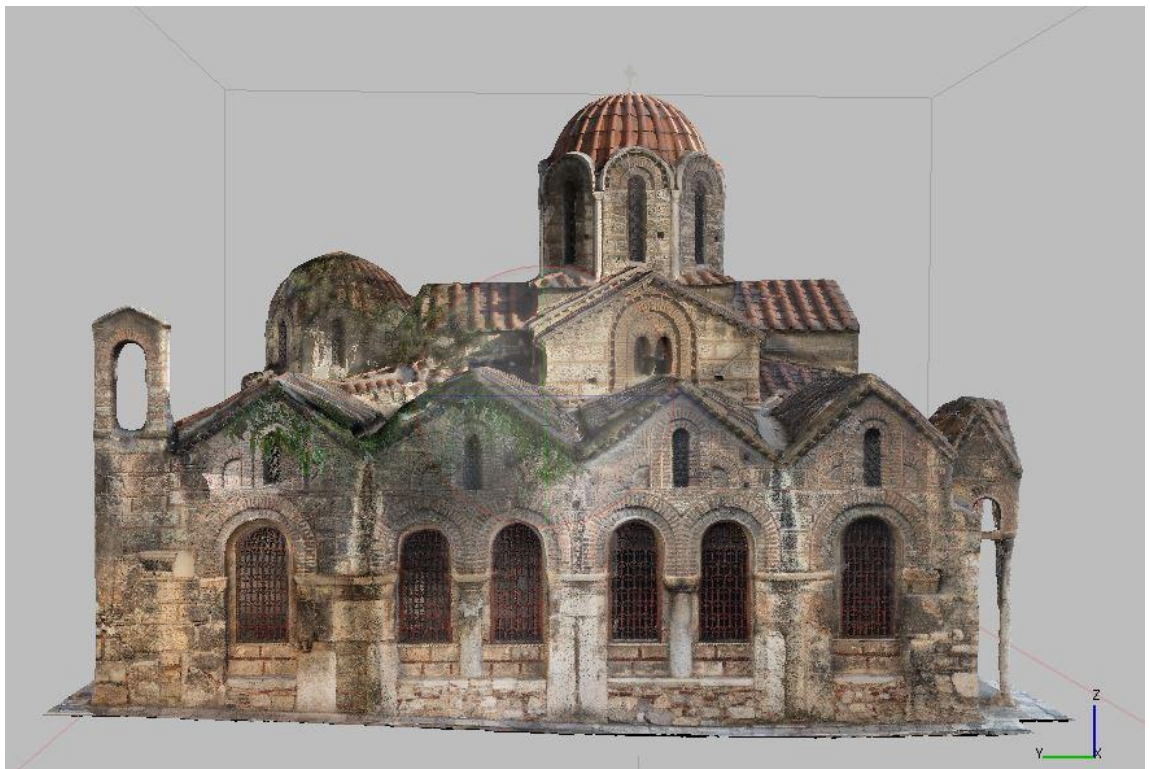
Αποτελέσματα PhotoScan	
Φ/Σ που χρησιμοποιήθηκαν	92
Φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν	113
Ακρίβεια Συνένωσης σε m	0.009
Ακρίβεια Συνένωσης σε pixel	0.375



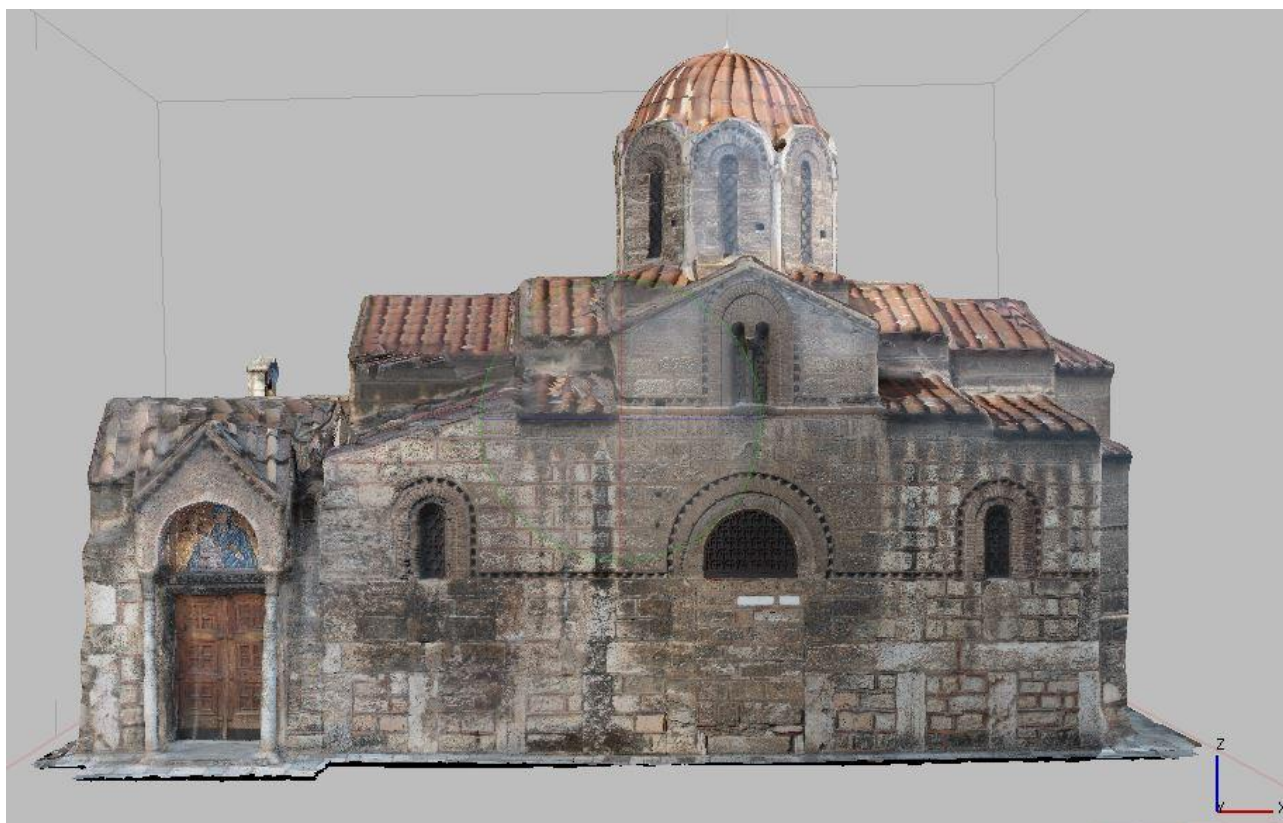
Εικόνα 35: Η κάτοψη του I.N. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan



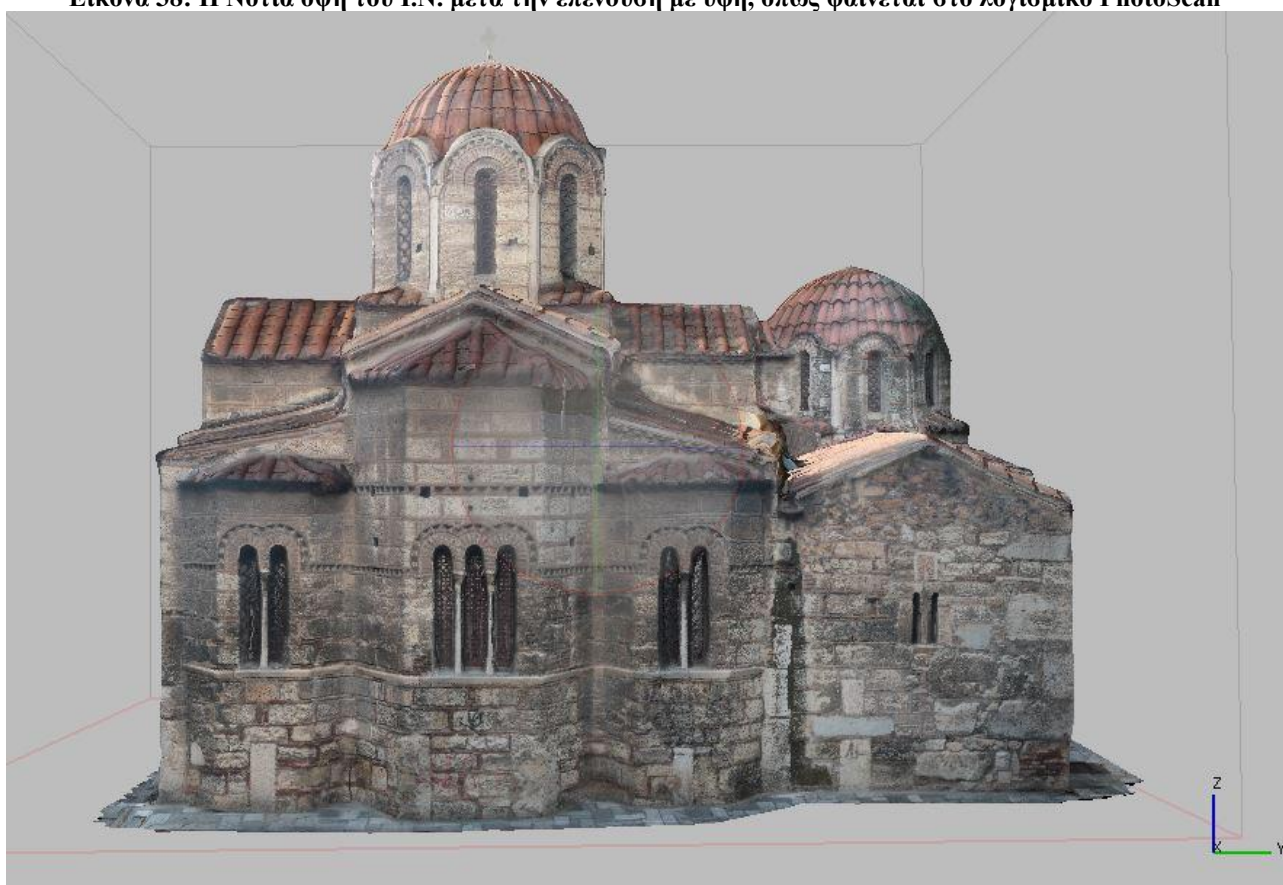
Εικόνα 36: Η Βόρεια όψη του I.N. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan



Εικόνα 37: Η Δυτική όψη του I.N. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan



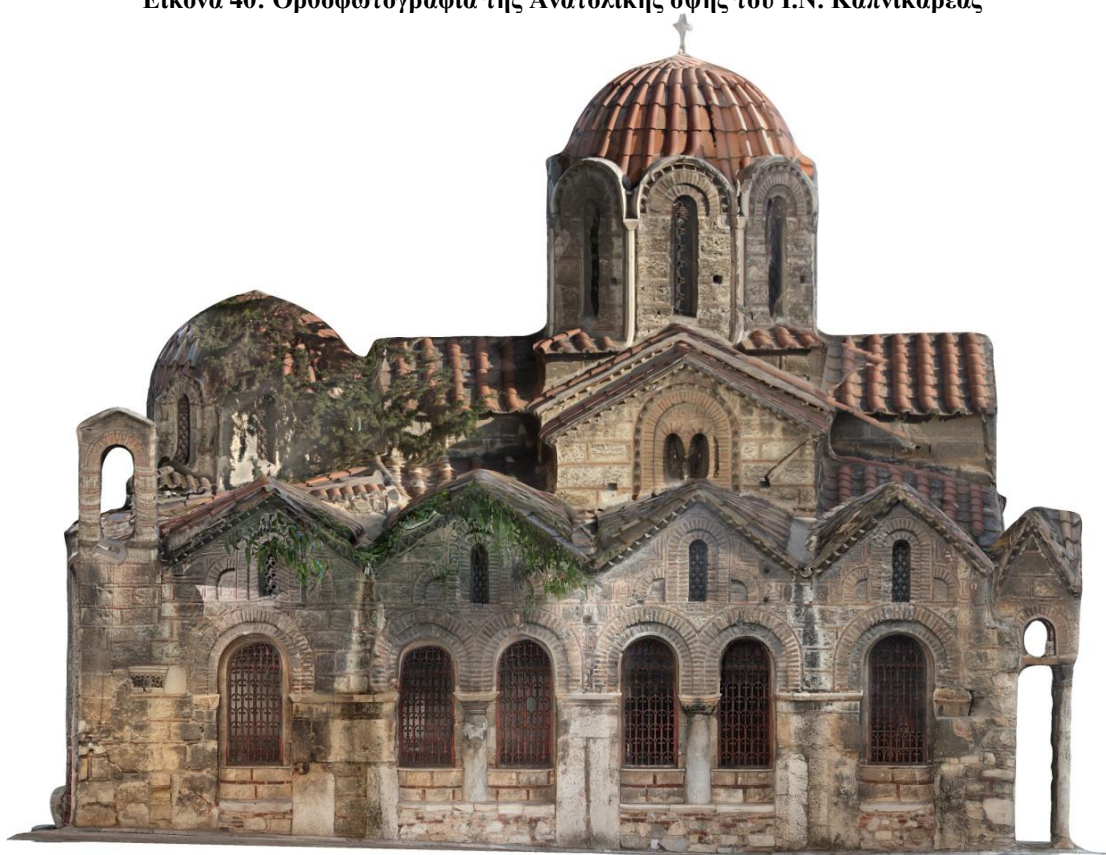
Εικόνα 38: Η Νότια όψη του Ι.Ν. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan



Εικόνα 39: Η Ανατολική όψη του Ι.Ν. μετά την επένδυση με υφή, όπως φαίνεται στο λογισμικό PhotoScan



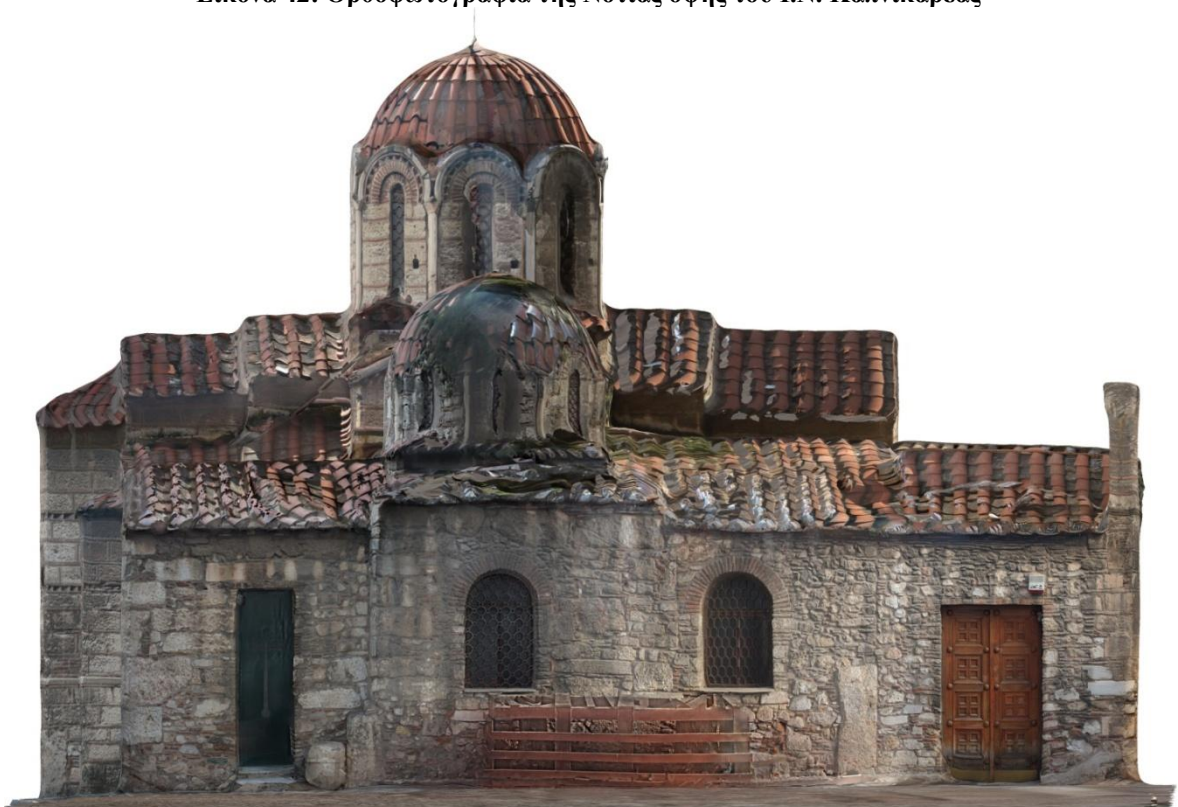
Εικόνα 40: Ορθοφωτογραφία της Ανατολικής όψης του Ι.Ν. Καπνικαρέας



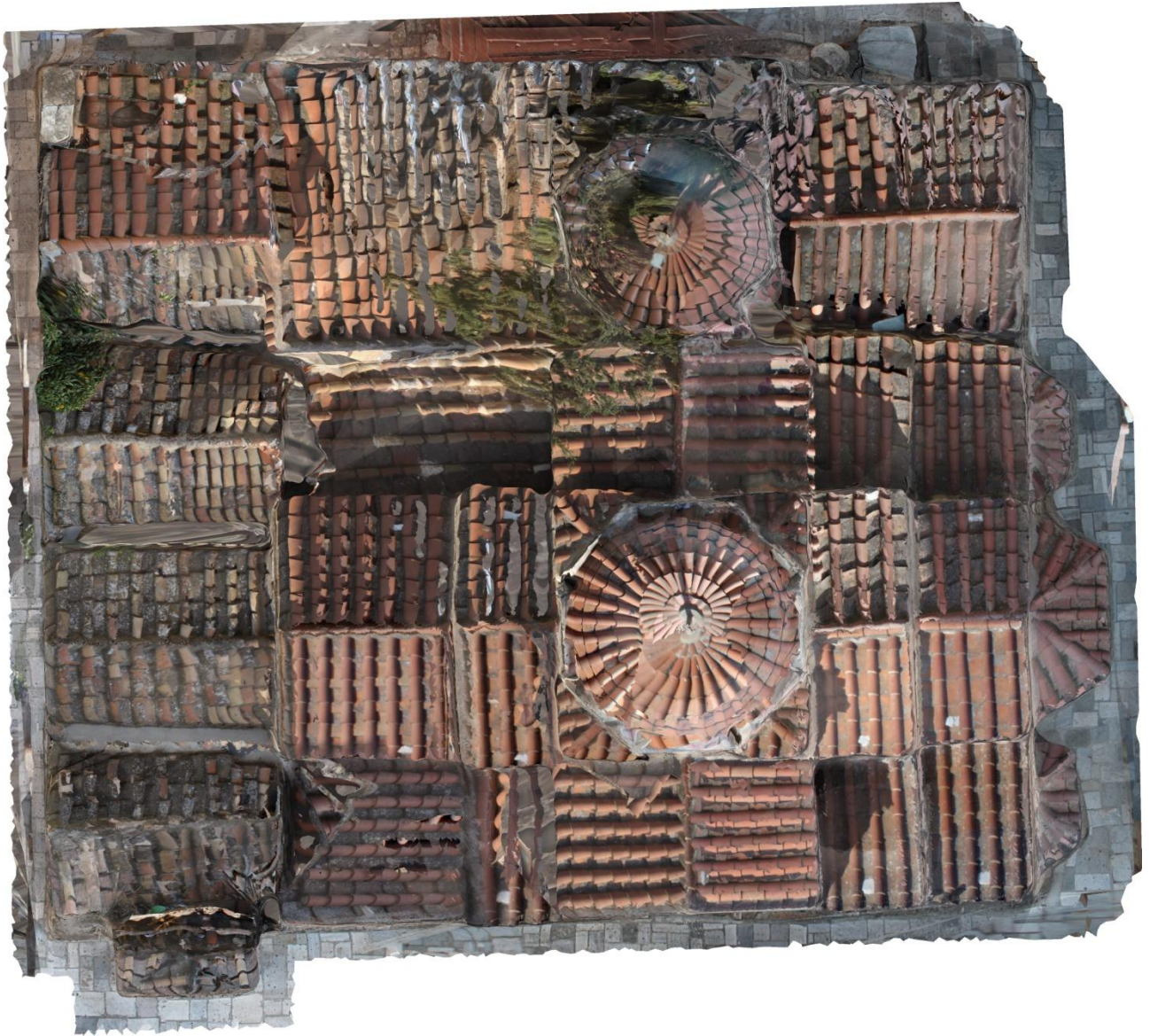
Εικόνα 41: Ορθοφωτογραφία της Ανατολικής όψης του Ι.Ν. Καπνικαρέας



Εικόνα 42: Ορθοφωτογραφία της Νότιας όψης του Ι.Ν. Καπνικαρέας



Εικόνα 43: Ορθοφωτογραφία της Ανατολικής όψης του Ι.Ν. Καπνικαρέας



Εικόνα 44: Ορθοφωτογραφία της κάτοψης στεγών του Ι.Ν. Καπνικαρέας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και της διαδικασίας που ακολουθήθηκε. Συνακόλουθα, προτείνονται λύσεις και τρόποι να εξαλειφθούν τα προβλήματα τα οποία προέκυψαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής τούτης και δεν μπορούσαν να είχαν προβλεφθεί a priori. Στην αρχή του κεφαλαίου τούτου γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της συλλογής δεδομένων. Κάθε τρόπος συλλογής από αυτούς που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2 – Συλλογή Μετρητικών Δεδομένων (Τοπογραφικά Δεδομένα, Δεδομένα Σαρωτή Laser και Φωτογραφικά Δεδομένα) αξιολογείται σε μια παράγραφο. Εν συνεχεία, στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αυτού, αξιολογούνται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν, με τη σειρά που αυτά παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3 – Επεξεργασία Μετρητικών Δεδομένων. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται μια γενική αξιολόγηση της διπλωματικής, σε ό,τι αφορά στο κατά πόσο πέτυχε ή όχι ο σκοπός της, ο οποίος περιγράφεται στο πρώτο Κεφάλαιο, ήτοι το εισαγωγικό Κεφάλαιο.

4.2 Αξιολόγηση Συλλογής Δεδομένων

4.2.1 Τοπογραφικά Δεδομένα

Η συλλογή των τοπογραφικών δεδομένων είναι μια σχετικά απλή και τυποποιημένη διαδικασία, η οποία δεν θα έπρεπε να έχει απρόβλεπτα γεγονότα, όπερ και εγένετο. Αν κάποιος ήθελε να είναι απόλυτα τυπικός, θα μπορούσε να είχε ζητήσει την χρήση του ίδιου οργάνου κάθε φορά που διεξάγονταν μετρήσεις. Παρ' όλ' αυτά, αυτό δεν έχει νόημα για τον εξής λόγο: Στη Γεωδαισία, το σύστημα μετρήσεων αποτελείται από το όργανο, τον παρατηρητή και τις καιρικές συνθήκες. Ακόμα και αν ήταν ίδιο το όργανο, τα υπόλοιπα στοιχεία δεν ήταν ίδια, οι μεν καιρικές συνθήκες για ευνόητους λόγους, ο δε παρατηρητής δεν ήταν δυνατό να ήταν πάντα το ίδιο άτομο, μολονότι τις πλείστες φορές ο συγγραφέας ήταν ο παρατηρητής. Η διεξαγωγή των μετρήσεων ήταν απόλυτα επιτυχημένη και αυτό φαίνεται και από τις ακρίβειες που επετεύχθησαν, οι οποίες ήταν εντός των προδιαγραφών που είχαν τεθεί από την αρχή της εν λόγω διπλωματικής. Ο χρόνος που διήρκεσαν οι μετρήσεις είναι απόλυτα δικαιολογημένος και δεν υπήρξε καμμία καθυστέρηση από τον χρόνο που είχε υπολογιστεί αρχικά. Επομένως, αν κάποιος ήθελε να επαναλάβει την διπλωματική εργασία, δεν θα χρειαζόταν να αλλάξει τίποτα από τη διαδικασία αυτή.

4.2.2 Δεδομένα Σαρωτή Laser

Σε ό,τι αφορά στην συλλογή δεδομένων με τον Σαρωτή, η διαδικασία ήταν επιτυχής στον βαθμό που αυτό ήταν εφικτό. Ένα μνημείο του μεγέθους της Καπνικαρέας, είναι εύλογο να απαιτεί πολλές σαρώσεις για να αποτυπωθούν όλες οι λεπτομέρειες του. Σαρώσεις όχι μόνο επίγειες, αλλά και από θέσεις ευρισκόμενες ψηλότερα του αντικειμένου, με τη βοήθεια π.χ. καλαθοφόρου οχήματος ή τοποθέτησης του οργάνου σάρωσης σε ορόφους παρακειμένων κτηρίων. Δυστυχώς, το κόστος που απαιτείται για την χρήση καλαθοφόρου οχήματος που αναμφίβολα θα έδινε τη δυνατότητα ελέγχου της θέσης των σαρώσεων, δεν

προβλέπεται να καλύπτεται ούτε από το ΕΜΠ, ούτε και από κάποιον άλλον φορέα, και σε καμμία περίπτωση δεν γινόταν να καλυφθεί με προσωπικά έξοδα του συγγραφέα. Επομένως, έγιναν αναγκαστικά εκπώσεις στις θέσεις των σαρώσεων, προσπαθώντας πάντοτε να μην γίνει μεγάλος συμβιβασμός στο αποτέλεσμα. Αυτό επετεύχθη σε μεγάλο βαθμό, πράγμα που αποτελεί μια επιτυχία. Παρ' όλ' αυτά, το αποτέλεσμα μπορούσε να είναι πολύ καλύτερο αν υπήρχε η δυνατότητα σάρωσης του I.N. από ανυψωμένες θέσεις με καλαθοφόρο όχημα. Επίσης, αν αυτή η δουλειά είχε γίνει σε επαγγελματικό πλαίσιο, είναι σίγουρο ότι θα είχε χρησιμοποιηθεί καλαθοφόρο όχημα.

Σε ό,τι αφορά στον περιβάλλοντα χώρο, τα δύο μεγάλα δένδρα (κυπαρίσσια) που βρίσκονται ακριβώς μπροστά από τη βόρεια όψη του I.N., αλλά και η πορτοκαλιά που βρίσκεται μπροστά από την δυτική όψη, καθιστούν δύσκολη τη σάρωση, γιατί αποκρύπτουν πολύ σπουδαία πληροφορία. Για να είναι ολοκληρωμένη μια τέτοια δουλειά, θα έπρεπε να υπάρχει η δυνατότητα να σαρωθεί πλήρως ο Ναός, χωρίς εμπόδια. Βέβαια, δεν γίνεται να κοπούν τα δένδρα αυτά, λόγω της ιστορικής σημασίας τους (είναι περίπου εκατό ετών), οπότε πάλι έπρεπε να βρεθεί η καλύτερη λύση δεδομένων των συνθηκών και τηρουμένων των αναλογιών. Επίσης, ο μεγάλος όγκος από διάφορα αντικείμενα που βρίσκονται εντός του I.N. κατέστησε δύσκολη την σάρωση εντός αυτού. Για να γίνει πιο εύκολη αυτή η διαδικασία, θα έπρεπε να έχουν απομακρυνθεί αυτά τα αντικείμενα εκτός του I.N. όσο διαρκεί η σάρωση του εσωτερικού του. Επιπρόσθετα, αν υπήρχε η δυνατότητα να είχε σταματήσει η πρόσβαση του κοινού περίξ του Ναού κατά τη διάρκεια των εξωτερικών σαρώσεων, τότε θα είχε μειωθεί σημαντικά ο θόρυβος λόγω των διερχομένων, πράγμα που θα διευκόλυνε και την επεξεργασία.

Εν κατακλείδι, η διαδικασία της σάρωσης του I.N. μπορούσε να γίνει πολύ καλύτερα, όμως επετεύχθη τελικώς το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, το οποίο είναι αποδεκτό τόσο ως διπλωματική εργασία, αλλά και ως ψηφιακό πολύ-εργαλείο, ικανό να αξιοποιηθεί από μηχανικούς πάσης φύσεως αλλά και αρχαιολόγους ή άλλους επιστήμονες που εμπλέκονται με την αξιοποίηση μνημείων. Σε μια επαγγελματική μελέτη όμως, (όπου το επίθετο «επαγγελματική» αναφέρεται στην ύπαρξη αμοιβής και όχι στο επίπεδο της δουλειάς, καθ' ότι η διπλωματική αυτή είναι επαγγελματικού επιπέδου υψηλής ακρίβειας), όλα τα αναφερθέντα αντικείμενα που εμποδίζουν σημαντικά τη σάρωση πιθανώς θα είχαν απομακρυνθεί χωρίς χρονοτριβή.

4.2.3 Φωτογραφικά Δεδομένα

Όπως και με τα δεδομένα του Σαρωτή, έτσι και για τη διαδικασία της συλλογής φωτογραφικών δεδομένων, πολύ μεγάλο πρόβλημα απετέλεσαν τα εμπόδια περίξ του ναού, κυρίως τα δένδρα που καλύπτουν σημαντικό κομμάτι της βόρειας και δυτικής πλευράς του. Επίσης, σημαντικό εμπόδιο απετέλεσε το γεγονός ότι δεν ήταν απρόσκοπτη η πρόσβαση σε σημεία όπου θα μπορούσαν να ληφθούν εικόνες της

στέγης του Ναού. Ως εκ τούτου, έπρεπε να αξιοποιηθούν στο έπακρο οι εικόνες που ελήφθησαν από τα μέρη στα οποία υπήρξε πρόσβαση.

Ένα μείζον πρόβλημα, το οποίο φάνηκε εκ των υστέρων, ήταν το γεγονός ότι οι εικόνες που είχαν ληφθεί αρχικά, ήταν προσαρμοσμένες στον αλγόριθμο του προγράμματος Image Master. Αυτό κατέστησε απαγορευτική την χρήση των εικόνων αυτών στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε τελικώς, ήτοι το PhotoScan, γιατί το αποτέλεσμα δεν ήταν διόλου ικανοποιητικό. Τούτέστιν, έπρεπε να ληφθούν συμπληρωματικές εικόνες, για να είναι δυνατή η αξιοποίηση των δυνατοτήτων του λογισμικού PhotoScan στο έπακρο. Επίσης, οι εν λόγω εικόνες, είχαν έντονη αντίθεση και έντονο το πρόβλημα της σκίασης, διότι η ώρα λήψης τους ήταν μεσημέρι, όπου ο ήλιος δεν ήταν σε ευνοϊκή θέση. Έτσι, υπάρχει μεγάλη διακύμανση στον φωτισμό των εικόνων, πράγμα που φαίνεται έντονα στο τελικό αποτέλεσμα και έχρηζε βελτίωσης.

Ευτυχώς, οι συμπληρωματικές λήψεις έγιναν με την βοήθεια της ειδικής φωτογράφου κας Ρεγγίνας Χλιβερού, η οποία έκανε καίριες υποδείξεις σχετικά με τον χρόνο λήψης των εικόνων αλλά και σχετικά με διάφορες παραμέτρους που αφορούν στην ποιότητά τους. Έτσι, το αποτέλεσμα της λήψης των συμπληρωματικών εικόνων ήταν πολύ καλό, από πολλές απόψεις. Αρχικά, η κατανομή των χρωμάτων ήταν πολύ καλύτερη από τις αρχικές εικόνες, κυρίως επειδή η ώρα λήψης ήταν τέτοια (πολύ πρωί) που δεν επέτρεπε ισχυρή αντίθεση στις εικόνες, διότι το φως ήταν ομοιόμορφα σκεδασμένο στην ατμόσφαιρα. Επίσης, οι εικόνες εναρμονίζονταν πλήρως με τον αλγόριθμο λειτουργίας του λογισμικού PhotoScan από τεχνική άποψη. Δηλαδή, ο τρόπος λήψης τους ήταν τέτοιος που επέτρεπε την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του PhotoScan.

Εν κατακλείδι, μολονότι οι πρωταρχικές εικόνες δεν ήταν οι καλύτερες δυνατές από άποψη προσαρμογής στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε και από άποψη χρωμάτων και φωτισμού, οι συμπληρωματικές εικόνες ήταν πολύ καλύτερες και αυτό είναι ορατό στο τελικό αποτέλεσμα. Αν κάποιος δε, ήθελε να επαναλάβει αυτήν τη διπλωματική εργασία, τότε θα έπρεπε να αποκλείσει τη χρήση του Image Master εξ αρχής και να ασχοληθεί μόνο με το πρόγραμμα PhotoScan, αφιερώνοντας χρόνο στη λήψη πολλών σε ποσότητα και καλών σε ποιότητα εικόνων, έτσι ώστε η υφή που θα αποδοθεί στο τελικό αντικείμενο να είναι όσο το δυνατόν καλύτερη από άποψη χρωμάτων και να μην παρουσιάζει κενά. Βέβαια, για την παρούσα εργασία αυτό ήταν αδύνατο να γίνει, δεδομένου ότι το PhotoScan δεν υπήρχε την περίοδο που ξεκίνησαν οι μετρήσεις και ο γενικότερος προγραμματισμός των εργασιών.

4.3 Αξιολόγηση Επεξεργασίας Δεδομένων

4.3.1 Επεξεργασία Τοπογραφικών Δεδομένων

Η επεξεργασία των τοπογραφικών δεδομένων έγινε με προγράμματα που αναπτύχθηκαν από τον ίδιο τον συγγραφέα ad hoc. Αυτό ήταν μια πρόκληση που έγινε δεκτή με χαρά, όμως κόστισε σε χρόνο και

σε πνευματική κόπωση που ίσως να ήταν αχρείαστη σπατάλη πόρων τη δεδομένη χρονική στιγμή, στη δεδομένη διπλωματική εργασία. Ο λόγος που γίνεται αυτή η διαπίστωση, είναι ότι ο όγκος της δουλειάς ήταν τέτοιος που δεν επέτρεπε το άσκοπο χάσιμο χρόνου και αν αναλογιστεί κάποιος ότι σε μια σχολή τοπογραφίας του επιπέδου της ΣΑΤΜ ΕΜΠ, η επεξεργασία δεδομένων γίνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια των πέντε ετών φοίτησης και δεν αποτελεί νέα γνώση. Αυτό που αύξησε το επίπεδο της πρόκλησης όμως, ήταν το γεγονός ότι έπρεπε να κατασκευαστούν κατάλληλα υπολογιστικά φύλλα που να επεξεργάζονται αυτόματα τα δεδομένα που θα εισάγει ο κάθε χρήστης. Υπό άλλες συνθήκες, αυτό θα ήταν πολύ χρήσιμο, όμως για την εν λόγω διπλωματική θα έπρεπε να θεωρείται δεδομένο ότι η γνώση της επεξεργασίας δεδομένων είναι κάτι το γνωστό και να μην δαπανηθεί χρόνος σε αυτό το κομμάτι. Για όλους τους ανωτέρω λόγους, η επεξεργασία δεδομένων ήταν χρονοβόρα μεν, απόλυτα επιτυχής δε. Για να μειωθεί ο χρόνος της επεξεργασίας, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κάποιο κατάλληλο λογισμικό, όμως αυτό δεν έγινε. Αυτό το βήμα θα είχε γίνει σίγουρα σε επαγγελματικό επίπεδο και είναι κάτι που αποτελεί πρόταση του συγγραφέα σε όποιον θέλει να επαναλάβει κάποια αντίστοιχη εργασία στο μέλλον.

4.3.2 Επεξεργασία Δεδομένων Σαρωτή Laser και Δημιουργίας Τριδιάστατου Μοντέλου

Επειδή το λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων του σαρωτή laser ήταν αναγκαστικά αυτό του κατασκευαστή, δεν υπήρχαν εναλλακτικές λύσεις, αλλά και δεν υπήρχαν ιδιαίτερα προβλήματα. Για να είναι βέλτιστη η χρήση του εν λόγω λογισμικού όμως (Cyclone 6.0) θα έπρεπε να υπήρχε βαθύτερη γνώση του πώς αξιοποιούνται τα δεδομένα του σαρωτή από το επόμενο λογισμικό, δηλαδή το Geomagic Studio 12. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι κατά την επεξεργασία των νεφών σημείων στο Cyclone 6.0, αποκόπηκαν πολλά σημεία τα οποία εν τέλει απεδείχθη ότι ήταν χρήσιμα. Τα σημεία αυτά ήταν σημεία κοντά στην γωνία τομής επιπέδων όπως οι κάθετοι τοίχοι του Ναού και του δαπέδου. Εν τέλει, δεν θα έπρεπε να αποκοπούν εντελώς, γιατί σε αντίθεση με ό,τι πιστευόταν αρχικά, δεν υπήρχε η δυνατότητα προσαρμογής κάποιας επιφάνειας στα σημεία αυτά από το λογισμικό Geomagic Studio 12. Το αποτέλεσμα ήταν να μείνουν εντελώς κενά και να δημιουργηθούν «τρύπες» στα σημεία αυτά, χωρίς να μπορούν να κλείσουν. Αυτό είχε ως αναπόδραστο αποτέλεσμα την κακή ποιότητα του τελικού τριδιάστατου μοντέλου επιφάνειας, ή για να είναι πιο ακριβής η πρόταση, την μειωμένη ποιότητα σε σχέση με αυτό που μπορούσε να γίνει. Ευτυχώς, αυτό το φαινόμενο ήταν έντονο μόνο στο εσωτερικό του Ναού και όχι στο εξωτερικό του, οπότε δεν υπάρχει ορατό σφάλμα ή ορατή «τρύπα» στο εξωτερικό του Ι. Ναού όπως αυτό φαίνεται στο τελικό παραδοτέο μοντέλο. Οπωσδήποτε όμως, η αποκομισθείσα εμπειρία πάνω σε αυτό το κομμάτι, διδάσκει ότι θα πρέπει να υπάρχει άριστη γνώση των λογισμικών που θα επεξεργαστούν το νέφος σημείων, ώστε κατά την επεξεργασία του να μην αποκοπεί πολύτιμη πληροφορία.

4.3.3 Επεξεργασία Φωτογραφικών Δεδομένων

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες διαδικασίες, η επεξεργασία των φωτογραφικών δεδομένων ήταν η πιο δύσκολη και αυτή με τα περισσότερα εμπόδια. Το αρχικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε δεν κατάφερε να αποδώσει καλά την υφή στο τριδιάστατο μοντέλο του I. Ναού σε πολλές περιπτώσεις, χωρίς να είναι απόλυτα γνωστός ο λόγος. Οι συνήθεις λόγοι που συμβαίνει αυτό είναι η αφύσικη γωνία λήψης, πιθανό σφάλμα στα φωτοσταθερά και το ιδιαίτερο ανάγλυφο του αντικειμένου. Άλλη μια εικασία που γίνεται είναι η εξής: Υπήρχε ένα φωτοσταθερό το οποίο ήταν εντελώς λάθος, με διαφορά μεγαλύτερη των πέντε μέτρων από το σημείο στο οποίο έπρεπε να είναι. Το χονδροειδές αυτό σφάλμα, δεν γινόταν να εντοπιστεί στο λογισμικό Image Master, γιατί όταν εισάγονται τα φωτοσταθερά σε αυτό και προσανατολίζεται το μοντέλο στο σωστό σύστημα συντεταγμένων, δεν είναι δυνατή η τριδιάστατη περιήγηση του χρήστη στα φωτοσταθερά, ούτε επίσης είναι δυνατή η εισαγωγή του τριδιάστατου μοντέλου και η τοποθέτηση υφής σε αυτό έχοντας παράλληλα εποπτεία των φωτοσταθερών. Επομένως, έγινε χρήση του εν λόγω φωτοσταθερού και μάλιστα σε εκτενές σημείο. Παρ' όλ' αυτά, αυτό αφορά μόνο σε κάποιες συγκεκριμένες εικόνες και σε καμμία περίπτωση δεν θα μπορούσε να επηρεάζει το πλήθος των εικόνων που δεν αποδόθηκαν σωστά. Επομένως, μπορεί να γίνει λόγος για αστοχία του λογισμικού και αδυναμία λειτουργίας του. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες ενδεικτικές εικόνες οι οποίες δείχνουν το μέγεθος του σφάλματος από το εν λόγω λογισμικό και την αναγκαιότητα χρήσης εναλλακτικού λογισμικού.

Το εναλλακτικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Photoscan, με το οποίο ευτυχώς η απόδοση της υφής στο τριδιάστατο μοντέλο του I. Ναού ήταν πιο εύκολη, πιο γρήγορη και πιο πετυχημένη σε σχέση με το λογισμικό Image Master. Ο χρόνος που δαπανήθηκε για την εκπαίδευση στο εν λόγω λογισμικό άξιζε απόλυτα, δεδομένου ότι έτσι οι δυνατότητές του αξιοποιήθηκαν στο μέγιστο βαθμό.

Η αποκομισθείσα εμπειρία από τη διαδικασία της επεξεργασίας των φωτογραφικών δεδομένων δείχνει ότι ήταν πολύ σωστή κίνηση η χρήση του λογισμικού PhotoScan αντί για την χρήση του Image Master όπως είχε προγραμματιστεί εξ αρχής και αν ήταν δυνατόν να γίνει χρήση μόνο του Photoscan, θα είχε κερδηθεί πολύτιμος χρόνος, ο οποίος θα μπορούσε να είχε αξιοποιηθεί καλύτερα, όπως για παράδειγμα στην βελτιστοποίηση του τριδιάστατου μοντέλου ή στην εξαγωγή περισσότερων προϊόντων από αυτό. Παρά τα αρχικά εμπόδια όμως, η απόδοση της υφής έγινε σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό.



Εικόνα 45: Στιγμιότυπο από το λογισμικό Image Master, στο οποίο η απόδοση της υφής στο μοντέλο είναι καλή



Εικόνα 46: Στιγμιότυπο από το λογισμικό Image Master, στο οποίο η απόδοση υφής στο μοντέλο είναι ικανοποιητική και αποδεκτή



Εικόνα 47: Στιγμιότυπο από το λογισμικό Image Master, στο οποίο η απόδοση υφής στο μοντέλο είναι μη αποδεκτή

4.4 Κατακλείδα – Ενδεικτική Κοστολόγηση

Στο τέλος, θεωρήθηκε χρήσιμο να ειπωθούν κάποια πράγματα που αφορούν στην γενικότερη εμπειρία της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής και να παρουσιασθεί ένα ενδεικτικό κοστολόγιο, ώστε να υπάρχει ένα μέτρο της αφίλοκερδούς προσφοράς του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ στην πολιτιστική κληρονομιά της Ελλάδας και των αρμόδιων φορέων που ασχολούνται με την κληρονομιά αυτή.

Η συνολική εμπειρία που αποκομίστηκε από την εκπόνηση μιας διπλωματικής εργασίας τέτοιας έκτασης και τέτοιας δυσκολίας ήταν θετική για πολλούς λόγους. Αρχικά, δόθηκε η ευκαιρία στον συγγραφέα να έρθει σε επαφή με υλικό εξοπλισμό και με λογισμικά που σπάνια έχει την ευκαιρία να συναντήσει κάποιος απλός τοπογράφος στις κοινές εργασιακές του συνθήκες. Τέτοια όργανα για παράδειγμα είναι ο σαρωτής laser και ο εικονογεωδαιτικός σταθμός. Όλα τα ειδικά προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι επίσης σπάνιο να τα συναντήσει κάποιος στο ελεύθερο επάγγελμα, οπότε σίγουρα η εμπειρία της χρήσης τους είναι θετική. Επίσης, μέσω αυτής της διπλωματικής, έγινε σαφές στον γράφοντα ότι ο χρόνος είναι υπερ-πολύτιμος πόρος και δεν πρέπει να σπαταλείται αφειδώς και άσκοπα καθώς και ότι η πολύ καλή οργάνωση πριν γίνει οποιαδήποτε εργασία πεδίου ή γραφείου καθώς και η εις βάθος γνώση τόσο

ενός αντικειμένου γενικά όσο και των ειδικών λογισμικών που χρησιμοποιούνται σε αυτό είναι επίσης πολύτιμη.

Η κοστολόγηση τέτοιων εργασιών δεν μπορεί να γίνει με βάση το πόσες ώρες χρειάστηκαν, αλλά γίνεται με βάση τον όγκο της δουλειάς. Για δουλειά επαγγελματικού επιπέδου, κάνοντας τις παραδοχές ότι μια εταιρεία που αναλαμβάνει τέτοια δουλειά είτε έχει αγοράσει τον εξειδικευμένο εξοπλισμό που χρειάζεται (οπότε πρέπει να κάνει απόσβεση) είτε έχει τα απολύτως απαραίτητα και θα ενοικιάσει τον επιπρόσθετο εξειδικευμένο εξοπλισμό (οπότε το κόστος αυξάνει), το καθαρό κόστος για να γίνει αυτή η δουλειά (σε ανθρωπόωρες) είναι περίπου 3168. Το ποσό αυτό προκύπτει από τις ώρες που εργάζονται 2 άνθρωποι για ένα χρόνο, με την προϋπόθεση ότι δουλεύουν 8 ώρες τη μέρα, για 22 μέρες το μήνα, για 9 μήνες ($8 \cdot 22 \cdot 9 \cdot 2 = 3168$). Στο ποσό αυτό θα πρέπει να προστεθεί σαφώς και η απόσβεση των μηχανημάτων. Προφανώς, η διπλωματική αυτή έγινε αμιγώς αφιλοκερδώς και με υλικό που παρασχέθηκε δωρεάν από το ΕΜΠ, με σκοπό να προσφερθούν τα εξαγόμενα της στους αρμόδιους φορείς, ήτοι το Υπουργείο Πολιτισμού, τη Θεολογική Σχολή και την 1^η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, ώστε να αξιοποιηθούν όπως εκείνοι κρίνουν σκόπιμο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

Π1: Εξασφαλίσεις των στάσεων που ιδρύθηκαν πέριξ του Ιερού Ναού

ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΣΤΑΣΗΣ S1:



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΣΤΑΣΗΣ S2:



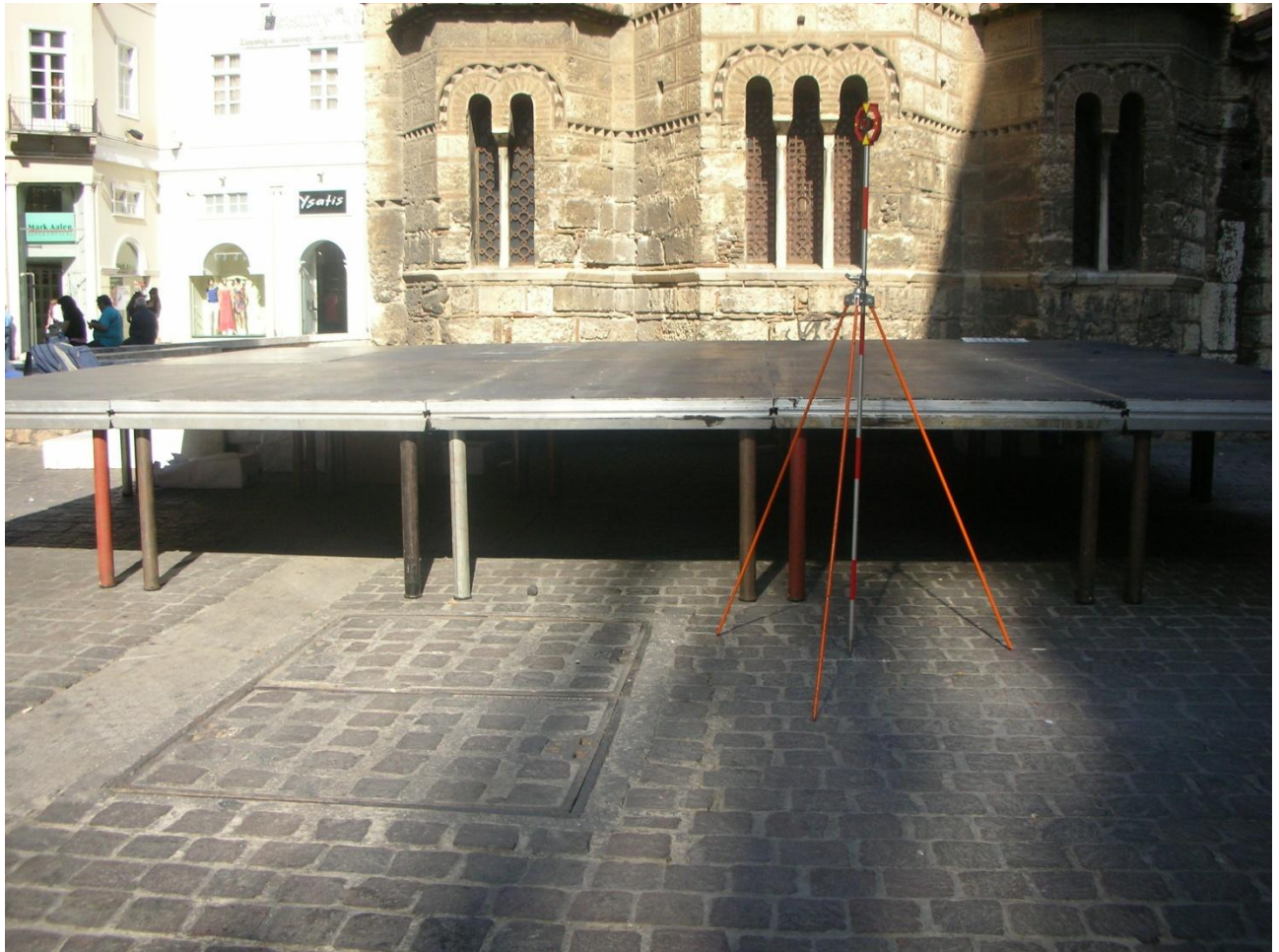
ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΣΤΑΣΗΣ S3:



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΣΤΑΣΗΣ S4:



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΣΤΑΣΗΣ S5:



Π2: Συντεταγμένες των στάσεων που ιδρύθηκαν περίξ του Ιερού Ναού και ακρίβεια αυτών

Τελικές συντεταγμένες στάσεων	X (m)	Y (m)	Z (m)
S1	1000.0000	1000.0000	100.0000
S2	990.7645	1022.3016	100.4000
S3	998.7982	1028.7330	100.6706
S4	1011.7076	1029.5858	100.6442
S5	1023.4309	1014.3309	100.3090

Υπολογιστικός έλεγχος και υπολογιστικά μεγέθη	
α12	375
WX	0.006
WY	0.007
ΣD	94.072
Ws	0.009

Π3: Συντεταγμένες των Φωτοσταθερών που χρησιμοποιήθηκαν

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	1012.855	1019.434	101.332
2	1012.829	1019.322	103.19
3	1013.263	1015.629	100.075
4	1014.173	1015.063	103.655
5	1013.614	1016.843	101.432
6	1012.834	1019.153	102.557
10	1013.661	1011.863	101.508
11	1013.354	1012.681	103.991
12	1013.151	1010.122	100.46
13	1013.509	1010.352	102.227
14	1014.225	1013.452	103.983
15	1013.787	1010.835	101.536
16	1013.733	1010.748	100.402
17	1014.206	1013.667	100.681
18	1005.29	1009.259	100.399
19	1005.214	1009.219	103.671
20	1010.092	1009.435	102.627
21	1009.454	1009.457	100.094
22	997.029	1011.776	100.376
23	997.271	1013.06	100.453
24	996.993	1013.907	99.716
25	997.226	1014.518	100.225
26	997.193	1017.827	100.444
27	996.924	1017.012	99.928
28	996.973	1015.404	99.702
29	996.902	1020.116	100.022
30	997.135	1020.418	100.581
31	996.818	1021.303	101.803
32	996.904	1021.683	100.487
32A	997.961	1008.977	100.293
33	997.709	1008.927	101.854
34	1001.256	1009.108	100.068
35	1002.055	1009.118	101.648
36	997.287	1010.945	100.683
37	996.983	1009.267	100.735
38	997.063	1010.447	100.115
39	997.062	1009.766	101.319
40	997.051	1011.76	101.12

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
41	996.97	1009.288	99.524
42	996.958	1009.484	100.053
43	996.976	1009.194	101.233
44	997.311	1010.691	100.502
45	997.018	1009.148	102.334
46	997.018	1009.677	102.887
47	998.067	1008.817	104.041
48	997.023	1009.007	102.702
49	997.006	1010.234	103.179
50	997.006	1009.718	103.572
51	998.101	1007.968	102.43
52	998.096	1007.957	103.327
53	998.08	1008.64	103.646
54	997.434	1008.406	99.503
55	997.004	1009.722	102.851
56	996.996	1011.632	102.045
57	997.017	1011.708	101.306
58	996.982	1012.139	102.552
59	996.976	1011.879	103.182
60	996.98	1011.189	103.838
61	996.987	1011.381	103.418
62	996.96	1012.699	103.391
63	996.948	1013.168	103.854
63A	996.959	1012.029	103.525
64	996.933	1014.249	103.855
65	996.934	1014.51	103.16
66	996.955	1013.719	102.769
67	996.966	1015.463	100.342
68	996.937	1015.279	102.208
69	996.93	1015.137	102.95
70	996.921	1015.491	103.318
71	996.922	1018.462	100.485
72	996.959	1015.511	100.314
73	996.93	1015.532	102.537
74	996.961	1016.963	102.306
75	996.914	1017.075	102.75
76	996.908	1018.472	101.189
77	996.916	1019.35	100.222

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
78	997.05	1017.932	100.002
79	996.838	1022.219	102.151
79A	996.936	1016.658	99.918
80	996.849	1021.789	101.147
81	996.83	1021.698	102.679
82	996.924	1019.234	100.675
83	996.876	1019.689	102.219
83A	997.077	1017.077	101.261
84	996.881	1019.561	102.204
84A	996.276	1021.889	99.792
85	996.688	1023.066	99.824
86	996.826	1022.382	103.149
87	996.823	1022.063	104.941
88	996.832	1022.887	104.689
89	996.87	1022.819	100.992
90	996.816	1021.816	103.292
91	996.831	1021.053	103.921
92	996.862	1021.44	101.106
93	996.837	1022.827	105.631
94	996.829	1022.251	105.758
94A	996.843	1023.002	102.711
95	996.832	1023.065	104.086
96	998.549	1022.838	102.023
97	999.778	1022.863	102.021
98	999.373	1022.84	101.067
99	998.636	1022.829	100.346
99A	999.768	1022.864	100.273
100	999.765	1023.449	99.805
101	998.556	1023.713	99.812
102	997.588	1023.114	99.908
103	997.539	1023.064	101.244
104	997.455	1023.06	102.235
105	997.978	1023.064	101.747
106	997.965	1023.069	100.683
107	998.326	1023.075	102.647
108	998.713	1023.091	103.05
109	998.427	1023.172	102.979
109A	1000.18	1023.096	103.016
110	997.168	1023.061	104.28
111	997.095	1023.06	102.564

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
112	997.36	1023.064	103.572
113	1000.356	1023.116	100.257
113A	1000.29	1023.098	101.68
114	1000.193	1023.107	102.712
115	1000.95	1023.108	101.267
116	1000.958	1023.105	102.295
117	1001.547	1023.132	103.297
118	1002.516	1023.106	101.043
119	1002.008	1023.112	101.72
120	1002.618	1023.094	102.482
121	1002.812	1023.107	101.122
122	1002.479	1023.128	103.131
123	1001.569	1023.133	102.56
124	1003.735	1023.144	103.286
125	1002.786	1023.118	99.963
126	1005.082	1023.112	102.191
127	1004.624	1024.291	101.272
128	1003.448	1024.273	101.189
129	1005.015	1024.301	100.765
130	1003.322	1024.251	100.261
131	1005.827	1024.294	100.258
132	1006.137	1023.158	101.791
133	1006.127	1023.162	102.691
134	1004.836	1023.157	103.315
135	1006.639	1023.156	103.603
135A	1005.571	1023.119	104.08
136	1005.335	1023.17	104.236
136A	1005.517	1023.166	104.237
137	1006.503	1023.134	104.176
138	1006.58	1024.31	101.26
139	1006.892	1024.188	100.471
140	1002.499	1023.802	99.766
141	1008.407	1023.253	100.188
142	1007.895	1023.244	100.605
142A	1007.711	1023.207	100.869
143	1008.338	1023.237	101.406
144	1007.612	1023.214	102.213
145	1007.955	1023.207	103.096
145A	1007.987	1023.209	103.087
146	1008.633	1023.227	102.364

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
147	1010.675	1022.621	101.032
148	1010.65	1023.437	99.888
149	1011.916	1022.766	99.935
150	1011.938	1022.792	101.1
151	1011.586	1022.783	103.319
152	1010.186	1022.799	102.771
153	1010.503	1022.771	103.808
154	1009.208	1022.782	101.988
155	1010.071	1022.824	100.731
156	1009.217	1022.804	102.851
157	1007.908	1023.911	99.716
158	1009.56	1024.089	99.692
159	1008.518	1023.887	99.707
160	1012.74	1023.221	99.667
161	1011.876	1022.784	101.102
162	1012.709	1022.822	102.647
163	1012.605	1022.804	103.178
164	1009.863	1022.776	102.322
165	1011.859	1022.79	102.643
166	1012.333	1022.805	102.033
167	1008.806	1023.249	101.786
168	1007.216	1023.18	103.673
169	1005.619	1023.142	102.995
170	1007.166	1023.184	104.205
S1	1014.186	1014.578	104.135
S2	1012.918	1015.796	103.012
S3	1012.925	1015.995	101.507
S4	1013.577	1017.372	103.771
S5	1014.172	1014.719	100.237
S6	1013.582	1017.253	100.359
S7	1012.892	1020.797	102.788
S8	1012.909	1021.793	100.49
S9	1012.88	1020.84	103.537
S9A	1012.922	1022.748	103.405
S10	1012.921	1021.775	101.96
S11	1013.06	1009.687	102.304

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
S12	1013.304	1010.171	103.053
S13	1013.564	1010.398	101.38
S14	1013.127	1009.385	104.577
S15	1014.227	1013.229	105.176
S16	1013.399	1012.735	100.15
S17	1013.074	1009.644	99.785
S19	1012.87	1009.569	102.978
S20	1013.657	1011.647	100.553
S21	1012.992	1012.38	104.053
S24	1013.786	1010.698	102.871
S25	1013.476	1015.509	103.283
S26	1013.403	1011.961	100.859
S27	1014.044	1015.225	101.558
S28	1013.322	1015.593	104.134
S29	1013.658	1015.425	104.426
S30	1013.465	1016.389	103.744
S31	1007.467	1009.347	100.663
S32	1009.117	1009.376	104.042
S33	1006.226	1009.256	105.338
S34	1007.364	1009.297	105.92
S35	1008.694	1009.352	105.01
S35A	1004.069	1009.178	103.399
S36	1011.092	1009.483	102.163
S37	1010.812	1009.451	103.623
S38	1009.473	1009.394	103.749
S39	1010.216	1009.456	100.726
S40	1011.668	1009.535	99.899
S41	1003.945	1009.175	102.684
S42	1004.562	1009.225	100.377
S43	1003.104	1009.135	103.669
S44	1002.115	1009.128	100.76
S45	1001.621	1009.089	103.781
S46	1004.775	1009.229	101.987
S47	1000.157	1008.056	102.783
S48	999.108	1007.976	103.994
S49	999.556	1008.004	103.659
S50	998.601	1007.965	103.515

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
S51	998.215	1007.963	102.978
S52	997.631	1008.894	102.59
S53	1000.793	1009.073	101.27
S54	1000.767	1009.072	103.002
S55	996.267	1013.482	99.417
S56	996.992	1012.985	99.435
S56A	996.901	1015.736	99.525
S57	997.041	1012.266	100.342
S58	997.021	1012.204	100.639
S59	997.006	1012.463	101.094

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
S60	996.902	1016.405	99.559
S61	996.645	1017.318	99.602
S62	996.969	1015.451	100.751
S63	996.963	1015.009	100.563
S63A	996.957	1014.974	101.056
S64	996.948	1015.516	101.29
S65	997.224	1016.255	100.44
S65A	997.11	1016.968	101.239
S66	996.934	1018.216	99.772
S67	996.902	1020.778	99.868

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
A1	1013.088	1009.578	104.368
A2	1009.502	1009.385	106.077
A3	1019.11	1009.175	100.71
A4	1007.394	1013.901	111.974
A5	1007.052	1020.26	108.167
A6	1017.92	1020.211	100.903
A7	1008.148	1005.585	100.626
A8	1009.561	1031.906	101.154
A9	1012.018	1031.768	101.418
A10	1000.748	1009.102	104.142
A11	1005.355	1009.238	105.994
A12	1005.329	1011.855	106.994
A13	998.325	1005.598	99.469
A14	994.628	1014.763	100.349
A15	999.865	1003.887	99.501
A16	997.01	1009.405	102.975
A17	995.29	1013.681	99.411
A18	1000.654	1014.703	105.973
A19	1028.371	1010.204	104.295
A20	1001.398	1024.226	99.788
A21	1005.387	1013.359	108.178
A22	996.008	1013.028	99.394
A23	995.404	1014.382	99.433
A24	1000.843	1012.681	105.009
A25	1007.261	1009.334	101.809

A/A Φ/Σ	X(m)	Y(m)	Z(m)
A26	1006.291	1012.186	108.053
A27	1004.004	1006.925	99.453
A28	1008.209	1008.936	99.404
A29	1007.531	1009.311	105.928
A30	1015.732	1011.476	99.476
A31	1012.917	1022.796	103.628
A32	1008.506	1015.535	109.037
A33	1022.695	993.551	104.156
A34	1004.463	993.234	105.627
A35	1012.314	997.533	100.07
A36	1016.571	1018.66	99.672
A37	1021.464	993.5	107.592
A38	1001.38	1011.93	105.438
A40	988.248	1003.87	104.907
A41	999.971	1023.096	102.681
A42	996.789	1024.291	99.834
A43	988.363	1020.286	103.132
A44	998.364	1023.07	102.682
A45	1009.981	1026.298	100.1
A46	1001.669	1026.148	100.882
A47	1005.673	1019.799	106.871
A48	1007.033	1020.257	108.108
A49	1007.023	1020.479	108.106
A50	1005.344	1009.441	105.695

Βιβλιογραφία

"ΚΑΠΝΙΚΑΡΕΑ" - Επεξηγηματικό φυλλάδιο του Πανεπιστημίου Αθηνών για τον Ναό της Καπνικαρέας. (διανέμεται δωρεάν στους επισκέπτες του Ναού).

Hoiem, D. (2012, Ιούνιος). *Structure from Motion*. Ανάκτηση από Computer Vision, CS 543 / ECE 549, University of Illinois.

Metheniti, A. M., Kaliniktakis, A., & Georgopoulos, A. (2012). Terrestrial Laser Scanning for Monitoring a Historical Church.

Wikipedia. (n.d.). http://en.wikipedia.org/wiki/Contents_of_the_Voyager_Golden_Record#Music. Ανάκτηση από wikipedia.

Γεωργόπουλος, Α., & Μπαλοδήμος, Δ. (2011). Σύγχρονες Τεχνολογίες στην Γεωμετρική Τεκμηρίωση των Μνημείων., (σ. 15).

Γεωργόπουλος, Α., Μοναχός, Ν., & Σταμπούλογλου, Ε. (1986, Απρίλιος). Photogrammetry Unwinds Ariadne's Thread: Recording The Archaeological Site Of Cnossos. *Photogrammetric Record* , σσ. 87-91.

Κομζιά, Β. (2004). *Τρισδιάστατη Απεικόνιση του Ι.Ν. "Καπνικαρέα" με εφαρμογή του προγράμματος PhotoModeler*. Αθήνα.

Μεθενίτη, Α. Μ., Καληνυκτάκης, Α., & Γεωργόπουλος, Α. (2012). Terrestrial Laser Scanning for Monitoring a Historical Church.

Μπαλοδήμος, Δ. (2008). *Γεωδαισία ΙΙΙ: Αποτυπώσεις - Χαράξεις*. Αθήνα: ΕΜΠ.

Σταμπούλογλου, Ε. (1980). Releve photogrammttrique partiel du theatre de Dionyssos avec simple methode de reduction pour l'evaluation des images non metriques. *International Archives of Photogrammetry* , σσ. 705-713.

