



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

Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση Υψηλής Ανάλυσης του Ναού του Αγίου Σπυρίδωνος στη Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου



Διπλωματική εργασία
Αναστασία Αναστασίου

Επιβλέπων καθηγητής : Ανδρέας Γεωργόπουλος

Αθήνα, Ιούλιος 2019

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της εργασίας. Πάντα ήταν διαθέσιμος να προσφέρει την εμπειρία, τις γνώσεις και τις συμβουλές του.

Στη συνέχεια, θέλω να ευχαριστήσω τη φίλη και συμφοιτήριά μου Ελένη Συρόκου, για την όμορφη συνεργασία και ανταλλαγή απόψεων, κατά την πραγματοποίηση των διπλωματικών μας εργασιών και γενικά κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μας χρόνων.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κ. Σεβαστή Ταπεινάκη, μέλος ΕΔΙΠ για την ουσιαστική βοήθεια και τις παρατηρήσεις της, τόσο κατά τη συλλογή των δεδομένων, όσο και κατά την επεξεργασία τους και την εξοικείωση με τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν. Θέλω, επίσης, να ευχαριστήσω τις Αγρονόμους και Τοπογράφους Μηχανικούς Μαργαρίτα Σκαμαντζάρη και Γεωργία Κοντογιάννη για τη βοήθειά και τις συμβουλές τους κατά την επεξεργασία των δεδομένων, καθώς και τη φίλη και συμφοιτήριά μου Αργυρώ – Μαρία Μπούτση, Αγρονόμο και Τοπογράφο Μηχανικό, για τη βοήθεια και τις παρατηρήσεις της στο προγραμματιστικό κομμάτι της δημιουργίας της πλατφόρμας 3DHOP.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Εφορεία Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου στη Ρόδο και ιδιαίτερα τις Αρχαιολόγους κ.κ. Μ. Μιχαηλίδου και Ελ. Παπαβασιλείου, για την παροχή της άδειας για την αποτύπωση του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, καθώς και τις πληροφορίες σχετικά με αυτόν. Ακόμη, οφείλω να ευχαριστήσω τον Αρχιτέκτονα κ. Γεώργιο Ντέλλα, για την παροχή πολύτιμων πληροφοριών σχετικά με το ναό και τις ιστορικές του φάσεις.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλο αυτό το διάστημα.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	3
Περιεχόμενα εικόνων	7
Περιεχόμενα πινάκων	10
Περίληψη	11
Abstract	12
Εισαγωγή	13
Σκοπός της εργασίας	13
Διάρθρωση της εργασίας.....	13
1. Αντικείμενο Μελέτης.....	15
1.1. Ιστορικά στοιχεία	15
1.2. Αρχιτεκτονικά στοιχεία – Ιδιαιτερότητες μνημείου	18
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	27
3. Συλλογή Δεδομένων	33
3.1. Εξοπλισμός.....	33
3.2. Συλλογή Γεωδαιτικών Δεδομένων – TheoLt	33
3.3. Συλλογή Φωτογραμμετρικών Δεδομένων	41
3.3.1. Επίγεια Φωτογράφιση	41
3.3.2. Εναέρια Φωτογράφιση	42
3.4. Συλλογή Δεδομένων Με Επίγειο Σαρωτή Laser.....	42
3.5. Προβλήματα Συλλογής Δεδομένων	43
4. Επεξεργασία Δεδομένων.....	46
4.1. Προσανατολισμοί Εικόνων	46
4.2. Συνένωση και Γεωαναφορά Νεφών Σημείων	53
4.3. Επεξεργασία Νεφών Σημείων	56
4.4. Δημιουργία Επιφάνειας.....	59
4.4.1. Εξωτερικά του ναού	60
4.4.2. Εσωτερικά του ναού.....	64
5. 3D Οπτικοποίηση.....	69
5.1. Επεξεργασία της τρισδιάστατης επιφάνειας	69
5.2. Απόδοση υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο.....	70
5.3. Δημιουργία βίντεο εικονικής περιήγησης	78
5.4. Δημιουργία διαδραστικής περιήγησης στην πλατφόρμα 3DHOP	81

6. Συμπεράσματα	87
6.1. Προβλήματα κατά την επεξεργασία και επίλυσή τους	87
6.2. Αξιολόγηση τελικών προϊόντων	95
6.3. Επίλογος	96
Βιβλιογραφία	98

Περιεχόμενα εικόνων

<i>Εικόνα 1.1: Γενική άποψη Μεσαιωνικής Πόλης και ο ναός του Αγίου Σπυρίδωνος</i>	15
<i>Εικόνα 1.2: Ναός Αγίου Σπυρίδωνος</i>	15
<i>Εικόνα 1.3: Ιερό του ναού με ημικυκλική αψίδα στη σημερινή του μορφή</i>	16
<i>Εικόνα 1.4 : Ναός Αγίου Σπυρίδωνος με γειτονικά κτίρια</i>	17
<i>Εικόνα 1.5 : Κάτοψη μεσαίου κλίτους – Ταφές (αρχείο ΕΦΑ Δωδεκανήσου)</i>	18
<i>Εικόνα 1.6: Πόρτα βόρειου τοίχου ανατολικού χώρου</i>	19
<i>Εικόνα 1.7: Παράθυρο ανατολικού τοίχου ανατολικού χώρου</i>	19
<i>Εικόνα 1.8: Κεντρική πόρτα - Είσοδος ναού</i>	20
<i>Εικόνα 1.9 : Πόρτα δυτικού χώρου</i>	21
<i>Εικόνα 1.10: Παράθυρο και πόρτα δυτικού χώρου</i>	21
<i>Εικόνα 1.11 : Τοιχογραφία Σταύρωσης</i>	22
<i>Εικόνα 1.12 : Δίλοβο παράθυρο και τοιχογραφίες στην αψίδα του ιερού</i>	23
<i>Εικόνα 1.13 : Φεγγίτης</i>	24
<i>Εικόνα 1.14 : Τοιχογραφίες Αγίου Γεωργίου και Θεοτόκου</i>	25
<i>Εικόνα 1.15 : Τύμπανο τρούλου</i>	26

<i>Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατο μοντέλο του ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης</i>	27
<i>Εικόνα 2.2: Φωτορεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Ναού Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου</i>	28
<i>Εικόνα 2.3: Τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Ναού του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι της Κύπρου</i>	29
<i>Εικόνα 2.4: Ορθοφωτογραφία της εξωτερικής βόρειας όψης της εκκλησίας της Ασίνου στην Κύπρο</i>	30
<i>Εικόνα 2.5: Τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο του ναού της Παναγίας Χρυσελεύσας στα Φοινικάρια της Κύπρου</i>	31
<i>Εικόνα 2.6: BIM του ναού της Παναγίας Χρυσελεύσας στα Φοινικάρια της Κύπρου</i>	31
<i>Εικόνα 2.7: Τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο της βασιλικής του Αγίου Μάρκου στη Βενετία</i>	32
<i>Εικόνα 2.8: Ορθοφωτογραφία μωσαϊκού εντός της βασιλικής του Αγίου Μάρκου στη Βενετία</i>	32

<i>Εικόνα 3.1: Περιβάλλον του λογισμικού TheoLt</i>	34
<i>Εικόνα 3.2 : Περιβάλλον Default Orientation</i>	35
<i>Εικόνα 3.3 : Περιβάλλον Μενού Control</i>	35
<i>Εικόνα 3.4 : Περιβάλλον Orientation to Reference</i>	36
<i>Εικόνα 3.5 : Περιβάλλον Resection</i>	37
<i>Εικόνα 3.6 : Περιβάλλον Μενού Drawing</i>	37
<i>Εικόνα 3.7 : Περιβάλλον Position Verification</i>	38
<i>Εικόνα 3.8 : Γραμμές τομής μετρημένες με TheoLt</i>	39

Εικόνα 3.9 : Στάσεις οργάνου εσωτερικά και εξωτερικά του ναού.....	41
Εικόνα 3.10 : Στάσεις Σαρωτή Laser.....	43
Εικόνα 3.11 : Η αυλή του ναού πριν τον καθαρισμό των φυτών.....	44
Εικόνα 3.12 : Αλλοίωση χρωμάτων στις φωτογραφίες με τη χρήση του ενσωματωμένου φλας της μηχανής.....	45

Εικόνα 4.1: Structure from Motion. Ο αλγόριθμος SfM απαιτεί πολλαπλές επικαλυπτόμενες εικόνες για να εφαρμόσει αλγόριθμους 3D ανακατασκευής.....	46
Εικόνα 4.2: Μάσκα σε εικόνα του εσωτερικού του ναού.....	48
Εικόνα 4.3: Μάσκα σε εικόνα στο εξωτερικό του ναού.....	48
Εικόνα 4.4: Ειδικός κωδικοποιημένος στόχος Photoscan.....	49
Εικόνα 4.5: Ειδικός στόχος σαρωτή Laser.....	49
Εικόνα 4.6: Αραιό νέφος του εσωτερικού του ναού.....	50
Εικόνα 4.7: Αραιό νέφος του εξωτερικού του ναού.....	51
Εικόνα 4.8: Πυκνό νέφος του εσωτερικού του ναού.....	52
Εικόνα 4.9: Πυκνό νέφος του εξωτερικού του ναού.....	52
Εικόνα 4.10: Αναφορά σφαλμάτων εξωτερικών σαρώσεων.....	54
Εικόνα 4.11: Αναφορά σφαλμάτων εσωτερικών σαρώσεων.....	55
Εικόνα 4.12: Αναφορά συνολικών σφαλμάτων σαρώσεων.....	55
Εικόνα 4.13: Φίλτρο καθαρισμού Select Outliers.....	57
Εικόνα 4.14: Εξωτερικός τοίχος ναού, πριν τον αυτόματο και χειροκίνητο καθαρισμό.....	58
Εικόνα 4.15: Εξωτερικός τοίχος ναού, μετά τον αυτόματο και χειροκίνητο καθαρισμό.....	58
Εικόνα 4.16: Εξωτερική τρισδιάστατη επιφάνεια του ναού.....	59
Εικόνα 4.17: Εσωτερική τρισδιάστατη επιφάνεια του ναού.....	60
Εικόνα 4.18: Επιφάνεια τυμπάνου από σαρώσεις.....	61
Εικόνα 4.19: Επιφάνεια τυμπάνου από φωτογραφίες μηχανής DSLR.....	61
Εικόνα 4.20: Επιφάνεια μιναρέ από σαρώσεις.....	61
Εικόνα 4.21: Επιφάνεια μιναρέ από φωτογραφίες.....	62
Εικόνα 4.22: Τοίχος ναού πριν την εφαρμογή της εντολής Fill Holes.....	62
Εικόνα 4.23: Τοίχος ναού μετά την εφαρμογή της εντολής Fill Holes.....	63
Εικόνα 4.24: Ανεστραμμένα τρίγωνα στην τρισδιάστατη επιφάνεια.....	63
Εικόνα 4.25: Διόρθωση ανεστραμμένων τριγώνων στην τρισδιάστατη επιφάνεια.....	63
Εικόνα 4.26: Επιφάνεια μιναρέ από φωτογραφίες μηχανής DSLR και UAV.....	64
Εικόνα 4.27: Επιφάνεια τοιχοποιίας βόρειου κλίτους από σαρώσεις.....	65
Εικόνα 4.28: Επιφάνεια τοιχοποιίας βόρειου κλίτους από σαρώσεις και φωτογραφίες μηχανής DSLR.....	65
Εικόνα 4.29: Τμήμα της εισόδου του ναού πριν την εφαρμογή του Mesh Doctor.....	66
Εικόνα 4.30: Τμήμα της εισόδου του ναού μετά την εφαρμογή του Mesh Doctor.....	66
Εικόνα 4.31: Επιφάνεια κεντρικού κλίτους πριν από την αφαίρεση της ξύλινης ράμπας.....	67

Εικόνα 4.32: Επιφάνεια κεντρικού κλίτους μετά από την αφαίρεση της ξύλινης ράμπας67

Εικόνα 5.1: Απόκλιση μεταξύ των μοντέλων πριν και μετά τη μείωση των τριγώνων..70

Εικόνα 5.2: Χάρτης υφής για το επάνω μέρος του ιερού, όπως προέκυψε από τις εικόνες71

Εικόνα 5.3: Υφή του μοντέλου του τρούλου πριν τη βαθμονόμηση των χρωμάτων73

Εικόνα 5.4: Υφή του μοντέλου του τρούλου μετά τη βαθμονόμηση των χρωμάτων73

Εικόνα 5.5: Περιβάλλον λογισμικού 3DS Max και προβολή των διαδρομών της πρώτης κάμερας79

Εικόνα 5.6: Animation πόρτας79

Εικόνα 5.7: Παράμετροι περιβάλλοντος και εφέ βίντεο80

Εικόνα 5.8: Παράμετροι Render80

Εικόνα 5.9: Παράμετροι στερεοσκοπικής κάμερας.....81

Εικόνα 5.10: Αρχική σελίδα84

Εικόνα 5.11: Σημεία ενδιαφέροντος (Hotspots).....84

Εικόνα 5.12: Εμφάνιση πληροφοριών και εικόνων για κάθε hotspot.....85

Εικόνα 5.13: Εργαλείο Measure για την πραγματοποίηση μετρήσεων στο μοντέλο85

Εικόνα 5.14: Εργαλείο Pick Point για εμφάνιση των συντεταγμένων επιλεγμένου σημείου86

Εικόνα 6.1: Χάρτης της υφής του τρούλου, όπως προέκυψε από το λογισμικό ZBrush 88

Εικόνα 6.2: Χάρτης της υφής του τρούλου, όπως προέκυψε από το λογισμικό Metashape88

Εικόνα 6.3: Τα κεραμίδια της στέγης εμφανίζονται επίπεδα.....94

Εικόνα 6.4: Η "ψευδοϋφή" στα κεραμίδια της στέγης94

Εικόνα 6.5: Η είσοδος του ναού πριν την αφαίρεση της ξύλινης κατασκευής.....94

Εικόνα 6.6: Η είσοδος του ναού μετά την αφαίρεση της ξύλινης κατασκευής94

Εικόνα 6.7: Φωτογραφία 360° σε ορθογώνια προβολή96

Περιεχόμενα πινάκων

<i>Πίνακας 4.1: Αριθμός εικόνων εσωτερικά του ναού</i>	<i>47</i>
<i>Πίνακας 4.2: Αριθμός εικόνων εξωτερικά του ναού</i>	<i>47</i>
<i>Πίνακας 4.3: Σφάλματα προσανατολισμού εικόνων.....</i>	<i>51</i>
<i>Πίνακας 4.4 : Σφάλματα γεωαναφοράς σαρώσεων.....</i>	<i>54</i>
<i>Πίνακας 4.5 : Συνολικά σφάλματα γεωαναφοράς σαρώσεων</i>	<i>55</i>
<i>Πίνακας 5.1: Επιμέρους τμήματα, εξωτερικά του ναού και το μοντέλο με υφή για καθένα από αυτά.....</i>	<i>74</i>
<i>Πίνακας 5.2: Επιμέρους τμήματα, εσωτερικά του ναού και το μοντέλο με υφή για καθένα από αυτά.....</i>	<i>78</i>
<i>Πίνακας 5.3: Συντεταγμένες σημείων ενδιαφέροντος (hotspot)</i>	<i>83</i>
<i>Πίνακας 6.1: Επιμέρους τμήματα, εξωτερικά του ναού και το μοντέλο με ραδιομετρικά διορθωμένη υφή για καθένα από αυτά.....</i>	<i>90</i>
<i>Πίνακας 6.2: Επιμέρους τμήματα, εσωτερικά του ναού και το μοντέλο με ραδιομετρικά διορθωμένη υφή για καθένα από αυτά.....</i>	<i>93</i>

Περίληψη

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο παλαιοχριστιανικός ναός του Αγίου Σπυρίδωνος στη Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι εργασίες που εκπονήθηκαν για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού και έτσι ώστε να προκύψει το τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό ψηφιακό μοντέλο του ναού, για εικονική περιήγηση με τη μορφή βίντεο, αλλά και για διαδραστική περιήγηση στην ανοιχτή πλατφόρμα 3DHOP.

Παράλληλα, για το ίδιο αντικείμενο μελέτης εκπονήθηκε και μία ακόμη διπλωματική εργασία της Ελένης Συρόκου, με θέμα τη γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος με σύγχρονες μεθόδους.

Αρχικά, παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη του ναού, καθώς και πληροφορίες σχετικά με τις ιδιαιτερότητες που το χαρακτηρίζουν. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση, ώστε να γίνει μία προσέγγιση προηγούμενων μελετών και δημοσιεύσεων που αφορούν στο ναό του Αγίου Σπυρίδωνος, αλλά και στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία για τη μοντελοποίησή του.

Στα επόμενα κεφάλαια, παρουσιάζονται αναλυτικά οι εργασίες για τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων. Ακόμη, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο λογισμικό TheoLt που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των γεωδαιτικών μετρήσεων. Επίσης, αναλύονται οι διαδικασίες με τις οποίες δημιουργείται το τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο (Textured model), καθώς και όλες οι εργασίες για τη δημιουργία του απλού και του στερεοσκοπικού βίντεο και της διαδραστικής περιήγησης στο ναό του Αγίου Σπυρίδωνος, μέσω της πλατφόρμας 3DHOP.

Τέλος, γίνεται αναφορά στα προβλήματα που ανέκυψαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας στο στάδιο της επεξεργασίας και παραγωγής του τελικού προϊόντος, καθώς και στον τρόπο επίλυσης τους, όποτε αυτό ήταν εφικτό, αλλά και στα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την αξιολόγηση των επιμέρους σταδίων της διπλωματικής εργασίας.

Abstract

The object of study of the present thesis is the Paleochristian church of St. Spyridon in the Medieval Town of Rhodes. More specifically, the thesis presents in detail all the work carried out for the geometric documentation of the church to produce the three-dimensional photorealistic digital model of the church, for the virtual touring video, as well as for interactive touring, using the 3DHOP platform.

At the same time, another thesis was elaborated by Eleni Syrokou on the same subject, regarding the geometric documentation of the church of St. Spyridon, with the use of modern methods.

Firstly, the historical evolution of the church is presented, as well as information about its special characteristics. Then, a bibliographic review is performed, in order to present previous studies and publications referring to the church of St. Spyridon, as well as the methods used in the present thesis in regards to its modeling.

In the following chapters, work on the collection and processing of the data is presented in detail. Moreover, the TheoLT software is referenced, as it was used to perform the geodetic measurements. In addition, the processes followed in order to create the three-dimensional photorealistic model (Textured model) are analyzed, as well as all the work for the creation of the stereoscopic video and the interactive virtual tour of the church of St. Spyridon, via the 3DHOP platform.

Finally, references are made to the problems encountered during the development of the thesis at the stages of the processing and the production of the finished product, as well as to the way they were solved, whenever possible, but also to the conclusions that emerged after the evaluation of each of the stages of the thesis.

Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τρισδιάστατη ψηφιακή μοντελοποίηση υψηλής ανάλυσης του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος στη Μεσαιωνική πόλη της Ρόδου, έτσι ώστε το τρισδιάστατο μοντέλο να λειτουργήσει επικουρικά στα «παραδοσιακά» προϊόντα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, τα δισδιάστατα σχέδια.

Η ανάγκη γεωμετρικής τεκμηρίωσης του μνημείου αυτού, όπως και πολλών άλλων, απορρέει από την όλο και αυξανόμενη ανάγκη αποκατάστασής τους, με στόχο τη διαφύλαξη και ανάδειξη της κοινής ιστορικής μνήμης, τόσο σε τοπικό και εθνικό, όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Συνεπώς, η τρισδιάστατη ψηφιακή μοντελοποίηση υψηλής ανάλυσης του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος αποσκοπεί στην αποτύπωση και οπτικοποίηση της σημερινής κατάστασης του ναού, αναδεικνύοντας, παράλληλα, τα στοιχεία που συνθέτουν τον ιδιαίτερο χαρακτήρα του και υποδηλώνουν τη διαδρομή του μέσα στο χρόνο.

Όσον αφορά στη συγκεκριμένη εφαρμογή, αρχικά, πραγματοποιήθηκαν οι εργασίες για τη συλλογή των δεδομένων που ήταν απαραίτητα για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου. Τα δεδομένα αυτά υπέστησαν επεξεργασία με κατάλληλες μεθόδους, ώστε, τελικά, να προκύψει το τρισδιάστατο μοντέλο, τόσο του εσωτερικού χώρου του ναού, όσο και του εξωτερικού. Καθώς ο στόχος ήταν η δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου υψηλής ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκαν οι κατάλληλες μέθοδοι για την απόδοση φωτορεαλιστικής υφής στην επιφάνεια του ναού.

Τέλος, επιλέχθηκαν τρεις τρόποι παρουσίασης και ανάδειξης του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου. Στην πρώτη περίπτωση, δημιουργήθηκε μία αυτοματοποιημένη περιήγηση από τον εξωτερικό στον εσωτερικό χώρο του ναού με τη μορφή βίντεο, ενώ στη δεύτερη περίπτωση του βίντεο που δημιουργήθηκε ήταν στερεοσκοπικό. Στην τρίτη περίπτωση, το τρισδιάστατο μοντέλο εισήχθη στο περιβάλλον της ελεύθερης πλατφόρμας 3DHOP, για τη δημιουργία μίας διαδραστικής περιήγησης στο ναό, με τη δυνατότητα διεξαγωγής μετρήσεων και θέασης πληροφοριών, αλλά και φωτογραφιών που ελήφθησαν κατά το στάδιο της συλλογής δεδομένων.

Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια, η διάρθρωση των οποίων αναλύεται στη συνέχεια.

Στο πρώτο κεφάλαιο, περιγράφεται εκτενώς το αντικείμενο μελέτης, ο ναός του Αγίου Σπυρίδωνος, με έμφαση στην ιστορική του εξέλιξη, την αρχιτεκτονική του, καθώς και στις ιδιαιτερότητες που απαντώνται στο συγκεκριμένο μνημείο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση, όσον αφορά δημοσιεύσεις ή παλαιότερες διπλωματικές εργασίες με αντίστοιχο αντικείμενο και τις μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί σε αυτές τις περιπτώσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύονται οι εργασίες πεδίου. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, η διαδικασία συλλογής γεωδαιτικών δεδομένων με τη χρήση του λογισμικού TheoLt, μαζί με έναν ενδεικτικό οδηγό χρήσης του συγκεκριμένου λογισμικού, καθώς και η διαδικασία συλλογής των φωτογραμμετρικών δεδομένων, με επίγειες και εναέριας μεθόδους. Ακόμη, γίνεται αναφορά και στη συλλογή δεδομένων με τη χρήση επίγειου σαρωτή laser. Τέλος, παρουσιάζονται τα προβλήματα που ανέκυψαν κατά τη συλλογή των δεδομένων, καθώς και οι τρόποι με τους οποίους αυτά ξεπεράστηκαν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναφέρονται οι εργασίες γραφείου. Ειδικότερα, περιγράφονται η διαδικασία προσανατολισμού των εικόνων με τη χρήση του λογισμικού Photoscan Professional της Agisoft, τώρα πλέον Metashape, η συνένωση και γεωαναφορά των νεφών σημείων που προέκυψαν από το σαρωτή laser, μέσω του λογισμικού FARO Scene και τελικά, η επεξεργασία των νεφών σημείων και η δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας από αυτά, με το λογισμικό Geomagic Studio.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την περαιτέρω βελτίωση της τρισδιάστατης επιφάνειας, καθώς και για την απόδοση υψής στην τρισδιάστατη επιφάνεια, ώστε το αποτέλεσμα να είναι το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο υψηλής ανάλυσης. Ακόμη, παρατίθεται η σειρά των ενεργειών για τη δημιουργία των βίντεο περιήγησης στο τρισδιάστατο μοντέλο και την εισαγωγή του μοντέλου στην πλατφόρμα 3DHOP για τη δημιουργία μίας διαδραστικής περιήγησης, στην οποία περιέχονται και φωτογραφίες εσωτερικά και εξωτερικά του ναού, οι οποίες ελήφθησαν κατά τη συλλογή των δεδομένων.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στα προβλήματα που ανέκυψαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων και τους τρόπους με τους οποίους επιλύθηκαν, ενώ πραγματοποιείται αξιολόγηση των τελικών προϊόντων της διπλωματικής εργασίας, διατυπώνοντας και τα ανάλογα συμπεράσματα αναφορικά με τις γνώσεις και εμπειρίες που αποκομίστηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

1. Αντικείμενο Μελέτης

1.1. Ιστορικά στοιχεία

Ο ναός του Αγίου Σπυρίδωνος βρίσκεται εντός των τειχών της μεσαιωνικής πόλης της Ρόδου και συγκεκριμένα, στο νοτιοδυτικό τμήμα της πλατείας Αθηνάς. Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας ο ναός μετατράπηκε σε μουσουλμανικό τέμενος (τζαμί) και ήταν γνωστό με το όνομα «Καβακλί Μεστζίντ».



Εικόνα 1.1: Γενική άποψη Μεσαιωνικής Πόλης και ο ναός του Αγίου Σπυρίδωνος



Εικόνα 1.2: Ναός Αγίου Σπυρίδωνος

Σε απόσταση περίπου 20 μέτρων συναντάται μεγάλων διαστάσεων τρίκλιτη, παλαιοχριστιανική βασιλική με την οποία, ίσως, ο ναός να σχετίζεται. Πιθανολογείται πως επρόκειτο για βαπτιστήριο ή ναΐσκο συνοδεία του μεγάλου παλαιοχριστιανικού ναού.

Ο ναός του Αγίου Σπυρίδωνος στη διάρκεια των χρόνων έχει υποστεί ποικίλες επεμβάσεις και αλλαγές. Αναλυτικά, στη θέση που σήμερα εδράζεται ο ναός, ανεγέρθη κατά τους ελληνοβυζαντινούς χρόνους και πιθανώς κατά τον 3^ο – 2^ο αιώνα π.Χ. ένα ορθογώνιας κάτοψης τρίκλιτο οικοδόμημα, του οποίου τα θεμέλια του βόρειου τοίχου βρίσκονται σε απόσταση περίπου 0.36 μέτρων εξωτερικά του σημερινού βόρειου τοίχου του ναού, ενώ τμήμα του νότιου στυλοβάτη του οικοδομήματος σώζεται μέχρι σήμερα. Συγκεκριμένα, το οικοδόμημα αυτό χρησιμοποιείτο ως ιερό, του οποίου ο κύριος άξονας έβαινε από Δύση προς Ανατολή. Ακολούθησε η παλαιοχριστιανική περίοδος (4^{ος} – 6^{ος} αιώνας μ.Χ.), κατά την οποία το τρίκλιτο οικοδόμημα φαίνεται ότι μετετράπη σε χριστιανική βασιλική, επίσης τρίκλιτη. Καθώς πρόκειται για ένα χριστιανικό ναό, αυτός περιείχε το Ιερό Βήμα και την Αγία Τράπεζα, τμήματα των οποίων σώζονται μέχρι σήμερα.

Στα ερείπια του παλαιοχριστιανικού ναού χτίστηκε, κατά τους βυζαντινούς χρόνους (αρχές 13^{ου} αιώνα μ.Χ.) χριστιανικός ναός, ίδιας μορφής με τον προηγούμενο. Η ανατολική πλευρά του, κατέληγε σε ιερό με ημικυκλική αψίδα, η οποία διατηρείται μέχρι σήμερα. Το ίδιο ισχύει και για το μαρμαροθετημένο δάπεδο, καθώς και τμήματα τοιχογραφιών στο χώρο του ιερού.



Εικόνα 1.3: Ιερό του ναού με ημικυκλική αψίδα στη σημερινή του μορφή

Κατά την εποχή της Ιπποκρατίας (1306 – 1522 μ.Χ.) ανοικοδομήθηκε ξανά ο ναός, παίρνοντας την τελική του μορφή. Πρόκειται για ένα συνδυασμό της τρίκλιτης

καμαροσκεπούς βασιλικής με το σταυροειδή εγγεγραμμένο ναό μετά τρούλου. Το μεγαλύτερο μέρος του εσωτερικού καλύφθηκε με τοιχογραφίες, τμήματα των οποίων σώζονται μέχρι σήμερα. Στο βόρειο κλίτος του ναού και κάτω από το δάπεδο, βρίσκεται υπόγεια ταφική κρύπτη, στον ανατολικό τοίχο της οποίας υπάρχει τοιχογραφία της Σταύρωσης. Στην τοιχογραφία αυτή απεικονίζονται μεταξύ άλλων και οι δύο κτήτορες του ναού, οι οποίοι ενταφιάστηκαν στην κρύπτη. Πρόκειται για τους Ανδρέα και Γεώργιο, πατέρα και υιό, αντίστοιχα, επιφανή πρόσωπα της κοινωνίας της Ρόδου την εποχή εκείνη. Επίσης, στην επιτύμβια πλάκα, βρέθηκε εγχάρακτη επιγραφή η οποία αναγράφει, μεταξύ άλλων, και τη χρονολογία 15 Αυγούστου 1508.

Από το 1522, με την κατάληψη της Ρόδου από τους Τούρκους, όλοι οι χριστιανικοί ναοί μετατράπηκαν σε μουσουλμανικά τεμένη. Το ίδιο συνέβη και με το ναό του Αγίου Σπυρίδωνος, με την ανέγερση δύο κογχών προσευχής (μιχράμπ) στη νοτιοανατολική εσωτερική γωνία του ναού και ενός μιναρέ στη νοτιοδυτική γωνία του, ο οποίος διατηρείται μέχρι σήμερα. Αξίζει να σημειωθεί πως οι οικοδόμοι που εργάστηκαν για την κατασκευή των μιχράμπ δεν κατέστρεψαν τις τοιχογραφίες, αλλά τις κάλυψαν, προκειμένου να διατηρηθούν. Επίσης, οι Τούρκοι κατακτητές σεβάστηκαν τα οικοδομήματα και τις επιγραφές στα κτίσματα της Ρόδου.

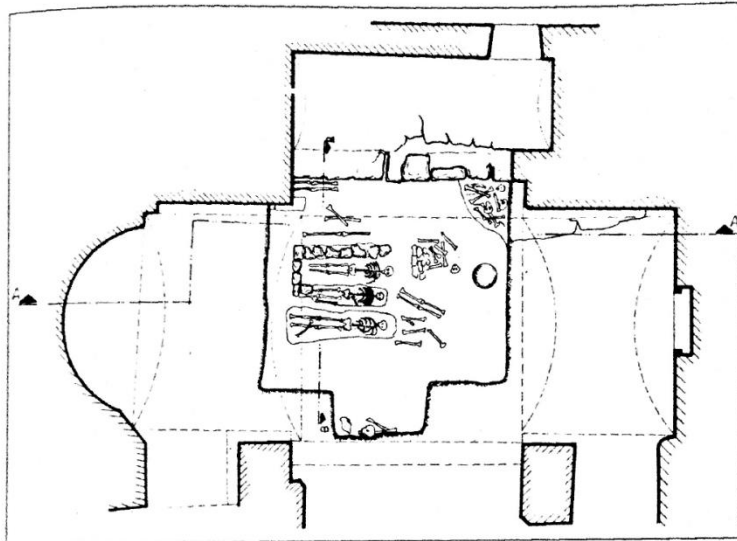
Σήμερα, πρόκειται για ένα οικοδόμημα μετρίων διαστάσεων, με ακανόνιστου σχήματος κάτοψη ως αποτέλεσμα των επεμβάσεων, προσθηκών, καταδαφίσεων και αλλοιώσεων που υπέστη διαχρονικά. Επιπλέον, μόνο η βόρεια όψη και τμήμα της ανατολικής είναι εμφανείς, καθώς περιμετρικά του ναού έχουν ανεγερθεί κατοικίες. Αντίστοιχα, στη νότια πλευρά υψώνεται τοίχος, ο οποίος καλύπτει τη νότια όψη του ναού.



Εικόνα 1.4 : Ναός Αγίου Σπυρίδωνος με γειτονικά κτίρια

Το 1984, η 4^η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου ανέλαβε εργασίες στερέωσης και αναστήλωσης του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, πραγματοποιώντας, παράλληλα, και σωστική ανασκαφή εσωτερικά και εξωτερικά του ναού. Οι

ανασκαφές αυτές έφεραν στο φως εννέα κτιστούς κιβωτιόσχημους τάφους, καλυπτόμενους με λίθινες πλάκες, εντός του ναού. Επίσης, βρέθηκε μεγάλος αριθμός ελεύθερων ταφών, με τον αριθμό των σκελετών να ανέρχεται σε 50. Στα πλαίσια της ανασκαφής αποκαλύφθηκε μεγάλος αριθμός ευρημάτων, όπως σταυροί, περίοπτα, ενώτια, δαχτυλίδια, νομίσματα, ένα ακέραιο γυάλινο μυροδοχείο, τεμάχια γυάλινων σκευών, όστρακα πήλινων αγγείων, καθώς και τμήματα διαφόρων αντικειμένων από χαλκό και σίδηρο κ.ά. Όλα τα παραπάνω τοποθετούνται χρονολογικά από την παλαιοχριστιανική εποχή μέχρι και το 1522 μ.Χ.⁽¹⁾



Εικόνα 1.5 : Κάτοψη μεσαίου κλίτους – Ταφές (αρχείο ΕΦΑ Δωδεκανήσου)

1.2. Αρχιτεκτονικά στοιχεία – Ιδιαιτερότητες μνημείου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο ναός του Αγίου Σπυρίδωνος αποτελεί ένα τρίκλιτο οικοδόμημα και σε αυτή την ενότητα, θα εξεταστεί κάθε κλίτος ξεχωριστά.

Κατά την είσοδο στο ναό και συγκεκριμένα στο βόρειο κλίτος του, παρατηρείται ότι αυτό χωρίζεται σε δύο επιμέρους χώρους, με ακανόνιστη διάταξη. Ο ανατολικός χώρος του κλίτους αυτού είναι ορθογώνιου σχήματος με εσωτερικές διαστάσεις 3.85 x 2.65 μέτρα και καλύπτεται με κτιστή καμάρα. Στον ανατολικό τοίχο του χώρου αυτού βρίσκεται ένα παράθυρο διαστάσεων 1 x 1.40 μέτρων (Εικόνα 1.7), ενώ στο βόρειο τοίχο βρίσκεται μία πόρτα διαστάσεων 0.95 x 1.50 μέτρων, η οποία πλέον είναι εντοιχισμένη (Εικόνα 1.6). Παρατηρείται ότι ο βόρειος τοίχος καταλήγει σε οξυκόρυφο τόξο.



Εικόνα 1.6: Πόρτα βόρειου τοίχου ανατολικού χώρου



Εικόνα 1.7: Παράθυρο ανατολικού τοίχου ανατολικού χώρου

Ο δυτικός χώρος είναι ορθογώνιου σχήματος, όπως και ο ανατολικός, με εσωτερικές διαστάσεις 6.94 x 3.38 μέτρα και καλύπτεται, επίσης, με κτιστή καμάρα. Στο μέσον του βόρειου τοίχου βρίσκεται πόρτα διαστάσεων 1.30 x 1.70 μέτρων, που σήμερα αποτελεί την κύρια και μοναδική είσοδο του ναού(Εικόνα 1.8). Σε μικρή απόσταση από την κύρια είσοδο και προς τα δυτικά, συναντάται μία δεύτερη πόρτα με διαστάσεις 1.20 x 1.86 μέτρα , που πλέον είναι εντοιχισμένη(Εικόνα 1.9). Στο δυτικό τοίχο του βόρειου χώρου υπάρχει άλλη μία πόρτα διαστάσεων 1.08 x 2.10 μέτρων, η οποία συνδέει το ναό με τη γειτονική οικία, καθώς και ένα παράθυρο 1.10 x 1.81 μέτρων (Εικόνα 1.10).



Εικόνα 1.8: Κεντρική πόρτα - Είσοδος ναού



Εικόνα 1.9 : Πόρτα δυτικού χώρου



Εικόνα 1.10: Παράθυρο και πόρτα δυτικού χώρου

Σε όλη την επιφάνεια της τοιχοποιίας του βόρειου κλίτους συναντώνται ελάχιστα ίχνη τοιχογραφιών, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την αναγνώριση των προσώπων και γενικότερα των μορφών.

Στα δάπεδα του βόρειου κλίτους και περίπου στο κέντρο του, ανασκάφηκε πλήθος ταφών. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, κάτω από το δάπεδο του βόρειου κλίτους, και παρακείμενα στις υπόλοιπες ταφές, αποκαλύφθηκε ταφική κρύπτη των κτιτόρων του ναού. Η κρύπτη αυτή, συναντάται σε βάθος περίπου 2.50 μέτρων και είναι ορθογώνιου σχήματος με διαστάσεις 2.50 x 2.00 μέτρα. Στην ανατολική πλευρά της, σώζεται ακέραη απεικόνιση της Σταύρωσης, με τη Θεοτόκο και τον Άγιο Ιωάννη το Θεολόγο να εικονίζονται εκατέρωθεν του Εσταυρωμένου. Ακόμη, δεξιά και αριστερά του Σταυρού παριστάνονται οι κτήτορες του ναού, Ανδρέας και Γεώργιος, γονυκλινείς και με πολυτελή ενδυμασία και μπροστά από τον καθένα τους, βρίσκεται το οικόσημό τους.



Εικόνα 1.11 : Τοιχογραφία Σταύρωσης

Προχωρώντας από το βόρειο κλίτος στο κεντρικό, συναντάται το ιερό στην ανατολική πλευρά. Το ιερό καταλήγει σε μία αψίδα εσωτερικά ημικυκλική και εξωτερικά τρίπλευρη ή ημιεξαγωνική. Στο μέσον της αψίδας, υπάρχει ένα δίλοβο παράθυρο διαστάσεων 0.95 x 0.55 μέτρων, στο κέντρο του οποίου είναι τοποθετημένος διαχωριστικός αμφικιονίσκος από λευκόχρωμο μάρμαρο. Στο πάνω μέρος του αμφικιονίσκου, βρίσκεται επίθημα, επίσης από φαιό μάρμαρο, το οποίο κοσμεύεται με ένα ανάγλυφο άνθος λωτού. Εντός του χώρου του ιερού, διατηρείται δάπεδο καλυπτόμενο με μαρμαροθέτημα.

Στην κόγχη της αφίδας του ιερού σώζονται ίχνη τοιχογραφιών σε δύο στρώματα, το πρώτο εκ των οποίων χρονολογείται στις αρχές του 13^{ου} αιώνα και το δεύτερο στις αρχές του 16^{ου}. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των αρχαιολόγων, πιθανολογείται ότι τα απομεινάρια του πρώτου στρώματος των τοιχογραφιών παρίσταναν πέντε ολόσωμους όρθιους μετωπικούς αγίους, ιεράρχες ή μάρτυρες. Όσον αφορά στο δεύτερο στρώμα των τοιχογραφιών, απεικονίζονται έξι άγιοι ιεράρχες, οι οποίοι φαίνεται ότι ήταν στραμμένοι προς το κέντρο της αφίδας. Στη νότια πλευρά του ιερού, διατηρούνται τμήματα αγιογραφιών τριών ιεραρχών.



Εικόνα 1.12 : Δίλοβο παράθυρο και τοιχογραφίες στην αφίδα του ιερού

Στο κέντρο του ναού υψώνεται ημισφαιρικός τρούλος με διάμετρο βάσης περίπου 4 μέτρα. Ο τρούλος στηρίζεται σε τέσσερα ημικυκλικά τόξα, τα οποία καταλήγουν σε τέσσερις πεσσούς, από τους οποίους ο βορειοανατολικός και ο βορειοδυτικός είναι ελεύθεροι, ενώ ο νοτιοανατολικός και ο νοτιοδυτικός είναι ενσωματωμένοι στην τοιχοποιία. Η μετάβαση από την τετράγωνη βάση στην κυκλική διατομή του τρούλου, γίνεται με τη χρήση σφαιρικών τριγώνων.

Το τύμπανο του τρούλου είναι κυλινδρικού σχήματος και σε αυτό ανοίγονται τέσσερα παράθυρα στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα. Πρόκειται για παράθυρα ορθογώνιου σχήματος, τα οποία στο επάνω μέρος τους καταλήγουν σε τόξα. Τα τόξα αυτά χαρακτηρίζονται από την τριγωνική προς τα πάνω απόληξη, που αποτελεί τυπικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής που ακολουθούνταν στα χρόνια της Τουρκοκρατίας. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι όταν ο ναός μετετράπη σε

μουσουλμανικό τέμενος, εκτός από την ανέγερση των δύο μιχράμπ, μετασκευάστηκαν και οι τοξωτές απολήξεις των παραθύρων του τρούλου.

Το δυτικό τμήμα του κεντρικού κλίτους καταλήγει σε ημικυλινδρική οροφή και έχει διαστάσεις 2.75 x 4.25 μέτρα. Το δάπεδό του δεν διατηρείται, ενώ στο δυτικό τοίχο συναντάται φεγγίτης που πιθανολογείται ότι κατασκευάστηκε την εποχή της Ιπποτοκρατίας και η τριγωνική του απόληξη μαρτυρά ότι πελεκήθηκε κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας ώστε να μετασχηματιστεί σε μιχράμπ. Ακόμη, παρατηρείται ότι στο νότιο τοίχο του χώρου αυτού οι τοιχογραφίες σταματούν απότομα, γεγονός που υποδεικνύει ότι ο ναός εκτείνονταν προς τα δυτικά. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, πρόκειται για την παράσταση του Ευαγγελισμού της Θεοτόκου και την Αγία Αικατερίνη.



Εικόνα 1.13 : Φεγγίτης

Τέλος, ο ναός καταλήγει στο νότιο χώρο, ο οποίος είναι ορθογώνιου σχήματος, όπως και τα προηγούμενα κλίτη, με εσωτερικές διαστάσεις 4.52 x 2.62 μέτρα και καταλήγει σε ημικυλινδρική οροφή. Το νότιο κλίτος εκτιμάται ότι ήταν μεγαλύτερων διαστάσεων, όμως ο δρόμος που κατασκευάστηκε στη νότια πλευρά του ναού, καθώς και ο μιναρές στα δυτικά, μείωσαν αισθητά το μέγεθός του. Στο κέντρο του νότιου τοίχου βρίσκεται πόρτα πλάτους 1.38 μέτρων, η οποία πλέον έχει εντοιχιστεί.

Στον ανατολικό τοίχο του κλίτους σώζεται σε σχετικά καλή κατάσταση τοιχογραφία που απεικονίζει τον Άγιο Γεώργιο έφιππο και δρακοντοκτόνο. Στο νότιο τοίχο διατηρείται μία ακόμη εύκολα αναγνωρίσιμη τοιχογραφία με την παράσταση της

Θεοτόκου ένθρονης και βρεφοκρατούσας (Εικόνα 1.14). Στην υπόλοιπη επιφάνεια του νότιου κλίτους συναντώνται ίχνη τοιχογραφιών, των οποίων οι μορφές και τα πρόσωπα είναι δύσκολο να αναγνωριστούν, ωστόσο, σύμφωνα με πηγές κάποια από αυτά απεικονίζουν τους αγίους Δημήτριο και Αρτέμιο.



Εικόνα 1.14 : Τοιχογραφίες Αγίου Γεωργίου και Θεοτόκου

Εξετάζοντας το ναό εξωτερικά, στις ιδιαιτερότητές του συγκαταλέγεται ο μιναρές, ο οποίος ανεγέρθη στα χρόνια της Τουρκοκρατίας, και υψώνεται στα 11 περίπου μέτρα πάνω από την επιφάνεια της στέγης του ναού. Ένα ακόμη ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του ναού, είναι η διακόσμηση της εξωτερικής επιφάνειας του τυμπάνου του τρούλου. Συγκεκριμένα, σε αυτό ανοίγονται δεκαέξι συνολικά αβαθείς κόγχες οι οποίες απολήγουν σε ημικυκλικά τόξα.



Εικόνα 1.15 : Τύμπανο τρούλου

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, παρατηρείται ότι πρόκειται για ένα μνημείο με ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς περιέχει στοιχεία από διαφορετικές ιστορικές φάσεις, τα οποία πρέπει να καταγραφούν, ώστε να αναδειχθεί ολόκληρη η ιστορική διαδρομή του ναού. Καθεμία από αυτές τις ιστορικές φάσεις προσδίδει ιδιαίτερο χαρακτήρα σε κάθε γωνιά του ναού, καθιστώντας απαραίτητη την αποτύπωση όλων αυτών των λεπτομερειών. Με βάση τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη τη δυσκολία πρόσβασης σε πολλά σημεία του ναού, τόσο εσωτερικά, όσο και εξωτερικά, συμπεραίνεται ότι πρόκειται για ένα απαιτητικό αντικείμενο, για το οποίο χρειάζονται καλός προγραμματισμός των εργασιών πεδίου και συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων, όπως αναλύεται και στο κεφάλαιο 3.⁽¹⁾

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά προηγούμενες δημοσιευμένες εργασίες με αντικείμενο τη γεωμετρική τεκμηρίωση βυζαντινών και μεταβυζαντινών εκκλησιών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο εκπαιδευτικών ή ερευνητικών δραστηριοτήτων. Οι εργασίες που επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν σε αυτή τη βιβλιογραφική ανασκόπηση έχουν ως τελικά παράγωγα σχέδια με ορθοφωτογραφίες των προβαλλόμενων αντικειμένων, καθώς και τρισδιάστατο μοντέλο με υφή, ώστε να βρίσκονται σε αντιστοιχία με τις δύο διπλωματικές εργασίες που εκπονήθηκαν με σκοπό τη γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος.

Πιο αναλυτικά, το Φεβρουάριο του 2019 πραγματοποιήθηκε η γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης, ο οποίος επίσης βρίσκεται εντός των τειχών της Μεσαιωνικής Πόλης της Ρόδου. Για το σκοπό αυτό εκπονήθηκαν δύο διπλωματικές εργασίες με αντικείμενο την παραγωγή σχεδίων και συγκεκριμένα κατακόρυφων και οριζόντιων τομών και όψεων κλίμακας 1:50, στην πρώτη περίπτωση και τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου με υφή και την περιήγηση σε αυτό, στη δεύτερη περίπτωση (Κούτρος & Καραϊσκος, 2019). Για την εξαγωγή των παραπάνω αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν γεωδαιτικές μετρήσεις, επίγειες σαρώσεις και συλλογή φωτογραμμετρικών δεδομένων. Η τρισδιάστατη επιφάνεια δημιουργήθηκε από το συνδυασμό του νέφους σημείων του σαρωτή Laser, με το νέφος σημείων που προέκυψε από τον προσανατολισμό των εικόνων, ως απόρροια της πολυπλοκότητας του συγκεκριμένου ναού και της δυσκολίας πρόσβασης σε πολλά σημεία του. Η συνένωση και γεωαναφορά των νεφών του σαρωτή Laser πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Faro Scene, ο προσανατολισμός των εικόνων, η απόδοση της υφής στο μοντέλο και η εξαγωγή των ορθοφωτογραφιών πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Photoscan Professional της Agisoft και η δημιουργία και επεξεργασία της τρισδιάστατης επιφάνειας με το λογισμικό Geomagic Studio.



Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατο μοντέλο του ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης

Το 2015 πραγματοποιήθηκε η γεωμετρική τεκμηρίωση του Ιερού Ναού του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου (Μπεντίνι και Γαβριήλ, 2015). Πρόκειται για μία βυζαντινή εκκλησία που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της οροσειράς του Τροόδους και εντάσσεται στον κατάλογο της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς της UNESCO. Και σε αυτή την περίπτωση παρήχθησαν ορθοφωτογραφίες των όψεων και των τομών, καθώς και το φωτορεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο, με τη χρήση ψηφιακού εικονογεωδαιτικού σταθμού, ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής και επίγειου σαρωτή Laser για τη συλλογή των δεδομένων. Για τη συνένωση και γεωαναφορά των νεφών σημείων του σαρωτή Laser χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Cyclone της Leica, ο προσανατολισμός των εικόνων, η παραγωγή ορθοφωτογραφιών και η απόδοση της υφής στο μοντέλο πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Image Master της Topcon και η δημιουργία και επεξεργασία της τρισδιάστατης επιφάνειας με το λογισμικό Geomagic Studio. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκαν συμπληρωματικές μετρήσεις ένα χρόνο μετά από τις αρχικές, ώστε να καλυφθεί η έλλειψη πληροφορίας, γεγονός που δεν συμβαίνει συχνά στην περίπτωση διπλωματικών εργασιών δεδομένης της απόστασης και της ανάγκης για εξοικονόμηση χρόνου.



Εικόνα 2.2: Φωτορεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Ναού Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου

Το 2011 εκπονήθηκαν δύο διπλωματικές εργασίες με αντικείμενο τη γεωμετρική τεκμηρίωση του Ιερού Ναού του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι, που επίσης έχει εγγραφεί στον κατάλογο μνημείων της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς της UNESCO, μαζί με άλλες εννέα εκκλησίες στην περιοχή της οροσειράς του Τροόδους στην Κύπρο (Μπαριάμη και Φάκα, 2011). Τα τελικά παραγόμενα προϊόντα είναι τα ίδια με αυτά που εξήχθησαν και στις διπλωματικές εργασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι και τα λογισμικά που αναφέρθηκαν για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του Ιερού Ναού του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός Z-scan, που αποτελείται από ειδική βαθμονομημένη ράβδο στην οποία

τοποθετούνται από μία έως τρεις μηχανές DSLR και τα παρεχόμενα λογισμικά του, Z-scan και Z-map. Ουσιαστικά, το Z-scan είναι μία μέθοδος παραγωγής έγχρωμου τρισδιάστατου νέφους σημείων μέσω τριάδων ψηφιακών εικόνων. Βασίζεται σε ένα αλγόριθμο συνταύτισης εικόνων, αναγνωρίζοντας την υφή του αντικειμένου και αυτοματοποιεί όλες τις διαδικασίες προσανατολισμών. Με το λογισμικό Z-scan πραγματοποιείται η συνένωση και γεωαναφορά των νεφών σημείων και η δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας, ενώ με το λογισμικό Z-map δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας ορθοφωτογραφιών και επεξεργασίας και απόδοσης υφής στο ψηφιακό μοντέλο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα λογισμικά Image Master και Z-scan αποτελούν προθάλαμο των αυτοματοποιημένων διαδικασιών του λογισμικού Photoscan της Agisoft, που πλέον εφαρμόζει τους αλγόριθμους SfM (Structure from Motion) και MVS (Multi View Stereo) και χρησιμοποιείται σήμερα.

Στο πλαίσιο της χρήσης όλων των παραπάνω αυτοματοποιημένων διαδικασιών επιλέχθηκε και η χρήση του λογισμικού TheoLt για την πραγματοποίηση των γεωδαιτικών μετρήσεων και τη σκόπευση των τομών. Το λογισμικό TheoLt χρησιμοποιήθηκε και για τη συλλογή των γεωδαιτικών δεδομένων στην παρούσα διπλωματική και ο τρόπος λειτουργίας του αναλύεται στο κεφάλαιο 3.2.



Εικόνα 2.3: Τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Ναού του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι της Κύπρου

Το 2006 εκπονήθηκε διπλωματική εργασία με θέμα τη γεωμετρική τεκμηρίωση της εκκλησίας της Ασίνου στην Κύπρο (Σοφοκλέους, 2006), για την οποία δημοσιεύθηκε αντίστοιχο άρθρο στο 7^ο Παγκόσμιο Συμπόσιο Εικονικής Πραγματικότητας Αρχαιολογίας και Πολιτιστικής Κληρονομιάς, στο πλαίσιο συνεργασίας μεταξύ του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ και του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου (Σοφοκλέους et al., 2006). Το τρισδιάστατο μοντέλο προέκυψε από συνδυασμό επίγειων σαρώσεων Laser, καθώς επίσης και από τον προσανατολισμό

των εικόνων. Πιο συγκεκριμένα, το εξωτερικό τμήμα του ναού προέκυψε αποκλειστικά από τον επίγειο σαρωτή της Leica, HDS-2500, ενώ το εσωτερικό προέκυψε από το πυκνό νέφος σημείων των εικόνων, με εξαίρεση τμήματα με πολύπλοκο ανάγλυφο στα οποία χρησιμοποιήθηκε, επίσης, ο σαρωτής Laser. Η συνένωση των νεφών πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Cyclone της Leica και ο προσανατολισμός των εικόνων με τη χρήση του ψηφιακού φωτογραμμετρικού σταθμού SSK (Z/I Imaging). Για την επεξεργασία του νέφους σημείων και τη δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Geomagic Studio, ενώ για την απόδοση της υφής το λογισμικό MODO v2.0.1.

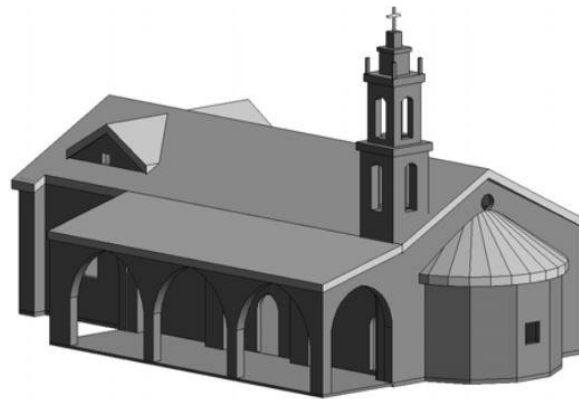


Εικόνα 2.4: Ορθοφωτογραφία της εξωτερικής βόρειας όψης της εκκλησίας της Ασίνου στην Κύπρο

Ένα ακόμη άρθρο που δημοσιεύθηκε το 2016 στο 11^ο Συνέδριο 3D Γεωπληροφορικής είχε ως αντικείμενο την τρισδιάστατη τεκμηρίωση και τη δημιουργία μοντέλου BIM του ναού της Παναγίας Χρυσελεύσας στα Φοινικάρια της Κύπρου, με τη χρήση UAV με ενσωματωμένη μηχανή υψηλής ανάλυσης (Θεμιστοκλέους *et al.*, 2016). Πιο συγκεκριμένα, στόχος ήταν η δημιουργία του τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου του ναού, καθώς και η δημιουργία του τρισδιάστατου BIM μοντέλου του ναού για εξαγωγή των σχεδίων των όψεων, των κατόψεων και των κατακόρυφων και οριζόντιων τομών. Για τον προσανατολισμό των εικόνων, τη δημιουργία της επιφάνειας, την απόδοση υφής και την εξαγωγή ορθοφωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Photoscan Professional της Agisoft. Στη συνέχεια, για την οπτικοποίηση του φωτορεαλιστικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SketchFab, ενώ για τη δημιουργία του BIM χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Revit της Autodesk.



Εικόνα 2.5: Τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο του ναού της Παναγίας Χρυσελεύσας στα Φοινικάρια της Κύπρου



Εικόνα 2.6: BIM του ναού της Παναγίας Χρυσελεύσας στα Φοινικάρια της Κύπρου

Αντίστοιχες εργασίες έχουν πραγματοποιηθεί και σε μνημεία του εξωτερικού, όπως η γεωμετρική τεκμηρίωση της βασιλικής του Αγίου Μάρκου στη Βενετία, με έμφαση στα μωσαϊκά της, η οποία δημοσιεύθηκε το 2018 στην πλατφόρμα Poli [Papers] του Πολυτεχνικού Πανεπιστημίου της Βαλένθια (Adami et al., 2018). Οι τελικές ορθοφωτογραφίες και το τρισδιάστατο μοντέλο με υφή, προέκυψαν από το συνδυασμό των δεδομένων που συλλέχθηκαν με σαρωτή Laser και φωτογραφίες. Τόσο οι ορθοφωτογραφίες, όσο και το φωτορεαλιστικό μοντέλο δημιουργήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Photoscan Professional της Agisoft. Σημειώνεται, επίσης, ότι δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων συνδυαστικά με το BIM, ώστε να κατηγοριοποιηθούν οι ορθοφωτογραφίες που απεικόνιζαν τα μωσαϊκά της βασιλικής.



Εικόνα 2.7: Τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο της βασιλικής του Αγίου Μάρκου στη Βενετία



Εικόνα 2.8: Ορθοφωτογραφία μωσαϊκού εντός της βασιλικής του Αγίου Μάρκου στη Βενετία

Ύστερα από την ανασκόπηση των παραπάνω δημοσιευμένων εργασιών είναι φανερή η επίδραση της τεχνολογίας στις μεθόδους γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Τόσο ο εξοπλισμός, όσο και τα λογισμικά επεξεργασίας των δεδομένων εξελίσσονται διαρκώς, προσφέροντας περισσότερες δυνατότητες, καλύτερη ακρίβεια και πιστότερη αναπαράσταση του αντικειμένου. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες πραγματοποιούνται σε αισθητά λιγότερο χρόνο σε σχέση με παλαιότερα, κυρίως λόγω του αυτοματισμού των περισσότερων εξ αυτών. Ωστόσο, ο μεγάλος όγκος των δεδομένων που συλλέγονται καθιστά χρονοβόρες τις διαδικασίες επεξεργασίας και ταυτόχρονα αναγκαία τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών ικανών να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις της επεξεργασίας.

3. Συλλογή Δεδομένων

3.1. Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή γεωδαιτικών και φωτογραμμετρικών δεδομένων ήταν ο εξής:

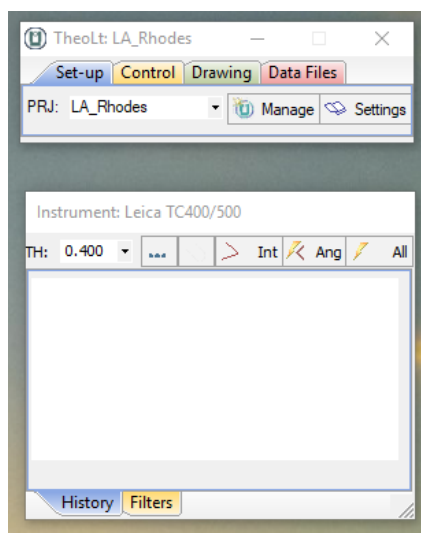
- Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR405 με τα παρελκόμενά του (τρίποδας και 2 mini κατάφωτα με τα τρίποδά τους) και με τις παρακάτω τεχνικές προδιαγραφές:
 - Εμβέλεια απόστασης με πρίσμα 3500 m
 - Ακρίβεια στην απόσταση με πρίσμα από ($\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$) μέχρι ($\pm 5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$)
 - Εμβέλεια απόστασης χωρίς πρίσμα $> 500 \text{ m}$
 - Ακρίβεια στην απόσταση χωρίς πρίσμα από ($\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$) μέχρι ($\pm 5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$)
 - Ελάχιστη απόσταση σκόπευσης 1.7 m
 - Γωνιομετρική ακρίβεια 5''
- Επίγειος σαρωτής Laser FARO Focus^{3D} X 130 με τον τρίποδά του και με τις παρακάτω προδιαγραφές:
 - Εμβέλεια σάρωσης μέχρι 130 m
 - Σφάλμα σάρωσης $\pm 2 \text{ mm}$ στα 25 m
 - Ταχύτητα σάρωσης > 1220000 σημεία ανά δευτερόλεπτο
 - Πεδίο ορατότητας 300° κατακόρυφα και 360° οριζόντια
 - Γωνιακή ανάλυση κατακόρυφα $0^\circ.009$
 - Γωνιακή ανάλυση οριζόντια $0^\circ.009$
- Φωτογραφική μηχανή DSLR Canon EOS 6D, Full Frame 36 mm x 24 mm
- Φωτογραφική μηχανή DSLR Canon EOS 5D Mark III, Full Frame 36 mm x 24 mm
- Φωτογραφική μηχανή DSLR Canon EOS 80D, CMOS 22.3 mm x 14.9 mm
- Διαθέσιμοι φακοί 18 mm και 24 mm
- Studio Flash kit Bowens (BW3005 DUO & BW3015 DUO)
- Φωτογραφική μηχανή RICOH Theta S 360°
- UAV, Phantom 4 Pro, με φακό FOV 84° 8.8 mm/24 mm, που ισοδυναμεί με το format των 35 mm
- Φορητός υπολογιστής με εγκατεστημένα τα λογισμικά TheoLt και Autodesk Autocad

3.2. Συλλογή Γεωδαιτικών Δεδομένων – TheoLt

Στο πλαίσιο εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε η χρήση του λογισμικού TheoLt για τη συλλογή των γεωδαιτικών δεδομένων. Πρόκειται για ένα λογισμικό με τη βοήθεια του οποίου πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο (real time), δηλαδή τη στιγμή της μέτρησης, ραπορτάρισμα κάθε μετρούμενου σημείου, καθώς και αυτόματη επίλυση της όδευσης και της

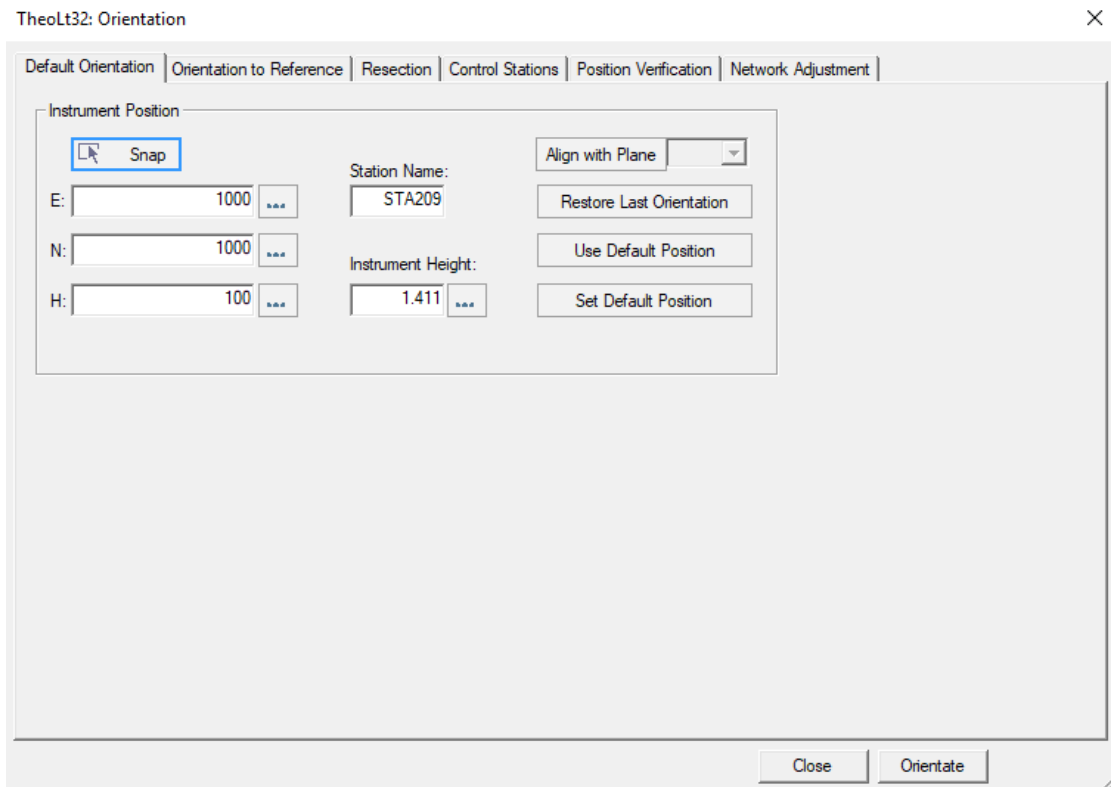
ταχυμετρίας. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό με τον φορητό υπολογιστή και έχοντας ανοιχτό εκτός από το λογισμικό του TheoLt και το Autocad.

Αρχικά, δημιουργείται ένα νέο project στο περιβάλλον του TheoLt, το οποίο αντιστοιχεί στις μετρήσεις που θα γίνουν.



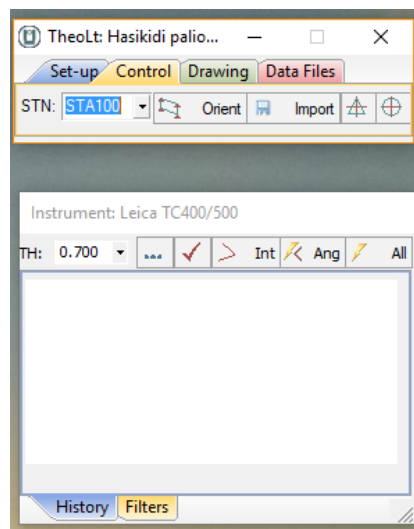
Εικόνα 3.1: Περιβάλλον του λογισμικού TheoLt

Παράλληλα πρέπει να έχει εκκινηθεί το λογισμικό Autocad και να έχει δημιουργηθεί το αντίστοιχο αρχείο. Δίνεται η δυνατότητα επιλογής της πρώτης στάσης της όδευσης, μέσω του Default Orientation. Στο περιβάλλον αυτής της εντολής μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συντεταγμένες του σημείου εφόσον είναι γνωστές ή να τεθούν κάποιες συντεταγμένες για το σημείο εφόσον πρόκειται για τοπικό αυθαίρετο σύστημα. Ακόμη στο σχετικό πεδίο ορίζεται, το ύψος του οργάνου, επιβεβαιώνονται τα στοιχεία που έχουν εισαχθεί και το σημείο ραπορτάρεται στο Autocad.



Εικόνα 3.2 : Περιβάλλον Default Orientation

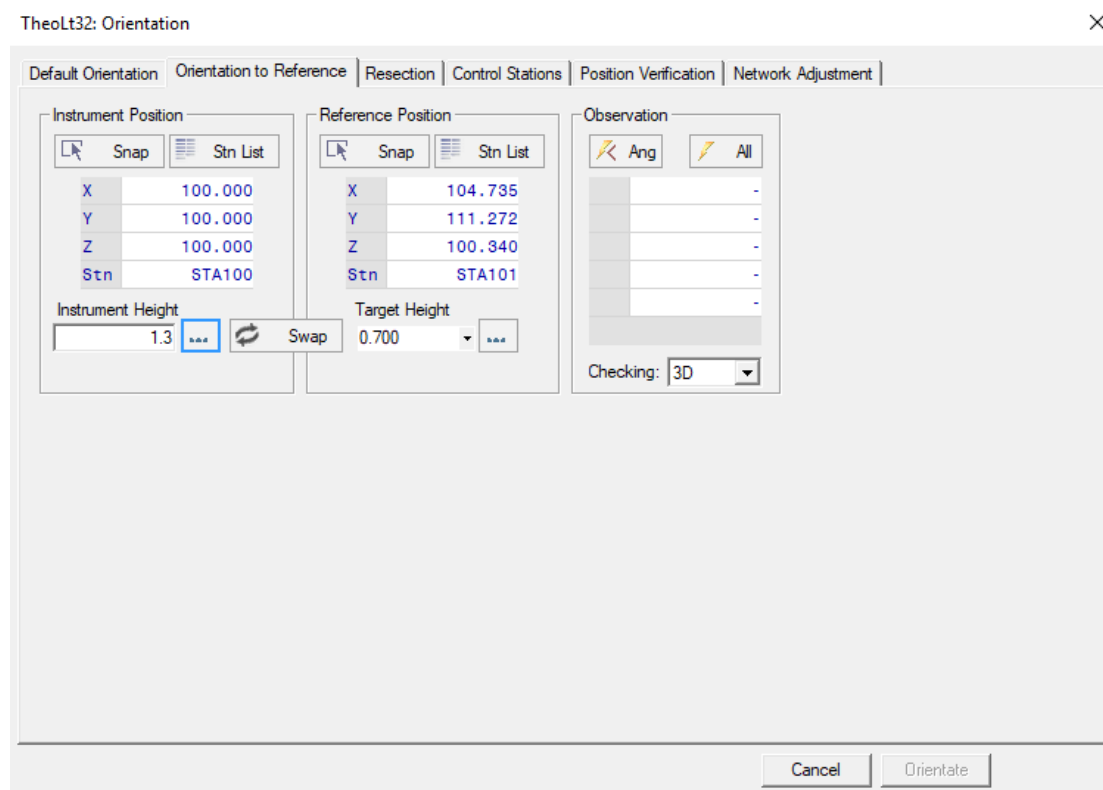
Για τη μέτρηση της επόμενης στάσης και από το μενού Control τίθεται το ύψος στόχου και πραγματοποιείται μέτρηση του σημείου και δίνεται η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα στο αν θα είναι στάση ή σημείο ταχυμετρίας. Κάθε μέτρηση καταγράφεται προσωρινά σε ένα βοηθητικό παράθυρο στο οποίο αναγράφονται η οριζόντια γωνία, η κατακόρυφη γωνία και η κεκλιμένη απόσταση και οι συντεταγμένες καταγράφονται σε σχετική λίστα.



Εικόνα 3.3 : Περιβάλλον Μενού Control

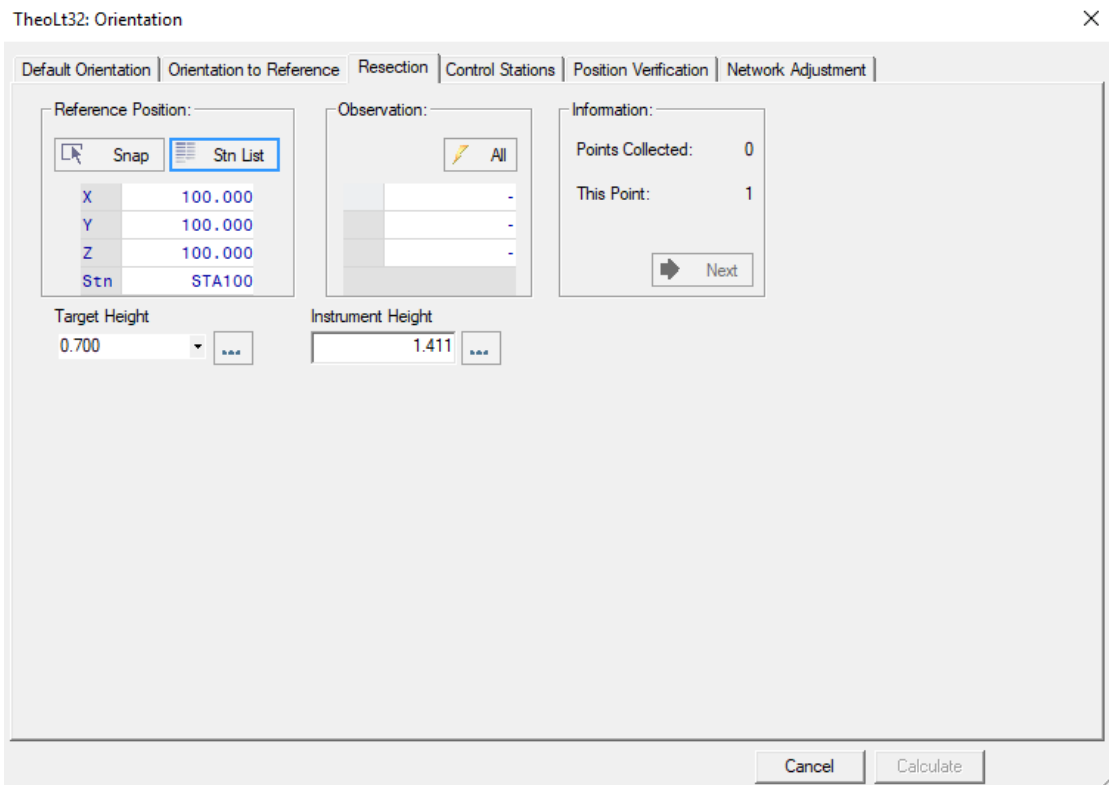
Προχωρώντας στις επόμενες στάσεις της όδευσης και μέσω της επιλογής Orientation to Reference εισάγονται από τη λίστα των ήδη μετρημένων σημείων οι συντεταγμένες και το ύψος του οργάνου στη νέα στάση και χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες της

προηγούμενης στάσης ως Reference Position. Ουσιαστικά, χρησιμοποιείται η προηγούμενη στάση ως σημείο αναφοράς για τον προσανατολισμό της όδευσης. Τη στιγμή της μέτρησης εμφανίζονται με τη μορφή παρατήρησης τα στοιχεία αυτής, καθώς και τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματά της. Ομοίως με προηγούμενα μετράται η επόμενη στάση της όδευσης και όποιο άλλο ταχυμετρικό σημείο χρειάζεται από το μενού Control.



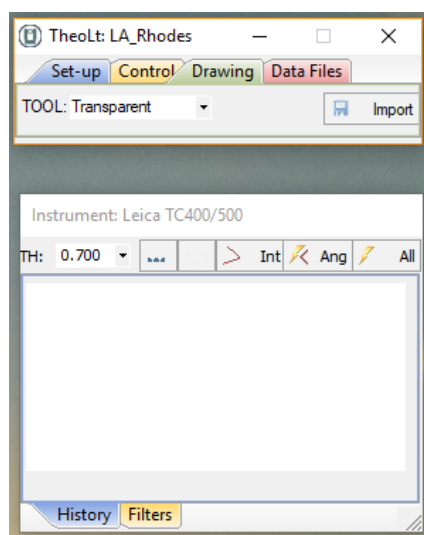
Εικόνα 3.4 : Περιβάλλον Orientation to Reference

Στην περίπτωση που υπάρχει ανάγκη για τη δημιουργία μίας νέας στάσης και δεν υπάρχει ορατότητα από τις ήδη υλοποιημένες στάσεις, μπορεί το όργανο να τοποθετηθεί σε ένα τυχαίο σημείο και να βρεθούν οι συντεταγμένες αυτού. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω γίνεται μετάβαση στο μενού Resection και σκοπεύονται τουλάχιστον 3 ήδη γνωστά ταχυμετρικά σημεία εισάγοντας τις συντεταγμένες τους στο Reference Position.



Εικόνα 3.5 : Περιβάλλον Resection

Το TheoLt μπορεί να χρησιμεύσει για τη σκόπευση τομών, μέσω του μενού Drawing, αφού πρώτα έχει ενεργοποιηθεί η εντολή 3D Polyline στο περιβάλλον του Autocad. Το ίδιο μενού μπορεί να χρησιμεύσει και για τη σκόπευση λεπτομερειών με μόνη διαφορά την εντολή στο περιβάλλον του Autocad. Το περιβάλλον του μενού Drawing είναι ίδιο με αυτό του Control που χρησιμοποιείται για την ταχυμετρία.



Εικόνα 3.6 : Περιβάλλον Μενού Drawing

Σημειώνεται ότι το λογισμικό TheoLt παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου των σκοπεύσεων των στάσεων της όδευσης, παρουσιάζοντας τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα, καθώς και το συνολικό σφάλμα για κάθε σκόπευση στην καρτέλα Position Verification.

Default Orientation Orientation to Reference Resection Control Stations Position Verification Network Adjustment									
All Save									
1	Position	Report							
2	Current Station	Observed Station	Observed Position	Recorded Position	Plan Error	Vertical Error	Total Error	Date	Time
58	STA137	STA124	101.316,117.00	101.322,117.00	0.00588	-0.00370	0.00694	15/05/18	09:34
59	STA137	STA117	98.056,117.65	98.056,117.65	0.00335	0.00074	0.00343	15/05/18	09:34
60	STA137	STA113	92.152,116.73	92.152,116.73	0.00203	0.00034	0.00206	15/05/18	09:34
61	STA137	STA107	91.005,112.31	91.007,112.31	0.00176	0.00041	0.00181	15/05/18	09:34
62									
63									
64	STA122	STA104	96.472,111.22	96.472,111.22	0.00002	-0.00041	0.00041	14/05/18	16:51
65	STA122	STA105	95.711,111.37	95.712,111.37	0.00316	-0.00039	0.00318	14/05/18	16:51
66	STA122	STA106	91.138,112.24	91.142,112.23	0.00596	0.00088	0.00602	14/05/18	16:51
67	STA122	STA107	91.004,112.32	91.007,112.31	0.00385	-0.00148	0.00412	14/05/18	16:51
68	STA122	STA115	97.795,115.70	97.796,115.71	0.00212	0.00151	0.00260	14/05/18	16:51
69	STA122	STA117	98.056,117.65	98.056,117.65	0.00064	-0.00006	0.00064	14/05/18	16:51
70									
71									
72	STA102	STA101	104.734,111.21	104.735,111.20	0.00040	0.00671	0.00672	14/05/18	14:09
73									
74									
75	STA101	STA100	100.001,100.00	100.000,100.00	0.00268	0.00265	0.00376	14/05/18	13:32
76									

Εικόνα 3.7 : Περιβάλλον Position Verification

Όσον αφορά τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο, αρχικά, έγινε αναγνώριση του προς μελέτη χώρου και διαπιστώθηκε ότι η νότια και η δυτική πλευρά της εκκλησίας δεν είναι προσβάσιμες. Πιο συγκεκριμένα, η μεν νότια πλευρά έχει χτιστεί με τοίχο από την πίσω πλευρά του οποίου διερχόταν η οδός Θουκυδίδου, ενώ η δυτική πλευρά ήταν επίσης χτισμένη με σπίτι και μάντρα.

Επίσης, παρατηρώντας τη διάταξη του αντικειμένου, καθώς και τις περιοχές ενδιαφέροντος αποφασίστηκε η δημιουργία επτά τομών στην έκταση του ναού, μιας οριζόντιας τομής σε ύψος 1.3 m από τη βάση της εισόδου του ναού, ώστε να διέρχεται από όσο το δυνατόν περισσότερα ανοίγματα, τριών εγκάρσιων τομών (ανατολική, κεντρική, δυτική), τριών κατά μήκος τομών (νότια, κεντρική, βόρεια), καθώς και τριών στην υπόγεια ταφική κρύπτη, μιας οριζόντιας τομής στο επίπεδο των 90°, μιας εγκάρσιας και μιας κατά μήκος τομής.



Εικόνα 3.8 : Γραμμές τομής μετρημένες με TheoLt

Στη συνέχεια, αποφασίστηκαν οι θέσεις των στάσεων του δικτύου της όδευσης. Το πρώτο σημείο με όνομα STA100 (100, 100, 100) ορίστηκε μπροστά στην αυλόπορτα, το επόμενο με όνομα STA101 ορίστηκε απέναντι από την είσοδο του ναού και σε ευθεία παράλληλη με τη βόρεια όψη της εκκλησίας, ενώ το τρίτο σημείο με όνομα STA102 τοποθετήθηκε στο κατώφλι της εισόδου του ναού, προκειμένου η κύρια όδευση να συνδεθεί με το εσωτερικό του ναού (Εικόνα 3.9). Στόχος ήταν να δημιουργηθούν άλλες δύο στάσεις στις δύο ταράτσες των σπιτιών που γειτνιάζαν με την εκκλησία, ώστε να δημιουργηθεί μία κλειστή κύρια όδευση και να υπάρχει καλύτερη εποπτεία και ορατότητα στο νότιο και δυτικό κομμάτι, γεγονός που δεν επετεύχθη, λόγω αδυναμίας πρόσβασης στη μία από τις δύο ταράτσες.

Σημειώνεται ότι ως ταχυμετρικά σημεία χρησιμοποιήθηκαν οι στόχοι από τον σαρωτή Laser και το Photoscan, ο τρόπος τοποθέτησης των οποίων αναλύεται στα επόμενα υποκεφάλαια.

Όσον αφορά στην όδευση, οι μετρήσεις των στάσεων της ξεκίνησαν από την πρώτη στάση STA100, με κατεύθυνση προς τη STA101. Όπως, αναφέρθηκε νωρίτερα, όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού TheoLt. Στη στάση STA100 έγινε Default Orientation με συντεταγμένες (100, 100, 100) και μετρήθηκε το Reference Point STA101. Στη συνέχεια, ως στάση οργάνου χρησιμοποιήθηκε η STA101 και με Orientation to Reference πραγματοποιήθηκε η σκόπευση στην STA100, ώστε να γίνει ο προσανατολισμός και έπειτα, μετρήθηκε η στάση STA102 ως Reference Point. Με τον ίδιο τρόπο οι μετρήσεις προχώρησαν στη STA102. Ταυτόχρονα, τοποθετήθηκε μία ακόμη στάση της όδευσης, εσωτερικά του ναού και πιο συγκεκριμένα στον υπόγειο τάφο, ανατολικά της εισόδου, με όνομα STA103.

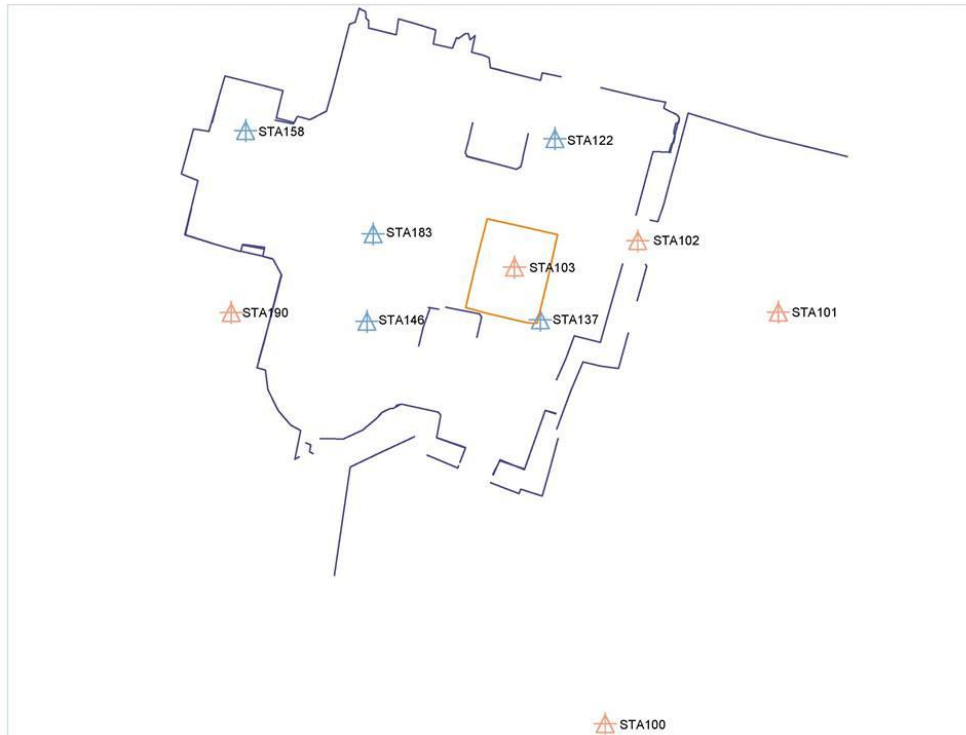
Όλες οι μετρήσεις των στάσεων της όδευσης πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση mini καταφώτου. Σημειώνεται ότι χρειάστηκε η τοποθέτηση ενός ακόμα σημείου (STA145) με τη μορφή στόχου του Photoscan στο βόρειο εκ των κεντρικών τόξων του ναού, ώστε να πραγματοποιηθεί σε αυτό μηδενισμός από τη στάση STA103, καθώς δεν υπήρχε ορατότητα πουθενά αλλού.

Από τη στάση STA102 πραγματοποιήθηκε η σκόπευση των στόχων του Photoscan και του σαρωτή Laser, που ήταν ορατοί από αυτή τη θέση. Κατά κύριο λόγο, κατά την σκόπευση των στόχων, οι αποστάσεις μετρήθηκαν χωρίς χρήση καταφώτου (Reflectorless), εκτός από ορισμένα σημεία του δαπέδου που χρησιμοποιήθηκε και πάλι το mini κατάφωτο. Από την ίδια στάση έγινε και η μέτρηση της οριζόντιας τομής, των τριών εγκάρσιων τομών και της κατά μήκος βόρειας, για όποια τμήματά τους ήταν ορατά από τη συγκεκριμένη στάση. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στο εσωτερικό του υπόγειου τάφου και πιο συγκεκριμένα, οι τρεις τομές και η σκόπευση των σημείων του Photoscan.

Οι εργασίες συνεχίστηκαν με τον ίδιο τρόπο, με τη δημιουργία νέων στάσεων εντός του ναού για τη συνέχιση της σκόπευσης των προσημασμένων σημείων, καθώς και των τομών. Αναλυτικά, δημιουργήθηκαν 5 νέες στάσεις εντός του ναού με τη μέθοδο του Resection, τοποθετώντας το γεωδαιτικό σταθμό σε μία τυχαία θέση κάθε φορά και βρίσκοντας τις συντεταγμένες της, σκοπεύοντας γνωστά σημεία. Για τη διαδικασία αυτή ήταν απαραίτητα 3 τουλάχιστον σημεία γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων, από τα προηγουμένως σκοπευμένα σημεία και ομοιόμορφα κατανεμημένα στο χώρο. Παρ' όλα αυτά, για μεγαλύτερη ακρίβεια σκοπεύονταν κατά βάση 5 σημεία.

Αφού ολοκληρώθηκε η σκόπευση των τομών και των σημείων εσωτερικά του ναού ακολούθησε η σκόπευση των σημείων που είχαν τοποθετηθεί στο εξωτερικό του, καθώς και η συμπλήρωση των ήδη σκοπευμένων τομών εξωτερικά, εκτός της κατά μήκος νότιας για την οποία δεν υπήρχε ορατότητα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι δύο εξωτερικές στάσεις της όδευσης, η STA100 και STA101. Ωστόσο, οι τομές δεν ήταν εφικτό να σκοπευθούν εξολοκλήρου από αυτές τις δύο στάσεις, καθώς δεν υπήρχε καλή ορατότητα στη στέγη. Ακόμη, μετρήθηκαν σημεία στη βόρεια όψη του μινιναρέ, ώστε κυρίως να εξασφαλιστεί το ύψος του, για το οποίο δεν ήταν διαθέσιμα άλλα δεδομένα.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δεν εξασφαλίστηκε η πρόσβαση στην ταράτσα του δυτικού οικήματος, αλλά κατέστη δυνατή η πρόσβαση στην ταράτσα του σπιτιού που βρισκόταν νοτιοανατολικά του ναού και η οποία είχε ορατότητα και στις δύο εξωτερικές στάσεις (STA100 και STA101). Η στάση αυτή δημιουργήθηκε με Resection χρησιμοποιώντας ως σημεία γνωστών συντεταγμένων τις δύο στάσεις της όδευσης, καθώς και ένα από τα προσημασμένα σημεία του σαρωτή Laser. Η στάση αυτή ονομάστηκε STA190 και αργότερα μετρήθηκε και από τις δύο εξωτερικές στάσεις προκειμένου να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη ακρίβεια, δεδομένου ότι το Resection έγινε με τρία μόνο σημεία.



Εικόνα 3.9 : Στάσεις οργάνου εσωτερικά και εξωτερικά του ναού

Ακόμη, περιμετρικά στο τύμπανο του τρούλου τοποθετήθηκαν στόχοι του Photoscan, οι οποίοι μετρήθηκαν τόσο από την ταράτσα, όσο και από τη στάση STA101. Επίσης, από τη στάση στην ταράτσα συμπληρώθηκαν τα κενά που είχαν απομείνει στις τομές, όπου αυτό ήταν εφικτό.

Τέλος, πραγματοποιήθηκαν συμπληρωματικές μετρήσεις από τη στάση της ταράτσας προκειμένου να υπολογιστεί το πάχος του νότιου τοίχου, καθώς και η προεξοχή του μινιρέ προς το δρόμο. Όσον αφορά στο πάχος του τοίχου μετρήθηκαν σημεία τόσο στο πάνω μέρος του, όσο και στη βάση του και από τις δύο πλευρές (στέγη εκκλησίας και δρόμος).

3.3. Συλλογή Φωτογραμμετρικών Δεδομένων

Λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, τη δυσκολία πρόσβασης, καθώς και την έλλειψη ορατότητας σε πολλά τμήματά του αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί, εκτός από επίγεια φωτογράφιση και εναέρια φωτογράφιση με τη χρήση UAV.

3.3.1. Επίγεια Φωτογράφιση

Ως πρώτο βήμα, τοποθετήθηκαν ειδικοί κωδικοποιημένοι στόχοι τόσο στο εσωτερικό, όσο και στο εξωτερικό του ναού, ώστε να αναγνωρίζονται αυτόματα από το λογισμικό της Agisoft, Photoscan, το οποίο θα χρησιμοποιούνταν στη συνέχεια για τον προσανατολισμό των εικόνων. Όσον αφορά στο εσωτερικό του ναού, η τοποθέτηση των στόχων ξεκίνησε από τη νότια πλευρά, λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο με τον οποίο θα γινόταν η φωτογράφιση και με τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε στόχος να φαίνεται σε τρεις τουλάχιστον φωτογραφίες και να επιτευχθεί όσο το

δυνατόν καλύτερη και πιο ομοιόμορφη κάλυψη του προς φωτογράφιση αντικειμένου. Έπειτα, με παρόμοιο τρόπο τοποθετήθηκαν στόχοι στο εξωτερικό του ναού και πιο συγκεκριμένα, στους τοίχους και στο τύμπανο του τρούλου.

Αρχικά, η επίγεια φωτογράφιση ξεκίνησε από το εξωτερικό του ναού και συγκεκριμένα, από το τύμπανο του τρούλου και τη βάση του μιναρέ. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η φωτογράφιση των εξωτερικών όψεων του ναού, καθώς και του περιβάλλοντα χώρου. Η φωτογράφιση όλων των στοιχείων εξωτερικά του ναού πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μηχανής Canon Mark III και το φακό των 24 mm και επιλέχθηκε να γίνει τις απογευματινές ώρες, ώστε ο ναός να φωτίζεται ομοιόμορφα.

Στο εσωτερικό του ναού πραγματοποιήθηκε η φωτογράφιση με τη φωτογραφική μηχανή Canon 6D και το φακό των 24 mm. Καθώς δεν υπήρχε δυνατότητα φυσικού φωτισμού και οι μόνες δίοδοι φωτός ήταν τα παράθυρα του τρούλου και η είσοδος του ναού, προτιμήθηκαν δύο Studio flash, τα οποία τοποθετούνταν με τέτοιο τρόπο ώστε το ένα να εξαλείφει τις σκιές που δημιουργούσε το άλλο και με σκοπό να επιτευχθεί ομοιόμορφο και φυσικό αποτέλεσμα. Με τον τρόπο αυτό έγινε η φωτογράφιση όλου του βόρειου κλίτους, καθώς και των δαπέδων του, του υπόγειου τάφου, του ιερού και του δαπέδου του και μέρους του νότιου κλίτους. Λόγω προβλήματος που προέκυψε με τα Studio Flash, χρησιμοποιήθηκε η μηχανή Canon 80D με φακό των 18 mm για τη φωτογράφιση του νότιου κλίτους και του δαπέδου του, μέρους του κεντρικού κλίτους, καθώς και του τρούλου. Σε όλη τη διάρκεια της φωτογράφισης εναλλάσσονταν οι συνδυασμοί διαφράγματος και κλείστρου, γεγονός που οξύνθηκε κατά τη φωτογράφιση με τη δεύτερη κάμερα, ώστε να επιτυγχάνεται κατά το δυνατόν φυσικότερο αποτέλεσμα.

Τέλος, με τη χρήση της κάμερας RICOH Theta S 360° δημιουργήθηκαν δύο βίντεο περιήγησης εντός και εκτός του ναού, ένα με κατεύθυνση από το εξωτερικό προς το εσωτερικό του ναού και ένα με την αντίθετη κατεύθυνση. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε και φωτογράφιση με την ίδια μηχανή, τόσο στο εσωτερικό, όσο και στη στέγη του ναού. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε μία τελευταία φωτογράφιση του νότιου τοίχου εξωτερικά του ναού, από την οδό Θουκυδίδου με τη μηχανή Canon 80D και το φακό των 18 mm.

3.3.2. Εναέρια Φωτογράφιση

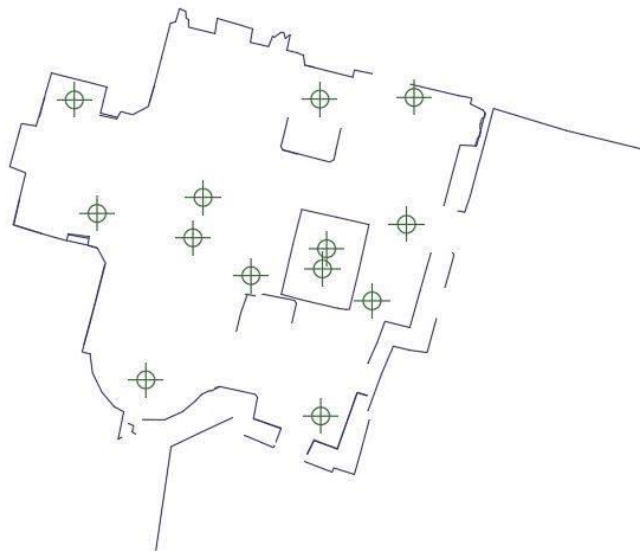
Καθώς δεν ήταν εφικτή η ολοκληρωμένη φωτογράφιση της στέγης και του μιναρέ με επίγειες μεθόδους, αλλά και για μία συνολική άποψη του ναού κρίθηκε απαραίτητη η φωτογράφιση με τη χρήση UAV. Για το σκοπό αυτό έγιναν δύο πτήσεις, μία που εστίαζε στη φωτογράφιση της αυλής και της στέγης και μία δεύτερη που εστίαζε στην περιμετρική κάλυψη του μιναρέ.

3.4. Συλλογή Δεδομένων Με Επίγειο Σαρωτή Laser

Στόχος της χρήσης του επίγειου σαρωτή είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου με σωστή γεωαναφορά και κλίμακα.

Όπως συνέβη και στην περίπτωση της φωτογράφισης, έτσι και για τον επίγειο σαρωτή Laser απαιτείται η τοποθέτηση ειδικών στόχων, οι οποίοι αναγνωρίζονται αυτόματα από το λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων του σαρωτή. Για το σκοπό αυτό, τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του ναού οι στόχοι F1 έως F6 με τέτοιο τρόπο, ώστε από κάθε στάση του σαρωτή Laser να είναι ορατοί 3 τουλάχιστον στόχοι. Με τον ίδιο τρόπο τοποθετήθηκαν στόχοι στο εξωτερικό του ναού και πιο συγκεκριμένα, στους τοίχους του, με αρίθμηση από το F11 έως το F16.

Η θέση κάθε σάρωσης επιλέγεται με κριτήριο την επαρκή επικάλυψη μεταξύ των νεφών, ώστε να είναι εφικτός ο προσανατολισμός των νεφών μεταξύ τους και να μη δημιουργούνται κενά. Ο σαρωτής Laser δίνει τη δυνατότητα επιλογής της πυκνότητας των σημείων σε συγκεκριμένη απόσταση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε πυκνότητα 1 cm σε απόσταση 10 m από το σαρωτή, ενώ ο αριθμός των σαρώσεων ανήλθε σε 24, 13 σαρώσεις εσωτερικά και 11 εξωτερικά του ναού. Η διάρκεια κάθε σάρωσης προέκυψε περίπου στα 20 λεπτά.



Εικόνα 3.10 : Στάσεις Σαρωτή Laser

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση της υπόγειας ταφικής κρύπτης, παρόλο που πραγματοποιήθηκαν 2 σαρώσεις, δεν είχαν τοποθετηθεί ειδικοί στόχοι για το σαρωτή Laser.

3.5. Προβλήματα Συλλογής Δεδομένων

Κατά τη διαδικασία της συλλογής δεδομένων προέκυψαν ορισμένα προβλήματα, τα οποία είτε επιλύθηκαν, είτε επηρέασαν την πορεία των μετρήσεων αλλά και της μετέπειτα επεξεργασίας.

Η πρώτη δυσκολία που ανέκυψε αφορούσε την πρόσβαση στα γειτονικά οικήματα, ώστε να υπάρξει ορατότητα για το σύνολο του ναού. Αρχικά, στόχος ήταν η δημιουργία στάσεων στις δύο ταράτσες που συνόρευαν με το ναό, γεγονός που απαιτούσε την εξασφάλιση της άδειας των ιδιοκτητών των δύο κατοικιών. Τελικά, η πρόσβαση στις ταράτσες από το εσωτερικό των σπιτιών δεν κατέστη δυνατή, οπότε προσεγγίστηκε εξωτερικά η νοτιοανατολική ταράτσα, με χρήση σκάλας, ανεβαίνοντας αρχικά στη στέγη του ναού και από εκεί στην ταράτσα. Κάτι παρόμοιο επιχειρήθηκε και στη δυτική ταράτσα, όμως η πρόσβαση κατέστη αδύνατη, καθώς η ταράτσα βρισκόταν σε μεγάλο ύψος. Το γεγονός αυτό, πέρα από την καθυστέρηση που δημιούργησε, οδήγησε και στην δυσκολία ολοκλήρωσης ορισμένων τομών για τις οποίες δεν υπήρχε ορατότητα.

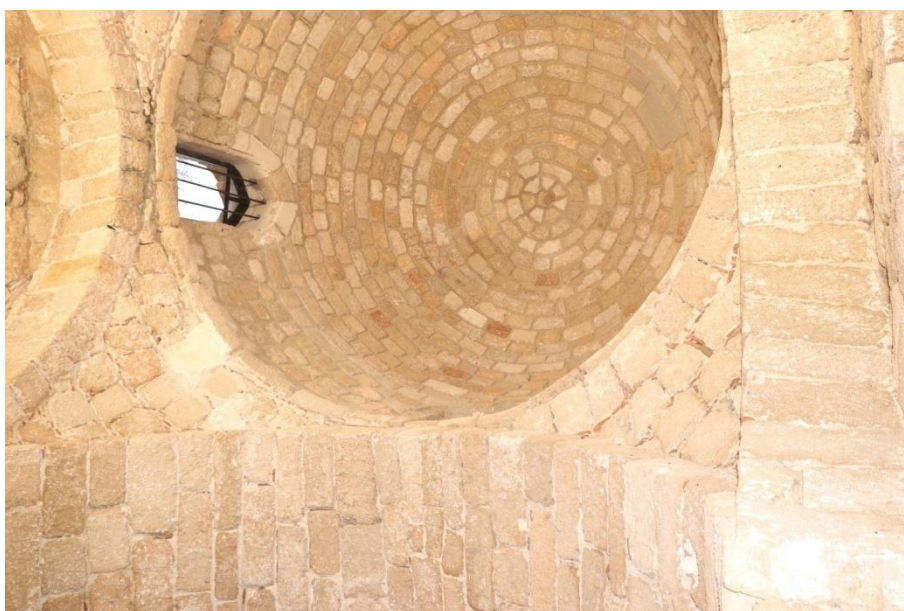
Με την πρώτη επίσκεψη στο ναό του Αγίου Σπυρίδωνος ήταν εμφανής η εγκατάλειψή του και η έλλειψη περιποίησης της αυλής. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε απαραίτητος ο καθαρισμός του χώρου από ειδικό συνεργείο, ώστε να μην υπάρχουν αποκρύψεις στην απεικόνιση των στοιχείων του ναού. Παρ' όλα αυτά, οι εργασίες αυτές καθυστέρησαν, με αποτέλεσμα τόσο η φωτογράφιση με το UAV, όσο και οι σαρώσεις με τον επίγειο σαρωτή Laser να πραγματοποιηθούν πριν τον καθαρισμό του χώρου και επομένως, σε όλες αυτές τις απεικονίσεις να δημιουργούνται θόρυβος και αποκρύψεις. Αντίστοιχα, αναρριχώμενο φυτό κάλυπτε μεγάλο τμήμα της ανατολικής στέγης του ναού, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει δυνατότητα φωτογράφισής του.



Εικόνα 3.11 : Η αυλή του ναού πριν τον καθαρισμό των φυτών

Η ίδια εντύπωση δημιουργείται και στο εσωτερικό του ναού, καθώς πλήθος κασών με ευρήματα κάλυπταν το μεγαλύτερο μέρος των δαπέδων, ενώ σε πολλές περιπτώσεις υπήρχαν άχρηστα αντικείμενα. Ένας πρόχειρος καθαρισμός έγινε και σε αυτή την περίπτωση, όμως ορισμένα αντικείμενα παρέμειναν, με αποτέλεσμα να υπάρχουν στις φωτογραφίες και στις σαρώσεις και να πρέπει να αφαιρεθούν σε μεταγενέστερα στάδια της επεξεργασίας, επιβαρύνοντας έτσι τον χρόνο της.

Το σημαντικότερο πρόβλημα παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης του εσωτερικού του ναού. Πιο αναλυτικά, κατά τη φωτογράφιση του νότιου κλίτους προέκυψε πρόβλημα με τα Studio Flash, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η επικοινωνία αυτών και της μηχανής. Μετά από δοκιμές με όλες τις διαθέσιμες μηχανές, διαπιστώθηκε ότι η μηχανή Canon 80D με φακό των 18 mm ήταν η καλύτερη επιλογή, καθώς διέθετε και δικό της ενσωματωμένο φλάς. Σε αυτή τη φωτογράφιση συνέχισαν να χρησιμοποιούνται τα Studio Flash, χωρίς όμως να είναι συνδεδεμένα με τη μηχανή. Σε αυτή την περίπτωση, η γεννήτρια ανίχνευε την εστίαση της κάμερας και με τον τρόπο αυτό γινόταν ο συντονισμός της κάμερας με τα φλάς. Οι εναλλαγές στους συνδυασμούς διαφράγματος και κλείστρου έγιναν επιτακτικότερες σε αυτό το στάδιο της φωτογράφισης, ώστε το αποτέλεσμα να είναι όσο το δυνατόν φυσικότερο. Όλα αυτά είχαν ως συνέπεια μία αρκετά μεγάλη καθυστέρηση στο στάδιο της φωτογράφισης, ενώ ταυτόχρονα επηρεάστηκε η ομοιομορφία των φωτογραφιών στο εσωτερικό του ναού.



Εικόνα 3.12 : Αλλοίωση χρωμάτων στις φωτογραφίες με τη χρήση του ενσωματωμένου φλάς της μηχανής

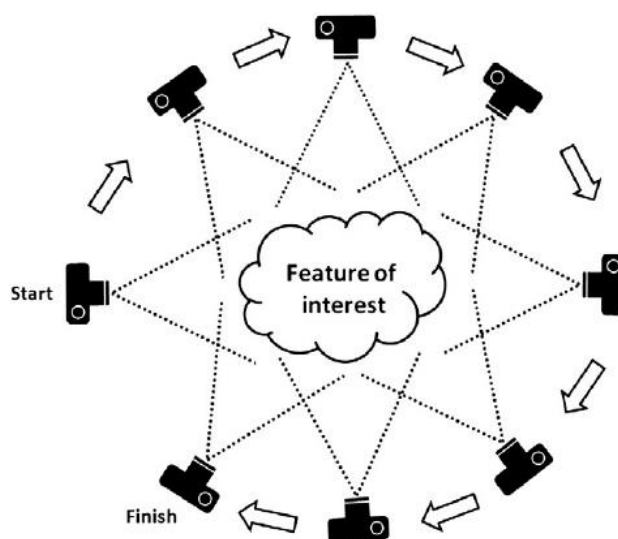
4. Επεξεργασία Δεδομένων

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν στο πεδίο. Οι διαδικασίες αυτές συνοψίζονται στον προσανατολισμό των εικόνων, τη συνένωση και γεωαναφορά των νεφών σημείων του σαρωτή laser, την επεξεργασία αυτών των νεφών με στόχο τη δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας. Δεδομένου ότι για τη συλλογή των γεωδαιτικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό TheoLt, δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω επεξεργασία αυτών.

4.1. Προσανατολισμοί Εικόνων

Στο πρώτο στάδιο της επεξεργασίας των εικόνων, πραγματοποιήθηκε ο προσανατολισμός τους με τη χρήση του λογισμικού Photoscan Professional της Agisoft. Η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει τον προσανατολισμό των εικόνων, την αυτοβαθμονόμηση της μηχανής και τη δημιουργία ενός αραιού νέφους σημείων, εντοπίζοντας τη σχετική θέση των σημείων λήψης των εικόνων. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η γεωαναφορά αυτού του νέφους με τη χρήση των συντεταγμένων των ήδη μετρημένων φωτοσταθερών και η δημιουργία ενός πυκνού νέφους σημείων.

Η αυτοματοποίηση του συγκεκριμένου λογισμικού σχετίζεται με τον αλγόριθμο Structure from Motion. Στόχος του αλγόριθμου SfM είναι η ανακατασκευή της γεωμετρίας της σκηνής και της κίνησης της κάμερας κατά τις λήψεις από δύο ή περισσότερες εικόνες του αντικειμένου.



Εικόνα 4.1: Structure from Motion. Ο αλγόριθμος SfM απαιτεί πολλαπλές επικαλυπτόμενες εικόνες για να εφαρμόσει αλγόριθμους 3D ανακατασκευής

Ο αλγόριθμος SfM αναλύει τα δισδιάστατα (2D) χαρακτηριστικά και στην πραγματικότητα ανιχνεύει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως γωνίες και γραμμές και βρίσκει αντιστοιχίες μεταξύ των εικόνων (Westoby, 2012). Επιπλέον, καθορίζει τρισδιάστατες (3D) πληροφορίες από την εκτίμηση της κίνησης της κάμερας σε σχέση με τη δομή του αντικειμένου. Πραγματοποιεί συνόρθωση της δέσμης των

ακτίνων και αναδομεί τις επιφάνειες με τριγωνισμό των εικόνων και στερεοσκοπική αντίληψη (Weng, 2012).

Αρχικά, για μεγαλύτερη ευκολία στην επεξεργασία και διαχείριση των δεδομένων επιλέχθηκε το αντικείμενο να χωριστεί και να αντιμετωπισθεί ξεχωριστά εσωτερικά και εξωτερικά. Καθώς ο αριθμός των εικόνων ανερχόταν σε 1122 εσωτερικά και 854 εξωτερικά, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί ένας επιπλέον διαχωρισμός τους ανά χώρο, για διευκόλυνση των διαδικασιών επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στο εσωτερικό του ναού, αυτό χωρίστηκε ανά κλίτος (βόρειο, κεντρικό και νότιο), ενώ υπέστησαν επεξεργασία ως μεμονωμένοι χώροι το ιερό και η υπόγεια ταφική κρύπτη. Στην περίπτωση του εξωτερικού χώρου του ναού, οι εικόνες ομαδοποιήθηκαν με βάση τον τρόπο λήψης τους, δηλαδή χωρίστηκαν σε επίγειες και σε εναέριες. Οι εικόνες που λήφθηκαν με την ψηφιακή μηχανή ταξινομήθηκαν ανάλογα με το αντικείμενο που απεικονίζουν (μιναρές, τρούλος, εξωτερικός τοίχος).

Εσωτερικό ναού	Αριθμός εικόνων
Βόρειο κλίτος	498
Κεντρικό κλίτος	251
Νότιο κλίτος	152
Ιερό	78
Υπόγεια Ταφική Κρύπτη	143

Πίνακας 4.1: Αριθμός εικόνων εσωτερικά του ναού

Εξωτερικό ναού	Αριθμός εικόνων
Εξωτερικός τοίχος	170
Τρούλος	211
Μιναρές	166
Μιναρές UAV	207
Στέγη UAV	100

Πίνακας 4.2: Αριθμός εικόνων εξωτερικά του ναού

Για κάθε σύνολο εικόνων που δημιουργήθηκε, οι διαδικασίες επεξεργασίας ήταν κοινές. Αρχικά, τοποθετήθηκαν χειροκίνητα μάσκες σε όλες τις εικόνες, προκειμένου να αποκρύψουν ανεπιθύμητα αντικείμενα, σκιές και μη εστιασμένες περιοχές. Οι μάσκες αυτές δεν χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του αραιού και του πυκνού νέφους σημείων, όμως ήταν απαραίτητες για το μετέπειτα στάδιο της παραγωγής της υφής του τρισδιάστατου μοντέλου, που αναλύεται στο Κεφάλαιο 5.



Εικόνα 4.2: Μάσκα σε εικόνα του εσωτερικού του ναού

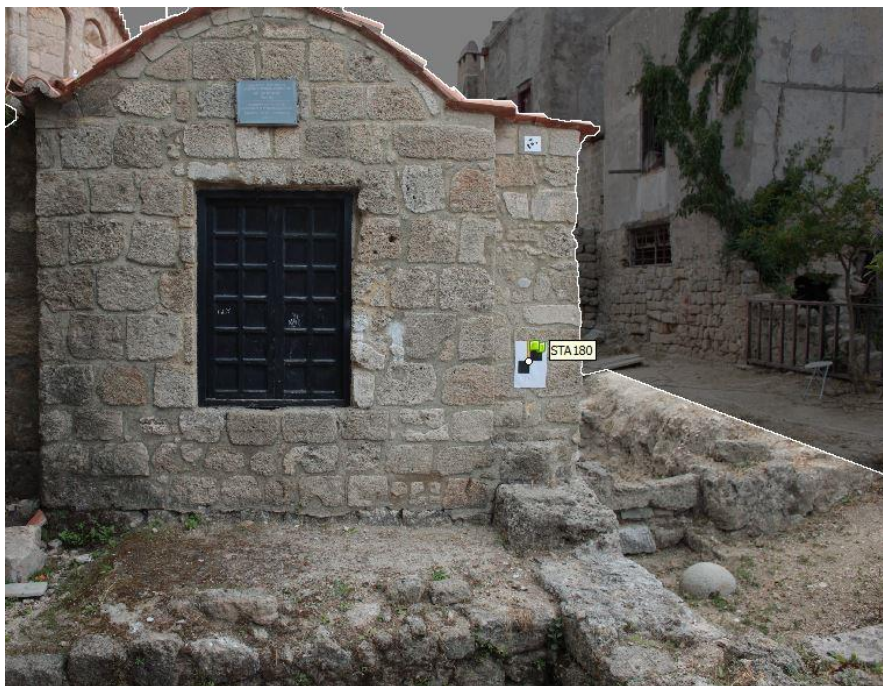


Εικόνα 4.3: Μάσκα σε εικόνα στο εξωτερικό του ναού

Στη συνέχεια, αναγνωρίστηκαν και σκοπεύθηκαν αυτόματα οι προσημασμένοι κωδικοποιημένοι στόχοι και ελέγχθηκαν οι σκοπεύσεις και ό,τι δεν είχε εντοπιστεί από το λογισμικό, συμπληρώθηκε χειροκίνητα. Εκτός από τους ειδικούς στόχους του Photoscan, εντοπίστηκαν και σκοπεύθηκαν χειροκίνητα και οι στόχοι του σαρωτή laser.



Εικόνα 4.4: Ειδικός κωδικοποιημένος στόχος Photoscan

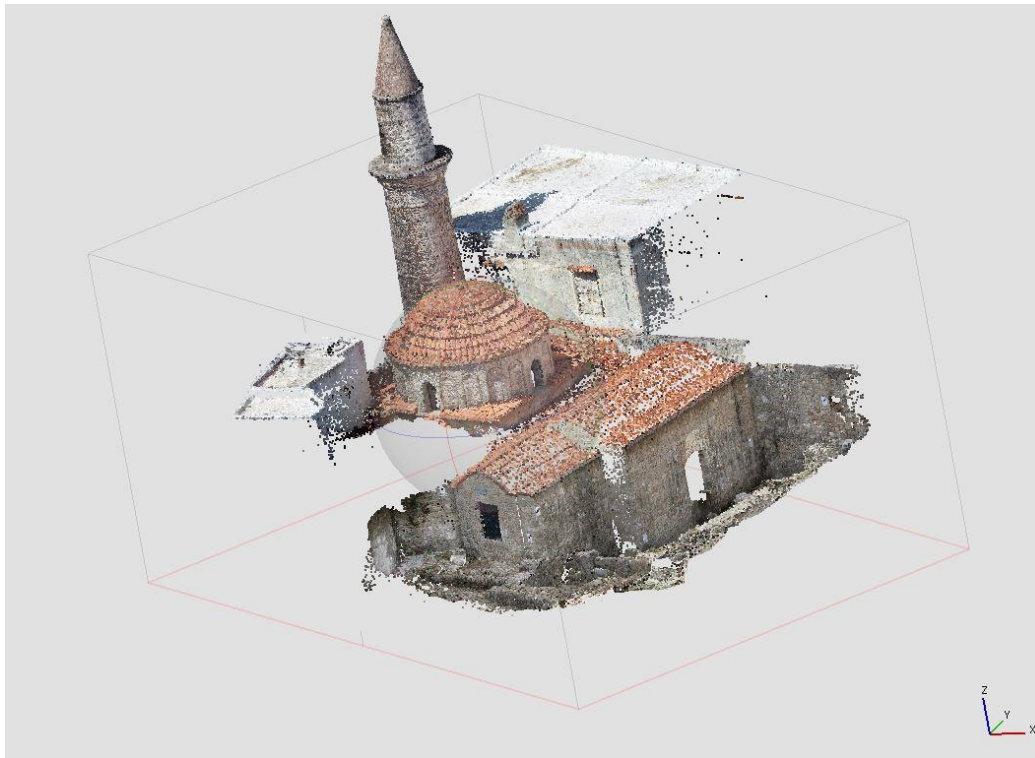


Εικόνα 4.5: Ειδικός στόχος σαρωτή Laser

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε ένας καθαρισμός του αραιού νέφους σημείων και τροφοδοτήθηκε το λογισμικό με τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών. Σε αυτό το στάδιο, ελέγχθηκαν τα σφάλματα των υπολογισμένων συντεταγμένων και το κατά πόσο αυτά οφείλονταν στη σκόρευση των σημείων. Στις περιπτώσεις που ήταν εφικτό, οι σκοπεύσεις διορθώθηκαν, ενώ στην περίπτωση σημείων με πολύ μεγάλο σφάλμα, αυτά αφαιρέθηκαν, καθώς προέκυψε ότι τα σφάλματα ήταν χονδροειδή και πιθανώς οφείλονταν σε κάποιο λάθος κατά την στιγμή της μέτρησης.



Εικόνα 4.6: Αραιό νέφος του εσωτερικού του ναού



Εικόνα 4.7: Αραιό νέφος του εξωτερικού του ναού

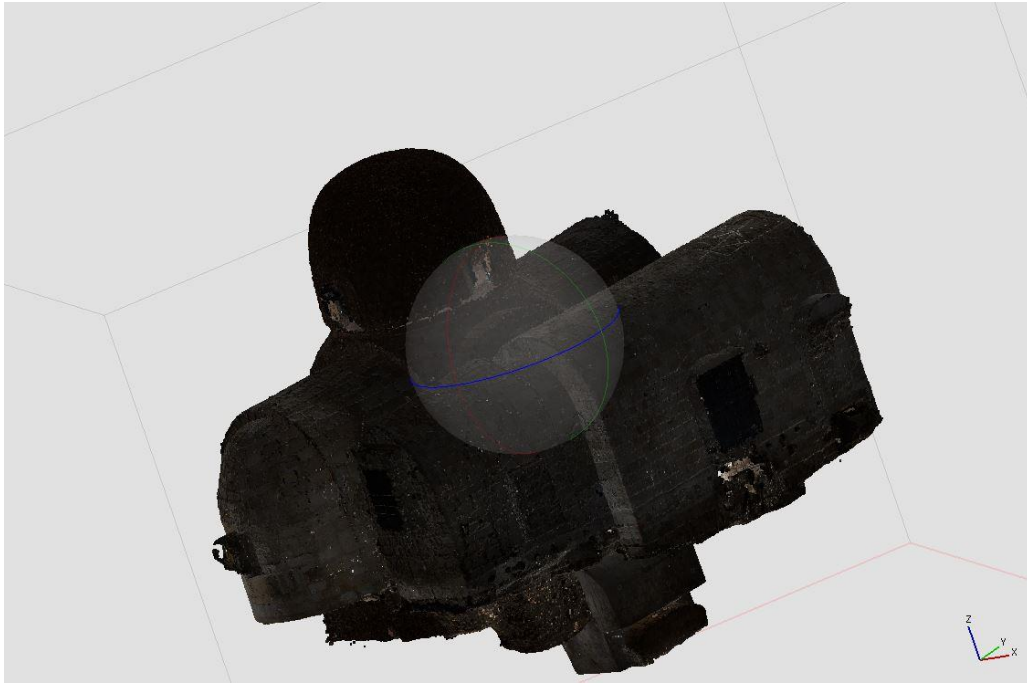
Ο τρόπος με τον οποίο χωρίστηκε ο ναός, αποδείχθηκε αναποτελεσματικός σε κάποιες περιπτώσεις, καθώς δεν προσανατολίζονταν όλες οι εικόνες μεταξύ τους. Έτσι, γειτονικοί χώροι επιλέχθηκε να υποστούν επεξεργασία ως ένας, ώστε να υπάρχει ικανοποιητική επικάλυψη μεταξύ των εικόνων. Για ορισμένες εικόνες που δεν προσανατολίζονταν, πραγματοποιήθηκε σκόπευση χαρακτηριστικών σημείων. Αυτά τα σημεία έπρεπε να είναι τουλάχιστον τέσσερα ανά εικόνα και να έχουν σκοπευθεί σε τουλάχιστον δύο εικόνες.

Στο επόμενο βήμα, ενώθηκαν τα αραιά νέφη όλων των χώρων και εξετάστηκαν εκ νέου όλα τα σφάλματα.

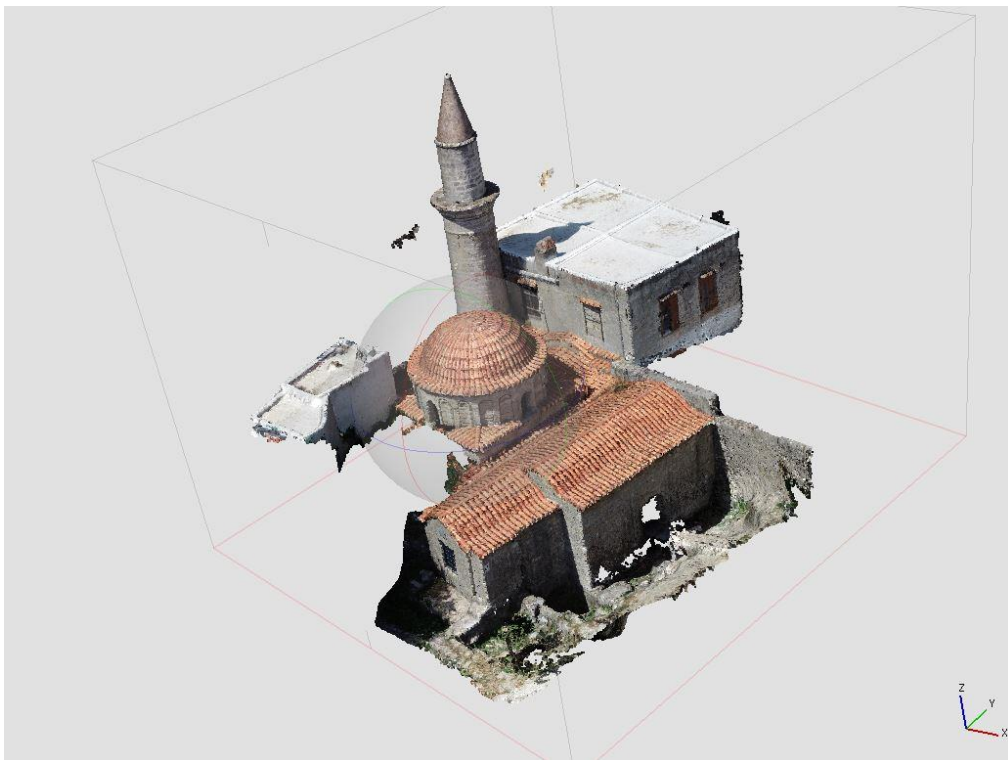
	Εσωτερικό ναού	Εξωτερικό ναού
Μέγιστο Σφάλμα (mm)	± 7	± 11
Μέσο Σφάλμα (mm)	± 3	± 6

Πίνακας 4.3: Σφάλματα προσανατολισμού εικόνων

Τέλος, δημιουργήθηκε το πυκνό νέφος σημείων, το οποίο θα συμπλήρωνε τα κενά που υπήρχαν στο νέφος του σαρωτή laser.



Εικόνα 4.8: Πυκνό νέφος του εσωτερικού του ναού



Εικόνα 4.9: Πυκνό νέφος του εξωτερικού του ναού

Όσον αφορά στις εικόνες που λήφθηκαν με το UAV, υπήρξε μια διαφοροποίηση στον τρόπο με τον οποίο έγινε ο προσανατολισμός τους, καθώς κάθε εικόνα συνοδεύεται από ένα αρχείο αναφοράς που περιείχε πληροφορίες για το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος και το υψόμετρο λήψης. Η διαφορά στον τρόπο του προσανατολισμού έγκειται στο γεγονός ότι τα σημεία λήψης των εικόνων ήταν προκαθορισμένα και δεν εντοπίστηκαν από το λογισμικό.

4.2. Συνένωση και Γεωαναφορά Νεφών Σημείων

Ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων που είχαν ληφθεί με τη χρήση του σαρωτή Laser FARO X130. Το πρώτο βήμα της επεξεργασίας των νεφών σημείων ήταν η συνένωση και γεωαναφορά τους μέσω του λογισμικού FARO Scene.

Πιο αναλυτικά, δημιουργήθηκε ένα αρχείο επεξεργασίας με τις σαρώσεις. Στόχος της επεξεργασίας ήταν οι σαρώσεις να τροποποιηθούν έτσι ώστε να γίνουν πιο εύχρηστες και διαχειρίσιμες και να περιλαμβάνουν το αντικείμενο μελέτης και τμήμα του περιβάλλοντα χώρου. Για το σκοπό αυτό καθορίστηκαν κάποιες παράμετροι, όπως το φίλτρο απόστασης, το οποίο αφαιρεί σημεία που ξεπερνούν κάποια απόσταση ορισμένη από τον χρήστη, το φίλτρο εντοπισμού ακμών, το οποίο διατηρεί τα σημεία που περιγράφουν ικανοποιητικότερα τις ακμές του αντικειμένου, το φίλτρο αυτόματου εντοπισμού των ειδικών στόχων του σαρωτή Laser, καθώς και η δυνατότητα απόδοσης χρώματος στις σαρώσεις, η οποία δεν επιλέχθηκε, αφού μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε επόμενο στάδιο. Επίσης, δίνεται η επιλογή της αυτόματης γεωαναφοράς των σαρώσεων, η οποία σε αυτή τη φάση δεν προτιμήθηκε, καθώς θα πραγματοποιείτο χειροκίνητα στη συνέχεια.

Έπειτα, καταχωρήθηκε στο πρόγραμμα ένα .txt αρχείο με την κωδικοποίηση των στόχων, καθώς και τις συντεταγμένες τους, ώστε να χρησιμοποιηθούν για τη συνένωση και τη γεωαναφορά των σαρώσεων. Ελέγχθηκε το κατά πόσο οι στόχοι είχαν ανιχνευθεί σωστά, τόσο με βάση τον αυτόματο εντοπισμό τους από το λογισμικό, όσο και με βάση τον εντοπισμό από τις συντεταγμένες τους. Στις περιπτώσεις που δεν είχαν εντοπιστεί οι στόχοι, σκοπεύονταν χειροκίνητα.

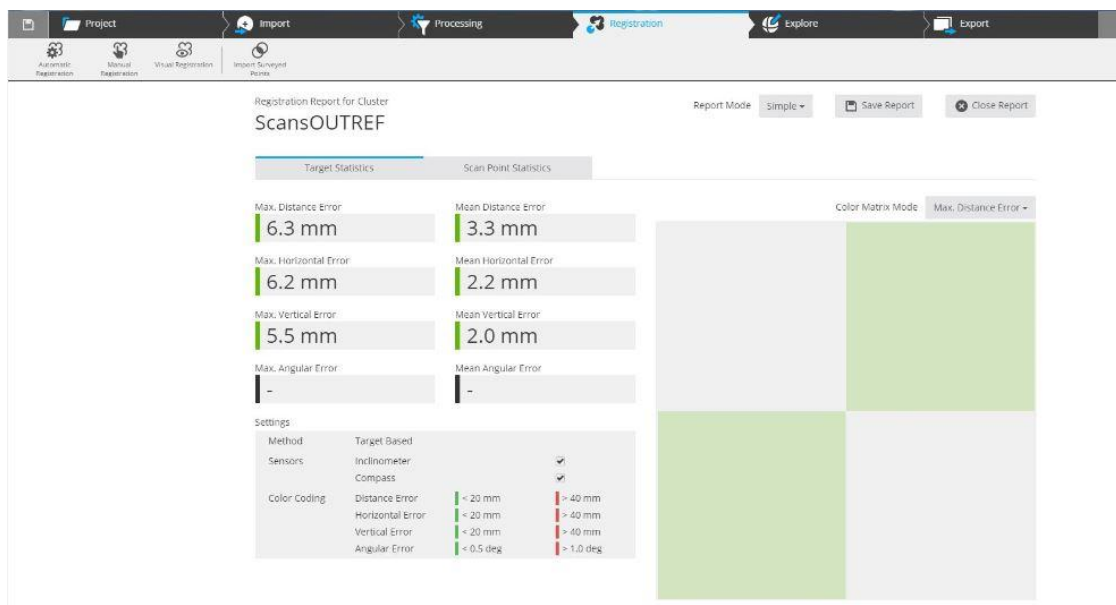
Λαμβάνοντας υπόψη ότι κοινούς στόχους είχαν όλες οι εξωτερικές σαρώσεις μεταξύ τους και αντίστοιχα όλες οι εσωτερικές μεταξύ τους, αποφασίστηκε η ομαδοποίηση των σαρώσεων σε δύο κατηγορίες εντός και εκτός του ναού. Επομένως, πραγματοποιήθηκε μία πρώτη αυτόματη συνένωση των νεφών, κάθε κατηγορίας ταυτόχρονα, με βάση την κάτοψη αυτών και λαμβάνοντας υπόψη τις επικαλύψεις μεταξύ των νεφών σημείων. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη γεωαναφορά των νεφών, με βάση τους στόχους.

Το αποτέλεσμα της γεωαναφοράς, τόσο για τις εξωτερικές σαρώσεις, όσο και για τις εσωτερικές, ελέγχθηκε μέσω των αναφορών σφαλμάτων που εξάγονται από το πρόγραμμα. Πιο συγκεκριμένα, το Scene υπολογίζει το συνολικό μέγιστο και μέσο σφάλμα, καθώς και τα επιμέρους μέγιστα και μέσα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα, τα οποία προκύπτουν από τις συντεταγμένες των προσημασμένων στόχων που καταχωρήθηκαν νωρίτερα.

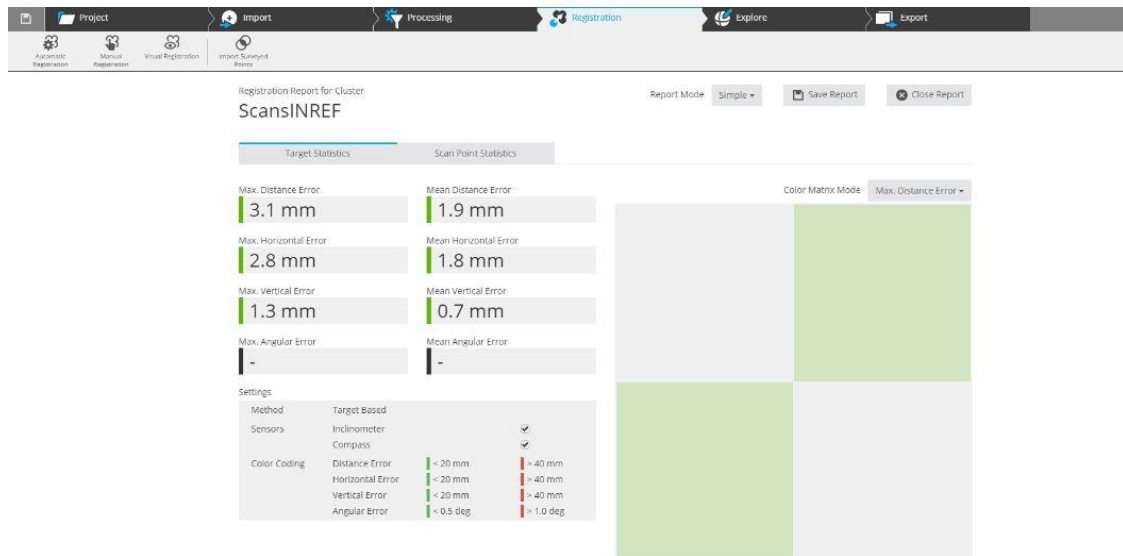
	Εξωτερικές Σαρώσεις	Εσωτερικές Σαρώσεις
Μέγιστο Σφάλμα (mm)	± 6.3	± 3.1
Μέσο Σφάλμα (mm)	± 3.3	± 1.9
Μέγιστο Οριζοντιογραφικό Σφάλμα (mm)	± 6.2	± 2.8
Μέσο Οριζοντιογραφικό Σφάλμα (mm)	± 2.2	± 1.8
Μέγιστο Υψομετρικό Σφάλμα (mm)	± 5.5	± 1.3
Μέσο Υψομετρικό Σφάλμα (mm)	± 2.0	± 0.7

Πίνακας 4.4 : Σφάλματα γεωαναφοράς σαρώσεων

Όπως παρατηρείται υπάρχουν διαφορές στα μεγέθη των σφαλμάτων των εξωτερικών και των εσωτερικών σαρώσεων. Στις εξωτερικές σαρώσεις τα μεγαλύτερα σφάλματα δικαιολογούνται από το γεγονός ότι τοποθετήθηκαν ειδικοί στόχοι μόνο στην επιφάνεια του τοίχου του ναού, με αποτέλεσμα οι σαρώσεις που έγιναν στη στέγη να μην έχουν κοινούς στόχους με τις σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν στον περίβολο του ναού. Αντίθετα, οι σαρώσεις στο εσωτερικό παρουσιάζουν πολύ μεγάλες επικαλύψεις και όλες περιέχουν τρεις τουλάχιστον στόχους. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον περιορισμένο θόρυβο οδήγησε σε μικρότερα σφάλματα σε σχέση με τις εξωτερικές σαρώσεις.



Εικόνα 4.10: Αναφορά σφαλμάτων εξωτερικών σαρώσεων

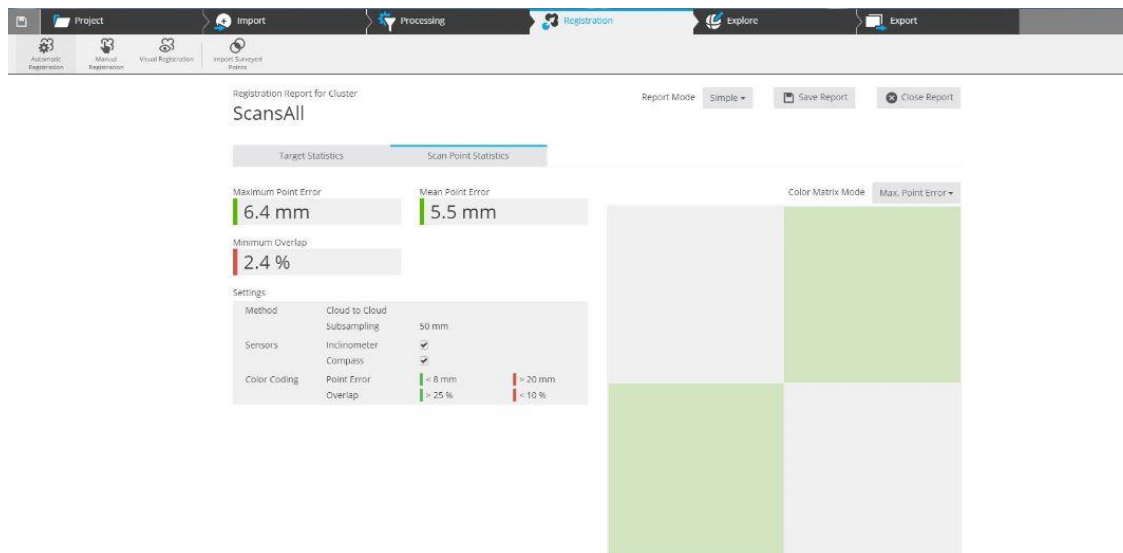


Εικόνα 4.11: Αναφορά σφαλμάτων εσωτερικών σαρώσεων

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε συνένωση των εξωτερικών και εσωτερικών σαρώσεων για την οποία προέκυψε μία νέα αναφορά με το συνολικό μέγιστο και μέσο σφάλμα, καθώς και την ελάχιστη επικάλυψη μεταξύ των δύο ομάδων σαρώσεων.

	Σύνολο Σαρώσεων
Μέγιστο Σφάλμα (mm)	± 6.4
Μέσο Σφάλμα (mm)	± 5.5
Ελάχιστη Επικάλυψη (%)	± 2.4

Πίνακας 4.5 : Συνολικά σφάλματα γεωαναφοράς σαρώσεων



Εικόνα 4.12: Αναφορά συνολικών σφαλμάτων σαρώσεων

Τέλος, πραγματοποιήθηκε εξαγωγή των γεωαναφερμένων νεφών σημείων, χωρίς να ληφθεί υπόψη η ομαδοποίηση που είχε γίνει, αλλά ανά σάρωση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε εργαλείο για τον περιορισμό του εύρους των σημείων κάθε

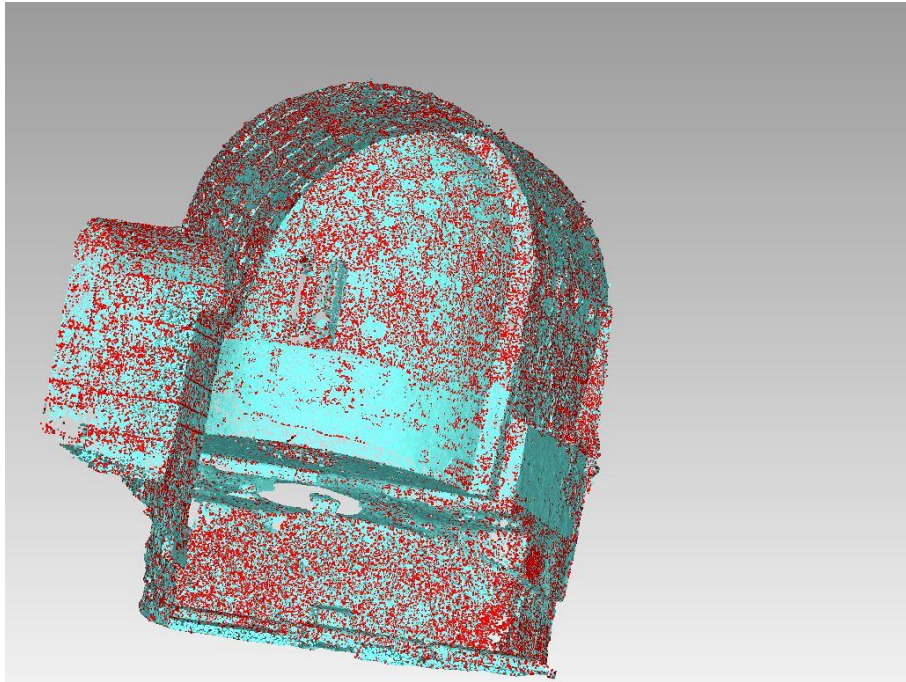
σάρωσης, ώστε να απεικονίζεται το αντικείμενο ενδιαφέροντος και τμήμα του περιβάλλοντα χώρου.

4.3. Επεξεργασία Νεφών Σημείων

Μετά τη συνένωση και γεωαναφορά των νεφών σημείων, ακολούθησε η επεξεργασία τους με τη χρήση του λογισμικού Geomagic Studio. Καθώς το πλήθος των σαρώσεων που πραγματοποιήθηκε ήταν μεγάλο, η διαχείριση του όγκου των δεδομένων του σαρωτή laser συνολικά, ήταν ανέφικτη δεδομένων των διαθέσιμων μέσων για την επεξεργασία τους. Επομένως, για κάθε σάρωση πραγματοποιήθηκε ένας πρώτος χειροκίνητος καθαρισμός, με σκοπό τη διαγραφή των πιο απομακρυσμένων σημείων κάθε σάρωσης. Καθώς υπήρχε μεγάλη επικάλυψη μεταξύ των σαρώσεων, ελέγχθηκε ποια από αυτές περιγράφει καλύτερα το αντικείμενο και τελικά, αυτή διατηρήθηκε. Στη συνέχεια, όπως και στο στάδιο της συνένωσης και της γεωαναφοράς, τα νέφη υπέστησαν ξεχωριστή διαχείριση για το εσωτερικό και το εξωτερικό του ναού. Έτσι, ενώθηκαν όλα τα νέφη που αφορούσαν στο εξωτερικό τμήμα του ναού και αντίστοιχα, στο εσωτερικό. Ωστόσο, ο όγκος των δεδομένων εξακολουθούσε να μην είναι διαχειρίσιμος και για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε το αντικείμενο να χωριστεί σε επιμέρους τμήματα, όπως συνέβη και στο στάδιο του προσανατολισμού των εικόνων.

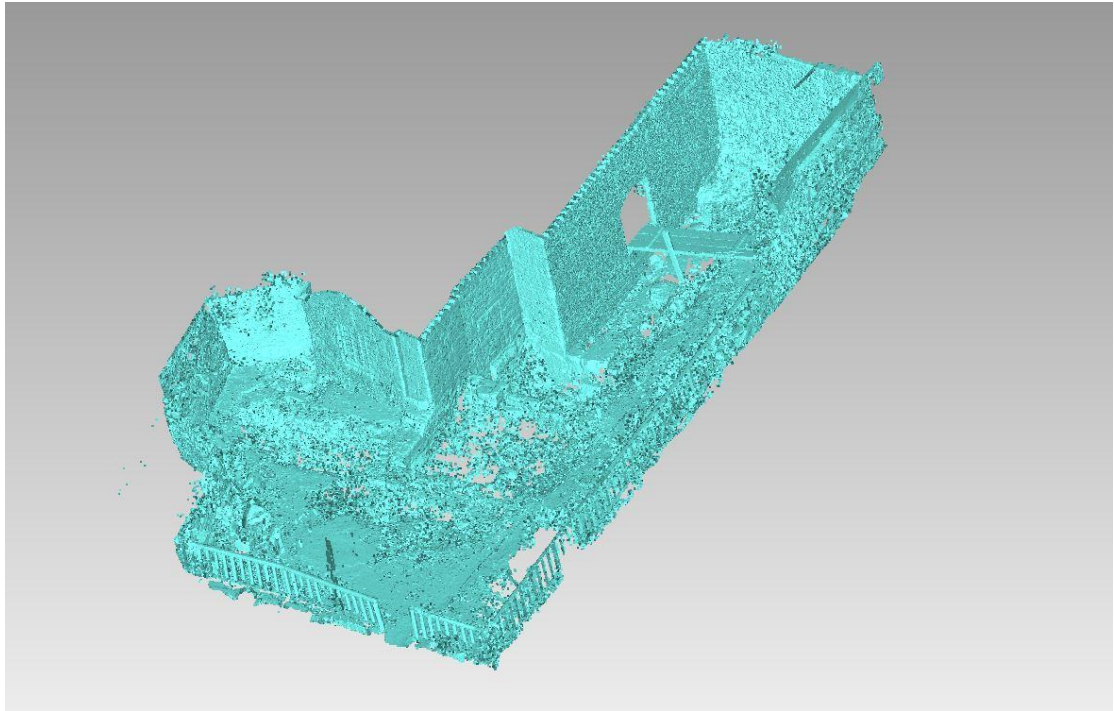
Ο καθαρισμός των επιμέρους τμημάτων που δημιουργήθηκαν συνεχίστηκε με τη χειροκίνητη διαγραφή του θορύβου, δηλαδή των περιττών στοιχείων όπως η βλάστηση, ο περιβάλλον χώρος του ναού, κινούμενα αντικείμενα κ.τ.λ. Το μεγαλύτερο μέρος του θορύβου αυτού, συναντήθηκε κυρίως στο εξωτερικό τμήμα του ναού.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν ειδικοί αλγόριθμοι φίλτρων καθαρισμού που παρέχονταν από το λογισμικό, ώστε να μειωθεί δραστικά ο όγκος των σημείων, αλλά και ο θόρυβος αυτών. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί αλγόριθμοι καθαρισμού των νεφών σημείων. Ο πρώτος αλγόριθμος, select outliers, επιλέγει όσα σημεία φαίνεται να μην ακολουθούν την επιφάνεια του αντικειμένου, ανάλογα με κάποιο ποσοστό ευαισθησίας που τίθεται από το χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τα σημεία που επιλέγει ο αλγόριθμος και τελικά να αποφασίσει για τη διαγραφή τους.

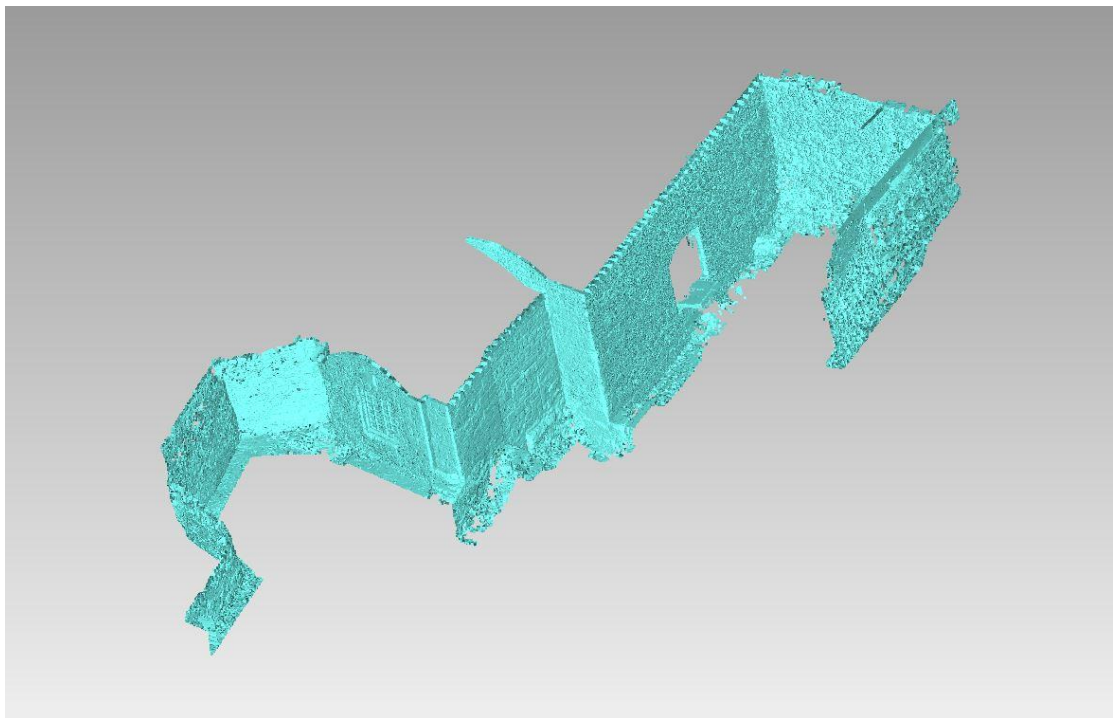


Εικόνα 4.13: Φίλτρο καθαρισμού *Select Outliers*

Ο δεύτερος αλγόριθμος, *reduce noise*, δεν αφαιρεί σημεία, αλλά μετακινεί τα ήδη υπάρχοντα ώστε να περιγράφουν το αντικείμενο με μεγαλύτερη πιστότητα. Ο τρίτος αλγόριθμος, *uniform*, χωρίζει το αντικείμενο σε ομάδες σημείων και για κάθε ομάδα διατηρεί το σημείο που περιγράφει καλύτερα το αντικείμενο. Σε αντίθεση με τον πρώτο αλγόριθμο, δεν επιτρέπει στο χρήστη να ελέγξει ποια σημεία πρόκειται να διαγραφούν. Σημειώνεται, ότι στα περισσότερα τμήματα νεφών σημείων οι παραπάνω αλγόριθμοι εφαρμόστηκαν περισσότερες από μία φορές, δεδομένου ότι ο όγκος των σημείων εξακολουθούσε να είναι μεγάλος. Με τον τρόπο αυτό, ο καθαρισμός ήταν πιο σταδιακός και ελεγχόμενος.



Εικόνα 4.14: Εξωτερικός τοίχος ναού, πριν τον αυτόματο και χειροκίνητο καθαρισμό



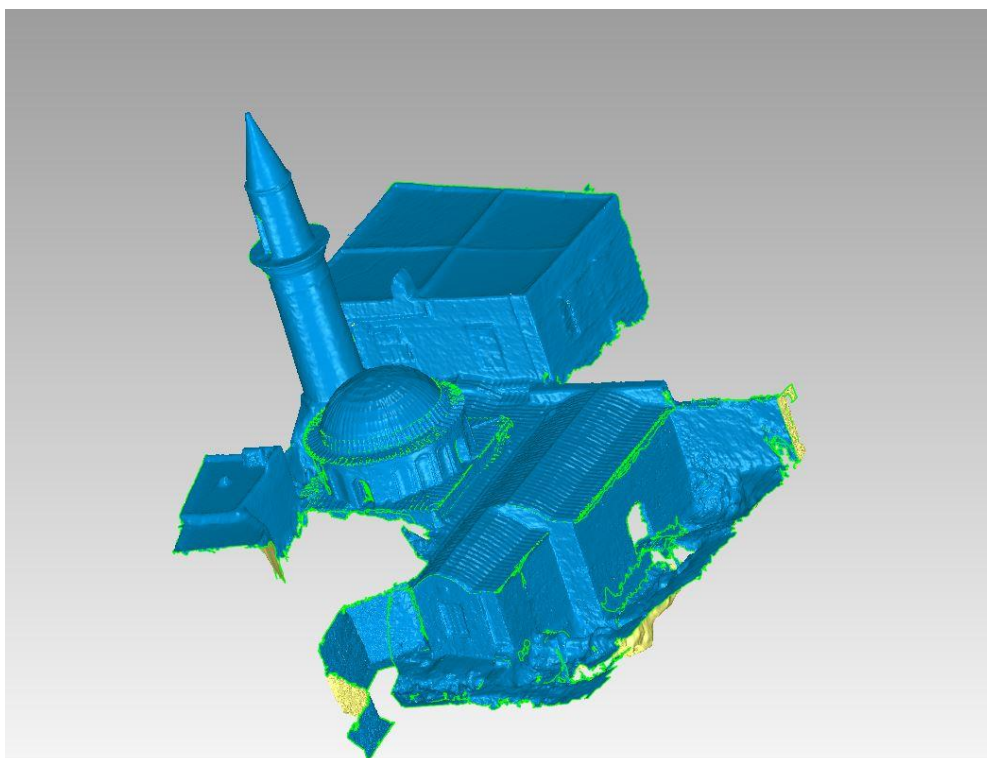
Εικόνα 4.15: Εξωτερικός τοίχος ναού, μετά τον αυτόματο και χειροκίνητο καθαρισμό

4.4. Δημιουργία Επιφάνειας

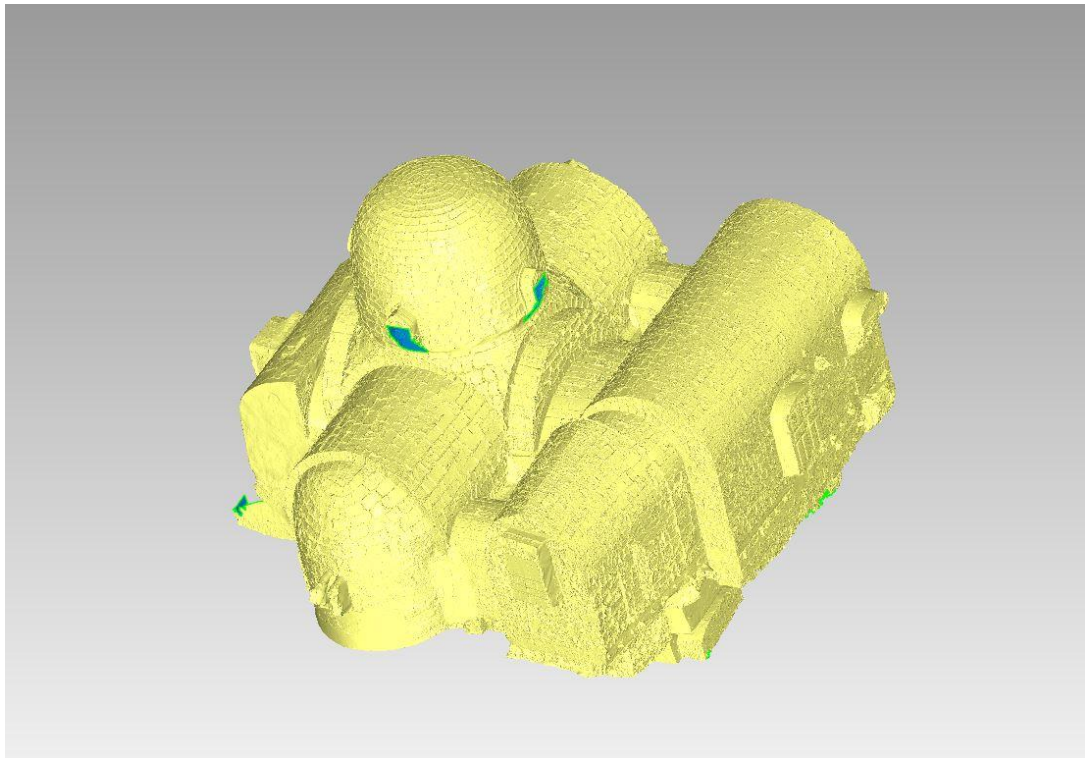
Ύστερα από τον καθαρισμό των νεφών σημείων, με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρείται η αρχική τους ακρίβεια και να είναι διαχειρίσιμα, ακολούθησε η δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας αφού πρώτα κατασκευάστηκε το πλέγμα, με τη μέθοδο των ακανόνιστων τριγώνων (Triangulated Irregular Network), παραμένοντας στο λογισμικό Geomagic Studio.

Όπως και στο προηγούμενο στάδιο, τα δεδομένα υπέστησαν επεξεργασία ανά χώρο και χρησιμοποιήθηκε η εντολή `warp` για τη δημιουργία της επιφάνειας, αφού πρώτα καθορίστηκαν ορισμένες παράμετροι. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων επιλέχθηκε μία εκ νέου μείωση του θορύβου του νέφους σημείων και η αυτόματη συμπλήρωση των μικρών ασυνεχειών της επιφάνειας. Υπήρχε η δυνατότητα καθορισμού και άλλων παραμέτρων για κάθε νέφος σημείων και τελικά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για κάθε νέφος, αλλάζοντας το συνδυασμό των παραμέτρων, ώστε να προκύψει η βέλτιστη επιφάνεια.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μεγάλος όγκος των δεδομένων των σαρώσεων που συλλέχθηκε, ο οποίος οφείλεται στη μεγάλη πυκνότητα των σημείων, δικαιολογείται από το γεγονός ότι έπρεπε να εξασφαλιστεί η πλήρης και λεπτομερής περιγραφή της μορφής του αντικειμένου. Στην απόφαση αυτή συνέβαλε και η δυσκολία εκ νέου επίσκεψης στο ναό για συμπληρωματικές μετρήσεις.



Εικόνα 4.16: Εξωτερική τρισδιάστατη επιφάνεια του ναού



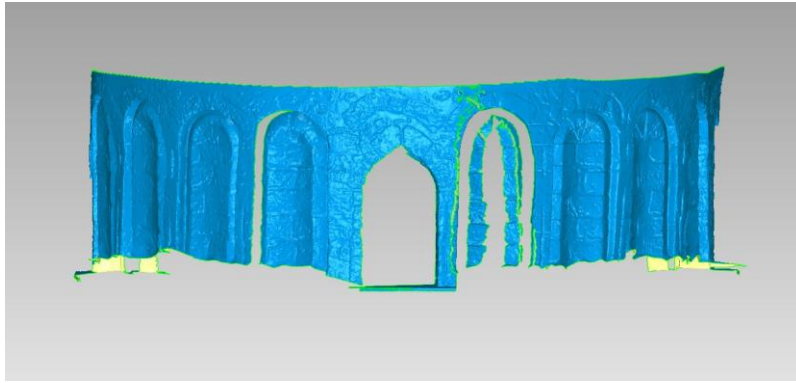
Εικόνα 4.17: Εσωτερική τρισδιάστατη επιφάνεια του ναού

4.4.1. Εξωτερικά του ναού

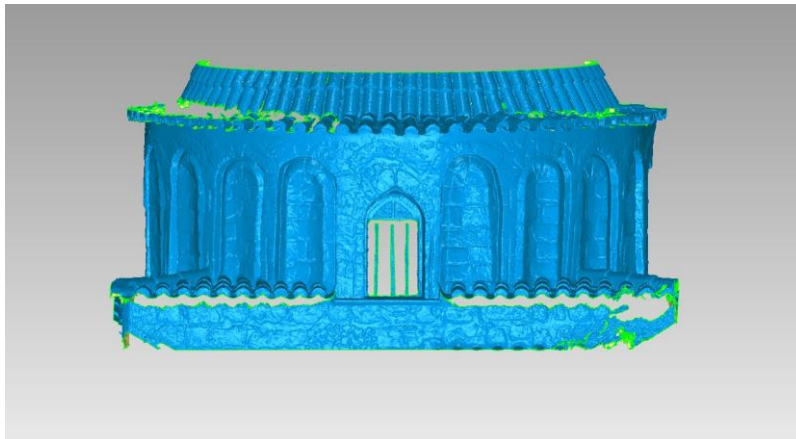
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το εξωτερικό τμήμα του ναού χωρίστηκε σε επιμέρους και πιο συγκεκριμένα στην αυλή, τον εξωτερικό τοίχο, το τύμπανο του τρούλου, τα κεραμίδια και το μιναρέ. Για καθένα από αυτά προέκυψε η τρισδιάστατη επιφάνεια από το νέφος σημείων του σαρωτή laser, σε πολλές περιπτώσεις όμως αυτή κρίθηκε ελλιπής, καθώς σε πολλές περιπτώσεις παρατηρούνταν μεγάλες ασυνέχειες στην επιφάνεια και έλλειψη πληροφορίας.

Αναλυτικά, η επιφάνεια που προέκυψε από το νέφος σημείων του σαρωτή laser για τον εξωτερικό τοίχο κρίθηκε ικανοποιητική, καθώς δεν παρουσίαζε μεγάλες ασυνέχειες. Αντίθετα, όλα τα υπόλοιπα τμήματα παρουσίαζαν προβλήματα και ασυνέχειες στην επιφάνεια και αποφασίστηκε η αντικατάστασή τους με τμήματα από το πυκνό νέφος σημείων που είχε προκύψει μετά τον προσανατολισμό των εικόνων.

Όσον αφορά στην αυλή επιλέχθηκε το πυκνό νέφος σημείων που προέκυψε αποκλειστικά από τις φωτογραφίες του UAV, όπως συνέβη και με τα κεραμίδια της στέγης και του τρούλου. Στην περίπτωση του τυμπάνου, η βέλτιστη επιφάνεια προέκυψε από τη χρήση του πυκνού νέφους σημείων των φωτογραφιών της μηχανής DSLR.

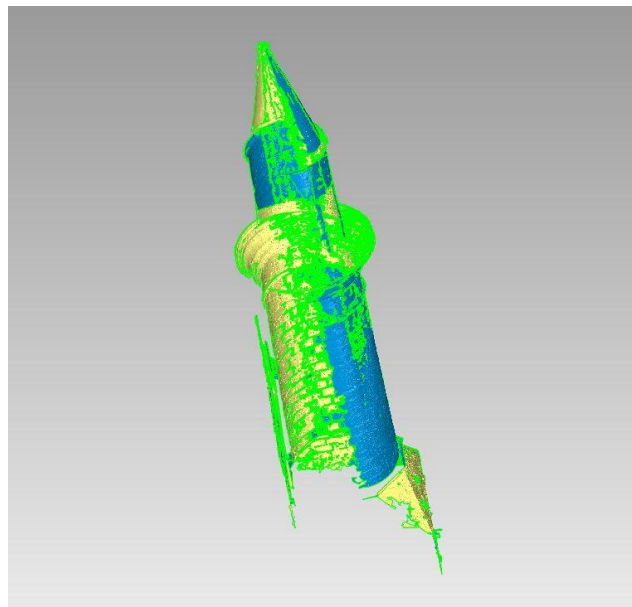


Εικόνα 4.18: Επιφάνεια τυμπάνου από σαρώσεις

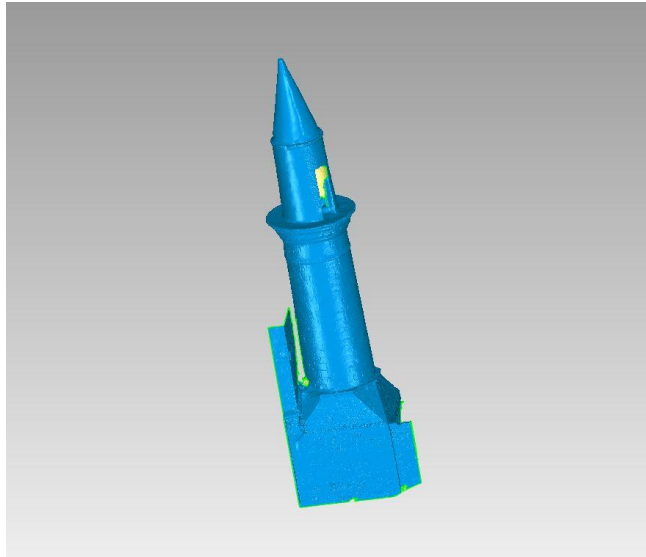


Εικόνα 4.19: Επιφάνεια τυμπάνου από φωτογραφίες μηχανής DSLR

Τέλος, η τρισδιάστατη επιφάνεια του μιναρέ προέκυψε από το συνδυασμό δύο διαφορετικών νεφών σημείων, ενός από τις φωτογραφίες του UAV και ενός από τις φωτογραφίες της μηχανής DSLR.

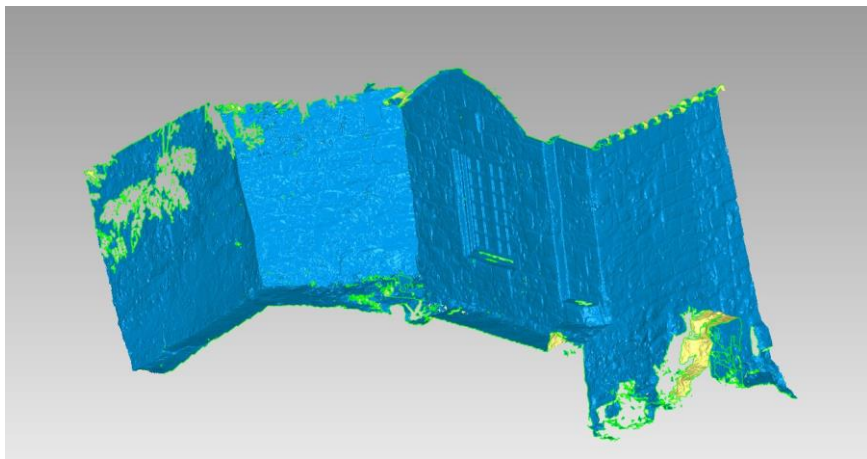


Εικόνα 4.20: Επιφάνεια μιναρέ από σαρώσεις

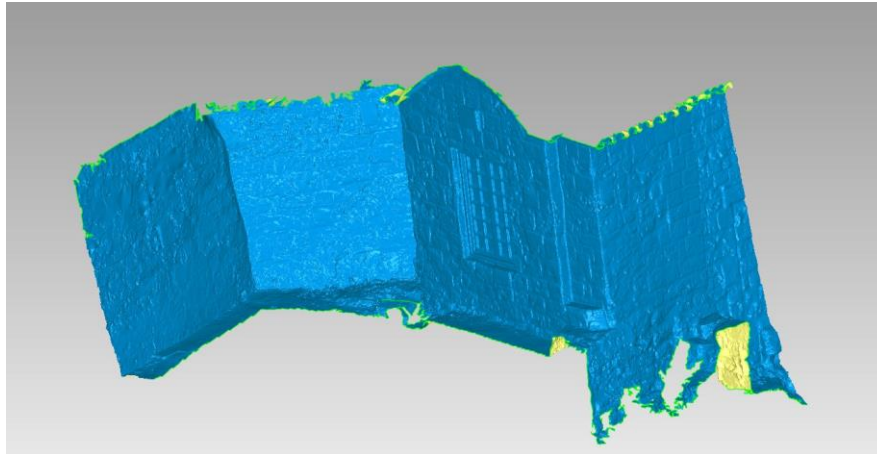


Εικόνα 4.21: Επιφάνεια μιναρέ από φωτογραφίες

Στη συνέχεια, κάθε επιφάνεια εξετάστηκε για τυχόν ατέλειες ή ασυνέχειες. Ένα από τα συχνότερα προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπιστούν ήταν η έλλειψη πληροφορίας στην επιφάνεια, η οποία δημιουργούσε κενά – τρύπες στο μοντέλο. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι περιοχές αυτές δεν σαρώθηκαν ή φωτογραφήθηκαν επαρκώς. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων του λογισμικού, κατά κύριο λόγο της εντολής *Fill Holes*, προσαρμόζοντας κάθε φορά την καμπυλότητα της νέας επιφάνειας (επίπεδη, μεσαία, μεγάλη) ανάλογα με τις απαιτήσεις του μοντέλου.



*Εικόνα 4.22: Τοίχος ναού πριν την εφαρμογή της εντολής *Fill Holes**



Εικόνα 4.23: Τοίχος ναού μετά την εφαρμογή της εντολής Fill Holes

Σε πολλές περιπτώσεις παρουσιάζονταν στην επιφάνεια ανεστραμμένα τρίγωνα ή τρίγωνα με λανθασμένη κλίση, τα οποία διαγράφονταν και σχεδιάζονταν εκ νέου με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω. Τα λανθασμένα αυτά τρίγωνα πιθανόν να οφείλονται στον εναπομείναντα θόρυβο πριν τη δημιουργία της επιφάνειας.

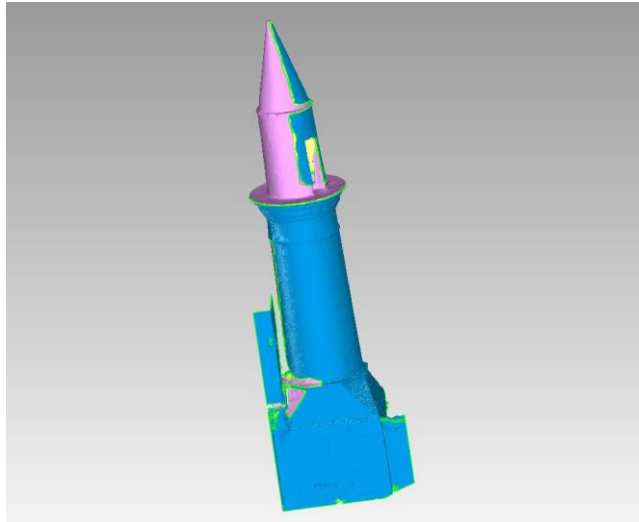


Εικόνα 4.24: Ανεστραμμένα τρίγωνα στην τρισδιάστατη επιφάνεια



Εικόνα 4.25: Διόρθωση ανεστραμμένων τριγώνων στην τρισδιάστατη επιφάνεια

Ένα τμήμα που παρουσίασε μία ιδιαιτερότητα ως προς τη επεξεργασία της επιφάνειάς του ήταν ο μιναρές. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε στο μεγαλύτερο μέρος του η επιφάνεια που προέκυψε από τη μηχανή DSLR, ενώ τα ανώτερα τμήματά του για τα οποία δεν υπήρχε ορατότητα αποδόθηκαν με την επιφάνεια που προέκυψε από τις φωτογραφίες του UAV. Προκειμένου να προκύψει μία ενιαία επιφάνεια, χρησιμοποιήθηκε ένα ακόμη εργαλείο της εντολής Fill Holes, με το οποίο δημιουργείται μία «γέφυρα» τριγώνων, ώστε να ενωθούν οι δύο επιφάνειες.

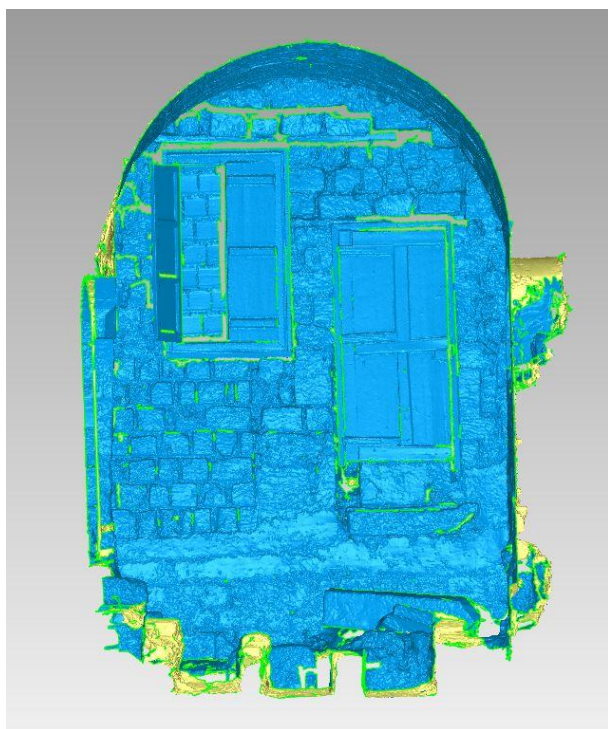


Εικόνα 4.26: Επιφάνεια μιναρέ από φωτογραφίες μηχανής DSLR και UAV

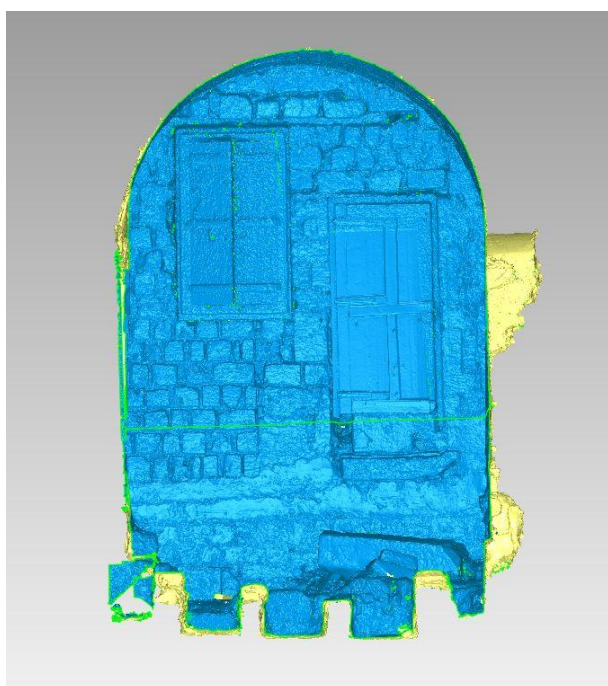
4.4.2. Εσωτερικά του ναού

Όπως συνέβη και στην περίπτωση του εξωτερικού τμήματος του ναού, έτσι και το εσωτερικό χωρίστηκε σε επιμέρους χώρους. Επομένως, για την καλύτερη διαχείριση των δεδομένων, η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για τον υπόγειο τάφο, το χώρο του ιερού, το βόρειο κλίτος, το νότιο κλίτος και το κεντρικό κλίτος.

Το αποτέλεσμα της τρισδιάστατης επιφάνειας, όπως αυτή προέκυψε από το νέφος σημείων του σαρωτή laser, κρίθηκε αρκετά ικανοποιητικό. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μεγάλη επικάλυψη μεταξύ των σαρώσεων και στο γεγονός ότι οι σαρώσεις περιορίζονταν μόνο στο εσωτερικό του ναού, χωρίς να καταγράφεται περιττή πληροφορία. Έτσι, σε ελάχιστες μόνο περιπτώσεις κρίθηκε αναγκαία η συμπλήρωση με τμήματα της επιφάνειας που προέκυψε από φωτογραφίες, όπως στην περίπτωση του δαπέδου του βόρειου και κεντρικού κλίτους, καθώς και στην τοιχοποιία του νότιου και του δυτικού κλίτους.



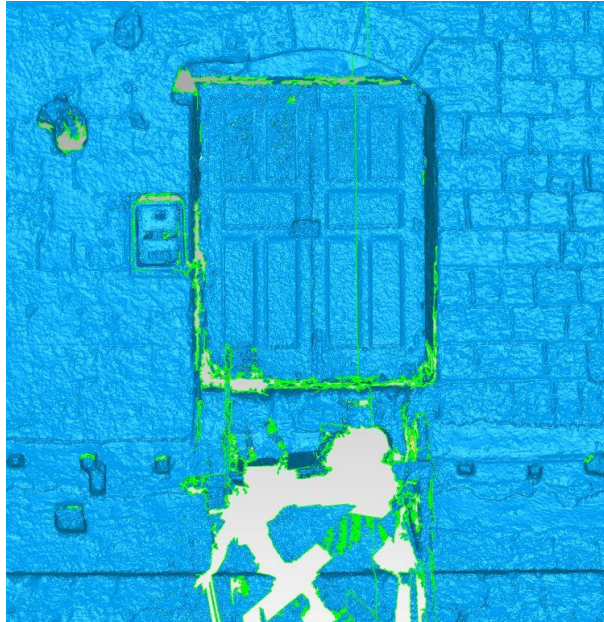
Εικόνα 4.27: Επιφάνεια τοιχοποιίας βόρειου κλίτους από σαρώσεις



Εικόνα 4.28: Επιφάνεια τοιχοποιίας βόρειου κλίτους από σαρώσεις και φωτογραφίες μηχανής DSLR

Οι ασυνέχειες της επιφάνειας και η έλλειψη πληροφορίας αντιμετωπίστηκαν με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε και για τον εξωτερικό χώρο του ναού. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης επικάλυψης μεταξύ των σαρώσεων και της δυσκολίας στην αφαίρεση του θορύβου στο στάδιο του νέφους σημείων, παρατηρήθηκαν πολλές περιπτώσεις με ανεστραμμένα τρίγωνα ή τρίγωνα με λανθασμένη κλίση και γενικότερα τρίγωνα που περιέγραφαν λανθασμένα την επιφάνεια. Για το σκοπό αυτό, προτιμήθηκε μία πιο

αυτοματοποιημένη μέθοδος διόρθωσης, σε σχέση με αυτή που εφαρμόστηκε στο εξωτερικό τμήμα του ναού, αυτή του Mesh Doctor. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το πρόγραμμα εντοπίζει και επιδιορθώνει περιπτώσεις όπου τα τρίγωνα επικαλύπτονται μεταξύ τους, μικρά κενά στην επιφάνεια, τρίγωνα που δημιουργούν έντονες ακμές σε σημεία που η επιφάνεια θα έπρεπε να είναι ομαλότερη, καθώς και μικρά τρίγωνα εκτός της επιφάνειας.

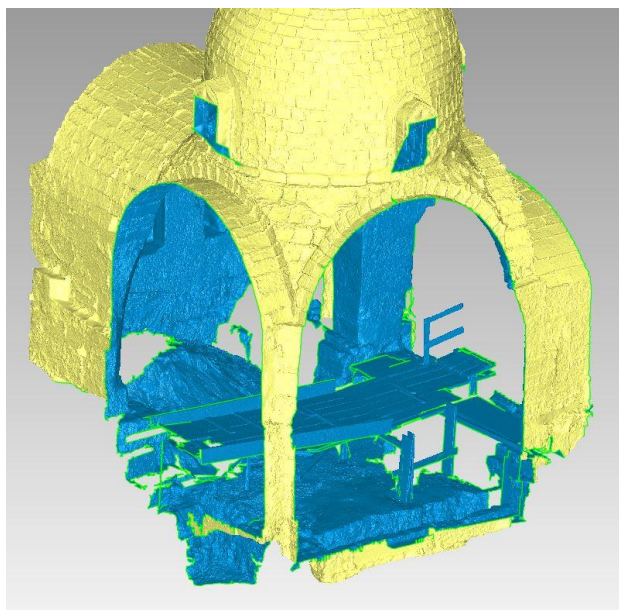


Εικόνα 4.29: Τμήμα της εισόδου του ναού πριν την εφαρμογή του Mesh Doctor

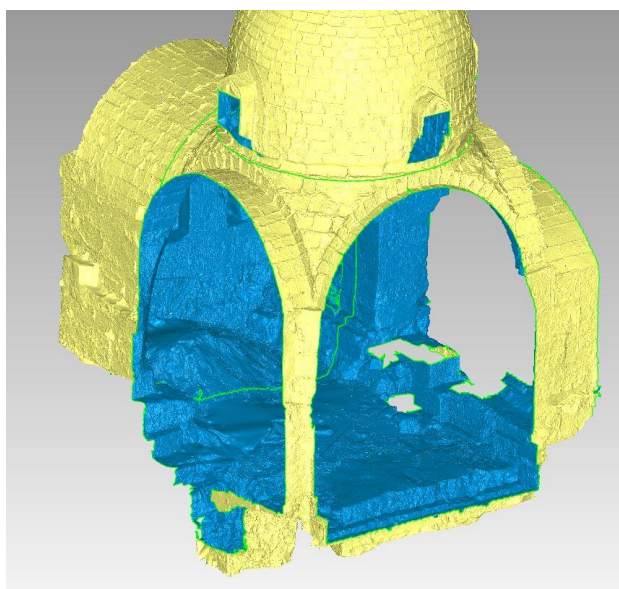


Εικόνα 4.30: Τμήμα της εισόδου του ναού μετά την εφαρμογή του Mesh Doctor

Αξίζει να σημειωθεί ότι εσωτερικά του ναού για τη διευκόλυνση της πρόσβασης εκτείνονταν ξύλινη ράμπα, η οποία δεν ήταν εφικτό να αφαιρεθεί κατά τη συλλογή των δεδομένων. Για το λόγο αυτό, η ράμπα φωτογραφήθηκε, όπως και τα δάπεδα κάτω από αυτή, ώστε να διασφαλιστεί ότι κατά την επεξεργασία δε θα υπάρξει έλλειψη πληροφορίας. Παρατηρώντας την επιφάνεια που προέκυψε τόσο από τις σαρώσεις, όσο και από τις φωτογραφίες, διαπιστώθηκε ότι ήταν εφικτή η αφαίρεση της ράμπας, ώστε να είναι εμφανής όλη η πληροφορία του δαπέδου του ναού, χωρίς αποκρύψεις.



Εικόνα 4.31: Επιφάνεια κεντρικού κλίτους πριν από την αφαίρεση της ξύλινης ράμπας



Εικόνα 4.32: Επιφάνεια κεντρικού κλίτους μετά από την αφαίρεση της ξύλινης ράμπας

Έτσι, προέκυψε η ολοκληρωμένη τρισδιάστατη επιφάνεια τόσο για τον εξωτερικό, όσο και για τον εσωτερικό χώρο του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, με βάση την οποία

θα προκύψει το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο υψηλής ανάλυσης, όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

5. 3D Οπτικοποίηση

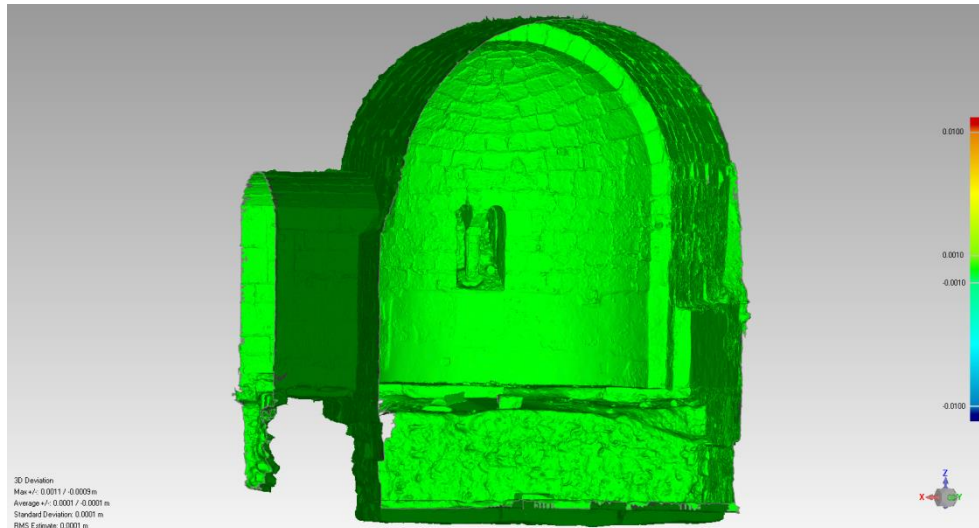
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν και μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για την περαιτέρω βελτίωση της τρισδιάστατης επιφάνειας του μοντέλου, τόσο για τον εσωτερικό, όσο και τον εξωτερικό χώρο του ναού. Ακόμη, περιγράφεται η διαδικασία με την οποία αποδόθηκε η σωστή υφή στο μοντέλο. Στη συνέχεια, παρατίθεται η σειρά ενεργειών με τις οποίες δημιουργήθηκαν το απλό και το στερεοσκοπικό βίντεο περιήγησης στο εσωτερικό και εξωτερικό του ναού. Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικά τα στάδια δημιουργίας της διαδραστικής περιήγησης στο μοντέλο με τη χρήση της πλατφόρμας 3DHOP για θέαση επιπλέον πληροφοριών για το ναό.

5.1. Επεξεργασία της τρισδιάστατης επιφάνειας

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η επιφάνεια που προέκυψε ήταν χωρισμένη εξωτερικά στην αυλή, τον εξωτερικό τοίχο, το τύμπανο του τρούλου, τα κεραμίδια και το μιναρέ. Εσωτερικά, η διαίρεση σε επιμέρους χώρους πραγματοποιήθηκε ανά κλίτος, ενώ η υπόγεια ταφική κρύπτη και ο τρούλος αντιμετωπίστηκαν ως ξεχωριστά αντικείμενα.

Προκειμένου να διευκολυνθεί η διαχείριση κάθε χώρου από τα λογισμικά που θα χρησιμοποιούνταν στη συνέχεια, αποφασίστηκε η μείωση του μεγέθους τους, χωρίς όμως ταυτόχρονη απώλεια της ανάλυσής τους. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση αυτή έγκειται στη μείωση των τριγώνων με τα οποία περιγράφεται η επιφάνεια, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η πυκνότητα των σημείων στις ακμές του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε τουλάχιστον δύο φορές για κάθε χώρο και η συνολική μείωση ήταν της τάξης του 50% επί του αρχικού αριθμού των τριγώνων.

Στη συνέχεια, με στόχο να εξασφαλιστεί η διατήρηση των λεπτομερειών για κάθε χώρο πραγματοποιήθηκε σύγκριση του αποτελέσματος της μείωσης των τριγώνων πριν και μετά την εφαρμογή της, χρησιμοποιώντας το εργαλείο στατιστικής ανάλυσης του λογισμικού Geomagic Studio, *Deviation*. Σε όλες τις περιπτώσεις διαπιστώθηκε ότι οι αποκλίσεις μεταξύ των μοντέλων ήταν πολύ μικρότερες από το αποδεκτό όριο των ± 0.01 m.



Εικόνα 5.1: Απόκλιση μεταξύ των μοντέλων πριν και μετά τη μείωση των τριγώνων

Επόμενο βήμα ήταν η συνένωση όλων των εσωτερικών χώρων του ναού, ώστε στη συνέχεια να γίνει ένας καλύτερος διαχωρισμός τους σε ακόμη μικρότερους χώρους, που θα συνέβαλλε στο στάδιο της απόδοσης υφής στο μοντέλο, που θα αναλυθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο. Όσον αφορά στον εξωτερικό χώρο, ο τρόπος με τον οποίο είχε διαχωριστεί σε επιμέρους τμήματα κρίθηκε ικανοποιητικός για το στάδιο απόδοσης της υφής και επομένως, δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω επεξεργασία της επιφάνειας.

5.2. Απόδοση υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο

Η απόδοση υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο του ναού, πραγματοποιείται με τη χρήση του λογισμικού Metashape της Agisoft, που αποτελεί νεότερη έκδοση του λογισμικού Photoscan Professional της ίδιας εταιρείας που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4. Ουσιαστικά, για κάθε χώρο, προκύπτει ένας χάρτης υφής (texture map) που συνδυάζει το τρισδιάστατο μοντέλο με τις φωτογραφίες, δίνοντάς του τη σωστή υφή. Δημιουργείται δηλαδή μία εικόνα, ως «ανάπτυγμα» της επιφάνειας με την υφή του μοντέλου, όπως αυτή προκύπτει από τις φωτογραφίες.



Εικόνα 5.2: Χάρτης υφής για το επάνω μέρος του ιερού, όπως προέκυψε από τις εικόνες

Κατά τη διαδικασία αυτή δίνεται η δυνατότητα επιλογής του τρόπου με τον οποίο θα προκύψει ο χάρτης υφής για την επιφάνεια. Στην πρώτη περίπτωση είναι δυνατή η εισαγωγή ολόκληρης της επιφάνειας και ο καθορισμός του αριθμού των χαρτών υφής που θα προκύψει, ενώ στη δεύτερη περίπτωση προτιμάται η εισαγωγή μικρότερων τμημάτων της επιφάνειας για τα οποία επιλέγεται η δημιουργία ενός χάρτη υφής. Και στις δύο περιπτώσεις η ανάλυση της εικόνας καθορίζεται από το χρήστη. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή προτιμήθηκε η χρήση μικρότερων επιφανειών, ώστε να μειωθεί ο απαιτούμενος χρόνος για την παραγωγή των τελικών προϊόντων και να διευκολυνθεί η διαχείρισή τους από τα προγράμματα περιήγησης. Η ανάλυση της εικόνας που επιλέγεται είναι 4096 x 4096 pixels, που είναι η καλύτερη και πιο εύκολα διαχειρίσιμη από την πλειονότητα των λογισμικών.

Η επιλογή του κατάλληλου τρόπου απόδοσης υφής στο μοντέλο, σε συνδυασμό με την επιλογή των κατάλληλων εικόνων συμβάλλει στην επίτευξη της καλύτερης οπτικής ποιότητας του τελικού μοντέλου.

Αρχικά, τα τρισδιάστατα μοντέλα για κάθε χώρο εσωτερικά και εξωτερικά του ναού, εισάγονται στο λογισμικό, σε συνέχεια των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν σε αυτό, στο στάδιο του προσανατολισμού των εικόνων. Για κάθε χώρο, ενεργοποιούνται οι εικόνες που τον απεικονίζουν με ευκρίνεια και όσο γίνεται με μικρότερες διαφορές στη ραδιομετρία, ενώ σε πολλές περιπτώσεις τοποθετούνται χειροκίνητα επιπλέον μάσκες, ώστε να χρησιμοποιούνται μόνο συγκεκριμένα τμήματα της εικόνας για την απόδοση υφής στο μοντέλο. Είναι σημαντική η επιλογή όσο το δυνατόν λιγότερων εικόνων, ώστε το αποτέλεσμα να είναι ευκρινέστερο και παράλληλα, ο χρόνος παραγωγής της εικόνας της υφής να μειωθεί.

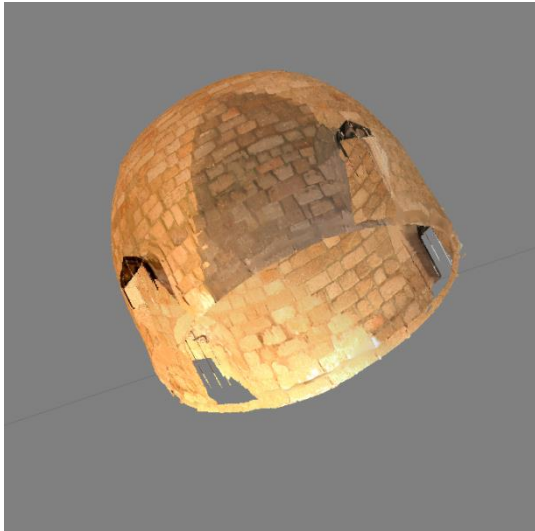
Στη συνέχεια, για τη δημιουργία της υφής είναι απαραίτητος ο καθορισμός ορισμένων παραμέτρων στο λογισμικό. Αρχικά, η παράμετρος mapping mode προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο το ανάπτυγμα της υφής του αντικειμένου θα συμπτυκνωθεί στην εικόνα της υφής. Χρησιμοποιείται η προεπιλογή *Generic*, κατά την οποία η γεωμετρία του αντικειμένου δεν είναι προκαθορισμένη, αλλά θεωρείται αυθαίρετη, με το λογισμικό να προσπαθεί να δημιουργήσει όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη υφή για το αντικείμενο. Στη συνέχεια, η παράμετρος blending mode καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί ο συνδυασμός των τιμών των εικονοστοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της υφής. Για την παράμετρο αυτή χρησιμοποιείται η επιλογή *Mosaic*, κατά την οποία ακολουθείται μία διαδικασία δύο βημάτων. Στο πρώτο βήμα, πραγματοποιείται ανάμειξη των περιοχών χαμηλής συχνότητας των εικόνων, συνήθως χρησιμοποιώντας μία σταθμισμένη μέση τιμή για το εικονοστοιχείο, η στάθμη της οποίας προκύπτει από ένα σύνολο παραμέτρων, μεταξύ των οποίων και την απόσταση του εν λόγω εικονοστοιχείου από το κέντρο της εικόνας. Στο δεύτερο βήμα, οι περιοχές υψηλής συχνότητας, στις οποίες απαντώνται και οι λεπτομέρειες του αντικειμένου, επιλέγονται από μία μόνο εικόνα, η οποία παρουσιάζει την περιοχή ενδιαφέροντος με υψηλή ανάλυση και βρίσκεται σε σχεδόν ορθή προβολή στην εικόνα. Ουσιαστικά, με την επιλογή *Mosaic*, χρησιμοποιείται το εστιασμένο τμήμα στο κέντρο της εικόνας, το οποίο προβάλλεται σχεδόν ορθά για την απόδοση της υφής της συγκεκριμένης περιοχής. Ακόμη, καθορίζεται η ανάλυση και ο αριθμός των εικόνων στις οποίες θα απεικονιστεί ο χάρτης της υφής (Texture size/count), που όπως προαναφέρθηκε είναι 4096 px/1. Τέλος, ενεργοποιούνται οι παράμετροι Ghosting filter και Hole filling. Με την πρώτη παράμετρο, αποφεύγεται η απεικόνιση διπλών ειδώλων στην επιφάνεια, ενώ με τη δεύτερη, αποφεύγονται ασυνέχειες στην υφή και δημιουργία θορύβου σε περιοχές με περίπλοκη επιφάνεια που δημιουργεί σκιάσεις σε ορισμένα τμήματα του μοντέλου.

(14)

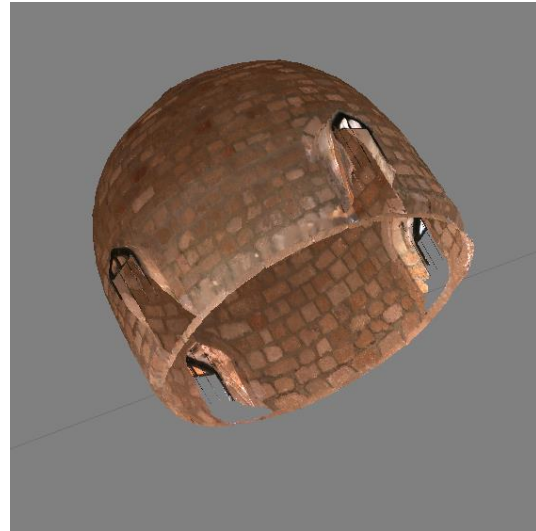
Η διαδικασία παραγωγής της υφής για καθένα από τους χώρους του ναού, χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί περισσότερες φορές σε πολλές περιπτώσεις, καθώς δεν παρέχεται από το πρόγραμμα η δυνατότητα διόρθωσης μεμονωμένων τμημάτων πάνω στο μοντέλο. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή αρκετών δοκιμών, ώστε να γίνει η επιλογή των καλύτερων εικόνων για την απόδοση της υφής σε κάθε τμήμα του μοντέλου.

Αξίζει να σημειωθεί, πως σε πολλές περιπτώσεις χρειάστηκε να εφαρμοστεί βαθμονόμηση των χρωμάτων πριν τη διαδικασία παραγωγής της υφής, ώστε να αποφευχθούν οι ανομοιομορφίες που ίσως υπήρχαν κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης όσον αφορά στη φωτεινότητα και την ισορροπία λευκού.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της βαθμονόμησης των χρωμάτων αποτελούν οι εικόνες του τρούλου του ναού, οι οποίες, όπως αναφέρθηκε και στο τρίτο κεφάλαιο, διαφέρουν σημαντικά από τις υπόλοιπες εικόνες, όσον αφορά στη φωτεινότητα, λόγω της δυσκολίας συντονισμού των studio flash και της μηχανής.



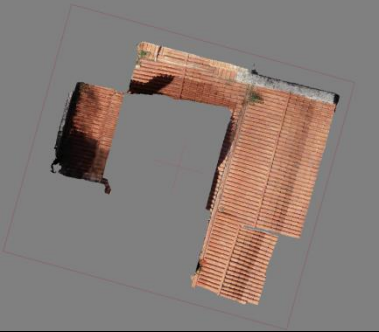

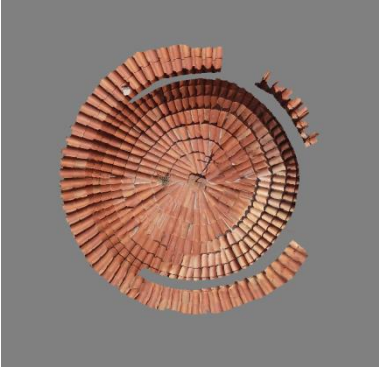
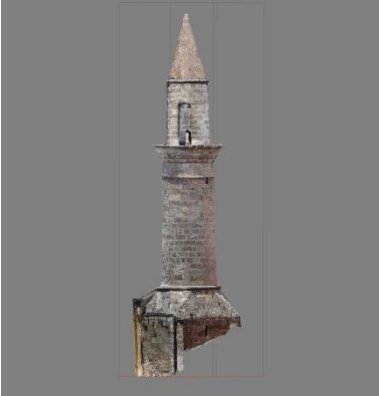

Εικόνα 5.3: Υφή του μοντέλου του τρούλου πριν τη βαθμονόμηση των χρωμάτων






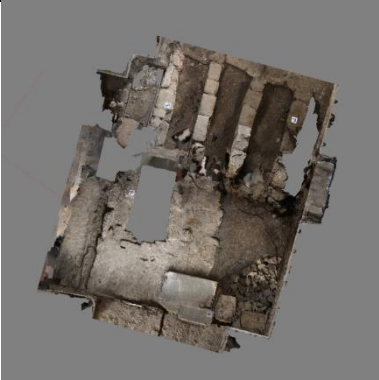

Εικόνα 5.4: Υφή του μοντέλου του τρούλου μετά τη βαθμονόμηση των χρωμάτων






Τελικά, προέκυψαν 23 εικόνες υφής, μία για καθένα από τα επιμέρους τμήματα στα οποία διαιρέθηκε ο ναός, 7 για τα εξωτερικά τμήματα και 16 για τα εσωτερικά, οι οποίες εξάγονται σε μορφή .png και συνοδεύονται από ένα αρχείο .mtl, το οποίο συνδέει καθεμιά από αυτές με το μοντέλο .obj του χώρου που απεικονίζει. Σε πολλές περιπτώσεις, κρίθηκε απαραίτητη η περαιτέρω επεξεργασία των εικόνων της υφής, διαδικασία που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

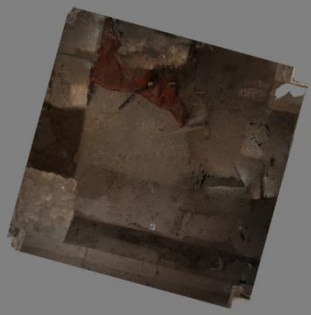
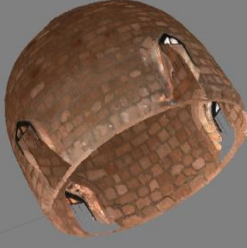


Τμήματα εξωτερικά του ναού	Τρισδιάστατο μοντέλο με υφή
Αυλή	
Τοίχος	

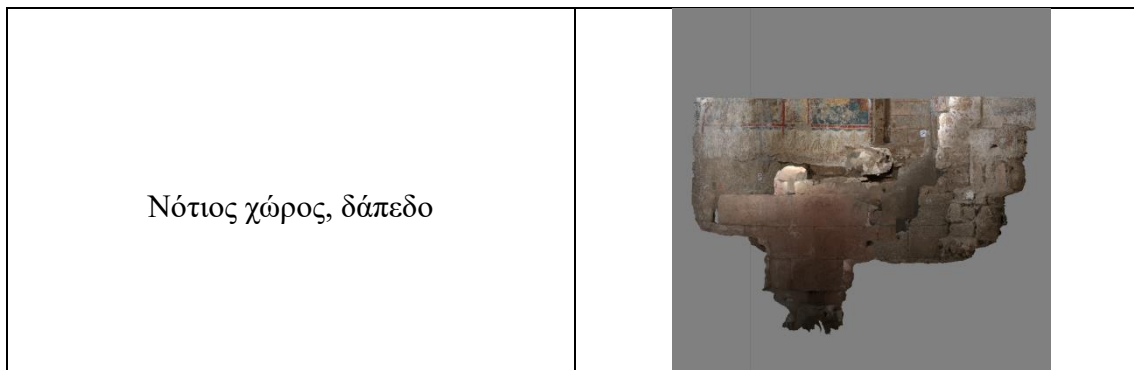
Κεραμίδια			
Τύμπανο			
Κεραμίδια τρούλου			
Μιναρές			
Παρακείμενο κτίριο			

Πίνακας 5.1: Επιμέρους τμήματα, εξωτερικά του ναού και το μοντέλο με υφή για καθένα από αυτά

Τμήματα εσωτερικά του ναού	Τρισδιάστατο μοντέλο με υφή
ΒΔ χώρος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή	
ΒΔ χώρος, δάπεδο	
Είσοδος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή	
Είσοδος, δάπεδο	
Υπόγεια ταφική κρύπτη	

<p>ΒΑ χώρος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>			
<p>ΒΑ χώρος, δάπεδο</p>			
<p>Ιερό, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>			
<p>Ιερό, δάπεδο</p>			
<p>Κέντρο, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>			

<p>Κέντρο, δάπεδο</p>			
<p>Τρούλος</p>			
<p>Δυτικός Χώρος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>			
<p>Δυτικός Χώρος, δάπεδο</p>			
<p>Νότιος χώρος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>			



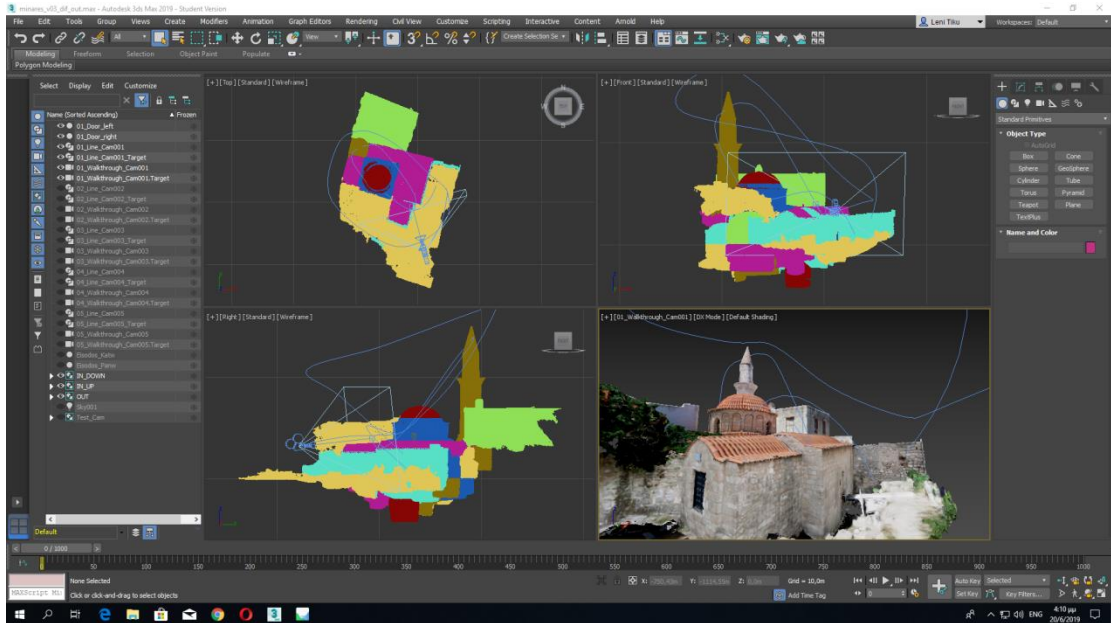
Πίνακας 5.2: Επιμέρους τμήματα, εσωτερικά του ναού και το μοντέλο με υφή για καθένα από αυτά

5.3. Δημιουργία βίντεο εικονικής περιήγησης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, επιλέχθηκαν τρεις τρόποι για την παρουσίαση και ανάδειξη του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, μέσω του τρισδιάστατου ψηφιακού φωτορεαλιστικού μοντέλου του. Οι δύο πρώτοι τρόποι περιγράφονται στο παρόν υποκεφάλαιο και αφορούν στη δημιουργία των βίντεο περιήγησης στο ναό του Αγίου Σπυρίδωνος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό 3DS Max της Autodesk.

Αρχικά, όλα τα τμήματα του τρισδιάστατου μοντέλου, έχοντας τη σωστή υφή, εισήχθησαν στο περιβάλλον του λογισμικού. Αποφασίστηκε να δημιουργηθούν δύο βίντεο, ένα για το εσωτερικό και ένα για το εξωτερικό του ναού. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν αντίστοιχα δύο κάμερες και ορίστηκε ο αριθμός των καρέ καταγραφής, καθορίζοντας, ουσιαστικά τη διάρκεια κάθε βίντεο, αλλά και την ταχύτητα με την οποία κινείται η κάμερα. Έτσι, για την πρώτη που θα «κατέγραφε» το βίντεο εξωτερικά του ναού, επιλέχθηκαν τα 1000 καρέ, τα οποία αντιστοιχούν σε βίντεο διάρκειας 33 δευτερολέπτων και για τη δεύτερη, η οποία θα χρησίμευε για την καταγραφή των εσωτερικών χώρων του ναού, επιλέχθηκαν 1500 καρέ, που αντιστοιχούν σε περίπου 50 δευτερόλεπτα. Και στις δύο περιπτώσεις, η ταχύτητα των βίντεο ορίστηκε στα 30 fps (frames per second).

Επιπλέον, οι κάμερες ρυθμίστηκαν να είναι τύπου targeted, ώστε να μπορεί να καθοριστεί ο στόχος της κάμερας στο κέντρο του αντικειμένου. Έτσι, έπρεπε να σχεδιαστούν δύο διαδρομές για καθεμιά από αυτές, με την πρώτη να είναι η διαδρομή που θα ακολουθήσει η κάμερα και η δεύτερη να καθορίζει τη διεύθυνση και τον προσανατολισμό του οπτικού άξονα της κάμερας.



Εικόνα 5.5: Περιβάλλον λογισμικού 3DS Max και προβολή των διαδρομών της πρώτης κάμερας

Τέλος, καθορίστηκε ο φακός για κάθε κάμερα και κατά συνέπεια το πόσο μεγάλο μέρος του αντικειμένου θα απεικονιζόταν σε κάθε frame του βίντεο. Μετά από σειρά δοκιμών και κυρίως με κριτήριο την αρτιότερη προβολή των εσωτερικών χώρων του ναού, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ο φακός των 8 mm, με εύρος (Field of View) 100° και για τις δύο κάμερες.

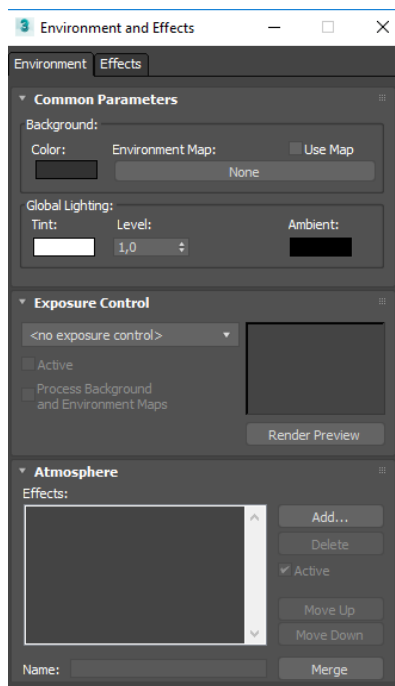
Για την ομαλότερη μετάβαση από τη μία κάμερα στην άλλη, οι τελευταίοι κόμβοι των διαδρομών της πρώτης κάμερας, αποτέλεσαν την αφετηρία των διαδρομών της δεύτερης.

Τελικά, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία του Rendering για καθεμία από τις κάμερες, με την οποία δημιουργείται το τελικό βίντεο, φωτίζοντας κατάλληλα το αντικείμενο, καθορίζοντας το περιβάλλον του και ενεργοποιώντας τις κατάλληλες κινήσεις (animation). Μία από αυτές τις κινήσεις ήταν και το άνοιγμα της πόρτας του ναού, κατά την είσοδο της κάμερας σε αυτόν, με τη δημιουργία των κατάλληλων κινήσεων – κλειδιών και την τοποθέτησή τους σε όσα καρέ του βίντεο είναι απαραίτητο, για το συγχρονισμό της κίνησης της πόρτας με την κίνηση της κάμερας.

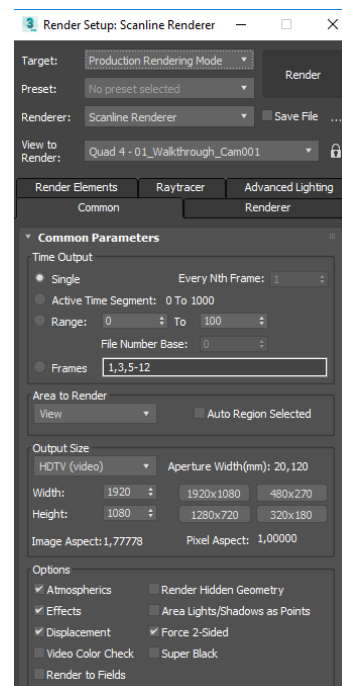


Εικόνα 5.6: Animation πόρτας

Αξίζει να σημειωθεί πώς το βίντεο έχει ανάλυση 1920 x 1080 px και εξήχθη σε μορφή .avi, χωρίς συμπίεση, ώστε να μην υποβαθμιστεί η ευκρίνεια και η ποιότητα της υφής του μοντέλου.

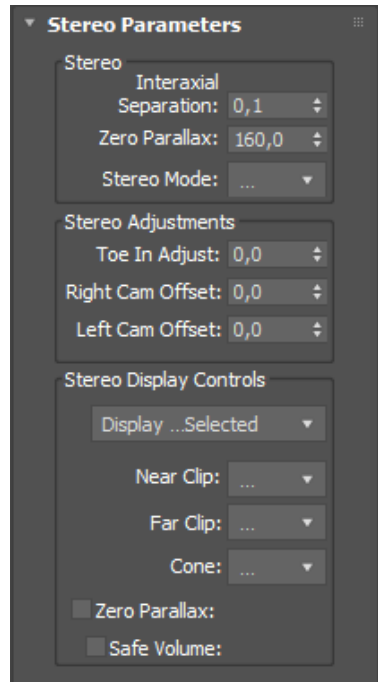


Εικόνα 5.7: Παράμετροι περιβάλλοντος και εφέ βίντεο



Εικόνα 5.8: Παράμετροι Render

Αντίστοιχα, δημιουργήθηκε το στερεοσκοπικό βίντεο εικονικής περιήγησης, χρησιμοποιώντας τις κάμερες που δημιουργήθηκαν για το προηγούμενο βίντεο. Όλες οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω και αφορούν στον αριθμό των καρτέ, στο φακό της μηχανής κ.ά., παρέμειναν ίδιες. Πιο συγκεκριμένα, προστέθηκαν δύο νέες βοηθητικές κάμερες για καθεμιά από τις ήδη δημιουργημένες κάμερες. Αυτές θα διευκολύνουν την στερεοσκοπική αντίληψη του νέου βίντεο. Από αυτές, η μία κάμερα στα αριστερά αντιπροσωπεύει την όραση του αριστερού ματιού και η άλλη στα δεξιά αντιπροσωπεύει την όραση του δεξιού ματιού.



Εικόνα 5.9: Παράμετροι στερεοσκοπικής κάμερας

Για τη δημιουργία του στερεοσκοπικού βίντεο πραγματοποιήθηκε, όπως και νωρίτερα, η διαδικασία του Rendering, με τη διαφορά ότι έγινε ξεχωριστά για την αριστερή και τη δεξιά κάμερα. Για την ένωση των δύο καμερών και τη δημιουργία του τελικού στερεοσκοπικού βίντεο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό After Effects CC της Adobe, επιλέγοντας την απεικόνισή του με τη μέθοδο Blue Red LR.

Τελικά, δημιουργήθηκαν δύο βίντεο εικονικής περιήγησης (ένα εκ των οποίων στερεοσκοπικό), διάρκειας ενός λεπτού και 24 δευτερολέπτων το καθένα, ώστε να παρουσιαστούν οι εξωτερικοί και εσωτερικοί χώροι του ναού.

5.4. Δημιουργία διαδραστικής περιήγησης στην πλατφόρμα 3DHOP

Ο τρίτος και τελευταίος τρόπος που επιλέχθηκε για την παρουσίαση και ανάδειξη του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος ήταν η διαδραστική περιήγηση στο τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο μέσω της πλατφόρμας 3DHOP (3D Heritage Online Presenter).

Πρόκειται για μία πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα για τη δημιουργία διαδραστικών παρουσιάσεων τρισδιάστατων μοντέλων υψηλής ανάλυσης, προσανατολισμένα στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς.⁽¹⁵⁾ Η πλατφόρμα του 3DHOP παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης των τρισδιάστατων μοντέλων σε μια απλή ιστοσελίδα, τροποποιώντας τον κώδικα HTML με την προσθήκη επιπλέον HTML και JavaScript στοιχείων. Για την παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε τα αρχεία να φορτώνουν τοπικά, παρακάμπτοντας τον διακομιστή και χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός διακομιστή ιστού. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει το πρόγραμμα περιήγησης να αναγκαστεί να αποδεχθεί τα τοπικά αρχεία, προσθέτοντας την παράμετρο "--allow-

file-access-from-files” στον προορισμό της συντόμευσης του προγράμματος περιήγησης Google Chrome.

Η πλατφόρμα 3DHOP μπορεί να διαχειριστεί τρεις διαφορετικούς τύπους γεωμετριών: μικρά σε μέγεθος τρισδιάστατα μοντέλα (μικρότερα του 1 MB), τρισδιάστατα μοντέλα μεγάλου μεγέθους (έως 100 εκατομμύρια τρίγωνα) και νέφη σημείων, επίσης έως 100 εκατομμύρια σημεία. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο που δημιουργήθηκε, το οποίο έπρεπε πρώτα να προετοιμαστεί κατάλληλα, ώστε να εισαχθεί στην πλατφόρμα.⁽¹⁶⁾

Για το σκοπό αυτό τα επιμέρους τρισδιάστατα μοντέλα του ναού μετατράπηκαν από τη μορφή .obj, στη μορφή .ply και στη συνέχεια στη μορφή Nexus (.nxs). Το Nexus είναι μία συλλογή εργαλείων απεικόνισης τρισδιάστατων μοντέλων μεγάλου μεγέθους σε OpenGL (C++ και JavaScript), αποθηκεύοντας την υφή του μοντέλου εσωτερικά.⁽¹⁷⁾ Τα αρχεία .nxs μπορούν, στη συνέχεια, να συμπιεστούν στη μορφή .nxz για καλύτερη διαχείριση, ωστόσο η μη συμπιεσμένη μορφή .nxs παρουσιάζει καλύτερες επιδόσεις στις εργασίες τοπικής χρήσης, όπως είναι και η παρούσα.

Αξίζει να σημειωθεί πως η γεωαναφορά των μοντέλων παραμένει αποθηκευμένη σε αυτά και καθώς το 3DHOP χρησιμοποιεί σύστημα αναφοράς στο οποίο οι άξονες X, Y και Z ταυτίζονται με αυτούς του συστήματος των μοντέλων, δεν χρειάζεται κάποια επιπλέον αλλαγή όσον αφορά στη θέση, τη στροφή και την κλίμακα των μοντέλων.

Για τη δημιουργία του περιβάλλοντος της διαδραστικής περιήγησης στην πλατφόρμα 3DHOP, χρησιμοποιήθηκαν μέρη του κώδικα ορισμένων εφαρμογών που δίνονται ως παραδείγματα/tutorial στον ιστότοπο του 3DHOP. Ωστόσο, χρειάστηκαν τροποποιήσεις στον κώδικα HTML, με την προσθήκη επιπλέον στοιχείων JavaScript.

Αρχικά, εισήχθησαν τα επιμέρους τμήματα του μοντέλου, τα οποία ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με τη θέση τους. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε η γραμμή εργαλείων της διαδραστικής περιήγησης ώστε να περιέχει τα εξής στοιχεία:

- Την επιλογή *Home*, για επιστροφή στην αρχική οθόνη της πλατφόρμας
- Τις επιλογές *Zoom in* και *Zoom out* για περιήγηση σε πιο κοντινή ή μακρινή απόσταση από το μοντέλο
- Τις επιλογές *Lighting* και *Light Control*, με τις οποίες δίνεται η δυνατότητα χρήσης επιπλέον φωτισμού και ρύθμισης της θέσης του
- Την επιλογή *Hotspots*, ώστε να ενεργοποιούνται οι θέσεις ενδιαφέροντος
- Το εργαλείο *Measure*, για την πραγματοποίηση μετρήσεων πάνω στο μοντέλο (σε m)
- Το εργαλείο *Pick Point*, για εμφάνιση των συντεταγμένων οποιουδήποτε σημείου του ναού στο τοπικό αυθαίρετο σύστημα που ορίστηκε κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων
- Την επιλογή *Full Screen*, για περιήγηση σε πλήρη οθόνη

- Την επιλογή *Help*, για την εμφάνιση οδηγιών αναφορικά με τους χειρισμούς που χρησιμοποιούνται για την περιήγηση.

Όσον αφορά στην επιλογή *Hotspots*, τοποθετήθηκαν επτά σφαίρες σε διάφορα σημεία ενδιαφέροντος του ναού (Πίνακας 5.3). Η επιλογή καθεμιάς από αυτές τις σφαίρες συνεπάγεται την εμφάνιση ενός πίνακα με μία φωτογραφία που απεικονίζει το συγκεκριμένο τμήμα του ναού, καθώς και πληροφορίες για την ιστορία και την αρχιτεκτονική του ναού. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα επιπλέον αρχείο JavaScript, το οποίο περιείχε τις απαραίτητες συναρτήσεις για το συσχετισμό κάθε hotspot με την εμφάνιση του αντίστοιχου πίνακα. Χρησιμοποιώντας το ίδιο JavaScript αρχείο, πραγματοποιήθηκε και ο συσχετισμός της επιλογής *Help* με την εμφάνιση του πίνακα οδηγιών περιήγησης.

Σημεία ενδιαφέροντος	X(m)	Y(m)	Z(m)
1. Περίβολος ναού	99.40	102.42	102.00
2. Τύμπανο τρούλου	93.47	112.97	107.50
3. Μιναρές	90.62	118.91	115.50
4. Τρούλος	93.77	114.16	103.00
5. Ιερό	92.35	109.11	100.00
6. Αγιογραφίες νότιου κλίτους	89.55	114.03	99.00
7. Υπόγεια ταφική κρύπτη	97.62	113.05	99.00

Πίνακας 5.3: Συντεταγμένες σημείων ενδιαφέροντος (hotspot)

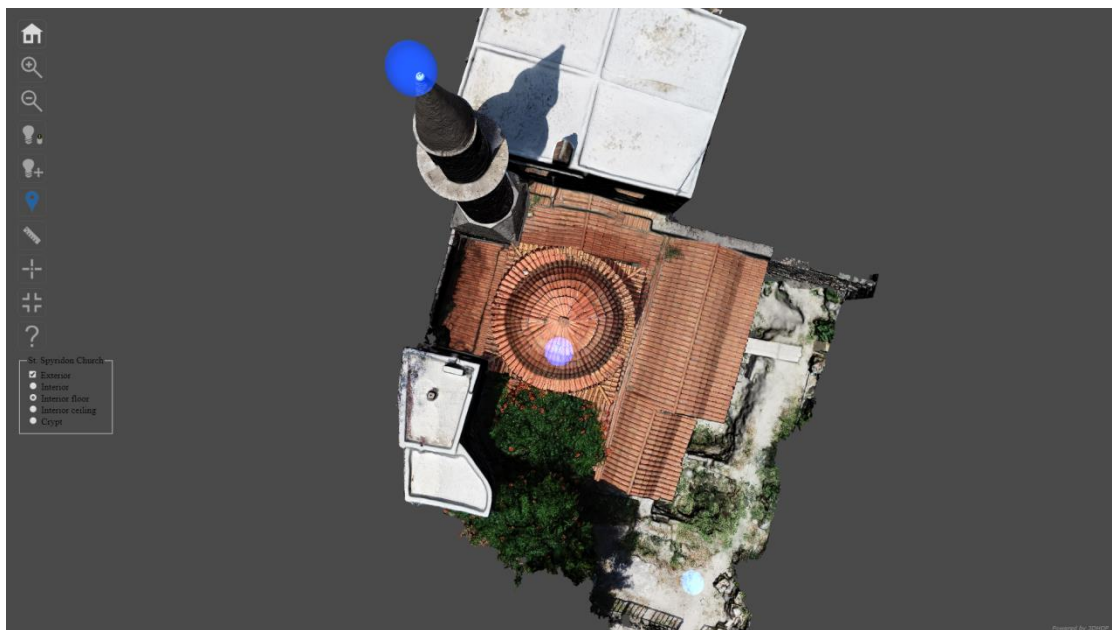
Επίσης, δημιουργήθηκε ένα ακόμη μενού με το οποίο δίνεται η δυνατότητα εμφάνισης μόνο συγκεκριμένων τμημάτων του ναού. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει δυνατότητα απόκρυψης των εξωτερικών τμημάτων του ναού, ώστε να είναι εμφανείς μόνο οι εσωτερικοί χώροι, ενώ και για τους εσωτερικούς χώρους υπάρχει η επιλογή εμφάνισης μόνο των δαπέδων ή της οροφής. Επιπλέον, δίνεται και η επιλογή εμφάνισης μόνο της ταφικής κρύπτης.

Για την περιήγηση στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Sphere Trackball, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα για πλήρη και ελεύθερη περιστροφή και μετακίνηση σε όλους τους άξονες και για το οποίο ορίζονται μόνο δύο παράμετροι, η αρχική απόσταση του trackball από το αντικείμενο και η ελάχιστη και μέγιστη απόσταση προβολής του αντικειμένου. Η θέση του μπορεί να αλλάξει κάνοντας διπλό κλικ σε οποιοδήποτε σημείο του μοντέλου, ενώ με πατημένη τη ροδέλα του ποντικιού είναι δυνατή η μετακίνηση, χωρίς εναλλαγή του ζουμ.

Τελικά, δημιουργήθηκε ένα αρχείο HTML για τη διαδραστική περιήγηση στην πλατφόρμα 3DHOP, συνοδευόμενο από οκτώ αρχεία JavaScript και δύο αρχεία .css. Η μορφή της ιστοσελίδας παρουσιάζεται και στις παρακάτω εικόνες.



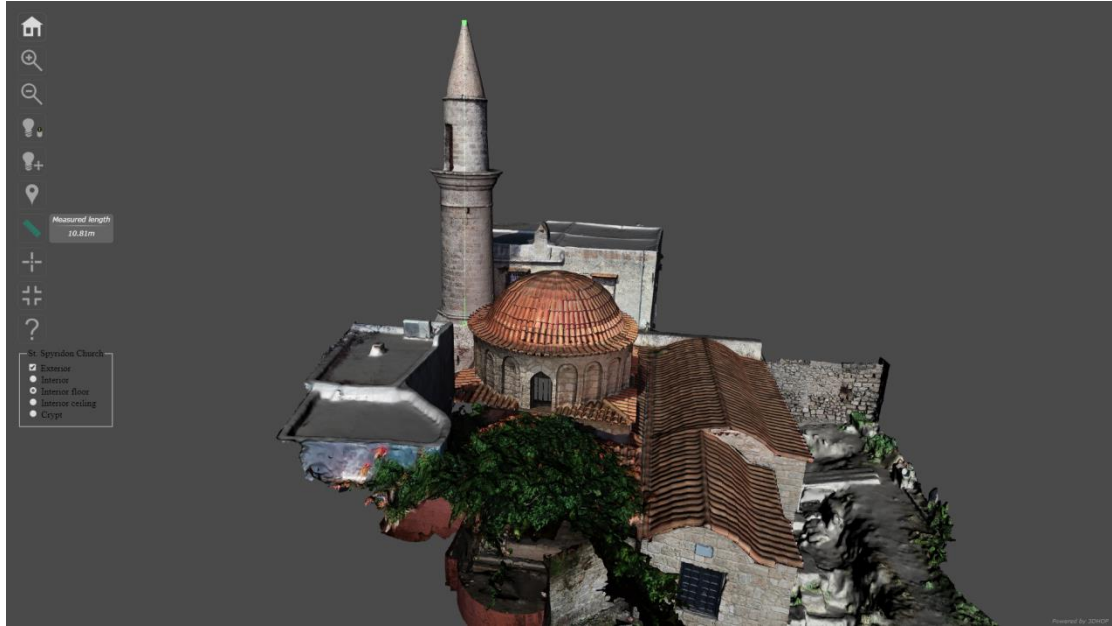
Εικόνα 5.10: Αρχική σελίδα



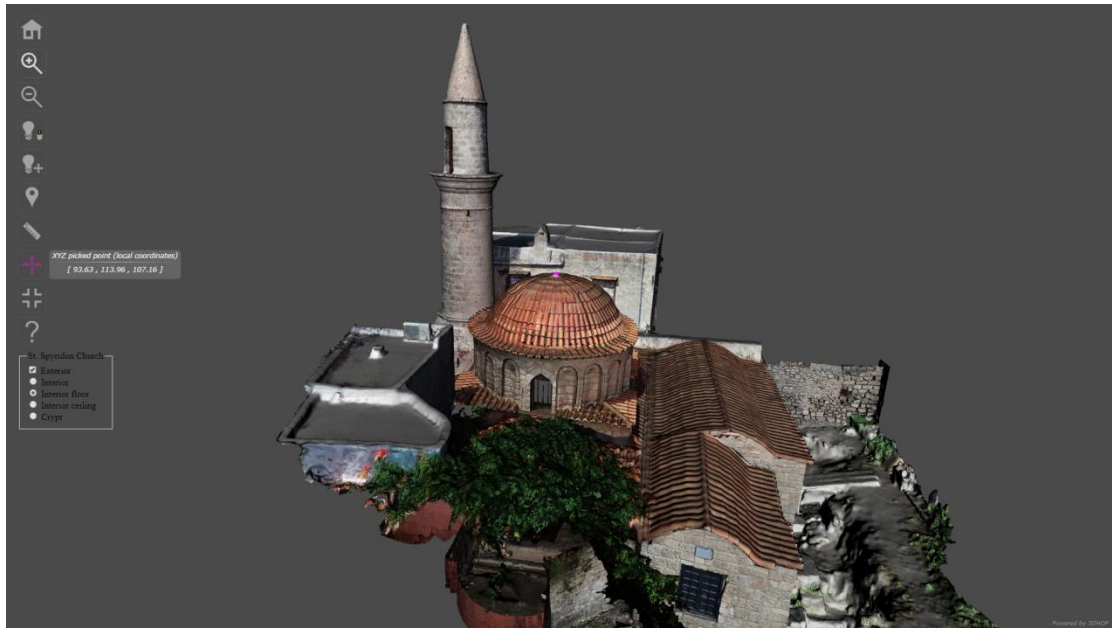
Εικόνα 5.11: Σημεία ενδιαφέροντος (Hotspots)



Εικόνα 5.12: Εμφάνιση πληροφοριών και εικόνων για κάθε hotspot



Εικόνα 5.13: Εργαλείο Measure για την πραγματοποίηση μετρήσεων στο μοντέλο



Εικόνα 5.14: Εργαλείο Pick Point για εμφάνιση των συντεταγμένων επιλεγμένου σημείου

6. Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ανασκόπηση και αξιολόγηση της διπλωματικής εργασίας, όσον αφορά στα παραγόμενα αποτελέσματά της, αλλά και στα διάφορα προβλήματα που προέκυψαν κατά την εκπόνησή της, καθώς και στους τρόπους με τους οποίους αυτά λύθηκαν. Ακόμη, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν, ενώ γίνονται και κάποιες προτάσεις για τους τρόπους με τους οποίους μπορούν να αξιοποιηθούν τα προϊόντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

6.1. Προβλήματα κατά την επεξεργασία και επίλυσή τους

Όπως περιγράφηκε εκτενώς και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η διαδικασία απόδοσης της υφής στο μοντέλο είναι μία απαιτητική διαδικασία. Αυτό έγκειται κυρίως στο γεγονός ότι δεν παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου ή διόρθωσης του μεμονωμένων τμημάτων του χάρτη της υφής, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η επανάληψη της διαδικασίας μέχρι να βρεθούν οι εικόνες με τις οποίες κάθε τμήμα της επιφάνειας του μοντέλου περιγράφεται πιστότερα και ευκρινέστερα.

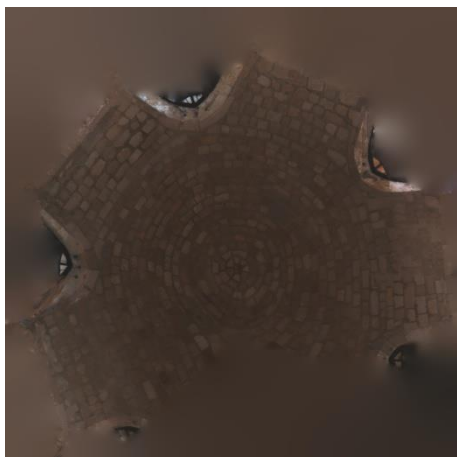
Ωστόσο, ακόμη και μετά τις απαραίτητες δοκιμές, ο χάρτης της υφής για καθένα από τα επιμέρους τμήματα του μοντέλου παρουσίαζε προβλήματα, κυρίως σε σχέση με τη ραδιομετρία. Έτσι, κρίθηκε αναγκαία η χρήση του λογισμικού Adobe Photoshop CC για τη διόρθωση και βελτίωση των χαρτών υφής του μοντέλου.

Όπως φαίνεται και από την εικόνα 5.2. του προηγούμενου κεφαλαίου, από το λογισμικό Metashape της Agisoft, εξάγεται ο χάρτης της υφής του μοντέλου με τη μορφή ενός «κολλάζ» επιμέρους περιοχών του μοντέλου και όχι με τη μορφή αναπτύγματος. Το γεγονός αυτό δυσχεραίνει σημαντικά τη δυνατότητα αναγνώρισης της θέσης καθεμιάς από αυτές τις περιοχές, ιδιαίτερα όταν η υφή έχει διαιρεθεί σε πολύ μικρά κομμάτια. Έτσι, η επεξεργασία μόνο του χάρτη της υφής είναι σχεδόν αδύνατη.

Η μορφή του χάρτη θα μπορούσε να βελτιωθεί, με την εισαγωγή του μοντέλου και του χάρτη υφής σε ένα επιπλέον λογισμικό, προκειμένου να ανακατασκευαστεί ο χάρτης. Αυτό επιχειρήθηκε δοκιμαστικά στην περίπτωση του μοντέλου του τρούλου, με τη χρήση του λογισμικού ZBrush της Pixologic.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα, ανακατασκευάζει την επιφάνεια του μοντέλου, απλοποιώντας και μειώνοντας τα τρίγωνα που την αναπαριστούν και επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει τον τρόπο με τον οποίο θα απεικονίζεται ο χάρτης υφής στην εικόνα, μεταξύ κάποιων προεπιλογών είτε ελέγχοντας ο ίδιος το πώς θα διαιρεθεί ο χάρτης. Έτσι, στην περίπτωση του τρούλου επιλέχθηκε ο χάρτης να παρουσιαστεί με τη μορφή αναπτύγματος, όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.1. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος τρόπος δεν εφαρμόστηκε και για τα υπόλοιπα τμήματα του μοντέλου, κυρίως λόγω της έλλειψης χρόνου και της δυσκολίας καθορισμού του τρόπου διαίρεσης του χάρτη της υφής, δεδομένου ότι κανένα από τα τμήματα του μοντέλου δεν παρουσίαζε κάποια ομοιογένεια και συμμετρία στο σχήμα. Ακόμη, θα πρέπει να

σημειωθεί πώς η απλοποίηση της επιφάνειας αφαιρούσε σημαντικές λεπτομέρειες από την περιγραφή της επιφάνειας και συνεπώς, η μέθοδος ανακατασκευής του χάρτη υφής δεν προτιμήθηκε.



Εικόνα 6.1: Χάρτης της υφής του τρούλου, όπως προέκυψε από το λογισμικό ZBrush



Εικόνα 6.2: Χάρτης της υφής του τρούλου, όπως προέκυψε από το λογισμικό Metashape

Παρ' όλα αυτά, το λογισμικό Adobe Photoshop CC παρέχει τη δυνατότητα προβολής και επεξεργασίας του μοντέλου με υφή, σε πραγματικό χρόνο. Ουσιαστικά, δίνεται η δυνατότητα επεξεργασίας του χάρτη της υφής, βλέποντας ταυτόχρονα τη θέση του κάθε τμήματος του χάρτη επάνω στο μοντέλο.


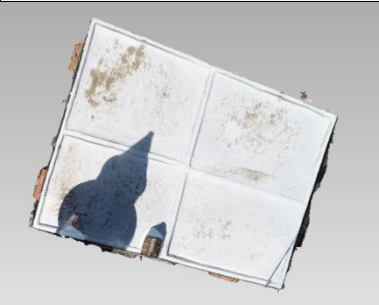
Έτσι, πραγματοποιήθηκε η ραδιομετρική διόρθωση των χαρτών της υφής, κυρίως αναφορικά με τη φωτεινότητα και τις σκιάσεις. Σε πολλές περιπτώσεις, χρειάστηκε η διόρθωση της φωτεινότητας στα άκρα καθενός από τους χώρους στους οποίους διαιρέθηκε ο ναός, ώστε να μην υπάρχουν απότομες μεταβολές.

Όσον αφορά στους εξωτερικούς χώρους του ναού, χρειάστηκαν διορθώσεις σχετικές με το χρώμα των κεραμιδιών, καθώς η φωτογράφιση είχε πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, με αποτέλεσμα να αλλάζει ο φωτισμός. Ακόμη, κρίθηκε απαραίτητη και η απομάκρυνση των σκιών που δημιουργούσαν τα παρακείμενα κτίρια, αλλά και τα ίδια τα στοιχεία του ναού.




Για την αλλαγή της φωτεινότητας και της αντίθεσης σε ολόκληρο το χάρτη της υφής, χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία Brightness / Contrast, Exposure και Vibrance. Σε περιπτώσεις που κρίθηκε απαραίτητη επεξεργασία μόνο τμημάτων του χάρτη της υφής, χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλείο Dodge, για αύξηση της φωτεινότητας και Burn, για μείωσή της. Ακόμη, για τη χρωματική διόρθωση κυρίως του χάρτη της υφής της στέγης του ναού, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Selective color, με το οποίο ρυθμίζεται το ποσοστό συμμετοχής κάθε χρώματος σε καθένα από τα κανάλια της εικόνας.





Στους παρακάτω πίνακες απεικονίζονται τα 23 επιμέρους τμήματα στα οποία διαιρέθηκε ο ναός, με την τελική, ραδιομετρικά διορθωμένη υφή τους.

Τμήματα εξωτερικά του ναού	Τρισδιάστατο μοντέλο με υφή
Αυλή	
Τοίχος	
Κεραμίδια	
Τύμπανο	
Κεραμίδια τρούλου	






Μιναρές	
Παρακείμενο κτίριο	

Πίνακας 6.1: Επιμέρους τμήματα, εξωτερικά του ναού και το μοντέλο με ραδιομετρικά διορθωμένη υφή για καθένα από αυτά

Τμήματα εσωτερικά του ναού	Τρισδιάστατο μοντέλο με υφή
ΒΔ χώρος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή	
ΒΔ χώρος, δάπεδο	
Είσοδος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή	

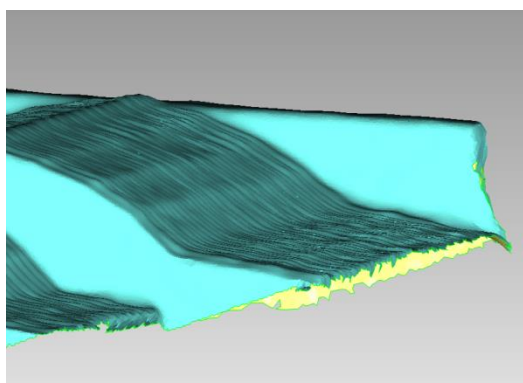
<p>Είσοδος, δάπεδο</p>	
<p>Υπόγεια ταφική κρύπτη</p>	
<p>ΒΑ χώρος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>	
<p>ΒΑ χώρος, δάπεδο</p>	

<p>Ιερό, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>			
<p>Ιερό, δάπεδο</p>			
<p>Κέντρο, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>			
<p>Κέντρο, δάπεδο</p>			

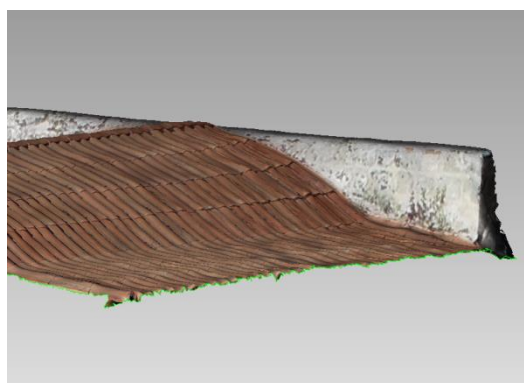
<p>Τρούλος</p>			
<p>Δυτικός Χώρος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>			
<p>Δυτικός Χώρος, δάπεδο</p>			
<p>Νότιος χώρος, περιμετρικοί τοίχοι και οροφή</p>			
<p>Νότιος χώρος, δάπεδο</p>			

Πίνακας 6.2: Επιμέρους τμήματα, εσωτερικά του ναού και το μοντέλο με ραδιομετρικά διορθωμένη υφή για καθένα από αυτά

Όπως αναφέρθηκε ήδη στο κεφάλαιο 4, η εξωτερική επιφάνειά του τρισδιάστατου μοντέλου του ναού δημιουργήθηκε από το συνδυασμό του νέφους σημείων του σαρωτή laser και του νέφους σημείων των εικόνων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι επιφάνειες που προέκυψαν αποκλειστικά από το νέφος σημείων του UAV, όπως τα κεραμίδια της στέγης και του τρούλου, να περιγράφονται με σαφώς λιγότερη λεπτομέρεια σε σχέση με τις υπόλοιπες επιφάνειες. Αυτό οφείλεται στη χαμηλή ευκρίνεια των εικόνων του UAV, συγκριτικά με αυτές της μηχανής DSLR, σε συνδυασμό με την απόσταση λήψης. Έτσι, ενώ η υφή του μοντέλου παρουσιάζει υποτυπωδώς το σχήμα των κεραμιδιών της στέγης, το μοντέλο δεν τα εμφανίζει καμπύλα, αντιθέτως έχουν αποδοθεί σχεδόν επίπεδα.

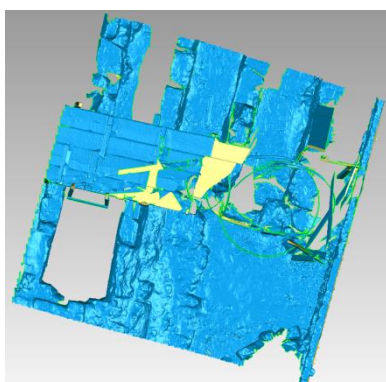


Εικόνα 6.3: Τα κεραμίδια της στέγης εμφανίζονται επίπεδα

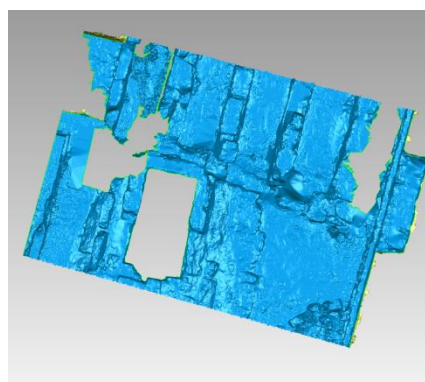


Εικόνα 6.4: Η "ψευδοϋφή" στα κεραμίδια της στέγης

Ακόμη, κάποιες περιοχές της επιφάνειας παρουσίασαν ασυνέχειες, οι οποίες ήταν αδύνατο να συμπληρωθούν από το πυκνό νέφος των εικόνων. Καθώς αυτές οι περιοχές ήταν αρκετά μεγάλες για να συμπληρωθούν χειροκίνητα με τρόπο ώστε να αποδίδουν την πραγματική επιφάνεια, παρέμειναν κενές. Αξίζει να σημειωθεί, ότι περιοχές εντός του ναού όπως το δάπεδο της εισόδου, παρουσιάζουν ασυνέχειες εξαιτίας της ύπαρξης ξύλινης ράμπας που διευκόλυνε την είσοδο στο ναό και που ήταν αδύνατο να απομακρυνθεί. Η κατασκευή αυτή «αφαιρέθηκε» από το μοντέλο, για την καλύτερη παρουσίαση του δαπέδου του ναού, με αποτέλεσμα, όμως, να υπάρχουν ασυνέχειες στο μοντέλο σε σημεία όπου η κατασκευή εμπόδιζε την πρόσβαση και τελικά, τη φωτογράφιση.



Εικόνα 6.5: Η είσοδος του ναού πριν την αφαίρεση της ξύλινης κατασκευής



Εικόνα 6.6: Η είσοδος του ναού μετά την αφαίρεση της ξύλινης κατασκευής

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, η λανθασμένη περιγραφή της επιφάνειας και η έλλειψη πληροφορίας θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί, με τη λεπτομερέστερη φωτογράφιση και σάρωση της στέγης, στην πρώτη περίπτωση, και τον καθαρισμό και την πιο λεπτομερή φωτογράφιση του αντικειμένου, στη δεύτερη περίπτωση.

6.2. Αξιολόγηση τελικών προϊόντων

Στο κεφάλαιο 5, παρουσιάστηκαν αναλυτικά όλες οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν για την απόδοση υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο, καθώς και τη δημιουργία των βίντεο περιήγησης και της πλατφόρμας διαδραστικής περιήγησης στο τρισδιάστατο μοντέλο.

Αρχικά, η παραγωγή των βίντεο αποτέλεσε μία νέα και άγνωστη διαδικασία, καθώς το 3DS Max είναι ένα αρκετά σύνθετο και εξειδικευμένο λογισμικό, προσανατολισμένο κυρίως στη δημιουργία παιχνιδιών και εμπειριών εικονικής πραγματικότητας. Για τη δημιουργία των δύο βίντεο χρησιμοποιήθηκε μόνο ένας πολύ περιορισμένος αριθμός των παρεχόμενων δυνατοτήτων του λογισμικού, με πολλές από τις αποφάσεις να λαμβάνονται είτε εμπειρικά είτε μετά από πολύωρη έρευνα. Πολλές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν για κάθε βίντεο, κυρίως αναφορικά με τις διαδρομές, την ταχύτητα και το φακό της κάμερας και χρειάστηκε μία διαφορετική, σκηνοθετική προσέγγιση του ναού, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι το καλύτερο δυνατό για το θεατή.

Η δημιουργία της διαδραστικής περιήγησης στην πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα 3DHOP αποτέλεσε έναν επιπρόσθετο τρόπο οπτικοποίησης και παρουσίασης του τρισδιάστατου μοντέλου του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος. Πρόκειται για μία πλατφόρμα με πληθώρα δυνατοτήτων, μερικές μόνο από τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά στην παρούσα εφαρμογή. Η σελίδα που δημιουργήθηκε, περιορίστηκε σε απλούς τρόπους απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου και τη χρήση ορισμένων απλών εργαλείων, όπως η μέτρηση αποστάσεων και η εμφάνιση πληροφοριών.

Το τελικό αποτέλεσμα σίγουρα μπορεί να βελτιωθεί και να εμπλουτιστεί, αλλά κάτι τέτοιο απαιτεί πολύ καλή γνώση της πλατφόρμας και των γλωσσών προγραμματισμού που χρησιμοποιεί. Πρόκειται για μία χρονοβόρα και απαιτητική διαδικασία η οποία δεν ακολουθήθηκε, καθώς η πλατφόρμα επιλέχθηκε ως ένας ενδεικτικός τρόπος παρουσίασης του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής.

Παρ' όλα αυτά, θα μπορούσαν να προστεθούν στην πλατφόρμα επιπλέον δυνατότητες, όπως η ενσωμάτωση των βίντεο περιήγησης με τη μορφή Hotspot, η παρουσίαση στο μοντέλο όλων των τομών που μετρήθηκαν στο πεδίο και η απεικόνιση των υποβάθρων της γεωμετρικής τεκμηρίωσης που έχουν προκύψει, καθώς και η βελτίωση των εφέ φωτισμού που έχουν χρησιμοποιηθεί στην εφαρμογή. Ο εμπλουτισμός της πλατφόρμας με όλα ή κάποια από τα παραπάνω στοιχεία, μπορεί να την καταστήσει ως ένα μέσο προβολής του ναού από τους αντίστοιχους φορείς,

τόσο για εκπαιδευτικούς και επαγγελματικούς σκοπούς (χρήση σχεδίων από άλλους μηχανικούς), όσο και για την τουριστική προβολή του και την προβολή του έργου της Εφορείας Αρχαιοτήτων στο συγκεκριμένο μνημείο.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί, πώς αρχικά είχε αποφασιστεί η απεικόνιση των φωτογραφιών 360° στα Hotspot του μοντέλου, ωστόσο οι φωτογραφίες εμφανίζονταν σε ορθογώνια προβολή, με τη μορφή πανοράματος, παραμορφώνοντας σημαντικά το αντικείμενο (εικόνα 6.5). Για την εμφάνισή τους ως εικόνες 360° ήταν απαραίτητη η δημιουργία νέων script, γεγονός που παρουσίαζε υψηλό βαθμό δυσκολίας στη διαδικασία του προγραμματισμού και επομένως, προτιμήθηκε η χρήση απλών φωτογραφιών διαφόρων σημείων ενδιαφέροντος του ναού, συνοδευόμενες από πληροφορίες για την ιστορία και την αρχιτεκτονική του ναού.



Εικόνα 6.7: Φωτογραφία 360° σε ορθογώνια προβολή

6.3. Επίλογος

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε μία ιδιαίτερα διδακτική εμπειρία. Καθένα από τα στάδιά της, από τον προγραμματισμό των εργασιών και τη συλλογή των δεδομένων, μέχρι την επεξεργασία τους και την εξαγωγή των τελικών προϊόντων της τεκμηρίωσης, επέβαλε τη λήψη αποφάσεων, οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις καθόρισαν και την έκβαση της εργασίας.

Ιδιαίτερα στις εργασίες πεδίου, η ταχύτητα στη λήψη των αποφάσεων, αλλά και στην πραγματοποίηση των εργασιών, αποτέλεσε ένα πολύ σημαντικό μάθημα – εφόδιο για μελλοντικές εργασίες. Ακόμη, σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε μία πληθώρα από μεθόδους, εξοπλισμό και λογισμικά, γεγονός που οδήγησε στην εξοικείωση με αυτά. Τυχόν προβλήματα και παραλείψεις προσέφεραν την κατάλληλη εμπειρία, ώστε οι μελλοντικές εργασίες να πραγματοποιούνται με μεγαλύτερη προσοχή και λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες παραμέτρους και τους τρόπους με τους οποίους μπορούν να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα.

Επιπλέον, η στενή ενασχόληση με το ναό του Αγίου Σπυρίδωνος, τόσο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, όσο και στη συνέχεια, για τόσους μήνες, οδήγησε στην

ανάπτυξη μίας παραπάνω ευαισθησίας απέναντι σε μνημεία που δεν είναι τόσο προβεβλημένα, τα οποία ωστόσο, παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον τόσο λόγω της ιστορίας τους, όσο και λόγω των αρχιτεκτονικών ιδιαιτεροτήτων τους. Έτσι, η ανάδειξή τους αποτελεί ένα παραπάνω κίνητρο, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι το καλύτερο δυνατό.

Τέλος, μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναδείχθηκε η σημασία της συνεργασίας, τόσο μεταξύ ατόμων της ίδιας ειδικότητας, όσο και μεταξύ των διαφορετικών ειδικοτήτων, όπως είναι οι Τοπογράφοι Μηχανικοί και οι Αρχαιολόγοι, καθώς καθεμιά από αυτές τις ειδικότητες έχει να προσφέρει την τεχνογνωσία, ώστε τελικά το αποτέλεσμα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης να είναι το αρτιότερο δυνατό.

Βιβλιογραφία

1. Βολανάκης, Ιω. Ο ναός του Αγ. Σπυρίδωνα στη μεσαιωνική πόλη της Ρόδου. *Πρακτικά Διεθνούς Επιστημονικού Συνεδρίου: Ρόδος 2400 χρόνια, η πόλη της Ρόδου από την ίδρυσή της μέχρι την κατάληψη από τους Τούρκους (1523)*. Αθήνα : s.n., 2000, σσ. 367 - 374.
2. Κούτρος, Ευστράτιος. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ιερού Ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης στη Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου*. Αθήνα : s.n., 2019.
3. Καραΐσκος, Γεράσιμος. *Δημιουργία Τρισδιάστατου Φωτορεαλιστικού Μοντέλου του Ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης στη Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου*. Αθήνα : s.n., 2019.
4. Μπεντίνι, Ελόνα. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ναού του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά, Κύπρου*. Αθήνα : s.n., 2015.
5. Γαβριήλ, Στεφανία. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση I.N. Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου Μέσω Τρισδιάστατης Απεικόνισης*. Αθήνα : s.n., 2015.
6. Μπαριάμη, Γεωργία. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ιερού Ναού του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι της Κύπρου με Εφαρμογή Αυτοματοποιημένου Συστήματος Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας*. Αθήνα : s.n., 2011.
7. Φάκα, Μαρίνα. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Ιερού Ναού Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι, Κύπρος*. Αθήνα : s.n., 2011.
8. Σοφολέους, Ε. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ναού της Παναγίας Φορβιώτισσας*. Αθήνα : s.n., 2006.
9. *The Geometric Documentation of the Asinou Church in Cyprus*. Σοφοκλέους, Ε., και συν. The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, 2006.
10. *3D Documentation and BIM Modeling of Cultural Heritage Structures Using UAVs: The Case of the Foinikaria Church*. Themistocleous, K., Agariou, A. και Hadjimitsis, D. ISPRS Archives XLII, 2016.
11. *Image-Based Techniques for the Survey of Mosaics in the Basilica di San Marco in Venice*. Adami, Andrea, και συν. Virtual Archaeology Review, 2018, Τόμ. Poli [Papers].
12. *Structure-from-Motion Photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*. Westoby, M.J., και συν. 2012.
13. Weng, Juyang, Huang, Thomas S. και Ahuja, Narendra. *Motion and Structure from Image Sequences*. 2012.
14. *Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.5*.

15. 3DHOP : 3D Heritage Online Presenter. [Ηλεκτρονικό] <http://3dhop.net/>.
16. 3D models preparation. *3DHOP*. [Ηλεκτρονικό] 20 June 2019. <http://3dhop.net> .
17. Federico Ponchio - Visual Computing Lab. Nexus: adaptive 3D (C++ and Javascript). [Ηλεκτρονικό] <http://vcg.isti.cnr.it/nexus/>.