



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

Γεωμετρική Τεκμηρίωση με Σύγχρονες Μεθόδους του Ναού του Αγίου Σπυρίδωνος στη Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΡΟΚΟΥ ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2019

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλαν, ο καθένας με τον δικό του τρόπο, στην επιτυχή εκπόνησή της.

Αρχικά, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο, Καθηγητή στο Ε.Μ.Π., για όλα όσα με υπομονή με δίδαξε, για την υποστήριξη, την ενθάρρυνση και το συνεχές ενδιαφέρον του, καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές του σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κ. Σεβαστή Ταπεινάκη, μέλος ΕΔΙΠ, για την καθοδήγησή της και την παρουσία της σε κάθε στάδιο της εργασίας προσφέροντάς μου πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές.

Θα ήθελα, επιπλέον, να ευχαριστήσω θερμά την Μαργαρίτα Σκαμαντζάρη, Αγρονόμο και Τοπογράφο Μηχανικό, για την ουσιαστική βοήθειά της, το ενδιαφέρον της και την προθυμία της να βοηθήσει σε κάθε δυσκολία που παρουσιαζόταν.

Έπειτα ευχαριστώ την Εφορεία Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου και ιδιαίτερα τις κ.κ. Μ. Μιχαηλίδου και Ε. Παπαβασιλείου, τόσο για την άδεια που μας δόθηκε για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, όσο και για τις γνώσεις και τις πληροφορίες που μας προσέφεραν αναφορικά με το συγκεκριμένο μνημείο.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. Γ. Ντέλλα, Αρχιτέκτονα Μηχανικό, για το χρόνο που διέθεσε προσφέροντάς μας πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με το μνημείο.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που στηρίζει κάθε μου προσπάθεια, καθώς και το φιλικό μου περιβάλλον που συνέβαλε με το δικό του ξεχωριστό τρόπο στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη φίλη και συμφοιτήτριά μου Α. Αναστασίου για την όμορφη συνεργασία μας και την αμοιβαία ανταλλαγή γνώσεων και απόψεων. Επίσης την ευχαριστώ για την υποστήριξη και ενθάρρυνση σε όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μας χρόνων.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Περιεχόμενα Εικόνων	6
Περιεχόμενα Πινάκων	10
Περίληψη.....	11
Abstract	12
Εισαγωγή.....	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. Παραγωγή Υποβάθρων Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης.....	69
5.1. Παραγωγή Τομών.....	69
5.2 Παραγωγή Ορθοφωτογραφιών.....	75
5.3 Παραγωγή Σχεδίων.....	82
6. Συμπεράσματα.....	86
6.1. Προβλήματα κατά την επεξεργασία και επίλυσή τους.....	86
6.2. Αξιολόγηση τελικών προϊόντων.....	92
6.3. Επίλογος	97
Βιβλιογραφία.....	99

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 Χρυσελευούσας στα Φοινικάρια της Κύπρου</i>	31
<i>Εικόνα 2.6: BIM του ναού της Παναγίας Χρυσελευούσας 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
<i>Εικόνα 3.9 : Στάσεις οργάνου εσωτερικά και εξωτερικά του ναού</i>	41
<i>Εικόνα 3.10 : Στάσεις Σαρωτή Laser</i>	43

<i>Εικόνα 3.11 : Η αυλή του ναού πριν τον καθαρισμό των φυτών</i>	44
<i>Εικόνα 3.12 : Αλλοίωση χρωμάτων στις φωτογραφίες με τη χρήση του ενσωματωμένου φίλτρου της μηχανής</i>	45
<i>Εικόνα 4.1: Structure from Motion. Ο αλγόριθμος SfM απαιτεί πολλαπλές επικαλυπτόμενες εικόνες για να εφαρμόσει αλγόριθμους 3D ανακατασκευής</i>	46
<i>Εικόνα 4.2: Μάσκα σε εικόνα του εσωτερικού του ναού</i>	48
<i>Εικόνα 4.3: Μάσκα σε εικόνα στο εξωτερικό του ναού</i>	48
<i>Εικόνα 4.4: Ειδικός κωδικοποιημένος στόχος Photoscan</i>	49
<i>Εικόνα 4.5: Ειδικός στόχος σαρωτή Laser</i>	49
<i>Εικόνα 4.6: Αραιό νέφος του εσωτερικού του ναού</i>	50
<i>Εικόνα 4.7: Αραιό νέφος του εξωτερικού του ναού</i>	51
<i>Εικόνα 4.8: Πυκνό νέφος του εσωτερικού του ναού</i>	52
<i>Εικόνα 4.9: Πυκνό νέφος του εξωτερικού του ναού</i>	52
<i>Εικόνα 4.10: Αναφορά σφαλμάτων εξωτερικών σαρώσεων</i>	54
<i>Εικόνα 4.11: Αναφορά σφαλμάτων εσωτερικών σαρώσεων</i>	55
<i>Εικόνα 4.12: Αναφορά συνολικών σφαλμάτων σαρώσεων</i>	55
<i>Εικόνα 4.13: Φίλτρο καθαρισμού Select Outliers</i>	57
<i>Εικόνα 4.14: Εξωτερικός τοίχος ναού, πριν τον αυτόματο και χειροκίνητο καθαρισμό</i>	58
<i>Εικόνα 4.15: Εξωτερικός τοίχος ναού, μετά τον αυτόματο και χειροκίνητο καθαρισμό</i>	58
<i>Εικόνα 4.16: Εξωτερική τρισδιάστατη επιφάνεια του ναού</i>	59
<i>Εικόνα 4.17: Εσωτερική τρισδιάστατη επιφάνεια του ναού</i>	60
<i>Εικόνα 4.18: Επιφάνεια τυμπάνου από σαρώσεις</i>	61
<i>Εικόνα 4.19: Επιφάνεια τυμπάνου από φωτογραφίες μηχανής DSLR</i>	61
<i>Εικόνα 4.20: Επιφάνεια μινιρέ από σαρώσεις</i>	61
<i>Εικόνα 4.21: Επιφάνεια μινιρέ από φωτογραφίες</i>	62
<i>Εικόνα 4.22: Τοίχος ναού πριν την εφαρμογή της εντολής Fill Holes</i>	62
<i>Εικόνα 4.23: Τοίχος ναού μετά την εφαρμογή της εντολής Fill Holes</i>	63
<i>Εικόνα 4.24: Ανεστραμμένα τρίγωνα στην τρισδιάστατη επιφάνεια</i>	63
<i>Εικόνα 4.25: Διόρθωση ανεστραμμένων τριγώνων στην τρισδιάστατη επιφάνεια</i>	63
<i>Εικόνα 4.26: Επιφάνεια μινιρέ από φωτογραφίες μηχανής DSLR και UAV</i>	64
<i>Εικόνα 4.27: Επιφάνεια τοιχοποιίας βόρειου κλίτους από σαρώσεις</i>	65
<i>Εικόνα 4.28: Επιφάνεια τοιχοποιίας βόρειου κλίτους από σαρώσεις και φωτογραφίες μηχανής DSLR</i>	65
<i>Εικόνα 4.29: Τμήμα της εισόδου του ναού πριν την εφαρμογή του Mesh Doctor</i>	66
<i>Εικόνα 4.30: Τμήμα της εισόδου του ναού μετά την εφαρμογή του Mesh Doctor</i>	66
<i>Εικόνα 4.31: Επιφάνεια κεντρικού κλίτους πριν από την αφαίρεση της ξύλινης ράμπας</i>	67
<i>Εικόνα 4.32: Επιφάνεια κεντρικού κλίτους μετά από την αφαίρεση της ξύλινης ράμπας</i>	67

<i>Εικόνα 5.1: Οριζόντια τομή και ίχνη κατακόρυφων τομών.....</i>	<i>70</i>
<i>Εικόνα 5.2: Επίπεδα οριζόντιων τομών στο τρισδιάστατο μοντέλο</i>	<i>71</i>
<i>Εικόνα 5.3: Επίπεδα κατακόρυφων κατά μήκος τομών στο τρισδιάστατο μοντέλο</i>	<i>71</i>
<i>Εικόνα 5.4: Επίπεδα κατακόρυφων εγκάρσιων τομών στο τρισδιάστατο μοντέλο.....</i>	<i>72</i>
<i>Εικόνα 5.5: Κατακόρυφη εγκάρσια τομή H-H'</i>	<i>73</i>
<i>Εικόνα 5.6: Κατακόρυφη εγκάρσια τομή I'- I</i>	<i>73</i>
<i>Εικόνα 5.7: Κατακόρυφη κατά μήκος τομή E'- E</i>	<i>74</i>
<i>Εικόνα 5.8: Σύγκριση γραμμής τομής I'- I (μαύρο χρώμα) με την αντίστοιχη μετρημένη στο πεδίο (κόκκινο χρώμα).....</i>	<i>74</i>
<i>Εικόνα 5.9: Σύγκριση γραμμής τομής E'- E (μαύρο χρώμα) με την αντίστοιχη μετρημένη στο πεδίο (κόκκινο χρώμα)</i>	<i>75</i>
<i>Εικόνα 5. 10: επιφάνεια από την οποία θα προκύψει η ορθοφωτογραφία του πρώτου επιπέδου προβολής</i>	<i>77</i>
<i>Εικόνα 5.11: Ορθοφωτογραφία πριν τη ραδιομετρική διόρθωση.....</i>	<i>78</i>
<i>Εικόνα 5.12: Ορθοφωτογραφία μετά τη ραδιομετρική διόρθωση</i>	<i>78</i>
<i>Εικόνα 5.13: Ορθοφωτογραφία μετά τη ραδιομετρική διόρθωση</i>	<i>78</i>
<i>Εικόνα 5.14: Περιοχές με έντονες σκιάσεις στη στέγη, που δεν μπόρεσαν να διορθωθούν</i>	<i>79</i>
<i>Εικόνα 5.15: Περιοχές με λάθος πληροφορία</i>	<i>79</i>
<i>Εικόνα 5.16: Απεικόνιση λανθασμένης πληροφορίας στην ορθοφωτογραφία</i>	<i>80</i>
<i>Εικόνα 5.17: Απεικόνιση σωστής πληροφορίας στην ορθοφωτογραφία.....</i>	<i>80</i>
<i>Εικόνα 5.18: Περιοχή με έλλειψη πληροφορίας για την επιφάνεια.....</i>	<i>80</i>
<i>Εικόνα 5.19: Ορθοφωτογραφία βόρεια όψης A-A' (εξωτερικός τοίχος)</i>	<i>81</i>
<i>Εικόνα 5.20: Ορθοφωτογραφία κατακόρυφης κατά μήκος τομής Δ-Δ'</i>	<i>81</i>
<i>Εικόνα 5.21: Ορθοφωτογραφία οριζόντιας τομής - Άνοψη.....</i>	<i>82</i>
<i>Εικόνα 5.22: Περιοχές με έλλειψη πληροφορίας</i>	<i>83</i>
<i>Εικόνα 5.23: Περιοχή με έλλειψη πληροφορίας</i>	<i>83</i>
<i>Εικόνα 5.24: Γραμμική σχεδίαση κεραμιδιών</i>	<i>84</i>
<i>Εικόνα 5.25: «Σπάσιμο» στην κατακόρυφη κατά μήκος τομή B'- B</i>	<i>84</i>
<i>Εικόνα 5.26: Απόδοση βάθους σε ορθοφωτογραφία (κατακόρυφη κατά μήκος τομή Δ'- Δ).....</i>	<i>85</i>

<i>Εικόνα 6.1: Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα σημεία του επιπέδου τομής, όπως προέκυψαν από το τρισδιάστατο μοντέλο του UAV και με μαύρο χρώμα απεικονίζονται τα σχεδιασμένα κεραμίδια</i>	<i>87</i>
<i>Εικόνα 6.2: Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα σημεία του επιπέδου τομής, όπως προέκυψαν από το τρισδιάστατο μοντέλο του UAV, με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μετρημένη στο πεδίο γραμμή τομής και με μαύρο χρώμα τα τελικά σχεδιασμένα κεραμίδια.....</i>	<i>87</i>
<i>Εικόνα 6.3: Ορθοφωτογραφία κεραμιδιών με αχνό χρώμα και απόδοσή τους με γραμμικό τρόπο.....</i>	<i>88</i>
<i>Εικόνα 6.4: Γραμμική σχεδίαση κεραμιδιών</i>	<i>88</i>

<i>Εικόνα 6.5: Οριζόντιες γραμμές τομής σε διαφορετικά ύψη στις τρισδιάστατες επιφάνειες του τρούλου και του τυμπάνου</i>	89
<i>Εικόνα 6.6: Κύκλος (μαύρο χρώμα) μη ικανός να περιγράψει το πραγματικό σχήμα του τρούλου</i>	90
<i>Εικόνα 6.7: Κύκλος (κόκκινο χρώμα) μη ικανός να περιγράψει το πραγματικό σχήμα του τρούλου</i>	90
<i>Εικόνα 6.8: Κύκλος (κόκκινο χρώμα) μη ικανός να περιγράψει το πραγματικό σχήμα του τρούλου</i>	91
<i>Εικόνα 6.9: Περιοχή με έλλειψη πληροφορίας</i>	92
<i>Εικόνα 6.10: Κατακόρυφη εγκάρσια τομή $H' - H$</i>	92
<i>Εικόνα 6.11: Σύγκριση της οριζόντιας τομής με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή $H' - H$</i>	93
<i>Εικόνα 6.12: Σύγκριση της οριζόντιας τομής με την κατακόρυφη κατά μήκος τομή $\Delta - \Delta'$</i>	93
<i>Εικόνα 6.13: Σύγκριση οριζόντιας τομής, στο επίπεδο της υπόγεια ταφικής κρύπτης, με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή $K' - K$</i>	94
<i>Εικόνα 6.14: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής $B' - B$ με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή $H' - H$</i>	94
<i>Εικόνα 6.15: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής $\Gamma' - \Gamma$ με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή $I - I'$</i>	95
<i>Εικόνα 6.16: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής $E' - E$ με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή $K' - K$</i>	95
<i>Εικόνα 6.17: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής $\Delta - \Delta'$ με την ορθοφωτογραφία της ανατολικής όψης του μιναρέ</i>	96
<i>Εικόνα 6.18: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής $B' - B$ με την ορθοφωτογραφία της ανατολικής όψης του εξωτερικού τοίχου του ναού</i>	96

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: Σημεία ορισμού επιπέδου τομής.....</i>	<i>71</i>
<i>Πίνακας 5.2: Σημεία για τον καθορισμό του επιπέδου προβολής, για κάθε γραμμή τομής</i>	<i>76</i>

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, με σύγχρονες μεθόδους συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Ο ναός βρίσκεται στη μεσαιωνική πόλη της Ρόδου και τα κατάλοιπα διαφορετικών ιστορικών φάσεων που βρέθηκαν εντός του αποδεικνύουν την ιδιαιτερότητά του και το πλήθος επεμβάσεων και αλλαγών που υπέστη ο ναός με την πάροδο των χρόνων.

Πραγματοποιήθηκαν γεωδαιτικές μετρήσεις, σαρώσεις, καθώς και εναέριες και επίγειες φωτογραφίες, με σκοπό τη δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας του αντικείμενου. Στη συνέχεια, συντάχθηκαν 23 τεκμηριωτικά σχέδια σε κλίμακα 1:50, τα οποία θα αποτελέσουν τη μετρητική βάση για την μελλοντική αποκατάσταση του ναού. Τα σχέδια αυτά περιλαμβάνουν όψεις, οριζόντιες και κατακόρυφες τομές και τα προβαλλόμενα αντικείμενα κάθε σχεδίου περιγράφονται με τις αντίστοιχες ορθοφωτογραφίες.

Η παραγωγή ενός φωτορεαλιστικού τρισδιάστατου μοντέλου ακριβείας του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, καθώς και η οπτικοποίηση του μοντέλου μέσω εικονικής περιήγησης αποτελούν αντικείμενο της παράλληλης διπλωματικής εργασίας της Αναστασίας Αναστασίου.

Abstract

The subject of the present thesis is the geometric documentation of the church of Saint Spyridon using modern digital methods of data collection and processing. The church is located in the Medieval Town of Rhodes and the residues of several different historical phases found in the temple prove the rarity and the amount of conversions the temple underwent over the years.

Geodetic measurements, laser scanning and acquisition of photographic data occurred, in order to construct the 3D model of the church. 23 drawings were drafted at a scale of 1:50 and will be the measuring base for the future restoration of the church. These drawings include horizontal sections, exterior and vertical sections and the projected information of the drawings will be described with the help of the corresponding orthophotographs.

The construction of a precise photorealistic 3D model of the church as well as the visualization of the 3D model via a virtual reality tour was the subject of a parallel thesis carried out by Anastasia Anastasiou.

Εισαγωγή

Σε μία εποχή που χαρακτηρίζεται από ταχύτατους ρυθμούς και έντονες αλλαγές, η ανάγκη για σύνδεση του ανθρώπου με το παρελθόν του και την ιστορία του κρίνεται επιτακτική. Η πολιτιστική κληρονομιά και η φροντίδα της συμβάλλουν καθοριστικά στη διαίωσιση της μνήμης του παρελθόντος, καθώς τεκμηριώνουν διαχρονικά ανθρώπινες δοξασίες, δραστηριότητες, αλλά και επιτεύγματα.

Σε αυτό το πλαίσιο, πραγματοποιούνται σημαντικές προσπάθειες συντήρησης και αποκατάστασης του μνημειακού πλούτου του παρελθόντος. Συγκεκριμένα, με τον όρο αποκατάσταση εννοείται η διάσωση και διατήρηση της φυσικής υπόστασης του μνημείου, καθώς και η ανάδειξη του άυλου πολιτιστικού του χαρακτήρα και των εγγενών πολιτιστικών του αξιών (Μαλλούχου Τufano Φ., 2015).

Σημαντικός παράγοντας για την ορθή αποκατάσταση ενός μνημείου είναι η διεπιστημονική μελέτη για την σε βάθος κατανόηση των προβλημάτων και της κατάστασης του μνημείου. Σε αυτό έγκειται και η σημασία και αναγκαιότητα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης ενός μνημείου, μέσω της οποίας καταγράφεται η θέση, το μέγεθος και η μορφή του μνημείου σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, στο χώρο των τριών διαστάσεων. Η γεωμετρική τεκμηρίωση καταγράφει το παρόν των μνημείων, όπως αυτό προέκυψε στην πορεία του χρόνου και είναι αναγκαίο υπόβαθρο τόσο στις μελέτες εκείνων που μελετούν το παρελθόν τους, όσο και στις μελέτες εκείνων που φροντίζουν για το μέλλον τους. (Γεωργόπουλος Α., Ιωαννίδης Χ., 2008).

Το 1984, η 4^η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου ανέλαβε την αποκατάσταση του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, που βρίσκεται στην Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου. Στο πλαίσιο των εργασιών αποκατάστασης πραγματοποιήθηκε σωστική ανασκαφή εσωτερικά και εξωτερικά του ναού, κατά την οποία ήρθαν στην επιφάνεια πλήθος ταφών, αλλά και ευρημάτων, όπως σταυροί, περίαπτα, ενώτια, δαχτυλίδια, νομίσματα κ.ά. Η ανάγκη για διατήρηση της συλλογικής μνήμης και ανάδειξη της πολιτιστικής ταυτότητας, σε συνδυασμό με την ομορφιά και το θαυμασμό που εμπνέει το συγκεκριμένο οικοδόμημα οδήγησαν στην εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος, ο οποίος βρίσκεται εντός των τειχών της μεσαιωνικής πόλης της Ρόδου. Τα σχέδια που θα παραχθούν, θα συμβάλουν στη μελέτη και την αποκατάσταση του ναού, με την ελπίδα της ανάδειξής του και της διαμόρφωσης του χώρου, ως επισκέψιμου αρχαιολογικού χώρου.

Σύντομη περιγραφή περιεχομένων

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε έξι συνολικά κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 1 παρατίθενται ορισμένα γενικά στοιχεία, με σκοπό την κατανόηση της ιστορικής σημασίας του ναού, των διαχρονικών του μεταβολών και της σημερινής του κατάστασης. Περιγράφονται η θέση, το περιβάλλον, η αρχιτεκτονική του ναού

και οι ιστορικές του φάσεις, καθώς επίσης και το πλήθος αγιογραφιών που συναντώνται στο εσωτερικό του.

Στο κεφάλαιο 2 πραγματοποιείται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση σε παρόμοιες εργασίες γεωμετρικής τεκμηρίωσης βυζαντινών ναών.

Στο κεφάλαιο 3 παρατίθεται ο διαθέσιμος εξοπλισμός και περιγράφονται οι εργασίες υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν για τη συλλογή των γεωδαιτικών δεδομένων, με τη συμβολή του λογισμικού TheoLT, των φωτογραμμετρικών δεδομένων, καθώς και αυτών του σαρωτή laser.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν και συγκεκριμένα οι προσανατολισμοί των εικόνων, η συνένωση και γεωαναφορά των νεφών σημείων και η επεξεργασία τους με σκοπό τη δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας του ναού.

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται η διαδικασία παραγωγής των τεκμηριωτικών προϊόντων, δηλαδή των τομών και των ορθοφωτογραφιών για τη δημιουργία των τελικών σχεδίων.

Στο κεφάλαιο 6 πραγματοποιείται μια γενική ανασκόπηση της εργασίας. Περιγράφονται τα προβλήματα που προέκυψαν στο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων και ο τρόπος αντιμετώπισής τους και αξιολογούνται τα τελικά προϊόντα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Τέλος, επισημαίνονται οι γνώσεις και οι εμπειρίες που αποκτήθηκαν, μέσω της τεκμηρίωσης του συγκεκριμένου μνημείου.

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 εγχάρκτη 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 οικοδόμημα και τις επιγραφές στα κτίσματα της Ρόδου.

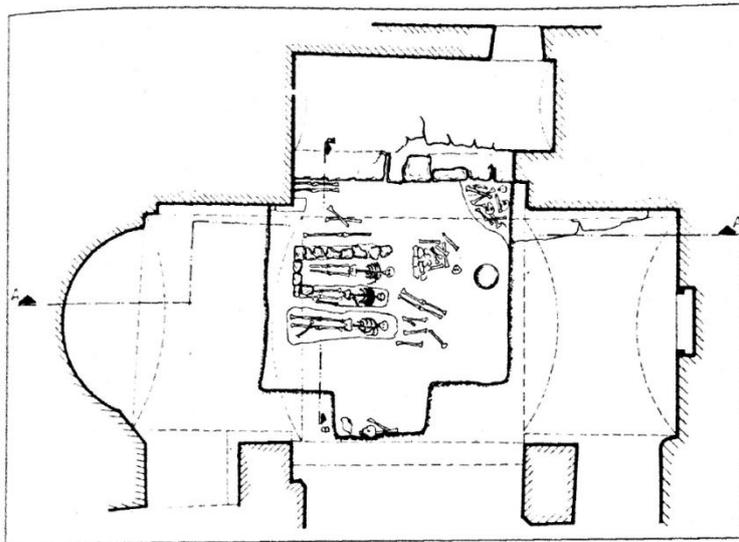
Σήμερα, πρόκειται για ένα οικοδόμημα μετρίων διαστάσεων, με ακανόνιστου σχήματος κάτοψη ως αποτέλεσμα των επεμβάσεων, προσθηκών, κατεδαφίσεων και αλλοιώσεων που υπέστη διαχρονικά. Επιπλέον, μόνο η βόρεια όψη και τμήμα της ανατολικής είναι εμφανείς, καθώς περιμετρικά του ναού έχουν ανεγερθεί κατοικίες. 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, περίπτα, 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.



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 αψίδας 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 αψίδας. Στη νότια πλευρά του ιερού, διατηρούνται τμήματα αγιογραφιών τριών ιεραρχών.



Εικόνα 1.12 : Δίλοβο παράθυρο και τοιχογραφίες στην αψίδα 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.

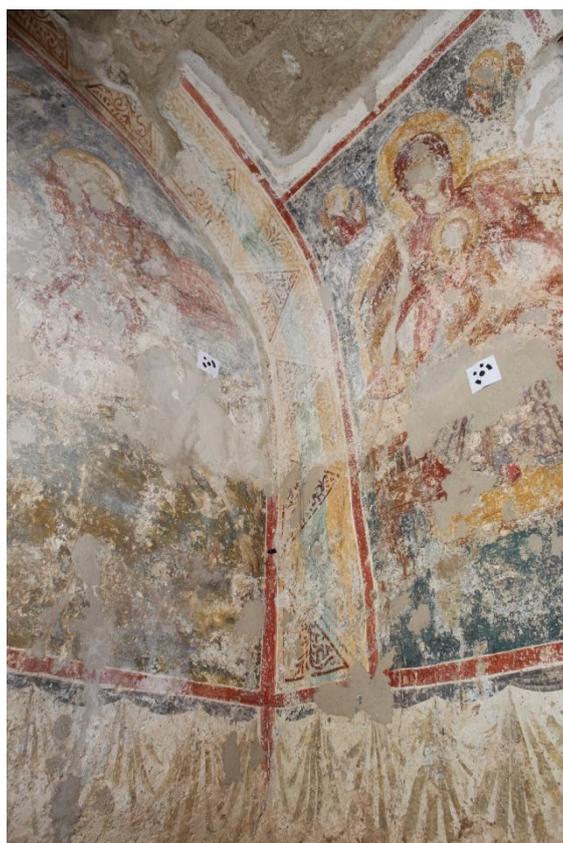


Εικόνα 1.13 : Φεγγίτης

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.

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 και 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.

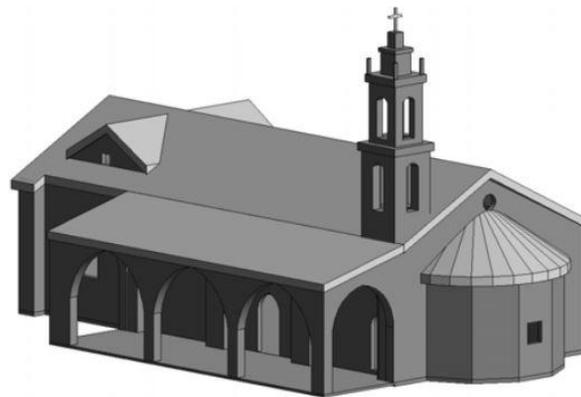


Εικόνα 2.4: Ορθοφωτογραφία της εξωτερικής βόρειας όψης της εκκλησίας της Ασίνου στην Κύπρο

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 *rolli(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:

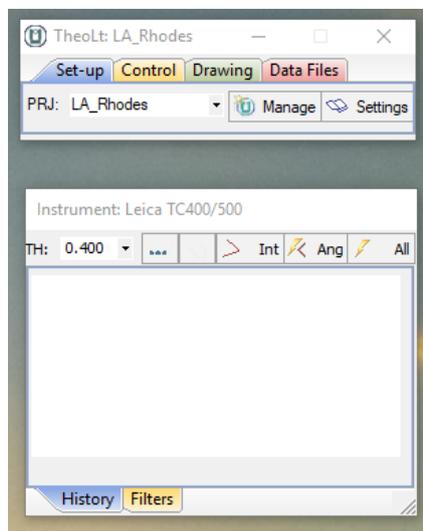
- Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR405 με τα παρελκόμενά του (τρίποδας και 2 mini κατάφωτα με τα τρίποδά τους) και με τις παρακάτω τεχνικές προδιαγραφές:
 - Εμβέλεια απόστασης με πρίσμα 3500 m
 - Ακρίβεια στην απόσταση με πρίσμα από ($\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$) μέχρι ($\pm 5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$)
 - 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

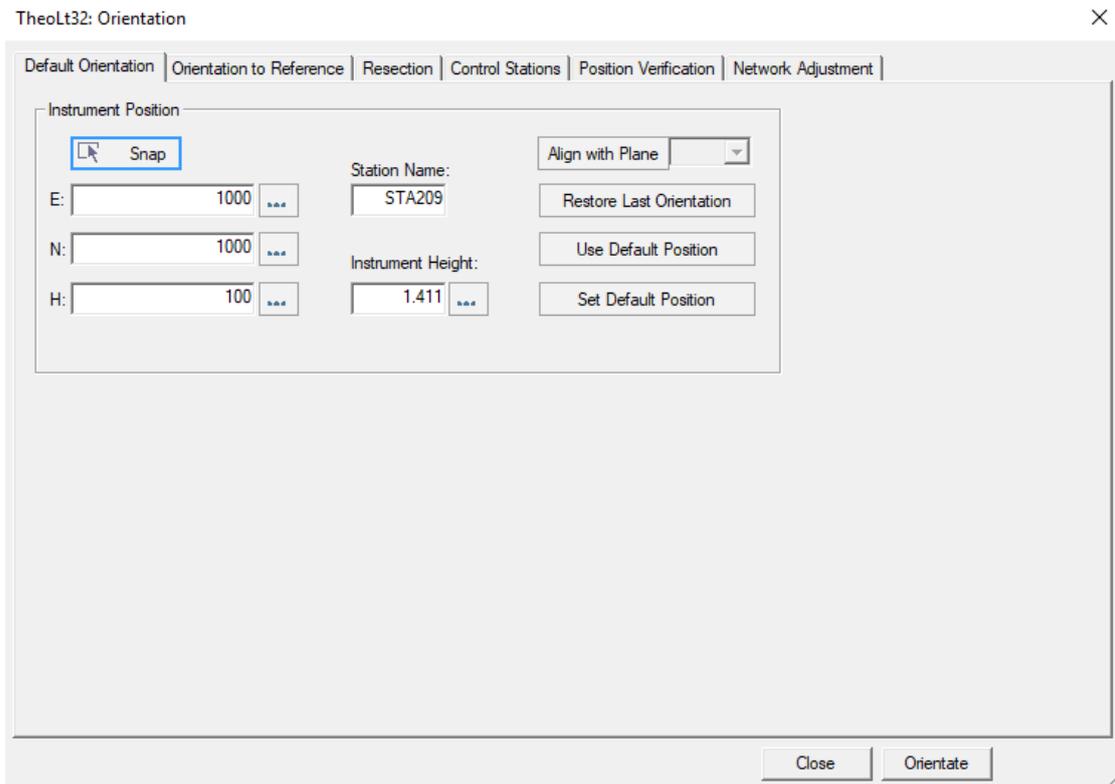
ταχυμετρίας. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό με τον φορητό υπολογιστή και έχοντας ανοιχτό εκτός από το λογισμικό του TheoLt και το Autocad.

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



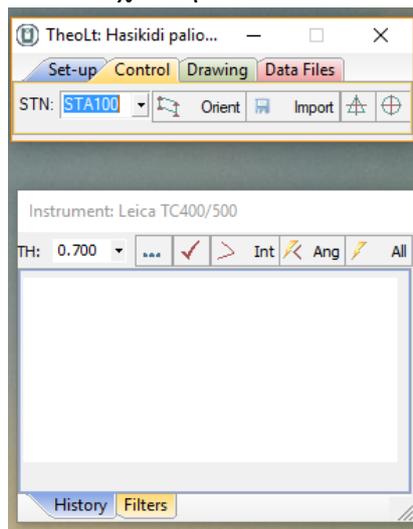
Εικόνα 3.1: Περιβάλλον του λογισμικού TheoLt

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

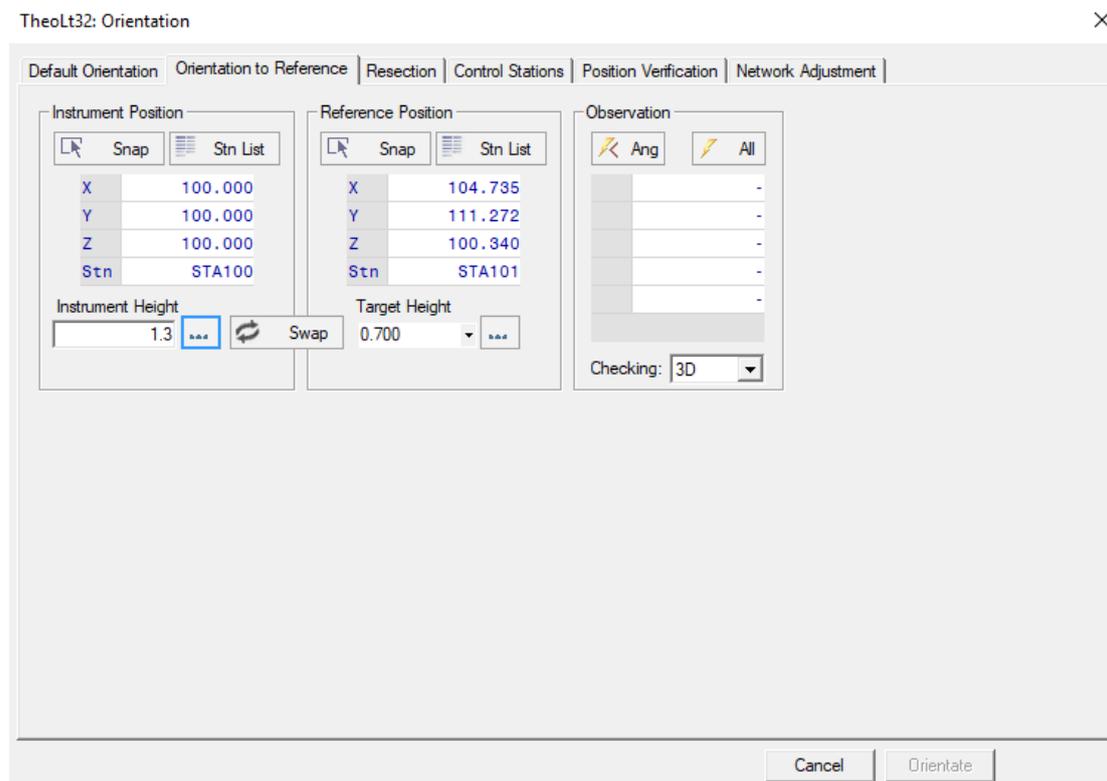
Για τη μέτρηση της επόμενης στάσης και από το μενού Control τίθεται το ύψος στόχου και πραγματοποιείται μέτρηση του σημείου και δίνεται η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα στο αν θα είναι στάση ή σημείο ταχυμετρίας. Κάθε μέτρηση καταγράφεται προσωρινά σε ένα βοηθητικό παράθυρο στο οποίο αναγράφονται η οριζόντια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



Εικόνα 3.3 : Περιβάλλον Μενού Control

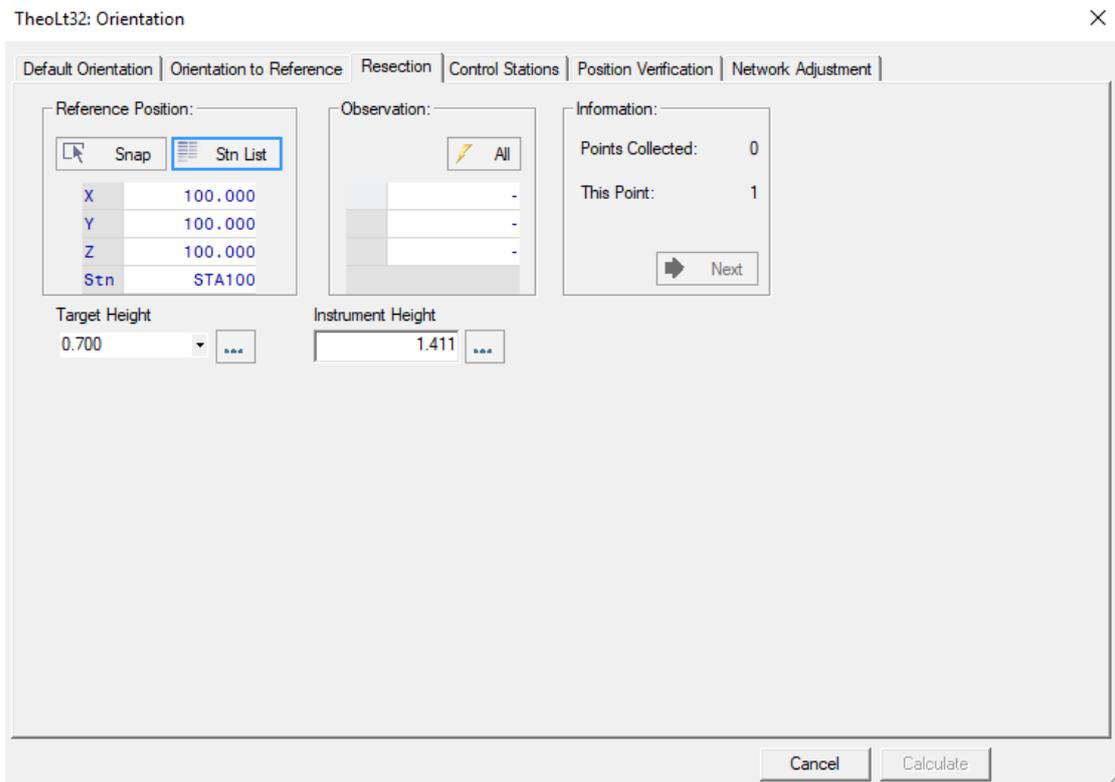
Προχωρώντας στις επόμενες στάσεις της όδευσης και μέσω της επιλογής Orientation to Reference εισάγονται από τη λίστα των ήδη μετρημένων σημείων οι συντεταγμένες

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.



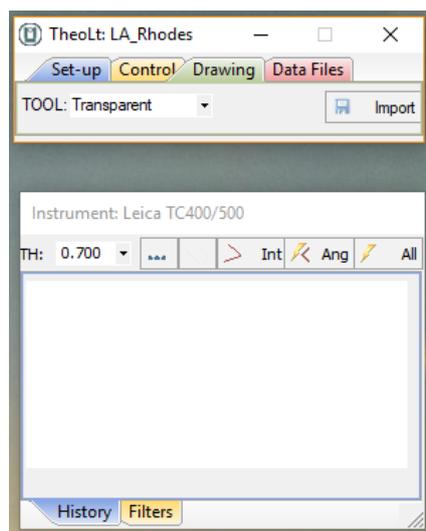
Εικόνα 3.4 : Περιβάλλον Orientation to Reference

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

υπομετρικά σφάλματα, καθώς και το συνολικό σφάλμα για κάθε σκόπευση στην καρτέλα Position Verification.

TheoLt32: Orientation ×

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	STA118	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	104.735,111.2	0.00040	0.00671	0.00672	14/05/18	14:09
73									
74									
75	STA101	STA100	100.001,100.00	100.000,100.0	0.00268	0.00265	0.00376	14/05/18	13:32
76									

Close Calculate

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 σπíti 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.

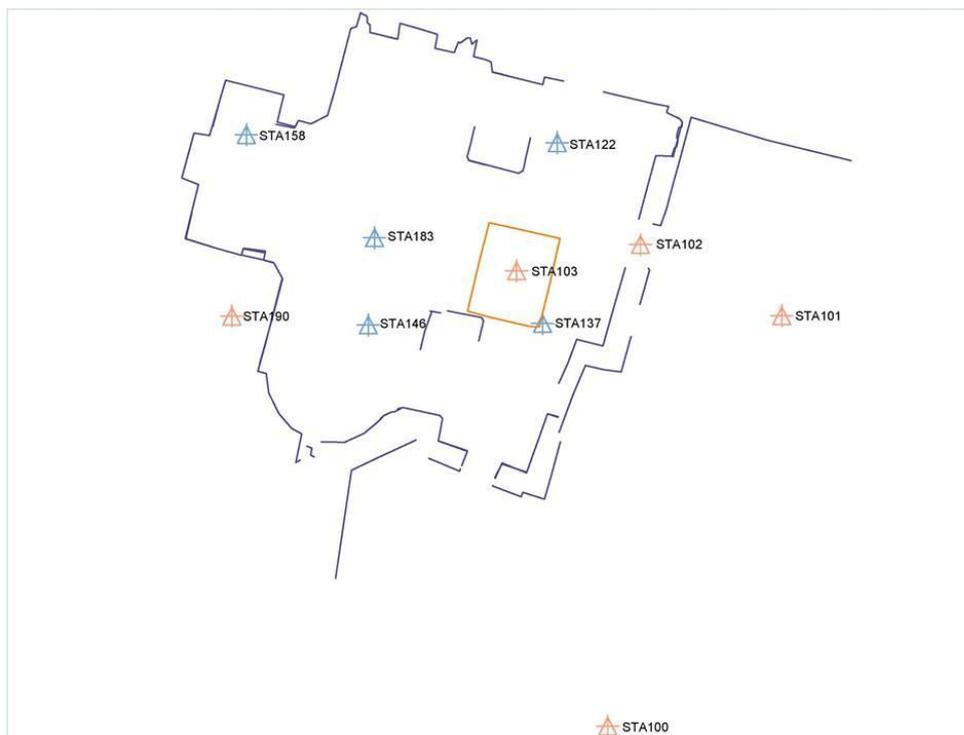
Όλες οι μετρήσεις των στάσεων της όδευσης πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση mini καταφώτου. Σημειώνεται ότι χρειάστηκε η τοποθέτηση ενός ακόμα σημείου (STA145) με τη μορφή στόχου του Photoscan στο βόρειο εκ των κεντρικών τόξων του ναού, ώστε να πραγματοποιηθεί σε αυτό μηδενισμός από τη στάση STA103, καθώς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

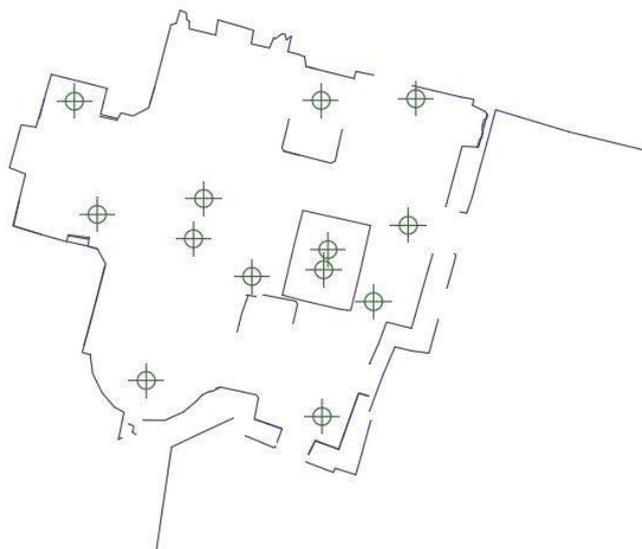
Καθώς δεν ήταν εφικτή η ολοκληρωμένη φωτογράφιση της στέγης και του μιναρέ με επίγειες μεθόδους, αλλά και για μία συνολική άποψη του ναού κρίθηκε απαραίτητη η φωτογράφιση με τη χρήση UAV. Για το σκοπό αυτό έγιναν δύο πτήσεις, μία που εστίαζε στη φωτογράφιση της αυλής και της στέγης και μία δεύτερη που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

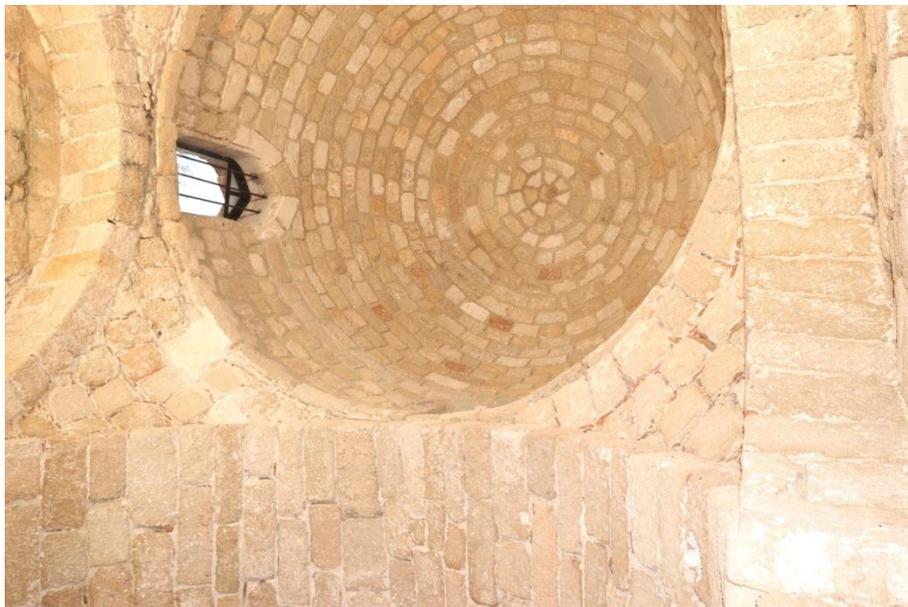
Με την πρώτη επίσκεψη στο ναό του Αγίου Σπυρίδωνος ήταν εμφανής η εγκατάλειψή του και η έλλειψη περιποίησης της αυλής. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε απαραίτητος ο καθαρισμός του χώρου από ειδικό συνεργείο, ώστε να μην υπάρχουν αποκρύψεις στην απεικόνιση των στοιχείων του ναού. Παρ' όλα αυτά, οι εργασίες 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

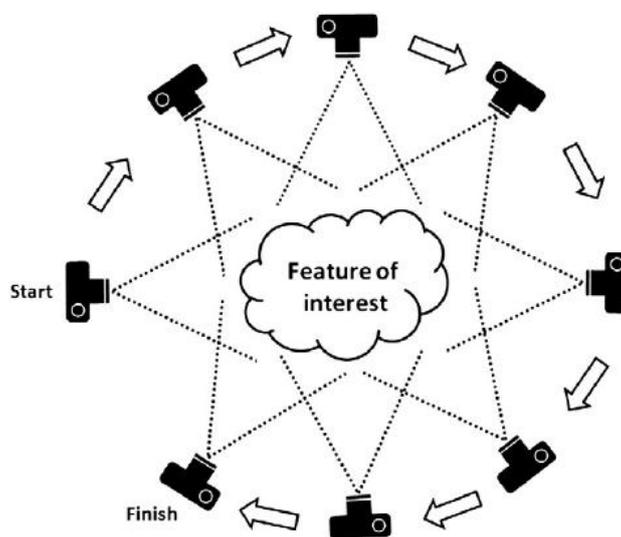
4. Επεξεργασία Δεδομένων

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, 2012¹). Επιπλέον, καθορίζει τρισδιάστατες (3D) πληροφορίες από την εκτίμηση της κίνησης της κάμερας σε

σχέση με τη δομή του αντικείμενου. 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 απεικόνιζαν (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 των ορθοφωτογραφιών, που αναλύεται στο Κεφάλαιο 5.



Εικόνα 4.2: Μάσκα σε εικόνα του εσωτερικού του ναού

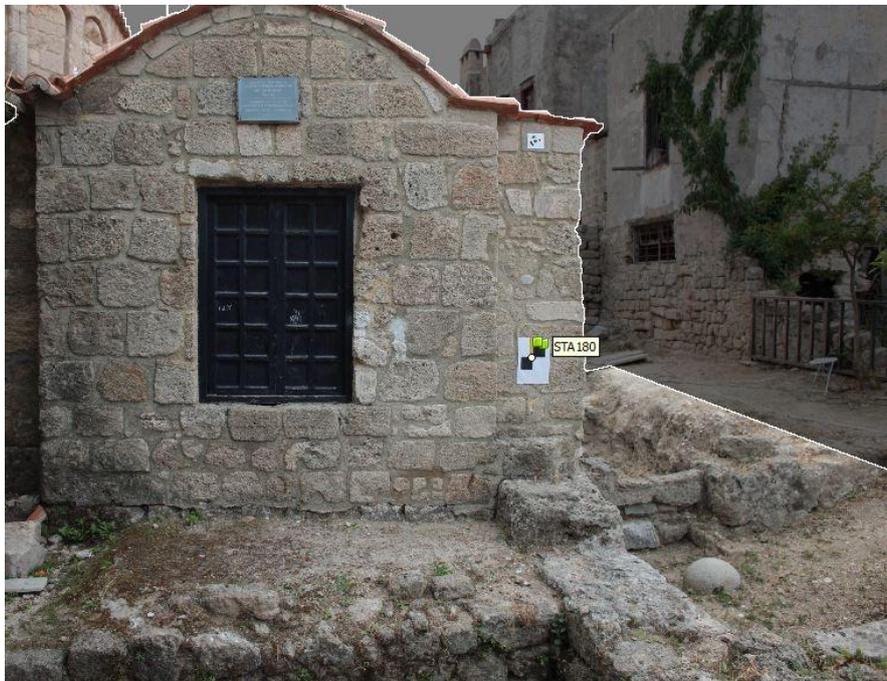


Εικόνα 4.3: Μάσκα σε εικόνα στο εξωτερικό του ναού

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

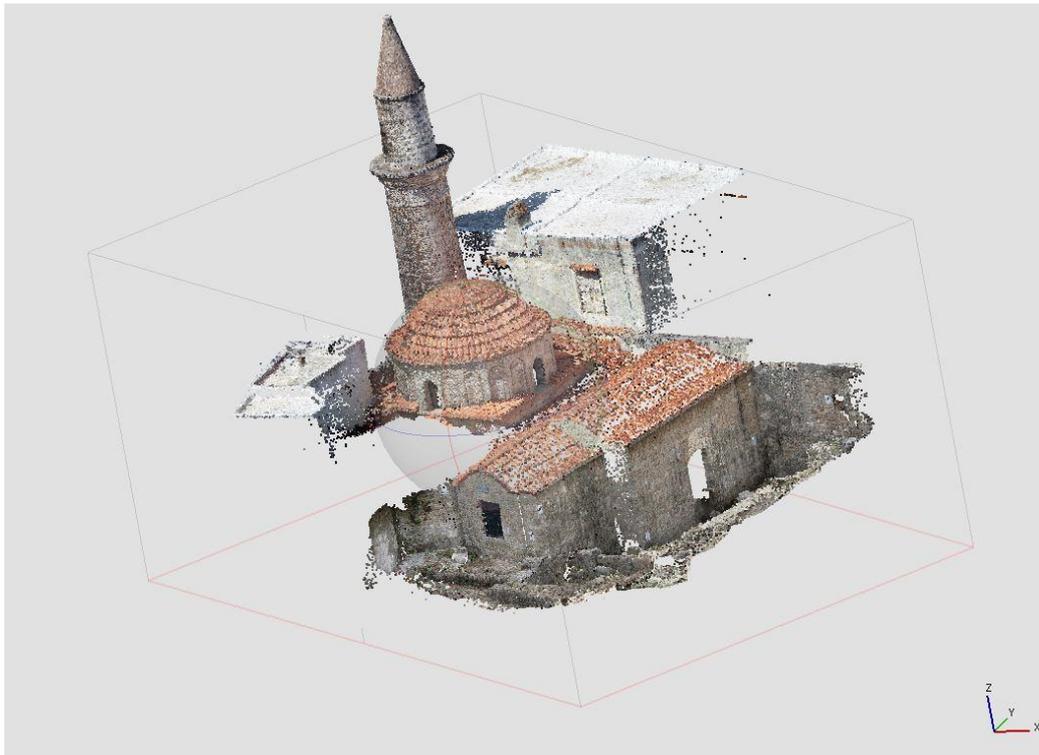


Εικόνα 4.5: Ειδικός στόχος σαρωτή Laser

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 σκόπευση 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.

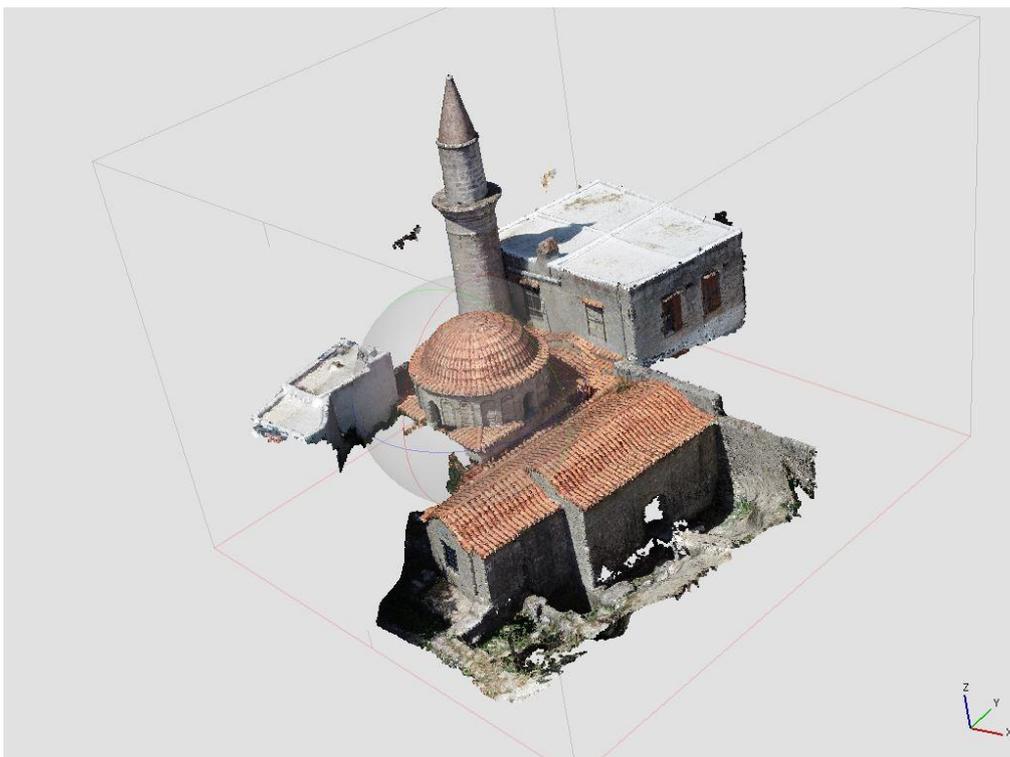
	Εσωτερικό ναού	Εξωτερικό ναού
Μέγιστο Σφάλμα (mm)	± 7	± 11
Μέσο Σφάλμα (mm)	± 3	± 6

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.

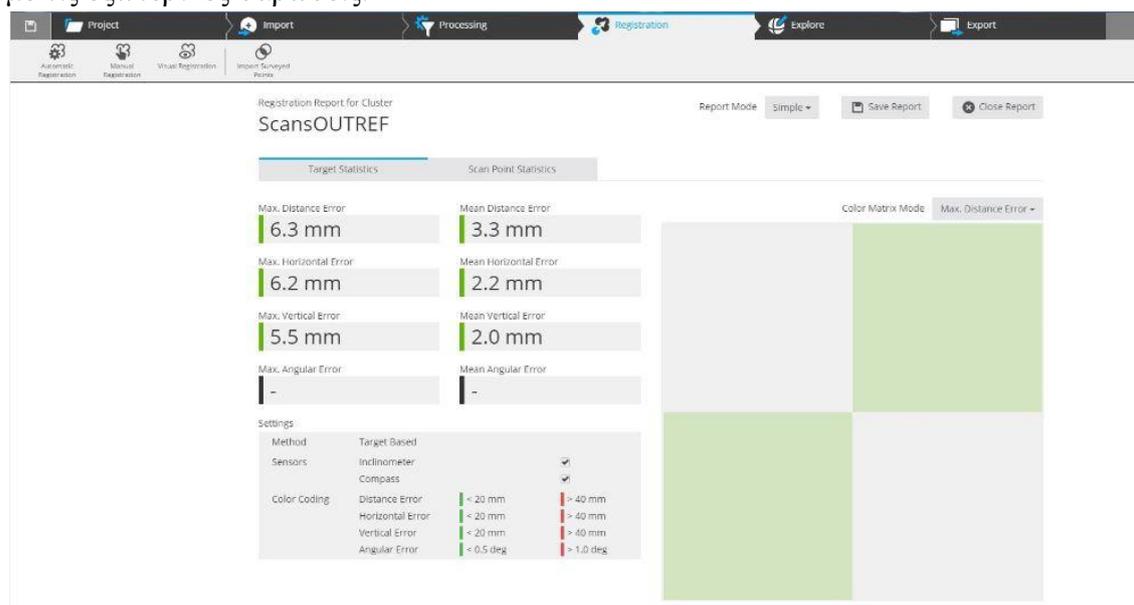
Λαμβάνοντας υπόψη ότι κοινούς στόχους είχαν όλες οι εξωτερικές σαρώσεις μεταξύ τους και αντίστοιχα όλες οι εσωτερικές μεταξύ τους, αποφασίστηκε η ομαδοποίηση των σαρώσεων σε δύο κατηγορίες εντός και εκτός του ναού. Επομένως, πραγματοποιήθηκε μία πρώτη αυτόματη συνένωση των νεφών, κάθε κατηγορίας ταυτόχρονα, 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.

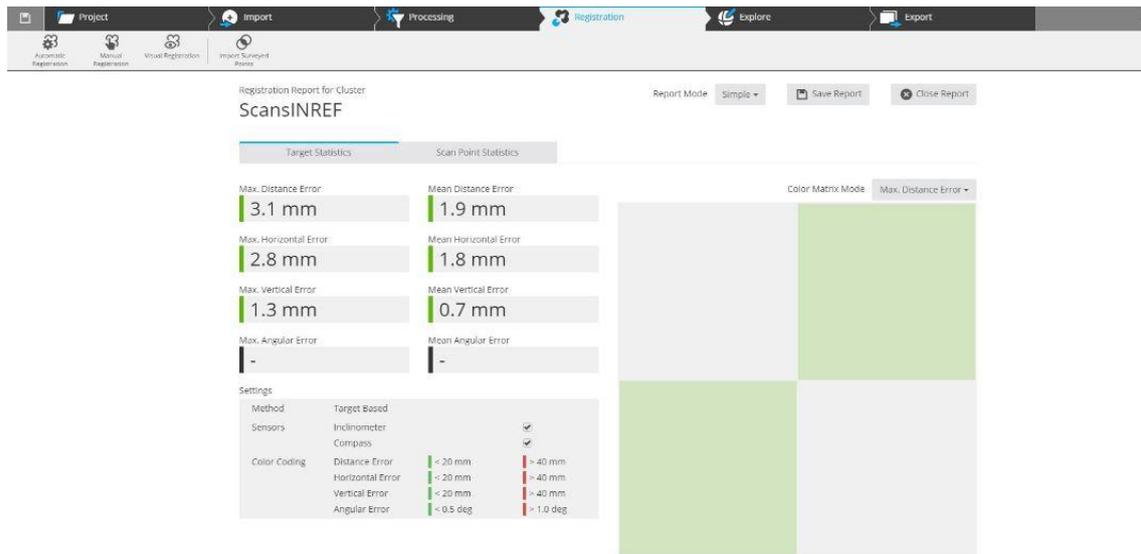
	Εξωτερικές Σαρώσεις	Εσωτερικές Σαρώσεις
Μέγιστο Σφάλμα (mm)	± 6.3	± 3.1
Μέσο Σφάλμα (mm)	± 3.3	± 1.9
Μέγιστο Οριζοντιογραφικό Σφάλμα (mm)	± 6.2	± 2.8
Μέσο Οριζοντιογραφικό Σφάλμα (mm)	± 2.2	± 1.8
Μέγιστο Υψομετρικό Σφάλμα (mm)	± 5.5	± 1.3
Μέσο Υψομετρικό Σφάλμα (mm)	± 2.0	± 0.7

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

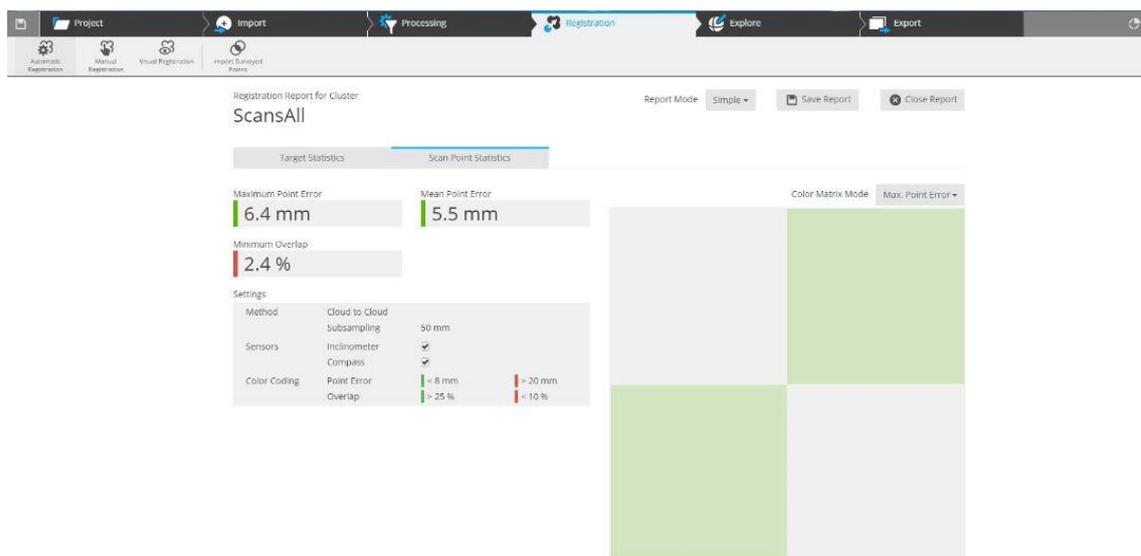


Εικόνα 4.11: Αναφορά σφαλμάτων εσωτερικών σαρώσεων

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

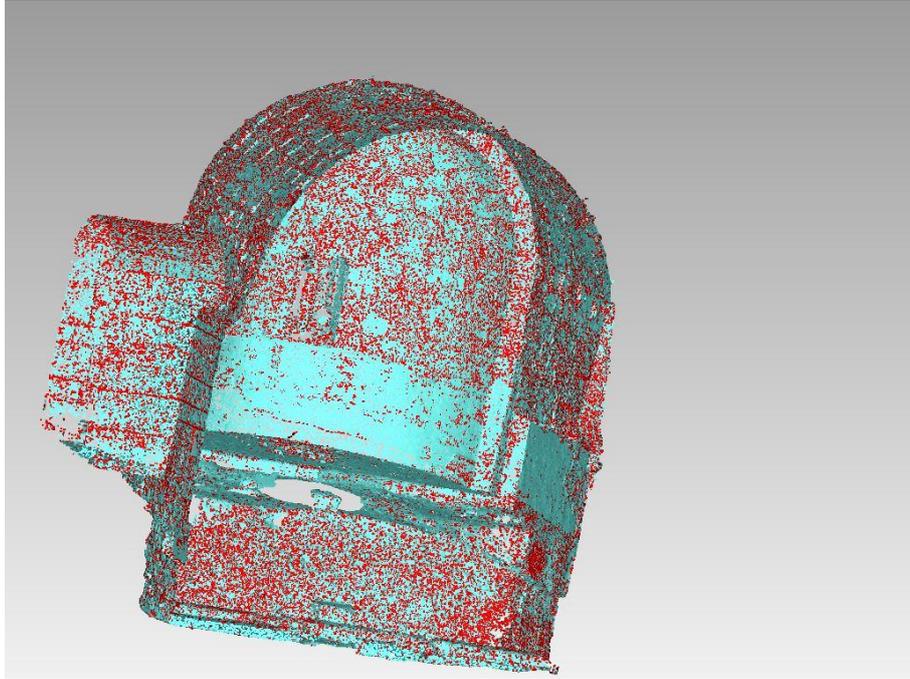
Τέλος, πραγματοποιήθηκε εξαγωγή των γεωαναφερμένων νεφών σημείων, χωρίς να ληφθεί υπόψη η ομαδοποίηση που είχε γίνει, αλλά ανά σάρωση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε εργαλείο για τον περιορισμό του εύρους των σημείων κάθε σάρωσης, ώστε να απεικονίζεται το αντικείμενο ενδιαφέροντος και τμήμα του περιβάλλοντα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

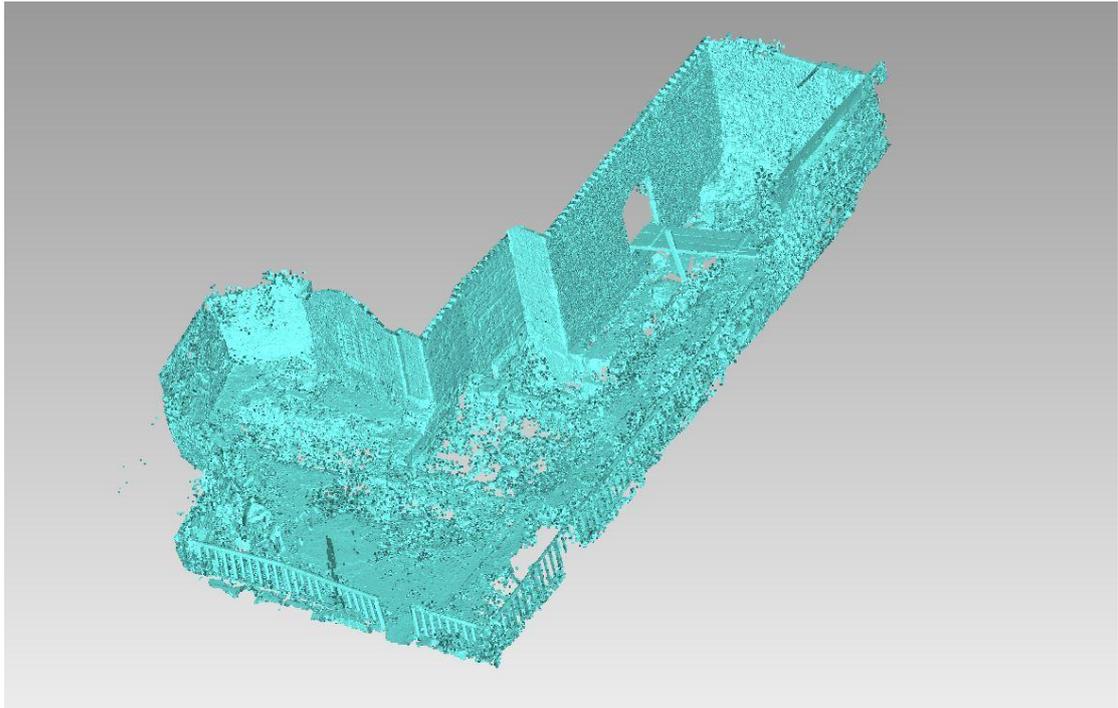
Ο καθαρισμός των επιμέρους τμημάτων που δημιουργήθηκαν συνεχίστηκε με τη χειροκίνητη διαγραφή του θορύβου, δηλαδή των περιττών στοιχείων όπως η βλάστηση, ο περιβάλλον χώρος του ναού, κινούμενα αντικείμενα κ.τ.λ. Το μεγαλύτερο μέρος του θορύβου αυτού, συναντήθηκε κυρίως στο εξωτερικό τμήμα του ναού.

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.

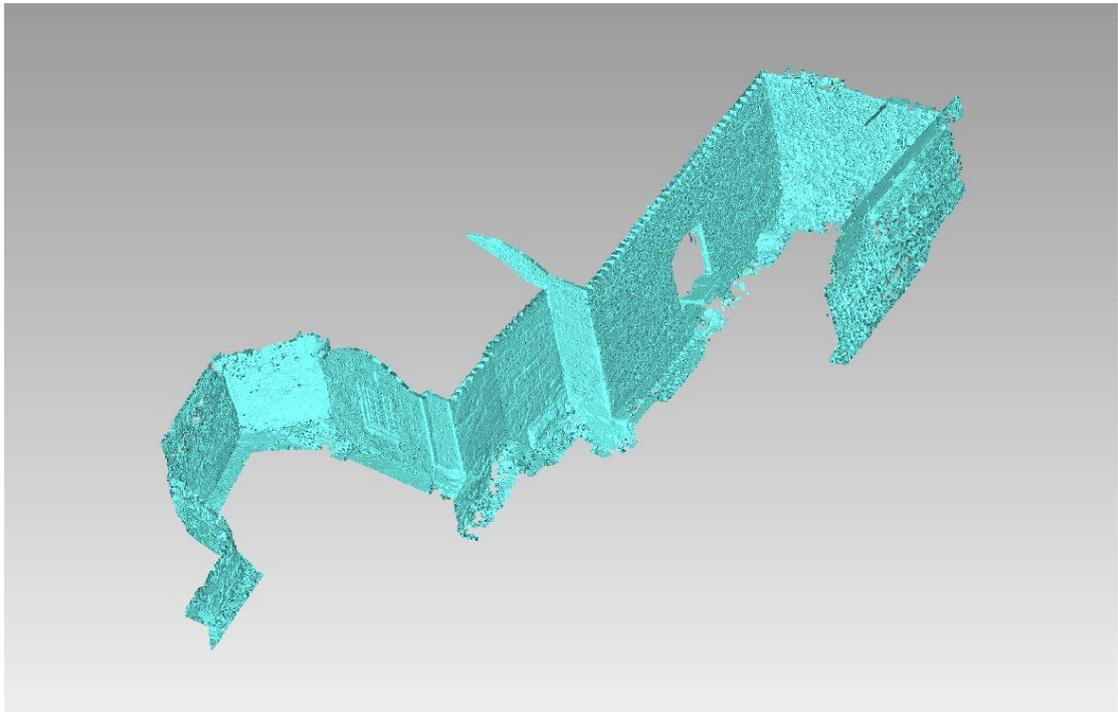


Εικόνα 4.13: Φίλτρο καθαρισμού Select Outliers

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



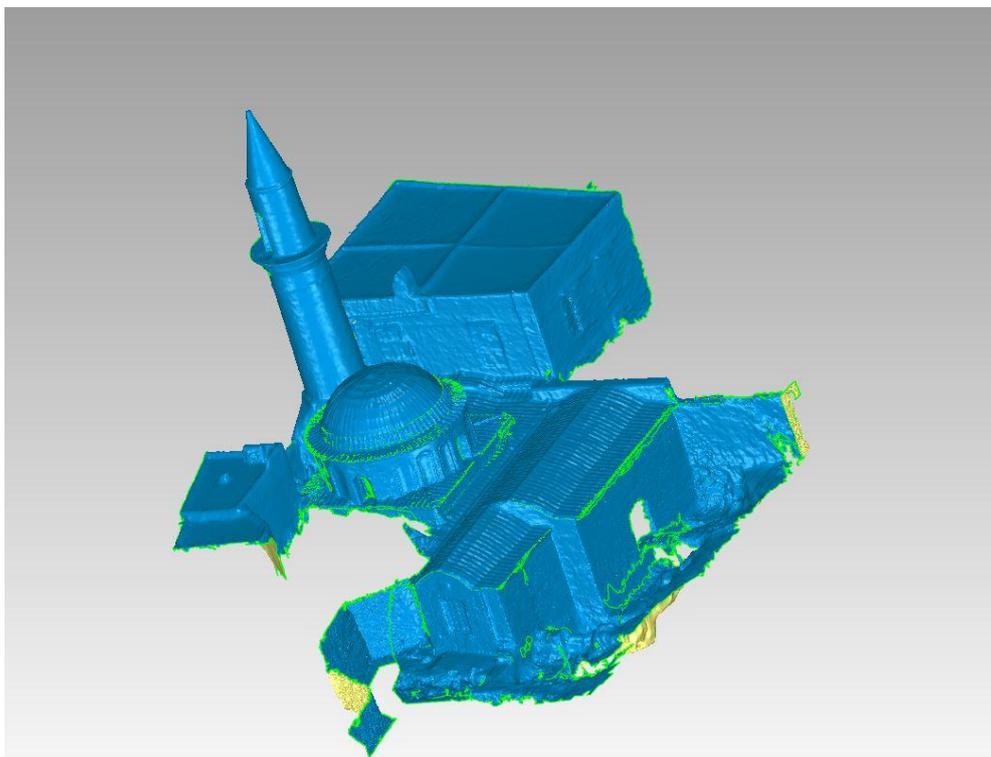
Εικόνα 4.15: Εξωτερικός τοίχος ναού, μετά τον αυτόματο και χειροκίνητο καθαρισμό

4.4. Δημιουργία Επιφάνειας

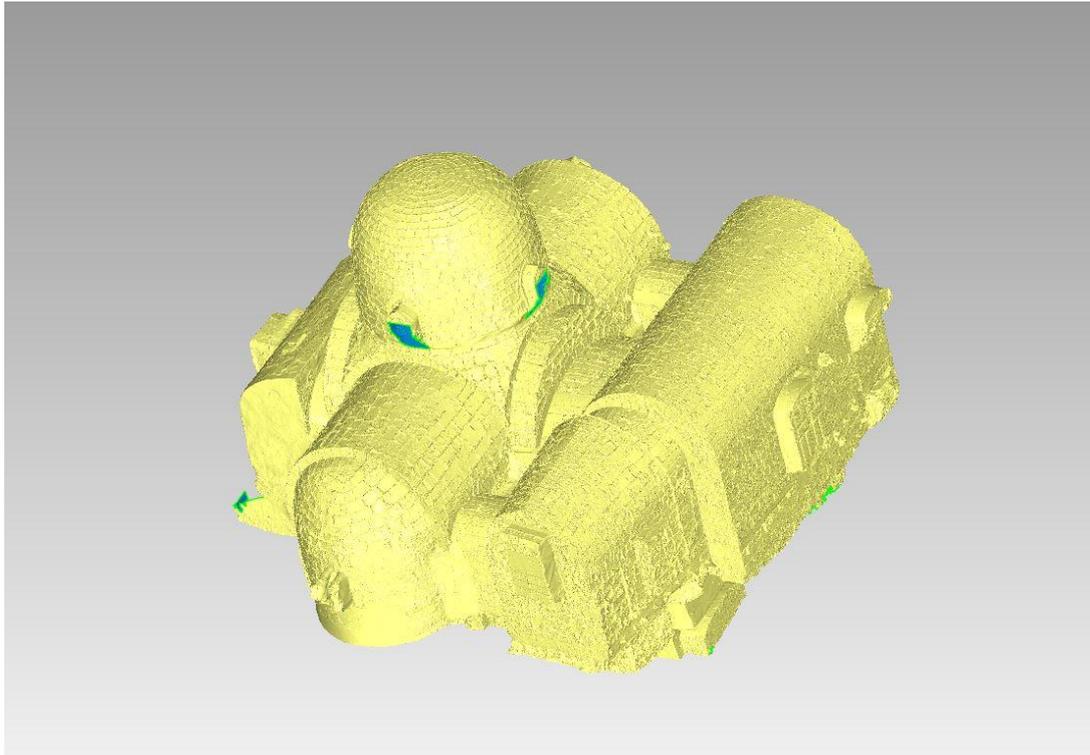
Ύστερα από τον καθαρισμό των νεφών σημείων, με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρείται η αρχική τους ακρίβεια και να είναι διαχειρίσιμα, ακολούθησε η δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας αφού πρώτα κατασκευάστηκε το πλέγμα, με τη μέθοδο των ακανόνιστων τριγώνων (Triangulated Irregular Network), παραμένοντας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

Όπως και στο προηγούμενο στάδιο, τα δεδομένα υπέστησαν επεξεργασία ανά χώρο και χρησιμοποιήθηκε η εντολή wrap 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



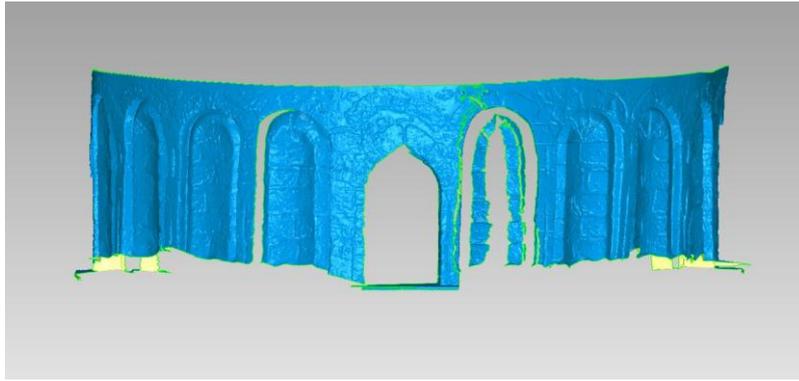
Εικόνα 4.17: Εσωτερική τρισδιάστατη επιφάνεια του ναού

4.4.1. Εξωτερικά του ναού

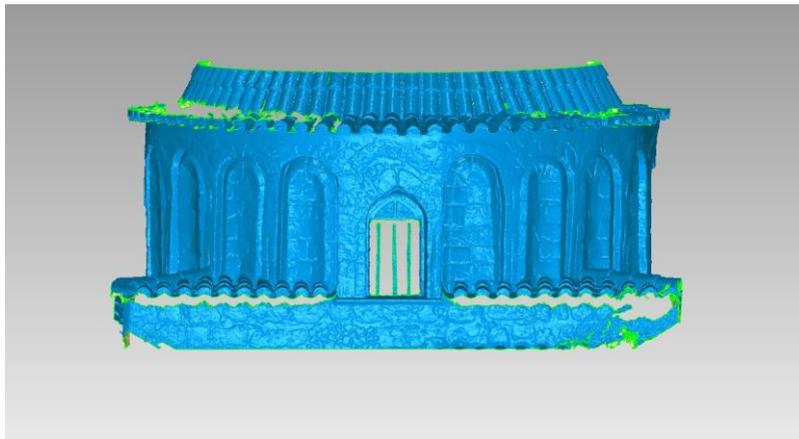
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το εξωτερικό τμήμα του ναού χωρίστηκε σε επιμέρους και πιο συγκεκριμένα στην αυλή, τον εξωτερικό τοίχο, το τύμπανο του τρούλου, τα κεραμίδια και το μιναρέ. Για καθένα από αυτά προέκυψε η τρισδιάστατη επιφάνεια από το νέφος σημείων του σαρωτή laser, σε πολλές περιπτώσεις όμως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

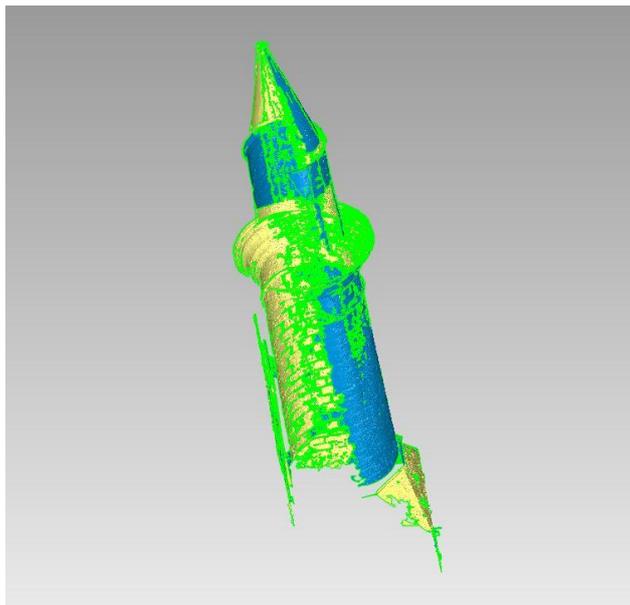


Εικόνα 4.18: Επιφάνεια τυμπάνου από σαρώσεις

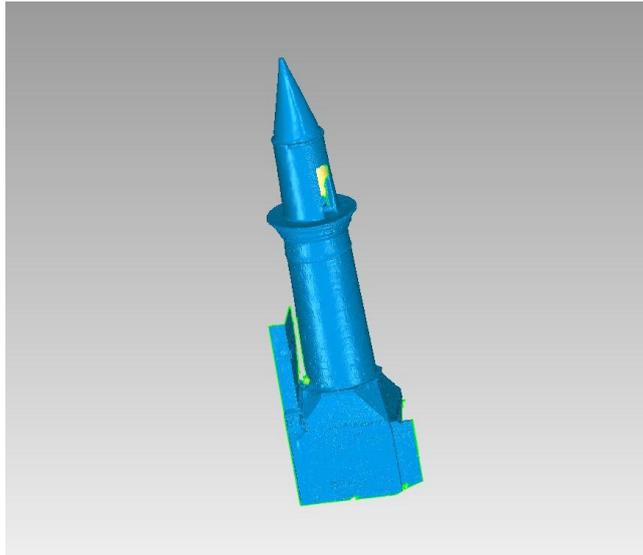


Εικόνα 4.19: Επιφάνεια τυμπάνου από φωτογραφίες μηχανής DSLR

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.

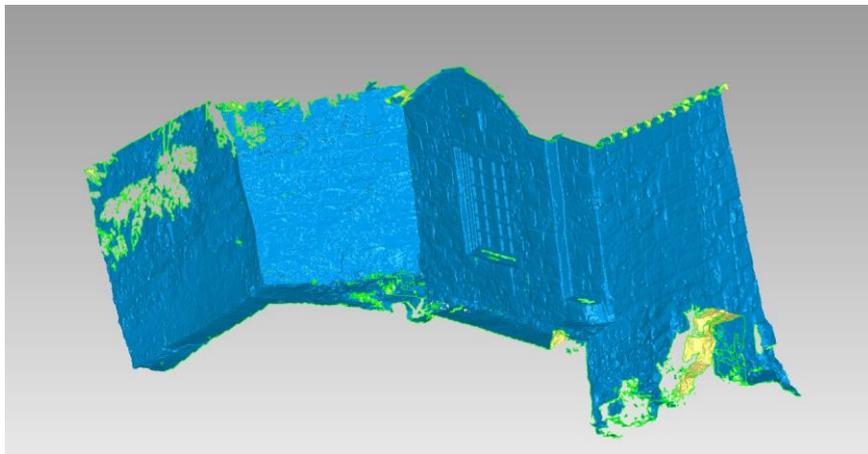


Εικόνα 4.20: Επιφάνεια μιναρέ από σαρώσεις

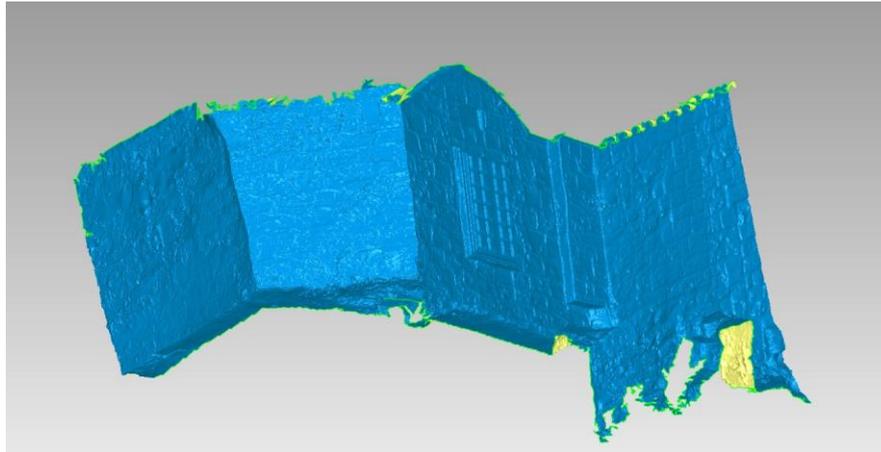


Εικόνα 4.21: Επιφάνεια μιναρέ από φωτογραφίες

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.



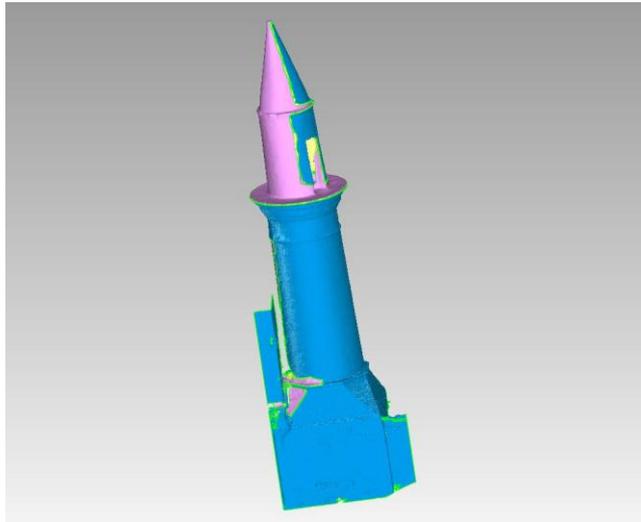
Εικόνα 4.24: Ανεστραμμένα τρίγωνα στην τρισδιάστατη επιφάνεια



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.

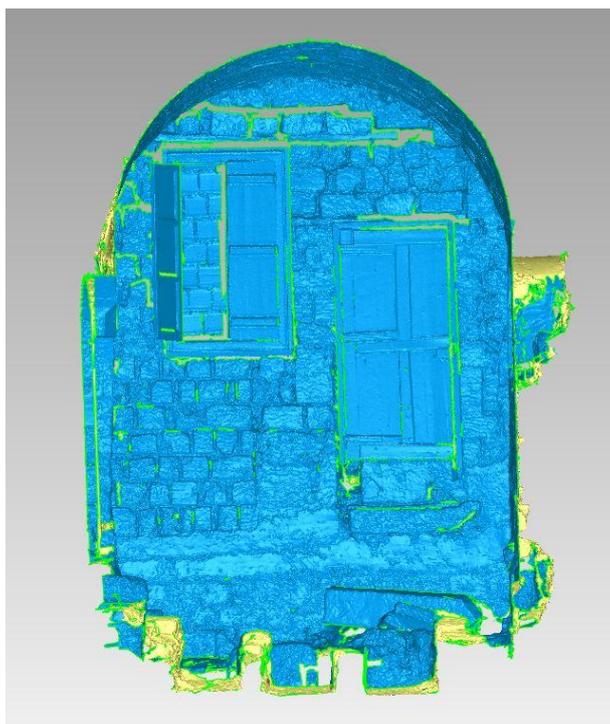


Εικόνα 4.26: Επιφάνεια μινιάρé από φωτογραφίες μηχανής DSLR και UAV

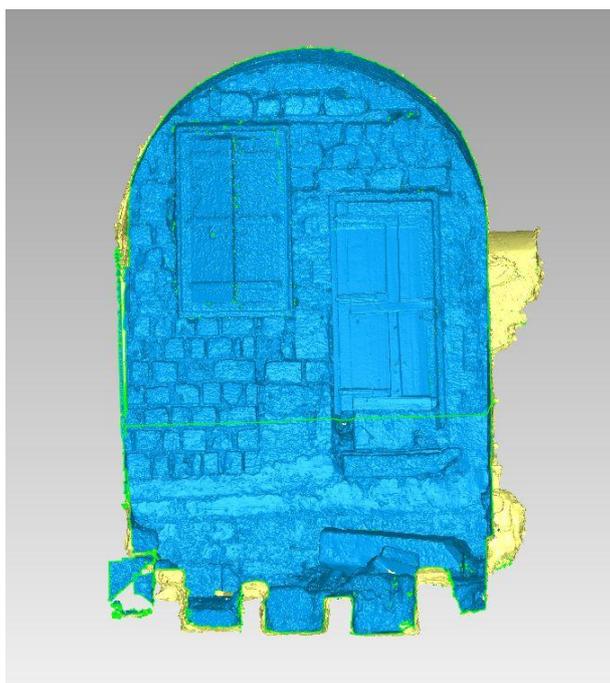
4.4.2. Εσωτερικά του ναού

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



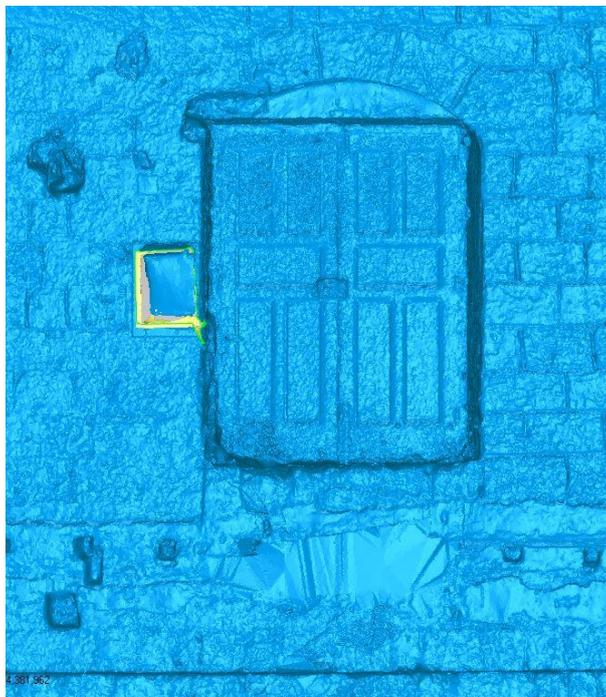
Εικόνα 4.28: Επιφάνεια τοιχοποιίας βόρειου κλίτους από σαρώσεις και φωτογραφίες μηχανής DSLR

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.

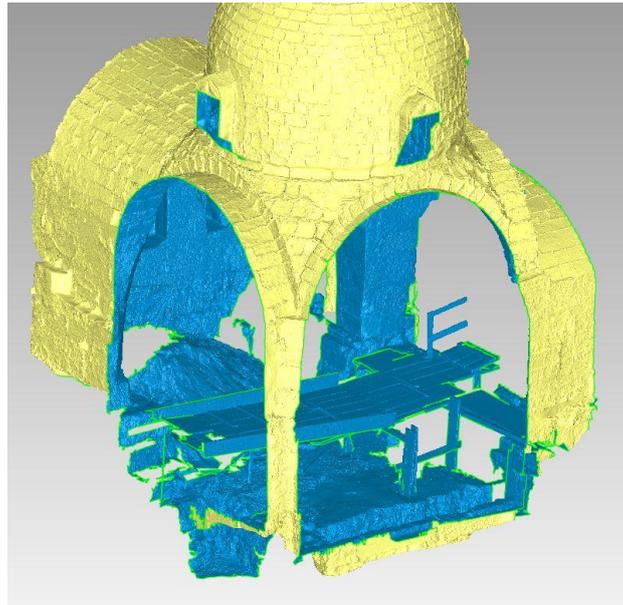


Εικόνα 4.29: Τμήμα της εισόδου του ναού πριν την εφαρμογή του Mesh Doctor

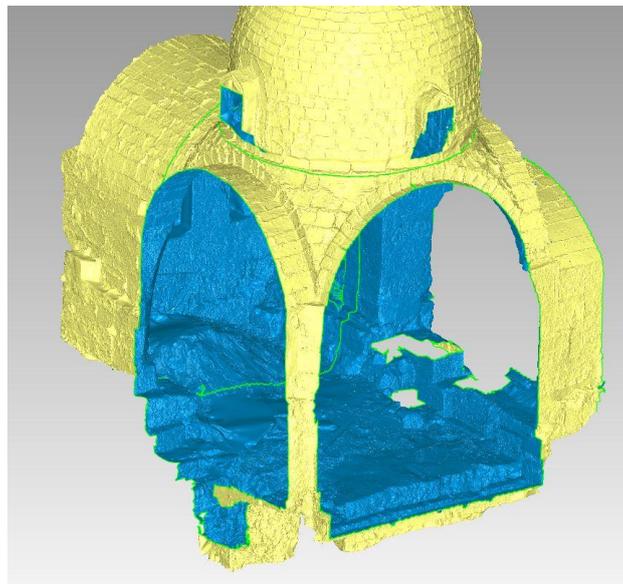


Εικόνα 4.30: Τμήμα της εισόδου του ναού μετά την εφαρμογή του Mesh Doctor

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 υπάρχει 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 προκύψουν τα τελικά τεκμηριωτικά προϊόντα, όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

5. Παραγωγή Υποβάθρων Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την παραγωγή των τελικών προϊόντων της γεωμετρικής τεκμηρίωσης και συγκεκριμένα των όψεων και των οριζόντιων και κατακόρυφων τομών, του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος. Τα σχέδια αυτά θα αξιοποιηθούν στη συνέχεια από τις υπόλοιπες ειδικότητες (αρχαιολόγους, αρχιτέκτονες, πολιτικούς μηχανικούς, κτλ) που θα συμβάλουν στη μελέτη και αποκατάσταση του ναού. Για το σκοπό αυτό πρέπει το κάθε σχέδιο να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, να αποδίδει σωστά τα σχήματα, τις μορφές και τα περιγράμματα και να περιέχει την απαραίτητη λεπτομέρεια.

5.1. Παραγωγή Τομών

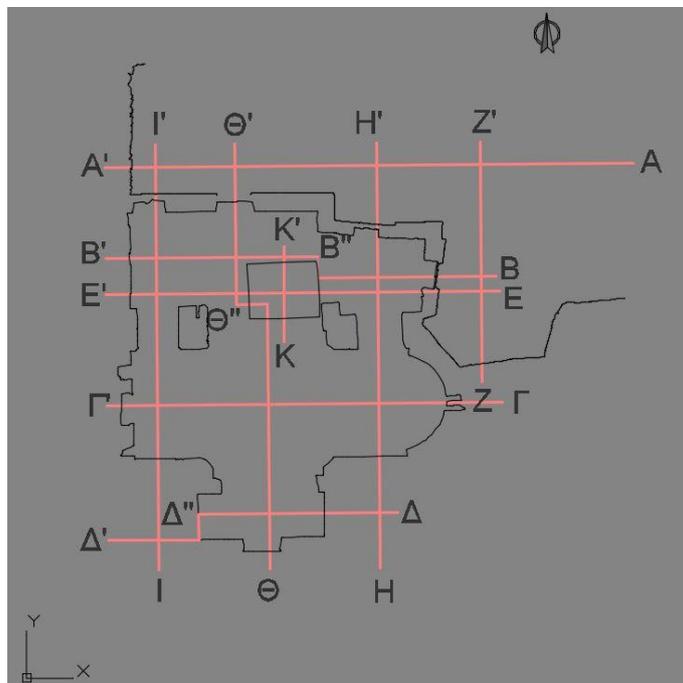
Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, ο συνολικός αριθμός των τομών που θα υλοποιούνταν, καθώς και οι θέσεις αυτών αποφασίστηκαν στο πεδίο, αφού εξετάστηκαν η μορφή του ναού και οι πιθανές περιοχές ενδιαφέροντος. Ωστόσο, οι τομές που τελικά χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των σχεδίων προέκυψαν από το τρισδιάστατο μοντέλο του ναού, που παρείχε τη δυνατότητα μεγαλύτερης λεπτομέρειας. Επομένως, οι ήδη μετρημένες στο πεδίο τομές συνέβαλαν στον έλεγχο της σωστής γεωμετρίας του τρισδιάστατου μοντέλου και στη συμπλήρωση αυτού, όπου κρίθηκε απαραίτητο, λόγω έλλειψης πληροφορίας.

Όσον αφορά στα κριτήρια με τα οποία οι τομές καθορίστηκαν, αρχικά, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ναός του Αγίου Σπυρίδωνος διέθετε τρούλο, αποφασίστηκε η υλοποίηση δύο τομών, μίας κατά μήκος και μίας εγκάρσιας, οι οποίες θα διέρχονται από το κέντρο του και συγκεκριμένα από τον σταυρό που εδράζεται στην κορυφή του. Στην περίπτωση κυλινδρικής οροφής, όπως συμβαίνει στο βόρειο κλίτος του ναού, η τομή αποφασίστηκε να διέρχεται από την υψηλότερη γενέτειρά της. Σε συνδυασμό με όλα τα παραπάνω, κριτήρια για την υλοποίηση των τομών ήταν αυτές να διέρχονται από τα χαρακτηριστικά ανοίγματα του μνημείου, όπως πόρτες και παράθυρα και ταυτόχρονα να είναι παράλληλες στο αντικείμενο που πρόκειται να περιγράψουν, ώστε να μειώνονται οι παραμορφώσεις, λόγω προβολής.

Τελικά, υλοποιήθηκαν δύο οριζόντιες τομές, μία σε ύψος 1,3 m πάνω από τη βάση της σημερινής εισόδου του ναού και μία στην υπόγεια ταφική κρύπτη και συγκεκριμένα 2,5 m κάτω από τη βάση της σημερινής εισόδου του ναού. Επίσης, υλοποιήθηκαν τέσσερις κατακόρυφες κατά μήκος τομές (B-B', Γ-Γ', Δ-Δ', Ε-Ε') και τέσσερις κατακόρυφες εγκάρσιες τομές (Η-Η', Θ-Θ', Ι-Ι', Κ-Κ') (Εικόνα 5.1).

Σημειώνεται, ωστόσο, ότι υπήρξαν περιπτώσεις τομών που ήταν αδύνατο να τηρούνται όλες οι παραπάνω προϋποθέσεις. Για το λόγο αυτό, στην εγκάρσια τομή που διέρχεται από το κέντρο του τρούλου (Θ-Θ') αποφασίστηκε ένα «σπάσιμο» και μία παράλληλη μετατόπιση της τομής, ώστε να διέρχεται και από το άνοιγμα της πόρτας. Το ίδιο συνέβη και στην κατά μήκος τομή του βόρειου κλίτους (B-B'), στο ανατολικό τμήμα του οποίου πραγματοποιήθηκε «σπάσιμο» και παράλληλη μετατόπιση της τομής, ώστε να διέρχεται από το άνοιγμα του παραθύρου. Τέλος,

ιδιαίτερη περίπτωση είναι αυτή της κατά μήκος τομής που διέρχεται από το νότιο κλίτος (Δ-Δ') και στη συνέχεια «σπάει» και μετατοπίζεται παράλληλα στο εξωτερικό του ναού, ώστε να προβάλλεται η νότια όψη του μιναρέ, η οποία δεν περιέχεται σε άλλο σχέδιο.



Εικόνα 5.1: Οριζόντια τομή και ίχνη κατακόρυφων τομών

Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι όλες οι κατακόρυφες εγκάρσιες τομές είναι παράλληλες μεταξύ τους και το ίδιο ισχύει και για τις κατακόρυφες κατά μήκος τομές μεταξύ τους.

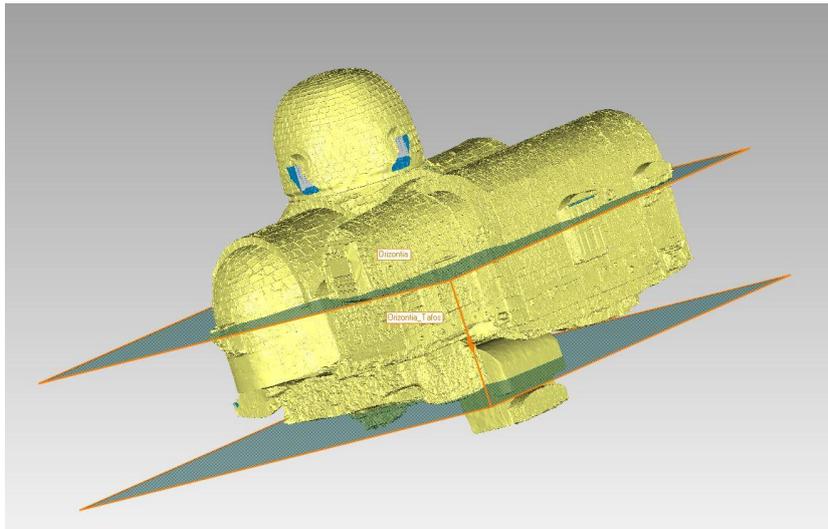
Για τη δημιουργία του επιπέδου κάθε τομής χρησιμοποιήθηκαν τρία σημεία κάθε φορά, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τη γωνία διεύθυνσης ως προς το τοπικό αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων.

Τομή	X(m)	Y(m)	Z(m)	Γωνία διεύθυνσης (grad)
A-A'	98.9825	100.9723	100.0000	83.0736
B-B'				
Γ-Γ'	105.8913	126.3419	100.0000	
Δ-Δ'				
E-E'	98.9825	100.9723	130.0000	
Z-Z'	79.2502	109.9724	100.0000	183.0860
H-H'				

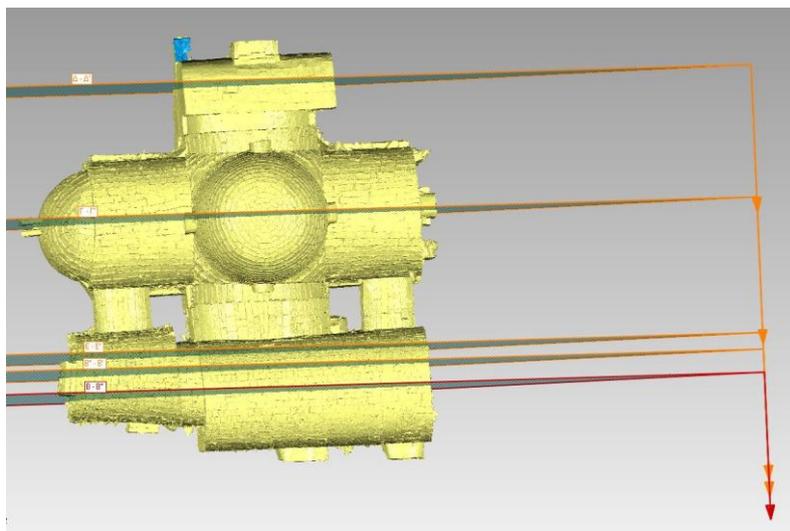
$\Theta-\Theta'$	113.0228	100.7823	100.0000	
$I-I'$	79.2502	109.9724	130.0000	
$K-K'$				

Πίνακας 5.1: Σημεία ορισμού επιπέδου τομής

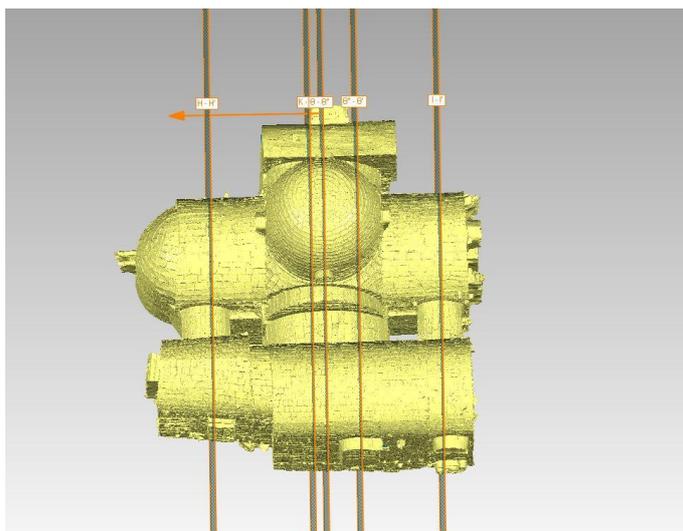
Η υλοποίηση των τομών πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του Geomagic Qualify. Λόγω της παραλληλίας μεταξύ όλων των κατακόρυφων κατά μήκος τομών δημιουργήθηκε ένα επίπεδο τομής, με τη μετατόπιση του οποίου παρήχθησαν όλες οι τομές. Με τον ίδιο τρόπο υλοποιήθηκαν και οι κατακόρυφες εγκάρσιες τομές.



Εικόνα 5.2: Επίπεδα οριζόντιων τομών στο τρισδιάστατο μοντέλο



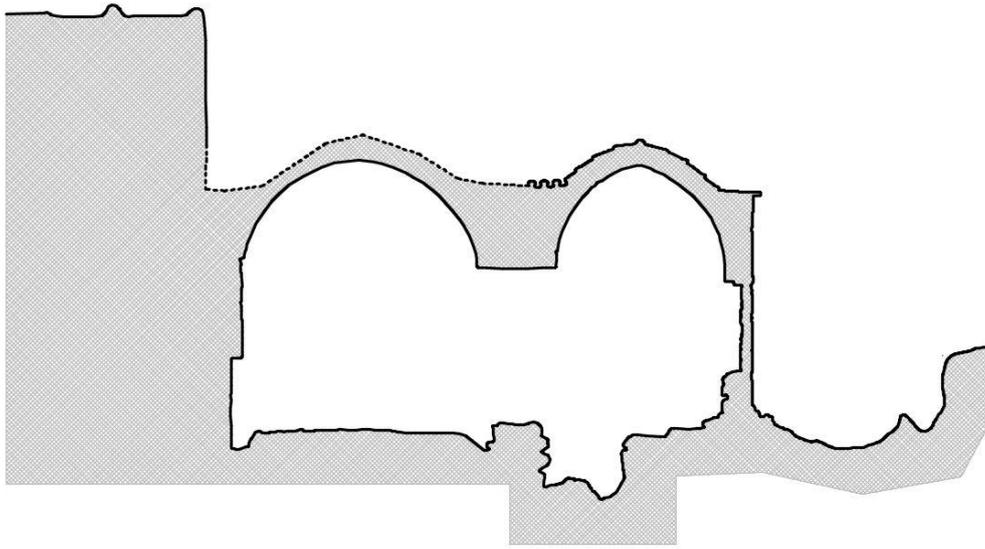
Εικόνα 5.3: Επίπεδα κατακόρυφων κατά μήκος τομών στο τρισδιάστατο μοντέλο



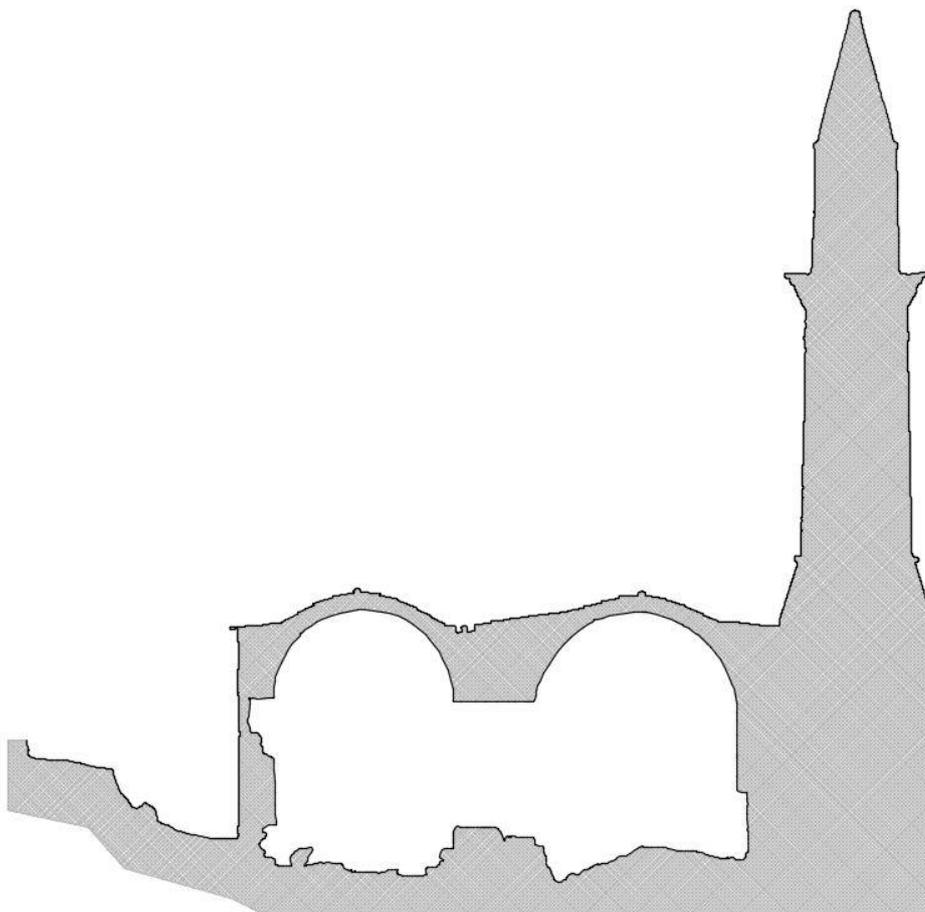
Εικόνα 5.4: Επίπεδα κατακόρυφων εγκάρσιων τομών στο τρισδιάστατο μοντέλο

Αναλυτικά, προκειμένου να προκύψουν οι γραμμές τομής ήταν απαραίτητο η τρισδιάστατη επιφάνεια του αντικειμένου να μετατραπεί σε σημεία. Έπειτα, με βάση τα δύο επίπεδα που ορίστηκαν, πραγματοποιήθηκε η παραγωγή των σημείων που συνθέτουν κάθε γραμμή τομής, ορίζοντας κάθε φορά το πλάτος του επιπέδου, ανάλογα με την πληροφορία (πλήθος σημείων) που ήταν επιθυμητή. Συγκεκριμένα, στις επιφάνειες που προέκυψαν από το σαρωτή laser και είχαν μεγάλη λεπτομέρεια, το πλάτος του επιπέδου κυμαινόταν στα 4 με 5 mm. Το ίδιο συνέβαινε και στις επιφάνειες που προέκυψαν από επίγειες φωτογραφίες με μηχανή DSLR. Αντίθετα, στις επιφάνειες που προέκυψαν από εναέριας φωτογραφίες με το UAV, το πλάτος του επιπέδου ανερχόταν στα 1 ή 2 cm, ώστε να προκύψει η απαιτούμενη λεπτομέρεια από τα αραιότερα σημεία. Σε κάθε περίπτωση πριν την τελική εξαγωγή των σημείων της τομής πραγματοποιείται έλεγχος, για το κατά πόσο το πλήθος των σημείων της είναι επαρκές, ώστε να μη χάνεται πολύτιμη πληροφορία, ενώ ταυτόχρονα να είναι ξεκάθαρο το σχήμα και να μη δημιουργεί σύγχυση.

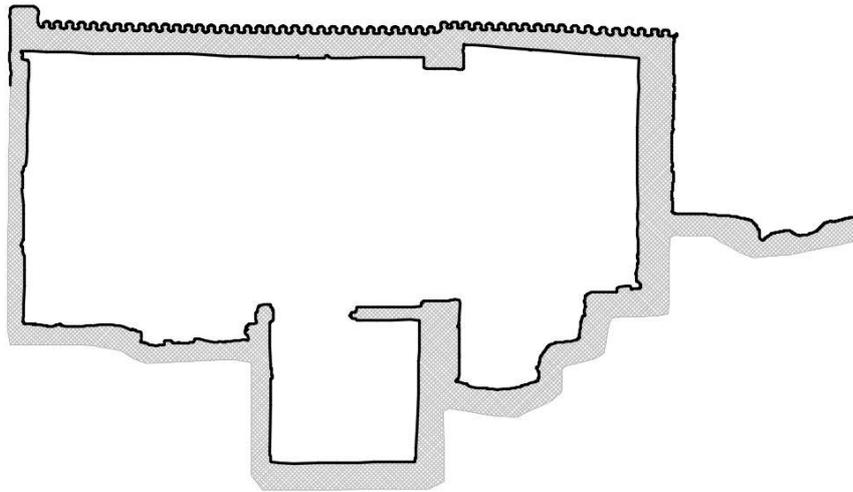
Τα σημεία που απαρτίζουν κάθε τομή ενώθηκαν στη συνέχεια στο περιβάλλον του Autocad και προέκυψε η γραμμή τομής.



Εικόνα 5.5: Κατακόρυφη εγκάρσια τομή Η-Η'

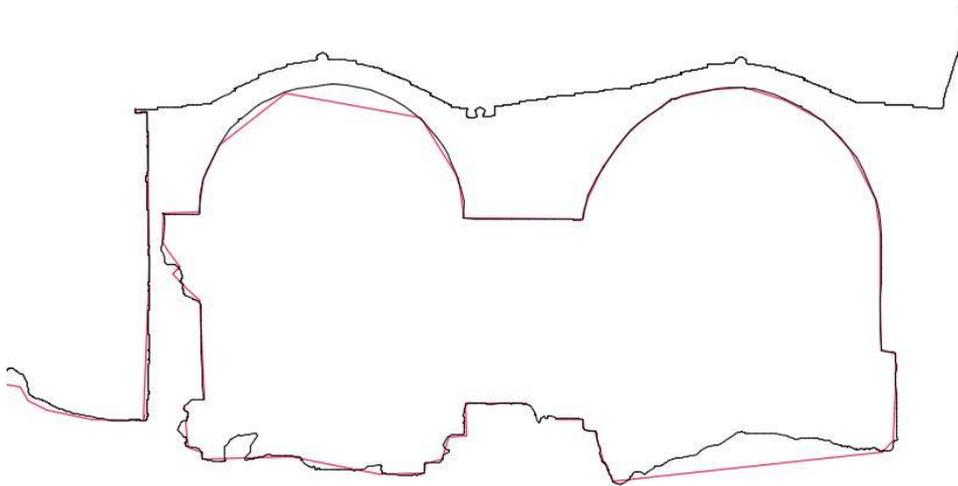


Εικόνα 5.6: Κατακόρυφη εγκάρσια τομή Ι'-Ι

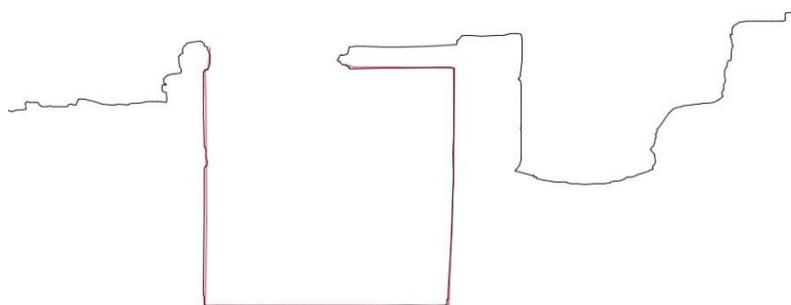


Εικόνα 5.7: Κατακόρυφη κατά μήκος τομή E'- E

Έπειτα πραγματοποιήθηκε σύγκριση αυτών με τις ήδη μετρημένες στο πεδίο και διαπιστώθηκε ότι συμφωνούν μεταξύ τους και συγκεκριμένα οι αποκλίσεις κυμαίνονταν μεταξύ 5 και 10 mm, διαφορά που καλύπτεται από το όριο των 12,5 mm της κλίμακας 1:50. Επομένως, το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.



Εικόνα 5.8: Σύγκριση γραμμής τομής I'- I (μαύρο χρώμα) με την αντίστοιχη μετρημένη στο πεδίο (κόκκινο χρώμα)



Εικόνα 5.9: Σύγκριση γραμμής τομής E'-E (μαύρο χρώμα) με την αντίστοιχη μετρημένη στο πεδίο (κόκκινο χρώμα)

5.2 Παραγωγή Ορθοφωτογραφιών

Για την παραγωγή των τελικών σχεδίων, εκτός από τις γραμμές τομής, απαραίτητες είναι και οι ορθοφωτογραφίες που θα περιλαμβάνουν τα προβαλλόμενα αντικείμενα και τα στοιχεία του ναού. Για την παραγωγή κάθε ορθοφωτογραφίας χρησιμοποιήθηκαν η τρισδιάστατη επιφάνεια του αντικειμένου, οι προσανατολισμένες εικόνες και τα επίπεδα των γραμμών τομής.

Η διαδικασία παραγωγής των ορθοφωτογραφιών πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του Photoscan. Για το σωστό καθορισμό του επιπέδου προβολής κάθε ορθοφωτογραφίας, χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες τριών, κάθε φορά, σημείων, οι οποίες ορίζουν το επίπεδο αυτό.

Τομές	X(m)	Y(m)	Z(m)
A-A'	98.9825	100.9723	100
B-B'	105.8913	126.3419	100
Γ-Γ'	98.9825	100.9723	130
Δ-Δ'	98.9825	100.9723	130
E-E'	98.9825	100.9723	130
B'-B	91.0588	128.2101	100
Γ'-Γ	84.1501	102.8405	100
Δ'-Δ	91.0588	128.2101	130
E'-E	91.0588	128.2101	130
Z-Z'	79.2502	109.9724	100
H-H'	113.0228	100.7823	100
Θ-Θ'	113.0228	100.7823	100
I-I'	79.2502	109.9724	130
K-K'	79.2502	109.9724	130

H'-H	116.3689	114.8306	100
Θ'-Θ	82.5963	124.0278	100
Γ'-I	116.3689	114.8306	130
K'-K			

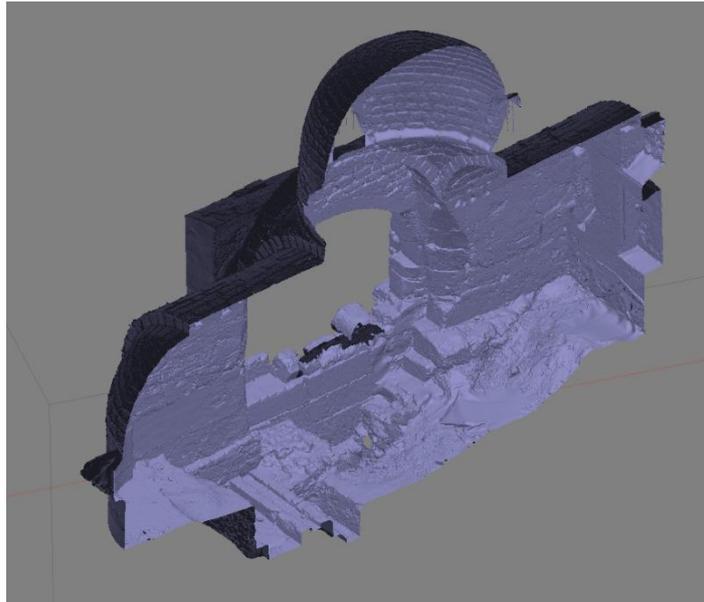
Πίνακας 5.2: Σημεία για τον καθορισμό του επιπέδου προβολής, για κάθε γραμμή τομής

Όπως προκύπτει και από τον παραπάνω πίνακα, για τις κατακόρυφες τομές B-B', Γ-Γ', Δ-Δ', Ε-Ε', Η-Η', Θ-Θ', Ι-Ι' και Κ-Κ' παρήχθησαν ορθοφωτογραφίες εκατέρωθεν αυτών, ενώ για τις Α-Α' και Ζ-Ζ' παρήχθησαν ορθοφωτογραφίες που απεικονίζουν τα προς το ναό προβαλλόμενα αντικείμενα, καθώς επρόκειτο για όψεις.

Όσον αφορά στην επιφάνεια εξωτερικά του ναού, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, κάθε τμήμα της προέκυψε από διαφορετικό πυκνό νέφος σημείων. Επομένως, κατασκευάστηκαν επιμέρους τρισδιάστατα μοντέλα για το μιναρέ, τα κεραμίδια του τρούλου, το τύμπανο, τα κεραμίδια της στέγης και τον τοίχο του ναού, αντίστοιχα.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εισαγωγή κάθε τρισδιάστατης επιφάνειας στο περιβάλλον του Photoscan και των συντεταγμένων των σημείων του επιπέδου προβολής που ενδιέφερε κάθε φορά. Στη συνέχεια, επιλέγονταν οι φωτογραφίες που απεικόνιζαν το συγκεκριμένο τμήμα του ναού και με όσο το δυνατόν καλύτερη ραδιομετρία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου για την παραγωγή της ορθοφωτογραφίας, την καλύτερη ραδιομετρία αυτής και τη διευκόλυνση των μετέπειτα διορθώσεων. Επίσης, κατά την παραγωγή της ορθοφωτογραφίας υπήρχε η δυνατότητα επιλογής από το χρήστη του μεγέθους της εδαφοψηφίδας. Παρ' όλα αυτά διατηρήθηκε το μέγεθος που προτεινόταν από το Photoscan, ώστε να χρησιμοποιηθεί όλη η πληροφορία που παρείχαν τα δεδομένα.

Με αντίστοιχο τρόπο αντιμετωπίστηκε ο εσωτερικός χώρος του ναού, με τη διαφορά ότι το μοντέλο που εισαγόταν στο περιβάλλον του Photoscan, αρχικά, ελεγχόταν ως προς τα προβαλλόμενα αντικείμενα. Στην περίπτωση που αυτά απεικονίζονταν ήδη στην ορθοφωτογραφία του προηγούμενου επιπέδου, η επιφάνεια κοβόταν ώστε να απεικονίζονται μόνο τα αντικείμενα του πρώτου επιπέδου προβολής.



Εικόνα 5. 10: επιφάνεια από την οποία θα προκύψει η ορθοφωτογραφία του πρώτου επιπέδου προβολής

Στη συνέχεια κάθε ορθοφωτογραφία ελέγχθηκε προσεκτικά ως προς την ορθότητα των προβαλλόμενων στοιχείων της. Συχνά προβλήματα που παρατηρούνταν ήταν θολές περιοχές, περιοχές με έντονη φωτεινότητα ή ιδιαίτερα σκιασμένες, λανθασμένη προβολή αντικειμένων και περιοχές χωρίς καθόλου πληροφορία-χρώμα. Στο περιβάλλον του Photoscan δίνεται η δυνατότητα επιλογής της περιοχής που πρόκειται να διορθωθεί.

Όσον αφορά στις θολές περιοχές, αυτές συχνά οφείλονταν στο μεγάλο πλήθος εικόνων διαφορετικής ραδιομετρίας που απεικονίζουν το ίδιο αντικείμενο. Επομένως, πραγματοποιείτο διερεύνηση των εικόνων ώστε να προκύψουν αυτές με την καλύτερη ραδιομετρία που απεικονίζουν το αντικείμενο και στη συνέχεια επιλέγονταν, μέσω κατάλληλων εντολών του Photoscan, ώστε να αποδώσουν το χρώμα στην περιοχή ενδιαφέροντος.



*Εικόνα 5.11: Ορθοφωτογραφία πριν τη
ραδιομετρική διόρθωση*



*Εικόνα 5.12: Ορθοφωτογραφία μετά τη
ραδιομετρική διόρθωση*



*Εικόνα 5.10: Ορθοφωτογραφία πριν τη
ραδιομετρική διόρθωση*



*Εικόνα 5.13: Ορθοφωτογραφία μετά τη
ραδιομετρική διόρθωση*

Στις περιπτώσεις περιοχών με έντονη φωτεινότητα ή πολύ σκοτεινών, η διόρθωσή τους δεν ήταν πάντα εφικτή. Τα προβλήματα αυτά παρατηρήθηκαν κυρίως στο

εσωτερικό του ναού στις περιοχές που φωτογραφήθηκαν χωρίς τη χρήση Studio Flash, καθώς και στο εξωτερικό του και συγκεκριμένα στη στέγη, λόγω των σκιών που υπήρχαν κατά την εναέρια φωτογράφιση με το UAV. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με αυτή των θολών περιοχών και όπου ήταν δυνατόν αυτές διορθώθηκαν.



Εικόνα 5.14: Περιοχές με έντονες σκιάσεις στη στέγη, που δεν μπόρεσαν να διορθωθούν

Ακόμη, υπήρχαν περιοχές όπου το χρώμα δεν μπορούσε να διορθωθεί, ώστε να απεικονίζει την πραγματικότητα. Το γεγονός αυτό οφειλόταν είτε στην ελλιπή φωτογράφιση του αντικειμένου, είτε στην εσφαλμένη απόδοση της επιφάνειας στη συγκεκριμένη περιοχή.



Εικόνα 5.15: Περιοχές με λάθος πληροφορία

Συχνό είναι επίσης και το πρόβλημα της προβολής λάθος αντικειμένων στην ορθοφωτογραφία. Στις περιπτώσεις αυτές το Photoscan παίρνει πληροφορία από κάποιο άλλο αντικείμενο, που βρίσκεται στο επίπεδο όρασης της κάμερας και εμποδίζει την όραση στο αντικείμενο ενδιαφέροντος, αποδίδοντας με αυτό τον τρόπο λάθος υφή στην ορθοφωτογραφία. Για το λόγο αυτό κάθε ορθοφωτογραφία πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά ως προς τα προβαλλόμενα αντικείμενα που απεικονίζει. Και σε αυτή την περίπτωση διερευνήθηκαν οι εικόνες ώστε να προκύψουν οι κατάλληλες που θα περιγράψουν το αντικείμενο.



Εικόνα 5.16: Απεικόνιση λανθασμένης πληροφορίας στην ορθοφωτογραφία



Εικόνα 5.17: Απεικόνιση σωστής πληροφορίας στην ορθοφωτογραφία

Τέλος, οι περιοχές για τις οποίες δεν υπήρχε τρισδιάστατη επιφάνεια ή δεν φωτογραφήθηκαν καθόλου εμφανίζονται χωρίς καθόλου χρώμα. Οι περιπτώσεις αυτές θα αντιμετωπιστούν στο στάδιο της παραγωγής των σχεδίων.



Εικόνα 5.18: Περιοχή με έλλειψη πληροφορίας για την επιφάνεια

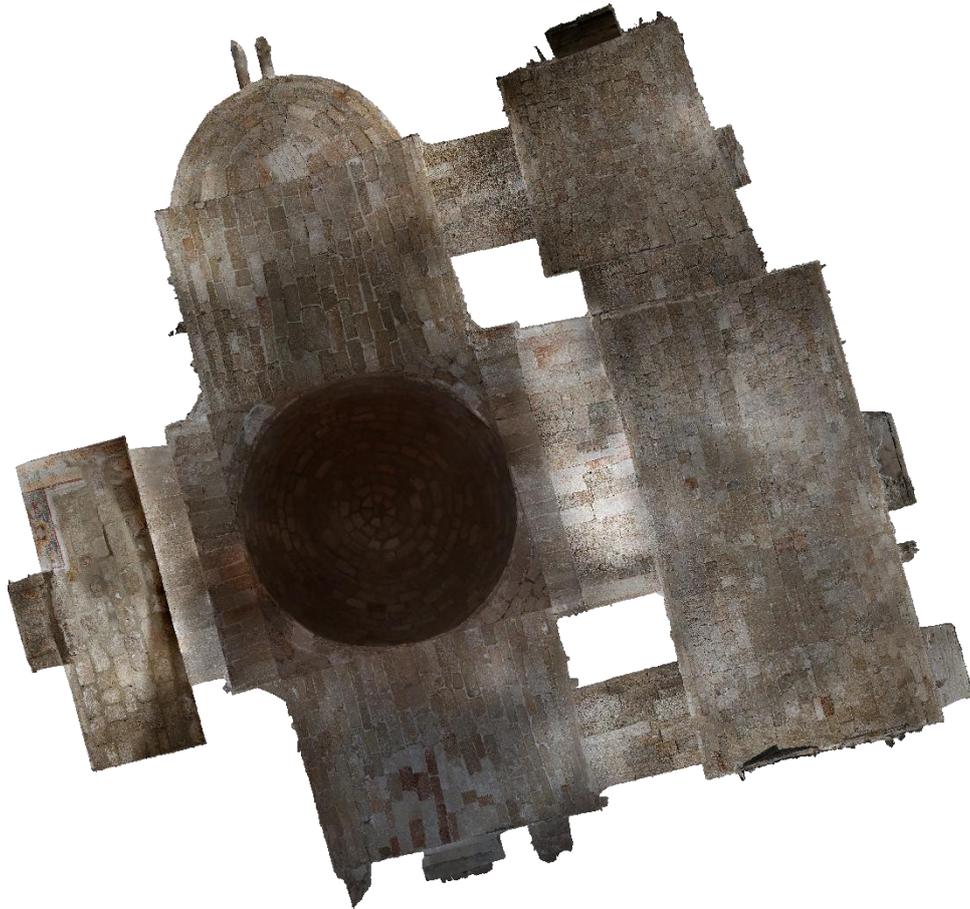
Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες ορθοφωτογραφίες, όπως αυτές προέκυψαν ύστερα από τους ελέγχους που περιγράφηκαν.



Εικόνα 5.19: Ορθοφωτογραφία βόρεια όψης Α-Α' (εξωτερικός τοίχος)



Εικόνα 5.20: Ορθοφωτογραφία κατακόρυφης κατά μήκος τομής Δ-Δ'



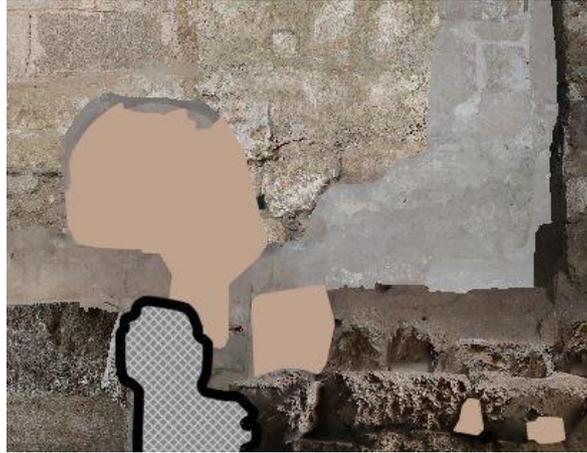
Εικόνα 5.21: Ορθοφωτογραφία οριζόντιας τομής - Άνοψη

5.3 Παραγωγή Σχεδίων

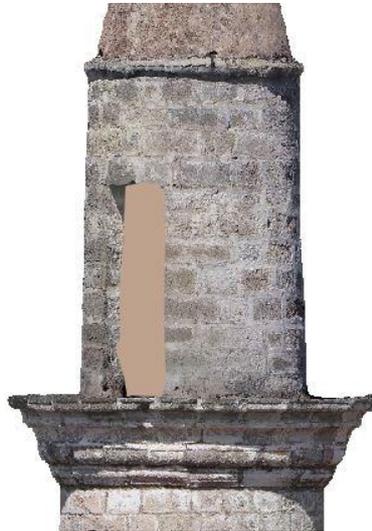
Η παραγωγή των τελικών σχεδίων πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του Autocad. Κάθε σχέδιο αποτελείται από την αντίστοιχη γραμμή τομής και τις ορθοφωτογραφίες που περιγράφουν τα προβαλλόμενα αντικείμενα.

Αναλυτικά, οι γραμμές τομής, όπως αυτές υλοποιήθηκαν στο κεφάλαιο 5.1 στράφηκαν κατάλληλα στον τρισδιάστατο χώρο, ώστε να προβάλλονται ορθά στο συγκεκριμένο επίπεδο προβολής. Στη συνέχεια, οι ορθοφωτογραφίες μετακινήθηκαν στη σωστή τους θέση και παρατηρήθηκε ότι τα όριά τους συμφωνούν με τη γραμμή τομής. Η πληροφορία που βρισκόταν εκτός της γραμμής τομής διαγραφόταν.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5.2, περιοχές της ορθοφωτογραφίας για τις οποίες δεν υπήρχε τρισδιάστατη επιφάνεια ή δεν φωτογραφήθηκαν παρουσιάζονταν χωρίς χρώμα. Επομένως, οι περιοχές αυτές αποφασίστηκε να επισημανθούν με πολύγωνα και να χαρακτηριστούν ως περιοχές με έλλειψη πληροφορίας.

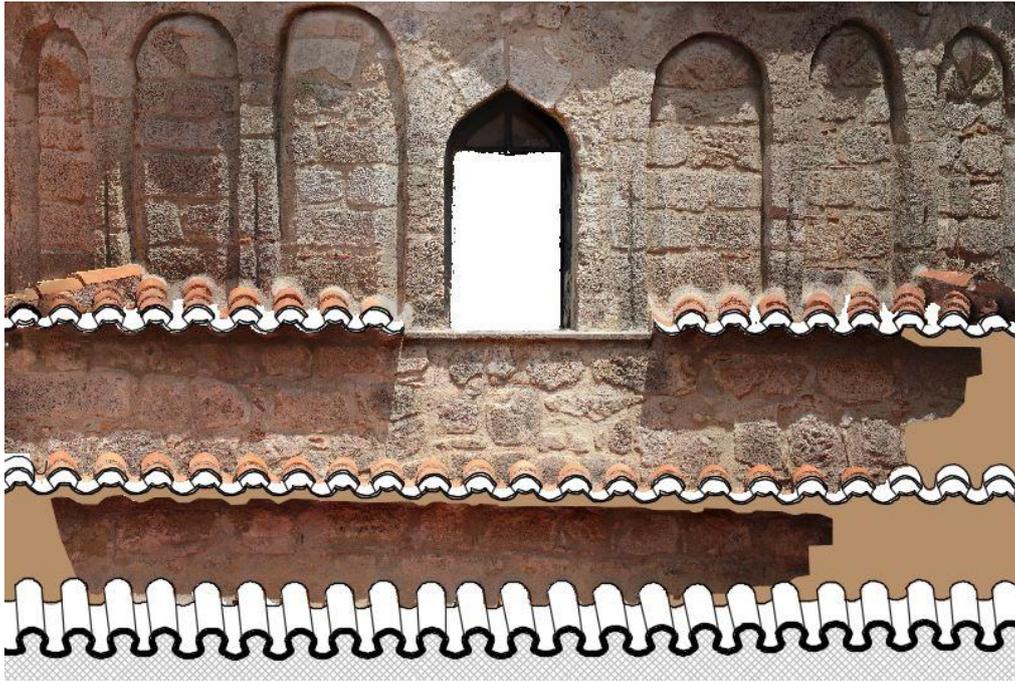


Εικόνα 5.222: Περιοχές με έλλειψη πληροφορίας



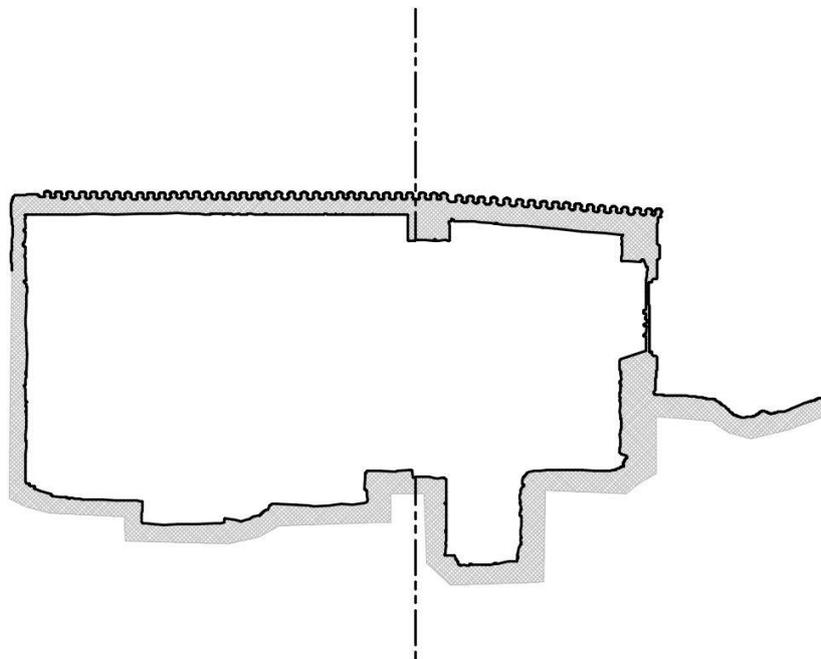
Εικόνα 5.23: Περιοχή με έλλειψη πληροφορίας

Επίσης, οι ίδιες περιοχές αποδόθηκαν γραμμικά, όπου υπήρχε η πληροφορία και αυτό ήταν δυνατόν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτέλεσαν τα κεραμίδια, για τα οποία πολλές φορές υπήρχε έλλειψη πληροφορίας, αλλά έχοντας την πληροφορία για το πραγματικό τους σχήμα και καθώς αυτό επαναλαμβάνεται, κατέστη δυνατή η απόδοσή τους με γραμμικό τρόπο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σωστή γεωμετρία του ναού.



Εικόνα 5.24: Γραμμική σχεδίαση κεραμιδιών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε ορισμένες τομές, πραγματοποιήθηκε σπάσιμο και παράλληλη μετατόπιση αυτών, τα οποία αποδόθηκαν με τη μορφή κατακόρυφης γραμμής διερχόμενης από τη θέση του «σπασίματος».



Εικόνα 5.25: «Σπάσιμο» στην κατακόρυφη κατά μήκος τομή Β'- Β

Επιπλέον, προκειμένου να δημιουργείται η αίσθηση του βάθους σε κάθε σχέδιο, πραγματοποιήθηκε αλλαγή της φωτεινότητας των ορθοφωτογραφιών, με τρόπο ώστε τα πιο απομακρυσμένα αντικείμενα να απεικονίζονται ως πιο φωτεινά.



Εικόνα 5.26: Απόδοση βάθους σε ορθοφωτογραφία (κατακόρυφη κατά μήκος τομή Δ'- Δ)

Ακόμη, απαραίτητα στοιχεία που συνθέτουν ένα ευανάγνωστο και σωστό σχέδιο είναι ο γεωδαιτικός κλίμακας ή υψομετρικός δείκτης και η κλίμακα, τα οποία σε συνδυασμό με το σχέδιο πρέπει να εντάσσονται αρμονικά μέσα στο πλαίσιο. Επίσης, το υπόμνημα και η πινακίδα πληροφοριών, στην οποία αναγράφονται η ονομασία και η αρίθμηση του σχεδίου, η κλίμακα, η αναθέτουσα αρχή, οι συντάκτες. Τέλος, το κλειδί, που περιλαμβάνει όλα τα ίχνη των τομών, δίνοντας κάθε φορά έμφαση στην απεικονιζόμενη τομή. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση της κάτοψης και των οριζόντιων τομών πραγματοποιήθηκε στροφή των σχεδίων για λόγους συμβατότητας.

6. Συμπεράσματα

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται μία γενική ανασκόπηση των εργασιών. Παρουσιάζονται τα προβλήματα που προέκυψαν, τόσο κατά το στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων, όσο και κατά την παραγωγή των τελικών προϊόντων, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτά αντιμετωπίστηκαν. Έπειτα, αξιολογούνται τα αποτελέσματα και στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται οι γνώσεις και οι εμπειρίες, που αποκτήθηκαν από την όλη εργασία για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του συγκεκριμένου μνημείου.

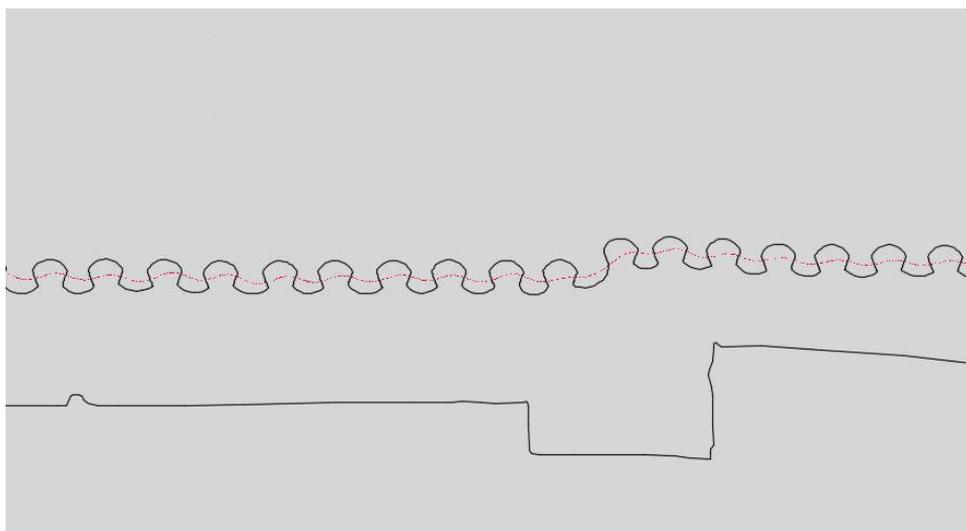
6.1. Προβλήματα κατά την επεξεργασία και επίλυσή τους

Αρχικά, αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της απόστασης μεταξύ του αντικειμένου της γεωμετρικής τεκμηρίωσης και του τόπου επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν, δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στον προγραμματισμό των απαιτούμενων εργασιών και στη συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων, ώστε να αποφευχθεί η έλλειψη πληροφορίας. Παρόλα αυτά παρουσιάστηκαν αρκετές ελλείψεις και δυσκολίες, οι οποίες έπρεπε να αντιμετωπιστούν.

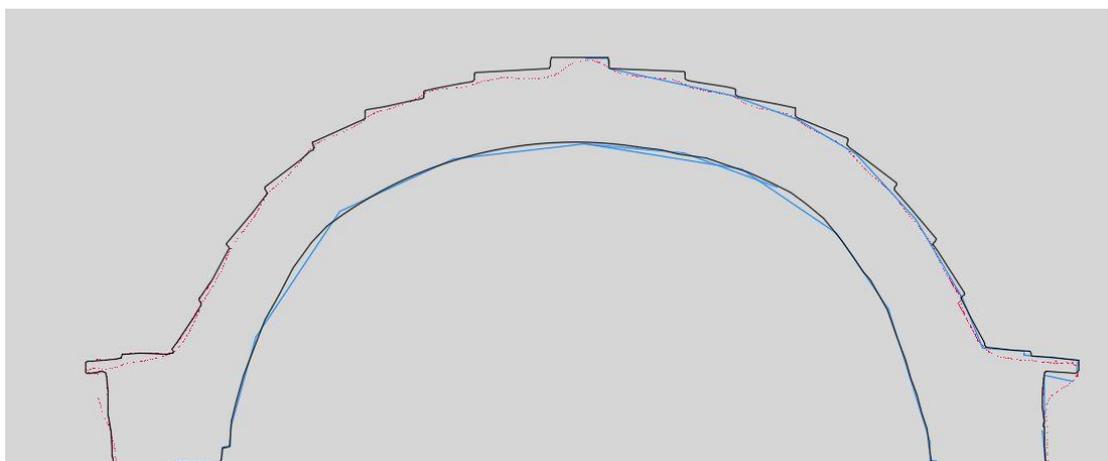
Το πιο έντονο πρόβλημα διαπιστώθηκε στα κεραμίδια, τόσο της στέγης του ναού, όσο και του τρούλου. Αναλυτικά, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.4.1. η επιφάνεια που προέκυψε από το νέφος σημείων του σαρωτή laser, για τα κεραμίδια, κρίθηκε ελλιπής, αφού παρουσίαζε μεγάλο πλήθος από ασυνέχειες, καθώς και τμήματα για τα οποία δεν υπήρχε καθόλου πληροφορία. Επομένως, για τη δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας των κεραμιδιών χρησιμοποιήθηκε το πυκνό νέφος σημείων που προέκυψε αποκλειστικά από τις φωτογραφίες του UAV. Σημειώνεται, ότι καθώς ο διαθέσιμος εξοπλισμός περιελάμβανε το UAV, αποφασίστηκε να μην πραγματοποιηθεί επίγεια φωτογράφιση της στέγης με μηχανή DSLR, για οικονομία χρόνου.

Ωστόσο, παρατηρώντας την τελική επιφάνεια των κεραμιδιών διαπιστώθηκε ότι μεγάλο μέρος της λεπτομέρειάς τους είχε χαθεί, οι μορφές τους εμφανίζονταν απλοποιημένες και συνεπώς, το τελικό αποτέλεσμα δεν ανταποκρινόταν στην πραγματικότητα. Το γεγονός αυτό δημιούργησε δυσκολίες, τόσο στην υλοποίηση των γραμμών τομής, όσο και στην παραγωγή των ορθοφωτογραφιών.

Αρχικά, όσον αφορά στις γραμμές τομής έγινε η παραδοχή ότι κάθε μία διέρχεται από το κέντρο των κεραμιδιών. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του λογισμικού Geomagic Studio, για κάθε επίπεδο τομής που είχε υλοποιηθεί, παρατηρήθηκε η ακριβής του θέση. Έπειτα, στο περιβάλλον του Photoscan και με τη βοήθεια της ορθοφωτογραφίας της κάτοψης του ναού διαπιστώθηκαν τα ακριβή κεραμίδια από τα οποία διέρχεται το επίπεδο κάθε τομής, μετρήθηκε το πλήθος τους και το μήκος τους. Με αυτό τον τρόπο σχεδιάστηκαν όλα τα κεραμίδια, με βάση τη γραμμή της τομής που είχε προκύψει από την τρισδιάστατη επιφάνεια. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις κεντρικές τομές, προκειμένου να βρεθεί το ακριβές ύψος των κεραμιδιών του τρούλου, στο οποίο εδράζεται ο σταυρός, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρημένες στο πεδίο γραμμής τομής.

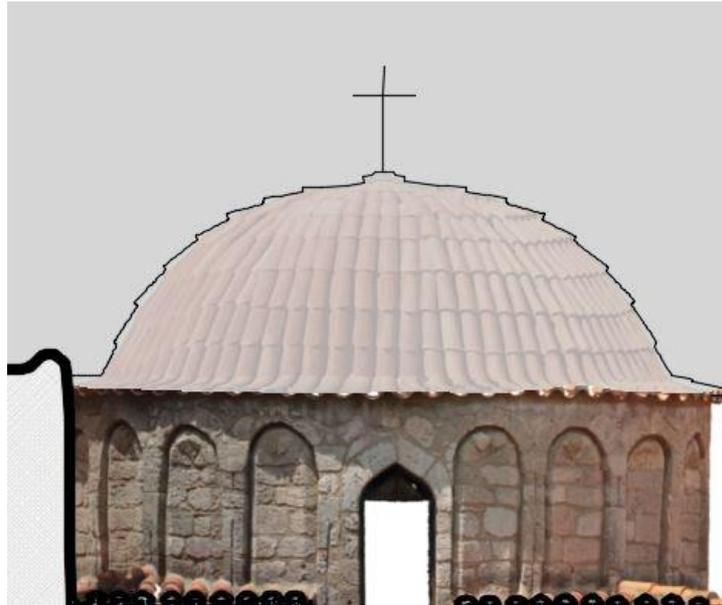


Εικόνα 6.1: Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα σημεία του επιπέδου τομής, όπως προέκυψαν από το τρισδιάστατο μοντέλο του UAV και με μαύρο χρώμα απεικονίζονται τα σχεδιασμένα κεραμίδια



Εικόνα 6.2: Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα σημεία του επιπέδου τομής, όπως προέκυψαν από το τρισδιάστατο μοντέλο του UAV, με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μετρημένη στο πεδίο γραμμή τομής και με μαύρο χρώμα τα τελικά σχεδιασμένα κεραμίδια

Όπως ήταν αναμενόμενο η τρισδιάστατη επιφάνεια των κεραμιδιών είχε επιπτώσεις και στην παραγωγή των αντίστοιχων ορθοφωτογραφιών. Συγκεκριμένα, αυτές προέκυψαν αλλοιωμένες και επομένως, με λανθασμένη γεωμετρία και σε καμία περίπτωση δεν μπορούσαν να αποτελέσουν μετρητική βάση για τη μελέτη και αποκατάσταση του ναού. Για το σκοπό αυτό, αποφασίστηκε σε κάθε όψη του τυμπάνου του ναού, τα κεραμίδια του να απεικονίζονται γραμμικά, με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω και η ορθοφωτογραφία τους να τοποθετείται, αλλά με αχνό χρώμα, με μοναδικό σκοπό τη συμπλήρωση του όλου. Έτσι, οποιοσδήποτε μελετήσει τα σχέδια μπορεί να έχει σαφή εικόνα του μνημείου, χωρίς να εξαπατάται ως προς την ορθότητα της γεωμετρίας του.



Εικόνα 6.3: Ορθοφωτογραφία κεραμιδιών με αχνό χρώμα και απόδοσή τους με γραμμικό τρόπο

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5.3. πολλές φορές παρατηρήθηκε έλλειψη πληροφορίας στα κεραμίδια. Ωστόσο, γνωρίζοντας το πραγματικό τους σχήμα και καθώς αυτό επαναλαμβάνεται κατέστη δυνατή η απόδοσή τους με γραμμικό τρόπο.

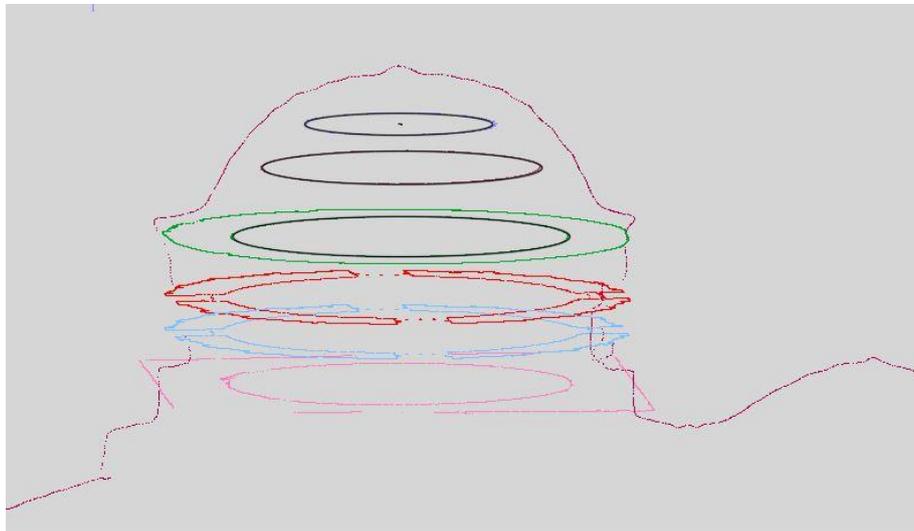


Εικόνα 6.4: Γραμμική σχεδίαση κεραμιδιών

Ένα ακόμη πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων και απαιτούσε λύση, ήταν αυτό της γεωμετρίας του τρούλου. Αναλυτικά, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.2. στο κέντρο του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος υψώνεται ημισφαιρικός τρούλος, ο οποίος στηρίζεται σε τέσσερα ημικυκλικά τόξα και στην κορυφή του εδράζεται μεταλλικός σταυρός. Η μετάβαση από την τετράγωνη βάση, στην κυκλική διατομή του τρούλου γίνεται με τη χρήση τεσσάρων σφαιρικών τριγώνων, ικανών να αντέξουν το βάρος του. Το τύμπανο του τρούλου είναι κυλινδρικού σχήματος και σε αυτό ανοίγονται τέσσερα παράθυρα στα τέσσερα κύρια σημεία του ορίζοντα.

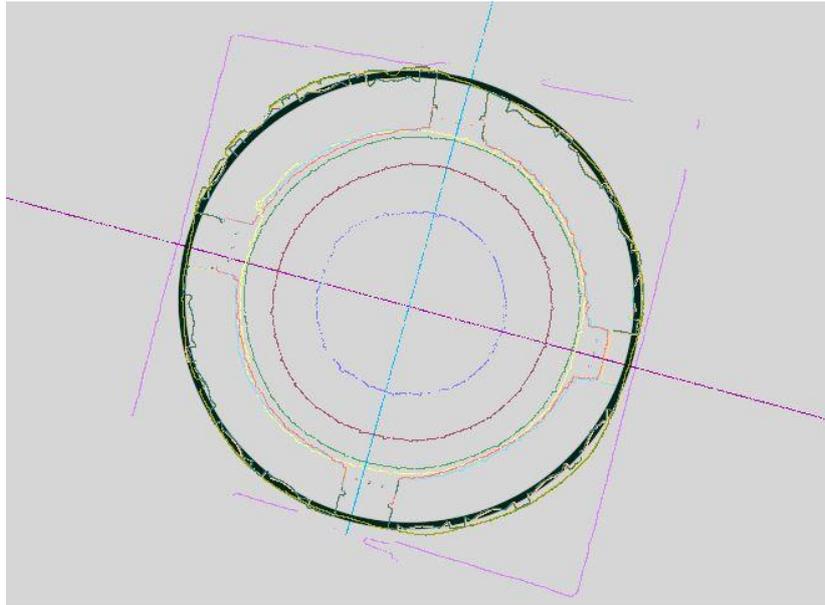
Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία αποφασίστηκε οι δύο κεντρικές τομές, η κατακόρυφη κατά μήκος τομή Γ-Γ' και η κατακόρυφη εγκάρσια τομή Θ-Θ' να διέρχονται από το κέντρο του σταυρού, το οποίο αποτελεί και το κέντρο του ημισφαιρικού τρούλου. Οι τομές υλοποιήθηκαν κατά αυτόν τον τρόπο, ώστε να διέρχονται από τα κέντρα των τεσσάρων ανοιγμάτων και συγκεκριμένα από την υψηλότερη γενέτειρα της τριγωνικής τους απόληξης. Ωστόσο, μετά την υλοποίησή τους παρατηρήθηκε ότι αυτές δεν προβάλλουν το πραγματικό ύψος των παραθύρων, όπως ήταν αναμενόμενο και επομένως κρίθηκε επιτακτική η διερεύνηση της γεωμετρίας του τρούλου.

Αρχικά, στο περιβάλλον του Geomagic Studio πραγματοποιήθηκαν οριζόντιες τομές σε διαφορετικά ύψη, τόσο στην τρισδιάστατη επιφάνεια του τρούλου, όσο και σε αυτή του τυμπάνου. Οι οριζόντιες γραμμές τομής που προέκυψαν εισήχθησαν στο περιβάλλον του Autocad, προκειμένου να μελετηθεί το σχήμα και η μορφή τους.

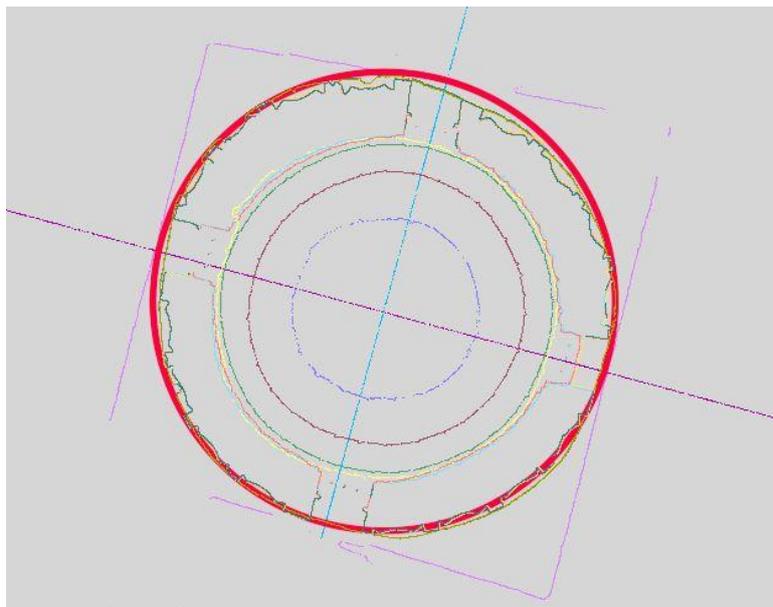


Εικόνα 6.5: Οριζόντιες γραμμές τομής σε διαφορετικά ύψη στις τρισδιάστατες επιφάνειες του τρούλου και του τυμπάνου

Με τη χρήση τριών σημείων, που ανήκουν σε μία οριζόντια γραμμή τομής εκ των παραπάνω, εξετάστηκε η δυνατότητα να κατασκευαστεί κύκλος, ο οποίος θα περιγράφει τον τρούλο. Πραγματοποιήθηκε πλήθος δοκιμών, όμως κανένας κύκλος δεν κατάφερε να περιγράψει το πραγματικό σχήμα του τρούλου.

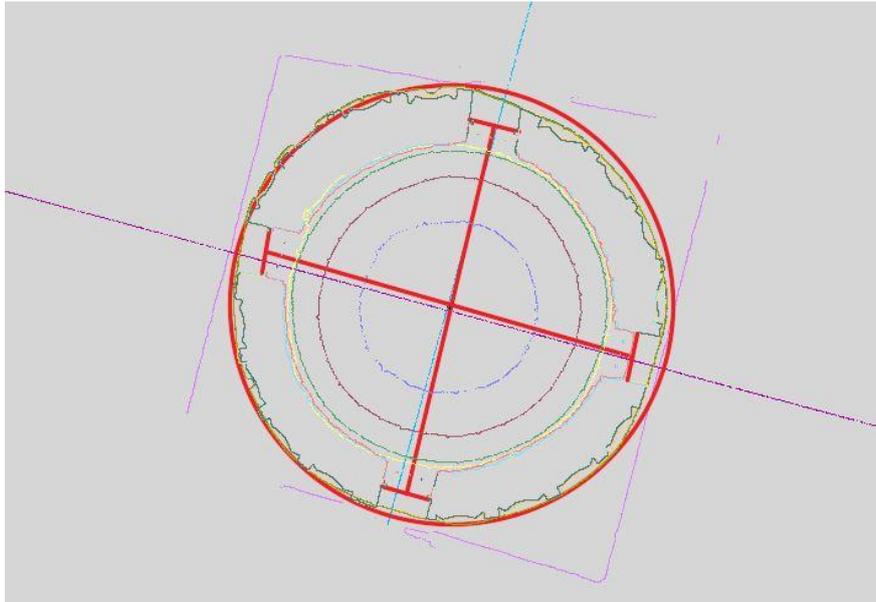


Εικόνα 6.6: Κύκλος (μαύρο χρώμα) μη ικανός να περιγράψει το πραγματικό σχήμα του τρούλου



Εικόνα 6.7: Κύκλος (κόκκινο χρώμα) μη ικανός να περιγράψει το πραγματικό σχήμα του τρούλου

Έπειτα πραγματοποιήθηκε μία δεύτερη προσπάθεια, βρίσκοντας το μέσον του ανοίγματος κάθε παραθύρου και κατασκευάζοντας δύο ευθείες που ενώνουν τα μέσα των αντικριστών παραθύρων. Με κέντρο το σημείο στο οποίο τέμνονται οι δύο αυτές ευθείες κατασκευάστηκε κύκλος και εξετάστηκε το κατά πόσον αυτός περιγράφει σωστά τον τρούλο, γεγονός που δε διαπιστώθηκε.

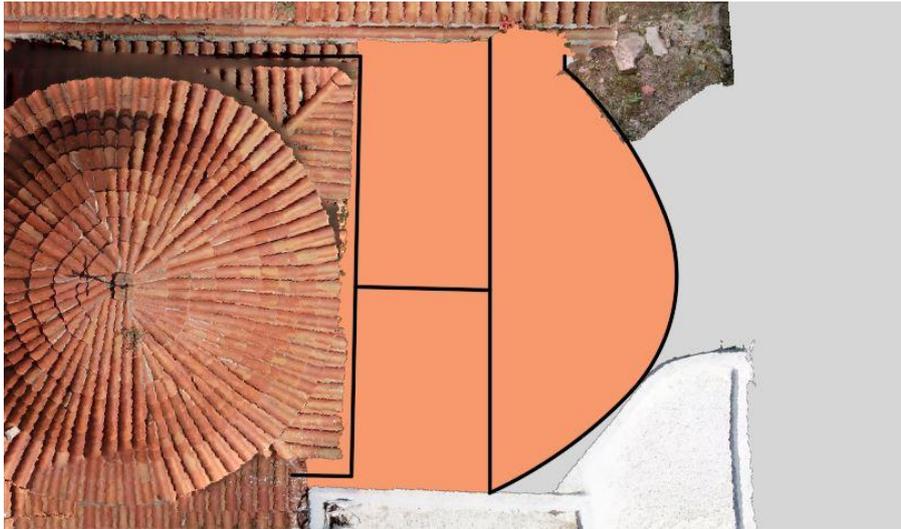


Εικόνα 6.8: Κύκλος (κόκκινο χρώμα) μη ικανός να περιγράψει το πραγματικό σχήμα του τρούλου

Συμπεραίνεται, ότι δεν πρόκειται για έναν ημισφαιρικό τρούλο, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στην εμπειρία και δεξιοτεχνία των μαστόρων που εργάστηκαν για την ανέγερση του ναού.

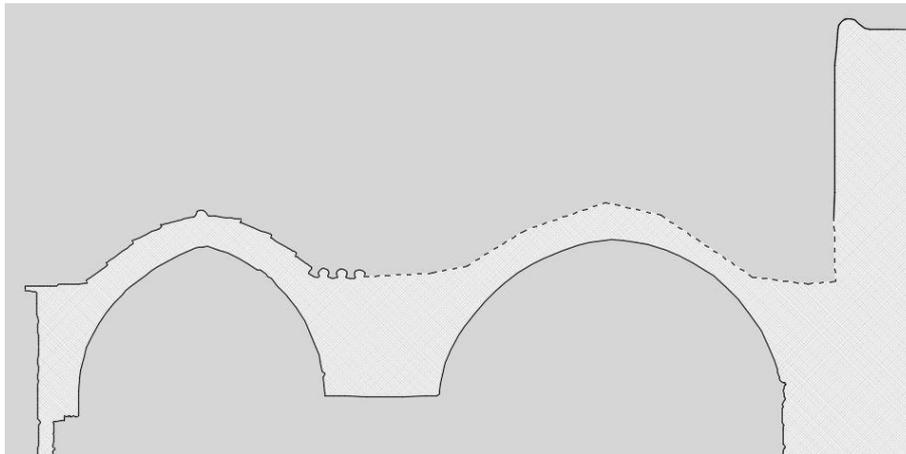
Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω αποφασίστηκε οι κατακόρυφες τομές Γ-Γ' και Θ-Θ' να εξακολουθήσουν να διέρχονται από το κέντρο του σταυρού, προβάλλοντας κάθε φορά το ύψος των παραθύρων στο σημείο από το οποίο διέρχεται η τομή και διευκρινίζοντας ότι δεν πρόκειται για το πραγματικό ύψος των ανοιγμάτων.

Τέλος, μία ακόμα δυσκολία που παρουσιάστηκε αφορούσε στον εξωτερικό χώρο του ναού και συγκεκριμένα στην ανατολική στέγη. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3.5. αναρριχώμενο φυτό, που δεν ήταν δυνατόν να απομακρυνθεί, κάλυπτε μεγάλο τμήμα της ανατολικής στέγης του ναού, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει δυνατότητα φωτογράφησής του. Αυτό είχε συνέπεια, στην ορθοφωτογραφία της κάτοψης, στο τμήμα αυτό του ναού να υπάρχει έλλειψη πληροφορίας, η οποία επισημάνθηκε με το αντίστοιχο πολύγωνο.



Εικόνα 6.9: Περιοχή με έλλειψη πληροφορίας

Όσον αφορά στις κατακόρυφες τομές που διέρχονται από την ανατολική στέγη, η πληροφορία συμπληρώθηκε από τις μετρημένες στο πεδίο γραμμές τομής, με τη βοήθεια του TheoLT και αποδόθηκε στα τελικά σχέδια με τη μορφή διακεκομμένης γραμμής.



Εικόνα 6.10: Κατακόρυφη εγκάρσια τομή H' - H

6.2. Αξιολόγηση τελικών προϊόντων

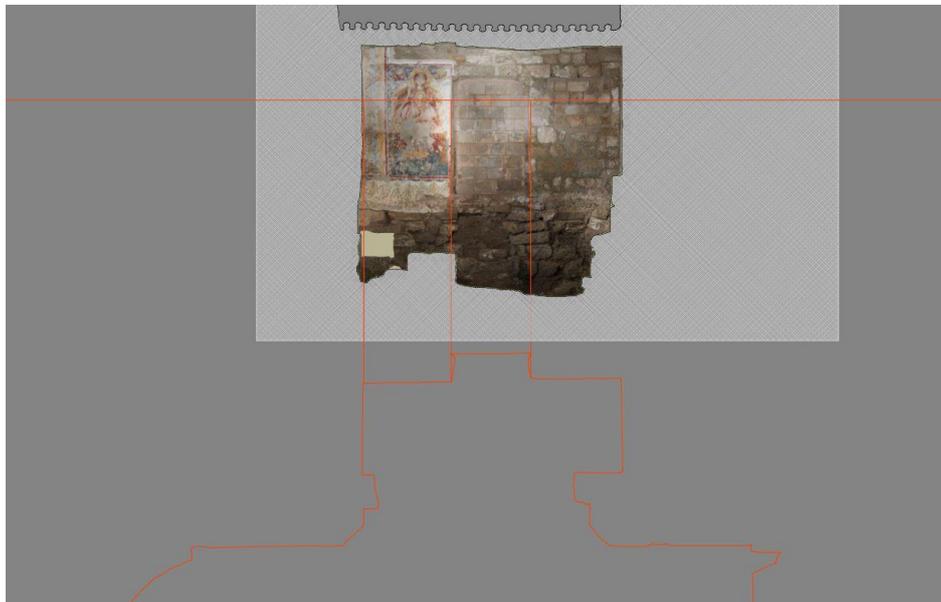
Πριν την τελική τους παράδοση, τα σχέδια των οριζόντιων και κατακόρυφων τομών – όψεων ήταν απαραίτητο να ελεγχθούν σχολαστικά. Επομένως, πραγματοποιήθηκαν οριζοντιογραφικοί και υψομετρικοί έλεγχοι συνδυάζοντας τις κατακόρυφες τομές μεταξύ τους, καθώς και κάθε μία από αυτές με την οριζόντια τομή. Όλοι οι παραπάνω έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον του Autocad.

Αρχικά, ελέγχθηκε κατά πόσον οι κατακόρυφες τομές συμφωνούν με την οριζόντια τομή. Για το σκοπό αυτό, η οριζόντια τομή στρεφόταν στον τρισδιάστατο χώρο με βάση τη γωνία διεύθυνσης κάθε κατακόρυφης τομής. Ο έλεγχος πραγματοποιείτο στην υψομετρική στάθμη της οριζόντιας τομής, δηλαδή σε ύψος 1,3 m από τη βάση

της σημερινής εισόδου του ναού. Με τον ίδιο τρόπο πραγματοποιήθηκε και η σύγκριση μεταξύ των κατακόρυφων τομών, που διέρχονται από την υπόγεια ταφική κρύπτη και της οριζόντιας τομής που έχει υλοποιηθεί σε αυτή, 2,5 m κάτω από τη βάση της σημερινής εισόδου του ναού.



Εικόνα 6.11: Σύγκριση της οριζόντιας τομής με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή H' - H

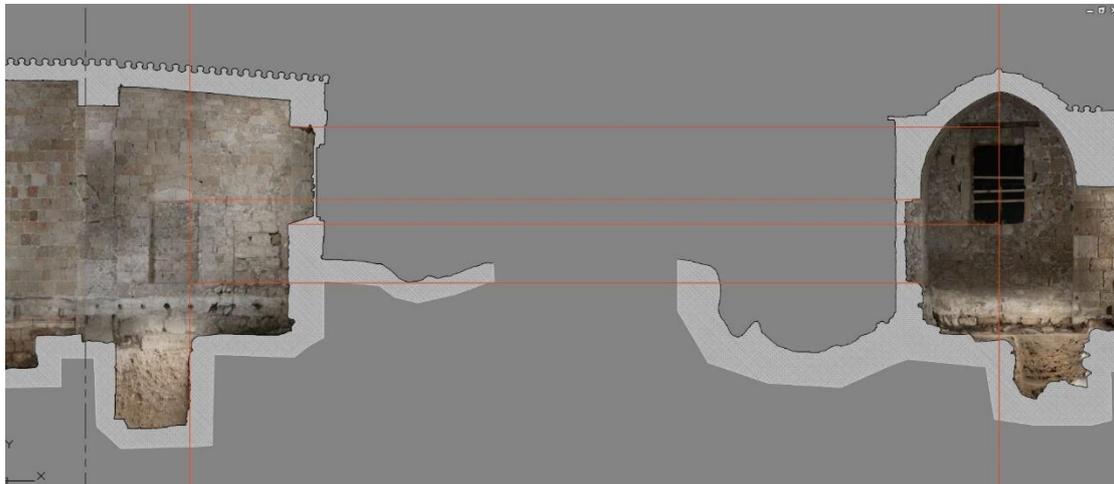


Εικόνα 6.12: Σύγκριση της οριζόντιας τομής με την κατακόρυφη κατά μήκος τομή Δ - Δ'

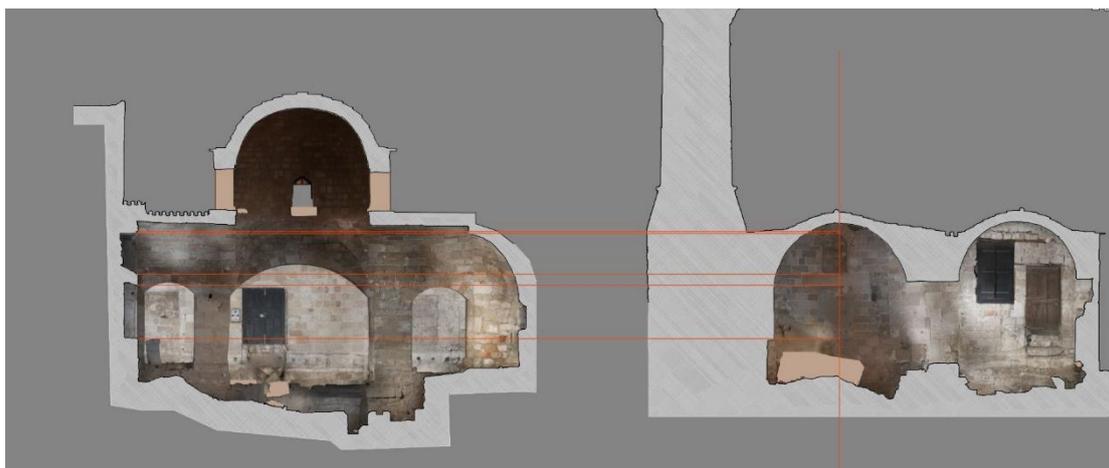


Εικόνα 6.13: Σύγκριση οριζόντιας τομής, στο επίπεδο της υπόγεια ταφικής κρύπτης, με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή K' - K

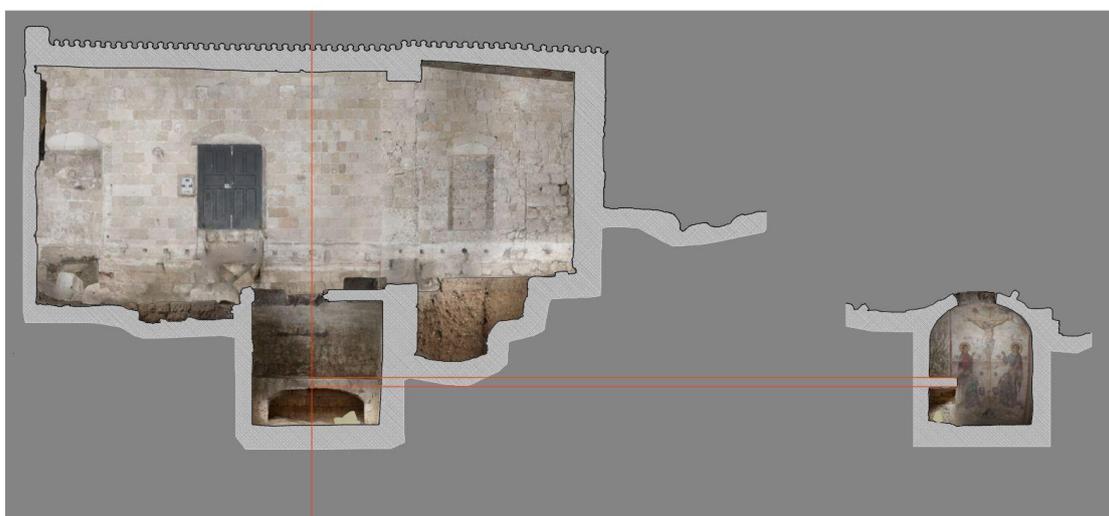
Ένας ακόμη έλεγχος που πραγματοποιήθηκε ήταν μεταξύ των κατακόρυφων τομών. Ουσιαστικά ελέγχθηκε η ταύτιση της γεωμετρικής πληροφορίας σε χαρακτηριστικά σημεία του ναού, όπως ανοίγματα, κολώνες, κ.ά. μεταξύ των κατακόρυφων κατά μήκος και εγκάρσιων τομών.



Εικόνα 6.14: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής B' - B με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή H' - H

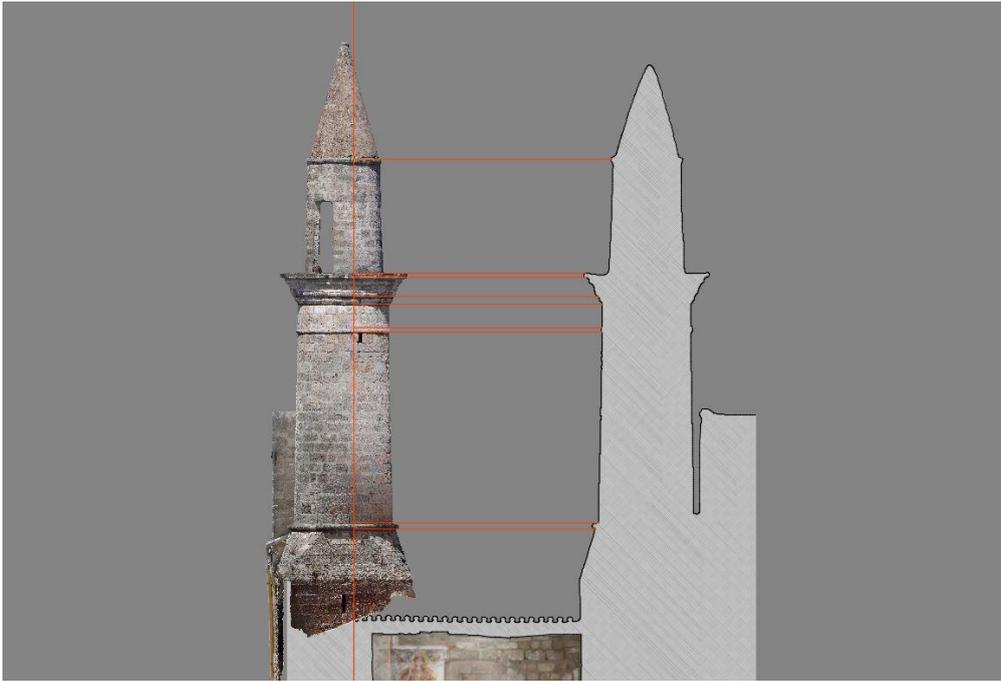


Εικόνα 6.15: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής Γ' - Γ με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή Ι - Ι'

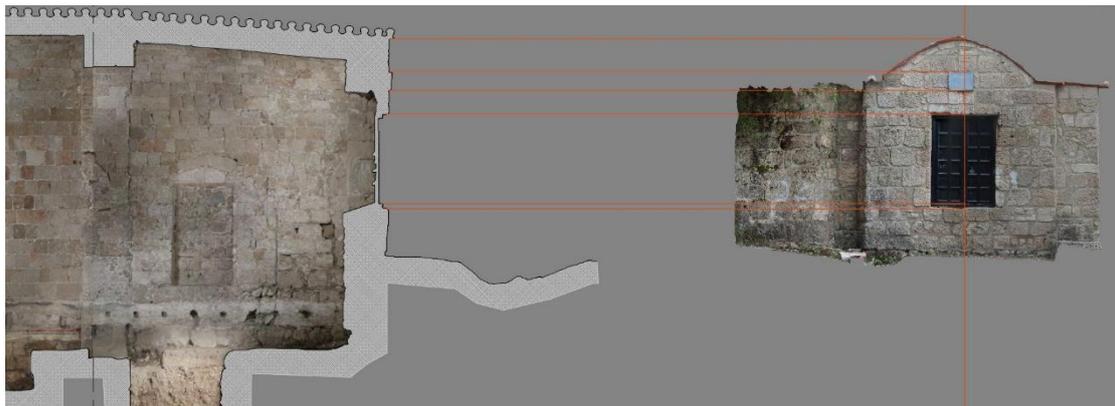


Εικόνα 6.16: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής Ε' - Ε με την κατακόρυφη εγκάρσια τομή Κ' - Κ

Τέλος, όπου ήταν εφικτό πραγματοποιήθηκε σύγκριση της γραμμής τομής με την αντίστοιχη ορθοφωτογραφία από την οποία διέρχεται το επίπεδο της τομής αυτής.



Εικόνα 6.17: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής Δ - Δ' με την ορθοφωτογραφία της ανατολικής όψης του μιναρέ



Εικόνα 6.18: Σύγκριση της κατακόρυφης κατά μήκος τομής Β' - Β με την ορθοφωτογραφία της ανατολικής όψης του εξωτερικού τοίχου του ναού

Αφού πραγματοποιήθηκαν όλοι οι παραπάνω έλεγχοι διαπιστώθηκε ότι τα σχέδια συμφωνούν απόλυτα μεταξύ τους και μπορούν να αποτελέσουν τη μετρητική βάση για την αποκατάσταση του ναού του Αγίου Σπυρίδωνος. Συγκεκριμένα, οι αποκλίσεις κυμαίνονταν μεταξύ 3 και 6 mm, διαφορά που καλύπτεται από το όριο των 12,5 mm της κλίμακας 1:50. Άλλωστε η σύγχρονη πρακτική να παράγονται τα δισδιάστατα τεκμηριωτικά σχέδια από το ενιαίο τρισδιάστατο μοντέλο, εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την συμφωνία των σχεδίων μεταξύ τους.

Σε περίπτωση που παρατηρούνταν μεγαλύτερες αποκλίσεις, εκτός των αποδεκτών ορίων, θα έπρεπε να ελεγχθούν οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την στροφή των γραμμών τομής και τη μετάθεση των ορθοφωτογραφιών στη σωστή θέση στα

σχέδια. Επίσης, αστοχίες πιθανόν να εντοπίζονταν στο στάδιο παραγωγής των ορθοφωτογραφιών και συγκεκριμένα κατά τον καθορισμό του επιπέδου προβολής κάθε ορθοφωτογραφίας.

Ο έλεγχος των σχεδίων είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία και απαιτεί συγκέντρωση και εμπειρία από την πλευρά του μηχανικού. Ωστόσο, όλα τα σχέδια είναι απαραίτητο να ελέγχονται πριν την παράδοσή τους, ώστε να εξασφαλίζεται η ορθότητα της μετρητικής πληροφορίας που παρέχουν.

6.3. Επίλογος

Αρχικά, αξίζει να τονιστεί η συμβολή του λογισμικού TheoLT, που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των γεωδαιτικών δεδομένων. Το συγκεκριμένο λογισμικό κρίθηκε ιδιαίτερα χρήσιμο, καθώς κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου πραγματοποιούσε αυτόματο ραπορτάρισμα κάθε μετρούμενου σημείου σε πραγματικό χρόνο. Συνεπώς, με τη μέτρηση των γραμμών τομής και των ειδικών κωδικοποιημένων στόχων που είχαν τοποθετηθεί εσωτερικά και εξωτερικά του μνημείου, ήταν δυνατή η κατανόηση της γενικής εικόνας του ναού, καθώς και ο άμεσος έλεγχος κάθε μετρημένου σημείου, γεγονός που συνέβαλε καθοριστικά στην αποφυγή χονδροειδών λαθών. Επιπλέον, βασικό πλεονέκτημά του ήταν ότι εκμηδένισε τις διαδικασίες επεξεργασίας των γεωδαιτικών δεδομένων και συνεπώς, μειώθηκε σημαντικά ο απαιτούμενος χρόνος των εργασιών γραφείου.

Συμπεραίνεται ότι η γεωμετρική τεκμηρίωση του συγκεκριμένου μνημείου ήταν μία διδακτική εμπειρία σε όλη τη διάρκειά της, από τις εργασίες υπαίθρου για τη συλλογή των δεδομένων έως την παραγωγή των τελικών προϊόντων.

Στο πλαίσιο συλλογής δεδομένων κατανοήθηκε η σημασία της συλλογής του απαιτούμενου όγκου πληροφορίας. Η συλλογή λιγότερης πληροφορίας από την απαιτούμενη θα οδηγήσει σε ελλείψεις στα τελικά σχέδια, ενώ η συλλογή υπερβολικού όγκου πληροφορίας, είτε εικόνων είτε σημείων θα επιφέρει επιπτώσεις και προβλήματα κατά την επεξεργασία, ενώ ταυτόχρονα θα αυξήσει σημαντικά τον χρόνο εργασίας.

Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση μεταξύ του αντικειμένου της γεωμετρικής τεκμηρίωσης και του τόπου επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν, κρίνεται σημαντικός ο έλεγχος όλων των δεδομένων, ώστε να μη δημιουργηθεί ανάγκη για συμπληρωματικές μετρήσεις, γεγονός που θα απαιτούσε επιπλέον χρόνο, αλλά και χρήματα.

Εξίσου σημαντική είναι η καταγραφή όλων των διαδικασιών που πραγματοποιήθηκαν μέχρι την παραγωγή των τελικών τεκμηριωτικών προϊόντων. Η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου είναι μία εργασία που απαιτεί αρκετό χρόνο για την ολοκλήρωσή της. Επομένως, θα πρέπει κανείς να καταγράφει αναλυτικά τα στάδια των εργασιών, τις αποφάσεις που λήφθηκαν, τα προβλήματα που τυχόν προέκυψαν, ώστε να μπορεί να ανατρέξει ανά πάσα στιγμή στο μέλλον και να έχει σαφή εικόνα της κατάστασης.

Έχοντας ολοκληρώσει τον κύκλο των εργασιών και έχοντας αξιολογήσει τα τεκμηριωτικά προϊόντα, οφείλει κανείς να αναλογιστεί τα λάθη που έγιναν και πώς θα μπορούσαν αυτά να έχουν προληφθεί.

Στην συγκεκριμένη γεωμετρική τεκμηρίωση, το μεγαλύτερο πρόβλημα παρατηρήθηκε στα κεραμίδια της στέγης και του τρούλου του ναού. Διαθέτοντας πλέον την απαραίτητη γνώση και εμπειρία συμπεραίνεται ότι θα έπρεπε να έχει δοθεί περισσότερη σημασία στο συγκεκριμένο τμήμα του μνημείου. Αναλυτικά, θα επιλέγονταν περισσότερες θέσεις σάρωσης, ώστε το τελικό νέφος σημείων να περιγράφει όσο το δυνατόν καλύτερα το αντικείμενο. Οι επιπλέον αυτές θέσεις του σαρωτή Laser θα μπορούσαν να είναι πάνω στη στέγη του ναού, αλλά και στη γειτονική ταράτσα, ώστε να συλλεχθεί επαρκής πληροφορία και για τα κεραμίδια του τρούλου. Επιπλέον, όπως διαπιστώθηκε, το UAV διαθέτει κάμερα χαμηλής ανάλυσης με αποτέλεσμα το νέφος σημείων που προκύπτει μόνο από εναέριες εικόνες να μην περιγράφει σωστά το αντικείμενο. Για την αντιμετώπιση αυτού θα έπρεπε η φωτογράφιση, τόσο της στέγης όσο και του τρούλου να πραγματοποιηθεί σε χαμηλότερο ύψος πτήσης και ταυτόχρονα να προγραμματιστεί η πτήση του UAV, ώστε το αντικείμενο να φωτογραφηθεί και περιμετρικά υπό κλίση. Κατά αυτό τον τρόπο θα προέκυπτε η απαιτούμενη πληροφορία στις ακμές της στέγης. Ωστόσο, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αποκλειστικά επίγεια φωτογράφιση για τα κεραμίδια του ναού, με χρήση μηχανής DSLR. Πρόκειται για μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, η οποία όμως θα εξασφάλιζε τα επιθυμητά αποτελέσματα, τη σωστή γεωμετρία των μορφών και των σχημάτων και την πληρότητα της λεπτομέρειας.

Συνεπώς, οι δυσκολίες που προέκυψαν τόσο κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου, όσο και κατά την επεξεργασία των δεδομένων στο γραφείο, αποτέλεσαν σημαντικά μαθήματα για τη γεωμετρική τεκμηρίωση οποιουδήποτε μνημείου στο μέλλον.

Εξίσου διδακτική ήταν και η επικοινωνία με άλλες ειδικότητες, στο πλαίσιο αποτύπωσης του συγκεκριμένου μνημείου. Κατανοήθηκε η σπουδαιότητα της συνεννόησης με τις υπεύθυνες αρχαιολόγους της Εφορίας Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου, ώστε να καθοριστούν τα απαιτούμενα τελικά προϊόντα. Πρόκειται για μία κοινή απόφαση μεταξύ του τοπογράφου και του αρχαιολόγου, ώστε να αποφεύγεται η παραγωγή σχεδίων με ελλιπή πληροφορία ή με περισσότερη από την απαιτούμενη πληροφορία και επομένως να εξοικονομούνται χρόνος και χρήματα.

Επίσης, η επικοινωνία με άλλες ειδικότητες και συγκεκριμένα αρχαιολόγους και αρχιτέκτονες συνέβαλε στην κατανόηση των προβλημάτων και της κατάστασης του μνημείου, στην αναγνώριση των ιστορικών του φάσεων και στον σεβασμό με τον οποίο πρέπει να αντιμετωπίζεται σε όλα τα στάδια των εργασιών.

Βιβλιογραφία

1. Μαλλούχου-Tufano, Φανή. *Προστασία και Διαχείριση Μνημείων: Ιστορικές και Θεωρητικές Προσεγγίσεις*. 2015.
2. Διαφάνειες Διαλέξεων Μαθήματος "Αποτυπώσεις Μνημείων", ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.
3. 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.
4. Κούτρος, Ευστράτιος. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ιερού Ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης, στη Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου*. Αθήνα : s.n., 2019.
5. Καραϊσκος, Γεράσιμος. *Δημιουργία Τρισδιάστατου Φωτορεαλιστικού Μοντέλου του Ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης, στη Μεσαιωνική πόλη της Ρόδου*. Αθήνα : s.n., 2019.
6. Μπεντίνι, Ελόνα. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ναού του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά, Κύπρου*. Αθήνα : s.n., 2015.
7. Γαβριήλ, Στεφάνια. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ι.Ν. Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου Μέσω Τρισδιάστατης Απεικόνισης*. Αθήνα : s.n., 2015.
8. Μπαριάμη, Γεωργία. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ιερού Ναού του Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι της Κύπρου με Εφαρμογή Αυτοματοποιημένου Συστήματος Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας*. Αθήνα : s.n., 2011.
9. Φάκα, Μαρίνα. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Ιερού Ναού Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι, Κύπρος*. Αθήνα : s.n., 2011.
10. Σοφοκλέους, Ε. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ναού της Παναγίας Φορβιώτισσας*. Αθήνα : s.n., 2006.
11. *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.
12. *3D Documentation and BIM Modeling of Cultural Heriatge Structures Using UAVs: The Case of the Foinikaria Curch*. Themistocleous, K., Agariou, A. και Hadjimitsis, D. ISPRS Archives XLII , 2016.
13. *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}.
14. *Structure-from-Motion Photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*. Westoby, M.J., και συν. 2012.
15. Weng, Juyang, Huang, Thomas S. και Ahuja, Narendra. *Motion and Structure from Image Sequences*. 2012.