



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ
ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ Ι.Μ ΔΑΦΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ**

**Πατούρας Βασίλειος
Α.Μ.: 15089**

Επιβλέπων

ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ
Δρ. Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός
Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑ.Δ.Α.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

DIPLOMA THESIS TITLE:

**GEOMETRIC DOCUMENTATION OF THE HOLY
MONASTERY OF DAPHNI USING A 3D LASER
SCANNER**

Patouras Vasileios
Registration Number: 15089

Supervisor:

Iliodromitis Athanasios
Dr. Rural & Surveying Engineer
Academic Scholar UNI.W.A.

Athens, October 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ Ι.Μ ΔΑΦΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ

Πατούρας Βασίλειος , ΑΜ: 15089

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι εξεταστική επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ/ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1.	ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ	Επιβλέπων Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑ.Δ.Α.	
2.	ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	Επίκουρος Καθηγητής Σ.Α.Τ.Μ-Ε.Μ.Π	
3.	ΠΑΓΟΥΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ	Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Πατούρας Βασίλειος** του Νικολάου, με αριθμό μητρώου **15089**, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι :

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Δεν θα είχε νόημα η περαιτέρω ανάγνωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χωρίς να εκφράσω πρώτα τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλαν, ο καθένας με τον τρόπο του στην ολοκλήρωση της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Αθανάσιο Ηλιοδρομίτη αρχικά για την ανάθεση της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και για την συνεργασία του σε αυτή, τον χρόνο και τους πόρους που αφιέρωσε, βοηθώντας και προτείνοντας λύσεις στα προβλήματα που προέκυψαν, ώστε να ολοκληρωθούν με οργάνωση και προσοχή όλα τα απαραίτητα στάδια της εργασίας αυτής. Ευχαριστώ για την συνεχή του καθοδήγηση, τις συμβουλές του, την υποστήριξη του και την ενθάρρυνση των ιδεών μου σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας και όχι μόνο.

Ευχαριστώ τους καθηγητές μου Βασίλειο Παγούνη, Μιχαήλ Γιαννίου και Βασίλειο Ανδριτσάνο για όλα όσα με δίδαξαν, ιδιαίτερα στο κομμάτι της Γεωδαισίας και της Τοπογραφίας και όλες τις συμβουλές που μου έδωσαν.

Ευχαριστώ επίσης την Εφορεία Αρχαιοτήτων Δυτικής Αττικής (ΕΦΑΔΑ) και πιο συγκεκριμένα το τμήμα Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Αρχαιοτήτων και Μουσείων για την εμπιστοσύνη και την χορήγηση άδειας πραγματοποίησης μετρήσεων με μη επεμβατικές τεχνικές στο Καθολικό της Ιεράς Μονής Δαφνίου και στον περιβάλλοντα χώρο, με σκοπό την ολοκληρωμένη γεωμετρική του τεκμηρίωση.

Ευχαριστώ τους φίλους μου για την στήριξη και την ενθάρρυνση τους σε όλη τη διάρκεια της πορείας αυτής.

Ευχαριστώ την κοπέλα μου, Αγγελική για την βοήθεια της, το συνεχές της ενδιαφέρον της και την παρότρυνση της όλα τα χρόνια, από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Νίκο και Αναστασία και τον αδερφό μου Δημήτρη για την στήριξη και την ενθάρρυνση τους στις σπουδές μου και σε κάθε μου βήμα αλλά και όλα όσα μου έχουν προσφέρει, όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην χρήση επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση του Καθολικού της Μονής Δαφνίου. Αρχικά παρουσιάζεται η ανάλυση ιστορικών και αρχιτεκτονικών στοιχείων του μνημείου ενδιαφέροντος. Το Καθολικό της Μονής Δαφνίου, ένας ναός του 11^{ου} αιώνα, συμπεριλαμβάνεται με το υπόλοιπο μοναστηριακό σύμπλεγμα στα Μνημεία Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της UNESCO από το 1990. Είναι ένα εξαιρετικό παράδειγμα μοναστηριακής αρχιτεκτονικής και τα ψηφιδωτά που τον κοσμούν αποτελούν καλλιτεχνικά κειμήλια. Όντας αναπόσπαστο μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς της Ελλάδας, η σπουδαιότητα του εντείνει την ανάγκη για τεκμηρίωση και ανάδειξη της Μονής.

Έπειτα, αναδεικνύεται η σημαντικότητα των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω της μελέτης και της γεωμετρικής τους τεκμηρίωσης. Γίνεται παρουσίαση σύγχρονων γεωδαιτικών μεθόδων υψηλής ακρίβειας και λεπτομερούς καταγραφής τρισδιάστατων δεδομένων στο χώρο και πιο συγκεκριμένα μεθόδων γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων. Ύστερα αναλύονται τα χαρακτηριστικά, οι βασικές αρχές και οι κατηγορίες των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών λέιζερ, ως μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε. Στη σύγχρονη εποχή, η χρήση τοπογραφικών τεχνολογιών και μεθόδων έχει λάβει πρωταγωνιστικό ρόλο σε μελέτες γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Η χρήση τέτοιων οργάνων καθιστά δυνατή τη συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων ενός αντικειμένου πολύπλοκης μορφολογίας, με εντυπωσιακή λεπτομέρεια και ταχύτητα καταγραφής.

Σκοπός της μελέτης αποτέλεσε, η ακριβής απόδοση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της Μονής Δαφνίου, τη δεδομένη χρονική στιγμή. Αναλύεται η εφαρμογή των μετρήσεων, η επεξεργασία τους σε Η/Υ, οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν, οι τελικές ακρίβειες αλλά και τα παράγωγα που προέκυψαν. Όλα τα σχέδια που παρουσιάζονται, αντλήθηκαν και διαμορφώθηκαν μέσω επεξεργασίας από το τελικό, πυκνό νέφος σημείων το οποίο προέκυψε από την συνένωση (μετασχηματισμό) όλων των σαρώσεων σε ένα ενιαίο τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων, που ήταν και το πρώτο παράγωγο των μετρήσεων του σαρωτή λέιζερ. Αποτέλεσμα ήταν η ρεαλιστική τρισδιάστατη αναπαράσταση (Digital Twin) του Ναού στην υφιστάμενη κατάσταση του και η δημιουργία δισδιάστατων τοπογραφικών σχεδίων από αυτό, όπως οριζόντιες και κατακόρυφες τομές, όψεις αλλά και ορθοφωτογραφίες.

ABSTRACT

The presented diploma thesis focuses on the use of terrestrial 3D scanning for the comprehensive geometric documentation of the Katholikon of Daphni Monastery. First, the analysis of historical and architectural elements of the monument of interest is presented. The Katholikon of Daphni Monastery, a 11th century temple, has been included with the rest monastic complex in UNESCO's World Heritage Sites since 1990. It is an excellent example of monastic architecture and the mosaics that adorn it are artistic relics. Being an integral monument of cultural heritage of Greece, its importance intensifies the need for documentation and promotion of the Monastery.

Then, the importance of cultural heritage monuments is analyzed through their study and geometric documentation. Then an analysis of modern geodetic methods of high precision and detailed recording of three-dimensional data in space and more specifically methods of geometrical documentation of monuments is presented. After that, the characteristics, basic principles and categories of terrestrial 3D laser scanners are analyzed, as the method used. In modern times, the use of surveying technologies and methods has taken a leading role in geometric documentation studies. The use of such instruments makes it possible to collect three-dimensional data of an object of complex morphology, with impressive detail and recording speed.

The purpose of the study was the accurate performance of quantitative and qualitative characteristics of the Daphni Monastery, at the given time. The application of the measurements, their processing on a PC, the techniques applied, the final accuracies and the resulting derivatives are presented. All the drawings shown were exported and modeled through processing from the final, merged point cloud resulting from the registration (transformation) of all scans into a single 3D coordinate system, which was also the first derivative of the measurements from the laser scanner. The result was the realistic three-dimensional representation (Digital Twin) of the temple in its existing state and the creation of two-dimensional topographical plans from it, such as horizontal and vertical cross-sections , façades as well as orthophotos.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο . ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	17
1.1 Προέλευση Ονομασίας	17
1.2 Τοποθεσία	18
1.2.1 Η τοποθεσία κατά την αρχαιότητα – Ναός Απόλλωνα.....	19
1.2.2 Η τοποθεσία κατά την παλαιοχριστιανική περίοδο	22
1.3 Ίδρυση της Μονής – 11 ^{ος} αιώνας.....	22
1.3.1 Ιδρυτής της Μονής	24
1.4. Ιστορική αναδρομή χρήσεων της Μονής Δαφνίου	25
1.4.1 Η Μονή κατά τη Φραγκοκρατία – Κιστερκιανοί μοναχοί (1207 - 1458)....	25
1.4.2 Η Μονή κατά τη διάρκεια της Τουρκοκρατίας.....	26
1.4.3 Η Μονή κατά τον 19 ^ο αιώνα – Λόρδος Έλγιν	27
1.4.4 Η Μονή κατά τη διάρκεια της επανάστασης του 1821	29
1.4.5 Η Μονή Δαφνίου κατά τα μετεπαναστατικά χρόνια	30
1.5 Επεμβάσεις – Ανασκαφές – Συντήρηση και Ανάδειξη της Μονής.....	32
1.5.1 Εργασίες κατά τον 13 ^ο αιώνα - Φραγκοκρατία (1207-1458).....	32
1.5.2 Εργασίες κατά τον 16 ^ο αιώνα.....	33
1.5.3 Εργασίες κατά 19 ^ο αιώνα.....	33
1.5.4 Εργασίες κατά τον 20 ^ο αιώνα.....	35
1.5.5 Εργασίες κατά τον 21 ^ο αιώνα.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο . ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΔΑΦΝΙΟΥ.	40
2.1. Γενικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής	40
2.1.1 Το Καθολικό.....	41
2.1.2 Ο περίβολος.....	48
2.1.3 Τα κελιά των μοναχών.....	50
2.1.4 Η τράπεζα	51
2.1.5 Το μαγειρείο	52
2.1.6 Ο λουτρόνας	52
2.1.7 Η κινστέρνα	53

2.1.8 Η ορθογώνια αίθουσα.....	54
2.2. Η ψηφιδωτή διακόσμηση της Μονής Δαφνίου	54
2.2.1 Τα ψηφιδωτά του νάρθηκα.....	55
2.2.2 Τα ψηφιδωτά του κυρίως Ναού	55
2.2.3 Τα ψηφιδωτά του Ιερού	62
2.2.4 Ο χαρακτήρας των ψηφιδωτών του Δαφνίου	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο . ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ	65
3.1 Πολιτιστική κληρονομιά.....	65
3.1.1 Διεθνείς συμβάσεις για την πολιτιστική κληρονομιά.....	67
3.1.2 Μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς UNESCO	69
3.2 Ορισμός γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων	73
3.3 Μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων	76
3.3.1 Τοπομετρικές - Εμπειρικές	77
3.3.2 Τοπογραφικές - Κλασικές	78
3.3.3. Φωτογραμμετρικές	83
3.3.4 Με χρήση επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή laser	85
3.3.5 Συνδυασμός μεθόδων	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο . ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER	92
4.1 Αρχές λειτουργίας επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών laser.....	93
4.2 Κατηγορίες επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών laser	98
4.2.1 Σαρωτές επαφής.....	99
4.2.2 Σαρωτές απόστασης.....	101
4.3 Ακρίβειες και σφάλματα σαρωτών laser	109
4.4 Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο . ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	123
5.1 Ίδρυση πολυγωνικών οδεύσεων.....	124
5.2 Τρισδιάστατη σάρωση του Καθολικού της Μονής Δαφνίου	127
5.2.1 Επεξεργασία Δεδομένων.....	133
5.3 Παράγωγα Μετρήσεων	145
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο . ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	149
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	151
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	153

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η Μονή Δαφνίου σε σχέση με το κέντρο της Αθήνας.

Εικόνα 2. Η Μονή Δαφνίου επί της λεωφόρου Αθηνών.

Εικόνα 3. Η περιοχή και το μοναστήρι του Δαφνίου. Απόσπασμα χάρτη «Karten Von Attika» των Curtius και Kaupert, 1881.

Εικόνα 4. Απόσπασμα χάρτη «Panorama Von Athen» του Stademann., Μόναχο 1841, που διακρίνεται η τοποθεσία της Μονής Δαφνίου ως «Ναός του Απόλλωνα».

Εικόνα 5. Ο χώρος του ιερού του Απόλλωνα στο Δαφνί, στη θέση που αργότερα χτίστηκε η Μονή Δαφνίου.

Εικόνα 6. Όψεις κίωνων ιωνικού ρυθμού από το ιερό του Απόλλωνα στο Δαφνί (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963).

Εικόνα 7. Δίβλολο άνοιγμα της νότιας πλευράς του εξωνάρθκα με τον ιωνικό κίονα από τον ναό του Δαφναίου Απόλλωνα.

Εικόνα 8. Κιονόκρανα και σπόνδυλοι που μετέφερε ο λόρδος Έλγιν στη Μεγάλη Βρετανία (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1963).

Εικόνα 9. Μονή Δαφνίου 1842 (Philibert-Joseph Girault de Prangey).

Εικόνα 10. Ορθοφωτογραφία της δυτικής όψης της Μονής (Delinikolas et al., 2003).

Εικόνα 11. Βορειοδυτική πλευρά πριν από την αποκατάσταση(Robert Weir Schultz & Sidney Barnsley 1889).

Εικόνα 12. Η βορειοδυτική όψη μετά από την αποκατάσταση (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963).

Εικόνα 13. Η δυτική όψη του εξωνάρθκα πριν από την αναστήλωσή του από τον Στίκα Έκκι και τον Μπούρα Χ. στην δεκαετία του 1950.

Εικόνα 14. Σχέδιο της δυτικής όψης του εξωνάρθκα πριν από την αναστήλωσή του από τον Στίκα και τον Μπούρα.(Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963).

Εικόνα 15. Αναπαράσταση των ζημιών από τον σεισμό του 1999. Οι ρωγμές εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα (Miltiadou - Fezans 2008).

Εικόνα 16. Η μονή κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης μετά από τον σεισμό του 1999. (Miltiadou - Fezans 2008).

Εικόνα 17. Τοπογραφικό διάγραμμα Μονής Δαφνίου. (Benouville, 1899).

Εικόνα 18. Σχέδιο του τρούλου από τον Γεώργιο Λαμπάκη. Χριστιανική Αρχαιολογία της Μονής Δαφνίου, 1889.

Εικόνα 19. Κάτοψη των στεγών της Μονής Δαφνίου (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας 1962-1963).

Εικόνα 20. Σχέδιο του μεταβυζαντινού κτιστού τέμπλου (Paul Durand, 1847).

Εικόνα 21. Το νεότερο ξύλινο τέμπλο του καθολικού. Φωτομετρικό Ινστιτούτο του Βερολίνου 2009.

Εικόνα 22. Τομή στον εξωνάρθηκα (Le monastere de Daphni, Benouville, 1899).

Εικόνα 23. Δυτική όψη του καθολικού μετά από την αναστήλωσή την δεκαετία του 1950 (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963).

Εικόνα 24. Βόρεια όψη του καθολικού κατά τα έτη 1888-1890 από τους Schultz, Barnsley και Howard.

Εικόνα 25. Νότια όψη του καθολικού της Μονής Δαφνίου μετά από την αναστήλωση του από τους Στίκα και Μπούρα στα τέλη της δεκαετίας του 1950.

Εικόνα 26. . Κάτοψη του καθολικού της Ιεράς Μονής Δαφνίου (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963).

Εικόνα 27. Φωτογραφία της βόρειας όψης του καθολικού της Μονής όπου διακρίνεται το κωδωνοστάσιο 1888-1890.

Εικόνα 28. Το δυτικό τμήμα του βόρειου τείχους της Μονής Δαφνίου (Εφορεία Αρχαιοτήτων Δυτικής Αττικής, <https://www.efada.gr/>)

Εικόνα 29. Κατάρρευση μέρους του βόρειου τείχους της Μονής Δαφνίου κατά τον σεισμό της 19ης Ιουλίου 2019.

Εικόνα 30. Τα κελιά των μοναχών, νότια του καθολικού (Εφορεία Αρχαιοτήτων Δυτικής Αττικής, <https://www.efada.gr/>).

Εικόνα 31. κάτοψη της τράπεζας της Μονής Δαφνίου από τον Ορλάνδο (Μοναστηριακή Αρχιτεκτονική, 1999).

Εικόνα 32. Σχέδιο της κιστέρνας της Μονής Δαφνίου (Ορλάνδος, 1956).

Εικόνα 33. Ο παντοκράτορας στο μετάλλιο του τρούλου σήμερα (2019). Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ.

Εικόνα 34. Ο Παντοκράτορας του Δαφνίου, πριν τον σεισμό του 1889. Φωτογραφία: G. Millet. 1899.

Εικόνα 35. Το ψηφιδωτό του Παντοκράτορα στο μετάλλιο και των δεκαέξι Προφητών στο τύμπανο του τρούλου (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 2019)

Εικόνα 36. Η Γέννηση του Ιησού Χριστού. Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ.

- Εικόνα 37.* Η Βάπτιση του Ιησού Χριστού. Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ.
- Εικόνα 38.* Η Μεταμόρφωση του Ιησού Χρηστού. Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ.
- Εικόνα 39.* Η Σταύρωση του Ιησού Χριστού. Φωτογραφία : Αντώνιος Ποσπέλοφ.
- Εικόνα 40.* Η Είσοδος στα Ιεροσόλυμα. Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ.
- Εικόνα 41.* Η ανάσταση του Χριστού. Φωτογραφία : Αντώνιος Ποσπέλοφ
- Εικόνα 42.* Η απιστία του Θωμά. Φωτογραφία : Αντώνιος Ποσπέλοφ
- Εικόνα 43.* Άποψη του Ιερού (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 2019).
- Εικόνα 44.* Άποψη του Ιερού της Μονής Δαφνίου μετά από την αποκάλυψη της Πλατυτέρας. Αρχαιολογική Εφημερίς, 1934).
- Εικόνα 45.* Κάτοψη του καθολικού της Μονής Δαφνίου με σήμανση των εικονογραφημένων θεμάτων, σε σχέδιο του Φιλιππίδη (Λαμπάκης, 1889).
- Εικόνα 46.* Λίστα των εικονογραφημένων παραστάσεων του καθολικού της Μονής Δαφνίου (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 2019).
- Εικόνα 47.* Τα ελληνικά Μνημεία Παγκόσμιας Κληρονομιάς. πηγή: <http://odysseus.culture.gr/>
- Εικόνα 48.* Αβεβαιότητες προσδιορισμού συντεταγμένων σημείων λεπτομερειών σε σχέση με την κλίμακα αποτύπωσης (Πανταζής, 2010).
- Εικόνα 49.* Ψηφιακό αποστασιόμετρο laser, κλασσική μετροταινία και μεταλλικό μέτρο.
- Εικόνα 50.* Leica FlexLine TS02. Total Station γωνιακής ακρίβειας επτά δευτερολέπτων (7") της μοίρας και την δυνατότητα μέτρησης απόστασης χωρίς ανακλαστήρα (reflectorless)
- Εικόνα 51.* Εφαρμογή μεθόδου αποτύπωσης πολικών συντεταγμένων (Προσωπικό αρχείο).
- Εικόνα 52.* Μέθοδος εμπροσθοτομίας στο χώρο (Προσωπικό αρχείο).
- Εικόνα 53.* Η μέθοδος της δέσμης (bundle adjustment) σε ζεύγος επικαλυπτόμενων εικόνων (Πέτσα, 2000).
- Εικόνα 54.* Τρισδιάστατο μοντέλο (χωρίς υφή) της Αψίδας του Θριάμβου στο Παρίσι, με τη μέθοδο επίγειας φωτογραμμετρίας (Hoang Hier Vu, 2015).
- Εικόνα 55.* Νέφος σημείων από την γεωμετρική τεκμηρίωση της Όπερας του Σύδνεϋ με σαρωτή laser (CyArk, 2016).
- Εικόνα 56.* Νέφος σημείων από την γεωμετρική τεκμηρίωση της πυραμίδας 'El Castillo' (Ναός του Kukulcan') στην πόλη Τσιτσέν Ιτζά του Μεξικού(CyArk, 2007).

Εικόνα 57. Τρισδιάστατο μοντέλο του Παλατιού Καλών Τεχνών στο Μεξικό (CyArk, 2019).

Εικόνα 58. Νέφος σημείων από την γεωμετρική τεκμηρίωση στο Ναό του Δία στην Πομπηία με επίγειο τρισδιάστατο σαρωτή (CyArk, 2003).

Εικόνα 59. Μέθοδοι αποτύπωσης σε συνάρτηση με την πολυπλοκότητα (μετρούμενα σημεία) και το μέγεθος του αντικειμένου (Boehler et al., 2001).

Εικόνα 60. Νέφος σημείων (χωρίς χρωματική πληροφορία) για την αποτύπωση κτιρίου με σαρωτή laser (Προσωπικό αρχείο).

Εικόνα 61. Νέφος σημείων (point cloud) χωρίς χρωματική πληροφορία (Orbital Africa Ltd, Kenya, 2022).

Εικόνα 62. Κατηγοριοποίηση επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών (Συμεωνίδης, 2007).

Εικόνα 63. Σαρωτής επαφής τύπου γέφυρας ZEISS MMZ T (Zeiss, 2020)

Εικόνα 64. Φορητός σαρωτής επαφής FARO Quantum S ScanArm (Faro, 2021)

Εικόνα 65. Σύγκριση μεθόδων μέτρησης απόστασης Χρόνου Πτήσης (Time of Flight) και Διαφοράς Φάσης (Phase Shift) (Stanley, 2013).

Εικόνα 66. Αρχή Μέτρησης Χρόνου Πτήσης Time of Flight, (Golubeva, 2022).

Εικόνα 67. Ενεργητικός σαρωτής απόστασης TOF(Time of Flight) Leica RTC360.

Εικόνα 68. Ενεργητικός σαρωτής απόστασης TOF (Time of Flight) Leica BLK360 G1.

Εικόνα 69. Αρχή Μέτρησης Διαφοράς Φάσης (Phase Shift), (Golubeva, 2022).

Εικόνα 69. Αρχή Μέτρησης Διαφοράς Φάσης (Phase Shift), (Golubeva, 2022).

Εικόνα 70. Αρχή Λειτουργίας Τριγωνισμού σε σαρωτή laser(Global Laser Ltd, 2018)

Εικόνα 71. Αρχή λειτουργίας τριγωνισμού (Loprencipe, Moretti, 2018).

Εικόνα 72. Αρχή λειτουργίας τριγωνισμού με 2 κάμερες – αισθητήρες CCD (Boehler, Marbs, 2002).

Εικόνα 73. Ενεργητικός Σαρωτής Χειρός Leica BLK2GO HandHeld Imaging Laser Scanner (Leica Geosystems AG, 2019).

Εικόνα 74. Θέση παλμού laser και σφαίρα σάρωσης του Leica BLK2GO (Leica Geosystems AG, 2019).

Εικόνα 75. Κατηγορίες Σαρωτών laser (ως προς την μέθοδο μέτρησης απόστασης) με τις εκάστοτε τυπικές ακρίβειες και τις τυπικές εμβέλεις τους (Historic England, 2018)

Εικόνα 76. Αποτύπωση Θορύβου (κυρίως βλάστησης) σε συνενωμένη δέσμη νεφών σημείων (Προσωπικό αρχείο).

Εικόνα 77. Διασπορά κουκίδας laser σε απόσταση L από την πηγή της (Συμεωνίδης, 2007).

Εικόνα 78. Αναπαράσταση σφάλματος ακμής (Klara, Mitka, 2017).

Εικόνα 79. Συνένωση (Registration) δύο διαδοχικών σάρωσεων. Το νέφος σημείων της μίας σάρωσης εμφανίζεται με πορτοκαλί χρώμα ενώ της δεύτερης σάρωσης με γαλάζιο (Προσωπικό αρχείο).

Εικόνα 80. Αναπαράσταση επικάλυψης επάνω στο αντικείμενο ενδιαφέροντος.

Εικόνα 81. Αναπαράσταση φυσικών ομόλογων σημείων σε δύο διαδοχικές θέσεις σάρωσης.

Εικόνα 82. Ειδικοί Στόχοι : HDS (High Definition Surveying) στόχος, στόχος τύπου σκακιέρας και σφαιρικός στόχος (Fryskowska A., 2018).

Εικόνα 83. Συνένωση με χρήση ειδικών αυτοκόλλητων στόχων (Αρχοντάκης, 2012).

Εικόνα 84. Στάση όδευσης S1 εσωτερικά του Ναού

Εικόνα 85. Στάση όδευσης S7 εξωτερικά του μνημείου.

Εικόνα 86. Στάση σημείου εξάρτησης T11 .

Εικόνα 87. Τελικά και επιτρεπτά σφάλματα των οδεύσεων πέντε και τεσσάρων κορυφών αντίστοιχα

Εικόνα 88. Οι υλοποιημένες κλειστές εξαρτημένες οδεύσεις και το σημείο εξάρτησης τους.

Εικόνα 89. Ακρίβειες προσδιορισμού των σημείων εξάρτησης με σχετικό στατικό εντοπισμό.

Εικόνα 90. Στιγμιότυπο εξωτερικής σάρωσης στον εξωνάρθηκα του Καθολικού.

Εικόνα 91. Στιγμιότυπο εσωτερικής σάρωσης της Μονής, στον εσωνάρθηκα.

Εικόνα 92. Εσωτερική θέση σάρωσης στο Καθολικό.

Εικόνα 93. Εξωτερική θέση σάρωσης της δυτικής όψης.

Εικόνα 94. Περιμετρική στάση σάρωσης της Μονής.

Εικόνα 95. Εξωτερική υπερυψωμένη θέση σάρωσης.

Εικόνα 96. Υλοποιημένες στάσεις επίγειου σαρωτή laser εσωτερικά και εξωτερικά της Μονής Δαφνίου.

Εικόνα 97. Ειδικοί στόχοι εσωτερικά του Ναού.

- Εικόνα 98.* Επίπεδοι στόχοι εξωτερικά της Μονής Δαφνίου.
- Εικόνα 99.* Στόχος στην βόρεια όψη του Ναού.
- Εικόνα 100.* Στόχοι στον εξωνάρθηκα του μνημείου.
- Εικόνα 101.* Συνένωση δύο διαδοχικών εξωτερικών σαρώσεων ως προς του άξονες Χ και Υ.
- Εικόνα 102.* Συνένωση δύο διαδοχικών εσωτερικών σαρώσεων ως προς του άξονες Χ και Υ.
- Εικόνα 103.* Σφάλμα κατά τον άξονα Ζ κατά την συνένωση δύο σαρώσεων.
- Εικόνα 104.* Διόρθωση σφάλματος και ορθή συνένωση ως προς τον άξονα Ζ.
- Εικόνα 105.* Συνένωση δύο εξωτερικών σαρώσεων της Ι.Μ. Δαφνίου.
- Εικόνα 106.* Συνένωση δύο σαρώσεων εσωτερικά της Μονής.
- Εικόνα 107.* Αναγνώριση στόχων στην βόρεια όψη της Μονής.
- Εικόνα 108.* Αναγνώριση στόχων στην ανατολική όψη του Ναού.
- Εικόνα 109.* Αναγνώριση στόχων εσωτερικά του μνημείου.
- Εικόνα 110.* Αυτόματη αναγνώριση στόχων στο Καθολικό της Μονής
- Εικόνα 111.* Άποψη δυτικής όψης του Καθολικού από το λογισμικό επεξεργασίας.
- Εικόνα 112.* Στιγμιότυπο γεωαναφοράς τελικού πυκνού νέφους σημείων.
- Εικόνα 113.* Σφάλμα συνένωσης δέσμης και ενδεικτικά σφάλματα των συνδέσεων των νεφών σημείων.
- Εικόνα 114.* Βόρεια άποψη της Μονής Δαφνίου (νέφος σημείων με χρωματική πληροφορία).
- Εικόνα 115.* Ανατολική άποψη του Καθολικού της Μονής από το περιβάλλον του λογισμικού επεξεργασίας.
- Εικόνα 116.* Συνενωμένο νέφος σημείων με χρωματική πληροφορία της Μονής Δαφνίου και του περιβάλλοντα χώρου
- Εικόνα 117.* Τελικό νέφος σημείων με τη συνολική πληροφορία του μνημείου.
- Εικόνα 118.* Βορειοδυτική άποψη του Καθολικού με πληροφορία ανακλαστικότητας.
- Εικόνα 119.* Τελικό πυκνό νέφος σημείων.
- Εικόνα 120* Τελικό νέφος σημείων απαλλαγμένο από την περιττή πληροφορία.
- Εικόνα 121.* Άποψη νέφους μετά την απαλοιφή θορύβου.

Εικόνα 122 Νοτιοδυτική άποψη Καθολικού.

Εικόνα 123. Διάγραμμα οριζόντιας τομής του Καθολικού της Μονής Δαφνίου.

Εικόνα 124. Διάγραμμα ανατολικής όψης του Καθολικού.

Εικόνα 125. Ορθοφωτογραφία ανατολικής όψης του Καθολικού.

Εικόνα 126. Ορθοφωτογραφία δυτικής όψης του Καθολικού.

Εικόνα 127. Ορθοφωτογραφία βόρειας όψης του Καθολικού.

Εικόνα 128. Ορθοφωτογραφία νότιας όψης του Καθολικού.

Εικόνα 129. Ορθοφωτογραφία καταμήκος τομής – νότιας όψης του Καθολικού της Μονής Δαφνίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 Προέλευση Ονομασίας

Η αρχαιολογική και ιστορική σπουδαιότητα που περιβάλλει τη Μονή Δαφνίου έχει ωφελήσει την ανάπτυξη διαφορετικών ερμηνειών όσον αφορά την προέλευση του ονόματός της. Ορισμένες από αυτές τις ερμηνείες έχουν τις ρίζες τους σε λαϊκές παραδόσεις, ενώ άλλες αποτελούν προϊόντα μυθοπλασίας. Οι περισσότεροι ερευνητές συνδέουν το όνομα της Μονής με τον Απόλλωνα Δαφναίο ή Δαφνοφόρο Απόλλωνα, ιερό του οποίου υποστηρίζεται ότι υπήρχε κατά την αρχαιότητα στη θέση όπου χτίστηκε το μοναστήρι (Λερίου, 2006).

Άλλοι αποδίδουν την ονομασία στις δάφνες που υποστηρίζεται ότι αφθονούσαν στην περιοχή και φαίνεται να συνδέονται με την ίδρυση του αρχαίου ναού (Deliyannidis, 1986). Η ύπαρξη δαφνών επιβεβαιώνεται από τους περιηγητές Jacques Spon (1647-1685) και Sir George Wheeler (1791-1846) οι οποίοι επισκέφθηκαν το μοναστήρι το έτος 1676, αλλά και αργότερα από τον Alexandre Buchon (1791-1846), που επισκέφτηκε τη μονή το 1840. Παρ' όλα αυτά, από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, όταν ξεκίνησαν οι πρώτες συστηματικές μελέτες του μνημείου, οι δάφνες είχαν αρχίσει να σπανίζουν. Σύμφωνα με τον Δημήτριο Καμπούρογλου (1920), η συσχέτιση με τις δάφνες είναι εσφαλμένη, καθώς είναι φανερό πως το ιδιαίτερα ξηρό κλίμα του Δαφνίου δεν θα μπορούσε να επιτρέψει την παρουσία πολλών δαφνών.

Σύμφωνα με μία άλλη θεωρία, η ονομασία του Δαφνίου έχει φραγκική προέλευση και συνδέεται με του Dauphin της Γαλλίας αλλά και το Abbay de Delfine του μεσαίωνα. Επιπλέον, επιγραφή του 1400 ονομάζει την μονή Dalrhini (Καμπούρογλου, 1920). Παρ' όλα αυτά, δύσκολα γίνεται αποδεκτό ότι τα φράγκικα ονόματα που δόθηκαν κατά τον 13^ο αιώνα στη Μονή Δαφνίου, αποτέλεσαν και την επίσημη ονομασία του μοναστηριού. Πιθανότερο είναι οι Φράγκοι να υιοθέτησαν τα παραπάνω ονόματα, παρερμηνεύοντας την ήδη υπάρχουσα ελληνική ονομασία (Λαμπάκης 1889).

Η ονομασία της Μονής έχει συσχετιστεί έντονα με το μοναστήρι της Δάφνης στην Κωνσταντινούπολη (Λαζαρίδης, 1977). Σύμφωνα με μία άλλη παράδοση, που διηγήθηκε η μοναχή Μάρθα στον Γεώργιο Λαμπάκη γύρω στο 1870 και αναφέρεται στο βιβλίο του «Χριστιανική Αρχαιολογία της Μονής Δαφνίου» του 1889, η ονομασία αλλά και η ίδρυση του ναού σχετίζονται με την βασιλοπούλα Δάφνη, η οποία ναυάγησε στη θάλασσα του Σκαραμαγκά, αλλά διασώθηκε μαζί με δώδεκα βαρέλια γεμάτα φλουριά. Έτσι, για να ευχαριστήσει την Παναγία, έχτισε το μοναστήρι και έθαψε τα φλουριά που περίσσεψαν σε επτά πιθάρια στον περίβολο της Μονής (Λαμπάκης, 1889 και Καμπούρογλου, 1920). Ωστόσο, η συγκεκριμένη εκδοχή όπως και άλλες σχετικά με την ίδρυση του ναού, κινούνται στον χώρο της φαντασίας.

Ο συσχετισμός της Μονής με βασιλικούς γόνους προέκυψε από την λαϊκή πεποίθηση ότι ήταν ίδρυμα βυζαντινού αυτοκράτορα. Η πεποίθηση αυτή πηγάζει από τη μνημειακή μορφή και τη λαμπρή διακόσμηση της (Λερίου, 2006).

Χαρακτηριστικός είναι και ο συσχετισμός του δυτικού θρύλου της βασιλοπούλας Μαργαρώνας (Maqueline) και του Ευγενούς Ιμπέρου, που ανάγεται στον 12ο αιώνα, με το Δαφνί (Καμπουρόγλου, 1920). Ο μύθος αυτός τροφοδότησε μία αθηναϊκή παράδοση κατά την οποία η Μονή Δαφνίου φαίνεται να κτίστηκε στην περίοδο των Ευγενών από την Μαργαρώνα.

Αν και οι εκδοχές για την προέλευση του ονόματος της Μονής Δαφνίου ποικίλουν, γενικά αποδεκτή υπόθεση είναι ότι το όνομα Δαφνί προήλθε από τους βυζαντινούς και δόθηκε στο μοναστήρι προς τιμή της Παναγίας της Δάφνης του Βυζαντίου. Παρ' όλα αυτά, η εκτεταμένη χρήση του ονόματος της Δάφνης κατά τα βυζαντινά χρόνια, φαίνεται να έχει τις ρίζες της στην αρχαία λατρεία του θεού Απόλλωνα.

1.2 Τοποθεσία



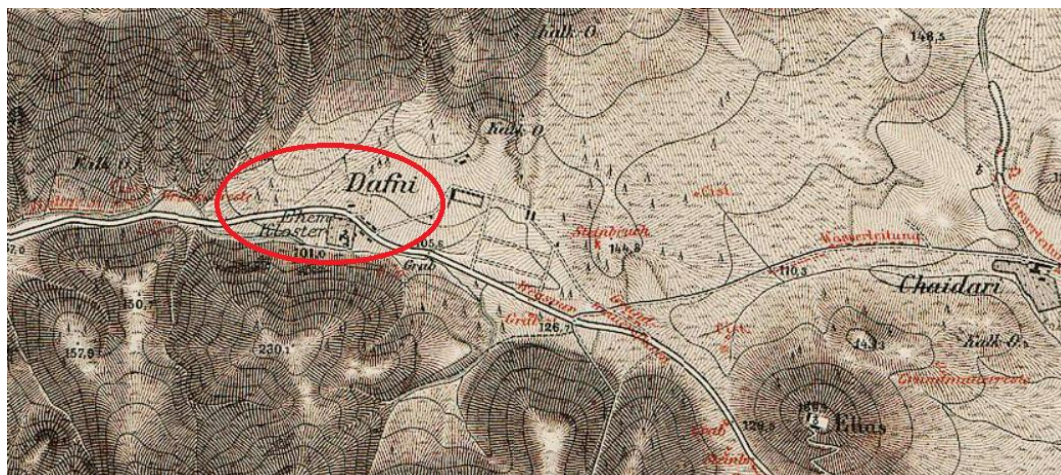
Εικόνα 1. Η Μονή Δαφνίου σε σχέση με το κέντρο της Αθήνας.



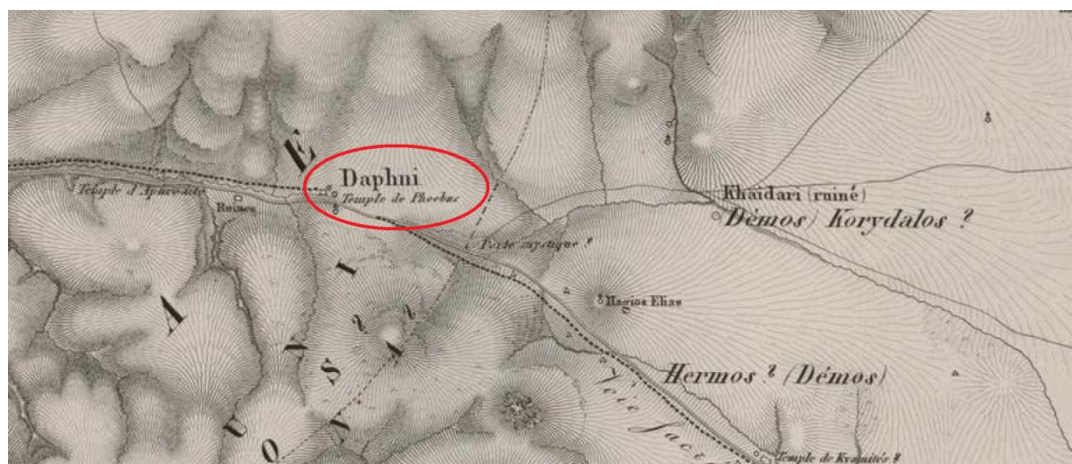
Εικόνα 2. Η Μονή Δαφνίου επί της Λεωφόρου Αθηνών.

Η Μονή Δαφνίου είναι χτισμένη σε ιδιαίτερη τοποθεσία, στη δυτική είσοδο του λεκανοπεδίου Αττικής. Βρίσκεται στις παρυφές της βόρειας πλευράς του Όρους Αιγάλεω, σε απόσταση έντεκα χιλιομέτρων από το κέντρο της Αθήνας. Πιο συγκεκριμένα, η θέση της Μονής είναι στο δήμο Χαϊδαρίου επί της Λεωφόρου Αθηνών, στο ρεύμα προς Αθήνα, στα μέσα περίπου της αρχαίας Ιεράς Οδού η οποία ένωνε την αρχαία Αθήνα με την Ελευσίνα. Όντας στην δυτική είσοδο της πρωτεύουσας και επάνω σε έναν ιστορικό δρόμο συνεχούς χρήσης από την αρχαιότητα, το Δαφνί αποτελεί μία από τις πιο φημισμένες μονές του ελλαδικού χώρου και σημαντικό πόλο έλξης μοναχών και προσκυνητών. Η περιοχή του Χαϊδαρίου ανάμεσα στις δύο αυτές σημαντικές πόλεις αποτελούσε σημαντικό πέρασμα για ταξιδιώτες τόσο από την Πελοπόννησο και την Στερεά Ελλάδα όσο και από την Θεσσαλία.

Η Ιερά Οδός, άρρηκτα συνδεδεμένη με τις μεγάλες λατρευτικές πομπές που λάμβαναν χώρα στο πλαίσιο των Ελευσίνιων Μυστηρίων, αποτέλεσε σημαντικό σύνδεσμο μεταξύ Αθήνας και Ελευσίνας. Μέχρι και το 1956, όταν και κατασκευάστηκε η Λεωφόρος Αθηνών (πρώην Καβάλας), η οποία συναντάται με την Ιερά Οδό στο ύψος της Μονής Δαφνίου, δεν υπήρχε άλλος δρόμος για πρόσβαση στην Αθήνα από το δυτικό μέρος του νομού.



Εικόνα 3. Η περιοχή και το μοναστήρι του Δαφνίου. Απόσπασμα χάρτη «Karten Von Attika» των Curtius και Kaupert, 1881.



Εικόνα 4. Απόσπασμα χάρτη «Panorama Von Athen» του Stademann., Μόναχο 1841, που διακρίνεται η τοποθεσία της Μονής Δαφνίου ως «Ναός του Απόλλωνα».

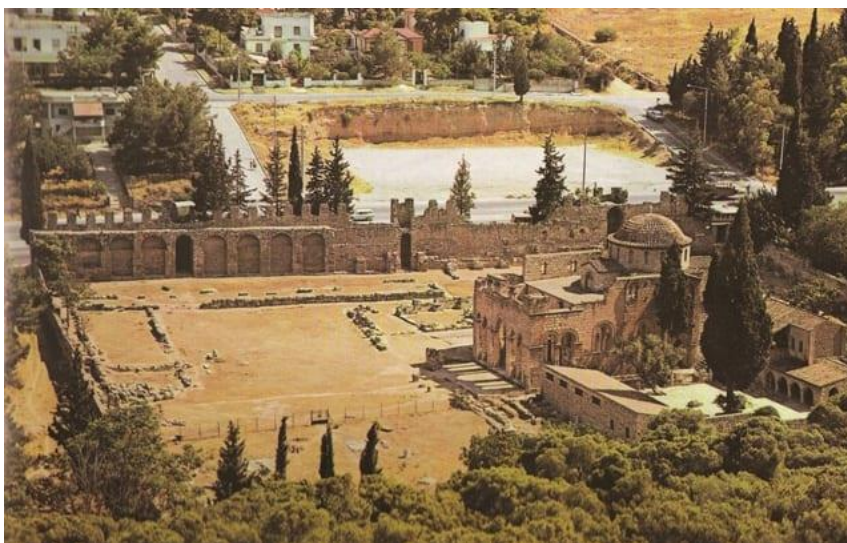
1.2.1 Η τοποθεσία κατά την αρχαιότητα – Ναός Απόλλωνα

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το σημαντικότερο μνημείο στην Αττική από την εποχή της μεγάλης ακμής της βυζαντινής τέχνης είναι το Δαφνί. Η τοποθεσία έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της περιοχής από την αρχαιότητα. Η Ιερά Οδός αποτέλεσε βασικό άξονα κατά μήκος του οποίου αναπτύχθηκε το αρχαίο Χαϊδάρι,

που κατά τα κλασικά και ελληνιστικά έτη ήταν γνωστό ως Ερμός (Λερίου, 2009). Μαρτυρία του περιηγητή Πausανία σχετικά με την διαδρομή του στην Ιερά Οδό φανερώνει την ύπαρξη ναού του Απόλλωνα στην τοποθεσία όπου σήμερα βρίσκεται η Μονή Δαφνίου (Παπαχατζής, 1994).

Πράγματι, ο ιερός χώρος στον οποίο αναφέρεται έχει εντοπιστεί στα όρια που καταλαμβάνει η Μονή και αποτελούσε μία από τις σημαντικότερες στάσεις της Ελευσινιακής πομπής (Λερίου, 2006). Ο Απόλλων είχε πιθανότατα το προσωνύμιο «Δαφνοφόρος». Όταν ο Πausανίας επισκέφθηκε τον χώρο, θα πρέπει να περιλάμβανε ναό και κάποιο επιστήλιο οικοδόμημα, καθώς στον χώρο βρέθηκε μεγάλος αριθμός σπονδύλων και κιονόκρανων ιωνικού και δωρικού ρυθμού.

Η αρχιτεκτονική μορφή του ναού του Απόλλωνα μας είναι άγνωστη. Βάσει των ευρημάτων και την αφήγηση του Πausανία υπάρχει η υπόθεση πως στο ιερό υπήρχε ναός αφιερωμένος στον Απόλλωνα, με άγαλμα του ίδιου αλλά και της Αθηνάς. Επίσης, ο μεγάλος αριθμός σπονδύλων από κίονες που αναφέρθηκε παραπάνω υποδηλώνει την ύπαρξη και δεύτερου ναού, ο οποίος σύμφωνα με τον Πausανία ήταν μεταγενέστερος από αυτόν του Απόλλωνα (Παπαχατζής, 1994).



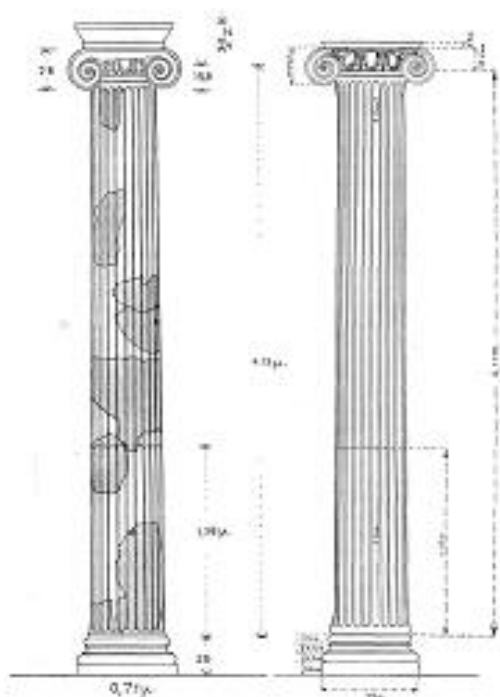
Εικόνα 5. Ο χώρος του ιερού του Απολλωνα στο Δαφνί, στη θέση που αργότερα χτίστηκε η Μονή Δαφνίου.

Ο ακριβής χρόνος ίδρυσης του ιερού του Απόλλωνα παραμένει άγνωστος, αφού τα αρχαία στρώματα κάτω από το μοναστήρι δεν έχουν πλήρως ερευνηθεί. Βάσει της τεχνοτροπίας του ιωνικού κίονα που επαναχρησιμοποιήθηκε στην κιονοστοιχία του εξωνάρθηκα, πιθανότατα χρονολογείται στην ύστερη κλασική περίοδο (399-301 π.Χ.) (Στίκας, 1964). Λόγω της έλλειψης στοιχείων όμως, το μόνο επιβεβαιωμένο γεγονός είναι ότι το ιερό υπήρχε ήδη στα μέσα του 2^{ου} αιώνα μ.Χ., όταν και το επισκέφθηκε ο Πausανίας. Καταστράφηκε έπειτα από περίπου διακόσια χρόνια από τους Βησιγότθους του Αλάριχου, μαζί με την καταστροφή του Ιερού της Ελευσίνας το 395 μ.Χ. (Kyriacopoulou και Petronotes, 1956).

Όπως σε όλα τα τεμένη στην αρχαιότητα, ο ναός του Απόλλωνα πλαισιωνόταν από περίβολο. Το βόρειο τμήμα του υπάρχοντος τείχους φαίνεται να «πατάει» πάνω στον αρχαίο περίβολο, ο οποίος είναι ορατός σε κατώτερες στρώσεις του. Επιπλέον, το τεράστιο λίθινο κατώφλι της ανατολικής εισόδου της Μονής είναι κατά πάσα πιθανότητα το κατώφλι του αρχαίου τεμένους. Η ανατολική πύλη, η σημερινή δηλαδή είσοδος της, πιθανόν να ήταν και η πύλη του αρχαίου περιβόλου (Παπαχατζής, 1994).

Ένας ακέραιος κίονας από το Ιερό είχε χρησιμοποιηθεί για τη στήριξη των τοξωτών ανοιγμάτων στην νοτιοδυτική πλευρά του εξωνάρθηκα του Καθολικού της Μονής. Γνωρίζουμε ότι εκεί υπήρχαν ακόμη τρεις κίονες, οι οποίοι αφαιρέθηκαν και αντικαταστάθηκαν από χτιστούς από τον λόρδο Έλγιν. Όταν ξεκίνησαν οι συστηματικές αρχαιολογικές έρευνες στην περιοχή του Δαφνίου κατά τις τελευταίες δεκαετίες του 19^{ου} αιώνα, τόσο ο χώρος της Μονής όσο και οι γύρω αγροί έβρισκαν αρχαίων και βυζαντινών αρχιτεκτονικών μελών και γλυπτών. Επιπλέον, πολλά λίθινα κατάλοιπα από το Ιερό του Απόλλωνα βρέθηκαν εντοιχισμένα σε μεταγενέστερα φράγκικα και βυζαντινά κτίσματα (Λερίου, 2009).

Ο ναός του Απόλλωνα παρήκμασε σημαντικά όταν με διατάγματα απαγορεύτηκε η αρχαία ειδωλολατρική θρησκεία. Τότε, κατέλαβαν τον χώρο χριστιανοί και κατά το πρώτο μισό του 5^{ου} αιώνα έκτισαν με τα υλικά των παλαιών κτηρίων μία εκκλησία (βασιλική), με σκοπό να προσελκύσουν στη νέα θρησκεία του Χριστού τους ειδωλόλατρες που πήγαιναν ακόμη στην Ελευσίνα. Με την ανέγερση της Μονής Δαφνίου κατά τα βυζαντινά χρόνια, συναντήθηκαν στον συγκεκριμένο χώρο δύο ιστορικές περίοδοι, η κλασική αρχαιότητα και το Βυζάντιο (Καρακατσάνη, 2001).



Εικόνα 6. Όψεις κίωνων ιωνικού ρυθμού από το ιερό του Απόλλωνα στο Δαφνί (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963)

1.2.2 Η τοποθεσία κατά την παλαιοχριστιανική περίοδο

Από τον πρώτο αιώνα μ.Χ. η χριστιανική θρησκεία άρχισε να διαδίδεται στην ειδωλολατρική έως τότε Αττική. Ύστερα από τα διατάγματα των χριστιανών αυτοκρατόρων, όπως του Μεγάλου Κωνσταντίνου (392 μ.Χ.) και του Θεοδοσίου του Β' (426 και 435 μ.Χ.), οι πιστοί μετέτρεψαν πολλούς από τους αρχαίους ναούς σε χριστιανικές εκκλησίες (Λαζαρίδης, 1977).

Παράλληλα, οι χριστιανοί άρχισαν να χτίζουν και καινούριες, καθαρά χριστιανικές εκκλησίες, πολλές φορές πάνω στα ερείπια αρχαίων ναών. Οι εκκλησίες αυτές ονομάζονταν βασιλικές, γιατί είχαν χτιστεί σύμφωνα με τον ρυθμό ενός αρχαίου κτιρίου που ονομαζόταν βασιλική. Επρόκειτο για επιμήκη ορθογώνια κτήρια με προσανατολισμό Α-Δ, που εσωτερικά διαιρούνταν σε κλίτη, μοίρες ή δρόμους (Γκιολές, 1992). Τέτοιου είδους φαίνεται πως ήταν και η βασιλική του Δαφνίου, μέσα στον χώρο του μοναστηριού, πιθανότατα πάνω στα ερείπια του ναού του Απόλλωνα. Εκτός από Καθολικό της Μονής, η βασιλική του Δαφνίου φαίνεται να περιλάμβανε και άλλα οικοδομήματα όπως κελιά, ξενώνες, μαγειρεία κ.τ.λ. και περιβαλλόταν από ισχυρό οχυρωματικό τείχος (Kyriacosroulou και Petronotes, 1956).

Ο Γάλλος αρχαιολόγος Gabriel Millet, στην πρώτη μονογραφία της Μονής Δαφνίου, που συνέθεσε μετά το πέρας της έρευνάς του υποστήριξε ότι ιδρύθηκε κατά τον 6^ο αιώνα, κυρίως βάσει των γλυπτών που ήταν διασκορπισμένα στον χώρο. Η βασιλική αυτή πιθανότατα παρήκμασε, καταστράφηκε ή κατεδαφίστηκε ολοκληρωτικά προκειμένου να αναγερθεί ο μνημειώδης σταυροειδής οκταγωνικός ναός του 11^{ου} αιώνα. Οι ανασκαφές που έγιναν με σκοπό να βρεθεί η παλιά βασιλική του 6^{ου} αιώνα έχουν αποβεί άκαρπες. Εντούτοις, αξίζει να υπογραμμιστεί το γεγονός ότι οι εν λόγω ανασκαφές ήταν περιορισμένες σε έκταση και συχνότητα (Καρακατσάνη, 2001).

Παράλληλα, η ύπαρξη βασιλικής εκκλησίας ως πρόδρομος της μετέπειτα Μονής Δαφνίου αμφισβητείται από ορισμένους ερευνητές. Για παράδειγμα, ο Χ. Μπούρας (1998) στηρίζοντας την άποψή του στα αποτελέσματα ανασκαφικής έρευνας, απέρριψε ως αβάσιμο το γενικά αποδεκτό παλαιοχριστιανικού και Ιουστινιάνειο οικοδομικό παρελθόν της Μονής Δαφνίου, θεωρία που υποστήριξε ο G. Millet (Bouras, 1998 και Millet, 1899).

1.3 Ίδρυση της Μονής – 11^{ος} αιώνας

Μετά από την «σκοτεινή περίοδο» του 7^{ου} και 8^{ου} αιώνα, όπου ελάχιστες ιστορικές πληροφορίες σχετικά με την Αθήνα και την Αττική είναι γνωστές, μεγάλη οικοδόμηση εκκλησιών και μοναστηριών στην Αθήνα και την Αττική

πραγματοποιήθηκε κατά τον 11ο και 12ο αιώνα, με τη δημιουργία σημαντικών έργων, που δίκαια υποστηρίζεται ότι ανήκουν στον «χρυσό αιώνα της βυζαντινής τέχνης στην Ελλάδα» (Λαζαρίδης, 1977).

Την ίδια στιγμή, η περιοχή του Χαϊδαρίου ήταν σχετικά έρημη, με μοναδική αλλά ιδιαίτερος εξέχουσα εξαίρεση την περίφημη Μονή Δαφνίου. Η ακριβής χρονολογία ίδρυσης της Μονής αποτελεί σημαντικό αρχαιολογικό ζήτημα, καθώς δεν έχει βρεθεί καμία επιγραφή που θα επέτρεπε τον ασφαλή καθορισμό της (Λερίου, 2006). Η αρχική χρονολόγηση της Μονής στον 6ο αιώνα οφείλεται στους πρώτους συστηματικούς μελετητές του μνημείου, που ερεύνησαν τον χώρο στις δεκαετίες του 1880 και 1890 και την εντάσσουν στο πλαίσιο της συστηματικής εξάπλωσης της χριστιανικής λατρείας στην πόλη των Αθηνών και στα περίχωρά της εκείνη την περίοδο (Λερίου, 2009)

Όπως προαναφέρθηκε, η κοινώς αποδεκτή άποψη για τη χρονολόγηση στα μέσα του 6ου αιώνα αναθεωρήθηκε από τον καθηγητή Χαράλαμπο Μπούρα, ο οποίος υποστήριξε ότι η ίδρυση θα πρέπει να ανέβει χρονολογικά στον 11ο αιώνα. Το συμπέρασμα αυτό βασίζεται στην εξέταση των ανεσκαμμένων αρχιτεκτονημάτων, η οποία απέδειξε ότι κανένα από αυτά δεν είναι δυνατόν να χρονολογηθεί πριν από τον 11ο αι. (Bougas, 1998). Παρ' όλα αυτά, η συνέχιση της ανασκαφικής έρευνας και μελέτης του χώρου είναι επιβεβλημένη, προκειμένου να αποδειχθεί η ορθότητα ή μη των απόψεών του.

Συχνά, η χρονολόγηση της γίνεται με κριτήριο τα ψηφιδωτά που την κοσμούν. Η έλλειψη μαρτυρίας για την ανέγερση της Μονής Δαφνίου (Μουρίκη, 1985) και η ύπαρξη στον ελλαδικό χώρο δύο ακόμη μονών, του Οσίου Λουκά και της Νέας Μονής, σε ίδιο αρχιτεκτονικό ρυθμό και με εξίσου σημαντικά ψηφιδωτά, που χρονολογούνται το πρώτο στις αρχές και το δεύτερο στα μέσα του 11ου αιώνα, ευνόησαν την κατασκευή της χρονικής διαδοχής των τριών αυτών μνημείων, με κατάληξη τα ψηφιδωτά του Δαφνίου στο τέλος του 11ου αιώνα (Καρακατσάνη, 2001).

Παρ' όλα αυτά, η χρονολόγηση του καθολικού της Μονής Δαφνίου, όπως παρουσιάζεται στο βιβλίο της Αγάπης Καρακατσάνη (2001) «*Παλινωδία για τη Μονή Δαφνίου*» μπορεί να ακολουθήσει άλλους συλλογισμούς και να πάρει νέους δρόμους, αφού τόσο δομικά όσο και αισθητικά βρίσκεται έξω από το ρεύμα του δεύτερου μισού του 11ου αιώνα. Σύμφωνα με την ίδια δεν θα ήταν λογικό μετά τις εκκλησίες της Αθήνας, οι οποίες ήταν μία ανάμειξη αυστηρότητας, κεραμικών και μαρμάρινων στοιχείων, να χτίζεται μία εκκλησία τέτοιου μεγέθους με συνειδητή στροφή σε αρχαϊζουσες μορφές, με τέτοια συνέπεια που κανένα «λάθος» να μην προδίδει την εποχή του. Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες, το Δαφνί δεν αρχαίζει, γιατί δεν ανήκει στον 11ο αιώνα, αλλά νωρίτερα (Καρακατσάνη, 2001).

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τον 11^ο και 12^ο αιώνα σημειώθηκε οικοδομικός οργανισμός στην Αθήνα και στην Αττική (Λαζαρίδης, 1977), μπορούμε να υποθέσουμε ότι τότε πραγματοποιήθηκε η συστηματική ανακαίνιση-αναβίωση της Μονής Δαφνίου, μέσω της ανέγερσης του μνημειώδους ναού σε σταυροειδή

οκταγωνικό αρχιτεκτονικό τύπο, καθώς και της διακόσμησης του με λαμπρά ψηφιδωτά.

Τα κτίρια που συναντά ο σημερινός επισκέπτης αντικατοπτρίζουν εν πολλοίς την εικόνα που είχε το μνημείο τον 11ο και 12ο αι., των αιώνων της μεγάλης ακμής του (Λερίου, 2006). Με βάση την αποτίμηση της αρχιτεκτονικής και της διακόσμησης, μπορούμε να πούμε ότι ιδρύθηκε κατά πάσα πιθανότητα κατά τη διάρκεια του δεύτερου ημίσεως του 11ου αιώνα, γύρω στο 1080, με χορηγία δωρητή, ο οποίος παραμένει άγνωστος. Εξαιτίας της έλλειψης των παραπάνω πληροφοριών, η ίδρυση της Μονής στο συγκεκριμένο σημείο τη συγκεκριμένη εποχή δεν είναι εύκολο να ερμηνευτεί. Η απάντηση θα πρέπει να σχετίζεται με την στρατηγική θέση του μοναστηριού στο στενό πέρασμα που ελέγχει την πρόσβαση στην Αθήνα από την Πελοπόννησο και στη Στερεά Ελλάδα, κάτι που ενισχύεται και από την ισχυρή οχύρωση που το περιβάλλει.

Προσεγγίζοντας την χρονολόγηση του καθολικού της Μονής Δαφνίου από την γεωδαιτική σκοπιά, και λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα όπως ψηφιακά διαγράμματα, τον προσανατολισμό του, το διαμήκη άξονα του κτιρίου καθώς και την ημερήσια διαδρομή του ήλιου, υποστηρίζεται, ότι το Καθολικό της Μονής ιδρύθηκε γύρω στο 1153 μ.Χ., με απόκλιση ± 8 χρόνια, που σημαίνει ότι έχει χτιστεί κάποια στιγμή μεταξύ των ετών 1145 μ.Χ. και 1161μ.Χ (Pantazis και Parathanasiou, 2005).

1.3.1 Ιδρυτής της Μονής

Σύμφωνα με τα στοιχεία που οδηγούν στην άποψη ότι η Μονή Δαφνίου είναι κτίσμα αυτοκρατορικής χορηγίας, θα πρέπει να ερευνηθεί σε ποιόν αυτοκράτορα θα μπορούσε να αποδοθεί. Ο μνημειώδης χαρακτήρας και η λαμπρή διακόσμηση έχει οδηγήσει τους ερευνητές στο συμπέρασμα ότι ο δωρητής ήταν κάποιος υψηλά ιστάμενος αξιωματούχος ή ακόμη και αυτοκράτορας (Λερίου, 2006). Η αυτοκρατορική χορηγία θα πρέπει να είναι και ο λόγος που το καθολικό του Δαφνίου ακολουθεί τον οκταγωνικό τύπο (Ορλάνδος, 1933). Το μέγεθος, ο όγκος του και κυρίως ο υπερμεγέθης τρούλος το διαφοροποιεί από τους σταυροειδείς εγγεγραμμένους ναούς με τρούλο (Καρακατσάνη, 2001).

Για τους λόγους χορήγησης των αυτοκρατορικών χορηγιών για την ανέγερση της Μονής Δαφνίου μόνο υποθέσεις μπορούν να διατυπωθούν. Πολλοί έχουν συνδέσει το Δαφνί με τον Βασίλειο Β' τον Βουλγαροκτόνο (976-1025 μ.Χ.), ο οποίος έτρεφε σεβασμό για την πόλη των Αθηνών. Κατά το 1018, μετά τη νικηφόρα του πορεία εναντίον των Βουλγάρων επισκέφθηκε την Αθήνα με σκοπό να θαυμάσει τα μνημεία της. Φαίνεται μάλιστα, πως ανέβηκε και προσκύνησε τον ναό της Παναγίας της Αθηνιώτισσας, στον οποίο είχε μετατραπεί ο Παρθενώνας (Σισιλιάνος, 1953). Βέβαια, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αναλυτική τεχνοτροπική μελέτη της αρχιτεκτονικής και της διακόσμησης του καθολικού έχει οδηγήσει τους

αρχαιολόγους στο συμπέρασμα ότι ο ναός χτίστηκε γύρω στο 1080. Έτσι, δεν θα μπορούσε να αποδοθεί σε χορηγία του Βασιλείου Β', αλλά κάποιου από τους διαδόχους του (Λερίου, 2006).

Ακόμη ένας αυτοκράτορας που θεωρείται πιθανός χορηγός της Μονής Δαφνίου είναι ο Κωνσταντίνος Ζ' ο Πορφυρογέννητος. Η Μονή Δαφνίου είναι θεμιτό να θεωρηθεί ως χορηγία του στην Αθήνα, λαμπρή πόλη του παρελθόντος, αλλά στην εποχή του ασήμαντη. Δηλαδή, ο Κωνσταντίνος Ζ' πιθανά ίδρυσε την Μονή, για να τιμήσει την ευγενέστερη πόλη του αρχαίου πολιτισμού με ένα χριστιανικό έργο αντάξιο της παλιάς δόξας της. Το Δαφνί στην ουσία λειτουργεί ως κιβωτός της αρχαίας τέχνης εκπληρώνοντας τη θέληση του Πορφυρογέννητου να προσφέρει στην Αθήνα ένα χριστιανικό μνημείο ως συνέχεια του ένδοξου παρελθόντος της (Καρακατσάνη, 2001). Ωστόσο, αν η Μονή Δαφνίου ήταν πράγματι ίδρυμα του Πορφυρογέννητου Κωνσταντίνου, η ανέγερση και η διακόσμηση της πιθανότατα θα ολοκληρώθηκαν στα μέσα περίπου του 10ου αιώνα, κάτι που προκαλεί αμηχανία αναφορικά με τη χρονολόγησή της.

Ολοκληρώνοντας, στο Δελτίον της Χριστιανικής Αρχιτεκτονικής Εταιρείας του 2019 με τίτλο «Αναζητώντας τον ιδρυτή της Μονής Δαφνίου», η Μαρία Παναγιωτίδη-Κεσισόγλου αναφέρει πως θα μπορούσε να υποστηριχθεί με μεγάλη πιθανότητα ότι ο Γρηγόριος Καματηρός, που χρημάτισε πραιτίωρας Ελλάδος και Πελοποννήσου και είναι γνωστός από μολυβδόβουλλα του 11ου-12ου αιώνα, ίδρυσε το μοναστήρι του Δαφνίου σε θέση όπου ίσως κατείχε έγγεια περιουσία, καταγόμενος ενδεχομένως από την περιοχή. Ωστόσο, κανένας απόηχος του αξιόλογου αυτού επιτεύγματος δεν φαίνεται να διατηρήθηκε στη συλλογική μνήμη, εφόσον, ούτε και ο ίδιος, ο ιδρυτής, φαίνεται να επιτίθεται γι' αυτό. Με την προσφορά του αυτή προς την Παναγία στόχευε στην ίδρυση ενός προσκυνηματος με ισχυρό πολιτικό περιεχόμενο και στόχο την αναβάθμιση του ελλαδικού χώρου (Παναγιωτίδη – Κεσισόγλου, 2019).

1.4. Ιστορική αναδρομή χρήσεων της Μονής Δαφνίου

1.4.1 Η Μονή κατά τη Φραγκοκρατία – Κιστερκικανοί μοναχοί (1207 - 1458)

Κατά τα τέλη του έτους 1204 μ.Χ. η Αθήνα καταλήφθηκε από τους Φράγκους ιππότες του Βονιφάτιου του Μομφερατικού. Οι κιστερκικανοί μοναχοί αποτελούσαν κλάδο των Βενεδικτίνων, που σχηματίστηκε το 1098 μ.Χ., από τον ηγούμενο Robert στη βουργουνδική πόλη Citeaux, προκειμένου να τηρηθούν αυστηρότερα τα διδάγματα του Αγίου Βενέδικτου. Η συμμετοχή τους στις Σταυροφορίες ήταν ιδιαίτερα ενεργή (Λερίου, 2006).

Με την άφιξή τους την Αττική, λεηλάτησαν με αγριότητα τους θησαυρούς των εκκλησιών της Αθήνας και των περιχώρων. Εντυπωσιακό δείγμα των παραπάνω

αποτελούν οι λίθινες αιχμές βελών που βρέθηκαν καρφωμένες στο κέντρο περίπου του τρούλου, στο μάτι και την παρειά της μορφής του Παντοκράτορα που τον κοσμούσε (Καμπούρογλου, 1920).

Στη συνέχεια, η Αθήνα αλλά και ολόκληρη η Αττική παραχωρήθηκαν ως φέουδο (δουκάτο) στον Βουργουνδό ευπατρίδη Otto de la Roche, που προσαγορεύτηκε ως «Κύριος των Αθηνών». Αυτός με τη σειρά του το 1207 παραχώρησε τη μονή σε τάγμα κιστερκιανών μοναχών προερχόμενο από το βουργουνδικό αβαείο του Bellavaux (Λερίου, 2006, σελ.85). Ο Otto de la Roche φαίνεται πως προέβη στην παραπάνω πράξη, με σκοπό να τους ευχαριστήσει για τον αγώνα που έκαναν στο πλευρό των στρατιωτών του (Katsiki & Panagoroulos 1976). Έτσι, οι ορθόδοξοι μοναχοί αναγκάστηκαν να φύγουν από τη μονή το 1207 και τη θέση τους πήραν οι καθολικοί κιστερκιανοί, οι οποίοι παρέμειναν σε αυτό επί δυόμιση αιώνες. Μόνο όταν η πόλη των Αθηνών καταλήφθηκε από τους Τούρκους του Μωάμεθ Β΄, οι κιστερκιανοί μοναχοί εκδιώχθηκαν και το μοναστήρι παραχωρήθηκε και πάλι στους ορθόδοξους (Τραυλός, 1993).

Από διάφορα έγγραφα και επιστολές προκύπτει πως κατά τη διάρκεια της Φραγκοκρατίας το Δαφνί ήταν γνωστό ως μονή Delphino, Daufferis, Dalphino, Dalphineto ή Dalphinet. Όπως έχει προαναφερθεί, οι ονομασίες αυτές θεωρούνται παραφθορά της ελληνικής γλώσσας (Λαμπάκης, 1889). Επιπλέον, είναι γνωστοί κάποιιοι από τους καθολικούς ηγούμενους της Μονής όπως για παράδειγμα οι: Etienne (1237), Jean (1250), Jean (1271), Pierre (1283), Jacques (1308), Jean Fondremand (14^{ος} αιώνας) και Peter Strosberch (1412).

Σύμφωνα με έγγραφο που συνέταξε ο ηγούμενος Jacques στις 30 Οκτωβρίου 1308 φαίνεται να επιβεβαιώνεται ότι για κάποιο διάστημα το Δαφνί αποτέλεσε τόπο ταφής των δουκών της Αθήνας (Λαμπάκης 1889). Κάποιοι από τους μελετητές θεωρούν ότι το μαυσωλείο των δουκών βρισκόταν σε κρύπτη που εντοπίστηκε κάτω από το δάπεδο του νάρθηκα του καθολικού και έχουν σχέση με τις δύο μαρμάρινες λάρνακες, οι οποίες στον δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα βρέθηκαν τοποθετημένες στον νάρθηκα και σχετίζονται με τους de la Roche (Λερίου, 2006). Ωστόσο, στις μέρες μας, η ταύτιση αυτή θεωρείται αμφισβητήσιμη. Η έλλειψη αρχαιολογικών δεδομένων δεν επιτρέπουν την ασφαλή ταύτιση της κρύπτης ως τόπος ταφής των δουκών της Αθήνας (Καμπούρογλου 1920). Αν πράγματι υπήρχε τέτοιο μαυσωλείο, ίσως δεν έχει εντοπιστεί έως σήμερα.

1.4.2 Η Μονή κατά τη διάρκεια της Τουρκοκρατίας

Οι Τούρκοι κατέλαβαν την Αθήνα τον Ιούνιο του 1458, μετά τη συνθηκολόγηση και παράδοση της Ακρόπολης από τον τελευταίο δούκα των Αθηνών Francesco II Acciajuoli. Στη μακρόχρονη ιστορία της Αθήνας, η κατάληψη από τους Τούρκους αποτελεί περίπτωση μοναδικής «ειρηνικής» κατάκτησης χωρίς σημαντικές καταστροφές (Τραυλός 1993). Ο Μωάμεθ Β΄ στα τέλη του Αυγούστου 1458

επισκέφθηκε την πόλη για να επιθεωρήσει και να θαυμάσει τα περίφημα αρχαία μνημεία, τα οποία του προκάλεσαν τεράστια εντύπωση. Οι σύγχρονοι χρονογράφοι αποδίδουν σε αυτή, την επιείκεια με την οποία αντιμετώπισε τους Αθηναίους, παραχωρώντας τους προνόμια όπως την ελευθερία της λατρείας και τη σχετική αυτοδιοίκηση με αποτέλεσμα η πόλη να αναπτυχθεί και πάλι, μετά την εξαθλίωση που είχε περιπέσει κατά τη Φραγκοκρατία (Λερίου 2006).

Στο πλαίσιο των παραπάνω εξελίξεων, η μονή Δαφνίου αποδόθηκε σε ορθόδοξους μοναχούς, οι οποίοι προέβησαν σε επισκευαστικές εργασίες. Οι συχνές πειρατικές και ληστρικές επιδρομές κατά τη διάρκεια του 16ου και 17ου αιώνα, είχαν αναγκάσει πολλούς μοναχούς να εγκαταλείψουν το μοναστήρι. Μάλιστα, από τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο υπάρχουν καταγεγραμμένες μαρτυρίες ξένων περιηγητών σχετικά με την κατάσταση που επικρατούσε στο Δαφνί.

Πιο συγκεκριμένα, ο Γάλλος γιατρός και αρχαιολόγος Jaques Spon, που επισκέφθηκε το μοναστήρι μαζί με τον Άγγλο Sir George Wheeler στις 15 Φεβρουαρίου 1676, ανέφερε ότι ο χώρος ήταν σχεδόν έρημος και μετά βίας κατάφερε να «ξετρυπώσει» δύο μοναχούς, οι οποίοι πληροφόρησαν τους επισκέπτες ότι λόγω της ανασφάλειας που προκαλούσαν οι επιδρομές, πολλοί μοναχοί είχαν συγκεντρωθεί σε άλλο μοναστήρι σε κοντινό βουνό (Spon και Wheeler, 1679). Αντίστοιχη ήταν και η μαρτυρία του Άγγλου περιηγητή Richard Chandler, που πέρασε από το Δαφνί το 1765, δηλαδή 89 χρόνια μετά τους Spon και Wheeler (Chandler 1776).

Παρά τις παραπάνω μαρτυρίες είναι δύσκολο να αποδεχτούμε την υπόθεση ότι η μονή Δαφνίου ήταν ερειπωμένη σε τόσο μεγάλο βαθμό κατά τον 17ο και τον 18ο αιώνα (Λερίου, 2006). Από επιγραφές, έγγραφα και άλλες γραπτές πηγές είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε κάποια από τα ονόματα ηγουμένων όπως του Νικηφόρου, του Ανανία (1764), του Παρθένιου (1788 και 1790) και του Αγάπιου (1801 και 1803). Γνωρίζουμε επίσης και διάφορους αρχιερείς που επισκέφθηκαν την Μονή Δαφνίου ή έμειναν σε αυτή για κάποιο χρονικό διάστημα όπως ο αρχιεπίσκοπος Αιγίνης, ο επίσκοπος Ωρέων και ο μητροπολίτης Αθηνών Βαρθολομαίος (Λαμπάκης 1889).

Η εγκατάλειψη που περιγράφεται στις μαρτυρίες των Spon, Wheeler και Chandler, αποδίδεται σύμφωνα με τον Καμπούρογλου (1920) στην τακτική των μοναχών να αποφεύγουν την επαφή με τους επισκέπτες. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται πως η Μονή ερήμωσε σημαντικά στις αρχές του 19ου αιώνα, καθώς οι πηγές σχετικά με αυτήν σπανίζουν (Λερίου, 2006).

1.4.3 Η Μονή κατά τον 19^ο αιώνα – Λόρδος Έλγιν

Κατά τα πρώτα χρόνια του 19ου αιώνα το μοναστήρι δέχτηκε έναν περιβόητο επισκέπτη, τον λόρδο Thomas Bruce Elgin (1766-1841) (Φιλαδελφεύς 1902, τόμος Β'). Ο Άγγλος περιηγητής και αρχαιολόγος Edward Dodwell, που πέρασε από το Δαφνί το φθινόπωρο του 1805, αναφέρει σχετικά με τους ιωνικούς κίονες, ότι «Ο

λόρδος Έλγιν, με αξιέπαινο ενδιαφέρον για την αποφυγή μελλοντικών καταστροφών και παρακινημένος από το γνωστό του πάθος για την απόκτηση ελληνικών αρχαιοτήτων, τους έστειλε στην Αγγλία.» (Μετάφραση από Dodwell 1918).

Την απόσπαση των ιωνικών κίωνων από τον λόρδο Έλγιν επιβεβαιώνουν τόσο ο Γάλλος Francois Rouquerville, όσο και ο Γερμανός Ludwig Ross, που επισκέφτηκαν τον χώρο μετά, κατά τις δεκαετίες του 1810 και 1830, αντιστοίχως. Πράγματι, ο λόρδος Έλγιν απέσπασε τρεις λεπτούς ιωνικούς κίονες που στήριζαν τα τοξωτά ανοίγματα της πρόσοψης του εξωνάρθηκα του καθολικού της Μονής (Στίκας 1964). Μόνο ένας από τους κίονες του εξωνάρθηκα διέφυγε του Έλγιν και παραμένει μέχρι σήμερα στην αρχική του θέση, στη νοτιοδυτική γωνία του κτίσματος. Οι υπόλοιποι βρίσκονται στο Βρετανικό Μουσείο του Λονδίνου. Η αρχική τους θέση ήταν στο ιερό του Δαφναίου Απόλλωνος, τον αρχαίο πρόγονο της Μονής του Δαφνίου.



Εικόνα 7. Δίβλολο άνοιγμα της νότιας πλευράς του εξωνάρθηκα με τον ιωνικό κίονα από τον ναό του Δαφναίου Απόλλωνα.



Εικόνα 8. Κιονόκρανα και σπόνδυλοι που μετέφερε ο λόρδος Έλγιν στη Μεγάλη Βρετανία (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1963)

1.4.4 Η Μονή κατά τη διάρκεια της επανάστασης του 1821

Η Μονή Δαφνίου συνδέεται με την επανάσταση του 1821 μέσω παραδόσεων, σύμφωνα με τις οποίες, το μοναστήρι κυριεύτηκε από τους Τούρκους παρά το ισχυρότατο οχυρωματικό του περίβολο. Ο Λαμπάκης (1889) υποστηρίζει ότι η άλωση πραγματοποιήθηκε μέσω αβαθούς πηγαδιού που βρισκόταν έξω από τον περίβολο και συνδεόταν υπογείως με άλλα τρία πηγάδια εντός της Μονής. Το μυστικό αυτό πέρασμα αποκαλύφθηκε στους Τούρκους από τον μοναχό Παΐσιο. Αμέσως μόλις εισήλθαν οι Τούρκοι στην Μονή την παρέδωσαν στις φλόγες, ενώ το ίδιο φαίνεται πως έκαναν και στον προδότη Παΐσιο.

Αν και η παραπάνω ιστορία ίσως ανήκει στη σφαίρα της παράδοσης, η άλωση της Μονής από τους Τούρκους θεωρείται αδιαμφισβήτητο γεγονός, λόγω του πυκνότητας στρώματος κάπνας που κάλυπτε τα ψηφιδωτά του ναού πριν από τον καθαρισμό τους κατά τη δεκαετία του 1890 (Λερίου, 2006). Η κάπνα προερχόταν από φωτιά που οι Τούρκοι άναψαν και διατηρούσαν επί τρεις ολόκληρες ημέρες στο εσωτερικό του ναού πιστεύοντας ότι έτσι θα λιώσει ο χρυσός των ψηφίδων (Καμπούρογλου, 1920). Ο χρονικός προσδιορισμός της άλωσης της Μονής δεν έχει εξακριβωθεί. Εντούτοις, η άλωση της Μονής Δαφνίου είναι βέβαιο ότι δεν σχετίζεται με την εισβολή του Κιουταχή στην Αθήνα το 1826, αλλά ούτε και με τη μικρότερη μάχη που έλαβε χώρα στο Δαφνί στις 21 Μαρτίου του 1827.

Για τον Καμπούρογλου (1920), είναι πιθανότερο να σχετίζεται με την εισβολή του Ομέρ-πασά Βρυώνη και του Ομέρ-μπέη της Καρύστου, η οποία κατέληξε καταστροφική για τους εισβολείς, αφού αναγκάστηκαν να αποσύρουν τα στρατεύματά τους έχοντας υποστεί πολλές απώλειες, αλλά και έχοντας προκαλέσει σημαντικότερες φθορές.

Ακόμη μία πληροφορία που είναι γνωστή σχετικά με τη Μονή κατά τη διάρκεια της επανάστασης είναι ότι ηγούμενός της υπήρξε ο Αγαθάγγελος Λαμπίρης, ο οποίος ανέλαβε το αξίωμα κάποια στιγμή το 1815 και το διατήρησε επί περίπου μία

δεκαπενταετία, κατοικώντας όμως αρκετά μακριά από αυτή, στο κέντρο της Αθήνας. Στο μοναστήρι διέμενε πιθανότατα κάποιος ηλικιωμένος φύλακας, προκειμένου να φροντίζει στοιχειωδώς την εκκλησία. Μετά τα παραπάνω γεγονότα, το έρημο πλέον μοναστήρι πιθανά να λειτούργησε ως ορμητήριο κάποιων οπλαρχηγών, μεταξύ των οποίων ο Ιωάννης Γκούρας, ένας από τους βασικούς υπερασπιστές της Ακρόπολης των Αθηνών κατά τη δεκάμηνη πολιορκία της από τον Κιουταχί (Βέης, 1927). Αυτό επιβεβαιώνεται από επιστολή του, που εστάλη από το Δαφνί (Καμπούρογλου 1920).

1.4.5 Η Μονή Δαφνίου κατά τα μετεπαναστατικά χρόνια

Μετά από την επανάσταση η Μονή είχε ερημωθεί πλήρως. Κατά την περίοδο 1838-1839, εγκαταστάθηκαν στον χώρο του Δαφνίου Βαβαροί στρατιώτες, με σκοπό να επιτηρούν το στενό πέρασμα από και προς την Αθήνα (Λερίου, 2006). Από μαρτυρίες περιηγητών που επισκέφθηκαν το μοναστήρι κατά τα μετεπαναστατικά έτη, γίνεται φανερό η εγκατάλειψη που επικρατούσε στον χώρο της Μονής.

Ο Γάλλος ερευνητής της μεσαιωνικής ιστορίας Jean Alexandre Buchon επισκέφτηκε το μοναστήρι το 1840 και από τα γραπτά του προκύπτει, ότι το βρήκε τελείως έρημο (Παπαλουκάς, 2014). Την επόμενη χρονιά, στις αρχές της άνοιξης του 1841, έφτασε στο μοναστήρι ο περίφημος Δανός συγγραφέας Hans Christian Andersen, ο οποίος πραγματοποίησε μία αρκετά λεπτομερή και ενδιαφέρουσα περιγραφή του μοναστηριού, μέσα στην οποία ανέφερε πως *«όσο καταστραμμένο ήταν το κτίριο, τόσο πυκνόφυτη βλάστηση το σκέπαζε»* (Andersen, 1999).

Σε άλλο σημείο της αναφοράς του, γίνεται φανερό ότι τα κελιά των μοναχών κατά την περίοδο αυτή είχαν μετατραπεί σε στάβλους από τους Βαυαρούς στρατιώτες. Δεκατρία χρόνια μετά τον Andersen, κατά τη διάρκεια της αγγλογαλλικής κατοχής του Πειραιά, εγκαταστάθηκε στη Μονή γαλλικό τάγμα, για να προστατευτεί από τη επιδημία χολέρας που είχε ξεσπάσει στην πόλη. Ο διοικητής του τάγματος, στρατηγός de Vasoignes μαζί με τους στρατιώτες του φρόντισαν για την καθαριότητα του ερειπωμένου μοναστηριού και έκαναν κάποιες αρχαιολογικές ανασκαφές στον χώρο γύρω από αυτό, καθώς και στην Ιερά Οδό (Lenormant, 1864).

Ύστερα από την αγγλογαλλική κατοχή κατέφυγε στη μονή ομάδα γυναικών με μοναχικούς τίτλους, μεταξύ των οποίων ήταν και η μοναχή Μάρθα που, όπως προαναφέρθηκε, διηγήθηκε στον Γεώργιο Λαμπάκη την ιστορία σχετικά με την βασίλισσα Δάφνη. Παρ' όλα αυτά, το 1858, ο τότε δήμαρχος διέταξε την απομάκρυνση των καλογριών από το μοναστήρι (Καμπούρογλου 1920, σελ. 78).

Με την πάροδο του χρόνου και καθώς η ασφάλεια των περιχώρων της πόλης των Αθηνών βελτιωνόταν, οι Αθηναίοι άρχισαν να κάνουν μικρές εκδρομές στις εξοχές

της Αττικής (Λερίου, 2006). Ο περίπατος στην Ιερά Οδό μέχρι το Δαφνί και τη θάλασσα του Σκαραμαγκά ήταν από τις πιο δημοφιλείς.

Ένας από αυτούς τους εκδρομείς εκείνης της περιόδου ήταν ο Εμμανουήλ Ροΐδης, ο οποίος αποκατέστησε με τη δημιουργική φαντασία του το βυζαντινό μεγαλείο του μοναστηριού και το ενσωμάτωσε στην Πάπισσα Ιωάννα (1866), ίσως το πιο πολυσυζητημένο βιβλίο της νεότερης ελληνικής λογοτεχνίας. Στο Δαφνί λοιπόν, όπως αναφέρεται, ξεκουράστηκε η θρυλική ηρωίδα Ιωάννα, μεταμφιεσμένη σε αδελφό Ιωάννη, με τον σύντροφό της πατέρα Φρουμέντιο, αφού θαύμασαν τα αρχαία μνημεία και τις εκκλησίες της πόλης (Ροΐδης, 1866). Κατά την ίδια χρονική περίοδο, την ημέρα της γιορτής της εκκλησίας, που ήταν αφιερωμένη στην Κοίμηση της Θεοτόκου διοργανωνόταν στον χώρο της Μονής λαμπρό πανηγύρι, το οποίο έχει παραλληλιστεί με τις Ελευσινιακές γιορτές της αρχαιότητας (Καμπούρογλου 1920).



Εικόνα 9. Μονή Δαφνίου 1842 (Philibert-Joseph Girault de Prangey)

Από τα μέσα του 1883 μέχρι τις αρχές του έτους 1885 το μοναστήρι μετατράπηκε σε ψυχιατρείο. Οι πρώτοι ασθενείς φαίνεται πως εισήλθαν στο ίδρυμα στις 2 Μαΐου 1883. Τα κελιά των μοναχών επισκευάστηκαν προκειμένου να φιλοξενήσουν στους ασθενείς και στην αυλή οικοδομήθηκαν διάφορα βοηθητικά κτίσματα που επιβάρυναν σημαντικά το μνημείο (Λαμπάκης 1889). Η υποβάθμιση της Μονής έφτασε στο κατακόρυφο κατά το έτος 1887, όταν χρησιμοποιήθηκε ως ποιμνιοστάσιο. Ο Άγγλος ιερέας και λόγιος Joseph Hirst σε άρθρο του στο περιοδικό "The Reliquary", τον Ιανουάριο του 1887 άσκησε δριμεία κριτική στην ελληνική κυβέρνηση για την κατάσταση του μοναστηριού (Λερίου, 2008). Η γενικότερη κατακραυγή από λόγια άτομα της εποχής σε συνδυασμό με τις τεράστιες φθορές από τους ισχυρούς σεισμούς των ετών 1886, 1889 και 1894, ώθησαν τις αρμόδιες

αρχές στην ανάληψη δράσης, με σκοπό τη διάσωση, τη συντήρηση και την ανάδειξη του Δαφνίου (Λερίου 2006).

1.5 Επεμβάσεις – Ανασκαφές – Συντήρηση και Ανάδειξη της Μονής

1.5.1 Εργασίες κατά τον 13^ο αιώνα - Φραγκοκρατία (1207-1458)



Εικόνα 10. Ορθοφωτογραφία της δυτικής όψης της Μονής (Delinikolas et al., 2003).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κατά τη διάρκεια της Φραγκοκρατίας στην Αθήνας, εγκαταστάθηκαν στη Μονή Δαφνίου κιστερκιανοί μοναχοί. Κατά το διάστημα της φραγκικής κατοχής δεν παρατηρείται μεγάλη οικοδομική δραστηριότητα, ούτε και προσθήκες νέων κτιρίων εντός της Μονής (Στίκας, 1964). Αν και οι κιστερκιανοί δεν συνήθιζαν να χρησιμοποιούν μοναστήρια από άλλα μοναχικά τάγματα, το δόγμα των Bellavaux προέβη σε ελάχιστες αλλαγές διατηρώντας όμως το καθολικό όπως ακριβώς το άφησαν οι προκάτοχοί τους (Λερίου, 2006).

Αναλυτικότερα, η πρώτη επέμβαση στο μνημείο έγινε στα τέλη του 13^{ου} – αρχές 14^{ου} αιώνα, όταν οι κιστερκιανοί μοναχοί εκτέλεσαν επισκευές στον εξωνάρθηκα του ναού, ο οποίος είχε υποστεί μερική κατάρρευση εξαιτίας σεισμού, αντικαθιστώντας τα αρχικά βυζαντινά τόξα με οξυκόρυφα γοθικά. Επιπλέον, προχώρησαν σε στοιχειώδεις υποστηρίξεις θόλων μέσω ανέγερσης τοίχων, ενώ

παράλληλα μετέτρεψαν τον άνω όροφο του εξωνάρθηκα σε πολεμικό αμυντήριο, μέσω της προσθήκης επάλξεων στους εξωτερικούς του τοίχους (Στίκας 1964).

Στους Φράγκους ίσως θα έπρεπε να αποδοθεί και η κατασκευή καταχύστρας ή ζεματίστρας, η οποία σωζόταν τουλάχιστον μέχρι το 1877 στο χώρο της Μονής, όπως και η κατασκευή τοίχου στο άνοιγμα μεταξύ των δύο δυτικών πεσσών του κυρίως ναού (Λαμπάκης, 1899). Τέλος, στους κιστερκιανούς μοναχούς αποδίδεται και η μετατροπή της κρύπτης που βρίσκεται κάτω από τον νάρθηκα του καθολικού σε μαουσολείο για τους δούκες των Αθηνών, κάτι που όμως αμφισβητείται από ερευνητές λόγω έλλειψης τεκμηρίων.

1.5.2 Εργασίες κατά τον 16^ο αιώνα

Ύστερα από την κατάληψη της Αθήνας από τον Μωάμεθ Β΄ το 1456, η Μονή περιήλθε και πάλι στους ορθόδοξους μοναχούς, κάτι που επιβεβαιώνεται από επιγραφή που βρέθηκε χαραγμένη στον νότιο τοίχο του καθολικού και αναγράφει την ημερομηνία ΖΜ΄, δηλαδή 1532 (Λαμπάκης, 1889). Κατά την περίοδο αυτή, οι ορθόδοξοι μοναχοί επισκεύασαν τα κτίσματα στο δώμα του νάρθηκα που είχαν επίσης υποστεί μερική κατάρρευση, όπως για παράδειγμα τα κειμηλιαρχεία, η βιβλιοθήκη και η κατοικία του ηγούμενου ενώ, στη συνέχεια, κατασκεύασαν εσωτερική ελικοειδή σκάλα στην νοτιοδυτική γωνία του εξωνάρθηκα για την ανάβαση και κατάβαση στα παραπάνω διαμερίσματα (Στίκας, 1964).

Ακόμη μία προσθήκη που από κάποιους θεωρείται ότι πραγματοποιήθηκε κατά τον 16^ο αιώνα είναι η κατασκευή κωδωνοστασίου στο βόρειο σκέλος του σταυρού της στέγης (Στίκας, 1964), αν και κάποιοι ερευνητές το αποδίδουν στους φράγκους μοναχούς (Λαμπάκης, 1899). Τέλος, οι μοναχοί δημιούργησαν τοξοστοιχίες που περιέβαλαν την νότια αυλή της Μονής, ενώ κατασκεύασαν και κυλινδρικό θόλο κάτω από το μέσο σταυροθόλιο του νάρθηκα, προκειμένου να ενισχυθεί το δώμα και η οροφή του νάρθηκα (Στίκας, 1964).

1.5.3 Εργασίες κατά 19^ο αιώνα.

Η έντονη παραμέληση και οι σημαντικότερες ζημιές που επέφεραν στη Μονή οι διαδοχικές χρήσεις της ως καταφύγιο και πυριτιδαποθήκη κατά τα χρόνια της Επανάστασης, στρατόπεδο από το γαλλικό τάγμα και μετέπειτα ως ψυχιατρείο, έκαναν επιτακτική την ανάγκη για συντήρηση του ναού (Λερίου, 2006).

Καθοριστικό ρόλο έπαιξε ο Γεώργιος Λαμπάκης, ο οποίος έχοντας σπουδάσει Χριστιανική Αρχαιολογία στη Γερμανία, διαμαρτυρήθηκε έντονα μέσω δημοσιευμάτων σε εφημερίδες και ζήτησε επανειλημμένα από το αρμόδιο

υπουργείο την ανάληψη έργου, με σκοπό την συντήρηση και στερέωση της Μονής. Εξέλιξη καθοριστικής σημασίας για τη διάσωση του μνημείου ήταν η ίδρυση της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας το 1885 στην Αθήνα. Αρμοδιότητά της ήταν να εξετάσει την κατάσταση στην οποία ήταν η Μονή και να αποφασίσει σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για τη στερέωση της (Στίκας, 1964).

Αν και η αρμόδια τριμελής επιτροπή υπέβαλε υπόμνημα, στο οποίο υποδείκνυε τις εργασίες που πρέπει να εκτελεστούν, τα πορίσματά της δεν εφαρμόστηκαν άμεσα (Λαμπάκης, 1889). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, οι επερχόμενος σεισμός του Αυγούστου του 1886 να επιφέρει σημαντικότερες ζημιές στο ήδη ταλαιπωρημένο κτίριο και στη ψηφιδωτή του διακόσμηση. Ο τρούλος εμφάνισε βαθιές ρωγμές, ενώ ένα μεγάλο μέρος του ψηφιδωτού του Παντοκράτορα κατέπεσε. Ανάλογη ήταν και η μοίρα πολλών ψηφιδωτών σε διάφορα σημεία του ναού, οι ψηφίδες των οποίων διασκορπίστηκαν στο εσωτερικό του, με συνέπεια να χαθούν (Λαμπάκης, 1889).

Οι τεράστιες ζημιές που κλόνισαν το μνημείο ώθησαν τους υπεύθυνους στην ανάληψη ουσιαστικής δράσης. Τον Νοέμβριο του 1888 η Γενική Εφορεία Αρχαιοτήτων προέβη για πρώτη φορά σε επισκευές, οι οποίες όμως, σύμφωνα με τον Λαμπάκη, ήταν επιπόλαιες και επιζήμιες (Λαμπάκης, 1889). Η δραστικότερη των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν τη συγκεκριμένη περίοδο αφορούσε την αφαίρεση και αντικατάσταση των βυζαντινών κεράμων της στέγης και του τρούλου και την αντικατάστασή τους με κοινά κεραμίδια κακής ποιότητας, ενώ στη συνέχεια φράχθηκαν εξ' ολοκλήρου ή εν μέρει τα παράθυρα του τυμπάνου του τρούλου, ενώ πολλά μέρη του ναού καλύφθηκε με επιχρίσματα (Στίκας, 1964).

Τον Ιανουάριο του 1889, άλλοι σεισμοί επέφεραν περαιτέρω καταστροφές στο κτίριο. Ο τρούλος διερράγη σε πολλά σημεία, ενώ παράλληλά μεγάλο τμήμα του ήδη ταλαιπωρημένου ψηφιδωτού του Παντοκράτορα κατέπεσε. Εξωτερικά, οι στέγες των κελιών των μοναχών και το κωδωνοστάσιο κατέστησαν ετοιμόρροπα. Λίγους μήνες αργότερα, το 1890, έπειτα από πρόταση του Υπουργείου Παιδείας συστάθηκε επιτροπή ειδικών, η οποία πρότεινε την κατεδάφιση και την εκ νέου κατασκευή του τυμπάνου του τρούλου και τη στερέωση των σφαιρικών τριγώνων, των ημιχωνίων, των θόλων και των πεσσών που το στήριζαν. Ακόμη, συνέστησαν τη διόρθωση των ψηφιδωτών του τρούλου, χωρίς όμως να συμπληρωθούν τα μέρη που έλειπαν (Λερίου, 2006).

Έτσι, κλήθηκε από την Ιταλία ειδικός ψηφοθέτης από το βενετσιάνικο εργαστήριο Facchina, με το όνομα Novelli, προκειμένου να αφαιρέσει τμηματικά πάνω σε υφάσματα τον Παντοκράτορα και τα ψηφιδωτά των δεκαέξι προφητών από το τύμπανο του τρούλου. Στη συνέχεια, η Υπηρεσία Δημόσιων Έργων προχώρησε στην κατεδάφιση του τρούλου, του κωδωνοστασίου και μίας ομάδας κελιών. Για την ανακατασκευή του τρούλου χρησιμοποιήθηκαν τα αρχικά υλικά, που ήταν εξαιρετικής ποιότητας, ενώ στη βάση του τυμπάνου τοποθετήθηκε σιδερένια στεφάνη διατομής διπλού ταυ, με σκοπό την ομοιόμορφη μεταβίβαση του βάρους σε ολόκληρο το κτίριο (Καμπούρογλου, 1920). Η ανακατασκευή του τρούλου περατώθηκε το 1891, αλλά χαρακτηρίστηκε ως κακοτεχνία (Στίκας, 1964). Ο Λαμπάκης διακρίνοντας τις σοβαρές αποκλίσεις από την αρχική μορφή του

μνημείου χαρακτήρισε την ανακατασκευή του τρούλου καταστροφική (Λαμπάκης, 1899).

Για την επανατοποθέτηση των ψηφιδωτών τον τρούλο το Υπουργείο Παιδείας κάλεσε τον Ιταλό μωσαϊστή Fransisco Nono, στον οποίο στις 17 Αυγούστου 1892 ανατέθηκε τόσο η τοποθέτηση του Παντοκράτορα και των προφητών, όσο και ο καθαρισμός όλων των ψηφιδωτών παραστάσεων του ναού (Στίκας, 1964). Ο Βενετσιάνος ψηφοθέτης εργάστηκε στη Μονή χωρίς επιστημονική εποπτεία επί πέντε έτη, μέχρι το 1897. Κατά τη διάρκεια της εργασίας του έκανε σημαντικά σφάλματα, με αποτέλεσμα η δουλειά του να μην κριθεί ικανοποιητική. Πιο συγκεκριμένα, ο Nono τοποθέτησε με λάθος σειρά τους προφήτες του τυμπάνου του τρούλου, προέβη σε διόρθωση των ρήσεων των προφητών και των ονομάτων των αγίων αλλάζοντας διάφορα από τα γράμματα, αλλά και προχώρησε σε ευρεία συμπλήρωση διάφορων παραστάσεων, παρά την ρητή απόφαση της επιτροπής σχετικά με το αντίθετο (Λαμπάκης, 1899).

Εκτός από τις αυθαιρεσίες του Nono, στο μνημείο έγιναν και άλλες λιγότερο ή περισσότερο αυθαίρετες επεμβάσεις. Κατά το 1893, ο μηχανικός Καλλίας τοποθέτησε σιδεροδεσιές στον νάρθηκα και σε άλλα μέρη του κυρίως ναού που έχρηζαν άμεσης στήριξης. Μετά από τους ισχυρούς σεισμούς του 1894 δύο ογκώδεις αντιαισθητικές αντηρίδες, που έχουν επιβιώσει μέχρι τις μέρες μας, προσκολλήθηκαν στην εξωτερική πλευρά της βόρειας κεραίας του ναού (Λερίου, 2006). Αυτές, προσέφεραν και συνεχίζουν να προσφέρουν πολύτιμη στήριξη στον ναό.

Στον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους, συγκροτήθηκε νέα επιτροπή για την αναστήλωση της Μονής, η οποία αποφάσισε αρχικά την κατεδάφιση και μετέπειτα αναστήλωση του δυτικού τοίχου του νάρθηκα καθώς και την αφαίρεση μεταγενέστερων προσθηκών (Στίκας, 1964). Η εργασία χρηματοδοτήθηκαν από την Αρχαιολογική Εταιρεία και ανατέθηκαν στον αρχιτέκτονα της Γαλλικής Σχολής Αθηνών Eugene Troump, ο οποίος κατά τη διάρκεια της δραστηριότητάς του διατήρησε το βόρειο σταυροθόλιο του εξωνάρθηκα, κατασκεύασε νέο τοίχο στη βόρεια πλευρά του ναού, με σκοπό την ενίσχυση των θεμελίων ενώ παράλληλα δημιούργησε τάφρο για την απομάκρυνση της υγρασίας από τον ναό, μεταφέροντας τα νερά σε κοιλάδα νότια του περιβόλου (Λαμπάκης, 1899).

1.5.4 Εργασίες κατά τον 20^ο αιώνα

Κατά τη διάρκεια των πρώτων δεκαετιών του 20^{ου} αιώνα καμία εργασία δεν πραγματοποιήθηκε στη μονή Δαφνίου, με εξαίρεση κάποιους καθαρισμούς και στερεώσεις περιορισμένης έκτασης (Αδαμαντίου, 1907). Τα έτη 1936-1939 ο αρχαιολόγος Ιωάννης Τραυλός πραγματοποίησε συστηματική ανασκαφική έρευνα στον χώρο του μοναστηριού, προκειμένου να εντοπίσει κατάλοιπα του ιερού του Δαφναίου Απόλλωνα. Πρόκειται για την πρώτη ουσιαστική αρχαιολογική έρευνα

στο Δαφνί, αφού οι προηγούμενες ανασκαφικές δραστηριότητες από τον Γάλλο de Vasoignes το 1854 και τον Δημήτριο Καμπούρογλου είχαν ερασιτεχνικό χαρακτήρα (Λερίου, 2006).



Εικόνα 11. Βορειοδυτική πλευρά πριν από την αποκατάσταση (Robert Weir Schultz & Sidney Barnsley 1889)



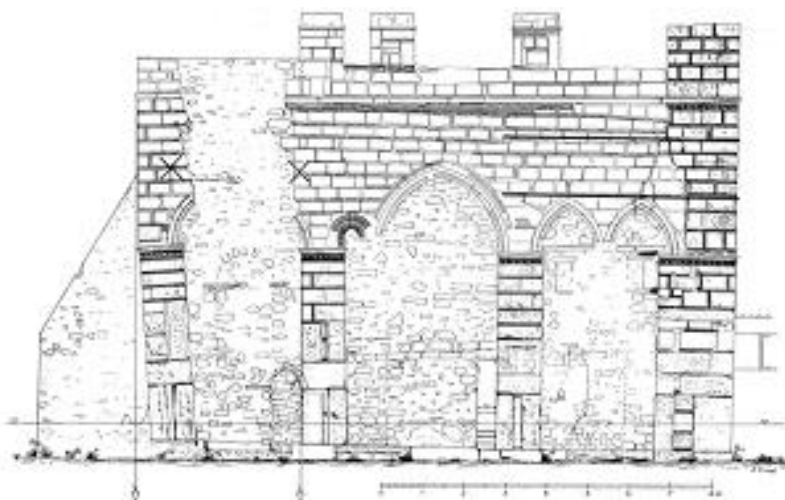
Εικόνα 12. Η βορειοδυτική όψη μετά από την αποκατάσταση (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963)

Κατά το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1950 και πιο συγκεκριμένα το 1955, έγιναν εκτεταμένες εργασίες συντήρησης στον ναό από τη Διεύθυνση Αναστήλωσεων του Υπουργείου Πολιτισμού, με επικεφαλής τον καθηγητή Αναστάσιο Ορλάνδο και χρηματοδότηση από την Αρχαιολογική Εταιρεία (Bouras, 1998). Μερικές από τις σημαντικότερες εργασίες που υλοποιήθηκαν κατά την περίοδο αυτή είναι ο καθαρισμός του περιβόλου της Μονής, η τοποθέτηση σιδερένιας στεφάνης (λάμας) γύρω από τον τρούλο, η στήριξη του τείχους του περιβόλου και η αναστήλωση του νοτιοανατολικού τοίχου, αποκαθιστώντας ταυτόχρονα τα αετώματα και τα παράθυρά τους. Στο εξωτερικό της Μονής

αναστηλώθηκε το κτίσμα που βρισκόταν στην νοτιοανατολική πλευρά και μετατράπηκε σε εκδοτήριο εισιτηρίων, η αυλή στρώθηκε με μαρμάρινες πλάκες, ενώ αντικαταστάθηκαν και οι φθαρμένες ξύλινες πόρτες του ναού (Στίκας, 1964).



Εικόνα 13. Η δυτική όψη του εξωνάρθηκα πριν από την αναστήλωσή του από τον Στίκα Ε. και τον Μπούρα Χ. στην δεκαετία του 1950.



Εικόνα 14. Σχέδιο της δυτικής όψης του εξωνάρθηκα πριν από την αναστήλωσή του από τον Στίκα και τον Μπούρα. (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963).

Το 1959, ο αρχαιολόγος Ευστράτιος Στίκας σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα Χαράλαμπο Μπούρα, εργάστηκαν στη στερέωση και στην αποκατάσταση του εξωνάρθηκα του καθολικού, ενώ το 1968 καθαρίστηκε η δυτική πύλη της Μονής (Λερίου, 2006). Αρχικά, έγινε προσεκτική καταμέτρηση και φωτογράφιση της υπάρχουσας κατασκευής, ενώ στη συνέχεια ακολούθησε η αντιστήριξη και η υποθεμελίωση του δυτικού τοίχου, μέσω ισχυρού σκυροκονιάματος. Κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων εργασιών αποκαλύφθηκε και ο ιωνικός κίονας που βρίσκεται στη νότια πλευρά του. Η κατεδάφιση των μεταγενέστερων τοίχων, που κάλυπταν τα ανοίγματα του εξωνάρθηκα έφερε στο φως πολλά μαρμάρια

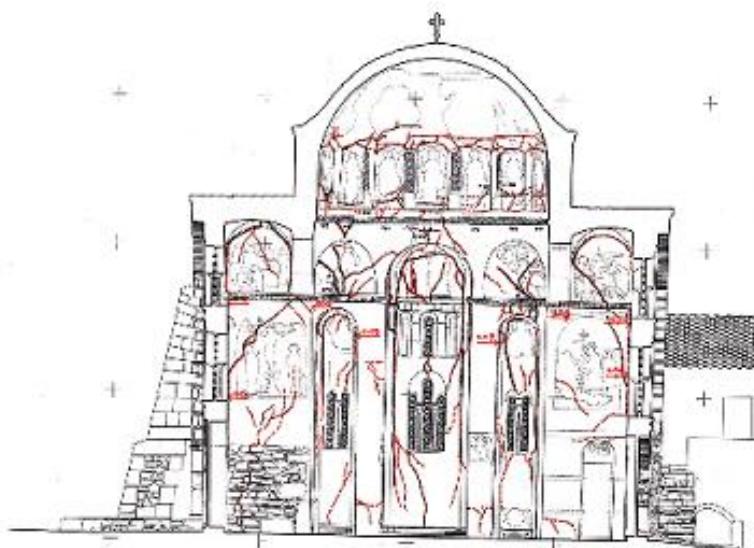
αρχιτεκτονικά μέλη βυζαντινής κυρίως εποχής, ενώ γραπτά κουφικά κοσμήματα που αποκαλύφθηκαν στις παραστάδες του μεσαίου ανοίγματος, υποβοήθησαν στην χρονολόγηση του μνημείου (Στίκας, 1964).

Το 1990 η μονή Δαφνίου εγγράφηκε στον Παγκόσμιο Κατάλογο Πολιτισμικής Κληρονομιάς του UNESCO (Abate, 2002). Με τον τρόπο αυτό, η προστασία του μνημείου εξασφαλίστηκε όχι μόνο σε εθνικό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με τους κανονισμούς της UNESCO, οι χώρες στις οποίες βρίσκονται τα μνημεία του παραπάνω καταλόγου έχουν δεσμευτεί να τα συντηρούν και να τα αναδεικνύουν. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την UNESCO αναλύονται στο κεφάλαιο 4. Για την προστασία και ανάδειξη του μνημείου, η Διεύθυνση Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων, η Διεύθυνση Συντήρησης Αρχαιοτήτων, η Διεύθυνση Αναστήλωσης Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων και η 1^η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων εκπόνησαν ένα μακρόπνοο σχέδιο δράσης. Παράλληλα, προωθήθηκε και η αξιοποίησή του για διδακτικούς σκοπούς μέσω της διοργάνωσης εκπαιδευτικών προγραμμάτων (Λερίου, 2006).

1.5.5 Εργασίες κατά τον 21^ο αιώνα

Ο ισχυρός σεισμός του 1999 προκάλεσε σοβαρές ζημιές στο μνημείο και ανάγκασε την πολιτεία και τους επιστήμονες να εντατικοποιήσουν την δράση τους, προκειμένου να επιτύχουν την αποτελεσματική στήριξη και προστασία του μνημείου. Ο χώρος έκλεισε για το κοινό και η 1^η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων ανέλαβε την υποστήριξη του καθολικού μέσω μεταλλικών στηριγμάτων σύγχρονης σχεδίασης και τεχνολογίας σχεδόν σε όλο το ύψος του κτιρίου, εσωτερικά και εξωτερικά. Ταυτόχρονα, διενεργήθηκαν μελέτες αναφορικά με την μελλοντική οριστική απομάκρυνση των μεταλλικών υποστυλώσεων, ενώ πραγματοποιήθηκε και συστηματική συντήρηση του ψηφιδωτού διακόσμου.

Τέλος, προγραμματίστηκε μελέτη ανασκαφικής έρευνας σε διάφορα σημεία της Μονής, ενώ ο περιβάλλον χώρος διαμορφώθηκε κατάλληλα δημιουργώντας μικρό μουσείο με εποπτικό υλικό (Λερίου, 2006). Κατά τη διάρκεια των παραπάνω εργασιών τοποθετήθηκαν και οι νέοι ιωνικοί κίονες στη δυτική όψη του εξωνάρθηκα. Το έργο ολοκληρώθηκε πλήρως το 2016. Πιο πρόσφατα, τη 19^η Ιουλίου 2019, η μονή κλονίστηκε από ακόμη έναν σεισμό, με αποτέλεσμα να σημειωθούν καταρρεύσεις στον περίβολο της. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την 1^η Εφορεία Αρχαιοτήτων Δυτικής Αττικής, *«στο βόρειο τείχος του περιβόλου, το οποίο διατηρεί σε μεγάλη έκταση το αρχικό ύψος και τη μορφή του αρχικού περιβόλου σημειώθηκαν καταρρεύσεις εκατέρωθεν του μεσαίου πύργου, στην εσωτερική και εξωτερική παρειά του τείχους, κυρίως σε περιοχές που είχαν ανακτηθεί την περίοδο 1910- 1920 από τον Ορλάνδο.*



Εικόνα 65. Αναπαράσταση των ζημιών από τον σεισμό του 1999. Οι ρωγμές εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα (Miltiadou - Fezans 2008).



Εικόνα 16. Η μονή κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης μετά από τον σεισμό του 1999. (Miltiadou - Fezans 2008)

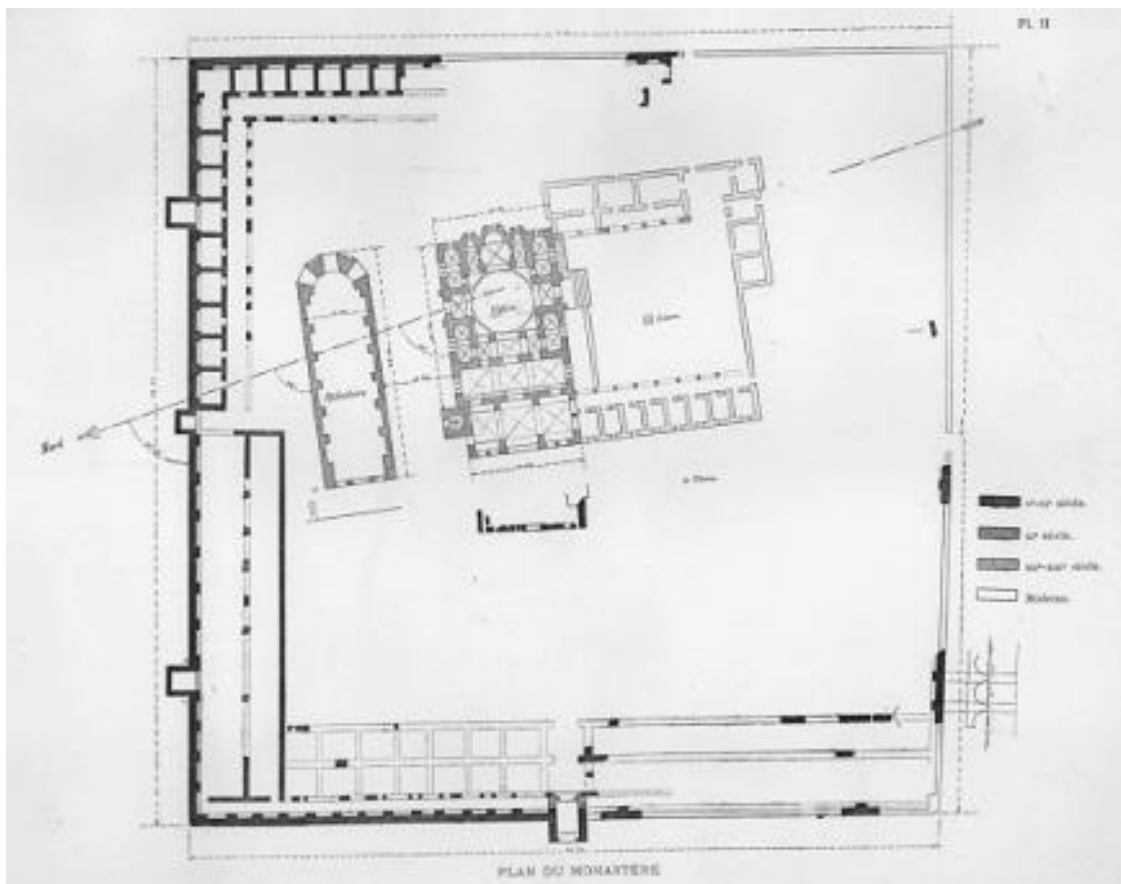
Για την αποκατάσταση του δυτικότερου τμήματος του βόρειου τείχους, το έργο εντάχθηκε στις 6/6/2019, προς υλοποίηση στα συγχρηματοδοτούμενα προγράμματα ΕΣΠΑ 2014 – 2020. Στις υπόλοιπες πλευρές του περιβόλου εντοπίστηκαν τοπικά, μικρής έκτασης, τριχοειδής κυρίως ρηγματώσεις στο κονίαμα, κάτι που παρατηρήθηκε και στα υπόλοιπα κτίσματα του μοναστηριακού συγκροτήματος καθώς και στο καθολικό. Τέλος, ελάχιστες ψηφίδες αποκολλήθηκαν από τα ψηφιδωτά του κυρίως ναού». Οι εργασίες αποκατάστασης του βόρειου τείχους του περιβόλου συνεχίζονται μέχρι και τις μέρες μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΔΑΦΝΙΟΥ.

2.1. Γενικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής

Όπως κάθε μονή, έτσι και η Μονή Δαφνίου έχει χτιστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξυπηρετεί τις λατρευτικές αλλά και πρακτικές ανάγκες της μοναστηριακής κοινότητας που θα φιλοξενούσε (Λερίου, 2006). Η αποτελεσματική εξυπηρέτηση των αναγκών αυτών υπήρξε η αιτία των ποικίλων προσθηκών, τροποποιήσεων και επισκευών, που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της μακραίωνης λειτουργίας του μνημείου και αναλύθηκαν παραπάνω. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται η Μονή είναι το καθολικό, ο περίβολος, τα κελιά των μοναχών, η τράπεζα, το μαγειρείο, ο λουτρώντας, η κινστέρνα και μία ορθογώνια αίθουσα.

Η Μονή Δαφνίου χαρακτηρίζεται από αυστηρές αναλογίες, δωρική λιτότητα στις εξωτερικές όψεις και διαύγεια στη διαρρύθμιση του εσωτερικού χώρου. Ο όγκος του ναού απλώνεται ήρεμα και υψώνεται τολμηρά καθαρός από ψιμύθια που θα έκρυβαν το πραγματικό εκτόπισμά του. Ο στοιχειώδης και περιορισμένος κεραμικός διάκοσμος εναρμονίζεται με τον αυστηρό χαρακτήρα του μνημείου (Καρακατσάνη 2001).



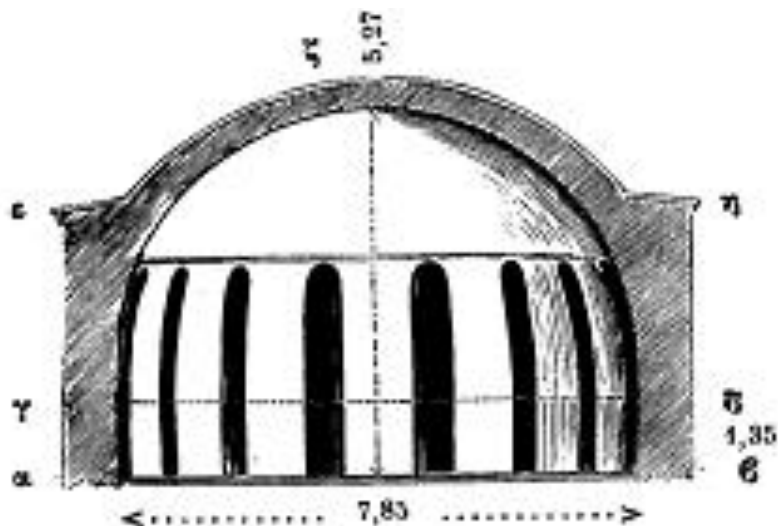
Εικόνα 17. Τοπογραφικό διάγραμμα Μονής Δαφνίου. Σχέδιο Benouville, 1899

2.1.1 Το Καθολικό

Το Καθολικό, δηλαδή ο κυρίως ναός είναι το σημαντικότερο κτίσμα ενός μοναστηριού, αποτελώντας το επίκεντρο της πνευματικής ζωής των μοναχών. Το καθολικό του Δαφνίου έχει μνημειακή μορφή και δεσπόζει στο μέσο της ευρύχωρης, σχεδόν τετράγωνης αυλής. Το εντυπωσιακό του μέγεθος, ο περίπλοκος αρχιτεκτονικός του τύπος και η εξαιρετικής ποιότητας και ακρίβειας τοιχοδομία υπογραμμίζουν την ξεχωριστή του λειτουργία (Λερίου, 2006).

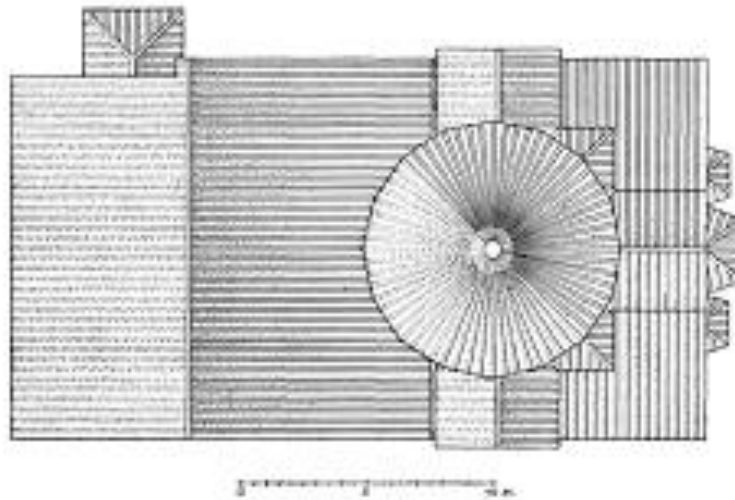
Το Καθολικό της Μονής Δαφνίου, χρονολογείται στο δεύτερο μισό του 11^{ου} αιώνα και εντάσσεται στον σύνθετο οκταγωνικό τύπο (ηπειρωτικό), αποτελώντας ένα από τα σημαντικότερα παραδείγματα του συγκεκριμένου τύπου στον ελλαδικό χώρο. Οι ναοί της κατηγορίας αυτής ανήκουν στους σταυροειδής εγγεγραμμένους. Ο χαρακτηρισμός «οκταγωνικός» προκύπτει από την οκταπλή στήριξη του τρούλου. Οι πεσσοί διαταγμένοι ανά ζεύγη, σχηματίζουν τέσσερα ημιχώνια, τα οποία γεφυρώνουν τις γωνίες του τετραγώνου της βάσης, μετατρέποντας το σε οκτάγωνο (Λερίου, 2006). Με τον τρόπο αυτό, το βάρος του τρούλου μοιράζεται σε μία σειρά από τόξα που σχηματίζουν τα ημιχώνια. Η στατική αυτή λύση έχει ευχάριστο αισθητικό αποτέλεσμα, καθώς ο κεντρικός χώρος του ναού, που σχηματίζεται κάτω από τον τρούλο, είναι αδιάσπαστος αφού δεν διακόπτεται από εσωτερικά στηρίγματα (Γκιολές, 1992). Υποστηρίζεται, μάλιστα, ότι η επιλογή του οκταγωνικού τύπου για το Καθολικό της Μονής Δαφνίου έχει ως αιτία την αυτοκρατορική χορηγία που αναλύθηκε παραπάνω (Καρακατσάνη 2001).

Στον οκταγωνικό ρυθμό, βασικό χαρακτηριστικό είναι ο τεράστιος τρούλος, που σκεπάζει σχεδόν ολόκληρο το πλάτος του εσωτερικού του κτιρίου (Λαζαρίδης, 1977). Ο τρούλος της Μονής Δαφνίου είναι εξελιγμένου κωνσταντινουπολίτικου τύπου, δεκαεξάπλευρος με πλίνθινους ημικιονίσκους (Delvoye 1994). Παρά τις



Εικόνα 18. Σχέδιο του τρούλου από τον Γεώργιο Λαμπάκη. Χριστιανική Αρχαιολογία της Μονής Δαφνίου, 1889.

ΚΑΘΟΛΙΚΟΝ ΜΟΝΗΣ ΔΑΦΝΙΟΥ
ΚΑΤΟΨΙΣ ΣΤΕΓΩΝ



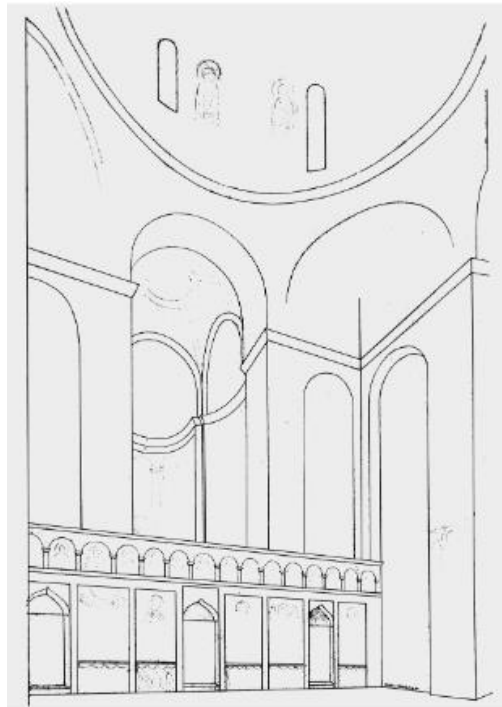
Εικόνα 19. Κάτοψη των στεγών της Μονής Δαφνίου (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας 1962-1963).

μεγάλες διαστάσεις του (διάμετρος 7,85 μέτρα, ύψος στο κέντρο 16,40 μέτρα) φαίνεται ανάλαφρος, χάρη στα δεκαέξι παράθυρα που ανοίγονται στο τύμπανό του (Λαζαρίδης, 1977). Τα δεκαέξι αυτά μονόλοβα παράθυρα που ανοίγονται στον τρούλο διαχέουν το φως στον ναό, δημιουργώντας αίσθηση ενότητας και ανάτασης (Λερίου, 2006).

Στο ανατολικό μέρος του καθολικού βρίσκεται το Ιερό, στη μέση του οποίου εντοπίζεται το Ιερό Βήμα, βόρεια η Πρόθεση και νότια το Διακονικό. Το Ιερό Βήμα ήταν υπερυψωμένο σε σχέση με το δάπεδο του υπόλοιπου ναού και στο μέσο του έχει βρεθεί η μαρμάρινη πλάκα, πάνω στην οποία στηριζόταν η αγία Τράπεζα (Λαμπάκης 1889). Η Πρόθεση αποτελεί χώρο με κόγχη, στον οποίο φυλάσσονταν τα Τίμια Δώρα πριν την Μεγάλη Είσοδο και η Θεία Κοινωνία μετά από το τέλος της λειτουργίας, ενώ στο Διακονικό φυλάσσονταν τα ιερά σκεύη και τα άμφια. Τα τρία αυτά ανοίγματα χωρίζονταν από τον υπόλοιπο ναό με μαρμάρινο τέμπλο (Λαζαρίδης, 2016). Αναφορικά με τα τέμπλα της Μονής είναι γνωστό ότι το αρχικό μεσοβυζαντινό εικονοστάσιο ήταν μια πολυτελής κατασκευή από λευκό και χρωματιστό μάρμαρο.

Η χρονική περίοδος ή οι συνθήκες καταστροφής του είναι άγνωστες. Το 1549, διαθέσιμες πληροφορίες αποδεικνύουν ότι ο Ακάκιος Αμπελικός έκανε παραγγελία νέου ξυλόγλυπτου τέμπλου από εργαστήριο στη Κρήτη. Παρ' όλα αυτά δεν γνωρίζουμε αν το έργο μεταφέρθηκε και τοποθετήθηκε στο ναό (Πάλλης, 2013). Το επόμενο τέμπλο της Μονής ήταν κτιστό και τοιχογραφημένο. Είχε την μορφή ενιαίου τοίχου, που κάλυπτε το μέτωπο των δύο ανατολικών πεσσών και συγκαταλεγόταν στα μεγαλύτερα του είδους του στην Αττική. Επιβίωσε των καταστροφών που υπέστη το Καθολικό κατά την Επανάσταση του 1821 (Βέης, 1927) και διατηρήθηκε τουλάχιστον μέχρι το 1847. Το τελευταίο τέμπλο ήταν ξύλινο και

εξυπηρέτησε την τελευταία περίοδο της λειτουργικής ζωής της Μονής Δαφνίου, η οποία διήρκεσε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1920, όταν πλέον καθιερώθηκε ο μνημειακός του χαρακτήρας (Ορλάνδος, 1933).



Εικόνα 20. Σχέδιο του μεταβυζαντινού κτιστού τέμπλου (Paul Durand, 1847).



Εικόνα 71. Το νεότερο ξύλινο τέμπλο του καθολικού. Φωτομετρικό Ινστιτούτο του Βερολίνου 2009.

Εκατέρωθεν του κυρίως ναού υπάρχουν πλάγια κλίτη, σε τέσσερα από τα οποία βρίσκονταν παρεκκλήσια της Αγίας Τριάδος (νοτιοανατολικά), του Αγίου Γεωργίου (βορειοανατολικά), του Αγίου Στυλιανού (νότια) και του Αγίου Αθανασίου (βόρεια). Επιπλέον, στον ναό εντοπίζονται επτά Άγιες Τράπεζες (Λαμπάκης, 1889). Η είσοδος στο καθολικό μπορεί να γίνει από τρεις πύλες. Η κύρια είσοδος βρίσκεται στη δυτική πλευρά, ενώ στα πλάγια κλίτη της βόρειας και νότιας πλευράς υπάρχουν ακόμα δύο θήρες. Στα δυτικά βρίσκεται ο εσωνάρθηκας, στενόμακρος χώρος που εκτείνεται σε όλο το πλάτος του κτιρίου και συγκοινωνεί με τον κεντρικό χώρο με τρία τοξωτά ανοίγματα (Λαζαρίδης, 1977). Λίγα χρόνια μετά από την ίδρυση της Μονής, τον 12^ο αιώνα, προσαρτήθηκε δυτικά από τον νάρθηκα εξωνάρθηκας με μορφή ανοιχτής στοάς με όροφο, ο οποίος επισκευάστηκε και αναδιαμορφώθηκε τον 13^ο αιώνα από τους κιστερκιανούς μοναχούς. Οι διαστάσεις του είναι 6,15 x 12.35 μέτρα και τα τόξα του πατούσαν πάνω σε αρχαίους ιωνικούς κίονες, από τους οποίους στις μέρες μας σώζεται μόνο ο νότιος, ενώ οι υπόλοιποι βρίσκονται στο Βρετανικό Μουσείο και πλέον έχουν αντικατασταθεί με σύγχρονους (Λερίου, 2006).

Ο ναός δεν έχει υπερώα (εξώστες), ωστόσο πάνω από τον νάρθηκα, στο ύψος της στέγης υπήρχε όροφος που χρησίμευε ως κατοικία του ηγούμενου ή βιβλιοθήκη (Γκιοιές, 1992). Εξωτερικά, το κτίριο υψώνεται πυραμιδωτά μέχρι την κορυφή του τρούλου, με βαθμιδωτή διάταξη των στεγών (Λερίου, 2006). Μέχρι την ποδιά των παραθύρων μεγάλοι δόμοι σχηματίζουν σταυρούς. Από το σημείο αυτό και πάνω ξεκινά η πλινθοπερίκλειστη ή πλινθοπερίβλητη τοιχοδομία, δηλαδή ο κάθε πωρόλιθος έχει στις τέσσερις πλευρές του και από ένα τούβλο. Κάτω από την ποδιά των παραθύρων, περιμετρικά του ναού, μεγάλοι δόμοι σχηματίζουν σταυρούς (Μπούρας, 2001). Μέσω της χρήσης του συγκεκριμένου συστήματος τοιχοδομίας, προσδίδεται στο μνημείο λιτότητα, κάτι που ενισχύεται από την απουσία κουφικών διακοσμητικών στοιχείων.

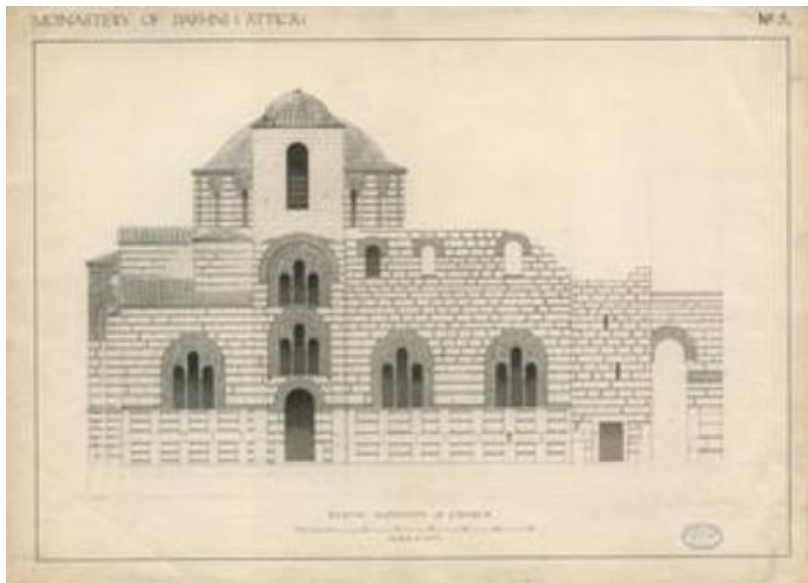
Γενικά, ο κεραμοπλαστικός διάκοσμος του ναού είναι αρκετά λιτός. Περιλαμβάνει κυρίως τις οδοντωτές ταινίες που περιβάλλουν τα τόξα των παραθύρων, ενώ στο πάνω μέρος της μεσαίας αψίδας βρίσκεται μαϊάνδρος πλαισιωμένος από οδοντωτές ταινίες και βαθμιδωτό κόσμημα. Ψευδοκουφικός διάκοσμος εντοπίζεται μόνο σε τύμπανα παραθύρων του νότιου και δυτικού τοίχου (Γκιοιές, 1992). Περιορισμένος αλλά εξαιρετικά καλοφτιαγμένος ήταν και ο γλυπτός διάκοσμος στο εσωτερικό και εξωτερικό του ναού (Λερίου, 2006). Το κάτω μέρος των εσωτερικών τοίχων του Καθολικού υπήρχε ορθομαρμάρωση, ήταν δηλαδή καλυμμένο με μάρμαρα ποικίλων χρωμάτων (Λαμπάκης, 1889).



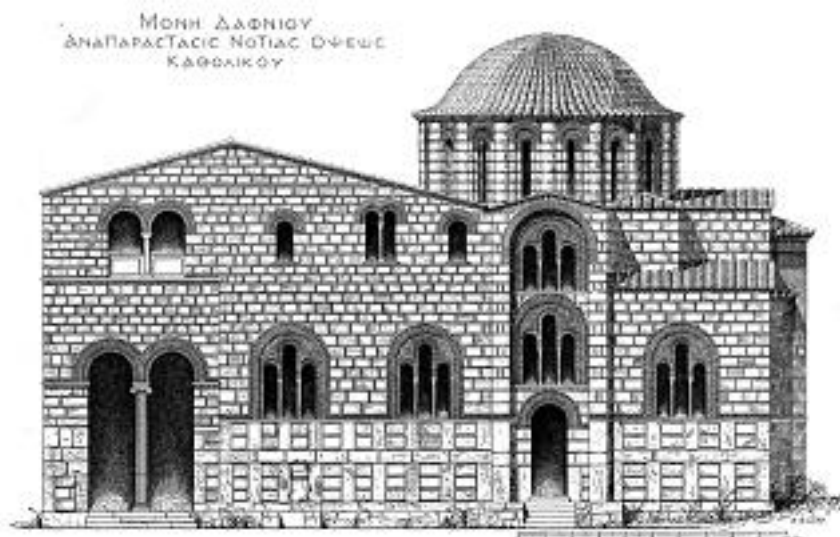
Εικόνα 22. Τομή στον εξωνάρθηκα (Le monastere de Daphni, Benouville, 1899).



Εικόνα 23. Δυτική όψη του καθολικού μετά από την αναστήλωσή την δεκαετία του 1950 (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963).



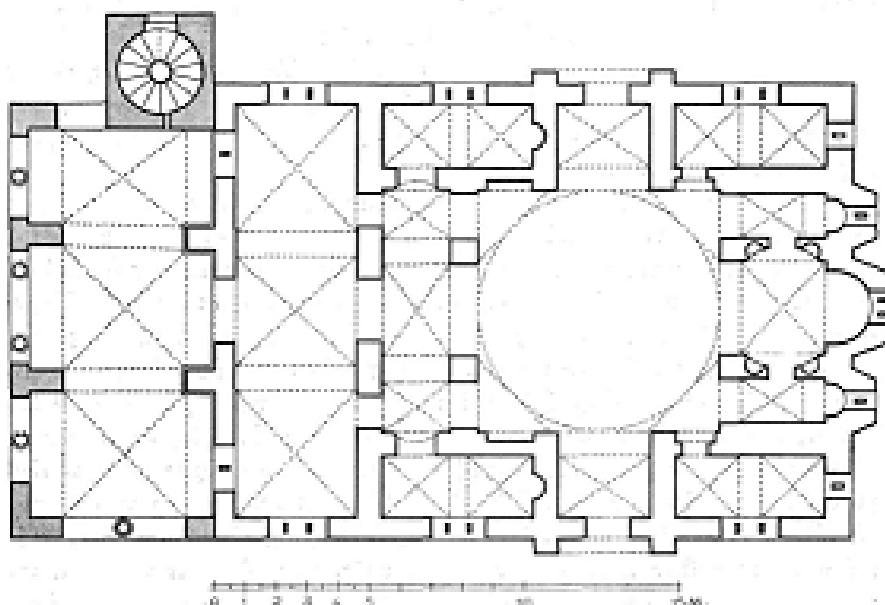
Εικόνα 24. Βόρεια όψη του καθολικού κατά τα έτη 1888-1890 από τους Schultz, Barnsley και Howard.



Εικόνα 25. Νότια όψη του καθολικού της Μονής Δαφνίου μετά από την αναστήλωση του από τους Στίκα και Μπούρα στα τέλη της δεκαετίας του 1950.

Οι ορθομαρμαρώσεις σταδιακά αντικαταστάθηκαν με εικονογραφημένες παραστάσεις και ελάχιστες από αυτές σώζονται σήμερα. Το αρχικό πάτωμα του ναού ήταν φτιαγμένο από πολύχρωμα μαρμάρινα μικρά κομμάτια σε γεωμετρικά σχέδια, ενώ το σημερινό δάπεδο κατασκευάστηκε κατά τις εργασίες αποκατάστασης του 1955 (Λαζαρίδης, 1977).

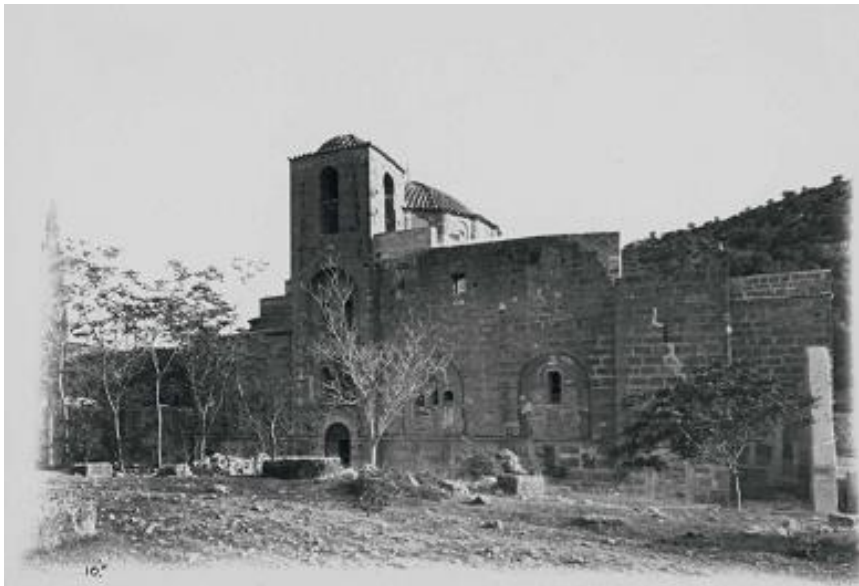
ΚΑΤΟΨΙΣ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΜΟΝΗΣ ΔΑΦΝΙΟΥ



Εικόνα 26. . Κάτοψη του καθολικού της Ιεράς Μονής Δαφνίου (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 1962-1963).

Τους εξωτερικούς τοίχους του Καθολικού πλαισιώνουν διαφόρων ειδών παράθυρα, προσδίδοντας στον χώρο φυσικό φωτισμό και μεγαλοπρέπεια. Στους πλάγιους τοίχους ανοίγονται από πέντε τρίβολα, δύο δίβολα, δύο μονόβολα παράθυρα και μία τοξωτή πόρτα στη κάθε πλευρά (βόρεια και νότια), ενώ στην ανατολική πλευρά παρατηρούνται οκτώ παράθυρα εκ των οποίων ένα τρίβολο, τέσσερα δίβολα και τρία μονόβολα (Λαμπάκης, 1889). Αυτά σε συνδυασμό με τις τρεις ημιεξάγωνες κόγχες του Ιερού και τις οδοντωτές ταινίες κάτω από τα κεραμίδια και γύρω από τα παράθυρα, σπάζουν την μονοτονία των τοίχων και δίνουν ελαφρότητα και πλαστικότητα στο μνημείο (Λαζαρίδης, 1977). Ολοκληρώνοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι στο βόρειο σκέλος του σταυρού της στέγης του Καθολικού υπήρχε κωδωνοστάσιο. Όσον αφορά την χρονολόγηση της κατασκευής του υπάρχουν διαφορετικές απόψεις. Σύμφωνα με τον Λαμπάκη (1899) η μεταγενέστερη αυτή προσθήκη, υλοποιήθηκε κατά τον 13ο αιώνα από τους Φράγκους μοναχούς, ενώ ο Στίκας (1964) υποστηρίζει ότι κατασκευάστηκε αρκετά αργότερα, τον 15^ο αιώνα.

Οι διαθέσιμες πληροφορίες δείχνουν ότι η βάση του ήταν τετραγωνική και στην ανατολική και δυτική πλευρά του υπήρχαν πεταλόσχημα τόξα. Οι διαφορές του αρχιτεκτονικού ύφους και της λιθοδομίας του καμπαναριού σε σχέση με τον υπόλοιπο ναό αποτέλεσε την αιτία να χαρακτηριστεί ως «βάρβαρη προσθήκη» (Λαμπάκης, 1889). Με τους σεισμούς του 1889 το κωδωνοστάσιο κατέστη σχεδόν ετοιμόρροπο, με αποτέλεσμα έναν χρόνο αργότερα η επιτροπή του Υπουργείου Παιδείας να αποφασίσει την κατεδάφισή του, κάτι που ολοκληρώθηκε το 1891.



Εικόνα 27. Φωτογραφία της βόρειας όψης του καθολικού της Μονής όπου διακρίνεται το κωδωνοστάσιο 1888-1890.

2.1.2 Ο περίβολος

Ο περίβολος αποτελεί ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά των βυζαντινών μοναστηριών, αφού λειτουργούσαν ως μικρογραφίες των πόλεων-κάστρων. Η προστασία των μοναχών και της μοναστικής περιουσίας από οχυρωματικό τείχος ήταν απαραίτητη, καθώς πολλές μονές, όπως το Δαφνί, ήταν συνήθως χτισμένες σε απομονωμένες τοποθεσίες (Λερίου, 2006). Στη περίπτωση της Μονής Δαφνίου η προστασία επιτυγχανόταν από ισχυρό περίβολο οχυρωματικού χαρακτήρα και μορφολογίας (Ορλάνδος, 1958).

Η οχύρωση της Μονής Δαφνίου, όντας χτισμένη σε απόσταση 10 χιλιομέτρων από την Αθήνα, σε ημιορεινή αλλά πολυσύχναστη περιοχή, εξυπηρετούσε διπλό σκοπό. Αφενός, την προστασία και αφετέρου την απομόνωση των μοναχών από τους πειρασμούς της κοσμικής ζωής. Μέρος του βόρειου τμήματος του τείχους έχει χτιστεί πάνω στον αρχαίο περίβολο του ιερού του Απόλλωνα, που είναι ακόμη ορατό σε ορισμένα σημεία. Αργότερα, στα χρόνια του Ιουστινιανού Α' (527-565 μ.Χ.) το τείχος επισκευάστηκε και συμπληρώθηκε (Λαζαρίδης, 1977). Ο περίβολος της Μονής είχε τετράγωνο σχήμα με πλευρά περίπου ενενήντα επτά μέτρα, ύψος οκτώ μέτρα και περιδρομο, δηλαδή εσωτερικό διάδρομο που επιτρέπει την κίνηση κατά μήκος του τείχους, με πλάτος 1,6 μέτρα, στο ύψος των έξι μέτρων. Ο περιδρομος υποστηριζόταν από τυφλή τοξοστοιχία. Σε όλο το μήκος του υπήρχαν επάλξεις, ενώ η πορεία του διακοπτόταν ανά τακτά διαστήματα από πύργους τετράγωνης κάτοψης. Στην εποχή μας, μέρος του περιβόλου σώζεται σε καλή κατάσταση στο βόρειο τμήμα, όπου εντοπίζονται ακόμη και τρεις από τους πύργους που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 28. Το δυτικό τμήμα του βόρειου τείχους της Μονής Δαφνίου (Εφορεία Αρχαιοτήτων Δυτικής Αττικής, <https://www.efada.gr/>)

Για τη δημιουργία του περιβόλου έχουν χρησιμοποιηθεί κροκαλοπαγείς λίθοι κομμένοι σε μεγάλα ορθογώνια κομμάτια μήκους 1,6 μέτρα και ύψους 0,4 - 0,6 μέτρα, συνδεδεμένοι μεταξύ τους με κονίαμα, ενώ συχνά παρατηρούνται στρώσεις πηλοπλίνθων (Λερίου, 2006). Για την είσοδο στο μοναστήρι, η κύρια πύλη βρισκόταν στο μέσο της δυτικής πλευράς του περιβόλου, απέναντι από την είσοδο του καθολικού. Προστατευόταν από οχυρωματικό πύργο, ο οποίος ενισχυόταν μέσω δύο πλευρικών προμαχώνων. Κάτω από τον πύργο, υπήρχε καμαροσκέπαστος διάδρομος μήκους 6 μέτρων, που οδηγούσε στην αυλή της μονής. Μικρότερη πύλη υπήρχε και στο μέσο της ανατολικής πλευράς του περιβόλου, όπου πιθανά ήταν και η πύλη του αρχαίου περιβόλου (Λαζαρίδης, 1977). Πρόκειται για την είσοδο που χρησιμοποιεί ο σημερινός επισκέπτης προκειμένου να εισέλθει στον χώρο. Η ύπαρξη δύο εισόδων στον περίβολο των μοναστηριών δεν αποτελούσε σύνηθες φαινόμενο, αν και επιτρεπόταν από τον νόμο, ο οποίος όριζε ότι οι μονές όφειλαν να έχουν το πολύ δύο πύλες εισόδου (Ορλάνδος, 1958).

Ο σεισμός της 19^{ης} Ιουλίου 2019, προκάλεσε καταρρεύσεις στο βόρειο τείχος του περιβόλου. Σύμφωνα με το Υπουργείο Πολιτισμού (2019), οι καταρρεύσεις σημειώθηκαν εκατέρωθεν του μεσαίου πύργου, στην εξωτερική και εσωτερική παρειά του τείχους σε σημεία όπου η εγκεκριμένη μελέτη αποκατάστασης προέβλεπε ούτως ή άλλως καθαιρέσεις. Όπως προαναφέρθηκε, για την αποκατάσταση του δυτικότερου τμήματος του βόρειου τείχους, το έργο εντάχθηκε σε προγράμματα ΕΣΠΑ 2014-2020. Οι εργασίες αποκατάστασης του τείχους συνεχίζονται μέχρι τις μέρες μας.



Εικόνα 29. Κατάρρευση μέρους του βόρειου τείχους της Μονής Δαφνίου κατά τον σεισμό της 19ης Ιουλίου 2019.

2.1.3 Τα κελιά των μοναχών

Οι χώροι όπου εγκαταβίωναν οι μοναχοί ονομάζονται κελιά. Συνήθως χτίζονταν προσκολλημένα στη εσωτερική πλευρά του περιβόλου, αν και ήταν δυνατόν να επεκταθούν σε όλες τις πλευρές του. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχανόταν η εξοικονόμηση χώρου αλλά και ενισχυόταν ο αμυντικός χαρακτήρας του μοναστηριού. Το σχήμα των κελιών ήταν κατά κανόνα ορθογώνιο και στεγάζονταν με κυλινδρικό θόλο, ενώ το ύψος τους ήταν από δύο έως τέσσερις ορόφους. Οι πόρτες τους ήταν χαμηλές και οδηγούσαν σε σκεπαστές στοές, τους λεγόμενους ηλιακούς ή εμβόλους. Στο εσωτερικό των κελιών υπήρχαν οι κλίνες και μικρές κόγχες για να τοποθετούνται τα βιβλία, τα ρούχα και τα αντικείμενα των μοναχών (Υπουργείο Πολιτισμού, 1995).

Στη βόρεια πλευρά του περιβόλου, εντοπίζονται ίχνη που αποδεικνύουν με σαφήνεια την ύπαρξη κελιών. Αυτά περιλαμβάνουν υποδοχές για τις δοκούς που υποστήριζαν το ξύλινο πάτωμα του άνω ορόφου και κόγχες για τα προσωπικά αντικείμενα των μοναχών. Αντίστοιχα, τα κελιά της δυτικής πλευράς δεν ήταν προσκολλημένα στον περίβολο, αλλά βρίσκονταν σε μικρή απόσταση από αυτόν, σχηματίζοντας στενό διάδρομο. Τα κελιά που σώζονται στις μέρες μας νότια του Καθολικού είναι χτισμένα γύρω από μικρή τετράγωνη αυλή. Κατασκευάστηκαν από τους κιστερκιανούς μοναχούς κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στη Μονή και αναδιαμορφώθηκαν από τους ορθόδοξους κατά τον 16^ο αιώνα (Λερίου, 2006). Σήμερα, τα κελιά φιλοξενούν τα γραφεία του αρχαιολογικού χώρου καθώς και μουσείο με ευρήματα από το Ιερό του Απόλλωνα.

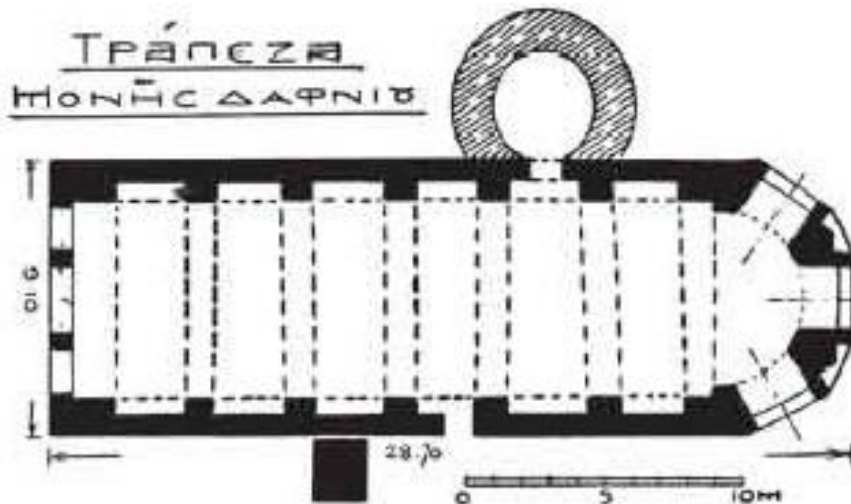


Εικόνα 80. Τα κελιά των μοναχών, νότια του καθολικού (Εφορεία Αρχαιοτήτων Δυτικής Αττικής, <https://www.efada.gr/>)

2.1.4 Η τράπεζα

Η τράπεζα αποτελεί κτίριο, στο οποίο οι μοναχοί λάμβαναν ομαδικά το γεύμα τους. Οι τράπεζες ήταν ορθογώνιες αίθουσες αρκετά μεγάλες, ώστε να χωρούν όλους τους μοναχούς. Οι μοναχοί κάθονταν σε μακρόστενα κτιστά τραπέζια ή πάγκους τοποθετημένους σε παράλληλες σειρές κατά μήκος των τοίχων, ενώ στη μία στενή πλευρά της τράπεζας σχηματιζόταν κόγχη, στην οποία καθόταν ο ηγούμενος. Οι τοίχοι ήταν διακοσμημένοι με τοιχογραφίες. Συνήθως τα θέματα των παραστάσεων ήταν σχετικά με το φαγητό, όπως για παράδειγμα ο Μυστικός Δείπνος (Ορλάνδος, 1958). Στις περισσότερες περιπτώσεις, η θέση του κτιρίου ήταν απέναντι από το Καθολικό, ώστε να διευκολύνεται η άμεση μετάβαση των μοναχών.

Η τράπεζα του Δαφνίου εντοπίζεται σε μακρόστενο οικοδόμημα μήκους 28,7 μέτρων στα βόρεια του ναού και ο προσανατολισμός της ήταν ίδιος με αυτόν του Καθολικού. Η χρονολόγηση της ανοικοδόμησης της τράπεζας τοποθετείται στον προχωρημένο 11^ο αιώνα, βάσει των τοίχων που σώζονται βόρεια του Καθολικού σε ύψος περίπου 1,7 μέτρων και είναι κατασκευασμένοι από υλικά αντίστοιχα με αυτά που είχαν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του Καθολικού. Η είσοδος στον χώρο γινόταν από τρεις διπλές θύρες στη δυτική πλευρά του. Στην ανατολική πλευρά υπήρχε αψίδα, ημικυκλική εσωτερικά και ημιεξαγωνική εξωτερικά, ενώ η στέγασή της επιτυγχανόταν μέσω καμαροσκεπής, η οποία στηριζόταν σε ενισχυτικά τόξα κατά μήκος των μακρών πλευρών.



Εικόνα 31. κάτοψη της τράπεζας της Μονής Δαφνίου από τον Ορλάνδο (Μοναστηριακή Αρχιτεκτονική, 1999).

2.1.5 Το μαγειρείο

Στη βόρεια πλευρά της τράπεζας έχει εντοπιστεί κυκλικό κτίσμα που κατά πάσα πιθανότητα ήταν το μαγειρείο της Μονής. Όντας προσκολλημένο σε αυτή, συναποτελούσε ουσιαστικά ένα ενιαίο κτίριο, στο οποίο οι μοναχοί προετοίμαζαν το φαγητό. Τα μαγειρεία είχαν συνήθως μικρό εμβαδόν και στο κέντρο τους υπήρχε η εσχάρα, δηλαδή το σημείο όπου έκαιγε η φωτιά (Λερίου, 2006). Περιμετρικά υπήρχαν κτιστοί πάγκοι και στους τοίχους εσοχές, για την τοποθέτηση των μαγειρικών σκευών. Στην οροφή των μαγειρείων υπήρχε καπνοδόχος, εξασφαλίζοντας την άνετη εργασία των μοναχών (Υπουργείο Πολιτισμού, 1995).

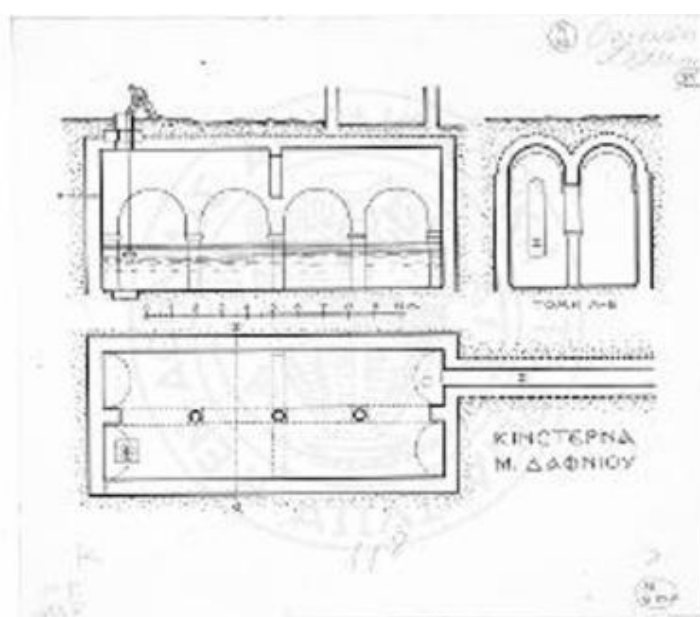
2.1.6 Ο λουτρόνας

Η ακμή και η ευημερία της Μονής Δαφνίου επιβεβαιώνεται και από την ύπαρξη λουτρικού συστήματος. Αν και ο αριθμός των μοναστηριακών λουτρών που έχουν διασωθεί μέχρι την εποχή μας είναι περιορισμένος, λόγω της σπάνιας ύπαρξής τους, υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την αρχιτεκτονική τους διαμόρφωση. Οι μεγάλοι λουτρόνες συνήθως αποτελούνταν από τέσσερις αίθουσες, με την πρώτη να είναι ο προθάλαμος, δηλαδή ο χώρος όπου οι λουόμενοι άφηναν τα ρούχα τους και η δεύτερη το ψυχρολούσιον, όπου γινόταν η προετοιμασία. Στη συνέχεια, βρισκόταν το χλιαροψύχριον, όπου γινόταν ο καθαρισμός και το θέρμον, όπου γινόταν η εφίδρωση. Το λουτρό ολοκληρωνόταν στην τέταρτη αίθουσα, όπου υπήρχαν δεξαμενές για κολύμπι σε θερμό ή κρύο νερό (Υπουργείο Πολιτισμού, 1995).

Η τεχνολογία θέρμανσης και κυκλοφορίας του νερού διατηρούσε πολλά κοινά στοιχεία από την ρωμαϊκή εποχή μέχρι το Βυζάντιο. Το νερό για τις παραπάνω ανάγκες συγκεντρωνόταν σε δεξαμενή και θερμαινόταν μέσω ζεστού αέρα, ο οποίος παραγόταν από φωτιά που έκαιγε κάτω από το δάπεδο, στο υπόκαυστο. Στη συνέχεια, ο αέρας διοχετευόταν μέσω εντοιχισμένων πήλινων σωλήνων στις υπόλοιπες αίθουσες (Κουκουλές, 1951). Από τα λουτρά του Δαφνίου έχουν διασωθεί μόνο τα υπόκαυστα, νοτιοδυτικά του Καθολικού. Αν και η ανωδομή είναι πλήρως κατεδαφισμένη, είναι γνωστό ότι η είσοδος στον χώρο γινόταν από τα δυτικά (Λερίου, 2006).

2.1.7 Η κινστέρνα

Οι κινστέρνες κατείχαν σημαντικό ρόλο για τη μοναστηριακή ζωή, αφού μέσω αυτών γινόταν η συλλογή του βρόχινου νερού, εξασφαλίζοντας επάρκεια. Στο Δαφνί, η υπόγεια δεξαμενή βρισκόταν νοτιοδυτικά του ναού, κάτω από τα κελιά του 16^{ου} αιώνα, σε βάθος περίπου επτά μέτρων από το σημερινό δάπεδο της αυλής. Είχε ορθογώνιο σχήμα με διαστάσεις 13,3 x 4,95 μ. και η χωρητικότητά της έχει υπολογιστεί στα τριακόσια κυβικά μέτρα. Ο κατά μήκος άξονας της κινστέρνας έχει προσανατολισμό ΝΑ-ΒΔ και βρίσκεται στη συμβολή δύο κλιτύων. Εσωτερικά ήταν χωρισμένη σε δύο καμαροσκεπή κλίτη που ακουμπούσαν πάνω σε τρεις κίονες, ενώ η συλλογή του νερού γινόταν μέσω κυκλικών ανοιγμάτων με μαρμάρινη επένδυση, στην κορυφή των καμάρων. Οι τοίχοι της ήταν επενδυμένοι με υδραυλικό κονίαμα και στο πάνω μέρος της επιφάνειάς της υπήρχε φρεάτιο καθαρισμού ορθογώνιας διατομής (Λερίου, 2006).



Εικόνα 32. Σχέδια της κινστέρνας της Μονής Δαφνίου (Ορλάνδος, 1956).

2.1.8 Η ορθογώνια αίθουσα

Νότια του Καθολικού έχουν εντοπιστεί τα ερείπια μίας στενόμακρης ορθογώνιας αίθουσας, με προσανατολισμό Α-Δ και διαστάσεις 23 x 6.5 μέτρων. Αρχιτεκτονικά ακολουθεί την τυπική μεσοβυζαντινή τοιχοδομία. Το δάπεδό της ήταν στρωμένο με πήλινες πλάκες, ενώ κατά μήκος του βόρειου και νότιου τοίχου υπήρχαν κίονες. Ο καθορισμός της χρήσης της συγκεκριμένης αίθουσας είναι δύσκολος, καθώς δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα στοιχεία που να εξασφαλίζουν τον ασφαλή χαρακτηρισμό της.

2.2. Η ψηφιδωτή διακόσμηση της Μονής Δαφνίου

Η ψηφιδωτή διακόσμηση της Μονής Δαφνίου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της, κάτι που την ξεχωρίζει από όλες τις βυζαντινές εκκλησίες της Αττικής και την καθιστούν ένα από τα πλέον σπουδαία βυζαντινά μνημεία στο ελλαδικό χώρο (Λαζαρίδης, 1977). Παρά τις διαδοχικές φθορές που έχουν υποστεί κατά την διάρκεια των αιώνων εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας αλλά και φυσικών φαινομένων όπως οι σεισμοί, το μεγαλείο των ψηφιδωτών του Καθολικού καταφέρνει να διατηρείται έως τις μέρες μας. Αυτό οφείλεται στην ιδιαίτερη τεχνοτροπία και τεχνική κατά την κατασκευή τους, όπως και στα εξαιρετικής ποιότητας υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (Λερίου, 2006). Οι επιδρομές του παρελθόντος καθώς και οι κακότεχνες και αυθαίρετες εργασίες συντήρησης και στερέωσης που πραγματοποιήθηκαν κατά τους τελευταίους δύο αιώνες και αναφέρθηκαν παραπάνω, προκάλεσαν σημαντικές αλλοιώσεις στο εικονογραφικό πρόγραμμα του ναού. Παρ' όλα αυτά, πλέον, οι αρχαιολόγοι έχουν καταφέρει να αποκαταστήσουν σε μεγάλο βαθμό την εικόνα της ψηφιδωτής διακόσμησης που έχει διασωθεί, κυρίως στις υψηλότερες επιφάνειες του ναού. Τα σωζόμενα θέματα είναι εβδομηταέξι και βρίσκονται διασκορπισμένα στον εσωνάρθηκα, στον τρούλο, στις κεραίες της στέγης, στα ημιχώνια και στο ιερό (Λαζαρίδης, 1977). Βάσει της στιλιστικής αποτίμησης των απεικονιζόμενων συνθέσεων, η δημιουργία των ψηφιδωτών τοποθετείται στις τελευταίες δεκαετίες του 11ου αιώνα, ακολουθώντας συναπτά την ανέγερση του Καθολικού και θεωρείται προάγγελος της Κομνήνειας τεχνοτροπίας (Λαζαρίδης, 1977). Ακόμη, η κατανομή των σκηνών στο Καθολικό του Δαφνίου φανερώνει ότι η διαμόρφωση του αρχιτεκτονικού σχεδίου έγινε σε συνάρτηση με το εικονογραφικό πρόγραμμα και δεν προσαρμόστηκε στο αρχιτεκτόνημα εκ των υστέρων (Καρακατσάνη, 2001).

Τα εικονογραφημένα θέματα συμβολίζουν τη δογματική διδασκαλία της εκκλησίας, όπως είχε δημιουργηθεί κατά τον 11^ο και 12^ο αιώνα και ακολουθούν σε μεγάλο βαθμό τα πρότυπα που είχαν καθιερωθεί στην Κωνσταντινούπολη μετά από τη λήξη της Εικονομαχίας και τον θρίαμβο της Ορθοδοξίας (Λερίου, 2006). Έτσι και στο Δαφνί, η ενσάρκωση του Θεού αποτέλεσε τον βασικό άξονα γύρω από τον οποίο διαμορφώθηκε το εικονογραφικό πρόγραμμα (Demus, 1955). Από τις σκηνές άλλες είναι χριστολογικές και άλλες θεομητορικές. Οι μονές μορφές είναι

αρχάγγελοι, προφήτες, άγιοι, μάρτυρες, ιεράρχες και στρατιωτικοί άγιοι, ενώ μοναχοί, όσοι και ερημίτες δεν εντοπίζονται (Λαζαρίδης, 1977). Ο τρούλος και η αψίδα που δεσπόζουν στον κατακόρυφο και τον κατά μήκος άξονα του ναϊκού οικοδομήματος συμβολίζουν την ουράνια σφαίρα, ενώ οι κατώτερες ζώνες την γήινη (Λερίου, 2006).

2.2.1 Τα ψηφιδωτά του νάρθηκα

Στο νάρθηκα του Δαφνίου εικονογραφούνται σε χωριστές ενότητες, σκηνές από το βίο της Παναγίας πριν από τον Ευαγγελισμό, καθώς και από τη ζωή του Χριστού αμέσως πριν το Πάθος. Αφορά, δηλαδή, σκηνές από την προετοιμασία της Παναγίας για την ανάδειξή της σε Θεοτόκο και του Χριστού για την υπέρτατη θυσία (Καρακατσάνη, 2001). Πιο συγκεκριμένα, στο νότιο σταυροθόλιο (δεξιά) εικονίζονται θέματα από τη ζωή της Παναγίας, όπως η Προσευχή της Αγίας Άννας με τον Ευαγγελισμό του Ιωακείμ, η Ευλογία των Ιερέων και τα Εισόδια της Θεοτόκου. Κατά την πρώτη σκηνή, οι δίκαιοι Ιωακείμ και Άννα μέσα σε έναν κήπο μαθαίνουν από τον άγγελο το ευχάριστο μήνυμα ότι θα αποκτήσουν παιδί, ενώ από την δεύτερη σώζονται μόνο ο Ιωακείμ με τη μικρή Παναγία στην αγκαλιά του και πίσω η Άννα. Στην τρίτη, η Παναγία βρίσκεται στην ηλικία των τριών ετών και οι γονείς της συνοδευόμενοι από λαμπαδηφόρες νέες την φέρνουν στο ναό, όπως είχαν τάξει (Λαμπάκης, 1889).

Αντίστοιχα, στο βόρειο σταυροθόλιο εντοπίζουμε τον Μυστικό Δείπνο, το Νιπτήρα και την Προδοσία του Ιούδα. Οι δύο πρώτες σκηνές είναι σε μεγάλο βαθμό κατεστραμμένες. Από τον Μυστικό Δείπνο σώζεται μόνο το κεφάλι του Χριστού αριστερά και οι τρεις απόστολοι δεξιά, ενώ από τη σκηνή του Νιπτήρα σώζεται μόνο το αριστερό μισό με μία ομάδα από Αποστόλους. Η σκηνή της Προδοσίας του Ιούδα σώζεται σε καλύτερη κατάσταση. Στη μέση βρίσκεται ο Χριστός, ο οποίος μένει ατάραχος και γαλήνιος, ενώ ο Ιούδας αριστερά τον αγκαλιάζει για να τον φιλήσει, ενώ ένας στρατιώτης στα δεξιά τον συλλαμβάνει. Πίσω από αυτόν τον στρατιώτη, ο Πέτρος επιχειρεί να κόψει το αυτί του μικρού δούλου Μάλχου. Αριστερά από τον Ιούδα βρίσκονται ένας Φαρισαίος και ο αξιωματικός του αποσπάσματος (Λαζαρίδης, 1977).

2.2.2 Τα ψηφιδωτά του κυρίως Ναού

Ξεκινώντας από τον δυτικό τοίχο, που βρίσκεται πάνω από την κεντρική είσοδο, δεσπόζει η σε μεγάλο βαθμό κατεστραμμένη παράσταση της Κοίμησης της Θεοτόκου. Στη κατώτερη ζώνη των τοίχων απεικονίζονται οι Άγιοι, οι οποίοι απολαμβάνουν μαζί με τους πιστούς που έχουν προσέλθει στον ναό τη θέαση του Θεού (Λερίου 2006). Πιο συγκεκριμένα, στο μικρό νότιο διαμέρισμα εικονίζονται οι Άγιοι: Σέργιος, Ευστράτιος, Ευγένιος, Αυξέντιος, Ορέστης και Μαρδάνιος, ενώ

αντίστοιχα, στο βόρειο διαμέρισμα βρίσκονται οι άγιοι Βάκχος, Αφθόνιος, Πηγάσιος, Ανεμπόδιστος, Ελπιδοφόρος και Ακίνδυνος (Λαζαρίδης, 1977).

Μία από της σπουδαιότερες και ίσως η επιβλητικότερη παράσταση του Καθολικού εντοπίζεται στο μετάλλιο του τρούλου του ναού και απεικονίζει τον Χριστό Παντοκράτορα, την ανώτερη επουράνια ιεραρχική μορφή. Ο Παντοκράτορας του Δαφνίου αποτελεί για τους μελετητές πρόβλημα, αλλά μάλλον πρόβλημα αισθητικής. Και αυτό γιατί η γήινη, στιβαρή και δύστροπη μορφή του συνθλίβει, ισοπεδώνει και εξαφανίζει με το ήθος της, τις εύθραυστες μορφές που κατοικούν στους τοίχους, τα τόξα, τα αψιδώματα και τις κάμαρες του ναού (Καρακατσάνη, 2001). Η μεγάλη πνευματικότητά του εκδηλώνεται κυρίως στα μάτια και στα χέρια. Κοιτάζει τον θεατή με πλάγιο, διαπεραστικό και αυστηρό βλέμμα.



Εικόνα 33. Ο παντοκράτορας στο μετάλλιο του τρούλου σήμερα (2019). Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ.



Εικόνα 34. Ο Παντοκράτορας του Δαφνίου, πριν τον σεισμό του 1889. Φωτογραφία: G. Millet. 1899.

Η αυστηρότητα αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα ισχυρά τοξωτά φρύδια και τις σκούρες σκιές κάτω από αυτά, αλλά και κάτω από τα μάτια (Λαζαρίδης, 1977). Η εντύπωση της αυστηρότητας επιτείνεται λόγω της σκουρόχρωμης πυκνής γενειάδας του.

Η σχετικά σχηματική και επίπεδη απόδοση των πλαστικών αξιών του προσώπου του Παντοκράτορα, τον απομακρύνει από την κλασικιστική τεχνοτροπία με την οποία έχουν εκτελεστεί όλες οι άλλες μορφές. Με το δεξί του χέρι ευλογεί, ενώ με το αριστερό κρατά χρυσόδετο Ευαγγέλιο. Η μεγάλη απόσταση που χωρίζει τον δείκτη από το μεσαίο δάχτυλο προσδίδει ένταση στη χειρονομία, κάτι που βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία με τον όλο δυναμισμό της μορφής (Λερίου, 2006). Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι η απόκοσμη, αυστηρή μορφή του σε συνδυασμό με την πνευματικότητα και εκφραστικότητα που αποπνέει αποτελεί προάγγελο αυτού που σήμερα ονομάζουμε εξπρεσιονιστική τέχνη (Talbot-Rice, 1994). Ακόμη, η επιλογή του τρούλου για την απεικόνιση του Χριστού δεν είναι τυχαία, καθώς

συμβολίζει την υπεροχή του Παντοκράτορα, όπως αντίστοιχα και ο τρούλος κυριαρχεί και χαρακτηρίζει ολόκληρο το οικοδόμημα (Καρακατσάνη, 2001).

Στη ζώνη που βρίσκεται κάτω από τον Παντοκράτορα, δηλαδή στο τύμπανο του τρούλου, ανάμεσα στα παράθυρα εικονίζονται οι δεκαέξι Προφήτες (Λαμπάκης, 1889), οι οποίοι κατέγραψαν τη θεία ενσάρκωση και έδρασαν ως σύνδεσμοι μεταξύ της ουράνιας της γήινης σφαίρας. Από αυτούς, οι τέσσερις είναι μεγάλοι και δώδεκα μικροί. Η διάταξή τους είναι μετωπική και τα χαρακτηριστικά τους όμορφα. Οι κινήσεις τους χαρακτηρίζονται από εκφραστικότητα, ενώ η στάση τους θυμίζει αρχαία ελληνικά αγάλματα (Λαζαρίδης, 1977).



Εικόνα 35. Το ψηφιδωτό του Παντοκράτορα στο μέταλλο και των δεκαέξι Προφητών στο τύμπανο του τρούλου (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 2019)

Η κλασικιστική αντίληψη είναι ιδιαίτερα εμφανής στο ανάγλυφο πλάσιμο κάποιων μορφών, καθώς και στη σχολαστική έκφραση των ματιών τους. Ωστόσο, κάποιοι από τους εικονιζόμενους προφήτες φαίνεται να έχουν πρόσωπα αυστηρά και με έντονη σκίαση, θυμίζοντας την μορφή του Παντοκράτορα που περιστοιχίζουν (Λερίου, 2006). Τα ημιχώνια που σχηματίζονται στις γωνίες της βάσης του τρούλου φιλοξενούν τέσσερις σημαντικές σκηνές από τη ζωή του Χριστού. Στο βορειοανατολικό ημιχώνιο βρίσκεται ο Ευαγγελισμός, στο νοτιοανατολικό η Γέννηση, στο νοτιοδυτικό η Βάπτισμα, ενώ στο βορειοδυτικό η Μεταμόρφωση (Λαμπάκης, 1889).

Από τις συγκεκριμένες παραστάσεις, άλλες σώζονται σε μεγαλύτερο και άλλες σε μικρότερο βαθμό. Αναλυτικότερα, όσον αφορά την σκηνή του Ευαγγελισμού της Θεοτόκου, οι εκφραστικές μορφές του Αρχαγγέλου Γαβριήλ και της Παναγίας εικονίζονται μέσα σε απέραντο χρυσό κάμπο. Ο Αρχάγγελος πλησιάζει την Παναγία με ήρεμη και αρμονική κίνηση, παραπέμποντας σε αρχαιοελληνική αναπαράσταση της θεάς Νίκης. Τα ρούχα του έχουν πτυχώσεις και ακολουθούν τις κινήσεις του σώματός του. Η Παναγία, βρισκόμενη στα αριστερά, απεικονίζεται

μετωπικά και στέκεται μπροστά σε ένα θρόνο με το κεφάλι της ελαφρώς γυρισμένο προς τα δεξιά. Η έκφραση και των δύο μορφών είναι ευγενική και γαλήνια. Τα φτερά του Αρχαγγέλου και τα ρούχα και των δύο προσώπων έχουν διακοσμηθεί κατά τόπους με χρυσές ψηφίδες (Λερίου, 2006).

Πολυπρόσωπη και με περισσότερα επεισόδια είναι η σκηνή της Γέννησης του Χριστού. Διαδραματίζεται σε σχεδόν ειδυλλιακό τοπίο (Χατζηδάκη, 1995). Το βραχώδες σπήλαιο που φιλοξενεί την Παναγία και τον σπαργανωμένο νεογέννητο Χριστό, φωτίζεται από την λάμψη του αστεριού, δημιουργώντας χρυσές ανταύγειες, ενώ ταυτόχρονα περιβάλλεται από χαμηλούς λόφους με περιορισμένη βλάστηση. Μπροστά, η Θεοτόκος βρίσκεται μισοξαπλωμένη και ο Ιωσήφ, στα δεξιά της, φαίνεται σκεπτικός. Δίπλα του διακρίνεται ομάδα προβάτων που πίνει νερό από ένα ρυάκι. Ο κλασικισμός που χαρακτηρίζει την απόδοση του τοπίου βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία με τις μορφές της Παναγίας και του Ιωσήφ, καθώς και των τεσσάρων αγγέλων και των δύο βοσκών που γεμίζουν την ανώτερη ζώνη παράστασης. Και οι δύο πτυχολογίες είναι ήρεμες και αρμονικές, ενώ η μορφοποίηση των προσώπων χαρακτηρίζεται από έντονη πλαστικότητα (Λερίου, 2006).



Εικόνα 36. Η Γέννηση του Ιησού Χριστού. Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ

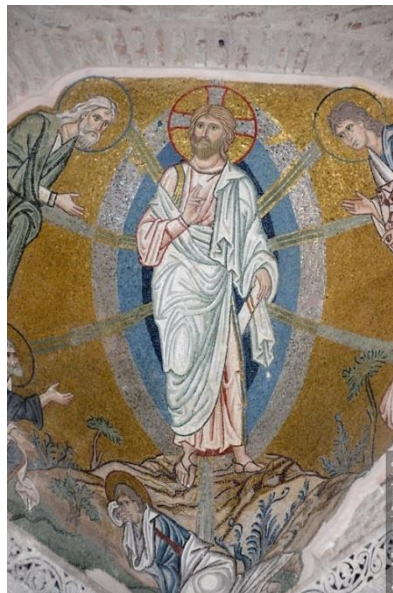
Η σκηνή της Βάπτισης του Χριστού χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη συμμετρία. Στο κέντρο της κυριαρχεί η γυμνή μορφή του Ιησού, με ροδαλή σάρκα και σωστές αναλογίες, εμβαπτισμένος μέχρι το στήθος στα νερά του Ιορδάνη. Η ελαφριά στροφική κίνησή του θυμίζει κλασικό άγαλμα. Πάνω του παρουσιάζεται το Άγιο Πνεύμα, που συμβολίζεται με τη μορφή περιστεριού, ενώ δεξιά του βρίσκεται ο Ιωάννης ο Πρόδρομος.

Πίσω από τον Βαπτιστή βρίσκονται δύο μαθητές του, ενώ στα δεξιά βρίσκονται δύο άγγελοι με τα χέρια τους σκεπασμένα με πανιά, προκειμένου να σκουπίσουν το σώμα του Χριστού μετά την ολοκλήρωση της βάπτισης (Λαμπάκης, 1899). Το χέρι

και το πόδι που διακρίνονται στη κάτω δεξιά πλευρά ανήκουν σε γέροντα, ο οποίος είναι η προσωποποίηση του Ιορδάνη (Λαζαρίδης, 1977). Το σώμα του Χριστού έχει πλαστεί με αβρότητα μέσω της χρήσης μικρότατων ψηφίδων. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι πρόκειται για μία από τις ελάχιστες παραστάσεις Βαπτίσεως, όπου ο Χριστός εικονίζεται εντελώς γυμνός.



Εικόνα 37. Η Βάπτιση του Ιησού Χριστού. Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ



Εικόνα 38. Η Μεταμόρφωση του Ιησού Χριστού. Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ

Η τελευταία παράσταση των ημιχωνίων είναι αφιερωμένη στην Μεταμόρφωση του Χριστού. Σε αυτή, ο Χριστός δεσπόζει σε χαλαρή μετωπική στάση αρχαίου ρήτορα στο όρος Θαβώρ. Με το δεξί χέρι ευλογεί, ενώ στο αριστερό κρατά τυλιγμένο ειλητάριο. Η μορφή αντλεί τα πρότυπά της από τη γλυπτική των κλασικών χρόνων. Το Θαβώρ αποδίδεται ως σειρά χαμηλών λόφων στο κατώτατο μέρος της σύνθεσης, όπου βρίσκονται και οι απόστολοι Πέτρος, Ιωάννης και Ιάκωβος. Αριστερά και δεξιά του Ιησού βρίσκονται οι προφύτες Ηλίας και Μωυσής (Λαμπάκης, 1889). Παρά τον μεταφυσικό χαρακτήρα της σκηνής, οι κινήσεις των μορφών χαρακτηρίζονται από χάρη και η πτυχολογία εναρμονίζεται με τη συκρατημένη κίνηση των σωμάτων. Οι σωματικοί όγκοι και οι πλαστικές αξίες των ανθρώπων αποδίδονται με ανάγλυφο τρόπο (Λερίου, 2006).

Στις κόγχες που σχηματίζονται κάτω από τα ημιχώνια, εικονίζονται σε στηθάρια ο Προφήτης Άαρων (βορειοανατολικό ημιχώνιο), ο Άγιος Γρηγόριος ο Ακραγαντινός (νοτιοανατολικό ημιχώνιο), ο Άγιος Γρηγόριος ο Θαυματουργός (νοτιοδυτικό ημιχώνιο) και ο Προφήτης Ζαχαρίας (βορειοδυτικό ημιχώνιο). Στο άνω μέρος του ανατολικού τοίχου της βόρειας κεραίας βρίσκεται η σκηνή της Γέννησης της Θεοτόκου, στην οποία η Αγία Άννα είναι ξαπλωμένη σε χρυσή κλίνη. Δίπλα της εικονίζονται τρεις θεραπαινίδες που την φροντίζουν προσφέροντάς της φαγητό και κάνοντάς της αέρα. Στο κάτω μέρος της παράστασης εντοπίζονται ακόμη δύο θεραπαινίδες, δίπλα στη νεογέννητη Θεοτόκο, η οποία βρίσκεται μέσα σε λεκάνη με νερό. Από αυτές, η μία πλένει το βρέφος, ενώ η νεαρότερη, κρατώντας στα χέρια της μία κανάτα γεμίζει τη λεκάνη με νερό (Λαμπάκης, 1899).

Συνεχίζοντας, κάτω από τη Γέννηση της Θεοτόκου βρίσκεται η Σταύρωση του Ιησού, που χαρακτηρίζεται από απλότητα αλλά και πολλή δραματικότητα. Η σκηνή περιορίζεται στα τρία κύρια πρόσωπα του δράματος. Μέσα σε χρυσό κάμπο, ο Εσταυρωμένος κυριαρχεί, έχοντας τα μάτια του κλειστά και το σώμα του σε ελαφριά κάμψη. Η αρμονική σωματική διάπλασή του αντικατοπτρίζει κλασικά πρότυπα. Η Παναγία και ο Ιωάννης στέκονται εκατέρωθεν του με μελαγχολικές εκφράσεις, αλλά και ευγενικές χειρονομίες αντίστοιχες με αυτές επιτύμβιων γλυπτών της κλασικής αρχαιότητας. Η Παναγία, στα αριστερά, δείχνει προς τον Χριστό με το δεξί χέρι, ενώ φέρνει το αριστερό κάτω από το πηγούνι, κρατώντας ένα μικρό μαντήλι. Τόσο η έκφραση όσο και η στάση της Παναγίας δείχνουν τον μεγάλο πόνο της μητέρας, χωρίς δάκρυα και θρήνους (Λαζαρίδης, 1977). Αντίστοιχα, ο Ιωάννης, στα δεξιά, γέρνει το κεφάλι του προς τον Χριστό και στρέφει το βλέμμα του στην αντίθετη κατεύθυνση, σηκώνοντας προς τα πάνω το δεξί του χέρι. Όλες οι μορφές της παράστασης χαρακτηρίζονται από σωστές αναλογίες και ανάγλυφη πλαστικότητα, λόγω των μαλακών χρωματικών τόνων και της απουσίας έντονων φωτοσκιάσεων (Λερίου, 2006).



Εικόνα 39. Η Σταύρωση του Ιησού Χριστού. Φωτογραφία : Αντώνιος Ποσπέλοφ.

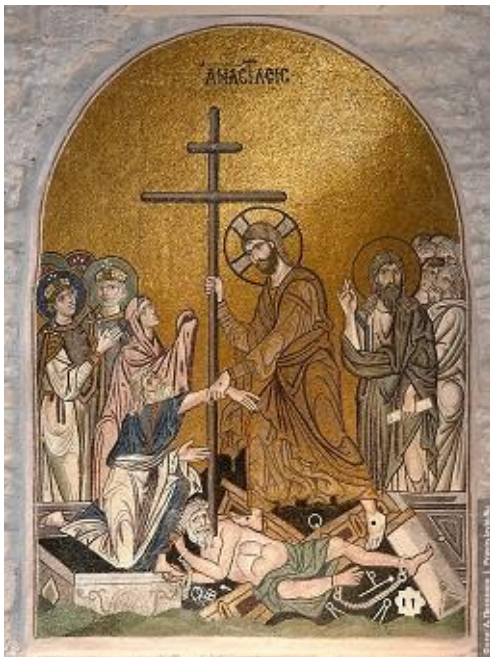


Εικόνα 90. Η Είσοδος στα Ιεροσόλυμα. Φωτογραφία: Αντώνιος Ποσπέλοφ.

Στο κάτω μέρος του δυτικού τμήματος της βόρειας κεραιάς εικονίζεται η Είσοδος στα Ιεροσόλυμα (Βαϊοφόρος), σύμφωνα με τις διηγήσεις των Ευαγγελίων. Σε αυτή, ο Ιησούς καθισμένος σε λευκό ονάριο και συνοδευόμενος από δύο μαθητές του, Πέτρο και Ιωάννη οδεύει προς την Ιερουσαλήμ, που παρουσιάζεται ως κυκλικό φρούριο. Στο αριστερό του χέρι κρατά ειλητάριο, με το δεξί του χέρι ευλογεί, ενώ μπροστά του βρίσκονται παιδιά, που στρώνουν ιμάτιο στον δρόμο (Λαμπάκης, 1899).

Στο άνω μέρος του δυτικού τοίχου της βόρειας κεραίας βρισκόταν η σκηνή της Έγερσης του Λαζάρου, η οποία στις μέρες μας είναι πλήρως κατεστραμμένη. Επιπλέον, πάνω από το τρίβολο παράθυρο υπάρχουν οι άγιοι Ανδρόνικος, Τάραχος και Πρόβος. Ο ανατολικός τοίχος της βόρειας κεραίας κοσμείται από την Προσκύνηση των Μάγων. Σε αυτή η Παναγία, καθισμένη σε θρόνο κρατά στα χέρια της τον μικρό Χριστό, που ευλογεί τους μάγους (Λερίου, 2006). Οι τρεις μάγοι, Γασπάρ, Μελχιόρ και Βαλτάζαν, ντυμένοι με καταστόλιστα ανατολίτικα ενδύματα, προσφέρουν τα δώρα τους στον νεογέννητο Χριστό και δίπλα τους ο αρχάγγελος Γαβριήλ κρατά χρυσό σκήπτρο.

Κάτω από τη συγκεκριμένη παράσταση βρίσκεται η θεμελιώδης χριστολογική σκηνή της Ανάστασης ή της Καθόδου προς τον Άδη. Ο Χριστός παρουσιάζεται ως θριαμβευτής, φορώντας λευκόχρυσο ιμάτιο και χιτώνα, ενώ κινείται δυναμικά κρατώντας τον σταυρό. Στα αριστερά, μέσα από μια λάρνακα ξεπροβάλλουν ο Αδάμ και η Εύα, ενώ πίσω τους διακρίνονται οι δίκαιοι Δαβίδ και Σολομών, με πολυτελή ενδύματα και χρυσά στέμματα κοσμημένα με πολύτιμους λίθους (Λαμπάκης, 1899). Δεξιά του βρίσκεται ο Ιωάννης ο Πρόδρομος με ομάδα δικαίων (Χατζηδάκης, 1956). Στα πόδια του Χριστού σφαδάζει ηττημένος ο Άδης σε στάση που μαρτυρά την ιδιαίτερη εξοικείωση με τα κλασικά πρότυπα, αλλά και τη δημιουργική αναδιαμόρφωση τους.



Εικόνα 41. Η ανάσταση του Χριστού. Φωτογραφία : Αντώνιος Ποσπέλοφ



Εικόνα 42. Η απιστία του Θωμά. Φωτογραφία : Αντώνιος Ποσπέλοφ

Ολοκληρώνοντας, στον δυτικό τοίχο της νότιας κεραίας βρίσκουμε την Απιστία του Θωμά, από την οποία έχει καταστραφεί το πάνω μέρος (Λαμπάκης, 1899). Ωστόσο, από την παράσταση έχουν διασωθεί μέχρι τις μέρες μας οι μορφές έντεκα προσώπων που περιτριγυρίζουν τον Χριστό, με σκοπό να εξετάσουν τις πληγές του. Από αυτούς, έξι βρίσκονται στην δεξιά πλευρά του και πέντε στην αριστερή. Ο Ιησούς παρουσιάζεται ψηλότερος από όλους, ανάμεσα στους μαθητές, φορώντας

χρυσό χιτώνα, ενώ αριστερά του ο Θωμάς εξετάζει με το δεξί χέρι τις πληγές που βρίσκονται στα πλευρά του.

2.2.3 Τα ψηφιδωτά του Ιερού

Στον θόλο του Ιερού Βήματος είχε άλλοτε τοποθετηθεί η αποκαλυπτική σκηνή της Ετοιμασίας του Θρόνου, η οποία συμβολίζει τη Δευτέρα παρουσία. Δυστυχώς όμως, στις μέρες μας είναι σχεδόν ολοκληρωτικά κατεστραμμένη. Η αψίδα του ναού κοσμεύεται ως συνήθως από την Παναγία, που απεικονίζεται ένθρονη και βρεφοκρατούσα (Λερίου, 2006). Είναι η Πλατυτέρα των Ουρανών, η «σκάλα» μέσω της οποίας επιτεύχθηκε η ενσάρκωση του Θείου. Η μορφή είναι κατεστραμμένη σε μεγάλο βαθμό και σώζεται μόνο το κάτω μέρος της εικόνας. Από μαρτυρίες γίνεται γνωστό ότι η καταστροφή του ψηφιδωτού προήλθε κυρίως εξαιτίας μεγάλης κατακόρυφης ρωγμής στο μέσο του τεταρτοσφαιρίου της αψίδας, με συνέπεια να χωριστεί σε δύο τμήματα (Ξυγγόπουλος, 1934). Η Πλατυτέρα πλαισιώνεται από τους επιβλητικούς Αρχαγγέλους Μιχαήλ (αριστερά) και Γαβριήλ (δεξιά), που στέκονται μετωπικά στις δύο πλάγιες κόγχες και σώζονται σε καλή κατάσταση. Είναι οι φρουροί της Βασίλισσας των Ουρανών, φορούν βαρύτιμα, χρυσοποίκιλτα ενδύματα και πατούν σε πολυτελή υποπόδια (Λαμπάκης, 1999). Η έκφραση των προσώπων τους είναι γαλήνια και σοβαρή.



Εικόνα 43. Άποψη του Ιερού (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 2019).



Εικόνα 44. Άποψη του Ιερού της Μονής Δαφνίου μετά από την αποκάλυψη της Πλατυτέρας. Αρχαιολογική Εφημερίς, 1934).

Το Διακονικό, που βρίσκεται στα νότια του Ιερού Βήματος, φιλοξενεί τις μορφές των αγίων Ελευθερίου, Αβέρκου, Λαυρέντιου και Εύπλου, οι οποίοι βρίσκονται διαταγμένοι ανά ζεύγη στα τόξα που πλαισιώνουν το σταυροθόλιο της οροφής. Στη κόγχη του διακονικού δεσπόζει η μορφή του Αγίου Νικολάου. Αντίστοιχη διαμόρφωση παρατηρείται και στην Πρόθεση, βόρεια του Ιερού Βήματος, όπου εντοπίζονται οι άγιοι Σιλβέστρος, Άνθιμος, Στέφανος και Ρουφίνος, ενώ την κόγχη

της Πρόθεσης καταλαμβάνει ο Άγιος Ιωάννης ο Πρόδρομος (Λαζαρίδης, 1977). Τα πρόσωπα τόσο του Προδρόμου όσο και του Αγίου Νικολάου χαρακτηρίζονται από διαπεραστικό βλέμμα, τοξωτά φρύδια και σκούρες σκιές γύρω από τα μάτια, θυμίζοντας έντονα τον Παντοκράτορα του τρούλου. Πρόκειται για τα μοναδικά παραδείγματα σε ολόκληρο το ψηφιδωτό εικονογραφικό πρόγραμμα του καθολικού του ναού, που δεν ακολουθούν κλασικιστικά πρότυπα (Λερίου, 2006).

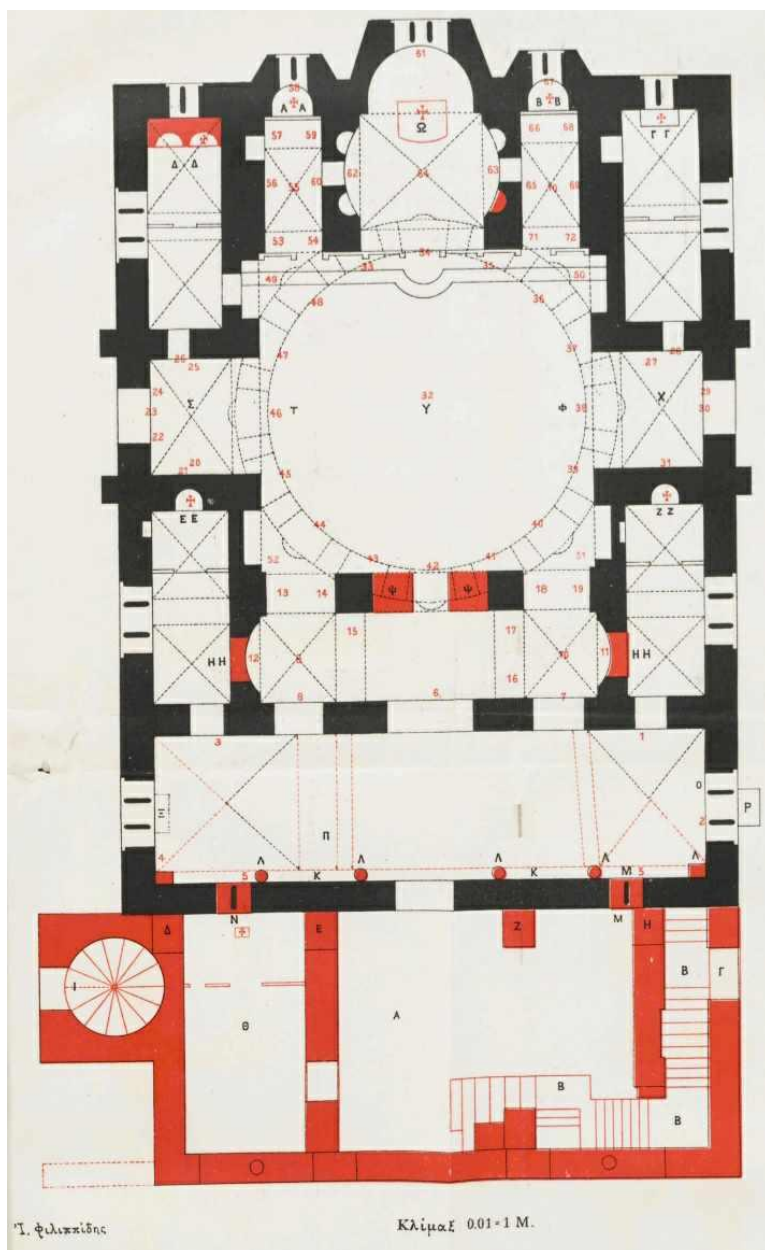
2.2.4 Ο χαρακτήρας των ψηφιδωτών του Δαφνίου

Ως προς την ιστορία της βυζαντινής εικονογραφίας τα ψηφιδωτά του Δαφνίου αποτελούν σημαντικό σταθμό (Αδαμαντίου, 1907). Στο σύνολο τους παρατηρείται έντονη διάθεση για αναβίωση του ανθρωποκεντρικού χαρακτήρα της κλασικής τέχνης. Η αναβίωση αυτή αναδεικνύεται μέσω της θαυμαστής ισορροπίας που χαρακτηρίζει τη διάταξη των συνθέσεων, της πλαστικότητας και τρισδιάστατης αντίληψης των μορφών και του περιβάλλοντος, καθώς και της φωτεινότητας και ηπιότητας των χρωματισμών (Λερίου, 2006). Οι κλασικές καταβολές των προτύπων των ψηφιδωτών επισημάνθηκαν ήδη από τους πρώτους μελετητές του μνημείου (Χατζηδάκη, 1995). Η συνειδητή προσπάθεια απόδοσης της ιδανικής ομορφιάς φανερώνεται στην ήπια απεικόνιση των κινήσεων του σώματος, οδηγώντας στη δημιουργία μορφών που μοιάζουν με αγάλματα. Τα ενδύματα των μορφών χαρακτηρίζονται από πτυχώσεις, ενώ συχνή είναι και η χρήση αποχρώσεων του λευκού, ώστε να έρχονται σε αντίθεση με το χρυσό φόντο. Ακόμη, κατεξοχήν αιτία για τη μοναδική λαμπρότητα των ψηφιδωτών αποτελεί η χρυσή χρυσών και αργυρών ψηφίδων. Όσον αφορά τα συναισθήματα, εικονίζονται συγκρατημένα και οι εκφράσεις των ματιών μοιάζουν ιδιαίτερα στοχαστικές. Παράλληλα, παρατηρείται ιδιαίτερη φροντίδα στη λεπτομερή απόδοση του φυσικού περιβάλλοντος και στη σύνθεση ειδυλλιακών τοπίων (Λερίου, 2006).

Ο ουμανιστικός χαρακτήρας των ψηφιδωτών που κοσμούν τον κυρίως ναό του Καθολικού της Μονής εντοπίζεται στις μικρογραφίες της μακεδονικής αναγέννησης και φανερώνουν τη διάρκεια της κλασικής παράδοσης που τροφοδοτούσε τους ζωγράφους σε εποχές δημιουργικής ανανέωσης (Χατζηδάκη, 1995). Άλλωστε, η αναγέννηση του αρχαίου πνεύματος εναρμονίζεται πλήρως με το πνεύμα της θριαμβεύουσας Εκκλησίας μετά από τη λήξη της Εικονομαχίας (Weitzmann, 1978). Ωστόσο, στο Δαφνί, σε λιγοστές αλλά καίριες παραστάσεις παρατηρείται ένα ρεύμα διαφορετικό, που σκόπιμα απομακρύνεται από τη κλασική αρμονία. Αντιπροσωπευτικότερα δείγματα του παραπάνω αποτελούν ο Παντοκράτορας του τρούλου, κάποιιοι από τους προφήτες που τον πλαισιώνουν, καθώς και ο Άγιος Νικόλαος και ο Άγιος Ιωάννης ο Πρόδρομος, όπου οι αναλογίες είναι σχεδόν παραμορφωμένες, ενώ ταυτόχρονα τα πρόσωπα είναι σχηματοποιημένα, με έντονα γραμμικά χαρακτηριστικά (Diez & Demus, 1931). Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνοτροπία των παραστάσεων του νάρθηκα διαφοροποιείται ελαφρώς από αυτή του κυρίως ναού. Οι μορφές είναι πιο ψιλόλιγνες, η πτυχολογία πιο σχηματοποιημένη και οι κινήσεις και οι εκφράσεις πολύ πιο ζωηρές. Όλα αυτά μας

δίνουν μία πρόγευση των καλλιτεχνικών εξελίξεων της Κομνήνιας περιόδου, τα κύρια χαρακτηριστικά της οποίας είναι η έκφραση του ανθρώπινου πάθους και η έντονη δραματικότητα (Λερίου, 2006).

Αυτός ο ιδιότυπος χαρακτήρας των ψηφιδωτών του Δαφνίου αποτελεί και την αιτία που συσκοτίζεται η χρονολόγησή τους, αφού σε όλη τη τέχνη των Μακεδόνων και των Κομνηνών συνυπάρχουν διάσπαρτα τεχνοτροπικά και εικονογραφικά στοιχεία, που συναντώνται στο Δαφνί. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εμφανές ότι στο Δαφνί δημιουργήθηκαν στη καθαρότερη μορφή τους θέματα και τρόποι έκφρασης της αρχαίας τέχνης που ήταν ήδη γνωστοί, αλλά και άλλοι, νέοι, που τότε εισήχθησαν για να χρησιμοποιηθούν στη θρησκευτική τέχνη.



- Ο νόρθηκος (1-6)**
 1. Η προσοχή της αγίας Άννης.
 2. Η Θεοτόκος ενσαρκείται παρά των ιερών.
 3. Τα Εισόδια της Θεοτόκου.
 4. Ο Δάϊνος ο Μυστικός.
 5. Ο Νατήρ.
 6. Η Προδοσία του Ιούδα.
- Ο κενός ναός**
Το δευτερό τμήμα (7-20)
 7. Η Κοίμηση της Θεοτόκου.
 8. Ο άγιος Σέργιος.
 9. Ο άγιος Βάσχος.
 10. Ομυστικός αστήρ της Αποκαλύψεως.
 11. Έτερος αστήρ.
 12. Ο άγιος Ευστράτιος.
 13. Ο άγιος Αυξέντιος.
 14. Ο άγιος Ευγένιος.
 15. Ο άγιος Μαρδάριος.
 16. Ο άγιος Ορόσιος.
 17. Ο άγιος Ακίντινος.
 18. Ο άγιος Ελπιόφωρος.
 19. Ο άγιος Αναπολόδοτος.
 20. Ο άγιος Πηγάσιος.
- Η βόρεια κεραία (21-27)**
 21. Η Βεΐσοφορος.
 22. Η Έγερσις του Λαζάρου.
 23. Ο άγιος Πρόβλος.
 24. Ο άγιος Τάραχος.
 25. Ο άγιος Ανδρόνικος.
 26. Η Σταύρωση του Κυρίου.
 27. Η Γέννησις της Θεοτόκου.
- Η νότια κεραία (28-32)**
 28. Η Ανάστασις.
 29. Η των Μύλων Προσειρήσις.
 30. Ο άγιος Σαμηνάς.
 31. Ο άγιος Γουρίας.
 32. Η Ψηλάφησης του Θεομ.
- Ο βόρειος και ο νότιος τοίχος (33-36)**
 33. Ο προφήτης Ασαφών.
 34. Ο προφήτης Ζαχαρίας.
 35. Ο άγιος Γρηγόριος ο Αρσενίνος.
36. Ο άγιος Γρηγόριος ο Εκαμμοιουργός.
- Τα ημιχώμα (37-40)**
 37. Ο Ευαγγελιστής της Θεοτόκου.
 38. Η Γέννησις.
 39. Η Βάπτισις.
 40. Η Μεταμόρφωσις.
- Ο τροχός (41-57)**
 41. Ο Παντοκράτωρ.
 42. Ο προφήτης Μωυσής.
 43. Ο προφήτης Δαβίδ.
 44. Ο προφήτης Ηούσις.
 45. Ο προφήτης Σολομών.
 46. Ο προφήτης Ηλίας.
 47. Ο προφήτης Ελισαίος.
 48. Ο προφήτης Ιωνάς.
 49. Ο προφήτης Αββακούμ.
 50. Ο προφήτης Σοφονίας.
 51. Ο προφήτης Μαλαχίας.
 52. Ο προφήτης Δανιήλ.
 53. Ο προφήτης Μιχαίας.
 54. Ο προφήτης Ιεζαΐά.
 55. Ο προφήτης Ζαχαρίας.
 56. Ο προφήτης Ιεζεκιήλ.
 57. Ο προφήτης Ιερεμίας.
- Η πρόθεση (58, 59 και 62-65), το ιερό βήμα (66-68) και το διακονικό (60, 61 και 69-71)**
 58. Ο άγιος Σπύριτος ο Πρωτομάρτυρ.
 59. Ο άγιος Ρουφίνος.
 60. Ο άγιος Λαυρέντιος.
 61. Ο άγιος Εύσταθιος.
 62. Ομυστικός αστήρ της Αποκαλύψεως.
 63. Ο άγιος Ιωάννης ο Πρόδρομος.
 64. Ο άγιος Σύμβροτος.
 65. Ο άγιος Ανθίμος.
 66. Η Θεοτόκος.
 67. Ο αρχάγγελος Μιχαήλ.
 68. Ο αρχάγγελος Γαβριήλ.
 69. Ο άγιος Νικολάος.
 70. Ο άγιος Ελευθέριος.
 71. Ο άγιος Αβέλιος.

Εικόνα 46. Λίστα των εικονογραφημένων παραστάσεων του καθολικού της Μονής Δαφνίου (Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, 2019).

Εικόνα 45. Κάτοψη του καθολικού της Μονής Δαφνίου με σήμανση των εικονογραφημένων θεμάτων, σε σχέδιο του Φιλιππίδη (Λαμπάκης, 1889).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

3.1 Πολιτιστική κληρονομιά

Η πολιτιστική κληρονομιά αντιπροσωπεύει τον πλούτο της ανθρώπινης ιστορίας και του πολιτισμού. Ο όρος είναι πολύπλευρος και πολυδιάστατος, καθώς περιλαμβάνει το σύνολο των πνευματικών, κοινωνικών και υλικών αγαθών που κληροδοτούνται από γενιά σε γενιά. Αποτελεί την ευρύτερη έκφραση της ανθρωπότητας και της δημιουργικότητάς της, ενώ παράλληλα δίνει σε κάθε συγκεκριμένο τόπο αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά, ενσαρκώνοντας την ουσία της ανθρώπινης εμπειρίας (Βουδούρη, 1999). Η υιοθέτηση ενός κοινά αποδεκτού ορισμού σχετικά με την πολιτιστική κληρονομιά αποτελεί δύσκολο εγχείρημα, κάτι που αντανακλά το γεγονός ότι αποτελεί μία δυναμική αλλά και εξελισσόμενη έννοια, που υπογραμμίζει την πολυπολιτισμική ποικιλομορφία της κοινωνίας.

Σύμφωνα με την UNESCO «Η κληρονομιά είναι το αποτύπωμα μας από το παρελθόν, αυτό που ζούμε σήμερα και αυτό που παραδίδουμε στις μελλοντικές γενιές. Η πολιτιστική και φυσική μας κληρονομιά αποτελούν αναπόσπαστες πηγές ζωής και έμπνευσης.» (UNESCO, χ.χ)

Σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία (Ν.3028/2002, άρθρο 1): «Η πολιτιστική κληρονομιά της χώρας αποτελείται από τα πολιτιστικά αγαθά που βρίσκονται εντός των ορίων της ελληνικής επικράτειας, συμπεριλαμβανομένων των χωρικών υδάτων, καθώς και εντός άλλων θαλάσσιων ζωνών, στις οποίες η Ελλάδα ασκεί σχετική δικαιοδοσία σύμφωνα με το διεθνές δίκαιο. Η πολιτιστική κληρονομιά περιλαμβάνει και τα άυλα πολιτιστικά αγαθά.»

Η ευρεία ερμηνεία του όρου οδηγεί στη διάκρισή του σε υποκατηγορίες. Η πολιτισμική κληρονομιά μπορεί να διαχωριστεί σε άυλη και υλική. Η άυλη πολιτιστική κληρονομιά περιλαμβάνει είδη του προφορικού αφηγηματικού λόγου, την προφορική παράδοση, τελετουργίες και δρώμενα, επιτελεστικές τέχνες, ήθη, έθιμα και εορτές, χορό, μουσική, τεχνογνωσία και καλές τεχνικές (Φωτοπούλου, 2016). Αντίστοιχα, η υλική κληρονομιά περιλαμβάνει τον απτό πολιτισμό. Τα υλικά πολιτισμικά αγαθά μπορούν να είναι κινητά και ακίνητα. Στα κινητά αγαθά συγκαταλέγονται τα έργα τέχνης, αντικείμενα καθημερινής χρήσης, γραπτά κ.α., ενώ στα ακίνητα αγαθά περιλαμβάνονται κυρίως κτίρια ή κτιριακά συγκροτήματα, αρχαιολογικοί και ιστορικοί χώροι. Τα αγαθά αυτά, για να θεωρηθούν πολιτιστικά θα πρέπει να παρουσιάζουν ιδιαίτερο αρχαιολογικό, ιστορικό, θρησκευτικό, καλλιτεχνικό, εθνολογικό, τεχνολογικό ή επιστημονικό ενδιαφέρον. Η πολιτιστική κληρονομιά, σε οποιαδήποτε μορφή της, αποτελεί ουσιαστικά μία πρακτική κατανόησης, αξιοποίησης και ανάδειξης του παρελθόντος.

Η πολιτιστική κληρονομιά είναι σημαντική, διότι διαμορφώνει την ταυτότητα, την κοινωνική συνοχή και την ανάπτυξη της κοινωνίας. Εμπλουτίζει την προσωπική ζωή των πολιτών, αποτελώντας την κινητήρια δύναμη για τον πολιτιστικό και δημιουργικό τομέα, ενώ ταυτόχρονα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία

και την ενίσχυση του κοινωνικού κεφαλαίου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, χ.χ). Ωστόσο, η βιομηχανία της πολιτιστικής κληρονομιάς δεν είναι απαλλαγμένη από αμφισβησίες και προβληματισμούς σχετικά με το περιεχόμενό και τη διαχείρισή της από τους υπεύθυνους θεσμικούς φορείς (Harrison, 2013), ενώ άλλοι επικριτές επισημαίνουν ότι αποτελεί ισχυρή ιδεολογική βάση εθνικών ταραχών. Στον αντίποδα, οι υπέρμαχοί της θεωρούν ότι αποτελεί την αφετηρία και την παρακαταθήκη όλων των πολιτισμικών ταυτοτήτων του παρελθόντος (Hoelscher, 2006).

Οι διαφορετικές ερμηνείες και διαχειριστικές προσεγγίσεις της πολιτιστικής κληρονομιάς σε παγκόσμιο επίπεδο ανέδειξαν κοινά προβλήματα και αντιλήψεις, που οδήγησαν στην δημιουργία οργανισμών και θεσμών παγκόσμιας αναγνώρισης (Οικονόμου, 2018). Η προστασία, η διαφύλαξη και η προώθηση των πολιτιστικών αγαθών μέσω διεθνών και εθνικών φορέων αναδεικνύει την αναμφισβήτητη σπουδαιότητα που τα χαρακτηρίζει. Οι σημαντικότεροι οργανισμοί για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι:

- **UNESCO** (Εκπαιδευτικός Επιστημονικός και Πολιτισμικός Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών): διεθνής οργανισμός του ΟΗΕ που ιδρύθηκε το 1945 με έδρα το Παρίσι. Στόχος του η διατήρηση, η προαγωγή και η διάδοση της γνώσης που θα εξασφαλίσει τη συντήρηση και την προστασία της παγκόσμιας κληρονομιάς, μέσα από την τήρηση διεθνών συμβάσεων. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την UNESCO παρουσιάζονται στη συνέχεια.
- **ICCROM** (Διεθνές Κέντρο για τη Μελέτη της Συντήρησης και της Αποκατάστασης των Πολιτιστικών Αγαθών): διεθνές διακυβερνητικό όργανο με έδρα τη Ρώμη. Ιδρύθηκε το 1956 και επικεντρώνεται στην έρευνα, την εκπαίδευση και την προώθηση της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, σε συνεργασία με άλλους φορείς, παρέχοντας γνώσεις και εργαλεία σχετικά με πολιτιστικά θέματα σε διεθνές αλλά και εθνικό επίπεδο.
- **ICOMOS** (Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοπίων): διεθνής μη κυβερνητική οργάνωση με έδρα το Παρίσι. Ιδρύθηκε το 1965 από τον ΟΗΕ και αποτελείται από διεπιστημονικό δίκτυο εμπειρογνομόνων. Συνεργάζεται με την UNESCO και αποστολή του είναι αφενός η συνεισφορά στη διατήρηση, προστασία και ενίσχυση μνημείων και οικοδομικών χώρων όπως κτήρια, ιστορικές πόλεις, πολιτιστικά τοπία και αρχαιολογικοί χώροι και αφετέρου η εκπαίδευση επαγγελματιών σε τέτοιους τομείς.
- **ICOM** (Διεθνές Συμβούλιο Μουσείων): διεθνής οργανισμός που ιδρύθηκε το 1946, με έδρα το Παρίσι. Αρμοδιότητά του η σύνδεση μουσείων και επαγγελματιών αυτού του τομέα από όλον τον κόσμο, προάγοντας τη συνεργασία, την έρευνα και την εκπαίδευση. Στόχοι του αποτελούν η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, η καταπολέμηση της παράνομης διακίνησης πολιτιστικών αγαθών καθώς και η ανάπτυξη και διαχείριση των μουσείων.

- **OWHC** (Οργανισμός Πόλεων Παγκόσμιας Κληρονομιάς): διεθνής μη κυβερνητική οργάνωση που ιδρύθηκε το 1993 στη Κρακοβία. Θεμέλιο της αποτελεί η διεθνής συνεργασία και ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών μεταξύ των μελών της, σχετικά με τη διατήρηση και ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς που βρίσκεται σε πόλεις ή ιστορικά κέντρα.

3.1.1 Διεθνείς συμβάσεις για την πολιτιστική κληρονομιά

Η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς έχει βαθιές ρίζες στην ιστορία της ανθρωπότητας, κάτι που αποδεικνύεται από το γεγονός ότι πολλοί αρχαίοι πολιτισμοί είχαν νόμους και κανονισμούς για τη διατήρηση των μνημείων και των τεχνών τους. Στη σύγχρονη εποχή, ο Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος αποτέλεσε την αφορμή που οδήγησε στην αύξηση της επίγνωσης για την ανάγκη προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς, αλλά και τη δημιουργία οργανισμών και διεθνών συμβάσεων για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Αναλυτικότερα μερικές από τις σημαντικότερες συμβάσεις που αποσκοπούν στην προστασία των πολιτιστικών αγαθών είναι:

- **Διεθνής Σύμβαση της Χάγης για την προστασία των πολιτιστικών αγαθών σε περίπτωση ένοπλης σύρραξης.** Υπογράφηκε στη Χάγη στις 14 Μαΐου **1954** και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες διεθνείς συμφωνίες που αφορούν την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, εστιάζοντας στην προστασία πολιτιστικών αγαθών όπως μνημεία, μουσεία, βιβλιοθήκες κ.α, κατά τη διάρκεια συγκρούσεων και πολέμων.
- **Ο Χάρτης της Βενετίας για την Αποκατάσταση και Συντήρηση Μνημείων και Μνημειακών Συνόλων.** Δημιουργήθηκε το **1964** στη Βενετία κατά το Δεύτερο Διεθνές Συνέδριο Αρχιτεκτόνων και Τεχνικών των Ιστορικών Μνημείων και υιοθετήθηκε στο πλαίσιο του 2ου Διεθνούς Συμβουλίου του ICOMOS. Μέσα από τα άρθρα του προσφέρει κατευθυντήριες γραμμές για τη συντήρηση και την αποκατάσταση αρχιτεκτονικών μνημείων και πολιτιστικών αγαθών.
- **Ευρωπαϊκή Σύμβαση για την Προστασία της Αρχαιολογικής Κληρονομιάς.** Δημιουργήθηκε από υιοθετήθηκε από το Συμβούλιο της Ευρώπης το **1969** στο Λονδίνο. Στοχεύει στην προστασία και τη διατήρηση της αρχαιολογικής κληρονομιάς στα κράτη μέλη του Συμβουλίου της Ευρώπης, περιλαμβάνοντας μέτρα για την προστασία των αρχαιολογικών ευρημάτων, των αρχαιολογικών ανασκαφών και την πρόληψη της λεηλασίας και παράνομης εμπορίας.
- **Διεθνής σύμβαση σχετικά με τα ληπτέα μέτρα για την απαγόρευση και παρεμπόδιση της παράνομης εισαγωγής, εξαγωγής και μεταβίβασης της κυρότητας πολιτιστικών αγαθών.** Υιοθετήθηκε από την UNESCO στο Παρίσι

το **1970** και αποσκοπεί στην προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς από τη λεηλασία και την παράνομη εμπορία. Επιπλέον, προωθεί την επιστροφή κλεμμένων πολιτιστικών αγαθών στις χώρες προέλευσής τους και καλεί τις χώρες να θεσπίσουν εθνική νομοθεσία, με σκοπό την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς.

- **Διεθνής Σύμβαση για την Προστασία της Παγκόσμιας Πολιτιστικής και Φυσικής Κληρονομιάς.** Υιοθετήθηκε από την UNESCO στο Παρίσι στις 16 Νοεμβρίου **1972** και θέτει πρότυπα για την προστασία και τη διατήρηση των πολιτιστικών μνημείων και της φυσικής κληρονομιάς. Δίνει έμφαση στη συνεργασία των χωρών και στην εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με την σημασία της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς.
- **Η Σύμβαση της Γρενάδας για την Προστασία της Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς της Ευρώπης.** Δημιουργήθηκε από το Συμβούλιο της Ευρώπης στις 3 Οκτωβρίου **1985** και στοχεύει στην προστασία και τη διατήρηση της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς της Ευρώπης. Προωθεί τη συνεργασία μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών για τη διασφάλιση της διάδοσης της αρχιτεκτονικής πολιτιστικής κληρονομιάς στις μελλοντικές γενιές.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Πολιτισμού, σε εθνικό επίπεδο, η διαφύλαξη και η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς επιτυγχάνονται μέσω των ακόλουθων νομοθετικών πλαισίων:

- Νόμος υπ' αριθμ. **1103/1980**, με τον οποίο κυρώνεται η διεθνής σύμβαση της UNESCO (1970) για την παρεμπόδιση της παράνομης διακίνησης πολιτιστικών αγαθών. ΦΕΚ 297/A/ 29 Δεκεμβρίου 1980
- Νόμος υπ' αριθμ. **2121/1993** «Πνευματική Ιδιοκτησία, συγγενικά δικαιώματα και πολιτιστικά θέματα». ΦΕΚ 25/A/ 4 Μαρτίου 1993
- Νόμος υπ' αριθμ. **3028/2002** «Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς». ΦΕΚ 153/A/ 28 Ιουνίου 2002
- Νόμος υπ' αριθμ. **3057** «Τροποποίηση και συμπλήρωση του Ν. 2725/1999, ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Πολιτισμού και άλλες διατάξεις». ΦΕΚ 239/ 10 Οκτωβρίου 2002, άρθρο 80
- Νόμος υπ' αριθμ. **3348/2005** «Κύρωση της Σύμβασης Unidroit για τα κλαπέντα ή παρανόμως εξαχθέντα πολιτιστικά αγαθά». ΦΕΚ 144/A/ 23 Ιουνίου 2005
- Νόμος υπ' αριθμ. **3525/2007** «Πολιτιστική Χορηγία». ΦΕΚ 16/A/ 26 Ιανουαρίου 2007.

3.1.2 Μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς UNESCO

Η UNESCO, «Εκπαιδευτικός Επιστημονικός και Πολιτιστικός Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών» αποτελεί οργάνωση που λειτουργεί διεθνώς, με σκοπό την προώθηση της παγκόσμιας συνεργασίας αναφορικά με την εκπαίδευση, την επιστήμη, τον πολιτισμό και την επικοινωνία. Ιδρύθηκε το 1945 στο Παρίσι και στις μέρες μας περιλαμβάνει 195 κράτη μέλη. Βασικοί της στόχοι είναι η προώθηση της ειρήνης και της βιώσιμης ανάπτυξης μέσω διάφορων πρωτοβουλιών.

Ένα σημαντικό μέρος της δραστηριότητας της UNESCO περιλαμβάνει το πρόγραμμα που ονομάζεται «Παγκόσμια Κληρονομιά», το οποίο ξεκίνησε το 1972 και αποτελεί ένα σημαντικό μέσο που στοχεύει στον εντοπισμό, την προστασία και τη διατήρηση της παγκόσμιας πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς. Μέρος του συγκεκριμένου προγράμματος είναι ο Κατάλογος των «Μνημείων Παγκόσμιας Κληρονομιάς».

Για την UNESCO, ο όρος μνημείο περιλαμβάνει τόσο την πολιτιστική όσο και τη φυσική κληρονομιά που έχει ιδιαίτερη αξία για την ανθρωπότητα. Πιο συγκεκριμένα, στα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς συμπεριλαμβάνονται αρχιτεκτονικά έργα, κτίρια, πόλεις, αρχαιολογικοί χώροι, έργα τέχνης ή άλλες ανθρώπινες δημιουργίες που έχουν ιστορική, πολιτιστική, αρχιτεκτονική, αρχαιολογική, εθνολογική ή αισθητική σημασία. Αντίστοιχα, στα μνημεία φυσικής κληρονομιάς εντάσσονται φυσικά φαινόμενα όπως τοπία, οικοσυστήματα, θαλάσσιες περιοχές, καθώς και φυσικοί και γεωλογικοί σχηματισμοί, που έχουν εξαιρετική επιστημονική, φυσική, οικολογική ή αισθητική αξία. Τα μνημεία αυτά διαθέτουν σημαντική πολιτιστική σημασία και συμβάλλουν στην πιο βαθιά κατανόηση της παγκόσμιας κληρονομιάς, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν ως παρακαταθήκη για τις επόμενες γενιές. Οι προσπάθειες της UNESCO για την προστασία των μνημείων προϋποθέτουν στενή διεθνική συνεργασία.

Για την συμπερίληψη ενός μνημείου στον Κατάλογο Πολιτισμικής Κληρονομιάς της UNESCO, θα πρέπει να έχει εξαιρετική οικουμενική αξία καθώς και να πληροί τουλάχιστον ένα από τα δέκα κριτήρια επιλογής που έχουν θεσπιστεί. Τα κριτήρια αυτά, παρουσιάζονται εκτενέστερα στο «Κατευθυντήριες Γραμμές για την Εφαρμογή της Σύμβασης για την Παγκόσμια Κληρονομιά» της UNESCO. Αυτές, εκτός από το κείμενο της Σύμβασης του 1972, αποτελούν το βασικότερο εργαλείο για την αναγνώριση της Παγκόσμιας Κληρονομιάς. Τα κριτήρια αναθεωρούνται τακτικά, με σκοπό να αντικατοπτρίζουν την εξέλιξη της ίδιας της έννοιας του όρου. Εκτός από τη τήρηση τουλάχιστον ενός κριτηρίου, το μνημείο ή η περιοχή θα πρέπει να παρουσιάζει σημαντική πολιτιστική, ιστορική, επιστημονική, ή φυσική αξία, ώστε να δικαιολογείται η εγγραφή του στον κατάλογο της UNESCO. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει:

- I. «Να είναι αριστουργηματικό δείγμα της ανθρώπινης δημιουργικότητας.»
- II. «Να παρουσιάζει σημαντική ανταλλαγή ανθρώπινων αξιών σε ένα χρονικό διάστημα ή σε μια πολιτισμική περιοχή του κόσμου, όσον αφορά στην

αρχιτεκτονική ή στην τεχνολογική εξέλιξη, στην τέχνη των μνημείων, την πολεοδομία ή τον σχεδιασμό τοπίων.»

- III. «Να αποτελεί μοναδική ή τουλάχιστον εξαιρετική μαρτυρία για μια πολιτισμική παράδοση ή έναν πολιτισμό που επιβιώνει μέχρι σήμερα ή έχει εξαφανιστεί.»
- IV. «Να αποτελεί εξαιρετικό παράδειγμα αρχιτεκτονικής κτιρίου, αρχιτεκτονικού ή τεχνολογικού συμπλέγματος ή τοπίου που απεικονίζει σημαντικές περιόδους στην ανθρώπινη ιστορία.»
- V. «Να αποτελεί εξαιρετικό παράδειγμα ενός παραδοσιακού οικισμού, αξιοποίησης της γης ή της θάλασσας, που να είναι ενδεικτικό ενός πολιτισμού (ή περισσοτέρων) ή αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με το περιβάλλον, ιδιαίτερα όταν αυτό έχει καταστεί ευάλωτο υπό την επίδραση αμετάκλητων αλλαγών.»
- VI. «Να συνδέεται άμεσα ή έμμεσα με γεγονότα ή ζωντανές παραδόσεις, ιδέες ή αντιλήψεις, με καλλιτεχνικά ή λογοτεχνικά έργα εξαιρετικής παγκόσμιας σημασίας.» (Η Επιτροπή συστήνει όπως αυτό το κριτήριο χρησιμοποιείται κατά προτίμηση σε συνδυασμό με άλλα κριτήρια.)
- VII. «Να περιέχει φυσικά φαινόμενα σε υπερθετικό βαθμό ή περιοχές εξαιρετικής φυσικής ομορφιάς και αισθητικής σημασίας.»
- VIII. «Να αποτελεί εξαιρετικό παράδειγμα εκπροσώπησης σημαντικών σταδίων της ιστορίας της γης, όπως καταγραφή ζωής, σημαντικές γεωλογικές διαδικασίες σε εξέλιξη, ενδεικτικές της γεωμορφολογίας ή σημαντικών φυσιογραφικών γνωρισμάτων.»
- IX. «Να αποτελεί εξαιρετικό παράδειγμα σημαντικών οικολογικών και βιολογικών διαδικασιών στην εξέλιξη και την ανάπτυξη της γης, του νερού, παράκτιων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων και κοινοτήτων ζώων και φυτών.»
- X. «Να περιλαμβάνει τα πιο σημαντικά και ενδεικτικά φυσικά καταλύματα για διατήρηση της επιτόπιας βιολογικής ποικιλομορφίας, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που περιέχουν απειλούμενα είδη εξαιρετικής παγκόσμιας σημασίας από άποψη επιστήμης ή συντήρησης.» (UNESCO, 1972)

Για την αναγνώριση της οικουμενικής αξίας ενός μνημείου πέρα από τα κριτήρια που αναφέρθηκαν, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τρεις ακόμη παράγοντες, που περιλαμβάνουν την αυθεντικότητα (authenticity), την ακεραιότητα (integrity) καθώς και την ύπαρξη ειδικών μέτρων, με σκοπό την προστασία του από ειδικά συστήματα διαχείρισης (protection and management requirements).

Η έννοια της αυθεντικότητας ενός μνημείου αναφέρεται στη διατήρηση της πρωτότυπης μορφής του, δηλαδή των αρχικών, γνήσιων χαρακτηριστικών του όσον αφορά την αρχιτεκτονική, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του καθώς και την πνευματική και ιστορική του συνέχεια, που το καθιστά σημαντικό. Στο πλαίσιο αυτό, κάθε προσπάθεια αναστήλωσης ή συντήρησης θα πρέπει να

πραγματοποιείται με σεβασμό προς την αρχική κατάσταση του μνημείου, και με γνώση και χρήση παλαιότερων τεχνικών και υλικών, με σκοπό να διατηρηθεί σε μέγιστο βαθμό η μοναδικότητα και ιστορικότητα του μνημείου για τις επόμενες γενιές.

Η έννοια της ακεραιότητας αφορά αγαθά πολιτισμικής αλλά και φυσικής κληρονομιάς. Για την καλύτερη κατανόησή της, η UNESCO την διαχωρίζει σε τρεις επιμέρους έννοιες: την πληρότητα, την ακεραιότητα των χαρακτηριστικών και την απουσία απειλών. Πιο αναλυτικά, η πληρότητα αναφέρεται στην ύπαρξη όλων των απαραίτητων χαρακτηριστικών που βρίσκονται εντός του μνημείου. Η ακεραιότητα των χαρακτηριστικών αυτών σημαίνει ότι όλα τα γνωρίσματα του μνημείου εξακολουθούν να επιβιώνουν στο πέρασμα του χρόνου άθικτα ή χωρίς να έχουν υποστεί σημαντικές ζημιές ή αλλοιώσεις. Αντίστοιχα, η απουσία απειλών υποδεικνύει ότι κανένα από τα χαρακτηριστικά του μνημείου δεν απειλείται από φθορά ή παραμέληση.

Οι απαιτήσεις και τα μέτρα προστασίας και διαχείρισης των μνημείων Παγκόσμιας Κληρονομιάς είναι σημαντικές για την βιωσιμότητα και τη διατήρησή τους. Οι «Κατευθυντήριες Γραμμές για την Εφαρμογή της Σύμβασης Πολιτιστικής Κληρονομιάς» παρέχουν καθοδήγηση στις χώρες σχετικά με την αποτελεσματική διαχείριση των πολιτιστικών αγαθών. Ταυτόχρονα, περιλαμβάνει σχέδια διαχείρισης, παροχή νομικής προστασίας και λήψη έκτακτων μέτρων για την αντιμετώπιση εκτάκτων καταστάσεων. Με τον τρόπο αυτό, ενισχύεται η παρακολούθηση του μνημείου μέσω ειδικών αναφορών αλλά και προωθείται η διεθνής συνεργασία πάνω σε ζητήματα πρόληψης και διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Στην Ελλάδα υπάρχουν δεκαοκτώ μνημεία Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO. Η Μονή Δαφνίου αποτελεί μία ενιαία εγγραφή μαζί με την Μονή του Οσίου Λουκά στη Φωκίδα και τη Νέα Μονή Χίου από το 1990. Παρά τη σημαντική γεωγραφική τους απόσταση και τα τρία μοναστήρια ανήκουν στην ίδια τυπολογική σειρά, έχοντας κτισθεί με μεγάλο θόλο, ο οποίος στηρίζεται με μικρές αψίδες δημιουργώντας έναν οκταγωνικό χώρο. Παράλληλα, και οι τρεις οι εκκλησίες είχαν ποικίλο διάκοσμο, πολύχρωμες ορθομαρμαρώσεις, ψηφιδωτά και μωσαϊκά σε χρυσό φόντο, όλα χαρακτηριστικά του 11^{ου} και 12^{ου} αιώνα, δηλαδή της «δεύτερης Βυζαντινής Περιόδου» (Ελληνική Εθνική Επιτροπή για την UNESCO, χ.χ).

Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια ένταξης ενός μνημείου στη λίστα παγκόσμιας κληρονομιάς, η Μονή Δαφνίου φαίνεται να πληροί δύο από αυτά. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με το κριτήριο I. : *«Τα μοναστήρια του Δαφνίου, του Οσίου Λουκά και της Νέας Μονής Χίου αντιπροσωπεύουν, με τα αξιοθαύμαστα ψηφιδωτά τους σε χρυσό φόντο, μοναδικά καλλιτεχνικά επιτεύγματα. Επομένως, κάθε ένα από αυτά τα αδιαμφισβήτητα αριστουργήματα της βυζαντινής τέχνης μπορεί να συμπεριληφθεί στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς»*. Επιπλέον, σύμφωνα με το κριτήριο IV. : *«Οι τρεις αυτές μονές αποτελούν εξαιρετικά δείγματα ενός τύπου ανοικοδόμησης, χαρακτηριστικού κατά τη μέση περίοδο της βυζαντινής θρησκευτικής αρχιτεκτονικής.»*



Εικόνα 47. Τα ελληνικά Μνημεία Παγκόσμιας Κληρονομιάς. πηγή: <http://odysseus.culture.gr/>

Η αυθεντικότητα των τριών μνημείων εξακολουθεί να διατηρείται στη μορφή, στο σχεδιασμό, στα υλικά κατασκευής τους, στη διακόσμηση, στη πνευματικότητα και στα αισθητικά χαρακτηριστικά του χώρου. Πιο συγκεκριμένα, η Μονή Δαφνίου, διατηρεί όλα τα γνήσια αρχιτεκτονικά και διακοσμητικά στοιχεία της, όπως για παράδειγμα την πλινθοπερίκλειστη τοιχοδομία, τα περίτεχνα παράθυρα και τις σπουδαίες τοιχογραφίες, χαρακτηριστικά που ενισχύθηκαν κατά τις εργασίες αποκατάστασης και συντήρησης. Η ακεραιότητα της Μονής Δαφνίου αναδεικνύεται από το γεγονός ότι παρ’ όλο που οι σεισμοί του 1999 και του 2019 προκάλεσαν σημαντικές ζημιές στο μνημείο, λήφθηκαν αμέσως τα κατάλληλα μέτρα, ώστε σήμερα το κτίριο να βρίσκεται σε καλή κατάσταση.

Τα τρία αυτά μνημεία προστατεύονται από νομικό πλαίσιο, σημαντικό μέρος του οποίου είναι ο Νόμος 3028/2002 «Περί της προστασίας των αρχαιοτήτων και της πολιτιστικής κληρονομιάς», καθώς και διάφορες υπουργικές αποφάσεις που έχουν δημοσιευθεί στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως. Η προστασία και η διαχείριση των μνημείων επιτυγχάνονται από το Υπουργείο Πολιτισμού και μέσω αρμόδιων περιφερειακών φορέων. Όσον αφορά το Δαφνί, η Εφορεία Αρχαιοτήτων Δυτικής Αττικής ασκεί σημαντικό έλεγχο και συνεργάζεται με τις αρμόδιες υπηρεσίες με σκοπό την θέσπιση ειδικών μέτρων προστασίας. Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν κατά το εκτεταμένο πρόγραμμα αποκατάστασης της Μονής, στο πλαίσιο του 2^{ου} και 3^{ου} Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης περιγράφονται αναλυτικότερα στο δεύτερο κεφάλαιο. Οι πηγές χρηματοδότησης του μνημείου προέρχονται από τον ετήσιο εθνικό προϋπολογισμό, το Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης και το Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς. Η προστασία του μνημείου από φυσικές καταστροφές διασφαλίζεται με την εγκατάσταση συστημάτων συναγερμού και κατάσβεσης πυρκαγιών, καθώς και με την συνεχή παρακολούθηση του χώρου μέσω κλειστού κυκλώματος (UNESCO, χ.χ).

3.2 Ορισμός γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων

Η γεωμετρική τεκμηρίωση η οποία περιλαμβάνει την ακριβή μέτρηση και αναπαράσταση φυσικών και τεχνητών αντικειμένων και χώρων χρησιμοποιώντας μαθηματικές αρχές, αναδεικνύεται ως κρίσιμο εργαλείο για την διατήρηση, την ερμηνεία και την διάδοση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει ανάγκη γεωμετρικής τεκμηρίωσης των κατασκευών αυτών, είτε διότι κατά την αρχική κατασκευή τους δεν υπήρχαν κατασκευαστικά σχέδια, είτε γιατί στην πορεία της «ζωής» τους μέσα στον χρόνο οι κατασκευές αυτές υπέστησαν παρεμβάσεις, φθορές και μεταβολές. Σε αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία, η γεωμετρική τεκμηρίωση επιτρέπει την καταγραφή και διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς (Πανταζής, 2010). Η έννοια ενός ιστορικού μνημείου δεν καλύπτει μόνο το μεμονωμένο αρχιτεκτονικό έργο αλλά και την αστική ή την αγροτική τοποθεσία που μαρτυρεί ένα ιδιαίτερο πολιτισμό μια ενδεικτική εξέλιξη ή ένα ιστορικό γεγονός. Αυτό ισχύει όχι μόνο για τις μεγάλες δημιουργίες αλλά και για τα ταπεινά έργα που με τον καιρό απέκτησαν πολιτιστική σημασία. Η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων, αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο ο οποίος πρέπει να αποτείνεται στη συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της μνημειακής κληρονομιάς. (Χάρτης της Βενετίας, Άρθρο 1 και 2, 1964).

Γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείου είναι η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας απόδοσης και καταχώρησης στοιχείων για τον προσδιορισμό της θέσης και της πραγματικής μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός μνημείου στο χώρο των τριών διαστάσεων σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. 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, Ιωαννίδης, 2008).

Οι εργασίες συντηρήσεως, αποκαταστάσεως και ανασκαφής θα πρέπει να βασίζονται σε εξακριβωμένη τεκμηρίωση, δηλαδή σε αναλυτικές και κριτικές εκθέσεις, εικονογραφημένες με σχέδια και φωτογραφίες. Όλες οι φάσεις των εργασιών για την απάλειψη νεώτερων στοιχείων, την στερέωση, την ανασύνθεση και την ένταξη νέων (στοιχείων), καθώς και όλα τα τεχνικά και μορφολογικά στοιχεία που θα εξακριβώνονται κατά την διάρκεια των εργασιών, θα πρέπει να καταγράφονται λεπτομερειακά. Αυτή η τεκμηρίωση θα κατατίθεται στα αρχεία ενός δημοσίου ιδρύματος και θα είναι προσιτή στους ερευνητές. Προτείνεται η δημοσίευση τους (Χάρτης της Βενετίας, Άρθρο 16, 1964).

Η διαδικασία της αποτύπωσης ενός μνημείου απαρτίζεται από (Τοκμακίδης, 2014):

- η συλλογή των μετρικών εκείνων πληροφοριών που καθορίζουν αξιόπιστα την μορφή και την θέση του στον ευρύτερο χώρο τόσο του μνημείου, όσο και του κάθε δομικού στοιχείου του. Επίσης η κατανομή των μνημείων στον αρχαιολογικό χώρο.

- η παρουσίασή τους σε εύκολα αναγνώσιμα, (κατάλληλη πυκνότητα πληροφορίας) και αξιόπιστα αλληλοσυμπληρούμενα τελικά προϊόντα, (π.χ. όψεις, κατόψεις, τομές, αξονομετρικά, προοπτικά, ψηφιακά αρχεία, κλπ.).
- η αρχειοθέτηση των παραπάνω στοιχείων, ώστε να γίνεται δυνατή η εύκολη ανεύρεση και χρησιμοποίησή τους, όταν το απαιτήσουν οι περιστάσεις .

Όσον αφορά τις κατηγορίες των αποτυπώσεων ανάλογα με την έκταση, την επιδιωκόμενη μετρική αξιοπιστία, (εκφρασμένη ως μέσο τετραγωνικό σφάλμα, ως λόγος αβεβαιότητας προς απόσταση ή και ως κλίμακα), θεματική πληρότητα των τελικών προϊόντων και τους στόχους της αποτύπωσης, (τεκμηρίωση ή μελέτη παραμορφώσεων - μικρομετακινήσεων), διακρίνονται οι εξής γενικές κατηγορίες αποτυπώσεων (Τοκμακίδης, 2014):

Αναγνωριστικές αποτυπώσεις: Στόχος τους είναι η απόκτηση γενικής εικόνας της κατανομής μνημείων στο χώρο και μια πρώτη τεκμηρίωση της πραγματικής μορφής κάθε μνημείου. Οι μέθοδοι αποτύπωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η φωτοερμηνεία, οι γεωφυσικές διασκοπήσεις του εδάφους και οι, με απλές και γρήγορες τοπογραφικές μεθόδους, αποτυπώσεις ή εντάξεις σημαντικών στοιχείων του χώρου σε υπάρχοντα τοπογραφικά διαγράμματα.

Αποτυπώσεις τεκμηρίωσης: Τεκμηρίωση ονομάζεται η πλήρης καταγραφή του μνημείου έτσι ώστε σε περίπτωση καταστροφής να μπορεί να επισκευαστεί και να φτιαχτεί όπως ήταν αρχικά. Στόχος τους είναι η καταγραφή της επικρατούσας κατάστασης όσον αφορά την πραγματική μορφή τόσο μεμονωμένων μνημείων, όσο και της κατανομής των μνημείων στον χώρο. Τα διαγράμματα στην πρώτη περίπτωση είναι κλίμακας 1:100 - 1:50 και στην δεύτερη περίπτωση 1:1000 - 1:200.

Ειδικές αποτυπώσεις υψηλής ακρίβειας: Οι αποτυπώσεις αυτές γίνονται σε κλίμακα 1:20 - 1:5 και χρησιμοποιούνται για την λεπτομερή μελέτη και παρακολούθηση των μνημείων, τις αλλαγές που πιθανά έχουν υποστεί σε σχέση με το παρελθόν αλλά και την μελέτη πιθανών μικρομετακινήσεων ολόκληρης της κατασκευής ή μερών της.

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την επίτευξη υψηλής ακρίβειας είναι κατά βάση γεωδαιτικές. Είτε τοπογραφικές με την χρήση δεκτών GNSS και Ολοκληρωμένων Γεωδαιτικών Σταθμών (Total Station), είτε φωτογραμμετρικές με την χρήση βαθμονομημένων φωτογραφικών μηχανών και των προαναφερθέντων οργάνων είτε με την χρήση επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών laser όπως στην παρούσα διπλωματική με την παράλληλη χρήση τοπογραφικών οργάνων. Ο συνδυασμός κλασικών τοπογραφικών μεθόδων με φωτογραμμετρία ή επίγεια τρισδιάστατη σάρωση στις περιπτώσεις αυτές, όπως αναλύεται και στη συνέχεια προσφέρει περαιτέρω γεωμετρικές δεσμεύσεις και ελέγχους ώστε τα τελικά προϊόντα να παρέχουν αξιοπιστία. Επιπλέον η ένταξη της αποτύπωσης σε ένα γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (π.χ. ΕΓΣΑ87 για την Ελλάδα) ή αλλιώς Γεωαναφορά απαιτεί την χρήση γεωδαιτικών οργάνων (Γεωδαιτικός Δέκτης GNSS και Total Station). Ανάλογα με την φύση του αντικειμένου αποτύπωσης και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ορίζονται και διαφορετικές προδιαγραφές και μέθοδοι για την αποτελεσματικότερη τεκμηρίωση.

ΚΛΙΜΑΚΑ εκτύπωσης	Αβεβαιότητα ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) σε mm
1:100	25
1:50	13
1:25	6
1:20	5
1:10	3
1:5	1

Εικόνα 48. Αβεβαιότητες προσδιορισμού συντεταγμένων σημείων λεπτομερειών σε σχέση με την κλίμακα αποτύπωσης (Πανταζής, 2010)

Στην τεκμηρίωση ενός μνημείου θα πρέπει να διασφαλίζονται (Τοκμακίδης 2014) :

- Η καταγραφή των παντοειδών ανθρωπογενών και ή από φυσικές αιτίες μεταβολών του μνημείου όπως μετατροπές μνημείων για διαφορετικές χρήσεις σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους ή μετατοπίσεις δομικών στοιχείων από σεισμούς.
- Η μετά από μελέτη και ενδεχομένως με την βοήθεια των προαναφερθεισών μετρήσεων εκτίμηση της υπαρκτής μορφής του, ή για αυτήν την ίδια την γνώση, ή για τον προγραμματισμό και εκτέλεση επεμβάσεων όπως αποκαταστάσεις και αναστηλώσεις.
- Μετρικές πληροφορίες, ή την μετρική αξιοπιστία των καταγεγραμμένων χαρακτηριστικών, εκφρασμένα είτε ως κλίμακα αποτύπωσης, ή ως μέσο τετραγωνικό σφάλμα της εκτίμησης της θέσης κάθε σημείου, (απόλυτη ακρίβεια), ή ως λόγος της αβεβαιότητας εκτίμησης μιας απόστασης προς την απόσταση, (σχετική ακρίβεια).
- Ποιοτικές πληροφορίες, τα χαρακτηριστικά δηλαδή εκείνα που αφού καταγραφούν, με την μορφή διακεκριμένων σημείων ή συνεχών γραμμών και περιοχών, περιγράφουν όλα εκείνα τα συνθετικά της σύγχρονης φαινόμενης μορφής και συμβάλλουν τόσο στην καταγραφή φαινομένων όπως παθολογία δομικών υλικών, όσο και στον προσδιορισμό της αντίστοιχης κατασκευαστικής τεχνολογίας δηλαδή τύποι και ποιότητες θεμελίωσης ναών για παράδειγμα.
- Η απόλυτη θέση του μνημείου σε σχέση με το φυσικό του περιβάλλον του όπως επίσης και τα χαρακτηριστικά και οι κλιματολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής.

- Η σχετική θέση του μνημείου ως προς το σημερινό φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον όπως κατοικήσιμες περιοχές, βιομηχανικές μονάδες και συγκοινωνιακές γραμμές σημαντική για την ανάδειξη του χώρου όταν αυτή προκύπτει.

Με τον όρο τεκμηρίωση όπως ήδη αναφέρθηκε, εννοείται πέρα από την αποτύπωση και η καταγραφή των ποιοτικών και ποσοτικών εκείνων πληροφοριών που θα είναι αρκετές, ώστε να αναπαραχθεί πιστά το μνημείο όπως ακριβώς υφίσταται ακόμα και αν καταστρεφόταν. Η αποτύπωση και τεκμηρίωση επομένως είναι έννοιες παράλληλες και αλληλοσυμπληρούμενες (Τοκμακίδης, 2014).

Η διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης είναι πρακτικά αντίστροφη της αρχιτεκτονικής σύνθεσης και αποδομεί το εκάστοτε μνημείο με στόχο την αποκάλυψη της δομής (συνθετικά και λειτουργικά στοιχεία) και της μορφής του (γεωμετρικές και κατασκευαστικές λεπτομέρειες) (Γραφάκου, 2011).

3.3 Μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων

Οι χώροι πολιτιστικής κληρονομιάς έχουν ανεκτίμητη ιστορική και πολιτιστική σημασία. Οι προηγμένες τεχνολογίες γεωμετρικής τεκμηρίωσης διασφαλίζουν ότι κάθε περίπλοκη λεπτομέρεια αποτυπώνεται και διατηρείται ψηφιακά. Αυτή η τεκμηρίωση γίνεται ένα απαραίτητο αντίγραφο (Digital Twin) τόσο για την ανάδειξη και περεταίρω μελέτη του μνημείου όσο και για περίπτωση φυσικών καταστροφών, ανθρωπογενών καταστροφών ή σταδιακής αποσύνθεσης, επιτρέποντας την ακριβή αποκατάσταση και ανακατασκευή του. Οι προηγμένες μέθοδοι τεκμηρίωσης παρέχουν σε ερευνητές και ιστορικούς ακριβή και ολοκληρωμένα δεδομένα για ανάλυση. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν στην κατανόηση αρχιτεκτονικών τεχνικών, πολιτιστικών πρακτικών και ιστορικών πλαισίων. Με τρισδιάστατα μοντέλα και λεπτομερείς χάρτες, οι ειδικοί μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τις στρατηγικές αποκατάστασης, συντήρησης και διατήρησης των μνημείων.

Οι προδιαγραφές της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, αφού οριστούν έχουν ως σκοπό αφενός να καθοδηγήσουν τον εκτελούντα το έργο στην επιλογή των κατάλληλων μεθόδων και εξοπλισμού, σε συνδυασμό με το χρόνο αλλά και το κόστος εκτέλεσης και αφετέρου να καθορίσουν ένα κοινά αποδεκτό πλαίσιο ελέγχου και εξακρίβωσης του προϊόντος. Είναι φανερό ότι η γεωμετρική τεκμηρίωση μίας κατασκευής είναι μία διαφορετική και ιδιαίτερη τοπογραφική εργασία και επομένως απαιτεί ιδιαίτερη αντιμετώπιση (Πανταζής, 2010).

Παρακάτω αναλύονται κάποιες από τις βασικότερες μεθόδους γεωμετρικής τεκμηρίωσης:

- Εμπειρικές – Τοπομετρικές
- Τοπογραφικές (κλασικές)
- Φωτογραμμετρικές
- Τρισδιάστατες επίγειες σαρώσεις laser
- Συνδυασμός των παραπάνω

3.3.1 Τοπομετρικές - Εμπειρικές

Η τοπομετρική μέθοδος αποτελεί την απλούστερη μετρική μέθοδο και έχει εφαρμογές κατά βάση σε κατασκευές μικρού μεγέθους. Πρόκειται για μετρήσεις που πραγματοποιούνται χειροκίνητα όπως την μέτρηση αποστάσεων με μετροταινία, μεταλλικό μέτρο ή ψηφιακά αποστασιόμετρα laser. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται και εμπειρική καθώς δεν απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις και η διαδικασία είναι σχετικά απλή. Μετρώνται ανά δύο όλα τα χαρακτηριστικά σημεία και δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό ακτίνες κύκλων που η τομή τους θα δώσει τη θέση όλων των σημείων σε σχέση με μια προκαθορισμένη βάση (δηλαδή απόσταση δύο χαρακτηριστικών σημείων της κάτοψης που ορίζει τη διεύθυνση ενός από τους δύο άξονες του συστήματος συντεταγμένων όπου θα υλοποιηθεί το σχέδιο).



Εικόνα 49. Ψηφιακό αποστασιόμετρο laser, κλασική μετροταινία και μεταλλικό μέτρο

Χρησιμοποιείται για την αποτύπωση εσωτερικών, συνήθως χώρων και οι μετρήσεις συνοδεύονται από ένα σχεδιάγραμμα του χώρου και των μετρήσεων που υλοποιήθηκαν (κλίμακα 1:50 ή μικρότερη). Είναι ιδανική για την αποτύπωση κατόψεων ή όψεων-τομών εσωτερικών χώρων και όταν οι άλλες μέθοδοι δεν

μπορούν να εφαρμοστούν για διάφορους λόγους, όπως έλλειψη χώρου (Μπαλαμιώτη, 2018). Καθώς πολλές μετρήσεις πραγματοποιούνται με την χειροκίνητη μέτρηση και ανάγνωση απόστασης με μετροταινία για παράδειγμα εισάγονται σε κάθε μία από αυτές σφάλματα μέτρησης και ανάγνωσης της απόστασης πέρα των κατασκευαστικών σφαλμάτων (αβεβαιότητας) των οργάνων που χρησιμοποιούνται. Έτσι συσσωρεύονται αρκετά τυχαία σφάλματα παρατήρησης. Η τοπομετρική είναι μία αναγνωριστική μέθοδος με σκοπό την εξαγωγή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών σημείων του αντικείμενου ενδιαφέροντος όπως το περίγραμμα και ανάγλυφα σημεία του με σκοπό την καταγραφή του σε σκαρίφημα πεδίου (κροκί). Επιλέγεται σε περιπτώσεις με κατασκευές απλής γεωμετρίας, το κόστος της είναι αρκετά χαμηλό και δεν απαιτείται ιδιαίτερη προετοιμασία. Οι συντεταγμένες που προκύπτουν από τις μετρήσεις ορίζονται σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς.

Οι τοπομετρικές μέθοδοι εφαρμόζονται μόνο εκεί όπου οι διαστάσεις και η πολυπλοκότητα του αντικείμενου το επιτρέπουν, εκεί όπου μια μη ελεγχόμενη μικρής ακρίβειας αποτύπωση είναι ανεκτή ή συμπληρωματικά με τις μεθόδους πλήρως ελεγχόμενων αποτυπώσεων (Γεωργόπουλος, Ιωαννίδης, 2008).

3.3.2 Τοπογραφικές - Κλασικές

Οι κλασικές μέθοδοι τοπογραφίας για γεωμετρική τεκμηρίωση περιλαμβάνουν τη χρήση θεοδόλιχων (παλαιότερα) και ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (πλέον) και έχουν πλούσια ιστορία που χρονολογείται από τις αρχές του 19ου αιώνα. Αυτά τα όργανα επέτρεψαν στους 'γεωδαίτες' τότε και τους αρχαιολόγους να μετρήσουν με ακρίβεια τις γωνίες και τις αποστάσεις ώστε να αποτυπώσουν λεπτομερώς ένα μνημείο, θέτοντας τα θεμέλια για τη γεωμετρική τεκμηρίωση. Οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί αποτελούν μια μεταγενέστερη εξέλιξη με ενσωματωμένες τεχνολογίες ηλεκτρονικής μέτρησης απόστασης (EDM), που επιτρέπουν πιο ακριβείς μετρήσεις. Με την έλευση των υπολογιστών και της ψηφιακής τεχνολογίας στο δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, τα δεδομένα των ερευνών άρχισαν να ψηφιοποιούνται, καθιστώντας ευκολότερη την αποθήκευση, την ανάλυση και την κοινή χρήση τους. Αυτός ο ψηφιακός μετασχηματισμός άνοιξε το δρόμο για πιο ολοκληρωμένες καταγραφές των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς και κάθε είδους κατασκευής γενικότερα. Οι τοπογραφικές μέθοδοι υπερτερούν σε ακρίβεια και προσφέρουν έλεγχο αξιοπιστίας – ορθότητας των τελικών αποτελεσμάτων ακόμα και σε πιο σύγχρονες μεθόδους τεκμηρίωσης όπου αναλύονται στην συνέχεια. Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η εύκολη ένταξη των προϊόντων των μετρήσεων σε κρατικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς με ενιαία ακρίβεια.

Στο παρελθόν στις μεθόδους αυτές χρησιμοποιούνταν κλασικά τοπογραφικά όργανα (θεοδόλιχα, γεωδαιτικοί σταθμοί, χωροβάτες). Με την άφιξη των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών με την δυνατότητα μέτρησης απόστασης χωρίς την χρήση ανακλαστήρα (reflectorless) στις αρχές του 1990, οι μετρήσεις

πεδίου μειώθηκαν σημαντικά σε χρόνο, και βελτιώθηκαν σε ακρίβεια καθώς η κατακόρυφη ανακλαστήρα δεν συνείσφερε πλέον σφάλματα στις παρατηρήσεις. Οι τοπογραφικές εφαρμογές γεωμετρικής τεκμηρίωσης υλοποιούνται με κύριες μεθόδους:

- την μέθοδο πολικών συντεταγμένων
- την εμπροσθοτομία.

Μία από τις πρωτοπόρες εταιρείες σε αυτήν την τεχνολογία ήταν η Leica Geosystems, η οποία κυκλοφόρησε τον γεωδαιτικό σταθμό Leica TPS100 το 1992. Αυτό το όργανο σημείωσε σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία τοπογραφίας εξαλείφοντας την ανάγκη για ένα ανακλαστικό πρίσμα για τη μέτρηση των αποστάσεων. Έτσι η διαδικασία συλλογής δεδομένων έγινε πιο ακριβής, ταχύτερη, με λιγότερους περιορισμούς και συνεπώς αποτελεσματικότερη. Τέτοιες μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογές σε αποτυπώσεις μνημείων υψηλής μεν ακρίβειας, με την προϋπόθεση όμως ότι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μνημείου το επιτρέπουν δηλαδή δεν είναι ιδιαίτερα και περίπλοκα και πολλά σε αριθμό αφού σε μία τέτοια περίπτωση η ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση θα ήταν εξαιρετικά χρονοβόρα και απαιτητική τόσο σε στις εργασίες υπαίθρου όσο και στις μετέπειτα εργασίες γραφείου (επεξεργασία).

Για τις ανάγκες της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μιας κατασκευής είναι απαραίτητη αρχικά η ίδρυση ενός τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου. Η ίδρυση του δικτύου αυτού εξασφαλίζει τη σύνδεση (οριζοντιογραφική και υψομετρική) των επιμέρους χώρων της κατασκευής, διασφαλίζει τη μεταφορά των διευθύνσεων και των υψομέτρων και αποτελεί το δίκτυο υποδομής για την πραγματοποίηση της αποτύπωσης των σημείων λεπτομερειών. Η επιλογή της θέσης των κορυφών του εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα της κατασκευής, από την προσβασιμότητα της, τις συνθήκες ορατότητας αλλά και από το σχεδιασμό της αποτύπωσης που θα ακολουθήσει. Η γεωμετρική τεκμηρίωση μιας κατασκευής απαιτεί την αποτύπωση των σημείων λεπτομερειών. Έτσι ορίζονται τα σημεία που αποδίδουν γεωμετρικά βασικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, είτε αυτά αφορούν διαγράμματα οριζόντιων τομών (κατόψεων), είτε σε διαγράμματα κατακόρυφων τομών – όψεων. Η πληροφορία που συλλέγεται σε αυτό το στάδιο της γεωδαιτικής διαδικασίας είναι ογκώδης και θα υποβληθεί στη συνέχεια σε διαφορετικού είδους υπολογιστική επεξεργασία, ανάλογα με το σχέδιο στο οποίο θα απεικονίζεται κάθε λεπτομέρεια. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να καθοριστεί ένας συστηματικός τρόπος διαχωρισμού σημείων που μετρούνται. Συνήθως αυτό γίνεται με την διαφορετική αρίθμηση των μετρούμενων σημείων και την ταξινόμηση τους ανάλογα με το αν αυτά είναι σημεία οριζόντιας τομής ή σημεία κατακόρυφων τομών, αν ανήκουν στην ίδια ή σε διαφορετικές οριζόντιες ή κατακόρυφες τομές – όψεις (Πανταζής, 2010).

Οι αρχές της κλασικής τοπογραφίας είναι απαραίτητες γιατί παρέχουν ακριβείς γεωχωρικές συντεταγμένες που χρησιμεύουν ως σημεία ελέγχου και δείκτες αναφοράς για τις επόμενες μεθόδους συλλογής δεδομένων. Η κατανόηση των κλασικών αρχών της έρευνας επιτρέπει στους επιθεωρητές να δημιουργήσουν ένα αξιόπιστο και συνεπές πλαίσιο για την τεκμηρίωση των τόπων πολιτιστικής κληρονομιάς.



Εικόνα 50. Leica FlexLine TS02. Total Station γωνιακής ακρίβειας επτά δευτερολέπτων (7'' της μοίρας και την δυνατότητα μέτρησης απόστασης χωρίς ανακλαστήρα (reflectorless)

- **Μέθοδος πολικών συντεταγμένων**

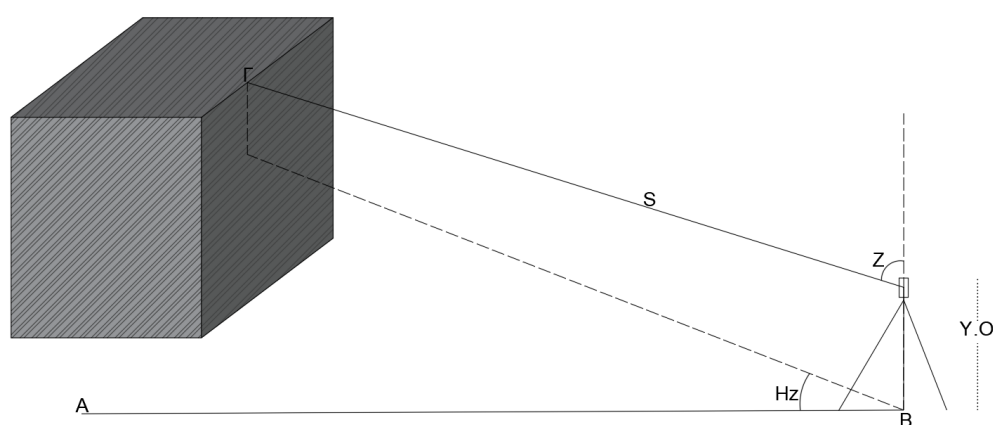
Η αποτύπωση με χρήση πολικών συντεταγμένων εφαρμόζεται όπου είναι δυνατή η άμεση μέτρηση του μήκους ως προς το σημείο σκόπευσης. Για την μέτρηση του μήκους μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε απλοί ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί και ειδικοί μικροί (mini) ανακλαστήρες είτε τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που μετρούν το μήκος χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (reflectorless). Πλεονεκτήματα που αποφέρει η μέθοδος αυτή είναι η δυνατότητα αποτύπωσης απρόσιτων σημείων, η σημαντική μείωση του ανθρώπινου δυναμικού που απαιτείται για την πραγματοποίηση των μετρήσεων αλλά και το χρόνο παραμονής στο πεδίο, η ακρίβεια προσδιορισμού συντεταγμένων που κυμαίνεται από $\pm 2mm - \pm 1cm$ ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό και τέλος η δυνατότητα αποτύπωσης σημείων σε αποστάσεις μεγαλύτερες του ενός χιλιομέτρου (1 km) χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (Πανταζής, 2010). Είναι η ταχύτερη και απλούστερη μέθοδος προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου στο επίπεδο. Για τον υπολογισμό του υψόμετρου ενός σημείου πρέπει να μετρηθεί επιπλέον το ύψος του οργάνου και το ύψος στόχου. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στον προσδιορισμό του υψόμετρου όταν η μέτρηση πραγματοποιείται χωρίς την χρήση πρίσματος. Τότε το υψόμετρο αναφέρεται στο σημείο σκόπευσης της δέσμης laser και το ύψος στόχου είναι μηδέν (Ηλιοδρομίτης, 2008). Οι γεωδαιτικοί σταθμοί καταγράφουν τις μετρημένες οριζόντιες, κατακόρυφες γωνίες και κεκλιμένες αποστάσεις. Το όργανο τις περισσότερες φορές είναι κεντρωμένο και οριζοντιωμένο σε σημείο στάσης που αποτελεί κορυφή όδευσης και προσδιορίζονται οι συντεταγμένες του με συνόρθωση (μετρήσεις σε περιόδους).

Τα μετρούμενα μεγέθη είναι : το μήκος (S), η ζενίθια γωνία (z), η οριζόντια γωνία (Hz), και το ύψος οργάνου (Y.O). Το ύψος του στόχου αφού η σκόπευση γίνεται ακριβώς στο επιθυμητό σημείο, είναι μηδέν. Τα μεγέθη που πρέπει να είναι γνωστά είναι η συντεταγμένες x_A, y_A, z_A και x_B, y_B, z_B των κορυφών του δικτύου όπου προσανατολίζεται και τοποθετείται ο γεωδαιτικός σταθμός αντίστοιχα. Από τις παρακάτω εξισώσεις προσδιορίζονται οι ορθογώνιες συντεταγμένες x_Γ, y_Γ καθώς και το υψόμετρο z_Γ του σκοπευόμενου σημείου (Πανταζής, 2010) :

$$x_\Gamma = x_B + S \sin z \sin(\alpha_{AB} + Hz)$$

$$y_\Gamma = y_B + S \sin z \cos(\alpha_{BA} + Hz)$$

$$z_\Gamma = z_B \cos z + Y.O$$



Εικόνα 51. Εφαρμογή μεθόδου αποτύπωσης πολικών συντεταγμένων (Προσωπικό αρχείο).

• Μέθοδος εμπροσθοτομίας στο χώρο

Η μέθοδος αυτή οδηγεί στον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου Γ με την μέτρηση μόνο των οριζόντιων γωνιών (a) και (b) και των ζενίθιων γωνιών (z_A, z_B) από δύο γνωστά σημεία A και B (με γνωστές συντεταγμένες) και επομένως γνωστές αποστάσεις μεταξύ τους (Πανταζής, 2010). Το τελικό υψόμετρο προκύπτει ως μέσος όρος των υψομετρικών διαφορών από τα γνωστά προς το άγνωστο σημείο (Ηλιοδρομίτης, 2008). Το σημείο που θα μετρηθεί στο χώρο, σκοπεύεται από δύο σημεία με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες και μετρούνται οι γωνίες και οι αποστάσεις ως προς αυτό. Καθώς κάθε σημείο στο χώρο μετράται από δύο (η και περισσότερες – πολλαπλή εμπροσθοτομία) διαφορετικές στάσεις, ο προσδιορισμός του συνόλου των σημείων λεπτομέρειας γίνεται πιστότερος με περισσότερες εξισώσεις παρατήρησης για κάθε σημείο και επομένως περισσότερες δεσμεύσεις για τον τελικό προσδιορισμό θέσης του σημείου στο χώρο. Μπορεί να αποδιεχθεί αρκετά χρονοβόρα διαδικασία και για τον λόγο αυτό δεν επιλέγεται συχνά. Σημαντικό πλεονέκτημα και σε αυτή την περίπτωση είναι η ακριβής καταγραφή και

ο προσδιορισμός απομακρυσμένων και απρόσιτων σημείων ενός μνημείου από απόσταση, με ασφάλεια ως προς το μνημείο.

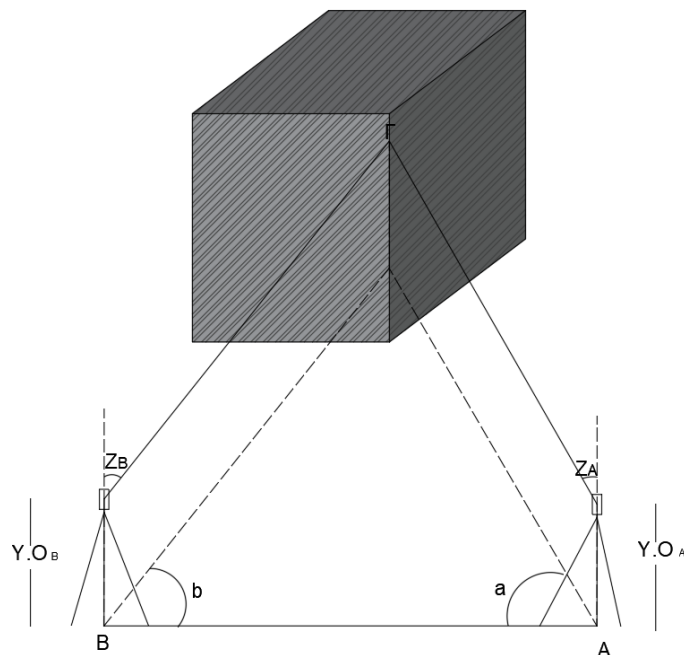
Τα γνωστά μεγέθη είναι οι συντεταγμένες των κορυφών του τρισδιάστατου δικτύου A και B (x_A, y_A, z_A και x_B, y_B, z_B αντίστοιχα). Από τις παρακάτω σχέσεις προσδιορίζονται οι ορθογώνιες συνταγμένες x_Γ, y_Γ καθώς και το υψόμετρο z_Γ του σκοπευόμενου σημείου Γ. Οι εξισώσεις των τρισδιάστατων συντεταγμένες του σκοπευόμενου σημείου είναι (Πανταζής, 2010) :

$$x_\Gamma = \frac{y_B - y_A + x_A \cot b + x_\Gamma \cot a}{\cot a + \cot b}$$

$$y_\Gamma = \frac{x_A - x_B + y_A \cot b + y_B \cot a}{\cot a + \cot b}$$

$$z_\Gamma = \frac{z_{\Gamma(A)} + z_{\Gamma(B)}}{2}$$

$$\text{Με } z_{\Gamma(A)} = z_A + S_A \cot z_A + i_A, \quad z_{\Gamma(B)} = z_B + S_B \cot z_B + i_B$$



Εικόνα 52. Μέθοδος εμπροσθοτομίας στο χώρο (Προσωπικό αρχείο).

3.3.3. Φωτογραμμετρικές

Από την αρχική της εμφάνιση ως επιστημονικού κλάδου, η φωτογραμμετρία είχε ως βασικό στόχο την γεωμετρική τεκμηρίωση του 3D χώρου μέσω εικόνων (Καλησπεράκης, 2010). Οι ρίζες της εντοπίζονται στα τέλη του 19ου αιώνα, όταν χρησιμοποιήθηκε κυρίως για χαρτογράφηση και τοπογραφία. Η έλευση της αεροφωτογραφίας κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου σηματοδότησε ένα σημαντικό ορόσημο, καθώς επέτρεψε την αποτύπωση χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς από ψηλά, παρέχοντας μια νέα προοπτική για την τεκμηρίωση. Με την πάροδο του χρόνου, οι εξελίξεις στις φωτογραφικές μηχανές, την επεξεργασία εικόνας και την τεχνολογία υπολογιστών έχουν ωθήσει τη φωτογραμμετρία ως μία από τις βασικότερες εν χρήσει μεθόδους τρισδιάστατης τεκμηρίωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η φωτογραμμετρία είναι μία μεθοδολογία, μία διαδικασία προσδιορισμού του σχήματος, του μεγέθους, της θέσης αλλά και των λεπτομερειών ενός αντικειμένου στο χώρο, με τη βοήθεια φωτογραφικών λήψεων ή άλλων απεικονίσεων, δηλαδή ψηφιακών εικόνων, video κλπ. Σημαντικό πλεονέκτημα της είναι η ταυτόχρονη καταγραφή τόσο της απαραίτητης μετρητικής (γεωμετρικής) πληροφορίας για το αντικείμενο, όσο και μεγάλου όγκου ποιοτικών πληροφοριών. Είναι δυνατόν δηλαδή, ερμηνεύοντας την εικόνα να βγουν συμπεράσματα για το υλικό, το χρώμα και τη σύσταση του αντικειμένου που φωτογραφίζεται. Παράλληλα η καταγραφή αυτή γίνεται σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αποτυπώνεται δηλαδή και η 'τέταρτη διάσταση', ο χρόνος. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα δυναμικής παρακολούθησης και μέτρησης αντικειμένων ή φαινομένων που μεταβάλλονται με το χρόνο (Γεωργόπουλος, 1992). Μέχρι την ανακάλυψη της Φωτογραμμετρίας, τα προϊόντα αποτύπωσης περιορίζονταν μόνο σε γραμμικά σχέδια οποιασδήποτε μορφής: όψεις, κατόψεις, τοπογραφικά, κλπ. Με τη φωτογραμμετρία εισάγονται και οι μετρήσιμες φωτογραφίες και τα παράγωγά τους (ορθοφωτογραφίες, φωτομωσαϊκά κλπ.), καθώς και η εφαρμογή τους σε συνθετότερα μέσα απεικόνισης του χώρου: πολυμέσα, συστήματα πληροφοριών χώρου, video-3D animation, που αποτελούν δευτερογενή προϊόντα αποτύπωσης.

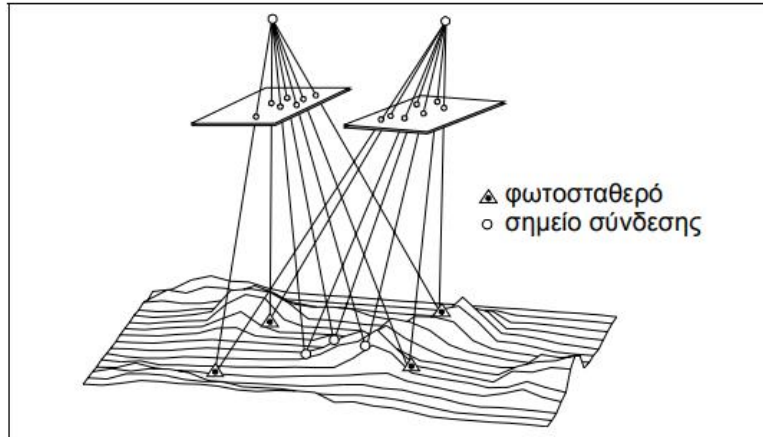
Σύμφωνα με την Έλλη Πέτσα "Από αυστηρά γεωμετρική άποψη – δηλαδή ανεξάρτητα από την οπτική διαδικασία που την δημιουργήσε – μία εικόνα/φωτογραφία θεωρείται γενικά ότι είναι το προϊόν μίας κεντρικής προβολής. Λέμε λοιπόν ότι στην φωτογραμμετρία η εικόνα προσεγγίζεται γεωμετρικά με το μοντέλο της κεντρικής προβολής". Η κεντρική προβολή παρουσιάζει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά που έχουν ιδιαίτερη σημασία για την φωτογραμμετρία, μπορεί μάλιστα να πει κανείς ότι ολόκληρη η φωτογραμμετρία στηρίζεται σε αυτά ακριβώς τα χαρακτηριστικά" (Πέτσα, 2000). Κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η είναι η μεταβλητή κλίμακα (προοπτική απεικόνιση), η εκτροπή λόγω αναγλύφου, και οι παραμορφώσεις των φακών όπως η ακτινική διαστρόφη. Η φωτογραμμετρία λειτουργεί με βάση την αρχή του τριγωνισμού. Πολλαπλές επικαλυπτόμενες φωτογραφικές λήψεις ενός αντικειμένου, που λαμβάνονται από διαφορετικές θέσεις στον χώρο ώστε να καταγράψουν πλήρως το αντικείμενο και

στην συνέχεια να επεξεργασθούν και να προσανατολιστούν καταλλήλως ώστε να παραχθεί ένα τελικό στερεομοντέλο (τρισδιάστατο μοντέλο).

Ο εσωτερικός προσανατολισμός περιλαμβάνει την γνώση κατασκευαστικών αλλά και προκυπτόντων χαρακτηριστικών της φωτογραφικής μηχανής αλλά και τη βαθμονόμηση της δηλαδή τον έλεγχο και την ρύθμιση των χαρακτηριστικών αυτών. Αυτή η βαθμονόμηση αντιμετωπίζει εγγενείς παραμέτρους της κάμερας, όπως η εστιακή απόσταση, η θέση του πρωτεύοντος σημείου και η παραμορφώσεις των φακών. Η ακριβής γνώση του εσωτερικού προσανατολισμού είναι απαραίτητη για τον ακριβή προσδιορισμό των εικονοσυντεταγμένων (συντεταγμένων στο δισδιάστατο σύστημα της εικόνας) των σημείων του αντικειμένου αποτύπωσης και άλλων σημείων στο χώρο για έλεγχο. Ο εξωτερικός προσανατολισμός από την άλλη αφορά τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας σε σχέση με το αντικείμενο που φωτογραφίζεται. Εντοπίζοντας κοινά χαρακτηριστικά ή σημεία σύνδεσης σε επικαλυπτόμενες εικόνες, υπολογίζονται οι σχετικές θέσεις και ο σχετικός προσανατολισμός της μίας λήψης (εικόνας) ως προς την άλλη. Στην πραγματικότητα πρόκειται για τον προσδιορισμό τριών μεταθέσεων (ΔX , ΔY , ΔZ) και τριών στροφών (ω , ϕ , κ) του ενός συστήματος της εικόνας ως προς το άλλο.

Η αρχή του τριγωνισμού εφαρμόζεται για τον υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων αντικειμένων με βάση την παράλλαξη μεταξύ των εικόνων. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται γεωμετρικές δεσμεύσεις ως προς την σχετική θέση των δύο συστημάτων αυτών στον χώρο. Τα σημεία σύνδεσης είναι διακριτικά χαρακτηριστικά σημεία στις εικόνες, όπως γωνίες, ακμές ή περιοχές πλούσιες σε υφή. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί αντιστοιχίες που βοηθούν στον υπολογισμό του σχετικού προσανατολισμού της κάμερας. Ο απόλυτος προσανατολισμός επεκτείνει τις πληροφορίες προσανατολισμού της κάμερας από τον σχετικό χώρο της κάμερας στις απόλυτες χωρικές (γεωδαιτικές) συντεταγμένες της περιοχής ορισμένες σε σύστημα αναφοράς. Τα σημεία ελέγχου στο έδαφος (Ground Control Points - GCPs) προσδιορισμένα με επακριβώς γνωστές τρισδιάστατες συντεταγμένες (συνήθως με τοπογραφικές μεθόδους) χρησιμοποιούνται για την επίτευξη απόλυτου προσανατολισμού. Αυτά τα σημεία λειτουργούν ως δείκτες αναφοράς στο περιβάλλον αποτύπωσης. Ο απόλυτος προσανατολισμός περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων μεταξύ των γνωστών συντεταγμένων των σημείων ελέγχου στο έδαφος (GCP) και των υπολογισμένων συντεταγμένων τους στο φωτογραμμετρικό μοντέλο.

Έπειτα όσον αφορά μέθοδος της δέσμης (Bundle Adjustment) πρόκειται για ένα κρίσιμο βήμα στην μοντελοποίηση, που τις θέσεις και τους προσανατολισμούς των συστημάτων λήψεων ελαχιστοποιώντας τις αποκλίσεις των προβολικών ακτινών στα σημεία σύνδεσης (Tie Points) και ελέγχου (GCPs) δηλαδή επιτυγχάνοντας την βέλτιστη δυνατή αλληλεγγύη των ακτινών που συνδέουν τα σημεία αυτά του χώρου με το κέντρο προβολής.



Εικόνα 53. Η μέθοδος της δέσμης (bundle adjustment) σε ζεύγος επικαλυπτόμενων εικόνων (Πέτσα, 2000).

Η διαδικασία αυτή οφείλει το όνομα της στο ότι επιδιώκει να εντάξει απευθείας τις δύο δέσμες στο γεωδαιτικό σύστημα, λαμβάνοντας όμως υπόψη και τα κοινά σημεία τους. Εδώ, δηλαδή, οι εικόνες προσανατολίζονται ταυτόχρονα και μεταξύ τους αλλά και ως προς το γεωδαιτικό σύστημα. Αυτό εξασφαλίζεται με το να συνορθωθούν ταυτόχρονα εικονοσυντεταγμένες φωτοσταθερών και εικονοσυντεταγμένες ομόλογων σημείων (Πέτσα, 2000).



Εικόνα 54. Τρισδιάστατο μοντέλο (χωρίς υφή) της Αψίδας του Θριάμβου στο Παρίσι, με τη μέθοδο επίγειας φωτογραμμετρίας (Hoang Hier Vu, 2015).

3.3.4 Με χρήση επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή laser

Μια από τις νεότερες τεχνολογίες δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων είναι η τεχνολογία των σαρωτών laser. Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι η μέτρηση των τρισδιάστατων πολικών συντεταγμένων (των 2 γωνιών διεύθυνσης και της

απόστασης) κάθε σημείου που προσπίπτει ο παλμός laser, με αρχή του συστήματος συντεταγμένων τον σαρωτή laser. Με τη χρήση του πρώτου θεμελιώδους προβλήματος της τοπογραφίας καθώς και των σχέσεων της τριγωνομετρικής υψομετρίας είναι δυνατός ο υπολογισμός των τρισδιάστατων καρτεσιανών συντεταγμένων των σημείων που έχουν μετρηθεί (Πατιάς, Γεωργιάδης, 2012).

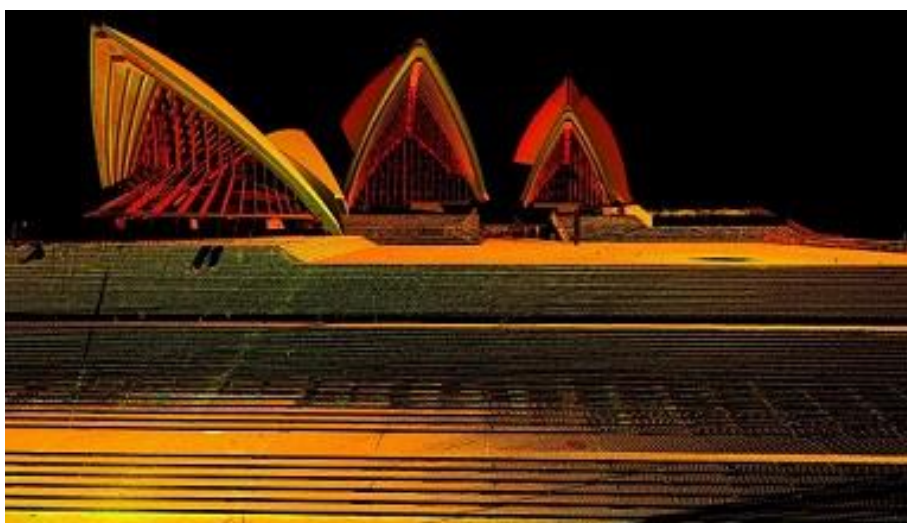
Τις τελευταίες δεκαετίες η χρήση επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών laser για γεωμετρική τεκμηρίωση ιστορικών μνημείων αποτελεί μία καινοτόμα και συνεχώς αναπτυσσόμενη μέθοδο αποτύπωσης. Τα όργανα αυτά προσφέρουν νέες δυνατότητες στον τομέα των αποτυπώσεων υψηλής ακρίβειας. Αξιοποιώντας την τεχνολογία λέιζερ, οι TLS συλλαμβάνουν λεπτομερή τρισδιάστατα δεδομένα αντικειμένων και δομών με πρωτοφανή ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Οι σαρωτές καταγράφουν χιλιάδες σημεία ανά δευτερόλεπτο δημιουργώντας ένα πυκνό νέφος σημείων (X, Y, Z) και ορίζοντας ένα σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων για κάθε σάρωση που περιλαμβάνει την λεπτομερή τρισδιάστατη αναπαράσταση του περιβάλλοντος. Το νέφος σημείων είναι ένα πυκνό σύνολο σημείων που καταγράφονται από μετρήσεις αποστάσεων και γωνιών μέσω παλμού laser. Με αυτό τον τρόπο αποδίδουν εντυπωσιακή λεπτομέρεια στα προϊόντα τους (ενιαίο πυκνό νέφος σημείων) αλλά και στα παράγωγα τους όπως όψεις και τομές. Η συντήρηση και η τεκμηρίωση των μνημείων με ακρίβεια είναι πρωταρχικής σημασίας για τη συντήρηση και τη μελλοντική τους μελέτη. Η μέθοδος αυτή θεωρείται σήμερα (2023) μία από τις σημαντικότερες μεθόδους τεκμηρίωσης πολιτιστικής κληρονομιάς.

Οι επίγειοι σαρωτές laser είναι όργανα ενεργής απεικόνισης τα οποία δίνουν σε πραγματικό χρόνο τις τρισδιάστατες συντεταγμένες του αντικειμένου που αποτυπώνεται. Για να γίνει η πλήρης αποτύπωση του αντικειμένου απαιτούνται πολλαπλές σαρώσεις από διαφορετικές θέσεις (στάσεις). Μεταξύ αυτών των σαρώσεων πρέπει να υπάρχει αλληλοεπικάλυψη, ώστε να είναι δυνατή σύνδεσή τους στην μετέπειτα επεξεργασία. Το όργανο τοποθετείται κάθε φορά σε θέση αγνώστων συντεταγμένων και ρυθμίζονται στο λογισμικό του οργάνου οι παράμετροι των μετρήσεων (πυκνότητα των σημείων προς αποτύπωση, προσεγγιστική απόσταση σαρωτή – αντικειμένου, κτλ.). Τα δεδομένα των μετρήσεων από τον σαρωτή είναι ανεξάρτητα νέφη σημείων με το δικό τους αυθαίρετο σύστημα αναφοράς τα οποία είναι σε αριθμό όσες και οι στάσεις κατά την αποτύπωση του μνημείου. Σκοπός της επεξεργασίας των δεδομένων είναι αυτά τα νέφη σημείων να τα μετατραπούν σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο (Τοκμακίδης, 2014).

Οι TLS εκτός από μετρήσεις μέσω παλμών laser έχουν ενσωματωμένες φωτογραφικές μηχανές ώστε να αποδίδουν και χρωματική πληροφορία (R, G, B) και να χρησιμοποιούν την αρχή του τριγωνισμού για προσδιορισμό θέσης για κάθε σημείο που καταγράφεται στο χώρο. Η διαδικασία σάρωσης ενός μνημείου αρχικά απαιτεί την ρύθμιση των παραμέτρων σάρωσης όπως η ανάλυση, η πυκνότητα σάρωσης αλλά και η ταχύτητα της. Έπειτα πραγματοποιείται την τοποθέτηση του οργάνου σε διαφορετικά σημεία στον χώρο – γύρω από το αντικείμενο ώστε να καταγράψει όλη την απαραίτητη μετρητική και ποιοτική πληροφορία, διασφαλίζοντας επικαλύψεις σε διαδοχικές στάσεις αλλά και πλήρης καταγραφής

όλων των δυνατών σημείων του αντικειμένου όπως εσοχές, ανάγλυφα σημεία ή περιοχές με ιδιαίτερη υφή. Συχνά υλοποιείται και μέτρηση ειδικών αυτοκόλλητων η σφαιρικών στόχων είτε μόνο από τον σαρωτή για ακριβέστερη συνένωση των νεφών σημείων είτε σε συνδυασμό με μετρήσεις τοπογραφικών μεθόδων. Έτσι είναι δυνατός ο έλεγχος - σύγκριση της ακρίβειας συνένωσης και οι επιπλέον δεσμεύσεις για την τελική συνόρθωση του μοντέλου. Αφού ολοκληρωθούν οι σαρώσεις του αντικειμένου (οι οποίες γίνονται αυτοματοποιημένα από το όργανο), συνέχεια έχει η επεξεργασία των μετρήσεων.

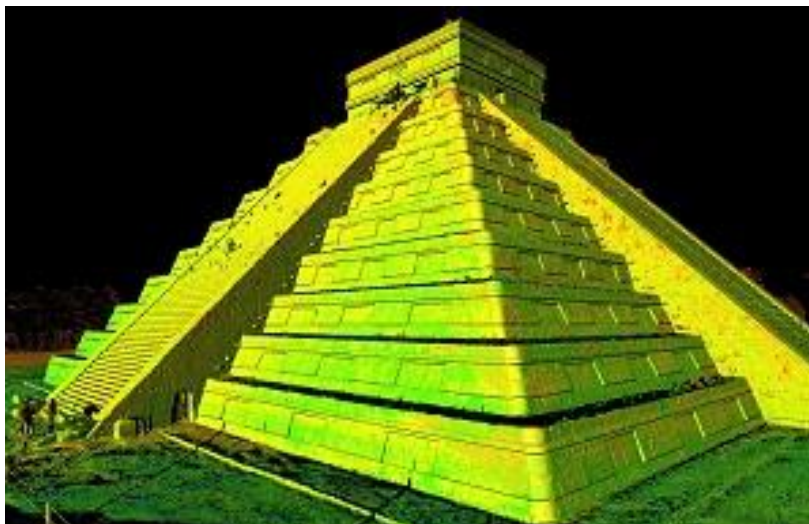
Για την γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου – κατασκευής με αυτή τη μέθοδο απαιτούνται πολλαπλές σαρώσεις από διαφορετικές θέσεις στον χώρο (με διαφορετικές προοπτικές ως προς το αντικείμενο) ώστε να καταγραφεί πλήρως κάθε επιφάνεια και λεπτομέρεια του αντικειμένου ενδιαφέροντος και στις τρεις διαστάσεις. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του μέρους της επεξεργασίας είναι πως πολλοί επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές φέρουν ενσωματωμένους αισθητήρες όπως επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια , για να παρακολουθούν την σχετική θέση και τον σχετικό προσανατολισμό (ΔX , ΔY , ΔZ , ω , ϕ , κ ,) του οργάνου σε μία θέση σάρωσης ως προς μία άλλη θέση. Στόχος, η καλύτερης ακρίβειας και πολλές φορές αυτοματοποιημένη συνένωση των δεδομένων (νεφών σημείων) καθώς τα λογισμικά αναγνωρίζουν τον σχετικό προσανατολισμό των σαρώσεων μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό επιταχύνει σημαντικά τον απαιτούμενο χρόνο για την διαδικασία της επεξεργασίας.



Εικόνα 55. Νέφος σημείων από την γεωμετρική τεκμηρίωση της Όπερας του Σύδνεϋ με σαρωτή laser (CyArk, 2016).

Τα προϊόντα που απορρέουν από τα υπό επεξεργασία δεδομένα των σαρωτών αυτών είναι πολυποίκιλα και αρκετά συνυφασμένα με αυτά των φωτογραμμετρικών μεθόδων. Εκτός από την δημιουργία χαρτών μικρής και μεγάλης κλίμακας και τοπογραφικών σχεδίων όπως όψεις και τομές (ως προς το οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο) αλλά και ψηφιακά μοντέλα υψομετρικής πληροφορίας (DEM), πλέον υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας ορθοφωτογραφιών (orthophotos) με την ακρίβεια δεδομένων σάρωσης ιδανικές για λεπτομερή

αποτύπωση, η δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων (3D models) για αναπαράσταση, τρισδιάστατων μοντέλων επιφάνειας (3d mesh model) για οπτικοποίηση, ανάλυση και προσομοίωση. Παρόμοιο ανάπτυγμα είναι και το μοντέλο πληροφοριών κτηρίου (Building Information Model – BIM) με συνολικές ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες για μία κατασκευή στο χώρο των τριών διαστάσεων. Ύστερα, άλλο ένα προϊόν που μπορεί να προκύψει είναι τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα (3D virtual environments) ή ‘ψηφιακά δίδυμα’ (Digital Twins) οποία είναι ολοκληρωμένα ψηφιακά αντίγραφα σαρωμένων περιοχών ή αντικειμένων. Συνδυάζουν δεδομένα νεφών σημείων, ορθοφωτογραφίες και τρισδιάστατα μοντέλα για να δημιουργήσουν τρισδιάστατες διαδραστικές εικονικές αναπαραστάσεις του πραγματικού κόσμου. Τα εικονικά περιβάλλοντα επιτρέπουν λεπτομερή ανάλυση, προσομοιώσεις και προγραμματισμό μέσα σε ένα ψηφιακό πλαίσιο υψηλής ακρίβειας. Είναι πολύτιμα για την επιστημονική έρευνα, την ιστορική συντήρηση και τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό.



Εικόνα 56. Νέφος σημείων από την γεωμετρική τεκμηρίωση της πυραμίδας ‘El Castillo’ (Ναός του Kukulcan) στην πόλη Τιτσέν Ιτζά του Μεξικού (CyArk, 2007).



Εικόνα 57. Τρισδιάστατο μοντέλο του Παλατιού Καλών Τεχνών στο Μεξικό (CyArk, 2019).

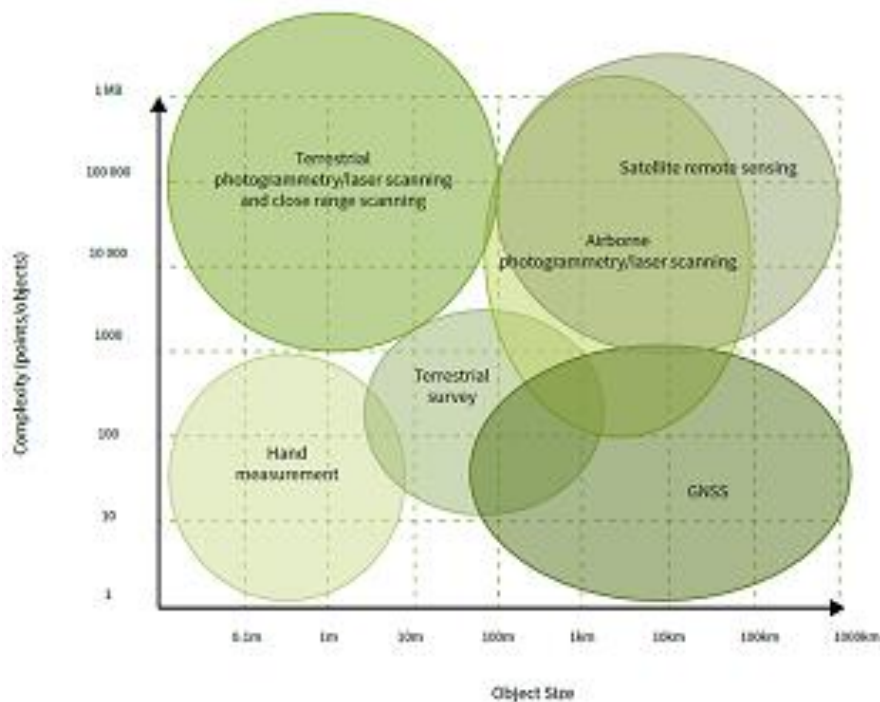


Εικόνα 58. Νέφος σημείων από την γεωμετρική τεκμηρίωση στο Ναό του Δία στην Πομπηία με επίγειο τρισδιάστατο σαρωτή (CyArk, 2003).

3.3.5 Συνδυασμός μεθόδων

Για την τρισδιάστατη τεκμηρίωση ενός αντικειμένου, μεγάλου ή μικρού, είναι απαραίτητη η απόκτηση ή η παραγωγή ενός νέφους σημείων. Κατά προτίμηση αυτό το σημείο νέφους θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνει χρώμα, δηλαδή πληροφορίες για την υφή (Georgoroulos, 2016). Όσον αφορά τον συνδυασμό των μεθόδων αυτών, αρκετές είναι οι εφαρμογές που αυτός απαιτείται για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση μία κατασκευής ή ενός μνημείου. Μέχρι στιγμής έχουν δημοσιευθεί πολλές έρευνες και εφαρμογές σχετικά με τη σύγκριση και την ενοποίηση μεταξύ ενεργών σαρωτών Laser (Range - Based Method) και ψηφιακής φωτογραμμετρίας (Image - Based Method), ως τεχνικές τοπογραφίας και μοντελοποίησης 3D. Οι κλασικές τοπογραφικές μέθοδοι κρίνονται πολλές φορές απαραίτητες για ένταξη σε γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (π.χ. ΕΓΣΑ'87) βελτίωση και ελέγχους ακρίβειας τόσο σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές όσο και σε τεκμηριώσεις με χρήση επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή Laser όπου στόχος είναι η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με υψηλής ακρίβειας. Τα περισσότερα από τα έργα αναφέρονται σε εφαρμογές τεκμηρίωσης πολιτιστικής κληρονομιάς.

Μεγάλη ποικιλία από αντικείμενα, όπως μικρά και μεγάλα αγάλματα, ιστορικά κτίρια ή ολόκληροι αρχαιολογικοί χώροι, έχουν ψηφιοποιηθεί και μοντελοποιηθεί διαφορετικούς σκοπούς, όπως η συντήρηση, η τεκμηρίωση και η ανακατασκευή. Επιτευχθέντα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι αυτές οι δύο τεχνολογίες μπορούν να αλληλοσυμπληρώνονται δημιουργώντας τρισδιάστατες εγγραφές και παρουσιάσεις υψηλής ποιότητας. Γενικά, οι τρισδιάστατοι σαρωτές μπορούν να παράγουν το πυκνό τρισδιάστατο νέφος σημείου δεδομένα που απαιτούνται για τη δημιουργία γεωμετρικών μοντέλων υψηλής ανάλυσης, ενώ η ψηφιακή φωτογραμμετρία είναι πιο κατάλληλη για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων με υφή υψηλής ανάλυσης που αντιπροσωπεύουν τη δομή του αντικειμένου (Guarnieri et al., 2006).



Εικόνα 59. Μέθοδοι αποτύπωσης σε συνάρτηση με την πολυπλοκότητα (μετρούμενα σημεία) και το μέγεθος του αντικειμένου (Boehler et al., 2001)

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι μια διακριτή απόφαση που απαιτεί βαθιά κατανόηση των αρχών κάθε τεχνικής. Κάποιοι από τους βασικούς παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι :

- **Τύπος και μέγεθος αντικειμένου :** Τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος του τύπου πολιτιστικής κληρονομιάς ή του αντικειμένου επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου καθορίζοντας το πλήθος των σημείων που πρέπει να καταγραφούν για την εκάστοτε τεκμηρίωση. Οι κλασικές μέθοδοι τοπογραφίας είναι καταλληλότερες για αντικείμενα που ορίζονται ως απλές κατασκευές – όχι πολύ μεγάλου μεγέθους, ενώ μεγαλύτερες και πιο σύνθετες δομές συχνά απαιτούν χρήση μεθόδου σάρωσης με laser ή και φωτογραμμετρίας.
- **Λεπτομέρεια και ακρίβεια:** Αλληλοεξαρτώμενες έννοιες με τις δύο παραπάνω στο φάσμα των τοπογραφικών αποτυπώσεων, το επίπεδο λεπτομέρειας και ακρίβειας που απαιτείται για την τεκμηρίωση είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την επιλογή της μεθοδολογίας και των οργάνων. Η φωτογραμμετρία και η σάρωση με λέιζερ όντας πιο εξελιγμένες τεχνολογικές μέθοδοι υπερέχουν στην ακριβή καταγραφή λεπτομερειών, ενώ οι κλασικές τοπογραφικές μέθοδοι μπορεί να είναι επαρκείς για ευρύτερη επισκόπηση και έλεγχο αξιοπιστίας. Από την απαιτούμενη ακρίβεια καθορίζεται και η τελική κλίμακα εκτύπωσης.

- **Προσβασιμότητα και Περιβαλλοντικές Συνθήκες:** Η προσβασιμότητα της τοποθεσίας και οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως ο φωτισμός και ο καιρός, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της βέλτιστης μεθόδου. Ένα πλεονέκτημα της ενεργής σάρωσης με laser μπορεί να επηρεαστεί λιγότερο από αντίξοες συνθήκες, αλλά μπορεί να απαιτεί περισσότερο χρόνος στο πεδίο σε αντίθεση με την φωτογραμμετρία.
- **Στόχοι και Προϋπολογισμός Έργου:** Οι στόχοι του έργου, τα χρονοδιαγράμματα και οι προϋπολογισμοί του επηρεάζουν καθοριστικά την επιλογή της μεθόδου. Οι μηχανικοί οφείλουν να εξισορροπήσουν τις απαιτήσεις του έργου με τους διαθέσιμους πόρους και τον χρόνο για την αποτύπωση. Η λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων ανάλογα με τις προκείμενες συνθήκες κρίνεται απαραίτητη για την επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας και αποτελεσματικότητας στην γεωμετρική τεκμηρίωση.

Έτσι γίνεται προφανές πόσο σημαντική είναι η κατανόηση των μεθόδων και των βασικών αρχών τους για την γεωμετρικής τεκμηρίωση. Λαμβάνοντας την κατάλληλη απόφαση, οι μηχανικοί μπορούν να συμβάλουν στην ακριβή, ολοκληρωμένη και βιώσιμη τεκμηρίωση και διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, διασφαλίζοντας ότι αυτοί μνημεία προστατεύονται για να εκτιμηθούν και να μελετηθούν από τις επόμενες γενιές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER

Στη σφαίρα της σύγχρονης τοπογραφίας και της τρισδιάστατης αποτύπωσης, οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ έχουν καθιερωθεί ως ένα σύγχρονο και απαραίτητο εργαλείο για αποτυπώσεις αντικειμένων, ιδιαίτερα σε αντικείμενα με πολλές υφές, λεπτομέρειες και ανάγλυφα σημεία. Η έλευση της επίγειας σάρωσης λέιζερ έχει φέρει επανάσταση στον τομέα κατά την διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών. Οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ είναι προηγμένα όργανα που χρησιμοποιούν τεχνολογία λέιζερ για τη λήψη εξαιρετικά λεπτομερών και ακριβών τρισδιάστατων δεδομένων αντικειμένων, δομών και τοπίων πραγματοποιώντας σαρώσεις ταχύτατα. Μια από τις βασικότερες μεθόδους τρισδιάστατης αποτύπωσης, αποδίδοντας δεδομένα υψηλής ακρίβειας του τρισδιάστατου χώρου (νέφος σημείων με συντεταγμένες X, Y, Z) σε πραγματικό χρόνο. Σημαντικό πλεονέκτημα η αυτοματοποιημένη σάρωση 360^ο που υλοποιεί το όργανο στον περιβάλλοντα χώρο αποκλείοντας έτσι τα σφάλματα χειριστή και περιορίζοντας τα σε αυτά του κατασκευαστή (ονομαστική ακρίβεια). Τα όργανα αυτά έχουν και την δυνατότητα απόδοσης χρωματικής πληροφορίας (RGB) για κάθε σημείο του νέφους με την βοήθεια των καμερών που διαθέτουν. Με τον τρόπο αυτό καθορίζεται και το χρώμα του αντικειμένου ενδιαφέροντος.

Η μέθοδος αυτή έχει όλο και περισσότερες εφαρμογές με την πάροδο του χρόνου σε τομείς όπως η σχεδίαση πρόσθετων μελών, το 3d printing, ο κινηματογράφος, τα video games, η αποτύπωση πολιτιστικών μνημείων αλλά και βιομηχανικών αντικειμένων καθώς και οι αποδώσεις εδαφολογικών και υψομετρικών χαρακτηριστικών. Γενικότερα σε ό,τι έχει να κάνει με αποτύπωση, αναπαράσταση και απόδοση του πραγματικού κόσμου στις τρεις διαστάσεις οι τρισδιάστατοι επίγειοι σαρωτές προσφέρουν αξιοπιστία, ευχρηστία και δυνατότητες γρήγορης και ταυτόχρονα πυκνής αποτύπωσης. Κάθε σάρωση δημιουργεί και ένα τελικό πυκνό νέφος σημείων. Με την συνένωση (registration ή allignment) των νεφών σημείων (point clouds) και την επεξεργασία, αποδίδεται και το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο. Από το μοντέλο αυτό ύστερα από δευτερεύουσα επεξεργασία, μπορούν να εξαχθούν άλλα παράγωγα τρισδιάστατα σχέδια για τοπογραφικές ανάγκες όπως η οριζόντιες και κατακόρυφες τομές και ανηγμένες όψεις του αντικειμένου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές και εδάφη, συλλέγοντας δεδομένα από φυσικά τοπία, κτίρια, υποδομές, ακόμη και βλάστηση. Αυτή η προσαρμοστικότητα καθιστά τη σάρωση laser ένα ανεκτίμητο εργαλείο σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένων, ενδεικτικά, της γεωγραφικής έρευνας, του πολεοδομικού σχεδιασμού, της διαχείρισης δασών και της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η καταγραφή του πραγματικού χώρου, η διαδικασία απόκτησης ακριβών και λεπτομερών αναπαραστάσεων αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, είναι κάποιες από τις δυνατότητες που προσφέρουν οι σαρωτές αυτοί με την εμφάνιση τους. Οι ακτίνες λέιζερ που εκπέμπονται από αυτά τα όργανα επιτρέπουν ακρίβεια σε επίπεδο χιλιοστού, καθιστώντας τα απαραίτητα εργαλεία για επιστημονική έρευνα που απαιτεί σχολαστικές χωρικές μετρήσεις.

4.1 Αρχές λειτουργίας επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών laser

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες με την κάθε μία να έχει τις δικές τις εφαρμογές, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η κυριότερη λογική πίσω από τις τεχνολογίες αυτές είναι η χρήση οπτικής ακτινοβολίας. Οι σημαντικές διαφορές έχουν να κάνουν με το μέγεθος, την υφή και του είδος του αντικειμένου που θα αποτυπωθεί. Οι σαρωτές laser έχουν την δυνατότητα να στέλνουν τρισεκατομμύρια φωτόνια στην μονάδα του χρόνου πάνω σε ένα αντικείμενο. Τα φωτόνια αυτά αντανακλούνται επάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου αποτύπωσης και ένα μικρό ποσοστό αυτών αντανακλώνται πίσω στους αισθητήρες του οργάνου.

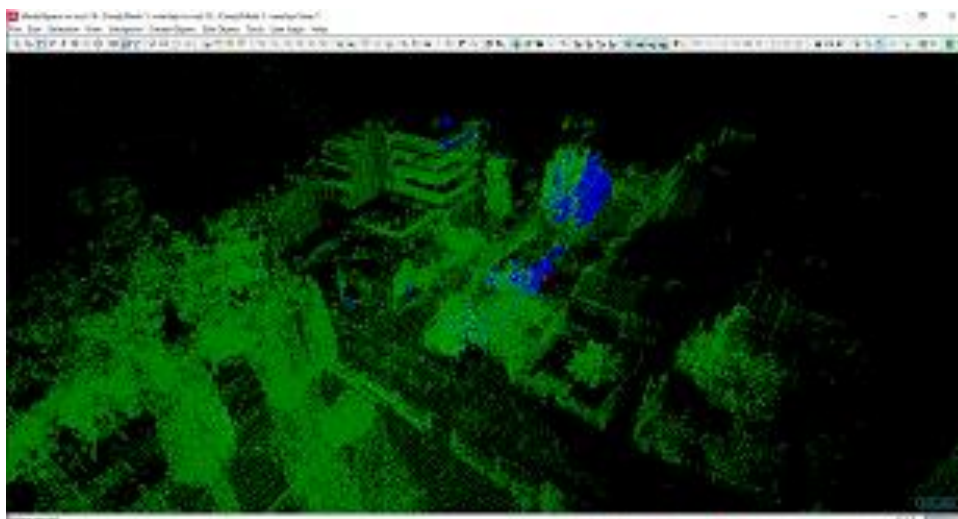
Τα φωτόνια αυτά κατευθύνονται μέσα στην συσκευή με την βοήθεια οπτικών διατάξεων που διαθέτει κάθε όργανο. Η ανακλαστικότητα κάθε επιφανείας εξαρτάται από το υλικό το οποίο είναι φτιαγμένη συνεπώς την υφή του αντικειμένου, το χρώμα του και το albedo του (συντελεστής ανάκλασης, όσο πιο ανακλαστική η επιφάνεια τόσο μεγαλύτερο το albedo). Όπως είναι γνωστό οι λευκές επιφάνειες και γενικότερα οι ανοιχτόχρωμες, ακτινοβολούν μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας οπτικής ακτινοβολίας από μία σκουρόχρωμη επιφάνεια. Αντίστοιχα διάφανες επιφάνειες όπως το γυαλί διαθλούν την οπτική ακτινοβολία με αποτέλεσμα την δημιουργία σφαλμάτων κατά την αποτύπωση. Τέτοιες δύσκολες περιπτώσεις αντιμετωπίζονται με την κάλυψη των επιφανειών αυτών με λεπτή πούδρα η οποία συμβάλλει σημαντικά στην αντανάκλαση του φωτός (Συμεωνίδης, 2007).

Ο σαρωτής εκπέμπει παλμούς laser. Το παλλόμενο laser σχηματίζει μια δέσμη η οποία υλοποιεί ένα κατακόρυφο επίπεδο που καθοδηγείται στο χώρο από ένα σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών, που βρίσκονται στο εσωτερικό του. Η δέσμη της ακτινοβολίας κινείται κατά την οριζόντια έννοια εντός μιας γωνίας (εύρος σάρωσης). Το εύρος της γωνίας δέσμης ορίζει το οπτικό πεδίο του σαρωτή και καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Όταν η δέσμη προσπίπτει στο αντικείμενο, ανακλάται και επιστρέφει στο δέκτη όπου και καταγράφεται ο χρόνος μετάβασης-επιστροφής της καθώς και η τιμή I της έντασης της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Τα δεδομένα αυτά καταγράφονται στην καταγραφική μονάδα του σαρωτή και μεταφέρονται στη μονάδα ελέγχου όπου και επεξεργάζονται. Η σάρωση του προς αποτύπωση αντικειμένου προκύπτει σαν διαδοχική σειρά στηλών διαδοχικών σημείων που σχηματίζουν μια τρισδιάστατη εικόνα. Οι σαρωτές καταγράφουν στην καταγραφική τους μονάδα τα παρακάτω στοιχεία : 1. χρόνο μετάβασης - επιστροφής του σήματος εκπομπής 2. γωνίες σάρωσης - οι γωνίες με τις οποίες εκπέμπεται η δέσμη από το σαρωτή (κατακόρυφη γωνία) 3. ένταση I της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτουν: η απόσταση σαρωτή-σημείου, οι πολικές συντεταγμένες των σημείων της επιφάνειας που σαρώνεται, και η τιμή της έντασης I της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Από τις πολικές συντεταγμένες υπολογίζονται στη συνέχεια αυτόματα οι καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y, z) των σημείων του προς αποτύπωση αντικειμένου στο τρισσορθογώνιο σύστημα του σαρωτή. Έτσι, σε κάθε σημείο αντιστοιχεί η πληροφορία (x, y, z, i) , με συνέπεια να ορίζεται η θέση καθώς και η υφή του. Τα

σημεία του αντικειμένου που αποτυπώνονται με την τεχνική της σάρωσης, παρουσιάζονται ενιαία με τη μορφή ενός νέφους σημείων (point cloud) που σχηματίζει και αποδίδει με ακρίβεια την τρισδιάστατη γεωμετρία του αντικειμένου που σαρώνεται (Παγούνης, Καλυκάκης και Μπιζά, 2004).

Κάθε κατασκευή (φυσική η τεχνητή) μπορεί να οριστεί στο χώρο των τριών διαστάσεων ως σύνολο σημείων. Η ορθότητα και η ακρίβεια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης καθορίζεται από την αντίστοιχη ορθότητα και ακρίβεια του τρισδιάστατου προσδιορισμού (x, y, z) κάθε χαρακτηριστικού σημείου της (Πανταζής, 2010).

Εκτός από την εντυπωσιακή τους ακρίβεια τα όργανα αυτά υπερέχουν και όσον αφορά την ταχύτητα σε αντίθεση με κλασικές μεθόδους τοπογραφίας οι οποίες συχνά απαιτούν επίπονες χειροκίνητες μετρήσεις. Οι σαρωτές laser μπορούν να αποδώσουν ταχύτατα δεδομένα του χώρου καταγράφοντας εκατομμύρια η και δισεκατομμύρια σημεία ανά σάρωση. Έτσι μπορούν να αποτυπωθούν μεγάλες εκτάσεις περιοχών σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μειώνοντας τα χρονοδιαγράμματα του έργου και ενισχύοντας τελικά την παραγωγικότητα. Επιπρόσθετα ελαχιστοποιούνται οι ανάγκες για επαναλαμβανόμενες επιτόπιες επισκέψεις, επιτρέποντας στους χρήστες να επικεντρωθούν στην ανάλυση και την λήψη αποφάσεων. Ένα ακόμη βασικό πλεονέκτημα της επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης έγκειται στην μη επεμβατική της φύση. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους που μπορεί να απαιτούν φυσική επαφή με το αντικείμενο αποτύπωσης, οι σαρωτές laser λειτουργούν χωρίς επαφή και χωρίς την ανάγκη σήμανσης σημείων. Ιδιαίτερα πολύτιμο χαρακτηριστικό όταν πρόκειται για ευαίσθητα περιβάλλοντα όπως χώρους μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.



Εικόνα 60. Νέφος σημείων (χωρίς χρωματική πληροφορία) για την αποτύπωση κτιρίου με επίγειο σαρωτή laser (Προσωπικό αρχείο).

Αναγκαίος κατά την αποτύπωση εξοπλισμός με την μέθοδο της επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης είναι το όργανο - σαρωτής (συσκευή), οι μπαταρίες του για τροφοδοσία ενέργειας αν υποστηρίζονται από το όργανο, αλλιώς απευθείας σύνδεση με ρεύμα, ο τρίποδας του καθώς και στόχοι αν χρησιμοποιηθούν (επίπεδοι

ασπρόμαυροι στόχοι, σφαίρες κ.ά). Υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης της συσκευής του σαρωτή με άλλη ηλεκτρονική συσκευή όπως κινητό τηλέφωνο ή φορητό υπολογιστή για επιτήρηση της απόδοσης και επεξεργασία της μνήμης σε πραγματικό χρόνο. Στην συνέχεια αναφέρονται και αναλύονται κάποια από τα βασικά εσωτερικά στοιχεία των συστημάτων των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών:

- **Πομπός λέιζερ**: Η πηγή λέιζερ στο σαρωτή είναι υπεύθυνη για την εκπομπή των σύντομων παλμών λέιζερ. Το λέιζερ που χρησιμοποιείται στους σαρωτές είναι συνήθως μια δίοδος λέιζερ ημιαγωγών που εκπέμπει φως στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα.
- **Οπτικά (Φακοί)**: Ο εκπεμπόμενος παλμός λέιζερ περνά μέσα από μια σειρά φακών και οπτικών εξαρτημάτων για να διαμορφώσει και να κατευθύνει τη δέσμη λέιζερ. Τα οπτικά βοηθούν να διασφαλιστεί ότι η δέσμη λέιζερ παραμένει εστιασμένη και ακριβής στο εύρος της σάρωσης.
- **Κάμερα – Αισθητήρας CCD**: Οι κάμερες αυτές εκτός του ότι φωτογραφίζουν το περιβάλλον και δημιουργούν μια πανοραμική εικόνα αποδίδοντας χρωματική πληροφορία (R, G, B) και υφή, λειτουργούν και ως δέκτες της ανακλώμενης από τις επιφάνειες δέσμης laser για τον υπολογισμό απόστασης με την μέθοδο του τριγωνισμού παρέχοντας έτσι και μετρητική πληροφορία.
- **Σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών**: Οι σαρωτές χρησιμοποιούν συχνά ένα σύστημα περιστρεφόμενου καθρέφτη. Αυτό το συγκρότημα περιλαμβάνει έναν περιστρεφόμενο καθρέφτη υψηλής ταχύτητας που αντανακλά γρήγορα τη δέσμη λέιζερ οριζόντια σε όλη τη σκηνή. Αυτό επιτρέπει στον σαρωτή να καταγράφει πολλά σημεία σε διαφορετικές οριζόντιες γωνίες κατά τη διάρκεια κάθε σάρωσης.
- **Μηχανισμός κλίσης**: Πολλοί επίγειοι σαρωτές λέιζερ, χρησιμοποιούν μηχανισμό κλίσης για την αλλαγή της κατακόρυφης γωνίας της δέσμης λέιζερ. Αυτό επιτρέπει στον σαρωτή να καταγράφει σημεία σε διαφορετικές κάθετες γωνίες και να κατασκευάζει μια πλήρη πανοραμική 3D αναπαράσταση του περιβάλλοντος.
- **Μονάδα μέτρησης χρόνου πτήσης**: Ο σαρωτής περιέχει μια μονάδα μέτρησης χρόνου πτήσης – χρονόμετρο που λειτουργεί με δέσμη laser , η οποία μετρά το χρόνο που χρειάζεται για να ταξιδέψει ο παλμός λέιζερ από το σαρωτή, να χτυπήσει ένα αντικείμενο και να επιστρέψει πίσω στο σαρωτή. Αυτή η χρονική μέτρηση, μαζί με τη γνωστή ταχύτητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται για τον ακριβή υπολογισμό της απόστασης από το κέντρο φακού του σαρωτή έως το αντικείμενο.
- **Εσωτερικοί αισθητήρες**: Οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ έχουν συχνά ενσωματωμένους διάφορους εσωτερικούς αισθητήρες, όπως γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα, για να παρακολουθούν τη θέση και τον

προσανατολισμό του σαρωτή σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα δεδομένα είναι ζωτικής σημασίας ώστε να περιοριστούν οι εκτροπές και οι παραμορφώσεις λόγω φακών και στροφών αντίστοιχα και να γίνει ορθά και εύκολα η συνένωση των νεφών σημείων. Οι θέσεις X, Y, Z της κάθε στάσης σάρωσης συνδέονται με τις προηγούμενες θέσεις σάρωσης, καθώς οι αισθητήρες (επιταχυνσιόμετρα) του οργάνου μετρούν τις τρισδιάστατες μετατοπίσεις ΔX, ΔY, ΔZ από ένα σημείο στάσης στο επόμενο. Τα γυροσκόπια μετρούν τις στροφές στους τρεις άξονες ω, φ, κ και με την συλλογή των δεδομένων αυτών καθίσταται δυνατή η δημιουργία δέσμης νεφών σημείων σε ενιαίο σύστημα αναφοράς χωρίς προβολικές παραμορφώσεις λόγω στροφών και μεταθέσεων.

- **Μονάδα ελέγχου και επεξεργασίας:** Η μονάδα εσωτερικού ελέγχου και επεξεργασίας διαχειρίζεται ολόκληρη τη διαδικασία σάρωσης. Συγχρονίζει την εκπομπή λέιζερ, την περιστροφή του καθρέφτη και τον μηχανισμό κλίσης, ενώ χειρίζεται επίσης τα δεδομένα από τη μονάδα μέτρησης TOF (Time of Flight) και τους εσωτερικούς αισθητήρες. Εκτελεί επίσης αρχική επεξεργασία και φιλτράρισμα δεδομένων πριν από την αποθήκευση ή τη μετάδοση των δεδομένων (νέφη σημείων).

Σε μία διαδικασία τρισδιάστατης επίγειας αποτύπωσης οι σαρωτές συνήθως φωτογραφίζουν αρχικά τον περιβάλλοντα χώρο με τις κάμερες (CCD) που διαθέτουν ώστε να δημιουργήσουν μια πανοραμική εικόνα 360 μοιρών. Η εμβέλεια και η πυκνότητα της κάθε σάρωσης μπορεί να διαφέρει και καθορίζεται από εξωτερική συσκευή πριν την αποτύπωση. Μόλις ολοκληρωθεί η πανοραμική εικόνα ξεκινάει η σάρωση με εκπεμπόμενο παλμό λέιζερ. Ένα ποσοστό του παλμού επιστρέφει στον σαρωτή και έτσι αυτός υπολογίζει τις αποστάσεις αλλά και τις οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες όλες ανακλώμενης ακτινοβολίες από το κάθε ένα σημείο σάρωσης. Με τον τρόπο αυτό υλοποιείται και το τελικό δεδομένο που είναι το νέφος σημείων.

Κατά την σάρωση η τρισδιάστατη θέση των σημείων προσδιορίζεται σε ένα σύστημα προβολικών συντεταγμένων, του οποίου η αρχή ορίζεται από τον αισθητήρα του σαρωτή, με τιμές $\phi=0$ και $\theta=0$ για το διάνυσμα που ξεκινάει από τον αισθητήρα και κατευθύνεται προς τα εμπρός του σαρωτή. Τα (ϕ) και (θ), μαζί με την απόσταση του κάθε σημείου (r) αποτελούν τις σφαιρικές συντεταγμένες που περιγράφουν πλήρως τη θέση του αντικειμένου σε ένα σύστημα σχετικό με το σαρωτή. Με τον τρόπο αυτό υλοποιείται αυτόματα η πραγματική κλίμακα 1:1 του αντικειμένου αφού ο σαρωτής γνωρίζει την ακριβή ταχύτητα μετάδοσης της οπτικής ακτινοβολίας. Έτσι μετρώντας με καλή ακρίβεια τον χρόνο που χρειάζεται η ακτινοβολία να φθάσει πάνω σε μία επιφάνεια και να επιστρέψει λόγω ανάκλασης στην οπτική διάταξη του σαρωτή υπολογίζεται η απόσταση του κάθε σημείου από το κέντρο του οργάνου. Στις περισσότερες περιπτώσεις μια σάρωση δεν θα μπορέσει να δημιουργήσει σωστή και ολοκληρωμένη απεικόνιση του αντικειμένου. Συνήθως απαιτούνται αρκετές σαρώσεις από διαφορετικές γωνίες και όψεις ώστε να δημιουργηθεί μία σωστή απεικόνιση. Πολλές φορές και για πολύπλοκα η μεγάλα αντικείμενα (π.χ. βιομηχανικές εγκαταστάσεις, πολυόροφα κτίρια κ.λ.π.)

απαιτούνται μερικές εκατοντάδες σαρώσεων. Αυτές οι διαφορετικές σαρώσεις από το κάθε σημείο στάσης του οργάνου θα πρέπει να αναφερθούν σε ένα ενιαίο, κοινό σύστημα αναφοράς (allignement η registration ανάλογα το λογισμικό που χρησιμοποιείται) (Συμεωνίδης, 2007).

Όπως αναφέρθηκε, για την σωστή απεικόνιση και δημιουργία ψηφιακής αναπαράστασης μέσω πυκνού νέφους σημείων απαιτούνται πολλαπλές σαρώσεις δηλαδή πολλαπλά σημεία στάσης οργάνου τόσο εξωτερικά περιμετρικά του αντικειμένου όσο και εσωτερικά του όταν αυτό είναι εφικτό (π.χ. κτίριο).

Το κέρδος στην περίπτωση της επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης εκτός από το ότι οι θέσεις στάσης του σαρωτή δεν χρειάζεται να προσδιοριστούν ως προς τις συντεταγμένες τους, καθώς η επικάλυψη από στάση σε στάση και συνεπώς οι ομολογίες που δημιουργούνται στο αντικείμενο ενδιαφέροντος κάνουν δυνατή την συνένωση των νεφών σημείων. Έτσι η σάρωση από μία στάση θα συνδεθεί με την επόμενη και την προηγούμενη της μέσω των κοινών σημείων στον χώρο που έχουν μετρηθεί (ομόλογα σημεία). Άλλο ένα όφελος είναι πως σε αντίθεση με μία παραδοσιακή τοπογραφική μέθοδο αποτύπωσης (π.χ. με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού) η οποία θα απαιτούσε την χειροκίνητη μέτρηση κάθε σημείου ενδιαφέροντος και λεπτομέρειας, είναι πως ο επίγειος σαρωτής λέιζερ σαρώνει τα όλα τα διακριτά σημεία του χώρου τυχαία και καταγράφοντας όλη την δυνατή τρισδιάστατη πληροφορία και γεωμετρία τους με πυκνό τρόπο. Με τον τρόπο αυτό αποδίδεται μια πιστότερη αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου (όσο πιο πυκνή η σάρωση τόσο πιστότερη η αποτύπωση) με τα νέφη σημείων να προσφέρουν πληροφορία για εκατομμύρια η και δισεκατομμύρια σημεία σε κάθε σάρωση.



Εικόνα 61. Νέφος σημείων (point cloud) χωρίς χρωματική πληροφορία (Orbital Africa Ltd, Kenya, 2022).

Παρ' όλα αυτά, η χρήση παραδοσιακών μεθόδων και οργάνων όπως αυτή του Ολοκληρωμένου Γεωδαιτικού Σταθμού (Total Station) μπορεί να κριθεί απαραίτητη για την υποστήριξη της διαδικασίας αποτύπωσης με επίγειο σαρωτή λέιζερ. Στις περισσότερες εφαρμογές τρισδιάστατης αποτύπωσης απαραίτητη κρίνεται και η γεωαναφορά του τελικού νέφους δηλαδή η ένταξη του τελικού νέφους σημείων σε Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς. Στην περίπτωση που τοποθετηθούν στόχοι είτε

επίπεδοι αυτοκόλλητοι είτε σφαιρικοί, οι στόχοι αυτοί εκτός ομόλογα σημεία (Tie points) για την καλύτερη συνένωση των σαρώσεων, μπορούν να μετρηθούν με την χρήση Total Station και να λειτουργήσουν και ως σημεία ελέγχου (Control Points). Τα σημεία ελέγχου είναι συγκεκριμένα σημεία που τοποθετούνται ή μετρώνται χειροκίνητα σε ένα αντικείμενο ή σκηνή με γνωστές συντεταγμένες. Αυτά τα σημεία χρησιμεύουν ως δείκτες αναφοράς με επακριβώς γνωστές θέσεις (συντεταγμένες) στον πραγματικό κόσμο. Τα σημεία ελέγχου χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ακρίβειας και της γεωαναφοράς του πυκνού νέφους. Μετρώντας με ακρίβεια τις συντεταγμένες των σημείων ελέγχου και αντιστοιχίζοντας με τα αντίστοιχα σημεία στις σαρώσεις, μέσω του λογισμικό επεξεργασίας μπορεί να καθοριστεί η ακριβής κλίμακα, ο προσανατολισμός και ο έλεγχος αξιοπιστίας της ακρίβειας συνόρθωσης του προκύπτοντος νέφους σημείων.

Όσον αφορά τα πεδία εφαρμογής των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών, παραθέτονται ορισμένες περιπτώσεις αποτύπωσης όπου τα όργανα αυτά μπορούν να αποτελέσουν την βέλτιστη μέθοδο προσφέροντας ακριβή και ταχεία αποτύπωση. Κάποιες από τις περιπτώσεις αυτές είναι :

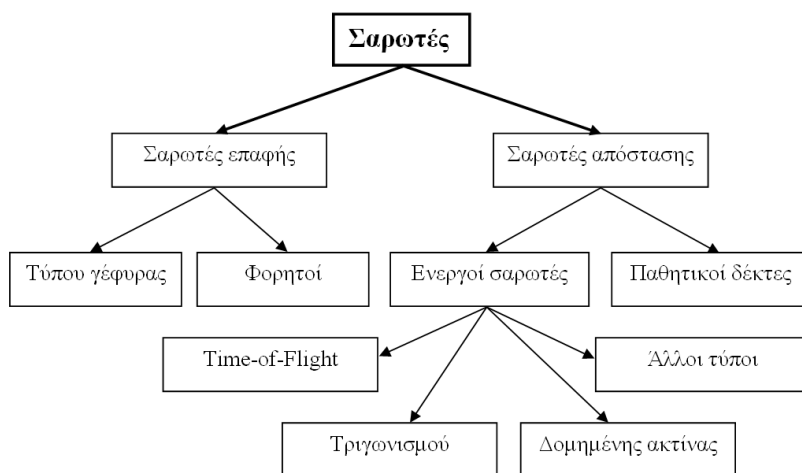
- Περιοχές, αντικείμενα και κτίρια που απαιτούν μεγάλη λεπτομέρεια αποτύπωσης.
- Γεωμετρικά περίπλοκες κατασκευές (νεοκλασικά κτίρια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις).
- Ευαίσθητες περιοχές (μνημεία υψηλής πολιτιστικής αξίας).
- Περιοχές με δύσκολη πρόσβαση (λατομεία, ορυχεία, οδικά δίκτυα).

Η δυνατότητα των οργάνων αυτών να καταγράψουν πληροφορία εκατομμυρίων σημείων με μόνο μία σάρωση σε σύντομο χρόνο, τα καθιστά εξαιρετικά χρήσιμα και ελκυστικά ιδιαίτερα σε περιπτώσεις τεκμηρίωσης όπως οι παραπάνω. Παράλληλα όμως οι σαρωτές παρουσιάζουν και ορισμένες ευαισθησίες όπως αυτή σε κινήσεις κατά την διάρκεια μιας σάρωσης και για τον λόγο αυτό θα πρέπει όλοι τα χαρακτηριστικά τους να λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του κατάλληλου οργάνου.

4.2 Κατηγορίες επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών laser

Οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ευρέως σε δύο βασικούς τύπους με βάση την αρχή λειτουργίας τους: σαρωτές επαφής (Contact Scanners) και σαρωτές απόστασης (Non-Contact Scanners). Παρακάτω αναλύονται κάποια από τα διακριτά χαρακτηριστικά, τις αρχές λειτουργίας και τις εφαρμογές της κάθε κατηγορίας σαρωτών.

Οι σαρωτές αποστάσεων κατηγοριοποιούνται σε ενεργούς και παθητικούς. Οι παθητικοί σαρωτές χρησιμοποιούν φυσικές ή τεχνητές πηγές φωτός του για τη αποτύπωση αντικειμένων και περιοχών. Οι ενεργοί σαρωτές laser απόστασης αποτελούν την πιο εκτεταμένη μέθοδο σάρωσης όσον αφορά εφαρμογές αποτύπωσης. Αυτοί χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τις διαφορετικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό της απόστασης και τελικά της θέσης του κάθε καταγεγραμμένου σημείου αλλά και ως προς τον τρόπο με τον οποίο υλοποιούν την σάρωση δηλαδή στατικά με τρίποδα ή εν κινήσει όπως για παράδειγμα οι σαρωτές χειρός.



Εικόνα 62. Κατηγοριοποίηση επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών (Συμεωνίδης , 2007).

4.2.1 Σαρωτές επαφής

Οι σαρωτές επαφής (Contact Scanners) είναι συσκευές που αλληλεπιδρούν φυσικά με την επιφάνεια ή το αντικείμενο που σαρώνεται. Αυτοί οι σαρωτές χρησιμοποιούν συνήθως μία γραφίδα για τη συλλογή δεδομένων μέσω φυσικής επαφής με το αντικείμενο, δίνοντας σχετικές συντεταγμένες σε ένα ενσωματωμένο καταγραφικό σύστημα. Οι σαρωτές επαφής χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες για τη λήψη τρισδιάστατων δεδομένων. Μία από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους είναι η Μηχανή Μετρήσεων Συντεταγμένων (Coordinate Measuring Machine ή CMM). Μία CMM χρησιμοποιεί έναν μηχανικό βραχίονα με έναν αισθητήρα αφής συνδεδεμένο στο άκρο του. Ο αισθητήρας αφής έρχεται σε φυσική επαφή με την επιφάνεια του αντικείμενου και η θέση του καταγράφεται για να δημιουργηθεί ένα νέφος σημείων.

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, στον σχεδιασμό βιντεοπαιχνιδιών καθώς και στον κινηματογράφο για την δημιουργία εικονικών χαρακτήρων και μπορούν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα από την άποψη της ακρίβειας. Οι συγκεκριμένοι σαρωτές, έχουν σημαντικά

μειονεκτήματα καθώς απαιτούν την φυσική επαφή με το αντικείμενο γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην μεταβολή ή ακόμα και στην καταστροφή του προς εξέταση αντικείμενου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό όταν τα αντικείμενα που σαρώνουμε είναι ευαίσθητα, όπως για παράδειγμα ιστορικά έργα τέχνης ή ευαίσθητα όργανα και εξαρτήματα. Οι σαρωτές επαφής διαχωρίζονται περαιτέρω σε φορητούς και σαρωτές τύπου γέφυρας (Συμεωνίδης, 2007).

Κάποια από τα χαρακτηριστικά των σαρωτών επαφής είναι :

- Υψηλή ακρίβεια: Οι σαρωτές επαφών παρέχουν εξαιρετική ακρίβεια, καθιστώντας τους κατάλληλους για ακριβείς μετρήσεις και εργασίες επιθεώρησης.
- Μέτρηση από σημείο σε σημείο: Αυτοί οι σαρωτές είναι σε θέση να καταγράφουν μεμονωμένα σημεία δεδομένων, καθιστώντας τα ιδανικά για αντικείμενα μικρής κλίμακας ή εντοπισμένα χαρακτηριστικά.
- Περιορισμένο εύρος σάρωσης: Λόγω της φυσικής τους αλληλεπίδρασης με την επιφάνεια, οι σαρωτές επαφής είναι οι πλέον κατάλληλοι για μικρά ή περίπλοκα αντικείμενα και ενδέχεται να μην είναι πρακτικοί για τη σάρωση μεγάλων περιβαλλόντων.

Κάποιες εφαρμογές σαρωτών επαφής είναι ο ποιοτικός έλεγχος καθώς οι σαρωτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε διαδικασίες κατασκευής αλλά και επιθεώρησης της ακρίβειας και των διαστάσεων εξαρτημάτων. Έτσι ορίζεται και ελέγχεται με ακρίβεια το μέγεθος και το σχήμα ενός βιομηχανικού προϊόντος κατά την κατασκευή η πριν κυκλοφορήσει. Η αντίστροφη μηχανική είναι άλλο ένα πεδίο εφαρμογών των σαρωτών επαφών, όπου η καταγραφή περίπλοκων και λεπτομερών μικρών αντικειμένων είναι απαραίτητη.



Εικόνα 63. Σαρωτής επαφής τύπου γέφυρας ZEISS MMZ T (Zeiss, 2020)



Εικόνα 64. Φορητός σαρωτής επαφής FARO Quantum S ScanArm (Faro, 2021)

4.2.2 Σαρωτές απόστασης

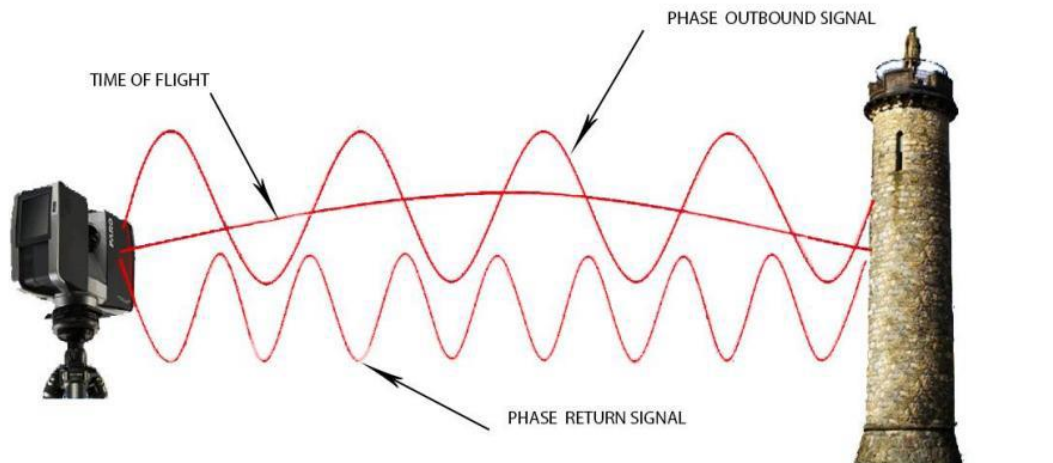
Οι σαρωτές απόστασης (Non Contact Scanners), γνωστοί και ως σαρωτές χωρίς επαφή, χρησιμοποιούν τεχνολογία λέιζερ για τη λήψη δεδομένων από απόσταση χωρίς άμεση φυσική επαφή με το αντικείμενο ή την επιφάνεια που σαρώνεται. Οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ απόστασης χρησιμοποιούν τεχνολογία λέιζερ για τη λήψη τρισδιάστατων δεδομένων χωρίς φυσική αλληλεπίδραση με τα αντικείμενα ή τις επιφάνειες που σαρώνονται. Η ανάλυση των επίγειων σαρωτών λέιζερ χωρίς επαφή περιλαμβάνει την κατηγοριοποίησή τους σε ενεργητικούς και παθητικούς σαρωτές. Στους ενεργητικούς, ένα ποσοστό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον σαρωτή ανακλάται πίσω σε αυτόν. Μετρώντας την ανάκλαση αυτή από ενσωματωμένο δέκτη που διαθέτει το όργανο υπολογίζεται η απόσταση του σημείου πρόσπτωσης και ανάκλασης ακτινοβολίας από τον αισθητήρα αλλά και η οριζόντια και κατακόρυφη γωνία του σημείου ως προς τον αισθητήρα. Με αυτό τον τρόπο υλοποιείται η απόδοση των τρισδιάστατων συντεταγμένων X, Y, Z του κάθε σημείου σε ένα νέφος σημείων. Οι ενεργητικοί σαρωτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε εξωτερικά περιβάλλοντα.

Οι ενεργητικοί σαρωτές λέιζερ εκπέμπουν και λαμβάνουν τη δική τους ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και δεν βασίζονται σε ανακλώμενο από το περιβάλλον ή τεχνητό φως όπως στη (παθητική) φωτογραφία (Historic England, 2018). Οι παθητικοί σαρωτές από την άλλη χρησιμοποιούν πηγές φωτός του περιβάλλοντος, όπως φυσικό ή τεχνητό φωτισμό, για τη λήψη τρισδιάστατων δεδομένων. Βασίζονται στην ανάκλαση ή την παρεμβολή του φωτός χωρίς να εκπέμπουν τους δικούς τους παλμούς laser. Οι σαρωτές αυτοί δεν είναι κατάλληλοι για αποτύπωση εξωτερικών χώρων με ανεπαρκείς συνθήκες φωτισμού.

Οι ενεργητικοί επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές laser μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την αρχή λειτουργίας μέτρησης απόστασης που χρησιμοποιούν. Η κάθε μέθοδος συσχετίζεται τόσο με την εμβέλεια σάρωσης που προσφέρει το όργανο όσο και με την προκύπτουσα ακρίβεια που αποδίδει (Fröhlich, Mettenleiter, 2004).

Βάσει των τεχνικών αυτών υπολογίζεται η απόσταση και η θέση για κάθε σημείο του point cloud (νέφος σημείων) ως προς τον σαρωτή σε ένα αυθαίρετο σύστημα προβολικών συντεταγμένων. Ακολουθούν οι τρεις κατηγορίες επίγειων σαρωτών απόστασης laser:

- Σαρωτές μέτρησης Χρόνου Πτήσης (μετάβασης και επιστροφής) (Time Of Flight Scanners)
- Σαρωτές υπολογισμού Διαφοράς Φάσης (Phase Shift Scanners)
- Σαρωτές Τριγωνισμού (Triangulations Scanners)



Εικόνα 65. Σύγκριση μεθόδων μέτρησης απόστασης Χρόνου Πτήσης (Time of Flight) και Διαφοράς Φάσης (Phase Shift) (Stanley, 2013)

- **Σαρωτές χρόνου πτήσης – Time of flight based scanners**

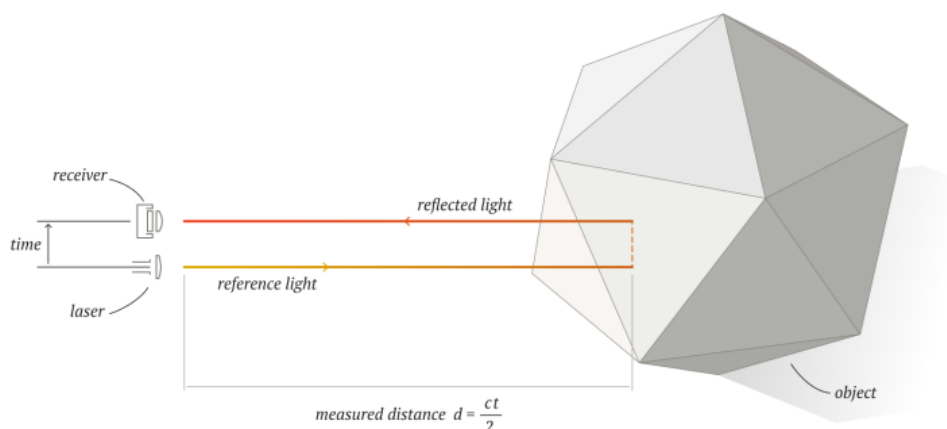
Οι σαρωτές που λειτουργούν σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, υπολογίζουν την απόσταση του κάθε σημείου που καταγράφουν στον χώρο μέσω της μέτρησης της διαφοράς χρόνου μεταξύ του εκπεμπόμενου και του λαμβανόμενου παλμού laser. Η λειτουργία αυτή βασίζεται στην αντανάκλαση του παλμού laser που σαρώνει το αντικείμενο πίσω στην πηγή της. Ο παλμός laser που εκπέμπει στον χώρο ο σαρωτής, αντανακλάται σε κάθε επιφάνεια που προσπίπτει (και βρίσκεται εντός εμβέλειας σάρωσης) και ένα μέρος του επιστρέφει πίσω στο όργανο, όπου και καταγράφεται ο χρόνος εισόδου στον δέκτη. Με δεδομένο ότι η ταχύτητα διάδοσης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι γνωστή και σταθερή, υπολογίζεται ο χρόνος μετάβασης – επιστροφής του παλμού από την πηγή στον αισθητήρα και έτσι η απόσταση μπορεί να δοθεί από τον τύπο (Soudarissanane, 2016):

$$S = \frac{c * \Delta t}{2}$$

με (c) την ταχύτητα διάδοσης της ακτινοβολίας, (Δt) τον χρόνο πτήσης (μετάβασης – επιστροφής) του παλμού laser και (S) την απόσταση του εκάστοτε σημείου.

Ο παλμός laser υπολογίζει την απόσταση ενός σημείου κάθε φορά. Για αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η αλλαγή διεύθυνσης της ακτίνας σε κάθε μέτρηση. Η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: είτε με την κίνηση της κεφαλής του οργάνου είτε με την κίνηση (περιστροφή) κατόπτρων στο εσωτερικό του οργάνου. Στην πράξη χρησιμοποιείται η διάταξη με τα κάτοπτρα καθώς η κίνηση τους καθίσταται ευκολότερη (τα κάτοπτρα είναι σαφώς ελαφρύτερα και ευκολότερα στον χειρισμό τους από ότι η κεφαλή του οργάνου) αλλά και παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στις μικρομετακινήσεις που απαιτούνται. Έτσι λοιπόν υλοποιείται η ακρίβεια και η ταχύτητα στις μετρήσεις (Συμεωνίδης, 2007). Η τεχνική Time of Flight (TOF) βασίζεται στην μέτρηση απόστασης όπου το εκπεμπόμενο laser του σαρωτή

προσπίπτει στο αντικείμενο και το ανακλώμενο σήμα του από το αντικείμενο συλλαμβάνεται από τον αισθητήρα της CCD και από τη διαφορά μεταξύ των χρόνων εκπομπής και λήψης, υπολογίζεται τελικά η απόσταση.



Εικόνα 66. Αρχή Μέτρησης Χρόνου Πτήσης Time of Flight, (Golubeva, 2022)

Αυτή η τεχνική βρίσκει μεγάλη χρήση στη ρομποτική. Τα ρομπότ μπορούν εύκολα να αντιληφθούν ένα εμπόδιο και ανάλογα να αλλάξουν την πορεία τους για να το αποφύγουν (Malhotra et al., 2011). Οι σαρωτές αυτοί έχουν την δυνατότητα να μετρήσουν σημεία του χώρου σε μεγάλες αποστάσεις ενώ με την μεταφορά τους από στάση σε στάση μπορούν να καταγράψουν μεγάλο εύρος περιοχών σε μικρό χρονικό διάστημα. Συνεπώς αποτελούν βέλτιστη επιλογή όταν πρόκειται για αποτυπώσεις μεγάλων και περίπλοκων αντικειμένων η και περιοχών, αποδίδοντας υψηλή ακρίβεια, εμβέλεια και αξιοπιστία.



Εικόνα 67. Ενεργητικός σαρωτής απόστασης TOF(Time of Flight) Leica RTC360



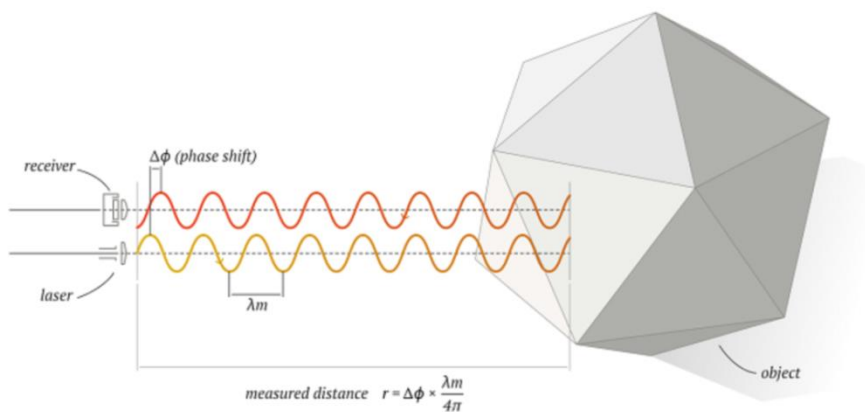
Εικόνα 68. Ενεργητικός σαρωτής απόστασης TOF (Time of Flight) Leica BLK360 G1.

- **Σαρωτές διαφοράς φάσης (Phase shift based scanners)**

Οι σαρωτές σύγκρισης φάσης εκπέμπουν συνεχές παλμό laser και μετρούν τη μετατόπιση φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και του ανακλώμενου παλμού για να υπολογίσουν την απόσταση από το σημείο που έχει ανακλαστεί η ακτινοβολία. Η μέθοδος σύγκρισης φάσεων λειτουργεί με βάση την έννοια της συμβολομετρίας. Όταν η ακτινοβολία εκπέμπεται από το σαρωτή και προσκρούει στην επιφάνεια του σαρωμένου αντικειμένου, μέρος της ανακλάται πίσω στον σαρωτή. Ο παλμός laser αλληλεπιδρά με την επιφάνεια του αντικειμένου και υφίσταται μια μετατόπιση φάσης, με αποτέλεσμα μια αλλαγή στο μέτωπο κύματος του. Στη μέθοδο διαφοράς φάσεων, ο σαρωτής χρησιμοποιεί ένα σήμα αναφοράς που είναι συμβατό με την εκπεμπόμενη δέσμη λέιζερ. Το σήμα αναφοράς συγκρίνεται με το επιστρεφόμενο ανακλώμενο σήμα, το οποίο περιέχει τις πληροφορίες μετατόπισης φάσης. Η διαφορά φάσης μεταξύ αυτών των δύο σημάτων μετριέται και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης από το σαρωτή στο σαρωμένο σημείο. Έτσι δεν απαιτείται ακριβές χρονόμετρο για την μέτρηση διαφοράς φάσης. Ένα μειονέκτημα των σαρωτών αυτών είναι η περιορισμένη εμβέλεια τους σε σχέση με τους Time of Flight.

Στους σαρωτές σύγκρισης φάσεων, η απόσταση (d) από το σαρωτή στο σαρωμένο σημείο υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης ($\Delta\phi$) μεταξύ των εκπεμπόμενων και ανακλώμενων σημάτων laser και του μήκους κύματος (λ) του φωτός λέιζερ. Η εξίσωση είναι (Soudarissanane, 2016):

$$d = \frac{\Delta\phi * \lambda}{4\pi}$$



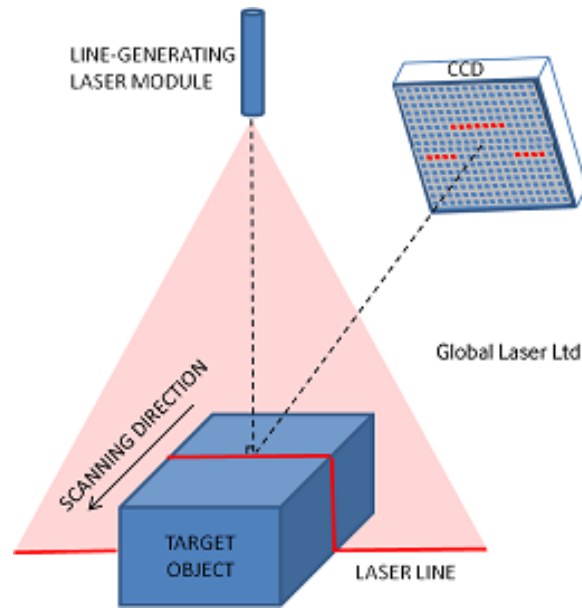
Εικόνα 69. Αρχή Μέτρησης Διαφοράς Φάσης (Phase Shift), (Golubeva, 2022)

- **Σαρωτές τριγωνισμού (Triangulation based scanners)**

Η αρχή του τριγωνισμού είναι μια θεμελιώδης τεχνική που χρησιμοποιείται σε ενεργούς επίγειους σαρωτές λέιζερ χωρίς επαφή για τη μέτρηση αποστάσεων από σαρωμένα σημεία. Βασίζεται στην προβολή μιας δέσμης λέιζερ από τον πομπό του σαρωτή στην επιφάνεια του σαρωμένου αντικειμένου και στην ανάλυση της γωνίας μεταξύ του εκπεμπόμενου και του ανακλώμενου παλμού laser για τον προσδιορισμό της απόστασης. Στη μέθοδο τριγωνισμού, ο σαρωτής εκπέμπει μια ακτίνα λέιζερ στην επιφάνεια του αντικειμένου και η δέσμη ανακλάται πίσω στον αισθητήρα του σαρωτή. Ανιχνεύεται η θέση της ανακλώμενης δέσμης στον αισθητήρα και μετράται η γωνία μεταξύ της εκπεμπόμενης και της ανακλώμενης δέσμης.

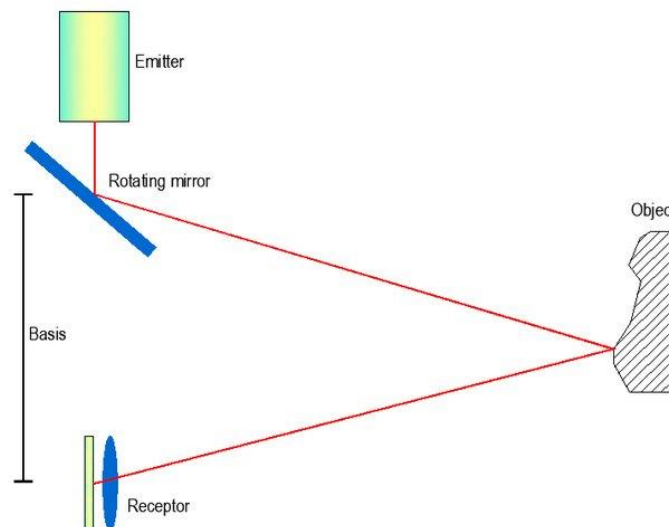
Η απόσταση (S) από το σαρωτή ως προς κάθε αντικείμενο του χώρου που υπάγεται στο βεληνεκές του μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τριγωνομετρικές αρχές, με το (S) να αντιπροσωπεύει την απόσταση από το σαρωτή στο σαρωμένο σημείο, (B) είναι η βάση δηλαδή η απόσταση μεταξύ του πομπού λέιζερ και της κάμερας CCD, (b) είναι η θέση στον αισθητήρα όπου ανιχνεύεται η ανακλώμενη δέσμη λέιζερ καταγράφεται ως η πλευρική μετατόπιση και (θ) είναι η γωνία μεταξύ της εκπεμπόμενης και της ανακλώμενης δέσμης. Η εξίσωση δίνεται ως:

$$S = \frac{B * b}{2 \tan(\theta)}$$



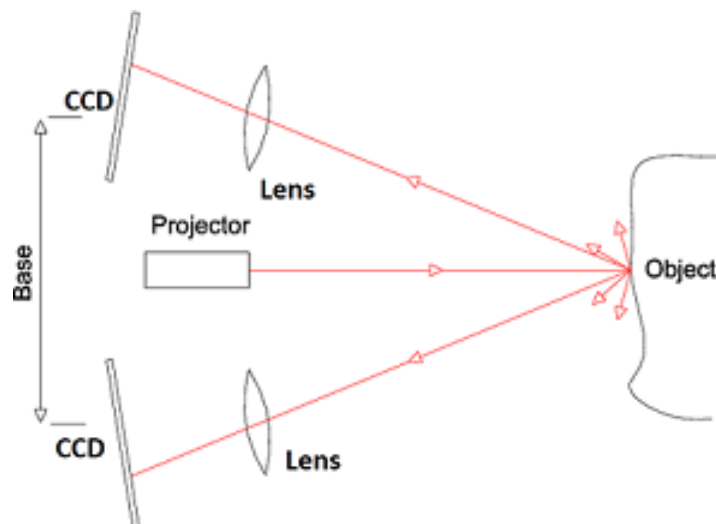
Εικόνα 70. Αρχή Λειτουργίας Τριγωνισμού σε σαρωτή laser(Global Laser Ltd, 2018)

Όταν η δέσμη λέιζερ προβάλλεται στην επιφάνεια του σαρωμένου αντικειμένου και ανακλάται, δημιουργείται ένα τρίγωνο με τη γραμμή βάσης και το σαρωμένο σημείο. Βάση αποκαλείται η δεδομένη απόσταση μεταξύ του πομπού laser και του αισθητήρα CCD (κάμερα). Έτσι υπολογίζεται η γωνία μεταξύ της εκπεμπόμενης και της ανακλώμενης δέσμης και καταγράφεται η πλευρική μετατόπιση) της ανακλώμενης δέσμης στον αισθητήρα. Εφαρμόζοντας την τριγωνομετρική εξίσωση που αναφέρθηκε προηγουμένως, μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια η απόσταση από το σαρωτή στο σαρωμένο σημείο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για πολλά σημεία στην επιφάνεια του αντικειμένου, επιτρέποντας στον σαρωτή να δημιουργήσει μια πυκνή και ακριβή αναπαράσταση νέφους σημείων του περιβάλλοντος.



Εικόνα 71. Αρχή λειτουργίας τριγωνισμού (Loprencipe, Moretti, 2018)

Ο τριγωνισμός στους επίγειους ενεργητικούς σαρωτές βασίζεται στην εκπομπή του παλμού laser πάνω σε ένα αντικείμενο το οποίο έχει φωτογραφηθεί από μία ψηφιακή κάμερα-αισθητήρα (CCD). Η τρισδιάστατη θέση της δέσμης λέιζερ πάνω στο εκάστοτε σημείο του αντικείμενου μπορεί να υπολογιστεί με τριγωνομετρία, αν είναι γνωστά η απόσταση μεταξύ της πηγής λέιζερ και της κάμερας CCD (ονομάζεται γραμμή βάσης) και η γωνία μεταξύ της προσπίπτουσας και της ανακλώμενης ακτινοβολίας (Peirani, Taabbodi, 2010). Η μέθοδος του Τριγωνισμού (Triangulation) παρέχει εξαιρετική ακρίβεια μέτρησης, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή τρισδιάστατα δεδομένα. Οι σαρωτές τριγωνισμού υπερέχουν στην καταγραφή δεδομένων κυρίως από κοντινές αποστάσεις, καθιστώντας τους ιδανικούς για τη σάρωση μικρών αντικειμένων και περίπλοκων λεπτομερειών καθώς με την κίνηση του οργάνου κατά τη σάρωση είναι εφικτή η αποφυγή αποκρύψεων. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποτύπωση αντικειμένων με ποικίλες επιφάνειες, συμπεριλαμβανομένων των διαχυτικών και κατοπτρικών επιφανειών όσον αφορά την ακτινοβολία.



Εικόνα 72. Αρχή λειτουργίας τριγωνισμού με 2 κάμερες – αισθητήρες CCD (Boehler, Marbs, 2002)

- **Σαρωτές laser χειρός**

Πρόκειται για φορητές, μικρού μεγέθους συσκευές οι οποίοι σαρώνουν το αντικείμενο και χρησιμοποιούν κατά βάση την τεχνολογία τριγωνισμού (Συμεωνίδης 2007). Τα όργανα αυτά ανήκουν στην κατηγορία σαρωτών απόστασης και συνήθως χρησιμοποιούν της λειτουργίες τριγωνισμού. Η σημαντική διαφοροποίηση με τα υπόλοιπα είδη σαρωτών είναι πως οι σαρωτές χειρός μπορούν υλοποιούν μετρήσεις ενώ το όργανο κινείται στον χώρο. Έτσι η θέση και συνεπώς οι αποστάσεις του κάθε σημείου του χώρου από το κέντρο του αισθητήρα του σαρωτή αλλάζουν όσο αυτός κινείται. Για να γίνει εφικτή η καταγραφή δεδομένων ενώ η συσκευή αλλάζει συνεχώς θέση στον χώρο κατά την σάρωση, τα όργανα αυτά χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο Ταυτόχρονου Προσδιορισμού Θέσης και

Χαρτογράφησης - Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) για να συλλάβουν δεδομένα από τον τρισδιάστατο κόσμο και να δημιουργήσουν ένα νέφος σημείων του περιβάλλοντος χώρου, ενώ ταυτόχρονα προσδιορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό του σαρωτή μέσα στο χώρο. Τα όργανα αυτά προκειμένου να αποδώσουν ταυτόχρονα με ακρίβεια την θέση τους στον χώρο και τις εκάστοτε αποστάσεις του σαρωτή από αντικείμενα χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό οπτικού και laser SLAM (Visual & Lidar SLAM).

Το SLAM περιλαμβάνει την ταυτόχρονη εκτίμηση της θέσης και της κατάστασης μιας συσκευής εξοπλισμένης με ενσωματωμένους αισθητήρες και την κατασκευή ενός μοντέλου του περιβάλλοντος που αντιλαμβάνονται οι αισθητήρες. Σε απλές περιπτώσεις, η κατάσταση των συσκευών αυτών περιγράφεται από τη στάση τους (θέση και προσανατολισμός), αν και μπορεί να περιλαμβάνονται και άλλες ποσότητες, όπως η ταχύτητα τους κατά την κίνηση, τα σφάλματα αισθητήρων αλλά και οι παράμετροι βαθμονόμησης. (Cadena et al., 2016).

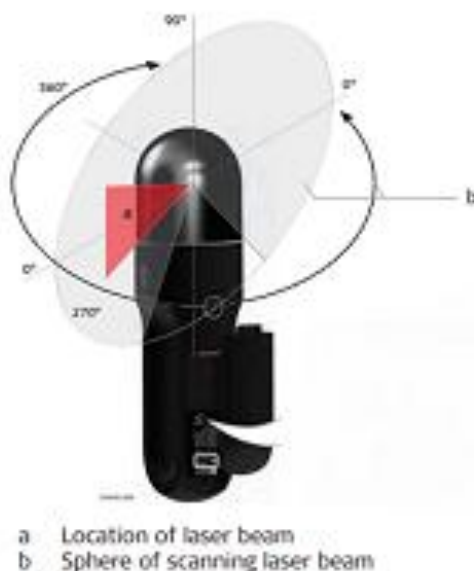


Εικόνα 73. Ενεργητικός Σαρωτής Χειρός Leica BLK2GO HandHeld Imaging Laser Scanner (Leica Geosystems AG, 2019).

Οι φορητοί σαρωτές είναι ελαφροί και σχεδιασμένοι για να μεταφέρονται εύκολα από τον χρήστη. Η φορητότητά τους επιτρέπει τη σάρωση σε στενούς χώρους ή δυσπρόσιτες περιοχές, καθιστώντας τα κατάλληλα για επιτόπιες επιθεωρήσεις και επιτόπια εργασία. Πολλοί σαρωτές χειρός προσφέρουν απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους χρήστες να προβάλλουν τα σαρωμένα δεδομένα καθώς καταγράφονται. Αυτή η δυνατότητα βοηθά στη διασφάλιση ολοκληρωμένης κάλυψης και στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων σάρωσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες σάρωσης λέιζερ και αισθητήρες υψηλής απόδοσης, επιτρέποντας τη γρήγορη λήψη δεδομένων.

Τέτοιες ταχύτητες σάρωσης πλεονεκτούν σε εφαρμογές αποτύπωσης αντικειμένων με πολύπλοκη γεωμετρία και παρέχουν πυκνά νέφη σημείων (π.χ. Ρυθμός Μέτρησης Σημείων για τον Leica BLK2GO : 420.000 pts/sec) (Leica Geosystems AG, 2019).

Οι σαρωτές laser χειρός προσφέρουν αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα κυρίως όσον αφορά την καταγραφή δεδομένων εν κινήσει (Mobile Mapping), την ευκολία χρήσης και την απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας τους πολύτιμα εργαλεία για τη λήψη 3D δεδομένων χωρίς επαφή. Το SLAM είναι μια σημαντική τεχνολογία για αυτόνομα συστήματα, όπως ρομπότ και μη επανδρωμένα οχήματα γενικότερα, καθώς και για φορητές συσκευές χαρτογράφησης όπως σαρωτές χειρός laser. Ένα σημείο στο οποίο υστερούν οι φορητοί σαρωτές χειρός είναι η περιορισμένη εμβέλεια σάρωσης που μπορούν να προσφέρουν συγκριτικά με τους ενεργητικούς σαρωτές απόστασης στατικών μετρήσεων.



Εικόνα 74. Θέση παλμού laser και σφαίρα σάρωσης του Leica BLK2GO (Leica Geosystems AG, 2019).

4.3 Ακρίβειες και σφάλματα σαρωτών laser

Τα ακριβή δεδομένα που απορρέουν από τις μετρήσεις των οργάνων, τόσο των πρωτογενών όσο και των παραγόμενων δεδομένων κατά την επεξεργασία των μετρήσεων, είναι απαραίτητα για κάθε έργο τρισδιάστατης και όχι μόνο τεκμηρίωσης. Η υψηλή ακρίβεια διασφαλίζει ότι το νέφος σημείων που καταγράφεται και αναπαρίσταται αντιπροσωπεύει την πραγματική γεωμετρία και τις διαστάσεις των αντικειμένων και της περιοχής την στιγμή που πραγματοποιείται η σάρωση. Τα αξιόπιστα δεδομένα είναι απαραίτητα για εργασίες όπως η

γεωμετρική τεκμηρίωση ιστορικών μνημείων, η μηχανική ανάλυση, ο αρχιτεκτονικός αλλά και ο πολεοδομικός σχεδιασμός, όπου οι αποφάσεις λαμβάνονται με βάση τα δεδομένα αποτύπωσης του χώρου. Η αξιοπιστία είναι μια κρίσιμη πτυχή όταν πρόκειται για όργανα αποτύπωσης και πιο συγκεκριμένα για σαρωτές laser, επειδή καθορίζει τη συνέπεια της απόδοσης του σαρωτή με την πάροδο του χρόνου και σε διάφορες συνθήκες αλλά και την συνέπεια του τελικού πυκνού νέφους. Οι σαρωτές διαφέρουν, ανάλογα με την κατηγορία τους κυρίως κατά τις ονομαστικές ακρίβειες που αποδίδουν και στις εμβέλεις που μπορούν να αποτυπώσουν σημεία στο χώρο.

Οι τυπικές ακρίβειες και οι εμβέλεις των οργάνων αυτών, διαφέρουν σημαντικά σε ορισμένες περιπτώσεις και για αυτό συστήνεται η κατανόηση των κατηγοριών και των δυνατοτήτων τους για την τεκμηριωμένη επιλογή μεθόδου και οργάνου αποτύπωσης. Όπως αναφέρθηκε, οι επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές προσφέρουν διαφορετικές δυνατότητες ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν.

Scanning System		Usage	Typical Accuracies (mm)	Typical Range (m)
Triangulation	Rotation stage	Small objects taken to scanner. Replica production	0.05	0.1 – 1
	Arm mounted	Small objects. Lab or field. Replica production	0.05	0.1 – 3
	Tripod mounted	Small objects in the field. Replica production	0.1 – 1	0.1 – 2.5
	Close range handheld	Small objects. Lab. Replica production	0.03 – 1	0.2 – 0.3
	Mobile (handheld, backpack)	Awkward locations eg building interiors, caves	0.03 – 30	0.3 – 20
Pulse (TOF)	Terrestrial	Building exteriors/interiors. Drawings, analysis, 3D models	1 – 6	0.5 – 1000
	Mobile (vehicle)	Streetscapes, highways, railways. Drawings, analysis, 3D models	10 – 50	10 – 200
	UAS	Building roofscapes, archaeological sites. Mapping and 3D models	20 – 200	10 – 125
	Aerial	Large site prospecting and mapping	50 – 300	100 – 3500
Phase	Terrestrial	Building exteriors/interiors. Drawing, analysis, 3D models	2 – 10	1 – 300

Εικόνα 75. Κατηγορίες Σαρωτών laser (ως προς την μέθοδο μέτρησης απόστασης) με τις εκάστοτε τυπικές ακρίβειες και τις τυπικές εμβέλεις τους (Historic England, 2018)

• Γωνιακή Ακρίβεια

Η γωνιακή ακρίβεια αναφέρεται στην ικανότητα ενός σαρωτή laser να μετρά με ακρίβεια τις γωνίες μεταξύ διαφορετικών σημείων στο σαρωμένο περιβάλλον. Είναι μια κρίσιμη παράμετρος που επηρεάζει τη χωρική ανάλυση και τη γεωμετρική πιστότητα του νέφους σημείων που προκύπτει. Η γωνιακή ακρίβεια ενός σαρωτή καθορίζεται συνήθως σε δευτερόλεπτα τόξου ή μοίρες και αντιπροσωπεύει το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα στις μετρήσεις γωνίας. Ο παλμός laser εκτρέπεται από μια μικρή περιστρεφόμενη συσκευή (καθρέφτης, πρίσμα) και αποστέλλονται από εκεί στο αντικείμενο. Η γωνία που σχηματίζεται από την διεύθυνση διάδοσης του παλμού επάνω στο αντικείμενο και τον καθρέφτη, μπορεί να αλλάξει χρησιμοποιώντας μηχανικό άξονα ή άλλη περιστρεφόμενη οπτική συσκευή. Οι ενδείξεις για αυτές τις γωνίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τρισδιάστατων σημειακών συντεταγμένων. Οποιοσδήποτε αποκλίσεις θα οδηγήσουν σε σφάλματα κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του σήματος (Boehler et al., 2003)

• Πυκνότητα σάρωσης

Ως πυκνότητα ορίζεται το βήμα της κάθε σάρωσης, δηλαδή η απόσταση κατά τους τρεις άξονες (X, Y, Z) μεταξύ δύο όμορων σημείων στο point cloud που αποδίδει το όργανο. Αναφέρεται στον αριθμό των σημείων - δεδομένων ανά μονάδα επιφάνειας στο νέφος σημείων. Όσο πιο πυκνή είναι μία σάρωση τόσο περισσότερη πληροφορία αποτυπώνεται και έτσι μετρήσεις με πυκνό βήμα έχουν ως αποτέλεσμα μια πιο λεπτομερή αναπαράσταση του σαρωμένου αντικειμένου ή περιβάλλοντος. Ουσιαστικά πρόκειται για τον ρυθμό με τον οποίο ο παλμός του οργάνου σαρώνει μία επιφάνεια, σημείο προς σημείο και καθορίζεται ανάλογα με την επιθυμητή κλίμακα αποτύπωσης. Για μεγαλύτερες κλίμακες απαιτούνται πυκνότερα νέφη σημείων. Πυκνότητα σάρωσης είναι η μέση απόσταση από σημείο σε σημείο των (συντεταγμένων XYZ) σε ένα νέφος σημείων, συνήθως σε μια καθορισμένη απόσταση από το σαρωτή. Η πυκνότητα σημείου που καθορίζεται από τον χρήστη θα πρέπει να θεωρείται ως η μέγιστη τιμή για το εν λόγω θέμα και θα πρέπει να είναι αρκετά πυκνή ώστε να επιτυγχάνεται επιθυμητή εξαγωγή λεπτομέρειας στις κλίμακες που καθορίζονται για το έργο (CALTRANS, 2018).

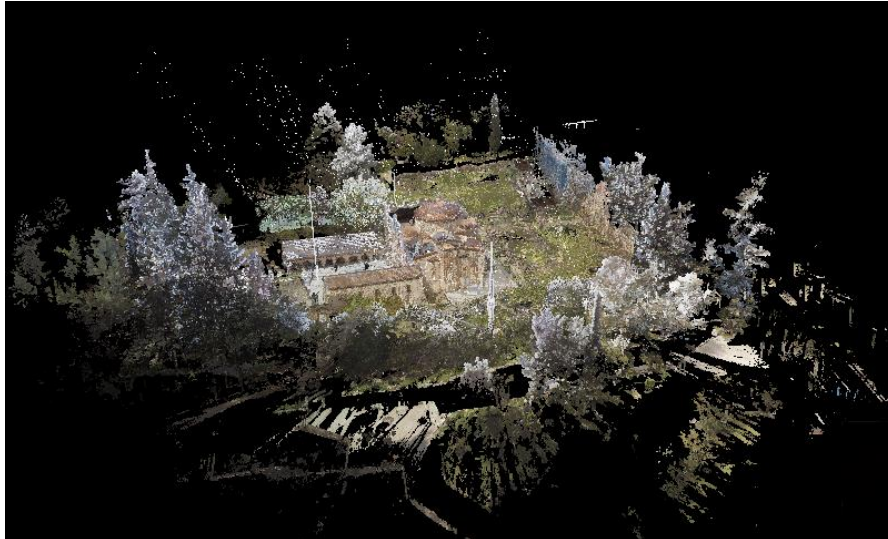
Αποτυπώνοντας ένα αντικείμενο όπως ένα ψηλό κτίριο για παράδειγμα, οι διάφορες επιφάνειες του κτιρίου βρίσκονται σε μια σειρά αποστάσεων από το σαρωτή. Η ανάλυση που ορίζεται σε ένα συγκεκριμένο εύρος θα ποικίλλει γραμμικά για μικρότερες και μεγαλύτερες αποστάσεις. Είναι σημαντικό λοιπόν να ληφθεί υπόψη κατά τον προγραμματισμό της έρευνας, καθώς πιο απομακρυσμένα σημεία του αντικειμένου αποτυπώνονται με λιγότερη λεπτομέρεια ανά μονάδα επιφάνειας και έτσι να μην επιτευχθεί η επιθυμητή ανάλυση.

Το σύνολο ανάλυσης ορίζει την πυκνότητα του σημείου και η προδιαγραφή μπορεί να διατυπωθεί με αυτή τη μορφή, για παράδειγμα ως 10.000 σημεία ανά 1 τετραγωνικό μέτρο. Αυτό ισοδυναμεί με ανάλυση 10 mm (100 σημεία κατά μήκος και των δύο αξόνων ενός τετραγώνου 1 m) (Historic England, 2018). Αξίζει να σημειωθεί πως ο αριθμός των σημείων που καταγράφονται μειώνεται αισθητά με την αύξηση της απόστασης σάρωσης (Zhu et al., 2008). Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το βήμα σάρωσης που δίνεται είναι προσεγγιστικό και αφορά μόνο αντικείμενα τα οποία βρίσκονται κάθετα στην πορεία της δέσμης laser. Οι πλάγιες σαρώσεις δίνουν μικρότερη πυκνότητα. Για αυτό τον λόγο συχνά ορίζεται υψηλότερη πυκνότητα από αυτή που μπορεί να απαιτούν οι προδιαγραφές ώστε να αποτυπωθεί όλη η δυνατή λεπτομέρεια του αντικειμένου που μπορεί το όργανο να καταγράψει.

- **Θόρυβος σάρωσης**

Κατά την διαδικασία της σάρωσης και ειδικότερα όταν πρόκειται για σαρώσεις σε εξωτερικούς χώρους, τις περισσότερες φορές αποτυπώνεται περιττή πληροφορία η οποία δεν συμβάλει στην δημιουργία του τελικού νέφους του αντικείμενου ενδιαφέροντος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται θόρυβος σάρωσης, μεταφέρεται στα αποτελέσματα των μετρήσεων και αποτελεί μέρος του νέφους σημείων (point cloud). Ο θόρυβος μπορεί να προκύψει είτε από επιπρόσθετα σημεία και περιοχές που αποτυπώθηκαν σκόπιμα ώστε να μην προκύψουν αποκρύψεις και κενές περιοχές στο αντικείμενου προς αποτύπωση, είτε από περιττά σημεία που αποτυπώθηκαν μη σκόπιμα. Τα σημεία και οι περιοχές οι οποίες δεν θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία του τελικού ενοποιημένου νέφους σημείων. Σε αυτές τις περιοχές συχνά ανήκουν φυσικά η τεχνητά εμπόδια μπροστά από το αντικείμενο σάρωσης όπως βλάστηση, σκαλωσιές περιμετρικά του αντικείμενου (όταν πρόκειται για συντήρηση) και γενικά οτιδήποτε ανήκει εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος ή βρίσκεται ανάμεσα στην περιοχή ενδιαφέροντος και την θέση του σαρωτή.

Ο έλεγχος, ο εντοπισμός και η απαλοιφή του θορύβου αυτού πραγματοποιείται στην διαδικασία της επεξεργασίας των νεφών σημείων όπου μπορούν να εντοπιστούν στο τρισδιάστατο περιβάλλον, οι περιοχές εκτός του αντικείμενου αποτύπωσης και να αφαιρεθούν. Έτσι προκύπτει η τελικά επιθυμητή καταγεγραμμένη πληροφορία στο τελικό πυκνό νέφος σημείων, χωρίς περιττά σημεία. Η διαδικασία της απαλοιφής θορύβου κρίνεται απαραίτητη για την παραγωγή πυκνού νέφους με την συνολική πληροφορία και καθιστά την επεξεργασία απλούστερη πολλές φορές καθώς περιορίζει το μέγεθος του τελικού νέφους σημείων κάνοντας το πιο διαχειρίσιμο στην επεξεργασία.

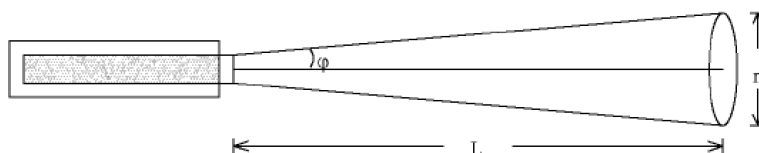


Εικόνα 76. Αποτύπωση Θορύβου (κυρίως βλάστησης) σε συνενωμένη δέσμη νεφών σημείων (Προσωπικό αρχείο).

- **Διαστάσεις κουκίδας laser**

Οι εταιρίες κατασκευαστών σαρωτών laser χρησιμοποιούν διαφορετικά μεγέθη κουκίδας laser αλλά και μεθόδους για να ορίσουν το μέγεθος αυτό. Η δέσμη laser έχοντας διαστάσεις αποδίδει τα τρισδιάστατα σημεία με ένα αντίστοιχο σφάλμα. Οι διαστάσεις της κουκίδας ορίζουν και την αβεβαιότητα υπολογισμού θέσης του κάθε σημείου αποτύπωσης στον χώρο καθώς όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της κουκίδας τόσο ακριβέστερος μπορεί να είναι ο προσδιορισμός του σημείου στο νέφος. Έτσι σημεία με μεγαλύτερη απόσταση από τον σαρωτή παρουσιάζουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα προσδιορισμού θέσης.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της εκπεμπόμενης δέσμης laser των οργάνων αυτών είναι ότι η δέσμη τείνει να μεγαλώνει ανάλογα με την απόσταση. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διασπορά και είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται στα laser που χρησιμοποιούνται στους σαρωτές (Συμεωνίδης, 2007).

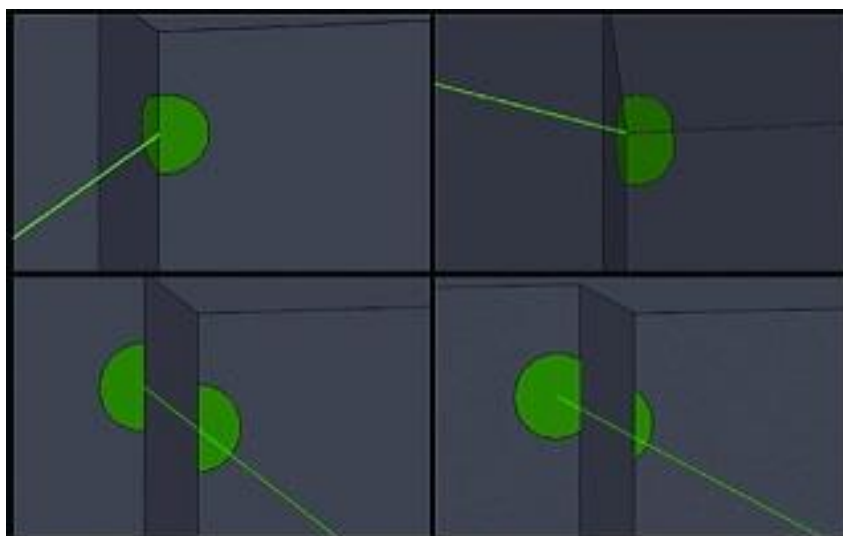


Εικόνα 77. Διασπορά κουκίδας laser σε απόσταση L από την πηγή της (Συμεωνίδης, 2007).

- **Σφάλματα ακμής**

Ο παλμός laser - που σχηματίζεται κατά τη λειτουργία του σαρωτή - όταν 'χτυπήσει' ένα αντικείμενο, παίρνει μια ορισμένη τιμή. Δεδομένου ότι η ο παλμός αυτός δεν είναι ένα σημείο αλλά μια έλλειψη, όταν παρεμποδίζεται από το σπάσιμο της επιφάνειας, χωρίζεται σε δύο ή περισσότερα μέρη. Έτσι διαφορετικοί βαθμοί θραύσης από την επιφάνεια του αντικειμένου προκαλούν διάφορες παραμορφώσεις στον ακριβή προσδιορισμό της θέσης εμφάνισης του laser.

Όταν η δέσμη αλληλεπιδράσει με την ακμή ενός αντικειμένου, το πρόβλημα που συχνά παρουσιάζεται είναι πως μόνο ένα μέρος της ανακλάται και επιστρέφει πίσω στον δέκτη του σαρωτή. Το υπόλοιπο μέρος της δέσμης είτε προσκρούει σε άλλη μακρινότερη επιφάνεια πίσω από αυτή της ακμής και ανακλάται πίσω στο όργανο είτε δεν προσκρούει καθόλου σε άλλη επιφάνεια και δεν καταχωρείται στο όργανο. Ακόμη και όταν εστιαστεί καλά, η κουκίδα laser επάνω στο αντικείμενο θα έχει ένα συγκεκριμένο μέγεθος. Όταν η κουκίδα χτυπά μια άκρη αντικειμένου, μόνο ένα μέρος της θα ανακλαστεί από το σημείο της ακμής. Τόσο οι σαρωτές εμβέλειας όσο και οι σαρωτές τριγωνισμού παράγουν μια ποικιλία λανθασμένων σημείων στην περιοχή των άκρων.). Το σφάλμα εύρους μπορεί να διαφέρει από μόλις ένα χιλιοστό σε τιμές πολλών εκατοστών. Προφανώς, τα λανθασμένα σημεία είναι αναπόφευκτα αφού η κουκίδα laser δεν μπορεί να εστιάζει ανάλογα με το μέγεθος του κάθε μετρούμενου σημείου. Ακόμη και όταν εστιαστεί καλά, η κουκίδα laser επάνω στο αντικείμενο θα έχει ένα συγκεκριμένο μέγεθος. Όταν η κουκίδα χτυπά μια άκρη αντικειμένου, μόνο ένα μέρος της θα ανακλαστεί από το σημείο της ακμής. Τόσο οι σαρωτές εμβέλειας όσο και οι σαρωτές τριγωνισμού παράγουν μια ποικιλία λανθασμένων σημείων στην περιοχή των άκρων.). Το σφάλμα εύρους μπορεί να διαφέρει από μόλις ένα χιλιοστό σε τιμές πολλών εκατοστών. Προφανώς, τα λανθασμένα σημεία είναι αναπόφευκτα αφού η κουκίδα laser δεν μπορεί να εστιάζει ανάλογα με το μέγεθος του κάθε μετρούμενου σημείου (Boehler et al. 2003).



Εικόνα 78. Αναπαράσταση σφάλματος ακμής (Klara, Mitka, 2017).

• Ανακλαστικότητα επιφανειών

Καθώς οι ενεργητικοί επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές απόστασης laser βασίζονται στην ανάκλαση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας πίσω στον αισθητήρα (ή αισθητήρες) του οργάνου, για την καταγραφή δεδομένων στον χώρο, η ανακλαστικότητα της κάθε επιφάνειας επιδρά σημαντικά στην τελική ακρίβεια απόδοσης της σάρωσης. Το ποσοστό και η ένταση με τα οποία θα επιστρέψει στον αισθητήρα η δέσμη laser εξαρτώνται από τις δυνατότητες ανάκλασης της κάθε επιφάνειας. Οι σαρωτές λέιζερ βασίζονται σε ένα σήμα που ανακλάται πίσω από την επιφάνεια του αντικειμένου στη μονάδα λήψης στην περίπτωση σαρωτών εμβέλειας και στην κάμερα στην περίπτωση σαρωτών τριγωνισμού. Σε κάθε περίπτωση, η ισχύς του σήματος επιστροφής επηρεάζεται από τις ανακλαστικές ικανότητες της επιφάνειας (albedo). Οι ανοιχτόχρωμες επιφάνειες (π.χ. λευκό χρώμα) αντανακλούν μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε συγκριτικά με τις σκουρόχρωμες επιφάνειες (π.χ. μαύρο χρώμα). Η ανάκλαση σε έγχρωμες επιφάνειες εξαρτάται από τα φασματικά χαρακτηριστικά του laser (πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο).

Οι γυαλιστερές επιφάνειες συνήθως δεν είναι εύκολο να καταγραφούν. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι επιφάνειες διαφορετικής ανακλαστικότητας έχουν ως αποτέλεσμα συστηματικά σφάλματα στην εμβέλεια της σάρωσης. (Boehler, et al., 2003)

• Θερμοκρασία

Τα όργανα αυτά λειτουργούν βέλτιστα υπό συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας των οποίων το εύρος ορίζεται από τον κατασκευαστή και συνήθως κυμαίνεται από $0^{\circ} - 40^{\circ}\text{C}$. Σαρώσεις που πραγματοποιούνται εκτός των ορίων αυτών προκαλούν την παρουσία συστηματικών σφαλμάτων στις μετρήσεις. Ακόμη και μέσα σε αυτό το εύρος, μπορεί να παρατηρηθούν αποκλίσεις, ιδιαίτερα στη μέτρηση της απόστασης. Θα πρέπει ληφθεί προσοχή λοιπόν σε θερμές θερμοκρασίες κατά την σάρωση αφού στο εσωτερικό του σαρωτή μπορεί να αναπτυχθούν θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες από τη θερμοκρασία της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας λόγω εσωτερικής θέρμανσης (ως ηλεκτρονική συσκευή) ή θέρμανσης που προκύπτει από εξωτερική ακτινοβολία (ήλιος).

Εάν το όργανο μεταφερθεί από ψυχρό περιβάλλον, για παράδειγμα από το σημείο αποθήκευσης, σε ζεστό περιβάλλον, ο καθρέφτης ή σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη και τα εσωτερικά οπτικά μπορεί να συμπυκνωθούν. Αυτό μπορεί να προκαλέσει σφάλματα στις μετρήσεις. Ως προφύλαξη συστήνεται η αποφυγή γρήγορων αλλαγών θερμοκρασίας και η αναμονή του απαραίτητου χρόνου ώστε να μπορέσει το όργανο να εγκληματιστεί (Leica Geosystems AG, 2017).

• Ατμόσφαιρα

Η ατμοσφαιρική πίεση και η ύπαρξη σκόνης στην ατμόσφαιρα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε γεωδαιτική εφαρμογή (που απαιτείται υψηλή ακρίβεια) χρήσης οργάνων που λειτουργούν με βάση την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για την μέτρηση απόστασης. Οι υδρατμοί καθώς και τα μόρια σκόνης και καπνού που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα της περιοχής μελέτης, δυσχεραίνουν την διάδοση του σήματος στον χώρο. Καθώς το μέσο στο οποίο ταξιδεύει η δέσμη της ακτινοβολίας (ατμόσφαιρα) έχει διαφορετικές συνθήκες πέρα των φυσιολογικών, εισέρχονται σφάλματα στις μετρήσεις των οργάνων, κυρίως σε μεγάλες αποστάσεις από τη θέση του οργάνου. Μεταβολές της θερμοκρασίας και της πίεσης επηρεάζουν την ισχύ, τη μορφή του παλμού, το μήκος κύματος της δέσμης του laser και την ένταση του επιστρεφόμενου σήματος.

Όπως είναι προφανές, όσο καλύτερες είναι οι καιρικές συνθήκες, τόσο μεγαλύτερο γίνεται και το βεληνεκές του οργάνου, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις όπου οι καιρικές συνθήκες είναι ιδανικές, μπορεί να μετρηθεί μήκος μεγαλύτερο από την ονομαστική τιμή του κατασκευαστή (Ηλιοδρομίτης, 2008).

• Ακτινοβολίες

Η δέσμη laser που εκπέμπεται από τους σαρωτές λειτουργεί σε πολύ περιορισμένο εύρος συχνοτήτων. Επομένως, μπορούν να εφαρμοστούν φίλτρα στη μονάδα λήψης του σαρωτή (αισθητήρα) επιτρέποντας μόνο τη συχνότητα του laser να αναγνωριστεί από τον δέκτη.

Η φωτεινή ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια διάταξη laser χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μεγάλη συνεκτικότητα τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Τα φωτόνια εκπέμπονται σε φάση και έχουν όλα το ίδιο μήκος κύματος και την ίδια διεύθυνση διάδοσης (Ηλιοδρομίτης 2008). Εάν η ακτινοβολία της πηγής φωτισμού (ηλιακό φως, τεχνητό φως) είναι ισχυρότερη από το σήμα, αρκετή από αυτή την ακτινοβολία περιβάλλοντος θα περάσει το φίλτρο και θα επηρεάσει την ακρίβεια ή θα αποτρέψει οποιοσδήποτε μετρήσεις.

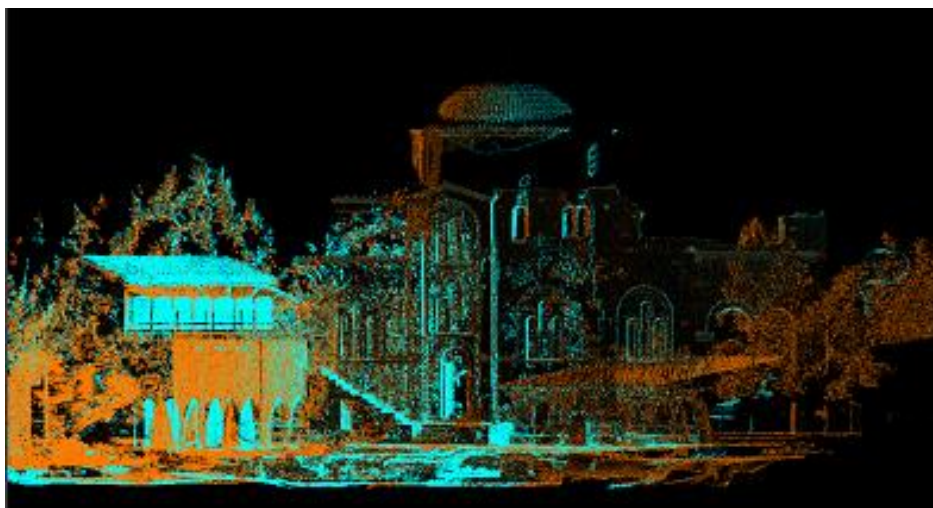
4.4 Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε, με σκοπό την ολοκληρωμένη τρισδιάστατη αποτύπωση ενός αντικειμένου ή μίας περιοχής απαιτούνται σχεδόν πάντοτε πολλαπλές σαρώσεις. Οι επίγειοι σαρωτές καταγράφουν ένα κομμάτι του περιβάλλοντα χώρου δημιουργώντας ένα πυκνό νέφος σημείων σε ένα αυτόνομο τρισδιάστατο προβολικό σύστημα συντεταγμένων που ορίζει το όργανο για κάθε σάρωση. Έτσι

από κάθε θέση σάρωσης συλλαμβάνεται ένα υποσύνολο του περιβάλλοντος από μια μοναδική προοπτική (που εξαρτάται από την θέση και τις στροφές του σαρωτή laser την δεδομένη στιγμή), με αποτέλεσμα τα εκάστοτε νέφη σημείων να ορίζονται στα αντίστοιχα αυτόνομα συστήματα συντεταγμένων τους. Για προκύψει το τελικό συνενωμένο νέφος με ακρίβεια θα πρέπει όλα τα δεδομένα (νέφη σημείων) των σαρωτών να συνενωθούν και να οριστούν ως ένα νέφος σημείων με την συνολική πληροφορία σε ενιαίο σύστημα συντεταγμένων πραγματικής κλίμακας.

- **Συνένωση νεφών σημείων (Point Cloud Registration)**

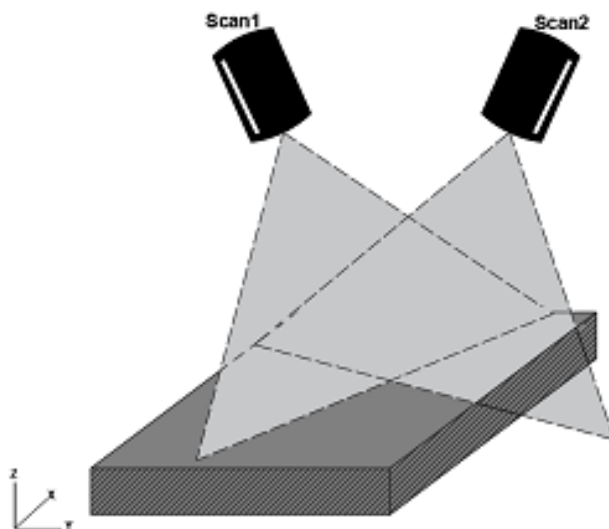
Αφού λοιπόν εισαχθούν τα δεδομένα στο λογισμικό επεξεργασίας, για να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο και ακριβές πυκνό νέφος σημείων απαιτείται η συνένωση (Registration ή Allignement) όλων των νεφών σημείων (point clouds) από τις διαφορετικές θέσεις σάρωσης σε ένα ενιαίο νέφος σημείων με κοινό σύστημα αναφοράς. Με την συνένωση όλων των σαρώσεων σε ένα ενιαίο πυκνό στο νέφος σημείων επιβάλλονται γεωμετρικές δεσμεύσεις. Με αυτό τον τρόπο απαλείφονται αποκλίσεις, συνταυτίζονται επικαλυπτόμενες περιοχές και έτσι δημιουργείται το νέφος με την συνολική τρισδιάστατη πληροφορία σε μια ενοποιημένη και ακριβή 3D αναπαράσταση του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Αυτή η συνολική ευθυγράμμιση εξαλείφει τις ασυνέχειες και τις αποκλίσεις, με αποτέλεσμα μία ακριβή τρισδιάστατη αναπαράσταση.



Εικόνα 79. Συνένωση (Registration) δύο διαδοχικών σαρώσεων. Το νέφος σημείων της μίας σάρωσης εμφανίζεται με πορτοκαλί χρώμα ενώ της δεύτερης σάρωσης με γαλάζιο (Προσωπικό αρχείο).

Η συνένωση (Registration) βρίσκει τη σχετική θέση και προσανατολισμό μεταξύ των σαρώσεων σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων, έτσι ώστε οι επικαλυπτόμενες περιοχές μεταξύ των σημείων να ταιριάζουν όσο το δυνατόν καλύτερα (Holz et al., 2015). Η συνένωση νεφών σημείων (Point Clouds) στοχεύει στην εύρεση ενός άκαμπτου μετασχηματισμού (6 παραμέτρων: ΔX , ΔY , ΔZ , $\Delta \omega$, $\Delta \phi$,

Δκ) τριών μεταθέσεων και τριών στροφών για την συνταύτιση ενός νέφους σημείων με ένα άλλο σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων και την απόδοση ενιαίου νέφους. Αυτή η διαδικασία είναι ένα θεμελιώδες πρόβλημα στην όραση υπολογιστών και τη ρομποτική, και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορες εφαρμογές όπως η τρισδιάστατη ανακατασκευή, ο ταυτόχρονος εντοπισμός και χαρτογράφηση (SLAM) αλλά και η αυτόνομη οδήγηση (Zhang et al., 2020). Στην περίπτωση που δύο σαρώσεις υλοποιηθούν από σημεία με άγνωστες γεωδαιτικές συντεταγμένες, χωρίς κέντρωση και οριζοντίωση του οργάνου στα σημεία αυτά, απαραίτητη προϋπόθεση για την συνένωση των νεφών σημείων είναι η ύπαρξη επικαλυπτόμενης περιοχής και στις δύο σαρώσεις. Σε αυτή την περίπτωση η αρχική διαδικασία συνένωσης υπολογίζει τον σχετικό μετασχηματισμό μεταξύ των θέσεων του οργάνου από την μία στάση σάρωσης ως προς την άλλη. Ο μετασχηματισμός αυτός περιλαμβάνει την μετατόπιση του οργάνου από την μία στάση σάρωσης ως προς την δεύτερη αλλά και τον προσανατολισμό του δηλαδή τις στροφές που είχε το όργανο κατά την δεύτερη σάρωση ως προς την πρώτη. Για τον υπολογισμό του μετασχηματισμού αυτού απαιτούνται κατ' ελάχιστο τρία (3) ομόλογα σημεία στον χώρο, τα οποία δημιουργούν το καθένα μία εξίσωση παρατήρησης με το κέντρο του σαρωτή για κάθε στάση του. Έτσι υλοποιούνται 6 εξισώσεις παρατήρησης και για τις 2 σαρώσεις συνολικά και υπολογίζονται η 6 παράμετροι του σχετικού μετασχηματισμού. Στην πραγματικότητα αξιοποιούνται όσον το δυνατό περισσότερα ομόλογα σημεία του χώρου (εξισώσεις παρατήρησης) για να προσφέρουν αρκετούς βαθμούς ελευθερίας και να εφαρμοστούν στην συνένωση γεωμετρικές δεσμεύσεις ώστε να αποκτήσει «ισχυρή» γεωμετρία.



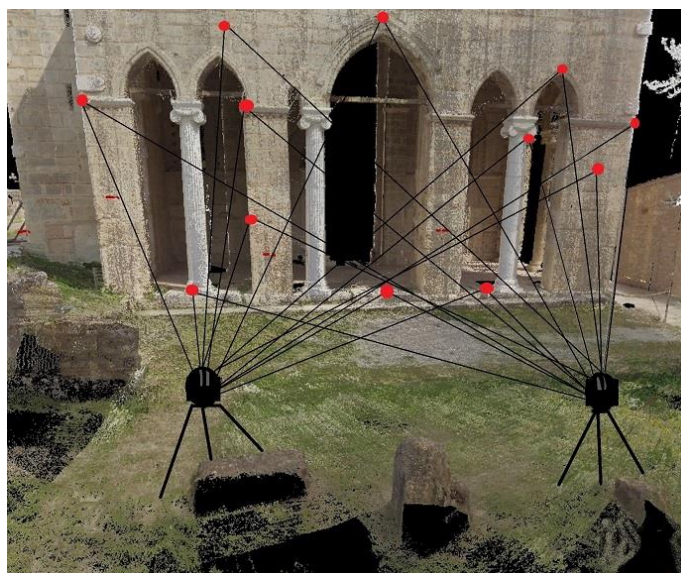
Εικόνα 80. Αναπαράσταση επικάλυψης επάνω στο αντικείμενο ενδιαφέροντος.

Η σκέψη στηρίζεται στο γεγονός ότι, κατά την λήψη, κάθε σημείο του αντικείμενου ορίζει μία ακτίνα προβολής με καθένα από τα δύο σημεία λήψης, οπότε για την παραγωγή ενός μοντέλου του αντικείμενου αρκεί να φέρουμε τις δύο εσωτερικά προσανατολισμένες δέσμες σε σωστή σχετική θέση ώστε να τέμνονται όλες οι ομόλογες ακτίνες (Πέτσα, 2000). Από την επικαλυπτόμενη περιοχή των

σαρώσεων αξιοποιούνται τουλάχιστον τρία διακριτά ομόλογα σημεία τα οποία μπορεί να είναι είτε χαρακτηριστικά σημεία του αντικειμένου αποτύπωσης όπως ακμές, είτε ειδικοί αυτοκόλλητοι ή σφαιρικοί στόχοι. Με την αξιοποίηση περισσότερων ομόλογων σημείων το τελικό νέφος συνορθώνεται με περισσότερες γεωμετρικές δεσμεύσεις παρέχοντας πιστότερη αποτύπωση.

- **Συνένωση βάσει ομολογίων (Cloud based registration)**

Η συνένωση δύο και περισσότερων σαρώσεων βάση των ομολογιών των νεφών σημείων είναι μια τεχνική εν χρήσει που συνταυτίζει τα σύννεφα σημείων αξιοποιώντας τις επικαλυπτόμενες περιοχές τους. Για να γίνει αυτό με συνέπεια απαιτείται τουλάχιστον 30% επικάλυψη μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων αν και το ποσοστό αυτό μπορεί να διαφέρει λίγο ανάλογα με το λογισμικό και τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για την συνένωση. Ένας από τους επικρατέστερους αλγόριθμος στην συγκεκριμένη μέθοδο είναι αυτός του επαναληπτικά κοντινότερου σημείου - Iterative Closest Point (ICP). Ο αλγόριθμος αυτός ελαχιστοποιεί επαναληπτικά το άθροισμα των τετράγωνων των αποστάσεων ομόλογων σημείων στον χώρο τα οποία απεικονίζονται σε διαφορετική θέση και με διαφορετικές στροφές ως προς την κάθε σάρωση, βελτιώνοντας συνεχώς την προσανατολισμένη συνταύτιση τους μέχρι αυτά να συγκλίνουν σε ένα σημείο. Αυτή η τεχνική βελτιστοποιεί τη χωρική εγγύτητα, διασφαλίζοντας τη συνεκτική συγχώνευση των νεφών σημείων.



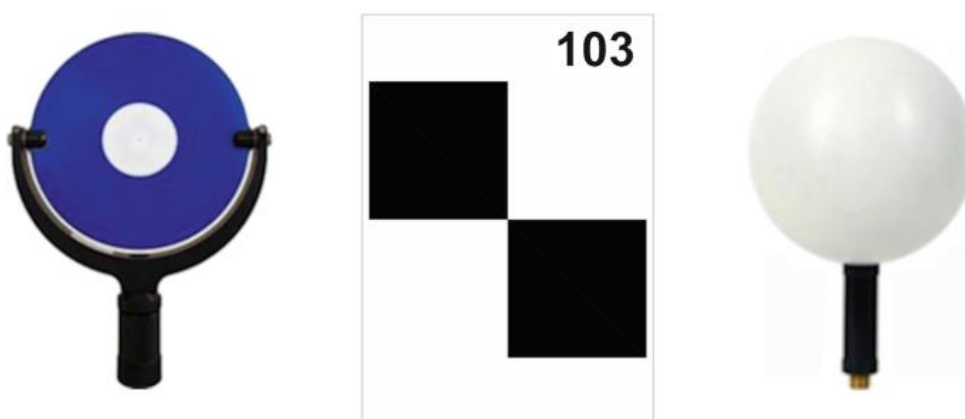
Εικόνα 81. Αναπαράσταση φυσικών ομολογων σημείων σε δύο διαδοχικές θέσεις σάρωσης.

Η συντάυτιση που βασίζεται σε ομόλογες περιοχές μεταξύ διαδοχικών σαρώσεων είναι κατάλληλη για στατικές μετρήσεις, παρέχοντας ένα αποτελεσματικό μέσο συνένωσης μεγάλων συνόλων δεδομένων. Στον αλγόριθμο

ICP τα κοντινότερα σημεία στον καρτεσιανό χώρο θεωρούνται ότι αντιστοιχίζονται έως να ελαχιστοποιηθούν οι αποστάσεις μεταξύ τους και να ταυτιστούν. Υπολογίζεται ένας μετασχηματισμός στερεού σώματος που ελαχιστοποιεί τις ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ των ζευγών των πλησιέστερων σημείων που βρέθηκαν με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Η διαδικασία προσδιορισμού των αντιστοιχων σημείων στα δύο σύνολα δεδομένων και υπολογισμού του μετασχηματισμού που τα ευθυγραμμίζει επαναλαμβάνεται μέχρι να συγκλείσει (Holz et al., 2015).

- **Συνένωση βάσει ειδικών στόχων (Target based registration)**

Η συνένωση νεφών σημείων με την χρήση ειδικών στόχων όπως ειδικοί αυτοκόλλητοι ή σφαιρικοί στόχοι προσφέρει ισχυρή λύση στην πρόκληση της ακριβής συνταύτισης σαρώσεων για την δημιουργία ενοποιημένων νεφών σημείων. Πριν την έναρξη κάθε σάρωσης, τεχνητοί στόχοι υψηλής ανακλαστικότητας τοποθετούνται στρατηγικά σε επικαλυπτόμενες περιοχές μεταξύ των σαρώσεων, επάνω στις επιφάνειες του αντικειμένου (αυτοκόλλητοι) ή μέσα στο περιβάλλον αποτύπωσης (σφαιρικοί με τρίποδα). Πρέπει να κατανέμονται ομοιόμορφα στον χώρο ώστε να υλοποιούν ομολογίες και στις τρεις διαστάσεις (X, Y, Z) και να τοποθετούνται σε διαφορετικά ύψη ώστε να μην είναι συνεθιακά. Αυτοί οι στόχοι (ομόλογα σημεία) χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς. Οι σφαίρες ή τα μοτίβα σκακιέρας χρησιμοποιούνται συνήθως ως στόχοι καθώς λόγω της υψηλής τους ανακλαστικότητας ανιχνεύονται και αναγνωρίζονται εύκολα από τους αισθητήρες του σαρωτή.



Εικόνα 82. Ειδικοί Στόχοι : HDS (High Definition Surveying) στόχος, στόχος τύπου σκακιέρας και σφαιρικός στόχος (Fryskowska A., 2018).

Ο επίγειος σαρωτής λέιζερ καταγράφει τόσο τα σημειακά δεδομένα νέφους των στόχων όσο και τις εικόνες των ίδιων των στόχων χρησιμοποιώντας την ενσωματωμένη του κάμερα. Οι εικόνες διευκολύνουν τον εντοπισμό και την

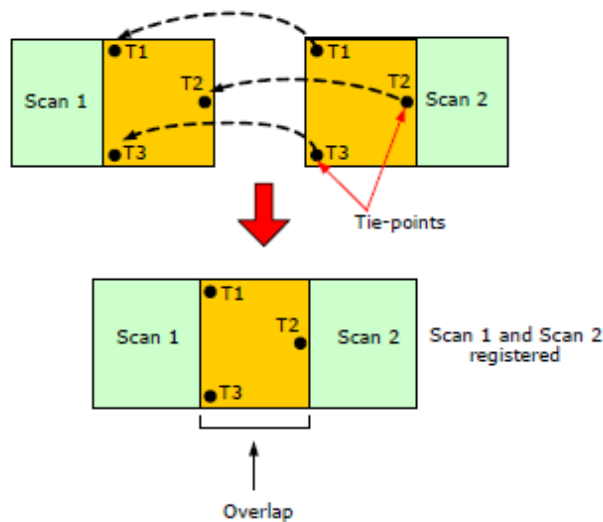
αναγνώριση των στόχων. Οι αντιστοιχίες μεταξύ των ανιχνευόμενων στόχων σε διαφορετικές σαρώσεις καθορίζονται με βάση μοναδικά μοτίβα ή γεωμετρικά χαρακτηριστικά, όπως κυκλικά κέντρα. Μόλις εντοπιστούν οι αντίστοιχοι στόχοι σε πολλαπλές σαρώσεις, το λογισμικό υπολογίζει τον σχετικό μετασχηματισμό (περιστροφή και μετάθεση) που απαιτείται για την ακριβή συνένωση των σαρώσεων. Αυτός ο μετασχηματισμός προέρχεται από τις αποκλίσεις μεταξύ των ανιχνευόμενων θέσεων των στόχων και των γνωστών τρισδιάστατων συντεταγμένων τους.

Τα σηματοδοτημένα σημεία είναι συνήθως προκαθορισμένοι στόχοι/σημάδια με γνωστή γεωμετρία, σχήμα και μοτίβο. Τα σημεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτόματα ή και χειροκίνητη συνένωση (Fryskowska, 2018).

- **Συνένωση με Γεωαναφορά (Georeference Registration)**

Πολύ συχνά σε εφαρμογές τρισδιάστατης αποτύπωσης και ειδικότερα γεωμετρικής τεκμηρίωσης απαιτείται η ένταξη του τελικού νέφους σε ένα τοπικό ή παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται Γεωαναφορά (Georeference) και για την υλοποίηση της είναι απαραίτητη η μέτρηση ειδικών στόχων (αυτοκόλλητων ή σφαιρικών) σε σημασμένα σημεία με επακριβώς γνωστές τρισδιάστατες γεωδαιτικές συντεταγμένες. Οι συντεταγμένες των στόχων αυτών προσδιορίζονται με τοπογραφικές μεθόδους (π.χ. χρήση γεωδαιτικού δέκτη GNSS για προσδιορισμό θέσης στάσης και ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού για προσδιορισμό θέσης στόχου). Η παρουσία ειδικών μετρούμενων στόχων απλοποιεί τον υπολογισμό του μετασχηματισμού που απαιτείται για την ακριβή ευθυγράμμιση των σαρώσεων. Τα κέντρα των αντίστοιχων στόχων σε διαφορετικές σαρώσεις συνταυτίζονται χρησιμοποιώντας τις γνωστές τους συντεταγμένες. Αυτές οι πληροφορίες διευκολύνουν τον υπολογισμό των παραμέτρων μετάθεσης (ΔX , ΔY , ΔZ), περιστροφής ($\Delta\omega$, $\Delta\phi$, $\Delta\kappa$) της μίας σάρωσης ως προς την άλλη αλλά και της απόδοσης κλίμακας που βελτιστοποιούν την ορθή συνένωση δύο και περισσότερων σαρώσεων.

Η χρήση ειδικών μετρούμενων στόχων συμβάλλει στον περιορισμό των συσσωρευμένων σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν κατά τη διαδικασία σάρωσης. Οι μετρημένοι στόχοι παρέχουν ένα σταθερό και συνεπές πλαίσιο αναφοράς, μειώνοντας τα σφάλματα που προκαλούνται από την πιθανή μεταβλητότητα του σαρωμένου περιβάλλοντος. Ορισμένοι ειδικοί στόχοι μέτρησης έχουν σχεδιαστεί για να λάβουν υπόψη τις ειδικές παραμορφώσεις του σαρωτή. Η ακριβής διάταξη των χαρακτηριστικών σε αυτούς τους στόχους επιτρέπει τη βαθμονόμηση και την αντιστάθμιση των παραμορφώσεων που εισάγονται από τα οπτικά (φακοί) και τον αισθητήρα του σαρωτή. Αυτή η δυνατότητα ενισχύει την ακρίβεια της διαδικασίας γεωαναφοράς και των δεδομένων των νεφών σημείων που προκύπτουν.



Εικόνα 83. Συνένωση με χρήση ειδικών αυτοκόλλητων στόχων (Αρχοντάκης, 2012).

Τα τρισδιάστατα δεδομένα νεφών σημείων με γεωαναφορά ευθυγραμμίζονται με καθιερωμένα συστήματα γεωγραφικών συντεταγμένων, διευκολύνοντας τη συνεργασία με άλλες πηγές γεωγραφικών πληροφοριών. Η ενοποίηση δεδομένων επίγειων σαρωτών λέιζερ με βάσεις δεδομένων GIS, αεροφωτογραφίες ή τοπογραφικούς χάρτες γίνεται πιο απλή και ακριβής, επιτρέποντας ολοκληρωμένες αναλύσεις και λήψεις αποφάσεων. Χρησιμοποιώντας αυτήν την προσέγγιση, οι επαγγελματίες μπορούν να εκμεταλλευτούν πλήρως τις δυνατότητες των δεδομένων νεφών σημείων για τρισδιάστατη χωρική ανάλυση.

Οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ έχουν φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο καταγράφουν και αναλύουν τρισδιάστατα δεδομένα. Η κατανόηση αυτών των κατηγοριοποιήσεων και των αντίστοιχων δυνατοτήτων τους δίνει τη δυνατότητα στους επαγγελματίες σε διάφορους κλάδους να λαμβάνουν ορθές αποφάσεις κατά την επιλογή της βέλτιστης μεθόδου τεκμηρίωσης για την εκάστοτε εφαρμογή. Λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες των οργάνων αυτών και αξιοποιώντας τις, δίνεται ώθηση των ορίων της απόκτησης και ανάλυσης τρισδιάστατων δεδομένων σε ολόενα και περισσότερους τομείς. Η ενσωμάτωση της επίγειας σάρωσης laser (TLS) με την Μοντελοποίηση Πληροφοριών Κτιρίου (BIM) και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) έχει διευρύνει περαιτέρω τις δυνατότητές της. Συνδυάζοντας δεδομένα σαρωτών με λογισμικό BIM και GIS, τοπογράφοι και μηχανικοί μπορούν να δημιουργήσουν ακριβή και ολοκληρωμένα τρισδιάστατα μοντέλα που παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τη σχεδίαση, την ανάλυση και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Αυτή η απρόσκοπτη ενοποίηση απλοποιεί τις ροές εργασίας, ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών κλάδων και διευκολύνει την οπτικοποίηση και την κατανόηση πολύπλοκων δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση του καθολικού της Μονής Δαφνίου καθώς και τα αποτελέσματα της. Η χρήση της μεθόδου επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης με laser επιλέχθηκε με σκοπό την λεπτομερή καταγραφή και τη ρεαλιστική τρισδιάστατη αναπαράσταση του Ναού στην παρούσα φάση. Το στάδιο της εφαρμογής των εργασιών υπαίθρου περιλαμβάνει τις μετρήσεις εσωτερικά και εξωτερικά του Καθολικού με επίγειο σαρωτή laser, την υλοποίηση πολυγωνικών οδεύσεων, την εξάρτηση τους και την γεωαναφορά του τελικού πυκνού νέφους σημείων με τη μέθοδο σχετικού στατικού εντοπισμού με γεωδαιτικό δέκτη GNSS αλλά και τις μετρήσεις των ειδικών αυτοκόλλητων στόχων στις επιφάνειες του μνημείου ως ταχυμετρικά σημεία. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η επεξεργασία όλων των παραπάνω μετρήσεων ως εργασίες γραφείου, η συνένωση των νεφών σημείων, η επίλυση της όδευσης και του σχετικού δορυφορικού εντοπισμού, η απόδοση των γεωδαιτικών συντεταγμένων των ειδικών στόχων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ'87) αλλά και την επεξεργασία τους (εργασίες γραφείου) για την παραγωγή του τελικού πυκνού νέφους σημείων της Μονής Δαφνίου και μετέπειτα άλλων παράγωγων προϊόντων.

Αναλυτικότερα οι εργασίες υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν είναι :

- Η τρισδιάστατη αποτύπωση του καθολικού με τον σαρωτή laser Leica BLK360 G1.
- Η παράλληλη υλοποίηση πολυγωνικών οδεύσεων στον περιβάλλοντα χώρο.
- Οι μετρήσεις τόσο φυσικών σημείων του Καθολικού όσο και ειδικών αυτοκόλλητων στόχων (που κολλήθηκαν επάνω στις επιφάνειες του κτιρίου με προσοχή) ως ταχυμετρικά σημεία.
- Οι παρατηρήσεις που πραγματοποίησε ο γεωδαιτικός δέκτης με τη μέθοδο σχετικού στατικού εντοπισμού.

Το στάδιο της εφαρμογής ως εργασίες γραφείου περιλαμβάνει:

- Την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων του σαρωτή (συνένωση νεφών σημείων) για την δημιουργία του τελικού πυκνού νέφους.
- Την επίλυση των οδεύσεων, την επίλυση της βάσης του σχετικού στατικού δορυφορικού εντοπισμού GNSS για την εξάρτηση των οδεύσεων και την απόδοση των σημείων λεπτομέρειας στο ΕΓΣΑ'87.
- Την ένταξη του τελικού πυκνού νέφους σημείων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (γεωαναφορά) με την εισαγωγή των συντεταγμένων των στόχων ως σημεία ελέγχου.
- Την απαλοιφή θορύβου από το συνενωμένο νέφος σημείων και τελικά την εξαγωγή και την παραγωγή δισδιάστατων σχεδίων (ορθοεικόνων, οριζόντιων – κατακόρυφων τομών, όψεων) από αυτό.

5.1 Ίδρυση πολυγωνικών οδεύσεων

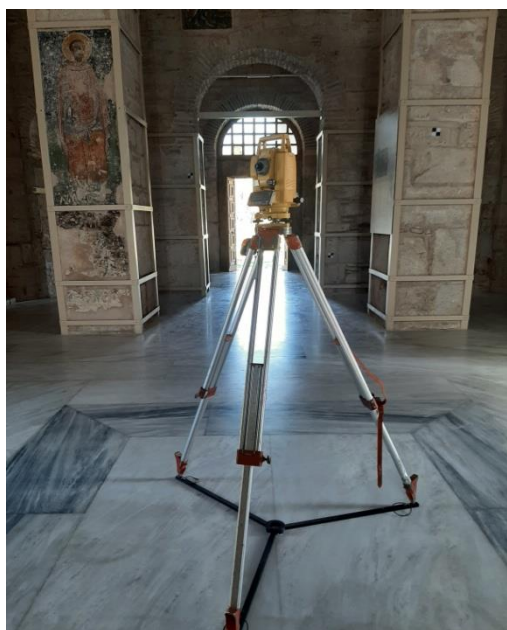
Για τις ανάγκες της γεωαναφοράς του τελικού νέφους πυκνού σημείων του μνημείου απαραίτητη διαδικασία αποτέλεσε η ίδρυση δύο (2) πολυγωνικών οδεύσεων. Πιο συγκεκριμένα ιδρύθηκαν δύο πρωτεύουσες, κλειστές, εξαρτημένες οδεύσεις αποτελούμενες από πέντε (5) και τέσσερις (4) κορυφές αντίστοιχα με την χρήση Ολοκληρωμένου Γεωδαιτικού Σταθμού Topcon GPT 3005. Οι οδεύσεις επιλέχθηκαν να είναι κλειστές καθώς είναι έτσι δυνατός ο έλεγχος των γραμμικών και γωνιακών σφαλμάτων (σφάλμα κλεισίματος). Η πρώτη όδευση ορίστηκε εξωτερικά του Ναού, ώστε να είναι πλήρως ορατές οι εξωτερικές του όψεις για μέτρηση φυσικών και τεχνητών (ειδικών στόχων) σημείων λεπτομέρειας. Οι κορυφές της δεύτερης πολυγωνικής όδευσης υλοποιήθηκαν εσωτερικά του μνημείου, με σκοπό να αποτυπωθούν και εντός του Καθολικού σημεία λεπτομέρειας. Η δεύτερη όδευση συνδέθηκε με την πρώτη (κοινές κορυφές). Η υλοποίηση τους έγινε με κριτήριο οι κορυφές τους να είναι ανά δύο αμοιβαία ορατές.

Οι γωνίες εξάρτησης στην κλειστή εξαρτημένη όδευση χρησιμεύουν για να οριστεί η στροφή της όδευσης ως προς το σύστημα αναφοράς (προσανατολισμός). Για τον λόγο αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην μέτρηση τους (Λάμπρου και Πανταζής, 2010). Η εξάρτηση τους έγινε με την μέθοδο του δορυφορικού εντοπισμού και συγκεκριμένα με την μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού με τον Γεωδαιτικό Δέκτη GNSS Trimble R8 να πραγματοποιεί στατικές μετρήσεις μίας ώρας (η κάθε μία) σε δύο σημεία, ώστε να προσδιοριστούν τελικά γεωδαιτικές συντεταγμένες για μία εκ των κοινών κορυφών των οδεύσεων και το σημείο εξάρτησης τους. Οι οδεύσεις μετρήθηκαν σε δύο περιόδους και η επίλυση τους πραγματοποιήθηκε σε μετέπειτα στάδιο (post processing), όπως και η διαδικασία επίλυσης των βάσεων για τον δορυφορικό εντοπισμό με δέσμευση σταθερού σημείου τον μόνιμο σταθμό GNSS της Geotech Ltd. Προσδιορίστηκε η θέση και ο προσανατολισμός για κάθε όδευση στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ87) αλλά όχι για την κλίμακα ($m_0 = 0.9996$ για την Αττική), ώστε να αποφευχθούν παραμορφώσεις των μηκών του μνημείου λόγω της εγκάρσιας μερκατορικής προβολής (TM) που χρησιμοποιείται στο ΕΓΣΑ'87.

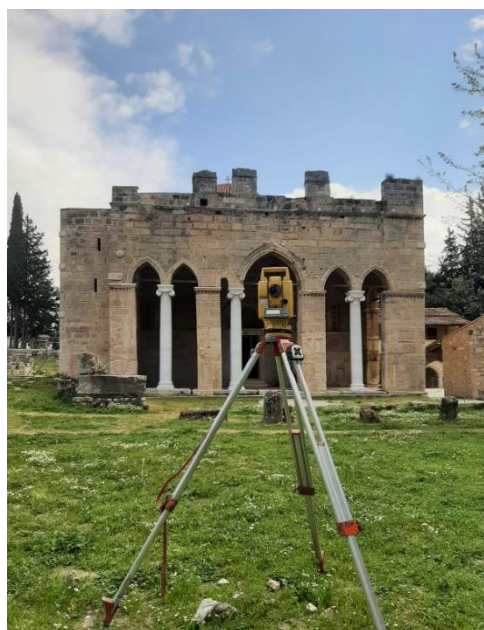
Οι πολυγωνικές οδεύσεις υλοποιήθηκαν με σκοπό την αποτύπωση των σημείων λεπτομέρειας του Καθολικού. Μετρήθηκαν ταχυμετρικά είκοσι επτά (27) χαρακτηριστικά, φυσικά, χαρακτηριστικά σημεία εσωτερικά και εξωτερικά του μνημείου από τις κορυφές των οδεύσεων. Επίσης τοποθετήθηκαν με προσοχή και μετρήθηκαν σαράντα έξι (46) ειδικοί, ασπρόμαυροι, επίπεδοι, αυτοκόλλητοι στόχοι, έτσι ώστε να καλύψουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις επιφάνειες του Ναού και στις τρεις διαστάσεις. Οι στόχοι λειτούργησαν ως επιπλέον διακριτά σημεία λεπτομέρειας και αργότερα ως σημεία ελέγχου για την γεωαναφορά του νέφους. Υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες (x, y, h) όλων των ταχυμετρικών σημείων και αποδόθηκαν στο ΕΓΣΑ'87.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός Topcon GPT 3005, ο Γεωδαιτικός Δέκτης GNSS Trimble R8, ένας τρίποδας, ένας αστερίας και μετροταινία για την μέτρηση του ύψους των οργάνων σε κάθε

στάση. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί εκτυπωμένοι στόχοι για την προσωρινή ίδρυση των κορυφών, εσωτερικά της Μονής και ανακλαστήρας μικρού μεγέθους (mini prism) για τις μετρήσεις πλευρών και γωνιών θλάσης των οδεύσεων με σκοπό την αποφυγή σφαλμάτων κατά την κατακορύφωση του. Η κλειστή εξαρτημένη όδευση πέντε κορυφών υλοποιήθηκε με τις στάσεις S4,S7,S3,S5,S6 ενώ αυτή των τεσσάρων κορυφών με τις στάσεις S3,S1,S2,S7. Τα σφάλματα των κλειστών εξαρτημένων οδεύσεων είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών εκτός του γωνιακού σφάλματος της όδευσης πέντε κορυφών που είναι 1.33 εκατοστά (1mm – 1.33 cm). Η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων εξάρτησης με Γεωδαιτικό Δέκτη GNSS (Global Navigation Satellite Systems) είναι της τάξης μερικών εκατοστών (1.8 cm – 2.2 cm).



Εικόνα 84. Στάση όδευσης S1 εσωτερικά του Ναού



Εικόνα 85. Στάση όδευσης S7 εξωτερικά του μνημείου.

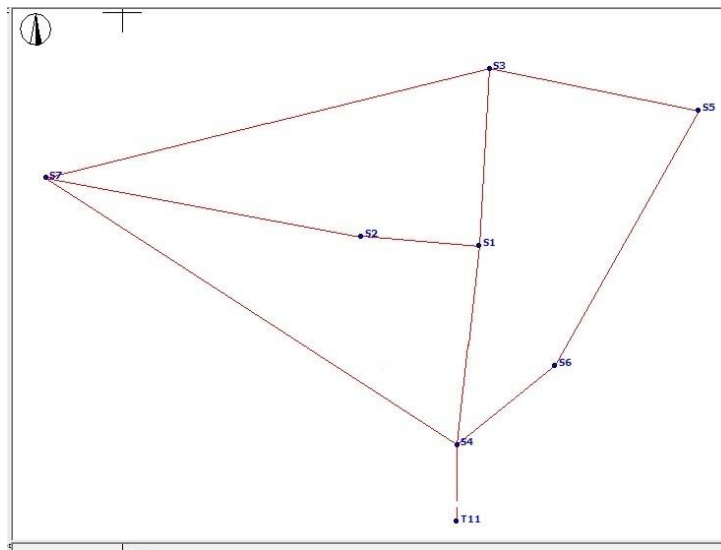


Εικόνα 86. Στάση σημείου εξάρτησης T11 .

Σφάλματα Όδευσης		
	Σφάλμα Όδευσης	Ανεκτά σφάλματα (Π.Δ.696/74)
Γωνιακό σφάλμα	0.0133	0.0245
Οριζοντιογραφικό σφάλμα	0.010	0.169
Υψομετρικό σφάλμα	0.001	0.440

Σφάλματα Όδευσης		
	Σφάλμα Όδευσης	Ανεκτά σφάλματα (Π.Δ.696/74)
Γωνιακό σφάλμα	0.0073	0.0200
Οριζοντιογραφικό σφάλμα	0.006	0.124
Υψομετρικό σφάλμα	0.002	0.393

Εικόνα 87. Τελικά και επιτρεπτά σφάλματα των οδεύσεων πέντε και τεσσάρων κορυφών αντίστοιχα



Εικόνα 88. Οι υλοποιημένες κλειστές εξαρτημένες οδεύσεις και το σημείο εξάρτησης τους.

Processing Results							
Save	Observation	Solution	Horiz. Precision	Vert. Precision (RMS	Ratio	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	GEOTECH --- T11	Fixed	0.021	0.021	0.013	2.19	18555.192
<input checked="" type="checkbox"/>	GEOTECH --- s4	Fixed	0.018	0.022	0.019	2.00	18563.089

Εικόνα 89. Ακρίβειες προσδιορισμού του σημείου εξάρτησης (T11) και της κορυφής της μίας οδεύσης (s4) με τη μέθοδο του σχετικού στατικού δορυφορικού εντοπισμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

ΣΗΜΕΙΟ	X	Y	H
T11	467889.285	4207003.668	104.029
S4	467889.291	4207010.389	104.027

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΟΔΕΥΣΕΩΝ

ΣΤΑΣΗ	X	Y	H
S1	467891.320	4207027.832	105.104
S2	467880.613	4207028.654	105.131
S3	467892.223	4207043.332	105.496
S4	467889.291	4207010.389	104.027
S5	467911.170	4207039.645	106.189
S6	467898.171	4207017.335	108.577
S7	467852.097	4207033.756	104.022

5.2 Τρισδιάστατη σάρωση του Καθολικού της Μονής Δαφνίου

Σε κάθε μελέτη γεωμετρικής τεκμηρίωσης εξετάζεται η καταλληλότερη μέθοδος που θα εφαρμοστεί. Στην εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας ως μέθοδος επιλέχθηκε η επίγεια τρισδιάστατη σάρωση με laser scanner. Πιο συγκεκριμένα, για την τρισδιάστατη αποτύπωση του Καθολικού της Ιεράς Μονής Δαφνίου, χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής λέιζερ Leica BLK360 G1, τύπου Time of Flight (TOF) ο οποίος βρίσκεται στην διάθεση του τμήματος Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Στόχο αποτέλεσε η δημιουργία ενός «ψηφιακού διδύμου» (Digital Twin) δηλαδή μιάς λεπτομερούς τρισδιάστατης αναπαράστασης του καθολικού της Μονής την δεδομένη χρονική στιγμή.

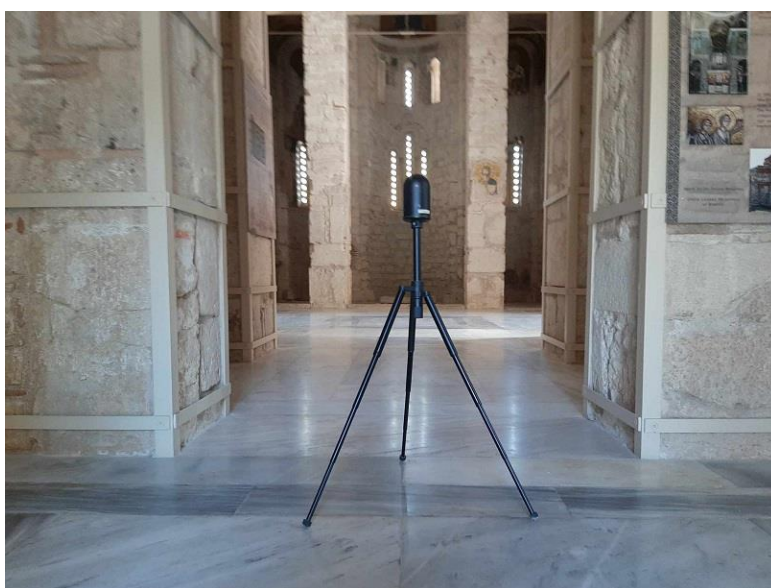


Εικόνα 90. Στιγμιότυπο εξωτερικής σάρωσης στον εξωνάρθηκα του Καθολικού.

Ο τρισδιάστατος σαρωτής είναι εξαιρετικά εύχρηστος, παρέχει την δυνατότητα απόδοσης δεδομένων πολύ υψηλής ακρίβειας με ονομαστική ακρίβεια προσδιορισμού τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων 6mm σε απόσταση 10m (Παράρτημα 1) που συχνά απαιτούνται στην τεκμηρίωση πολιτιστικών μνημείων με μεγάλες κλίμακες (1:50, 1:25). Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται ταχύτατα καθώς η κάθε σάρωση στην επιλογή της υψηλότερης καταγραφής (πυκνότερης σάρωσης) διαρκεί μόλις έξι (6) λεπτά. Έτσι οι παράγοντες του χρόνου και του κόστους μειώνονται σημαντικά αυξάνοντας την παραγωγικότητα και την ορθή λήψη αποφάσεων στο πεδίο καθώς το όργανο καθιστά εφικτή την καταγραφή εκατομμυρίων σημείων στην περιοχή, με μεγάλη λεπτομέρεια σε μόλις λίγα λεπτά και αυτόματα. Ο σαρωτής laser είναι αυτοματοποιημένος (διαθέτει ένα μόνο κουμπί με το οποίο ορίζεται η έναρξη της κάθε σάρωσης) και ελαφρύς τόσο ως όργανο όσο και ο τρίποδας του καθιστώντας εύκολη και ξεκούραστη τη μεταφορά του από στάση σε στάση.

Το Καθολικό της Ι.Μ Δαφνίου είναι χτισμένο κατά το πλινθοπερίκλειστο σύστημα διαθέτοντας αμέτρητα ανάγλυφα σημεία, πολλαπλά επίπεδα οροφής καθώς επίσης κίονες, αρκετά παράθυρα και βεβαίως τα περίτεχνα καλοδιατηρημένα ψηφιδωτά του. Έτσι με στόχο την λεπτομερή τρισδιάστατη αποτύπωση του Ναού, κλασικές μέθοδοι όπως για παράδειγμα ολοκληρωμένη ταχυμετρική του αποτύπωση του με Ολοκληρωμένο Γεωδαιτικό Σταθμό (Total Station) θα ήταν μία εξαιρετικά χρονοβόρα, απαιτητική και επίπονη διαδικασία τόσο στο στάδιο των μετρήσεων όσο και στο στην διαδικασία της επεξεργασίας.

Ο επίγειος τρισδιάστατος σαρωτής Leica BLK360 G1 laser scanner αποτέλεσε το βέλτιστο όργανο γεωμετρικής τεκμηρίωσης του αντικειμένου ενδιαφέροντος καθιστώντας εύκολη και γρήγορη τόσο την οργάνωση όσο και την υλοποίηση των μετρήσεων με σκοπό την δημιουργία ενός τρισδιάστατου διδύμου του Καθολικού της Μονής με τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές πληροφορίες και την εξαγωγή παραγώγων τοπογραφικών σχεδίων από αυτό (όψεις, τομές, αναπτύγματα).



Εικόνα 91. Στιγμιότυπο εσωτερικής σάρωσης της Μονής, στον εσωνάρθηκα.

Οι μετρήσεις για την τρισδιάστατη αποτύπωση της Μονής χωρίστηκαν σε εσωτερικές και εξωτερικές σαρώσεις του Καθολικού και πραγματοποιήθηκαν σε δύο ημέρες παράλληλα με τις μετρήσεις φυσικών ομόλογων σημείων και ειδικών αυτοκόλλητων στόχων με την χρήση Ολοκληρωμένου Γεωδαιτικού Σταθμού και την υλοποίηση κλειστών εξαρτημένων πολυγωνικών οδεύσεων στις 10 και 11 Μαΐου του 2023. Οι καιρικές συνθήκες ήταν ευνοϊκές κατά την διάρκεια όλων των μετρήσεων.

Είχε προηγηθεί επίσκεψη με τον επιβλέπων καθηγητή για την αναγνώριση του περιβάλλοντα χώρου αρχικά, την αντίληψη της γεωμετρίας και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του μνημείου, τα πιθανά σημεία στάσης του σαρωτή laser και της όδευσης ώστε και έγινε ο προγραμματισμός και η οργάνωση της αποτύπωσης του Καθολικού της Ιεράς Μονής Δαφνίου.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 61 σαρώσεις εσωτερικά και εξωτερικά περιμετρικά της Μονής σε μη σημασμένα σημεία με τον σαρωτή Leica BLK360 G1 να σαρώνει δεδομένα στην επιλογή υψηλότερης πυκνότητας (High Density) με διάρκεια κάθε σάρωσης έξι (6) λεπτά. Το όργανο, πριν την εκκίνηση της κάθε σάρωσης φωτογραφίζει τον χώρο χρησιμοποιώντας τις κάμερες που διαθέτει, παρέχοντας σφαιρική απεικόνιση (πανοραμική εικόνα) 360° του περιβάλλοντος σάρωσης και χρωματική πληροφορία για κάθε σημείου του χώρου που καταγράφεται.

Χρησιμοποιήθηκε ο τρίποδας του ίδιου οργάνου και έτσι το ύψος οργάνου στην κάθε στάση δεν διέφερε σημαντικά καθώς δεν αυξομειώθηκε. Αξίζει να σημειωθεί πως δεν απαιτήθηκε η οριζοντίωση του οργάνου καθώς το λογισμικό επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε διορθώνει αυτόματα και ενιαία όλες τις σαρώσεις ως προς τις στροφές τους κατά την συνένωση.



Εικόνα 92. Εσωτερική θέση σάρωσης στο Καθολικό.



Εικόνα 93. Εξωτερική θέση σάρωσης της δυτικής όψης.

Οι σαρώσεις υλοποιήθηκαν με κοινό γνώμονα, ώστε να τηρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Πρωταρχικός στόχος της μελέτης ήταν μέγιστη κατά το δυνατό κάλυψη – καταγραφή του μνημείου εσωτερικά και εξωτερικά. Οι στάσεις ορίστηκαν έτσι ώστε να υπάρχει επικάλυψη τουλάχιστον 35% ανά δύο διαδοχικές σαρώσεις για ισχυρές γεωμετρικές δεσμεύσεις και εξασφάλιση ομόλογων περιοχών για ορθή συνένωση των νεφών σημείων. Πιο συγκεκριμένα οι περιμετρικές εξωτερικές σαρώσεις επιλέχθηκαν και πραγματοποιήθηκαν σε τέτοιες θέσεις ώστε το όργανο να μην έχει οριζόντια απόσταση μεγαλύτερη των 25 μέτρων από την επιφάνεια του Καθολικού της Μονής Δαφνίου. Επιπλέον οι εξωτερικές στάσεις δεν είχαν μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους (<15 μέτρων). Οι σαρώσεις εσωτερικά του καθολικού πραγματοποιήθηκαν με βασικό κριτήριο την πλήρη, λεπτομερή καταγραφή του, έτσι ώστε να μην προκύψουν περιοχές χωρίς πληροφορία. Σκοπός, η επίτευξη αφενός της ισχυρής γεωμετρίας με την ύπαρξη αρκετών ομόλογων σημείων (επικάλυψης) ανά ζεύγος σαρώσεων για την βέλτιστη συνένωση των νεφών σημείων (point clouds) και αφετέρου της επιθυμητής ακρίβειας μερικών χιλιοστών της συνένωσης των νέφους σημείων. Εξάιρεση αποτέλεσαν ορισμένα σημεία σάρωσης (στάσεις) που σκόπιμα ο το όργανο τοποθετήθηκε πιο μακριά και επάνω σε υπερυψωμένα αντικείμενα (εξωτερικές σαρώσεις) για μέγιστη καταγραφή επιφανειών όπως κεραμίδια των σκεπών και του τρούλου.

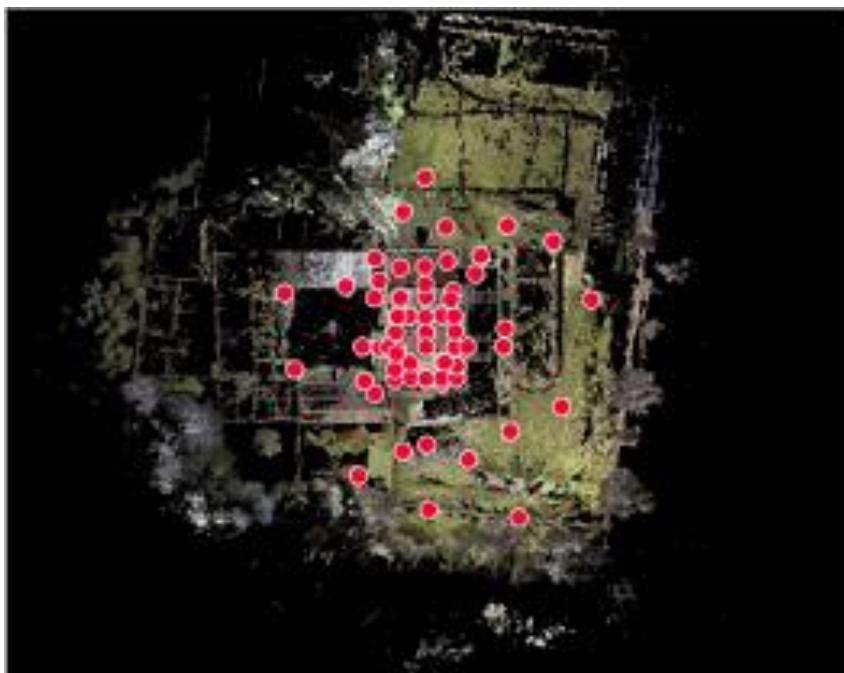


Εικόνα 94. Περιμετρική στάση σάρωσης της Μονής.



Εικόνα 95. Εξωτερική υπερυψωμένη θέση σάρωσης.

Οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν στις εργασίες των μετρήσεων αφορούν την καταγραφή πληροφορίας σε ορισμένες στέγες του Καθολικού, το άνω μέρος του εξωνάρθηκα και μέρη του τρούλου του. Λόγω έλλειψης πρόσβασης στο άνω επίπεδο της Μονής και μη δυνατότητας υλοποίησης σαρώσεων από ψηλότερα σημεία επιτρεπτής απόστασης, αποτέλεσμα ήταν η απουσία γεωμετρικής και χρωματικής πληροφορίας τόσο στα νέφη σημείων όσο και στα παραγόμενα δεδομένα.



Εικόνα96. Υλοποιημένες στάσεις επίγειου σαρωτή laser εσωτερικά και εξωτερικά της Μονής Δαφνίου.

Οι στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία των δεδομένων ως σημεία σύνδεσης (Tie Points) και αναφοράς για την βέλτιστη σύνδεση των σαρώσεων και την παραγωγή του τελικού νέφους σημείων με δεσμεύσεις πέρα των φυσικών ομόλογων σημείων. Τοποθετήθηκαν 46 ειδικοί, επίπεδοι, αυτοκόλλητοι στόχοι τετραγωνικής διατομής με προσοχή και σεβασμό ως προς το μνημείο και με προϋπόθεση να καλύψουν όσο το δυνατό περισσότερες επιφάνειες του Καθολικού, σε χαρακτηριστικά σημεία για να καταγραφούν σε πολλαπλές σαρώσεις και να ενισχύσουν την συνένωση των νεφών σημείων. Τα σημεία σύνδεσης (Tie Points) είναι διακριτικά χαρακτηριστικά ή αναγνωρίσιμα σημεία σε ένα αντικείμενο μία περιοχή που αναγνωρίζονται και αντιστοιχίζονται μεταξύ διαφορετικών σαρώσεων. Αυτά τα σημεία χρησιμεύουν ως σημεία αναφοράς για την συνένωση δηλαδή τη σύνδεση πολλών σαρώσεων σε ενιαίο σύστημα συνταγμένων, επιτρέποντας τη δημιουργία ενός πυκνής και ακριβής τρισδιάστατης αναπαράστασης. Τα σημεία σύνδεσης προσδιορίζονται συνήθως αυτόματα με την χρήση αλγορίθμων λογισμικού που αναλύουν την επικάλυψη μεταξύ διαφορετικών σαρώσεων. Βοηθούν στη δημιουργία αντιστοιχιών μεταξύ διαφορετικών προοπτικών του ίδιου αντικειμένου και είτε φυσικά (χαρακτηριστικά σημεία αντικειμένου) είτε τεχνητά (ειδικοί στόχοι επίπεδοι και σφαιρικοί).

Τα σημεία ελέγχου (Control Points) είναι χαρακτηριστικά σημασμένα σημεία που τοποθετούνται στρατηγικά σε ένα αντικείμενο ή μία περιοχή. Οι επίπεδοι αυτοκόλλητοι στόχοι στην προκειμένη λειτουργήσαν ως δείκτες αναφοράς με επακριβώς γνωστές θέσεις (συντεταγμένες) σε γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων. Οι ίδιοι στόχοι που μετρήθηκαν και αποδόθηκαν οι συντεταγμένες τους μέσω των οδεύσεων αναγνωρίστηκαν από τον σαρωτή laser ώστε στην συνέχεια να γεωαναφερθούν. Τα σημεία ελέγχου χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ακρίβειας της ένταξης των δεδομένων σε γεωδαιτικό σύστημα

αναφοράς του τελικού τρισδιάστατου νέφους. Εντάσσουν τα σαρωμένα δεδομένα σε ένα γνωστό σύστημα συντεταγμένων, επιτρέποντας σε ολόκληρη τη σαρωμένη περιοχή ή το αντικείμενο να γίνει γεωαναφερθεί με ακρίβεια.



Εικόνα 97. Ειδικόι στόχοι εσωτερικά του Ναού.



Εικόνα 98. Επίπεδοι στόχοι εξωτερικά της Μονής Δαφνίου.



Εικόνα 99. Στόχος στην βόρεια όψη του Ναού.



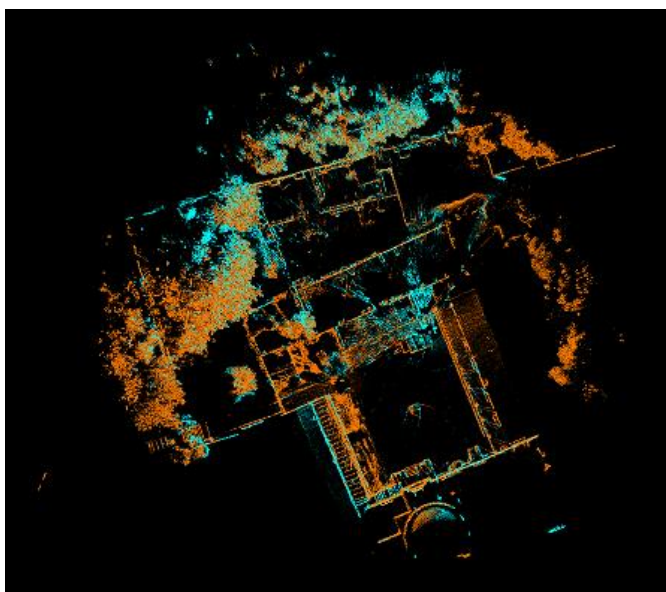
Εικόνα 100. Στόχοι στον εξωνάρθηκα του μνημείου.

5.2.1 Επεξεργασία Δεδομένων

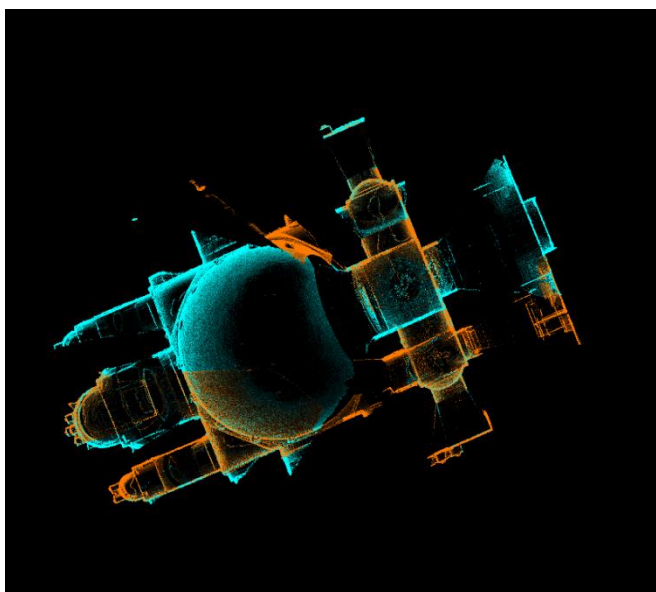
Ο επίγειος τρισδιάστατος σαρωτής laser Leica BLK360 αποθηκεύει αυτόματα τα δεδομένα της κάθε σάρωσης που πραγματοποιεί στην εσωτερική του μνήμη. Η μνήμη αυτή χρησιμεύει ως προσωρινός χώρος αποθήκευσης των πρωτογενών δεδομένων (raw data) του σαρωτή δηλαδή των νεφών σημείων που έχουν προκύψει από κάθε θέση σάρωσης. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για την γεωμετρική τεκμηρίωση της I.M Δαφνίου μεταφέρθηκαν ασύρματα (WiFi) σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του βοηθητικού λογισμικού «BLK Data Manager». Η συνένωση των νεφών σημείων (point cloud registration) δηλαδή ο προσανατολισμός και η ένταξη όλων των δεδομένων των σαρώσεων σε ένα ενιαίο τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό «Cyclone REGISTER 360 PLUS». Τα λογισμικά αυτά παρέχονται από την ελβετική εταιρία «Leica Geosystems» και είναι απολύτως συμβατά με τον σαρωτή που χρησιμοποιήθηκε, καθώς μοιράζονται τον ίδιο κατασκευαστή. Είναι επίσης κατάλληλα για την διαχείριση μεγάλων όγκων δεδομένων που προκύπτει από τον μεγάλο όγκο καταγεγραμμένης πληροφορίας. Το «Cyclone REGISTER 360 PLUS» παρέχει ισχυρά εργαλεία και λειτουργίες για την αποτελεσματική επεξεργασία και διαχείριση των δεδομένων των σαρώσεων. Ως λογισμικό επεξεργασίας επιτρέπει στον χρήστη να οργανώνει τα εισαγόμενα δεδομένα καθορίζοντας τη δομή του έργου, δηλαδή ορίζοντας τις θέσεις σάρωσης με την δυνατότητα διαχείρισης διαφορετικών συνόλων νεφών σημείων. Η οργάνωση αυτή είναι πολύ σημαντική για την αποτελεσματική συνένωση των τρισδιάστατων δεδομένων. Επιπλέον διαθέτει αυτοματοποιημένες λειτουργίες εξαγωγής δεδομένων όπως εξαγωγή νέφους, τρισδιάστατου μοντέλου, ορθοφωτογραφιών, ψηφιακού εικονικού περιβάλλοντος κ.ά.

Πριν την εισαγωγή δεδομένων στο συγκεκριμένο λογισμικό επεξεργασίας, ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει παραμέτρους σάρωσης, όπως η απεικονιζόμενη ανάλυση, η εμβέλεια σάρωσης, και η εμφάνιση ή μη των πανοραμικών φωτογραφιών HDR. Η ρύθμιση αυτή βοηθά σημαντικά στην διαχείριση του μεγέθους της πληροφορίας που απεικονίζεται στο περιβάλλον του λογισμικού, αφού στις περισσότερες εφαρμογές και όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ένα μεγάλο ποσοστό των δεδομένων σάρωσης αποτελεί περίσσεια πληροφορία (θόρυβος σάρωσης) και δεν συμβάλλει στην παραγωγή του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου ενδιαφέροντος.

Μετά την η εισαγωγή των σαρώσεων (Setups), συνέχεια έχει η συνένωση (Registration) τους δηλαδή ο μετασχηματισμός όλων των νεφών σημείων σε ενιαίο σύστημα συντεταγμένων για την δημιουργία ενός τελικού πυκνού νέφους σημείων (Bundle). Η συνένωση πραγματοποιήθηκε με χρήση ομόλογων σημείων και επιφανειών στις επικαλυπτόμενες περιοχές διαδοχικών σαρώσεων καθώς επίσης και με την χρήση ειδικών αυτοκόλλητων στόχων ως σημεία σύνδεσης.



Εικόνα 101. Συνένωση δύο διαδοχικών εξωτερικών σαρώσεων ως προς του άξονες X και Y.

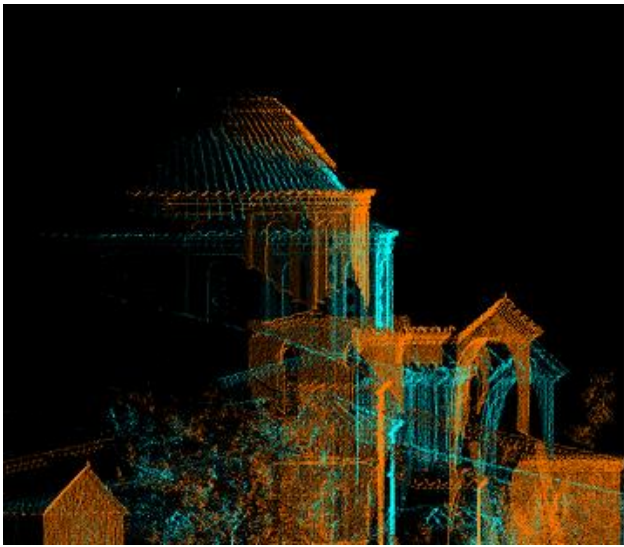


Εικόνα 102. Συνένωση δύο διαδοχικών εσωτερικών σαρώσεων ως προς του άξονες X και Y.

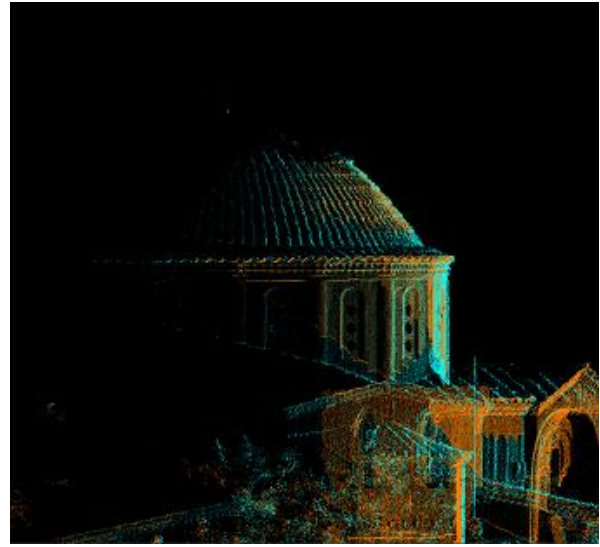
Το λογισμικό πραγματοποιεί τη δημιουργία ενοποιημένης τρισδιάστατης αναπαράστασης των σαρώσεων (registration) με την χρήση διαφόρων μεθόδων όπως ο αλγόριθμος του επαναληπτικά κοντινότερου σημείου (Iterative Closest Points - ICP) των Besl και McKay (1992) όπου σημεία απεικονιζόμενα σε διαφορετικά νέφη σημείων αναγνωρίζονται ως αντίστοιχα (ομόλογα) και με επαναληπτικές διαδικασίες μειώνεται το άθροισμα των τετράγωνων των ευκλείδειων αποστάσεων τους έως ότου ελαχιστοποιηθεί με την χρήση μετασχηματισμών στερεού σώματος. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να πληρούνται τα κριτήρια σύγκλισης. Μία ακόμη μέθοδος που χρησιμοποιεί το «Cyclone REGISTER 360 PLUS» για την συνταύτιση νεφών σημείων είναι η συνένωση βάσει ομόλογων περιοχών (Cloud to Cloud Registration) δηλαδή βάση της επικάλυψης σε διαδοχικές θέσεις σάρωσης. Η μέθοδος αυτή μετασχηματίζει τις σαρώσεις (μεταθέσεις και στροφές) βάσει κοινών χαρακτηριστικών σημείων ή φυσικών ομόλογων επιφανειών που εμφανίζονται στα δεδομένα. Ύστερα υπάρχει και η δυνατότητα χειροκίνητης συνένωσης (Visual Alignment) με βάση σημεία που επιλέγονται στο περιβάλλον των εκάστοτε σαρώσεων ή με βάση τον προσανατολισμό και την συντάυτιση ως προς τους τρεις άξονες κοινών περιοχών (επιφανειών) του περιβάλλοντος σάρωσης. Στην συνένωση των νεφών σημείων για την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του Καθολικού της Ι.Μ. Δαφνίου στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν και οι τρεις προαναφερθέντες μέθοδοι με σκοπό την επίτευξη υψηλής ακρίβειας της ενοποιημένης δέσμης.

Για την συνένωση ζευγών διαδοχικών σαρώσεων μπορούν μέσω του λογισμικού και ειδικότερα πριν την εκκίνηση της διαδικασίας, το λογισμικό δίνει την δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων του επαναληπτικού αλγορίθμου ICP :

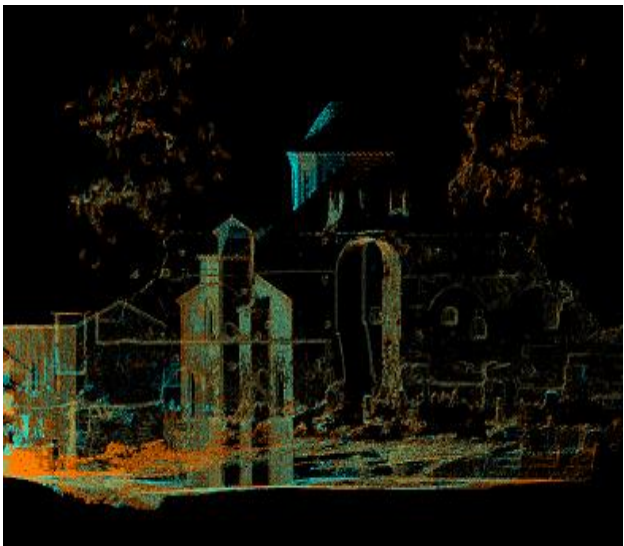
- Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων : 100
- Μέγιστη απόσταση (ακτίνα) εύρεσης γειτονικών σημείων : 10 cm
- Ποσοστό τυχαίων σημείων συνένωσης: 10%



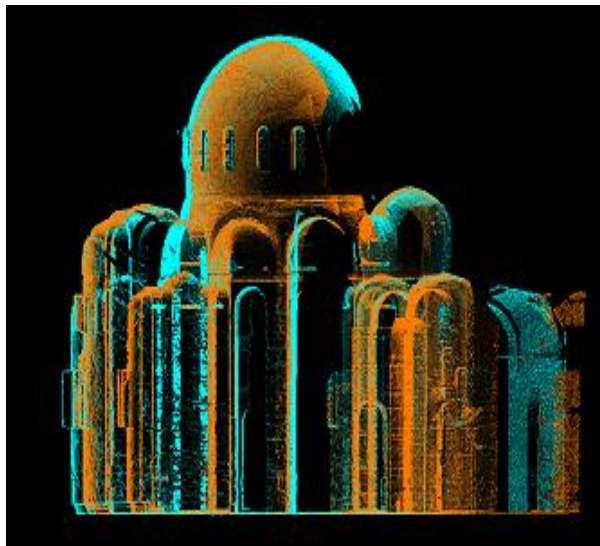
Εικόνα 103. Σφάλμα σ τον άξονα Z κατά την συνένωση δύο σαρώσεων.



Εικόνα 104. Διόρθωση σφάλματος και ορθή συνένωση ως προς τον άξονα Z.



Εικόνα 105. Συνένωση δύο εξωτερικών σαρώσεων της Ι.Μ. Δαφνίου.

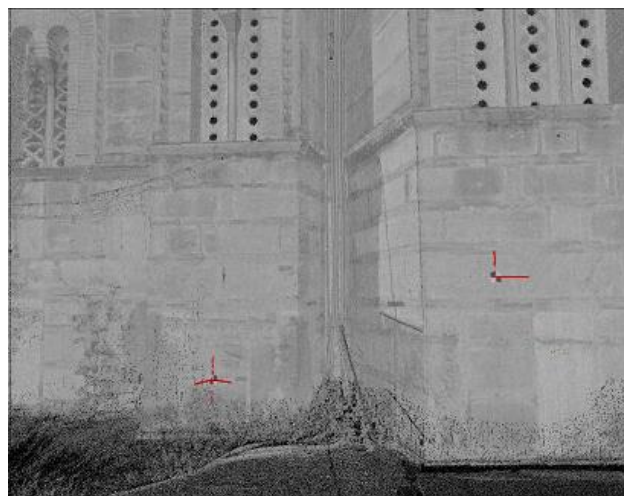


Εικόνα 106. Συνένωση δύο σαρώσεων εσωτερικά της Μονής.

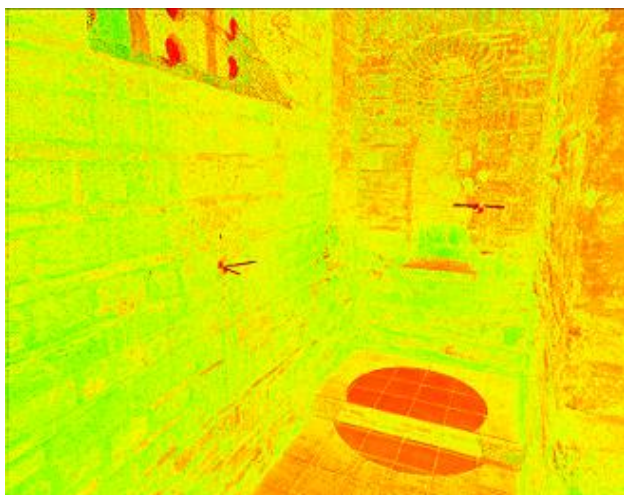
Εφόσον έγινε χρήση επίπεδων αυτοκόλλητων στόχων για τους προαναφερθέντες λόγους πριν την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό, ενεργοποιήθηκε η επιλογή «Auto B&W Target» ώστε το πρόγραμμα να αναγνωρίσει αυτόματα τους στόχους (και τα κέντρα τους) και να τους χρησιμοποιήσει ως επιπλέον διακριτά ομόλογα σημεία κατά την συνένωση. Δίνεται η δυνατότητα ελέγχου, χειροκίνητου επαναπροσδιορισμού και απενεργοποίησης των στόχων όταν αυτοί έχουν αναγνωρισθεί εσφαλμένα η δεν έχουν αναγνωρισθεί καθόλου από το λογισμικό. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος για όλους τους στόχους που χρησιμοποιήθηκαν και διορθώθηκε η θέση του κέντρου τους όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο.



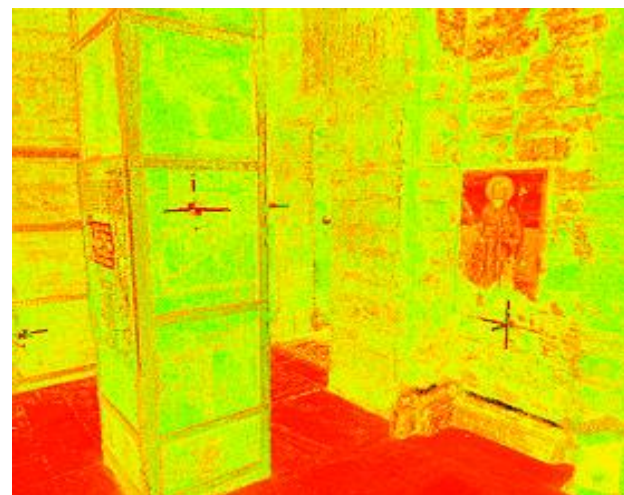
Εικόνα 107. Αναγνώριση στόχων στην βόρεια όψη της Μονής.



Εικόνα 108. Αναγνώριση στόχων στην ανατολική όψη του Ναού.



Εικόνα 109. Αναγνώριση στόχων εσωτερικά του μνημείου.



Εικόνα 110. Αυτόματη αναγνώριση στόχων στο Καθολικό της Μονής

Η συνένωση των νεφών σημείων για την γεωμετρική τεκμηρίωση της Ι.Μ Δαφνίου πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μετά την εισαγωγή των σαρώσεων, την ρύθμιση παραμέτρων και τον έλεγχο ορθής αναγνώρισης των στόχων, οργανώθηκαν και συνενώθηκαν αρχικά όλες οι σαρώσεις του εσωτερικού του Καθολικού σε ένα πυκνό νέφος σημείων (bundle) και όλες οι δυνατές μεταξύ τους συνδέσεις στο επιτρεπτό όριο μερικών χιλιοστών (links) για ισχυρή γεωμετρία. Με αυτό τον τρόπο υλοποιήθηκε εύκολα και με ελεγχόμενη ακρίβεια ο μετασχηματισμός όλων των εσωτερικών σαρώσεων της Μονής σε ενιαίο σύστημα συντεταγμένων, με χρήση της ισχυρής επικάλυψης μεταξύ διαδοχικών σαρώσεων και την αναγνώριση και τον προσδιορισμό των αυτοκόλλητων στόχων. Στο δεύτερο στάδιο, πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά η συνένωση όλων εξωτερικών περιμετρικών σαρώσεων του Καθολικού.



Εικόνα 111. Άποψη δυτικής όψης του Καθολικού από το λογισμικό επεξεργασίας.

Με αντίστοιχη διαδικασία μετασηματίστηκαν όλα τα νέφη σημείων που από τις εξωτερικές μετρήσεις του μνημείου σε μία ενιαία δέσμη (Bundle) και υλοποιήθηκαν οι μεταξύ τους συνδέσεις (Links), μέσα στα επιτρεπτά όρια ακρίβειας (μερικών mm). Έπειτα για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πυκνού νέφους σημείων με την συνολική πληροφορία του Ναού συνενώθηκαν τα δύο νέφη σημείων (εσωτερικές και εξωτερικές σαρώσεις) σε ένα ενιαίο νέφος με την βοήθεια ομόλογων περιοχών μεταξύ τους και την χρήση στόχων. Αξίζει να σημειωθεί πως υλοποιήθηκαν σκόπιμα μερικές σαρώσεις σε χαρακτηριστικά σημεία όπως για παράδειγμα έξω και μέσα από την πόρτα του εξωνάρθηκα του Καθολικού, με σκοπό την συλλογή πληροφορίας τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού του κτιρίου στην ίδια σάρωση για την εξασφάλιση ομολογιών στον χώρο για καλύτερη συνένωση των εσωτερικών και των εξωτερικών δεδομένων.

Επιπλέον κρίθηκε απαραίτητο κατά την εισαγωγή των δεδομένων, εκτός της γεωμετρικής πληροφορίας να εισαχθεί και η χρωματική πληροφορία (RGB) που συλλέχθηκε για κάθε σημείο του εκάστοτε νέφους από τις κάμερες του οργάνου, ώστε να περιληφθεί και η ποιοτική πληροφορία του Ναού όσον αφορά τη μορφή του και τα δομικά του χαρακτηριστικά.

Το προκύπτον αποτέλεσμα ήταν 61 ενοποιημένες σαρώσεις (bundle) σε κοινό σύστημα συντεταγμένων με περισσότερα από 1.500.000.000 απεικονιζόμενα σημεία, με το κάθε ένα από αυτά να περιέχει γεωμετρική αλλά και χρωματική πληροφορία για το μνημείο και τον περιβάλλοντα χώρο. Οι συνδέσεις (links) μεταξύ των σαρώσεων που έγιναν είναι 92 και κυμαίνονται από 0.002m έως 0.012m. Το τελικό νέφος ορίστηκε με αβεβαιότητα (bundle error) 0.004 m. Η τελική, συνολική επικάλυψη (overlap) ήταν 61%, η συνένωση βάσει ομολογιών (cloud to cloud)

πραγματοποιήθηκε με αβεβαιότητα 0.005 m και το σφάλμα προσδιορισμού των κέντρων των στόχων (target error) 0.002 m. Η διαχείριση και η επεξεργασία τόσο μεγάλου όγκου των δεδομένων σε αντίστοιχες εφαρμογές αποτελεί κρίσιμο σημείο της μελέτης καθώς απαιτείται ηλεκτρονικός υπολογιστής με υψηλές δυνατότητες και χαρακτηριστικά. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε Η/Υ στην αίθουσα ΓΑΙΑ (Εργαστήριο Γεωδαισίας – Τοπογραφίας) του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Η γεωαναφορά του τελικού πυκνού νέφους σημείων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ'87 έγινε με την χειροκίνητη εισαγωγή των τρισδιάστατων συντεταγμένων πέντε (5) ειδικών επίπεδων στόχων (B&W Targets) ως σημεία ελέγχου (Control Points) που τοποθετήθηκαν στο μνημείο κατά τις σαρώσεις. Αφού προσδιορίστηκαν με ακρίβεια οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των στόχων, με την χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού στη συνέχεια συσχετίστηκαν με τα αντίστοιχα σημεία στις σαρώσεις, μέσω του λογισμικού επεξεργασίας και καθορίστηκε η ακριβής θέση και ο προσανατολισμός του προκύπτοντος νέφους σημείων στο ελληνικό σύστημα.



Εικόνα 112. Στιγμιότυπο γεωαναφοράς τελικού πυκνού νέφους σημείων.

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 61
 Link Count: 92
 Strength: 85 %
 Overlap: 61 %

Bundle Error 0.004 m ✓	
Overlap 61 % ✓	Strength 85 % ✓
Cloud-to-Cloud	Target Error

0.005 m ✓

0.002 m ✓

Max error of 0.010 m.

Max error of 0.015 m.

Error greater than 0.015 m.

Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 6	Setup55-2	Setup48	87 %	0.004 m
Link 8	Setup54-2	Setup55-2	80 %	0.004 m
Link 10	Setup51	Setup53	88 %	0.003 m
Link 15	Setup48	Setup51	63 %	0.003 m
Link 16	Setup48	Setup53	64 %	0.004 m
Link 17	Setup51	Setup54-2	49 %	0.005 m
Link 18	Setup54-3	Setup55-3	80 %	0.004 m
Link 20	Setup54-2	Setup55-3	80 %	0.004 m
Link 21	Setup54-2	Setup54-3	100 %	0.000 m
Link 22	Setup55-2	Setup55-3	100 %	0.000 m
Link 23	Setup55-2	Setup54-3	81 %	0.004 m
Link 27	Setup53	Setup54-3	63 %	0.005 m
Link 28	Setup48	Setup55-3	88 %	0.005 m
Link 29	Setup51	Setup55-3	67 %	0.005 m
Link 30	Setup51	Setup54-3	51 %	0.005 m
Link 33	Setup59-2	Setup62	77 %	0.002 m
Link 34	Setup60	Setup62	75 %	0.004 m
Link 36	Setup59-2	Setup60	61 %	0.004 m
Link 38	Setup54-3	Setup59-2	73 %	0.005 m
Link 40	Setup53	Setup62	55 %	0.004 m
Link 41	Setup54-2	Setup58-2	54 %	0.003 m
Link 42	Setup58-2	Setup62	34 %	0.004 m
Link 43	Setup53	Setup59-2	73 %	0.004 m
Link 44	Setup64	Setup65	88 %	0.003 m
Link 45	Setup63	Setup65	36 %	0.005 m
Link 46	Setup60	Setup65	31 %	0.005 m
Link 47	Setup62	Setup63	76 %	0.004 m
Link 48	Setup62	Setup65	51 %	0.004 m
Link 49	Setup59-2	Setup63	59 %	0.005 m
Link 50	Setup62	Setup64	26 %	0.004 m
Link 52	Setup55-3	Setup63	59 %	0.005 m
Link 53	Setup55-2	Setup63	60 %	0.005 m
Link 55	Setup53	Setup63	58 %	0.005 m
Link 62	Setup51	Setup63	65 %	0.004 m
Link 73	Setup65	Setup61	89 %	0.005 m
Link 75	Setup62	Setup60-1	75 %	0.003 m
Link 76	Setup60	Setup60-1	100 %	0.000 m
Link 77	Setup59-2	Setup60-1	62 %	0.004 m

Εικόνα 113. Σφάλμα συνένωσης δέσμης και ενδεικτικά σφάλματα των συνδέσεων των νεφών σημείων.



Εικόνα 114. Βόρεια άποψη της Μονής Δαφνίου (νέφος σημείων με χρωματική πληροφορία).



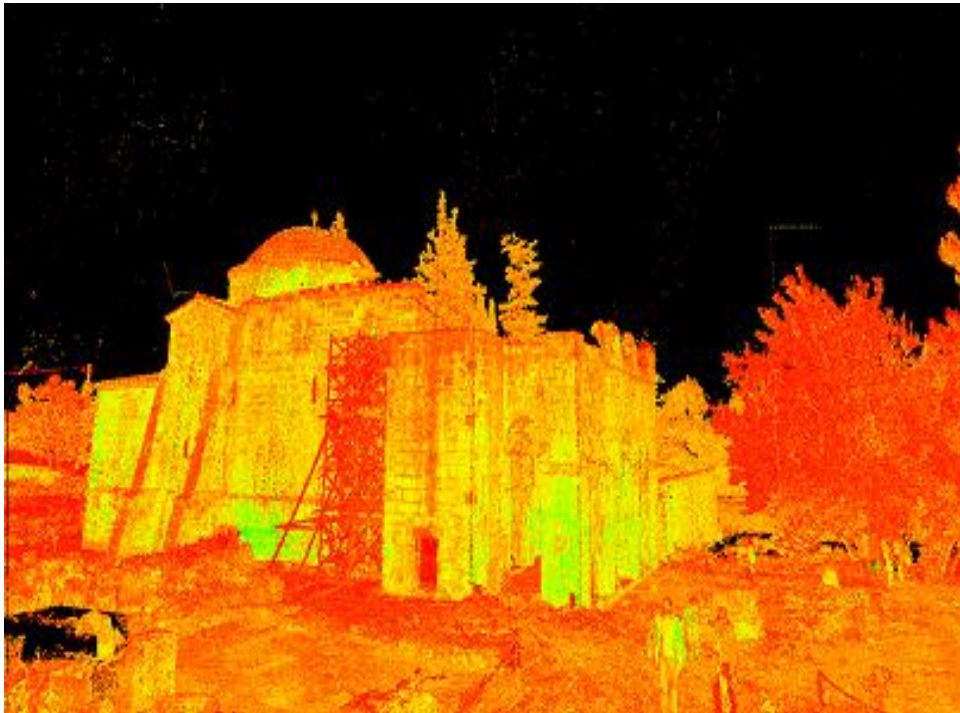
Εικόνα 115. Ανατολική άποψη του Καθολικού της Μονής από το περιβάλλον του λογισμικού επεξεργασίας.



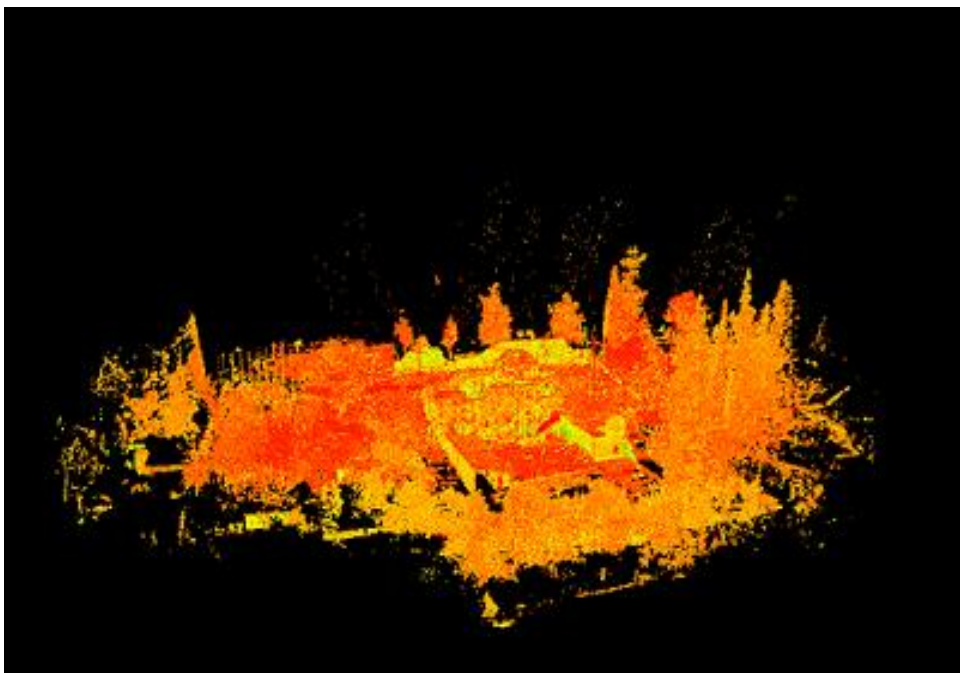
Εικόνα 116. Συνενωμένο νέφος σημείων με χρωματική πληροφορία της Μονής Δαφνίου και του περιβάλλοντα χώρου



Εικόνα 117. Τελικό νέφος σημείων με τη συνολική πληροφορία του μνημείου.



Εικόνα 118. Βορειοδυτική άποψη του Καθολικού με πληροφρία ανακλαστικότητα



Εικόνα 119. Τελικό πυκνό νέφος σημείων.

Απαραίτητη διαδικασία για την εξαγωγή, την επεξεργασία και την δημιουργία των δισδιάστατων παράγωγων σχεδίων αποτέλεσε η απαλοιφή θορύβου από το τελικό πυκνό νέφος σημείων με την συνολική πληροφορία. Όπως αναφέρθηκε και στο τέταρτο κεφάλαιο, θόρυβος σε ένα νέφος σημείων που δημιουργείται κατά την σάρωση είναι το σύνολο της περίσσειας πληροφορίας του περιβάλλοντα χώρου που καταγράφεται από το όργανο και δεν αποτελεί πληροφορία του αντικειμένου ή του χώρου ενδιαφέροντος. Αποτελείται συνήθως από βλάστηση, έντονες εναλλαγές φωτισμού (π.χ. ανοιχτές πόρτες και παράθυρα σε σκοτεινούς χώρους) και γενικότερα οτιδήποτε γειτονικό του αντικειμένου μελέτης. Ένα πλεονέκτημα που προκύπτει από αυτή την διαδικασία, είναι πως με την αφαίρεση της πληροφορίας αυτής (θορύβου), το νέφος σημείων διαμορφώνεται, μειώνεται ο όγκος του και διευκολύνεται η διαχείριση και επεξεργασία του. Τα νέφη σημείων συχνά αποτ

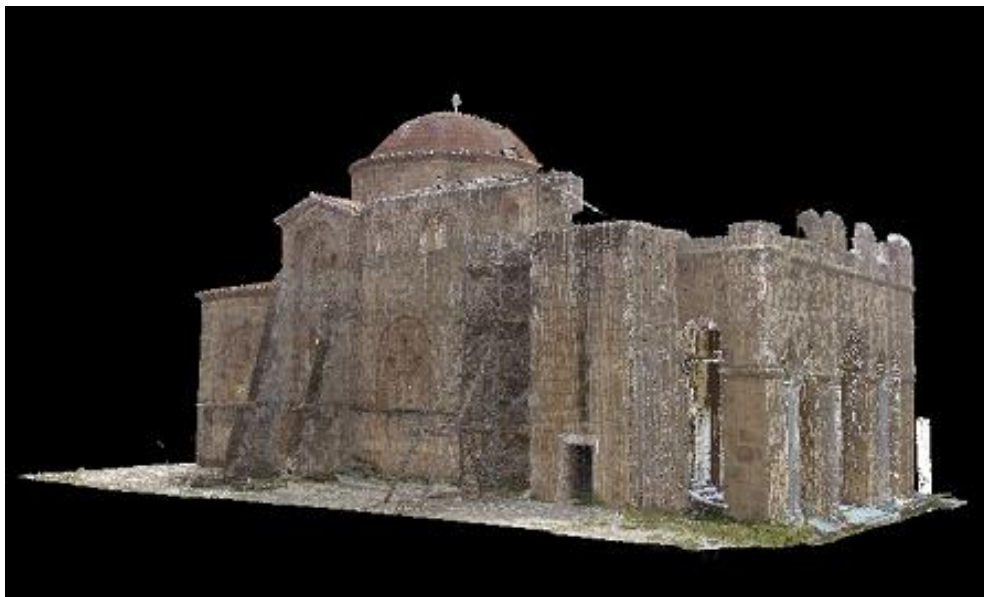
Εν προκειμένω, εντοπίσθηκε και αφαιρέθηκε με προσοχή όλη η πληροφορία που καταγράφηκε γύρω από το Καθολικό της Μονής Δαφνίου αποτελούμενη από βλάστηση, γειτονικά κτίσματα (κελιά μοναχών), και οτιδήποτε συλλέχθηκε και απεικονίστηκε στο τελικό νέφος σημείων εκτός του μνημείου.



Εικόνα 120. Τελικό νέφος σημείων απαλλαγμένο από την περιττή πληροφορία.

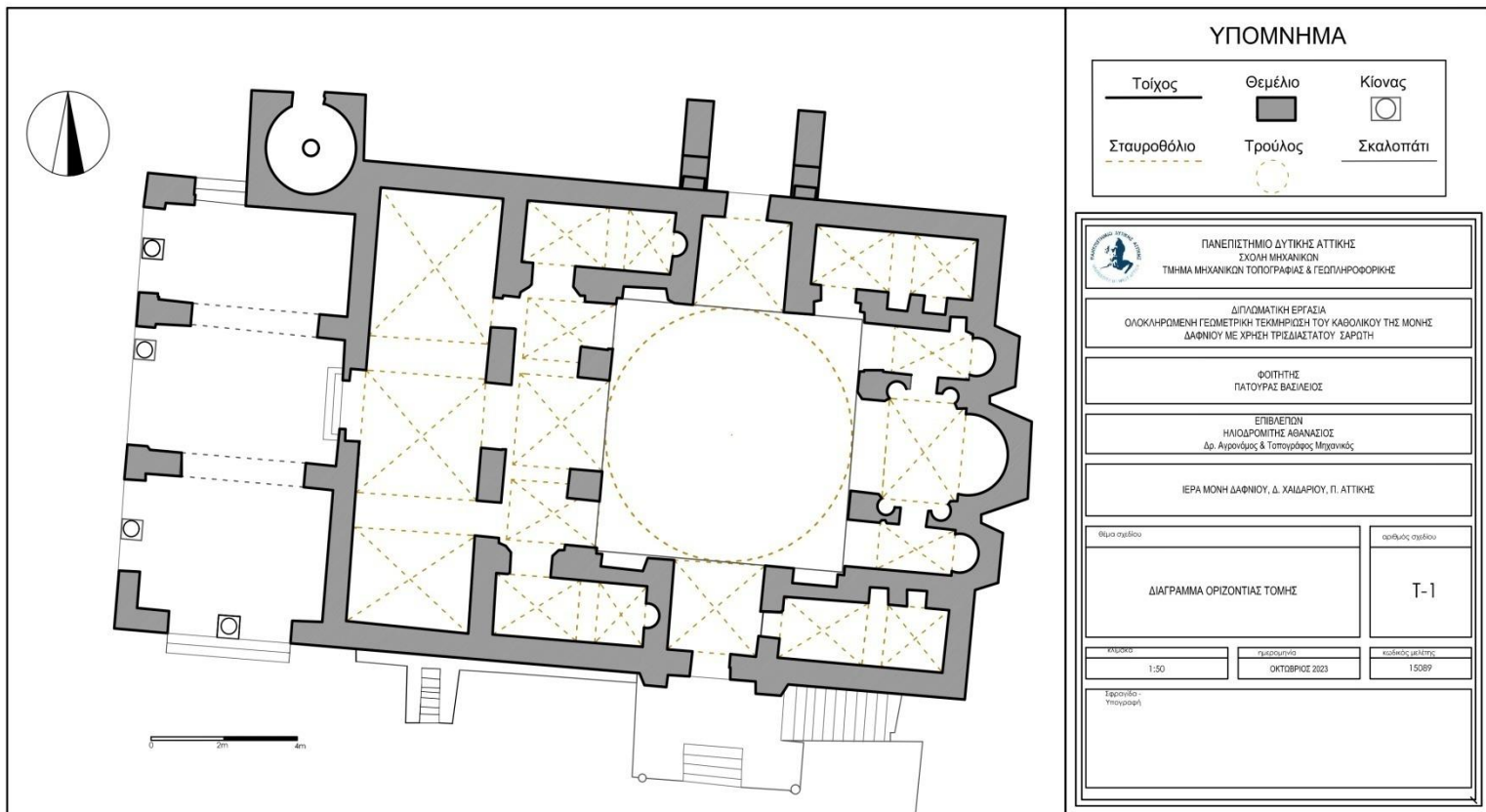


Εικόνα 121. Άποψη νέφους μετά την απαλοιφή θορύβου.




Εικόνα 122. Νοτιοδυτική άποψη του Καθολικού.

5.3 Παράγωγα Μετρήσεων

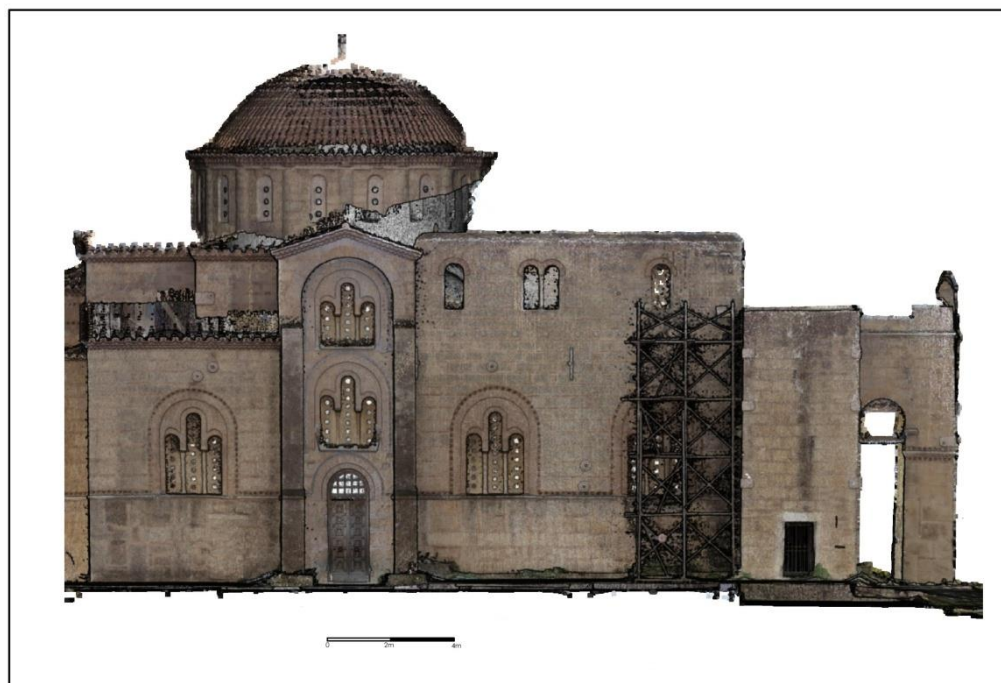



Εικόνα 123. Διάγραμμα οριζόντιας τομής του Καθολικού της Μονής Δαφνίου.



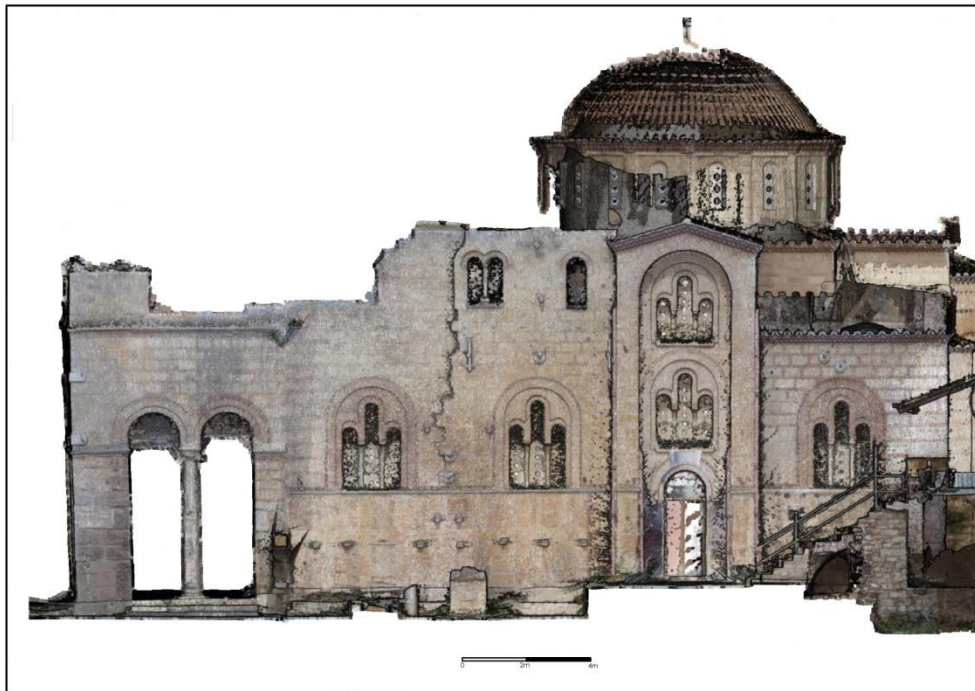
 <p>ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ</p>		
<p>ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΔΑΦΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ</p>		
<p>ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΠΑΤΟΥΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ</p>		
<p>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Δρ. Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός</p>		
<p>ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΔΑΦΝΙΟΥ, Ν. ΧΑΙΔΑΡΙΟΥ, Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ</p>		
<p>Θέμα σχεδίου</p>	<p>αριθμός σχεδίου</p>	
<p>ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ</p>	<p>T-4</p>	
<p>κλίμακα</p>	<p>ημερομηνία</p>	<p>κωδικός μελέτης</p>
<p>1:50</p>	<p>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023</p>	<p>15089</p>
<p>Έργα - Υπογραφή</p>		

Εικόνα 126. Ορθοφωτογραφία δυτικής όψης του Καθολικού.




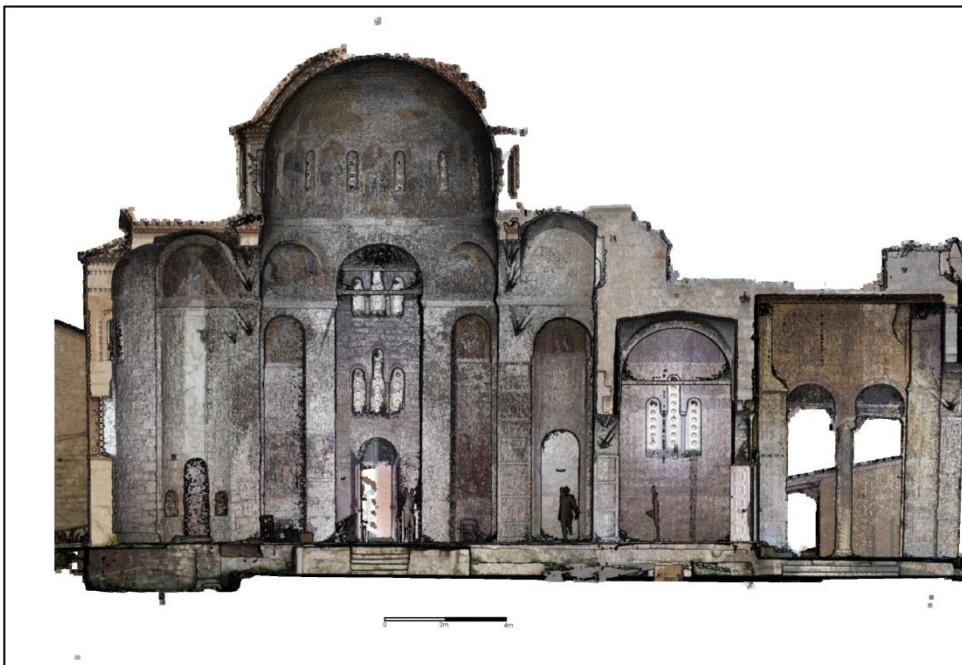
 <p>ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ</p>		
<p>ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΔΑΦΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ</p>		
<p>ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΠΑΤΟΥΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ</p>		
<p>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Δρ. Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός</p>		
<p>ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΔΑΦΝΙΟΥ, Ν. ΧΑΙΔΑΡΙΟΥ, Π. ΑΤΤΙΚΗΣ</p>		
<p>Θέμα σχεδίου</p>	<p>αριθμός σχεδίου</p>	
<p>ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΒΟΡΕΙΑΣ ΟΨΗΣ</p>	<p>T-5</p>	
<p>κλίμακα</p>	<p>ημερομηνία</p>	<p>κωδικός μελέτης</p>
<p>1:50</p>	<p>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023</p>	<p>15089</p>
<p>Έργα - Υπογραφή</p>		

Εικόνα 127. Ορθοφωτογραφία βόρειας όψης του Καθολικού.




Εικόνα 128. Ορθοφωτογραφία νότιας όψης του Καθολικού.

 <p>ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ</p>		
<p>ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΔΑΦΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ</p>		
<p>ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΠΑΤΟΥΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ</p>		
<p>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Δρ. Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός</p>		
<p>ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΔΑΦΝΙΟΥ, Ν. ΧΑΙΔΑΡΙΟΥ, Π. ΑΤΤΙΚΗΣ</p>		
<p>Όνομα σχεδίου</p>	<p>Αριθμός σχεδίου</p>	
<p>ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ</p>	<p>T-6</p>	
<p>Κλίμακα</p>	<p>Παραρτητικό</p>	<p>Κωδικός μελέτης</p>
<p>1:50</p>	<p>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023</p>	<p>15089</p>
<p>Έργο/Υποέργο</p>		



Εικόνα 129. Ορθοφωτογραφία καταμήκος τομής – νότιας όψης του Καθολικού της Μονής Δαφνίου.

 <p>ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ</p>		
<p>ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΔΑΦΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ</p>		
<p>ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΠΑΤΟΥΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ</p>		
<p>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Δρ. Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός</p>		
<p>ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΔΑΦΝΙΟΥ, Ν. ΧΑΙΔΑΡΙΟΥ, Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ</p>		
<p>Όνομα σχεδίου</p>	<p>Αριθμός σχεδίου</p>	
<p>ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΤΑΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗΣ - ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ</p>	<p>T-7</p>	
<p>Κλίμακα</p>	<p>Παραρτητικό</p>	<p>Κωδικός μελέτης</p>
<p>1:50</p>	<p>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023</p>	<p>15089</p>
<p>Έργο/Υποέργο</p>		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η πολιτιστική κληρονομιά αντιπροσωπεύει τη σωρευτική κληρονομιά των ανθρώπινων επιτευγμάτων, που περιλαμβάνει απτά αντικείμενα, αρχιτεκτονική, καλλιτεχνικές εκφράσεις, παραδόσεις και άυλη γνώση. Αυτή η κληρονομιά χρησιμεύει ως σύνδεσμος μεταξύ του παρελθόντος, του παρόντος και του μέλλοντος, ενισχύοντας την αίσθηση της ταυτότητας και της συνέχειας στις κοινωνίες. Αποτελεί πυλώνα του πολιτισμού, παρέχοντας γνώση για ιστορικά πλαίσια, τεχνολογικές εξελίξεις, κοινωνικές δομές και δημιουργικές προσπάθειες περασμένων εποχών. Στην Ελλάδα, μια χώρα με πλούσια κληρονομιά πολιτιστικών μνημείων, κρίνεται απαραίτητη η ανάγκη διατήρησης, αξιοποίησης και ανάδειξης του πλούτου αυτού. Προκειμένου να γίνει αυτό εφικτό, απαιτείται η επιστημονική προσέγγιση και συνεργασία από μελετητές διαφορετικών κλάδων, με σκοπό την γεωμετρική τεκμηρίωση, την συντήρηση, την μελέτη και την ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς στο πέρασμα των χρόνων.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση, η οποία περιλαμβάνει την ακριβή καταγραφή και αναπαράσταση φυσικών και τεχνητών αντικειμένων και χώρων με χρήση μαθηματικών αρχών, αναδεικνύεται ως κρίσιμο εργαλείο για τη διατήρηση, την ερμηνεία και τη διάδοση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Παρέχοντας πρόσβαση σε λεπτομερή σχέδια αντικειμένων και δομών, τα δεδομένα αυτά λειτουργούν ως αντίγραφα ασφαλείας σε περίπτωση φθοράς, τυχαίας ζημιάς ή φυσικών καταστροφών. Αυτή η ανάλυση μπορεί να αποκαλύψει τεχνικές κατασκευής, υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, αρχές σχεδιασμού, ακόμη και κρυφές λεπτομέρειες που κατά τα άλλα είναι ανεπαίσθητες. Η ακριβής γεωμετρική τεκμηρίωση παρέχει ένα θεμελιώδες σύνολο δεδομένων για τους μελετητές για τη διεξαγωγή έρευνας σε μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Εξασφαλίζει ότι είναι διαθέσιμες ακριβείς μετρήσεις και οπτικές αναπαραστάσεις για περαιτέρω μελέτες.

Στην εργασία αυτή, παρουσιάστηκε το πώς η μέθοδος της τρισδιάστατης σάρωσης αποτέλεσε το βέλτιστο μέσο για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση της Μονής Δαφνίου. Η σύγχρονη αυτή μέθοδος προσφέρει πλεονεκτήματα σε μελέτες τεκμηρίωσης, κάνοντας δυνατή την λεπτομερή καταγραφή σημείων του χώρου από απόσταση, ταχύτητα. Οι μετρήσεις (εργασίες υπαίθρου) πραγματοποιήθηκαν σε μόλις 2 ημέρες και υλοποιήθηκαν συνολικά 61 σαρώσεις εσωτερικά και εξωτερικά της Μονής. Έτσι σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, συλλέχθηκε η συνολική πληροφορία για το μνημείο ενδιαφέροντος και τον περιβάλλοντα χώρο, αποτελούμενη από μεγάλο όγκο δεδομένων. Η επεξεργασία έγινε σε ειδικό λογισμικό, συμβατό με τον σαρωτή laser και διήρκησε αρκετές εβδομάδες.

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας, μετά την ακριβή τρισδιάστατη αναπαράσταση (Digital Twin) του Ναού αποτέλεσε η εξαγωγή δεδομένων από αυτό και η παραγωγή δισδιάστατων τοπογραφικών σχεδίων και ορθοεικόνων με πληροφορία για το σχήμα, το μέγεθος και την μορφή του μνημείου, την δεδομένη χρονική στιγμή. Έτσι παράχθηκαν σχέδια (διαγράμματα) και ορθοφωτογραφίες με ακριβείς πληροφορίες για την γεωμετρία αλλά και την μορφολογία του Καθολικού

σε διάφορα οριζόντια και κατακόρυφα επίπεδα, με λεπτομέρεια που επιτρέπει την εκτύπωση των σχεδίων σε κλίμακα 1:50.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση με χρήση τρισδιάστατου σαρωτή laser καθιστά επίσης δυνατή τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων ως ψηφιακές αναπαραστάσεις ιστορικών τοποθεσιών. Με τον τρόπο αυτό προσφέρονται διαδραστικές εμπειρίες τρισδιάστατης περιήγησης στο απεικονιζόμενο περιβάλλον. Οι εικονικές ανακατασκευές ενισχύουν τη συμμετοχή του κοινού, δίνοντας ευκαιρίες εκπαίδευσης αλλά και την δυνατότητα πρόσβασης στα μνημεία, από κάθε μέρος του πλανήτη μέσω κινητού τηλεφώνου ή ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Δέσμια της επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης είναι η ορισμένες φορές αδυναμία καταγραφής από ψηλά. Ειδικότερα εφόσον δεν είναι δυνατή η υλοποίηση στάσης σε υπερυψωμένα σημεία, η ύπαρξη γειτονικών κτιρίων και η πρόσβαση σε αυτά, προκύπτει έλλειψη πληροφορίας σε στέγες και άνω μέρη ψηλών αντικειμένων. Αποτέλεσμα εν προκειμένω, ήταν η απουσία πληροφορίας σε επιφάνειες του Καθολικού όπως κεραμίδια ορισμένων στεγών του και μέρη του τρούλου του.

Μία μελλοντική πρόταση επιπρόσθετης μελέτης είναι καταγραφή και η απόδοση των επιφανειών αυτών η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με φωτογραμμετρική διαδικασία με σκοπό την συλλογή της πληροφορίας που απουσιάζει από το υφιστάμενο νέφος σημείων του μνημείου. Με την χρήση ενός μη στελεχωμένου οχήματος (UAV), μπορεί να αποτυπωθεί και να συνενωθεί η πληροφορία αυτή με το τελικό νέφος σημείων των επίγειων σαρώσεων, με την χρήση ομόλογων σημείων. Έτσι μια συνδυαστική μέθοδος θα ενισχύσει την ήδη υπάρχουσα μελέτη και θα αποφέρει συνολική πληροφορία για τον Ναό τόσο γεωμετρική όσο και μορφολογική.

Τέλος, απώτερος σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτέλεσε η συμβολή στην μελέτη, την γεωμετρική τεκμηρίωση, την ανάδειξη και την προβολή του Καθολικού της Μονής Δαφνίου, ενός μνημείου σπουδαίας ιστορικής και αρχιτεκτονικής αξίας. Με την παραγωγή των ανωτέρω παραδοτέων έγινε εφικτός ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του σχήματος, του μεγέθους, της θέσης και της μορφής του Ναού στην υφιστάμενη κατάσταση. Τα σχέδια αυτά θα συμβάλλουν στην αναγνώριση και την ανάλυση μεταβολών και φθορών, αν έχουν προκύψει, συγκρίνοντας τα με αντίστοιχα σχέδια από μελέτες τεκμηρίωσης του παρελθόντος. Ταυτόχρονα η παρούσα μελέτη επιτυγχάνει μια πρόσθεση στην βάση δεδομένων των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί στο μνημείο, προσφέροντας πληροφορίες για την κατάσταση του, σε μελετητές του μέλλοντος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1



LEICA BLK360 IMAGING SCANNER

3D REALITY. NOW.



BLK360 PRODUCT SPECIFICATIONS

GENERAL

Imaging scanner	3D scanner with Integrated spherical Imaging system and thermography panorama sensor system
-----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------

DESIGN & PHYSIOAL

Housing	Black anodized aluminium
Dimensions	Height: 165 mm / Diameter: 100 mm
Weight	1kg
Transport cover	Hood with Integrated floorstand
Mounting mechanism	Button-press quick release

OPERATION

Stand-alone operation	One-button operation
Remote operation	iPad app, Apple iPad Pro® 12.9"/IOS 10 or later
Wireless communication	Integrated wireless LAN (802.11 b/g/n)
Internal memory	Storage for > 100 setups
Instrument orientation	Upright and upside down

POWER

Battery type	Internal, rechargeable LI-Ion battery (Leica 0EB212)
Capacity	Typically >40 setups

SCANNING

Distance measurement system	High speed time of flight enhanced by Waveform Digitizing (WFD) technology
Laser class	1 (In accordance with IEC 60825-1:2014)
Wavelength	830 nm
Field of view	360° (horizontal) / 300° (vertical)
Range*	min. 0.6 - up to 60 m
Point measurement rate	up to 360'000 pts / sec
Ranging accuracy*	4mm @ 10m / 7mm @ 20m
Measurement modes	3 user selectable resolution settings

IMAGING

Camera System	15 Mpixel 3-camera system, 150Mpx full dome capture, HDR, LED flash Calibrated spherical Image, 360° x 300°
Thermal Camera	FLIR technology based longwave Infrared camera Thermal panoramic Image, 360° x 70°

PERFORMANCE

Measurement speed	< 3 min for complete full dome scan, spherical Image & thermal Image
3D point accuracy*	6mm @ 10m / 8mm @ 20m

ENVIRONMENTAL

Robustness	Designed for Indoor and outdoor use
Operating temperature	+5 to +40° C
Dust/Humidity	Solid particle/Liquid Ingress protection IP54 (IEC 60529)

DATA ACQUISITION

- Live Image and scanned data streaming
- Live data viewing and editing
- Automatic tilt measurements

All specifications are subject to change without notice.
All accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted.
* at 78% albedo
Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2017.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

Αδαμαντίου, Α. (1907). Εργασίαι Μυστρά και Δαφνίου. *Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας*, 129-146.

Αρχοντάκης, Γ. (2012). *Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών-Δημιουργία Τρισδιάστατου Μοντέλου* (Διπλωματική Εργασία). Διαθέσιμο από: https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/7000/archontakis_g_geodesy.pdf?sequence=3

Βουδούρη, Δ., & Στρατή, Α. (1999). *Η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς σε διεθνές και ευρωπαϊκό επίπεδο*. Αθήνα: Εκδόσεις Σάκκουλα.

Γεωργόπουλος, Α., Ιωαννίδης, Χ. (2008). *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Πολιτιστικών Αγαθών, Σχολή Αργονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ*, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, Διήμερο Συνέδριο προσωπικού του Τμήματος Αναδασμού, ΚΕΓΕ Αγρού. Αθήνα

Γκιολές, Ν. (1992). *Βυζαντινή ναοδομία*. Αθήνα: Καρδαμίτσα.

Γραφάκου, Μ. (2011). *Η Αποτύπωση ως Εργαλείο Αναγνώρισης του Δομημένου Περιβάλλοντος* [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αρχιτεκτονικής. Χειμερινό Εξάμηνο 2010-2011. Θεσσαλονίκη

Ηλιοδρομίτης, Α. (2008). *Ανάλυση της Μέτρησης Μήκους Χωρίς Ανακλαστήρα και Μελέτη του Προσδιορισμού της Θέσης Σημείων στο Χώρο* (Μεταπτυχιακή εργασία). Διαθέσιμο από: Κεντρική Βιβλιοθήκη ΕΜΠ. doi:10.26240/heal.ntua.260

Καλησπεράκης, Η. (2010). *Η Επιπολική Γεωμετρία στον Προβολικό και τον Ευκλείδειο Χώρο* (Διδακτορική Διατριβή). Διαθέσιμο από: Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών, doi: XLI-5/W1:161-165

Καμπούρογλου, Δ. Γ. (1920). *Το Δαφνί*. Αθήνα: Τυπογραφείον Εστία.

Καρακατσάνη, Α. (2001). *Παλινωδία για τη Μονή Δαφνίου*. Αθήνα: Άγρα.

Κουκουλές, Φ. (1951). *Βυζαντινών βίος και πολιτισμός* (τ.4). Αθήνα: Institut français d'Athènes

Λαζαρίδης, Π. (1977). *Μονή Δαφνίου: σύντομος εικονογραφημένος αρχαιολογικός οδηγός*. Αθήνα: Hannibal.

Λαμπάκης, Γ. (1899). *Η Μονή Δαφνίου : Μετά τας επισκευάς*. Αθήνα :
Τυπογραφείο των Καταστημάτων Ανέστη Κωνσταντινίδου.

Λαμπάκης, Γ. (1889). *Χριστιανική αρχαιολογία της Μονής Δαφνίου*. Αθήνα: Εκ
του Τυπογραφείου Αλεξ. Παπαγεωργίου.

Λάμπρου, Ε. & Πανταζής, Γ. (2010). *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*. Θεσσαλονίκη:
Εκδόσεις Ζήτη

Λερίου, Α. (2009). *Ιερά Οδός Αναζητώντας το Ίχνος*. Αθήνα: Αλέξανδρος Ε.Π.Ε.

Λερίου, Α. (2006). *Χαϊδάρι συνάντηση με την ιστορία*. Αθήνα: Δήμος Χαϊδαρίου

Μουρίκη, Ν. (1985). *Τα ψηφιδωτά της Νέας Μονής Χίου*. Αθήνα: Εμπορική
Τράπεζα της Ελλάδος

Μπαλαμιώτη, Ε. (2018). *Αποτυπώσεις [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]*. Ανώτερο
Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε Τρικάλων.
Χειμερινό Εξάμηνο 2018-2019. Τρίκαλα

Μπούρας, Χ. (2001). *Βυζαντινή & Μεταβυζαντινή αρχιτεκτονική στην Ελλάδα*.
Αθήνα: Μέλισσα

Ξυγγόπουλος, Α. (1934). Το ψηφιδωτόν της Πλατυτέρας εν τη Μονή Δαφνίου.
Αρχαιολογική Εφημερίς (τ. 73-74), 132-140

Οικονόμου, Α. (2019). Πολιτιστική κληρονομιά, υλική και άυλη: δύο όψεις του
ίδιου νομίσματος, το παράδειγμα της αγροδιατροφικής παράδοσης. *Εθνολογία*,
2017-2018 (τ.17), 5-38.

Ορλάνδος, Α. Κ. (1958). *Μοναστηριακή αρχιτεκτονική*. Αθήνα: Εστία

Παγούνης Β., Καλυκάκης Σ. & Μπιζιά Π. (2004). Η χρήση της Τρισδιάστατης
Σάρωσης ως Μεθοδολογία στην Αποτύπωση Σπηλαίων. Εφαρμογή στο σπήλαιο
Αγ. Γεωργίου Κιλκίς. *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας* (τ.ΧΧΧVI),
Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004.
<https://doi.org/10.12681/bgsg.16467>

Πάλλης, Γ. (2013). Νεότερα για τον Ακάκιο Αμπελικό, «δεύτερο κτήτορα» της
μονής Δαφνίου (16ος αι.), και τα μεταβυζαντινά τέμπλα του καθολικού. *Δελτίον
της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας* (τ.34), 311–322.

Παναγιωτίδη - Κεσίσογλου, Μ. (2019). Αναζητώντας τον ιδρυτή της μονής
Δαφνίου. *Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας*, 40, σ. 193- 222

Πανταζής, Γ. (2010). *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Τεχνητών και Φυσικών
Κατασκευών σε Μεγάλες Κλίμακες* [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. Εθνικό

Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αργονόμωνων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας. Χειμερινό Εξάμηνο 2010-2011. Αθήνα

Παπαλουκάς, Χ. (Επιμ.). (2014). *Αξιοπιστία et l'irresponsabilité de Jean Alexandre Buchon – Les Misérables*. Αθήνα: Αλφάβητο ABEE

Παπαχατζής, Ν. Δ. (1994). *Παυσανίου Ελλάδος Περιήγησις, Αττικά*. Αθήνα: Εκδοτική Αθηνών

Πατιάς, Π., Γεωργιάδης, Χ. (2012, Μάρτιος 1). *Φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις με τρισδιάστατο σαρωτή. Τεχνολογία, Τεύχος 436*. σ. 12-13

Πέτσα, Ε. (2000). *Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας* [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. Τ.Ε.Ι Αθήνας, Τμήμα Τοπογράφων Μηχανικών. Αθήνα

Ροϊδης, Ε. (1866). *Η Πάπισσα Ιωάννα*. Αθήνα: Τύποις Ιωάννου Κασσανδρέως

Σισιλιάνος, Δ. (1953). *Παλαιαί και νέαι Αθήναι* (τ.1). Αθήνα: Αετός

Στίκας, Ε. (1964). Στερέωσις και αποκατάστασις του εξωνάθηκος του καθολικού της Μονής Δαφνίου. *Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας*(τ.3), 1-43

Συμεωνίδης, Π. (2007). *Σαρωτές Laser. Τεχνολογία, Τεχνικές και Εφαρμογές*. Σέρρες: Έκδοση Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας ΤΕΙ Σερρών

Τοκμακίδης, Κ. (2014). *Αποτυπώσεις Μνημείων και Αρχαιολογικών Χώρων* [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. ΑΠΘ, Τμήμα Αργονόμωνων και Τοπογράφων Μηχανικών. Θεσσαλονίκη

Τραυλός, Ι. (1993). *Πολεοδομική εξέλιξις των Αθηνών*. Αθήνα: Εκδόσεις Καπόν

Talbot – Rice, D. (1994). *Βυζαντινή τέχνη* (Α. Παππάς, Μετ.). Αθήνα: Εκδόσεις Υποδομή

Φιλαδελφεύς, Θ. Ν. (1902). *Ιστορία των Αθηνών επί Τουρκοκρατίας, από του 1400 μέχρι του 1800*. Αθήνα: Σακελλαρίου

Φωτοπούλου, Σ.Β (2016). Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά. Στο Σ.Β Φωτοπούλου (επιμ.) *Όψεις της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς στη Χίο* (σ. 8-29). Αθήνα: Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς

Χατζηδάκη, Ν. (1995, Δεκέμβριος 24). Η Μονή του Δαφνίου. *Η Καθημερινή*. σ. 21-23.

Χατζηδάκης, Μ. (1965). *Βυζαντινή Αθήνα*. Αθήνα: Πεχλιβανίδης

Υπουργείο Πολιτισμού (1995). *Η Μονή Δαφνίου Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα*. Αθήνα: Υπουργείο Πολιτισμού

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Abate, M. (2002). *Treasury of world culture: archaeological sites and urban centres*. UNESCO

Andersen, H. C. (1999). *Οδοιπορικό στην Ελλάδα* (Allan Lund, Μετ.). Αθήνα: Εστία

Beraldin, J.A. (2004) Integration of Laser Scanning and Close-Range Photogrammetry—The Last Decade and Beyond. Proceedings 20th ISPRS Congress 2004, Istanbul, 12-23 July 2004, 12-23.

Boehler, W., Bordas Vicent, M., Marbs, A., & Altan, M. (2003). *Investigating laser scanner accuracy / W. Boehler; M. BordasVicent; A. Marbs* (pp. 696-701). Istanbul (Turkey): CIPA 2003 Organising Committee.

Boehler, W., Heinz, G. and Marbs, A. (2001). The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording. *XVIII CIPASymposium*. Potsdam: ISPRS.

Boehler, W. & Marbs, A. (2002) *3D Scanning Instruments*. Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop, Corfu, 1-2 September 2002, 9-12.

Bouras, C. (1998). The Daphni Monastic Complex Reconsidered. Στο I. Sevchenko & I. Hutter (Επίμ.) *Studies in Honour of Cyril Mango*. Stuttgart & Leipzig: Teubner B. G., 1-14

Cadena, C., Carlone, L., Carrillo, H., Latif, Y., Scaramuzza, D., Neira, J., Reid, I.D., & Leonard, J.J. (2016). Past, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age. *IEEE Transactions on Robotics*, 32, 1309-1332.

Chandler, R. (1776). *Travels in Greece or an account of a tour made at the expense of the Society of Dilettanti*. Oxford: Clarendon Press

Deliyannidis, C. (1986). *The monastery of Daphni, a conservation policy. A dissertation submitted for the degree of Master in Arts in Conservation Studies* (μεταπτυχιακή διατριβή). Institute of Advanced Studies. University of York.

Delvoye, C. (1994). *Βυζαντινή τέχνη* (Μ.ΒΠαπαδάκη, Μετ.). Αθήνα: Εκδόσεις Παπαδήμα

Diez, E., & Demus, O. (1931). *Byzantine mosaics in Greece, Hosios Loukas and Daphni*. Cambridge, MA: Harvard University Press

Demus, O. (1955). *Byzantine mosaic decoration: aspects of monumental art in Byzantium*. Boston: Boston Book & Art Shop

Dodwell, E. (1918). *A classical and topographical tour through Greece during the years 1801, 1805 and 1806*. London: Rodwell and Martin

Εθνικό Ιστορικό Μουσείο (χ.χ). *Μονή Δαφνίου, Αθήνα. Το εσωτερικό του ναού, άποψη από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Φωτογραφία του Carl Siele, 1910. Εκτέθηκε στη Διεθνή Έκθεση της Ρώμης του 1911. Ανακτήθηκε από: <https://nhmuseum.gr/tmimata/mesa-stis-sylloges-tou-mouseiou/item/3892-monidafniouathinatoesoterikotounaouapopsiapotadutikaprostaanatolikafotografiatoucarlsiele1910ektethikestidiethniekthesitisromistou1911>*

Fryskowska-Skibniewska, A. (2017). Accuracy Assesment of Point Clouds Geo-Referncing in Surveying and Documentation of Historical Complexes. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.XLII - 5/W1, pp.161-165

Fröhlich, C., Mettenleiter, M. (2004).Terrestrial Laser -New Perspectives in 3D Surveying. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI – 8/W2

Guarnieri, A., Remondino, F., Vettore, A. (2006). *Digital Photogrammetry and TLS Data Fusion Applied to Cultural Heritage 3D Modeling*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36, 5

Georgopoulos, A. (2016). Photogrammetric Automation: Is It Worth?. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 16, No 5 (2016), 11-17. DOI: 10.5281/zenodo.204962

Harrison, R. (2013). *Heritage: Critical Approaches*. London/ New York: Routledge. Historic England, (2018). *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture*. Swindon. Historic England

Hoelscher, S. (2006).Heritage. Στο S. Macdonald (επιμ.), *A Companion to Museum Studies* (σ. 198-218). Oxford: Blackwell Rublishing Ltd.

Holz, D. Ichim, A.E., Tombari, F., Rusu, R.B., Behnke, S. (2015). Registration with the Point Cloud Library: A Modular Framework for Aligning in 3-D. *IEEE Robotics*

& *Automation Magazine*, Vol. 22, Issue 4, pp. 110-124. doi: 10.1109/MRA.2015.243233

Katsiki-Panagopoulos, B. (1979). *Cistercian and Mendicant monasteries in Medieval Greece*. Chicago: The University of Chicago Press

Klapa, P., Mitka, B. (2017). Edge Effect and its Impact Upon the Accuracy of 2D and 3D Modelling Using Laser Scanning. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*. No. 1, 25–33. doi: 10.15576/GLL/2017.1.25

Kyriacopoulou, E. & Petronotes, A. (1965). *The Daphni Monastery: history – architecture – mosaics*. Athens: Photiades

Lenormant, F. (1864). *Monographie de la voiesacréeéleusinienne*. Paris: Librairie de L.Hachette

Malhotra, A., Gupta, K., Kant, K. (2011). Laser Triangulation for 3D Profiling of Target. *International Journal of Computer Applications*, Volume 35– No.8, 47-50.

Millet, G. (1899). *Le monastere de Daphni: Histoire, architecture, mosaïques*. Paris: Leroux

Miltiadou – Fezans, A. (2008). A multidisciplinary approach for the structural restoration of the Katholikon of Dafni Monastery in Attica Greece. Στο Dina D' Ayala & Enrico Fodde (Επιμ.) *Structural Analysis of Historic Construction: Preserving Safety and Significance*. London: CRC Press, σ. 71-87

Pagouni C., Nikolić N., Iliodromitis T., Pagounis V., Kosanović S., Tsakiri M. (2022) Geomatic Data for Historic Buildings. The Case Study of the Catholic Church of St. Luke in Athens, Greece. Stepgrad 2022, *Proceedings of Internation Conference on Contemporary Theory and Practise Construction XV*. DOI: 10.7251/stp2215668p

Pantazis, G. & Papathanassiou, M. (2005). On the date of the Katholikon of Daphni monastery. A new approach based on its orientation. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 5, No 1, 63-72

Soudarissanane, S.S. (2016). *The Geometry of Terrestrial Laser Scanning. Identification of Errors, Modeling and Mitigation of Scanning Geometry* (ΠτυχιακήΕργασία). Διαθέσιμο από: <http://repository.tudelft.nl/>.

Spon, J., & Wheler, G. (1679). *Voyage d'Italie, de Dalmatie, de Grèceet du Levant: fait aux années1675 and 1676*. Amsterdam: Boom

Stanley, T. (2013). *Assessment of the FARO 3D Focus Laser Scanner for Forest Inventory* (Διπλωματική Εργασία). Διαθέσιμο από: https://sear.unisq.edu.au/24708/1/Stanley_2013.pdf

Weitzmann, K. (1978). Classical mode in the period of the Macedonian emperors: continuity or revival? Στο Speros Vryonis Jr (Επιμ.), *The Past in medieval and modern Greek Culture*. Malibu: Undena Publications, 30-35

Zhang, Z., Dai, Y., Sun, J. (2020). Deep Learning Dased Point Cloud Registration: An Overview. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, Vol. 2(3), ss. 222—246

Zhu, L., Mu, Y., Shi, R. (2008). Study on the Resolution of Laser Scanning Point Cloud. *Conference: IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium*. doi:10.1109/IGARSS.2008.4779200

Ηλεκτρονικές πηγές

Arc de Triomphe, Paris (with texture) 3D model. Ανακτήθηκε από: <https://sketchfab.com/3d-models/arc-de-triomphe-paris-no-texture-877405655b8f4700a7496b9be7a89447>

British School at Athens (χ.χ). *Byzantine Research Fund*. Ανακτήθηκε από: <https://digital.bsa.ac.uk/collections.php?collection=2375>

CyArk: *Capturing the monumental* (2015). Ανακτήθηκε από: https://edition.cnn.com/2015/04/09/tech/gallery/cyarktreasures/index.html?fbclid=IwAR3hXkWTJ_mXMi-0N8Oqid5hz_V9Td9UHmA4IspvvJ86vB-fpauNZSv-9Dg

Ελληνική Εθνική Επιτροπή για την UNESCO (χ.χ). *Μονή Δαφνίου, Μονή Οσίου Λουκά και Νέα Μονή Χίου*. Ανακτήθηκε από: <https://unescogreece.gr/%ce%bc%ce%bf%ce%bd%ce%b7%ce%b4%ce%b1%cf%86%ce%bd%ce%b9%ce%bf%cf%85%ce%bc%ce%bf%ce%bd%ce%b%ce%bf%cf%83%ce%b9%ce%bf%cf%85%ce%bb%ce%bf%cf%85%ce%ba%ce%b1%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%ce%bd/>

Εφορεία Αρχαιοτήτων Δυτικής Αττικής (χ.χ). *Μονή Δαφνίου*. Ανακτήθηκε από: <https://www.efada.gr/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CE%B%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%AF%CE%A7%CF%8E%CF%81%CE%BF%CE%B9%CE%9C%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%AF%CE%B1/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CE%AE%CE%94%CE%B1%CF%86%CE%BD%CE%AF%CE%B%CF%85>

Golubeva, S. (2022). *What is laser 3D scanning?*. Ανακτήθηκε από: <https://www.artec3d.com/learning-center/laser-3d-scanning>

Ιερά Μονή Δαφνίου. Ανακτήθηκε από:

https://earth.google.com/web/search/%ce%9c%ce%bf%ce%bd%ce%ae+%ce%94%ce%b1%cf%86%ce%bd%ce%af%ce%bf%cf%85,+%ce%99%ce%b5%cf%81%ce%ac+%ce%9f%ce%b4%cf%8c%cf%82,+%ce%a7%ce%b1%cf%8a%ce%b4%ce%ac%cf%81%ce%b9/@38.0129971,23.6358835,109.99580359a,811.25012607d,35y,0h,45t,0r/data=CqMBGnkScwojMHgxNGExOTdmOGU4MTE5YzQ5OjB4NzE5ZDEwNTQxNjA0MjcZMt9mlqkBQ0Ah_ykLFdKiN0AqOs6czzr_Ovc6ulM6UzrHPHs69zq_Ov8-FLCDOmc61z4HOrCDOOn860z4zPgiwgzqfOscKzrTOrMBzrkYAiABliYKJAILKBlE9gBDQBE2ckvNTABDQBISf679mqg3QCE3EofqQaY3QCgCOgMKATA

International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (χ.χ). *What is ICCROM*. Ανακτήθηκε από: <https://www.iccrom.org/about/what-iccrom>

International Council on Monuments and Sites (χ.χ) *Introducing ICOMOS*. Ανακτήθηκε από: <https://www.icomos.org/en/about-icomos/mission-and-vision/mission-and-vision>

International Council of Museums (χ.χ). *Missions and objectives*. Ανακτήθηκε από: <https://icom.museum/en/about-us/missions-and-objectives/>

Karten Von Attica. Ανακτήθηκε από: https://dimitrakarakou.gr/Karten_von_Attika/#12/37.9617/23.6482

Leica Geosystems (χ.χ). *Leica BLK2GO Handheld Imaging Laser Scanner*. Ανακτήθηκε από: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/autonomous-reality-capture/leica-blk2go-handheld-imaging-laser-scanner>

Leica Geosystems (χ.χ). *Leica BLK360 Imaging Laser Scanner*. Ανακτήθηκε από: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>

Leica Geosystems (χ.χ). *Leica BLK360 User Manual*. Ανακτήθηκε από: https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2022-01/853811_Leica_BLK360_UM_v4.0.0_en.pdf

Machine Vision with Laser Triangulation – Application Guide. Ανακτήθηκε από: <https://www.global-lasertech.co.uk/applications/machine-vision-with-laser-triangulation/>

Organization of World Heritage Cities (χ.χ). *About the OWHC*. Ανακτήθηκε από: <https://www.ovpm.org/about-the-owhc/>

Ποσπέλωφ, Α. (2019). *Ψηφιδωτά της Μονής Δαφνίου Γκαλερί Φωτογραφιών*. Ανακτήθηκε από: <https://gr.pravoslavie.ru/123715.html>

Palacio de BellasArtes, Mexico City by CyArk. Ανακτήθηκε από: https://sketchfab.com/models/318fa88e331c4ce19c08b756b0570b86/embed?fbclid=IwAR3sKEChMWxrWv6CuwPE3GWPf_aeTmH71pCU4W_OprBuhEe4ezLCcUgSYQ

Panorama von Athen. Ανακτήθηκε από: <https://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/stademann1841/0032>

Υπουργείο Πολιτισμού (2019). *Αποτίμηση ζημιών στη Μονή Δαφνίου.* Ανακτήθηκε από: <https://culture.gov.gr/el/Information/SitePages/view.aspx?nID=2865>

Υπουργείο Πολιτισμού (χ.χ). *Νόμοι - Πολιτιστική Κληρονομιά.* Ανακτήθηκε από: https://www.culture.gov.gr/el/ministry/SitePages/laws_heritage.aspx?p=0

Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού (χ.χ). *Μονή Δαφνίου.* Ανακτήθηκε από: http://odysseus.culture.gr/h/2/gh251.jsp?obj_id=1514

Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού (χ.χ). *Μνημεία Παγκόσμιας Κληρονομιάς.* Ανακτήθηκε από: <http://odysseus.culture.gr/h/2/gh21.html>

UNESCO(1972).*Basic Texts of the 1972 World Heritage Convention.* Ανακτήθηκε από: <https://whc.unesco.org/en/basictexts/>

WorldHeritage Committee (1972).*Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention.* Ανακτήθηκε από: <https://whc.unesco.org/archive/opguide08-en.pdf>

Χάρτης της Βενετίας (1964). Ανακτήθηκε από: <https://www.charta-von-venedig.de/venice-charter-1964.html>