



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ ΥΠΕΡΑΓΙΑΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ  
ΑΤΡΟΥ, ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ**

**ΒΟΥΡΕΞΑΚΗ ΧΡΥΣΟΘΕΜΙΣ-ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ**

**A.M.:10006**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΠΑΓΟΥΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ ΥΠΕΡΑΓΙΑΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ  
ΑΤΡΟΥ, ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ**

**ΒΟΥΡΕΞΑΚΗ ΧΡΥΣΟΘΕΜΙΣ-ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

**Παγούνης Βασίλειος**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- **Ανδριτσάνος Βασίλειος**

(Δρ. Αγρονόμος και Τοπογράφος ΕΜΠ, Επίκουρος Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.)

- **Αναστασίου Δημήτριος**

(Δρ. Αγρονόμος και Τοπογράφος ΕΜΠ, Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑ.Δ.Α.)

ΑΘΗΝΑ 2021

## **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΒΟΥΡΕΞΑΚΗ ΧΡΥΣΟΘΕΜΙΣ-ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ του ΜΙΧΑΗΛ, με αριθμό μητρώου 10006 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών 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».

Η Δηλούσα



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Διπλωματική Εργασία που παρουσιάζεται εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του τμήματος «Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής» με εμβάθυνση στην «Γεωδαισία», της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α). Στόχος της είναι η παρουσίαση των σύγχρονων γεωδαιτικών μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, για την αποτύπωση, καταγραφή και απόδοση της υπάρχουσας κατάστασης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, με στόχο την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση τους.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εστιάζει στην χρήση επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης, μιας εναλλακτικής και καινοτόμου μεθοδολογίας, για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων και των επιμέρους τμημάτων της Ιεράς Μονής Υπεραγίας Θεοτόκου Άτρου και Πρόννων, Κεφαλληνίας. Η Μονή, κτίσμα του 8ου αιώνα, αποτελεί στοιχείο μεγάλης ιστορικής αξίας για τον Ελληνισμό και ο μεσαιωνικός αμυντικός πύργος της συνιστά το σημαντικότερο κομμάτι της, καθώς αποτελεί ένα σπάνιο στοιχείο μοναστηριακής αρχιτεκτονικής. Στο πλαίσιο αυτό, απώτερος στόχος της εργασίας αποτελεί η τρισδιάστατη αναπαράσταση των κτισμάτων της Μονής, καθώς επίσης η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας (3D Model) και η παραγωγή δισδιάστατων σχεδιαστικών υποβάθρων (κατόψεις, όψεις) του μεσαιωνικού πύργου της. Τα παραγόμενα δεδομένα μπορούν να αποβούν εξαιρετικά χρήσιμα για μελλοντική αξιοποίηση τους από την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα (αρχαιολογία, ιστορία, αρχιτεκτονική κ.α.), ως απάντηση στις ανάγκες τεκμηρίωσης του μνημείου αυτού.

Η εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας μου πραγματοποιήθηκε υπό την συνεχή επίβλεψη και καθοδήγηση του Καθηγητή Παγούνη Βασίλειου, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση του θέματος καθώς και στην διάθεση όλων των απαραίτητων οργάνων και λογισμικών για την εκπόνηση της Διπλωματικής. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθεια του κατά την διαδικασία της αποτύπωσης, για τις πολύτιμες συμβουλές του και την υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της Διπλωματικής. Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον πατέρα Νεκτάριο Καβίδα και στον Αρχιμανδρίτη Πατέρα Δανιήλ Ζωγράφο της Ιεράς Μονής Υπεραγίας Θεοτόκου Άτρου για την ελεύθερη πρόσβαση που μου παρείχαν στον χώρο της Μονής. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ την οικογένειά μου για την κατανόηση και υποστήριξή τους.



## ABSTRACT

The dissertation presented was carried out in the context of the completion of the Undergraduate Studies Programme of the Department of "Topography and Geoinformatics Engineering" with a deepening in "Geodesy", of the School of Engineering of the University of Western Attica (PA.D.A). Its aim is to present modern geodesic methods of data collection and processing, for the capture, recording and rendering of the existing status of cultural heritage monuments, with the aim of their integrated geometric documentation.

This dissertation focuses on the use of terrestrial 3D scanning, an alternative and innovative methodology, for the complete geometric documentation of the monuments and individual parts of the Holy Monastery of Atros and Pronon, in Kefalonia Island. The Monastery, an 8th century building, is an element of great historical value for Hellenism and its medieval defensive tower is the most important part of it, as it is a rare element of monastic architecture. In this context, the ultimate goal of the dissertation is the three-dimensional representation of the buildings of the Monastery, as well as the creation of the three-dimensional surface model (3D Model) and the production of two-dimensional design backgrounds (floor plans, faces) of its medieval tower. The data produced can be extremely useful for future exploitation by the wider scientific community (archaeology, history, architecture, etc.), in response to the documentation needs of this monument.

The preparation of my study was carried out under the continuous supervision and guidance of Professor Pagouis Vasilios, whom I would like to thank warmly for the confidence he has shown me in the assignment of the subject as well as in the availability of all the necessary instruments and software for the preparation of dissertation. I would also like to thank him for his valuable help in the process of surveying, as well as for his valuable advice and support throughout the dissertation. In addition, I would like to express my thanks to Father Nektario Kavidas and Archimandrite Father Daniel Zografos of the Holy Monastery of The Virgin Mary of Atros for the free access they have given me to the monastery. Finally, a big thank you to my family for their understanding and support.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> . ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	12
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> . Η ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΥΠΕΡΑΓΙΑΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΑΤΡΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΝΝΩΝ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	14
2.1.1 Η ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ.....	14
2.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	15
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΓΕΝΕΣΙΟΥ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΑΤΡΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΝΝΩΝ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ.....	16
2.3 Ο ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟΣ ΑΜΥΝΤΙΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ ΑΤΡΟΥ .....	21
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> . ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ.....	24
3.1 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ.....	24
3.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ .....	26
εργασιών σε ακίνητα μνημεία, ως εργασίες τεκμηρίωσης μνημείων ορίζονται οι ακόλουθες: .....	27
3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ .....	28
3.3.1 ΤΟΠΟΜΕΤΡΙΚΕΣ / ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ .....	29
3.3.2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	30
3.3.3 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	33
3.3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER .....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> . ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ .....	37
4.1. ΟΙ ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER.....	37
4.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ .	37
4.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ – ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ .....	39
4.3.1 ΣΑΡΩΤΕΣ ΕΠΑΦΗΣ (Contact Scanners) .....	40
4.3.2 ΣΑΡΩΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (Non-contact scanners) .....	41
4.4 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΕΣ ΣΑΡΩΣΗΣ .....	44
4.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	46
4.6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER ΣΤΗΝ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ .....	50
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> . ΕΦΑΡΜΟΓΗ .....	56
5.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	56
5.1.1 ΙΔΡΥΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ .....	56
5.1.2 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΑΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ .....	58

5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	63
Κεφάλαιο 6° . ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	73
6.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ ΤΟΥ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ.....	73
6.1.1 ΑΠΑΛΟΙΦΗ ΘΟΡΥΒΟΥ .....	73
6.1.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ ΚΑΙ ΟΨΗΣ .....	74
6.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΝΟΡΑΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ .....	77
6.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΥΡΓΟΥ .....	78
Κεφάλαιο 7° . ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	90

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Το νησί της Κεφαλλονιάς από αέρος [37] .....	14
Εικόνα 2. Το λιμάνι του Πόρου, όπως φαίνεται από ψηλά [37].....	15
Εικόνα 3. Το λιμάνι του Πόρου το 1930 [38] .....	16
Εικόνα 4. Η τοποθεσία της Ιεράς Μονής Άτρου [37] .....	16
Εικόνα 5. Ο μεσαιωνικός αμυντικός πύργος και η εκκλησία της Μονής .....	17
Εικόνα 6. Άποψη του παλαιού ηγουμενείου της Μονής.....	18
Εικόνα 7. Η εκκλησία της Μονής όπως είναι σήμερα.....	18
Εικόνα 8. Η ανατολική όψη της εκκλησίας .....	19
Εικόνα 9. Η Νότιο – Ανατολική όψη της εκκλησίας .....	19
Εικόνα 10. Ο ξενώνας που ανεγέρθη το 1906 και δεξιά του το κτίριο που αποτελούσε τα κελιά .....	20
Εικόνα 11. Τα απομεινάρια του παλιού ηγουμενείου.....	20
Εικόνα 12. Το νεότερο κτίσμα της μονής που λειτουργεί ως ηγουμενείο και κατοικία καλόγερων [39] .....	21
Εικόνα 13. Ο μεσαιωνικός αμυντικός πύργος : το εξέχον αρχιτεκτονικό μνημείο της Μονής .....	22
Εικόνα 14. Η πόρτα του μεσαιωνικού πύργου .....	22
Εικόνα 15. Το μπαλκόνι του πύργου έξω από την είσοδο του 1 <sup>ου</sup> ορόφου όπως είναι σήμερα .....	23
Εικόνα 16. Η πέτρινη σκάλα που οδηγεί στον 1 <sup>ο</sup> όροφο του πύργου .....	23
Εικόνα 17. Απλά όργανα μετρήσεων : αποστασιόμετρο laser και μετροταινία [41] .....	29
Εικόνα 18. Παράδειγμα σκαριφήματος κατά την εφαρμογή της τοπομετρικής μεθόδου [20] .....	30
Εικόνα 19. Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός (Leica Total Station TS 02 PLUS) .....	31
Εικόνα 20. Ίδρυση σημείων ελέγχου γύρω από μνημεία: (α) με τριγωνομετρικό δίκτυο και (β) με κλειστή περιμετρική όδευση (Τοκμακίδης,2010).....	32
Εικόνα 21. Εφαρμογή τοπογραφικής μεθόδου και χρήση EDM, για απόδοση ψηφιακού μοντέλου εδάφους στην αποτύπωση του Chartley Castle, Stafford [20].....	32
Εικόνα 22. Φωτογραμμετρικά συστήματα μέτρησης συντεταγμένων (Πηγή: ipet.gr) .....	33
Εικόνα 23. Εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου για 3D αποτύπωση με υφή, εσωτερικής πλευράς φρουρίου στο Εθνικό Πάρκο Moors North York , στο Βόρειο Γιorkσάιρ της Αγγλίας [1].....	35
Εικόνα 24. Leica RTC360 3D Laser Scanner [41].....	36
Εικόνα 25. Κατηγοριοποίηση επίγειων σαρωτών laser [22].....	40
Εικόνα 26. Σαρωτής επαφής τύπου γέφυρας [22].....	40
Εικόνα 27. Ενδεικτική απεικόνιση των βασικών τεχνικών, που χρησιμοποιεί η πλειοψηφία των τρισδιάστατων επίγειων σαρωτών [42].....	41

Εικόνα 28. Αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας Time – of – Flight, (Π.Συμεωνίδης 2007) .....	42
Εικόνα 29. Αρχή λειτουργίας Τριγωνισμού (Laser projector: Μονάδα εκπομπής laser, CCD sensor: Δέκτης laser (CCD κάμερα) [22].....	43
Εικόνα 30. Αρχή λειτουργίας μεθόδου τριγωνισμού με μια (αριστερά) και δύο (δεξιά) κάμερες CCD [22] .....	44
Εικόνα 31. Συνένωση μεταξύ Δύο Θέσεων Σάρωσης [27] .....	47
Εικόνα 32. Παραδείγματα τεχνητών στόχων και σφαίρα [41] .....	49
Εικόνα 33. Συνένωση νεφών (registration) χρησιμοποιώντας στόχους (targets) .....	50
Εικόνα 34. (α) Τελικό συνενωμένο νέφος σημείων (β) Point cloud και φωτογραφία (επάνω) για την εφαρμογή του texture map για το τελικό σχέδιο της όψης (κάτω)(γ) Νέφος σημείων πριν (αριστερά) και μετά την εφαρμογή του Mesh (δεξιά). [5] .....	52
Εικόνα 35. Συνενωμένο νέφος σημείων (αριστερά), η Νότια όψη του Ναού από το νέφος σημείων και η απόδοση επιφάνειας mesh (αριστερά) [28] .....	53
Εικόνα 36. Απόδοση υφής στην Νότια όψη με χρήση φωτογραφικών εικόνων (texture mapping) [28] .....	53
Εικόνα 37. Τρισδιάστατο μοντέλου του Πύργου (3d mesh) και διαδικασία αυτόματης εξαγωγής διατομών [29] .....	54
Εικόνα 38. Ανυψωτική πλατφόρμα (αριστερά), θέσεις σαρώσεων και τρισδιάστατο μοντέλο 3d mesh (δεξιά) [30].....	54
Εικόνα 39. Δημιουργία κάτοψης όπως προέκυψε από το νέφος σημείων (αριστερά) και παραγωγή κάθετων τομών (δεξιά) [30] .....	55
Εικόνα 40. Τριγωνομετρικό σημείο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) με κωδικό 003040 «Κακιά Κόψη» .....	56
Εικόνα 41. Ίδρυση κορυφών δικτύου με δορυφορικές παρατηρήσεις .....	57
Εικόνα 42. Ο σαρωτής Leica BLK360 [41].....	58
Εικόνα 43. Στιγμιότυπο από την διαδικασία των σαρώσεων στην στάση "S5" .....	59
Εικόνα 44. Στιγμιότυπο από την διαδικασία των σαρώσεων στην στάση "S30" .....	59
Εικόνα 45. Στιγμιότυπο από την διαδικασία των σαρώσεων στην στάση "S3" .....	60
Εικόνα 46. Σκαρίφημα υλοποιημένων στάσεων του σαρωτή στον περιβάλλοντα χώρο της Μονής.....	61
Εικόνα 47. Ειδικοί αυτοκόλλητοι στόχοι (B&W targets).....	61
Εικόνα 48. Ειδικοί αυτοκόλλητοι στόχοι (B&W targets).....	62
Εικόνα 49. Ειδικοί αυτοκόλλητοι στόχοι (B&W targets).....	62
Εικόνα 50. Στιγμιότυπο από την διαδικασία αυτόματης εύρεσης, ελέγχου και διόρθωσης των θέσεων ειδικών στόχων (Στόχοι 24 και 25).....	64
Εικόνα 51. Στιγμιότυπο από την διαδικασία αυτόματης εύρεσης, ελέγχου και διόρθωσης των θέσεων ειδικών στόχων (Στόχοι 26 και 27).....	64
Εικόνα 52. Στιγμιότυπο κατά την διαδικασία ορισμού των ειδικών στόχων που δεν αναγνωρίστηκαν αυτόματα από το λογισμικό .....	65
Εικόνα 53. Στιγμιότυπο από την διαδικασία συνένωσης (registration) δυο διαδοχικών σαρώσεων .....	66
Εικόνα 54. Ιστογράμμα σφαλμάτων συνένωσης νέφους σημείων με τελικό RMS 0.016m ..	67
Εικόνα 55. Αναλυτική αναφορά των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν και του σφάλματος συνένωσης τελικού νέφους σημείων .....	67
Εικόνα 56. Στιγμιότυπο κατά την διαδικασία της γεωαναφοράς.....	68

Εικόνα 58. Τελικό νέφος σημείων όπως προέκυψε από τις διαδικασίες της συνένωσης και γεωαναφοράς με μετρητική πληροφορία στο ΕΓΣΑ'87.....	69
Εικόνα 57. Αναφορά σφάλματος (RMS) για την γεωαναφοράς του νέφους .....	69
Εικόνα 59. Αποσπάσματα του νέφους σημείων όπου εμφανίζεται η έλλειψη μετρητικής πληροφορίας στις στέγες των κτισμάτων .....	70
Εικόνα 60. Τελικό νέφος σημείων σε ΕΓΣΑ'87, μετρητική πληροφορία και χρώματα RGB ...	70
Εικόνα 61. Ανατολική άποψη του νέφους, το παλαιό ηγουμενείο της Μονής.....	71
Εικόνα 62. Άποψη τμήματος του νέφους, τα απομεινάρια των παλαιών κελιών της μονής	71
Εικόνα 63. Άποψη τμήματος του νέφους, ο Μεσαιωνικός πύργος της μονής.....	72
Εικόνα 64. Άποψη τμήματος του νέφους, η εκκλησία της μονής .....	72
Εικόνα 65. Στιγμιότυπα κατά την διαδικασία απαλοιφής θορύβου από τον μεσαιωνικό πύργο.....	74
Εικόνα 66. Στιγμιότυπα κατά την διαδικασία ψηφιοποίησης κάτοψης και όψης του πύργου από το νέφος σημείων στο περιβάλλον του CloudWorx.....	74
Εικόνα 67. Πρώτο στάδιο μοντελοποίησης : Δημιουργία αρχικού τριγωνικού πλέγματος του πύργου .....	79
Εικόνα 68. Πρώτο στάδιο μοντελοποίησης : Δημιουργία αρχικής επιφάνειας του πύργου .	79
Εικόνα 69. Προβλήματα ασυνεχειών πλέγματος, ανεστραμμένων τριγώνων και μοντελοποίησης θορύβου .....	80
Εικόνα 70. Δημιουργία τριγωνικού πλέγματος του πύργου με προσθήκη λεπτομερειών από το νέφος σημείων.....	81
Εικόνα 71. Λεπτομέρειες που απεικονίζονται στο τελικό τριγωνικό πλέγμα του πύργου ....	82
Εικόνα 72. Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο του μεσαιωνικού πύργου .....	83



## Κεφάλαιο 1ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πολιτιστική μας κληρονομιά είναι το κληροδότημα που δεχτήκαμε από το παρελθόν και συνδέει το σήμερα με τις παλαιότερες ιστορικές περιόδους ενός έθνους. Όσα δείγματα της καταφέρνουν να διασωθούν αποτελούν αδιαμφισβήτητες μαρτυρίες των κατασκευαστικών μεθόδων, των χωρικών επιλογών, της αντίληψης και γενικά της ταυτότητας του εκάστοτε πολιτισμού[8].

Η Χάρτα της Βενετίας του 1964 αναφέρει ότι τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς δεν αφορούν μόνο σε μεμονωμένα αρχιτεκτονικά έργα ιστορικής αξίας αλλά και στην αστική ή αγροτική τοποθεσία που μαρτυρεί έναν ιδιαίτερο πολιτισμό, μια ενδεικτική εξέλιξη ή ένα ιστορικό γεγονός [Χάρτης της Βενετίας, Άρθρο 1, 1964].

Σήμερα, περισσότερο από ποτέ, προκύπτει αναμφισβήτητα η ανάγκη διατήρησης, προβολής και αξιοποίησης των εθνικών αυτών στοιχείων και αποτελεί υπόθεση της πολιτείας αλλά και όλων των πολιτών ενός κράτους. Για την διατήρηση και την διάσωση των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, καθίσταται αναγκαία η ύπαρξη διεπιστημονικών μελετών, που αφορούν την έρευνα, καταγραφή και τεκμηρίωση, την ανάδειξη και συντήρηση, καθώς και την προβολή και ένταξη τους στην σύγχρονη κοινωνική ζωή.

Για κάθε μελέτη που σχετίζεται με την πολιτιστική κληρονομιά (μνημείου ή αρχαιολογικού χώρου) απαιτεί την ύπαρξη ενός λεπτομερούς γεωμετρικού υπόβαθρου σε κατάλληλη μορφή και κλίμακα. Η διαδικασία γεωμετρικής τεκμηρίωσης, δηλαδή του σχήματος, του μεγέθους και της θέσης ενός μνημείου στο χώρο σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, αποτελεί το κυριότερο στάδιο σε μια μελέτη για την αξιοποίηση, συντήρηση, ανακατασκευής και αποκατάστασης του [5].

Οι ιδιάζουσες συνθήκες που συχνά επικρατούν σε αρχαιολογικούς χώρους, όπως οι απότομες διακυμάνσεις του ανάγλυφου, η ιδιαίτερη αρχιτεκτονική, η πολύπλοκη μορφολογία και οι φθαρμένες επιφάνειες ενός μνημείου καθιστούν την καταγραφή και αποτύπωσή του μια δύσκολη, με χρονικούς και οικονομικούς περιορισμούς διαδικασία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται οι τρέχουσες τεχνολογικές μέθοδοι και τεχνικές, για την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων κατά την αποτύπωση μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η εργασία εστιάζει στην χρήση επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης laser, μιας εναλλακτικής και καινοτόμου μεθοδολογίας, για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων και των επιμέρους τμημάτων της Ιεράς Μονής Υπεραγίας Θεοτόκου Άτρου και Πρόννων, Κεφαλληνίας. Η Μονή, κτίσμα του 8ου αιώνα, είναι το αρχαιότερο μοναστήρι της Κεφαλλονιάς και αποτελεί σημαντικό μνημείο για ολόκληρο το νησί και τον Ελληνισμό. Ο εντυπωσιακός Μεσαιωνικός αμυντικός πύργος της αποτελεί πηγή μεγάλου ιστορικού και αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος. Δυστυχώς, η απομακρυσμένη και απρόσιτη τοποθεσία της Μονής, καθιστά την προσέγγιση της από το ευρύ κοινό εξαιρετικά δύσκολη, με μοναδικό τρόπο πρόσβασης έναν δύσβατο χωματόδρομο περίπου πέντε (5) χιλιομέτρων, στην πλαγιά του όρους Άτρου.



Στο πλαίσιο αυτό, στόχος της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η τρισδιάστατη αναπαράσταση των κτισμάτων της Μονής, καθώς επίσης η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας (3D Model) και η παραγωγή δισδιάστατων σχεδιαστικών υποβάθρων (κατόψεων) του μεσαιωνικού πύργου της. Τα παραγόμενα δεδομένα μπορούν να αποβούν εξαιρετικά χρήσιμα, για μελλοντική αξιοποίηση τους από την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα (αρχαιολογία, ιστορία, αρχιτεκτονική και άλλα), με σκοπό την προβολή, προστασία και συντήρηση του μνημείου αυτού. Η δομή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελείται από επτά (7) κεφάλαια:

Στο Κεφάλαιο 2, παραθέτονται πληροφορίες για την ευρύτερη περιοχή του Πόρου Κεφαλληνίας, παρουσιάζονται στοιχεία της ιστορικής εξέλιξης, ανοικοδόμησης και αρχιτεκτονικής της Ιεράς Μονής Άτρου και του μεσαιωνικού αμυντικού πύργου της, ώστε να καταγραφεί η σύνδεση του ως μνημείο με την τοπική ιστορία.

Στο Κεφάλαιο 3, γίνεται εισαγωγή στην έννοια και την επιτακτική ανάγκη της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων. Παρουσιάζονται οι μέθοδοι και τεχνικές αποτύπωσης μνημείων με παραδείγματα από συναφή βιβλιογραφία και μελέτες, όπου επισημαίνονται τα πλεονεκτήματα της κάθε μεθόδου. Τέλος, γίνεται μια πρώτη αναφορά στην μέθοδο της επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης.

Στο Κεφάλαιο 4, αναλύεται η μέθοδος αποτύπωσης που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εφαρμογή, με χρήση επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή (3d laser scanner). Παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών και οι παράγοντες που καθορίζουν την ακρίβεια αποτύπωσης και των παραγόμενων προϊόντων. Παράλληλα, αναφέρονται παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης στην τεκμηρίωση μνημείων.

Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία συλλογής των δεδομένων αποτύπωσης, περιγράφονται οι διεργασίες που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των παραγόμενων νεφών σημείων καθώς και η δημιουργία της τελικής τρισδιάστατης αναπαράστασης της Ιεράς Μονής.

Στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται τα παράγωγα δισδιάστατα (2D) σχέδια κατόψεων και όψεων που παράχθηκαν από το τελικό τρισδιάστατο νέφος σημείων καθώς επίσης και η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας του μεσαιωνικού πύργου.

Στο Κεφάλαιο 7, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής, συγκεντρώνονται συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την ολοκλήρωση της και παραθέτονται ιδέες για περαιτέρω αξιοποίηση της από την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα.

## Κεφάλαιο 2ο. Η ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΥΠΕΡΑΓΙΑΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΑΤΡΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΝΝΩΝ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ

### 2.1.1 Η ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Η Ιερά Μονή Υπεραγίας Θεοτόκου Άτρου και Πρόννων βρίσκεται στο νοτιοανατολικό μέρος του νησιού της Κεφαλονιάς, στην περιοχή «Πρόννων». Είναι χτισμένη στην ομώνυμη βουνοκορφή Άτρου, σε απόσταση περίπου πέντε (5) χιλιομέτρων από το λιμάνι του Πόρου.



Εικόνα 1. Το νησί της Κεφαλονιάς από αέρος [37]

Ο Πόρος βρίσκεται στην νοτιοανατολική πλευρά του νησιού και είναι το μεγαλύτερο δημοτικό διαμέρισμα του Δήμου Ελειού - Πρόννων. Πρόκειται για μία παραθαλάσσια κωμόπολη με 1500 κατοίκους, η οποία περιβάλλεται από τα βουνά Άτρου και Πάχνη και απέχει 45 χιλιόμετρα από το Αργοστόλι, την πρωτεύουσα του νησιού. Το λιμάνι του Πόρου αποτελεί σημαντικό συγκοινωνιακό κόμβο της Κεφαλονιάς με την υπόλοιπη χώρα, καθώς έχει καθημερινή σύνδεση με την Κυλλήνη της Πελοποννήσου.



Εικόνα 2. Το λιμάνι του Πόρου, όπως φαίνεται από ψηλά [37]

## 2.1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Το νησί της Κεφαλονιάς κατοικήθηκε την 10η χιλιετία π.χ. και αποτελούνταν από τέσσερις (4) αυτόνομες δημοκρατίες, την Σάμη, την Κράνη, την Πάλλη και τους Πρόννους. Με βάση τον ιστοριογράφο Πολύβιο, ο Πόρος την αρχαία εποχή ήταν το λιμάνι της πόλης των Πρόννων, η οποία βρισκόταν στον λόφο πάνω από το τωρινό χωριό Πάστρα.

Πρόσφατα ανακαλύφθηκαν απομεινάρια της αρχαίας πόλης καθώς και ένας θολωτός τάφος της Μυκηναϊκής περιόδου στο χωριό Τζανάτα, το οποίο απέχει 2 χιλιόμετρα από τον Πόρο,, γεγονός που αποδεικνύει ότι η περιοχή ήταν κατοικημένη πολύ πριν τα προϊστορικά χρόνια. Μέσα στον Μυκηναϊκό τάφο βρέθηκαν ταφές οι οποίες χρονολογούνται από το 1.400 μέχρι το 1.000 π.Χ. Ο τάφος αυτός σηματοδοτεί την ύπαρξη ενός ισχυρού Μυκηναϊκού κέντρου στην περιοχή, πιθανόν της Ομηρικής Ιθάκης [4].

Ο Πόρος γνώρισε πολλούς κατακτητές (Ρωμαίους, Φράγκους, Ενετούς, Ιταλούς, Γάλλους, Ρώσους, Άγγλους) ως το 1864, όπου το νησί της Κεφαλονιάς, όπως και τα υπόλοιπα Επτάνησα, ενώθηκε με την υπόλοιπη Ελλάδα. Μέχρι και το 1953 ο Πόρος παραμένει μια ερημωμένη παραθαλάσσια περιοχή του νησιού όπου τα γύρω χωριά χρησιμοποιούσαν για καλλιέργειες. Μετά τους καταστροφικούς σεισμούς του 1953, με πρωτοβουλία του τότε βουλευτή Κεφαλληνίας Μεταξά η περιοχή ρυμοτομείται και διανέμονται οικοπέδα στους κατοίκους των γύρω κατεστραμμένων χωριών για να κτίσουν τα καινούργια αντισεισμικά σπίτια. Έτσι προήρθε ο σημερινός Πόρος. Το 1979 κατασκευάστηκε το λιμάνι του Πόρου το οποίο συνδέει ακτοπλοϊκά τον Πόρο με το λιμάνι Κυλλήνης του Νομού Ηλείας και αποτελεί μέχρι και σήμερα μια από τις κυριότερες εισόδους στο νησί [3,4].



Εικόνα 3. Το λιμάνι του Πόρου το 1930 [38]

## 2. 2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΓΕΝΕΣΙΟΥ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΑΤΡΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΝΝΩΝ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ

Η Μονή Υπεραγίας Θεοτόκου Άτρου και Πρόννων είναι το αρχαιότερο μοναστήρι της Κεφαλλονιάς και αποτελεί σημαντικό μνημείο για ολόκληρο το νησί και τον Ελληνισμό. Είναι αφιερωμένη στην Γέννηση της Θεοτόκου και εορτάζει στις 8 Σεπτεμβρίου. Η μονή είναι χτισμένη σε υψόμετρο 530 μέτρων και βρίσκεται στο νοτιοανατολικό μέρος του νησιού σε απόσταση πέντε (5) χιλιομέτρων από το λιμάνι του Πόρου, στην περιοχή “Πρόννων” που όπως αναφέρει ο Θουκυδίδης ήταν μία από τις τέσσερις (4) πόλεις κράτη της Κεφαλλονιάς. Η θέση στην οποία είναι χτισμένο το μοναστήρι είναι καταπληκτική και η θέα στο Ιόνιο μαγευτική.

Η ιστορία της μονής ξεκινά πριν από τον 13ο αιώνα χωρίς να γνωρίζουμε με ακρίβεια πότε καθώς οι παλαιότερες πληροφορίες για τη μονή ανευρίσκονται σε ένα πρακτικό της Λατινικής Επιτροπής Κεφαλληνίας που χρονολογείται από το 1264. Κατά περιόδους η μονή είχε ανδρικό ή γυναικείο πληθυσμό. Κατά το 1500 στην περίοδο της σύντομης Οθωμανικής κατοχής της Κεφαλλονιάς η μονή είχε περιέλθει στα χέρια ισχυρών οικογενειών και εκείνη την περίοδο αποκτά τον μεσαιωνικό αμυντικό πύργο του συγκροτήματος ο οποίος αποτελεί το εξέχον αρχιτεκτονικό μνημείο της. Από το 1600 η Μονή της Άτρου και Πρόννων είναι αποκλειστικά ανδρικό μοναστήρι [33].



Εικόνα 4. Η τοποθεσία της Ιεράς Μονής Άτρου [37]





Εικόνα 5. Ο μεσαιωνικός αμυντικός πύργος και η εκκλησία της Μονής

Το νησί της Κεφαλλονιάς και κυρίως το λιμάνι του Πόρου ήταν επί αιώνες στόχος πειρατών. Η θέση του μοναστηριού ήταν τέτοια ώστε να λειτουργεί σαν ένα αποτελεσματικό παρατηρητήριο για τυχόν επιδρομές πειρατών. Σύμφωνα με την παράδοση, ο μεσαιωνικός πύργος της μονής χτίστηκε πάνω σε αρχαία ανθρώπινα οστά τα οποία βρέθηκαν αργότερα στα θεμέλια του. Αποτελούσε ένα σημαντικό μέσο αμύνης για τους καλόγερους οι οποίοι (σύμφωνα με την ίδια παράδοση) σε κάποια επιδρομή πειρατών οχυρώθηκαν στον πύργο και κατάφεραν να την αντιμετωπίσουν με επιτυχία. Η αναφορά αυτή υποδεικνύει ισχυρή κατασκευή. Όταν εξέλειψε ο κίνδυνος των επιδρομών, το 1894, επί ηγουμενίας Κλήμη Φωκά ο πύργος συντηρήθηκε, ανακαινίστηκε και μετατράπηκε σε ξενώνα [33].

Ένα από τα σημαντικότερα ευρήματα του μοναστηριού είναι τα ιστορικά έγγραφα που χρονολογούνται από το 1600 και περιλαμβάνουν τα ονόματα των πρώτων ανδρών που επάνδρωσαν το μοναστήρι στις αρχές του 17ου αιώνα. Έχουν επίσης διασωθεί σημαντικά έγγραφα του 1763 που καταγράφουν στοιχεία για τα κτήματα, τις οικονομικές δραστηριότητες της μονής καθώς και τα άτομα που συνδέθηκαν με την πορεία της μονής στον χρόνο. Με βάση αυτά τα ιστορικά έγγραφα φαίνεται ότι το μοναστήρι έφτασε στον κολοφώνα της οικονομικής του ευημερίας την περίοδο 1767-1768 επί ηγουμενίας του Αντζουλέτου Δεγαλέτου. Επίσης, μέσα από τα έγγραφα αποκαλύπτονται οι χαλεποί καιροί λόγω μη ικανών ηγουμενιών που διέτρεξαν το μοναστήρι από το 1848 έως το 1873. Η δυσάρεστη αυτή περίοδος για τη μονή έλαβε τέλος με την ανάληψη της ηγουμενίας από τον Γαβριήλ Κοκόση το 1873 [33].



Εικόνα 6. Άποψη του παλαιού ηγουμενείου της Μονής

Γενικά, το συγκεκριμένο μοναστήρι έχει θεωρηθεί ότι αντικατοπτρίζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τη μεσαιωνική ζωή της Κεφαλλονιάς. Εκτός από το μεσαιωνικό πύργο που αναφέρθηκε παραπάνω στο βόρειο μέρος του συγκροτήματος βρίσκεται η εκκλησία της μονής στο σημείο όπου σύμφωνα με την παράδοση βρέθηκε η πηγή με το εικόνισμα της Παναγίας. Με τους μεγάλους καταστροφικούς σεισμούς του 1953 η εκκλησία της μονής υπέστη σοβαρές ζημιές οι οποίες επισκευάστηκαν επί ηγουμενίας Δαμασκηνού Διαμαντάτου. Η εκκλησία είναι μικρή σε μέγεθος, μονόχωρη ρυθμού βασιλικής και ήταν πάντα απλή στο εσωτερικό της χωρίς τέμπλο, πολλές εικόνες, τοιχογραφίες ή αγιογραφίες. [33]



Εικόνα 7. Η εκκλησία της Μονής όπως είναι σήμερα





Εικόνα 8. Η ανατολική όψη της εκκλησίας



Εικόνα 9. Η Νότιο – Ανατολική όψη της εκκλησίας

Επίσης σημαντικό κτίσμα του συγκροτήματος του μοναστηριού ήταν το ηγουμενείο που ευρίσκεται ανατολικότερα της εκκλησίας και το οποίο δεν υφίσταται πια καθώς καταστράφηκε ολοσχερώς από τους σεισμούς του 1953. Στη νότια πλευρά της μονής, δίπλα στον πύργο, οικοδομήθηκε το 1906 επί ηγουμενίας Κλήμη Φωκά ο ξενώνας. Σημαντικό επίσης τμήμα του μοναστηριού είναι τα κελιά του που είναι κτισμένα στην δυτική πλευρά του, δεξιότερα του ξενώνα. Επρόκειτο για ένα μακρόστενο κτήριο που αποτελείτο από περίπου δέκα κελιά το ένα δίπλα στο άλλο [33].



Εικόνα 10. Ο ξενώνας που ανεγέρθη το 1906 και δεξιά του το κτίριο που αποτελούσε τα κελιά



Εικόνα 11. Τα απομεινάρια του παλιού ηγουμενείου

Μετά τους σεισμούς του 1953 και επί ηγουμενίας Δαμασκηνού Διαμαντάτου ανεγέρθη το νεότερο κτίσμα της μονής το οποίο περιλάμβανε το ηγουμενείο και τις κατοικίες των μοναχών. Το κτίσμα υπέστη σοβαρές ζημιές από την πυρκαγιά του 1994 κατά την οποία δυστυχώς πολλά ιστορικά έγγραφα που είχαν περιγραφές με τα περιουσιακά στοιχεία της μονής από το 1591 και μετά καταστράφηκαν. Πλέον έχει ανακαινιστεί και επαναλειτουργεί



ως ηγουμενείο και κατοικία καλογέρων. Σήμερα, υπάρχουν δύο Ιερομόναχοι στην μονή Άτρου, ο Ηγούμενος Αρχιμανδρίτης Δανιήλ Ζωγράφος και ο Αρχιμανδρίτης Νεκτάριος Καβίδας [33].



Εικόνα 12. Το νεότερο κτίσμα της μονής που λειτουργεί ως ηγουμενείο και κατοικία καλογέρων [39]

### 2.3 Ο ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟΣ ΑΜΥΝΤΙΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ ΑΤΡΟΥ

Με βάση όσων προαναφέρθηκαν, γίνεται κατανοητό ότι ο μεσαιωνικός αμυντικός πύργος της Μονής συνιστά το σημαντικότερο κομμάτι της, καθώς αποτελεί ένα σπάνιο στοιχείο μοναστηριακής αρχιτεκτονικής. Πρόκειται για μία ισχυρή κατασκευή που χτίστηκε τον μεσαίωνα για αμυντικούς λόγους κατά των επιδρομών από πειρατές, με τρόπο τέτοιο ώστε να μην μπορεί κανείς να το παραβιάσει και να εισχωρήσει στο εσωτερικό του.

Ο πύργος είναι ένα ψηλό και ογκώδες τετραγωνικό κτίσμα, του οποίου η στέγη είναι δίριχτη και θολωτή από μέσα. Πριν την αναπαλαίωση του πύργου, που έγινε το 1894, η στέγη του πύργου ήταν σκεπασμένη με πλάκες κανονικού σχήματος και στην οροφή μικρές τρύπες μέσα από τις οποίες οι μοναχοί παρατηρούσαν το πέλαγος και την γύρω περιοχή. Επίσης, τα παράθυρα του ήταν αρκετά μικρά και σε μεγάλο ύψος από το έδαφος, με αποτέλεσμα να μοιάζουν με πολεμίστρες. Στην συνέχεια, τα παράθυρα αυτά κλείστηκαν και ανοίχτηκαν άλλα μεγαλύτερα. Οι τοίχοι του πύργου ήταν πολύ ισχυροί καθώς το πάχος τους φτάνει τα 80 εκατοστά [33].



Εικόνα 13. Ο μεσαιωνικός αμυντικός πύργος : το εξέχον αρχιτεκτονικό μνημείο της Μονής

Ο μεσαιωνικός πύργος χωριζόταν σε τρία πατώματα. Το ισόγειο και ο πρώτος, μεσαίος, όροφος χρησιμοποιούνταν ως κελάρια και αποθηκευτικοί χώροι. Ο δεύτερος όροφος, μέχρι και τους καταστροφικούς σεισμούς του 1953, χρησίμευε ως ξενώνας. Η πρόσβαση στο εσωτερικό του πύργου γινόταν από την πόρτα που βρίσκεται στην δυτική πλευρά του και σε ύψος 7 έως 8 μέτρων από το έδαφος. Παλαιότερα για να φτάσει κάποιος στην πόρτα έπρεπε να ανέβει μια σχοινένια σκάλα που κρεμότανε μπροστά της. Το τελευταίο σκαλοπάτι της ενωνόταν με ένα μπαλκόνι, μπροστά από την πόρτα, με μια κινητή γέφυρα. Αυτή η γέφυρα ήταν στερεωμένη στο μπαλκόνι και ανεβοκατέβαινε με την βοήθεια μεντεσέδων. Στην πορεία, η σχοινένια σκάλα και γέφυρα αντικαταστάθηκαν και χτίστηκε εξωτερικά μια μεγάλη πέτρινη σκάλα που ακουμπά στον τοίχο του πύργου και είναι ενσωματωμένη σε αυτήν το καμπαναριό. [33]



Εικόνα 14. Η πόρτα του μεσαιωνικού πύργου



Εικόνα 15. Το μαλακόνι του πύργου έξω από την είσοδο του 1<sup>ου</sup> ορόφου όπως είναι σήμερα



Εικόνα 16. Η πέτρινη σκάλα που οδηγεί στον 1<sup>ο</sup> όροφο του πύργου



## Κεφάλαιο 3ο. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

### 3.1 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

Η πολιτιστική κληρονομιά και τα μνημεία, αποτελούν τα θεμέλια της ταυτότητας του κάθε πολιτισμού, καθώς είναι ενδεικτικά στοιχεία της εξέλιξης, της πορείας και της ιστορίας τους μέσα στον χρόνο. Για τον λόγο αυτόν, η συμβολή για την φροντίδα, την προστασία και την διατήρηση τους, αποτελεί καθήκον όχι μόνο της κοινότητας αλλά και του συνόλου των πολιτών.

Όπως διευκρινίζεται από το άρθρο 2, της Χάρτας της Βενετίας (1964), *«η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο ο οποίος πρέπει να αποτίνεται στη συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της πολιτιστικής κληρονομιάς»*. Στο πλαίσιο αυτό τονίζεται ότι, σε κάθε προσπάθεια τεκμηρίωσης μνημείων που έχει στόχο την προστασία και διατήρηση τους, είναι αναγκαία η ύπαρξη διεπιστημονικών μελετών, στις οποίες πρέπει να συνεισφέρουν και να συνεργάζονται επιστήμονες διαφορετικών ειδικοτήτων (όπως αρχαιολόγοι, αρχιτέκτονες, πολιτικοί μηχανικοί, τοπογράφοι, συντηρητές κ.α.). Η ίδρυση και η λειτουργία διεθνών οργανισμών που έχουν στόχο την προστασία των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, υπογραμμίζουν και δικαιολογούν την επιτακτική ανάγκη ύπαρξης τέτοιων διεπιστημονικών μελετών.

Ειδικότερα, μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας και δημιουργούνται οι πρώτες διεθνείς συμβάσεις για τον καθορισμό ενός νομικού πλαισίου, μέσω του οποίου θα επιτυγχάνεται αποτελεσματικά η προστασία και η διατήρηση της. Έτσι, εδώ και πολλές δεκαετίες, διεθνείς συμβάσεις θεσμοθετούν την προστασία των πολιτιστικών αγαθών και αναφέρουν την ανάγκη γεωμετρικής τεκμηρίωσης των μνημείων με σκοπό την αποτελεσματικότερη και ευκολότερη μελέτη, προστασία και συντήρησή τους. *«Οι εργασίες συντηρήσεως, αποκαταστάσεως και ανασκαφής θα πρέπει να βασίζονται σε εξακριβωμένη τεκμηρίωση, δηλαδή σε αναλυτικές και κριτικές εκθέσεις, εικονογραφημένες με σχέδια και φωτογραφίες.»* (Χάρτα της Βενετίας 1964, άρθρο 16).

Οι σημαντικότερες συμβάσεις και διακηρύξεις για την προστασία της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς:

- ❖ Διεθνής Σύμβαση της Χάγης (14.5.1954) για την προστασία των πολιτιστικών αγαθών σε περίπτωση ένοπλης σύρραξης (κατοχυρώθηκε στην Ελλάδα το 1981).
- ❖ Χάρτης της Βενετίας (1964).
- ❖ Ευρωπαϊκή Σύμβαση του Λονδίνου (6.5.1969) για την προστασία της αρχαιολογικής κληρονομιάς.

- ❖ Σύμβαση του Παρισιού της (23.11.1972) για την προστασία της παγκόσμιας πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς.
- ❖ Ευρωπαϊκή Σύμβαση της Γρενάδας (3.10.1985) για την προστασία αρχιτεκτονικής κληρονομιάς της Ευρώπης.

Παράλληλα με την δημιουργία συμβάσεων, πλήθος διεθνών οργανισμών (κυβερνητικών και μη) ιδρύονται και δραστηριοποιούνται με σκοπό την διάσωση και την ανάδειξη των πολιτιστικών αγαθών. Ο Εκπαιδευτικός, Επιστημονικός και Πολιτιστικός Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών (*UNESCO - United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization*) και το Ευρωπαϊκό Δίκτυο (*HEREIN*), που έχει δημιουργηθεί από το Συμβούλιο της Ευρώπης και την Ευρωπαϊκή Ένωση, αποτελούν τους κυρίαρχους οργανισμούς που δρουν σε Ευρωπαϊκό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο. Μερικοί από τους σημαντικότερους μη κυβερνητικούς οργανισμούς που συνεργάζονται με την UNESCO σε μελέτες για την πολιτιστική κληρονομία είναι (*Μπουτσιούκη Σ., 2015*) :

- ❖ Το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοπίων (*International Council of Monuments and Sites - ICOMOS*)
- ❖ Διεθνές Συμβούλιο Μουσείων (ICOM) (*International Council of Museums*)
- ❖ Οργανισμός Πόλεων της Παγκόσμιας Κληρονομιάς (OWHC) (*Organization of World Heritage Cities*)
- ❖ Διεθνές Κέντρο για τη μελέτη της συντήρησης και της αποκατάστασης των πολιτιστικών αγαθών (ICCROM) (*International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property*)
- ❖ Διεθνής Επιτροπή της “Μπλε Ασπίδας” (ICBS) (*International Committee of the Blue Shield*)

Στην Ελλάδα, η νομική κατοχύρωση για τις διάφορες κατηγορίες της πολιτιστικών αγαθών της ελληνικής επικράτειας αποτυπώνεται στα εξής [36] :

- ❖ Σύνταγμα του 1975/86 άρθρο 24 για την προστασία του πολιτιστικού περιβάλλοντος.
- ❖ Νόμος 3028/2002 για την προστασία των αρχαιοτήτων και εν γένει της πολιτιστικής κληρονομιάς.
- ❖ Νόμος 1469/1950 για την προστασία ειδικής κατηγορίας οικοδομημάτων και έργων τέχνης μετά το 1830.
- ❖ Νόμος 1946/1991 περί γενικών αρχείων του κράτους .
- ❖ Νόμος 1103/1980 με τον οποίο η Ελλάδα κύρωσε την Σύμβαση της UNESCO του 1970.
- ❖ Νόμος 1126/1981 με τον οποίο η Ελλάδα κύρωσε τη Σύμβαση του Παρισιού του 1972.
- ❖ Νόμος 1127/1981 με τον οποίο η Ελλάδα κύρωσε την Ευρωπαϊκή Σύμβαση για την προστασία της αρχαιολογικής κληρονομιάς του 1969
- ❖ Νόμος 2039/1992 ο οποίος κύρωσε την Ευρωπαϊκή Σύμβαση της Γρενάδας για την προστασία αρχιτεκτονικής κληρονομιάς του 1985.

### 3.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Στην Ελλάδα, η προστασία των αρχαιοτήτων και του πολιτιστικού περιβάλλοντος, είναι κατοχυρωμένη συνταγματικά, με το Σύνταγμα του 1975, το οποίο καθιστά υποχρέωση του κράτους την προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος κατά το άρθρο 24, παρ. 1 : «*Η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξή του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας.*» [31]. Το άρθρο αυτό επιτάσσει τη λήψη όλων των αναγκαίων ειδικών μέτρων για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς [32].

Με τον όρο *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείου* ορίζεται η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας, απόδοσης και καταχώρισης στοιχείων για τον προσδιορισμό της θέσης και της πραγματικής μορφής, του σχήματος και του μεγέθους, ενός μνημείου στον τρισδιάστατο χώρο, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή [13].

Στόχος της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης, είναι η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης και η παραγωγή σχεδίων που θα αποτελέσουν το υπόβαθρο μελετητών προσφέροντας σε αυτούς χρόνο και αξιοπιστία. Η γεωμετρική τεκμηρίωση είναι μια από τις αρχικές διαδικασίες καταγραφής της υπάρχουσας κατάστασης των μνημείων [14]. Δίνεται έτσι η δυνατότητα αξιοποίησης του παραγόμενου λεπτομερούς γεωμετρικού υποβάθρου και περεταίρω επεξεργασίας του, από ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών ειδικοτήτων, (στατικούς, αρχιτέκτονες, αρχαιολόγους, ιστορικούς) για σκοπούς αρχειοθέτησης και προβολής των μνημείων, καθώς και για μελέτες προστασίας που θα καταγράψουν τα αναγκαία μέτρα για την αποτελεσματική συντήρησή τους .

Ανάλογα με την έκταση, την επιδιωκόμενη μετρική αξιοπιστία και θεματική πληρότητα των τελικών προϊόντων και τους στόχους της αποτύπωσης, διακρίνονται οι ακόλουθες γενικές κατηγορίες αποτυπώσεων [14]:

- ❖ Αναγνωριστικές αποτυπώσεις: στόχος τους είναι η απόκτηση μιας γενικής εικόνας της κατανομής των μνημείων στο χώρο με σκοπό μια πρώτη τεκμηρίωση της πραγματικής μορφής κάθε μνημείου. Οι μέθοδοι αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται είναι η φωτοερμηνεία, οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και οι αποτυπώσεις ή εντάξεις σημαντικών στοιχείων του χώρου σε υπάρχοντα τοπογραφικά διαγράμματα, με απλές και γρήγορες τοπογραφικές μεθόδους.
- ❖ Αποτυπώσεις τεκμηρίωσης: Ως τεκμηρίωση ορίζεται η πλήρης και λεπτομερής καταγραφή ενός μνημείου, με σκοπό σε πιθανή καταστροφή του να είναι δυνατή η εκ νέου δημιουργία του στην αρχική του μορφή. Στόχος των συγκεκριμένων αποτυπώσεων είναι η καταγραφή της πραγματικής μορφής ενός μεμονωμένου μνημείου καθώς και της κατανομής του μνημείου στο χώρο, τη δεδομένη χρονική στιγμή. Τα διαγράμματα στην πρώτη περίπτωση δημιουργούνται για κλίμακα

ακρίβειας 1:100 - 1:50 ενώ στη δεύτερη περίπτωση 1:1000 - 1:200. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι επίγειες τοπογραφικές ή οι φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις καθώς και ο συνδυασμός τους, ανάλογα με το αντικείμενο και το σκοπό της αποτύπωσης.

- ❖ Ειδικές αποτυπώσεις υψηλής ακρίβειας: Οι συγκεκριμένες αποτυπώσεις πραγματοποιούνται με ακρίβεια κλίμακας 1:20 – 1:5 και χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και την παρακολούθηση μικρομετακινήσεων των μνημείων καθώς και όταν πρόκειται να γίνει αποσυναρμολόγηση ενός μέρους του μνημείου και στη συνέχεια επανασυναρμολόγησή του. Οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι είτε οι τοπογραφικές, (π.χ. εκτέλεση μικροτριγωνισμού για την ανίχνευση μικρομεταβολών), είτε φωτογραμμετρικές, ανάλογα με τη φύση του αντικειμένου αποτύπωσης.

Συνήθως, οι προδιαγραφές της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μιας κατασκευής καθορίζονται από τον παραγγέλοντα την εργασία ή προτείνονται από αυτόν που θα την εκτελέσει και εξαρτώνται από παράγοντες, όπως ο σκοπός της χρήσης των προϊόντων της τεκμηρίωσης, ποιοι και πόσοι θα είναι οι χρήστες των προϊόντων της τεκμηρίωσης, το κόστος του έργου και το μέγεθος της κατασκευής. 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 [16].

Με βάση το *ΦΕΚ 2837/Β/5-7-2019, άρθρο 5*, για την εκπόνηση μελετών και την εκτέλεση

εργασιών σε ακίνητα μνημεία, ως εργασίες τεκμηρίωσης μνημείων ορίζονται οι ακόλουθες:

«α. Εργασίες προσέγγισης και αποκάλυψης αφανών περιοχών του μνημείου ή του χώρου που πρέπει να υλοποιηθούν, στο πλαίσιο των υπολοίπων ερευνών και εργασιών του προγράμματος του έργου (αποψιλώσεις, καθαρισμοί, αποχρωματώσεις, ανασκαφές, διευθετήσεις, καθαιρέσεις κονιαμάτων κ.λπ.). Σε αυτές περιλαμβάνεται η έρευνα για τον εντοπισμό πιθανών λειψάνων προγενέστερων οικοδομικών φάσεων, κτισμάτων ή επεμβάσεων, όπως δαπέδων, θόλων, μεταλλικών στοιχείων, διακόσμου, κονιαμάτων κ.λπ. με σκοπό την τεκμηρίωση αυτών.

β. Αρχαιολογική ιστορική τεκμηρίωση του μνημείου ή του χώρου, η οποία συνίσταται στη συνοπτική παρουσίαση της σχετικής βιβλιογραφίας και στα πορίσματα τυχόν ανασκαφικών εργασιών. Στο στάδιο αυτό της μελέτης συλλέγονται τεκμήρια της μορφής και της ιστορίας του μνημείου ή του χώρου διαχρονικά, όπως παλαιές φωτογραφίες, ζωγραφικές απεικονίσεις, αποτυπώσεις και αναφορές σε προηγούμενες επεμβάσεις, καθώς και των πιθανών αιτίων βλαβών ή καταστροφών (ιδίως πυρκαγιές, σεισμοί, πολεμικές επιχειρήσεις, βανδαλισμοί).

γ. Τοπογραφική αποτύπωση και γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου με εξάρτηση από σύστημα ΕΓΣΑ' 87 και με προσήκουσες μεθόδους (γεωδαισία, φωτογραμμετρία κ.λπ.), οι οποίες περιγράφονται σε τεχνική έκθεση για τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και σχέδια ή άλλα παραδοτέα που αφορούν την υφιστάμενη κατάσταση του μνημείου ή του

χώρου, τα οποία αποτυπώνουν με ακρίβεια τη θέση, τον περιβάλλοντα χώρο, το ανάγλυφο του εδάφους και τη γεωμετρία του μνημείου ή του χώρου σε κατάλληλη κλίμακα.

δ. Αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης του μνημείου, η οποία περιλαμβάνει σχέδια, με τα οποία αποδίδεται η μορφή του μνημείου στην υφιστάμενη κατάσταση, προσδιορίζονται ο φέρων οργανισμός του και μορφολογικές και κατασκευαστικές λεπτομέρειες, τεχνική έκθεση, στην οποία περιγράφεται η μεθοδολογία αποτύπωσης που ακολουθήθηκε, και συνοπτική περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης του μνημείου. Περιλαμβάνεται, επίσης, καταγραφή και αποτύπωση του διάσπαρτου οικοδομικού υλικού και συντάσσονται δελτία μελών.

ε. Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και σχεδιαστική αναπαράσταση των φάσεων του μνημείου. Καταγραφή μορφολογικών και λειτουργικών προβλημάτων του μνημείου».

### 3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας τις τελευταίες δεκαετίες εισήχθησαν νέες, καινοτόμες μέθοδοι και τεχνικές γεωμετρικής τεκμηρίωσης, ο συνδυασμός των οποίων μπορούν να προσφέρουν αποτελέσματα υψηλής ακριβείας σε μια πλήρως ελεγχόμενη αποτύπωση. Οι νέες τεχνολογίες και η χρήση ειδικών προγραμμάτων λογισμικού, μπορούν να προσφέρουν δισδιάστατα ή τρισδιάστατα σχέδια μεγάλης ακριβείας, όπως αρχιτεκτονικά σχέδια, τρισδιάστατες αναπαραστάσεις και εικονικές περιηγήσεις. Δίνεται επίσης η δυνατότητα συνδυασμού της γεωμετρικής ακριβείας και της οπτικής πληροφορίας, για την παραγωγή προϊόντων όπως φωτορεαλιστικά 3D μοντέλα, τα οποία συμβάλλουν σημαντικά στην αξιόπιστη και συστηματική καταγραφή των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου που θα εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση γεωμετρικής τεκμηρίωσης εξαρτάται από τον συνδυασμό πολλών παραμέτρων, όπως ο απαιτούμενος βαθμός ακριβείας της εργασίας και ο διατιθέμενος εξοπλισμός. Οι βασικές μέθοδοι γεωμετρικής τεκμηρίωσης είναι οι εξής :

- ❖ Τοπομετρικές ή εμπειρικές
- ❖ Τοπογραφικές
- ❖ Φωτογραμμετρικές
- ❖ Τρισδιάστατες επίγειες σαρώσεις laser
- ❖ Συνδυασμός παραπάνω μεθόδων



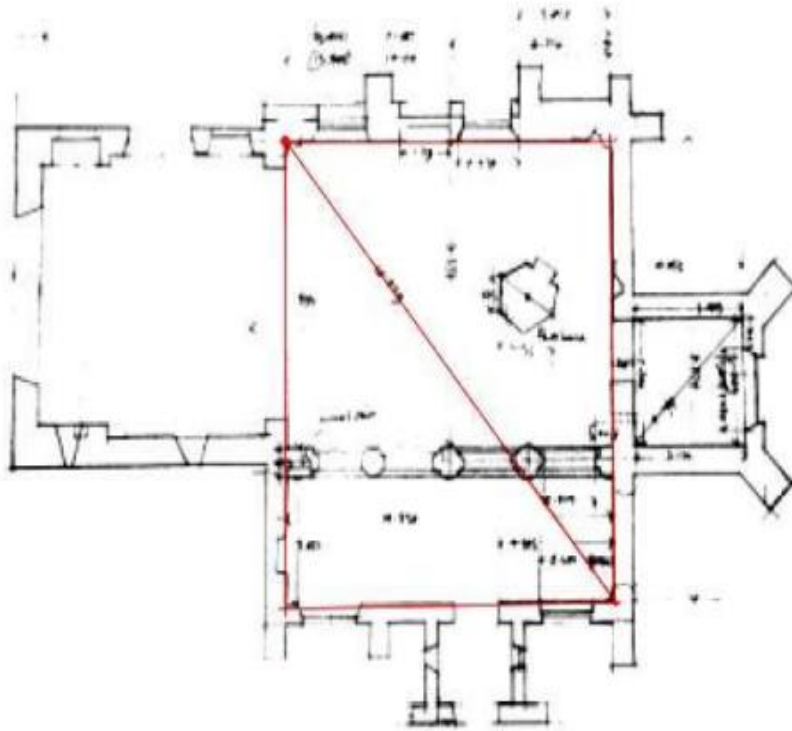
### 3.3.1 ΤΟΠΟΜΕΤΡΙΚΕΣ / ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ

Η τοπομετρική μέθοδος εφαρμόζεται μόνο εκεί όπου οι διαστάσεις και η πολυπλοκότητα του αντικειμένου το επιτρέπουν, εκεί όπου μια μη ελεγχόμενη μικρής ακρίβειας αποτύπωση είναι ανεκτή ή συμπληρωματικά με τις μεθόδους πλήρως ελεγχόμενων αποτυπώσεων [13]. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί την απλούστερη μέθοδο αποτύπωσης, η οποία εφαρμόζεται με την χρήση των βασικών γεωμετρικών κανόνων και απλών οργάνων όπως μετροταινίες, μεταλλικό μέτρο, αποστασιόμετρο laser κ.α. Τα βασικότερα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι υστερεί από άποψη ακρίβειας και είναι απαιτητική όσον αφορά τον χρόνο φυσικής παρουσίας κοντά στο μνημείο [17].

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). 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 για λήψη φωτογραφιών (φωτογραμμετρική μεθοδολογία) [17].



Εικόνα 17. Απλά όργανα μετρήσεων : αποστασιόμετρο laser και μετροταινία [41]



Εικόνα 18. Παράδειγμα σκαριφήματος κατά την εφαρμογή της τοπομετρικής μεθόδου [20]

### 3.3.2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου θεωρείται ιδανική όταν το μνημείο δεν έχει πολύπλοκο σχήμα και όπου οι εργασίες απαιτούν μετρήσεις υψηλής ακρίβειας (σε κλίμακες 1:100 ή μικρότερες). Εφαρμόζεται συνήθως σε περιπτώσεις όπου η έκταση του αντικειμένου είναι μεγάλη και για αποτυπώσεις εξωτερικών χώρων. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των σημείων στο επίπεδο είναι η μέθοδος των τριγώνων ή των πλευρομετρήσεων, η μέθοδος των ορθογωνίων συντεταγμένων και η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων.

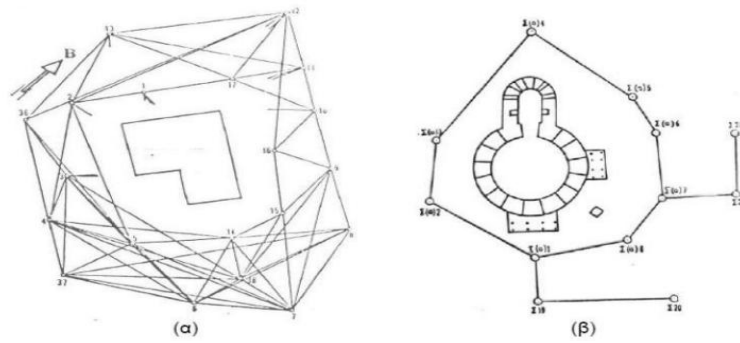
Στην τοπογραφική μέθοδο, για τη δημιουργία των προϊόντων αποτύπωσης συνδυάζεται η μέτρηση των σημείων στο πεδίο και οι εργασίες γραφείου. Οι μετρήσεις στο πεδίο, πραγματοποιούνται με χρήση εξελιγμένων οργάνων ακριβείας όπως είναι οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total Stations) με ή χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα. Τα όργανα μετρούν άμεσα γωνίες (οριζόντιες και κατακόρυφες) και αποστάσεις (κεκλιμένες ή οριζόντιες) χαρακτηριστικών σημείων του μνημείου/χώρου αποτύπωσης, από συγκεκριμένα σημεία στάσης του οργάνου [17].



Εικόνα 19. Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός (Leica Total Station TS 02 PLUS)

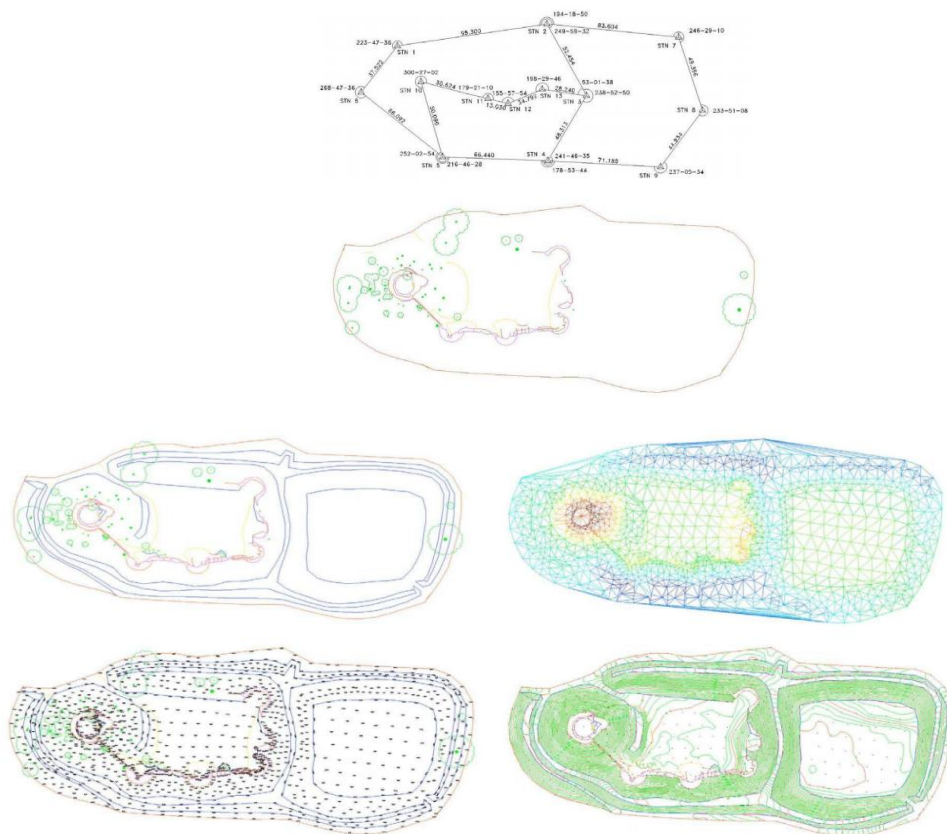
Αναγκαία προϋπόθεση για την χρήση της τοπογραφικής μεθόδου είναι η ίδρυση πολυγωνομετρικού ή τριγωνομετρικού δικτύου για την εξάρτηση της αποτύπωσης σε συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων καθώς και εξασφάλιση των ακριβειών των μετρήσεων με την συνόρθωση των παρατηρήσεων. Κατά τη συνήθη τοπογραφική μεθοδολογία, μετά την ενημέρωση και την αναγνώριση του κτιρίου ακολουθεί η εγκατάσταση ενός δικτύου σταθερών σημείων ή σημείων ελέγχου γύρω από το κτίριο προκειμένου να επιτευχθεί η αποτύπωση όλων των λεπτομερειών του κτιρίου. Αν το μνημείο είναι μεγάλο σε μέγεθος και όγκο τότε ενδείκνυται η εγκατάσταση ενός τριγωνομετρικού δικτύου σταθερών σημείων το οποίο μπορεί να είναι είτε ανεξάρτητο, είτε εξαρτημένο από το κρατικό σύστημα συντεταγμένων. Στην περίπτωση ενός μικρού μνημείου μια κλειστή περιμετρική όδευση, (ανεξάρτητη ή εξαρτημένη), που το περιβάλλει είναι συνήθως αρκετή. Το πλεονέκτημα της εξαρτημένης αποτύπωσης σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς είναι η δυνατότητα συσχέτισης γεωμετρικών στοιχείων διαφορετικών κτιρίων ως προς την θέση, τον προσανατολισμό κλπ [14]. Στο πλαίσιο αυτό, η εφαρμογή της τοπογραφικής μεθοδολογίας δίνει την δυνατότητα αξιόπιστου ελέγχου του αποτελέσματος και ικανοποίησης της ακρίβειας που απαιτείται στην εκάστοτε εργασία.

Βασικά μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελούν ο περιορισμένος αριθμός σημείων που μπορούν να μετρηθούν και η απαίτηση σημαντικού χρόνου φυσικής παρουσίας στην ύπαιθρο, με αποτέλεσμα να την καθιστούν πολλές φορές οικονομικά και χρονικά ασύμφορη. Επίσης, με την χρήση της τοπογραφικής μεθόδου δεν μπορεί να καταγραφεί η υφή της εξωτερικής επιφάνειας του μνημείου. Για αυτούς τους λόγους, είναι προτιμότερο, να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με κάποια άλλη μεθοδολογία, όπως την φωτογραμμετρική για τη δημιουργία ενός εικονικού προϊόντος ή την χρήση σαρωτή laser για δημιουργία 3D μοντέλου με υφή [14].



Εικόνα 20. Ίδρυση σημείων ελέγχου γύρω από μνημεία: (α) με τριγωνομετρικό δίκτυο και (β) με κλειστή περιμετρική όδευση (Τοκμακίδης,2010)

Παράδειγμα τοπογραφικής μεθόδου από συναφή βιβλιογραφία:

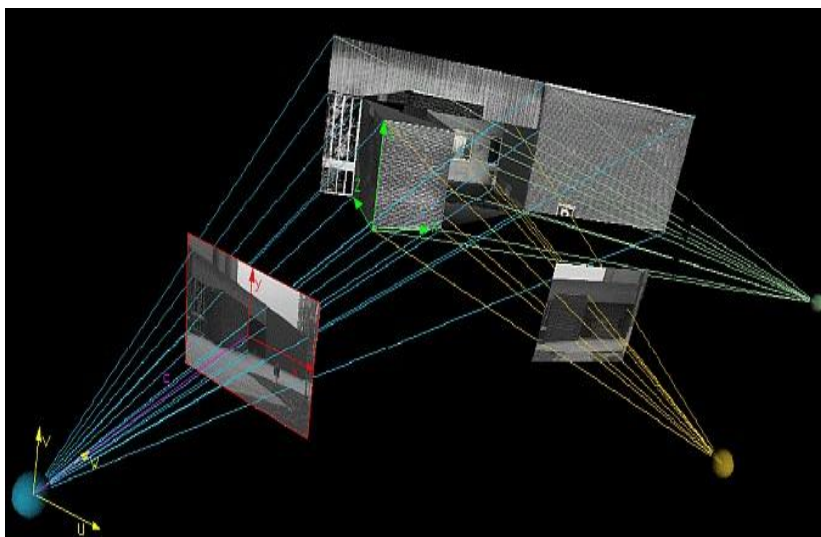


Εικόνα 21. Εφαρμογή τοπογραφικής μεθόδου και χρήση EDM, για απόδοση ψηφιακού μοντέλου εδάφους στην αποτύπωση του Chartley Castle, Stafford [20]

### 3.3.3 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Φωτογραμμετρία είναι η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνική απόκτησης αξιόπιστων μετρητικών πληροφοριών του σχήματος, της διάστασης και της θέσης οποιουδήποτε αντικειμένου στο χώρο και στο περιβάλλον, μέσω διαδικασιών καταγραφής και μέτρησης σε μία ή περισσότερες εικόνες [19]. Οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι αποτελούν έμμεσο τρόπο καταγραφής της θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων των αντικειμένων που υπάρχουν στις φωτογραφίες, καθώς δεν χρησιμοποιούνται απευθείας μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο.

Βασική αρχή της μεθόδου είναι η αποτύπωση του αντικειμένου με φωτογραφική μηχανή, μονοεικονικά είτε σε επικαλυπτόμενα ζεύγη εικόνων. Με τη βοήθεια των σημείων γνωστών συντεταγμένων, που προκύπτουν συνήθως από τοπογραφικές μετρήσεις όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και την απαραίτητη μετέπειτα επεξεργασία στην οποία περιλαμβάνονται η αποκατάσταση του εσωτερικού προσανατολισμού των εικόνων, η αποκατάσταση της σχέσης των εικόνων κατά τη στιγμή της λήψης, αλλά και η σχέση του στερεομοντέλου και του εδάφους μέσω του προσδιορισμού των στοιχείων του εξωτερικού προσανατολισμού, παράγονται προϊόντα όπως ορθοφωτογραφίες, τρισδιάστατες αποτυπώσεις, σχέδια όψεων, κατόψεων και τομών, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κάποια από τα ενδιάμεσα παράγωγα στοιχεία όπως ανοιγμένες φωτογραφίες και τα ψηφιακά μοντέλα επιφάνειας. Στο παρελθόν, χρησιμοποιούνταν αναλογικές μηχανές και η επεξεργασία γίνονταν με αναλογικά μέσα, σήμερα η ψηφιακή φωτογραμμετρία έχει καταστήσει πιο εύκολη και γρήγορη την επεξεργασία μέσα από υπολογιστικά μέσα όπως είναι ο ψηφιακός φωτογραμμετρικός σταθμός ενώ ταυτόχρονα παρέχει τη δυνατότητα και για μεγαλύτερη ακρίβεια [18].

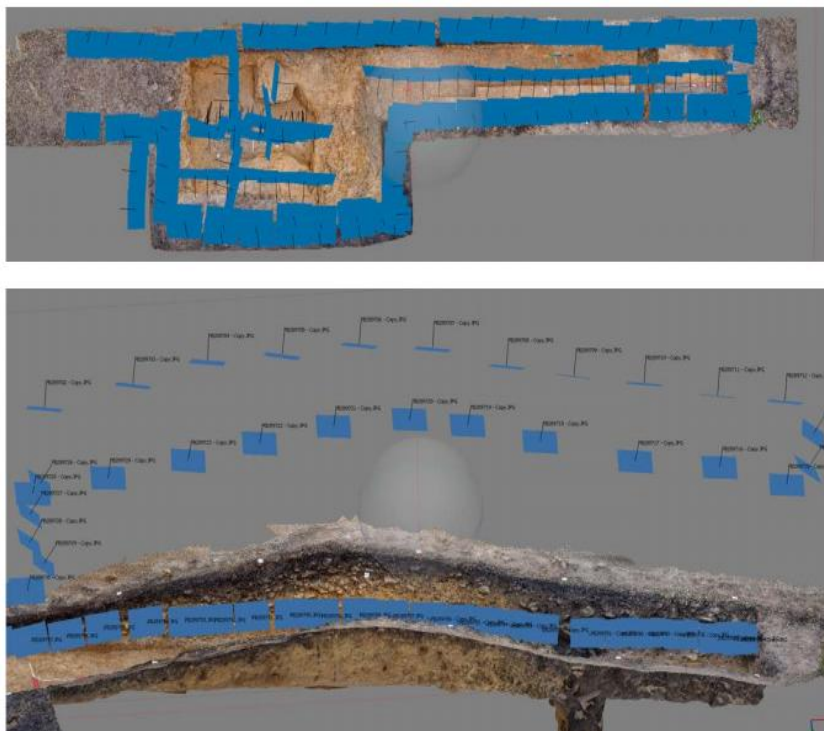


Εικόνα 22. Φωτογραμμετρικά συστήματα μέτρησης συντεταγμένων (Πηγή: ipet.gr)

Η φωτογραμμετρική μέθοδος είναι ιδανική για αποτύπωση πολύπλοκων αντικειμένων με πληθώρα λεπτομερειών, όπως όψεις διατηρητέων κτιρίων και κατόψεις κτιρίων και αρχαιολογικών σκαμμάτων καθώς και στις περιπτώσεις που παρουσιάζεται δυσκολία προσπέλασης των λεπτομερειών του μνημείου ή όταν απαγορεύεται η άμεση επαφή με το αντικείμενο μελέτης [18].

Τα πλεονεκτήματα της φωτογραμμετρίας περιλαμβάνουν την ελαχιστοποίηση των εργασιών υπαίθρου, την εξαιρετική ακρίβεια που παρέχεται, την ομοιογένεια στον προσδιορισμό μεγάλου αριθμού σημείων, τη δυνατότητα πλήρους αυτοματισμού στην χαρτογράφηση, την ταχύτητα, το κόστος χρήσης της και τη δυνατότητα δημιουργίας μόνιμου αρχείου καταγραφής του εδάφους κατά τη στιγμή λήψης της φωτογραφίας. Παράλληλα, είναι ιδανική μέθοδος για τη διαχρονική παρακολούθηση των μνημείων ή όταν απαιτείται συστηματική καταγραφή των φάσεων εξέλιξης εργασιών αναστήλωσης ή ανασκαφής. Οι περιορισμοί της μεθόδου προέρχονται από την ποιότητα της εικόνας, τη γεωμετρία των συσχετιζόμενων φωτογραφιών και τη διασπορά, την ακρίβεια προσδιορισμού των φωτοσταθερών καθώς και την απαίτηση για άμεση πρόσβαση του αντικειμένου μελέτης [14].

Παράδειγμα εφαρμογής της φωτογραμμετρικής μεθόδου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα :







Εικόνα 23. Εφαρμογή της φωτογραμμετρικής μεθόδου για 3D αποτύπωση με υφή, εσωτερικής πλευράς φρουρίου στο Εθνικό Πάρκο Moors North York , στο Βόρειο Γιρκσάιρ της Αγγλίας [1].

### 3.3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER

Η χρήση επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών laser, αποτελεί μια εναλλακτική και καινοτόμο μεθοδολογία, για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων. Οι επίγειοι σαρωτές είναι όργανα που βασίζονται στην τεχνολογία laser, τα οποία μετρούν και προσδιορίζουν την θέση ενός πυκνού συνόλου σημείων του προς αποτύπωση αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο. Η πυκνότητα των σημείων που καταγράφονται είναι εξαιρετικά μεγάλη και για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούμε τον όρο «νέφος σημείων» (Point Cloud).

Η μέθοδος σάρωσης laser, επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη απόκτηση σύνθετων γεωμετρικών δεδομένων από κτίρια, μηχανήματα, αντικείμενα κ.λπ. Κάθε σημείο καθορίζεται από τη θέση (X, Y, Z), σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς, και την ένταση (i) του σήματος επιστροφής (αντανάκλαση) [21]. Οι σαρωτές έχουν ενσωματωμένη στο εσωτερικό τους μια κάμερα, με την οποία δίνεται και η δυνατότητα λήψης ψηφιακών φωτογραφιών του αντικειμένου/χώρου που αποτυπώνεται, ώστε να μπορέσει να αποδοθεί σε κάθε σημείο χρωματική πληροφορία (Red Green Blue). Συνήθως, για την ολοκληρωμένη αποτύπωση ενός αντικειμένου, χρειάζονται παραπάνω από μία σαρώσεις (στάσεις του οργάνου περιμετρικά του αντικειμένου), με απαίτηση μεγάλης αλληλοεπικάλυψης μεταξύ τους, ώστε μετά από κατάλληλη επεξεργασία να ενταχθούν σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς.

Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας σε σχέση με τις υπόλοιπες είναι πολλά, καθώς υπερτερεί από άποψη ακρίβειας του τελικού παραγόμενου προϊόντος, ταχύτητας (ειδικά για αποτυπώσεις μεγάλων και πολύπλοκων σε μορφή αντικειμένων) αλλά και αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Επίσης, προσδιορίζει έναν τεράστιο αριθμό σημείων ακόμα και σε δύσκολες περιπτώσεις αποτυπώσεων, όπως απρόσιτων ή δυσπρόσιτων αντικειμένων, και όλο το νέφος σημείων κάθε σάρωσης αποδίδεται με «ενιαία ακρίβεια». Όμως βασικό μειονέκτημα της και ανασταλτικός παράγοντας για την εφαρμογή της αποτελεί το υψηλό κόστος αγοράς του εξοπλισμού.

Οι επίγειοι σαρωτές laser ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού της απόστασης διακρίνονται στους παθητικούς ανιχνευτές (μέθοδος τριγωνισμού) και στους ενεργητικούς ανιχνευτές (time of flight, τριγωνισμός με μια ή δύο κάμερες CCD) [14]. Η μέθοδος επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης καθώς και οι βασικές αρχές λειτουργίας των οργάνων αναλύονται περισσότερο στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 24. Leica RTC360 3D Laser Scanner [41]



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο. ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ**

### **4.1. ΟΙ ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER**

Η χρήση επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών (3D Terrestrial Laser Scanners TLS), αποτελεί μια εναλλακτική και καινοτόμο μεθοδολογία, που τα τελευταία χρόνια βρίσκει εφαρμογή σε πολλές μελέτες για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων και όχι μόνο. Οι εφαρμογές ποικίλουν με έμφαση σε χώρους όπως η βιομηχανία του θεάματος (κινηματογράφος και 3d-animation), ο σχεδιασμός πρόσθετων μελών, οι αποτυπώσεις εδαφολογικών χαρακτηριστικών, η μέτρηση δομικών παραμορφώσεων, οι λεπτομερείς τοπογραφικές αποτυπώσεις. Θεωρείται από τις βασικότερες τεχνικές τρισδιάστατης αποτύπωσης, καθώς προσδιορίζει σε πραγματικό χρόνο, τις τρισδιάστατες συντεταγμένες (X, Y, Z) πυκνού νέφους σημείων του αντικειμένου που αποτυπώνεται σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς, παρέχοντας επιπλέον πληροφόρηση σχετικά με το υλικό της επιφάνειας του και το χρώμα (RGB τιμές).

### **4.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ**

Κατά την τελευταία δεκαετία, ο τομέας των αποτυπώσεων έχει δει τεράστιες εξελίξεις στις τεχνικές για την απόκτηση χωρικών δεδομένων. Μία από αυτές τις εξελίξεις ήταν η εμφάνιση της τεχνολογίας επίγειας σάρωσης laser (TLS), η οποία παρέχει στους χρήστες την δυνατότητα αυτοματοποιημένης λήψης δεδομένων 3D στον χώρο (νέφη σημείων) με μεγάλη ακρίβεια και πυκνότητα, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Το τελικό νέφος σημείων με τις τρισδιάστατες συντεταγμένες είναι και το δεδομένο το οποίο στη συνέχεια επεξεργάζεται κατάλληλα για να αποδοθεί το αντικείμενο που σαρώθηκε στις τρεις διαστάσεις.

Οι σαρωτές laser έχουν την δυνατότητα να στέλνουν τρισεκατομμύρια φωτόνια στην μονάδα του χρόνου πάνω σε ένα αντικείμενο. Τα φωτόνια αυτά αντανακλούνται επάνω στο αντικείμενο αποτύπωσης και ένα μικρό ποσοστό τους μετά την αντανάκλαση αυτή κατευθύνονται προς τους αισθητήρες του σαρωτή. Τα φωτόνια αυτά κατευθύνονται μέσα στην συσκευή με την βοήθεια των οπτικών διατάξεων που διαθέτει το κάθε όργανο. Η αντανακλαστικότητα κάθε αντικειμένου εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες όπως είναι το χρώμα και το αλβέδο τους. Μια λευκή επιφάνεια θα αντανακλά περισσότερο ποσοστό της προσπίπτουσας οπτικής ακτινοβολίας από μια σκουρόχρωμη ή μαύρη επιφάνεια. Αντίστοιχα διάφανες επιφάνειες, όπως το γυαλί, διαθλούν την οπτική ακτινοβολία με αποτέλεσμα να εισέρχονται σφάλματα στις μετρήσεις. [22]

Ο απαραίτητος εξοπλισμός για την αποτύπωση με τη χρήση επίγειου τρισδιάστατου Laser Scanner είναι η συσκευή του σαρωτή και τα παρελκόμενα που χρειάζεται για τη λειτουργία

του, όπως οι μπαταρίες (τροφοδοσία), ο τρίποδας, οι στόχοι και η μονάδα ελέγχου (φορητός υπολογιστής). Τα παλαιότερα μοντέλα σαρωτών για να λειτουργήσουν προϋπόθεταν την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για την επιλογή της περιοχής σάρωσης καθώς και των παραμέτρων της. Όμως, οι σαρωτές νέας τεχνολογίας έχουν γίνει πιο ευέλικτοι, με μικρότερο μέγεθος και ενσωματωμένες μπαταρίες και οθόνες επάνω στο όργανο, ώστε να μην χρειάζεται ο χρήστης να μεταφέρει ηλεκτρονικό υπολογιστή στο πεδίο.

Το εσωτερικό σύστημα του σαρωτή αποτελείται από:

- πομπό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας,
- δέκτη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα,
- καταγραφική μονάδα στην οποία καταγράφονται η επιστροφή του σήματος και ο χρόνος εκπομπής – λήψης,
- χρονόμετρο για τη μέτρηση του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του εκπεμπόμενου σήματος και
- σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών που κατευθύνει τη δέσμη της ακτινοβολίας.

Σύμφωνα με τη συνήθη διαδικασία που ακολουθείται σε μια αποτύπωση, αρχικά ορίζονται από εξωτερικό μέσο τα όρια της επιφάνειας που πρόκειται να σαρωθεί και η πυκνότητα της σάρωσης. Στη συνέχεια, λαμβάνεται με τη βοήθεια της CCD κάμερας του σαρωτή η εικόνα της επιφάνειας και ξεκινά η εκπομπή παλμού laser από το σαρωτή προς την επιφάνεια του αντικειμένου μελέτης. Ο παλμός αυτός, αφού ανακλαστεί στην επιφάνεια που αποτυπώνεται, επιστρέφει στο σαρωτή, εντός του οποίου, υπολογίζεται ο χρόνος μετάβασης και επιστροφής και οι γωνίες ανάκλασης της δέσμης. Οι πληροφορίες αυτές μεταφέρονται, σε πραγματικό χρόνο, σε εξωτερικό μέσο (ηλεκτρονικό υπολογιστή, laptop, pad) όπου εμφανίζεται μια τρισδιάστατη οπτικοποίηση του αντικειμένου ή της περιοχής που έχει σαρωθεί. Σε αντίθεση με τους κοινούς Γεωδαιτικούς Σταθμούς, όπου ο χειριστής επιλέγει ένα προς ένα τα σημεία που μετρώνται, στους σαρωτές laser καταγράφεται τυχαία ένα νέφος σημείων εντός της εμβέλειας που ορίζεται. Το πυκνό τρισδιάστατο νέφος σημείων που αποκτάται ονομάζεται και DDSM - Dense Digital Surface Model (πυκνό ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας). Όσο πυκνότερα είναι το νέφος σημείων τόσο ακριβέστερη είναι η αναπαράσταση του αντικειμένου.

Κατά τη διαδικασία της αποτύπωσης, ο σαρωτής συλλέγει επίσης την τιμή της ανακλαστικότητας για κάθε σημείο (X,Y,Z) και χρωματική πληροφορία με τη μορφή RGB και έτσι υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού του χρώματος του αντικειμένου αποτύπωσης. Τα σημεία ενδιαφέροντος προς αποτύπωση θα πρέπει να είναι ορατά από το σημείο στάσης του οργάνου και κατά βάση αδιαφανή. Κατά την σάρωση η τρισδιάστατη θέση των σημείων προσδιορίζεται σε ένα σύστημα σφαιρικών 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 ( $\phi$ ) και ( $\theta$ ), 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 [22].

Όπως και στην τοπογραφική μέθοδο, για την αποτύπωση ενός αντικειμένου, κτιρίου ή χώρου και την κάλυψη όλων των πτυχών του, η διαδικασία που ακολουθείται στο πεδίο περιλαμβάνει το στήσιμο του οργάνου σε πλήθος σημείων/στάσεων. Συνεπώς, στις περισσότερες περιπτώσεις, ανάλογα με την πολυπλοκότητα της γεωμετρίας του προς αποτύπωση αντικειμένου και του περιβάλλοντός του, απαιτούνται πολλαπλές σαρώσεις περιμετρικά ή εντός και εκτός αυτού. Οι στάσεις του οργάνου επιλέγονται ώστε να προσεγγίζουν το αντικείμενο ενδιαφέροντος από διαφορετικές γωνίες και όψεις. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται μια ολοκληρωμένη απεικόνιση χωρίς αποκρύψεις λόγω εμποδίων, μειώνοντας έτσι τα προβλήματα απουσίας μετρητικής πληροφορίας και κενών περιοχών κατά την επεξεργασία.

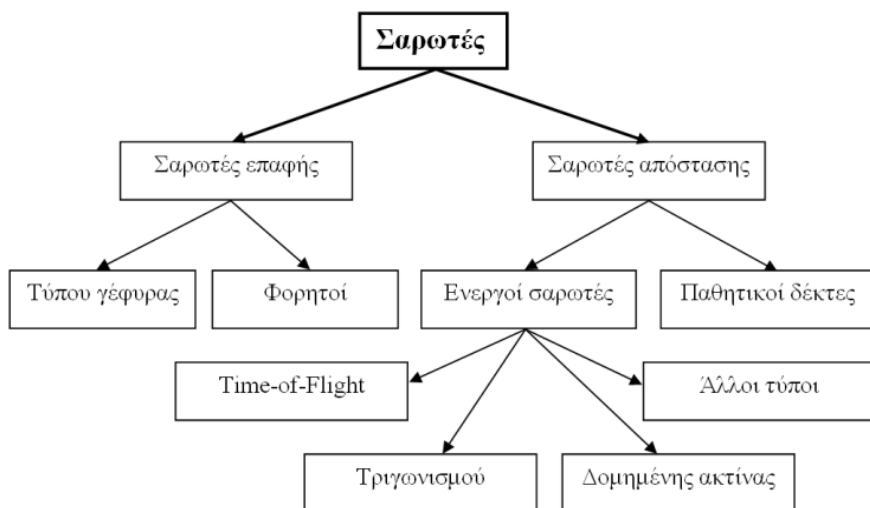
Το επόμενο απαραίτητο στάδιο της διαδικασίας αποτελεί, οι πολλαπλές αυτές σαρώσεις να αναφερθούν σε ενιαίο σύστημα αναφοράς και να ενσωματωθούν σε ένα κοινό μοντέλο το οποίο θα περιλαμβάνει συνολικά όλη την πληροφορία που συλλέχθηκε στο πεδίο. Αυτή η διαδικασία ένωσης νεφών σημείων (Alignment ή Registration, ανάλογα με το λογισμικό που χρησιμοποιείται), εκτελείται μέσω αλγορίθμων, σε περιβάλλον εμπορικών λογισμικών και απαιτεί να επιλεγούν ομόλογα σημεία μεταξύ των επιμέρους νεφών αξιοποιώντας την επικαλυπτόμενη επιφάνεια τους.

Σε αντίθεση με τις κλασσικές τοπογραφικές μεθόδους αποτύπωσης, το μεγάλο πλεονέκτημα του επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή (TLS) αποτελεί το γεγονός ότι, δεν είναι αναγκαίο να τοποθετείται σε συγκεκριμένο σημείο με γνωστές συντεταγμένες, αλλά ούτε υπάρχει ανάγκη ορισμού των στάσεων. Αυτό συμβαίνει διότι τα σημεία, συσχετίζονται μεταξύ τους, το καθένα με τα γειτονικά του και όχι με τη θέση που βρίσκεται κάθε φορά ο σαρωτής. Έτσι, από τις διαφορετικές θέσεις σάρωσης (στάσεις του οργάνου), δημιουργούνται τα νέφη σημείων, τα οποία ενώνονται με τη μέθοδο "registration", σε ένα ενιαίο μοντέλο σάρωσης σε κάποιο αυθαίρετο/τοπικό σύστημα αναφοράς.

Επιπλέον, ανάλογα με τον σκοπό της αποτύπωσης συνήθως απαιτείται η ένταξη του τελικού νέφους σημείων σε κάποιο δίκτυο γνωστών συντεταγμένων (π.χ. Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, ΕΓΣΑ'87) ή αλλιώς «Γεωαναφορά». Σε μια τέτοια περίπτωση αποτύπωσης, προβλέπεται κατά τη σάρωση και η αποτύπωση σημείων ελέγχου (control points) τα οποία μετριοούνται με κλασσικές τοπογραφικές μεθόδους και χρήση ολοκληρωμένων Γεωδαιτικών Σταθμών. Τα σημεία ελέγχου κατά βάση υλοποιούνται με κυκλικούς ή σφαιρικούς στόχους και αυτοκόλλητα υψηλής αντανakλαστικότητας επί του αντικειμένου.

#### **4.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ – ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ**

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές laser διαχωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν καθώς και τις εφαρμογές τους. Οι δύο κυριότεροι τύποι επίγειων σαρωτών laser, περιλαμβάνουν τους σαρωτές επαφής (Contact scanners) και τους σαρωτές αποστάσεως (Non-contact scanners). [22]



Εικόνα 25. Κατηγοριοποίηση επίγειων σαρωτών laser [22]

#### 4.3.1 ΣΑΡΩΤΕΣ ΕΠΑΦΗΣ (Contact Scanners)

Οι σαρωτές επαφής είναι όργανα που αποτυπώνουν ένα αντικείμενο μέσω φυσικής επαφής, δίνοντας σχετικές συντεταγμένες σε ένα ενσωματωμένο καταγραφικό σύστημα. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει κυρίως τα συστήματα CMM (Coordinate Measuring Machine). Στη σάρωση πραγματοποιείται ψηλάφηση του αντικειμένου με φυσική επαφή συνήθως με τη χρήση κάποιου ρομποτικού βραχίονα στον οποίο έχει ενσωματωθεί κάποιος αισθητήρας αφής. 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 αντικειμένου. 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.[22]



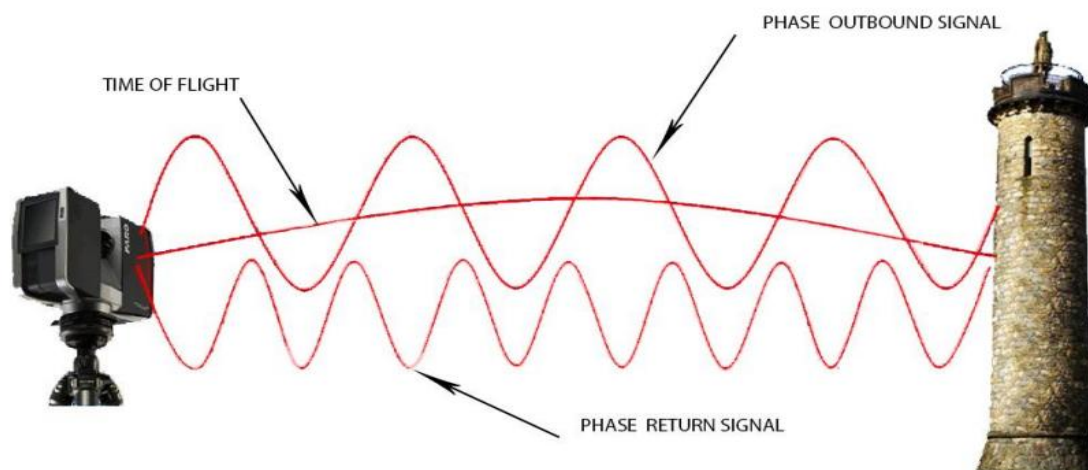
Εικόνα 26. Σαρωτής επαφής τύπου γέφυρας [22]

### 4.3.2 ΣΑΡΩΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (Non-contact scanners)

Σε αντίθεση με τους σαρωτές επαφής, οι σαρωτές απόστασης είναι όργανα που αποτυπώνουν το αντικείμενο από απόσταση χρησιμοποιώντας την ακτινοβολία για να εντοπίσουν την θέση των σημείων της επιφάνειάς του. Οι σαρωτές απόστασης διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους παθητικούς και τους ενεργητικούς. Στους ενεργητικούς, εκπέμπεται κάποιου είδους ακτινοβολία από τον σαρωτή (οπτική ή υπερηχητική ή ακτίνες X) και μετρώντας την ανάκλαση της σε κάποιο αντικείμενο από ένα ενσωματωμένο δέκτη του οργάνου, υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ του δέκτη και του αντικειμένου. Οι παθητικοί σαρωτές εκμεταλλεύονται την υπάρχουσα ακτινοβολία που εκπέμπει το αντικείμενο με την μορφή φωτονίων, όπου καταγράφοντας την μπορούν να υπολογίσουν την απόσταση από τον δέκτη με την βοήθεια των γωνιών που σχηματίζουν. Οι ενεργητικοί σαρωτές αποτελούν τους πιο συνηθισμένους σαρωτές για εφαρμογές αποτύπωσης.

Οι ενεργητικοί σαρωτές απόστασης χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες με βάση την τεχνική που χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στην πηγή της εκπεμπόμενης ακτίνας laser (σαρωτή) και του προς αποτύπωση αντικειμένου (στόχου) σε:

- Σαρωτές μέτρησης χρόνου πτήσης ενός παλμού laser (Time Of Flight, TOF)
- Σαρωτές διαφοράς φάσης (Phase Comparison Scanners)
- Σαρωτές τριγωνισμού (Triangulation Scanners).

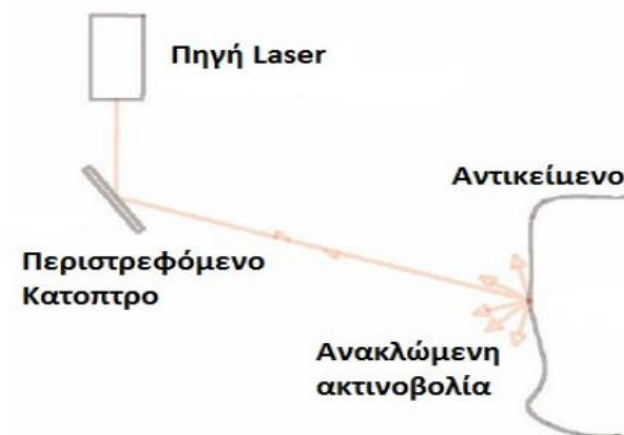


Εικόνα 27. Ενδεικτική απεικόνιση των βασικών τεχνικών, που χρησιμοποιεί η πλειοψηφία των τρισδιάστατων επίγειων σαρωτών [42]

- **Σαρωτές μέτρησης χρόνου πτήσης ενός παλμού laser (Time Of Flight, TOF)**

Η τεχνολογία Time – of – Flight αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο αποτύπωση με laser έως σήμερα, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε αποτυπώσεις μεγάλων αντικειμένων, κτηρίων και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών (βράχια, λατομεία, κ.α.), για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων. Οι συγκεκριμένοι σαρωτές έχουν την δυνατότητα να μετρούν σημεία σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ μέσω της κίνησής τους μπορούν να αποτυπώσουν μεγάλο εύρος του οπτικού τους πεδίου. Η κεφαλή του μηχανήματος έχει την δυνατότητα για οριζόντια κίνηση ενώ ειδικά κάτοπτρα μπορούν να κατευθύνουν την δέσμη κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην αντανάκλαση μίας ακτίνας laser που σαρώνει το αντικείμενο αποτύπωσης, καθώς μετράει την απόσταση υπολογίζοντας με ακρίβεια τον χρόνο που χρειάζεται η ακτίνα που εκπέμπεται από τον σαρωτή, να ανακλαστεί στο αντικείμενο και να επιστρέψει πίσω στην πηγή της [22].

Η λειτουργία της τεχνολογίας Time – of – Flight, είναι αρκετά απλή. Ο σαρωτής εκπέμπει μία ακτίνα laser και υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια το χρόνο που χρειάζεται για να επιστρέψει πίσω στον αισθητήρα που είναι ενσωματωμένος στο όργανο. Η ταχύτητα διάδοσης της ακτίνας laser είναι σταθερή και ίση με την ταχύτητα του φωτός στο κενό, οπότε ο χρόνος μετάβασης και επιστροφής της ακτίνας στον αισθητήρα μπορεί να μας δώσει την απόσταση από τον τύπο  $s=(c*t)/2$  [22].



Εικόνα 28. Αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας Time – of – Flight, (Π.Συμεωνίδης 2007)

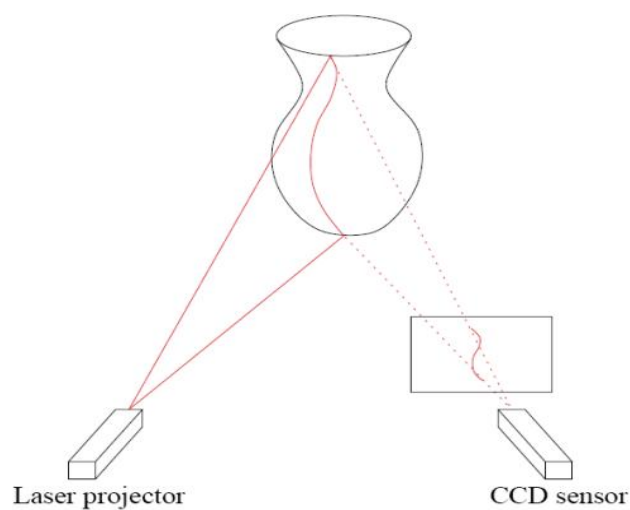
Η ακτίνα laser υπολογίζει κάθε φορά την απόσταση ενός σημείου της επιφάνειας αντικειμένου από τον σαρωτή, για αυτό είναι απαραίτητη η αλλαγή διεύθυνσης της ακτίνας σε κάθε μέτρηση. Η αλλαγή αυτή πραγματοποιείται είτε με την κίνηση της κεφαλής του οργάνου είτε με την κίνηση κατόπτρων στο εσωτερικό του οργάνου. Στην πράξη χρησιμοποιείται η διάταξη με τα κάτοπτρα διότι μας δίνει ευκολότερη κίνησή τους (τα κάτοπτρα είναι σαφώς ελαφρύτερα και ευκολότερα στον χειρισμό από την κεφαλή του οργάνου) και μεγαλύτερη ακρίβεια στις μικρομετακινήσεις που απαιτούνται. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε ακρίβεια και ταχύτητα στις μετρήσεις [22].

- **Σαρωτές διαφοράς φάσης (Phase Comparison Scanners)**

Η χρήση σαρωτών διαφοράς φάσης (Phase Comparison Scanners) αποτελεί και αυτή μια διαδεδομένη τεχνική laser, κατά την οποία η εκπεμπόμενη ακτίνα διαμορφώνεται από ένα συνεχές αρμονικό κύμα. Η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και του επιστρεφόμενου κύματος (ανάκλαση ακτίνας από το αντικείμενο). Ο χρόνος μετάβασης – επιστροφής του σήματος είναι ευθέως ανάλογος της διαφοράς φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος και εξαρτάται από τη συχνότητα διαμόρφωσης και την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο. Λόγω της αρκετά πολύπλοκης διαδικασίας που χρειάζεται για την ανάλυση των σημάτων, τα αποτελέσματα έχουν μεγάλη ακρίβεια (σε βάρος όμως του συνολικού αριθμού των μετρούμενων σημείων αλλά και της μέγιστης μετρούμενης απόστασης). Δεδομένου ότι απαιτείται ένα καλά καθορισμένο σήμα επιστροφής για τον υπολογισμό των αποστάσεων, οι σαρωτές διαφοράς φάσης έχουν μειωμένη εμβέλεια [26].

- **Μέθοδος Τριγωνισμού - Triangulation σαρωτές**

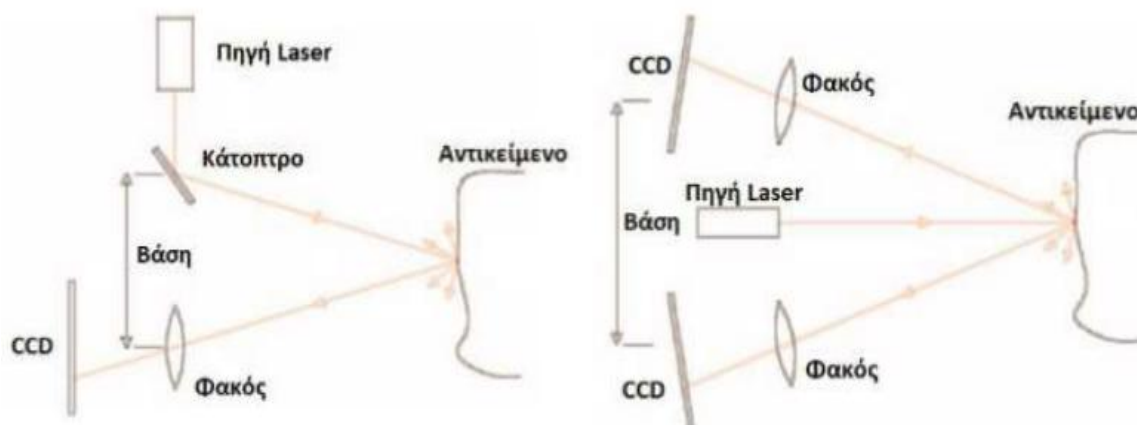
Οι επίγειοι σαρωτές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία τριγωνισμού (Triangulation Scanners) ανήκουν στην κατηγορία των ενεργών σαρωτών και χρησιμοποιούν laser για να σαρώσουν το αντικείμενο ενδιαφέροντος. Οι σαρωτές αυτοί χρησιμοποιούν την ακτίνα laser για να “φωτίσουν” σημεία πάνω στο αντικείμενο και μία κάμερα (CCD) για να εντοπίσουν τα σημεία που φωτίζει κάθε φορά η ακτίνα. Έπειτα, με χρήση εξισώσεων φωτογραμμετρίας ο σαρωτής υπολογίζει τη θέση του κάθε σημείου που φωτίζεται από την ακτίνα Laser στον τρισδιάστατο χώρο. Για την επιτυχημένη λειτουργία του σαρωτή, σημαντικό ρόλο παίζει η ύπαρξη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού του αντικειμένου καθώς η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στον εντοπισμό της δέσμης της ακτίνας Laser στην εικόνα του αντικειμένου που συλλαμβάνεται από τον ενσωματωμένο οπτικό αισθητήρα (κάμερα CCD) [22].



Εικόνα 29. Αρχή λειτουργίας Τριγωνισμού (Laser projector: Μονάδα εκπομπής laser, CCD sensor: Δέκτης laser (CCD κάμερα) [22]

Το όνομα της μεθόδου τριγωνισμού οφείλεται στο τρίγωνο που σχηματίζεται από τον πομπό του laser, τον οπτικό αισθητήρα CCD (κάμερα) και το αντικείμενο. Στην συγκεκριμένη μέθοδο θεωρούνται γνωστά [22]:

- ✓ η βάση, η οποία αποτελεί την απόσταση του πομπού laser και του οπτικού αισθητήρα CCD για χρήση ενός αισθητήρα CCD ή απόσταση μεταξύ δύο οπτικών αισθητήρων CCD σε περιπτώσεις χρήσης δυο αισθητήρων
- ✓ η γωνία με την οποία βλέπει ο σαρωτής το αντικείμενο και
- ✓ η γωνία που σχηματίζει η δέσμη laser πάνω στο αντικείμενο με την οπτική ευθεία του δέκτη της κορυφής του, δηλαδή την θέση της κουκίδας του laser πάνω στο αντικείμενο .



Εικόνα 30. Αρχή λειτουργίας μεθόδου τριγωνισμού με μια (αριστερά) και δύο (δεξιά) κάμερες CCD [22]

#### 4.4 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΕΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Η κάθε μέθοδος τρισδιάστατης αποτύπωσης με laser scanner, προσφέρει διαφορετική ακρίβεια η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης μεταξύ ακτίνας laser και της επιφάνειας του αντικειμένου. Η ακρίβεια των μετρήσεων, εξαρτάται από την ταχύτητα της σάρωσης, την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο, την ανακλαστικότητα των επιφανειών, το μέγεθος της κουκίδας του laser, το υλικό στο οποίο προσπίπτουν οι ακτίνες, την πυκνότητα της σάρωσης, τον θόρυβο σάρωσης, την θερμοκρασία και την ατμόσφαιρα [23,24,25].

Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερη επιλέγεται η πυκνότητα σάρωσης (πυκνότερο νέφος σημείων), τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ακρίβεια του προς αποτύπωση



αντικειμένου. Ομοίως, μικρότερη απόσταση και πιο οξεία γωνία πρόσπτωσης προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα στην ακρίβεια.

Οι επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές δεν συνιστάται να χρησιμοποιούνται σε ιδιαίτερες καιρικές συνθήκες όπως σε συννεφιά ή βροχή γιατί οι σταγόνες νερού στον αέρα μπορεί να προκαλέσουν θόρυβο ή να επιφέρουν λανθασμένες μετρήσεις. Επιπλέον, δεν μπορούν να λάβουν μετρήσεις όταν αποτυπώνουν επιφάνεια δρόμου που περιέχει νερό εξαιτίας της υψηλής ανακλαστικότητάς του [34].

- **Πυκνότητα σάρωσης**

Πάντα κατά την διαδικασία της σάρωσης, είναι απαραίτητο να καθοριστεί το βήμα σάρωσης, η απόσταση δηλαδή μεταξύ των γειτονικών σημείων που θα αποτυπώσει ο σαρωτής. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Αρχικά, ορίζεται η απόσταση μέχρι την οποία ο σαρωτής θα αποτυπώνει. Πρόκειται ουσιαστικά για την μέση απόσταση μεταξύ του σαρωτή και του αντικειμένου προς αποτύπωση, της οποίας η τιμή συνήθως δίνεται προσεγγιστικά. Στο δεύτερο στάδιο, δίνεται το βήμα σάρωσης το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά έως μερικά μέτρα ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια σε κάθε εφαρμογή. Η επιλογή της πυκνότητας των σημείων εξαρτάται από τις δυνατότητες του οργάνου με το οποίο θα γίνει η σάρωση, το αντικείμενο αποτύπωσης αλλά και τις απαιτήσεις ακρίβειας του τελικού προϊόντος. Πρόκειται στην ουσία για τις διαστάσεις του κανάβου στις κορυφές του οποίου ο σαρωτής θα πάρει μετρήσεις. Αξίζει να σημειωθεί όμως ότι, το βήμα σάρωσης που ορίζεται είναι προσεγγιστικό και αφορά μόνο στα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται κάθετα στην πορεία της ακτίνας laser. Οι πλάγιες σαρώσεις δίνουν μικρότερη πυκνότητα από αυτήν που ορίζεται στις αρχικές ρυθμίσεις κατά την διαδικασία της σάρωσης. Έτσι συνήθως, ορίζεται υψηλότερη πυκνότητα από αυτήν που απαιτούν οι προδιαγραφές, ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια και να αποφευχθούν κενές περιοχές ή έλλειψη σημείων [22]. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η ανάλυση που επιλέγεται καθορίζει τον αριθμό των σημείων που θα μετρηθούν για μια δεδομένη περιοχή σάρωσης από μια θέση και συνεπώς τον χρόνο που θα χρειασθεί για την ολοκλήρωση της σάρωσης από τη θέση αυτή, αφού η ταχύτητα του σαρωτή εκφράζεται σε σημεία ανά δευτερόλεπτο (σημεία/sec).

- **Θόρυβος σάρωσης**

Είναι γεγονός ότι κατά τη διαδικασία της σάρωσης, ειδικότερα όταν πραγματοποιείται σε εξωτερικούς χώρους, αποτυπώνεται και άχρηστη πληροφορία η οποία ονομάζεται «θόρυβος σάρωσης». Ο θόρυβος της σάρωσης μπορεί να αποτελείται από περιττά σημεία τα οποία επιλέγονται να αποτυπωθούν εν γνώση του χειριστή του οργάνου, με σκοπό να αποφευχθούν κενά στο τελικό αποτέλεσμα της αποτύπωσης, ή από σημεία που αποτυπώθηκαν από σφάλμα. Τέτοια σημεία μπορεί να είναι η βλάστηση ή τεχνητά εμπόδια που βρίσκονται ανάμεσα στον σαρωτή και το αντικείμενο κατά την διαδικασία της σάρωσης. Απαραίτητο στάδιο κατά την επεξεργασία του νέφους σημείων είναι ο εντοπισμός και η απαλοιφή των σημείων που αποτελούν θόρυβο.

- **Διαστάσεις κουκίδας laser**

Κάθε εταιρία που κατασκευάζει σαρωτές χρησιμοποιεί διαφορετικά μεγέθη κουκίδας του laser. Το μέγεθος αυτό, ορίζει τις διαστάσεις της κουκίδας και αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την τελική ακρίβεια της αποτύπωσης. Γενικά, όσο μικρότερο μέγεθος κουκίδας έχει ο σαρωτής τόσο καλύτερα θα ορίζονται τα σημεία που θα αποτυπωθούν και συνεπώς το τελικό προϊόν θα έχει καλύτερη ακρίβεια.

- **Ανακλαστικότητα της επιφάνειας**

Η αντανάκλαστικότητα της επιφάνειας ενός αντικειμένου εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες όπως είναι το χρώμα και το αλβέδο τους. Είναι γνωστό ότι, μια λευκή επιφάνεια θα αντανάκλα περισσότερο ποσοστό της προσπίπτουσας οπτικής ακτινοβολίας (ακτίνα laser) από μια σκουρόχρωμη ή μαύρη επιφάνεια. Αντίστοιχα διάφανες επιφάνειες, όπως το γυαλί, διαθλούν την οπτική ακτινοβολία με αποτέλεσμα να εισέρχονται σφάλματα στις μετρήσεις. Ένας τρόπος για τη διερεύνηση των σφαλμάτων που προκύπτουν από τη μεταβολή της ανακλαστικότητας, είναι η χρήση ενός άσπρου επίπεδου στόχου, του οποίου το κέντρο θα έχει επικαλυφθεί με ανακλαστικό υλικό. Οι διαφορές που θα προκύψουν στον προσδιορισμό της απόστασης μεταξύ του κέντρου και του υπόλοιπου στόχου, θα δώσουν μια σαφή εικόνα των αποκλίσεων που πρέπει να αναμένονται [34].

- **Θερμοκρασία**

Στην ακρίβεια του τελικού προϊόντος, ρόλο παίζει και η θερμοκρασία στην οποία γίνονται οι σαρώσεις. Οι σαρωτές λειτουργούν κανονικά μόνο όταν χρησιμοποιούνται σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας, συνήθως 0°-50° C. Ακόμα και μέσα σε αυτό το εύρος μπορεί να παρατηρηθούν αποκλίσεις ειδικά στο μέγεθος της μετρούμενης απόστασης.

- **Ατμόσφαιρα**

Αναφορικά με την ατμόσφαιρα, εκτός από την θερμοκρασία, η πίεση της ατμόσφαιρας μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα διάδοσης του φωτός μέσα σε αυτή, συνεπώς και την ταχύτητα διάδοσης της ακτίνας laser. Όμως σε περιπτώσεις που οι σαρώσεις πραγματοποιούνται από μικρές αποστάσεις, η αλλαγή στη ταχύτητα του φωτός, λόγω μεταβολών της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης δεν επηρεάζει ουσιαστικά και πρακτικά τα αποτελέσματα των σαρώσεων.

## **4.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

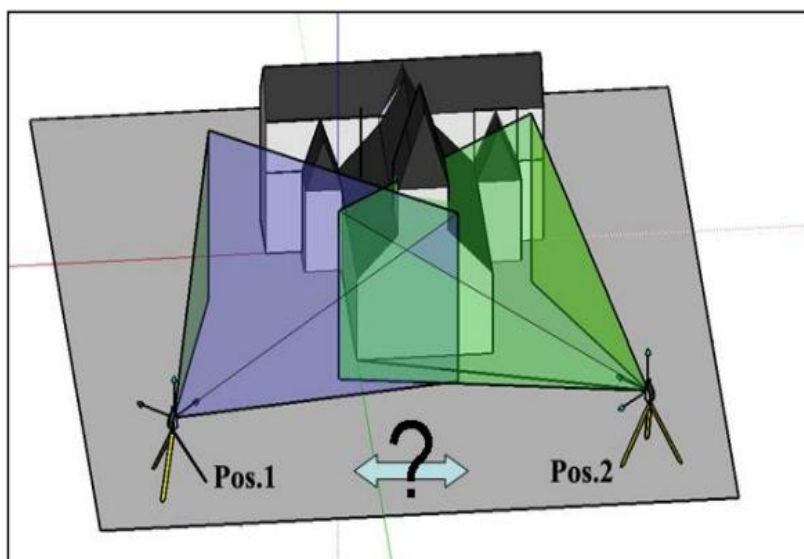
Τα παραγόμενα δεδομένα που προέρχονται από τις μετρήσεις των σαρωτών laser αποτελούνται από ανεξάρτητα νέφη σημείων (Point Clouds), το πλήθος των οποίων είναι όσες και οι στάσεις του οργάνου κατά την αποτύπωση, με το κάθε ένα να έχει το δικό του αυθαίρετο σύστημα αναφοράς. Για την δημιουργία του τελικού τρισδιάστατου αντικειμένου ή χώρου, είναι απαραίτητη η επεξεργασία των παραγόμενων δεδομένων, η οποία αποτελείται από ένα σύνολο ενεργειών. Οι ενέργειες αυτές μπορούν να

διαχωριστούν σε δύο βασικά στάδια: την προεπεξεργασία των δεδομένων laser (προκαταρκτική επεξεργασία) και την διαμόρφωση του τελικού παραγόμενου προϊόντος (με υλοποίηση επιφανειών από τα νέφη σημείων).

Στο πρώτο στάδιο της προεπεξεργασίας (ή προκαταρκτικής επεξεργασίας) των δεδομένων laser, πραγματοποιούνται όλες οι απαραίτητες διαδικασίες που εφαρμόζονται άμεσα στο νέφος σημείων, όπως, για παράδειγμα το φιλτράρισμα των σημείων (μείωση θορύβου), την καταγραφή των σημείων, τις διαδικασίες συνένωσης (registration) και γεωαναφοράς (georeferencing). Το αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι ένα ενιαίο νέφος σημείων, απαλλαγμένο από ανεπιθύμητο θόρυβο, χονδροειδή ή συστηματικά σφάλματα και αποτελεί τη βάση για το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας.

### **Συνένωση νεφών σάρωσης:**

Η υλοποίηση της συνένωσης των νεφών αποτελεί βασικό και αναπόφευκτο στάδιο της τρισδιάστατης επεξεργασίας. Όπως προαναφέρθηκε, κατά την διαδικασία της σάρωσης, η κάθε θέση του οργάνου παράγει ένα νέφος σημείων σε ανεξάρτητο σύστημα αναφοράς με αρχή των συντεταγμένων το κέντρο του σαρωτή. Για τον λόγο αυτό, είναι αναγκαίο το πλήθος των νεφών σημείων που παράχθηκαν να μετασχηματιστούν και να ενταχθούν σε ένα κοινό – ενιαίο σύστημα αναφοράς, μέσω της διαδικασίας συνένωσης νεφών (resgistration). Για την ένταξη του μοντέλου σε ένα ορισμένο σύστημα αναφοράς είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν 6 παράμετροι  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ,  $\Delta \omega$ ,  $\Delta \phi$ ,  $\Delta \kappa$ . Οι παράμετροι αυτοί είναι οι 3 μεταθέσεις του μοντέλου κατά τους άξονες και οι 3 στροφές (Reshetnyuk 2009). Η μέθοδος της συνένωσης των νεφών διαχωρίζεται σε δύο βασικές περιπτώσεις, ανάλογα με την τοποθέτηση του οργάνου κατά την αποτύπωση. Στην πρώτη περίπτωση κατά την διαδικασία της σάρωσης το όργανο τοποθετείται σε τυχαία θέση (άγνωστες συντεταγμένες), ενώ στην δεύτερη το όργανο κεντρώνεται σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες.



Εικόνα 31. Συνένωση μεταξύ Δύο Θέσεων Σάρωσης [27]

Στην πρώτη περίπτωση που το όργανο τοποθετείται σε τυχαία θέση, δηλαδή δεν είναι κεντρωμένο και οριζοντιωμένο σε σημείο γνωστών συντεταγμένων είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός επικαλυπτόμενου τμήματος μεταξύ των δύο σαρώσεων στο οποίο να μπορεί να επιλεγούν τουλάχιστον τρία (3) διακριτά σημεία. Τα σημεία αυτά ονομάζονται «ομόλογα» και μπορεί να είναι, είτε χαρακτηριστικά σημεία λόγω γεωμετρίας πάνω στο αντικείμενο που σαρώνεται (όπως κορυφές), είτε ειδικοί στόχοι που αναγνωρίζονται από το λογισμικό που συνοδεύει το όργανο (σφαιρικοί ή αυτοκόλλητοι στόχοι). Με γνώστες τις συντεταγμένες των δύο σημείων σε γνωστό σύστημα αναφοράς προσδιορίζονται οι 6 παράμετροι ( $\{DX, DY, DZ\}$  – η θέση ενός σημείου του μοντέλου στο χώρο,  $\{D\omega, D\phi, D\kappa\}$  – ο προσανατολισμός του μοντέλου στο χώρο), ενώ με μία συντεταγμένη του τρίτου σημείου προσδιορίζεται η στροφή του μοντέλου στο χώρο ως προς τον εαυτό του.

Στην δεύτερη περίπτωση, όπου η σάρωση πραγματοποιείται από ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων, με την κέντρωση του σαρωτή προσδιορίζονται οι παράμετροι  $DX, DY, DZ$ , ενώ με την οριζόντιωση προσδιορίζεται η στροφή του μοντέλου στο χώρο ως προς τον εαυτό του. Με τη σάρωση ενός γνωστού σημείου (ειδικός σφαιρικός στόχος) προσδιορίζονται οι παράμετροι  $D\omega, D\phi$  και  $D\kappa$ , δηλαδή ο προσανατολισμός του μοντέλου στον χώρο. Συνεπώς, για την ένταξη των νεφών σημείων σε ένα ορισμένο σύστημα αναφοράς, όταν ο σαρωτής είναι κεντρωμένος και οριζοντιωμένος σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες, αρκεί η χρήση ενός μόνο σφαιρικού στόχου.

Σε αντιστοιχία με την τοποθέτηση του σαρωτή υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μέθοδοι συνένωσης νεφών σημείων:

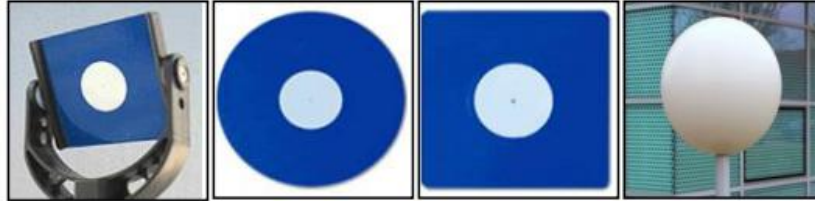
#### ❖ **Με χρήση ομόλογων σημείων (Cloud based Registration)**

Με τη μέθοδο των ομόλογων σημείων πραγματοποιείται συνένωση δύο νεφών σημείων που έχουν μεταξύ τους τουλάχιστον 30% επικάλυψη. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο του επαναληπτικά κοντινότερου σημείου (Iterative Closest Point, ICP) και απαιτεί από τον χρήστη να επιλέξει χειροκίνητα τουλάχιστον τρία (3) ομόλογα (κοινά) σημεία και στα δύο νέφη σημείων. Στην πραγματικότητα, τα σημεία που επιλέγονται δεν θα είναι ακριβώς τα ίδια και ο αλγόριθμος επαναληπτικά ελέγχει την απόσταση μεταξύ όλων των σημείων των νεφών υπολογίζοντας τον μετασχηματισμό έτσι ώστε να συνενώσει τα δεδομένων με το μικρότερο δυνατό σφάλμα. Για την επίτευξη βέλτιστης ακρίβειας της συνένωσης, τα σημεία που επιλέγονται οφείλουν να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στην περιοχή επικάλυψης, να είναι ευδιάκριτα και να είναι συνευθειακά. Τα σημεία αυτά επιλέγονται κατά το στάδιο επεξεργασίας και δεν πραγματοποιείται σήμανση τους επάνω στην επιφάνεια του αντικείμενο.

#### ❖ **Με χρήση ειδικών στόχων (Target based Registration)**

Κατά τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται ειδικοί κυκλικοί ή σφαιρικοί στόχοι και αυτοκόλλητα υψηλής ανακλαστικότητας, τα οποία αναγνωρίζονται από το λογισμικό του σαρωτή κατά την διαδικασία συνένωσης των νεφών. Οι ειδικοί αυτοί στόχοι πρέπει να τοποθετούνται κατά την διάρκεια των μετρήσεων στην επικαλυπτόμενη περιοχή μεταξύ των σαρώσεων, επί της επιφάνειας του αντικείμενου ή στον περιβάλλοντα χώρο. Οι στόχοι οφείλουν να τοποθετούνται ομοιόμορφα κατανεμημένα στην επικαλυπτόμενη περιοχή, να

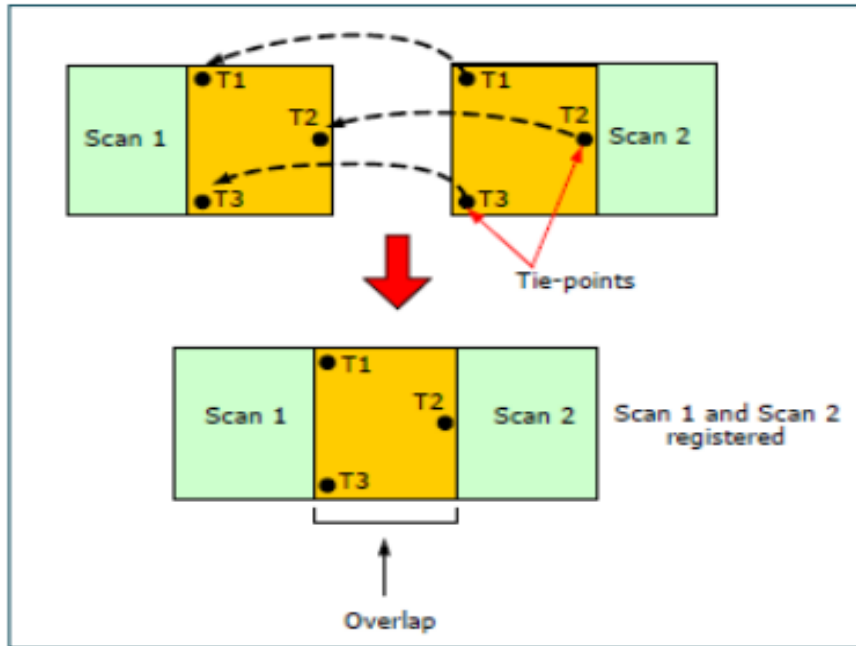
καλύπτουν τις τρεις διαστάσεις (X,Y,Z) και να μην είναι συνευθειακά. Οι παραπάνω στόχοι χρησιμοποιούνται στην συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία κατά την επεξεργασία των σαρώσεων στο λογισμικό Cyclone Leica για να υλοποιούν στο χώρο την αναγκαία πληροφορία που θα υποστηρίξει τον τρισδιάστατο μετασχηματισμό.



Εικόνα 32. Παραδείγματα τεχνητών στόχων και σφαίρα [41]

#### ❖ **Με γεωαναφορά (Registration to Survey controlled Targets)**

Στις περισσότερες εφαρμογές τρισδιάστατων αποτυπώσεων απαιτείται το προς αποτύπωση αντικείμενο να ενταχθεί σε κάποιο υπάρχον γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Αυτό πραγματοποιείται με την μέθοδο της γεωαναφοράς (georeference). Η μέθοδος της γεωαναφοράς περιλαμβάνει και αυτή την χρήση ειδικών στόχων, με μόνη διαφορά ότι οι στόχοι έχουν γνωστές τρισδιάστατες συντεταγμένες σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Στην συγκεκριμένη μέθοδο οι ειδικοί στόχοι δεν είναι απαραίτητο να τοποθετούνται στην επικαλυπτόμενη περιοχή μεταξύ των διάφορων σαρώσεων. Οι συντεταγμένες των στόχων προσδιορίζονται με τοπογραφική μέθοδο και χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Total Station). Όταν ολοκληρώνεται ο μετασχηματισμός μεταξύ των νεφών σημείων, εισάγονται οι γνωστές συντεταγμένες των στόχων και το τελικό συνενωμένο νέφος αποκτά το σύστημα αναφοράς που έχουν οι ειδικοί στόχοι.



Εικόνα 33. Συνένωση νεφών (registration) χρησιμοποιώντας στόχους (targets)

Το δεύτερο στάδιο της διαχείρισης των παραγόμενων δεδομένων αποτελεί η διαμόρφωση του τελικού προϊόντος. Ανάλογα με τις ανάγκες αποτύπωσης και απόδοσης του αντικειμένου που σαρώθηκε το τελικό προϊόν μπορεί να είναι η διαμόρφωση του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας (mesh) του αντικειμένου μελέτης ή η παραγωγή δισδιάστατων σχεδίων αυτού, όπως όψεις, τομές και κατόψεις. Το πιο σύνηθες προϊόν αυτής της διαδικασίας είναι η παραγωγή του ψηφιακού μοντέλου της γεωμετρίας του αντικειμένου με την μορφή ενός πολυγωνικού μοντέλου επιφάνειας (mesh), όπως το ακανόνιστο δίκτυο τριγώνων (TIN).

#### 4.6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER ΣΤΗΝ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

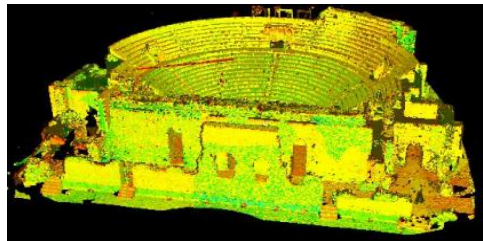
Η χρήση επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών laser, αποτελεί μια εναλλακτική και καινοτόμο μεθοδολογία, για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων. Στην ελληνική και ξένη βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος εφαρμογών χρήσης επίγειων σαρωτών laser για την αξιόπιστη και συστηματική καταγραφή μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς. Στην συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα των εφαρμογών αυτών και οι δυνατότητες μετέπειτα επεξεργασίας που προκύπτουν από το νέφος.

Το πρώτο παράδειγμα αφορά τη γεωμετρική τεκμηρίωση του ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών [5]. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, με την χρήση σαρωτή laser, πραγματοποιήθηκαν 30 σαρώσεις καλύπτοντας κάθε περιοχή του Ωδείου. Από τα δεδομένα των σαρώσεων προέκυψε το τελικό νέφος σημείων της απεικόνισης του ρωμαϊκού Ωδείου και παράχθηκαν

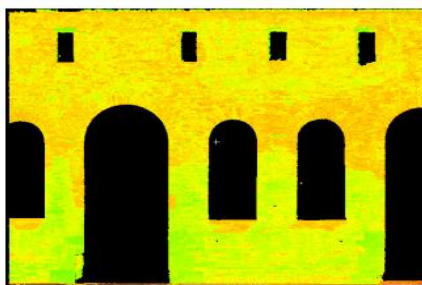


τα δισδιάστατα σχέδια των κάθετων τομών και όψεων αυτού. Πέρα από τα περιγράμματα των όψεων του μνημείου πραγματοποιήθηκε ρεαλιστική απόδοση της υφής (φυσικά χρώματα) στα σχέδια αυτά, συνδυάζοντας τα δεδομένα των σαρώσεων με προσθήκη εικόνας από φωτογραφική κάμερα. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται «texture mapping» και απεικονίζει τα αντικείμενα που έχουν σαρωθεί (point cloud) χρησιμοποιώντας τα χρώματα της εικόνας από την κάμερα. Για τη δημιουργία του «texture map» χρειάζονται τουλάχιστον 7 ομόλογα σημεία διακριτά τόσο στο νέφος σημείων (point cloud) όσο και στη φωτογραφία. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, η λήψη εικόνας με φωτογραφική μηχανή, πέρα από τη λήψη εικόνας από το σαρωτή (εάν υπάρχει αυτή η δυνατότητα), προσφέρει ορισμένες φορές πιο πιστό αποτέλεσμα ως προς τη χρωματική υφή του αντικειμένου, εξαιτίας της καλύτερης ανάλυσης της φωτογραφικής μηχανής.

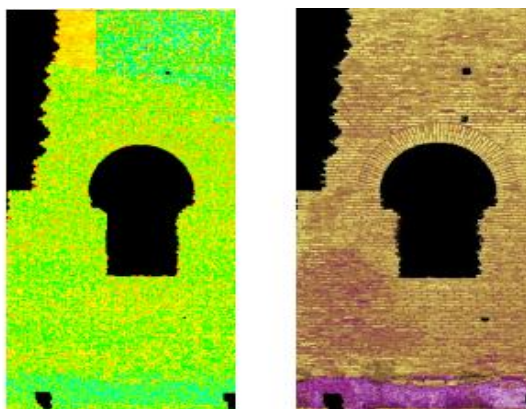
(α)



(β)



(γ)



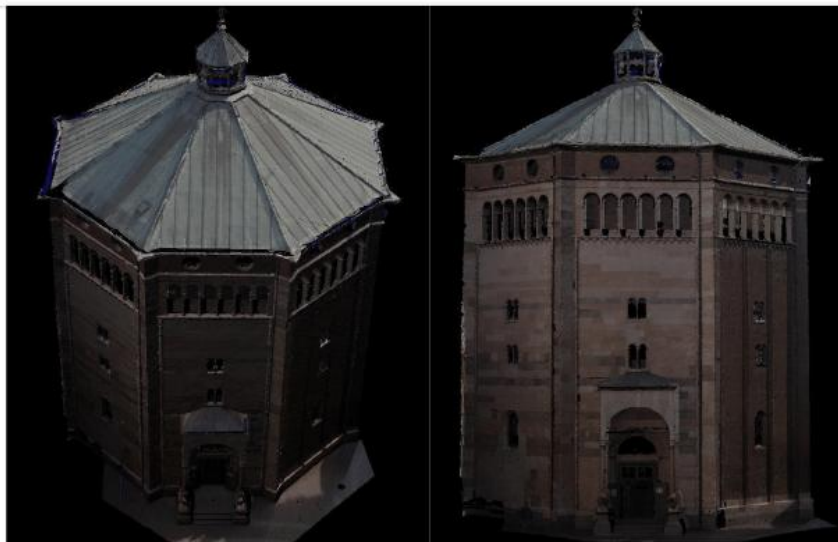
Εικόνα 34. (α) Τελικό συνενωμένο νέφος σημείων (β) Point cloud και φωτογραφία (επάνω) για την εφαρμογή του texture map για το τελικό σχέδιο της όψης (κάτω)(γ) Νέφος σημείων πριν (αριστερά) και μετά την εφαρμογή του Mesh (δεξιά). [5]

Επίσης, στην συγκεκριμένη εφαρμογή παρουσιάζεται μια διαφορετική τεχνική για την απόδοση υφής σε μια όψη με την προσαρμογή επιφάνειας (mesh) πάνω στο νέφος σημείων. Η τεχνική αυτή επιλέγεται όταν το νέφος σημείων δεν είναι αρκετά πυκνό και συνεπώς δεν μπορεί να απεικονιστεί με λεπτομέρεια η ρεαλιστική του υφή. Η εναλλαγή που εμφανίζεται στα χρώματα οφείλεται ανακλαστικότητα του κάθε υλικού του αντικειμένου. Έτσι, στα τελικά αποτελέσματα της σάρωσης δίνεται η δυνατότητα εκτός από τις συντεταγμένες κάθε σημείου του νέφους, να γίνεται και παρουσίαση της τιμής της ανακλαστικότητας τους. Η τιμή αυτή επηρεάζεται επίσης και από την γωνία πρόσπτωσης, για αυτόν τον λόγο διαφορετικές σαρώσεις μπορεί να έχουν διαφορετικές αποχρώσεις στη σάρωση του ίδιου αντικειμένου.

Το δεύτερο παράδειγμα αφορά, την δημιουργία ψηφιακού τρισδιάστου μοντέλου με υφή του οκταγωνικού βαπτιστηρίου του καθεδρικού Ναού της Κρεμόνας, στην Ιταλία (Conforti Andreoni and Pinto 2004). Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, ακολουθείται αντιστοίχως η διαδικασία αποτύπωσης με χρήση επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή laser σε συνδυασμό με την φωτογραμμετρική μέθοδο. Τα παραγόμενα δεδομένα των μετρήσεων αποτελούνται από 22 φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης και 14 σαρώσεις από τον laser scanner. Η εφαρμογή παρουσιάζει τη μοντελοποίηση των επιφανειών ( απόδοση mesh) από το συνενωμένο νέφος των σαρώσεων και στην συνέχεια χρησιμοποιεί την τεχνική «texture mapping» για την απόδοση της ρεαλιστικής υφής του Ναού (φυσικά χρώματα).

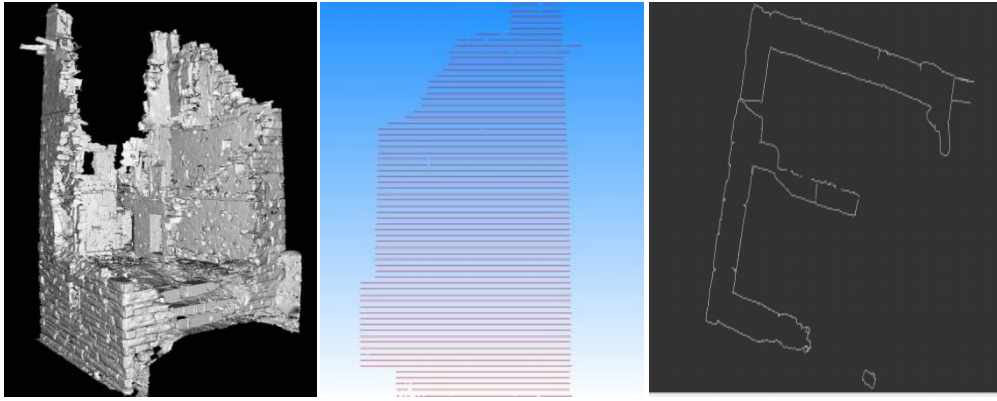


Εικόνα 35. Συνενωμένο νέφος σημείων (αριστερά), η Νότια όψη του Ναού από το νέφος σημείων και η απόδοση επιφάνειας mesh (αριστερά) [28]



Εικόνα 36. Απόδοση υφής στην Νότια όψη με χρήση φωτογραφικών εικόνων (texture mapping) [28]

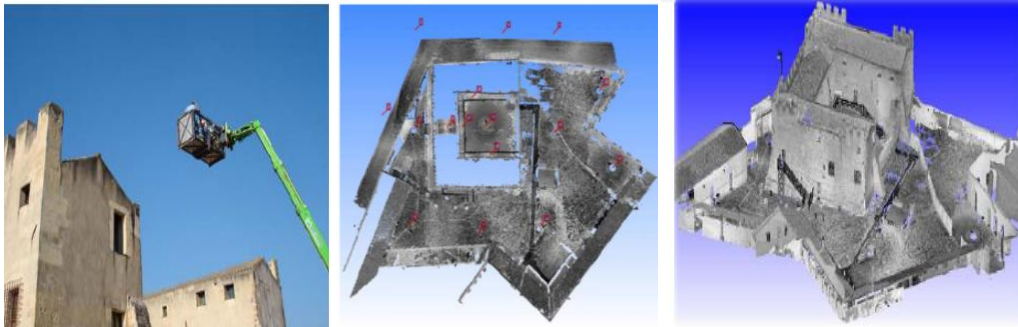
Το τρίτο παράδειγμα αφορά την αποτύπωση του Αρχαίου Πύργου στην Αγία Μαρίνα, Κέας, με χρήση Laser Scanner [29]. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει στην συγκεκριμένη εφαρμογή η αυτοματοποιημένη εξαγωγή οριζόντιων και κατακόρυφων διατομών (τομών), κατά μήκος του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας (3d mesh) που προκύπτει από το νέφος σάρωσης. Η αυτοματοποιημένη αυτή διαδικασία πραγματοποιείται μέσω λογισμικού, όπου ο χρήστης ορίζει απλώς το επιθυμητό βήμα των τομών αυτών.



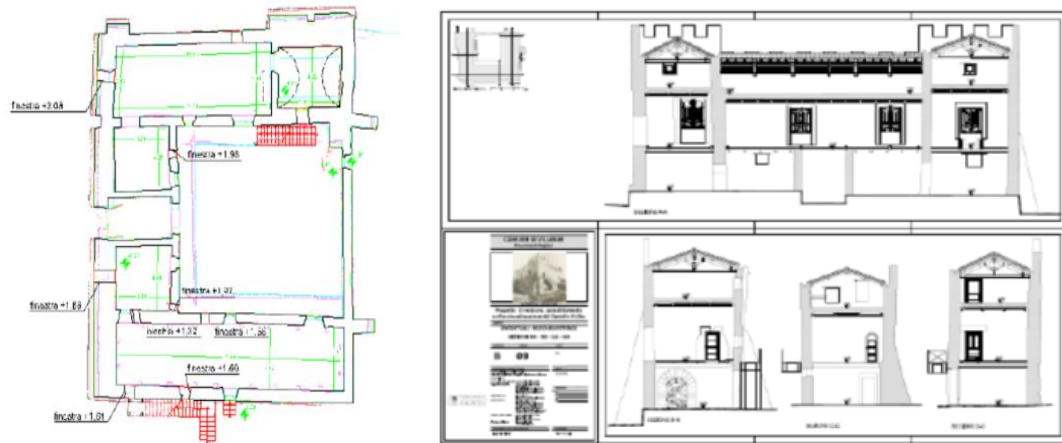
Εικόνα 37. Τρισδιάστατο μοντέλου του Πύργου (3d mesh) και διαδικασία αυτόματης εξαγωγής διατομών [29]

Το τελευταίο παράδειγμα αφορά την έρευνα για την συντήρηση και αποκατάστασης της πολιτιστικής κληρονομιάς, με εφαρμογή στο Κάστρο Siviller (15ου αιώνα), που βρίσκεται στο Villasor της Ιταλίας [30]. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην αυτόματη (ή με περιορισμένη χειροκίνητη διαδικασία) εξαγωγή δισδιάστατων σχεδίων του Κάστρου, από δεδομένα που προέκυψαν κατά την αποτύπωση του με Laser Scanner.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ανυψωτική πλατφόρμα ώστε να πραγματοποιηθούν σαρώσεις από υψόμετρο και να αποτυπωθεί η απαραίτητη πληροφορία για την οροφή του μνημείου. Από το τρισδιάστατο μοντέλο (3d mesh) που προέκυψε από τις σαρώσεις, δημιουργήθηκαν οριζόντιες και κάθετες διατομές.



Εικόνα 38. Ανυψωτική πλατφόρμα (αριστερά), θέσεις σαρώσεων και τρισδιάστατο μοντέλο 3d mesh (δεξιά) [30]



Εικόνα 39. Δημιουργία κάτοψης όπως προέκυψε από το νέφος σημείων (αριστερά) και παραγωγή κάθετων τομών (δεξιά) [30]



## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> . ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίγεια τρισδιάστατη σάρωση laser της Ιεράς Μονής Άτρου και την επεξεργασία των παραγόμενων δεδομένων, με θεωρητικό υπόβαθρο τα κεφάλαια 3 και 4 που αναπτύχθηκαν προηγουμένως.

### 5.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### 5.1.1 ΙΔΡΥΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Για την γεωαναφορά του τρισδιάστατου μοντέλου της Ιεράς Μονής Άτρου στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ'87, χρησιμοποιήθηκε το δίκτυο οριζόντιου ελέγχου που δημιουργήθηκε παράλληλα για την τοπογραφική αποτύπωση της Μονής από ομάδα φοιτητών του τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής (Π.Δ.Α.). Το δίκτυο υλοποιήθηκε στον περιβάλλοντα χώρο της Μονής και οι κορυφές του σημάνθηκαν με αστάλινα καρφιά σε σταθερά σημεία.

Το δίκτυο εντάχθηκε στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 - ΕΓΣΑ'87 (ΟΚΧΕ, 1987) με τη χρήση του τριγωνομετρικού σημείου της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) με κωδικό 003040 (Κακιά Κόψη) που βρίσκεται κοντά στην περιοχή. Πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσεις στις 7 κορυφές του δικτύου με τέσσερις δέκτες GNSS JAVAD Triumph-1 και τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού, με διάρκεια καταγραφής σε κάθε στάση μια (1) ώρα. Η επίλυση των βάσεων πραγματοποιήθηκε με εκ των υστέρων επεξεργασία (post-processing) και η υλοποίηση του συστήματος αναφοράς ΕΓΣΑ'87 έγινε με τη δέσμευση των συντεταγμένων του τριγωνομετρικού σημείου ως σταθερές.



Εικόνα 40. Τριγωνομετρικό σημείο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) με κωδικό 003040 «Κακιά Κόψη»



Εικόνα 41. Ίδρυση κορυφών δικτύου με δορυφορικές παρατηρήσεις

Οι συντεταγμένες του τριγωνομετρικού σημείου της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού «003040» είναι:

ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	H (m)
<b>003040</b>	215480.016	4227699.842	532.292

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου που υλοποιήθηκε, ενταγμένες στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, καθώς και οι ακρίβειες προσδιορισμού τους. Η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων είναι της τάξης μερικών χιλιοστών, εκτός από την κορυφή «S14», όπου η υψομετρική ακρίβεια ισούται με 1,1 εκατοστά.

ΣΤΑΣΗ	X (m)	$\sigma_x$ (cm)	Y (m)	$\sigma_y$ (cm)	H (m)	$\sigma_H$ (cm)
<b>S10</b>	215192.218	± 0.6	428206.828	± 0.7	535.25	± 0.9
<b>S11</b>	215222.971	± 0.5	4228244.244	± 0.6	537.77	± 0.8
<b>S12</b>	215263.599	± 0.7	4228256.840	± 0.7	540.30	± 0.8
<b>S13</b>	215175.442	± 0.8	4228236.725	± 0.7	542.43	± 0.9
<b>S14</b>	215250.670	± 0.8	4228256.266	± 0.8	541.57	± 1.1
<b>S15</b>	215302.433	± 0.6	4228245.506	± 0.5	549.66	± 0.8
<b>S16</b>	215306.585	± 0.6	4228254.632	± 0.6	547.47	± 0.9

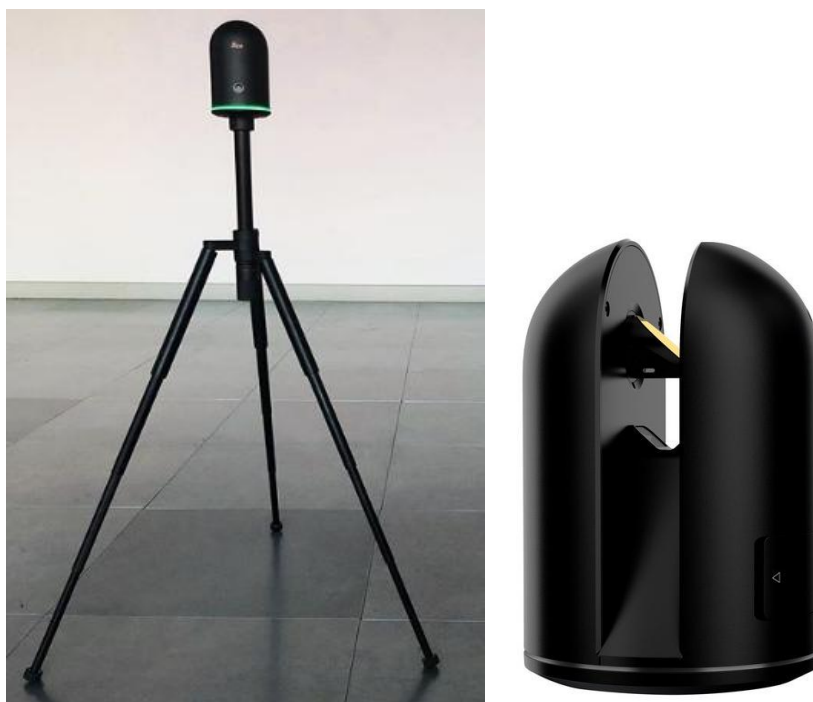
Πίνακας 1. Συντεταγμένες κορυφών δικτύου



### 5.1.2 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΑΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ

Σε κάθε μελέτη γεωμετρικής τεκμηρίωσης η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου που θα εφαρμοστεί εξαρτάται από πλήθος παραμέτρων, όπως ο απαιτούμενος βαθμός ακρίβειας, η προσβασιμότητα, μέγεθος και η πολυπλοκότητα του υπό μελέτη αντικειμένου, το κόστος και ο χρόνος. Με βάση αυτές τις παραμέτρους, στην συγκεκριμένη εφαρμογή για την γεωμετρική τεκμηρίωση της Ιεράς Μονής Άτρου επιλέχθηκε ως καταλληλότερη μέθοδος η επίγεια τρισδιάστατη σάρωση με χρήση laser scanner.

Για την τρισδιάστατη αποτύπωση της Ιεράς Μονής Άτρου, χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής Leica BLK360 (<https://lasers.leica-geosystems.com/blk360>), τύπου Time of Flight (TOF), που διαθέτει το τμήμα Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Ο μικρού μεγέθους σαρωτής Leica BLK360 είναι ιδιαίτερα εύχρηστος και προσφέρει σε μικρό χρόνο αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας (Παράρτημα 1).



Εικόνα 42. Ο σαρωτής Leica BLK360 [41]

Η τρισδιάστατη αποτύπωση του υπό μελέτη μνημείου ξεκίνησε στις 22 Σεπτεμβρίου 2018 και ολοκληρώθηκε εντός δύο (2) ημερών, με καλές καιρικές συνθήκες καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων. Το πρώτο στάδιο που πραγματοποιήθηκε πριν την έναρξη της αποτύπωσης ήταν η αναγνώριση του υπό μελέτη αντικειμένου και του περιβάλλοντα χώρου, ώστε να γίνει βέλτιστη αντίληψη του χώρου, να εντοπιστούν οι λεπτομέρειες και οι

ιδιομορφίες του αντικειμένου και να επιλεγούν οι καταλληλότερες θέσεις τοποθέτησης του σαρωτή.

Υλοποιήθηκαν συνολικά 33 σαρώσεις 360° (Εικόνα 46), καλύπτοντας περιμετρικά το υπό μελέτη μνημείο, σε σημεία με άγνωστες συντεταγμένες χωρίς την ανάγκη οριζοντίωσης του οργάνου. Η κάθε σάρωση διήρκεσε 6 λεπτά και επιλέχθηκε η μεγαλύτερη πυκνότητα σάρωσης (High). Πριν ξεκινήσει η κάθε σάρωση, ο σαρωτής φωτογραφίζει το χώρο σφαιρικά (360°) λαμβάνοντας υψηλής ανάλυσης έγχρωμες εικόνες.



Εικόνα 43. Στιγμιότυπο από την διαδικασία των σαρώσεων στην στάση "S5"



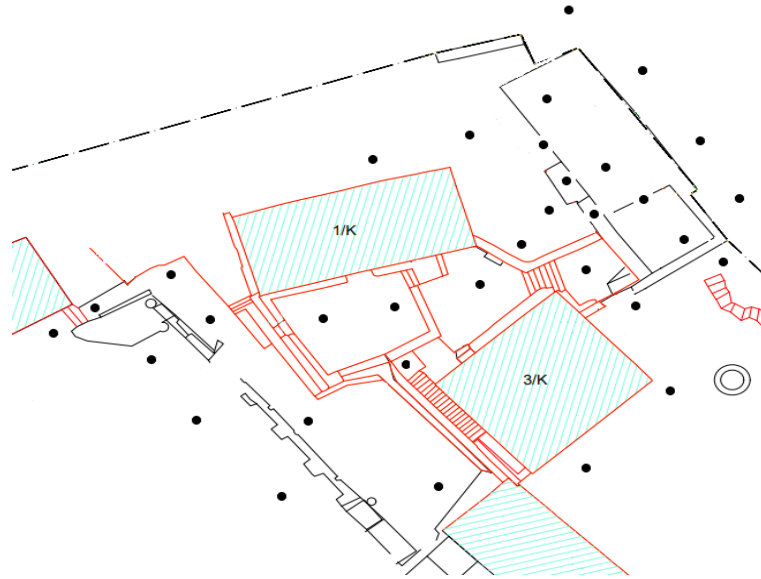
Εικόνα 44. Στιγμιότυπο από την διαδικασία των σαρώσεων στην στάση "S30"



Εικόνα 45. Στιγμιότυπο από την διαδικασία των σαρώσεων στην στάση "S3"

Οι στάσεις του οργάνου (θέσεις σαρωτή) τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να πληρούνται κάποια κριτήρια. Οι θέσεις επιλέχθηκαν ώστε να καλύπτουν όσο γίνεται συνολικά το μνημείο μελέτης και να υπάρχει μεγάλη επικάλυψη μεταξύ των διαδοχικών σαρώσεων (>35%), ώστε να δημιουργούνται αρκετές ομολογίες για την συνένωση των νεφών (τουλάχιστον 5 ομόλογα σημεία). Επίσης, ο σχεδιασμός των σαρώσεων έγινε με σκοπό να αποφευχθούν τυχόν αποκρύψεις, από κολώνες, άλλα κτίσματα του μνημείου ή φυσικά εμπόδια. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν με σχεδόν σταθερό ύψος οργάνου, λόγω της ευκολίας μετακίνησης του επάνω στο τρίποδο (μικρές διαστάσεις και βάρος σαρωτή).



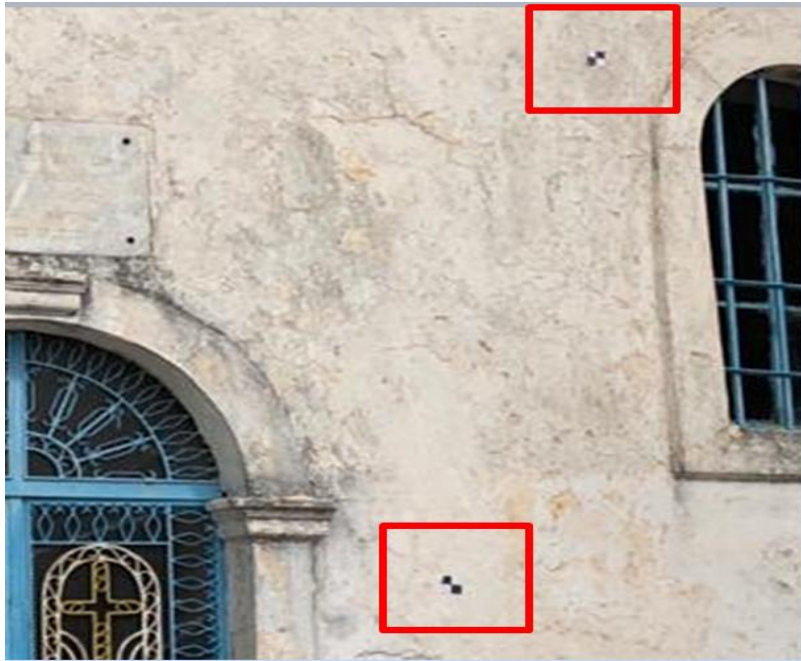


Εικόνα 46. Σκαρίφημα υλοποιημένων στάσεων του σαρωτή στον περιβάλλοντα χώρο της Μονής

Επιπλέον, για τις ανάγκες της αποτύπωσης χρησιμοποιήθηκαν τετραγωνικής διατομής αυτοκόλλητοι στόχοι διαστάσεων 10x10 cm, με μέριμνα να μην προκαλέσουν φθορές στο μνημείο. Τοποθετήθηκαν συνολικά 27 επίπεδοι χάρτινοι στόχοι (B&W targets) περιμετρικά στον χώρο της μονής, επάνω στις επιφάνειες των κτισμάτων της και με δυνατότητα θέασης τους από 2 κατ' ελάχιστον διαδοχικές σαρώσεις. Οι ειδικοί αυτοί στόχοι χρησιμοποιήθηκαν ως χαρακτηριστικά σημεία για την ένωση των διαδοχικών σαρώσεων μεταξύ τους αλλά και για την γεωαναφορά του τελικού νέφους σημείων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, καθώς επιλεγμένοι στόχοι μετρήθηκαν με χρήση γεωδαιτικό σταθμό "Total Station TS02".



Εικόνα 47. Ειδικοί αυτοκόλλητοι στόχοι (B&W targets)



Εικόνα 48. Ειδικό αυτοκόλλητο στόχοι (B&W targets)



Εικόνα 49. Ειδικό αυτοκόλλητο στόχοι (B&W targets)

Οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά της εργασίες πεδίου αφορούσαν την αποτύπωση των στεγών των κτισμάτων της Μονής. Λόγω της μη δυνατής πρόσβασης στις στέγες καθώς και της έλλειψης κάποιου άλλου ψηλού κτιρίου κοντά στα κτίσματα, δεν ήταν δυνατή η λήψη σαρώσεων από μεγαλύτερο ύψος, με αποτέλεσμα στα παραγόμενα δεδομένα να υπάρχει έλλειψη πληροφορίας για τις στέγες της εκκλησίας, του Μεσαιωνικού πύργου και του ξενώνα.

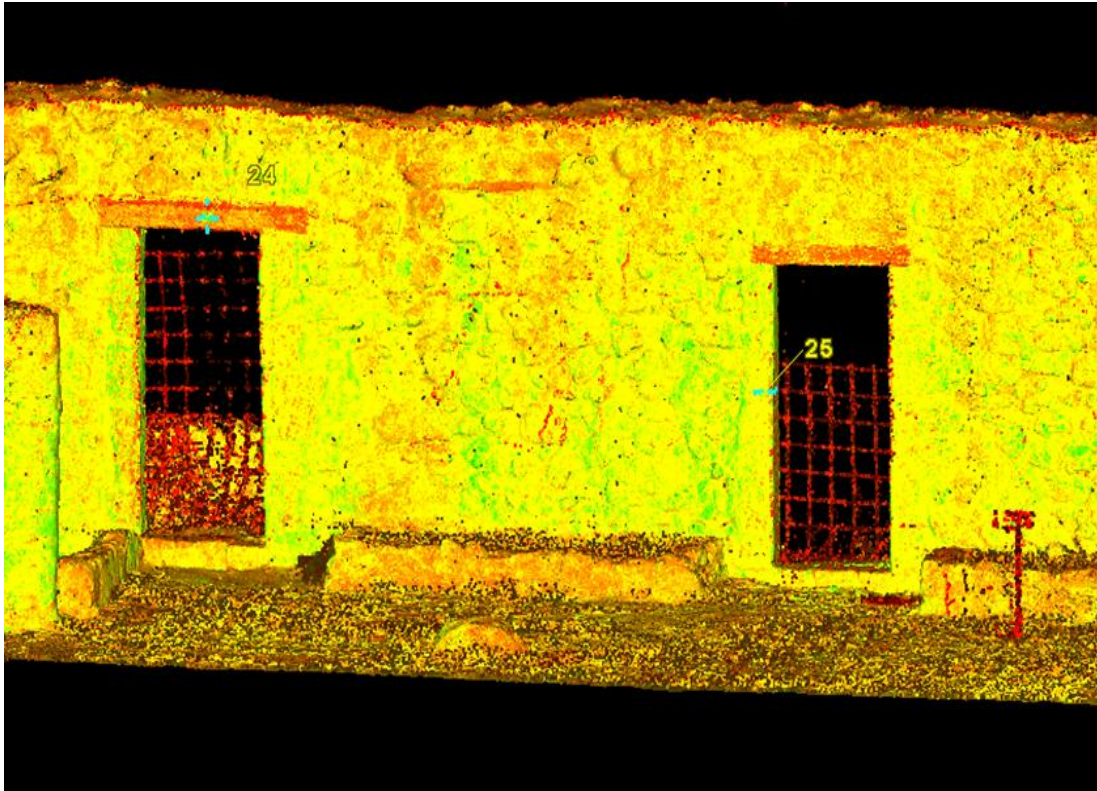
## 5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αποθηκεύονται αυτόματα στην κάρτα μνήμης SD του σαρωτή. Η μεταφορά των δεδομένων από τον σαρωτή στον ηλεκτρονικό υπολογιστή πραγματοποιήθηκε με χρήση της εφαρμογής «BLK360 Data Manager» που διατίθεται μαζί με το σαρωτή. Η διαδικασία συνένωσης των νεφών, δηλαδή η ένταξη όλων των σαρώσεων σε ενιαίο σύστημα αναφοράς, έγινε στο λογισμικό Cyclone της Leica Geosystems, το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για να είναι συμβατό με το laser scanner BLK360. Έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται μεγάλο όγκο των δεδομένων εύκολα και αποτελεσματικά, ενώ παράλληλα είναι φιλικό προς τον χρήστη. Το λογισμικό διαθέτει πλήθος λειτουργιών, όπως απλές μετρήσεις στην τρισδιάστατη προβολή, επεξεργασία, συνένωση και γεωαναφορά νεφών σημείων. δημιουργία μοντέλων και την εξαγωγή δεδομένων σε διάφορες μορφές.

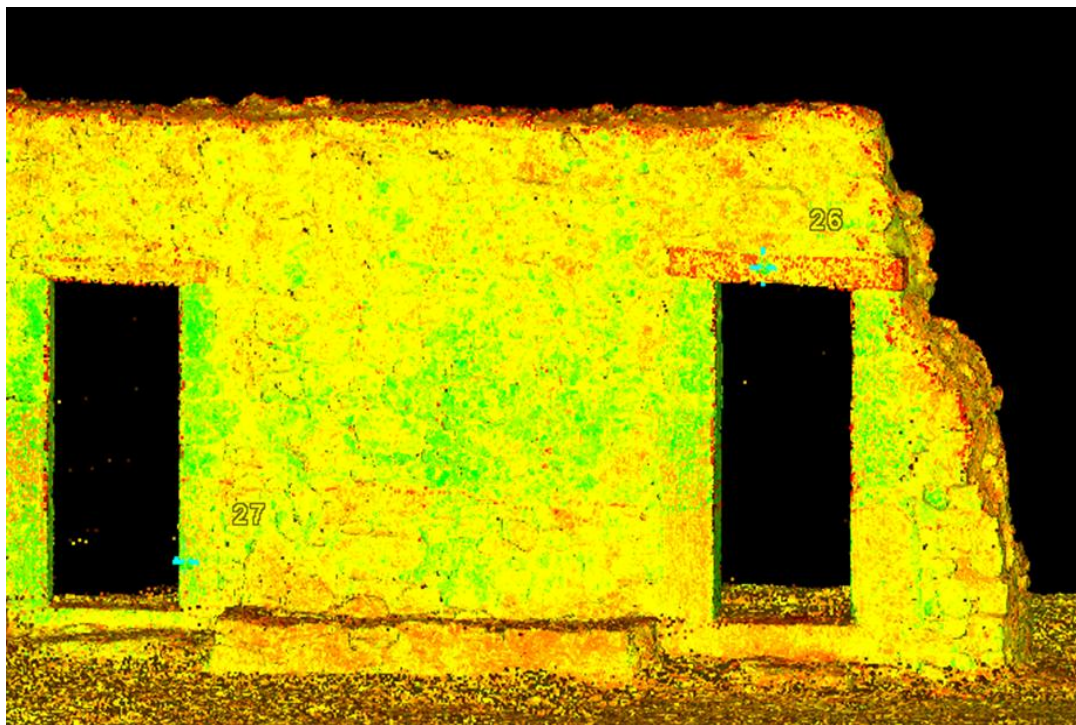
Μετά την εισαγωγή των αρχείων σαρώσεων στο περιβάλλον του Cyclone, ξεκινάει η συνένωση των νεφών σημείων (registration), διαδικασία που περιγράφηκε εκτενώς στο Κεφάλαιο 4. Όπως αναφέρθηκε, τα νέφη σημείων μετασχηματίζονται σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς είτε με χρήση ομόλογων σημείων στις επικαλυπτόμενες περιοχές των διαδοχικών σαρώσεων είτε με τη χρήση ειδικών στόχων. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, η διαδικασία της συνένωσης πραγματοποιήθηκε με συνδυασμό των δυο μεθόδων.

Λόγω της ύπαρξης αυτοκόλλητων επίπεδων στόχων σε αυτή την εφαρμογή τα δεδομένα εισήχθησαν με ενεργοποιημένη την επιλογή "Auto Target" και το πρόγραμμα επιχειρεί να εντοπίσει αυτόματα τους στόχους. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να απενεργοποιήσει κάποιους από αυτούς ή να προσθέσει περισσότερους, με σκοπό να βελτιστοποιηθεί η ακρίβεια της συνένωσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου το πρόγραμμα δεν μπόρεσε να εντοπίσει κάποιους από αυτούς λόγω θορύβου, οι θέσεις τους επιλέχθηκαν χειροκίνητα. Αξίζει να σημειωθεί πως για κάθε έναν από τους στόχους που εντοπίστηκε αυτόματα πραγματοποιήθηκε έλεγχος καθώς, το λογισμικό μπορεί να αναγνωρίσει κάποιο λανθασμένο μοτίβο ως στόχο ή το κέντρο του να αποκλίνει από το πραγματικό. Έτσι, ελέγχτηκαν όλοι οι στόχοι και διορθώθηκαν χειροκίνητα όπου χρειάστηκε.





Εικόνα 50. Στιγμιότυπο από την διαδικασία αυτόματης εύρεσης, ελέγχου και διόρθωσης των θέσεων ειδικών στόχων (Στόχοι 24 και 25)



Εικόνα 51. Στιγμιότυπο από την διαδικασία αυτόματης εύρεσης, ελέγχου και διόρθωσης των θέσεων ειδικών στόχων (Στόχοι 26 και 27)

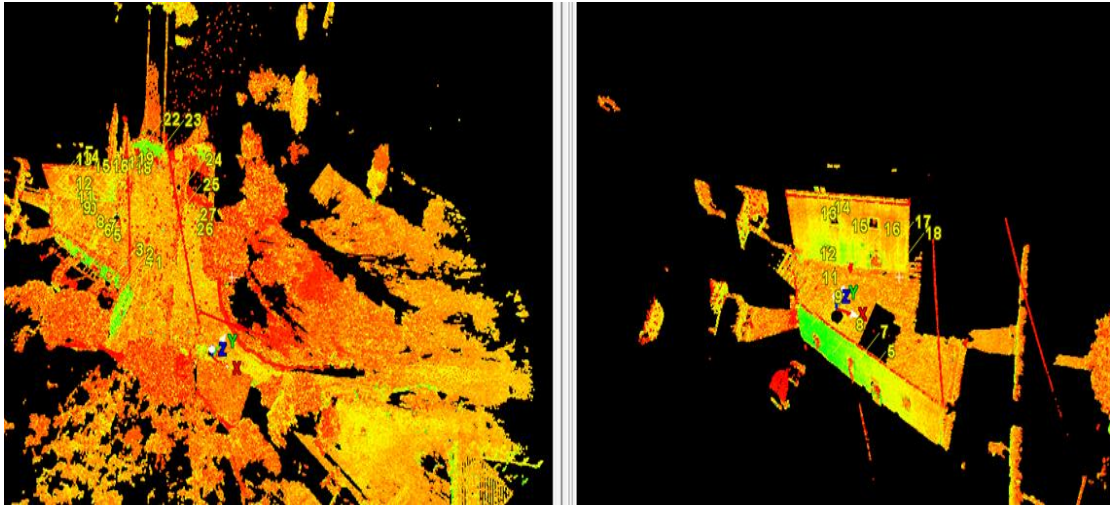




Εικόνα 52. Στιγμιότυπο κατά την διαδικασία ορισμού των ειδικών στόχων που δεν αναγνωρίστηκαν αυτόματα από το λογισμικό

Για τον προσανατολισμό δυο νεφών σημείων σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς το λογισμικό Cyclone χρησιμοποιεί τον γνωστό αλγόριθμο επαναληπτικής προσέγγισης σημείου, Iterative Closest Point (ICP). Ο αλγόριθμος ICP εκτελείται σε δυο διαφορετικές φάσεις. Στην πρώτη φάση, γίνεται η εύρεση και η αντιστοίχιση των κοινών σημείων (ομόλογα σημεία ή ειδικοί στόχοι) μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων που επιθυμούμε να ενοποιήσουμε. Η δεύτερη φάση, αποτελείται από τον χωρικό μετασχηματισμό των νεφών ο οποίος ελαχιστοποιεί την τετραγωνική απόσταση μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος αρχικά υπολογίζει τη μέση τετραγωνική απόσταση των σημείων και μετά πραγματοποιούνται οι μετασχηματισμοί (μεταθέσεις) των νεφών. Τα δυο αυτά βήματα επαναλαμβάνονται (iteration) μέχρι να βρεθεί η ελάχιστη τετραγωνική απόσταση και η καλύτερη συνταύτιση των νεφών.

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν τουλάχιστον επτά (7) ομόλογα σημεία ή/και ειδικοί στόχοι για κάθε μια διαδοχική συνένωση νεφών. Τα ομόλογα σημεία επιλέχθηκαν ώστε να αξιοποιείται η επικαλυπτόμενη επιφάνεια των νεφών, να είναι καλά κατανομημένα και να μην είναι συνευθειακά.



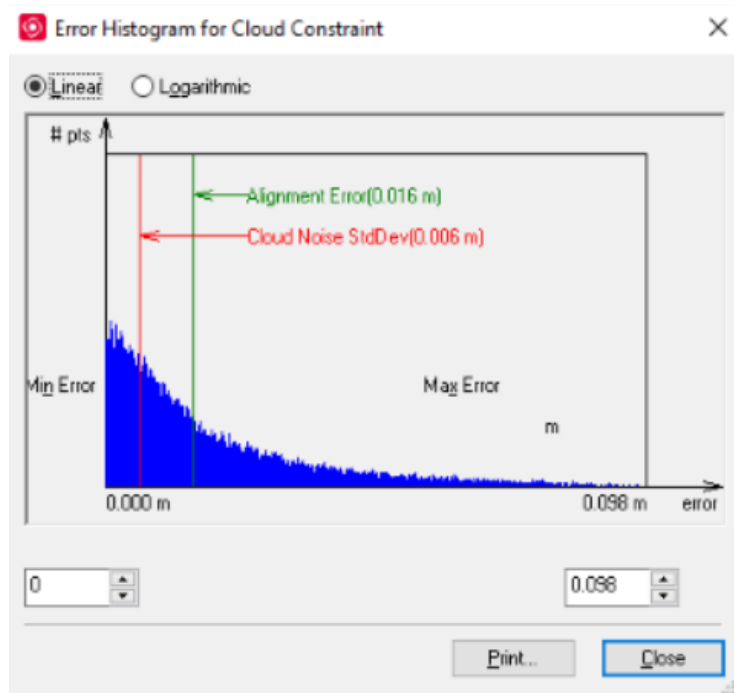
Εικόνα 53. Στιγμιότυπο από την διαδικασία συνένωσης (registration) δυο διαδοχικών σαρώσεων

Μετά την επιλογή των χαρακτηριστικών σημείων ορίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι του αλγορίθμου προκειμένου να ξεκινήσει η επαναληπτική διαδικασία του μετασχηματισμού:

- Μέγιστη απόσταση εύρεσης γειτονικών σημείων: 0.1m,
- Ποσοστό τυχαίων σημείων συνένωσης: 10%,
- Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων: 100.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σταδιακά για όλες τις σαρώσεις ώστε να προκύψει το τελικό ενιαίο νέφος σημείων. Κατά την ολοκλήρωση της συνένωσης εξάγεται από το πρόγραμμα αναλυτική αναφορά για όλες τις παραμέτρους, καθώς και για την ακρίβεια με την οποία αυτή πραγματοποιήθηκε. Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα «cloud constraint diagnostics» περιλαμβάνουν το σφάλμα για κάθε περιορισμό, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS), καθώς και ιστόγραμμα σφάλματος για κάθε περιορισμό με επικαλυπτόμενα νέφη.

Το τελικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) συνένωσης των σαρώσεων στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ίσο με 0,016m, παρουσιάζεται στην Εικόνα 54. Αποσπάσματα από τα σφάλματα των συνενώσεων και τα ιστογράμματα σφαλμάτων των επιμέρους συνενώσεων παρατίθενται στο Παράρτημα 2. Για όλες τις διαδοχικές σαρώσεις που πραγματοποιήθηκαν το μέσο τετραγωνικό σφάλμα κυμαίνεται από 0,009m έως 0,016m.



Εικόνα 54. Ιστόγραμμα σφαλμάτων συνένωσης νέφους σημείων με τελικό RMS 0.016m

```

Cloud/Mesh 1 [ScanWorld [1-14-16-17-18-24-26-21-23-25-19-20-27-28-29-30-31-32-34-35-36-37-38-39-12-2-3-4-5] : ScanWorld [8--9--10-11]]
Translation: (-19.174, 6.181, -4.053) m
Rotation: (0.0000, -0.0004, 1.0000):132.812 deg

Objective Function Value: 0.000206132 sq m
Iterations: 25
Overlap Point Count: 47658
Overlap Error Statistics
  RMS: 0.0159652 m
  AVG: 0.0123678 m
  MIN: 3.46007e-07 m
  MAX: 0.0498614 m
Overlap Center: (-11.546, 10.576, -3.050) m
Filter Parameters
  Max Search Distance: 0.100 m
  Subsample Percentage: 10.00
Stopping Criteria
  Max Iterations: 100

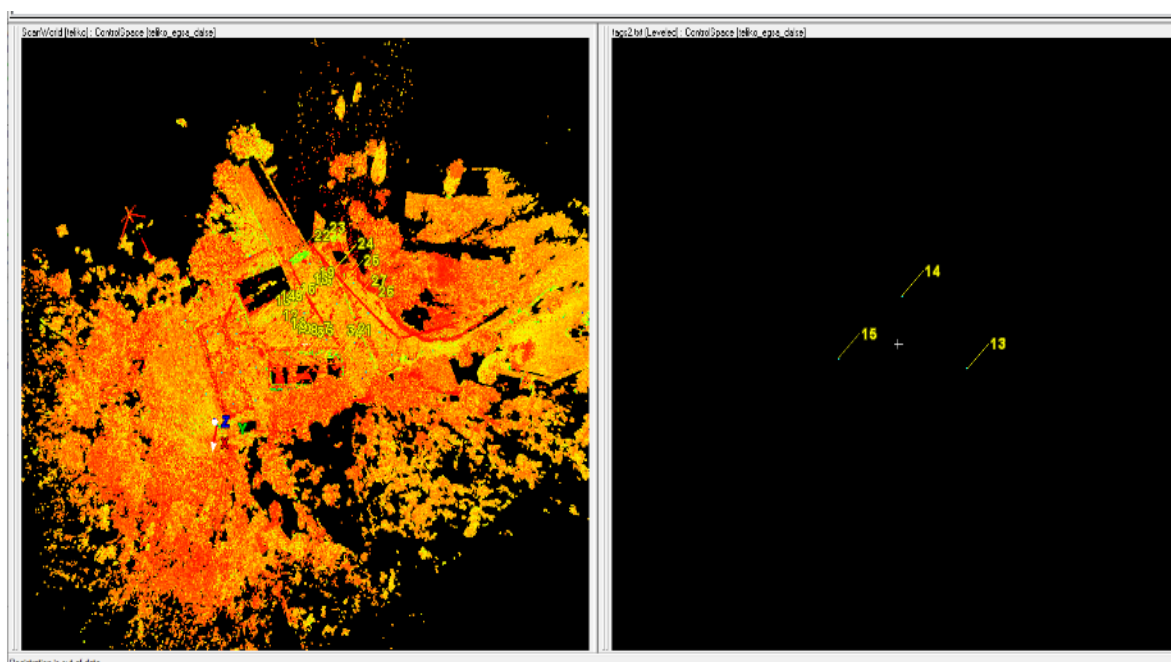
```

Εικόνα 55. Αναλυτική αναφορά των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν και του σφάλματος συνένωσης τελικού νέφους σημείων

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα και συνεπώς η ακρίβεια της συνένωσης των επιμέρους νεφών σημείων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ποσοστό επικάλυψης των νεφών σημείων μεταξύ τους, από τον αριθμό και την γεωμετρία των ομόλογων σημείων. Επομένως, προϋπόθεση για την επίτευξη της βέλτιστης ακρίβειας δεν είναι μόνο η μεγάλη αλληλοεπικάλυψη και ο μεγάλος αριθμός των χαρακτηριστικών ομόλογων σημείων αλλά και η σωστή κατανομή τους στον χώρο, όπως πραγματοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

Το τελικό νέφος σημείων που δημιουργήθηκε, προέκυψε από την συνένωση 33 επιμέρους σαρώσεων και αποτυπώθηκαν συνολικά περισσότερα από 1.000.000.000 σημεία με πυκνότητα σάρωσης 4mm. Κατά την διαδικασία της αποτύπωσης όλες οι αποστάσεις μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου δεν ξεπέρασαν τα 40m, βρίσκονται δηλαδή εντός των ορίων όπου η δέσμη του laser του σαρωτή έχει την ελάχιστη διάμετρο για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής ακρίβειας [34].

Η γεωαναφορά του τελικού νέφους στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ'87, πραγματοποιείται με την εισαγωγή των τρισδιάστατων συντεταγμένων επιλεγμένων ειδικών στόχων, οι οποίοι μετρήθηκαν με χρήση γεωδαιτικό σταθμό "Total Station TS02", όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 5.1.2. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τρεις (3) ειδικοί στόχοι και η διαδικασία της γεωαναφοράς ολοκληρώθηκε με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 0.007m.



Εικόνα 56. Στιγμιότυπο κατά την διαδικασία της γεωαναφοράς



Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.007 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2020.03.02 13:33:10

Database name : MOUNT\_ATROS

ScanWorlds

tags2.txt (Leveled)

ScanWorld [teliko]

Constraints

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Overlap Points	Error	Error Vector	Horz	Vert
15	tags2.txt (Leveled)	ScanWorld [teliko]	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.005 m	( 0.001, 0.001, 0.004) m	0.001 m	0.004 m
14	tags2.txt (Leveled)	ScanWorld [teliko]	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.008 m	(-0.006, -0.005, -0.003) m	0.008 m	-0.003 m
13	tags2.txt (Leveled)	ScanWorld [teliko]	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.007 m	( 0.005, 0.004, -0.002) m	0.006 m	-0.002 m

ScanWorld Transformations

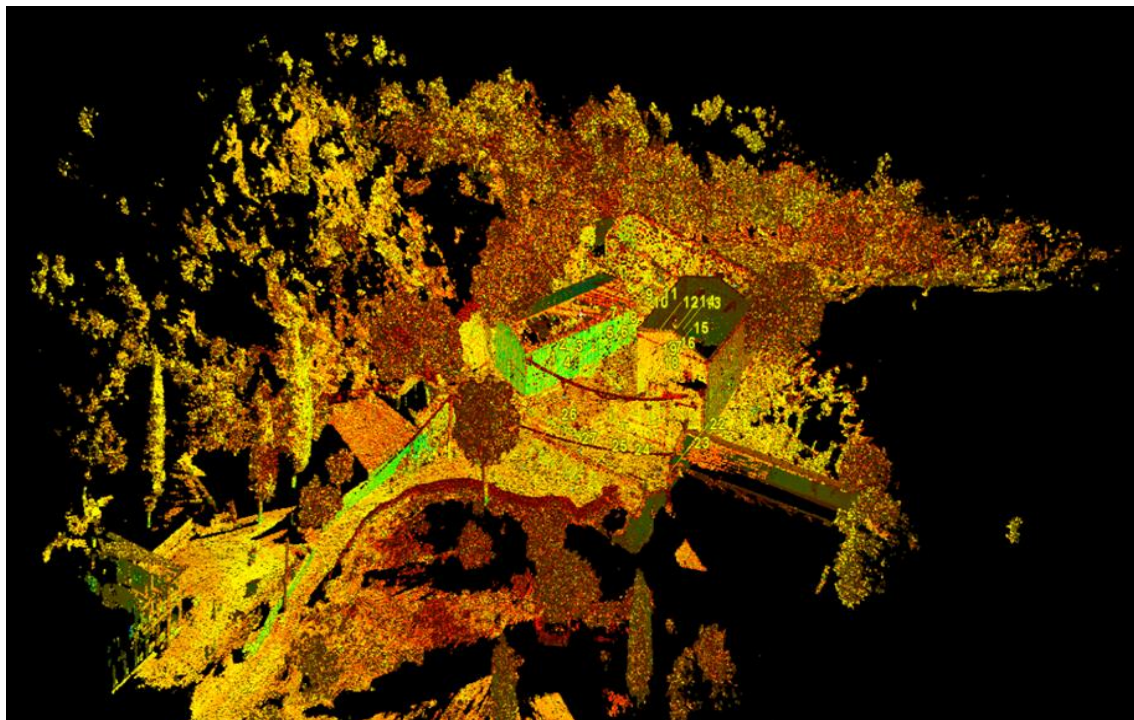
tags2.txt (Leveled)

translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Εικόνα 57. Αναφορά σφάλματος (RMS) για την γεωαναφοράς του νέφους

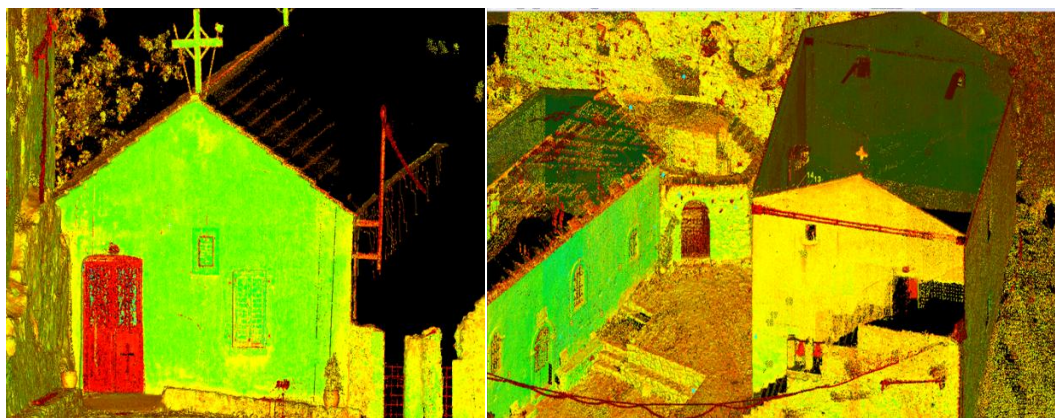
Το τελικό νέφος σημείων που δημιουργήθηκε με συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ'87 παρουσιάζεται στην Εικόνα 51:



Εικόνα 58. Τελικό νέφος σημείων όπως προέκυψε από τις διαδικασίες της συνένωσης και γεωαναφοράς με μετρητική πληροφορία στο ΕΓΣΑ'87

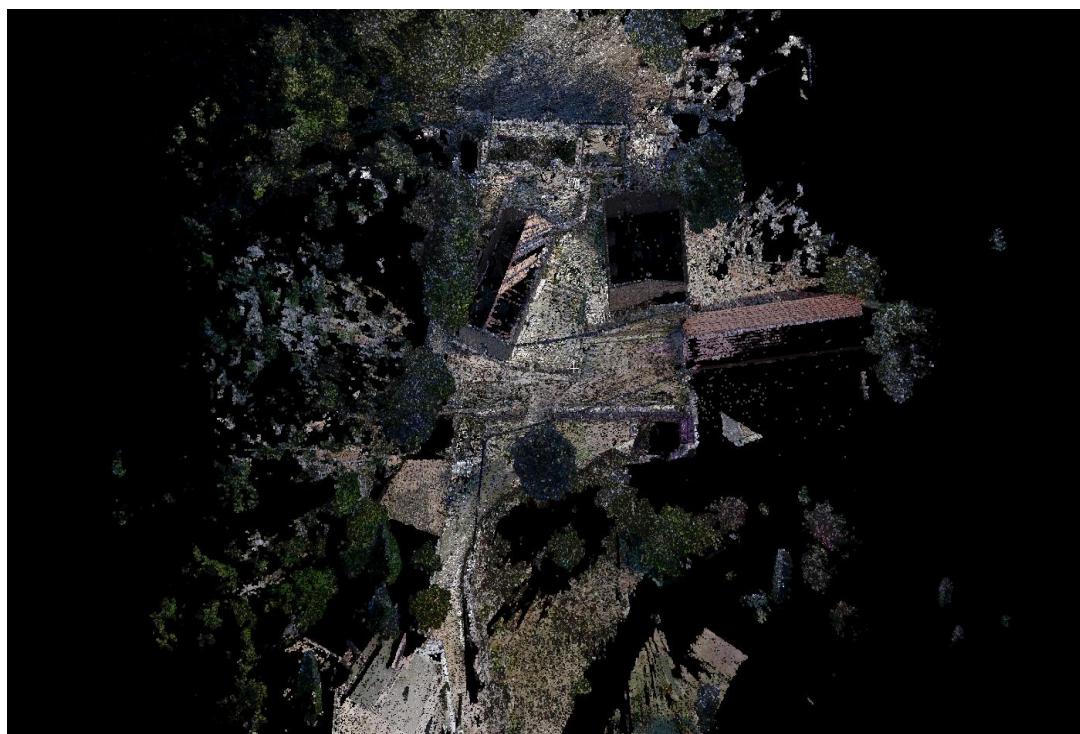
Οι ακρίβειες με την οποίες πραγματοποιήθηκαν τόσο η συνένωση των νεφών σημείων μεταξύ τους όσο και η γεωαναφορά στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ'87, κρίνονται ικανοποιητικές, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Στις σκεπές των κτισμάτων της μονής (Μεσαιωνικός πύργος, εκκλησία και ξενώνας) εμφανίζεται το αναμενόμενο πρόβλημα έλλειψης γεωμετρικής πληροφορίας, το οποίο οφείλεται, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, στην μη δυνατή λήψη σαρώσεων από μεγαλύτερο ύψος.



Εικόνα 59. Αποσπάσματα του νέφους σημείων όπου εμφανίζεται η έλλειψη μετρητικής πληροφορίας στις στέγες των κτισμάτων

Ο χρωματισμός του νέφους με τις πραγματικές τιμές RGB αποδίδεται από τις πανοραμικές φωτογραφίες που τραβήχτηκαν με την ενσωματωμένη κάμερα του σαρωτή στην αρχή της κάθε σάρωσης.

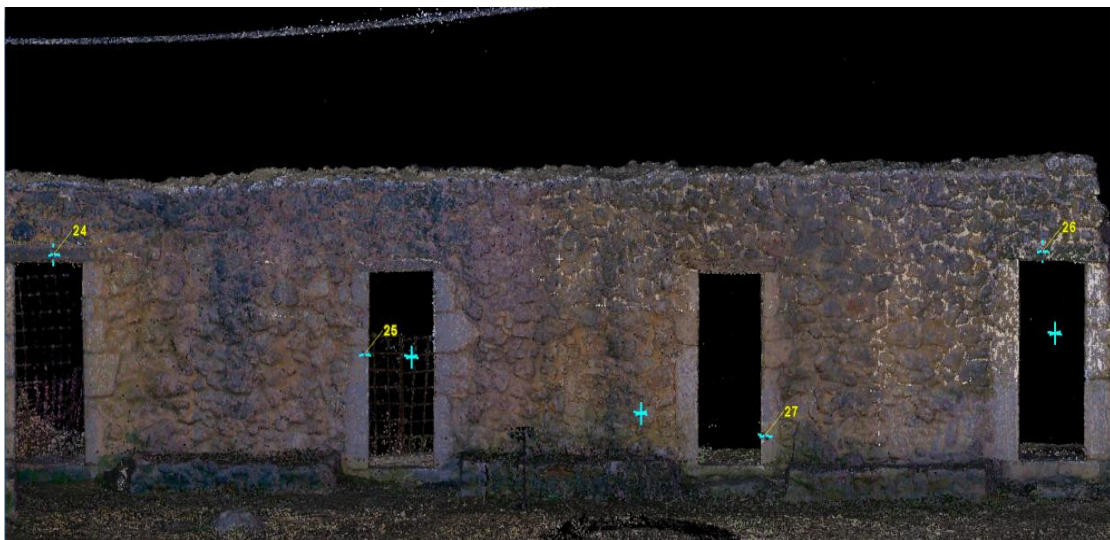


Εικόνα 60. Τελικό νέφος σημείων σε ΕΓΣΑ'87, μετρητική πληροφορία και χρώματα RGB





Εικόνα 61. Ανατολική άποψη του νέφους, το παλαιό ηγουμενείο της Μονής



Εικόνα 62. Άποψη τμήματος του νέφους, τα απομεινάρια των παλαιών κελιών της μονής





Εικόνα 63. Άποψη τμήματος του νέφους, ο Μεσαιωνικός πύργος της μονής



Εικόνα 64. Άποψη τμήματος του νέφους, η εκκλησία της μονής

## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> . ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Μετά τη συνένωση των σαρώσεων σε ένα ενιαίο γεωαναφερμένο νέφος σημείων, η πληροφορία που παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας πλήθους παραγώγων , όπως δισδιάστατα σχέδια (κατόψεις, τομές, όψεις), 3D μοντέλο του νέφους, τρισδιάστατη εκτύπωση του αντικειμένου υπό κλίμακα και βίντεο περιήγησης. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, περιγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία των παραγώγων της εργασίας αυτής από το τελικό νέφος σημείων.

### **6.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ ΤΟΥ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ**

#### **6.1.2 ΑΠΑΛΟΙΦΗ ΘΟΡΥΒΟΥ**

Απαραίτητο στάδιο για να ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής των δισδιάστατων σχεδίων του μεσαιωνικού πύργου από ένα νέφος σημείων αποτελεί ο εντοπισμός και η απαλοιφή των σημείων που αποτελούν θόρυβο. Είναι γεγονός ότι κατά τη διαδικασία της σάρωσης, ειδικότερα όταν πραγματοποιείται σε εξωτερικούς χώρους όπως στην συγκεκριμένη εφαρμογή, αποτυπώνεται και άχρηστη πληροφορία η οποία ονομάζεται «θόρυβος σάρωσης». Ο θόρυβος της σάρωσης μπορεί να αποτελείται από περιττά σημεία τα οποία επιλέγονται να αποτυπωθούν εν γνώση του χειριστή του οργάνου, με σκοπό να αποφευχθούν κενά στο τελικό αποτέλεσμα της αποτύπωσης, ή από σημεία που αποτυπώθηκαν από σφάλμα. Ενδεικτικές πηγές θορύβου μπορεί να είναι η βλάστηση και τα τεχνητά εμπόδια που βρίσκονται ανάμεσα στο όργανο και το αντικείμενο κατά την διαδικασία της σάρωσης ή επιφάνειες με μεγάλη αντανάκλαση, όπως για παράδειγμα γυαλιστερές επιφάνειες, κάτοπτρα και παράθυρα.

Επίσης, η απαλοιφή του θορύβου κρίνεται αναγκαία διαδικασία για οποιαδήποτε μετέπειτα επεξεργασία του νέφους καθώς αποτελείται από εκατομμύρια σημεία, γεγονός που επιβραδύνει όλες τις ενέργειες και καθιστά δύσκολη την επεξεργασία του από τα λογισμικά. Ο εντοπισμός και η απομάκρυνση των περιττών σημείων έγιναν στο περιβάλλον του λογισμικού Cyclone .

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η απαλοιφή του θορύβου αφορά την απομάκρυνση όλων των σημείων (βλάστηση, περιφράξεις, γειτονικά κτίσματα), εκτός του Μεσαιωνικού πύργου, του οποίου θέλουμε να δημιουργήσουμε την κάτοψη. Όλες οι αλλαγές κατά την διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκαν σε αντίγραφο του νέφους σημείων ώστε να μην χαθεί το συνολικό point cloud της μονής.

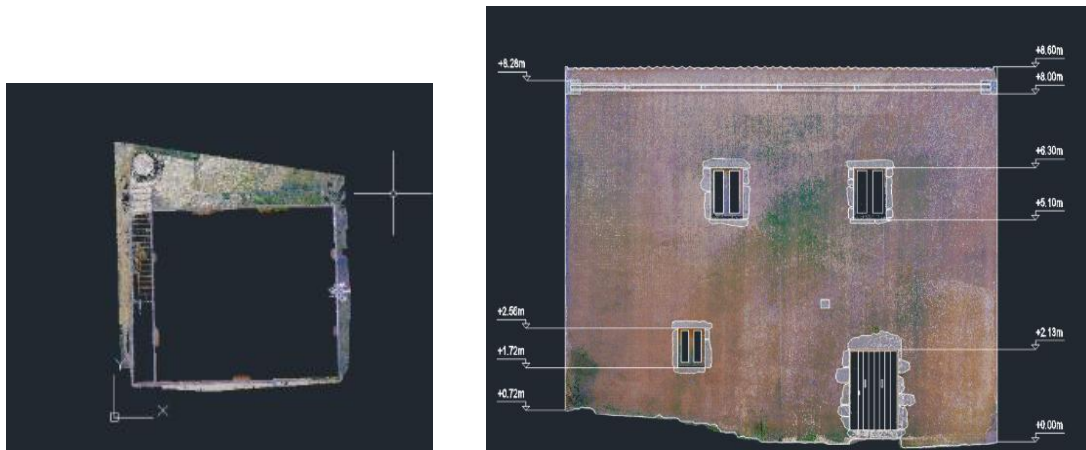


Εικόνα 65. Στιγμιότυπα κατά την διαδικασία απαλοιφής θορύβου από τον μεσαιωνικό πύργο

### 6.1.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ ΚΑΙ ΟΨΗΣ

Η δημιουργία της κάτοψης και βόρειας όψης του Μεσαιωνικού πύργου πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον AutoCAD. Το τρισδιάστατο νέφος σημείων του πύργου, απαλλαγμένο από τον περιττό θόρυβο, εισάγεται απευθείας στο λογισμικό μέσω του υποπρογράμματος CloudWorx. Το CloudWorx είναι το πιο δημοφιλές και αποδοτικό λογισμικό για την απευθείας διαχείριση νεφών σημείων από τρισδιάστατους σαρωτές σε περιβάλλον AutoCAD, καθώς προσφέρει στον χρήστη αρκετά εργαλεία αυτοματοποιημένης επεξεργασίας.

Τα δισδιάστατα σχέδια της κάτοψης και της βόρειας όψης του πύργου, τα οποία προέκυψαν από το νέφος σημείων, δημιουργήθηκαν σε κλίμακα απόδοσης 1:100.



Εικόνα 66. Στιγμιότυπα κατά την διαδικασία ψηφιοποίησης κάτοψης και όψης του πύργου από το νέφος σημείων στο περιβάλλον του CloudWorx

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ  
ΥΠΕΡΑΓΙΑΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΑΤΡΟΥ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ

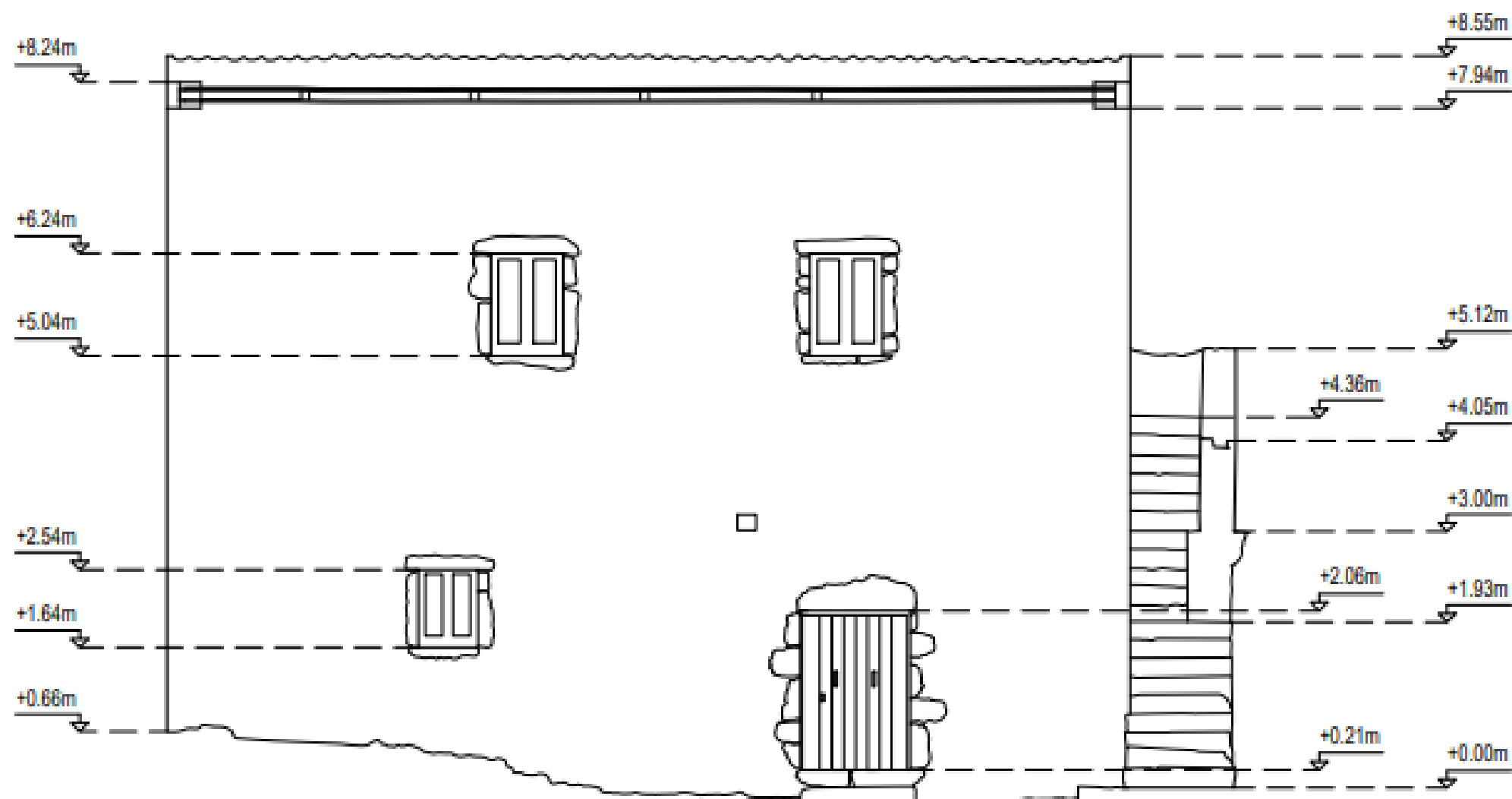
ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ :  
ΒΟΥΡΕΞΑΚΗ ΧΡΥΣΟΘΕΜΙΣ-ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ

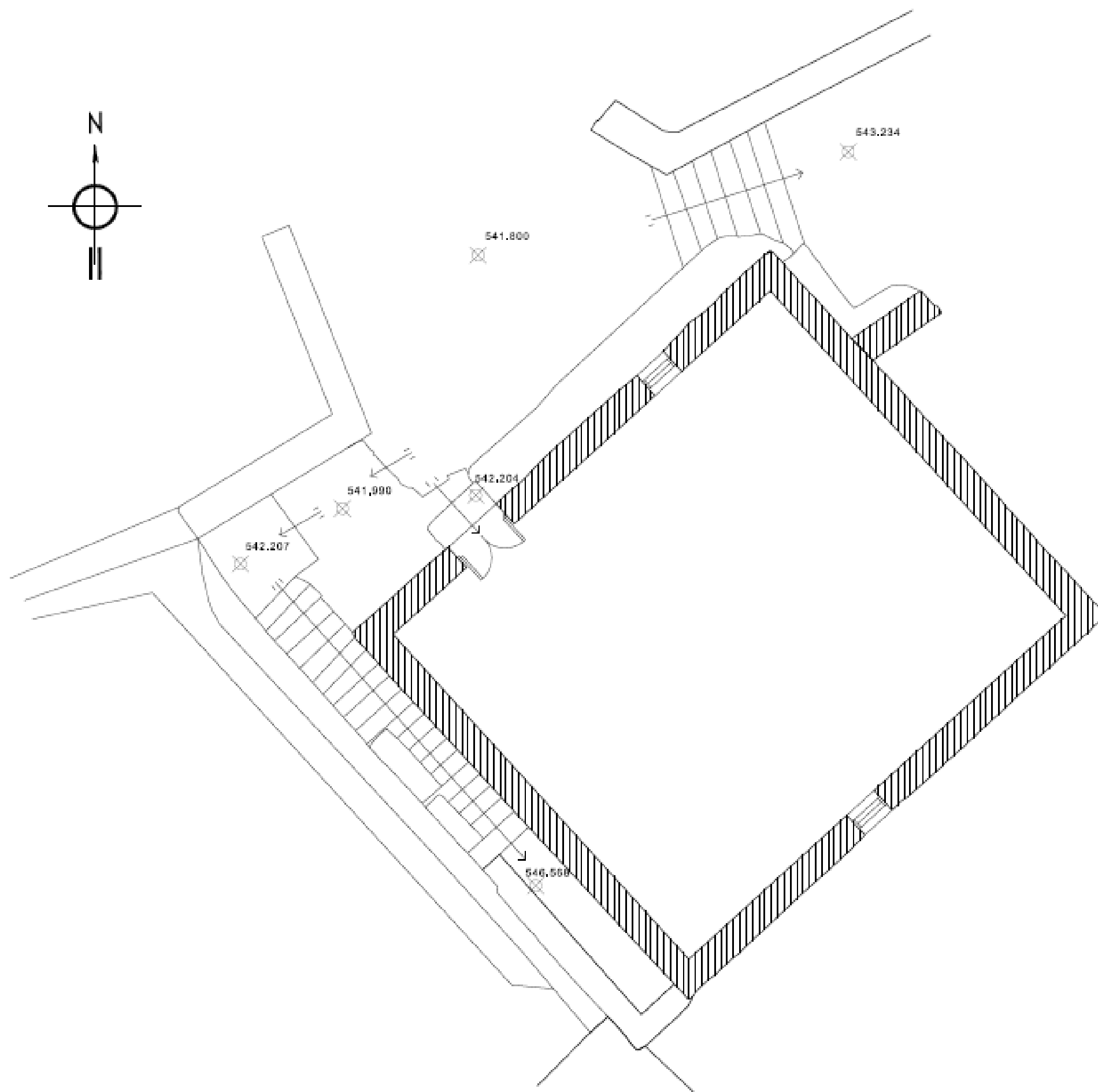
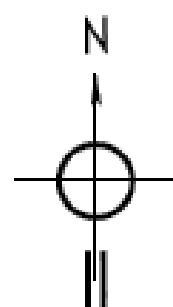
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :  
ΠΑΓΟΥΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ :  
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100

ΑΘΗΝΑ 2021





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ  
ΥΠΕΡΑΓΙΑΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ ΑΤΡΟΥ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ :  
ΒΟΥΡΕΞΑΚΗ ΧΡΥΣΟΘΕΜΙΣ-ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :  
ΠΑΓΟΥΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΘΕΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ :  
ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100

ΑΘΗΝΑ 2021

Τα παράγωγα μετρήσεων της κάτοψης και της όψης του μεσαιωνικού πύργου μπορεί να αποβούν εξαιρετικά χρήσιμα, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόβαθρο από την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα (αρχιτέκτονες, αρχαιολόγους, συντηρητές) σε τυχόν μελέτες και εργασίες για την συντήρηση και αποκατάσταση του ιδιαίτερου αυτού μνημείου. Τα ψηφιοποιημένα σχέδια που παράχθηκαν από το νέφος σημείων παρέχουν μεγάλη λεπτομέρεια, για το σχήμα, τις διαστάσεις και την γενικότερη κατάσταση του αντικειμένου καθιστώντας τα ικανά να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες που σχετίζονται με την συντήρηση του.

## 6.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΑΝΟΡΑΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

Στο σημείο αυτό κρίνεται σημαντικό να τονιστεί ξανά, ότι σε όλες τις μελέτες για την προστασία και την ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός ολοκληρωμένου γεωμετρικού υποβάθρου και απώτερος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η προβολή της Ιεράς Μονής Άτρου και η προσέλκυση ομάδων κοινού με σκοπό την οικονομική, κοινωνική, πολιτισμική και πνευματική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής. Στις μέρες μας, είναι γνωστό πόσο σημαντικές είναι οι δυνατότητες που δίνει το διαδίκτυο ώστε το κοινό να έχει πρόσβαση στις ψηφιακές μορφές των μνημείων αλλά και των περιοχών που θεωρούνται απομονωμένες.

Το λογισμικό Cyclone παρέχει στον χρήστη ακόμη ένα χρήσιμο και αυτοματοποιημένο εργαλείο, για την δημιουργία μιας πανοραμικής παρατήρησης του τρισδιάστατου νέφους σημείων μέσω διαδικτύου με την εξαγωγή των δεδομένων σε μορφή «\*.lgs».

Οι δυνατότητες που δίνονται είναι εξαιρετικά χρήσιμες, ειδικά για την συγκεκριμένη εργασία που έχει ως στόχο την ανάδειξη και προβολή της Ιεράς Μονής Άτρου. Το τρισδιάστατο νέφος που ανοίγει μέσω διαδικτύου δίνει την δυνατότητα στον χρήστη για πανοραμική παρατήρηση του αποτυπωμένου χώρου και την δυνατότητα μετάβασης από κάποια θέση του σαρωτή σε μια άλλη για την περιήγηση στα κτίσματα της Μονής. Όμως, η πιο σημαντική δυνατότητα που δίνεται είναι η μέτρηση των πραγματικών διαστάσεων των δεδομένων που απεικονίζονται, όπως η μέτρηση διαστάσεων αντικειμένων, υψομετρικών διαφορών, γωνιών και αποστάσεων.

Η τρισδιάστατη αναπαράσταση της Μονής βρίσκεται στον σύνδεσμο <http://195.130.106.58/> με την ονομασία «MOUNT\_ATROS». Το αρχικό παράθυρο που εμφανίζεται περιλαμβάνει το νέφος σημείων σε κάτοψη, επάνω στο οποίο εμφανίζονται οι στάσεις του σαρωτή με την σήμανση κίτρινων τριγώνων, συνοδευόμενα από την αντίστοιχη ονομασία τους. Το κύριο παράθυρο με διαθέσιμα όλα τα εργαλεία επεξεργασίας και περιήγησης ανοίγει όταν επιλέξουμε χειροκίνητα να μεταβούμε σε μία από τις θέσεις του σαρωτή.



### 6.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΥΡΓΟΥ

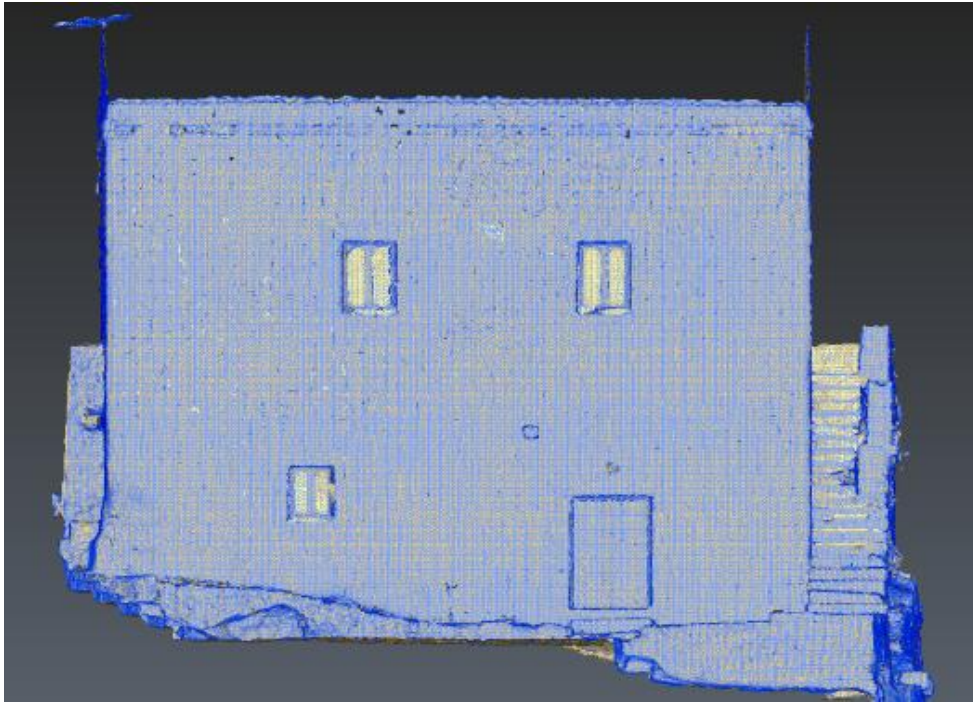
Για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας (mesh) του μεσαιωνικού πύργου της μονής, επιλέχθηκε το λογισμικό Cysclone 3DR της Leica Geosystems. Έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται μεγάλο όγκο των δεδομένων εύκολα και αποτελεσματικά, ενώ παράλληλα είναι φιλικό προς τον χρήστη. Το λογισμικό διαθέτει πλήθος λειτουργιών και αυτοματοποιημένων εργαλείων, όπως καθαρισμό δεδομένων, φιλτράρισμα θορύβου, δημιουργία πλέγματος επιφάνειας μοντέλου και εξομάλυνση, τα οποία διευκολύνουν την διαδικασία της τρισδιάστατης μοντελοποίησης.

Η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας ενός αντικειμένου, πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας τριγωνοποίησης (triangulation), όπου κάθε τρισδιάστατο σημείο του νέφους ενώνεται με τα γειτονικά του σχηματίζοντας έτσι το λεγόμενο «πλέγμα τριγώνων». Το τελικό τριγωνικό πλέγμα που δημιουργείται, σχηματίζει την επιφάνεια του ψηφιοποιημένου αντικειμένου, μετατρέποντας το νέφος σημείων σε μια συνεχόμενη επιφάνεια από τρίγωνα.

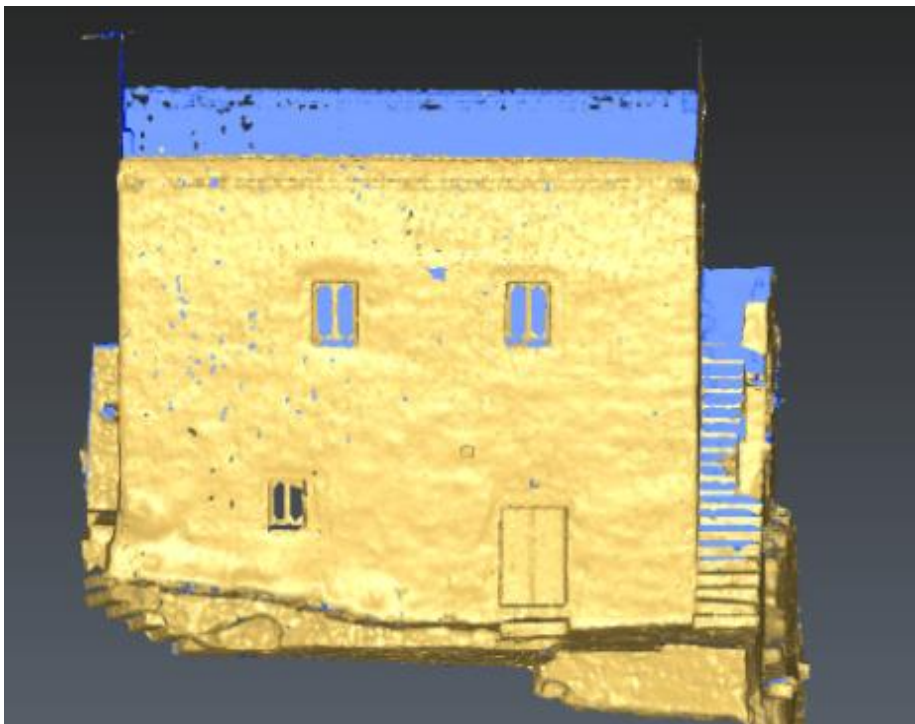
Μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό Cysclone 3DR σε μορφή «.ptx», πραγματοποιήθηκε αυτοματοποιημένη απαλοιφή του θορύβου στο νέφος σημείων, όπου διαγράφηκε το 0,1% του αρχικού συνολικού αριθμού των σημείων του νέφους. Το φιλτράρισμα του θορύβου κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο πριν την δημιουργία μοντέλου επιφάνειας ενός αντικειμένου διότι, η ύπαρξη θορύβου θα εμφανίζεται πιο έντονη στις επιφάνειες του τριγωνικού πλέγματος με αποτέλεσμα να μην επιτευχθεί σωστά η μοντελοποίηση του αντικειμένου.

Η διαδικασία τρισδιάστατης μοντελοποίησης ενός αντικειμένου επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα εάν εκτελεστεί σε δύο διαφορετικά στάδια, ξεκινώντας με την δημιουργία μιας πιο γενικευμένης επιφάνειας (mesh) και στην συνέχεια δημιουργώντας ένα πιο ακριβές και λεπτομερές τριγωνικό πλέγμα. Για τον λόγο αυτόν, στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας δημιουργήθηκε ένα αρχικό και πιο απλουστευμένο τριγωνικό πλέγμα (επιφάνεια) που καλύπτει όλο το νέφος σημείων, ορίζοντας την μέση απόσταση μεταξύ των σημείων που θα εξαλειφθούν από μια θεωρητική επιφάνεια 0.06m.

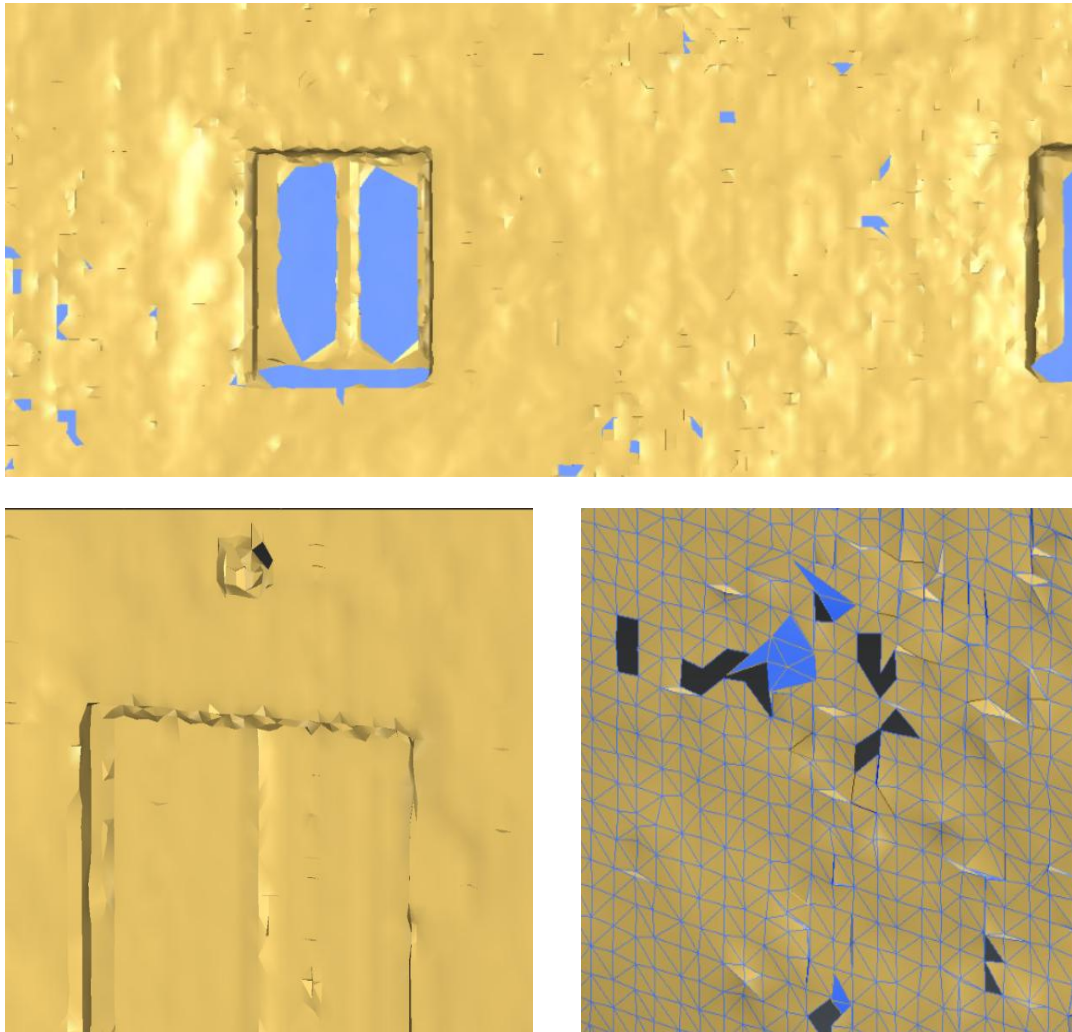




Εικόνα 67. Πρώτο στάδιο μοντελοποίησης : Δημιουργία αρχικού τριγωνικού πλέγματος του πύργου



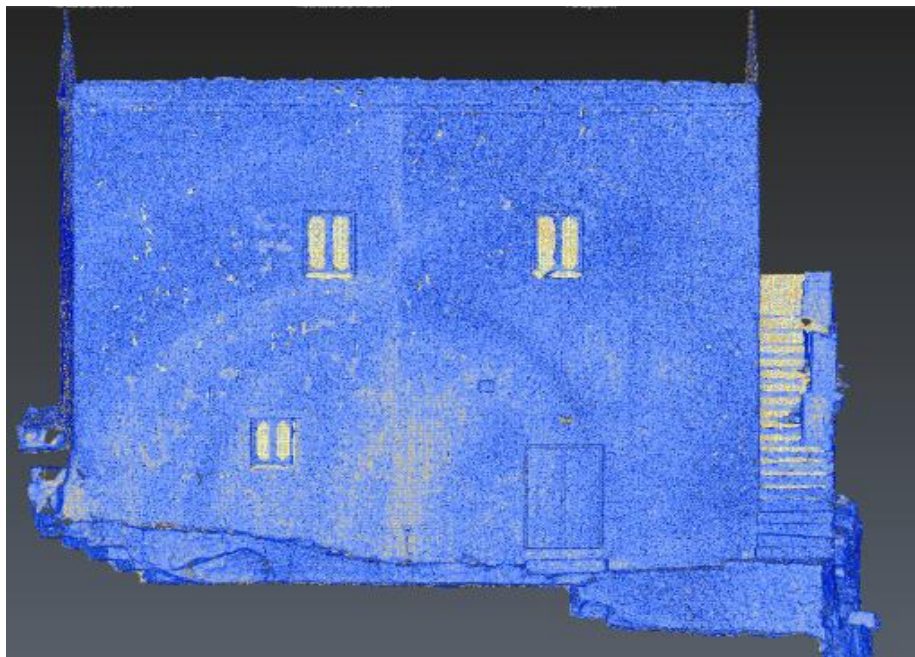
Εικόνα 68. Πρώτο στάδιο μοντελοποίησης : Δημιουργία αρχικής επιφάνειας του πύργου



Εικόνα 69. Προβλήματα ασυνεχειών πλέγματος, ανεστραμμένων τριγώνων και μοντελοποίησης θορύβου

Το αρχικό τριγωνικό πλέγμα που δημιουργήθηκε χαρακτηρίζεται από καλή τοπολογία και εμφανή έλλειψη των λεπτομερειών του αντικειμένου. Επίσης παρατηρείται, πλήθος ασυνεχειών (τρύπες), ανεστραμμένα τρίγωνα και θόρυβος που έχει μοντελοποιηθεί σε επιφάνειες.

Στα επόμενα βήματα της διαδικασίας πρόκειται να βελτιστοποιηθεί το τριγωνικό πλέγμα προσθέτοντας πληροφορία αρχικά από το νέφος σημείων και στην συνέχεια με παρεμβολή νέων σημείων. Για την δημιουργία του πλέγματος επιφάνειας με προσθήκη πληροφορίας από το νέφος σημείων του αντικειμένου, το σφάλμα απόκλισης, καθώς και το ελάχιστο μέγεθος των τριγώνων που επρόκειτο να δημιουργηθούν, ορίστηκαν 0.001m.

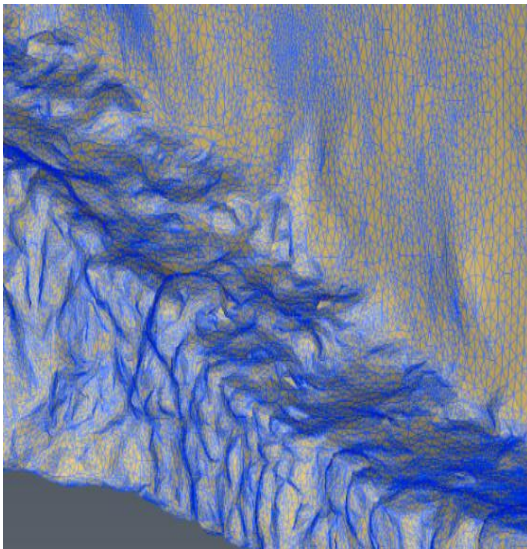
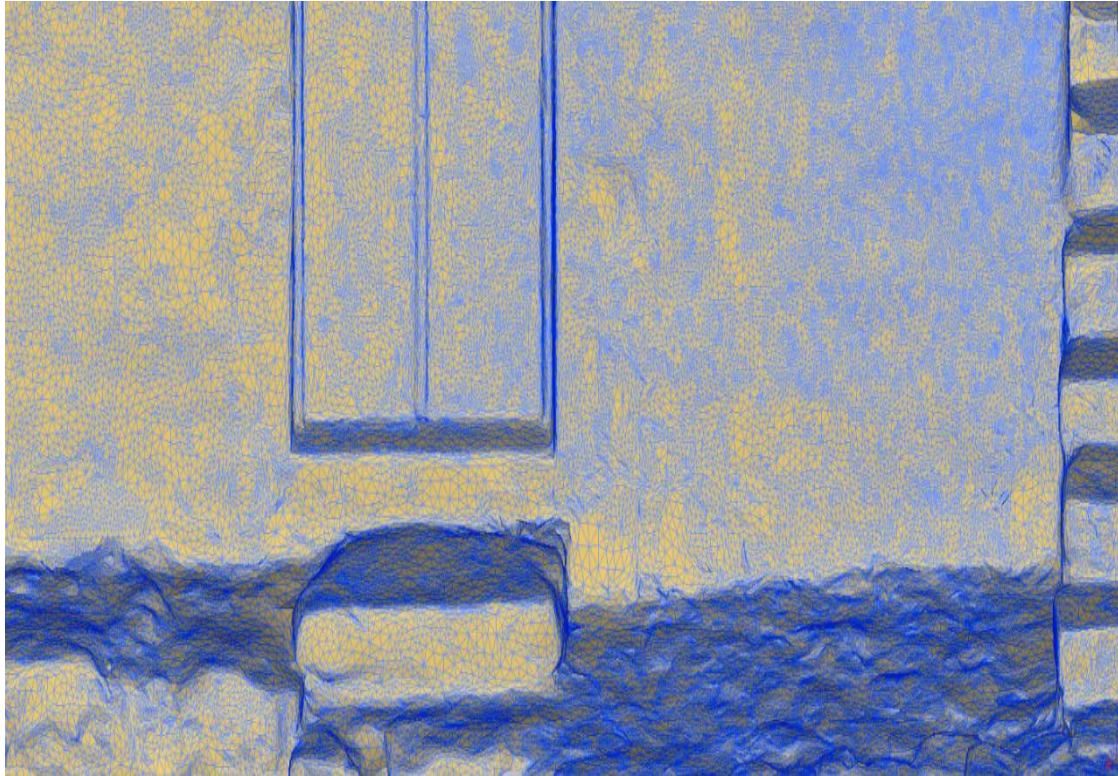


Εικόνα 70. Δημιουργία τριγωνικού πλέγματος του πύργου με προσθήκη λεπτομερειών από το νέφος σημείων

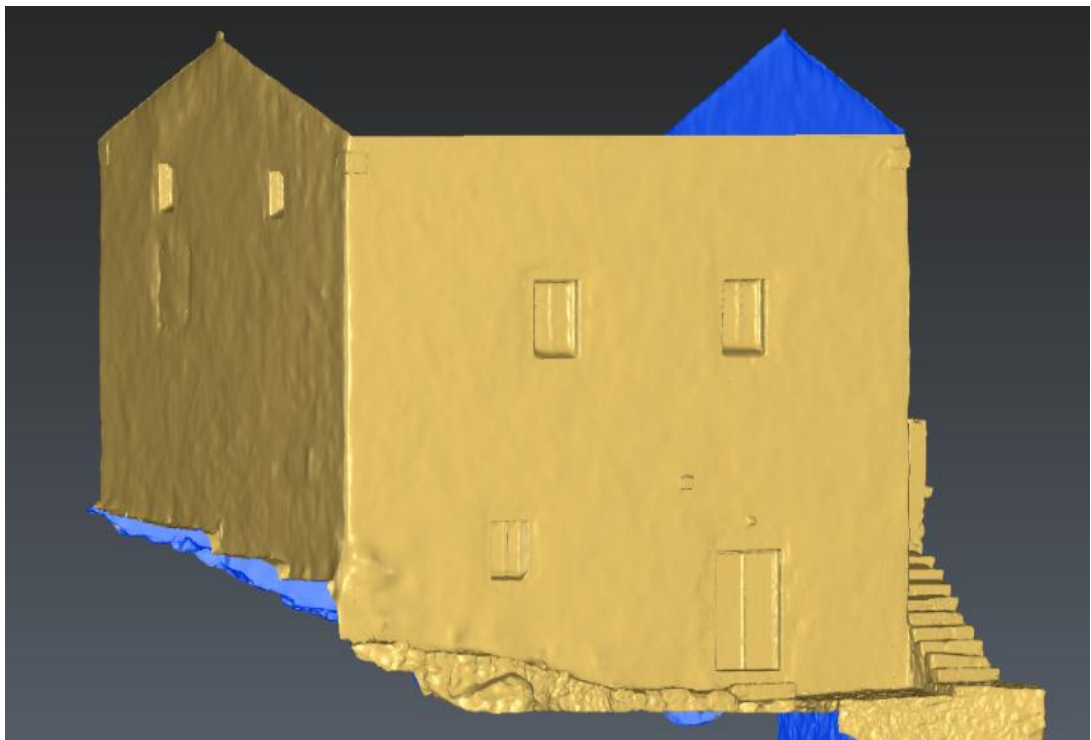
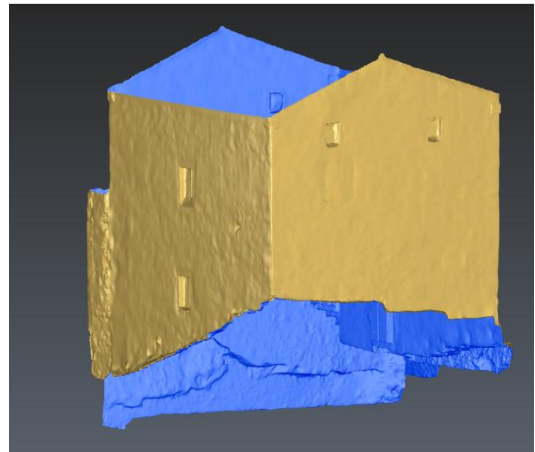
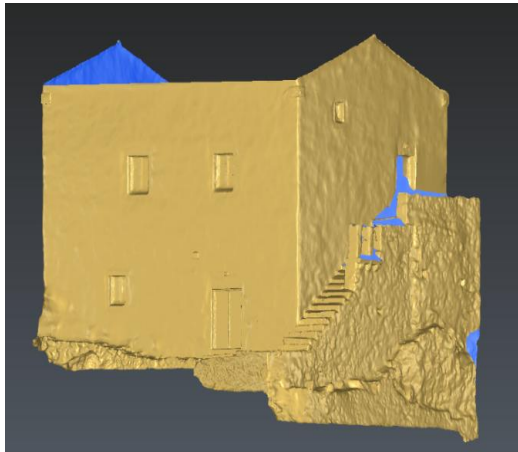
Το μοντέλο του πύργου αποκτά τις λεπτομέρειες που προέρχονται από το νέφος σημείων, όμως υπάρχουν ακόμη κάποιες ασυνέχειες (κενά). Κατά την δημιουργία mesh με παρεμβολή νέων σημείων, ορίστηκαν κριτήρια γεωμετρίας με σφάλμα απόκλισης και ελάχιστο μέγεθος των τριγώνων που επρόκειτο να δημιουργηθούν 0.001m. Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο του πύργου αναπαριστά με μεγάλη λεπτομέρεια το πραγματικό σχήμα του αντικειμένου όπως αυτό παρουσιάζεται από το νέφος σημείων με μεγάλη γεωμετρική ακρίβεια.

Ωστόσο, λόγω της έλλειψης γεωμετρικής πληροφορίας στο νέφος σημείων (αδυναμία λήψης πληροφορίας κατά την διαδικασία των σαρώσεων) στα παράθυρα και στην πόρτα είσοδο του πρώτου ορόφου, καθώς και σε ορισμένα σκαλοπάτια, παρατηρούνται ακόμα κάποιες ασυνέχειες. Στις περιπτώσεις των παραθύρων όπου η έλλειψη πληροφορίας ήταν μικρή, πραγματοποιήθηκε συμπλήρωση με τη βοήθεια της εντολής «fill holes», η οποία βασίζεται στην πληροφορία των γειτονικών τριγώνων για την αυτόματη συμπλήρωση, ενώ τα κενά στην είσοδο του πρώτου ορόφου και σε ορισμένα σκαλοπάτια παρέμειναν. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί με επιπλέον συλλογή δεδομένων.





Εικόνα 71. Λεπτομέρειες που απεικονίζονται στο τελικό τριγωνικό πλέγμα του πύργου



Εικόνα 72. Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο του μεσαιωνικού πύργου



## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> . ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η πολιτιστική μας κληρονομιά είναι το κληροδότημα που δεχτήκαμε από το παρελθόν και συνδέει το σήμερα με τις παλαιότερες ιστορικές περιόδους ενός έθνους. Όσα δείγματα της καταφέρνουν να διασωθούν αποτελούν ζωντανές μαρτυρίες των κατασκευαστικών τους μεθόδων, της αντίληψης και γενικά της ταυτότητας του κάθε πολιτισμού. Σήμερα, περισσότερο από ποτέ, προκύπτει αναμφισβήτητα η ανάγκη διατήρησης, προβολής και αξιοποίησης της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Για την διατήρηση και την διάσωση των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, καθίσταται απαραίτητη η συλλογική διεπιστημονική προσπάθεια για την παραγωγή μελετών, που αφορούν την έρευνα, καταγραφή και τεκμηρίωση, την ανάδειξη και συντήρηση, καθώς και την προβολή και ένταξη τους στην σύγχρονη κοινωνική ζωή.

Σημαντική συμβολή στις μελέτες καταγραφής, συντήρησης και αποκατάστασης μνημείων έχουν τη σημερινή εποχή οι τεχνικές αποτύπωσης με σύγχρονα τρισδιάστατα όργανα σάρωσης laser και λογισμικά, τα οποία προσφέρουν εξαιρετικά αποτελέσματα από την άποψη της ανάλυσης, της ακρίβειας και της λεπτομέρειας του τελικού προϊόντος. Στο πλαίσιο αυτό, σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η μελέτη των σύγχρονων μεθόδων γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων και ειδικότερα, η παρουσίαση της επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης, με εφαρμογή στην Ιερά Μονή Υπεραγίας Θεοτόκου Άτρου Κεφαλληνίας.

Από την εφαρμογή που παρουσιάστηκε συμπεραίνεται ότι, η τρισδιάστατη σάρωση με laser αποτελεί μια ιδανική και αποτελεσματική μέθοδος για την γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς απέδωσε γρήγορα και με υψηλή ακρίβεια τη υφιστάμενη κατάσταση όλων των λεπτομερειών του μνημείου μελέτης. Παρότι η επεξεργασία της γεωμετρικής πληροφορίας που συλλέγεται είναι συνήθως χρονοβόρα και απαιτούνται ειδικά λογισμικά και ηλεκτρονικοί υπολογιστές υψηλών προδιαγραφών, η σύγχρονη αυτή μέθοδος προσφέρει το πλεονέκτημα της γρήγορης και άμεσης συλλογής μεγάλου όγκου δεδομένων, ανεξάρτητα από την πολύπλοκη μορφολογία ή την προσβασιμότητα του υπό μελέτη αντικειμένου.

Σε αντίθεση με την χρονοβόρα διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων, οι εργασίες αποτύπωσης στο πεδίο πραγματοποιήθηκαν πολύ γρήγορα, εντός δύο (2) ημερών. Οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά της εργασίες πεδίου αφορούσαν τη αδυναμία συλλογής γεωμετρικής πληροφορίας για τις στέγες της εκκλησίας, του μεσαιωνικού πύργου και του ξενώνα. Η δυσκολία αυτή οφείλεται στην αδυναμία λήψης σαρώσεων από μεγαλύτερο ύψος. Το συγκεκριμένο πρόβλημα θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί και να δοθεί λύση μέσω της Φωτογραμμετρικής μεθόδου και χρήσης εναέριων φωτογραφιών, όμως στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας κάτι τέτοιο δεν ήταν εφικτό. Επίσης, έλλειψη πληροφορίας παρουσιάζεται σε τμήμα του 1<sup>ου</sup> ορόφου στο τρισδιάστατο μοντέλο του πύργου, γεγονός που οφείλεται στην διαδικασία των σαρώσεων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν μόνο περιμετρικά. Λύση στο πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να δώσει μια ακόμη αποτύπωση του μνημείου για συμπληρωματικές σαρώσεις.

Με την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, καθώς και από το σύνολο των παραγόμενων δεδομένων που προέκυψαν από αυτήν παρέχεται με μεγάλη λεπτομέρεια και ακρίβεια, το σχήμα, οι διαστάσεις και η υφιστάμενη κατάσταση του μνημείου. Τα παραγόμενα δεδομένα της συγκεκριμένης εφαρμογής μπορούν μελλοντικά να χρησιμοποιηθούν από συντηρητές ως υπόβαθρο για τυχόν μελέτες συντήρησης και αποκατάστασης του. Συμπερασματικά, ο συνδυασμός των σύγχρονων γεωδαιτικών μεθόδων μπορεί να προσφέρει υψηλής ποιότητας πληροφορίες χρήσιμες για μελέτες που αφορούν την τεκμηρίωση μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Αξίζει να τονιστεί πως στις μέρες μας η ψηφιακή καταγραφή των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς και η διάθεση τους μέσω διαδικτύου, διευκολύνουν την προσβασιμότητα τους από το ευρύ κοινό και ειδικότερα όταν βρίσκονται σε απρόσιτες ή απομονωμένες περιοχές, όπως στην περίπτωση της Ιεράς Μονής Άτρου. Τα δεδομένα της τρισδιάστατης αναπαράστασης του μεσαιωνικού πύργου υπάρχουν ήδη αναρτημένα στην ιστοσελίδα <http://195.130.106.60/GeoAtros/> [43] με απώτερο σκοπό την ανάδειξη και προβολή του ιδιαίτερου αυτού μνημείου.

Εν κατακλείδι, η παρούσα εργασία αποσκοπεί στο να συμβάλλει στη προβολή και ανάδειξη της Ιεράς Μονής Υπεραγίας Θεοτόκου Άτρου, ως μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς και στην προσέλκυση ομάδων κοινού με σκοπό την οικονομική, κοινωνική, πολιτισμική και πνευματική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής. Η ευρύτερη επιστημονική κοινότητα καλείται να αξιοποιήσει και να εξελίξει τα παραγόμενα αποτελέσματα της εργασίας για την μακροπρόθεσμη διατήρηση και βιώσιμη εκμετάλλευση της πολιτιστικής κληρονομιάς και την ανάδειξη των ορεινών και απομακρυσμένων περιοχών. Τέλος, προσκαλώ την επιστημονική κοινότητα, αλλά και το ευρύτερο κοινό, να συνεισφέρει εθελοντικά σε μια πρακτική ψηφιακής συμμετοχής για να συγκεντρωθούν επιπλέον πληροφορίες των μνημείων της πολιτιστικής μας κληρονομιάς και της ευρύτερης περιοχής.

## **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 & PHYSICAL

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.

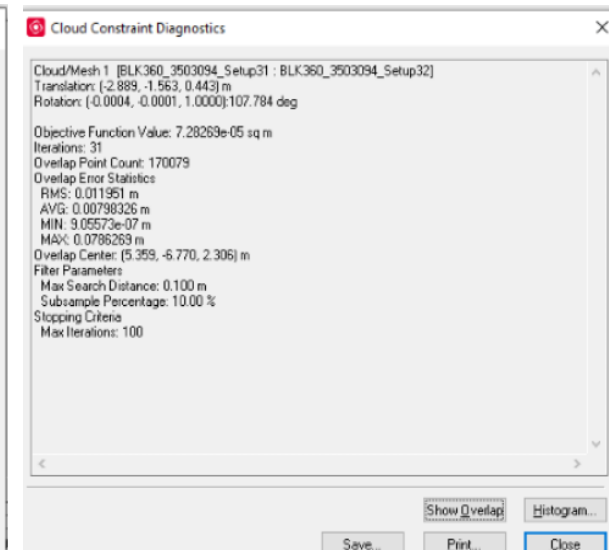
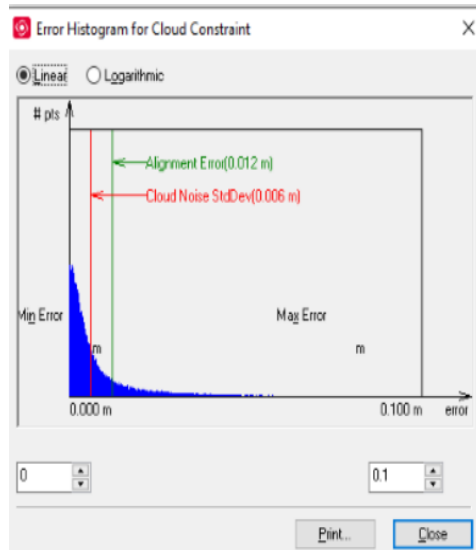
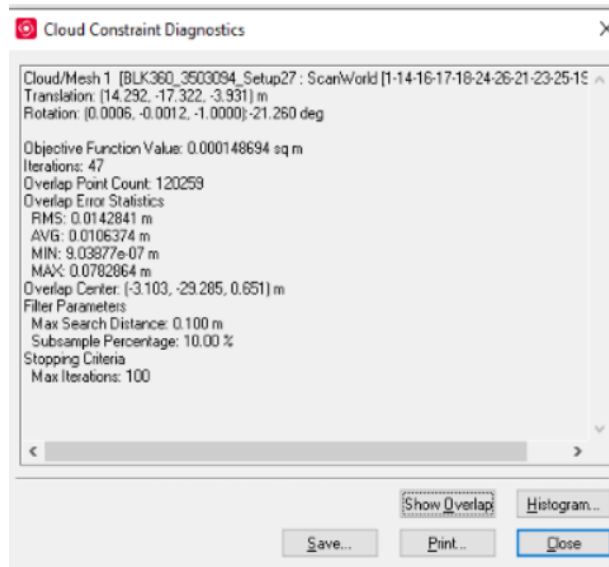
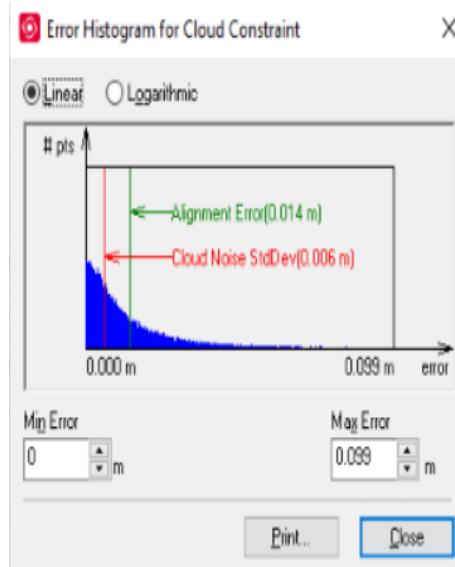
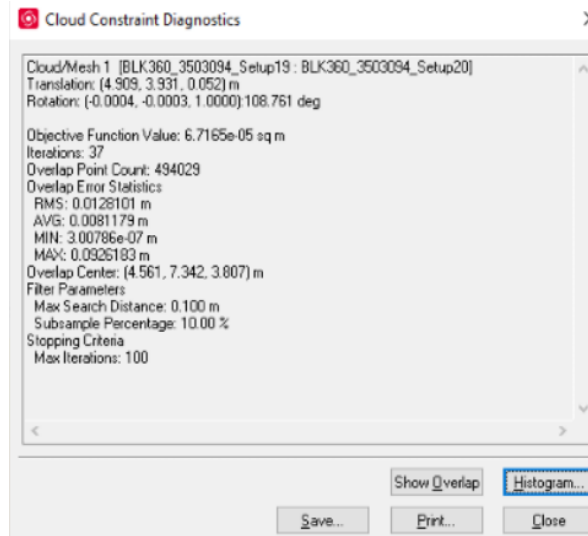
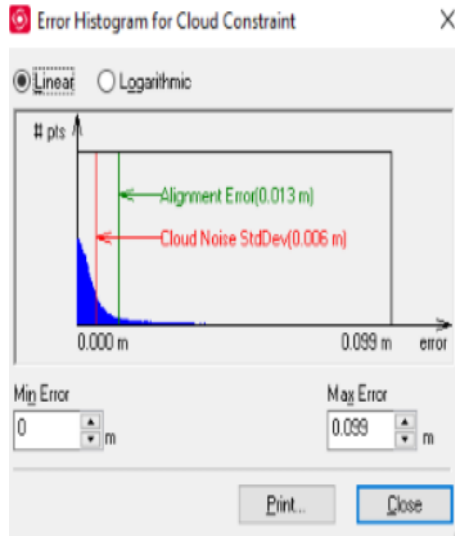
All accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted.

\* at 78% albedo

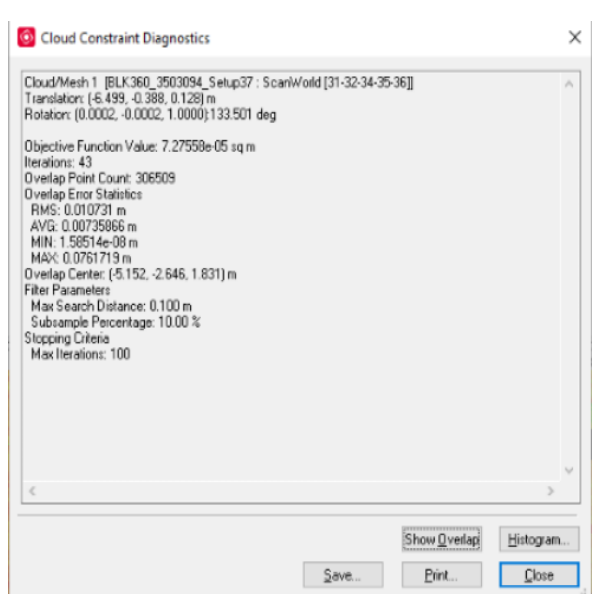
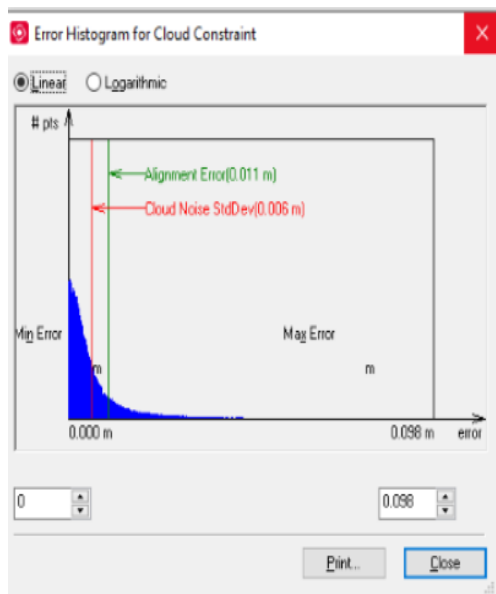
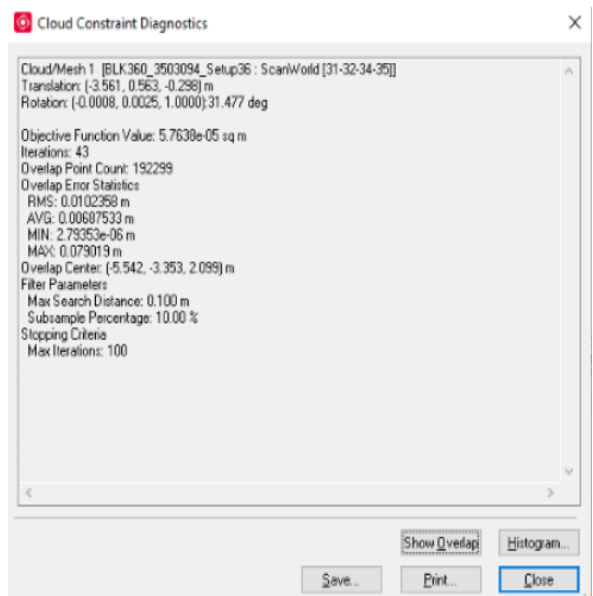
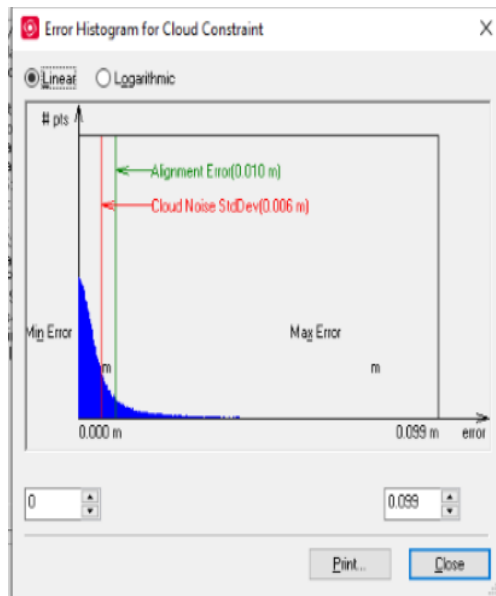
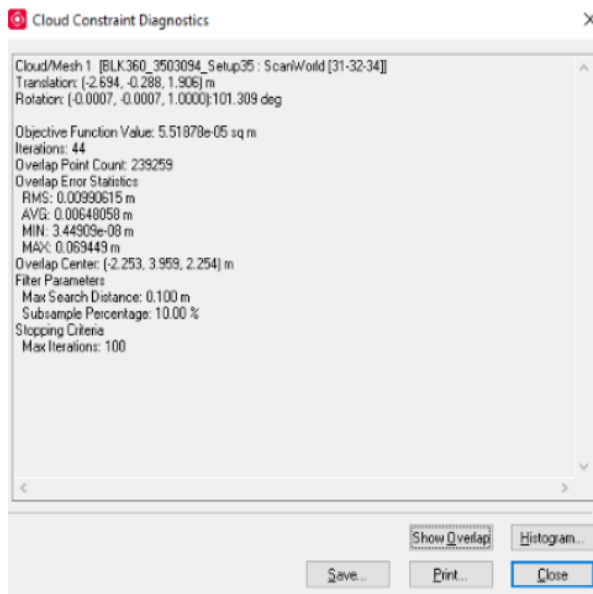
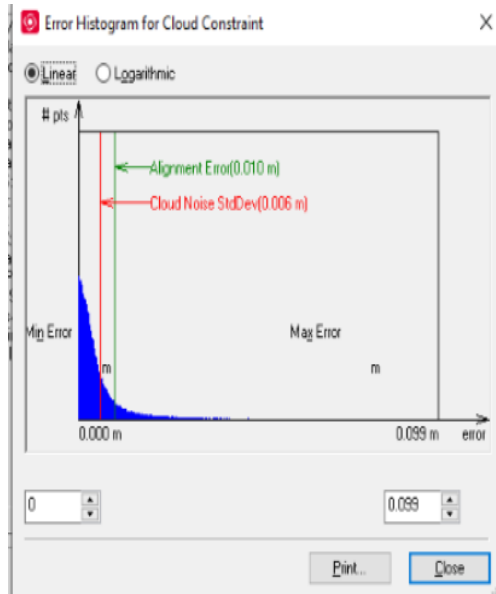
Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2017.



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2







## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Historic England, Photogrammetric Applications for Cultural Heritage). <https://historicengland.org.uk/>
2. «Τεχνικές προδιαγραφές τοπογραφικών αποτυπώσεων αρχιτεκτονικών μνημείων», Βλάχος Δ., 1990
3. «Θολωτός τάφος Πόρου Κεφαλλονιάς», Δρ. Λάζαρος Κολώνας, αρχαιολόγος - Γενικός Διευθυντής Αρχαιοτήτων ΥΠΠΟ
4. «Δημοτικό σχολείο Πόρου Κεφαλλονιάς», Λίγα ιστορικά στοιχεία, Βεατρίκη Γαβριελάτου
5. «Ο συνδυασμός γεωδαιτικών τεχνικών στις αποτυπώσεις μνημείων. Εφαρμογή στο Ρωμαϊκό Ωδείο Πάτρας», Γ. Αρχοντάκης, Μ. Βλάχου, Ο. Αραμπατζή, Β. Παγούνης, 2012.
6. Arabatzi O., Pagounis V., Tsakiri M.: «Experiences from Cultural Heritage Documentation Using Modern Geodetic Techniques -Monuments at the Acropolis of Athens» FIG Working Week 2011: Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco, 18-22 May 2011, TS06E – Laser Scanners II, 4992
7. «Γεωδαιτικές μεθοδολογίες για την ολοκληρωμένη τεκμηρίωση μνημείων και συνόλων. Η περίπτωση του Σάρλιτζα Παλλάς στη Θερμή Λέσβου», Βουκλαρή Ελένη, 2018
8. «Προστατεύουμε την Πολιτιστική μας Κληρονομιά ISBN: 978-618-5147-75-4», Τασούλα Γεωργιάδου, 2016
9. Pagounis V., Arabatzi O., Tsakiri M., Tsini D., 2010. «Geodetic technology for cultural heritage monitoring - the case study of Klepsydra at the Acropolis of Athens.», In Proc. Of the 8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Patra, Greece
10. «Γεωμετρική τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών, Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου», Αρχοντακης Γ., 2012
11. «Νομοθετικό πλαίσιο προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς», Αυγουστιανάκης Μ.
12. «Η πολυμερής Πολιτιστική Διπλωματία. Διεθνείς Οργανισμοί και Διεθνείς Συλλογικές Πρωτοβουλίες», Σοφία Μπουτσιούκη Λέκτορας Τμήμα Διεθνών και Ευρωπαϊκών Σπουδών Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, 2015

13. «Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων. Πολιτιστικών Αγαθών», (Γεωργόπουλος & Χ. Ιωαννίδης Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, 2008
14. «Τοπογραφικές Αποτυπώσεις Αρχιτεκτονικών μνημείων και Αρχαιολογικών χώρων», Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΑΠΘ, Τοκμακίδης Κ., 2010
15. «Η σωστή αποτύπωση ως αναγκαίος όρος της σωστής ανασύλωσης μνημείων», Χαρκιολάκης Νίκος, 2011 Σχολή Αγρ. & Τοπογράφων Τοπογράφων Μηχ. ΕΜΠ
16. «Γεωμετρική τεκμηρίωση τεχνητών και φυσικών κατασκευών σε μεγάλες κλίμακες», Πανταζής Γ, 2010
17. «Σημειώσεις μαθήματος : Αποτυπώσεις», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.Τρικάλων, Μπαλαμιώτη Ελένη, 2018
18. «Φωτογραμμετρία και τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων και ευρημάτων με απλά λόγια», Πατιάς Π., 2008
19. «Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες» Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Περάκης, Κ., Μωυσιάδης και Α., Φαρασλής, 2015
20. «Metric Survey for Heritage Documentation», Documentation for Conservation A manual for teaching Metric Survey Skills
21. Staiger R.: «Terrestrial laser scanning Technology, Systems and Applications». 2nd FIG Regional Conference, (p. 10). Marrakech, Morocco (2003)
22. «Σαρωτές laser. Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές», Συμεωνίδης Π., 2007
23. Y. Reshetyuk (2006). «Calibration of terrestrial laser scanners for the purpose of geodetic engineering», 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24.
24. Y. Reshetyuk (2009). «Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning», KTH, Department of Transport and Economics, Division of Geodesy, Stockholm.
25. T. Schulz (2007). «Calibration of a terrestrial laser scanner for engineering geodesy», ETH Zurich.

26. «Υπολογισμός της υπερεκκαφής στο μέτωπο σήραγγας με τη χρήση επίγειου σαρωτή laser – Εφαρμογή στην υπό διάνοιξη σήραγγα Τεμπών Τ1», Βασίλειος Ν. Αποστολόπουλος Διπλωματούχος Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός ΕΜΠ, 2011
27. Santana Quintero M., Lerma J. L., Heine E., Van Genechten B., 2008. «Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning: Training material based on practical applications», Universidad Politecnica de Valencia Editorial.
28. «The creation of digital models for the protection of cultural heritage : The Baptistery of Cremona», D. Conforti Andreoni and L. Pinto , 2004
29. «Χρήση επίγειου σαρωτή για την αποτύπωση αρχαίου πύργου στην Αγία Μαρίνα Κέας» , Σίσκας Βασίλειος, 2012
30. «Laser scanner survey to cultural heritage conservation and restoration», G. Vacca a, M. Deidda a, A. Dessi a , M. Marras , 2012
31. «Σύνταγμα της Ελλάδας της 7ης Ιουνίου 1975 – ΦΕΚ 111/Α/9.6.1975 – Ε΄ Αναθεωρητική Βουλή των Ελλήνων»
32. «Σύγχρονες Αντιλήψεις και Πρακτικές Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης- Αποτύπωσης Κειμηλίων Μνημείων και Συνόλων», Μακρής Γ.Ν. 1999
33. «Όσιος Κλήμης, ο πιστός φίλος του Θεού», Π.Δανιήλ Ζωγράφος, 2018
34. «Investigating Laser Scanner Accuracy», Wolfgang Boehler and Andreas Marbs
35. <https://www.κεφαλονια.net> > πορος
36. «Η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς στην ελληνική έννομη τάξη : θεωρία και πρακτική εφαρμογή», Τσακίρης Νικόλαος, 2015
37. google earth
38. <https://porosnews.blogspot.com/>
39. <https://kefalonianews.gr/>
40. [www.google.gr](http://www.google.gr)
41. <https://leica-geosystems.com/>
42. <http://infordk.arch.duth.gr/>
43. «Σύγχρονες γεωδαιτικές μεθοδολογίες αποτύπωσης και ανάδειξης μνημείων. Η περίπτωση της Ιεράς Μονής Θεοτόκου Άτρου (Κεφαλλονιά)», Βουρεξάκη Χ., Ασπιώτη Κ., Αναστασίου Δ., Παγούνης Β., 2019