



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής  
και Τεχνολογίας

**Πτυχιακή εργασία**

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΣΤΡΟΥ ΛΕΜΕΣΟΥ  
ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**

**Χριστόδουλος Νεοπτολέμου**

**Λεμεσός, Μάιος, 2020**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΣΤΡΟΥ ΛΕΜΕΣΟΥ ΜΕ  
ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

του

Χριστόδουλου Νεοπτολέμου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Δημήτρης Σκαρλάτος

Λεμεσός, Μάιος, 2020

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Χριστόδουλος Νεοπτολέμου, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## *Ευχαριστίες*

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτρη Σκαρλάτο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής, για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ιδιαίτερος, διότι πίστεψε στις δυνατότητες μου, και μου εμπιστεύτηκε την ανάθεση της γεωμετρικής τεκμηρίωσης των εξωτερικών τοιχίων του Μεσαιωνικού Κάστρου Λεμεσού.

Ξεχωριστές ευχαριστίες θα ήθελα να αποδώσω στον υποψήφιο διδάκτορα κ. Μαρίνο Βλάχο για την υποστήριξη και τη βοήθεια που αλόγιστα και απλόχερα μου παρείχε τόσο κατά τη διαδικασία συλλογής δεδομένων, όσο και κατά την επεξεργασία τους. Οι καταλυτικής σημασίας παρατηρήσεις του και οι καίριες διορθώσεις του, συνέβαλαν καθοριστικά στην τελική μορφή αυτής της εργασίας.

Θα ήταν παράλειψη να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους συμφοιτητές μου Σάββα Σάββα, Οδυσσέα Γεωργίου και Αντρέα Χρυσοστόμου. Η συνεισφορά τους στις τοπογραφικές εργασίες υλοποίησης γεωδαιτικού δικτύου και μετρήσεις φωτοσταθερών ήταν πολύτιμη για την πραγματοποίηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, αλλά όχι λιγότερο σημαντική, θεωρώ τη συνεισφορά των γονέων μου Σάββα και Γιαννούλας Νεοπτολέμου, οι οποίοι με αγάπη και αυτοθυσία ανέλαβαν εξολοκλήρου την οικονομική κάλυψη των σπουδών μου, για να μπορώ απερίσπαστα να αφοσιωθώ στη μελέτη και το διάβασμα που απαιτείτο. Σίγουρα, χωρίς τη δική τους φροντίδα και μέριμνα δεν θα είχα φτάσει ως εδώ. Η γραπτή αυτή έκφραση της ευγνωμοσύνης μου, είναι μια ελάχιστη αναγνώριση εκ μέρους μου των κόπων τους για μένα προσωπικά από τότε που πρωτοήρθα στον κόσμο έως τώρα. Ας μου επιτραπεί, να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλα τα αδέρφια μου, επτά τον αριθμό, που με τον δικό του μοναδικό τρόπο το καθένα, με στήριξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερος στο τελευταίο εξάμηνο, με την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι ευρέως γνωστό ότι η συλλογή και καταγραφή της πολιτιστικής κληρονομιάς, είναι πρωταρχικό και απαραίτητο βήμα για τη μετέπειτα προστασία και ανάδειξή της. Η πτυχιακή αυτή εργασία πραγματεύεται τη γεωμετρική τεκμηρίωση των εξωτερικών τοιχίων του Μεσαιωνικού Κάστρου της Λεμεσού. Η τεκμηρίωση έγινε με τη συλλογή δεδομένων επί τόπου, την επεξεργασία τους, τον προσδιορισμό της θέσης του σχήματος και του μεγέθους του συγκεκριμένου μνημείου.

Στην εργασία παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση τεσσάρων ορθοφωτοχαρτών. Συγκεκριμένα, για τη δημιουργία των ορθοφωτοχαρτών, εφαρμόστηκε η συνδυαστική μέθοδος φωτογραμμετρίας και επίγειου σαρωτή Laser. Με τη χρήση του επίγειου σαρωτή Laser, συλλέχθηκε η πληροφορία για τη δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου, ενώ με τις παραδοσιακές τοπογραφικές μεθόδους προσδιορίστηκε η θέση και οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς για το εικονιστικό προϊόν.

Στο τέλος της εργασίας αναφέρονται και σχολιάζονται τα λάθη και οι δυσκολίες που προέκυψαν. Υπογραμμίζονται τα κύρια σημεία που χρήζουν προσοχής, ενώ παρατίθενται εισηγήσεις για πρακτικές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ώστε να υπάρξει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Λέξεις κλειδιά: Φωτογραμμετρία, Ορθοφωτοχάρτες, Επίγειος Σαρωτής Laser, Ψηφιακή Φωτογραμμετρία, Κάστρο Λεμεσού

## **ABSTRACT**

It is well known that the collection and documentation of cultural heritage is a primary and necessary step for its subsequent protection and promotion. This dissertation deals with the geometric documentation of the exterior walls of the Medieval Castle of Limassol. The documentation was held by collecting data in situ, processing them and determining the location of the shape and size of the specific monument.

The dissertation presents in detail the procedure followed for the presentation of four Orthophoto-maps. Specifically, for the development of these Orthophoto-maps, the combined method of Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanner was applied. The Terrestrial Laser Scanner was used to collect the information needed for the creation of the Digital Model, while traditional topographic methods were used to determine the location. Photogrammetric methods were used extensively for the visual product.

At the end of the dissertation are mentioned and discussed the mistakes and difficulties that have arisen during the process of representing Orthophoto-maps. In addition, the main points that need attention are emphasized, while suggestions for practices that could have been followed in order to achieve the best result are stated.

**Keywords:** Photogrammetry, Orthophoto-maps, Terrestrial Laser Scanner, Digital Photogrammetry, Limassol Castle



## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	x
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	xiii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ .....	xiv
1 Εισαγωγή .....	2
1.1 Γενικό Πλαίσιο Εργασίας .....	2
1.2 Διάρθρωση .....	3
1.3 Το Κάστρο Λεμεσού .....	5
1.3.1 Ιστορικά στοιχεία.....	5
2 Θεωρία.....	9
2.1 Φωτογραμμετρία.....	9
2.2 Επίγειοι Σαρωτές Laser (Terrestrial Laser Scanners).....	10
2.3 Συνδυαστικές Μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης (Φωτογραμμετρίας και Επίγειοι Σαρωτή Laser) .....	11
3 Μεθοδολογία.....	15
4 Εφαρμογή.....	16
4.1 Συλλογή Δεδομένων .....	16
4.1.1 Προγραμματισμός Λήψεων .....	16
4.1.2 Υλοποίηση Γεωδαιτικού Δικτύου.....	17
4.1.3 Συλλογή δεδομένων με χρήση επίγειοι σαρωτή .....	18
4.1.4 Προβλήματα μετρήσεων υπαίθρου.....	19
4.2 Επεξεργασία Δεδομένων.....	20
4.2.1 Επεξεργασία Νεφών από επίγειο σαρωτή .....	20

4.2.2	Προσανατολισμός εικόνων.....	27
4.2.3	Παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Επιφάνειας.....	40
4.2.4	Δημιουργία Ορθοφωτογραφιών.....	42
5	Συμπεράσματα.....	47
5.1	Σχόλια - Παρατηρήσεις.....	47
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>49</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύγκριση των χαρακτηριστικών φωτογραμμετρίας και σαρωτών laser (Barsanti κ.ά. 2012). .....	12
Πίνακας 2: Στον πίνακα φαίνεται το μέγιστο σφάλμα, το συνολικό μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη των σημείων. ....	21
Πίνακας 3: Στον πίνακα φαίνεται ο αριθμός των συνδέσεων, το μέγιστο σφάλμα, το μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη για κάθε σάρωση ξεχωριστά. ....	21
Πίνακας 4: Στον πίνακα φαίνεται ο αριθμός των συνδέσεων, το μέγιστο σφάλμα, το μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη για κάθε σάρωση ξεχωριστά. ....	22
Πίνακας 5: Στον πίνακα φαίνονται οι ακρίβειες της συνένωσης των δύο δημιουργημένων clusters σε ένα κοινό. ....	23
Πίνακας 6: Στον πίνακα φαίνονται οι ακρίβειες συνένωσης του πάνω μέρους του Κάστρου με το κάτω. ....	23
Πίνακας 7: Στον πίνακα φαίνεται ο μέγιστο σφάλμα, το συνολικό μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη των σημείων σε σχέση με τους στόχους. ....	24
Πίνακας 8: Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα συνένωσης του νέφους με τους στόχους. ....	25
Πίνακας 9: Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα συνένωσης του νέφους με τους στόχους αναλυτικά για κάθε στόχο. ....	25
Πίνακας 10: Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα των Φ/Σ για την Βόρεια όψη. ....	31
Πίνακας 11: Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα των Φ/Σ για την Νότια όψη. ....	33
Πίνακας 12: Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα των Φ/Σ για την Ανατολική όψη. ....	34
Πίνακας 13: Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα των Φ/Σ για την Δυτική όψη. ....	36

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Πολυπλοκότητα αντικειμένου (πλήθος σημείων) σε σχέση με το μέγεθος του αντικειμένου.....	12
Διάγραμμα 2: Στο διάγραμμα παρουσιάζεται σχηματικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.....	15
Διάγραμμα 3: Παρουσιάζει τα πρωτογενή δεδομένα συνενωμένα, γεωαναφερμένα χωρίς την εξάλειψη του θορύβου.....	26
Διάγραμμα 4: Παρουσιάζει τα πρωτογενή δεδομένα συνενωμένα, γεωαναφερμένα χωρίς την εξάλειψη του θορύβου.....	27
Διάγραμμα 5: Η Συνθήκη Συγγραμμικότητας με τη μορφή εξίσωσης.....	29
Διάγραμμα 6: Παρουσιάζει τις αρχικές ρυθμίσεις του λογισμικού.....	31
Διάγραμμα 7: Στην εικόνα φαίνονται οι θέσεις των Φ/Σ της Βόρειας όψης.....	33
Διάγραμμα 8: Στην εικόνα φαίνονται οι θέσεις των Φ/Σ της Νότιας όψης.....	34
Διάγραμμα 9: Στην εικόνα οι θέσεις των Φ/Σ της Ανατολικής όψης.....	36
Διάγραμμα 10: Στην εικόνα φαίνονται οι θέσεις των Φ/Σ της Δυτικής όψης.....	37
Διάγραμμα 11: Μέσα στον κύκλο παρουσιάζονται τα σημεία σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των μπλοκ.....	38
Διάγραμμα 12: Στην εικόνα φαίνεται το άνω μπλοκ φωτογραφιών.....	39
Διάγραμμα 13: Στην εικόνα παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της συνένωσης των δύο μπλοκ.....	39
Διάγραμμα 14: Στην εικόνα φαίνεται σφάλμα συνένωσης των μπλοκ (αριστερά της εικόνας).....	40
Διάγραμμα 15: Στην εικόνα παρουσιάζεται το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας από όπως δημιουργήθηκε στο λογισμικό SCENE.....	42
Διάγραμμα 16: Τελικός ορθοφωτοχάρτης Ανατολικής όψης.....	45
Διάγραμμα 17: Τελικός ορθοφωτοχάρτης Δυτικής όψης.....	45
Διάγραμμα 18: Τελικός ορθοφωτοχάρτης Βόρειας όψης.....	46

Διάγραμμα 19: Τελικός ορθοφωτοχάρτης Νότιας όψης.....	46
---	----



## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕΠΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
Φ/Σ:	Φωτοσταθερά
UNESCO:	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
ICOMOS:	International Council on Monuments and Sites
CMOS:	Complementary Metal Oxide Semiconductor
M.E.T:	Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων
GPS:	Global Positioning Systems
INS:	Inertial Navigation System

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Clusters	Μεγάλο κομμάτι διαχωρισμού εργασιών στο Λογισμικό Scene
Chunks	Μεγάλο κομμάτι διαχωρισμού εργασιών στο Λογισμικό Agisoft Metashape
Align	Συνόρθωση





# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Γενικό Πλαίσιο Εργασίας

Οι επιστήμες της τοπογραφίας και της γεωπληροφορικής έχουν εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια με τη χρήση των σύγχρονων ψηφιακών συστημάτων, έτσι ώστε να βοηθούν τα μέγιστα στην οικοδομική δραστηριότητα και τη χαρτογράφηση με μεγαλύτερη ακρίβεια και ορθότητα. Παράλληλα, συμβάλλουν στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και τη γαλάζια ανάπτυξη, ενώ αξιοποιούνται επαρκώς τόσο στην αρχαιολογία, όσο και στην προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς μέσα από την αποτύπωση των μνημείων.

Η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι υποχρέωση όλων των γενεών προς τις επόμενες για τη διατήρηση της ιστορικής μνήμης. Ως εκ τούτου, έχουν συσταθεί διεθνείς οργανισμοί (UNESCO, ICOMOS), οι οποίοι ως κύριο σκοπό έχουν να κατοχυρώσουν μέσα από διεθνείς συμβάσεις την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς σε παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι, για παράδειγμα, με τον Διεθνή Χάρτη για τη συντήρηση και αποκατάσταση των Μνημείων και Τοποθεσιών ('Διεθνής Χάρτης για τη Συντήρηση και Αποκατάσταση των Μνημείων και Τοποθεσιών' 1964), θεσπίζεται η αναγκαιότητα αποτύπωσης - γεωμετρικής τεκμηρίωσης των μνημείων.

Η αποτύπωση ενός μνημείου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή είναι ένα απαραίτητο βήμα, καθώς καταγράφει το παρόν του. Ταυτόχρονα, αποτελεί το αναγκαίο υπόβαθρο, τόσο για όσους μελετούν το παρελθόν του, όσο και για αυτούς που θα χρειαστεί να φροντίσουν για το μέλλον του (Λάμπρου κ.α.. 2020). Η γεωμετρική αυτή τεκμηρίωση γίνεται μέσα από μια διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας, απόδοσης και καταχώρησης στοιχείων σχετικά με τη θέση, την πραγματική μορφή, το σχήμα και το μέγεθος ενός μνημείου στο χώρο των τριών διαστάσεων (Λάμπρου κ.α.. 2020).

Η εργασία αυτή, ασχολείται με την γεωμετρική τεκμηρίωση του Κάστρου Λεμεσού, ενός αμυντικού - οχυρωματικού μνημείου που, εδώ και αιώνες, αποτελεί σύμβολο για την πόλη της Λεμεσού. Απώτερος στόχος της εργασίας είναι η δημιουργία τεσσάρων ορθοφωτογραφιών των εξωτερικών όψεων του μνημείου. Οι εργασίες χωρίζονται σε δύο φάσεις εξίσου σημαντικές.

Η πρώτη φάση περιλαμβάνει τις εργασίες στο πεδίο, δηλαδή ένα συνδυασμό μετρητικών μεθόδων, που κρίθηκαν κατάλληλες για τον παραπάνω στόχο. Συγκεκριμένα,

χρησιμοποιήθηκε επίγειος σαρωτής (Laser Scanner) φωτογραμμετρικές μέθοδοι, καθώς και μέθοδοι κλασσικής τοπογραφίας. Η γεωμετρική τεκμηρίωση έγινε σε κλίμακα σχεδίασης 1:20, με ακρίβεια αποτύπωσης του χάρτη 1:50. Η επιλογή των οργάνων και μετρητικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν έγινε με γνώμονα την κάλυψη των προδιαγραφών και με κριτήριο να φέρουν το απαραίτητο αποτέλεσμα στο βέλτιστο χρόνο.

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει τις λεγόμενες εργασίες γραφείου, δηλαδή την επεξεργασία της συλλογής δεδομένων από τις επί τόπου μετρήσεις, ώστε να προκύψουν οι ορθοφωτογραφίες των εξωτερικών όψεων του μνημείου. Στο στάδιο αυτό λοιπόν, τα δεδομένα από τον επίγειο σαρωτή Laser συνενώνονται, γεωαναφέρονται και δημιουργείται το πρώτο Ψηφιακό Μοντέλο. Σε επόμενο στάδιο, οι φωτογραφίες με τη μέθοδο του αεροτριγωνισμού συνενώνονται, γεωαναφέρονται και προσανατολίζονται (εξωτερικός προσανατολισμός) με τη χρήση φωτοσταθερών σημείων επί του κτηρίου. Επίσης, από τα φωτογραμμετρικά δεδομένα δημιουργήθηκε ένα πυκνό νέφος σημείων και ακολούθως ένα Ψηφιακό Μοντέλο. Επιπλέον, στη φάση αυτή, διενεργούνται οι διαδικασίες για τη συνένωση των σημείων, τόσο από το φωτογραμμετρικό όσο και από τα δεδομένα του επίγειου σαρωτή, σε ένα ενιαίο μοντέλο. Στη συνέχεια, γίνεται ο καθαρισμός του μοντέλου. Τέλος, προκύπτουν οι ορθοφωτοχάρτες, των οποίων γίνεται η αξιολόγηση, αναφέρονται τυχόν προβλήματα που προέκυψαν και λάθη που έγιναν κατά τη διαχείριση των δεδομένων.

## **1.2 Διάρθρωση**

Η παρούσα εργασία χωρίζεται στα εξής κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Σύντομη εισαγωγή για το θέμα που πραγματεύεται η εργασία και αναφορά στην ιστορία του Κάστρου Λεμεσού, με έμφαση στα γεγονότα που συνέβαλαν στις μετατροπές, καταστροφές ή αλλοιώσεις του.

Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Σύντομη αναφορά στη μέθοδο της Φωτογραμμετρίας και την εξέλιξή της ιστορικά. Γίνεται μικρή αναφορά στην τεχνολογία της χρήσης επίγειου σαρωτή laser. Γίνεται σύγκριση των προαναφερθέντων μεθόδων ξεχωριστά και στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματα από τη συνδυαστική χρήση τους.

Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Εκτενής αναφορά στη μεθοδολογία συλλογής δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τον προγραμματισμό λήψεων, την υλοποίηση γεωδαιτικού δικτύου, τη συλλογή δεδομένων με τη χρήση επίγειου σαρωτή και τα προβλήματα που προκύπτουν από τις μετρήσεις υπαίθρου.

Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Εκτενής αναφορά στις εργασίες γραφείου που πραγματοποιούνται μετά το τέλος των εργασιών υπαίθρου και τη συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων για επεξεργασία. Αναλυτικά περιλαμβάνει την επεξεργασία νεφών από τον επίγειο σαρωτή Laser, τον προσανατολισμό των εικόνων και την παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Επιφάνειας.

Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Γίνεται αναφορά στις δυσκολίες που προέκυψαν και εξηγείται πώς ξεπεράστηκαν. Προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης και πρακτικές λύσεις για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος. Τονίζονται τα σημαντικότερα σημεία που χρήζουν μεγαλύτερης προσοχής κατά την υλοποίηση των εργασιών.

## 1.3 Το Κάστρο Λεμεσού

### 1.3.1 Ιστορικά στοιχεία

Σύμφωνα με τις αρχαιολογικές έρευνες, το σημερινό Κάστρο είναι χτισμένο πάνω στα ερείπια μιας παλαιοχριστιανικής βασιλικής (4ος - 7ος αι. μ.Χ.) και ενός μεσοβυζαντινού μνημείου (10ος - 11ος αι. μ.Χ.) (“Κάστρο Λεμεσού (Μεσαιωνικό Μουσείο Κύπρου)” χ.χ.). Η μεγάλη ασίδα, διαμέτρου 12 μέτρων περίπου, που βρίσκεται στο έδαφος του καμαροσκέπαστου υπογείου στην ανατολική πλευρά του τριώροφου κτίσματος, οδηγεί τους ειδικούς στην εικασία ότι ανήκει στον πρώτο λατινικό καθεδρικό ναό της πόλης (Νικολάου χ.χ.). Η ασίδα, ως εύρημα, έχει βαρύνουσα σημασία, μιας και αν ισχύει κάτι τέτοιο, το μεσοβυζαντινό μνημείο ταυτοποιείται.

Στα πλαίσια των σταυροφοριών τον 12ο αι. μ.Χ., η Κύπρος, με τη σπουδαία γεωγραφική της θέση, αποτελεί σημαντική βάση για τον έλεγχο και την προστασία των εμπορικών τους συμφερόντων στη Μέση Ανατολή. Έτσι, το 1191 μ.Χ. ο Ριχάρδος ο Λεοντόκαρδος, βασιλιάς της Αγγλίας, κατευθυνόμενος στα Ιεροσόλυμα για τη Γ΄ Σταυροφορία, κατέκτησε το νησί (Παντελίδου κ.α.. 1994). Ωστόσο, επειδή δεν ήθελε να έχει την ευθύνη της στρατιωτικής φρούρησης και υπόταξης του νησιού, πούλησε την Κύπρο στους συμμάχους του, τους Ναΐτες. Η συμφωνία όμως αυτή ακυρώθηκε, όταν οι Ναΐτες προσπάθησαν να ξεσηκώσουν τους κατοίκους. Τότε ο Ριχάρδος μεταβίβασε το νησί στον Γκυ Ντε Λουζινιάν (Παντελίδου κ.α.. 2002). Κατά την περίοδο της Φραγκοκρατίας (12ος - 15ος αι. μ.Χ.) θεμελιώθηκε το φεουδαρχικό σύστημα πολιτεύματος και κτίστηκαν ισχυρά και μεγάλα κάστρα στα αστικά κέντρα με σκοπό την επιβολή των κατακτητών. Φαίνεται ότι το κάστρο της Λεμεσού δεν κτίστηκε από τον πρώτο Φράγκο ηγεμόνα, Γκυ Ντε Λουζινιάν, ο οποίος πέθανε κατά τον δεύτερο χρόνο της βασιλείας του, αλλά λίγο αργότερα (“Λεμεσός πόλη, αξιοθεάτα μνημεία” χ.χ.).

Ο χρονογράφος Φλώριος Βουστρώνιος αναφέρει ότι το κάστρο της Λεμεσού κτίστηκε από τους Ναΐτες και κατασχέθηκε το 1308 μ.Χ. (“Λεμεσός πόλη, αξιοθεάτα μνημεία” χ.χ.). Γεγονός πάντως είναι ότι, το 1228 μ.Χ. το κάστρο υπήρχε και σε αυτό φυλακίστηκαν οι όμηροι που αναγκάστηκε να παραδώσει ο αντιβασιλέας της Κύπρου Ιωάννης Ιβελίνος (“Λεμεσός πόλη, αξιοθεάτα μνημεία” χ.χ.). Αυτό έγινε, ύστερα από την αποβίβαση του αυτοκράτορα της Γερμανίας, Φρειδερίκου Β΄, στη Λεμεσό, με στόχο να θέσει το νησί υπό την κυριαρχία του, μέχρι την ενηλικίωση του βασιλιά της Κύπρου, Ερρίκου Α΄. Αναφέρεται επίσης, ότι το 1248 - 1249 μ.Χ. ξεχειμώνιασε στο κάστρο με το

στράτευμά του ο βασιλιάς της Γαλλίας, Λουδοβίκος ο Θ΄ (“Λεμεσός πόλη, αξιοθεάτα μνημεία” χ.χ.).

Οι Ιβελίνοι, που ασφυκτιούσαν υπό την κυριαρχία του αυτοκράτορα της Γερμανίας, ζήτησαν τη βοήθεια των Γενουατών με αντάλλαγμα την παραχώρηση σημαντικών προνομίων (Παντελίδου κ.α.. 2002). Έτσι, το νησί όντας σε περίοδο Φραγκοκρατίας, πέρασε μια φάση «Γενουατοκρατίας». Οι εκάστοτε βασιλείς αύξαναν ολοένα τα προνόμια προς τους Γενουάτες, οι οποίοι φυσικά δεν δίστασαν σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και να συνωμοτήσουν εναντίον βασιλέων εκμεταλλευόμενοι την κατάσταση προς το συμφέρον τους. Ο Ερρίκος ο Β΄, θέλοντας να περιορίσει το μονοπώλιο, που απέκτησαν με τα προνόμια αυτά, οι Γενουάτες στο εμπόριο, παραχώρησε οικονομικά προνόμια και σε άλλους ξένους εμπόρους (Βενετούς, Ισπανούς) (Παντελίδου κ.α.. 2002). Το γεγονός αυτό δημιούργησε μεγάλες αντιζηλίες μεταξύ των εμπόρων.

Δεν άργησε να δοθεί η αφορμή που όλοι περίμεναν. Οι Γενουάτες άδραξαν την ευκαιρία και κατέλαβαν την Αμμόχωστο το 1372 μ.Χ. (Παντελίδου κ.α.. 2002). Το 1410 μ.Χ. προσπάθησαν να καταλάβουν και τη Λεμεσό χωρίς επιτυχία. Το Κάστρο της Λεμεσού, είχε ήδη υποστεί ζημιές και φθορές από την επίθεση του Σουλτάνου της Αιγύπτου το 1413 μ.Χ. που έκαψε τη Λεμεσό, ωστόσο δεν κατέλαβε το κάστρο (Νικολάου χ.χ.). Το 1424 - 1425 μ.Χ. ο Σουλτάνος, δυσαρεστημένος από την μη είσπραξη ικανοποιητικών φόρων από το νησί, πραγματοποίησε δύο εκστρατείες εναντίον της Κύπρου, όπου κατέλαβε και λεηλάτησε τη Λεμεσό, τα Κούκλια, τη Λάρνακα και εξασφάλισε την υποταγή των Γενουατών στην Αμμόχωστο. Το 1425 μ.Χ. σε μια δεύτερη επίθεση από τους Μαμελούκους, που ήξεραν τα αδύνατα σημεία του κάστρου, το κάστρο καταλήφθηκε (“Λεμεσός πόλη, Φραγκοκρατία-Βενετοκρατία” χ.χ.).

Μετά το θάνατο του βασιλιά της Κύπρου Ιακώβου Β΄, η σύζυγός του, Αικατερίνη Κορνάρο, παραχώρησε το βασίλειο στη Βενετία με αντάλλαγμα ισόβια σύνταξη (Παντελίδου κ.α.. 2002). Έτσι, αρχίζει για το νησί η περίοδος της Βενετοκρατίας (1489 - 1571 μ.Χ.). Κατά την περίοδο αυτή, οι Βενετοί συνέχισαν να πληρώνουν φόρο στον Σουλτάνο. Οι Βενετοί έδωσαν σημασία στην οχυρωματική ενίσχυση δύο μόνο πόλεων του νησιού, της Αμμοχώστου και της Λευκωσίας (Παντελίδου κ.α.. 2002). Αυτό, είχε ως αποτέλεσμα, να παραμείνει ελλιπής η οχύρωση των άλλων πόλεων. Το κάστρο της Λεμεσού επισκευάστηκε πρόχειρα στα σημεία όπου είχε υποστεί φθορές. Το 1518 μ.Χ. πάντως, ο περιηγητής Ζακ λε Σαιζ, περιγράφει το κάστρο της Λεμεσού ως αρκετά ισχυρό (“Λεμεσός πόλη, Φραγκοκρατία-Βενετοκρατία” χ.χ.). Ωστόσο, στις 14 Μαΐου 1539 μ.Χ.,

οι Τούρκοι έκαναν μια επιδρομή εναντίον της Λεμεσού, την οποία ισοπέδωσαν και σχεδόν κατέστρεψαν το κάστρο της (“Λεμεσός πόλη, Φραγκοκρατία-Βενετοκρατία” χ.χ.). Σύμφωνα με τον χρονογράφο Φλώριο Βουστρώνιο, ο προβλεπτής Βραγαδίνος Φραγκίσκος με τους συμβούλους του, κατέστρεψαν το κάστρο για να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους Τούρκους ως οχυρό (“Λεμεσός πόλη, Φραγκοκρατία-Βενετοκρατία” χ.χ.). Σύμφωνα με την ίδια πάντα πηγή, η κατεδάφιση του κάστρου στοίχισε περισσότερα απ’ όσο θα στοίχιζε η επισκευή του. Οι σεισμοί του 1567 μ.Χ. και του 1568 μ.Χ. έδωσαν τη χαριστική βολή στο κάστρο, καταστρέφοντας ότι είχε απομείνει (“Λεμεσός πόλη, αξιοθεάτα μνημεία” χ.χ.). Έτσι, σύμφωνα με τις πηγές (“Λεμεσός πόλη, Φραγκοκρατία-Βενετοκρατία” χ.χ.), το 1579 μ.Χ. μόνο ορισμένοι τοίχοι του κάστρου που σώζονταν μαρτυρούσαν την ύπαρξή του.

Το σημερινό κάστρο χρονολογείται γύρω στα 1590 μ.Χ. (“Κάστρο Λεμεσού (Μεσαιωνικό Μουσείο Κύπρου)” χ.χ.). Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας (1571 - 1878 μ.Χ.) οι Οθωμανοί δεν επέδειξαν σπουδαία οχυρωματικά έργα. Ωστόσο, αξιοποίησαν τις υφιστάμενες οχυρώσεις των Βενετών, συμπληρώνοντάς τις με τις απαραίτητες επιδιορθώσεις και προσθήκες, προκειμένου να αντέξουν στις επιθέσεις με πολυβόλα, η χρήση των οποίων είχε γενικευτεί κατά την περίοδο αυτή. Έτσι, ενίσχυσαν τους προμαχώνες των τειχών της Λευκωσίας και της Αμμοχώστου και ανύψωσαν το επίπεδο της τάφρου (Παντελίδου κ.α.. 2002). Ταυτόχρονα, συμπλήρωσαν τα κάστρα των παραλιακών πόλεων και τα χρησιμοποίησαν ως φυλακές. Στα πλαίσια ενίσχυσης της οχυρωματικής πολιτικής τους, οι Οθωμανοί περιέβαλαν με ισχυρό τείχος 2 μέτρων περίπου τους τοίχους του κάστρου της Λεμεσού που είχαν απομείνει, δημιουργώντας το σημερινό. Επίσης, διαίρεσαν το ανατολικό τμήμα του σε τρεις ορόφους και διαμόρφωσαν κελιά στο ισόγειο και τον όροφο, χρησιμοποιώντας το κάστρο ως φυλακές (“Λεμεσός πόλη, αξιοθεάτα μνημεία” χ.χ.).

Η χρήση του κάστρου ως κτηριακές εγκαταστάσεις φυλακών συνεχίστηκε και κατά την περίοδο της Αγγλοκρατίας μέχρι το 1948, οπότε ιδρύθηκαν οι κεντρικές φυλακές της Λευκωσίας. Ωστόσο, από το 1948 έως το 1964 το κάστρο πέρασε στη διοίκηση του Τμήματος Αρχαιοτήτων και χρησιμοποιήθηκε ως Επαρχιακό Αρχαιολογικό Μουσείο Λεμεσού. Το 1964 παραχωρήθηκε στην Εθνική Φρουρά, λόγω των διακοινοτικών ταραχών (“Κάστρο Λεμεσού (Μεσαιωνικό Μουσείο Κύπρου)” χ.χ.).

Από το 1987 μέχρι σήμερα λειτουργεί ως μουσειακός χώρος. Στις αίθουσές του, σε ειδικές προθήκες, προβάλλεται μέρος της Μεσαιωνικής συλλογής του Κυπριακού

Μουσείου. Ανάμεσα στα εκθέματα περιλαμβάνονται όπλα, πανοπλίες, εργαλεία, αλλά και αντικείμενα καθημερινής χρήσης, κοσμήματα, νομίσματα, καθώς και αρχιτεκτονικά μέλη βυζαντινών και γοθτικών μνημείων (“Κάστρο Λεμεσού (Μεσαιωνικό Μουσείο Κύπρου)” χ.χ.). Η συλλογή συμπληρώνεται με πλούσιο φωτογραφικό υλικό, κυρίως οχυρώσεων της Βυζαντινής και Μεσαιωνικής περιόδου, καθώς και εκκλησιαστικών μνημείων, των εν λόγω περιόδων. Μέσα από αυτά, ο επισκέπτης, μαθαίνει πληροφορίες για την ιστορία και τη ζωή των κατοίκων του τόπου σε πολιτικό, κοινωνικό, οικονομικό και θρησκευτικό επίπεδο από τον 3ο αι. έως το 18ο αι. μ.Χ..



## 2 Θεωρία

### 2.1 Φωτογραμμετρία

Ο όρος φωτογραμμετρία προέρχεται από τον γαλλικό όρο *photogrammétrie* και είναι ελληνογενής καθώς σχηματίζεται από τη σύνθεση των λέξεων: φως, γραμμή και μέτρηση. Ο ακριβής ορισμός, όπως αυτός καθορίζεται από το ISPRS, αναφέρεται ως: «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» (“International Society of Photogrammetry and Remote Sensing” χ.χ.). Η μέθοδος της φωτογραμμετρίας επινοήθηκε από τον Γερμανό μηχανικό Albrecht Meydenbauer το 1858, ο οποίος την χρησιμοποίησε για να φωτογραφίσει γεωμετρικές τεκμηριώσεις κτιρίων, με σκοπό να υποστηρίξει την αναγκαιότητα καταγραφής και αποτύπωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς σε περίπτωση καταστροφής (Blachut και Burkhardt 1988). Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί τη χρήση εικόνων για τη συλλογή ποσοτικών πληροφοριών παρέχοντας ταχύτητα, οικονομία, ακρίβεια και αξιοπιστία στη μέτρηση αντικειμένων χωρίς τη φυσική επαφή με αυτά, ενώ η εφαρμογή της εκτείνεται από την αποτύπωση μικρών αντικειμένων έως και τη χαρτογράφηση χωρών και ηπείρων (Μπαντέκας 1980).

Η εξέλιξη της φωτογραμμετρίας διακρίνεται στα εξής 3 βασικά στάδια:

- Αναλογική φωτογραμμετρία: μέσα από τη χρήση οπτικομηχανικών μέσων είναι δυνατή η εξαγωγή της θέσης, στις τρεις διαστάσεις, λεπτομερειών ενός εικονιζόμενου αντικειμένου, που εικονίζεται σε ένα στερεοζεύγος φωτογραφιών που έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις με σημαντική επικάλυψη (Πατιάς 1991).
- Αναλυτική φωτογραμμετρία: οι φωτογραμμετρικές διαδικασίες γίνονται με υπολογιστικά μέσα και για πρώτη φορά χρησιμοποιούνται Η/Υ για τον υπολογισμό των παραμέτρων των φωτογραφικών εικόνων και των προσανατολισμών τους, καθώς και ο προσδιορισμός στον τρισδιάστατο χώρο της θέσης των λεπτομερειών των αντικειμένων (Πατιάς 1991).
- Ψηφιακή φωτογραμμετρία: σταματά η επεξεργασία των αναλογικών φωτογραφιών. Η επεξεργασία γίνεται με υπολογιστικά μέσα σε ψηφιακές απεικονίσεις (σκαναρισμένες εικόνες ή πρωτογενείς ψηφιακές εικόνες) όχι μόνο του

ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αλλά και άλλων προτύπων της όπως, πχ. στο μήκος κύματος των μικροκυμάτων και υπέρυθρων ακτινών (Πατιάς 1991).

Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη Φωτογραμμετρία, μπορείτε να ανατρέξει κανείς στο βιβλίο «Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία» (1991) του Πέτρου Πατιά, Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ (Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης).

## **2.2 Επίγειοι Σαρωτές Laser (Terrestrial Laser Scanners)**

Η φωτογραμμετρία υπήρξε από πολύ παλιά ένας αξιόπιστος τρόπος για την παραγωγή γραμμικών σχεδίων, τρισδιάστατων απεικονίσεων, ανοιγμένων εικόνων και αναπτυγμάτων των αντικειμένων, είτε επρόκειτο για μνημεία, είτε για άλλες κατασκευές. Η καταγραφή όμως, έγινε πιο λεπτομερής και ταχύτερη, με τη χρήση της τεχνολογίας των επίγειων σαρωτών laser (Σταθοπούλου κ.α. 2011).

Γενικότερα οι Επίγειοι Σαρωτές Laser είναι ουσιαστικά ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που μπορούν να συλλέξουν μεγάλο πλήθος τρισδιάστατων συντεταγμένων σε μικρό χρονικό διάστημα. Τα σφάλματα τα οποία εμπεριέχονται στις μετρήσεις με τη χρήση του επίγειου σαρωτή laser, είναι πανομοιότυπα με αυτά των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Επιπρόσθετα, εξαιτίας της τυχαίας επιλογής σημείων κατά τη σάρωση, προκύπτει αρκετός θόρυβος από κινούμενα αντικείμενα και σημεία τα οποία δεν εμπίπτουν σε αντικείμενο ενδιαφέροντος (Σκαρλάτος 2020).

Οι επίγειοι σαρωτές laser κατηγοριοποιούνται στην ομάδα των ενεργητικών οργάνων. Περαιτέρω, διαχωρίζονται στις παρακάτω ομάδες ανάλογα με το τρόπο συλλογής της πληροφορίας, ο οποίος καθορίζει και το εύρος της απόστασης συλλογής της πληροφορίας (Χαμζάς κ.α.. 2005). Οι κατηγορίες έχουν ως εξής:

- Σαρωτές παλμού (Time of flight) ή μέτρησης χρόνου πτήσης της ακτίνας Laser (Pulse principle). Τέτοιου τύπου σαρωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για

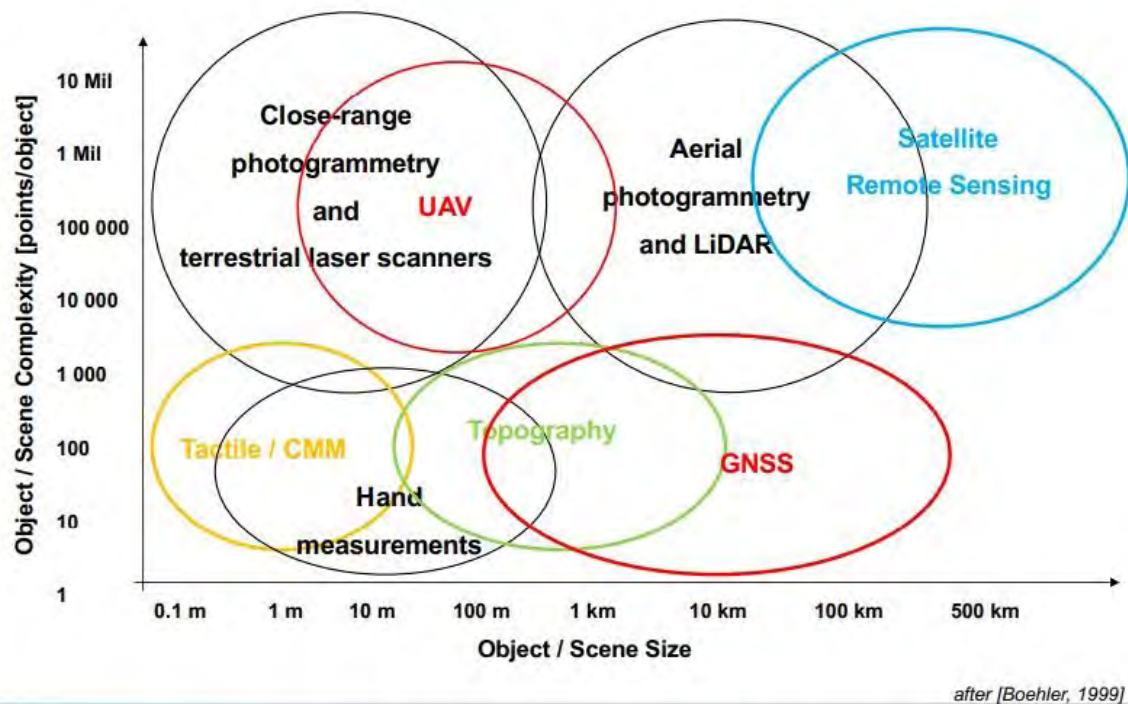
σαρώσεις σε εφαρμογές μεγάλων αποστάσεων της τάξης μερικών εκατοντάδων μέτρων με ακρίβειες της τάξης μερικών χιλιοστών (Σταθοπούλου κ.α. 2011).

- Σαρωτές διαφοράς φάσης (Phase comparison - Amplitude Modulation). Οι συγκεκριμένη κατηγορία σαρωτών είναι κατάλληλη για μετρήσεις ακρίβειας μερικών χιλιοστών με απόσταση αποτύπωσης τρισδιάστατων σημείων της τάξης των εκατό μέτρων (Σταθοπούλου κ.α.. 2011).
- Σαρωτές Τριγωνισμού (Optical Triangulation): οι οποίοι χρησιμοποιούνται για εργασίες αποτύπωσης μικρών αντικειμένων με υψηλή πυκνότητα σάρωσης, όπως για παράδειγμα βιομηχανικές εφαρμογές και εφαρμογές αντίστροφης μηχανική (reverse engineering). Για το λόγο αυτό οι συγκεκριμένοι σαρωτές μπορούν να αποτυπώσουν σε απόσταση μόνο μερικών μέτρων, αλλά με την εκπληκτική ακρίβεια μερικών μικρομέτρων (Σταθοπούλου κ.α.. 2011).

Χρηστικό εργαλείο για παρόμοιες εφαρμογές αποτελεί το Εγχειρίδιο Τριασδιάστατης Ψηφιοποίησης Ακινήτων Μνημείων και Χώρων, το οποίο είναι διαθέσιμο στο: <http://www.ipet.gr/digitech/docs/monuments.pdf>.

### **2.3 Συνδυαστικές Μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης (Φωτογραμμετρίας και Επίγειου Σαρωτή Laser)**

Η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου μπορεί να οριστεί ως η ενέργεια απόκτησης, επεξεργασίας, παρουσίασης και καταγραφής των απαραίτητων δεδομένων για τον προσδιορισμό της θέσης και της πραγματικής υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός μνημείου στον τρισδιάστατο χώρο σε συγκεκριμένη δεδομένη στιγμή στον χρόνο (UNESCO 1972). Αδιαμφισβήτητα, τόσο η μέθοδος Φωτογραμμετρίας, όσο και η χρήση του επίγειου σαρωτή laser, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά για τη δημιουργία τρισδιάστατης απεικόνισης, αφού και οι δύο μέθοδοι εμπίπτουν στο εύρος μεγάλης κλίμακας αποτύπωσης σύνθετων αντικειμένων.



**Διάγραμμα 1:** Πολυπλοκότητα αντικειμένου (πλήθος σημείων) σε σχέση με το μέγεθος του αντικειμένου.

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η μέθοδος που επιλέγεται κάθε φορά κρίνεται κυρίως, από τον ειδικό σύμφωνα πάντα με τις ιδιαιτερότητες του αντικειμένου ή της περιοχής μελέτης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, σε επικαλυπτόμενες περιοχές, όπως παρουσιάζεται στην παραπάνω εικόνα, μπορεί να γίνει χρήση συνδυαστικών μεθόδων. Ωστόσο, η συνδυαστική χρήση των μεθόδων, έχει γίνει αντικείμενο μακροσκελών συζητήσεων, που επικεντρώνονται κυρίως στο κατά πόσο παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας πυκνού νέφους σημείων. Μετά από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε ότι οι δύο μέθοδοι στον τομέα της τρισδιάστατης αναπαράστασης προσώπων, καθορίζονται από την πλειοψηφία των συγγραφέων ως ισάξιες και συγκρίσιμες σε θέμα ακριβειών. Συγκεκριμένα, η σύγκριση αυτή παρουσιάζεται στα δημοσιευμένα άρθρα (Skarlatos και Kiparissi 2012), (Barsanti κ.ά. 2012), με ένα συνδυασμό παραμέτρων, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 1:** Σύγκριση των χαρακτηριστικών φωτογραμμετρίας και σαρωτών laser (Barsanti κ.ά. 2012).

Χαρακτηριστικά	Φωτογραμμετρία	Σάρωση laser
Κόστος επένδυσης	Χαμηλό	Υψηλό

<b>Ευελιξία στη μεταφορά</b>	Εξαιρετική	Επαρκής
<b>Χρόνος λήψης μετρήσεων/δεδομένων</b>	Αρκετά χαμηλός	Υψηλός
<b>Χρόνος ανάκτησης μοντέλου</b>	Αρκετά χαμηλός, απαιτεί εμπειρία	Συχνά υψηλός
<b>3D πληροφορία</b>	Προς ανάκτηση	Άμεση λήψη
<b>Απόσταση λήψης</b>	Ανεξάρτητη	Εξαρτημένη
<b>Διαστάσεις αντικειμένου</b>	Ανεξάρτητη	Εξαρτημένη
<b>Υλικό αντικείμενου</b>	Σχεδόν ανεξάρτητη	Εξαρτημένη
<b>Φωτισμός</b>	Εξαρτημένη	Σχεδόν/Πλήρως ανεξάρτητη
<b>Πολυπλοκότητα γεωμετρίας</b>	Αρκετά εξαρτημένη	Ανεξάρτητη
<b>Υφή επιφάνειας αντικειμένου</b>	Εξαρτημένη	Ανεξάρτητη
<b>Κλίμακα</b>	Εικόνας	Έμμεση (1:1)
<b>Όγκος δεδομένων</b>	Εξαρτάται από το πλήθος, την ανάλυση των εικόνων και τις μετρήσεις	Πυκνό νέφος σημείων
<b>Απόδοση λεπτομερειών μοντέλου</b>	Καλή/Εξαιρετική	Γενικά εξαιρετική
<b>Απόδοση υφής</b>	Περιλαμβάνεται στα δεδομένα	Απούσα ή προβληματική ανάλυση
<b>Απόδοση ακμών</b>	Εξαιρετική	Αρκετά προβληματική
<b>Λογισμικά ανοιχτού κώδικα</b>	Κάποια	Λίγα

Μελετώντας τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον πίνακα αυτό, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Ο επίγειος σαρωτής laser δίνει λιγότερο θόρυβο στην επιφάνεια του αντικειμένου και επομένως, δεν χρειάζεται πολύς χρόνος για περαιτέρω επεξεργασία καθαρισμού, καθώς δίνει γενικά εξαιρετική απόδοση λεπτομερειών.
- Τόσο η μέθοδος Φωτογραμμετρίας, όσο και η μέθοδος με τη χρήση του επίγειου σαρωτή laser, προαπαιτούν τεχνογνωσία και εμπειρία από τον χειριστή.

- Οι επίγειοι σαρωτές laser απαιτούν συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ αυτών και του αντικειμένου, γεγονός που επιτυγχάνεται δύσκολα (Giraud κ.ά. 2013).
- Με τη χρήση Φωτογραμμετρικών μεθόδων, εφόσον ακολουθηθούν οι σωστές διαδικασίες και μέθοδοι, μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη ακρίβεια ανά σημείο, από ότι με τη χρήση επίγειου σαρωτή laser.
- Με τη χρήση Φωτογραμμετρικών μεθόδων μπορεί να παραχθεί αρκετά ρεαλιστικό μοντέλο, σε αντίθεση με τη χρήση του επίγειου σαρωτή laser.

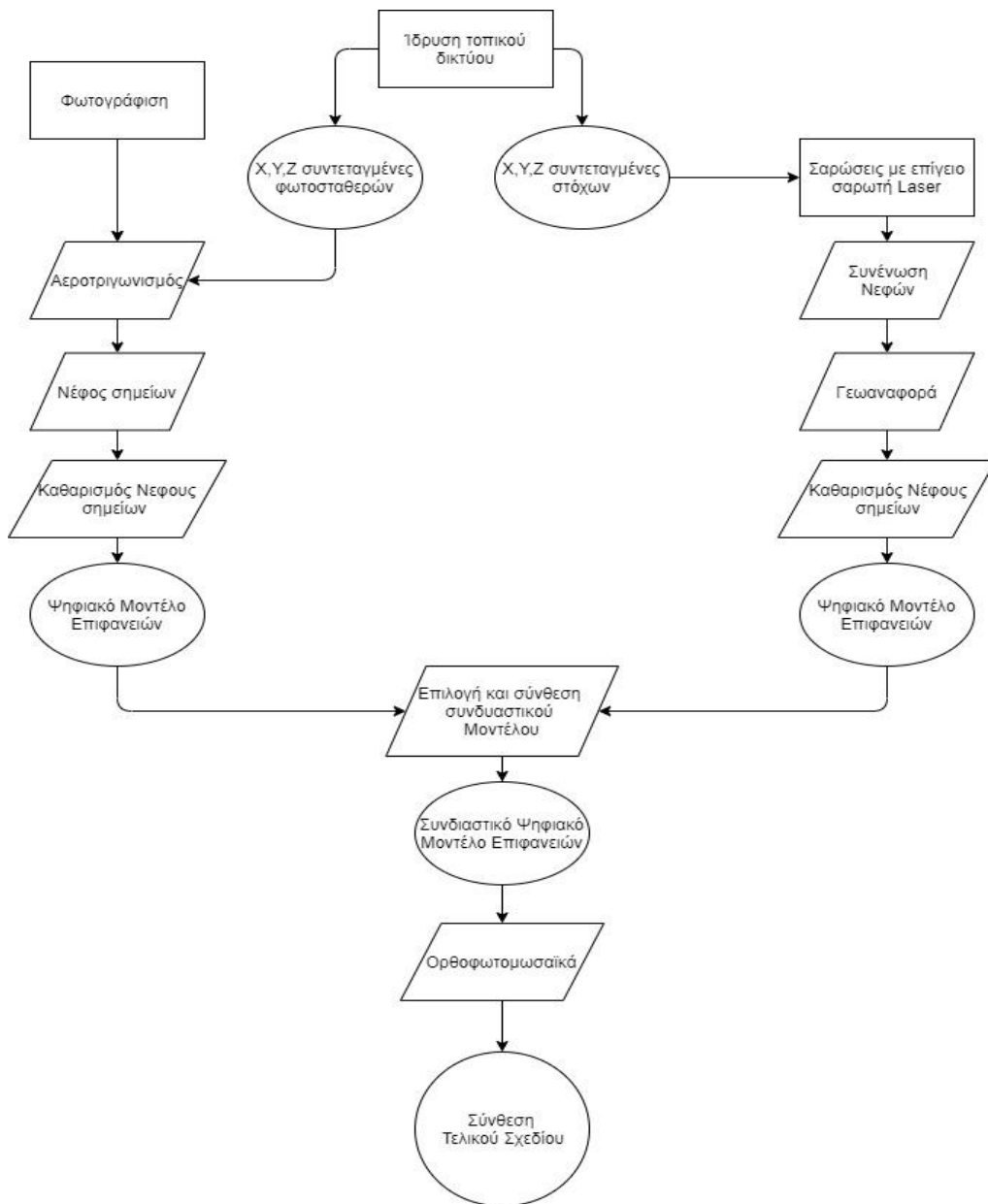
Αν και μια μερίδα των ειδικών κλίνει προς την επιλογή των φωτογραμμετρικών μεθόδων, ωστόσο συστήνεται ο συνδυασμός των δύο τεχνικών για μια πιο ακριβή και πλήρη απόδοση του αντικειμένου. Ως εκ τούτου, υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία με αρκετά παραδείγματα από τον συνδυασμό χρήσης και των δύο μεθόδων (Bariami κ.ά. 2012) (Beraldin κ.ά. 2002) (Haala και Alshawabkeh 2006).

### 3 Μεθοδολογία

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

Τα σχήματα υποδεικνύουν:

- Οι ενέργειες συλλογής στοιχείων από το πεδίο παρουσιάζονται με ορθογώνιο.
- Οι ενέργειες επεξεργασίας δεδομένων παρουσιάζονται με παραλληλόγραμμο.
- Τα επιθυμητά αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση παρουσιάζονται με έλλειψη.
- Το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται με κύκλο.



**Διάγραμμα 2:** Στο διάγραμμα παρουσιάζεται σχηματικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

## 4 Εφαρμογή

### 4.1 Συλλογή Δεδομένων

Πριν την έναρξη των εργασιών κρίθηκε αναγκαία η αναγνώριση της περιοχής του Κάστρου. Έγινε ενημέρωση για τους κανόνες που έπρεπε να τηρηθούν όντας στο συγκεκριμένο χώρο. Στη συνέχεια, μελετήθηκε το μνημείο και ο περιβάλλον χώρος, προκειμένου να σχηματιστεί μία πλήρη και σαφή εικόνα της γεωμετρίας του. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή των διαδικασιών που πραγματοποιήθηκαν σταδιακά στο Μεσαιωνικό Κάστρο της Λεμεσού, με σκοπό τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων.

#### 4.1.1 Προγραμματισμός Λήψεων

Ο βασικός στόχος της πτυχιακής εργασίας ήταν η παραγωγή 4 ορθοφωτογραφιών από την Ανατολική Δυτική Βόρεια και Νότια όψη του Κάστρου, στις οποίες έπρεπε να συμπεριληφθούν και τα δύο άνω δώματα του μνημείου. Η κλίμακα των ορθοφωτοχαρτών ορίστηκε σε 1:20, με ακρίβεια εξαγωγής της κλίμακας 1:50. Με άλλα λόγια, η ζητούμενη ακρίβεια πρέπει να είναι  $50 \cdot 0,00025 = 0,0125\text{m}$ . Για τον σκοπό αυτό, αρχική σκέψη ήταν η πραγματοποίηση των μετρήσεων με χρήση καθαρά φωτογραμμετρικών μεθόδων. Γενικότερα είναι γνωστό ότι η ακρίβεια μιας ορθοφωτογραφίας σχετίζεται άμεσα με το ψηφιακό μοντέλο και αυτό με τη σειρά του με το νέφος σημείων. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία, το υλικό κατασκευής και κυρίως στο μέγεθος του αντικειμένου, αλλά και με τη μελέτη του άρθρου «COMPARISON OF LASER SCANNING, PHOTOGRAMMETRY AND SFM-MVS PIPELINE APPLIED IN STRUCTURES AND ARTIFICIAL SURFACES» (Skarlatos και Kiparissi 2012) αποφασίστηκε τελικά όπως γίνει χρήση μιας υβριδικής τεχνικής. Ως εκ τούτου, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει χρήση του νέφους σημείων από τον επίγειο σαρωτή και δημιουργία ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας από αυτόν, έτσι ώστε η δημιουργία των ορθοφωτογραφιών να είναι καλύτερη σε θέμα ακρίβειας.

Για τη φωτογράφιση των όψεων χρησιμοποιήθηκε η ψηφιακή μηχανή Nikon D90, η οποία διαθέτει φωτοευαίσθητη επιφάνεια (CMOS) διαστάσεων 23,6 x 15,8 mm και αντίστοιχα 4,288 x 2,848 pixels και μέγεθος pixel 5.5 μm. Επίσης, για τη φωτογράφιση έγινε χρήση 24 mm φακού. Γνωρίζοντας ότι οι τελικοί ορθοφωτοχάρτες έπρεπε να έχουν μέγεθος εικονοψηφίδας μικρότερο από 5 mm, όπως προκύπτει από τον τύπο  $0,25\text{ mm} \cdot$



κλίμακα ορθοφωτογραφίας (1:20), υπολογίστηκε ότι οι λήψεις σε κάθε περίπτωση έπρεπε να είναι σε απόσταση από το αντικείμενο μικρότερης των 22 μέτρων, δηλαδή με κλίμακα λήψης 1:910 ή και μεγαλύτερη. Με τον περιορισμό της απόστασης στα 22 μέτρα έγινε προγραμματισμός των λήψεων για κάθε μπλοκ φωτογραφιών. Κατά κόρον, οι λήψεις έγιναν με επικάλυψη 80% κατά τον άξονα X και 60% στον άξονα Ψ και μετωπικά ως προς το αντικείμενο. Επιπλέον, για την καλύτερη συνένωση του άνω μέρους του Κάστρου με την αντίστοιχη όψη, έγιναν μερικές λήψεις κατά τα πρότυπα αναπαραγωγής τρισδιάστατης επιφάνειας.

Σε μεταγενέστερο στάδιο έγινε η μέτρηση των φυσικών φωτοσταθερών. Για τη λήψη των φωτοσταθερών, αρχικά, εκτυπώθηκαν πρόχειρες ορθοφωτογραφίες και επιλέχθηκαν σημεία από αυτές με συγκεκριμένα πρότυπα (Kraus 2003). Ακολούθως, έγινε η απαραίτητη πύκνωση του γεωδαιτικού δικτύου στο πεδίο, η εύρεση και η μέτρηση των φωτοσταθερών.

#### **4.1.2 Υλοποίηση Γεωδαιτικού Δικτύου**

Η δημιουργία του Γεωδαιτικού Δικτύου αποσκοπούσε στη μέτρηση των φωτοσταθερών σημείων και των στόχων για τη σωστή γεωαναφορά, τόσο του ψηφιακού μοντέλου από την χρήση φωτογραμμετρίας, όσο και από τη χρήση του επίγειου σαρωτή. Το δίκτυο υλοποιήθηκε εξωτερικά από το προαύλιο του Κάστρου. Οι κορυφές της όδευσης επιλέχθηκαν με τρόπο, ώστε να μπορεί να γίνει πύκνωση του δικτύου με τυφλές στάσεις στο εσωτερικό του προαυλίου του Κάστρου. Η όδευση που δημιουργήθηκε ήταν ανοικτή, πλήρως εξαρτημένη, σε σημεία γνωστών συντεταγμένων που προϋπήρχαν στην περιοχή.

Για τον προσδιορισμό των στάσεων χρησιμοποιήθηκε ταχυμετρία. Επεξηγώντας, ταχυμετρία ονομάζεται η τεχνική κατά την οποία ο χειρίστης του γεωδαιτικού σταθμού σκοπεύει και μετρά τις ευκλείδειες αποστάσεις, τουλάχιστον τρεις φορές, από όλες τις στάσεις που έχει οπτική επαφή. Ακολούθως, τα δεδομένα εξάχθηκαν από τον γεωδαιτικό σταθμό και μετατράπηκαν στη μορφή που δεχόταν το λογισμικό. Εν συνεχεία, η όδευση λύθηκε με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.) με το λογισμικό «Ταχυμετρία».

##### **4.1.2.1 Αποτελέσματα**

Μέσω του παραπάνω λογισμικού παρέχεται η δυνατότητα εύρεσης τυχόν σφαλμάτων σε μετρήσεις, προκειμένου να αφαιρεθούν από τη λύση. Τα σφάλματα που προέκυψαν

σε μερικές μετρήσεις συνοψίζονται κυρίως σε σφάλματα οριζοντίωσης του πρίσματος (στόχος). Το γενικό αποτέλεσμα κλεισίματος της όδευσης ήταν στο (+-) 1 mm. Η ακρίβεια ήταν ικανοποιητική και εντός αναμενόμενων ορίων.

#### **4.1.3 Συλλογή δεδομένων με χρήση επίγειου σαρωτή**

Η χρήση του επίγειου σαρωτή για τη συλλογή πληροφορίας ήταν το αμέσως επόμενο βήμα. Για τη συλλογή της πληροφορίας χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής laser της εταιρίας FARO και συγκεκριμένα το μοντέλο Focus M70. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι σαρωτής διαφοράς φάσης, έχει ακρίβεια της τάξης των  $\pm 3$  mm και εμβέλεια καταγραφής δεδομένων μέχρι 70 m. Επίσης, αυτός ο τύπος σαρωτή παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων 122.000 σημείων ανά δευτερόλεπτο, σε ένα οπτικό πεδίο καταγραφής  $300^\circ$  στον κάθετο άξονα και  $360^\circ$  στον οριζόντιο, με βήμα της τάξης των  $0,009^\circ$  τόσο στον οριζόντιο, όσο και στον κάθετο άξονα. Επιπρόσθετα, διαθέτει μονόσυχο GPS κλισίμετρο βαρόμετρο και ηλεκτρονική πυξίδα. Επιπλέον, ο συγκεκριμένος σαρωτής παρέχει λογισμικό, το οποίο μπορεί να συνενώσει τις σαρώσεις χωρίς τη χρήση στόχων, αλλά με τη χρήση της σχετικής θέσης και βρίσκοντας αυτόματα κοινά σημεία σύνδεσης των παραγόμενων νεφών. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί στόχοι όπου αναγνωρίζονταν αυτόματα από το σαρωτή για να γίνει η γεωαναφορά του συνολικού συνενωμένου νέφους σημείων.

Προκειμένου να αποτυπωθούν όλα τα σημεία ενδιαφέροντος του Κάστρου και λόγω της γεωμετρίας του, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 38 σαρώσεις. Οι θέσεις του σαρωτή επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί, με όσο το δυνατόν λιγότερες σαρώσεις, η καταγραφή κατά το δυνατόν περισσότερης πληροφορίας, χωρίς τη δημιουργία κενών και με αρκετή επικάλυψη ανάμεσα στις σαρώσεις, με αντικείμενο αποτύπωσης τις τέσσερις όψεις του κάστρου. Η επικάλυψη ανάμεσα στις σαρώσεις χρειάζεται για την μετέπειτα ένωση των νεφών σημείων στο λογισμικό. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι ο συγκεκριμένος επίγειος σαρωτής δεν έχει δυνατότητα τοποθέτησης σε στάση γνωστών συντεταγμένων. Αυτό οφείλεται τόσο στον τρίποδα, όσο και στο λογισμικό του που δεν υποστηρίζει αρχικοποίηση για θέση και μηδενισμό. Παρέχει όμως αισθητήρες για να αυτοματοποιεί κατά το δυνατόν την συνένωση των νεφών σημείων μεταξύ τους. Για την ακόλουθη γεωαναφορά χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί στόχοι εκτυπωμένοι σε χαρτί, οι οποίοι αφού κολλήθηκαν στο έδαφος, σε σημεία όπου δεν θα έκρυβαν πληροφορία. Οι

στόχοι αυτοί μετρήθηκαν με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό και εξαρτήθηκαν από τοπικό δίκτυο.

#### **4.1.4 Προβλήματα μετρήσεων υπαίθρου**

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο πεδίο, εμφανίστηκαν πολλά προβλήματα, εκ των οποίων κάποια καθυστέρησαν τη διεξαγωγή των μετρήσεων, ενώ άλλα εμπόδισαν τη συλλογή των απαραίτητων μετρήσεων. Τα προβλήματα αυτά παρατίθενται παρακάτω:

- Μη ευνοϊκές καιρικές συνθήκες. Οι έντονες βροχοπτώσεις κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, που πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις στο πεδίο, παρεμπόδισαν και ανέβαλαν αρκετές φορές την προγραμματισμένη διεξαγωγή τοπογραφικών εργασιών.
- Επισκευσιμότητα μνημείου. Το Κάστρο αποτελεί σύμβολο για την πόλη της Λεμεσού, λόγω της σημαντικότητάς του και της θέσης του στο κέντρο της πόλης. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη φιλοξενία στο εσωτερικό του μέρους της μεσαιωνικής συλλογής του Κυπριακού Μουσείου, είχε ως αποτέλεσμα την αδιάκοπη προσέλευση τουριστών και σχολικών ομάδων, η οποία εμπόδισε την απρόσκοπτη διεξαγωγή των εργασιών. Έτσι, συχνά αναγκαστικά διακόπτονταν οι τοπογραφικές και φωτογραμμετρικές μετρήσεις, καθώς και οι μετρήσεις με τον επίγειο σαρωτή.
- Φυσικό εμπόδιο. Το κυριότερο πρόβλημα, το οποίο παρέμεινε και ανυπέρβλητο, ήταν η ύπαρξη ενός δέντρου στη βόρεια όψη του Κάστρου. Το δέντρο αυτό, που ακουμπούσε στους προμαχώνες, δημιούργησε έλλειψη πληροφορίας στο συγκεκριμένο σημείο. Έτσι, παρά τη λήψη φωτογραφιών, δεν ήταν εφικτή η γεωμετρική αποτύπωση στα σημεία εκείνα που καλύπτονταν από τα κλαδιά και τα φύλλα του δέντρου. Ο μόνος τρόπος με τον οποίο θα μπορούσε να ξεπεραστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα θα ήταν το κόψιμο των κλαδιών στα σημεία που εμπόδιζαν.

## 4.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Μετά τις εργασίες πεδίου, κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκε η συλλογή των δεδομένων στο Μεσαιωνικό Κάστρο Λεμεσού, ακολουθεί η επεξεργασία τους, με απώτερο σκοπό τη δημιουργία 4 ορθοφωτοχαρτών. Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται με χρονολογική σειρά οι διαδικασίες επεξεργασίας που έχουν γίνει στο πλαίσιο των εργασιών γραφείου.

### 4.2.1 Επεξεργασία Νεφών από επίγειο σαρωτή

Η επεξεργασία νεφών, περιλαμβάνει την διαδικασία συνένωσης των νεφών με διάφορες διαδικασίες, καθώς και την γεωαναφορά του ενιαίου νέφους σημείων. Αρχικά, θα αναλυθεί η διαδικασία συνένωσης και στη συνέχεια, θα γίνει περιγραφή της συγκεκριμένης διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τη γεωαναφορά του ολικού πυκνού νέφους σημείου. Ακολούθως, θα γίνει αναφορά στη διαδικασία καθαρισμού των νεφών από το θόρυβο, τόσο με τη χρήση ειδικού φίλτρου, όσο και με χειροκίνητα μέσα. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη διαδικασία αυτή είναι το SCENE της εταιρίας FARO. Το λογισμικό αυτό είναι αρκετά ευέλικτο και προσφέρει ποικίλους τρόπους για τις παραπάνω διαδικασίες.

#### 4.2.1.1 Συνένωση Νεφών Σημείων

Η διαδικασία αυτή έχει ως στόχο να δημιουργήσει ένα κοινό νέφος σημείων από τις επιμέρους σαρώσεις. Για τη συνένωση των νεφών δεν χρειάζονται στόχοι. Η συνένωση έγινε σε αυθαίρετο σύστημα αναφοράς και λόγω της πολυπλοκότητας του αντικειμένου, χρησιμοποιήθηκαν αρκετοί διαφορετικοί τρόποι συνένωσης που προσφέρει το λογισμικό SCENE. Αρχικά δημιουργήθηκε το καινούργιο project στο λογισμικό. Αυτόματα δημιουργείται ένα Layer, στο οποίο ο χειριστής έχει δυνατότητα να δώσει όνομα στο νέο project. Ταυτόχρονα, δημιουργείται ένα Cluster με όνομα scans στο οποίο εισήχθηκαν και οι 38 σαρώσεις. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε συνένωση (Registration) με τον τρόπο συνένωσης «Top view cloud to cloud». Ο συγκεκριμένος τρόπος ταιριάζει σε αρχικό στάδιο τα νέφη βλέποντας τα από την κάτοψη τους και ακολούθως τα συνενώνει. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι το λογισμικό συνένωνε τις σαρώσεις λάθος και έτσι προτιμήθηκε να ακολουθηθεί άλλη μέθοδος. Δημιουργήθηκαν λοιπόν 2 Clusters, ώστε να εισαχθούν στο πρώτο οι σαρώσεις από το πάνω μέρος του Κάστρου και στο δεύτερο οι σαρώσεις από το κάτω μέρος του Κάστρου. Στη συνέχεια κάθε Cluster συνενώθηκε

ξεχωριστά, με τη μέθοδο που αναφέρεται παραπάνω. Έπειτα, αφού ελέγχθηκε ότι τα αποτελέσματα των συνενώσεων ήταν ικανοποιητικά, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη συνένωση «Manual Registration», με σκοπό να συνενωθούν τα δυο Clusters μεταξύ τους. Στη συγκεκριμένη μέθοδο, ο χρήστης, έχοντας τις πανοραμικές φωτογραφίες των νεφών επιλέγει δυο νέφη, στα οποία διακρίνει ότι υπάρχει επικάλυψη και στη συνέχεια στοχεύει σε κάποια χαρακτηριστικά σημεία και στις δυο φωτογραφίες. Ακολουθώντας τη συγκεκριμένη μεθοδολογία και κάνοντας δοκιμαστικά πολλά διαφορετικά Registrations, επιλέχθηκε η βέλτιστη λύση.

Συγκεκριμένα το Cluster, το οποίο περιλάμβανε τις σαρώσεις για το πάνω μέρος του Κάστρου συνενώθηκε με μέση ακρίβεια 2,5 mm ενώ το Cluster που περιλάμβανε τις σαρώσεις του κάτω μέρους του Κάστρου συνενώθηκε με μέση ακρίβεια 2,2 mm.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται το μέγιστο σφάλμα, το συνολικό μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη των σημείων για το άνω κομμάτι και το κάτω αντίστοιχα.

**Πίνακας 2:** Στον πίνακα φαίνεται το μέγιστο σφάλμα, το συνολικό μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη των σημείων.

Overview Top Cluster		Overview Bottom Cluster	
Scan Point Statistics		Scan Point Statistics	
Maximum Point Error	8,8mm	Maximum Point Error	8,5mm
Mean Point Error	2,5mm	Mean Point Error	2,2mm
Minimum Overlap	10,4%	Minimum Overlap	17,6%

Ενώ, στους πίνακες που ακολουθούν φαίνεται σχετικά με τον αριθμό των συνδέσεων το μέγιστο σφάλμα, το μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη για κάθε σάρωση ξεχωριστά.

**Πίνακας 3:** Στον πίνακα φαίνεται ο αριθμός των συνδέσεων, το μέγιστο σφάλμα, το μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη για κάθε σάρωση ξεχωριστά.

Scan Errors				
Scan Point Statistics				
Cluster/Scan	Connections	Max. Point Error [mm]	Mean Point Error [mm]	Min. Overlap
Scn-003	4	3.1	2.3	33.5%

Scn-004	4	2.9	2.1	31.2%
Scn-005	4	2.7	1.9	28.5%
Scn-012	4	2.3	2.0	28.5%
Scn-011	2	2.8	2.6	20.8%
Scn-013	3	4.0	2.7	10.4%
Scn-016	4	3.9	2.8	33.5%
Scn-014	4	3.9	2.9	20.1%
Scn-015	3	4.0	3.2	10.4%
Scn-010	3	1.7	1.2	19.2%
Scn-009	2	1.2	1.0	70.2%
Scn-002	5	3.5	1.9	30.2%
Scn-006	5	4.1	2.5	11.2%
Scn-001	6	8.8	3.9	24.2%
Scn-007	4	3.5	2.5	36.4%
Scn-008	5	8.8	3.1	19.2%
Scan_018	3	4.1	2.9	11.2%
Scan_017	1	1.2	1.2	84.7%

**Πίνακας 4:** Στον πίνακα φαίνεται ο αριθμός των συνδέσεων, το μέγιστο σφάλμα, το μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη για κάθε σάρωση ξεχωριστά.

Scan Errors				
Scan Point Statistics				
Cluster/Scan	Connections	Max. Point Error [mm]	Mean Point Error [mm]	Min. Overlap
Scan_016	4	2.7	2.5	26.8%
Scan_021	4	2.6	2.3	26.8%
Scan_020	3	8.5	3.9	17.6%
Scan_019	2	2.3	1.8	64.9%
Scan_014	5	8.5	3.6	17.6%
Scan_013	5	2.9	2.0	26.8%
Scan_012	4	2.9	2.1	31.5%
Scan_011	5	3.1	2.2	19.1%
Scan_010	5	2.9	2.2	31.5%
Scan_009	4	2.7	1.9	19.1%

Scan_008	3	2.2	1.7	41.0%
Scan_007	5	2.4	2.0	52.5%
Scan_015	4	2.7	2.2	28.0%
Scan_006	5	2.7	2.4	22.0%
Scan_005	5	2.6	2.0	24.3%
Scan_004	5	2.5	1.9	39.0%
Scan_003	4	2.1	1.7	52.5%
Scan_002	4	2.1	1.8	25.1%
Scan_001	6	2.6	1.8	22.0%
Scan_000	4	2.4	1.9	49.8%

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι ακρίβειες της συνένωσης των δυο δημιουργημένων Clusters σε ένα κοινό. Η συνένωση των δυο νεφών πραγματοποιήθηκε με μέση ακρίβεια 3 mm, με τη μέγιστη απόκλιση να φτάνει τα 3,3 mm και τη μικρότερη επικάλυψη ανάμεσα στις σαρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση να είναι 70,8%.

**Πίνακας 5:** Στον πίνακα φαίνονται οι ακρίβειες της συνένωσης των δύο δημιουργημένων clusters σε ένα κοινό.

Scan Errors				
Scan Point Statistics				
Cluster/Scan	Connections	Max. Point Error [mm]	Mean Point Error [mm]	Min. Overlap
Scans_kato	1	3.3	3.0	70.8%
Scans_pano	1	3.3	3.0	70.8%

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τον αριθμό των συνδέσεων, το μέσο σφάλμα και την ελάχιστη επικάλυψη στις σαρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ένωση του πάνω μέρους του Κάστρου με το κάτω.

**Πίνακας 6:** Στον πίνακα φαίνονται οι ακρίβειες συνένωσης του πάνω μέρους του Κάστρου με το κάτω.

Detailed Errors				
Scan Point Statistics				

Cluster/Scan 1	Cluster/Scan 2	Point Error [mm]	Overlap
Scans_kato/Scan_0019	Scans_pano/Scan_017	2.5	70.8%
Scans_kato/Scan_019	Scans_pano/Scan_018	3.2	75.1%
Scans_kato/Scan_020	Scans_pano/Scan_018	3.3	75.8%
Scans_kato/Scan_020	Scans_pano/Scan_017	3.1	71.4%

#### 4.2.1.2 Γεωαναφορά του ενιαίου νέφους σημείων

Η γεωαναφορά του ενιαίου νέφους σημείων έγινε στο ίδιο λογισμικό. Οι στόχοι, αφού μετρήθηκαν οι ευκλείδειες αποστάσεις στο πεδίο, επιλύθηκαν και δημιουργήθηκε ένα αρχείο Text Format με το μορφότυπο που αναγνωρίζει το πρόγραμμα. Στη συνέχεια, εισήχθη το αρχείο σε ένα καινούριο Cluster, ενώ το αμέσως επόμενο βήμα ήταν η εισαγωγή ενός αντιγράφου του ενιαίου νέφους σε ένα καινούριο Cluster για λόγους ασφάλειας. Ακολούθως, έγινε χειροκίνητη αναγνώριση των στόχων και ονομασία αυτών, με ονόματα συμβατά με αυτά των μετρήσεων. Η συμβατότητα των ονομάτων ανάμεσα στον μετρημένο στόχο στο πεδίο και στον στόχο στο ενιαίο νέφος, είναι απαραίτητη όχι μόνο για την αναγνώρισή τους από τον χρήστη, αλλά και για την αυτόματη ταυτοποίησή τους από το λογισμικό. Έπειτα, δημιουργήθηκε ένα νέο Registration με τη μέθοδο συνένωσης «Target Based» μεταξύ του ενιαίου νέφους σημείων και των στόχων. Για τη γεωαναφορά, χρησιμοποιήθηκαν 8 στόχοι. Το γενικό μέσο σφάλμα γεωαναφοράς του μοντέλου είναι 12,1 mm, σφάλμα το οποίο είναι αποδεκτό για μετρήσεις της κλίμακας 1:50, όπου το μέσο επιτρεπτό σφάλμα είναι 12,5 mm.

**Πίνακας 7:** Στον πίνακα φαίνεται ο μέγιστο σφάλμα, το συνολικό μέσο σφάλμα και η ελάχιστη επικάλυψη των σημείων σε σχέση με τους στόχους.

Overview	
Target Statistics	
Max. Distance Error	15.9 mm
Mean Distance Error	12.1 mm
Max. Horizontal Error	15.8 mm
Mean Horizontal Error	10.8 mm
Max. Vertical Error	7.6 mm
Mean Vertical Error	4.3 mm
Max. Angular Error	-
Mean Angular Error	-



Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αναλυτικά τα σφάλματα της γεωαναφοράς ως σύνολο, καθώς και αναλυτικά για κάθε στόχο.

**Πίνακας 8:** Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα συνένωσης του νέφους με τους στόχους.

Scan Errors									
Target Statistics									
Cluster/ Scan	Connections	Max. Dist. [mm]	Mean Dist. [mm]	Max. Hor. [mm]	Mean Hor. [mm]	Max. Vert. [mm]	Mean Vert. [mm]	Max. Angle [deg]	Mean Angle [deg]
Scans	1	15.9	12.1	15.8	10.8	7.6	4.3	-	-
References	1	15.9	12.1	15.8	10.8	7.6	4.3	-	-

**Πίνακας 9:** Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα συνένωσης του νέφους με τους στόχους αναλυτικά για κάθε στόχο.

Detailed Errors							
Target Statistics							
Cluster/Scan 1	Target 1	Cluster/Scan 2	Target 2	Dist. [mm]	Hor. [mm]	Ver. [mm]	Angle [deg]
Scans	T12	References	T12	13.0	10.5	7.6	-
Scans	T9	References	T9	12.0	9.8	6.9	-
Scans	T8	References	T8	14.1	13.4	4.3	-
References	T1	Scans	T1	15.9	15.8	1.1	-
References	T1	Scans	T1	11.5	11.4	0.7	-
References	T2	Scans	T2	10.2	10.2	1.3	-
References	T13	Scans	T13	12.6	10.8	6.6	-
References	T10	Scans	T10	7.3	4.1	6.1	-

Η γεωαναφορά κρίνεται χρήσιμη, καθώς όλες οι μετρήσεις πρέπει να παρουσιάζονται σε ένα κοινό, κρατικό ή τοπικό σύστημα αναφοράς.

#### 4.2.1.3 Καθαρισμός Νέφους από Θόρυβο

Κατά τη διάρκεια των σαρώσεων για την αποτύπωση του Κάστρου, σαρώθηκαν αρκετά στοιχεία τα οποία δεν ενέπιπταν στο αντικείμενο μελέτης. Τα στοιχεία αυτά, που εμφανίζονται στα νέφη, ονομάζονται στην επιστήμη της τοπογραφίας «θόρυβος» και ο τοπογράφος προβαίνει σε ειδική διαδικασία αφαίρεσής τους. Για παράδειγμα, υπήρξε

πολύς θόρυβος από την ύπαρξη επισκεπτών που περιφέρονταν στον χώρο και οι οποίοι πολλές φορές περνούσαν μπροστά από τον σαρωτή, παρακωλύοντας το έργο του τοπογράφου και δημιουργώντας θόρυβο. Επιπλέον, καθαρισμός θορύβου χρειάστηκε να γίνει σε σημεία όπου δέντρα εφάπτονταν στους προμαχώνες του Κάστρου.

Ο καθαρισμός έγινε στο ενιαίο νέφος σημείων και όχι σε κάθε σάρωση ξεχωριστά, αφού κάτι τέτοιο θα ήταν αρκετά χρονοβόρο. Το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα φίλτρου για εύρεση και διαγραφή του θορύβου από κινούμενα αντικείμενα. Έτσι, σε πρώτη φάση χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα αυτή. Ακολούθως, χρησιμοποιήθηκε ένα άλλο φίλτρο, το οποίο παρέχει το λογισμικό και δίνει τη δυνατότητα αφαίρεσης της βλάστησης. Με τη χρήση των δυο αυτών φίλτρων, διαγράφηκε αρκετός θόρυβος, αλλά δεν εξαλείφθηκε εντελώς.

Συνεπώς, στο τελικό στάδιο καθαρισμού, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη απομάκρυνση του θορύβου με τη χρήση του clipping box, με το οποίο επιλέχθηκε μόνο το Κάστρο και διαγράφηκαν τα σημεία εκτός αυτού. Ακόμη, με τον ίδιο τρόπο έγινε η διαγραφή του εναπομείναντα θορύβου από το τελικό νέφος.



**Διάγραμμα 3:** Παρουσιάζει τα πρωτογενή δεδομένα συνενωμένα, γεωαναφερμένα χωρίς την εξάλειψη του θορύβου.



**Διάγραμμα 4:** Παρουσιάζει τα πρωτογενή δεδομένα συνενωμένα, γεωαναφερμένα χωρίς την εξάλειψη του θορύβου.

#### **4.2.1.4 Συμπεράσματα**

Το ενιαίο νέφος που προέκυψε από τον επίγειο σαρωτή έχει πολλές χρησιμότητες. Πρωτίστως, το νέφος αυτό, αποτελεί τη βάση για τη μετέπειτα επεξεργασία και δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφάνειας, ώστε να δημιουργηθούν οι ορθοφωτογραφίες. Επιπρόσθετα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση του Κάστρου, κάτι που θα δώσει στη συνέχεια τη δυνατότητα δημιουργίας εικονικής περιήγησης.

#### **4.2.2 Προσανατολισμός εικόνων**

Ο απώτερος στόχος της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του Κάστρου είναι ο χρήστης του τελικού προϊόντος να μπορεί να αντιληφθεί λεπτομερώς τις τέσσερις όψεις του. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, πραγματοποιήθηκε εκτενής φωτογράφιση του Κάστρου με λήψη 695 φωτογραφιών, προκειμένου να εκπονηθούν ορθοφωτοχάρτες σε κλίμακα 1:20. Ο προσανατολισμός των εικόνων και η μετέπειτα επεξεργασία τους είναι ένα από τα σημαντικότερα τμήματα της εργασίας που γίνονται από τον τοπογράφο στο γραφείο.

#### 4.2.2.1 Αεροτριγωνισμός

Αεροτριγωνισμός είναι η διαδικασία πύκνωσης του οριζοντιογραφικού και υψομετρικού δικτύου ελέγχου, κατά την οποία οι μετρήσεις σε επικαλυπτόμενες φωτογραφίες συσχετίζονται σε ενιαία λύση στο χώρο με τη βοήθεια των προοπτικών ιδιοτήτων των εικόνων (Hechavarría, κ.α. 2013). Η διαδικασία του αεροτριγωνισμού χρησιμοποιείται για τη λύση μεγάλου πλήθους φωτογραφιών. Με τον αεροτριγωνισμό εξασφαλίζεται ο προσδιορισμός των τρισδιάστατων συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων και αποφεύγονται χρονοβόρες εργασίες υπαίθρου με υψηλό κόστος. Ακόμη, προσδιορίζονται οι εξωτερικοί προσανατολισμοί όλων των εμπλεκόμενων αεροφωτογραφιών. Ουσιαστικά, ο αεροτριγωνισμός είναι η ένωση φωτογραφιών, ώστε στη συνέχεια να είναι δυνατή η λήψη συντεταγμένων οποιωνδήποτε σημείων πάνω στις εικόνες σε ενιαίο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Το βασικό πρόβλημα είναι:

- Ο εντοπισμός, τόσο στο έδαφος, όσο και στις εικόνες, τόσων πολλών σημείων είναι συνήθως αδύνατος και σε κάθε περίπτωση χρονοβόρος.
- Η μέτρηση με τοπογραφικές, αλλά ακόμα και με γεωδαιτικές μεθόδους απαιτεί αρκετό προσωπικό και κατάλληλο εξοπλισμό, μεγάλο κόστος και πολύ χρόνο.
- Οι φωτογραμμετρικές διαδικασίες για τον προσανατολισμό τόσο μεγάλου αριθμού στερεοσκοπικών ζευγών ξεχωριστά έχουν και αυτές υπερβολικές απαιτήσεις σε εξοπλισμό, προσωπικό, αλλά και χρόνο.

Συνεπώς αναζητούμε τρόπο για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, δηλαδή της γρήγορης επίλυσης ενός δικτύου, που αποτελείται από τα κέντρα λήψης, από σημεία γνωστών συντεταγμένων (Φωτοσταθερών), αλλά και από άλλα σημεία των οποίων αναζητείται ο προσδιορισμός των γεωδαιτικών συντεταγμένων. Ο αεροτριγωνισμός είναι η τεχνική που μειώνει τα απαιτούμενα επίγεια μετρημένα φωτοσταθερά για τους προσανατολισμούς των φωτογραφιών, με την συσχέτιση πολλών εικόνων ή μοντέλων μεταξύ τους (της ίδιας ή γειτονικών λωρίδων). Το ζητούμενο είναι να δημιουργηθεί ένα συνολικό δίκτυο, του οποίου να προσδιοριστεί ο εξωτερικός προσανατολισμός των φωτογραφιών με τα ελάχιστα φωτοσταθερά και σε ένα βήμα. Αποτέλεσμα αυτής της συνόρθωσης είναι και ο προσδιορισμός των γεωδαιτικών συντεταγμένων αγνώστων σημείων που χρησιμοποιήθηκαν για την συσχέτιση των εικόνων ή των μοντέλων.

##### 4.2.2.1.1 Αεροτριγωνισμός με τη μέθοδο της δέσμης

Ο αεροτριγωνισμός με τη μέθοδο της δέσμης είναι ο πιο αυτοματοποιημένος τρόπος εύρεσης εξωτερικού προσανατολισμού ενός συνόλου από εικόνες. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται ένα σύνολο εξωτερικών προσανατολισμών σε ένα βήμα με αποτέλεσμα τη εύρεση των εξωτερικών προσανατολισμών των εικόνων. Ουσιαστικά πρόκειται για εφαρμογή της Συνθήκης Συγγραμμικότητας για τον προσδιορισμό του εξωτερικού προσανατολισμού πολλαπλών εικόνων σε ένα βήμα και με την χρήση φωτοσταθερών και σημείων σύνδεσης. Η βασική μονάδα υπολογισμών στη μέθοδο αυτή είναι η δέσμη σε κάθε εικόνα ξεχωριστά. Κάθε δέσμη ορίζεται στον χώρο από το προβολικό κέντρο και τα σημεία στην εικόνα και το αντικείμενο. Ως εξίσωση παρατήρησης χρησιμοποιείται η συνθήκη συγγραμμικότητας και παρατηρούμενα μεγέθη είναι οι εικονοσυντεταγμένες (Σκαρλάτος 2013).

$$\frac{x}{-c} = \frac{R11(X - X_0) + R12(Y - Y_0) + R13(Z - Z_0)}{R31(X - X_0) + R32(Y - Y_0) + R33(Z - Z_0)}$$

$$\frac{y}{-c} = \frac{R21(X - X_0) + R22(Y - Y_0) + R23(Z - Z_0)}{R31(X - X_0) + R32(Y - Y_0) + R33(Z - Z_0)}$$

**Διάγραμμα 5:** Η Συνθήκη Συγγραμμικότητας με τη μορφή εξίσωσης.

Για την συνόρθωση ενός μπλοκ φωτογραφιών χρησιμοποιούνται απευθείας οι σχέσεις μεταξύ των εικονοσυντεταγμένων και των συντεταγμένων αντικειμένου. Τα αρχικά δεδομένα είναι οι εικονοσυντεταγμένες των σημείων σύνδεσης και των φωτοσταθερών, αλλά και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των φωτοσταθερών. Οι δέσμες μετατοπίζονται (3 μετατοπίσεις  $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ ) στρέφονται (3 στροφές  $\omega, \varphi, \kappa$ ) ώστε να τέμνονται όσο καλύτερα γίνεται στα σημεία σύνδεσης και να διέρχονται όσο πλησιέστερα γίνεται από τα  $\Phi/\Sigma$ .

#### 4.2.2.1.2 Εξισώσεις παρατήρησης

Κάθε μετρούμενο σημείο στην εικόνα δίνει 2 εξισώσεις για τους 6 αγνώστους (του εξωτερικού προσανατολισμού). Αν είναι σημείο σύνδεσης προσθέτει στο σύστημα 3 αγνώστους (XYZ). Οι εξισώσεις δεν είναι γραμμικές, συνεπώς απαιτούνται προσεγγιστικές τιμές για τους αγνώστους. Κατά συνέπεια, η διαδικασία συνόρθωσης γίνεται με διαδοχικές προσεγγίσεις. Επίσης, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν εικόνες από μη μετρητικές μηχανές με την προσθήκη στο σύστημα των αγνώστων του εσωτερικού τους προσανατολισμού (αυτοβαθμονόμηση). Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα για κοινή συνόρθωση εικόνων από διαφορετικές μηχανές λήψης (ακόμα και

μετρητικές, μη μετρητικές κ.τ.λ.) με τον ταυτόχρονο προσδιορισμό των στοιχείων του Εσωτερικού τους Προσανατολισμού, αλλά και τη συμμετοχή πρόσθετων παρατηρήσεων (π.χ. GPS)(Σκαρλάτος 2013).

➤ **Άγνωστες Παράμετροι:**

- Στοιχεία Εξωτερικού Προσανατολισμού (6 για κάθε δέσμη).
- Γεωδαιτικές συντεταγμένες Σημείων Σύνδεσης (3 για κάθε σημείο σύνδεσης).
- Στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού (στην περίπτωση αυτοβαθμονόμησης).

➤ **Παρατηρήσεις:**

- Εικονοσυντεταγμένες σημείων (2 για κάθε Φωτοσταθερό και σημείο σύνδεσης σε κάθε εικόνα).

➤ **Γνωστές παράμετροι:**

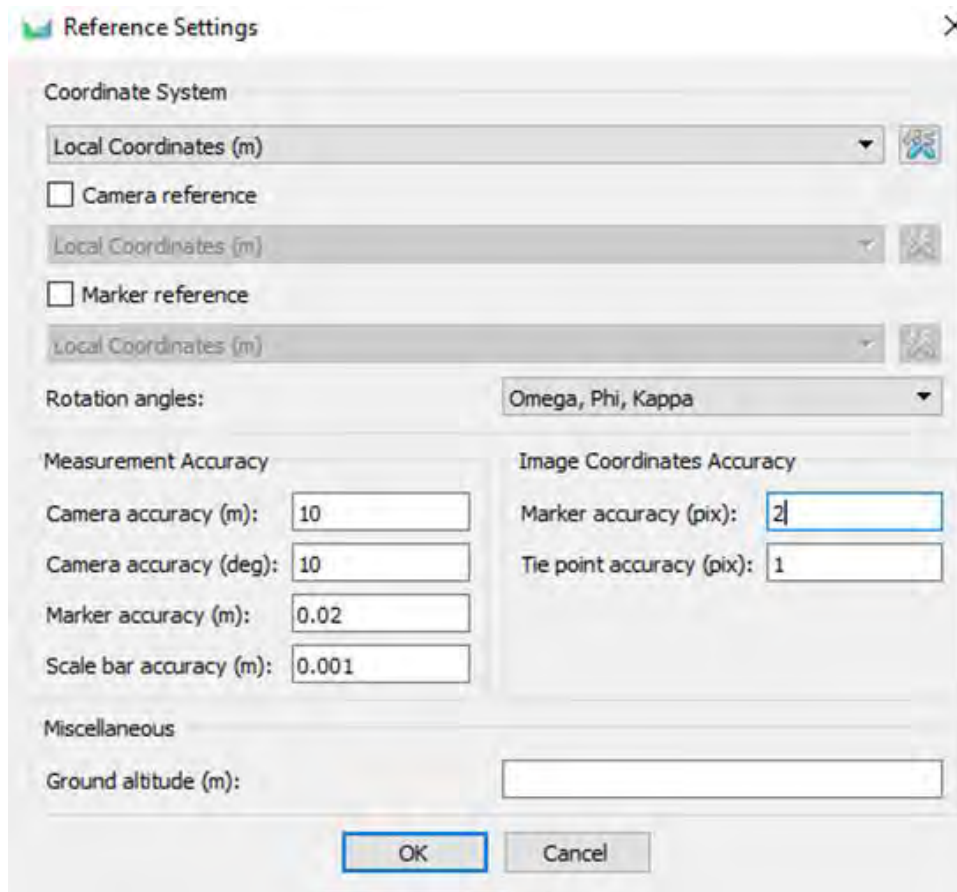
- Γεωδαιτικές συντεταγμένες των φωτοσταθερών.
- Στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού.
- Θέσεις προβολικών κέντρων (GPS/INS).

#### 4.2.2.2 Προσανατολισμός εικόνων

##### 4.2.2.2.1 Προετοιμασία λογισμικού

Σε αρχικό βήμα οι φωτογραφίες χωρίστηκαν σε 9 διαφορετικά μπλοκ, 3 μπλοκ για Βόρεια και Νότια όψη αντίστοιχα, 2 για τη Δυτική όψη και 1 για τη Ανατολική. Στη συνέχεια, εισάχθηκαν οι φωτογραφίες στα 9 chunks που δημιουργήθηκαν στο λογισμικό. Για το κάτω κομμάτι του κάστρου υπήρχαν τέσσερα chunks που αντιστοιχούσαν για κάθε όψη, ενώ για το πάνω κομμάτι του κάστρου δημιουργήθηκαν δυο chunks για τη Βόρεια και τη Νότια αντίστοιχα και ένα για την Δυτική. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε ρύθμιση των παραμέτρων των chunks με τρόπο ώστε, οι γωνίες στροφής να μετρούνται σε  $\Omega$ ,  $\Phi$ ,  $K$  και οι ακρίβειες μέτρησης των φωτοσταθερών ρυθμίστηκαν σε 0,02 m. Το σύστημα συντεταγμένων επιλέχθηκε σε τοπικό, για να μην υπάρχει παραμόρφωση της κλίμακας των συντεταγμένων. Επίσης, η σκόπευση των φωτοσταθερών στις εικόνες δηλώθηκε ότι αυτό γινόταν με ακρίβεια 2 pixel από τον χρήστη. Οι υπόλοιπες ρυθμίσεις

είχαν παραμείνει ως είχαν. Με την εντολή Align έγινε ο σχετικός προσανατολισμός των εικόνων για όλα τα μπλοκ ξεχωριστά.



**Διάγραμμα 6:** Παρουσιάζει τις αρχικές ρυθμίσεις του λογισμικού.

#### 4.2.2.2.2 Στόχευση φωτοσταθερών - εξωτερικός προσανατολισμός

Αφού γίνει η προετοιμασία του λογισμικού, το αμέσως επόμενο βήμα είναι η εύρεση του εξωτερικού προσανατολισμού. Για την εύρεση των εξωτερικών προσανατολισμών των εικόνων είναι απαραίτητη η χρήση φωτοσταθερών σημείων. Τα φωτοσταθερά που μετρήθηκαν για τις τέσσερις όψεις του κάστρου χωρίστηκαν σε τέσσερα διαφορετικά αρχεία (μορφότυπου Text (.txt)) ανάλογα με την αντίστοιχη όψη. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των αρχείων στα ανάλογα chunks. Έπειτα, έγινε στόχευση των φωτοσταθερών σε κάθε εικόνα, προσέχοντας ώστε η ακρίβεια στόχευσης να είναι μικρότερη του pixel ,καθώς και η ακρίβεια μικρότερη από 12,5 mm.

Συγκεκριμένα οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν σε κάθε όψη εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες.

**Πίνακας 10:** Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα των  $\Phi/\Sigma$  για την Βόρεια όψη.

Βόρεια όψη				
#Label	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
3001	0.008593	-0.002957	0.008038	0.000695
3002	0.003462	0.002456	-0.000715	0.002333
3003	0.004734	0.003166	-0.003137	0.001595
3004	0.006456	-0.003139	0.005132	0.002342
3005	0.006729	0.000087	0.001982	0.006430
3006	0.012524	-0.001041	-0.008712	-0.008937
3007	0.016594	0.012151	-0.009550	0.006043
3008	0.017067	0.003537	0.013208	-0.010214
3009	0.007217	0.003748	-0.006057	0.001163
3010	0.006843	-0.001830	0.002801	0.005969
3011	0.004902	0.003152	-0.003720	-0.000503
3012	0.002870	0.001463	-0.002445	0.000346
3013	0.014237	0.010317	-0.009118	0.003621
3014	0.007401	-0.006741	0.002717	-0.001396
3015	0.003615	-0.001697	-0.001062	-0.003010
3016	0.012899	-0.000318	0.008187	0.009962
3018	0.003110	0.001376	-0.002034	0.001909
3019	0.029537	0.027258	0.011365	-0.000536
3020	0.003789	-0.001949	0.001308	0.002974
3021	0.004714	-0.003933	0.001844	-0.001831
3022	0.013926	0.010901	-0.007638	-0.004093
3023	0.008535	-0.003372	-0.002460	-0.007445
3024	0.004757	-0.004321	-0.001743	-0.000957
3025	0.001989	0.000972	-0.001513	-0.000849
3026	0.004393	0.000350	-0.004348	0.000524
3027	0.006504	-0.000555	0.002433	-0.006007
3028	0.003008	-0.000825	-0.002683	0.001081
3029	0.004410	-0.002699	0.003176	0.001441
3030	0.008417	0.001702	0.005084	-0.006488



3031	0.010514	-0.003992	-0.001943	0.009531
3032	0.002043	-0.000738	-0.001887	-0.000263
3033	0.008455	0.001775	0.004592	-0.006873
3034	0.002257	0.000962	-0.001162	0.001679
3035	0.012092	-0.007788	0.003844	0.008413
#Total error	0.008102	0.003985	0.004979	0.004998

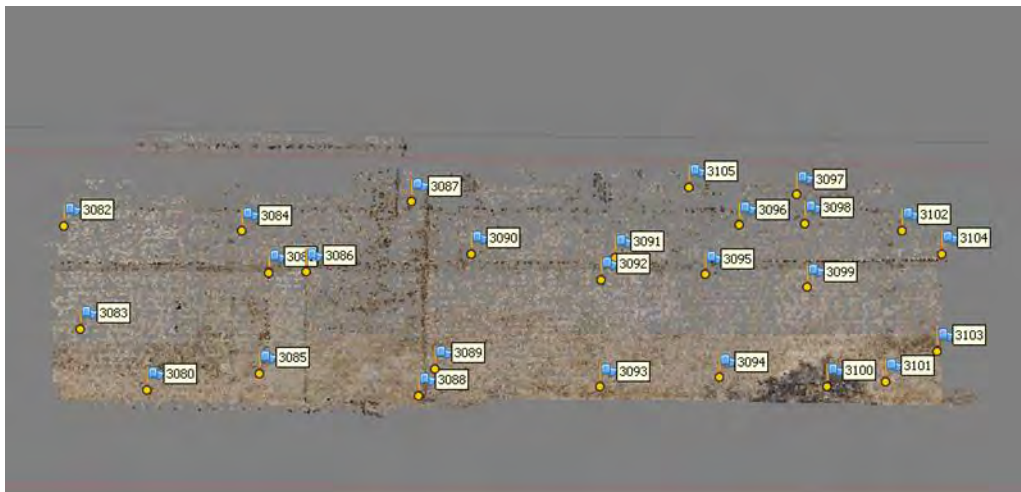


**Διάγραμμα 7:** Στην εικόνα φαίνονται οι θέσεις των Φ/Σ της Βόρειας όψης.

**Πίνακας 11:** Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα των Φ/Σ για την Νότια όψη.

Νότια όψη				
#Label	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
3080	0.008266	0.004391	0.006925	-0.001042
3081	0.007323	-0.002482	-0.006748	0.001391
3082	0.207691	-0.080025	0.187239	0.040904
3083	0.009102	-0.004003	-0.008007	0.001642
3084	0.008812	-0.002753	-0.007742	0.003182
3085	0.013721	0.009742	0.009637	0.000700
3086	0.006439	-0.000635	0.006348	0.000872
3087	0.003006	0.000649	-0.000943	-0.002779
3088	0.005458	0.003160	-0.004434	-0.000379

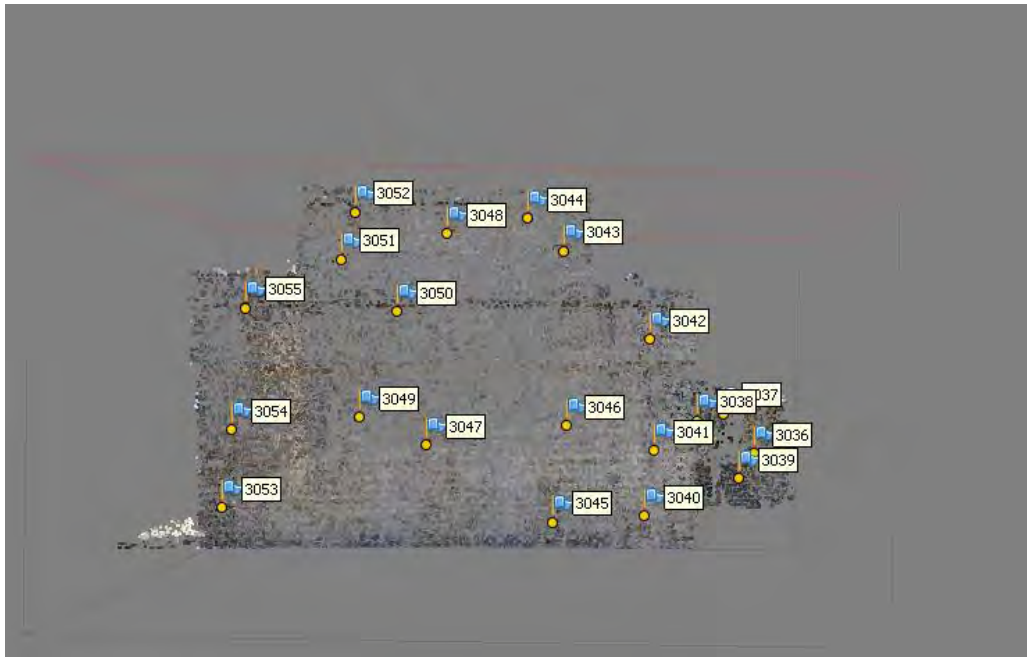
3089	0.005834	-0.005237	-0.001712	-0.001917
3090	0.005246	0.003013	-0.004009	-0.001540
3091	0.005667	-0.002044	0.005136	-0.001249
3092	0.005151	-0.002441	0.004449	0.000883
3093	0.003178	-0.002015	-0.001698	-0.001778
3094	0.001591	-0.001514	-0.000161	0.000461
3095	0.002575	0.000178	0.002345	-0.001048
3096	0.005223	0.001426	0.004997	0.000528
3097	0.005485	0.003319	0.003975	0.001809
3098	0.003015	-0.001490	0.000983	-0.002430
3099	0.006081	-0.003472	-0.004296	-0.002544
3100	0.011235	-0.004166	-0.009410	0.004507
3101	0.007114	0.004311	0.005489	0.001374
3102	0.004411	0.001230	-0.002961	0.003029
3103	0.002772	0.002503	0.000356	0.001138
3104	0.019376	-0.007448	-0.016917	-0.005811
3105	0.004449	0.000272	0.004429	0.000322
#Total error	0.007465	0.003657	0.006127	0.002194



**Διάγραμμα 8:** Στην εικόνα φαίνονται οι θέσεις των Φ/Σ της Νότιας όψης.

**Πίνακας 12:** Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα των Φ/Σ για την Ανατολική όψη.

Ανατολική όψη				
#Label	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
3036	0.006434	0.004293	0.004758	0.000574
3037	0.010666	-0.009882	-0.003788	0.001327
3038	0.009802	0.008750	0.001353	-0.004206
3039	0.002305	-0.000958	-0.001166	0.001742
3040	0.010700	-0.009317	-0.004370	-0.002928
3041	0.006671	0.006274	-0.000886	0.002087
3042	0.007301	0.005366	-0.001497	-0.004719
3043	0.014111	-0.011632	-0.007576	-0.002535
3044	0.015014	-0.006011	-0.013705	-0.001204
3045	0.009766	-0.001341	0.009451	-0.002062
3046	0.012624	0.011794	0.004372	0.001070
3047	0.006864	-0.000872	0.006797	-0.000388
3048	0.009857	0.009543	-0.002409	-0.000530
3049	0.004842	-0.004331	0.002035	0.000738
3050	0.004433	-0.002190	0.001659	-0.003479
3051	0.016076	-0.012496	-0.004784	0.008910
3052	0.016461	0.007100	0.013830	0.005411
3053	0.002257	-0.002181	-0.000544	0.000206
3054	0.006199	-0.002121	-0.005488	-0.001952
3055	0.014125	0.013772	0.002756	0.001503
#Total error	0.010266	0.007687	0.006029	0.003155



**Διάγραμμα 9:** Στην εικόνα οι θέσεις των Φ/Σ της Ανατολικής όψης.

**Πίνακας 13:** Στον πίνακα φαίνονται τα σφάλματα των Φ/Σ για την Δυτική όψη.

Δυτική όψη				
#Label	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
3057	0.030268	-0.013983	-0.017400	-0.020441
3058	0.015351	-0.006983	-0.013525	0.001993
3059	0.011280	-0.004081	0.009375	-0.004763
3060	0.009861	-0.001472	0.009612	0.001640
3061	0.006738	-0.001404	0.003100	0.005815
3062	0.010034	0.010019	0.000559	-0.000041
3063	0.015967	0.010456	-0.011877	-0.002131
3064	0.009747	0.008093	0.005136	-0.001763
3065	0.021357	0.016916	0.012021	-0.005049
3066	0.010152	0.009545	0.002932	-0.001834
3067	0.005789	0.001711	-0.003899	-0.003922
3068	0.007438	-0.006201	-0.000915	0.004006
3069	0.009654	-0.006874	-0.006751	0.000603
3070	0.005244	-0.004059	-0.003279	0.000516

3071	0.002599	0.000655	0.002361	-0.000865
3072	0.015148	-0.010670	0.008199	0.006955
3073	0.014110	0.013836	-0.002601	0.000945
3074	0.014182	-0.012827	0.003935	-0.004596
3075	0.005659	-0.003084	0.001333	-0.004554
3076	0.008321	-0.006872	-0.004498	-0.001334
#Total error	0.010558	0.007703	0.006406	0.003333

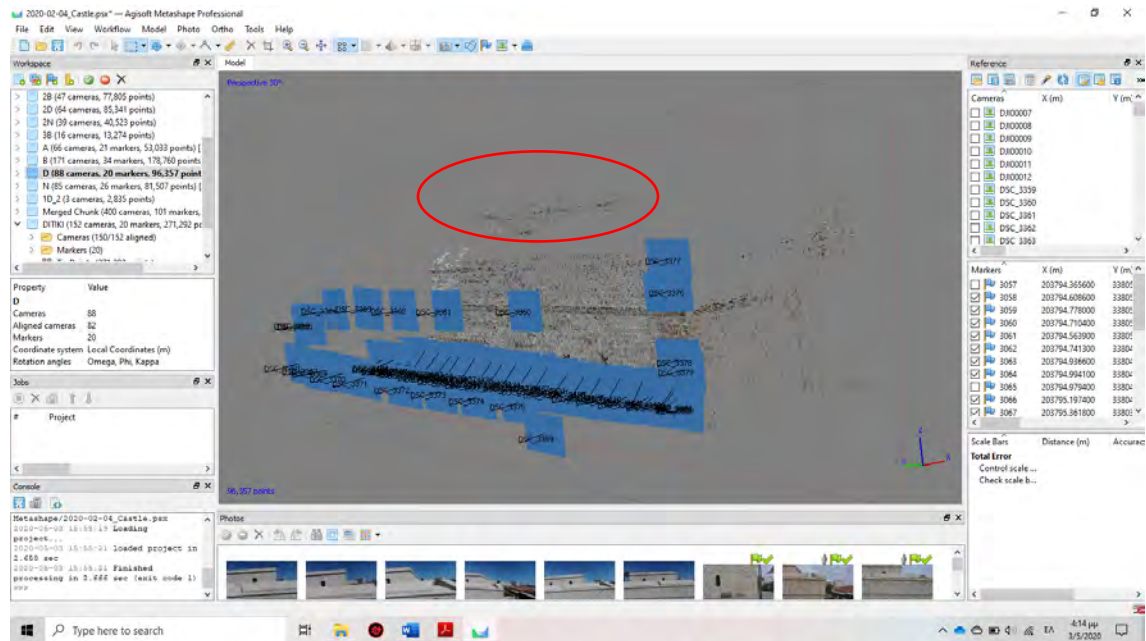


**Διάγραμμα 10:** Στην εικόνα φαίνονται οι θέσεις των Φ/Σ της Δυτικής όψης.

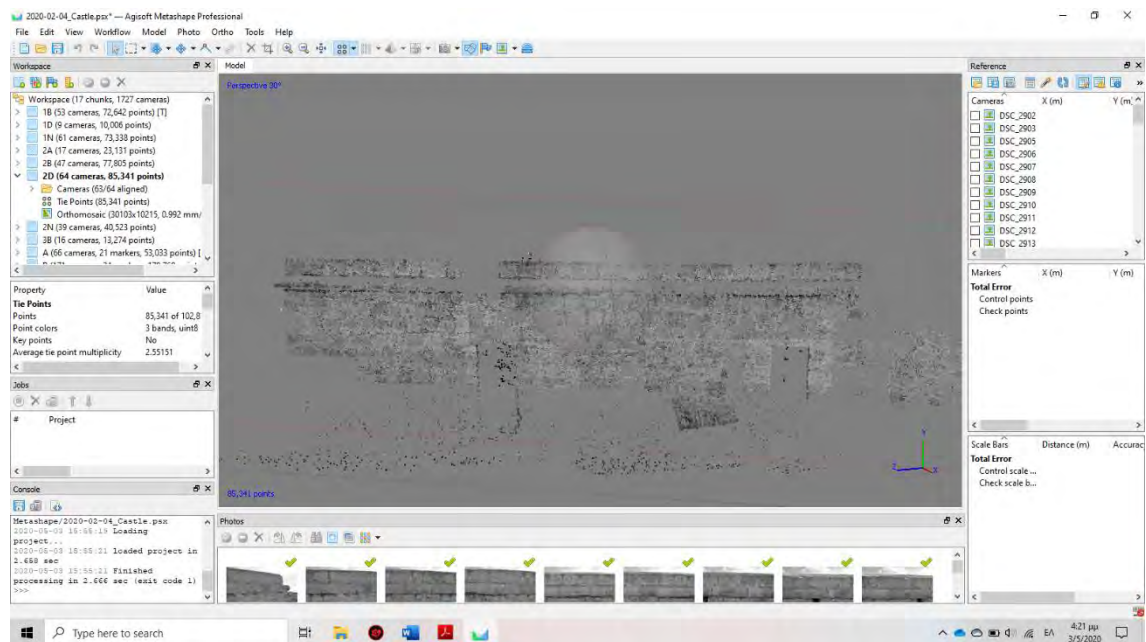
#### 4.2.2.2.3 Συνένωση των μπλοκ

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, από τα εννέα μπλοκ, μόνο τα τέσσερα κάτω μπλοκ του Κάστρου, έχουν φωτοσταθερά και γενικά έχει λυθεί ο εξωτερικός προσανατολισμός. Για να λυθεί ο εξωτερικός προσανατολισμός των πάνω μπλοκ του Κάστρου πρέπει να συνενωθούν με τα αντίστοιχα κάτω μπλοκ. Για τη συνένωση των μπλοκ με τα αντίστοιχα κάτω, εφαρμόστηκε μια συγκεκριμένη διαδικασία, που περιγράφεται παρακάτω. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα προσανατολισμού, όχι μόνο φωτογραφιών, αλλά και των μπλοκ μεταξύ τους. Το λογισμικό βρίσκει χαρακτηριστικά σημεία σε κάθε μπλοκ ξεχωριστά, έπειτα, βρίσκει σημεία

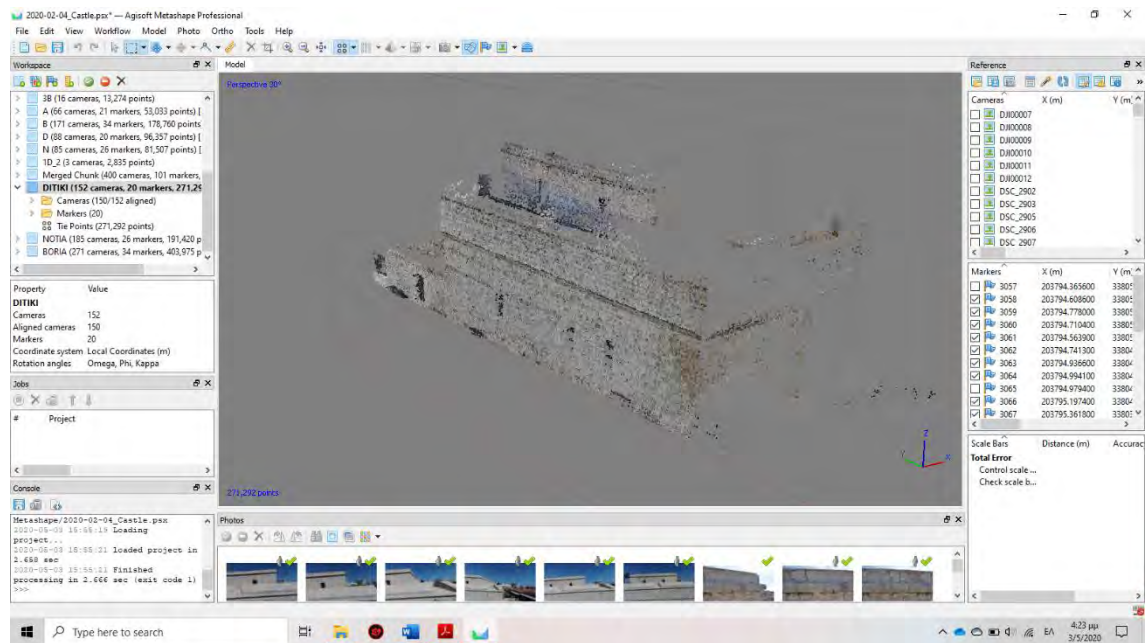
σύνδεσης και στη συνέχεια βρίσκει τον σχετικό προσανατολισμό του ενός μπλοκ σε σχέση με το άλλο. Ακολούθως, πραγματοποιείται βελτιστοποίηση της λύσης του σχετικού προσανατολισμού και εύρεση του εξωτερικού προσανατολισμού. Όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, το λογισμικό συνένωσε το πάνω μπλοκ του κάστρου, συνενώνοντας το με σημεία σύνδεσης που υπήρχαν στο μπλοκ για το κάτω κομμάτι του κάστρου.



**Διάγραμμα 11:** Μέσα στον κύκλο παρουσιάζονται τα σημεία σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των μπλοκ.



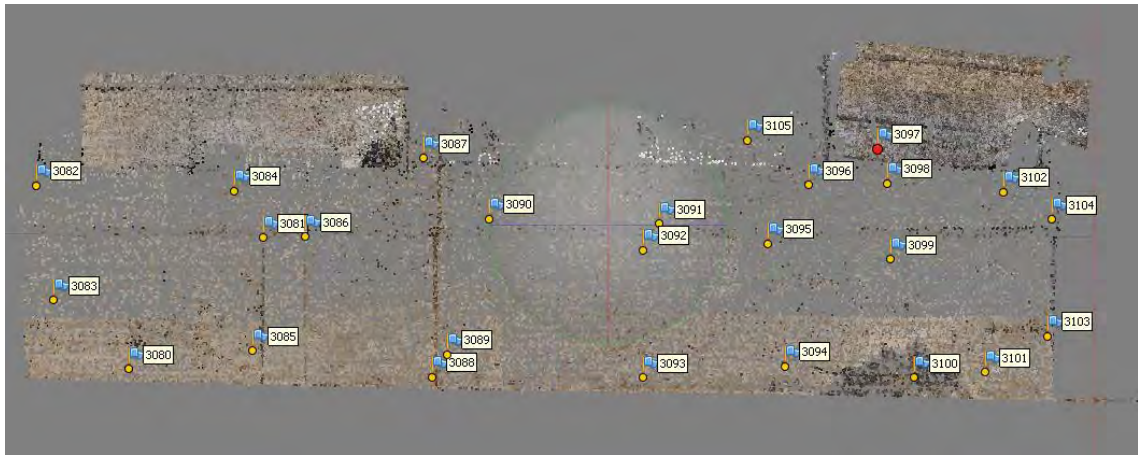
**Διάγραμμα 12:** Στην εικόνα φαίνεται το άνω μπλοκ φωτογραφιών.



**Διάγραμμα 13:** Στην εικόνα παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της συνένωσης των δύο μπλοκ.

#### 4.2.2.3 Προβλήματα

Κατά τη διαδικασία της συνένωσης προέκυψαν διάφορα προβλήματα. Αρχικά, ο πρωταρχικός στόχος ήταν η συνένωση των μπλοκ σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς με τη χρήση φωτοσταθερών σε όλα τα μπλοκ φωτογραφιών. Το γεγονός όμως, της απρόβλεπτης συγκυρίας ολικής καραντίνας της χώρας εξαιτίας της πανδημίας του κορωνοϊού (Covid-19), δεν επέτρεψε την υλοποίηση των εργασιών, δηλαδή τη λήψη φωτοσταθερών σημείων των μπλοκ του πάνω μέρους του Κάστρου. Ως εκ τούτου, ως εναλλακτική λύση, έγινε συνένωση των μπλοκ με προσανατολισμό των μπλοκ μεταξύ τους και συνένωση αυτών. Στο κομμάτι του προσανατολισμού των μπλοκ στη Νότια πλευρά το Ανατολικό δώμα δεν προσανατολιζόταν με το κάτω μπλοκ, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



**Διάγραμμα 14:** Στην εικόνα φαίνεται σφάλμα συνένωσης των μπλοκ (αριστερά της εικόνας).

Ύστερα από οπτικό έλεγχο παρατηρήθηκε ότι, οι φωτογραφίες του μπλοκ της Νοτιάς κάτω όψης του Κάστρου με το συγκεκριμένο μπλοκ, δεν είχαν αρκετή επικάλυψη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το πρόγραμμα να μην μπορεί να βρει αρκετά σημεία σύνδεσης για να προσανατολίσει τα δυο μπλοκ. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με τη λήψη ακόμα τεσσάρων φωτογραφιών. Οι φωτογραφίες εντάχθηκαν στο μπλοκ του κάτω μέρους της Νότιας πλευράς και έγινε στόχευση των φωτοσταθερών επί των εικόνων. Έπειτα, επαναλήφθηκε ο αεροτριγωνισμός του μπλοκ, καθώς και η εύρεση του εξωτερικού προσανατολισμού των φωτογραφιών. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε σχετικός προσανατολισμός μεταξύ των δύο μπλοκ και με παρακίνηση από τον χρήστη, για βελτιστοποίηση του προσανατολισμού, το πάνω μπλοκ συνδέθηκε με το κάτω.

#### 4.2.3 Παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Επιφάνειας

Ένα τρισδιάστατο μοντέλο είναι στην ουσία μια μαθηματική αναπαράσταση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου μέσω ενός λογισμικού. Υπάρχουν διάφοροι τύποι τρισδιάστατων μοντέλων. Ο πιο κοινός, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το πολυγωνικό μοντέλο (mesh), που αποτελείται από επιφάνειες, ακμές και κορυφές (faces, edges, vertices). Η ποιότητα του μοντέλου καθορίζεται από τον αριθμό, τη γεωμετρία και την κατανομή των επιφανειών. Ένα υψηλής ανάλυσης μοντέλο, χαρακτηρίζεται από μεγάλη πυκνότητα πολυγώνων εκεί που είναι αναγκαίο (π.χ. σε περιοχές με έντονη αλλαγή ανάγλυφου, σε καμπυλωτές περιοχές), και από χαμηλή ανάλυση σε περιοχές με λιγότερες λεπτομέρειες (Βρεττού 2016). Γενικότερα, τα τρισδιάστατα μοντέλα δημιουργούνται είτε σαν αυτόνομα προϊόντα, είτε στο πλαίσιο



διαφόρων εφαρμογών, ή ως ενδιάμεσα προϊόντα κατά την διαδικασία παραγωγής ορθοφωτοχαρτών.

#### **4.2.3.1 Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανειών**

Για τη δημιουργία μοντέλου επιφανειών του Μεσαιωνικού Κάστρου Λεμεσού χρησιμοποιήθηκαν δύο λογισμικά. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SCENE και έπειτα, το λογισμικό Agisoft Metashape. Το πρώτο στάδιο δημιουργίας του μοντέλου επιφανειών δημιουργήθηκε στο λογισμικό SCENE. Ως υπόβαθρο για τη δημιουργία του, χρησιμοποιήθηκε το νέφος σημείων από τον επίγειο σαρωτή, το οποίο είχε ήδη καθαριστεί και γεωαναφερθεί. Για την υλοποίηση του μοντέλου επιλέχθηκαν όπως παραχθούν 5.000.000 τρίγωνα, αφού υπολογίστηκε ότι θα περιέγραφαν αρκετά καλά το αντικείμενο. Ακόμη, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί μία εντελώς ελαφριά ομαλοποίηση κατά την δημιουργία του μοντέλου. Επιπλέον, επιλέχθηκε κατά την δημιουργία του μοντέλου να επενδυθεί με φωτοϋφή από τις φωτογραφίες του επίγειου σαρωτή. Στη συνέχεια, το μοντέλο εξάχθηκε από το λογισμικό SCENE με μορφότυπο .obj και εισάχθηκε στο λογισμικό Agisoft Metashape, και κανονικά το μοντέλο θα έπρεπε να μην χρειαζόταν περαιτέρω επεξεργασία. Λόγω όμως της έλλειψης πληροφορίας που παρατηρήθηκε στους προμαχώνες του Κάστρου, χρειαζόταν συμπλήρωση με πληροφορία. Ήδη ήταν έτοιμα τα μπλοκ των όψεων του Κάστρου με λυμένο τον εσωτερικό και εξωτερικό προσανατολισμό του μνημείου. Οπότε, δημιουργήθηκε ακόμα ένα γεωαναφερμένο μοντέλο επιφανειών πλήρως από φωτογραμμετρία. Για τη δημιουργία του μοντέλου αρχικά, ενώθηκαν και τα τέσσερα τελικά μπλοκ των όψεων του Κάστρου σε ένα ενιαίο τρισδιάστατο μοντέλο. Έπειτα, έγινε δημιουργία πυκνού νέφους σημείων. Στη συνέχεια, έγινε ο καθαρισμός των σημείων, που δεν ενέπιπταν στο Κάστρο και γενικότερα από το θόρυβο που υπήρχε. Σε επόμενο βήμα, δημιουργήθηκε μοντέλο επιφανειών από το λογισμικό Agisoft Metashape με τη δημιουργία 5.968.614 τριγώνων. Από το μοντέλο αυτό, ουσιαστικά χρησιμοποιήθηκε πληροφορία μόνο από τους προμαχώνες και τα άνω κομμάτια από το δώμα της ανατολικής όψης. Σε μετέπειτα στάδιο έγινε η συνένωση των δυο ψηφιακών μοντέλων.



**Διάγραμμα 15:** Στην εικόνα παρουσιάζεται το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας από όπως δημιουργήθηκε στο λογισμικό SCENE.

#### **4.2.4 Δημιουργία Ορθοφωτογραφιών**

Η ορθοφωτογραφία είναι μια ψηφιακή εικόνα που διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά ενός χάρτη, δηλαδή είναι σε ορθή προβολή και έχει ενιαία κλίμακα. Παράλληλα όμως, έχει όλη την φωτογραφική (εικονιστική) πληροφορία της αρχικής εικόνας από την οποία προέκυψε. (Φάκα 2011) (Γεωργόπουλος 2010). Επίσης, ορθοφωτογραφία είναι μία φωτογραφική εικόνα, που έχει διορθωθεί γεωμετρικά, για να εξαλειφθούν οι παραμορφώσεις της αρχικής εικόνας, όπως κλίσεις, εκτροπή λόγω αναγλύφου κ.ά. (Λάμπρου κ.α. 2020). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο βασικός στόχος της εργασίας είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση του Κάστρου. Ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε με την εκπόνηση τεσσάρων ορθοφωτοχαρτών από τις εξωτερικές όψεις του.

##### **4.2.4.1 Παραγωγή Ορθοφωτογραφιών**

Για την παραγωγή των ορθοφωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Agisoft Metashape. Ο εσωτερικός και εξωτερικός προσανατολισμός των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν, είναι γνωστός από προηγούμενο στάδιο της εργασίας. Το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας, το οποίο δημιουργήθηκε από τη χρήση δύο προγραμμάτων, διαχωρίστηκε σε τέσσερα κομμάτια, έτσι ώστε, να καλύπτουν τις ανάγκες, άλλα ταυτόχρονα να είναι ευκολότερη η διαχείριση τους.

Σε αρχικό στάδιο έγινε η επιλογή των φωτογραφιών, που θα συνέβαλλαν στη δημιουργία των ορθοφωτογραφιών και απενεργοποιήθηκαν αυτές, που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσανατολισμό του μπλοκ. Για την παραγωγή των τελικών προϊόντων, χρειάστηκε η εύρεση του βέλτιστου επιπέδου, αφού το αντικείμενο μας σε κάθε όψη είχε τουλάχιστον τρία, ή και περισσότερα, κύρια επίπεδα. Καθώς το λογισμικό δεν παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής αζιμουθίου καθαυτό, για την εισαγωγή του επιπέδου σε κάθε όψη, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός και εισαγωγή τριών θεωρητικών σημείων που καθόριζαν το επίπεδο. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες ρυθμίσεις για το είδος του φωτομωσαϊκού, το επίπεδο προβολής, την αυτόματη εύρεση γραμμών συρραφής, την αυτόματη δημιουργία γραμμών κοπής και το μέγεθος εικονοψηφίδας.

Μετά την δημιουργία του φωτομωσαϊκού από τις επιλεγμένες ορθοφωτογραφίες, σειρά είχε η εύρεση και διόρθωση των διαφόρων εικονιστικών προβλημάτων. Ως επί το πλείστον, τα προβλήματα που προέκυψαν συνοψίζονταν σε θέματα έλλειψης εικονιστικής πληροφορίας ή σε έλλειψη πληροφορίας από το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας.

Για την αντιμετώπιση της έλλειψης πληροφορίας από το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας, έγινε χρήση των δυνατοτήτων του λογισμικού, έτσι ώστε να κλείσουν οι διάφορες τρύπες που υπήρχαν στο μοντέλο. Η χρήση του λογισμικού, στην περίπτωση αυτή, έγινε με προσοχή, ώστε η πληροφορία που δημιουργείται να ήταν οπτικά ορθή.

Όσον αφορά τα θέματα έλλειψης εικονιστικής πληροφορίας, το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα επιλογής ενός πολυγώνου στο ορθοφωτομωσαϊκό και εύρεση της ορθότερης φωτογραφίας για την περιοχή. Στις περιπτώσεις που υπήρχε πρόβλημα στο ορθοφωτομωσαϊκό, η πληροφορία προτιμήθηκε να αφαιρεθεί, για τον λόγο ότι, ο τελικός χρήστης δεν μπορεί να διακρίνει τα γεωμετρικά σφάλματα στον τελικό χάρτη και συνεπώς, είναι καλύτερη η αφαίρεση των προβληματικών περιοχών.

Καταλήγοντας, τα τελικά ορθοφωτομωσαϊκά των όψεων, εξάχθηκαν από το λογισμικό με μέγεθος εικονοψηφίδας 5 mm και μορφότυπο εικόνας JPG File (.jpg). Κατά την εξαγωγή των τελικών ορθοφωτομωσαϊκών έγινε εκπόνηση συμπληρωματικού αρχείου (.jrw) για να μπορεί η τελική εικόνα να έχει γεωγραφική υπόσταση και σε άλλα προγράμματα.

#### 4.2.4.2 Εκπόνηση τελικού σχεδίου

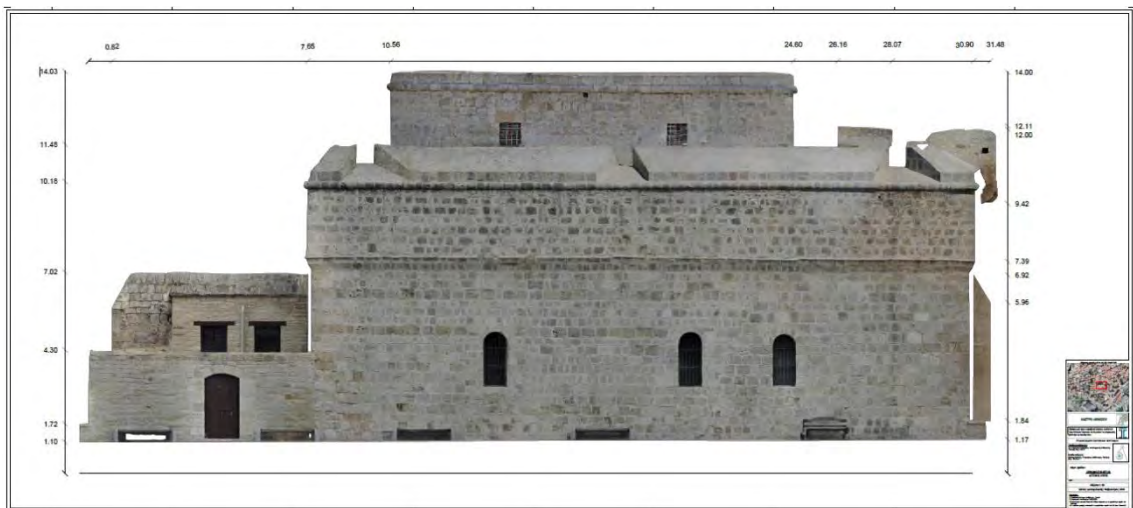
Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων, σειρά παίρνει η εκπόνηση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου. Το τελικό προϊόν που δημιουργήθηκε είναι τέσσερις ορθοφωτοχάρτες των εξωτερικών όψεων του Μεσαιωνικού Κάστρου της Λεμεσού. Η κλίμακα του χάρτη επιλέχτηκε με σκοπό ο τελικός χρήστης να μπορεί να αναγνωρίσει σημεία λεπτομερειών. Έτσι, ως η ιδανική κλίμακα κρίθηκε η 1:20 (αν και οι ακρίβειες του ορθοφωτοχάρτη είναι ακρίβειες κλίμακας 1:50).

Για τη δημιουργία του τελικού σχεδίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό AutoCAD Civil 3D. Αρχικά, έγινε η εισαγωγή της ορθοφωτογραφίας στο εν λόγω λογισμικό. Στη συνέχεια, έγινε αναγωγή της ορθοφωτογραφίας σε κλίμακα ένα προς ένα (1:1). Η αναγωγή αυτή επιτεύχθηκε με τη χρήση της εντολής «scale» στο χώρο σχεδίασης (Model). Ακολούθως, έγινε η επιλογή μεγέθους του χαρτιού εκτύπωσης με την εντολή «Plot Setup». Οι διαστάσεις του χαρτιού εκτύπωσης είναι πλάτους 915 X 2000 mm για τη Δυτική και Ανατολική όψη, ενώ για τη Βόρεια και Νότια όψη 915 X 2500 mm. Η εκτύπωση των σχεδίων έγινε στον οριζόντιο άξονα του χαρτιού. Το μετέπειτα στάδιο, ήταν η δημιουργία πλαισίου, που θα περιλάμβανε όλα τα απαραίτητα στοιχεία ενός χάρτη. Στο στάδιο αυτό, στο χώρο σχεδίασης του σχεδίου (Layout), δημιουργήθηκε η κορνίζα και το υπόμνημα με τα απαραίτητα στοιχεία ενός χάρτη, καθώς και άλλα στοιχεία τα οποία απαντούν στα ερωτήματα του χρήστη «Ποιος;», «Που;», «Πότε;» και «Γιατί;». Τα απαραίτητα στοιχεία είναι η κλίμακα, οι διαστάσεις κύριων σημείων με αφετηρία το χαμηλότερο σημείο του Κάστρου, ο τίτλος, η περιοχή μελέτης, το όνομα αρχείου, καθώς και το μονοπάτι εύρεσης αυτού και ακόμη το όνομα της εταιρείας, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση το ΤΕ.ΠΑ.Κ.. Επίσης, στον χάρτη προστέθηκαν στοιχεία όπως το μάθημα, το όνομα διδασκόντων καθηγητών, το όνομα του φοιτητή, την ημερομηνία διεξαγωγής της φωτοληψίας, καθώς και το γεωδαιτικό σύστημα, το οποίο στην προκειμένη περίπτωση ήταν τοπικό. Για το υπόμνημα χρησιμοποιήθηκε γραμματοσειρά Tahoma. Το τελικό στάδιο της δημιουργίας του χάρτη είναι η τοποθέτηση της κλίμακας, στο επίπεδο Layout, και ο ορισμός της ως ένα προς είκοσι (1:20). Τέλος, οι τελικοί ορθοφωτοχάρτες εξήχθησαν σε μορφή PDF.pdf.

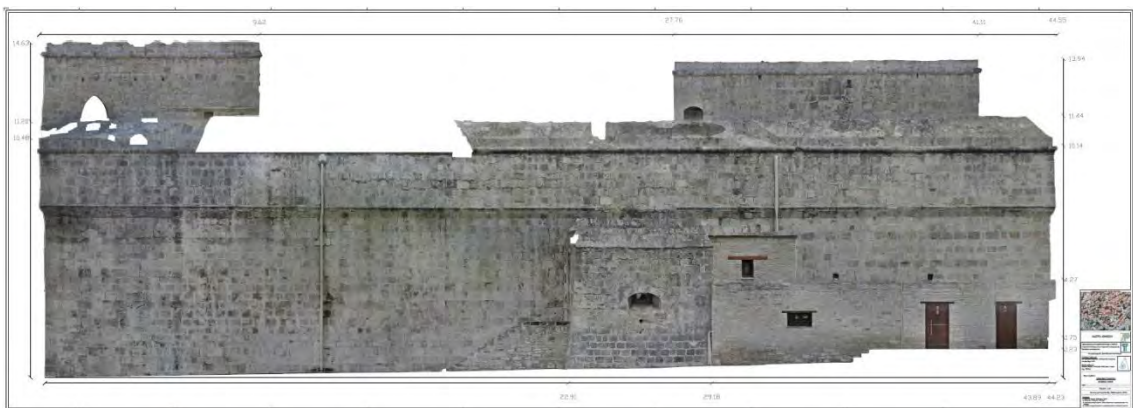
Το τελικό αποτελέσματα όπως παραδόθηκε φαίνεται παρακάτω:



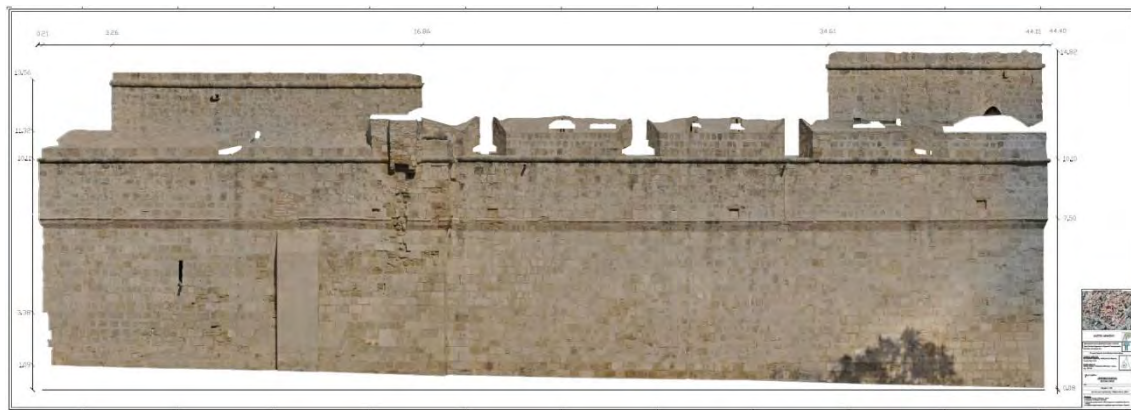
**Διάγραμμα 16:** Τελικός ορθοφωτοχάρτης Ανατολικής όψης.



**Διάγραμμα 17:** Τελικός ορθοφωτοχάρτης Δυτικής όψης.



**Διάγραμμα 18:** Τελικός ορθοφωτοχάρτης Βόρειας όψης.



**Διάγραμμα 19:** Τελικός ορθοφωτοχάρτης Νότιας όψης.

## 5 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Μεσαιωνικού Κάστρου της Λεμεσού. Στο κεφάλαιο αυτό σχολιάζονται οι μέθοδοι συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, καθώς και τα τελικά αποτελέσματα.

### 5.1 Σχόλια - Παρατηρήσεις

Είναι γεγονός ότι οι αποτυπώσεις μνημείων θέτουν τον πήχη δυσκολίας αρκετά ψηλά, ιδιαίτερα σε αποτυπώσεις μεγάλης κλίμακας (1:50, 1:20, κ.ά.). Οι απαιτήσεις τόσο για παραγωγή υψηλής ακρίβειας μετρητικού προϊόντος, όσο και εικονιστικού καθόρισαν κάποιες προϋποθέσεις κατά τη συλλογή δεδομένων στο πεδίο.

Αρχικά, χρήσιμος θα ήταν ο καλύτερος προγραμματισμός συλλογής δεδομένων από το πεδίο σε ότι αφορά τις καιρικές συνθήκες και την ώρα λήψης των φωτογραφιών. Επίσης, απαραίτητη είναι η οργάνωση των αρχείων σε κατάλληλους φακέλους και η μεθοδική ονοματολογία των αρχείων. Επιπρόσθετα, σημαντική ήταν η δυνατότητα δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας ανά τακτά χρονικά διαστήματα, τόσο σε εξωτερικό σκληρό δίσκο, όσο και σε χώρο αποθήκευσης στο διαδίκτυο.

Κατά την ημέρα φωτοληψίας θα ήταν καλύτερα να λαμβάνονταν περισσότερες φωτογραφίες με πρότυπα αναπαραγωγής τρισδιάστατων αντικειμένων, έτσι ώστε τα διάφορα μπλοκ που δημιουργήθηκαν να μπορούν να ενωθούν με καλύτερη ακρίβεια σε ένα κοινό μπλοκ για τη μετέπειτα χρήση των δεδομένων από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου (ΤΕ.ΠΑ.Κ.) Περεταιίρω, θα ήταν καλό να επιλεγεί άλλη ώρα για τη λήψη των φωτογραφιών, ειδικά της Νότιας όψης, γιατί λόγω της θέσης του ηλίου υπήρχαν σκιάσεις σε ένα κομμάτι ενδιαφέροντος. Επίσης, κατά τη συλλογή δεδομένων στη νότια πλευρά διαπιστώθηκε ότι υπήρχαν μεγάλα κομμάτια, όπου απουσίαζε πληροφορία, είτε από το ψηφιακό μοντέλο, είτε από τη λήψη των φωτογραφιών στους προμαχώνες του Κάστρου. Το πρόβλημα απουσίας εικονιστικού προϊόντος θα μπορούσε να λυθεί αν είχε παρθεί η τελευταία λωρίδα, που απεικονίζει τους προμαχώνες, λίγο πιο ψηλά, ώστε να φαίνεται το επάνω κεκλιμένο μέρος τους. Ακόμη, για την απουσία πληροφορίας από το ψηφιακό μοντέλο στα επάνω κεκλιμένα κομμάτια των προμαχώνων, θα μπορούσε να είχε σαρωθεί το Κάστρο από τα δύο δώματα, που υπάρχουν στα

ανατολικά και δυτικά, για να παρθεί η ζητούμενη πληροφορία. Περεταίρω, στη Βόρεια όψη του Κάστρου ένα μεγάλο δέντρο απέκρυπτε ένα μεγάλο μέρος των προμαχώνων, το οποίο με ένα απλό κλάδεμα από τους υπευθύνους, θα έλυne το πρόβλημα.

Κατά την εκπόνηση των εργασιών συλλογής φωτοσταθερών σημείων, λόγω της γενικής απαγόρευσης της κυκλοφορίας εξαιτίας της πανδημίας του κορωνοϊού (Covid-19), δεν έγινε η συλλογή φωτοσταθερών σημείων για τις άνω περιοχές του Κάστρου. Επίσης, λόγω της ατυχούς αυτής συγκυρίας, στάθηκε αδύνατη η συμπληρωματική λήψη φωτογραφιών και σαρώσεων για δημιουργία ψηφιακού μοντέλου επιφανειών και εικονιστικού προϊόντος. Ως αποτέλεσμα, η συνένωση των μπλοκ μεταξύ τους έγινε μόνο με σημεία σύνδεσης. Αν και η εναλλακτική μέθοδος κάλυπτε τις ακρίβειες που τέθηκαν, ορθότερο θα ήταν για τη συνένωση των μπλοκ να χρησιμοποιηθούν και φωτοσταθερά σημεία. Επίσης, το τελικό αποτέλεσμα δεν ήταν το αναμενόμενο λόγω της έλλειψης πληροφορίας σε κάποια κομμάτια.

Στο κομμάτι της επεξεργασίας, ήταν αρκετά δύσκολη η εύρεση σωστής μορφής εξαγωγής πληροφορίας από το ένα λογισμικό και η εισαγωγή του στο άλλο. Πολλές φορές, το νέφος σημείων από τον επίγειο σαρωτή χρειάστηκε επεξεργασία για αντιστροφή των normals.

Γενικότερα, η διαδικασία αποτύπωσης με επίγειο σαρωτή ενέχει τεράστιο όγκο αρχείων και είναι απαραίτητη η χρήση δυνατού ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το γεγονός αυτό, δυσχέραινε τη ροή της επεξεργασίας, αφού χρειαζόταν η εκπόνηση όλων σχεδόν των εργασιών να γίνει με συγκεκριμένο υπολογιστή.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία από Βιβλία:

1. U.N.E.S.C.O., 1972. Photogrammetry applied to the survey of Historic Monuments, of Sites and to Archaeology. UNESCO editions.
2. Πατιάς, Π. (1991). *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*. Ζήτη.
3. Kraus, K. (2003). *Φωτογραμμετρία, τόμος Ι*. εκδόσεις ΤΕΕ.

Βιβλιογραφία από Άρθρα:

4. Bariami, G., Faka, M., Georgopoulos, A., Ioannides, M., και Skarlatos, D. (2012). 'Documenting a Unesco Wh Site in Cyprus with Complementary Techniques'. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(1\_suppl), 27–32.
5. Barsanti, S. G., Remondino, F., και Visintini, D. (2012). 'Photogrammetry and laser scanning for archaeological site 3D modeling - Some critical issues'. *CEUR Workshop Proceedings*, 948(i), 1–10.
6. Beraldin, J.-A., Picard, M., El-Hakim, S. F., Godin, G., Valzano, V., Bandiera, A., και Latouche, D. (2002). 'Virtualizing a Byzantine crypt by combining high-resolution textures with laser scanner 3D data'. *Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, (1), 1–12.
7. Blachut, T. J., και Burkhardt, R. (1988). 'Histoire de la photogrammetrie. Version francaise condensee. Volume I'. *Bulletin - Societe Francaise de Photogrammetrie et de Teledetection*.
8. Giraud, F., Jacquot, K., Chevrier, C., και Halin, G. (2013). 'Acquire High Quality Meshes of Scale Models for an Automatic Modelling Process'. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W2(September), 277–282.
9. Haala, N., και Alshawabkeh, Y. (2006). 'Combining laser scanning and photogrammetry: a hybrid approach for heritage documentation'. *Vast*, (May), 163–170.
10. 'International Society of Photogrammetry and Remote Sensing'. (χ.χ.).  
<<https://www.isprs.org/society/Default.aspx>>.
11. Skarlatos, D., και Kiparissi, S. (2012). 'COMPARISON of LASER SCANNING, PHOTOGRAMMETRY and SFM-MVS PIPELINE APPLIED in

- STRUCTURES and ARTIFICIAL SURFACES'. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1(September), 299–304.
12. Αγγελική Παντελίδου, Καλλιόπη Πρωτοπαπά, Σ. Γ. (1994). *Ιστορία της Κύπρου, Γυμνάσιο.pdf*. Εκδόσεις ΥΑΠ, Λευκωσία.
  13. Αγγελική Παντελίδου, Κωνσταντία Χατζηκωστή, Χαραλαμπία Σαββίδου, Κ. Κ. (2002). *Ιστορία της Κύπρου, Μεσαιωνική-Νεότερη*.
  14. Βρεττού, Φ. (2016). 'Κάστρο Πεντεσκούφι : γεωμετρική τεκμηρίωση Φωτεινή Βρεττού Διπλωματική Εργασία Επιβλέπων καθηγητής : Ανδρέας Γεωργόπουλος'.
  15. Γεωργόπουλος. (2010). 'Ορθοφωτογραφία'.
  16. 'Διεθνής Χάρτης για τη Συντήρηση και Αποκατάσταση των Μνημείων και Τοποθεσιών'. (1964). *Icomos*, 4.
  17. 'Κάστρο Λεμεσού (Μεσαιωνικό Μουσείο Κύπρου)'. (χ.χ.). *Τμήμα Αρχαιοτήτων*.
  18. Λάμπρου, Ε.; Πανταζής, Γ.; Γεωργόπουλος, Α. (2020). 'Γεωμετρική τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων και μνημείων'. Δ. Σκαρλάτος, Λεμεσός.
  19. 'Λεμεσός πόλη, αξιοθέατα μνημεία'. (χ.χ.). *Polignosi*, Εφημερίδα Πολίτης και Τράπεζα Κύπρου.
  20. 'Λεμεσός πόλη, Φραγκοκρατία-Βενετοκρατία'. (χ.χ.). *Polignosi*, Εφημερίδα Πολίτης και Τράπεζα Κύπρου.
  21. Μπαντέκας, Ι. (1980). *Φωτογραμμετρία, τόμος Ι*. Γραφικά Τέχνη:"ΑΤΤΙΚΑ", Αθήνα.
  22. Νικολάου, Χ. (χ.χ.). 'Μεσαιωνικό κάστρο και μουσείο Λεμεσού'. *Cyprus Alive*.
  23. Σκαρλάτος, Δ. (2013). 'Αεροτριγωνισμός'. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
  24. Σκαρλάτος, Δ. (2020). 'Αποτυπώσεις Μνημείων'.
  25. Σταθοπούλου, Έ., Εργασία, Δ., Αθήνα, Αγρονόμων, Σ., Μηχανικών, Τ., Τοπογραφίας, Τ., Φωτογραμμετρίας, Ε., Politécnica, U., και Valencia, D. (2011). 'Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τρισδιάστατα Μοντέλα Αρχιτεκτονικά Συνθετών Αντικειμένων'.
  26. Φάκα, Μ. (2011). 'Γεωμετρική Τεκμηρίωση Ιερού Ναού Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι, Κύπρος'.
  27. Χαμζάς, Χ., Παυλίδης, Γ., Τσιούκας, Β., και Αρναούτογλου, Φ. (2005).

‘Digitech Iii: Μελέτη Τεχνολογιών Ψηφιοποίησης Σε Τρεις Διαστάσεις’.