



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και  
Τεχνολογίας

**Πτυχιακή εργασία**

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΣΠΗΛΑΙΟΥ**

**ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ, ΕΡΗΜΗ ΛΕΜΕΣΟΥ**

**ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LASER**

**Ραφαέλλα Μακρυγιάννη**

**Λεμεσός, Μάιος 2020**



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

Πτυχιακή εργασία

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΣΠΗΛΑΙΟΥ  
ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ, ΕΡΗΜΗ ΛΕΜΕΣΟΥ  
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LASER

της

Ραφαέλλας Μακρυγιάννη

Επιβλέποντες Καθηγητές

Δρ. Διόφαντος Χατζημιτσής και Δρ. Άθως Αγαπίου

Λεμεσός, Μάιος 2020

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Ραφαέλλα Μακρυγιάννη, 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.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υπεύθυνο καθηγητή της πτυχιακής μου, Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου Δρ, Άθω Αγαπίου για τη θερμή συνεργασία και υποστήριξή του σε μένα. Οι υποδείξεις και συμβουλές του ήταν πραγματικά πολύτιμες για την ολοκλήρωση της εργασίας και είμαι ευγνώμων που βρισκόταν στο πλάι μου. Επίσης, τον ευχαριστώ για την συνεχή υποστήριξη που μου παρείχε τόσο στο πρακτικό, όσο και στο θεωρητικό κομμάτι της πτυχιακής μου εργασίας, η βοήθειά του ήταν απλόχερη και αληθινή, ευελπιστώ κάποτε να του την ανταποδώσω. Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου με το πρόγραμμα σπουδών που μου παρείχε και όλους τους καθηγητές μου για τις γνώσεις που μου προσέφεραν. Παράλληλα, θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους φίλους μου για την ψυχολογική υποστήριξη που μου παρέχουν, την εμπύχωση και τη συμπαράσταση από το ξεκίνημα μου. Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω για μια ακόμη φορά τον πατέρα μου, την μητέρα μου και την αδερφή μου που μου συμπαραστέκονται στις όποιες αποφάσεις παίρνω και με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα. Σε αυτούς αφιερώνω και το παρόν σύγγραμμα, θέλοντας να τους εκφράσω την αγάπη και την ευγνωμοσύνη μου, καθώς μου παρείχαν την υποστήριξη τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί μια προσπάθεια διερεύνησης της νέας τεχνολογίας των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών και την συνδυαστική τους χρήση με τις κλασικές μεθόδους, τόσο μέσα από βιβλιογραφική έρευνα, αλλά και με την πρακτική εφαρμογή αποτύπωσης.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε αποτύπωση του σπηλαίου Αγ. Γεωργίου, που βρίσκεται εντός της περιοχής Ερήμη στην Λεμεσό, με την χρήση επίγειου σαρωτή Leica ScanStation C10, με απώτερο σκοπό την εφαρμογή του επίγειου σαρωτή laser ως εργαλείο για την καταγραφή της παθολογίας του Σπηλαίου Αγίου Γεωργίου.

Το γεγονός της δυνατότητας των επίγειων σαρωτών λέιζερ να αναπαριστούν γρήγορα και σχεδόν αυτόματα τα στοιχεία του τρισδιάστατου χώρου σε μορφή ευκολά αναγνωρίσιμη από τον χρήστη, την καθιστά δημοφιλής στις αποτυπώσεις, ιδιαίτερα στους τομείς της αρχιτεκτονικής και συγκεκριμένα της πολιτιστικής κληρονομιάς, της αρχαιολογία κ.α.

Σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης, η νέα τεχνολογία τρισδιάστατης σάρωσης λέιζερ, προσφέρει την συνολική αποτύπωση του χώρου. Με αυτό τον τρόπο παρέχει την δυνατότητα επιλογής οποιασδήποτε τομής για την παραγωγή σχεδίων αποκατάστασης και εκτίμησης της. Επίσης, η επιλογή της μεθόδου προσφέρει μεγάλη ευκολία για τις εργασίες του πεδίου αλλά και ταχύτητα, δεδομένου ότι ο κύριος όγκος εργασιών είναι η επεξεργασία των δεδομένων.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: τρισδιάστατοι σαρωτές, μέθοδοι τεκμηρίωσης, λέιζερ, πολιτιστική κληρονομία

## **ABSTRACT**

This thesis is an attempt to investigate the new technology of three-dimensional scanners and their combined use with traditional methods, both through literature search, but also with the practical mapping application.

In the context of this dissertation the cave of Ag. Georgiou, located in the area of Erimi in Limassol, is scanned using a Leica ScanStation C10 ground scanner, aiming the implementation of the terrestrial scanner laser as a tool for recording the pathology of the Cave St. George.

The fact that terrestrial laser scanners can quickly and almost automatically represent three-dimensional data in a form easily recognizable by the user, makes it popular in mapping, especially in the fields of architecture and in particular cultural heritage, archaeology, etc.

In contrast to the classic mapping methods, the new three-dimensional laser scanning technology offers a comprehensive mapping of the area. In this way it provides the possibility of selecting any section for the production of restoration and assessment plans. In addition, the choice of this method provides great convenience for field work but also speed, since the main part of the work is data processing.

**KEYWORDS:** three-dimensional scanners, documentation methods, laser, cultural heritage

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ABSTRACT	6
Εισαγωγή	1
1 Ιστορικά Στοιχεία	3
1.1 Διεθνείς Οργανισμοί	4
1.1.1 UNESCO	4
1.1.2 ICOMOS	5
1.1.3 ICCROM	6
1.1.4 WMF	7
1.1.5 CIPA	7
1.1.6 OWHC	8
1.1.7 ICAHM	8
1.1.8 IUCN	8
1.2 Διεθνείς Συμβάσεις	9
1.2.1 Σύμβαση για την Προστασία της Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς (Σύμβαση Γρανάδας 1985)	9
1.2.2 Σύμβαση για την Προστασία της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς	9
1.2.3 Χάρτης της Βενετίας	10
2 Έννοιες και Ορισμοί	10
2.1 Πολιτιστική Κληρονομία	10
2.2 Γεωμετρική Τεκμηρίωση	10
2.3 Αποτυπώσεις Σπηλαίων	12
3 Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων	13
3.1 Μέθοδοι Τεκμηρίωσης	13
3.1.1 Τοπομετρική Μέθοδος Αποτύπωση	16



3.1.2	Τοπογραφική Μέθοδος Αποτύπωσης	17
3.1.3	Φωτογραμμετρική Μέθοδος Αποτύπωσης	19
3.1.4	Σάρωση με Τρισδιάστατους Επίγειους Σαρωτές Laser	27
3.1.5	Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας με Χρήση Έγχρωμου Νέφους σημείων	28
3.1.6	Μέθοδος Πολυεικονικής Ανακατασκευής με Μονοσκοπική Παρατήρηση	30
3.1.7	Μονοεικονικές Αποδόσεις	31
3.2	Χαρακτηριστικά και παραδείγματα για τις μεθόδους αποτύπωσης	31
3.2.1	Τοπομετρική Μεθοδος	32
3.2.2	Τοπογραφική Μέθοδος	33
3.2.3	Φωτογραμμετρική Μέθοδος	36
3.2.4	Μέθοδος Αποτύπωσης με Laser Scanner	44
3.2.5	Σύγκριση Μεθόδων	47
4	Σαρωτές Laser (Laser Scanner)	50
4.1	Ορισμός ‘Laser’	50
4.2	Μέθοδοι Μέτρησης των 3D Σαρωτών	51
4.2.1	Επίγειοι Σαρωτές Επαφής	53
4.2.2	Επίγειοί Σαρωτές μη Επαφής	54
4.3	Πεδία Εφαρμογής του Επίγειου Σαρωτή	58
4.4	Ακρίβεια των Επίγειων Σαρωτών Laser	58
4.4.1	Ακρίβεια Μέτρησης Γωνίας	58
4.4.2	Ακρίβεια Μέτρησης Απόστασης	59
4.4.3	Διακριτική Ικανότητα	59
4.4.4	Επίδραση Ακμών	59
4.4.5	Επιρροή της Ανακλαστικότητας της Επιφάνειας	60
4.4.6	Περιβαλλοντικές Συνθήκες	60
4.5	Πλεονεκτήματα της Σάρωσης με Laser	60

4.6	Διαδικασία Σάρωσης	61
4.7	Λειτουργία Επίγειου Σαρωτή Laser	61
4.8	Φαινόμενο Θορύβου	62
4.9	Κατηγοριοποίηση Σαρωτών Laser	63
5	Συλλογή Δεδομένων με την χρήση laser	64
5.1	Θέση του Σπηλαίου	65
5.2	Ιστορικά Στοιχεία του Σπηλαίου	65
5.3	Εσωτερικός Διάκοσμος	66
5.4	Διαδικασία Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης	67
5.5	Επιλογή Μεθοδολογίας	68
5.6	Εργασίες Πεδίου	69
5.6.1	Εξοπλισμός	69
5.6.2	Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων Πεδίου	71
	Συμπεράσματα	74
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	75
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα φωτογραμμετρικής μεθόδου .....	38
<b>Πίνακας 2:</b> Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα τοπομετρικής μεθόδου .....	48
<b>Πίνακας 3:</b> Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα όλων των Μεθόδων.....	49
<b>Πίνακας 4:</b> Ποσοστό Συμμετοχής Μεθόδων στην Αποτύπωση Μνημείων.....	68

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<b>Διάγραμμα 1:</b> Λογότυπο UNESCO .....	5
<b>Διάγραμμα 2:</b> Λογότυπο ICOMOS .....	6
<b>Διάγραμμα 3:</b> Λογότυπο ICCROM .....	6
<b>Διάγραμμα 4:</b> Λογότυπο WMF.....	7
<b>Διάγραμμα 5:</b> Λογότυπο CIPA .....	7
<b>Διάγραμμα 6:</b> Λογότυπο OWHC .....	8
<b>Διάγραμμα 7:</b> Λογότυπο ICAHM.....	8
<b>Διάγραμμα 8:</b> Λογότυπο IUCN.....	9
<b>Διάγραμμα 9:</b> Οι περιοχές εφαρμογής των εναλλακτικών τεχνικών ανάλογα την πολυπλοκότητα και την έκταση αποτύπωσης (Πηγή: Boehler W., Heinz G 1999).....	15
<b>Διάγραμμα 10:</b> Μετροταινία και Μέτρο .....	17
<b>Διάγραμμα 11:</b> Αποστασιόμετρα με laser.....	17
<b>Διάγραμμα 12:</b> Total Station.....	19
<b>Διάγραμμα 13:</b> Ιστορική φάση της φωτογραμμετρίας .....	20
<b>Διάγραμμα 14:</b> Φωτογραφική Μηχανή.....	22
<b>Διάγραμμα 15:</b> Ψηφιακοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί.....	23
<b>Διάγραμμα 16:</b> Σχηματική διαδικασία σύνταξης Ψηφιακής Ορθοφωτογραφίας. (Πηγή: Πατιάς Π, 1991) .....	27
<b>Διάγραμμα 17:</b> Αλγόριθμος του λογισμικού ZPR (Πηγή: Νατσης,2008) .....	30
<b>Διάγραμμα 18:</b> Εκκλησία του Αγ.Ρόκκου (αποτύπωση 1978), κάτοψη-αριστερά, πρόσοψη-δεξιά. (Πηγή: Ι.Δημακόπουλος- Ν.Χαρκιολάκης, 1979).....	33
<b>Διάγραμμα 19:</b> Οι διασταυρώσεις. (Πηγή: Campanella et al., 2005) .....	35
<b>Διάγραμμα 20:</b> Υψομετρικά στοιχεία του δαπέδου με δίκτυο άνω των 500 σημείων ....	36
<b>Διάγραμμα 21:</b> Διόρθωση εικόνας της εγκάρσιας κλίτος προς τον Βορρά και τον κύριο ναό που βλέπει Ανατολή και Δύση .....	36

<b>Διάγραμμα 22:</b> Ορθοφωτογραφία.....	40
<b>Διάγραμμα 23:</b> Στερεοφωνικό ζεύγος.....	40
<b>Διάγραμμα 24:</b> Στερεοφωνικό ζεύγος από το πεδίο CIPA-Text "Otto Wagner Pavillon Karlsplatz, Βιέννη. (Πηγή: Klaus Hanke, 2002).....	41
<b>Διάγραμμα 25:</b> Σχέδιο πρόσοψης 2D που προέρχεται από το παραπάνω στερεοφωνικό ζεύγος εικόνων .....	42
<b>Διάγραμμα 26:</b> Παραδείγματα διαφορετικών εικόνων, διαφορετικών καμερών, διαφορετικών φακών.....	43
<b>Διάγραμμα 27:</b> Μοντέλο πλεγμάτων και μοντέλο επιφάνειας ως αποτέλεσμα αποκατάστασης πακέτων. (Πηγή: Klaus Hanke, 2002).....	44
<b>Διάγραμμα 28:</b> Νέφος Σημείων .....	45
<b>Διάγραμμα 29:</b> Τρισδιάστατη Απεικόνιση .....	45
<b>Διάγραμμα 30:</b> Το ενιαίο νέφος σημείων και τα δισδιάστατά σχέδια των τομών που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση του τρισδιάστατου μοντέλου της γέφυρας.....	46
<b>Διάγραμμα 31:</b> Ενιαίο νέφος σημείων του παλατιού Kharanah μετά την ευθυγράμμιση (Πηγή: AI-Kheder, AI-Shawabkeh και Halla, 2009) .....	47
<b>Διάγραμμα 32:</b> Τρισδιάστατα μοντέλα των παλατιών Amra και Kharanah (Πηγή: AI- Kheder, AI-Shawabkeh και Halla, 2009).....	47
<b>Διάγραμμα 33:</b> Αρχή λειτουργία του Laser. Πηγή: (Μαρία Κατσικίνη <a href="http://users.auth.gr/katsiki/8_laser.pdf">http://users.auth.gr/katsiki/8_laser.pdf</a> ).....	50
<b>Διάγραμμα 34:</b> Οι αερομεταφερόμενοι σαρωτές laser και το αποτέλεσμα .....	51
<b>Διάγραμμα 35:</b> Οι επίγειοι σαρωτές laser και το αποτέλεσμα.....	52
<b>Διάγραμμα 36:</b> Η κατηγοριοποίηση των επίγειων σαρωτών Laser [Συμεωνίδης, 2007].	52
<b>Διάγραμμα 37:</b> Σαρωτές επαφής φορητού τύπου (δεξιά) και τύπου γέφυρας (αριστερά) .....	53
<b>Διάγραμμα 38:</b> Αρχή λειτουργίας της Time of flight τεχνικής.....	55
<b>Διάγραμμα 39:</b> Σαρωτές Faros και Leica τεχνικής Time of flight.....	55
<b>Διάγραμμα 40:</b> Αρχή λειτουργίας τεχνικής σύγκριση φάσης.....	56

<b>Διάγραμμα 41:</b> Αρχή λειτουργίας τεχνικής τριγωνισμού με έναν (αριστερά) και δύο (δεξιά) αισθητήρες CCD .....	57
<b>Διάγραμμα 42:</b> Σαρωτές δομημένου φωτός.....	57
<b>Διάγραμμα 43:</b> Διάχυση ακτίνας λέιζερ και δημιουργία θορύβου. Πηγή: (Κλεψύδρα, 2006).....	63
<b>Διάγραμμα 44:</b> Τρόποι αντανάκλασης δέσμης φωτός Πηγή: (Κλεψύδρα, 2006) .....	63
<b>Διάγραμμα 45:</b> Διαφορετικοί τύπου σαρωτών λέιζερ. Πηγή: Zogg, Hans-Martin, 2008) .....	64
<b>Διάγραμμα 46:</b> Θέση του σπηλαίου Αγίου Γεωργίου.....	65
<b>Διάγραμμα 47:</b> Ξύλινη περίφραξη .....	66
<b>Διάγραμμα 48:</b> Εσωτερικός χώρος Σπηλαίου.....	67
<b>Διάγραμμα 49:</b> Διαδικασία Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης.....	68
<b>Διάγραμμα 50:</b> Leica ScanStation C10.....	70
<b>Διάγραμμα 51:</b> Ξύλινος Τρίποδας .....	70
<b>Διάγραμμα 52:</b> Σταθεροί Στόχοι 3 in.....	71
<b>Διάγραμμα 53:</b> Οθόνη του Scanstation για την δημιουργία new project. ....	72
<b>Διάγραμμα 54:</b> Οθόνη του Scanstation για scan.....	72
<b>Διάγραμμα 55:</b> Τελικό σχεδιάγραμμα στην ύπαιθρο.....	73

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

CIPA:	Comité International de Photogrammétrie Architecturale
ICOMOS:	International Council of Monuments and Sites
ISPRS:	International Society of Photogrammetry and Remote Sensing
UNESCO:	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
3D:	Τρείς Διαστάσεις
In:	Ίντσες
ΠΟΑΚ:	Παγκύπριου Οργανισμού Αρχιτεκτονικής Κληρονομίας
ΟΗΕ:	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
ICCROM:	Διεθνές κέντρο για τη μελέτη της διατήρησης και της αναστήλωσης των πολιτιστικών αγαθών
WMF:	Παγκόσμιο Ταμείο για τα Μνημεία

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Data	Δεδομένα
Registration	Γεωαναφορά
Contact 3D Scanners	Σαρωτές Επαφής
Laser Scanner	Σαρωτής λέιζερ
Light Patters	Φωτεινούς Σχηματισμούς
Zoom	Ζουμ
Video	Βίντεο
Waypoints	Σημεία
Name	Όνομα
Main Menu	Κεντρικό Μενού
New	Καινούργιο
Project	Έργο
Store	Αποθήκευση
Continue	Συνέχεια
Target	Σταθεροί Στόχοι
Laser	Λείζερ
ScanStation	Επίγειος σαρωτής



## Εισαγωγή

Η ανάγκη για τη διαφύλαξη και ανάδειξη του πολιτισμικού πλούτου επιτυγχάνεται μέσω διεθνών κανονισμών και συμβάσεων για την προστασία τους. Ένα από αυτά είναι το άρθρο 16 της διακήρυξης της Βενετίας, που αναφέρεται σε εμπειριστατωμένη τεκμηρίωση, δηλαδή σε αναλυτικές και ψηφιακές τεκμηριώσεις, με συνημμένα σχέδια και φωτογραφίες για τις εργασίες συντήρησης, αποκατάστασης και ανασκαφής.

Στη διαδικασία της τεκμηρίωσης και αποκατάστασης των μνημείων συμμετέχουν επιστήμονες διαφορετικών ειδικοτήτων καθώς *«η συντήρηση και αποκατάσταση των μνημείων αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο ο οποίος πρέπει να αποτείνεται στη συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της πολιτιστικής κληρονομιάς»* (Χάρτα της Βενετίας- Άρθρο 2, 1964).

Η ψηφιακή μορφή τεκμηρίωσης προσφέρει τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς με εύκολη πρόσβαση. Τα στοιχεία της ψηφιακής τεκμηρίωσης έχουν την δυνατότητα ανάρτησης τους στο διαδίκτυο και να μπορούν να επεξεργαστούν από το κοινό ή και τους επιστήμονες.

Ακόμα, απαραίτητο για την διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, είναι το κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο για την αποκατάσταση και τεκμηρίωση μνημείων. Η ίδρυση του Παγκυπρίου Οργανισμού Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς (ΠΟΑΚ) στην Κύπρο δημιουργήθηκε το 1979, στην οποία ξεκίνησε η προσπάθεια διαφύλαξης και ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Από το Υπουργείο Εσωτερικών εκδόθηκε Διάταγμα Διατήρησης το 1990 (άρθρο 38 του Νόμου περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας), που χαρακτηρίζουν τα διατηρητέα οικοδομής, οποιοδήποτε κτίσμα, αρχιτεκτονικό, ιστορικό ή άλλο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με το σπήλαιο του Αγίου Γεωργίου στην Λεμεσό, με την εφαρμογή του επιγείου τρισδιάστατου σαρωτή laser Leica ScanStation C10. Η δομή της παρακάτω διπλωματικής αναφοράς είναι η εξής.

Στο **1ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα ιστορικά στοιχεία της Κύπρου καθώς και αναλύονται οι στόχοι, οι πρωτοβουλίες, οι ενέργειες και τα αποτελέσματα των σημαντικότερων προσπαθειών από αυτούς που ασχολήθηκαν με την προστασία της

πολιτιστικής κληρονομίας σε διεθνές επίπεδο, κατά τη διάρκεια του μεγαλύτερου περίπου εικοστού αιώνα. Αναλύονται κάποιοι διεθνείς οργανισμοί καθώς και παρουσιάζονται κάποιες διεθνείς συμβάσεις.

Στο **3ο κεφάλαιο** περιγράφεται η γεωμετρική τεκμηρίωση και τα χαρακτηριστικά για την αποτύπωση σπηλαίων. Επιπλέον, αναλύονται οι παραδοσιακές μέθοδοι αποτύπωσης, η εμπειρική, η τοπογραφική και η φωτογραμμετρική καθώς και αναφέρονται τα χαρακτηριστικά άλλα και παραδείγματα των μεθόδων.

Στο **4ο κεφάλαιο** περιγράφονται και παρουσιάζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των επίγειων σαρωτών λέιζερ. Συγκεκριμένα, αναφέρονται οι κατηγορίες των επίγειων σαρωτών, οι μέθοδοι για την αποτύπωση με την χρήση λέιζερ, αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας και το φαινόμενο του θορύβου. Επίσης, περιγράφεται ο επίγειος σαρωτής ScanStation C10.

Στο **5ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα ιστορικά στοιχεία του σπηλαίου καθώς και η τοποθεσία, άλλα και τα χαρακτηριστικά του. Επιπλέον, αναπτύσσεται η μεθοδολογία της έρευνας και αναλύεται η επεξεργασία των δεδομένων στο γραφείο. Στο στάδιο των εργασιών του πεδίου περιγράφεται ο τρόπος συλλογής δεδομένων καθώς και αναφέρονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις. Όσον αφορά τις εργασίες γραφείου, αναλύεται ο τρόπος ανάλυσης δεδομένων.

Στο **6ο κεφάλαιο** παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση της βιβλιογραφίας. Τα συμπεράσματα επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της εφαρμογής της τεχνολογίας των επιγείων τρισδιάστατων σαρωτών laser.

# 1 Ιστορικά Στοιχεία

Η Κύπρος αν και μικρή σε έκταση χώρα έχει πλούσια πολιτιστική κληρονομία και μια μακροχρόνια ιστορία. Η στρατηγική της σημασία, η γεωγραφική της θέση, μαζί με το γεωργικό, δασικό και ορυκτό πλούτο της, την κατέστησαν πόλο έλξης για πολλούς εισβολείς και κατακτητές. Επίσης, το νησί έγινε σταθμός και κέντρο εμπορίου και πολιτισμού ενώ η Κύπρος ήταν ξακουστή για την παραγωγή των ορυκτών και μετάλλων. Ο πολιτισμός της Κύπρου, με βάση αρχαιολογικά ευρήματα, έχει κατοικηθεί περί την 9η χιλιετία π.Χ.

Σήμερα, βλέπουμε ένα έντονο ενδιαφέρον στο τομέα της πολιτιστικής κληρονομίας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μελέτη και προβολή μνημείων, που αρκετές φορές απεικονίζουν τον πολιτισμό ενός λαού και την ιστορία του. Η πολιτιστική κληρονομία κάθε λαού είναι το κληροδότημα των παλαιότερων γενεών στις μελλοντικές.

Όμως, πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι η πολιτιστική κληρονομία κινδυνεύει διότι εύκολα μπορεί να καταστραφεί, να αλλοιωθεί, να χαθεί, ακόμα και να ξεχαστεί λόγω φυσικών κινδύνων, κλοπών και βανδαλισμών, οικονομικής δραστηριότητας, σύγχρονου τρόπου ζωής και αδιαφορίας αλλά και από βίαιες ενέργειες. Για αυτούς τους λόγους, δημιουργήθηκαν κάποιοι οργανισμοί ώστε να διατηρήσουν την προστασία της πολιτιστικής κληρονομίας. Οι διεθνείς επιτροπές είναι η UNESCO, το ICOMOS, η CIPA σε συνεργασία με την Διεθνή Ένωση Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ISPRS), καθώς προστατεύουν την πολιτιστική κληρονομία με διάφορες ενέργειες ανάλογα με το έργο, παραδειγματικά μπορούν να γίνουν οι εξής ενέργειες:

- Συντήρηση: για την αποφυγή περαιτέρω υλικής καταστροφής
- Ανακατασκευή: για την επαναφορά στην αρχική μορφή με προσθήκη νέων μελών
- Αναστήλωση: για επαναφορά αρχικής μορφής με αυθεντικά υλικά
- Αποκατάσταση: για την διατήρηση
- Ανάδειξη: για την προβολή και οργανική ένταξη στον χώρο
- Εξυγίανση: για την αποφυγή βλαβερών επιδράσεων
- Αναβίωση: η απόδοση λειτουργιών και χρήσεων

Εν κατακλείδι, η συντήρηση, η προστασία, η αναστήλωση, η τεκμηρίωση και η ανάδειξη του μνημειακού πλούτου είναι αναγκαίο στις μέρες μας. Άρα πριν από κάθε γεωμετρική τεκμηρίωση είναι αναγκαίο να μελετώνται τα γεωμετρικά στοιχεία και η λεπτομερής

γνώση της αρχιτεκτονικής και ιστορικής τους κατάστασης, ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη μέθοδος.

## 1.1 Διεθνείς Οργανισμοί

Η βασική επιδίωξη κανόνων προστασίας σε διεθνή και εθνική νομοθεσία, έχει ως σκοπό να καλύπτεται η αναγνώριση, καταγραφή, τεκμηρίωση και διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, καθώς και την προστασία της από καταστροφές ή φθορές. Τα ενεργά προγράμματα που υποστηρίζουν την ερευνητική δραστηριότητα έχουν σκοπό τη διεθνή συνεργασία. Οι παγκόσμιοι οργανισμοί καθορίζουν τις πολιτικές και πρέπει κάθε κράτος να τις ακολουθεί για την ολοκληρωμένη διαχείριση, αξιοποίηση και προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ακολουθώς, αναφέρονται οι σημαντικότεροι από αυτούς.

### 1.1.1 UNESCO

Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών για την Εκπαίδευση, την Επιστήμη και τον Πολιτισμό. Αποτελεί σημαντικό διεθνή οργανισμό του ΟΗΕ και ιδρύθηκε το 1945. Ένα κομμάτι της αποστολής της UNESCO αφοσιώνεται στην τεκμηρίωση, την προστασία και την συντήρηση της πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς. Αυτό έχει υιοθετηθεί από την UNESCO το 1972 με την διεθνή συνθήκη «Συνθήκη προστασίας παγκόσμιας πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς». (United Nations Educational, 2019)

Το 1975, η Κύπρος κύρωσε τη Σύμβαση Παγκόσμιας Πολιτιστικής και Φυσικής Κληρονομιάς, δεσμευόμενη με τα άλλα κράτη για την προστασία και διαφύλαξη τους. Η Κύπρος είναι μια από τις πρώτες χώρες που ενέγραψαν μνημεία στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς καθώς και διερευνητικός κατάλογος μνημείων για την πιθανή καταχώριση τους (UNESCO Κυπριακή Εθνική Επιτροπή, 2019). Ως τώρα στο κατάλογο περιλαμβάνονται: (<https://whc.unesco.org/>)

- Χοιροκοιτία
- Παλαίπαφος
- Νέα Πάφος
- Τάφοι των Βασιλέων
- Η εκκλησία του Αγίου Νικολάου της Στέγης
- Παναγιά Φορβιώτισσα- Παναγία της Ασίνου

- Η εκκλησία της Παναγίας του Άρακα
- Μονή του Αγίου Ιωάννη του Λαμπαδιστή
- Παναγία του Αρχαγγέλου στο Μουτουλά
- Εκκλησία του Τίμιου Σταυρού του Αγιασμάτι
- Εκκλησία της Παναγίας Ποδύθου Εκκλησία Μεταμόρφωσης του Σωτήρος
- Εκκλησία Τιμίου Σταυρού στο Πελένδρι



**Διάγραμμα 1:** Λογότυπο UNESCO

### 1.1.2 ICOMOS

Ονομάζεται το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Χωρών. Το ICOMOS είναι διεθνής, μη κυβερνητικός οργανισμός με σκοπό την προστασία, ανάδειξη ιστορικών και αρχαιολογικών μνημείων καθώς και η ενημέρωση και προσπάθεια διάσωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ιδρύθηκε το 1965 σύμφωνα με το καταστατικό της Χάρτας της Βενετίας (1964). Αποτελεί συμβουλευτικό σώμα προς την UNESCO και την Επιτροπή Παγκόσμιας Κληρονομιάς, για θέματα που αφορούν την Προστασία και την Αποκατάσταση Μνημείων και Περιοχών. Επιδιώκει να καθιερώσει διεθνή πρότυπα για τη συντήρηση, αποκατάσταση και διαχείριση πολιτιστικών αγαθών. (<https://www.icomos.org/en>)



**Διάγραμμα 2:** Λογότυπο ICOMOS

### 1.1.3 ICCROM

Το όνομα του ολογράφως είναι Διεθνές Κέντρο για τη Μελέτη της Συντήρησης και της Αποκατάστασης των Πολιτικών Αγαθών. Αποτελεί διακυβερνητικό οργανισμό και ιδρύθηκε το 1956, με θεσμό της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ο ρόλος του είναι συμβουλευτικός και εκπαιδευτικός σε θέματα αποκατάστασης και συντήρησης, παρέχοντας γνώσεις σε πολιτιστικά θέματα σε κυβερνητικό και διεθνές επίπεδο και είναι εγγεγραμμένο στον Κατάλογο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς. (<https://www.iccrom.org/>)



**Διάγραμμα 3:** Λογότυπο ICCROM

#### 1.1.4 WMF

Ο οργανισμός (Παγκόσμιο Ταμείο Μνημείων) είναι μη κερδοσκοπικός και ιδρύθηκε το 1965. Στόχος του είναι η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς και η δημοσιοποίηση καταλόγου με τα απειλούμενα μνημεία. Συνεργάζεται με τοπικές αρχές και εμπειρογνώμονες για την εφαρμογή ειδικών τεχνικών διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Συμμετέχει σε 600 έργα σε 90 κράτη και δραστηριοποιείται για εκπαίδευση των τοπικών αρχών και σχετικών φορέων καθώς και παρέχουν οικονομική - τεχνική υποστήριξη για τη διατήρηση μεγάλων κτιρίων. (<https://www.wmf.org/>)



**Διάγραμμα 4:** Λογότυπο WMF

#### 1.1.5 CIPA

Ιδρύθηκε με τη συνεργασία του ISRPS (Διεθνής Ένωση Τηλεπισκόπησης και Φωτογραμμετρίας) και είναι μια από τις διεθνείς επιτροπές του ICOMOS. Ο σκοπός του είναι η βελτιστοποίηση όλων των μεθόδων αποτύπωσης πολιτιστικών μνημείων. Κυρίως ασχολείται με τα αποτελέσματα του συνδυασμού των διαφορετικών μεθόδων με την μέθοδο της Φωτογραμμετρίας ως βασική μέθοδος αποτύπωσης και τεκμηρίωσης των πολιτιστικών αγαθών.



**Διάγραμμα 5:** Λογότυπο CIPA

### 1.1.6 OWHC

Ο Οργανισμός Πόλεων της Παγκόσμιας Κληρονομιάς (OWHC) ιδρύθηκε το 1993. Συμβάλει στην προστασία της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς και στην εκπαίδευση των τοπικών αρχών, με την προσπάθεια για την τοποθέτηση της Σύμβασης της UNESCO. (<https://www.ovpm.org/>)



**Διάγραμμα 6:** Λογότυπο OWHC

### 1.1.7 ICAHM

Η ICAHM ονομάζεται η Διεθνής Επιτροπή για τη Διαχείριση της Αρχαιολογικής Κληρονομιάς. Ο οργανισμός συμβουλεύει το ICOMOS και την Επιτροπή Παγκόσμιας Κληρονομιάς για τη διαχείριση των αρχαιολογικών χώρων και τοπίων. (<http://icahm.icomos.org/>)



**Διάγραμμα 7:** Λογότυπο ICAHM

### 1.1.8 IUCN

Η Παγκόσμια Ένωση για την Συντήρηση (IUCN) είναι διεθνής μη κυβερνητική οργάνωση και διαθέτει μια ομάδα από εμπειρογνώμονες για την κατάσταση συντήρησης των μνημείων που είναι εγγεγραμμένα στον Κατάλογο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της UNESCO. (<https://www.iucn.org/>)





**Διάγραμμα 8:** Λογότυπο IUCN

## **1.2 Διεθνείς Συμβάσεις**

Στο πλαίσιο των Διεθνών Οργανισμών αξίζει η αναφορά κάποιων συμβάσεων. (Παράρτημα I)

### **1.2.1 Σύμβαση για την Προστασία της Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς (Σύμβαση Γρανάδας 1985)**

Η σύμβαση της Γρανάδας αφορά την προστασία της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς της Ευρώπης. Πρώτα, ορίζει την αρχιτεκτονική κληρονομία και την προστασία των ακινήτων και κωδικοποιούνται τα μέτρα για τη συντήρηση, αναστήλωση και τον περιορισμό φθοράς, οι κυρώσεις στις οποίες εντάσσονται με βάση το νομικό πλαίσιο κάθε χώρας. Κατευθυντήριοι άξονες της σύμβασης είναι η ένταξη της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς όπως η συντήρηση στα πλαίσια του χωροταξικού και πολεοδομικού σχεδιασμού, η ανάδειξη της με τη διευκόλυνση πρόσβασης της και η ενημέρωση.

### **1.2.2 Σύμβαση για την Προστασία της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς**

Έχει σκοπό την προστασία και το σεβασμό της άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς και την ευαισθητοποίηση σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο. Η σύμβαση ορίστηκε στην 32<sup>η</sup> Σύνοδο της Γενικής Συνέλευσης της UNESCO το 2003. Η διαφύλαξη της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς απαιτεί ολιστική προσέγγιση στο στοιχείο της κληρονομιάς, διασφαλίζοντας την μετάδοση, υποστήριξη των κοινοτήτων με σύστημα μέτρων κατάλληλο κατά περίπτωση, ανάδειξη της αξίας του.

### **1.2.3 Χάρτης της Βενετίας**

Ο Χάρτης της Βενετίας ορίστηκε για την Αποκατάσταση και Συντήρηση Μνημείων και Μνημειακών Συνόλων το διάστημα του δευτέρου Διεθνούς Συνεδρίου Αρχιτεκτόνων και Τεχνικών των Ιστορικών Μνημείων το 1964 στην Βενετία. Διοργανώθηκε από το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών (ICOMOS). Ο Χάρτης αναγνωρίζεται διεθνώς ως κατευθυντήριες αρχές κυρίως για την πράξη της Αποκατάστασης και της Συντήρησης κάθε είδους Μνημείων.

## **2 Έννοιες και Ορισμοί**

### **2.1 Πολιτιστική Κληρονομία**

Ο ορισμός της Πολιτιστικής Κληρονομιάς αναφέρεται στην κληρονομία των φυσικών αντικειμένων και τα άυλα χαρακτηριστικά της κοινωνίας, τα οποία έχουν κληροδοτηθεί από παλιές γενιές και τα διατηρούν για το μέλλον. Οι τύποι κληρονομιάς είναι ο απτός πολιτισμός (μνημεία, τοπία, έργα τέχνης), ο άυλος πολιτισμός (παραδόσεις, γλώσσα, γνώση) και η φυσική κληρονομία (πολιτιστικά τοπία). Στόχος των γενεών είναι η ευθύνη της διατήρησης, διαφύλαξης και συντήρησης της.

Η UNESCO και το Συμβούλιο της Ευρώπης έχουν καθιερώσει κανόνες προστασίας που περιλαμβάνουν το Διεθνές Δίκαιο. Ο σκοπός της παγκόσμιας δραστηριοποίησης για την διατήρηση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς είναι η προστασία του παγκόσμιου πολιτισμού και της φυσικής κληρονομιάς, που ορίστηκε κατά την Γενική Διάσκεψη της UNESCO το 1972. Για την διατήρηση και ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς συμβάλλουν οι διεθνείς συμβάσεις και οργανισμοί, ώστε να εστιάσουν με τον δικό τους τρόπο το κάθε ένα ξεχωριστά και σε πιο εξειδικευμένα πλαίσια.

### **2.2 Γεωμετρική Τεκμηρίωση**

Με τον όρο αποτύπωση νοείται η λεπτομερής σχεδιαστική παρουσίαση των μνημείων, ώστε να αποδίδεται με πληρότητα η μορφή τους. Αντιθέτως, με τον όρο τεκμηρίωση ορίζεται η πλήρης καταγραφή και αρχειοθέτηση όλων των πληροφοριών που σχετίζονται με τα ιστορικά στοιχεία, τη γεωμετρική πληροφορία και την παθολογία του προς τη μελέτη μνημειακού τόπου. Επομένως, ο όρος τεκμηρίωση εμπεριέχει τον όρο αποτύπωση, αφού η τεκμηρίωση μιας κατασκευής περιέχει τα δεδομένα της αποτύπωσης

και τη διαδικασία προσδιορισμού της θέσης, του μεγέθους καθώς και του σχήματος την δεδομένη χρονική στιγμή. Συνεπώς, ο όρος γεωμετρική τεκμηρίωση ορίζεται ως η διαδικασία συλλογής δεδομένων, επεξεργασίας, απόδοσης και καταχώρισης στοιχείων για τον προσδιορισμό της θέσης και της πραγματικής μορφής στον χώρο των τριών διαστάσεων σε μια χρονική στιγμή, του σχήματος και του μεγέθους ενός μνημείου (Γεωργόπουλος, 2008).

Άρα, ο σκοπός της γεωμετρικής τεκμηρίωσης είναι η παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης μιας κατασκευής στην παρούσα χρονική στιγμή, όπως έχει διαμορφωθεί στην πορεία του χρόνου. Έτσι θεωρούνται αναγκαίες οι μελέτες για τις απαραίτητες πληροφορίες του παρελθόντος και τον σχεδιασμό που αφορούν το αντικείμενο. Το αντικείμενο μελέτης μπορεί να είναι τεχνικά έργα, μνημεία, αγάλματα, μικρά ή μεγάλα αντικείμενα ακόμη και της φυσικής γήινης επιφάνειας.

Επιπλέον, με τη γεωμετρική τεκμηρίωση δίνεται η ευκαιρία στους μελετητές να αποκαλύψουν αν οι αποκλίσεις ή οι παραμορφώσεις είναι αποτέλεσμα δράσεων (π.χ. φυσική φθορά, ανθρώπινες επεμβάσεις μικρό μετακινήσεις εδάφους, σεισμοί και άλλα), ή αρχικών σφαλμάτων χάραξης-κατασκευής, καθώς μπορεί να εξυπηρετεί σκοπούς θεωρητικής και επιστημονική έρευνα στο οποίο να καλύπτει ανάγκες των μελετών ή ακόμα και την αρχειοθέτηση προβολής στο μνημείο. Κάθε πραγματικό αντικείμενο όπως και τεχνικές κατασκευές ορίζονται στο χώρο των τριών διαστάσεων από σημεία σύνολα άπειρου αριθμού σημείων. Με αυτό, η πιστότητα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης είναι με την συνάρτηση του πλήθους στο σημείο που αποσπώνται από το σύνολο για να αναπαραστήσουν. Ως εκ τούτου, για τη γεωμετρική αποτύπωση κάθε μνημείου εξαρτώνται ιδιαιτερότητες του συγκεκριμένου χώρου και η ανάγκη πληροφοριών και λεπτομερειών που απαιτεί. Για κάθε μνημείο η αναγραφή των αποτελεσμάτων και η μεθοδολογία της εργασίας του είναι διαφορετική στις προδιαγραφές της μελέτης. Εξαρτώνται από το μέγεθος, τη θέση, την πολυσυνθετότητα του έργου και του γενικού χρόνου εργασιών. Επίσης, εξαρτώνται από τη σημαντικότητα της τεκμηρίωσης και του κόστους. Η διαδικασία που υλοποιείται η γεωμετρική τεκμηρίωση είναι σχεδόν η ίδια με τα στάδια οποιασδήποτε άλλης μελέτης τοπογραφικής φύσης.

## 2.3 Αποτυπώσεις Σπηλαίων

Όπως αναφέρθηκε στο πιο πάνω κεφάλαιο για την γεωμετρική τεκμηρίωση έτσι και για την αποτύπωση σπηλαίων μια συστηματική μελέτη, ένα λεπτομερές υπόβαθρο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης-αποτύπωσης και πραγματικής μορφής του, καθίστανται αναγκαία. Για την ορθή ολοκλήρωση της αποτύπωσης ενός σπηλαίου απαιτείται να εμπεριέχονται χρήσιμα στοιχεία από διάφορες μελέτες οι οποίες χωρίζονται πιο κάτω:

- Γεωλογικές μελέτες
- Στατικές μελέτες
- Μελέτες αξιοποίησης και ανάδειξης των σπηλαίων
- Αρχαιολογικές και παλαιοντολογικές μελέτες

Από τις πιο πάνω μελέτες η κάθε μια περιέχει το δικό της θεματικό περιεχόμενο ανάλογα με τις απαιτήσεις, έτσι η ακρίβεια της αποτύπωσης διαφέρουν ανάλογα με το είδος της μελέτης. Η μεθοδολογία για την αποτύπωση σπηλαίων περιλαμβάνει τουλάχιστο τα εξής:

- Οριζοντιογραφική και υψομετρική ένταξη στο κρατικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς,
- Αποτύπωση του υπερκείμενου του σπηλαίου εδάφους,
- Οριζόντιες τομές του σπηλαίου σε διάφορα ύψη,
- Κατακόρυφες κατά μήκος και εγκάρσιες τομές σε διάφορες θέσεις,
- Οριζοντιογραφική αποτύπωση του δαπέδου του σπηλαίου.

Η κλίμακα αποτύπωσης που χρησιμοποιείται τις περισσότερες φορές είναι 1:500. Σε πολλές περιπτώσεις όμως επιλέγεται μικρότερη κλίμακα (1:1000), όπως σε πολύ μεγάλα σπήλαια ή μεγαλύτερες κλίμακες (1:200, 1:100) για την ανάγκη στατικών μελετών στα σπήλαια ή ακόμα μεγαλύτερη (1:50, 1:20) σε περιπτώσεις ειδικών μελετών ή αρχαιολογικών τεκμηριώσεων (Δογγούρης 1986).

Οι αποτυπώσεις σπηλαίων ανήκουν στην κατηγορία των υπόγειων αποτυπώσεων που πραγματοποιούνται σε ένα ιδιότυπο περιβάλλον. Το υπόγειο περιβάλλον δεν αφορά μόνο τις συνθήκες του ιδίου του σπηλαίου όπως δυσμενείς συνθήκες υγρασίας και φωτισμού αλλά επίσης και τις δυσκολίες στην τοποθέτηση των οργάνων και την κυκλοφορία του συνεργείου λόγω δύσκαμπτου εδάφους αλλά και στον περιορισμένο χώρο που μπορεί να υπάρχει. Το δύσκολο κομμάτι της διαδικασίας είναι η εξάρτηση του εσωτερικού και του

εξωτερικού δικτύου, δηλαδή στο κρατικό σύστημα αναφοράς. Χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι υψομετρίας από εκείνη της γεωμετρικής χωροστάθμησης αφού είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθεί λόγω των μεγάλων κλίσεων στο εσωτερικό των σπηλαίων. Συνήθως, το τοπογραφικό δίκτυο είναι προσανατολισμένο και εξαρτημένο στο ένα μόνο άκρο, λόγω του ότι τα σπήλαια τις περισσότερες φορές έχουν μία μόνο είσοδο στο υπόγειο. Με όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω, η διαδικασία της αποτύπωσης, καταγραφής και τεκμηρίωσης ενός σπηλαίου γίνεται ιδιαίτερα ξεχωριστή αλλά και δύσκολη.

### **3 Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων**

Η προστασία των μνημείων καθιερώθηκε τον 20ο αιώνα από διεθνείς συμβάσεις (χάρτα της Βενετίας άρθρο 16 το 1964). Επομένως, με την αποτύπωση μνημείου αντλούμε πληροφορίες που αφορούν την εξέλιξη κάποιου τόπου, την ιστορία του και την πορεία του μέσα στο χρόνο. Τα παραδοτέα σχέδια απεικονίζουν την υπάρχουσα εγκατάσταση στη συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, στην οποία υλοποιείται πρακτικά με τη σύνταξη κατόψεων, όψεων και τομών του μνημείου. Στα αρχικά στάδια της αποτύπωσης, η εργασία των αρχαιολογικών χώρων περιορίζονταν σε μία γρήγορη καταγραφή του χώρου, που γίνονταν με την χρήση απλών μεθόδων χωρίς ιδιαίτερες λεπτομέρειες. Με το πέρασμα των χρόνων υπήρξε η ανάγκη για την καταγραφή του υπάρχοντος χώρου με ένα ρεαλιστικό μοντέλο τρισδιάστατου σχεδίου. Αυτό επιτεύχθηκε με την εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των οργάνων και των τεχνικών της φωτογραμμετρίας που οδήγησαν στην εφαρμογή ακριβέστερων και ταχύτερων μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Πιο κάτω ακολουθούν οι γενικές τεχνικές που ακολουθούνται κατά την εφαρμογή μεθόδων τεκμηρίωσης των μνημείων, καθώς και ο εξοπλισμός τους.

#### **3.1 Μέθοδοι Τεκμηρίωσης**

Κατά την επιλογή της μεθόδου τεκμηρίωσης ενός αρχαιολογικού χώρου ή μνημείου σημαντικό ρόλο έχει η ακρίβεια, η κλίμακα προβολής, η μορφή του μνημείου και ο τύπος των προϊόντων ανάλογα με τη σημαντικότητα, αλλά και των επεμβάσεων που πρόκειται να γίνουν. Ένας σημαντικός παράγοντας για την γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων είναι η μέθοδος συλλογής δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί. Τα κριτήρια επιλογής μεθόδου είναι η οικονομία, η πληρότητα και τα παράγωγα προϊόντα. Παρακάτω αναφέρονται όλοι οι αξιόπιστοι και ενδεδειγμένοι τρόποι δημιουργίας ψηφιακών αρχείων αρχαιολογικών και

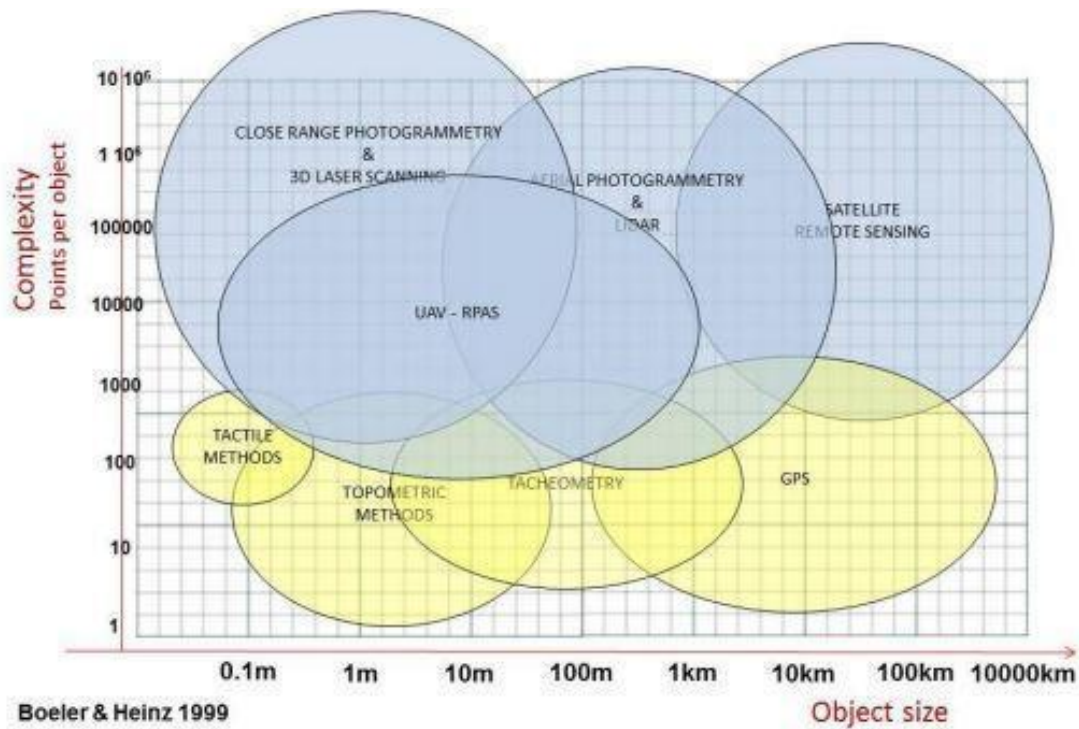
αρχιτεκτονικών μνημείων, καθώς και παραδοσιακές μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται συνδυαστικά και συμπληρωματικά με αυτοματοποιημένες μεθόδους.

Οι κύριες μέθοδοι συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιούνται για αποτύπωση και ψηφιοποίηση ενός μνημείου ή σπηλαίου είναι:

- Τοπομετρική
- Τοπογραφική
- Φωτογραμμετρική
- Σάρωση με τρισδιάστατους επίγειους σαρωτές laser

Συγκεκριμένα, οι μέθοδοι αυτοί αναπτύσσονται αναλυτικά στις πιο κάτω παραγράφους με βάση τις τεχνικές, την χρησιμότητα αλλά και τα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα που έχει η κάθε μια μέθοδος. Επιπλέον, παρατηρήθηκε πως ο συνδυασμός των παραπάνω τεχνικών μεθόδων αποτύπωσης φέρει ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε εξειδικευμένες εργασίες ο συνδυασμός των μεθόδων να έχει την δυνατότητα να καλύψει πλήρως το τελικό αποτέλεσμα.

Το πιο κάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 9) των Boehler & Heinz παρουσιάζει τις μεθόδους μετρήσεων που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το μέγεθος του αντικειμένου και την πολυπλοκότητα του, τα οποία αυτά τα δύο χαρακτηριστικά αποτελούν βασικό παράγοντα για την επιλογή της μεθόδου. Όμως δεν είναι οι μόνοι παράγοντες, για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αποτύπωσης και ψηφιοποίησης ενός αντικειμένου, καθώς, στην τελική απόφαση άλλοι σημαντικοί παράγοντες είναι η ακρίβεια, οι προδιαγραφές, το κόστος κ.α.



**Διάγραμμα 9:** Οι περιοχές εφαρμογής των εναλλακτικών τεχνικών ανάλογα την πολυπλοκότητα και την έκταση αποτύπωσης (Πηγή: Boehler W., Heinz G 1999)

Στο διάγραμμα απεικονίζονται οι μέθοδοι να επικαλύπτονται μεταξύ τους, άρα αυτό δείχνει πως δεν είναι μόνο μια κατάλληλη επιλογή για αποτύπωση ενός αντικειμένου, αλλά ότι ο συνδυασμός και εφαρμογή περισσότερων μεθόδων φέρει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Παρατηρώντας το διάγραμμα αξίζει να σημειωθεί ότι οι περιοχές που καλύπτονται από μια τεχνική, είναι ότι τα μειονεκτήματα της μιας μεθόδου μπορούν να καλυφθούν από τα πλεονεκτήματα της άλλης. Όσο μεγαλύτερη πολυπλοκότητα παρουσιάζει το αντικείμενο, δηλαδή όσα περισσότερα είναι τα προς αποτύπωση σημεία, και όσο αυξάνει το μέγεθός του, τόσο προτιμώνται οι τρισδιάστατες σαρώσεις laser, η φωτογραμμετρία και οι εφαρμογές της τεχνολογίας LiDAR, καθώς και οι μέθοδοι της δορυφορικής τηλεπισκόπησης αντίστοιχα. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους, αλλά και με άμεσες, τοπομετρικές μετρήσεις, ταχυμετρία, μετρήσεις με δέκτες GPS, ακόμα και με εναέριες τεχνικές αποτύπωσης με UAV. Συνήθως, οι αποτυπώσεις που πραγματοποιούνται με αυτές τις μεθόδους, πρόκειται για μικρής ή μεσαίας κλίμακας εκτάσεις, που απαιτούν τη μέτρηση και τον προσδιορισμό περιορισμένου αριθμού σημείων.

### 3.1.1 Τοπομετρική Μέθοδος Αποτύπωση

Μια από τις κατηγορίες αποτύπωσης είναι οι εμπειρικές (τόπομετρικές) μέθοδοι. Η τοπομετρική μέθοδος αποτύπωσης στηρίζεται σε μηκομετρήσεις τριγώνων, διαγώνιων πλευρών, αποκλίσεων και υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιώντας νήμα στάθμης αλφαδολάστιχο και μετροταινία. Αρχικά δημιουργείται το σκαρίφημα στο οποίο καταγράφονται οι μετρήσεις και στη συνέχεια γίνονται μεταφορά των χαρακτηριστικών του μνημείου σε ψηφιακή μορφή σε περιβάλλον autocad με χειροκίνητη εισαγωγή δεδομένων. Το σύστημα αναφοράς ορίζεται σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων σε μια αυθαίρετη διεύθυνση ενός άξονα των συντεταγμένων, ενώ είναι εξαιρετικά δύσκολη η καταγραφή ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Μιας και είναι δύσκολο η τρίτη διάσταση να προέλθει γνωρίζοντας μόνο την αρχή και έναν από τους δύο άξονες του συστήματος συντεταγμένων. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής για τη μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός χώρου είναι το χαμηλό κόστος του εξοπλισμού. Συνήθως για την εφαρμογή της χρησιμοποιείται η μετροταινία (Διάγραμμα 10) αλλά για την καταγραφή των σωστών μετρήσεων απαιτεί να γίνονται σε οριζόντιο επίπεδο ώστε το τελικό σχέδιο αποτύπωσης να είναι η κάτοψη. Άρα για το λόγο αυτό όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως χρησιμοποιούνται αλφαδολαστιχα, νήματα της στάθμης ή ακόμα γίνεται χρήση τοπογραφικών οργάνων όπως χωροβάτες με αυτόματη οριζοντίωση, ιδιαίτερα σε εφαρμογές αποτύπωσης αρχαιολογικών σκαμμάτων. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας πλέον υπάρχουν συσκευές μέτρησης αποστάσεων και γωνιών κλίσεων με τη δυνατότητα οριζοντίωσης κάνοντας χρήση ενσωματωμένου κλισίμετρου για την μέτρηση της οριζόντιας απόστασης ή γωνίας ανάμεσα σε χαρακτηριστικά σημεία της κάτοψης ενός χώρου. Το ηλεκτρονικό αποστασιόμετρο (Διάγραμμα 11) εφαρμόζεται στο σημείο αρχής της μετρημένης απόστασης (σημείο του παρατηρητή) και η δέσμη laser εκπέμπεται από το πομπό του και ανακλάται από το σημείο μέχρι την απόσταση από το σημείο εφαρμογής που επιθυμεί να μετρηθεί. Το μέγεθος του αποστασιόμετρου είναι μικρό και η λειτουργία του ιδιαίτερα εύκολη αφού μπορεί να γίνει από ένα μόνο άτομο. Οι μετρήσεις οδηγούνται στην καταγραφή των αποστάσεων που ορίζουν τις διαστάσεις ενός χώρου και να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του. Η τοπομετρική μέθοδος μειονεκτεί όμως διότι αρκετές φορές οι μελετητές δεν μπορούν να συνεχίσουν τις μετρήσεις άνετα στα διαφορετικά επίπεδα και χώρους. Με την εφαρμογή της τοπομετρικής μεθόδου καταλήγουμε πως θα υπάρχουν μεγάλα σφάλματα στο προσδιορισμό των συντεταγμένων



των σημείων που μεταδίδονται από σημείο σε σημείο. Επιπλέον, η αδυναμία σύνδεσης των επιμέρους χώρων του μνημείου, καθώς και ο μεγάλος χρόνος παραμονής στην ύπαιθρο για την εκπόνηση των μετρήσεων. Με αποτέλεσμα αυτό να είναι φανερό πως η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτύπωση ενός πολυσύνθετου μνημείου αλλά να δίνει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα σε μνημεία μικρών διαστάσεων, με επίπεδες όψεις και επιφάνειες, δηλαδή η απλή χωρική κατανομή και μικρές απαιτήσεις ακρίβειας. Παρόλα αυτά η τοπομετρική μέθοδος είναι αρκετά χρήσιμη και σημαντική γιατί από αυτές τις μετρήσεις συνήθως γίνεται ο τελικός έλεγχος ή ακόμη συμπληρώνουν κάποια στοιχεία μέσα στην μελέτη τα οποία μπορεί να είναι ελλιπή.



**Διάγραμμα 10:** Μετροταινία και Μέτρο



**Διάγραμμα 11:** Αποστασιόμετρα με laser

### 3.1.2 Τοπογραφική Μέθοδος Αποτύπωσης

Τοπογραφία ορίζεται η επιστήμη που προσδιορίζει το σχήμα, την θέση και το μέγεθος κάθε είδους αντικειμένων πάνω στην επιφάνεια της γης θεωρώντας την σαν επίπεδο. Ο ρόλος της τοπογραφίας στην κατασκευαστική πρακτική είναι η τήρηση της γεωμετρικής αρμονίας κατά την διάρκεια της κατασκευής, της συλλογής και των διαθέσιμων δεδομένων

για το σωστό σχεδιασμό των έργων, για την διασφάλιση ποσοτικού και ποιοτικού ελέγχου κατά την διάρκεια της κατασκευής και για την παρακολούθηση της μετά την κατασκευή. Οι τοπογραφικές μέθοδοι συλλογής της πληροφορίας:

- Βασίζονται σε άμεσες μετρήσεις μηκών, γωνιών στο χώρο του αντικειμένου και σε εικόνες
- Προσδιορίζουν τρισδιάστατες συντεταγμένες σημείων του αντικειμένου σε ενιαίο σύστημα αναφοράς
- Εξασφαλίζουν υψηλή, ενιαία και προκαθορισμένη ακρίβεια
- Παρέχουν προσαρμοστικότητα, ευελιξία καθώς και ταχύτητα, ασφάλεια και αποδοτικότητα
- Είναι η οικονομικότερή μέθοδος με την έννοια ότι είναι ικανή να ανταποκριθεί σε κάθε είδους προδιαγραφές με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τη μέγιστη δυνατή ωφέλεια

Η τοπογραφική μέθοδος κάνει χρήση σε εξειδικευμένα όργανα ακρίβειας, τα οποία μετρούν οριζόντιες, κατακόρυφες γωνίες καθώς και κεκλιμένες αποστάσεις. Ο σκοπός της τοπογραφικής μεθόδου αποτύπωσης ασχολείται με τον προσδιορισμό οριζοντιογραφικής και υψομετρικής θέσης φυσικών και τεχνητών αντικειμένων. Κατά τη δεκαετία του '80 οι γεωδαιτικοί σταθμοί που κατασκευάστηκαν μπορούσαν να μετρήσουν αποστάσεις χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα. Με αυτήν την τεχνολογία διευκόλυνε τη διαδικασία των μετρήσεων, αύξησε την ακρίβεια και επιτάχυνε την δουλειά στο πεδίο. Οι συντεταγμένες των σημείων προσδιορίζονται με πολικές συντεταγμένες ή εμπροσθοτομία στο χώρο. Η χρήση του εξοπλισμού στην τοπογραφική μέθοδο είναι η χρήση οργάνων με ακρίβεια καθώς και ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός (Διάγραμμα 12) για μετρήσεις μηκών και γωνιών στο χώρο, με σκοπό τον προσδιορισμό του σε τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων του. Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης του γεωδαιτικού σταθμού για την αποτύπωση μνημείων είναι η δυνατότητα καταγραφής μεγάλης ακρίβειας του σημείου καθώς και η αυτόματη καταγραφή των μετρήσεων. Η προϋπόθεση της μεθόδου για αποτύπωση είναι η ίδρυση τριγωνομετρικού ή πολυγωνομετρικού δικτύου, αφού θα έχει τη δυνατότητα της σύνδεσης των επιμέρους χώρων αλλά και των καταστάσεων που επικρατούν. Συγκεκριμένα, οι προϋποθέσεις για τη σύνταξη ενός τοπογραφικού διαγράμματος είναι η συλλογή στοιχείων στο πεδίο μέσω επίγειων μετρήσεων και η εκτέλεση των απαραίτητων υπολογισμών.

Αρχικά, οι επίγειες μετρήσεις που λαμβάνονται στο πλαίσιο των γεωδαιτικών εργασιών είναι μετρήσεις γωνιακών μεγεθών δηλαδή η οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες ή διευθύνσεις, η μετρήσεις μηκών και μετρήσεις υψομετρικών διαφορών. Επομένως, οι μετρήσεις πραγματοποιούνται μέσω καταλλήλου γεωδαιτικού εξοπλισμού με τα γωνιακά μεγέθη με τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (total station), τα μήκη που μπορούν να μετρηθούν με μετροταινίες, αποστασιόμετρα, ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς, τις υψομετρικές διαφορές με την βοήθεια του χωροβάτη, τέλος τις μεικτές γεωμετρικές και φωτογραφικές πληροφορίες.



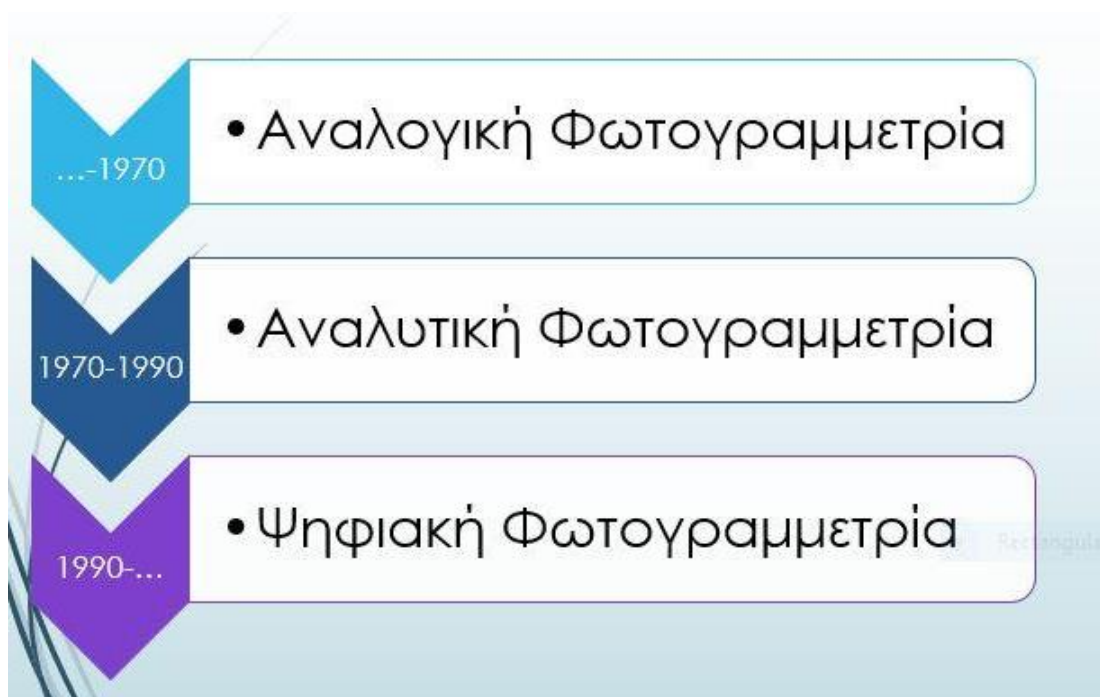
**Διάγραμμα 12:** Total Station

### 3.1.3 Φωτογραμμετρική Μέθοδος Αποτύπωσης

Η φωτογραμμετρία ονομάζεται μία επιστήμη καταγραφής και τεκμηρίωσης των γεωμετρικών, ποιοτικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου (Πατιάς Π., 1991). Η φωτογραμμετρία είναι η τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία για την απόκτηση πληροφορίας σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων. Η δυνατότητα γεωμετρικής τεκμηρίωσης των αντικειμένων με τη χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων, τοποθετούν τον Τοπογράφο Μηχανικό στους επιστήμονες που συμβάλλουν στην αποτύπωση και τεκμηρίωση των μνημείων με στόχο την προστασία, συντήρηση και

αποκατάσταση αυτών. Η κάθε ιστορική φάση της φωτογραμμετρίας χαρακτηρίζεται από το είδος της εικόνας ή και από τον τρόπο μοντελοποίησης της διαδικασίας συλλογής της εικόνας (Διάγραμμα 13).

Η αναλογική φωτογραμμετρία είναι η προσέγγιση και απλοποίηση της πραγματικότητας καθώς και η μοντελοποίηση της διαδικασίας καταγραφής της εικόνας γίνεται με οπτικομηχανικά μέσα τα αναλογικά όργανα. Η αναλυτική φωτογραμμετρία καθορίζεται από το σύνολο των μεθόδων της φωτογραμμετρίας, που βασίζονται στην εκτέλεση αριθμητικών υπολογισμών, βάσει κατάλληλων αναλυτικών μαθηματικών σχέσεων (μαθηματικά μοντέλα). Η μοντελοποίηση της διαδικασίας καταγραφής της εικόνας γίνεται με εξισώσεις. Τα χαρακτηριστικά της είναι η αύξηση ακρίβειας που περιγράφει την πραγματικότητα χρόνου και κόστους καθώς και η δυνατότητα επεξεργασίας καταγραφών από διαφορετικούς δέκτες. Βασικά υπόβαθρα της αναλυτικής φωτογραμμετρίας είναι η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, η όραση υπολογιστών (ψηφιακός φωτογραμμετρικός σταθμός ηλεκτρονικού υπολογιστή και την στερεοσκοπική οθόνη), η ψηφιακή εικόνα (scanners, ψηφιακές μηχανές), ο αυτοματισμός στη διαδικασία ηλεκτρονικού υπολογιστή με τον χειριστή καθώς και τα ψηφιακά προϊόντα.



**Διάγραμμα 13:** Ιστορική φάση της φωτογραμμετρίας

Η επιστήμη της Φωτογραμμετρίας έχει εξελιχθεί σημαντικά. Επίσης, χρησιμοποιείται για την δημιουργία χαρτών της γήινης επιφάνειας, της αρχιτεκτονικής, αλλά και για τη δημιουργία σχεδίων των ιστορικών κτιρίων και των αρχαιολογικών ανασκαφών, όπως τις επιστήμες των μετρήσεων (τοπογραφία, γεωδαισία και χαρτογραφία). Σήμερα οι μελετητές μπορούν να ανταποκριθούν και να ανταπεξέλθουν στις σύγχρονες απαιτήσεις και εργασίες που τους αφορούν. Οι μέθοδοι και οι δραστηριότητές τους έχουν γίνει προσιτές και εύκολες με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Επιπλέον, η ανάπτυξη της πληροφορικής και των αλγορίθμων σε συνδυασμό με την ψηφιακή επανάσταση και τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, επέτρεψαν την αυτοματοποίηση δύσκολων και πολύπλοκων διαδικασιών για ένα μηχανικό. Με αποτέλεσμα, να υπάρχει η δυνατότητα της χρήσης πολύ φθηνότερο και ελαφρύτερο εξοπλισμό, αντιμετωπίζοντας καταστάσεις που παλαιότερα ήταν ιδιαίτερα δύσκολες, χρονοβόρες και με μεγάλο κόστος. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι πως η γρήγορη μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα για διευκόλυνση ενός μηχανικού, δεν σημαίνει πως είναι μικρότερης ακρίβειας. Αφού, πριν από κάθε διαδικασία, απαιτείται η καλή κατανόηση των μεθόδων και της θεωρητικής γνώσης, καθώς και η εξασφάλιση των απαραίτητων συνθηκών, ώστε να μπορέσουν να εφαρμοστούν αξιόπιστα τα εργαλεία που διαθέτει.

Η φωτογραμμετρική μεθοδολογία είναι κατάλληλη σε περιπτώσεις πολύπλοκων αντικειμένων όταν υπάρχει πληθώρα λεπτομερειών που αποτυπώνονται σε ψηφιακές εικόνες. Εφαρμόζεται κυρίως για αποτυπώσεις μνημείων σε μεγάλη κλίμακα αφού καταφέρνει να διατηρεί την ακρίβεια, την πληρότητα και το ποσό της πληροφορίας. Χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ο απαραίτητος χώρος μπροστά ή πάνω από το μνημείο. Ενδείκνυται όταν υπάρχει δυσκολία στην προσπέλαση των λεπτομερειών του μνημείου ή όταν απαγορεύεται η άμεση επαφή με το αντικείμενο μελέτης. Επιπλέον, είναι ιδανική για την διαχρονική παρακολούθηση των μνημείων ή όταν απαιτείται συστηματική καταγραφή των φάσεων εξέλιξης σε εργασίες αναστήλωσης και ανασκαφής. Δίνει άμεσα αποτελέσματα και με χρήση στερεοσκοπικών μεθόδων που μπορεί να προβληθεί το μοντέλο του μνημείου ή χώρου τρισδιάστατα. Το γενικό χαρακτηριστικό που δίνει η φωτογραμμετρική αποτύπωση είναι ένα ενιαίο σύνολο του αντικειμένου από την τμηματική και σημειακή διακριτοποίηση. Σε αυτή την μέθοδο το κόστος συλλογής δεδομένων είναι οικονομικό, ενώ για την επεξεργασία και την απόδοση του είναι ακριβή.

Για το απαραίτητο γεωγραφικό υπόβαθρο παρέχει ο συνδυασμός των φωτογραμμετρικών με τις τοπογραφικές μεθόδους. Εκτός από το κλασικό γραμμικό σχέδιο, άλλα βασικά παράγωγα της μεθόδου είναι η ορθοφωτογραφία και η αναγωγή εικόνων που τα προϊόντα τους μπορεί να είναι γραμμικά (από ψηφιοποίηση), εικονιστικά ή τρισδιάστατα μοντέλα. Τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου αλλά και από τα ζητούμενα προϊόντα εξαρτώνται για την κατάλληλη επιλογή των φωτογραμμετρικών μεθόδων. Με τη μέθοδο της φωτογραμμετρικής αναγωγής αποδίδονται τα επίπεδα αντικείμενα, ενώ με την μέθοδο της στερεοαπόδοσης τα μη επίπεδα ή με ανάγλυφα στοιχεία αντικείμενα.

Ο απαραίτητος εξοπλισμός των φωτογραμμετρικών τεχνικών για την ψηφιοποίηση μνημείων-αντικειμένων περιλαμβάνει τόσο φωτογραφικές μηχανές (Διάγραμμα 14) όσο και εξειδικευμένα υπολογιστικά συστήματα που ονομάζονται Ψηφιακοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί (Διάγραμμα 15), αλλά και εφαρμογές λογισμικού με δυνατότητα επεξεργασίας εικόνας και δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων ή δημιουργίας ανηγμένων εικόνων από προγράμματα ψηφιακής αναγωγής.



**Διάγραμμα 14:** Φωτογραφική Μηχανή



**Διάγραμμα 15:** Ψηφιακοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί

➤ *Αναγωγή με προβολικό μετασχηματισμό*

Η Φωτογραμμετρική αναγωγή κάνει χρήση του προβολικού μετασχηματισμού για την παραγωγή ορθοφωτογραφίας με την μονοεικονική διαδικασία, δηλαδή μετασχηματισμό της κεντρικής προβολής σε ορθή της φωτογραφίας. Προϋπόθεση για να παραχθεί η ορθοφωτογραφία θα πρέπει το αντικείμενο του ενδιαφέροντος να βρίσκεται σε επίπεδο, αντίθετα πρέπει να υπάρχει το ψηφιακό μοντέλο της επιφάνειας ή τα γεωμετρικά σχήματα του.

Με την λήψη μιας φωτογραφίας χάνεται η τρίτη διάσταση αφού η τρισδιάστατη πραγματικότητα καταγράφεται σε ένα επίπεδο. Με την λήψη μιας μονοεικονικής φωτογραφίας είναι αδύνατο να υπολογιστεί η τρίτη διάσταση του αντικειμένου, εκτός και αν το αντικείμενο βρίσκεται σε ένα επίπεδο. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται αναγωγή στην δισδιάστατη εικόνα. Η διαδικασία της αναγωγής μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού αφού πρόκειται για σχέσεις των επιπέδων που εφαρμόζεται ο προβολικός μετασχηματισμός. Για τον υπολογισμό του προβολικού μετασχηματισμού χρησιμοποιούνται ομολογίες τεσσάρων τουλάχιστον σημείων της εικόνας με τέσσερα γνωστά σημεία του επιπέδου. Για κάθε ζεύγος ομόλογων σημείων χρειάζονται δύο εξισώσεις της μορφής που ακολουθούν.

$$x' = \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}}, y' = \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}}{a_{31}x + a_{32}y + a_{33}} \quad \text{Εξ. (1.1)}$$

Οι εξ.(1.1) αποτελούν τα στοιχεία  $x'$ ,  $y'$  είναι οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων,  $x$ ,  $y$  οι εικονοσυντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων και  $a_i$  ( $a_{11}$ ,  $a_{12}$ , κ.α) οι παράμετροι του προβολικού μετασχηματισμού. Άρα πραγματοποιούνται για κάθε  $x$  και  $y$  δυο μεταθέσεις, δυο στροφές, δυο κλίμακες και δυο διαφορικές στροφές. Με τον καθορισμό των τεσσάρων ομόλογων σημείων (φωτοσταθερά) προκύπτουν οκτώ εξισώσεις που δίνουν την λύση του μετασχηματισμού. Όμως στην φωτογραμμετρία συνιστάται η χρήση του ένατου φωτοσταθερου και περισσότερο με αυτό τον τρόπο προκύπτουν οι καλύτερες τιμές των παραμέτρων μέσω της συνόρθωσης. τα μεγαλύτερα σφάλματα που παρουσιάζονται είναι περιμετρικά της φωτογραφία (μεγαλύτερες ακτίνες παραμορφώσεις), για αυτό τον λόγο καθιστά την καλύτερη θέση των φωτοσταθερων. Τα σημεία της εικόνας μπορούν να μετασχηματιστούν στο σύστημα συντεταγμένων του αντικειμένου αφού έχουν προσδιοριστεί οι οκτώ άγνωστοι παράμετροι. Στα τελικά στάδια της διαδικασίας πραγματοποιείται αναδόμηση της εικόνας και προσδιορίζεται η τιμή του χρώματος κάθε φατνίου, στην ανοιγμένη εικόνα. Αυτό επιτυγχάνεται με κάποια μέθοδο παρεμβολής και συνηθέστερα χρησιμοποιείται η μέθοδος του εγγύτερου γείτονα, η διγραμμική παρεμβολή και η δικυβική παρεμβολή.

#### ➤ *Διεικονική απόδοση και ορθοφωτογραφία*

Η διαφορική αναγωγή αποτελεί την μέθοδο που παράγεται από την ορθή προβολή αντικειμένων με έντονο ανάγλυφο. Για την αποκατάσταση του εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού εφαρμόζεται η διεικονική απόδοση για τον προσδιορισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων στο κάθε σημείο της φωτογραφίας και εφαρμόζεται η επίλυση της εμπροσθοτομίας.

Τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού είναι η σταθερά της μηχανής ( $c$ ), οι συντεταγμένες ( $x_0, y_0$ ) του πρωτεύοντος σημείου ( $H$ ) και οι τιμές της ακτινικής διαστροφής ( $\Delta r$ ), η οποία υπολογίζεται με το  $\Delta r = k_0 r + k_1 r_3 + k_2 r_5$ . Είναι στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού της φωτογραφικής μηχανής και καθορίζουν το μοντέλο της κεντρικής προβολής, που περιγράφει την συγκεκριμένη φωτογραφική μηχανή και προσδιορίζονται με την βαθμονόμηση της μηχανής. (Πηγή: Πατιάς Π, 1991)



Ο εξωτερικός προσανατολισμός αποκαθίσταται με τον προσδιορισμό της θέσης και της λήψης φωτογραφίας. Η θέση του κέντρου προβολής και οι στροφές  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  των αξόνων του επίγειου συστήματος, ώστε να συμπέσουν με τους άξονες του συστήματος συντεταγμένων της φωτογραφικής μηχανής, αποτελούν στοιχεία της θέσης και του προσανατολισμού της φωτογραφικής λήψης στο επίγειο σύστημα συντεταγμένων. Ο εξωτερικός προσανατολισμός ονομάζεται ο προσδιορισμός των έξι αυτών παραμέτρων και περιγράφεται από την συνθήκη της συγγραμμικότητας. Η συνθήκη της συγγραμμικότητας περιγράφεται από τις πιο κάτω σχέσεις. (Mikhail et.al. 2001)

$$x = x_0 - c \frac{(X - X_0)R_{11} + (Y - Y_0)R_{12} + (Z - Z_0)R_{13}}{(X - X_0)R_{31} + (Y - Y_0)R_{32} + (Z - Z_0)R_{33}}$$

$$y = y_0 - c \frac{(X - X_0)R_{21} + (Y - Y_0)R_{22} + (Z - Z_0)R_{23}}{(X - X_0)R_{31} + (Y - Y_0)R_{32} + (Z - Z_0)R_{33}}$$

Όπου,

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{bmatrix} \cos\varphi \cdot \cos\kappa & -\cos\varphi \cdot \sin\kappa & \sin\varphi \\ \cos\omega \cdot \sin\kappa + \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa & \cos\omega \cdot \cos\kappa - \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa & -\sin\omega \cdot \cos\varphi \\ \sin\omega \cdot \sin\kappa - \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa & \sin\omega \cdot \cos\kappa + \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa & \cos\omega \cdot \cos\varphi \end{bmatrix}$$

Η παραπάνω συνθήκη συγγραμμικότητας συνδέει τις φωτογραφικές συντεταγμένες  $x$ ,  $y$  ενός σημείου της εικόνας στο φωτογραφικό επίπεδο, με τις επίγειες συντεταγμένες του  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  μέσω των παραμέτρων της εσωτερικής γεωμετρίας της φωτογραφικής  $c$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ , των συντεταγμένων  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  της φωτογραφικής στο επίγειο σύστημα συντεταγμένων και των γωνιών στροφής  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  ανάμεσα στα δύο τρισδιάστατα συστήματα συντεταγμένων.

Επομένως για τον υπολογισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων του σημείου λήψης  $O$ , χρειάζονται τα δεδομένα του εσωτερικού προσανατολισμού, οι εικονοσυντεταγμένες και τουλάχιστον τριών σημείων των γεωδαιτικών συντεταγμένων που βρίσκονται περιμετρικά της εικόνας.

Προτιμάται ο σχετικός και απόλυτος προσανατολισμός όταν δύο φωτογραφίες αποτελούνται στερεοζευγός, παρά ο εξωτερικός προσανατολισμός. Με αυτό τον τρόπο οι δυο εικόνες σχετίζονται. Αντίθετα αν με δύο ανεξάρτητους προσανατολισμούς, αν και θα χρησιμοποιηθούν τα ίδια φωτοσταθερά δεν είναι απαραίτητο ότι απαλείφεται η  $Y$ -παράλλαξη και οι δύο εικόνες δεν συσχετίζονται. Σκοπεύοντας ομόλογα σημεία στις δύο

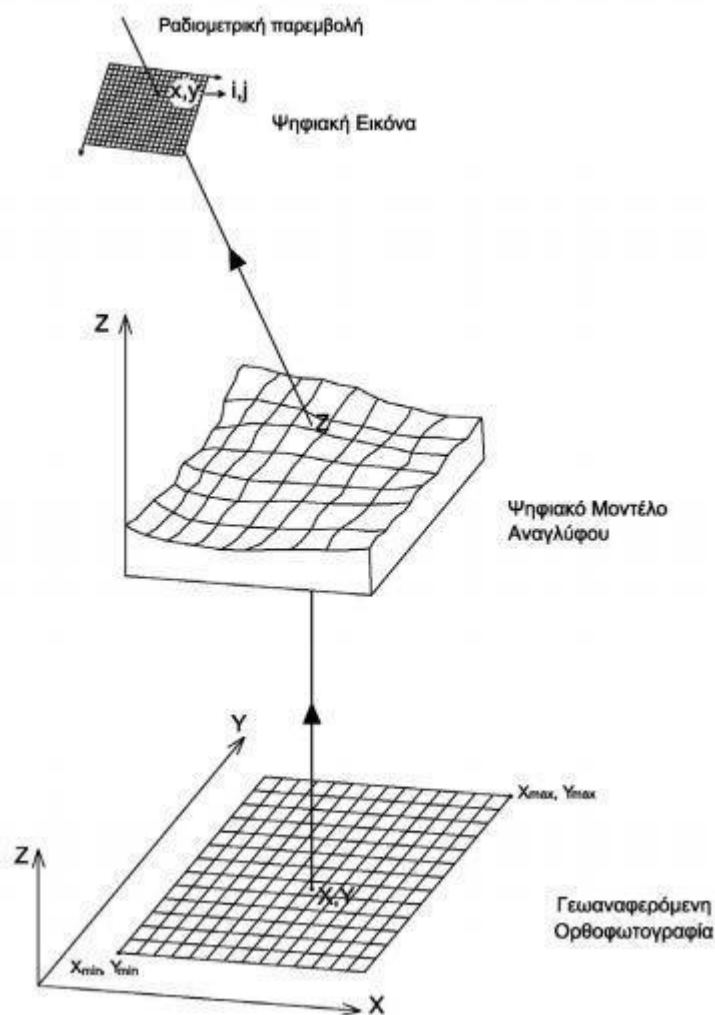
φωτογραφίες, έχει αποτέλεσμα την αποκατάσταση του σχήματος του απεικονιζόμενο αντικείμενου, κατά τον σχετικό προσανατολισμό. Όμως κατά τον απόλυτο προσανατολισμό γνωρίζουμε τον προσανατολισμό και μέγεθος του αντικείμενου. Αυτό γίνεται με τρεις μεταθέσεις, τρεις στροφές και μια κλίμακα. Επομένως για την αποκατάσταση του, απαιτούνται τουλάχιστον δύο πλήρη γεωδαιτικά και ένα υψομετρικό σημείο.

Μπορεί να προσδιοριστεί η γεωδαιτική θέση κάθε σημείου με την επίλυση της εμπροσθοτομίας αφού με την αποκατάσταση των προσανατολισμών (εσωτερικός, σχετικός και απόλυτος) οι δύο δέσμες έχουν την ακριβή θέση κατά τη στιγμή της λήψης. Η συλλογή του ψηφιακού μοντέλου της επιφάνειας στο τμήμα του στερεοζεύγους γίνεται με τη μέθοδο της διεικονικής απεικόνισης καθώς και παραγωγή ορθοφωτογραφίας ή γραμμική απόδοση.

Ακολούθως η διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας (διαφορική αναγωγή) υλοποιείται με την ακόλουθη σειρά:

1. Από την τελική ακρίβεια του προϊόντος, καθορίζεται το μέγεθος του εικονοστοιχείου που έχει η τελική εικόνα.
2. Εφαρμόζεται η συνθήκη συγγραμμικότητας με στοιχεία εισόδου τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού (οι συντεταγμένες  $X$ ,  $Y$  του εικονοστοιχείου της ορθοφωτογραφίας και  $Z$ ) με αυτό προκύπτουν οι εικονοσυντεταγμένες του φατνίου της αρχικής εικόνας που αντιστοιχεί στο φατνίο της ορθοφωτογραφίας.
3. Πραγματοποιείται ο αντίστροφος αφινικός μετασχηματισμός για να καταλήξει σε ένα φατνίο στην αρχική εικόνα ψηφιακή εικόνα.
4. Υπολογίζεται η τιμή του χρώματος μέσω κάποιας μεθόδου παρεμβολής.

Η διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας φαίνεται διαγραμματικά στην πιο κάτω εικόνα.



**Διάγραμμα 16:** Σχηματική διαδικασία σύνταξης Ψηφιακής Ορθοφωτογραφίας. (Πηγή: Πατιάς Π, 1991)

### 3.1.4 Σάρωση με Τρισδιάστατους Επίγειους Σαρωτές Laser

Τα πρώτα λέιζερ σάρωσης εφαρμόστηκαν συστηματικά για την πολιτιστική κληρονομιά στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αι. Με το πέρασμα των χρόνων δημιουργήθηκαν όργανα με την δυνατότητα να μετρούν και να κατασκευάζουν τον τρισδιάστατο χώρο. Ακόμα, έχουν την δυνατότητα να απεικονίζουν τα αντικείμενα με διάφορες μορφές και διάφορων μεγεθών με έναν γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Συγκεκριμένα το καθιστά τεράστιο πλεονέκτημα τους ο μειωμένος χρόνος εργασίας στο πεδίο αλλά και στο γραφείο συγκριτικά με το λεπτομερές αποτέλεσμα. Όμως το κόστος για την απόκτηση του απαραίτητου εξοπλισμού (σαρωτή laser) παραμένει ακόμα πολύ υψηλό. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται

βασίζονται στην τεχνολογία laser και είναι γνωστά ως Τρισδιάστατοι Σαρωτές Laser (3D laser scanners). Η δημιουργία του 3D Laser Scanner προέκυψε για την μελέτη αρχαιολογίας και της αρχιτεκτονικής με την τρισδιάστατη χρήση σάρωσης λέιζερ. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αναπτύσσεται το 3D Laser Scanner ως προς την ταχύτητα, την ανάλυση, την κινητικότητα και η μετακίνηση των σύγχρονων συστημάτων σάρωσης.

Ακόμη, είναι ένα σύστημα που μετρά απόσταση με τον συνδυασμό του κάτοπτρου (ή σύστημα κατόπτρων) για την εκτροπή της δέσμης του laser και την κατεύθυνση προς το αντικείμενο. Η δυνατή αποτύπωση σημείων σε 360 μοίρες γύρω από αυτό βασίζεται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα όπου αποτελείται από μία περιστρεφόμενη βάση κατά τον οριζόντιο άξονα.

Ο επίγειος σαρωτής δημιουργεί ένα νέφος σημείων τα οποία περιγράφουν τις επιφάνειες αντικειμένων. Όμως λαμβάνοντας τα πιο κάτω κριτήρια υπόψη αφού έχουν καθοριστικό ρόλο στην διαδικασία λήψης δεδομένων.

- Ταχύτητα καταγραφής δεδομένων
- Οπτικό εύρος
- Χωρική ανάλυση
- Βάρος και διαστάσεις συσκευής
- Χρόνος λειτουργίας
- Ακρίβεια συστήματος
- Φιλικό στον χρήστη
- Συνδυασμός με άλλες συσκευές (φωτογραφικές μηχανές, GIS)

Επιπλέον, σχετίζοντας τον γεωδαιτικός σταθμό με τον επίγειο σαρωτή λέιζερ μπορούν προκύψουν τα εξής σφάλματα:

- Σφάλμα οριζόντιου άξονα
- Σφάλμα εκκεντρότητας
- Σφάλμα ευθυγράμμισης αξόνων
- Γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας και του υλικού κατασκευής της επιφάνειας

### **3.1.5 Παραγωγή Ορθοφωτογραφίας με Χρήση Έγχρωμου Νέφους σημείων**

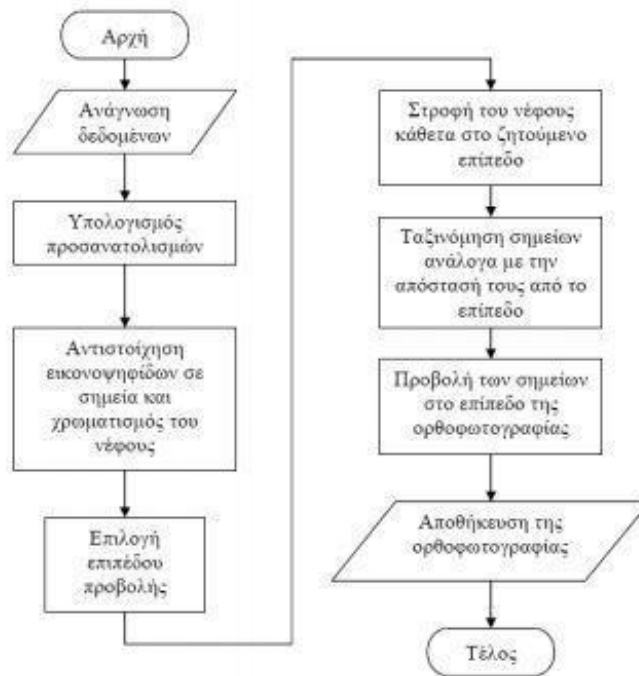
Η παραγωγή ορθοφωτογραφίας θεωρείται μια σύγχρονη εναλλακτική μέθοδος που αποτελείται από την χρήση νεφών στο οποίο προκύπτουν από τους σαρωτές laser. Η

συνηθισμένη μέθοδος διαφορική δηλαδή η αναγωγή των αρχικών εικόνων διαφέρει με αυτή την μέθοδο. Συγκεκριμένα η λειτουργία της μεθόδους αυτή έχει να κάνει με την τελική ορθοφωτογραφία που προκύπτει από την ορθή προβολή ενός νέφους χρωματισμένων σημείων στο ζητούμενο επίπεδο προβολής. Το χρωματισμένο νέφος προκύπτει είτε απευθείας από τον επίγειο σαρωτή ή από το χρωματισμό του νέφους με τη χρήση της ψηφιακής φωτογραφίας.

Για την δεύτερη περίπτωση απαραίτητα δεδομένα είναι ένα νέφος σημείων του σαρωμένου αντικειμένου με την χρήση laser scanner, μια ψηφιακή εικόνα και τουλάχιστο έξι φωτοσταθερών σημείων για τον υπολογισμό των προσανατολισμών. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό του εσωτερικού, εξωτερικού προσανατολισμού της φωτογραφίας, την αντίστοιχη πληροφορία χρώματος από την εικόνα στα σημεία του νέφους και την προβολή των σημείων στο ζητούμενο επίπεδο. Τέλος, η διαδικασία της προβολής είναι ανεξάρτητη από τους προσανατολισμούς της λήψης επομένως, δεν απαιτούνται φωτογραμμετρικές προδιαγραφές κατά την λήψη των φωτογραφιών.

Με την συνηθισμένη μέθοδο οι γωνίες στροφής κατά τις φωτογραφικές λήψεις επηρεάζουν έντονα την ποιότητα του αποτελέσματος έτσι υπάρχουν αυστηρές προδιαγραφές για τις λήψεις αντίθετα δεν ισχύει για την προτεινόμενη μέθοδο. Άρα, το επίπεδο προβολής μπορεί να επιλέγει αφού πρώτα ολοκληρωθεί η διαδικασία σάρωσης και λήψης. Έτσι, η επιλογή του δεν επηρεάζεται από τις γωνίες στροφής της λήψης και επιτρέπει τα ίδια δεδομένα της παραγωγής ορθοφωτογραφιών σε διαφορετικά επίπεδα προβολής. Ως αποτέλεσμα η μέθοδος αυτή να είναι προσιτή σε άτομα χωρίς εξειδίκευση στην φωτογραμμετρία.

Μία προσπάθεια στη δημιουργία αυτού του προγράμματος έγινε στο εργαστήριο φωτογραμμετρίας της ΣΑΤΜ, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας «Σύνταξη λογισμικού για την εφαρμογή εναλλακτικής μεθόδου παραγωγής ψηφιακής ορθοφωτογραφίας» (Πηγή: Νατσης,2008). Το Λογισμικό ZPR έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, και πιο κάτω ακολουθεί ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε.



**Διάγραμμα 17:** Αλγόριθμος του λογισμικού ZPR (Πηγή: Νατσης,2008)

### 3.1.6 Μέθοδος Πολυεικονικής Ανακατασκευής με Μονοσκοπική Παρατήρηση

Στο τομέα της παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων και φωτορεαλιστικών αποδόσεων έλαβε σημαντική πρόοδο στην αυτοματοποίηση, ευκολότερη και γρήγορη παραγωγής τους, με βάση την μεγάλη εξέλιξη της τεχνολογίας και ιδιαίτερα των υπολογιστικών συστημάτων. Τα λογισμικά αυτά βασίζονται στην πολυεικονική ανακατασκευή με μονοσκοπική παρατήρηση που προσδιορίζονται για επίγειες εφαρμογές. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα πεδία της αρχιτεκτονικής, αρχαιολογίας και άλλων. Με τα προγράμματα αυτά μπορούν να πράξουν για την δημιουργία ενός πλήρους οπτικοποιημένου τρισδιάστατου μοντέλου χρησιμοποιώντας την γεωμετρική πληροφορία αλλά και τη υφή των εικόνων. Τα λογισμικά πραγματοποιούν τη μέθοδο της δέσμης με την οποία πραγματοποιείται η διαχείριση πολλών εικόνων και το αποτέλεσμα τους είναι προϊόν συνόρθωσης (Bundle Adjustment)(Κομζιά Β., 2004). Μέσα από την συνόρθωση των αλληλοτομιών υπολογίζεται η ανακατασκευή του αντικειμένου και χρησιμοποιούν ομόλογες ακτίνες από πολλαπλές φωτογραφίες του ίδιου αντικειμένου.

Η μέθοδος της δέσμης εξασφαλίζει τον ταυτόχρονο προσδιορισμό των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού με τη διαδικασία της αυτοβαθμονόμησης και του

εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων καθώς και των γεωδαιτικών συντεταγμένων των μετρημένων σημείων, αυτό αποτελεί τη γενική μέθοδο της πολυεικονικής συννορθώσης. Πλέον η μέθοδος αυτή αποτελείται από μια αναλυτική διαδικασία τριγωνισμού. Με τη χρήση ψηφιακών ερασιτεχνικών - μη μετρητικών μηχανών ακόμα και σε ελεύθερη γεωμετρία λήψεις την καθιστά βασικός λόγος να είναι κατάλληλη και εφαρμόσιμη σε επίγειες εφαρμογές. Στα λογισμικά αυτά οι δέσμες των ακτινών ορίζονται από τις εικονοσυντεταγμένες των ομόλογων σημείων και του προβολικού κέντρου. Οι ομόλογες ακτίνες τέμνονται καλύτερα με τη στροφή και την μετατόπιση τους σε σχέση με τις δεσμεύσεις που τίθενται. Οι δεσμεύσεις μπορεί να είναι φωτοσταθερα ή και μετρημένες αποστάσεις, δηλαδή υπολογίζει τις αλληλοτομίες των ακτινών που καθορίζονται από την εικόνα κάθε σημείου στις φωτογραφίες. Ακολουθώντας, την βελτιώνει αφού πρώτα ορίσει την τοπολογία του.

### **3.1.7 Μονοεικονικές Αποδόσεις**

Με τη μέθοδο της μονοεικονικής απόδοσης καθιστά την λύση σε περίπτωση απόδοσης κυλινδρικών, κωνικών, σφαιρικών κ.α που προσεγγίζεται αναλυτικά με μαθηματικές εξισώσεις 2ου βαθμού. Στην αντίθετη περίπτωση η διαδικασία επιλύετε με την φωτογραμμετρική διαδικασία άρα προϋποθέτει εξειδικευμένα όργανα και εξειδίκευση του μελετητή (Πηγή: Karras et al., 2006).

Η εφαρμογή αυτή της μεθόδου χρησιμοποιείται συχνά σε επίγειες εφαρμογές, παραδειγματικά, αρχαίοι τάφοι, πύργοι, τρούλοι, μύλοι, φάροι και υδραγωγεία. Η μονοεικονική αποτύπωση έχει ως βασική ιδέα την αναλυτική εξίσωση της επιφάνειας που συνεισφέρει μια τρίτη εξίσωση, ενώ μπορεί να 'τμηθεί' στον χώρο από την δέσμη μιας κεντρικής προβολής ορίζοντας τις τρισδιάστατες συντεταγμένες σημείων της επιφάνειας που έχουν μετρηθεί στην εικόνα. Επιπλέον, σε παρόμοιες περιπτώσεις χρειάζεται η απεικόνιση στην κατάλληλη χαρτογραφική προβολή του ψηφιακού αναπτύγματος ή για μη ανάπτυχτες επιφάνειες και όχι σε ορθή προβολή (Πηγή: Karl Kraus,2010)

## **3.2 Χαρακτηριστικά και παραδείγματα για τις μεθόδους αποτύπωσης**

Σε αυτό το Κεφάλαιο αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου. Συγκεκριμένα αναλύοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Παρουσιάζονται για κάθε μία από τις μεθόδους κάποια παραδείγματα.

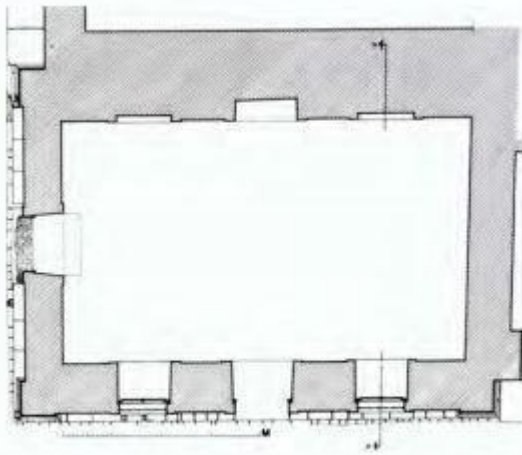
### 3.2.1 Τοπομετρική Μεθοδος

Το βασικό πλεονέκτημα της τοπομετρικής μεθόδου είναι η συμπλήρωση κενών στα τελικά σχέδια. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι η υποκειμενική σχέση της αποτύπωσης του με το αντικείμενο, η απαιτούμενη άμεση προσπελασιμότητα προς αντικείμενο και η αδυναμία ελέγχου και αξιολόγησης της αποτύπωσης με κάποια επιστημονική μεθοδολογία. Ένα από τα πλεονεκτήματα είναι τα απλά και φθηνά όργανα μέτρησης της, τα οποία είναι η μετροταινία laser αποστασιόμετρο. Βέβαια η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται, εκτός από τη συμπλήρωση κενών των τελικών σχεδίων των άλλων επιστημονικών μεθόδων, όταν οι απαιτήσεις ακριβείας του τελικού προϊόντος δεν είναι μεγάλες. Περισσότερο χρησιμοποιείται από Αρχιτέκτονες Μηχανικούς για την αποτύπωση συνήθως εσωτερικών χώρων και πρέπει να συνοδεύονται οι μετρήσεις πάντα από ένα σχεδιάγραμμα του χώρου με τις αναγραφόμενες μετρήσεις που υλοποιήθηκαν. Τότε η τοπομετρική μέθοδος υπερτερεί για την ταχύτητα της και του χαμηλού κόστους. Τα τελικά σχέδια της μεθόδου βρίσκονται σε αρχεία autocad και κυρίως προβάλλουν κατόψεις, όψεις και τομές του αντικειμένου σε δισδιάστατη προβολή αναγράφοντας πάνω στα σχέδια τα απαραίτητα δεδομένα (π.χ. τα μέτρα των αποστάσεων, το ύψος κ.α). Επίσης, είναι ιδανική όταν οι άλλες μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν για διάφορους λόγους, παραδειγματικά όταν δεν υπάρχει ο απαραίτητος χώρος για τη λήψη φωτογραφιών (φωτογραμμετρική μέθοδος) ή για την τοποθέτηση τοπογραφικού οργάνου σε κατάλληλη θέση και τη μέτρηση χαρακτηριστικών σημείων (τοπογραφική μεθοδολογία).

#### ➤ **Παράδειγμα εκκλησίας Αγίου Ρόκκου (1630) στα Χανιά:**

Η εκκλησία του Αγ. Ρόκκου στα Χανιά είναι μια περίπτωση μιας μικρής λατινικής εκκλησίας. Αφού εκτός από τις γενικές αναλογίες του κτηρίου αλλά και τα αρχιτεκτονικά της στοιχεία, παρουσιάζουν τελειότητα. Η εκκλησία είναι τοποθετημένη κατά μήκος της κάθετου άξονα της οδού Δασκαλογιάννη, με αποτέλεσμα η δυτική και νότια πλευρά να είναι η κύριες όψεις του κτηρίου. Ο χαρακτηρισμός της εκκλησίας ανήκει στον τύπο της μονόκλιτης θολωτής βασιλικής. Αυτό έχει ως χαρακτηριστικό μια ορθογώνια κάτοψη (Διάγραμμα 13), εσωτερικών διαστάσεων 8,25μ μήκος και 4,82μ πλάτος. Πιο κάτω φαίνεται η όψη (πρόσοψη) και κάτοψη της εκκλησίας. (Πηγή: Ι.Δημακόπουλος-Ν.Χαρκιολάκης, 1979)





Είκ. 4. Χανιά. Έκκλησία του Άγ. Ρόκκου. Κάτοψη (ἀποτύπωση 1978).



Είκ. 6. Χανιά. Έκκλησία του Άγ. Ρόκκου. Πρόσοψη (ἀποτύπωση 1978).

**Διάγραμμα 18:** Εκκλησία του Αγ.Ρόκκου (αποτύπωση 1978), κάτοψη-αριστερά, πρόσοψη-δεξιά. (Πηγή: Ι.Δημακόπουλος- Ν.Χαρκιολάκης, 1979)

### 3.2.2 Τοπογραφική Μέθοδος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η τοπογραφία ασχολείται με το σχήμα, την θέση και το μέγεθος κάθε είδους αντικειμένου πάνω στην επιφάνεια της γης. Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ο ορισμός του συστήματος αναφοράς με βάση τον προσδιορισμό των μετρήσεων στο χώρο. Υπάρχει η δυνατότητα του επιστημονικού ελέγχου των αποτελεσμάτων και ικανοποίηση των απαιτήσεων ακριβείας και αξιοπιστίας. Επιπλέον υπάρχει η ανάγκη για στοιχειώδη σχεδιαστική ικανότητα στο πεδίο όπως σκαριφημάτων. Ένα σημαντικό μειονέκτημα που αντιμετωπίζει η τοπογραφική μέθοδος είναι το κόστος εργασιών στο πεδίο και το πρόβλημα χρόνου όταν υπάρχει η πολυπλοκότητα του αντικειμένου. Ο απαραίτητος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στο πεδίο είναι μέτριου κόστους και ο εξοπλισμός του γραφείου είναι συνηθισμένος των τοπογραφικών εφαρμογών, στο οποίο η αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων θεωρείται εύκολη. Ακόμη ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι πως δεν μπορεί να αντιμετωπιστούν λεπτομέρειες και πολύπλοκα αρχιτεκτονικά ή δύσκολα προσπελάσιμα στοιχεία του προς αποτύπωση αντικειμένου. Επίσης, υπάρχει ανάγκη για προσθετές εργασίες, σε αυτή την περίπτωση επεμβαίνει η χρήση της εμπειρικής μεθόδου για παράδειγμα οι μετρήσεις με μετροταινία.

Η τοπογραφική μέθοδος αποτύπωσης αν και προσδιορίζει τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια στα σημεία ενός αντικειμένου στο χώρο, η χρήση της φωτογραμμετρικής μεθόδου αποτύπωσης αποδίδει καλύτερα στα πολύπλοκα σχήματα (π.χ αρχιτεκτονική, αντικείμενα, αρχαιολογικών χώρων κ.α). Για τους έξεις λόγους οι τοπογραφική μέθοδος δεν υφίσταται τόσο συχνά:

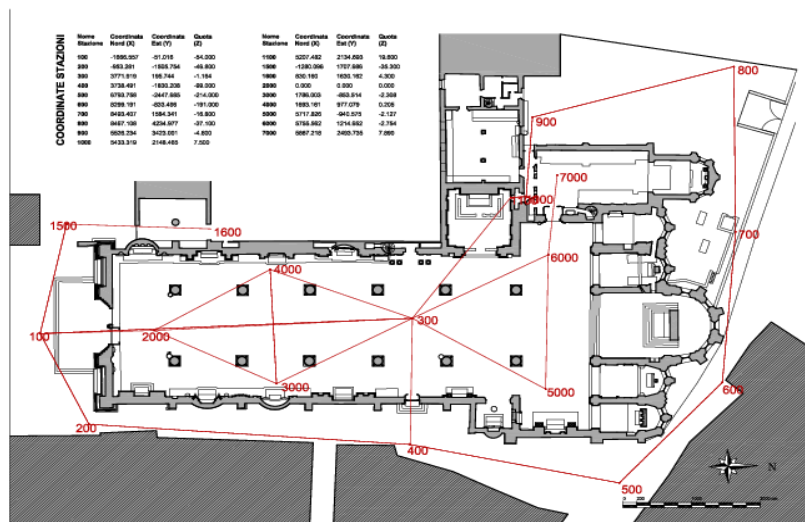
- Κατά την εφαρμογή της στο πεδίο το σκαρίφημα-κροκί που δημιουργείται πρέπει να είναι αρκετά λεπτομερές με σκοπό την πλήρη ανακατασκευή του μοντέλου στον υπολογιστή που γίνεται με χειροκίνητο τρόπο. Αυτό το γεγονός το καθιστά υπερβολικά χρονοβόρο για την διαδικασία των μετρήσεων ενός αντικειμένου και ταυτόχρονα μη οικονομική για τον αυξημένο αριθμό των εργατωρών των χειριστών των οργάνων
- Δεν υπάρχει άμεσα η κατασκευή ενός τρισδιάστατου μοντέλου του μνημείου- χώρου- αντικειμένου. Οπότε η περαιτέρω επεξεργασία των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων είναι απαραίτητη για την σχεδίαση και δημιουργία του τρισδιάστατου. Επομένως, προσδιορίζοντας τα σημεία στο χώρο, σχηματίζονται τα επίπεδα των εξωτερικών επιφανειών που περιγράφουν το μνημείο, χώρο ή αντικείμενο.

Συνοψίζοντας οι εργασίες που απαιτούνται για την υλοποίηση και απόδοση ενός τελικού τοπογραφικού σχεδίου χωρίζονται σε δύο μέρη, τις εργασίες στο πεδίο και τις εργασίες για την επεξεργασία των δεδομένων στο γραφείο. Στο αρχικό στάδιο, η εργασία στο πεδίο, πραγματοποιείται η συλλογή και μετρήσεις των δεδομένων με τον απαραίτητο εξοπλισμό. Στη συνέχεια, η επεξεργασία τους γίνεται σε περιβάλλον cad, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι γραμμικά σχέδια υπό κλίμακα του αρχικού, είτε αυτό είναι ένας δρόμος, χωράφι ή και ένα μνημείο.

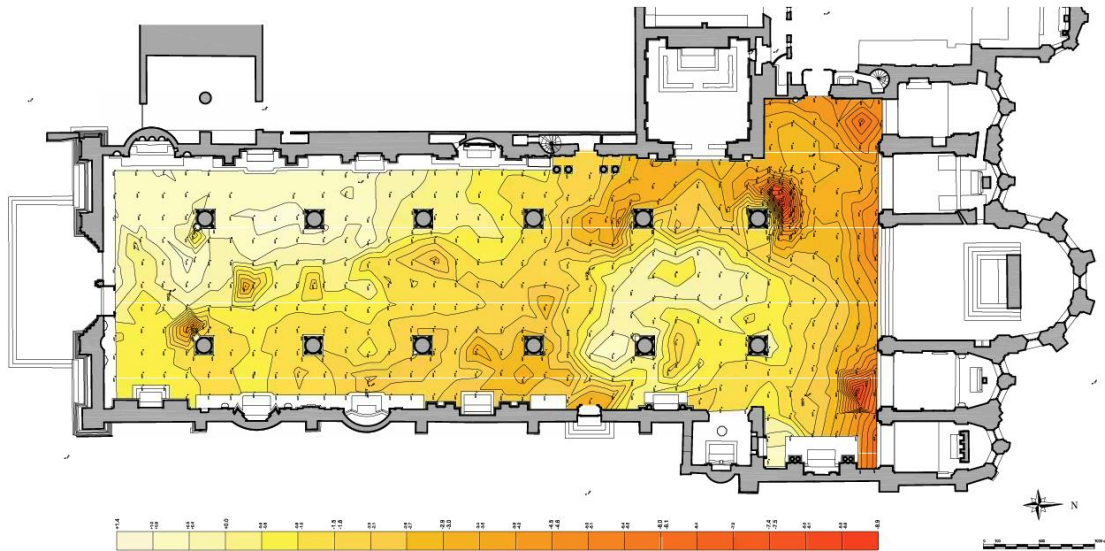
#### ➤ **Παράδειγμα Τοπογραφικής Μεθόδου:**

Το πρώτο στάδιο που σχεδιάστηκε για τη Βασιλική του Αγίου Πέτρου Μαρτύρου στη Ν. Αναστασία, τη μεγαλύτερη εκκλησία της πόλης, περιλάμβανε ένα σχέδιο διατήρησης των εξωτερικών όψεων και την παρακολούθηση της ορθής λειτουργίας της δομής της στέγης, ενώ αναβάλλει το έργο για στατική βελτίωση. Η επιλογή για τις εξωτερικές εργασίες των επιφανειών έγινε κατά κύριο λόγο από την ανάγκη να μπλοκάρει όλες τις άμεσες και έμμεσες αιτίες της παρακμής και φθοράς που επηρεάζουν ολόκληρο το αρχιτεκτονικό συγκρότημα.

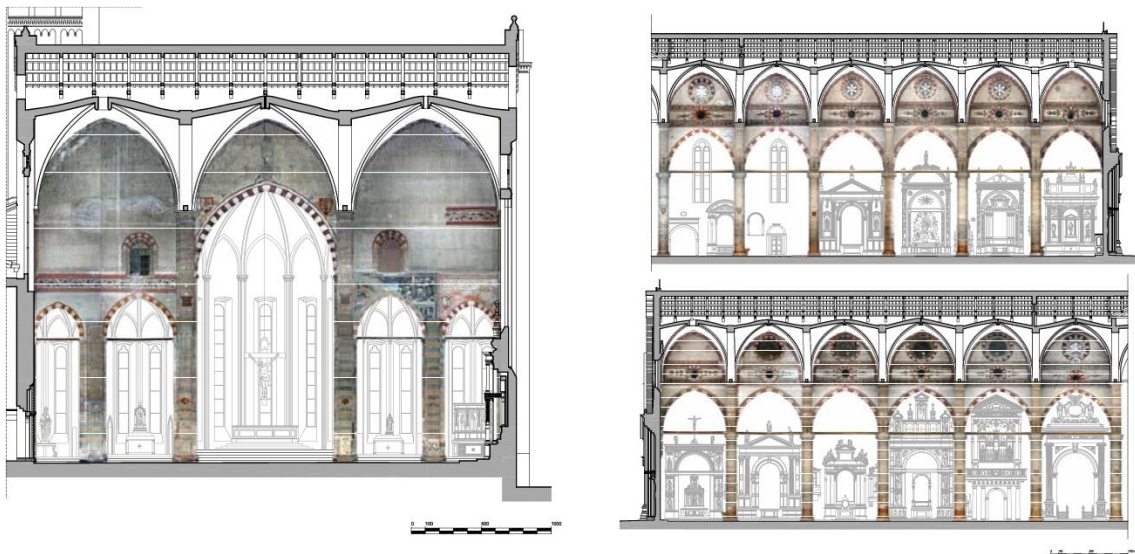
Πριν από το άνοιγμα του κτιρίου προηγήθηκε μια μεγάλη εκστρατεία, πραγματοποιώντας παγκόσμια τοπογραφική χαρτογράφηση του κτιρίου, διορθώσεις εικόνας εσωτερικών και εξωτερικών όψεων, λαμβάνοντας 59 δείγματα υλικού για φυσικοχημικές αναλύσεις, 84 δείγματα για την ανάλυση περιεχομένου νερού στην τοιχοποιία και αναπτύσσοντας ένα σύνολο γραφικών εγγράφων που περιγράφουν λεπτομερώς την δομή των εξωτερικών χώρων της Βασιλικής. Επιπλέον, με τις αναλύσεις έγινε μελέτη για τα ιστορικά αρχεία ώστε να ανακτηθούν τα υπάρχοντα έγγραφα που απαιτούνται για την ανάπτυξη την ιστορικής ανάλυσης σε σχέση με το κτίριο αλλά και με την αρχιτεκτονική προέλευση και τις αποκατάστασης που έγιναν με την διάρκεια των αιώνων. Παρόλο που δεν τελείωσε η αποκατάσταση, ανακαλύφθηκαν προβλήματα που σχετίζονται με τη στατική του κτηρίου, καθώς η Βασιλική παρουσιάζει ένα αρκετά περίπλοκο, αν και αβλαβές, δίκτυο ρωγμών. Επιπλέον, τα γραφήματα αναφέρονται απευθείας στις προδιαγραφές που επισυνάπτονται στην σχετική τεχνική αναφορά, με τις μέτρησης και τις ειδικές προδιαγραφές. (Πηγή: Campanella et al., 2005)



**Διάγραμμα 19:** Οι διασταυρώσεις. (Πηγή: Campanella et al., 2005)



**Διάγραμμα 20:** Υψομετρικά στοιχεία του δαπέδου με δίκτυο άνω των 500 σημείων



**Διάγραμμα 21:** Διόρθωση εικόνας της εγκάρσιας κλίτιος προς τον Βορρά και τον κύριο ναό που βλέπει Ανατολή και Δύση

### 3.2.3 Φωτογραμμετρική Μέθοδος

Η φωτογραμμετρική μέθοδος αποτύπωσης είναι μια αντικειμενική αποτύπωση που ορίζει το σύστημα αναφοράς της. Επιπλέον, μέσω μίας συνεχούς απόδοσης ή και σημειακής δημιουργείται η ανακατασκευή της γεωμετρίας του αντικειμένου. Υπάρχει δυνατότητα του επιστημονικού ελέγχου για το αποτέλεσμα των απαιτήσεων της ακρίβειας και αξιοπιστίας. Επιπλέον, δεν υπάρχει η ανάγκη της στοιχειώδους σχεδίασης στο πεδίο (σκαρίφημα) αλλά υπάρχει η δυνατότητα των έμμεσων μετρήσεων. Ακόμη ένα κύριο

χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι η πλήρης αξιοποίηση της δυνατότητας της νέας σχεδιαστικής τεχνολογίας όπως είναι το CAD, αλλά και της ψηφιακής τεχνολογίας ανάλυσης εικόνας. Επίσης, αξιοποιούνται εύκολα οι νέες ολοκληρωμένες τεχνικές ψηφιακής τεκμηρίωσης καθώς και αντιμετωπίζονται άμεσα οι λεπτομέρειες και τα πολύπλοκα αρχιτεκτονικά ή δύσκολα αντικείμενα. Στη διαδικασία των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων, ενσωματώνεται εύκολα η διαχρονική παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς του αντικειμένου, εφόσον είναι εύκολη, φθηνή και "πληθωρική" η συλλογή δεδομένων. Ακολούθως, γίνεται άμεση ανακατασκευή της στερεομετρίας του αντικειμένου και αξιοποιούνται οι γεωμετρικές ιδιότητες (για παράδειγμα σημεία φυγής, προοπτικότητας) τα οποία διευκολύνουν ή και εμπλουτίζουν τις επεξεργασίες. Η δύσκολη επεξεργασία των δεδομένων καθιστά μειονέκτημα της μεθόδου. Ακόμη, στη χρήση των φωτοσταθερών, ή τοποθέτηση του αντικειμένου σε αμοιβαία σχέση με άλλα αντικείμενα, υπάρχει η ανάγκη για πρόσθετες εργασίες της τοπογραφικής μεθόδου. Ο απαραίτητος εξοπλισμός για το πεδίο είναι χαμηλού έως μέτριου κόστους ενώ ο εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι εξειδικευμένος είτε μετρίου είτε υψηλού κόστους. Η φωτογραμμετρία ανάλογα με τον τρόπο του υπολογισμού και τον αριθμό των συντεταγμένων των σημείων των λεπτομερειών διακρίνεται σε μονοσκοπική και σε στερεοσκοπική φωτογραμμετρία και ανάλογα με τη θέση της φωτογραφικής μηχανής, σχετικά με το αντικείμενο, σε επίγεια και από αέρα. Συνοψίζοντας, οι παρακάτω πίνακες απεικονίζουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της φωτογραμμετρικής μεθόδου.

**Πίνακας 1:** Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα φωτογραμμετρικής μεθόδου

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Δυνατότητα πολυάριθμων εφαρμογών	Εξάρτηση από γεωδαιτικές μετρήσεις
Ταυτόχρονη καταγραφή ποσοτικής και ποιοτικής πληροφορίας	Απαίτηση για εξειδικευμένο και καμιά φορά υψηλού κόστους εξοπλισμό
Καταγραφή συγκεκριμένης χρονική στιγμής	Απαίτηση ειδικευμένου προσωπικού, τόσο για τη δουλειά υπαίθρου, όσο και για την επεξεργασία
Ταχύτατες διαδικασίες καταγραφής	
Ανεξαρτησία από καιρικές συνθήκες	

Μια απλή φωτογραφία είναι σε κεντρική προβολή του αντικειμένου και όλες προκύπτουν από αυτό σε παραμόρφωση, αντίθετα η ορθοφωτογραφία είναι μια εικόνα που με μετρητική πληροφορία ορθής προβολής του αντικειμένου. Η ορθοφωτογραφία ορίζει ενιαία κλίμακα σε όλη την έκταση της, με αυτό τον τρόπο εξαλείφει τα σφάλματα που περιέχονται στην αρχική εικόνα λόγω των κλίσεων της λήψης και του ανάγλυφου του αντικειμένου. Η διαδικασία παραγωγής της ψηφιακής ορθοφωτογραφίας είναι βασικά η μεταφορά του εικονοπίνακα της ψηφιακής εικόνας από το σύστημα εικονοσυντεταγμένων, στο σύστημα συντεταγμένων εδάφους (Kraus, 2003).

➤ **Παράδειγμα Hanke & Grussenmeyer (2002)**

Ένα πρόβλημα είναι ότι ενδιαφερόμαστε για τις λεπτομέρειες μιας επιφάνειας αλλά γνωρίζουμε μόνο το σχήμα και τη στάση της επιφάνειας. Σε αυτή την περίπτωση είναι κατάλληλη η αποκατάσταση μίας εικόνας. (Πηγή: Klaus Hanke, 2002)

i. Με γνωστές παραμέτρους κάμερας και εξωτερικό προσανατολισμό

Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται ο εσωτερικός προσανατολισμός της κάμερας, η θέση και ο προσανατολισμός της. Έτσι, τα σημεία μπορούν να υπολογιστούν από την τομή των ακτινών της κάμερας σε επιφάνεια που είναι γνωστή για το σχήμα και τη στάση της. Ο εσωτερικός προσανατολισμός δεν σημαίνει μόνο το βαθμονομημένο εστιακό μήκος και η θέση του κύριου σημείου, αλλά και οι συντελεστές ενός πολυωνύμου για την περιγραφή παραμόρφωσης του φακού (εάν η φωτογραφία δεν προέρχεται από

μια μετρική κάμερα). Εάν η θέση και ο προσανατολισμός της κάμερας είναι άγνωστοι, τουλάχιστον τρία σημεία ελέγχου στο αντικείμενο (σημεία με γνωστές συντεταγμένες) είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του εξωτερικού προσανατολισμού.

ii. Χωρίς γνώση των παραμέτρων της κάμερας

Αυτό είναι ένα πολύ συχνό πρόβλημα στην αρχιτεκτονική φωτογραμμετρία. Το σχήμα της επιφάνειας περιορίζεται μόνο στα επίπεδα και σε έναν ελάχιστο αριθμό τεσσάρων σημείων ελέγχου σε δύο διαστάσεις που πρέπει να είναι διαθέσιμα. Η σχέση επιπέδου του αντικειμένου με το επίπεδο εικόνας περιγράφεται από το προβολική εξίσωση δύο επιπέδων:

$$X = \frac{a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3}{c_1 \cdot x + c_2 \cdot y + 1}$$

$$Y = \frac{b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3}{c_1 \cdot x + c_2 \cdot y + 1}$$

Όπου  $X$  και  $Y$  είναι οι συντεταγμένες στο επίπεδο του αντικειμένου,  $x$  και  $y$  οι μετρημένες συντεταγμένες στην εικόνα και  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  οι 8 παράμετροι που περιγράφουν την προβολική σχέση. Η μέτρηση τουλάχιστον 4 σημείων ελέγχου στη μία φωτογραφία οδηγεί στην αξιολόγηση από αυτά τα 8 άγνωστα ( $a_1, a_2, a_3, c_2$ ).

Ως αποτέλεσμα, να μπορούν οι συντεταγμένες 2D των αυθαίρετων σημείων σε αυτή την επιφάνεια να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας αυτές τις εξισώσεις. Αυτό ισχύει επίσης για ψηφιακές εικόνες προσόψεων. Οι τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μπορούν να εφαρμόσουν αυτές τις εξισώσεις για κάθε ένα εικονοστοιχείο και έτσι να παράγουν μια ορθογραφική όψη του επιπέδου του αντικειμένου, αυτό ονομάζεται ορθοφωτογραφία. (Πηγή: Klaus Hanke, 2002)



original photo



rectified orthophoto (in scale)

### Διάγραμμα 22: Ορθοφωτογραφία

#### iii. Στερεογραφική επεξεργασία:

Εάν η γεωμετρία της είναι εντελώς άγνωστη, δεν είναι δυνατή η αποκατάσταση μιας εικόνας ενός 3D αντικειμένου. Σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η χρήση τουλάχιστον 2 εικόνων. Σύμφωνα με την αρχή της στερεογραφίας ένα ζευγάρι "στερεοσκοπικών εικόνων" μπορεί να προβληθεί μαζί, πράγμα που δημιουργεί μια χωρική (στερεοσκοπική) εντύπωση του αντικειμένου. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη τρισδιάστατης αποκατάστασης (π.χ. προσόψεις).

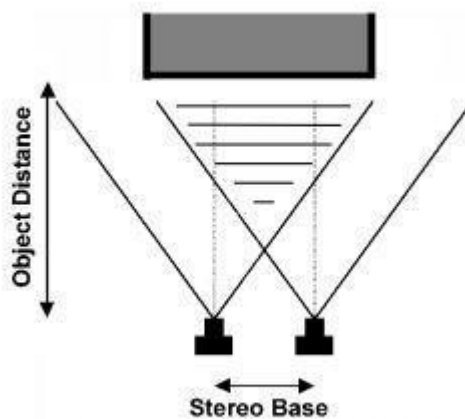


Figure 3.

### Διάγραμμα 23: Στερεοφωνικό ζεύγος

Χρησιμοποιώντας "στερεοφωνικά ζεύγη εικόνων" αυθαίρετα σχήματα μιας τρισδιάστατης γεωμετρίας μπορεί να ανακατασκευαστεί αρκεί να εμφανίζεται η



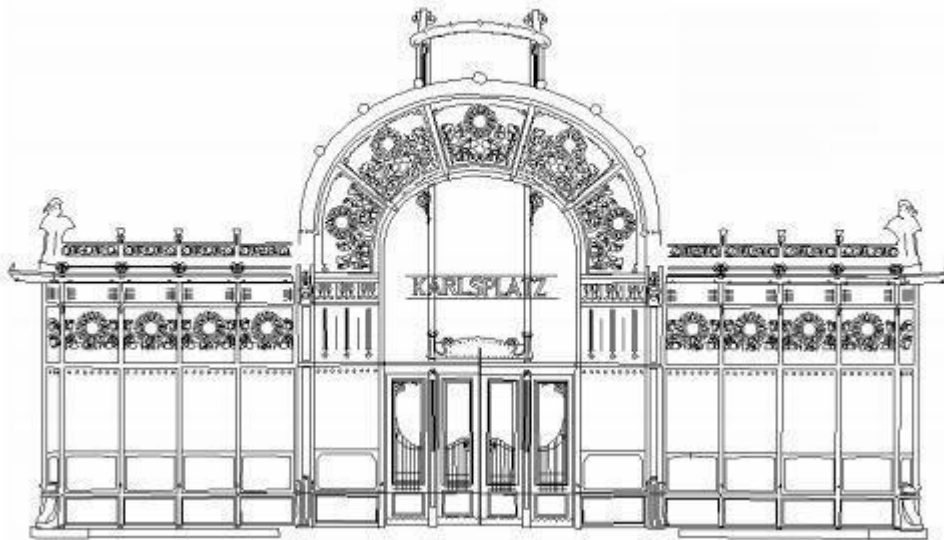
περιοχή ενδιαφέροντος και στις δύο εικόνες. Οι κατευθύνσεις των φωτογραφικών μηχανών πρέπει να είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους για να έχουν μια καλή στερεοσκοπική προβολή. Σε αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιούνται μετρικές κάμερες με γνωστό και βαθμονομημένο εσωτερικό προσανατολισμό και αμελητέα παραμόρφωση φακού. Για να εξασφαλιστούν καλά αποτελέσματα, η αναλογία της στερεοφωνικής βάσης (απόσταση μεταξύ των θέσεων της κάμερας) και της απόστασης της κάμερας προς το αντικείμενο πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1:5, 1:15. (Πηγή: Klaus Hanke, 2002)

Τα αποτελέσματα της στερεογραφικής αποκατάστασης μπορεί να είναι:

- 2D σχέδια μονών προσόψεων
- 3D σκελετικές και επιφανειακά μοντέλα
- κατάλογοι συντεταγμένων
- τελικά συμπληρώνεται από τοπολογία τους (γραμμές, επιφάνειες, κλπ)



**Διάγραμμα 24:** Στερεοφωνικό ζεύγος από το πεδίο CIPA-Text "Otto Wagner Pavillon Karlsplatz, Βιέννη. (Πηγή: Klaus Hanke, 2002)



**Διάγραμμα 25:** Σχέδιο πρόσοψης 2D που προέρχεται από το παραπάνω στερεοφωνικό ζεύγος εικόνων

iv. Αποκατάσταση δέσμης

Σε πολλές περιπτώσεις η χρήση ενός ενιαίου στερεοφωνικού ζεύγους δεν αρκεί για την ανασυγκρότηση ενός σύνθετου κτιρίου.

Επομένως, ένας μεγαλύτερος αριθμός φωτογραφιών θα χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη ενός αντικειμένου ως συνόλου.

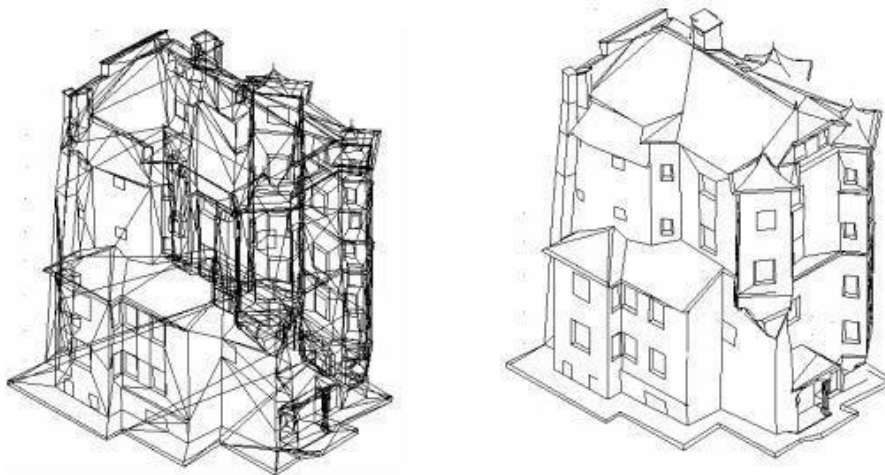
Για να επιτευχθεί μια ομοιογενής λύση για ολόκληρο το κτίριο και για να συνεισφέρουν πρόσθετες μετρήσεις, απαιτείται ταυτόχρονη λύση του προσανατολισμού όλων των φωτογραφιών. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα εκτέλεσης βαθμονόμησης της κάμερας στην εργασία. Αυτό βοηθά στην αύξηση της ακρίβειας κατά τη χρήση εικόνων μιας άγνωστης ή μη βαθμονομημένης κάμερας. Επομένως, αυτή η προσέγγιση δεν περιορίζεται πλέον σε μετρικές ή ακόμη και βαθμονομημένες κάμερες, γεγονός που καθιστά την εφαρμογή φωτογραμμετρικών τεχνικών πολύ πιο ευέλικτη. Επίσης είναι ρυθμιζόμενο όσον αφορά τη γεωμετρία των θέσεων της κάμερας, που σημαίνει ότι δεν αναγκάζεται κανείς να αναζητήσει παράλληλες προβολές και διαμόρφωση στερεοφωνικού ζεύγους. Με αυτή την χρήση πλέον είναι η κατάλληλες οι συγκεντρωτικές, οριζόντιες, κάθετες ή πλάγιες φωτογραφίες καθώς γίνεται εύκολα ο συνδυασμός διαφορετικών καμερών ή φακών. Η

στρατηγική λήψης φωτογραφιών είναι ότι κάθε σημείο που θα καθοριστεί πρέπει να διασταυρωθεί από τουλάχιστον δύο ακτίνες ικανοποιητικής γωνίας της τομής. Αυτή η γωνία εξαρτάται μόνο από τις απαιτήσεις της ακρίβειας. Ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων και το πλήρες φάσμα άγνωστων παραμέτρων υπολογίζονται μέσα σε μία στατιστική προσαρμογή των ελάχιστων τετραγώνων. Επίσης, είναι δυνατό να ανιχνευθούν μεγάλα σφάλματα λόγω του υψηλού πλεονασμού ενός τέτοιου συστήματος. Επομένως όχι μόνο η ακρίβεια αλλά και η αξιοπιστία του αποτελέσματος συνήθως αυξάνεται. (Πηγή: Klaus Hanke, 2002)



**Διάγραμμα 26:** Παραδείγματα διαφορετικών εικόνων, διαφορετικών καμερών, διαφορετικών φακών

Γίνεται ρύθμιση της δέσμης με την ψηφιακή αρχιτεκτονική φωτογραμμετρία, που συνδυάζει την εφαρμογή ημιμετρικών ή ακόμη και μη μετρικών (ερασιτεχνικών) καμερών, της φωτογραφίας και των μετρήσεων σε ένα συνηθισμένο περιβάλλον υπολογιστή. Λόγω της διαδικασίας προσαρμογής, τα αποτελέσματα είναι πιο αξιόπιστα και ακριβή. Όπως επίσης, συχνά είναι προετοιμασμένα για περαιτέρω χρήση σε περιβάλλοντα CAD. (Πηγή: Klaus Hanke, 2002)



**Διάγραμμα 27:** Μοντέλο πλεγμάτων και μοντέλο επιφάνειας ως αποτέλεσμα αποκατάστασης πακέτων. (Πηγή: Klaus Hanke, 2002)

### 3.2.4 Μέθοδος Αποτύπωσης με Laser Scanner

Η μέθοδος με το laser scanner είναι ταχύτερη, πιο αξιόπιστη και παρέχει ακριβέστερα προϊόντα από όποια άλλη μέθοδο. Επιπλέον, ένα πλεονέκτημα της είναι η λιγότερη απαίτηση επεξεργασίας αλλά και ο μικρότερος χρόνος εργασίας στο γραφείο. Ακόμη, συνδυάζει την ακρίβεια, την πληρότητα της τοπογραφίας και την αποτύπωση της φωτογραμμετρικής. Παρέχει μεταβλητή ανάλυση στο έδαφος ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος και την συνολική αποτύπωση των τρισδιάστατων αντικείμενων χωρίς επιπλέον κόπο ή χρόνο εργασίας. Κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι το μεγάλο κόστος αγοράς του εξοπλισμού ενώ το κόστος της αποτύπωσης ανέρχεται ιδιαίτερα χαμηλό λόγω του μειωμένου χρόνου παραμονής των μελετητών στον χώρο καταγραφής και στον περιορισμένο αριθμό εργατοωρών που απαιτούνται για τη δημιουργία του συνολικού τρισδιάστατου μοντέλου. Επίσης, τα σημεία που μετρούνται δεν προσδιορίζονται από τον μελετητή αλλά προκύπτουν τυχαία και το μόνο που καθορίζεται είναι το βήμα της οριζόντιας και κατακόρυφης ανάλυσης μετρήσεων.

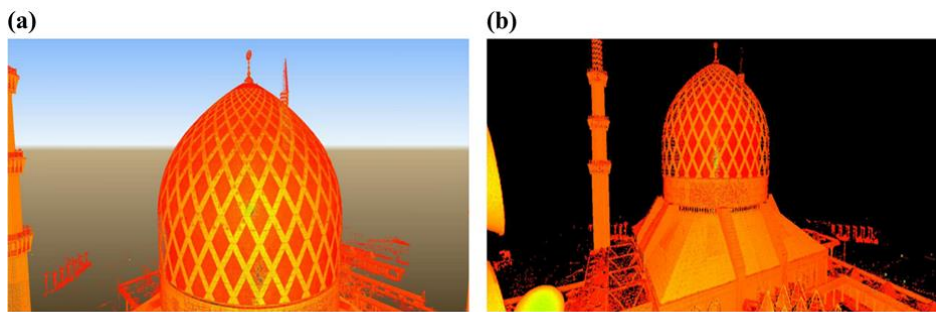
Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου με βάση την οπτική του Laser Scanning είναι:

- Έχει συνολική αποτύπωση σε τρισδιάστατα αντικείμενα
- Με την απαιτούμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος παρέχει την δυνατότητα μεταβλητής ανάλυσης εδάφους

- Μεγάλος όγκος πληροφορίας σε μικρό χρονικό διάστημα
- Το κόστος αγοράς εξοπλισμού είναι μεγάλο ενώ το κόστος της αποτύπωσης είναι χαμηλό

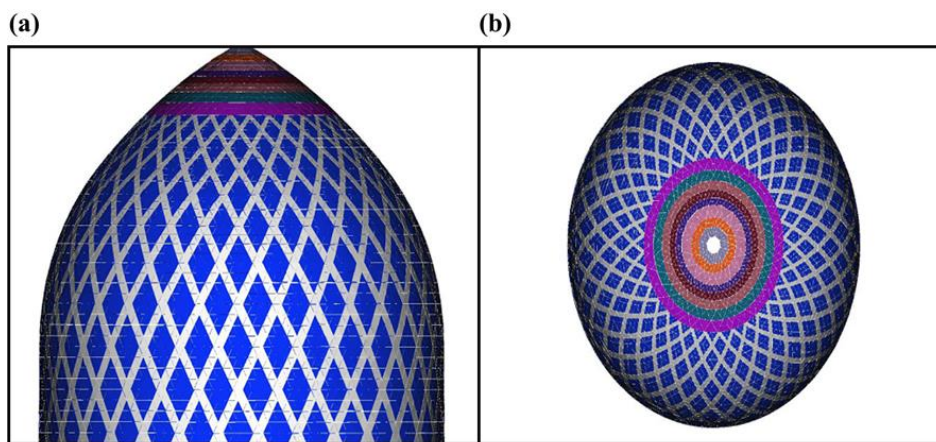
➤ **Παραδείγματα εφαρμογών του Laser Scanner:**

Η μελέτη αφορά τον τρούλο του Sultan Salahuddin Abdul Aziz Shah Mosque's με την χρήση σαρωτή λέιζερ. Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερευνήσει των ελαττωμάτων του τρούλου που χτίστηκε τον Μάρτιο του 1988.



Notes: (a) Dome point clouds; (b) point clouds data from the minaret

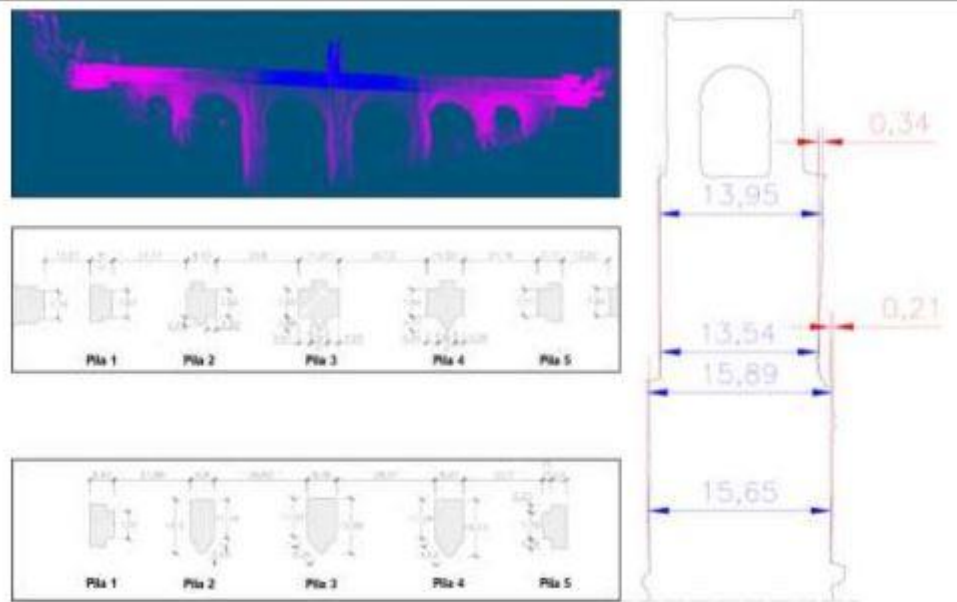
**Διάγραμμα 28:** Νέφος Σημείων



Notes: (a) Side view; (b) top view

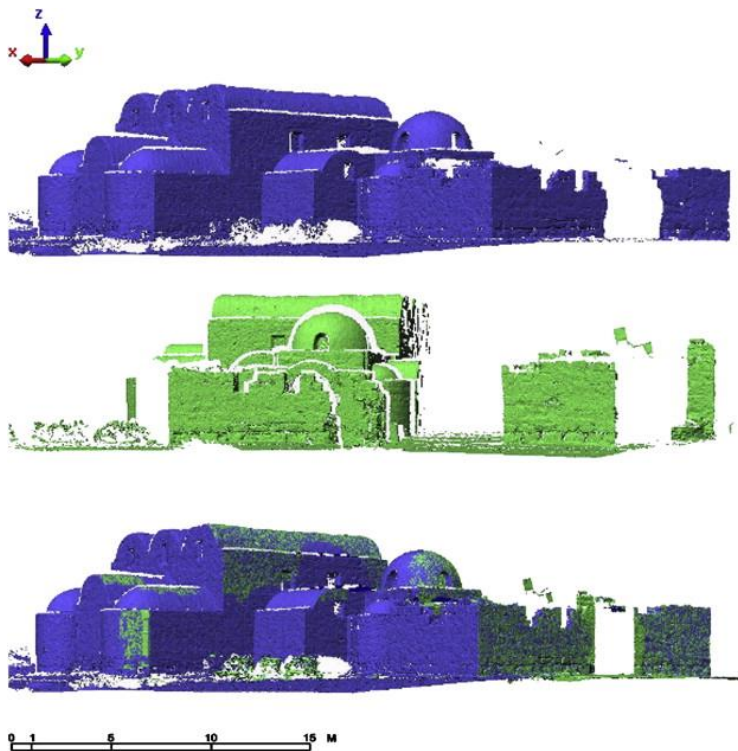
**Διάγραμμα 29:** Τρισδιάστατη Απεικόνιση

Η αποτύπωση των De Matias (2013) αποτελεί ένα παράδειγμα τρισδιάστατης αποτύπωσης. Τα αποτελέσματα της μελέτης δεν αναπαριστούν μόνο το τρισδιάστατο αποτέλεσμα και την τεκμηρίωση του αντικειμένου, αλλά και η διερεύνηση της μελέτης για την γεωμετρία του. Τα αντικείμενα της αποτύπωσης είναι η γέφυρα Alcantara και ο καθεδρικός ναός Coria στην περιφέρεια Caceres της Ισπανίας, που είναι ιστορικά μνημεία της περιοχής και αποτελούν πολιτιστική κληρονομία.

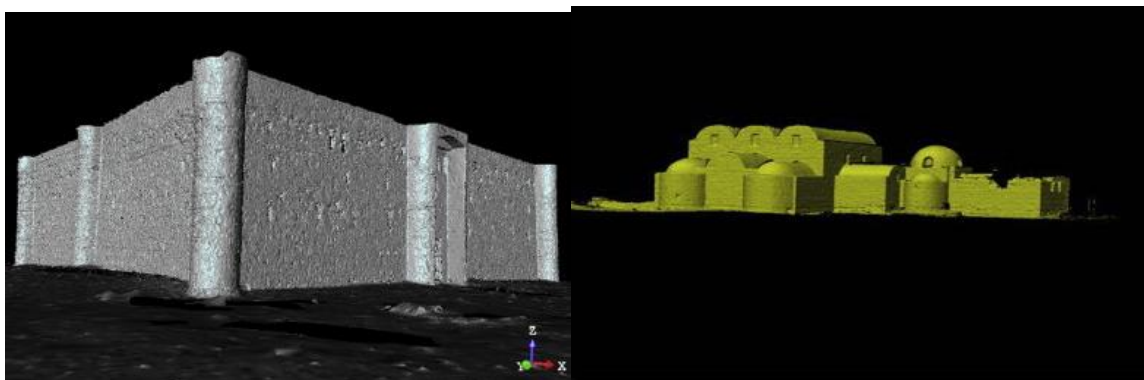


**Διάγραμμα 30:** Το ενιαίο νέφος σημείων και τα δισδιάστατά σχέδια των τομών που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση του τρισδιάστατου μοντέλου της γέφυρας

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η εφαρμογή των AI-Kheder, AI-Shawabkeh και Halla (2009), που ο στόχος της μελέτης είναι η δημιουργία τρισδιάστατης απεικόνισης με υψηλή ποιότητα των παλατιών της ερήμου στην Ιορδανία, τα οποία αποτελούν μνημεία της πολιτιστική κληρονομιάς. Η επιλογή των τεχνικών ήταν με την ψηφιακή φωτογραμμετρία και με τη σάρωση επίγειου σαρωτή λέιζερ. (Πηγή: AI-Kheder, AI-Shawabkeh και Halla, 2009)



**Διάγραμμα 31:** Ενιαίο νέφος σημείων του παλατιού Khirbat Kharamah μετά την ευθυγράμμιση (Πηγή: Al-Kheder, Al-Shawabkeh και Halla, 2009)



**Διάγραμμα 32:** Τρισδιάστατα μοντέλα των παλατιών Amra και Khirbat Kharamah (Πηγή: Al-Kheder, Al-Shawabkeh και Halla, 2009)

### 3.2.5 Σύγκριση Μεθόδων

Η κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της που αποτελούν σημαντικό κριτήριο επιλογής ή απόρριψής της. Επίσης, άλλα σημαντικά κριτήρια για την τελική επιλογή της μεθόδου ή του συνδυασμού μεθόδων αποτύπωσης αποτελούν η κλίμακα αποτύπωσης (για το μέγεθος του αντικειμένου) και ο αριθμός των απαιτούμενων μετρήσεων (για την πολυπλοκότητα του αντικειμένου).

Η Τοπομετρική Μέθοδος μπορεί να δώσει διαστάσεις και θέσεις μικρών μέτρων αντικειμένων, γιατί τα μεγάλα αντικείμενα ή λεπτομερές με πολλά μέτρα θα ήταν χρονοβόρα διαδικασία.

**Πίνακας 2:** Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα τοπομετρικής μεθόδου

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Απλότητα στο οποίο δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια	Αδυναμία ελέγχου με κάποια επιστημονική μεθοδολογία με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η αντικειμενική αξιολόγηση της αποτύπωσης.
Απλά και χαμηλού κόστους όργανα	Απαιτούμενη άμεση προσπελασιμότητα των οργάνων
Δεν απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό	Υποκειμενική σχάση αποτύπωση με το αντικείμενο

Η επίγεια φωτογραμμετρία και οι επίγειοι σαρωτές Laser χρησιμοποιούνται για να παρέχουν μεγάλο αριθμό μετρήσεων για μεγάλα μεγέθη αντικειμένων και πιο πολύπλοκα σχήματα. Επιπλέον, έχουν την δυνατότητα να αναπτυχθούν από απόσταση της γήινης επιφάνειας, για την αποτύπωση ακόμα πιο μεγάλων περιοχών. Ακόμα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (GNSS) για την αποτύπωση παρόμοιου μεγέθους περιοχών. Αλλά, για αποτυπώσεις μνημείων δεν ενδείκνυται η αποτύπωση με GNSS όπου τα μεγέθη συνήθως δεν είναι πολύ μεγάλα και οι απαιτήσεις σε μετρήσεις είναι πολύ περισσότερες. Γι' αυτό συνήθως τα GNSS χρησιμοποιούνται επικουρικά για το έλεγχο της εναέριας φωτογραμμετρίας και όχι αυτόνομα. Επιπλέον, ο σαρωτής laser έχει λιγότερο θόρυβο σε χρωματιστά τμήματα, αλλά και οι δύο μέθοδοι απαιτούν ειδικό χειρισμό για την αποτύπωση. Οι φωτογραφικές μηχανές είναι ελαφρύτερες, ενώ οι σαρωτές laser απαιτούν συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ του αντικειμένου, με αποτέλεσμα σε δύσκαμπτες περιοχές να είναι δύσκολο. Συνήθως συνιστάται συνδυασμός των δύο τεχνικών, για μια ακριβή και πλήρη απόδοση του αντικειμένου, καθώς υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία με παραδείγματα από τον συνδυασμό των δύο μεθόδων.

Τέλος, ο έλεγχος των σαρωτών laser πραγματοποιείται με επίγεια τοπογραφικά όργανα όπως είναι ο γεωδαιτικός σταθμός (Total Station). Η σάρωση με laser, είτε εναέρια, είτε επίγεια βοηθά στην αποτύπωση γρήγορης και μεγάλου όγκου τρισδιάστατης πληροφορίας. Για το βέλτιστο επιθυμητό αποτέλεσμα υπάρχουν αρκετές μέθοδοι και τεχνικές που μπορούν να επιλεγούν ή ακόμη και να συνδυαστούν, καθώς αυτές καθορίζουν τα είδη των οργάνων που θα χρησιμοποιήσουν.



**Πίνακας 3: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα όλων των Μεθόδων**

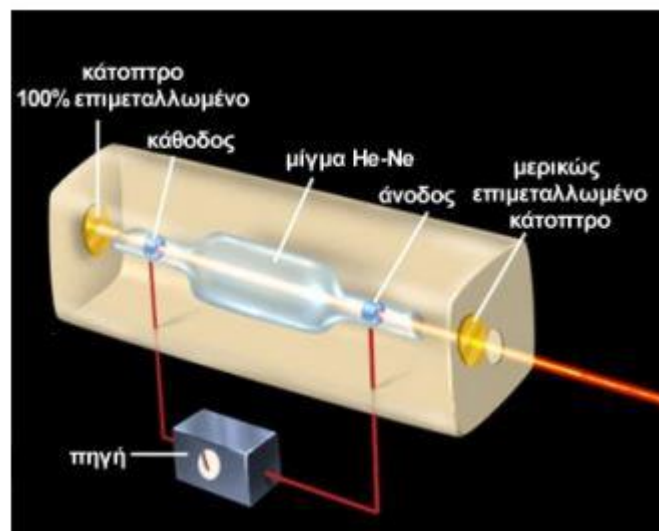
Μέθοδος	Τοπογραφική	Φωτογραμμετρική	Σαρωτής Laser
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Είναι αντικειμενική</li> <li>● Ορίζεται σύστημα αναφοράς</li> <li>● Η ανακατασκευή γεωμετριών στην αναπαράσταση γίνεται μέσω συγκεκριμένων σημείων, που προσδιορίζονται αυστηρά</li> <li>● Δυνατότητα επιστημονικού ελέγχου ακρίβειας και αξιοπιστίας</li> <li>● Δυνατότητα έμμεσων μετρήσεων από τις πρωτογενείς</li> <li>● Εύκολη αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων</li> <li>● Χρησιμοποιούνται οι συνήθεις τοπογραφικές εφαρμογές για επεξεργασία γραφείου</li> <li>● Δυνατότητα αμοιβαίας σχέσης πολλών αντικειμένων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Είναι αντικειμενική</li> <li>● Ορίζεται σύστημα αναφοράς</li> <li>● Η ανακατασκευή των γεωμετριών γίνεται μέσω συνεχούς απόδοσης ή/και σημειακής</li> <li>● Δυνατότητα επιστημονικού ελέγχου του αποτελέσματος ως προς την ακρίβεια και αξιοπιστία</li> <li>● Υπάρχει δυνατότητα έμμεσων μετρήσεων</li> <li>● Αντιμετωπίζονται άμεσα λεπτομέρειες και πολύπλοκα αρχιτεκτονικά ή δύσκολα προσπελάσιμα στοιχεία</li> <li>● Δυνατότητα διαχρονικής παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς του αντικειμένου</li> <li>● Δεν απαιτεί σκαρίφημα</li> <li>● Χαμηλό μέχρι μέτριο κόστος εξοπλισμού πεδίου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Είναι ταχύτερη και αξιόπιστη</li> <li>● Παρέχει ακριβέστερα προϊόντα από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία</li> <li>● Απαιτεί λιγότερη προεπεξεργασία και μικρότερο χρόνο εργασίας στο γραφείο</li> <li>● Συνδυασμός ακρίβειας τοπογραφικής και πληρότητα και συνέχεια φωτογραμμετρικής</li> <li>● Παροχή μεταβλητής ανάλυσης στο έδαφος ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος</li> <li>● Παρέχει συνολική αποτύπωση των 3D αντικειμένων χωρίς επιπλέον κόπο ή χρόνο εργασίας και με μικρό κόστος</li> <li>● Δεν απαιτεί σκαρίφημα</li> </ul>
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Απαιτεί σκαρίφημα</li> <li>● Εντοπισμός σφαλμάτων μόνο μέσα από κατάλληλη στατιστική επεξεργασία (στο γραφείο)</li> <li>● Μεγάλος χρόνος και κόστους των εργασιών πεδίου</li> <li>● Μέτριο κόστος εξοπλισμού πεδίου</li> <li>● Μεγαλύτερη πυκνότητα σημείων και πιστότητα = Μεγαλύτερος χρόνος παραμονής στο πεδίο</li> <li>● Δυσκολία αποτύπωσης λεπτομερών και πολύπλοκων αρχιτεκτονικά (κυρίως μη γραμμικά) στοιχείων ή δύσκολα προσπελάσιμων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι εξειδικευμένος είτε μέτριου είτε υψηλού κόστους</li> <li>● Υπάρχει ανάγκη για πρόσθετη Τοπογραφική αποτύπωση</li> <li>● Δύσκολη αλγοριθμική επεξεργασία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Μεγάλο κόστος εξοπλισμού πεδίου</li> <li>● Τα σημεία μέτρησης δεν προσδιορίζονται από το χειριστή του οργάνου αλλά προκύπτουν τυχαία</li> </ul>

## 4 Σαρωτές Laser (Laser Scanner)

### 4.1 Ορισμός 'Laser'

Ο όρος Laser σχηματίζεται από τα αρχικά Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, στα ελληνικά μεταφράζεται ως ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας. Το λέιζερ παράγει εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινών λέιζερ. Οι ιδιότητες της δέσμης λέιζερ είναι η μονοχρωματική, σύμφωνη και έχει μικρή διατομή, μικρό γωνιακό άνοιγμα και μεγάλη λαμπρότητα. Επίσης, χρησιμοποιείται για συχνότητες ορατής περιοχής και για συχνότητες του υπεριώδους ή στο υπέρυθρο ή και στην περιοχή των ακτινών X.

Η παραγωγή λέιζερ κατασκευάζεται με την θετική άντληση εξωτερικής πηγής, στην μικροκυματική και αυτό δημιουργείται έχοντας το ενεργό υλικό σε μια συντονιστική κοιλότητα που συντονίζεται στην συχνότητα  $\nu$ . Στην περίπτωση του λέιζερ αυτό πετυγχάνεται βάζοντας το ενεργό υλικό laser μεταξύ δύο κατόπτρων μεγάλης ανακλαστικότητας. Τότε το επίπεδο ηλεκτρομαγνητικού κύματος πηγαινοέρχεται μεταξύ των δύο κατόπτρων και οδηγεί στην ενίσχυση της ακτινοβολίας. (Διάγραμμα 32)



**Διάγραμμα 33:** Αρχή λειτουργία του Laser. Πηγή: (Μαρία Κατσικίνη [http://users.auth.gr/katsiki/8\\_laser.pdf](http://users.auth.gr/katsiki/8_laser.pdf))

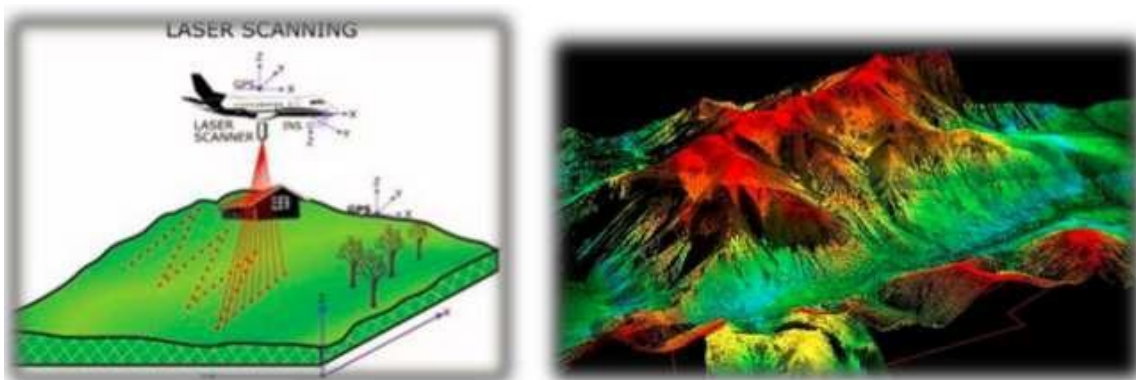
Η δέσμη του λέιζερ δεν αποκλίνει αλλά είναι σχεδόν ευθυγραμμισμένη και λόγω της περιθλασης δεν μπορεί να δημιουργηθεί η τέλεια ευθυγραμμισμένη δέσμη. Τα λέιζερ παράγουν συνεχή παλμό κύματος και με την παροχή της σταθερής ισχύος στο ενεργό μέσο

όταν φτάσει το σύστημα σε σταθερή κατάσταση τότε παράγεται ακτίνα συνεχούς κύματος. Στα λέιζερ παλμού ο μηχανισμός διέγερσης παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια σε παλμούς μικρής διάρκειας. Η ισχύς εξόδου αυξομειώνεται γρήγορα και τα λέιζερ παλμού έχουν μια επαναληπτική συχνότητα, καθώς καθορίζει τη ταχύτητα συλλογής δεδομένων, ενώ η διάρκεια του παλμού καθορίζει την ανάλυση. (Wikipedia)

Το λέιζερ μετρά την ενέργεια του παλμού σε Joules, στην οποία η μέγιστη ισχύς εξόδου υπολογίζεται με το πηλίκο της ενέργειας εξόδου (δηλαδή την διάρκεια του παλμού) και της ισχύς εξόδου ενός λέιζερ συνεχούς κύματος περιγράφεται σε Watt ενέργεια στην μονάδα. (Αποστολόπουλος)

## 4.2 Μέθοδοι Μέτρησης των 3D Σαρωτών

Οι σαρωτές Laser διαχωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, σε επίγειους και αερομεταφερόμενους. Οι επίγειοι σαρωτές Laser χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό αντικειμένων, μοντέλων αεροσκαφών, στον έλεγχο ποιότητας, στις αποτυπώσεις εδαφολογικών χαρακτηριστικών στην τεκμηρίωση και αποτύπωση πολιτιστικών αντικειμένων (Διάγραμμα 34). Η ικανότητα των αερομεταφερόμενων σαρωτών Laser (LIDAR) είναι η αποτύπωση του ανάγλυφου της γης, οι οποίοι καταγράφουν το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους για χαρτογράφηση μεγάλης κλίμακας, κυρίως αστικών περιοχών. Επίσης, χρησιμοποιούνται και για τον πυθμένα των ωκεανών και λιμνών, αφού έχουν την δυνατότητα το laser να διαπερνά τις ιδιότητες του νερού (Διάγραμμα 33).

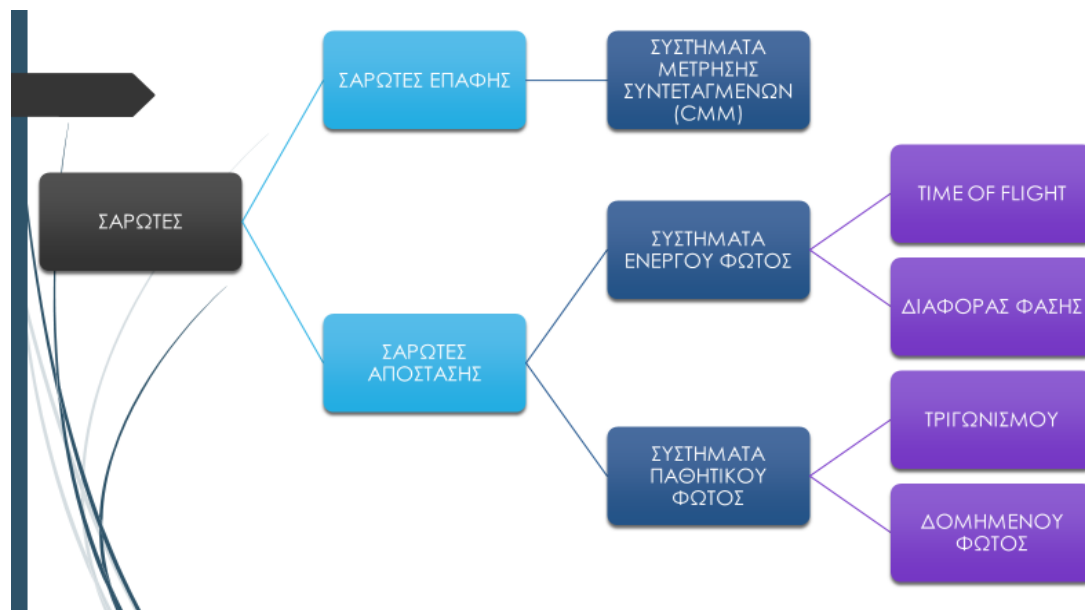


**Διάγραμμα 34:** Οι αερομεταφερόμενοι σαρωτές laser και το αποτέλεσμα



**Διάγραμμα 35:** Οι επίγειοι σαρωτές laser και το αποτέλεσμα

Οι επίγειοι σαρωτές Laser έχουν αρχή λειτουργίας όμοια με των γεωδαιτικών σταθμών χωρίς τη χρήση ανακλαστήρων (reflectorless Total Stations). Η ακτινοβολία Laser που χρησιμοποιούν είναι σε μήκος κύματος του ορατού και υπέρυθρου φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και συχνότητα μεγαλύτερη από 1000 Hz. Οι κατηγορίες των επίγειων σαρωτών ανήκουν στα ενεργά συστήματα αφού στέλνουν δέσμη λέιζερ και λαμβάνει πίσω. Οι επίγειοι σαρωτές Laser αποτελούν μια μεγάλη κατηγορία οργάνων και μπορούν να διαχωριστούν με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιούν καθώς και το μέγεθος του αντικειμένου που θα σαρωθεί.



**Διάγραμμα 36:** Η κατηγοριοποίηση των επίγειων σαρωτών Laser [Συμεωνίδης, 2007].

Η επιλογή ενός επίγειου σαρωτή δεν είναι εύκολη αφού στην αγορά υπάρχουν διάφορα είδη, που το κάθε ένα από αυτά είναι καταλληλότερο για διαφορετικές εφαρμογές (π.χ μετρήσεις σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο, για μεσαίες ή μεγάλες αποστάσεις κ.τ.λ.). Η χρήση των σαρωτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες δραστηριότητες όπως αποτύψεις μνημείων μέχρι την προσομοίωση και διερεύνηση ατυχημάτων, ακόμη και η χρήση της σε ιατρικές εφαρμογές. Ωστόσο, οι κυριότεροι τύποι σαρωτών laser διακρίνονται σε σαρωτές επαφής (contact 3D scanners) και σαρωτές μη επαφής ή αποστάσεως (non-contact 3D scanners).

#### 4.2.1 Επίγειοι Σαρωτές Επαφής

Το βασικό μειονέκτημα στην λειτουργία των σαρωτών επαφής είναι ότι η σάρωση γίνεται μέσω της φυσικής επαφής. Με αυτό τον τρόπο λειτουργίας του, καθίσταται δυνατό στην πρόκληση φθορών ή και στην καταστροφή, σε περιπτώσεις αποτυπώσεις μνημείων, ιστορικών κτηρίων και αρχαιολογικών ευρημάτων. Επίσης, είναι δύσκολη η αποτύπωση μεγάλων επιφανειών, λόγω της βραδύτητας που παρουσιάζουν οι σαρωτές αυτού του τύπου σε σχέση με τους υπόλοιπους, αλλά και λόγω των κατασκευαστικών τους χαρακτηριστικών και αδυναμιών. Το κυριότερο πλεονέκτημα των σαρωτών επαφής είναι η μεγάλη ακρίβεια στην απόδοση του αντικειμένου, όπως και η ακριβής καταγραφή όλων των σημείων που επιθυμεί ο μελετητής. Το χαρακτηριστικό τους αυτό, τους κάνει ιδιαίτερα χρήσιμους και λειτουργικούς. (Συμεωνίδης, 2007)



**Διάγραμμα 37:** Σαρωτές επαφής φορητού τύπου (δεξιά) και τύπου γέφυρας (αριστερά)

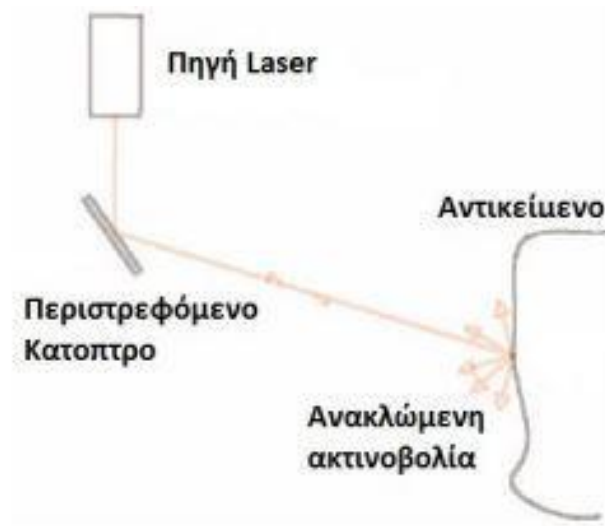
#### 4.2.2 Επίγειοί Σαρωτές μη Επαφής

Αντίθετα, οι σαρωτές μη επαφής δεν έρχονται σε φυσική επαφή με το αντικείμενο, αλλά αξιοποιούν τις ιδιότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, έτσι ώστε να αποτυπώσουν την επιφάνεια του αντικειμένου με τη μορφή ενός πυκνού νέφους σημείων. Σε αυτή την κατηγορία ενώνονται τα συστήματα διαφορετικών τεχνολογιών και αρχών λειτουργίας αφού πρόκειται για οπτικούς σαρωτές, σαρωτές δομημένου φωτός και σαρωτές laser. Άρα μπορεί να γίνει διαχωρισμός με βάση τις ιδιότητες της χρησιμοποιούμενης δέσμης laser. Έτσι υπάρχουν συστήματα με ενεργό φως, που αξιοποιούν τις ιδιότητες του φωτός για να μετρηθεί η ζητούμενη απόσταση, αλλά και παθητικά συστήματα όπου το laser απλώς κωδικοποιεί την επιφάνεια του αντικειμένου (Πρόκος Α.,2012).

Οι ενεργητικοί σαρωτές (συστήματα ενεργού φωτός) μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τον τρόπο που μετρούν την απόσταση που διανύει η εκπεμπόμενη ακτινοβολία, και χωρίζονται σε δύο σαρωτές. Τους σαρωτές παλμού και σαρωτές διαφοράς φάσης, πιο κάτω αναπτύσσονται αναλυτικά:

- Οι σαρωτές παλμού ή μέτρησης χρόνου πτήσης της ακτίνας laser (time of flight):

Είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος, καθώς εξασφαλίζει ακρίβεια μερικών χιλιοστών ακόμα και για εφαρμογές μεγάλων αποστάσεων, μερικών εκατοντάδων μέτρων. Η λειτουργία τους βασίζεται στον προσδιορισμό του χρόνου, που χρειάζεται ένας παλμός laser που εκπέμπεται από τη συσκευή για να φτάσει στην επιφάνεια του αντικειμένου και να επιστρέψει. Οι σαρωτές χρησιμοποιούν μικρές περιστρεφόμενες συσκευές (κάτοπτρα) για τη γωνιακή εκτροπή της ακτίνας laser και σχετικά απλούς αλγορίθμους χρήσης για τον υπολογισμό της απόστασης, δίνοντας μεγάλη ακρίβεια στη μετρημένη απόσταση. Η τρισδιάστατη ακρίβεια επηρεάζεται και από την ακρίβεια της γωνιακής μέτρησης της ακτίνας, η οποία όμως είναι της τάξης των εκατοστών του βαθμού.



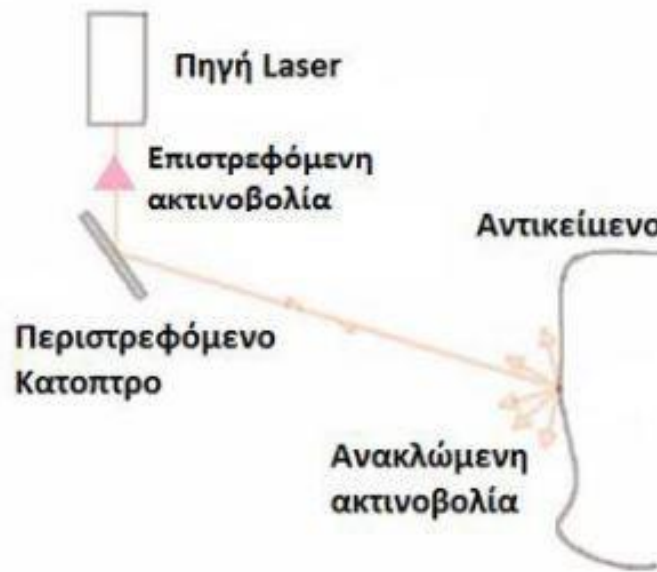
**Διάγραμμα 38:** Αρχή λειτουργίας της Time of flight τεχνικής



**Διάγραμμα 39:** Σαρωτές Faros και Leica τεχνικής Time of flight

- Οι σαρωτές διαφοράς φάσης (phase shift/comparison-amplitude modulation): Κατάλληλοι για μετρήσεις έως εκατό μέτρα περίπου, με ακρίβεια μερικών χιλιοστών. Στους συγκεκριμένους σαρωτές η εκπεμπόμενη ακτίνα διαμορφώνεται από ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης μεταξύ του κύματος αποστολής και λήψης. Η μέθοδος αυτή δεν διαφέρει ιδιαίτερα από τη μέθοδο χρόνου πτήσης σε ό,τι αφορά τη λειτουργικότητα, αλλά μπορεί τα αποτελέσματα να είναι ακριβέστερα λόγω της μεθόδου προσδιορισμού της απόστασης των σημείων. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα της επιλογής μεγαλύτερης πυκνότητας σημείων, εφόσον η ακρίβεια της μέτρησης είναι ανώτερη από εκείνη των σαρωτών TOF. Για κάθε σημείο λαμβάνεται μόνο μία μέτρηση, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο συλλογής των δεδομένων συγκριτικά με τους σαρωτές TOF. Λόγω της περιορισμένης

εμβέλειάς τους, οι σαρωτές προσφέρονται για αντικείμενα μεσαίων διαστάσεων, όπου υπάρχει απαίτηση ακρίβειας της τάξης μερικών χιλιοστά, όπως τα αγάλματα (Πρόκος Α., 2012).



#### **Διάγραμμα 40:** Αρχή λειτουργίας τεχνικής σύγκριση φάσης

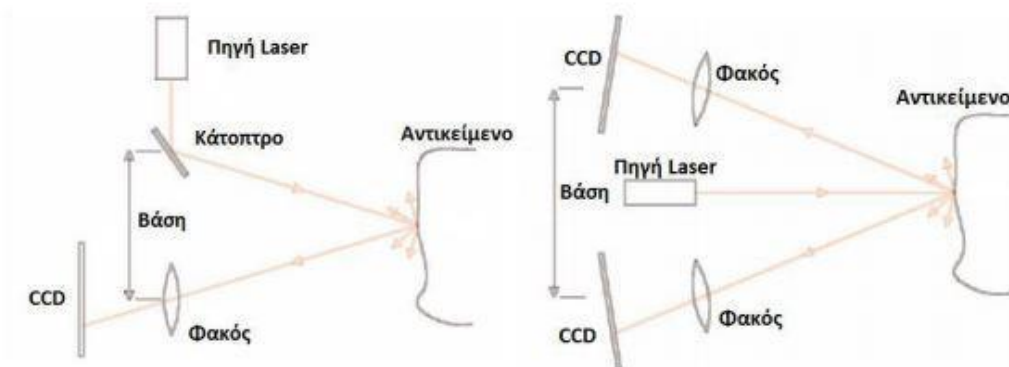
Αντίθετα, οι παθητικοί σαρωτές είναι οι τεχνικές σάρωσης που χρησιμοποιούν φωτεινούς σχηματισμούς (light patterns), ώστε να «κωδικοποιήσουν» την επιφάνεια του αντικειμένου. Τα συστήματα του παθητικού φωτός αναλύονται ως εξής:

- Οι σαρωτές τριγωνισμού (Triangulation):

Χρησιμοποιούνται για σύνθετα αντικείμενα, που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια δεκάδων μικρομέτρων και μεγάλη πυκνότητα σάρωσης. Βέβαια, το βεληνεκές τους είναι περιορισμένο σε μικρά μέτρα. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές. Ο σαρωτής laser που χρησιμοποιεί τη μέθοδο του τριγωνισμού, κάνει χρήση της ακτίνας λέιζερ που κτυπά στο αντικείμενο και το φωτίζει, έτσι με μία κάμερα εντοπίζονται τα σημεία, υπολογίζοντας τη θέση κάθε σημείου που σκοπεύει στον τρισδιάστατο χώρο. Η συνθήκες φωτισμού στο αντικείμενο είναι σημαντικός παράγοντας στην ορθή λειτουργία και στα σωστά αποτελέσματα του. Η αρχή λειτουργίας των σαρωτών στηρίζεται στον εντοπισμό του στίγματος της εκπεμπόμενης ακτίνας laser στην εικόνα του αντικειμένου που λαμβάνεται από τον ενσωματωμένο οπτικό αισθητήρα CCD που διαθέτει ο σαρωτής. Ορισμένοι σαρωτές διαθέτουν δύο



οπτικούς αισθητήρες CCD με γνωστή την απόσταση μεταξύ τους. (Σταθοπούλου Ε., 2011).



**Διάγραμμα 41:** Αρχή λειτουργίας τεχνικής τριγωνισμού με έναν (αριστερά) και δύο (δεξιά) αισθητήρες CCD

- Οι σαρωτές δομημένου φωτός (Structured Light):

Προβάλλουν στο αντικείμενο διάφορους σχηματισμούς με τη βοήθεια οπτικής ακτινοβολίας. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς είναι ουσιαστικά ανάλογη με αυτήν του τριγωνισμού. Το κυριότερο πλεονέκτημα των σαρωτών δομημένου φωτός είναι η ταχύτητα, καθώς έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει πολλά σημεία πάνω σε μία γραμμή ή στο πρότυπο μηδενίζοντας πρακτικά το θόρυβο και τα σφάλματα που προκαλούν οι δονήσεις και οι μικρομετακινήσεις του σαρωτή.



**Διάγραμμα 42:** Σαρωτές δομημένου φωτός

Εν κατακλείδι, η χρήση του επιγείου σαρωτή laser αποτελεί μια σύγχρονη μέθοδο αποτύπωσης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης κτιρίων, αντικειμένων, αρχιτεκτονικών και αρχαιολογικών μνημείων καθώς και άλλων.

### **4.3 Πεδία Εφαρμογής του Επίγειου Σαρωτή**

Οι επίγειοι σαρωτές λέιζερ έχουν την δυνατότητα για την συλλογή και επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων. Η ζήτηση των σαρωτών αυξάνεται ακόμα περισσότερο σε διάφορες εφαρμογές. Μερικές από τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται οι επίγειοι σαρωτές είναι:

- Αποτυπώσεις μνημείων για την τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς
- Βιομηχανικές εφαρμογές
- Αποτύπωση τεχνικών κατασκευών
- Μετρήσεις δομικών παραμορφώσεων
- Τοπογραφικές εφαρμογές
- Υπολογισμός όγκων και εξαγωγή διατομών
- Δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους και μοντέλα εικονικής πραγματικότητας
- Δημιουργία χαρτών GIS
- Επανασχεδιασμός αυτοκινητόδρομων
- Παραμορφώσεις τεχνικών έργων και βιομηχανικών κτιρίων
- Επιμετρήσεις και ποιοτικός έλεγχος διαφόρων κατασκευών και έργων

### **4.4 Ακρίβεια των Επίγειων Σαρωτών Laser**

Η ακρίβεια του οργάνου εξαρτάται από την βαθμονόμηση που έγινε και το χειρισμό που είχε. Κάθε σαρωτής περιέχει ένα αριθμό σημείων που υποστηρίζονται χονδροειδή σφάλματα και δεν μπορούν να εγγυήσουν την ποιότητα, σε αντίθεση με άλλα όργανα μέτρησης σημείων (W.Boehler, et al, 2003).

#### **4.4.1 Ακρίβεια Μέτρησης Γωνίας**

Ο παλμός laser ανακλάται από το πρίσμα του οργάνου και στέλνεται στο αντικείμενο. Η δεύτερη γωνία είναι κάθετη στην πρώτη και έχει την δυνατότητα να αλλάζει χρησιμοποιώντας ένα μηχανικό άξονα. Οι δύο γωνίες είναι αναγκαίες για τον υπολογισμό

των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων. Τότε αν υπάρχει απόκλιση στην πορεία της ακτίνας, θα υπάρχει μετατόπιση του σημείου πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου. Για να εκτιμηθεί η ακρίβεια μέτρησης γωνίας, συνιστάται η μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων αποστάσεων ενός αντικείμενου γνωστών μετρήσεων που είναι αποδεδειγμένα από εργαστήριο.

#### **4.4.2 Ακρίβεια Μέτρησης Απόστασης**

Η ακρίβεια μέτρησης της απόστασης επηρεάζεται από το είδος του σαρωτή. Σε σαρωτές μεγάλης εμβέλειας η απόσταση υπολογίζεται με τον χρόνο που ταξιδεύει το σήμα έως το αντικείμενο και να επιστρέψει στο σαρωτή. Για αποστάσεις πέραν των 100 μέτρων η ακρίβεια στον προσδιορισμό παραμένει σταθερή. Αντίθετα σε σαρωτές τριγωνισμού, η ακρίβεια των σημείων μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης του σαρωτή και του αντικειμένου.

Τα σφάλματα παρατηρούνται με την μέτρηση γνωστών αποστάσεων στην διεύθυνση της απόστασης με το σαρωτή. Σαρωτές που δεν έχουν ένα καθορισμένο σημείο αναφοράς, πρέπει να μετρηθούν σχετικές αποστάσεις μεταξύ στόχων. Σημαντικοί σαρωτές για την διερεύνηση των συστηματικών σφαλμάτων στην απόσταση είναι εκείνοι που έχουν οπτικό πεδίο 180°.

#### **4.4.3 Διακριτική Ικανότητα**

Τεχνικά δυο διαφορετικές ερμηνείες μπορούν να συνεισφέρουν στην ικανότητα να διερευνήσει μικρά αντικείμενα ή αντικείμενα που αποτελούν ένα νέφος σημείων, η μικρότερη πιθανή αύξηση της γωνίας ανάμεσα σε δύο διαδοχικά σημεία και το μέγεθος του παλμού laser στο αντικείμενο. Για τον έλεγχο της διακριτικής ικανότητας του σαρωτή θα μπορούσε να δώσει ένα αντικείμενο που αποτελεί μικρά στοιχεία.

#### **4.4.4 Επίδραση Ακμών**

Η κηλίδα του laser έχει κάποιο μέγεθος και όταν η ακτίνα χτυπά κάποιο σημείο τότε αντανακλάται ένα μέρος της. Η υπόλοιπη ακτίνα ανακλάται προς διαφορετική κατεύθυνση ή και μερική από αυτή καθόλου. Τα σφάλματα που προκύπτουν μπορεί να είναι μερικών χιλιοστών έως κάποια εκατοστά καθώς δεν μπορεί να υπάρξει αποφυγή του σφάλματος. Αλλά όσο πιο συγκεντρωμένη είναι η ακτίνα, υπάρχουν καλύτερα αποτελέσματα. Η

σύγκριση διάφορων σαρωτών γίνεται χρησιμοποιώντας στόχους με διαφορετικά είδη ακμών (κύβοι, σφαίρες, κυλίνδρου).

#### **4.4.5 Επιρροή της Ανακλαστικότητας της Επιφάνειας**

Η λειτουργία των σαρωτών βασίζεται στην ένταση του σήματος από την δυνατότητα της ανάκλασης της μετρούμενης επιφάνειας. Επιπλέον, οι άσπρες επιφάνειες ανακλούν την ακτινοβολία σε πολύ μεγάλο βαθμό, ενώ οι μαύρες έχουν μεγαλύτερο βαθμό απορρόφησης. Η χρήση ενός άσπρου επιπέδου στόχου με ανακλαστικό υλικό επικάλυψης, είναι ένας τρόπος αξιολόγησης των σφαλμάτων. Μια καθαρή εικόνα των αποκλίσεων θα προκύψει από τις διαφορές του προσδιορισμού της απόστασης μεταξύ του κέντρου και των στόχων.

#### **4.4.6 Περιβαλλοντικές Συνθήκες**

Επηρεάζεται από την ατμόσφαιρα καθώς η πίεση και η θερμοκρασία της μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα διάδοσης του φωτός. Επιπλέον, για την κανονική λειτουργία του σαρωτή η θερμοκρασία κυμαίνεται συνήθως 0-50°C. Ακόμα και σε αυτές τις θερμοκρασίες παρατηρούνται αποκλίσεις στην μετρημένη απόσταση. Επίσης, επηρεάζεται από την παρεμβολή της ακτινοβολίας αφού η πηγή της ακτινοβολίας είναι ισχυρότερη από το σήμα, με αποτέλεσμα μερική από αυτή την ακτινοβολία να περάσει το φίλτρο και να επηρεάσει την ακρίβεια.

### **4.5 Πλεονεκτήματα της Σάρωσης με Laser**

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης είναι:

- **Απόλυτη ασφάλεια:** Διότι δεν απαιτεί επαφή του χρήστη με αντικείμενα σε δύσβατα σημεία καθώς και η ακτίνα που χρησιμοποιούν οι σαρωτές είναι ασφαλής.
- **Πυκνότητα σημείων:** Η ενδεικτική τιμή που σαρώνει ένας σαρωτής είναι με ελάχιστο γωνιακό βήμα 20μrad, άρα ένα αντικείμενο σε απόσταση 100 μέτρων είναι δυνατή η λήψη σημείων ανά 2.6mm. Ως αποτέλεσμα να προκύπτει ένα τρισδιάστατο σχήμα με την μορφή ενός έγχρωμου νέφους σημείων και όχι σε επιλεγμένες θέσεις.
- **Μεγάλη ακρίβεια:** Η ακρίβεια είναι μερικών χιλιοστών στους σύγχρονους επίγειους σαρωτές στην μοντελοποίηση αντικειμένων.

- Ταχύτητα συλλογής δεδομένων: Καταγράφουν χιλιάδες σημεία συντεταγμένων (X,Y,Z) το δευτερόλεπτο, με αποτέλεσμα την γρήγορη αποτύπωση μεγάλων αντικειμένων και επιφανειών σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα.
- Δυνατότητα χρήσης μέρα ή νύκτα και σχεδόν σε όλες τις καιρικές συνθήκες
- Ταυτόχρονη συλλογή μετρικής και ποιοτικής πληροφορίας: Δηλαδή κάποιοι σαρωτές διατεθούν ψηφιακή φωτογραφική μηχανή ανάλυση μερικών megapixel η οποία αποδίδει στα σημεία πραγματικό χρώμα RGB.

#### **4.6 Διαδικασία Σάρωσης**

Η διαδικασία της σάρωσης στο πεδίο μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα άτομο αφού είναι εύκολη η λειτουργία του και πλήρως αυτοματοποιημένη. Αρχικά, μελετάται η περιοχή για τις ιδιομορφίες και την πολυπλοκότητα της. Με βάση το οπτικό πεδίο του σαρωτή προσδιορίζεται ο αριθμός των στάσεων στις οποίες θα τοποθετηθεί ο σαρωτής για να σαρώσει όλη την περιοχή χωρίς να υπάρξουν κενά και ασυνέχειες.

Επιπλέον, τοποθετούνται και επιλέγονται οι θέσεις που θα τοποθετηθούν οι στόχοι για την σύνδεση των διαδοχικών σαρώσεων. Σε κάθε σάρωση πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστο τρεις στόχοι στην περιοχή μελέτης και απαιτούνται για την κάλυψη ενός ενιαίου συνόλου σάρωσης. Βασική προϋπόθεση, οι σαρώσεις αυτές να έχουν μετρηθεί από το ίδιο σημείο.

Το αποτέλεσμα της σάρωσης είναι ένα πυκνό σύνολο σημείων και μετατρέπονται σε σύνολο σημείων τρισδιάστατων καρτεσιανών συντεταγμένων. Τα δεδομένα των σημείων που μετρήθηκαν εισάγονται στο λογισμικό για επεξεργασία και εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος. Επίσης, γίνεται και η ένωση των διαδοχικών σαρώσεων.

#### **4.7 Λειτουργία Επίγειου Σαρωτή Laser**

Η βασική λειτουργία του επίγειου σαρωτή είναι η συλλογή δεδομένων από μια συγκεκριμένη περιοχή ή ενός αντικειμένου. Η μεθοδολογία του είναι η χρήση της ακτινοβολίας που σαρώνει το αντικείμενο και καταγράφει συντεταγμένες (X, Y, Z) σε ένα σύστημα αναφοράς. Επιπλέον, γίνεται καταγραφή της ανακλώμενης έντασης ακτινοβολίας που επιστρέφεται από το αντικείμενο και συχνά χρησιμοποιείται για την διευκόλυνση των πυκνών και πολύπλοκων νεφών σημείων.

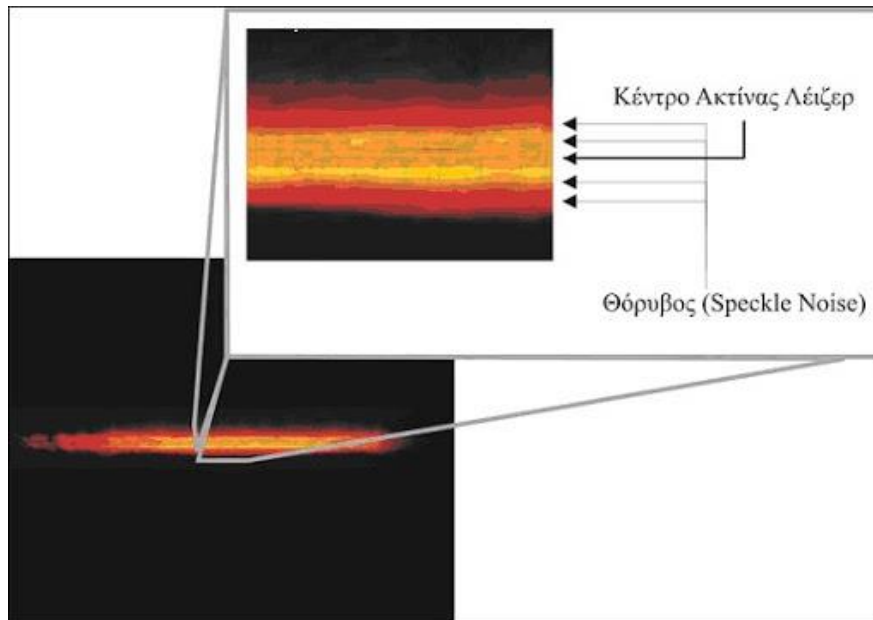
Απαιτείται σάρωση από διαφορετικές θέσεις στον χώρο έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης κάλυψη της αποτύπωσης της μελέτης (αντικειμένου, χώρου, κατασκευής). Το όργανο μπορεί να τοποθετηθεί σε άγνωστη θέση και η συλλογή δεδομένων να βασίζεται σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς ή σε ήδη γεωαναφερόμενο σύστημα. Οι παράμετροι των μετρήσεων και η περιοχή ενδιαφέροντος που πρόκειται να σαρωθεί καθορίζεται από τον χειριστή του οργάνου. (Angelopoulou & Wright, 1999)

Με την σάρωση της περιοχής καταγράφονται οι εσωτερικές γωνίες των κατόπτρων και μετρούνται οι χρόνοι εκπομπής-λήψης της ακτίνας. Τα νέφη σημείων που προκύπτουν περιέχουν τις σφαιρικές συντεταγμένες των σημείων, οι οποίες μετατρέπονται σε καρτεσιανές ορίζοντας ως αρχή των αξόνων του σαρωτή.

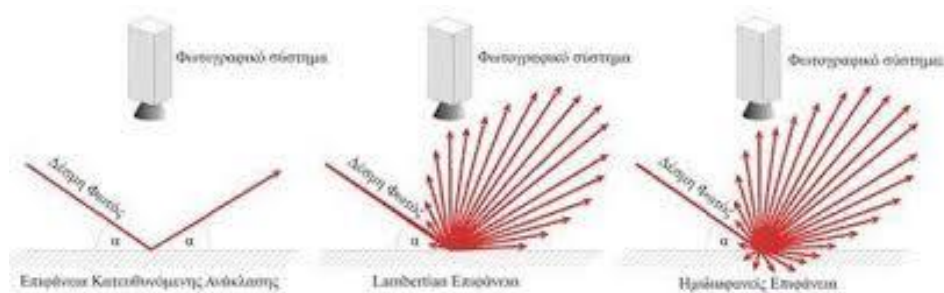
#### **4.8 Φαινόμενο Θόρυβου**

Με τη σάρωση μερικές φορές παρατηρείται το φαινόμενο του θόρυβου, καθώς μεταφέρονται στα τελικά αποτελέσματα των μετρήσεων μέσα από τις ακτίνες, με αποτέλεσμα να επιβάλλουν τη χρήση φίλτρων ομαλοποίησης και απλοποίησης. Ο θόρυβος παρουσιάζεται στο νέφος υπό την μορφή σημείων και αποκλίνει σε τυχαίες διευθύνσεις. Η δέσμη φωτός σε κάποιο σημείο έχει παρεμβολή που περιορίζει την ανάκτηση δέσμης στους οπτικούς αισθητήρες. Αυτό εμφανίζεται με την μορφή τυχαίας διάχυσης δέσμης και ονομάζεται speckle effect. Ο θόρυβος επηρεάζεται από την επιφάνεια του αντικειμένου και από την ταχύτητα. Επίσης, ο θόρυβος εμφανίζεται όταν (Κλεψύδρα, 2006):

- Η ανακλαστικότητα ποικίλει και μεταβάλλεται στην επιφάνεια
- Η γεωμετρία της επιφάνειας παρεκκλίνει έντονα από επίπεδο σε επίπεδο
- Η πορεία της δέσμης φωτός μέχρι τον αισθητήρα παρεμποδίζεται
- Η τραχύτητα της επιφάνειας προκαλεί θόρυβο στην δέσμη φωτός



**Διάγραμμα 43:** Διάχυση ακτίνας λέιζερ και δημιουργία θορύβου. Πηγή: (Κλεψύδρα, 2006)



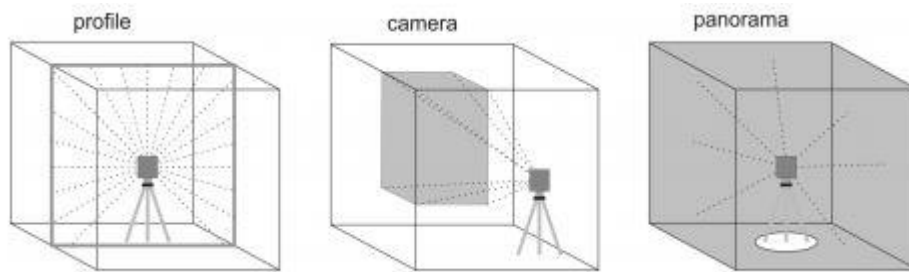
**Διάγραμμα 44:** Τρόποι αντανάκλασης δέσμης φωτός Πηγή: (Κλεψύδρα, 2006)

## 4.9 Κατηγοριοποίηση Σαρωτών Laser

Σημαντικό χαρακτηριστικό των επίγειων σαρωτών λέιζερ είναι το οπτικό πεδίο καθώς είναι ένα μεμονωμένο χαρακτηριστικό για κάθε τύπο επίγειου σαρωτή λέιζερ. Το οπτικό πεδίο εξαρτάται από τη μονάδα εκτροπής της δέσμης laser. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες σαρωτών και ταξινομούνται με το οπτικό πεδίο (Πηγή: Zogg, Hans-Martin, 2008)

- **Υβριδικός σαρωτής (Hybrid scanner):** Μπορεί να επιστραφεί γύρω από τον κάθετο άξονα επιτρέποντας τον να εκτελεί σάρωση 360° όμως με περιορισμένο κατακόρυφο οπτικό πεδίο.

- **Πανοραμικός σαρωτής (Panorama scanner):** Το οπτικό πεδίο περιορίζεται μόνο από το όργανο και τον τρίποδα. Έχει την δυνατότητα σάρωσης ενός αντικειμένου με οριζόντιο οπτικό πεδίο 360° και το κατακόρυφο οπτικό πεδίο περιορίζεται στις 310° περίπου λόγω αυτό-κάλυψης.
- **Σαρωτής κάμερας (camera scanner):** Το οπτικό πεδίο του είναι περιορισμένο οριζόντια και κάθετα, παρόμοιο με των φωτογραφικών μηχανών. Ένα τυπικό οπτικό πεδίο σάρωσης έχει 40° x 40° περίπου.



**Διάγραμμα 45:** Διαφορετικοί τύποι σαρωτών λέιζερ. Πηγή: Zogg, Hans-Martin, 2008)

## 5 Συλλογή Δεδομένων με την χρήση laser

Στην επιλογή της μεθοδολογίας της αποτύπωσης λαμβάνονται υπόψη:

- η προσβασιμότητα,
- η τοποθεσία,
- τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου,
- ο διαθέσιμος εξοπλισμός,
- οι προδιαγραφές ακριβείας,
- το χρονικό διάστημα
- και οι απαιτήσεις του προϊόντος.

Η ενότητα έχει ως στόχο την ανάλυση των διαδικασιών που πραγματοποιήθηκαν με σειρά για την συλλογή των δεδομένων και των εργασιών. Στα επόμενα υποκεφάλαια περιγράφονται τα στοιχεία του σπηλαίου και αναλύεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.



## 5.1 Θέση του Σπηλαιίου

Η Μονή Άγιου Γεωργίου των Σπηλαίων βρίσκεται δυτικά της επαρχίας Λεμεσού ανάμεσα σε τρεις κοινότητες την Ερήμη, το Κολόσσι και τον Ύψωνα. Η Μονή είναι ένα ασυνήθιστο και ιδιαίτερα μεγαλοπρεπές μοναστήρι, αφού δημιουργήθηκε γύρω από μια μεγάλη σπηλιά. Το σπήλαιο είναι γνωστό σε όλους τους ντόπιους αλλά και σε πολλούς ανθρώπους των γύρω περιοχών ως «το σπήλαιο τ' Αϊ Γιωρκού». Ιδιαίτερα γνωστό είναι στους ανθρώπους που τα κτήματα τους γειτονεύουν, αφού η σχέση τους είναι πρακτική διότι μερικά μέτρα βόρεια του σπηλαιίου υπάρχει «Το βρυσί του Αϊ Γιωρκού». Συγκεκριμένα υπάρχει μια πηγή με κρύο νερό το οποίο είναι γνωστό ως αγίασμα.



Διάγραμμα 46: Θέση του σπηλαιίου Αγίου Γεωργίου

## 5.2 Ιστορικά Στοιχεία του Σπηλαιίου

Οι κάτοικοι της περιοχής διατηρούσαν εικονίσματα στο σπήλαιο και καντήλια έτσι ώστε να προσεύχονται και να εναποθέτουν τον πόνο τους στον Άγιο Μεγαλομάρτυρα και Τροπαιοφόρο Γεώργιο. Με τις εργασίες ανατύπωσης της Μονής του Άγιου Γεωργίου εντοπίστηκαν κάποια ευρήματα, όπως ο σταυρός, η λειψανοθήκη, θραύσματα από αγγεία, νομίσματα και άλλα που δηλώνει πως ο χώρος χρησιμοποιήθηκε από μοναχούς και

ασκητές, γύρω στον 10ο-11ο αιώνα. Το σπήλαιο αυτό επιλέχθηκε από τους ασκητές και ερημίτες καθώς ήταν απομονωμένο, ερημικό και μεγάλο σε μέγεθος. Μετά την απομάκρυνση των χωμάτων διαπιστώθηκε πως στο βάθος υπήρχε δάπεδο και κόγχη λαξευτή από ανθρώπινο χέρι, μαρτυρώντας την ύπαρξη παλαιότερου ναού. Επιπλέον, μέσα στο σπήλαιο βρέθηκαν λαξεύματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή κρασιού. Σήμερα στο σπήλαιο τελούνται ακολουθίες όλο τον χρόνο ενώ με ιδιαίτερους πανηγυρισμούς γιορτάζονται οι μέρες δοξάσεις του Αγίου Γεωργίου, δηλαδή στις 23 Απριλίου και στις 23 Νοεμβρίου. Η επίσημη καταγραφή του σπηλαίου από το Κτηματολόγιο είναι «Σπήλαιο του Αγίου Γεωργίου».

### 5.3 Εσωτερικός Διάκοσμος

Περιφερειακά του σπηλαίου ξεκίνησαν τα έργα για τη δημιουργία και μετατροπή της περιοχής σε μοναστήρι. Επίσης, στο εσωτερικό του σπηλαίου τοποθετήθηκε ξύλινη περίφραξη γύρω από το κέντρο διότι υπάρχει μεγάλη διαφορά ύψους (Διάγραμμα 47) και μέσα στο σπήλαιο τοποθετήθηκαν σκάμνοι (και καρέκλες), παγκάρι και Αγία Τράπεζα, δημιουργώντας το σπήλαιο προσιτό χώρο για τους πιστούς (Διάγραμμα 48). Ακόμη, τοποθετήθηκαν μικροί πολυέλαιοι με κεριά γιατί στο βάθος του σπηλαίου ο φωτισμός είναι ανεπαρκής. Οι κάτοικοι της κοινότητας διατήρησαν τα εικονίσματα στο Σπήλαιο (Διάγραμμα 48).



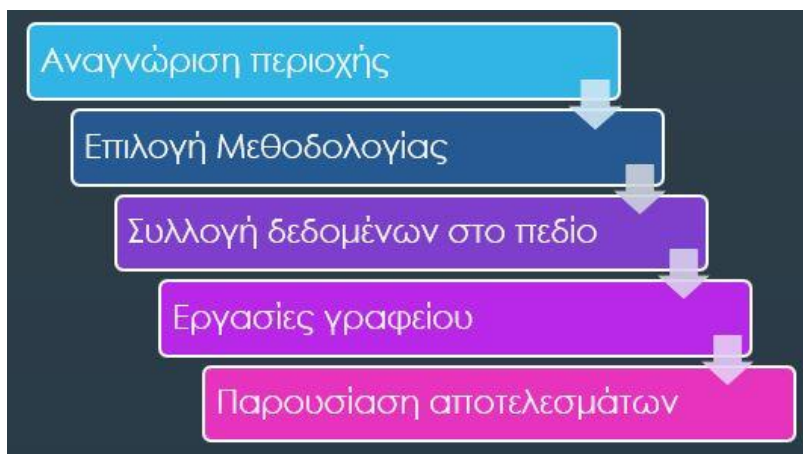
**Διάγραμμα 47:** Ξύλινη περίφραξη



**Διάγραμμα 48:** Εσωτερικός χώρος Σπηλαίου

## 5.4 Διαδικασία Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Αρχικά, πριν ξεκινήσει η μελέτη γίνεται μια συνοπτική μελέτη για την διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Ακολούθως, η αναγνώριση της περιοχής αποτελεί το πρώτο στάδιο για την αποτύπωση των σπηλαίων-μνημείων καθώς και είναι σημαντικό για οποιασδήποτε άλλη εργασία, αφού δίνει την καλή γνώση του αντικειμένου της μελέτης. Η πρώτη επίσκεψη στην περιοχή γίνεται για την αντίληψη των απαιτήσεων του χώρου, έτσι ώστε να υπάρχει σωστός προγραμματισμός των εργασιών. Άρα, απαιτείται μια ολοκληρωμένη αναγνώριση της περιοχής μελέτης για αποφυγή λαθών και για την καλή οργάνωση των εργασιών. Εκτός αυτού, το επόμενο στάδιο της διαδικασίας περιλαμβάνει την επιλογή μεθοδολογίας, η οποία γίνεται με τα κριτήρια της κάθε μελέτης και αποτελεί σημαντικό κομμάτι της μελέτης. Επομένως, οι εργασίες πεδίου περιλαμβάνουν την διαδικασία συλλογής δεδομένων με τον απαραίτητο εξοπλισμό και διαδικασία μετρήσεων. Επίσης, οι εργασίες γραφείου αποτελούνται από την εξαγωγή των δεδομένων καθώς και την επεξεργασία τους. Τέλος, γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.



**Διάγραμμα 49:** Διαδικασία Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

## 5.5 Επιλογή Μεθοδολογίας

Επομένως, από όσα αναφέρθηκαν είναι ξεκάθαρο ότι η επιλογή της μεθοδολογικής τεκμηρίωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, ανάλογα με τον σκοπό της μελέτης, την κλίμακα και την σχέση κόστους, χρόνου και ακρίβειας.

**Πίνακας 4:** Ποσοστό Συμμετοχής Μεθόδων στην Αποτύπωση Μνημείων

<i>Είδος αποτύπωσης</i>	<b>Κλίμακα απόδοσης</b>	<b>Ποσοστό συμμετοχής της κάθε μεθόδου (%)</b>		
		Τοπομετρική	Τοπογραφική	Επίγεια Φωτογραμμετρία
<i>Χαρτογράφηση συσχέτιση και εντοπισμός μνημείων και συνόλων με το γεωγραφικό χώρο</i>	1:50 000 – 1:20 000	-	10	-
<i>Συσχέτιση μνημείων με το περιβάλλοντα χώρο</i>	1:10 000 – 1:5 000	10	20	0
<i>Συσχέτιση στοιχείων με το εγγύς περιβάλλον</i>	1:5 000 – 1:500	10	90	-
<i>Αντίληψη μνημείων, συσχέτιση με άμεσο περιβάλλον</i>	1:500 – 1:100	20	30	50
<i>Λεπτομερειακή γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων</i>	1:50 – 1:20	5	15	80
<i>Αντικείμενο τέχνης μεγέθυνσης</i>	1:10 – 5:1	3	7	90

Πηγή: STAIGER, 2003

Στην συγκεκριμένη μελέτη οι κλασικές μέθοδοι εκτός του ότι δεν θα έδιναν όγκο πληροφορίας για το συγκεκριμένο αντικείμενο θα ήταν πολύ χρονοβόρα. Η μέθοδος γεωμετρικής τεκμηρίωσης, του σπηλαίου του Αγίου Γεωργίου στην Ερήμη, ήταν με την χρήση του Laser Scanner,. Η επιλογή της μεθοδολογίας έγινε με βάση των χαρακτηριστικών του σπηλαίου προς αποτύπωση. Είναι φανερό ότι η επιλογή της μεθόδου αποτύπωσης βελτιστοποιεί τη σχέση μεταξύ ακρίβειας, χρόνου και κόστους ενώ και για την εξαγωγή των συμπερασμάτων και για την εκτίμηση της παθολογίας. Εξαρτάται από το είδος του αντικειμένου προς αποτύπωση και την προσβασιμότητα του.

## **5.6 Εργασίες Πεδίου**

Με βάση την επιλογή της μεθοδολογίας αποτύπωσης του σπηλαίου, η χρήση του εξοπλισμού ήταν το laser scanner για την συλλογή δεδομένων. Σε αυτή την ενότητα αναφέρεται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά και οι προδιαγραφές του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία της υπαίθρου καθώς και η διαδικασία συλλογής δεδομένων στο πεδίο.

### **5.6.1 Εξοπλισμός**

Για την μελέτη στο σπήλαιο του Αγίου Γεωργίου χρησιμοποιήθηκε το ScanStation C10. Το σύστημα περιλαμβάνει εκτός από τον σαρωτή και τις μπαταρίες με τροφοδοτικό, τα καλώδια επικοινωνίας και τρικόχλιο. Το ScanStation C10 είναι εύχρηστο και προσφέρει ακρίβεια. Ο σαρωτής έχει παλλόμενο λέιζερ δηλαδή τεχνολογίας Time of Flight, με πράσινο κλάσης 3R laser. Επίσης, το όργανο ανήκει στους πανοραμικούς σαρωτές, έχει την δυνατότητα αποτύπωσης 270 μοιρών κατά τον κατακόρυφο άξονα με την βοήθεια των δύο κινούμενων κατόπτρων. Η ακρίβεια μιας μέτρησης είναι 6mm και 4mm ως προς την θέση και την απόσταση με εμβέλεια 1m μέχρι και 50m και η γωνιακή ανάλυση είναι 60mrad. Υπάρχει ενσωματωμένη έγχρωμη ψηφιακή κάμερα με υψηλή ανάλυση 4megapixels με zoom video. Το κέντρο εκπομπής της δέσμης λέιζερ ταυτίζεται με το κέντρο της κάμερας. Επίσης, έχει την δυνατότητα να φωτογραφίζει και να αποδίδει χρωματική υφή από την κάμερα στο νέφος σημείων. Ο σαρωτής διαθέτει ενσωματωμένο σκληρό δίσκο χωρητικότητας 80 για την αποθήκευση των μετρήσεων καθώς και θύρα USB για την μεταφορά των δεδομένων. Το μέγεθος της κουκίδας λέιζερ είναι 4,5mm στα 50m, με ρυθμό σάρωσης 50.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο και με ελάχιστη εστίαση το

πολύ 1 μέτρο, ενώ η εμβέλεια είναι έως 300 μέτρα. Επιπλέον, έχει την δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης και σάρωσης στόχων με υψηλή ανάλυση. Εκτός αυτού, ο σαρωτής μπορεί να πραγματοποιήσει όδευση χωρίς τη χρήση waypoints και η δυνατότητα συνεργασίας με τα τοπογραφικά όργανα (δηλαδή σάρωση με GPS). Ο αναλυτικός πίνακας με όλα τα χαρακτηριστικά του ScanStation είναι στο παράρτημα II. Χαρακτηριστικά Leica ScanStation C10.



#### **Διάγραμμα 50:** Leica ScanStation C10

Για την τοποθέτηση και οριζοντίωση του σαρωτή χρησιμοποιήθηκε ο ξύλινος τρίποδας μάρκας Leica. Οι τρίποδες χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση του εξοπλισμού και τα πόδια τους είναι μεταβλητού μεγέθους ώστε να διευκολύνεται η οριζοντίωση του οργάνου.



#### **Διάγραμμα 51:** Ξύλινος Τρίποδας

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τρεις σταθεροί στόχοι με διάμετρο 3in και 6in. Οι στόχοι πρέπει να έχουν την δυνατότητα πλήρους κίνησης του άνω μέρους τους, τόσο στον οριζόντιο άξονα (εύρος 360°), όσο και στον κατακόρυφο άξονα (εύρος 360°), για την μη μετατόπιση τους από την θέση αλλά την περιστροφή του προς τον σαρωτή για την

εξασφάλιση ενός ενιαίου συνόλου σάρωσης. Οι στόχοι είναι συγκεκριμένων διαστάσεων, ειδικοί για κάθε όργανο και το υλικό κατασκευής τους είναι με μεγάλη ανακλαστικότητα.

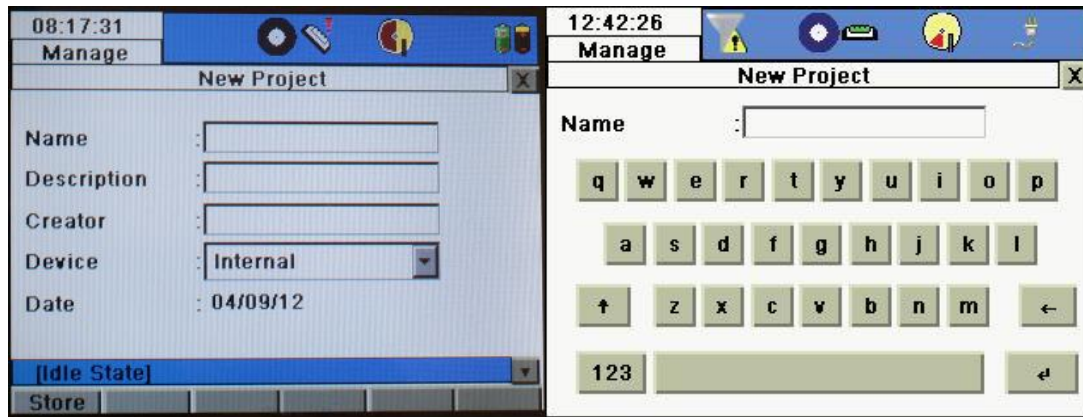


**Διάγραμμα 52:** Σταθεροί Στόχοι 3 in

### **5.6.2 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων Πεδίου**

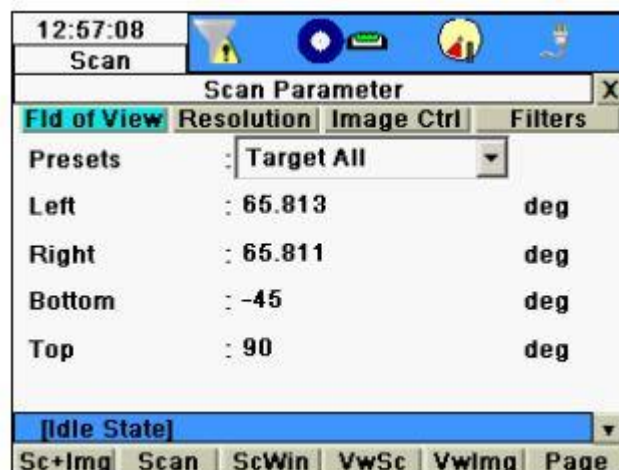
Στην ενότητα αυτή γίνεται πλήρης αναφορά για την εργασία που πραγματοποιήθηκε στο πεδίο. Εξετάζοντας την περιοχή στο σπήλαιο επιλέχθηκαν οι στάσεις (Διάγραμμα 55) στις οποίες τοποθετήθηκε ο σαρωτής, με τρόπο ώστε να επικαλύψει όλη την περιοχή. Ολοκληρώνοντας το πρώτο πράγμα, η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την σάρωση του σπηλαίου με το laser scanner είναι η εξής:

1. Οριζοντίωση και προσανατολισμός του οργάνου
2. Αρχικά, αφού ανοίξαμε το laser scanner δημιουργήσαμε ένα νέο φάκελο πατώντας manage → στο Projects πατάμε New (κάτω αριστερά στην οθόνη)→ βάζουμε το όνομα στο πεδίο Name και πατάμε store για την ολοκλήρωση.



**Διάγραμμα 53:** Οθόνη του Scanstation για την δημιουργία new project.

3. Έγινε τοποθέτηση των τριών στόχων έξω από το σπήλαιο από κάθε πλευρά του χώρου (Διάγραμμα 52).
4. Στη συνέχεια, γίνεται σκόπευση των κάθε στόχων επιλέγοντας τις ίντσες του στόχου
5. Ακολούθως, για να ξεκινήσουμε την διαδικασία σκαναρίσματος, πατάμε count (continue) το οποίο βγάζει στην αρχική οθόνη (Main Menu) και πατάμε την εντολή scan.



**Διάγραμμα 54:** Οθόνη του Scanstation για scan.

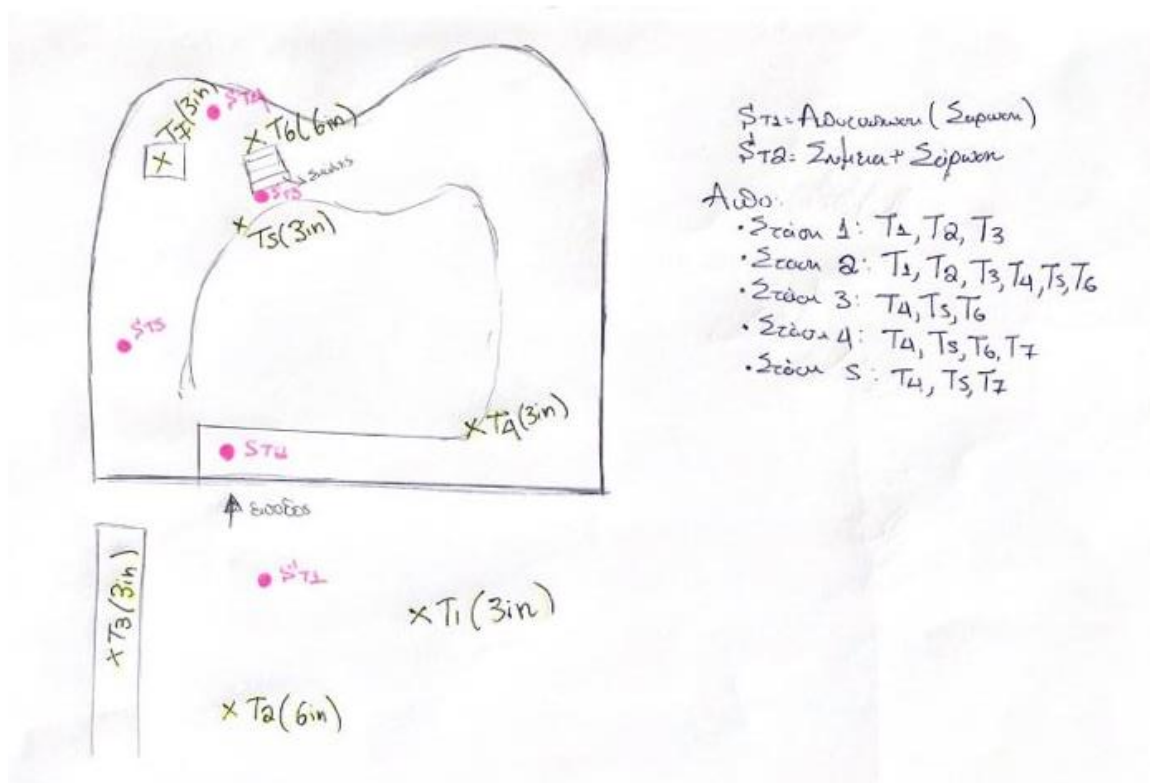
6. Αφού ολοκληρωθεί η πρώτη στάση τοποθετούμε το ScanStation στη δεύτερη στάση που τοποθετήθηκε στην είσοδο του σπηλαίου και μετράμε τους τρεις στόχους από εκεί που έχουν τοποθετηθεί χωρίς να τους μετακινήσουμε (T1, T2, T3). Ακολούθως, τοποθετήθηκαν ακόμα τρεις στόχοι μέσα στο σπήλαιο (T4, T5, T6) και στην συνέχεια το scan.



7. Τέλος, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με το σημείο 6 για τις επόμενες τρεις στάσεις και προστέθηκε ακόμα ένας στόχος (T7) στην τέταρτη στάση (ST4).

Ενώ γινόταν η διαδικασία όπου πάρθηκαν χειρόγραφες σημειώσεις (σκαρίφημα) το οποίο φαίνεται πιο κάτω το συνολικό σχεδιάγραμμα (Διάγραμμα 55). Τα εξής ονόματα είναι:

- T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7= Target (Σταθεροί Στόχοι), με σύμβολο (x)
- ST1= Αποτύπωση (Σάρωση), με σύμβολο (●)
- ST2, ST3, ST4, ST5= Πρώτο γίνεται μέτρηση των σημείων και μετά η σάρωση, με σύμβολο (●)



**Διάγραμμα 55:** Τελικό σχεδιάγραμμα στην ύπαιθρο.

## Συμπεράσματα

Η γνώση των χαρακτηριστικών των σαρωτών laser, των πλεονεκτημάτων αλλά και των μειονεκτημάτων είναι βασικό στοιχείο για την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της με επιστημονικό τρόπο. Μέσα από την μελέτη διαπιστώθηκαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της αποτύπωσης με τον επίγειο σαρωτή λέιζερ όπως και παρουσιάζονται.

Η μέθοδος με τον επίγειο σαρωτή laser αποτελεί ένα σημαντικό αποτελεσματικό τρόπο συλλογής, ανάλυσης, συσχέτισης και χρήσης των δεδομένων. Το τελευταίο στάδιο είναι οι εργασίες γραφείου, που πραγματοποιείται με την συσχέτιση και χρήση δεδομένων. Αφού πρώτα κατεβάσουμε τα δεδομένα από τον σαρωτή, γίνεται η επεξεργασία τους μέχρι και τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου. Επίσης, η μέθοδος με τον επίγειο σαρωτή laser δίνει αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας και αξιοπιστίας. Ακόμη, οι ώρες στην ύπαιθρο είναι λίγες και περισσότερες στο γραφείο για την επεξεργασία των δεδομένων. Ο επίγειος σαρωτής είναι εξοπλισμός ακριβού κόστους που αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα για την αγορά του από ένα μέσο μηχανικό. Το όργανο είναι εύκολο στη χρήση του με αυτοματοποιημένες διαδικασίες και η παραμονή στο πεδίο είναι μικρή σε σύγκριση με τον όγκο και την ακρίβεια της πληροφορίας που συλλέγει.

Άρα συγκρίνοντάς το με τις άλλες μεθόδους αποτύπωσης είναι ξεκάθαρο ότι ο χρόνος και το κόστος εργασιών στο πεδίο είναι μικρότερος αλλά και στο γραφείο ίσος ή μεγαλύτερος. Το κόστος των εργασιών στο πεδίο είναι μικρό αλλά το κόστος εξοπλισμού είναι αρκετά μεγαλύτερο. Επίσης, το γεγονός ότι οι σαρωτές laser έχουν την δυνατότητα της σάρωσης εκατοντάδων διαφορετικών σημείων μέτρησης στο ίδιο χρονικό διάστημα, το καθιστά ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της. Επιπρόσθετα, δεν εμφανίζονται τα σφάλματα της κλασικής τοπογραφίας, για παράδειγμα το ύψος στόχου ή η σταθερότητα πρίσματος.

Οι εφαρμογές laser απασχόλησαν πολλούς τομείς που ασχολούνται με αποτυπώσεις, καθώς υπάρχουν διάφοροι λόγοι για αυτή την απόφαση. Ένας από τους λόγους είναι ότι τα 3D προϊόντα καθίστανται πιο 'ελκυστικά' στον αγοραστή και δίνουν αρκετή πληροφορία. Συνεπώς, το τελικό κόστος εργασιών αποτύπωσης και επεξεργασίας είναι χαμηλό. Ακόμη, ιδιαίτερα σημαντική είναι η ανάπτυξη των σαρωτών με εύχρηστες δυνατότητες επεξεργασίας των νεφών σημείων. Αποδεικνύεται ότι οι μέθοδοι αποτύπωσης με σαρωτές laser αναπτύσσονται και σε άλλους τομείς (ρομποτική, εφαρμογές στην

ιατρική, βιομηχανίας, αποτυπώσεις πολύ μικρών αντικειμένων), εκτός από τις κλασικές μεθόδους.

## **ΕΠΙΛΟΓΟΣ**

Ο βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής μελέτης ήταν η βιβλιογραφική ανασκόπηση των διεθνών οργανισμών, συμβάσεων και των μεθόδων γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Εκτός αυτού, ήταν η ορθή αντίληψη και κατανόηση της μεθόδου σάρωσης με laser. Επίσης, ήταν η εφαρμογή του επίγειου σαρωτή στην περιοχή του Αγίου Γεωργίου στην Ερήμη, όπως και η επεξεργασία των δεδομένων. Έπειτα, στόχος ήταν και η άμεση επαφή και γνωριμία για την διεξαγωγή της μελέτης στο πεδίο. Η εφαρμογή των δεδομένων θα πραγματοποιηθεί στο μέλλον.

Όπως διακρίνεται στην παρούσα ερευνά, η ραγδαία εξέλιξη αποτέλεσε τα τελευταία χρόνια μεγάλο ενδιαφέρον σε πολλούς διαφορετικούς τομείς για την διαδικασία τρισδιάστατης σάρωσης, προκειμένου να ερευνηθεί και να μελετηθεί η πολυπλοκότητα αντικειμένων. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια σύγχρονη, σε παγκόσμιο επίπεδο, μέθοδο. Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση και παρουσίαση των μνημείων είναι περίπλοκη διαδικασία, γιατί απαιτεί ακρίβεια και λεπτομέρεια.

Η χρήση του τρισδιάστατου σαρωτή laser αποτελεί μια εναλλακτική μεθοδολογία, αλλά δεν πρέπει να αντικαταστήσει τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης. Αποτελεί πρόκληση και ανάγκη ο συνδυασμός των μεθόδων για την εκτέλεση σύνθετων και ολοκληρωμένων εργασιών μέτρησης και απόδοσης τρισδιάστατης απεικόνισης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Α. Γεωργόπουλος, Ε. Άγα, Ε. Λάμπρου, Χ. Ιωαννίδης, Γ.Ν. Μακρής, Γ. Πανταζής,. 2012. eCourse Αποτυπώσεις Μνημείων,. eCourse Αποτυπώσεις Μνημείων. [Ηλεκτρονικό] ΕΜΠ Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, 2012. [Παραπομπή: 02 05 2019.] [http://ecourses.dbnet.ntua.gr/el/apotygvseis\\_mnhmeivn/ekpaideytiko\\_yliko.html](http://ecourses.dbnet.ntua.gr/el/apotygvseis_mnhmeivn/ekpaideytiko_yliko.html).
- Αποστολόπουλος, Β. Ν. (2010, Ιούνιος). Υπολογισμός της υπερεκσκαφής στο μέτωπο σήραγγας με τη χρήση επίγειου σαρωτή laser – Εφαρμογή στην υπό διάνοιξη σήραγγα Τεμπών Τ1. Αθήνα, Ελλάδα.
- Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών (), (1964). Χάρτα της Βενετίας. Βενετία.
- Ινστιτούτο Πολιτιστικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (2005), “Εγχειρίδιο τρισδιάστατης ψηφιοποίησης ακίνητων μνημείων και χώρων”, DIGITECH III: Μελέτη τεχνολογιών ψηφιοποίησης σε τρεις διαστάσεις.
- ΚΛΕΨΥΔΡΑ. (2006). ΚΛΕΨΥΔΡΑ. Retrieved 03 24, 2011, from: Σαρωτές τριγωνισμού με ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων: <http://clepsydra.ipet.gr/>
- Μηχανικών, Αθήνα, Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Παττιάς Π, 1991, Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία, Εκδόσεις Ζητη.
- Πρόκος Α., 2012, «Δημιουργία Φωτογραμμετρικού Σαρωτή Laser με Χρήση Πρόσθετων Γεωμετρικών Δεσμεύσεων. Διδακτορική Διατριβή», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.
- Σταθοπούλου Ε., 2011, «Τρισδιάστατα Μοντέλα Αρχιτεκτονικά Σύνθετων Αντικειμένων. Διπλωματική Εργασία», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων
- "Χάρτης της Βενετίας – Τεκμηρίωση και Δημοσιεύσεις (άρ. 16) - Charta von Venedig." (2020). Charta-von-venedig.de, <[76](http://www.charta-von-venedig.de/%CF%87%CE%AC%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%82-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B2%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%84%CE%AF%CE%B1%CF%82_%CF%84%CE%B5%CE%BA%CE%BC%CE%B7%CF%81%CE%AF%CF%89%CF%83%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-</a></p></div><div data-bbox=)

%CE%B4%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CF%83%CE%B9%CE%B5%CF%8D%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82\_%CE%AC%CF%81.16\_%CE%B5%CE%BB%CE%B B%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC.html> (May 22, 2020).

Al-kheder,S., Al-shawabkeh, Y. Haala, N., 2009. Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry. Journal of Archaeological Science 36:537–546.:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440308002513>

Angelopoulou E.& Jhon R. Wright Jr (1999). Laser Scanner Technology. Pennsylvania: University of Pennsylvania.

"CYPRUS NATIONAL COMMISSION FOR UNESCO - Παγκόσμια Κληρονομιά της Κύπρου." (2020). Unesco.org.cy, <[http://www.unesco.org.cy/Programmes-Pagkosmia\\_Klironomia\\_tis\\_Kyproy,GR-PROGRAMMES-04-01-03,GR](http://www.unesco.org.cy/Programmes-Pagkosmia_Klironomia_tis_Kyproy,GR-PROGRAMMES-04-01-03,GR)> (May 22, 2020).

"Development of the 3D dome model based on a terrestrial laser scanner | Emerald Insight." (2020). Emerald.com, <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJBPA-05-2017-0024/full/html#abstract>> (May 22, 2020).

(2020). Eap.gr, <[https://www.eap.gr/images/stories/pdf/3d\\_sarotes.pdf](https://www.eap.gr/images/stories/pdf/3d_sarotes.pdf)> (May 22, 2020).

"Home - International Council on Monuments and Sites." (2020). Icomos.org, <<https://www.icomos.org/en>> (May 22, 2020).

"ICOMOS International Scientific Committee on Archaeological Heritage Management – ICOMOS International Scientific Committee on Archaeological Heritage Management." (2020). Icahm.icomos.org, <<http://icahm.icomos.org/>> (May 22, 2020).

Kraus, K., 2000. Photogrammetry, Volume 1: Fundamentals and Standard Processes. 4th ed., Köln: Dümmler.

Leica, G. (2009.). Leica TPS1200+ Series. Retrieved 12 20, 10, from [http://www.leicageosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochuresdatasheet/Leica\\_TPS1200+\\_TechnicalData\\_en.pdf](http://www.leicageosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochuresdatasheet/Leica_TPS1200+_TechnicalData_en.pdf)

Mikhail, E.M., Bethel, J.S. and McGlone, J.C., 2001. Introduction to Modern Photogrammetry. New York: John Wiley & Sons.

(2020).Repository.kallipos.gr,<[https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/5373/1/01\\_chapter\\_01.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/5373/1/01_chapter_01.pdf)> (May 22, 2020).

STAIGER, R. (2003, December 2). Terrestrial laser scanning Technology, Systems and Applications. 2nd FIG Regional Conference, (p. 10). Marrakech, Morocco.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2019. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. UNESCO. [Ηλεκτρονικό] 02 2019.

(2020).<[https://www.researchgate.net/publication/277296138\\_ARCHITECTURAL\\_PHOTOGRAMMETRY\\_Basic\\_theory\\_Procedures\\_Tools/download](https://www.researchgate.net/publication/277296138_ARCHITECTURAL_PHOTOGRAMMETRY_Basic_theory_Procedures_Tools/download)> (May 22, 2020).

(2020).<[https://www.researchgate.net/publication/296197123\\_E\\_chorotaxia\\_tes\\_mnemeiakas\\_politistikes\\_kleronomias\\_kateuthynseis\\_schediasmou\\_se\\_ethniko\\_kai\\_periphereiako\\_epipedo](https://www.researchgate.net/publication/296197123_E_chorotaxia_tes_mnemeiakas_politistikes_kleronomias_kateuthynseis_schediasmou_se_ethniko_kai_periphereiako_epipedo)> (May 22, 2020).

(2020). <[http://www.unesco-hellas.gr/gr/1\\_1.htm](http://www.unesco-hellas.gr/gr/1_1.htm).> (May 22, 2020).

(2020). <[https://www.youtube.com/watch?v=\\_m5-b7AEygg](https://www.youtube.com/watch?v=_m5-b7AEygg)> (May 22, 2020).

"Untitled Page." (2020). Icomos.org.cy, <[http://icomos.org.cy/files/6314/4051/3503/Venice\\_Chart\\_1964.pdf](http://icomos.org.cy/files/6314/4051/3503/Venice_Chart_1964.pdf)> (May 22, 2020).

W3.leica-geosystems.com,<[https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochuresdatasheet/Leica\\_ScanStation\\_C10\\_DS\\_en.pdf](https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochuresdatasheet/Leica_ScanStation_C10_DS_en.pdf)> (May 22, 2020).

Zogg, H. (2020). "Investigations of High Precision Terrestrial Laser Scanning with Emphasis on the Development of a Robust Close-Range 3D-Laser Scanning System". Research-collection.ethz.ch, <<https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/10985>> (May 22, 2020).

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### I. Διεθνείς Συμβάσεις

Πιο κάτω αναγράφονται με χρονολογική σειρά οι βασικότερες διεθνείς συμβάσεις:

- Η Χάρτα των Αθηνών (CIAM 1933)
- Η Χάρτα της Βενετίας (ICOMOS 1964)
- Η Διακήρυξη του Άμστερνταμ (Συμβούλιο της Ευρώπης 1975)
- Η Σύμβαση της Γρανάδας για την προστασία της Ευρωπαϊκής Αρχιτεκτονικής κληρονομιάς (Συμβούλιο της Ευρώπης 1985)
- Η Χάρτα της Ουάσιγκτον για την προστασία των Ιστορικών πόλεων (ICOMOS 1987)
- Η Χάρτα της Burra (ICOMOS Αυστραλίας 1979, 1981, 1988)
- Το κείμενο της Νάρα για την Αυθεντικότητα (ICOMOS Ιάπωνας 1994)
- Η Δήλωση του Σαν Αντόνιο (ICOMOS Αμερικής 1996)
- Η Χάρτα για την Ανάλυση, Συντήρηση και Δομική Αποκατάσταση της Αρχιτεκτονικής κληρονομιάς (ICOMOS 2003)

### ΧΑΡΤΑ ΒΕΝΕΤΙΑΣ

Ο Χάρτης της Βενετίας αποτελεί ένα από τους βασικότερους θεσμούς που περιέχει τις κατευθυντήριες αρχές για την θεωρία και κυρίως την πράξη της Αποκατάστασης και της Συντήρησης κάθε είδους Μνημείων.

#### Ορισμοί

**Άρθρο 1.** Η έννοια ενός ιστορικού μνημείου δεν καλύπτει μόνο το μεμονωμένο αρχιτεκτονικό έργο αλλά και την αστική ή την αγροτική τοποθεσία που μαρτυρεί ένα ιδιαίτερο πολιτισμό μια ενδεικτική εξέλιξη ή ένα ιστορικό γεγονός. Αυτό ισχύει όχι μόνο για τις μεγάλες δημιουργίες αλλά και για τα ταπεινά έργα που με τον καιρό απέκτησαν πολιτιστική σημασία

**Άρθρο 2.** Η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων, αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο ο οποίος πρέπει να αποτείνεται στην συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της μνημειακής κληρονομιάς.

## Στόχος

**Άρθρο 3.** Η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων αποσκοπούν να τα διασώσουν τόσο σαν έργα τέχνης όσο και σαν ιστορικές μαρτυρίες.

**Άρθρο 4.** Η συντήρηση των μνημείων έχει σαν πρωταρχική απαίτηση τη συνεχή και μόνιμη φροντίδα για την διατήρησή τους.

**Άρθρο 5.** Η συντήρηση των μνημείων ευνοείται πάντοτε από την καταλληλότητα τους να χρησιμοποιηθούν για κάποιο σκοπό ωφέλιμο στην κοινωνία. Μια τέτοια χρησιμοποίηση είναι επιθυμητή, αλλά δεν πρέπει να αλλάζουν την διάρθρωση ή την διακόσμηση των κτιρίων. Οι διαρρυθμίσεις που επιβάλλει η αλλαγή της λειτουργίας τους από νέες χρήσεις πρέπει να αντιμετωπίζονται και ενδεχομένως να επιτρέπονται μέσα σε αυτά τα όρια.

**Άρθρο 6.** Η συντήρηση ενός μνημείου συνεπάγεται την διατήρηση του άμεσου περιβάλλοντος, στην κλίμακα του. Αν το παραδοσιακό πλαίσιο δεν έχει εξαφανισθεί, έχουμε καθήκον να το διατηρήσουμε αλλά και ταυτόχρονα να αποκλείσουμε κάθε άλλη προσθήκη, κάθε κατεδάφιση και κάθε αλλαγή που θα μπορούσε να αλλάξει τις σχέσεις των όγκων και των χρωμάτων.

**Άρθρο 7.** Το μνημείο είναι αναπόσπαστο από την ιστορική στιγμή που αντιπροσωπεύει και από τον χώρο που είναι τοποθετημένη. Επομένως η μετακίνηση του όλου ή τμήματος ενός μνημείου μπορεί να γίνει παραδεκτή μόνο αν επιβάλλεται από την ανάγκη διασώσεως του, ή δικαιολογείται από λόγους μεγάλης εθνικής ή διεθνούς σημασίας.

**Άρθρο 8.** Τα γλυπτικά ζωγραφικά ή διακοσμητικά στοιχεία που είναι αναπόσπαστα δεμένα με το μνημείο, δεν μπορούν να διαχωριστούν παρά μόνο αν το μέτρο αυτό είναι η μοναδική διέξοδος για να εξασφαλιστεί η διάσωση τους.

## Αποκατάσταση και Αναστύλωση

**Άρθρο 9.** Η διαδικασία της αποκαταστάσεως είναι μια επέμβαση υψηλής εξειδίκευσης που επιβάλλεται να γίνεται καθ' εξαίρεση. Έχει σαν στόχο να διατηρήσει και να αποκαλύψει τις ιστορικές και αισθητικές αξίες του μνημείου και βασίζεται στον σεβασμό προς την αρχική του υπόσταση και τα αυθεντικά του στοιχεία. Σταματάει στο σημείο που αρχίζουν να υπάρχουν υποθέσεις. Πέρα από αυτό το σημείο, οποιαδήποτε εργασία που ενδεχομένως θα θεωρηθεί απαραίτητη για τεχνικούς ή αισθητικούς λόγους, θα πρέπει να διαχωρίζεται από την αρχική αρχιτεκτονική σύνθεση και να φέρνει την σφραγίδα της



εποχής μας. Σε όλες τις περιπτώσεις η αρχαιολογική μελέτη θα προηγείται της αποκατάστασης και θα την ακολουθεί.

**Άρθρο 10.** Όταν οι παραδοσιακές τεχνικές αποδεικνύονται ανεπαρκείς, η στερέωση ενός μνημείου μπορεί να εξασφαλιστεί με την προσφυγή σε όλες τις σύγχρονες τεχνικές συντηρήσεως και κατασκευές, που η αποτελεσματικότητα θα έχει αποδειχθεί από τα επιστημονικά δεδομένα και τις οποίες θα εγγυάται η πείρα της εφαρμογής τους.

**Άρθρο 11.** Οι αξιόλογες προσθήκες όλων των εποχών στη σημερινή υπόσταση ενός μνημείου πρέπει να γίνουν σεβαστές, γιατί σκοπός της αποκαταστάσεως του δεν είναι η ενότητα του αρχικού ρυθμού. Όταν ένα κτίριο φέρνει υπερκείμενες φάσεις διαφόρων εποχών, η επαναφορά στην αρχική του κατάσταση δεν δικαιολογείται παρά μόνο κατ' εξαίρεση. Αν, δηλαδή, τα στοιχεία που θα αφαιρεθούν έχουν πολύ μικρή σημασία και η σύνθεση που θα αποκαλυφθεί είναι μεγάλης ιστορικής, αρχαιολογικής ή αισθητικής αξίας κι ακόμη αν η κατάσταση της διατηρήσεως του μνημείου κριθεί αρκετά ικανοποιητική. Η κρίση σχετικά με την αξιολόγηση των μεταγενέστερων στοιχείων και η απόφαση για την απάλειψή τους, δεν θα πρέπει να εξαρτώνται μόνο από το άτομο που ανέλαβε την μελέτη του έργου.

**Άρθρο 12.** Τα στοιχεία που προορίζονται να αντικαταστήσουν τμήματα του μνημείου που έχουν καταστραφεί, πρέπει να ενσωματώνονται αρμονικά στο σύνολο, αλλά και να διακρίνονται από τα αυθεντικά μέρη, έτσι ώστε να μην πλαστογραφούνται τα καλλιτεχνικά και ιστορικά τεκμήρια του κτιρίου.

**Άρθρο 13.** Οι προσθήκες δεν μπορεί να γίνουν ανεκτές παρά μόνο αν σέβονται όλα τα ενδιαφέροντα μέρη του κτιρίου, το παραδοσιακό του πλαίσιο, την ισορροπία της συνθέσεως του και τις σχέσεις του με τον περιβάλλοντα χώρο.

#### Μνημειακά Σύνολα

**Άρθρο 14.** Τα μνημειακά σύνολα πρέπει να γίνουν αντικείμενο ειδικών φροντίδων για να σωθεί η ακεραιότητά τους και να εξασφαλισθεί η εξυγίανσή τους, η διαρρύθμιση και η αξιοποίηση τους. Οι εργασίες για την συντήρηση και την αποκατάστασή τους, πρέπει να εμπνέονται από τις αρχές που διατυπώνονται στα προηγούμενα άρθρα.

## Ανασκαφές

**Άρθρο 15.** Οι ανασκαφές πρέπει να γίνονται σύμφωνα με τους επιστημονικούς κανόνες και καθώς ορίζουν οι "συστάσεις για τους διεθνείς όρους που πρέπει να εφαρμόζονται στις αρχαιολογικές ανασκαφές" τις οποίες υιοθέτησε η UNESCO το 1956. Επιβάλλεται να γίνεται διευθέτηση των ερειπίων και να λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα για την συντήρηση και την μόνιμη προστασία των αρχιτεκτονικών στοιχείων και των ευρημάτων. Εξάλλου, θα είναι ευπρόσδεκτη κάθε πρωτοβουλία που θα διευκολύνει την κατανόηση του μνημείου χωρίς να παραμορφώνει την σημασία του. Ωστόσο, κάθε εργασία ανακατασκευής θα πρέπει να αποκλείεται εκ των προτέρων. Μόνο η αναστήλωση μπορεί να αντιμετωπισθεί, δηλαδή η ανασύνθεση μελών που σώθηκαν αλλά έχουν μετακινηθεί. Οι συμπληρώσεις όμως θα είναι πάντα αναγνωρίσιμες και θα αντιπροσωπεύουν το ελάχιστο που απαιτείται για να εξασφαλιστούν οι συνθήκες συντηρήσεως του μνημείου και να αποκατασταθεί η μορφολογική του συνέχεια.

## Τεκμηρίωση και δημοσιεύσεις

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

## II. Χαρακτηριστικά Leica ScanStation C10

# Leica ScanStation C10

## The All-in-One Laser Scanner for Any Application

See also  
ScanStation  
C10  
brochure!



### **New platform represents the most capabilities and best value packed into a single instrument**

#### **Leica ScanStation C10: new standard for pulsed scanners**

The industry's most popular class of laser scanner - ScanStation - is now in a compact, all-in-one ScanStation C10 platform: scanner, battery, controller, data storage, and video camera. In addition, ScanStation C10 also features major advances in productivity, versatility, and ease-of-use for as-built and topographic High-Definition Surveying™ (HDS™).

#### **All-in-one scanner capabilities for higher value**

ScanStation C10 gives users the advantage of high-accuracy, long range scanning plus the advantage of fast, full-dome interior scanning - all in one instrument. The key is the new Smart X-Mirror™ design that automatically spins or oscillates

the mirror for optimum productivity. Smart X-Mirror also automatically aligns the embedded, high-resolution video camera with the laser for fast targeting and fast, accurate texture mapping of scans.

#### **Full field-of-view + traverse + high accuracy + excellent range = Versatility**

ScanStation C10 includes the hallmark versatility features that have made the ScanStation class so popular. These capabilities let users take advantage of scanning for more applications and more sites, while minimizing field labor.

#### **Easy to learn**

ScanStation C10 includes surveyor-friendly, total station-like onboard graphic control, including the ability to view target scans in 3D. Users can also take advantage of laptop control for more comprehensive scan viewing.

# Leica ScanStation C10

## Product Specifications

General	
<b>Instrument type</b>	Compact, pulsed, dual-axis compensated, very high speed laser scanner, with survey-grade accuracy, range, and field-of-view; integrated camera and laser plummet
<b>User interface</b>	Onboard control, notebook, tablet PC or remote controller
<b>Data storage</b>	Integrated solid-state drive (SSD), external PC or external USB device
<b>Camera</b>	Auto-adjusting, integrated high-resolution digital camera with zoom video

System Performance	
<b>Accuracy of single measurement</b>	
Position*	6 mm
Distance*	4 mm
Angle (horizontal/vertical)	60 µrad / 60 µrad (12" / 12")
<b>Modeled surface precision**/noise</b>	2 mm
<b>Target acquisition***</b>	2 mm std. deviation
<b>Dual-axis compensator</b>	Selectable on/off, resolution 1", dynamic range +/- 5', accuracy 1.5"

Laser Scanning System	
<b>Type</b>	Pulsed; proprietary microchip
<b>Color</b>	Green, wavelength = 532 nm visible
<b>Laser Class</b>	3R (IEC 60825-1)
<b>Range</b>	300 m @ 90%; 134 m @ 18% albedo (minimum range 0.1 m)
<b>Scan rate</b>	Up to 50,000 points/sec, maximum instantaneous rate
<b>Scan resolution</b>	
Spot size	From 0 – 50 m: 4.5 mm (FWHM-based); 7 mm (Gaussian-based)
Point spacing	Fully selectable horizontal and vertical; <1 mm minimum spacing; through full range; single point dwell capacity

<b>Field-of-view</b>	
Horizontal	360° (maximum)
Vertical	270° (maximum)
Aiming/Sighting	Parallax-free, integrated zoom video
<b>Scanning Optics</b>	Vertically rotating mirror on horizontally rotating base; Smart X-Mirror™ automatically spins or oscillates for minimum scan time
<b>Data storage capacity</b>	80 GB onboard solid-state drive (SSD) or external USB device
<b>Communications</b>	Dynamic Internet Protocol (IP) Address, Ethernet or wireless LAN (WLAN) with external adapter
<b>Integrated color digital camera with zoom video</b>	Single 17° x 17° image; 1920 x 1920 pixels (4 megapixels) Full 360° x 270° dome; 260 images; streaming video with zoom; auto-adjusts to ambient lighting
<b>Onboard display</b>	Touchscreen control with stylus, full color graphic display, QVGA (320 x 240 pixels)
<b>Level indicator</b>	External bubble, electronic bubble in onboard control and Cyclone software
<b>Data transfer</b>	Ethernet, WLAN or USB 2.0 device
<b>Laser plummet</b>	Laser class: 2 (IEC 60825-1) Centering accuracy: 1.5 mm @ 1.5 m Laser dot diameter: 2.5 mm @ 1.5 m Selectable ON/OFF

Electrical	
<b>Power supply</b>	15 V DC, 90 – 260 V AC
<b>Power Consumption</b>	< 50 W avg.
<b>Battery Type</b>	Internal: Li-Ion; External: Li-Ion
<b>Power Ports</b>	Internal: 2, External: 1 (simultaneous use, hot swappable)
<b>Duration</b>	Internal: >3.5 h (2 batteries), External: >6 h (room temp)

Environmental	
<b>Operating temp.</b>	0° C to 40° C / 32° F to 104° F
<b>Storage temp.</b>	-25° C to +65° C / -13° F to 149° F
<b>Lighting</b>	Fully operational between bright sunlight and complete darkness
<b>Humidity</b>	Non-condensing
<b>Dust/humidity</b>	IP54 (IEC 60529)

Physical	
<b>Scanner</b>	
Dimensions (D x W x H)	238 mm x 358 mm x 395 mm / 9.4" x 14.1" x 15.6"
Weight	13 kg / 28.7 lbs, nominal (w/o batteries)
<b>Battery (internal)</b>	
Dimensions (D x W x H)	40 mm x 72 mm x 77 mm / 1.6" x 2.8" x 3.0"
Weight	0.4 kg / 0.9 lbs
<b>Battery (external)</b>	
Dimensions (D x W x H)	95 mm x 248 mm x 60 mm / 3.7" x 9.8" x 2.4"
Weight	1.9 kg / 4.2 lbs
<b>AC Power Supply</b>	
Dimensions (D x W x H)	85 mm x 170 mm x 41 mm / 3.4" x 6.7" x 1.6"
Weight	0.9 kg / 1.9 lbs

Standard Accessories Included	
Scanner transport case	
Tribrach (Leica Professional Series)	
4x Internal batteries	
Battery charger/AC power cable, Car adapter, Daisy chain cable	
Data cable	
Height meter and distance holder for height meter	
Cleaning kit	
Cyclone™ SCAN software	
1 year CCP Basic support agreement	

Additional Accessories	
HDS scan targets and target accessories	
Service agreement for Leica ScanStation C10	
Extended warranty for Leica ScanStation C10	
External battery with charging station, AC power supply and power cable	
Professional charger for internal batteries	
AC power supply for scanner	
Tripod, tripod star, rolling base, external wireless LAN adapter (third-party)	

Notebook PC for scanning with Cyclone software Δ	
<b>Component</b>	<b>required (minimum)</b>
Processor	1.7 GHz Pentium M or higher
RAM	1 GB (2 GB for Windows Vista)
Network card	Ethernet
Display	SVGA or OpenGL accelerated graphics card (with latest drivers)
Operating system	Windows XP Professional (SP2 or higher) (32 or 64) Windows Vista (32 or 64), Windows 7 (32 or 64)

Control Options	
Full color touch screen for onboard scan control	
Leica Cyclone SCAN software for laptop PC (see Leica Cyclone SCAN data sheet for full list of features)	
Remote controller (Leica CS10/15 or any other remote desktop capable device)	

Ordering Information	
Contact Leica Geosystems or authorized representatives	

All specifications are subject to change without notice.

All ± accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted.

\* At 1 m – 50 m range, one sigma

\*\* Subject to modeling methodology for modeled surface

\*\*\* Algorithmic fit to planar HDS targets

Δ Minimum requirements for modeling operations are different. Refer to Cyclone data sheet specifications

Scanner: Laser class 3R in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1

Laser plummet: Laser class 2 in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1

Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation. Other trademarks and trade names are those of their respective owners.

Illustrations, descriptions and technical specifications are not binding and may change.

Printed in Switzerland - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2011.  
776241en - 08.12 - gallega

Leica Geosystems AG  
Heerbrugg, Switzerland

www.leica-geosystems.com/hds

- when it has to be right

**Leica**  
Geosystems