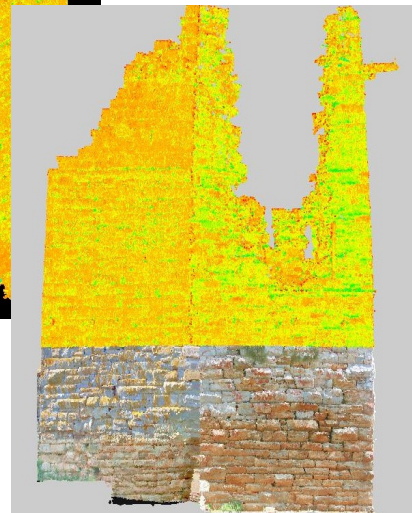
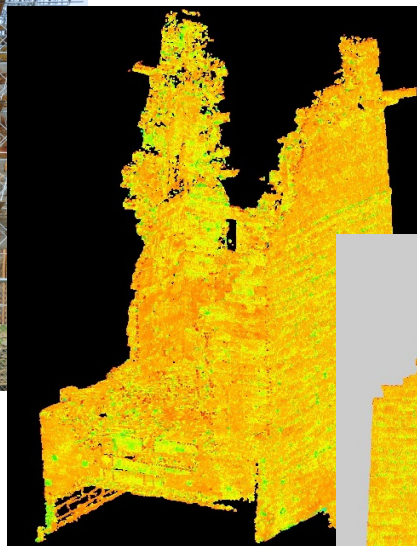




**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
**Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών**  
**Τομέας Τοπογραφίας**  
**Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας**

**ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΡΧΑΙΟΥ  
ΠΥΡΓΟΥ ΣΤΗΝ ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ ΚΕΑΣ**



Σίσκας Βασίλειος

Επιβλέπουσα :  
Τσακίρη Μαρία

ΑΘΗΝΑ 2012

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Μαρία Τσακίρη, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, για την άψογη συνεργασία και καθοδήγηση της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το φίλο Παναγιώτη Πέτρου, Τοπογράφο Μηχανικό η βοήθεια του οποίου ήταν πολύτιμη και ευελπιστώ κάποτε να του την ανταποδώσω.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην εταιρεία METRICA A.E. και στους ανθρώπους της που μου εμπιστεύτηκαν το σαρωτή Laser και τα προγράμματα για την εκπόνηση της διπλωματικής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ και στη Αρχιτέκτων Μηχανικό Δήμητρα Μαυροκορδάτου που ασχολείται με το συγκεκριμένο μνημείο και με τη βοήθεια της οποίας πήρα την έγκριση του Ταμείου Διαχείρισης Πιστώσεων για την Εκτέλεση Αρχαιολογικών Έργων (Τ.Δ.Π.Α.Ε) για την εκπόνηση της συγκεκριμένης Διπλωματικής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που μου συμπαραστέκεται στις όποιες αποφάσεις παίρνω.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την αποτύπωση των μνημείων είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός λεπτομερούς υπόβαθρου, σε κατάλληλη μορφή και κλίμακα ώστε οι αρχαιολόγοι ή οι μηχανικοί που θα ασχοληθούν με τη συντήρηση ή αναστήλωση του να έχουν όλη την πληροφορία που θα μπορέσει να τους φανεί χρήσιμη για οποιαδήποτε παρέμβαση. Η πολυπλοκότητα ενός μνημείου ειδικά αν αυτό έχει μεγάλες φθορές από τα διάφορα φυσικά φαινόμενα ή τις ανθρώπινες παρεμβάσεις είναι και ο βασικός λόγος που καθιστά την καταγραφή και αποτύπωση του επίπονη και ιδιαίτερα δύσκολη.

Η χρήση των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών Laser αποτελεί ένα εναλλακτικό και συνάμα νέο τρόπο αποτύπωσης των μνημείων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας στην αποτύπωση του Αρχαίου Πύργου στην Αγία Μαρίνα Κέας.

Αρχικά έγινε η αποτύπωση του πύργου με σαρωτή Laser σε περίπου δέκα ώρες όπου χρησιμοποιήθηκαν δεκαέξι στάσεις για τη λήψη των απαραίτητων νεφών σημείων. Στη συνέχεια ακολούθησαν οι εργασίες γραφείου όπου έγιναν οι συνενώσεις των νεφών σημείων, η διαγραφή της περιττής πληροφορίας και στη συνέχεια το τρισδιάστατο μοντέλο του Πύργου. Ακολούθησε η εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας με την μορφή τομών και κατόψεων, όπως και ένα αρχείο βίντεο με την εικονική περιήγηση.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και των παραγόμενων ψηφιακών προϊόντων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά. Αυτό μπορεί να το δει κανείς στα σφάλματα της συνένωσης στην εικόνα 5.1.1.3 όπου το μικρότερο είναι 0,005m και το μεγαλύτερο είναι 0,015m ενώ το όριο σφάλματος που είχαμε ορίσει ως αποδεκτό για το συγκεκριμένο έργο ήταν τα 0,020m. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτύπωσης συνίσταται για την απεικόνιση με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια όλων των μνημείων και ιδιαίτερα όσων είναι πολύ δύσκολα στην αποτύπωση με όλες τις υπόλοιπες μεθόδους που χρησιμοποιούταν μέχρι πρόσφατα.

## **ABSTRACT**

For the recording of monuments is essential a detailed background of an appropriate form and scale. This can be used by archaeologists and engineers dealing with the maintenance or restoration of cultural heritage monuments which will allow them to have all the information which can be useful for any intervention. The complexity of a monument and the damages it may have due to natural phenomena or human intervention is the main reason that makes the recording and mapping a cumbersome task..

The use of a ground 3D Laser Scanner is an alternative and yet a new way of surveying monuments. The aim of this project thesis is to present the results of terrestrial laser scanning for the geometrical documentation of the Ancient Tower at Agia Marina Kea.

Initially, the monument was scanned using sixteen different instrument positions in about 10 hours. Then followed the processing of the point clouds which included the registration and georeference into a common reference system, the deletion of unnecessary information and noisy data, and finally the development of a three-dimensional model of the Tower. Finally, export information was produced in the form of sections and floor plans as well as a video with the virtual tour of the tower.

The evaluation of results and output digital products leads to the conclusion that the results were satisfactory. This can be seen in the registration errors in Figure 5.1.1.3, where the smallest is 0,005 m and the higher 0,015 m while the limit we set as acceptable for this project was the 0,020 m. This method of recording is recommended for the documentation with very great detail of all monuments and especially those which are very difficult to capture with other conventional methods.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	1
1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	2
1.3. ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	3
2. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ.....	4
2.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	5
2.1.1. Εμπειρική.....	5
2.1.1.1.Εξοπλισμός.....	6
2.1.2. Τοπογραφική.....	7
2.1.2.1.Εξοπλισμός.....	7
2.1.3. Φωτογραμμετρική.....	8
2.1.3.1.Εξοπλισμός.....	9
2.1.4. Αποτύπωση με Laser Scanner.....	10
2.1.4.1.Εξοπλισμός.....	16
2.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ – ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ/ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	18
2.2.1. Χαρακτηριστικά Εμπειρικής μέθοδου.....	18
2.2.1.1 Παραγώμενα εμπειρικής μεθόδου.....	18
2.2.2. Χαρακτηριστικά Τοπογραφικής μεθόδου.....	19
2.2.2.1 Παραγώμενα τοπογραφικής μεθόδου.....	21
2.2.3. Χαρακτηριστικά μεθόδου Φωτογραμμετρικής αποτύπωσης.....	22
2.2.3.1. Ορθοφωτογραφίες.....	23
2.2.4. Κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου αποτύπωσης με Laser Scanner.....	25
2.2.4.1. Παραγώμενα αποτύπωσης με Laser Scanner.....	26

3.	ΑΡΧΑΙΟΣ ΠΥΡΓΟΣ ΚΕΑΣ .....	33
<b>3.1.</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ .....</b>	<b>33</b>
3.1.1.	Γεωγραφική Οριοθέτηση .....	34
3.1.2.	Ιστορική Αναδρομή.....	35
3.1.3.	Ιστορικά στοιχεία Πύργου .....	35
3.1.4.	Περιγραφή Αρχαίου Πύργου.....	37
3.1.5.	Υφιστάμενη Κατάσταση Αρχαίου Πύργου .....	39
<b>3.2.</b>	<b>ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ .....</b>	<b>40</b>
3.2.1.	Εργασίες προστασίας και ανάδειξης του Αρχαίου Πύργου.....	41
3.2.2.	Στάδιο που βρίσκονται οι εργασίες σήμερα .....	42
4.	ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΡΧΑΙΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΚΕΑΣ .....	43
<b>4.1.</b>	<b>ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ.....</b>	<b>43</b>
4.1.1.	Αποτύπωση με χρήση Laser Scanner.....	43
4.1.2.	Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε .....	44
4.1.2.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά Scanstation C10.....	44
4.1.2.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωδαιτικού GPS Leica GS08 NetRover .....	45
4.1.2.3	Τεχνικά χαρακτηριστικά Φωτογραφικής μηχανής NIKON D90 .....	47
<b>4.2.</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ .....</b>	<b>48</b>
4.2.1.	Περιοχή αποτύπωσης – Δυσκολίες αποτύπωσης .....	48
<b>4.3.</b>	<b>ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....</b>	<b>50</b>
4.3.1.	Επιλογή στάσεων .....	50
4.3.2.	Εξάρτηση στο Ε.Γ.Σ.Α. 87 .....	51
4.3.3.	Σάρωση περιοχής .....	52
4.3.4.	Λήψη Φωτογραφιών .....	54
5.	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ .....	57
<b>5.1.</b>	<b>ΓΡΑΦΕΙΟ.....</b>	<b>57</b>
5.1.1.	Συννένωση μεμονωμένων σαρώσεων .....	57
5.1.1.1	Γεωαναφορά.....	60

5.1.2.	Αφαίρεση περιττών σημείων .....	61
5.1.3.	Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου .....	64
5.1.4.	Εισαγωγή Φωτογραφιών .....	69
<b>5.2.</b>	<b>ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΑ .....</b>	<b>72</b>
5.2.1.	Ορθοεικόνες των 4 εξωτερικών πλευρών.....	72
5.2.2.	3D διατομές .....	74
5.2.3.	Ψηφιακό μοντέλο των 4 πλευρών .....	77
5.2.4.	Αρχείο περιήγησης/ Video .....	78
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	79
<b>6.1.</b>	<b>ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥΣ.....</b>	<b>79</b>
6.1.1.	Συλλογή δεδομένων .....	79
6.1.2.	Διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων .....	81
<b>6.2.</b>	<b>Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και συμπεράσματα .....</b>	<b>82</b>
<b>6.3.</b>	<b>Προτάσεις .....</b>	<b>83</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>85</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1.1α: Μετροταινία	6
Εικόνα 2.1.1β: Αποστασιόμετρο laser	6
Εικόνα 2.1.2α: Θεοδόλιχος Wild T16	8
Εικόνα 2.1.1β: Γεωδαιτικός σταθμός Leica TS09	8
Εικόνα 2.1.3.1α: Φωτογραφική μηχανή Nikon	9
Εικόνα 2.1.3.1β: Φωτογραμμετρικός σταθμός "Delta"	10
Πηγή: <a href="http://www.citymap.md/ingecad/EN/fotogrammetriya">http://www.citymap.md/ingecad/EN/fotogrammetriya</a>	
Εικόνα 2.1.4α: Μέθοδος τριγωνισμού για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων	11
Εικόνα 2.1.4β: Μέθοδος τριγωνισμού με χρήση δύο οπτικών αισθητήρων	12
Εικόνα 2.1.4γ: Αρχή λειτουργίας της Time of flight τεχνικής τρισδιάστατης ανίχνευσης	13
Εικόνα 2.1.4.1: Σαρωτής Trimble GS101	17
Πηγή: <a href="http://www.nottingham.ac.uk/archaeology/kt/digital-survey.aspx">http://www.nottingham.ac.uk/archaeology/kt/digital-survey.aspx</a>	
Εικόνα 2.1.4.2: Σαρωτής Leica ScanStation 2	17
Πηγή: <a href="http://www.svsurveying.com/laser_scanning.htm">http://www.svsurveying.com/laser_scanning.htm</a>	
Εικόνα 2.1.4.1: Σαρωτής Z+F	17
Πηγή: <a href="http://gmvc.cast.uark.edu/scanning/zf-scanning-workflow-2">http://gmvc.cast.uark.edu/scanning/zf-scanning-workflow-2</a>	
Εικόνα 2.2.1α: Οι μετρήσεις της κάτοψης ενός χώρου κατά την εμπειρική μέθοδο αποτύπωσης	18
Εικόνα 2.2.1β: Δημιουργία του εικονικού μοντέλου σε περιβάλλον CAD	19
Εικόνα 2.2.2.1: Η κάτοψη του ναού του Αγίου Πέτρου της Βερόνας και οι οδεύσεις	21
Εικόνα 2.2.2.2: Η νότια όψη του ναού του Αγίου Πέτρου της Βερόνας	21
Εικόνα 2.2.2.3: Η δυτική όψη του ναού του Αγίου Πέτρου της Βερόνας	22
Εικόνα 2.2.3.1α: Ο Μαύρος πύργος της Σίφνου	24
Εικόνα 2.2.3.1β: Μωσαϊκό ορθοεικόνων του αναπτύγματος του κυλινδρικού πύργου	24



Εικόνα 2.2.3.1γ: Αρχική φωτογραφία	24
Εικόνα 2.2.3.1δ: Επεξεργασμένη ορθοφωτογραφία σε κλίμακα	24
Εικόνα 2.2.3.1ε: Φωτογραφία τεκμηρίωσης πρόσοψης	25
Εικόνα 2.2.3.1ζ: Ορθοφωτογραφία πρόσοψης (όχι σε κλίμακα)	25
Εικόνα 2.2.4.1: Αεροφωτογραφία Ενετικού Φρουρίου Ρεθύμνου	26
Εικόνα 2.2.4.2: Κάτοψη από την επεξεργασία του νέφους σημείων	26
Εικόνα 2.2.4.1: α) Φωτογραφία, β) Σύννεφο σημείων, γ) Σύννεφο σημείων με πραγματικά χρώματα και γ) Mesh (πλέγμα)	27
Εικόνα 2.2.4.4: Φωτογραφία Ιερού Ναού Ασωμάτων της Μονής Πετράκη	27
Εικόνα 2.2.4.5: Σύννεφο σημείων από εξωτερική σάρωση στην εκκλησία	27
Εικόνα 2.2.4.6: Νέφος σημείων γεωμετρικής σάρωσης και επιφανειακό μοντέλο Καρυάτιδας από το Ερέχθειο	28
Εικόνα 2.2.4.7: Βουνό Rushmore Laser Scan	29
Εικόνα 2.2.4.8: Υπόστυλη αίθουσα	30
Εικόνα 2.2.4.9: Νέφος σημείων της Υπόστυλης αίθουσας	30
Εικόνα 2.2.4.10: Κάτοψη Υπόστυλης αίθουσας από δεδομένα σάρωσης	31
Εικόνα 2.2.4.11: Φωτογραφία που ελήφθη από τη βάση της δυτικής σκάλας του El Castillo	32
Εικόνα 2.2.4.12: Προοπτική του El Castillo, που δημιουργήθηκε από δεδομένα λέιζερ σάρωσης	32
Εικόνα 2.2.4.13: Κάτοψη πυραμίδας	32
Εικόνα 2.2.4.14: Όψη δυτικής πλευράς	32
Εικόνα 3.1.1: Θέση του Αρχαίου Πύργου στο νησί	34
Εικόνα 3.1.3α: Γενική άποψη του αρχαιολογικού χώρου	35
Εικόνα 3.1.3β: Χαλκογραφία του πύργου και της μονής της Αγ.Μαρίας	36
Πηγή: (M.R.Cockerell, 19ου αιώνα)	
Εικόνα 3.1.4α: Σκίτσο των ερειπίων του πύργου και της μονής της Αγ.Μαρίας	39
Πηγή: L.Savignoni, 1998	

Εικόνα 4.1.1α: Φωτογραφία πύργου	43
Εικόνα 4.1.1β: Φωτογραφία πύργου	43
Εικόνα 4.1.2.1: Σαρωτής Leica Scanstation C10	44
Εικόνα 4.1.2.2: Γεωδαιτικό GPS Leica GS08 NetRover	45
Εικόνα 4.1.2.3: Φωτογραφική μηχανή Nikon D90	47
Εικόνα 4.2.1: Βορεινή όψη και περίφραξη	48
Εικόνα 4.2.2: Δυτική και νότια πλευρά, είσοδος Αγίας Μαρίας	49
Εικόνα 4.2.3: Δυτική πλευρά Πύργου	49
Εικόνα 4.2.4: Επιλογή στάσεων (Google Earth)	49
Εικόνα 4.3.2: Σημεία 160 και 163 με γνωστές συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ 87	52
Εικόνα 4.3.3α: Παράθυρο αυτόματων παραμέτρων σάρωσης	52
Εικόνα 4.3.3β: Παράθυρο χειροκίνητων παραμέτρων σάρωσης	53
Εικόνα 4.3.4.1: Χαρακτηριστικό σημείο ένωσης τρισδιάστατου μοντέλου με γραμμικό σχέδιο	55
Εικόνα 4.3.4.2: Με κόκκινο κύκλο διακρίνονται τα χαρακτηριστικά σημεία	55
Εικόνα 4.3.4.3: Μεσότοιχος – Νότια Όψη Αρχαίου Πύργου	56
Εικόνα 5.1.1.1: Βάση δεδομένων στο Cyclone	57
Εικόνα 5.1.1.2: Συνένωση νεφών σημείων	59
Εικόνα 5.1.1.3: Constraint List	60
Εικόνα 5.1.1.1.1: Σημεία συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87	61
Εικόνα 5.1.2.1: Αφαίρεση περιττών σημείων	62
Εικόνα 5.1.2.2: Προβολή Πύργου χωρίς τα επιπλέον νέφη σημείων	63
Εικόνα 5.1.2.3: Κάτοψη του Πύργου χωρίς επιπλέον σημεία	63
Εικόνα 5.1.3.1: Αραιωμένο νέφος σημείων	64
Εικόνα 5.1.3.2: Ενιαίο νέφος σημείων	65
Εικόνα 5.1.3.3: Τρισδιάστατο μοντέλο τριγώνων με πλευρές 0,02m	65
Εικόνα 5.1.3.4: Επιφάνεια από τρίγωνα στο Modelspace	66
Εικόνα 5.1.3.5: Ολικό 3d Mesh	67
Εικόνα 5.1.3.6: Ολικό 3d Mesh Cyclone	67

Εικόνα 5.1.3.7: Ολικό 3d Mesh	68
Εικόνα 5.1.4.1: Έγχρωμο mesh βόρειου τοίχου	69
Εικόνα 5.1.4.2: Έγχρωμο mesh ανατολικού τοίχου	70
Εικόνα 5.1.4.3: Έγχρωμο mesh νότιου τοίχου	70
Εικόνα 5.1.4.4: Έγχρωμο mesh δυτικού τοίχου	71
Εικόνα 5.2.1.1: Τοπικό σύστημα αναφοράς ορθοεικόνας	72
Εικόνα 5.2.1.2: Εξαγωγή ορθοεικόνων	73
Εικόνα 5.2.1.3: Ορθοεικόνες και συνοδευτικά αρχεία	73
Εικόνα 5.2.1.4: Εισαγωγή ορθοεικόνας σε περιβάλλον CAD	74
Εικόνα 5.2.2.1: Σύνολο διατομών στο mesh	74
Εικόνα 5.2.2.2: Σύνολο 3d διατομών	75
Εικόνα 5.2.2.3: Οριζόντιες διατομές	75
Εικόνα 5.2.2.4: Κάθετες διατομές	76
Εικόνα 5.2.2.5: Τομή Πύργου σε 2D	76
Εικόνα 5.2.2.6: Κάτοψη Πύργου σε 2D	77
Εικόνα 5.2.3.1: Τρισδιάστατο μοντέλο ανατολικού τοίχου	77
Εικόνα 5.2.3.2: Λεπτομέρεια τρισδιάστατου μοντέλου ανατολικού τοίχου	78

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς είναι οι αψευδείς μάρτυρες της ιστορίας και πιο ισχυρά από οποιεσδήποτε λέξεις. Τα μνημεία είναι η ιστορία όλης της ανθρωπότητας. Με το πέρασμα του χρόνου όλα τα μνημεία βρίσκονται σε κίνδυνο λόγω της καθημερινής έκθεσης στα στοιχεία της φύσης, την αστικοποίηση, την κακή διαχείριση του τουρισμού, τα καταστροφικά γεγονότα και γενικά από την παραμέληση τους. Για όλους τους παραπάνω λόγους επιβάλλεται στο πλαίσιο διάσωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς μιας χώρας η λεπτομερής καταγραφή και αποτύπωση τους.

Η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας, καταχώρησης και απόδοσης στοιχείων για τα μνημεία ονομάζεται αποτύπωση. Ως αποτύπωση μνημείου ορίζεται η καταγραφή της θέσης του και της πραγματικής, υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους του στο χώρο. Η πιστότητα της αποτύπωσης είναι, μεταξύ άλλων, συνάρτηση του πλήθους των σημείων, που εκλεκτικά αποσπώνται από το σύνολο, για να το αναπαραστήσουν.

Στο παρελθόν η μέθοδος που χρησιμοποιούταν για την λεπτομερή αποτύπωση μνημείων ήταν η φωτογραμμετρική και ο συνδυασμός αυτής με τις εμπειρικές και τοπογραφικές μεθόδους. Τα τελευταία χρόνια νέες τεχνολογίες έρχονται να δώσουν απαντήσεις στο πρόβλημα της καταγραφής, αποτύπωσης και προβολής των μνημείων. Η ψηφιακή αναπαράσταση και η μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας είναι από τα πλέον σημαντικά ερευνητικά πεδία που επιτρέπουν σε όλους τους φορείς που ασχολούνται με τον πολιτισμό να προβάλουν τα αποτελέσματα της δουλειάς τους με πολλαπλούς νέους και δυναμικούς τρόπους. Οι τρισδιάστατοι σαρωτές Laser μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία σε εφαρμογές αποτύπωσης μνημείων ως ένα σημαντικό εργαλείο για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις και ψηφιακές αποτυπώσεις. Η χρήση τους στο πεδίο είναι αρκετά απλή και η επεξεργασία των δεδομένων τους μπορεί να δώσει πιο εύκολα και περισσότερη πληροφορία από τις υπόλοιπες μεθόδους.

## 1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αποτύπωση του Αρχαίου Πύργου στην Αγία Μαρίνα Κέας ο οποίος χρονολογείται από τον τέταρτο προ Χριστού αιώνα. Ο οχυρωματικός χαρακτήρας των κτισμάτων αυτών είναι αναμφισβήτητος. Ειδικότερα στην περίπτωση του πύργου της Αγ. Μαρίνας, ο συγκεκριμένος χαρακτήρας ενισχύεται από την υπερυψωμένη είσοδο και τον περιμετρικό εξώστη στη στέψη του κτηρίου. Όμως η θέση του, στο κέντρο καλλιεργήσιμης κοιλάδας και η εγγύτητα σε πηγή νερού τού προσδίδει και έναν αγροτικό χαρακτήρα.

Τα τελευταία χρόνια και με μεγάλη συχνότητα, έχουν συμβεί διαδοχικές κατακρημνίσεις σημαντικών τμημάτων του πύργου θέτοντας σε άμεσο κίνδυνο οποιονδήποτε επισκέπτη του μνημείου ή του ιερού ναού της Αγ. Μαρίνας. Η κατάσταση στην οποία περιήλθε το μνημείο ήταν πλέον άκρως επικίνδυνη και έχρηζε επείγοντως εκτεταμένων στερεωτικών επεμβάσεων. Η απόφαση για την αναστήλωση του Πύργου απαιτούσε την αποτύπωση του αλλά λόγω των στερεωτικών επεμβάσεων η αποτύπωση του με φωτογραμμετρική μέθοδο ήταν αδύνατη λόγω του δικτυώματος των σκαλωσιών οπότε επιλέχθηκε σαν πιο αποτελεσματική μέθοδος η αποτύπωση με σαρωτή Laser.

Ο βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν η αποτύπωση του Αρχαίου Πύργου ώστε να υπάρχει ένα ψηφιακό μοντέλο το οποίο να έχει μετρητική πληροφορία για να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την αναστήλωση του μνημείου και για οποιαδήποτε μελλοντική παρέμβαση. Επίσης για της άμεσες ανάγκες τοποθετήθηκαν κάποιοι στόχοι σε διάφορα σημεία του Πύργου για τους οποίους ο στόχος ήταν να μετρηθούν και να δοθούν συντεταγμένες στο κρατικό σύστημα συντεταγμένων ώστε να χρησιμοποιηθούν για να προσαρμοστούν πάνω στον Πύργο τα γραμμικά σχέδια που είχαν ήδη δημιουργηθεί.

Από την αποτύπωση ήταν αναμενόμενο να εξαχθούν μετρητικά αποτελέσματα από περιοχές του πύργου που καλύπτονταν από τις σκαλωσιές, όπως επίσης και διατομές σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο.

### 1.3. ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει οργανωθεί με την παρακάτω δομή :

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται εισαγωγή στη αποτύπωση μνημείων, η προσέγγιση του αντικειμένου της τρισδιάστατης ψηφιακής αποτύπωσης και η συμβολή του σε γρήγορα και πιο λεπτομερή αποτελέσματα.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι παραδοσιακοί τρόποι αποτύπωσης μνημείων με τη χρήση μεθοδολογιών που κατά καιρούς έχουν εφαρμοστεί, με στόχο να διαπιστωθούν οι συναφείς αδυναμίες και οι ελλείψεις τους. Δίνονται κάποια παραδείγματα και επισημαίνονται κάποια προτερήματα της κάθε μεθόδου. Παράλληλα γίνεται εκτενής αναφορά στην μέθοδο τρισδιάστατης σάρωσης.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται ο χώρος και το μνημείο όπου έγινε η εφαρμογή της μεθοδολογίας τρισδιάστατης σάρωσης. Αναφέρθηκαν κάποια ιστορικά στοιχεία, έγινε μια περιγραφή της δομής του Πύργου και στη συνέχεια έγινε μια αναφορά στην υπάρχουσα κατάσταση του και στις εργασίες συντήρησης που έχουν γίνει μέχρι σήμερα.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση και γιατί επιλέχθηκε η συγκεκριμένη. Αναφέρεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε οι δυσκολίες που έπρεπε να αντιμετωπιστούν και στη συνέχεια η διαδικασία της σάρωσης.

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφονται όλες οι εργασίες γραφείου από την μεταφορά των δεδομένων στον υπολογιστή και τη δημιουργία της βάσης δεδομένων, μέχρι και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μέσω όλων των διαδικασιών επεξεργασίας οι οποίες αναφέρονται περιληπτικά και με παραδείγματα.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας.

## 2. ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Η μελέτη αποκατάστασης, στερέωσης και ανάδειξης ενός διατηρητέου κτιρίου, μνημείου ή ενός μνημειακού – ιστορικού συνόλου δεν έχει τον χαρακτήρα μιας απλής διαδικασίας επισκευής και συντήρησης των υλικών χαρακτηριστικών του. Μια τέτοια μελέτη αποβλέπει στη διατήρηση και διαιώνιση των ιστορικών, πνευματικών και φυσικών αξιών που αντιπροσωπεύει κάθε αξιόλογο δομικό μνημείο. Σκοπός των μελετητών είναι να βρουν τις τεχνικές εκείνες που σε συνδυασμό με τα κατάλληλα υλικά θα ισχυροποιήσουν τους δεσμούς του παρελθόντος με τις ανάγκες του παρόντος και του μέλλοντος.

Ο όρος αποτύπωση ενός κτιρίου, μνημείου ή γενικότερα ενός οικοδομικού έργου είναι η όσο το δυνατόν πληρέστερη γνώση του με αναλυτικά στοιχεία ικανά για την μεταφορά αυτού σε σχέδια δύο και τριών διαστάσεων, χρησιμοποιώντας τα παραστατικά μέσα που παρέχει η σύγχρονη τεχνολογία. Με τον όρο ‘αποτύπωση’ εννοείται η καταγραφή και απεικόνιση των στοιχείων, τα οποία είναι ικανά να ορίσουν αξιόπιστα τη γεωμετρική μορφή, το μέγεθος και τη θέση του μνημείου στο χώρο των τριών διαστάσεων, σε μια δεδομένη χρονική ‘στιγμή’ (Μακρής, 1999). Ειδικότερα με τον όρο αυτό εννοείται η καταγραφή των στοιχείων που απεικονίζουν αξιόπιστα τη γεωμετρική μορφή, το μέγεθος και τη θέση του κτιρίου στο χώρο, αλλά και των επιμέρους τμημάτων του σε δεδομένη χρονική στιγμή υπό την κατάλληλη κλίμακα. Το αποτέλεσμα της καταγραφής αυτής είναι σχέδια διαφόρων μορφών που προκύπτουν από τις μετρήσεις ως τρισδιάστατες απεικονίσεις ή ως ορθές προβολές πάνω σε οριζόντια ή κατακόρυφα επίπεδα. Αυτό το μοντέλο, ανάλογο του πραγματικού κτιρίου, αποτελεί τη γεωμετρική του τεκμηρίωση. Αυτή είναι θεμελιώδης για την προστασία των κτιρίων – μνημείων, είτε για τον προγραμματισμό κάποιας επέμβασης, είτε σε περιπτώσεις καταστροφής (φυσική φθορά, σεισμοί, φωτιά κτλ.).

Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα αναλυθούν οι μέθοδοι που συνήθως χρησιμοποιούνται για τις αποτυπώσεις μνημείων και ο εξοπλισμός που απαιτεί η καθεμία. Στη συνέχεια θα αναφερθούν τα χαρακτηριστικά της καθεμίας από αυτές όπου διακρίνονται τα πλεονεκτήματα και τα

μειονεκτήματα τους και κάποιοι συνδυασμοί μεταξύ τους για καλύτερα αποτελέσματα.

## **2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ**

Στην επιλογή της μεθόδου τεκμηρίωσης ενός μνημείου ή χώρου σημαντικό ρόλο έχει το είδος των προϊόντων που θα πρέπει να παραχθούν και η κλίμακα αναπαράστασης τους όπως επίσης ο τελικός χρήστης των προϊόντων αυτών. Το βασικό εργαλείο ενός μηχανικού στην περιγραφή ενός αντικειμένου είτε αυτό είναι ένα κτήριο ή ακόμα και ένα μηχανολογικό εξάρτημα ή ένας χώρος είναι τα σχέδια που εκτυπώνονται σε υπόβαθρο υπό κλίμακα. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες για την τρισδιάστατη αποτύπωση διαφέρουν ανάλογα με το είδος και τη σπουδαιότητα του αντικειμένου αλλά και τις δυνατότητες, τον εξοπλισμό, τον απαιτούμενο χρόνο και άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη που αφορούν το αντικείμενο (μέγεθος, προσβασιμότητα κα.)

Οι μέθοδοι που συνήθως χρησιμοποιούνται (Τσιούκας, 2009) είναι:

- **Εμπειρική**
- **Τοπογραφική**
- **Φωτογραμμετρική**
- **Αποτύπωση με laser scanner**

Αλλά και ο συνδυασμός όλων των παραπάνω τεχνικών. Μάλιστα τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συστήματα που συνδυάζουν τις παραπάνω τεχνικές. Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές κάθε μιας τεχνικής, η χρησιμότητά της, τα πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες, εξοπλισμός κλπ.

### **2.1.1. Εμπειρική**

Η πρώτη κατηγορία αποτύπωσης γίνεται από εμπειρικές ή τοπογραφικές μεθόδους που πραγματοποιούνται με μηκομετρήσεις τριγώνων, διαγωνίων, πλευρών, αποκλίσεων και υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιώντας νήμα στάθμης, αλφαδολάστιχο και μετροταινία. Αρχικά οι μετρήσεις καταγράφονται σε σκαρίφημα (κροκί) και στη συνέχεια γίνεται μεταφορά των χαρακτηριστικών



του μνημείου σε ψηφιακή μορφή σε περιβάλλον CAD με χειροκίνητη εισαγωγή. Οι μετρήσεις στηρίζονται σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων σε μια αυθαίρετα ορισμένη αρχή και διεύθυνση ενός άξονα του συστήματος συντεταγμένων. Όλες οι μετρήσεις των σημείων αναφέρονται σε αυτές τις παραδοχές ενώ είναι εξαιρετικά δύσκολη η καταγραφή ενός τρισδιάστατου αντικείμενου καθώς η τρίτη διάσταση δεν είναι δυνατόν να προέλθει με απλά μέσα γνωρίζοντας μόνο την αρχή και έναν από τους δύο άξονες του συστήματος συντεταγμένων.

### 2.1.1.1. Εξοπλισμός



Εικόνα 2.1.1α: Μετροταινία



Εικόνα 2.1.1β: Αποστασιόμετρο laser

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της εμπειρικής μεθόδου για τη μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός χώρου είναι το χαμηλό κόστος του εξοπλισμού. Συνήθως μια μετροταινία (Εικόνα 2.1.1α) αποτελεί το κύριο εργαλείο για την εφαρμογή της. Η καταγραφή σωστών μετρήσεων απαιτεί αυτές να γίνονται σε οριζόντιο επίπεδο ώστε το τελικό προϊόν να είναι η κάτοψη της αποτύπωσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται αλφαδολάστιχα, νήματα της στάθμης ή ακόμα και απλά στη χρήση τοπογραφικά όργανα (όπως χωροβάτες με αυτόματη οριζοντίωση) ιδιαίτερα σε εφαρμογές αποτύπωσης αρχαιολογικών σκαμμάτων. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας υπάρχουν πλέον συσκευές μέτρησης αποστάσεων και γωνιών κλίσεων με 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 (Εικόνα 2.1.1β) εφαρμόζεται στο σημείο που θα αποτελέσει την αρχή της μετρημένης

απόστασης και μια δέσμη laser εκπέμπεται από το πομπό του και ανακλάται από το χαρακτηριστικό σημείο του οποίου η απόσταση από το σημείο εφαρμογής του επιθυμείται να μετρηθεί. Η δέσμη laser είναι ορατή και παρατηρείται το ίχνος της στο σημείο που αποτελεί το τέλος της μετρημένης απόστασης με αρχή το σημείο εφαρμογής του αποστασιόμετρου. Το μέγεθος του αποστασιόμετρου είναι μικρό και η λειτουργία του ιδιαίτερα εύκολη καθώς η χρήση του μπορεί να γίνει από ένα μόνο άτομο και δεν είναι απαραίτητη η συνεργασία τουλάχιστον δυο ατόμων, όπως είναι φυσικό να γίνεται κατά την εφαρμογή της συμβατικής μεθόδου μέτρησης με χρήση μετροταινίας. Οι μετρήσεις μπορεί να οδηγήσουν στην πλήρη καταγραφή των αποστάσεων που ορίζουν τις διαστάσεις ενός χώρου και να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του.

### **2.1.2. Τοπογραφικές μέθοδοι**

Η επιστήμη που ασχολείται με την απεικόνιση των τμημάτων της γήινης επιφάνειας συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπινων κατασκευών είναι η επιστήμη της Τοπογραφίας. Η τεχνολογική ανάπτυξη και εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων καθώς και των προγραμμάτων επεξεργασίας των μετρήσεων του πεδίου αύξησε σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία και ακρίβεια τόσο των μετρήσεων όσο και των αποτελεσμάτων (Guidi, 2004).

Η χρήση τοπογραφικών οργάνων και συγκεκριμένα θεοδόλιχων (εικόνα 2.1.2α) και αποστασιόμετρων για αποτύπωση σημείων του τρισδιάστατου χώρου έχει ξεκινήσει από πολύ παλιά και είναι ότι η σημερινή τεχνολογία των οργάνων μέτρησης είναι αρκετά ικανοποιητική ώστε να είναι σε θέση να αποτυπώνει με σημαντική ακρίβεια μετρήσεων αρχαιολογικά και αρχιτεκτονικά μνημεία.

#### **2.1.2.1. Εξοπλισμός**

Τα όργανα μετρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και είναι σε θέση να ορίσουν ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο αναφέρονται όλες οι μετρήσεις των σημείων, θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν μέτριου κόστους και η χρήση τους πρέπει να γίνεται από έμπειρους μηχανικούς (συνήθως Αγρονόμους Τοπογράφους Μηχανικούς). Το

όργανο που κατά κόρον χρησιμοποιείται σήμερα στην τοπογραφική αποτύπωση είναι ο Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station) (εικόνα 2.1.1β) που αποτελεί την μετεξέλιξη του θεοδόλιχου (εικόνα 2.1.2α) που είναι το παραδοσιακό όργανο για τη μέτρηση γωνιών και του ηλεκτρονικού αποστασιόμετρου (που συνδυάζεται με χρήση κάτοπτρων, ή άλλης ανακλαστικής επιφάνειας ή υπέρυθρης ακτίνας ή ακτίνας laser) για τη μέτρηση αποστάσεων.



εικόνα 2.1.2α: Θεοδόλιχος Wild T16



εικόνα 2.1.1β: Γεωδαιτικός σταθμός Leica TS09

### 2.1.3. Φωτογραμμετρικές μέθοδοι

Η φωτογραμμετρία είναι η Τέχνη, η Επιστήμη και η Τεχνική που σκοπό έχει την εξαγωγή αξιόπιστης μετρικής πληροφορίας φυσικών αντικειμένων και του περιβάλλοντος μέσω των διαδικασιών της καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων πρότυπων Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και φαινομένων» ( Godin et al., 2001).

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αποτυπώσεων μνημείων, ειδικά σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλο πλήθος λεπτομερειών στα τελικά προϊόντα, είναι οι φωτογραμμετρικές. Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στην απευθείας μέτρηση μηκών και γωνιών σε εικόνες, με στόχο τον προσδιορισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων της αποτύπωσης, στο επιλεγμένο σύστημα αναφοράς. Παρέχουν ενιαία ακρίβεια, ευελιξία, ταχύτητα, ασφάλεια και οικονομικότητα (Μακρής, 1999). Οι μετρήσεις στις εικόνες αποτελούν έμμεσους τρόπους καταγραφής της θέσης, του σχήματος και των

διαστάσεων του αντικειμένου, καθώς δεν χρησιμοποιούν απ' ευθείας μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο, αλλά τη μετρητική πληροφορία, η οποία συλλέγεται πάνω σε μια φωτογραφική εικόνα (συμβατική ή ψηφιακή). Οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι συνδυάζονται συνήθως με τις τοπογραφικές, για να παρέχουν το απαραίτητο γεωμετρικό υπόβαθρο.

Τα βασικά παράγωγα των φωτογραμμετρικών μεθόδων, εκτός από το κλασικό γραμμικό σχέδιο φυσικά, είναι η ορθοφωτογραφία και η αναγωγή εικόνων και τα προϊόντα τους μπορεί να είναι γραμμικά (από ψηφιοποίηση), εικονιστικά ή τρισδιάστατα μοντέλα. Η επιλογή των κατάλληλων φωτογραμμετρικών μεθόδων απόδοσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου αλλά και από τα ζητούμενα προϊόντα. Με τη μέθοδο της φωτογραμμετρικής αναγωγής αποδίδονται τα επίπεδα αντικείμενα, ενώ με την μέθοδο της στερεοαπόδοσης τα μη επίπεδα ή με ανάγλυφα στοιχεία αντικείμενα.

### 2.1.3.1. Εξοπλισμός



εικόνα 2.1.3.1α: Φωτογραφική μηχανή Nikon

Ο απαραίτητος εξοπλισμός για την εφαρμογή φωτογραμμετρικών τεχνικών για την ψηφιοποίηση μνημείων περιλαμβάνει τόσο φωτογραφικές μηχανές (εικόνα 2.1.3.1α) όσο και εξειδικευμένα υπολογιστικά συστήματα που ονομάζονται Ψηφιακοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί (εικόνα 2.1.3.1β), αλλά και εφαρμογές λογισμικού με δυνατότητα επεξεργασίας εικόνας και δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων ή δημιουργίας ανηγμένων εικόνων

από προγράμματα ψηφιακής αναγωγής. Ο συνδυασμός των απαιτούμενων συσκευών και προγραμμάτων που θα οδηγήσει σε βέλτιστη και οικονομικότερη ψηφιοποίηση των μνημείων εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του μνημείου (π.χ. τις διαστάσεις, την υφή και το ανάγλυφό του) την τελική κλίμακα και τα απαιτούμενα φωτογραμμετρικά προϊόντα απόδοσης του.



εικόνα 2.1.3.1β: Φωτογραμμετρικός σταθμός "Delta"  
(<http://www.citymap.md/ingecad/EN/fotogrammetriya>)

#### 2.1.4. Αποτύπωση με Laser Scanner

Τα τελευταία χρόνια νέα όργανα μετρήσεων έχουν εισαχθεί στις επιστήμες των αποτυπώσεων χώρων τα οποία είναι σε θέση να μετρήσουν και να ανακατασκευάσουν τον τρισδιάστατο χώρο και τα αντικείμενα των διάφορων μορφών και μεγεθών με έναν γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Αυτά τα όργανα, βασισμένα στην τεχνολογία laser, είναι συνήθως γνωστά ως επίγειοι Τρισδιάστατοι Ανιχνευτές Laser (3D laser scanner). Εκτός από τους τρισδιάστατους ανιχνευτές laser υπάρχουν και συσκευές που σαρώνουν μόνο οριζόντια ή κατακόρυφα ένα μνημείο – χώρο και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι συσκευές ονομάζεται laser profilers και χρησιμοποιούνται με σημαντική επιτυχία για τη δημιουργία σχεδιαγραμμάτων κατόψεων και τομών των εσωτερικών χώρων των μνημείων.

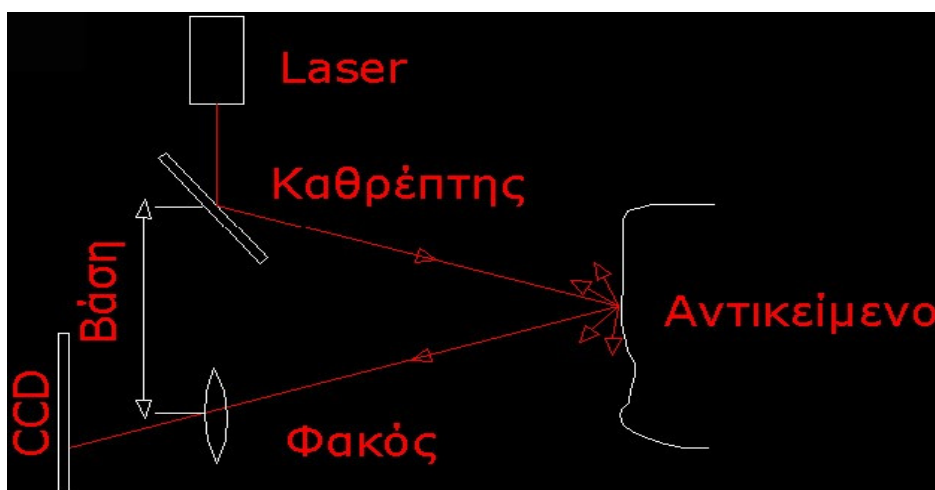
#### Τεχνικές ανίχνευσης

Οι γωνίες διεύθυνσης της ακτίνας laser μαζί με την μετρημένη απόσταση ανάμεσα στον πομπό της ακτίνας και του σημείου που την ανακλά πίσω στο δέκτη του ανιχνευτή μπορεί να οδηγήσει με χρήση του πρώτου θεμελιώδους προβλήματος της Τοπογραφίας και των σχέσεων της

Τριγωνομετρικής Υψομετρίας σε υπολογισμό των καρτεσιανών συντεταγμένων των σημείων στα οποία προσπίπτει η ακτίνα laser, εφόσον είναι γνωστή η στάση (θέση του οργάνου) στο καρτεσιανό τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων.

Οι τεχνικές ανίχνευσης διαχωρίζονται ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στην πηγή της ακτίνας laser και τα σαρωμένα σημεία του χώρου. Ο τρόπος προσδιορισμού της απόστασης μπορεί να είναι ένας από τους τρεις παρακάτω (Τσιούκας, 2009):

- **Τριγωνισμό.** Ο ανιχνευτής κάνοντας χρήση της μεγάλης οπτικής ευκρίνειας μιας δέσμης laser που προβάλλεται επί του αντικειμένου και με χρήση εξισώσεων φωτογραμμετρίας υπολογίζει τη θέση του κάθε σημείου που φωτίζεται από την ακτίνα laser στον τρισδιάστατο χώρο. Σημαντικό ρόλο στην επιτυχημένη λειτουργία του ανιχνευτή laser είναι η ύπαρξη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού του αντικειμένου καθώς η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στον εντοπισμό του στίγματος της ακτίνας laser στην εικόνα του αντικειμένου που συλλαμβάνεται από τον ενσωματωμένο οπτικό αισθητήρα CCD (Εικόνα 2.1.4α).

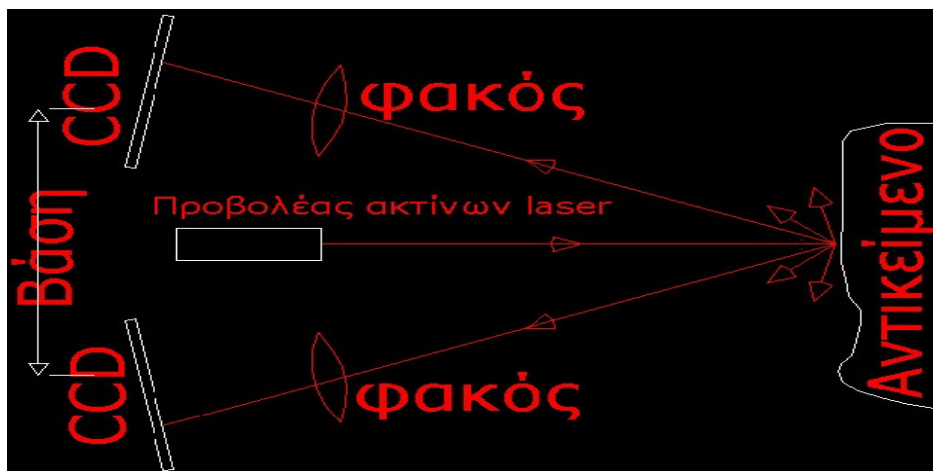


εικόνα 2.1.4α: Μέθοδος τριγωνισμού για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων

Σημαντικό ρόλο στην επιτυχημένη λειτουργία του ανιχνευτή laser είναι η ύπαρξη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού του αντικειμένου καθώς η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στον εντοπισμό του στίγματος της ακτίνας

laser στην εικόνα του αντικειμένου που συλλαμβάνεται από τον ενσωματωμένο οπτικό αισθητήρα CCD.

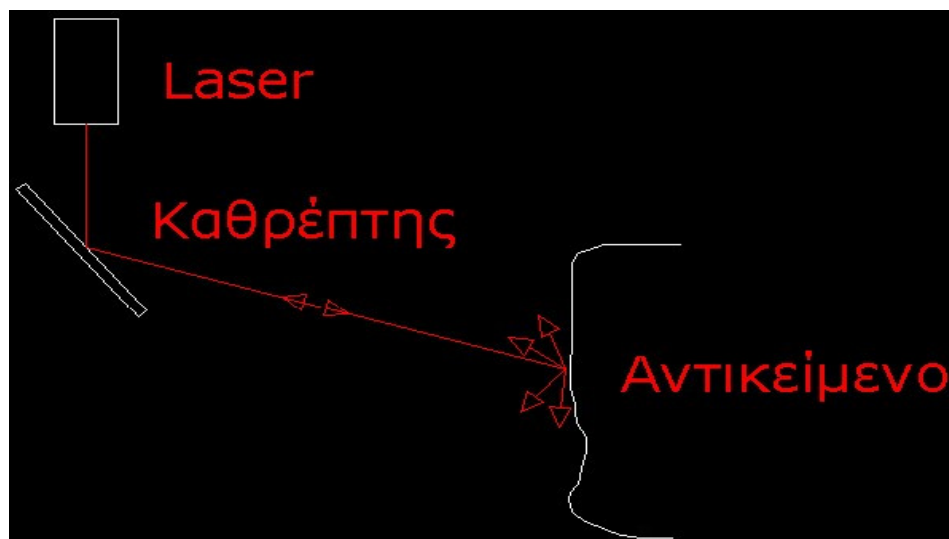
Σε μερικές μάλιστα περιπτώσεις υπάρχουν δύο οπτικοί αισθητήρες CCD που με παρόμοιο τρόπο με αυτόν της φωτογραμμετρικής εμπροσθοτομίας μπορεί να εντοπίσει στο χώρο ένα σημείο εφόσον ανιχνευτούν οι εικονοσυντεταγμένες του σε δύο εικόνες των οποίων η σχετική θέση είναι γνωστή (απέχουν κατά μία γνωστή απόσταση που ονομάζεται και βάση)( Εικόνα 2.1.4β).



εικόνα 2.1.4β: Μέθοδος τριγωνισμού με χρήση δύο οπτικών αισθητήρων

- **Χρόνος της πτήσης ενός παλμού laser.** Ένας παλμός laser εκπέμπεται προς το αντικείμενο και η απόσταση μεταξύ της συσκευής αποστολής σημάτων και της επιφάνειας του αντικειμένου υπολογίζεται από το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ της μετάδοσης και της υποδοχής του παλμού (Εικόνα 2.1.4γ). Αυτή η αρχή είναι ευρέως γνωστή από τα ηλεκτρονικά ταχύμετρα(Γεωδαιτικός Σταθμός). Στην πραγματικότητα, ένα ταχύμετρο θα μπορούσε να προγραμματιστεί ώστε να λειτουργεί όπως η συσκευή σάρωσης. Η ταχύτητα μέτρησης όμως θα ήταν πολύ χαμηλή, λόγω της χαμηλής απόκρισης του οργάνου. Οι σαρωτές χρησιμοποιούν μικρά περιστρεφόμενα κάτοπτρα για τη γωνιακή εκτροπή της ακτίνας laser (τουλάχιστον για μια από τις δύο γωνίες) και απλούστερους αλγορίθμους χρήσης για τον υπολογισμό της απόστασης που μπορεί να οδηγήσει σε υπολογισμό της μετρημένης απόστασης με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι χαρακτηριστικές τιμές της

απόκλισης των μετρήσεων απόστασης από τους ανιχνευτές που χρησιμοποιούν την τεχνική Time of Flight είναι της τάξεως μερικών χιλιοστών. Δεδομένου ότι οι αποστάσεις είναι σχετικά μικρές, αυτή η ακρίβεια είναι σχεδόν η ίδια για ολόκληρο τον τρισδιάστατο χώρο. Η τρισδιάστατη ακρίβεια επηρεάζεται επίσης από την ακρίβεια της γωνιακής μέτρησης της ακτίνας που είναι της τάξης των εκατοστών του βαθμού (g).



εικόνα 2.1.4γ: Αρχή λειτουργίας της Time of flight τεχνικής τρισδιάστατης ανίχνευσης

- **Σύγκρισης φάσης.** Αυτή η μέθοδος είναι επίσης ευρέως γνωστή από τα ταχυμετρικά όργανα. Σε αυτήν την περίπτωση, η εκπεμπόμενη ακτίνα διαμορφώνεται από ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης μεταξύ του κύματος αποστολής και λήψης. Από άποψη λειτουργικότητας, η μέθοδος δεν είναι πολύ διαφορετική από τη μέθοδο χρόνου πτήσης (Time of Flight). Λόγω της πολυπλοκότερης ανάλυσης των σημάτων, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ακριβέστερα (σε βάρος όμως του συνολικού αριθμού των μετρούμενων σημείων αλλά και της μέγιστης μετρούμενης απόστασης). Δεδομένου ότι απαιτείται ένα καλά καθορισμένο σήμα επιστροφής για τον υπολογισμό των αποστάσεων, οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο σύγκρισης φάσης μπορεί να έχουν μειωμένη



εμβέλεια και να τείνουν να παράγουν περισσότερα λανθασμένα ή αποκλεισμένα από τις ανοχές σε σφάλματα μετρήσεων.

Ενώ τα όργανα ανιχνευτών laser είναι βασισμένα στη αρχή του τριγωνισμού (triangulation) και τους υψηλούς βαθμούς ακρίβειας (λιγότερο από 1 χιλιοστόμετρο σφάλμα απόδοσης) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως από τη δεκαετία του '80, τα όργανα που στηρίζονται στην τεχνική του υπολογισμού του χρόνου πτήσης (Time of Flight) και σύγκρισης φάσης (Phase Comparison) έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί ευρέως για μετρικές εφαρμογές σάρωσης μόνο τα τελευταία 5 χρόνια.

Στην ουσία ο ανιχνευτής laser αποτελεί τη φυσική μετεξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών (Total station) με δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων χωρίς ανακλαστήρα. Η χρήση ενός μηχανισμού περιστροφής της μετρητικής διάταξης γύρω από των οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα περιστροφής του οργάνου έδωσε τη δυνατότητα της αυτόματης μέτρησης εκατομμυρίων σημείων χωρίς να είναι απαραίτητη η σκόπευση τους από το χειριστή του οργάνου.

Για όλα τα σαρωμένα σημεία του τρισδιάστατου χώρου στα οποία προσπίπτει η ακτίνα laser επιτυγχάνεται μια μέτρηση της απόστασης σε σχέση με μια γνωστή διεύθυνση: Οι συντεταγμένες X, Y και Z ενός σημείου μπορούν να υπολογιστούν για κάθε καταγραμμένη απόσταση-διδεύθυνση.

Οι ανιχνευτές laser επιτρέπουν την καταγραφή εκατομμυρίων σημείων του χώρου σε λίγα μόνο λεπτά. Λόγω της πρακτικότητας και της ευκολίας χρήσης τους, αυτά τα είδη των οργάνων χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα στον τομέα της αρχιτεκτονικής, αρχαιολογικής, βιομηχανίας και περιβαλλοντικής έρευνας.

### **Βασική επεξεργασία**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι επίγειοι ανιχνευτές laser μπορεί να θεωρηθούν ως εξειδικευμένοι αυτόματοι γεωδαιτικοί σταθμοί. Αντίθετα όμως από τους κοινούς Γεωδαιτικούς Σταθμούς, όπου ο χειριστής επιλέγει άμεσα τα σημεία που μετρώνται, οι ανιχνευτές laser ανακτούν τυχαία ένα πυκνό σύνολο μετρημένων σημείων. Ο χειριστής επιλέγει μόνο το τμήμα του αντικειμένου που επιθυμεί να σαρωθεί και την πυκνότητα των σημείων που

επιθυμεί στην σάρωση αυτή (συνήθως το γωνιακό βήμα της ανίχνευσης στα κάθετα και οριζόντια επίπεδα μπορεί να επιλεγεί από το χειριστή).

Μόλις δοθούν αυτές οι τιμές, η σάρωση ξεκινά αυτόματα. Από τα αποτελέσματα και μετά από κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία των μετρήσεων των γωνιών οριζόντιας και κατακόρυφης διεύθυνσης και της απόστασης που διήνυσε η ακτίνα laser, προκύπτουν οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων της σάρωσης που αποτελείται από ένα πολύ πυκνό σύννεφο μετρημένων σημείων (που καλείται και DDSM – Dense Digital Surface Model δηλαδή πυκνό ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας). Για κάθε σημείο του μοντέλου του αντικειμένου παράγονται οι συντεταγμένες X, Y, Z και η τιμή της ανακλαστικότητάς του. Δεδομένου ότι το σύνολο σημείων του μοντέλου σαρώνεται με έναν απολύτως αυθαίρετο τρόπο (με εξαίρεση τις παραμέτρους της ανάλυσης σάρωσης που δίνονται από το χειριστή) είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν με όσο το δυνατό πιο λογικό τρόπο οι αρχικές παράμετροι αυτής της σάρωσης. Ιδιαίτερη προσοχή λοιπόν πρέπει να δοθεί στην τιμή των αρχικών στοιχείων σάρωσης που δίνονται από το χρήστη του οργάνου.

Η επεξεργασία των δεδομένων που προέρχονται από τους ανιχνευτές laser αποτελείται από ένα σύνολο ενεργειών που είναι απαραίτητες για να προκύψει το σωστό ψηφιακό μοντέλο του μνημείου ξεκινώντας από το νέφος των μετρημένων σημείων. Αυτό το σύνολο ενεργειών μπορεί να διαιρεθεί σε 2 διαφορετικά στάδια:

- την προεπεξεργασία (ή προκαταρκτική επεξεργασία) των δεδομένων laser
- τη διαμόρφωση της επιφάνειας από το νέφος σημείων.

Με τον όρο "προκαταρκτική επεξεργασία" ορίζουμε όλες τις απαραίτητες διαδικασίες που εφαρμόζονται άμεσα στο νέφος σημείων, όπως, παραδείγματος χάριν, το φιλτράρισμα των σημείων (μείωση θορύβου), την καταγραφή των σημείων και τις διαδικασίες γεωαναφοράς (georeferencing). Το αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι ένα σύνθετο "χωρίς θόρυβο" νέφος σημείων (χωρίς outliers, δηλαδή χονδροειδή και συστηματικά σφάλματα) και αυτό αποτελεί τη βάση για το επόμενο στάδιο που είναι η διαμόρφωση του μοντέλου της επιφάνειας που απαρτίζουν αυτά τα μετρημένα σημεία του χώρου.

Το δεύτερο μέρος της διαχείρισης των δεδομένων που προέρχονται από τον ανιχνευτή laser, η διαμόρφωση της τρισδιάστατης επιφάνειας, είναι ένα σύνολο διαδικασιών, που αρχίζουν από οποιοδήποτε νέφος σημείων, και οδηγεί στη διαμόρφωση του τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας του αντικειμένου που ανιχνεύεται. Αν και υπάρχει μια μεγάλη συλλογή διαφορετικών προϊόντων λογισμικού στην αγορά για την πραγματοποίηση της στερεάς διαμόρφωσης των σαρωμένων αντικειμένων (μοντελοποίηση), υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές λογισμικού που να ορίζουν μια σωστή προκαταρκτική επεξεργασία των επίγειων στοιχείων των ανιχνευτών laser. Συνήθως, η κατασκευάστρια εταιρεία του ανιχνευτή laser προμηθεύει μαζί με το υλικό και κατάλληλο λογισμικό που αναλαμβάνει

- Να “κατεβάζει” σαρωμένο νέφος σημείων
- Να προεπισκοπεί την περιοχή σάρωσης και να δίνει τη δυνατότητα της σάρωσης μέρους του μνημείου – χώρου
- Να παράγει τα αρχεία με τα μετρημένα σημεία που στη συνέχεια θα επεξεργαστούν και θα αποδώσουν τις επιφάνειες που περιγράφουν το σχήμα, μέγεθος και μορφή του μνημείου – χώρου.

#### **2.1.4.1 Εξοπλισμός**

Ο απαραίτητος εξοπλισμός για την αποτύπωση με τη μέθοδο αποτύπωσης με Laser Scanner είναι ένας σαρωτής και τα παρελκόμενα που χρειάζεται για τη λειτουργία του (όπως μπαταρίες, τρίποδα, στόχους και φορητό υπολογιστή). Τα παλαιότερα μοντέλα για να λειτουργήσουν και να επιλεγεί η περιοχή σάρωσης προϋπόθεταν τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή μέσω του οποίου επιλεγόταν οι παράμετροι σάρωσης (εικόνα 2.1.4.1 & 2.1.4.2).



εικόνα 2.1.4.1: Σαρωτής Trimble GS101

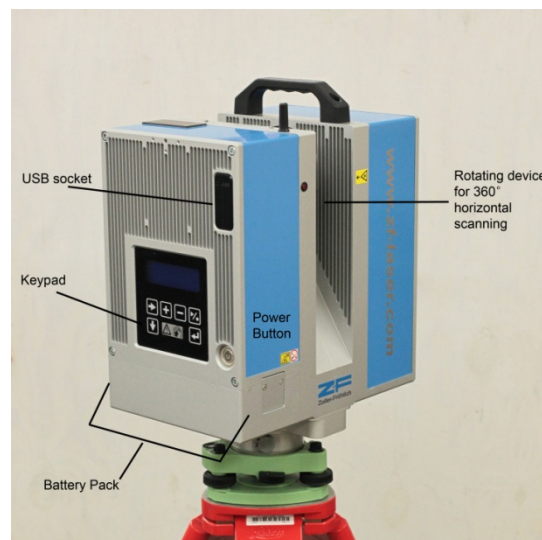
<http://www.nottingham.ac.uk/archaeology/kt/digital-survey.aspx> (2012)



εικόνα 2.1.4.2: Σαρωτής Leica ScanStation 2

[http://www.svsurveying.com/laser\\_scanning.htm](http://www.svsurveying.com/laser_scanning.htm) (2012)

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι μονάδες σάρωσης έχουν γίνει πιο ευέλικτες. Πλέον οι μπαταρίες είναι πάνω στο μηχάνημα και το μικρό τους μέγεθος το κάνει πιο εύκολο στην μεταφορά, επίσης με την εγκατάσταση οθονών πάνω στο ίδιο το μηχάνημα δεν χρειάζεται ο χρήστης να μεταφέρει και ηλεκτρονικό υπολογιστή για την επιλογή τόσο της περιοχής σάρωσης όσο και των παραμέτρων αυτής (εικόνα 4.1.4.3).



εικόνα 2.1.4.1: Σαρωτής Z+F

<http://gmvc.cast.uark.edu/scanning/zf-scanning-workflow-2> (2012)

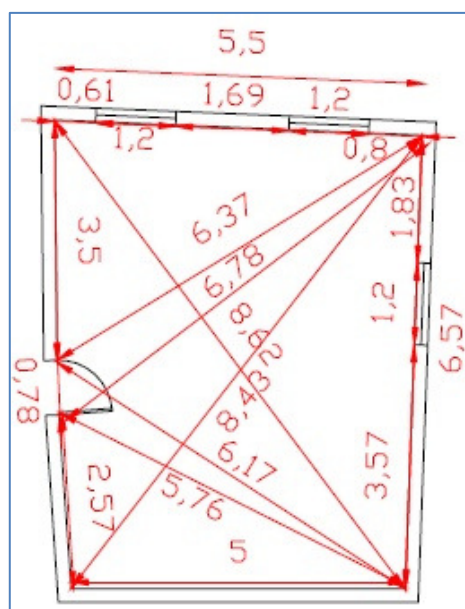
## 2.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ – ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ / ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

### 2.2.1. Χαρακτηριστικά της Εμπειρικής μέθοδου είναι:

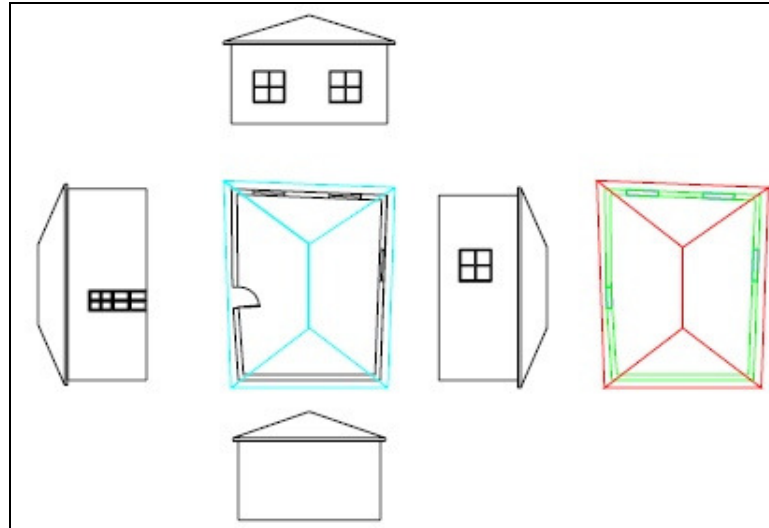
- η υποκειμενική σχέση του αποτυπωτή με το αντικείμενο
- η απαιτούμενη άμεση προσπελασιμότητα προς το αντικείμενο
- τα απλά και φτηνά όργανα μετρήσεων (πχ. μετροταινία, laser αποστασιόμετρο).
- η αδυναμία ελέγχου με κάποια επιστημονική μεθοδολογία άρα αδυναμία αντικειμενικής αξιολόγησης της αποτύπωσης

#### 2.2.1.1 Παραγόμενα εμπειρικής μεθόδου

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα τελικά σχέδια της εμπειρικής μεθόδου είναι αρχεία σε περιβάλλον CAD και είναι οι κατόψεις, όψεις και τομές του αντικειμένου σε δισδιάστατη προβολή. Παραδείγματα μπορούμε να δούμε στις εικόνες που ακολουθούν.



εικόνα 2.2.1α: Οι μετρήσεις της κάτοψης ενός χώρου κατά την εμπειρική μέθοδο αποτύπωσης



εικόνα 2.2.1β: Δημιουργία του εικονικού μοντέλου σε περιβάλλον CAD

Αν και η μέθοδος υστερεί σε ακρίβεια και επιστημονικότητα από τις άλλες τεχνικές ωστόσο ενδείκνυται πολλές φορές χάριν της ταχύτητας και του χαμηλού κόστους, όταν βέβαια οι απαιτήσεις ακρίβειας του τελικού προϊόντος δεν είναι μεγάλες.

### 2.2.2. Χαρακτηριστικά Τοπογραφικής Μεθόδου

Κύρια χαρακτηριστικά της τοπογραφικής μεθόδου είναι:

- Η τοπογραφική αποτύπωση είναι αντικειμενική
- Ορίζει ένα σύστημα αναφοράς βάσει του οποίου γίνεται ο προσδιορισμός των μετρήσεων στο χώρο
- Η ανακατασκευή γεωμετριών στην αναπαράσταση γίνεται μέσω συγκεκριμένων σημείων, που προσδιορίζονται αυστηρά
- Υπάρχει δυνατότητα επιστημονικού ελέγχου του αποτελέσματος και ικανοποίηση των απαιτήσεων ακρίβειας και αξιοπιστίας.
- Υπάρχει δυνατότητα και έμμεσων μετρήσεων, ως παράγωγων των πρωτογενών άμεσων μετρήσεων.
- Λόγω της πεπερασμένης ικανότητας για ικανοποίηση συνθηκών πυκνότητας, υπάρχει δυσκολία παρακολούθησης της συνέχειας γεωμετρικών στοιχείων (π.χ., γραμμές και κυρίως επιφάνειες).
- Το μέγεθος της πυκνότητας, που επηρεάζει την πιστότητα της αναπαράστασης, συναρτάται από τον χρόνο παραμονής στο πεδίο.

- Είναι δυνατή η τοποθέτηση, στην αναπαράσταση, περισσότερων αντικειμένων σε αμοιβαία σχέση μεταξύ τους.
- Υπάρχει ανάγκη για στοιχειώδη σχεδιαστική ικανότητα στο πεδίου, για τη σύνταξη σκαριφημάτων, κλπ.)
- Αντιμετωπίζονται δύσκολα και μόνο μετά από κατάλληλη μαθηματική στατιστική επεξεργασία (στο γραφείο), περιπτώσεις μη-επιπεδότητας.
- Υπάρχει σημαντικό πρόβλημα χρόνου και κόστους εργασιών πεδίου, που εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του αντικειμένου.
- Ο εξοπλισμός πεδίου είναι, κατ' αρχήν, μέτριου κόστους.
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι ο συνηθισμένος των τοπογραφικών εφαρμογών.
- Η αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων είναι εύκολη.
- Δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν λεπτομέρειες και πολύπλοκα αρχιτεκτονικά (κυρίως μη-γραμμικά) ή δύσκολα προσπελάσιμα στοιχεία του προς αποτύπωση αντικειμένου.
- Υπάρχει ανάγκη για πρόσθετες εργασίες, που χρησιμοποιούνται στην εμπειρική μέθοδο, όπως είναι π.χ. μετρήσεις με μετροταινία, ερασιτεχνικές φωτογραφίες κ.α.
- Η στερεομετρία του αντικειμένου ανακατασκευάζεται έμμεσα.

Ωστόσο αν και η τοπογραφική αποτύπωση μπορεί να προσδιορίσει με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια τα σημεία ενός αντικειμένου στο χώρο υπολείπεται της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης για τους παρακάτω λόγους:

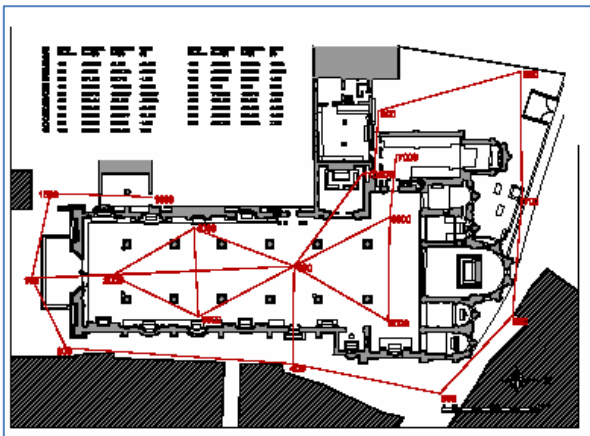
- Θα πρέπει να τηρείται στο πεδίο ένα αρκετά λεπτομερές σκαρίφημα-κροκί των μετρήσεων με σκοπό την πλήρη ανακατασκευή του μοντέλου στον Η/Υ που γίνεται με χειροκίνητο τρόπο. Το γεγονός αυτό καθιστά υπερβολικά χρονοβόρα τη διαδικασία των μετρήσεων ενός αντικειμένου και ταυτόχρονα αντικοινωνική λόγω του αυξημένου αριθμού των εργατωρών των χειριστών των οργάνων.
- Ο προσδιορισμός των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων που προσδιορίζονται στο χώρο δεν οδηγούν άμεσα στην κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου του μνημείου-χώρου. Περαιτέρω επεξεργασία σε ένα πακέτο τρισδιάστατης σχεδίασης πρέπει να ακολουθήσει, προκειμένου

να συνδεθούν τα προσδιορισμένα σημεία στο χώρο, ώστε να σχηματιστούν τα επίπεδα των εξωτερικών επιφανειών που περιγράφουν το μνημειοχώρο.

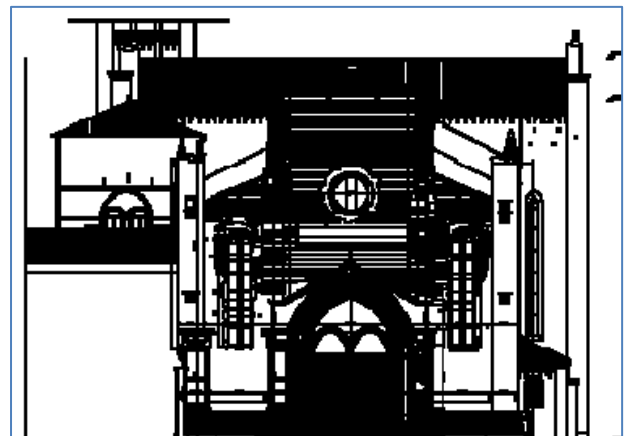
### 2.2.2.1 Παραγόμενα τοπογραφικής μεθόδου

Οι εργασίες που απαιτούνται για την απόδοση ενός τοπογραφικού σχεδίου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις εργασίες πεδίου και τις εργασίες γραφείου. Στις πρώτες γίνεται η συλλογή των δεδομένων με τοπογραφικές μεθόδους στο ύπαιθρο και στη συνέχεια στο γραφείο γίνεται η επεξεργασία αυτών των δεδομένων συνήθως σε περιβάλλον CAD ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι γραμμικά σχέδια υπό κλίμακα του αρχικού αντικειμένου, είτε πρόκειται για ένα χωράφι, ένα δρόμο ή για ένα μνημείο. Παρακάτω ακολουθούν κάποια παραδείγματα.

- Οι Campanella et al. (2005) ασχολήθηκαν με τη βασιλική του Αγίου Πέτρου του μάρτυρα από την Βερόνα που βρίσκεται στην Αγία Αναστασία της Βερόνας. Η αποτύπωση του ναού δόθηκε με γραμμικά δισδιάστατα σχέδια (εικόνες 2.2.2.1, 2.2.2.2, 2.2.2.3) προκειμένου να γίνει συντήρηση του εξωτερικού του ναού και έλεγχος της καλής λειτουργίας της δομής.

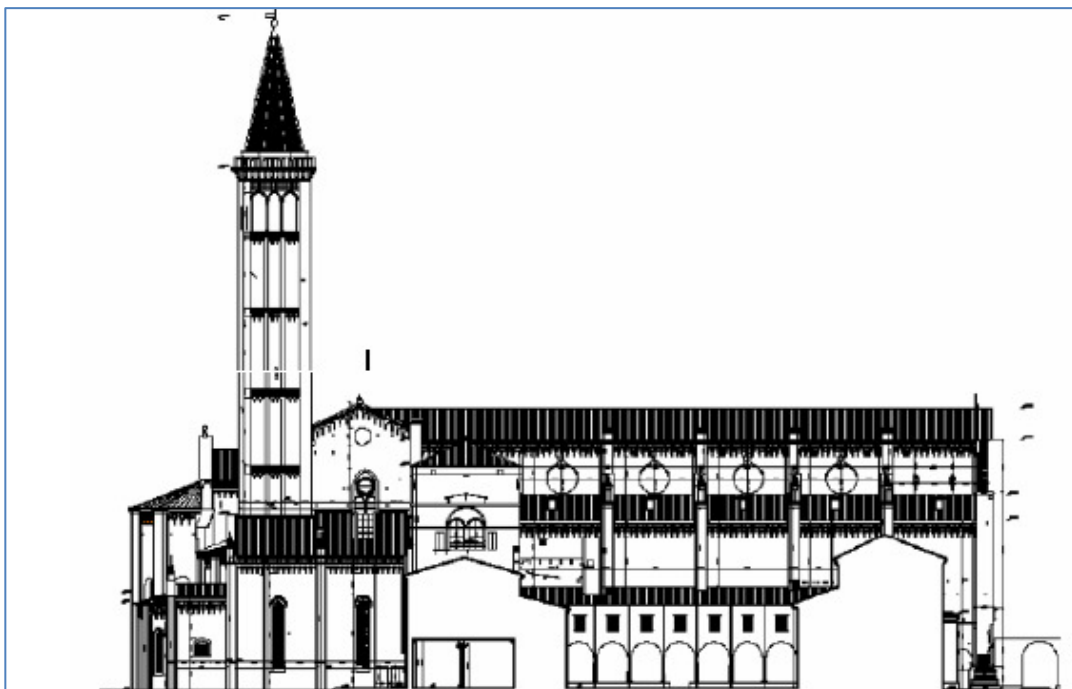


εικόνα 2.2.2.1: Η κάτοψη του ναού του Αγίου Πέτρου της Βερόνας και οι οδεύσεις



εικόνα 2.2.2.2: Η νότια όψη του ναού του Αγίου Πέτρου της Βερόνας





εικόνα 2.2.2.3: Η δυτική όψη του ναού του Αγίου Πέτρου της Βερόνας

### 2.2.3. Χαρακτηριστικά μεθόδου Φωτογραμμετρικής αποτύπωσης

Τα κύρια χαρακτηριστικά της Φωτογραμμετρικής Μεθοδολογίας αποτύπωσης είναι:

- Η αποτύπωση είναι αντικειμενική
- Ορίζεται σύστημα αναφοράς.
- Η ανακατασκευή των γεωμετριών του αντικειμένου, στο χώρο, γίνεται μέσω συνεχούς απόδοσης ή/και σημειακής.
- Υπάρχει δυνατότητα επιστημονικού ελέγχου του αποτελέσματος ως προς την ακρίβεια και αξιοπιστία.
- Δεν υπάρχει ανάγκη σχεδίων πεδίου (σκαριφήματα-κροκί).
- Υπάρχει δυνατότητα έμμεσων μετρήσεων.
- Μπορεί να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες της νέας σχεδιαστικής τεχνολογίας (π.χ., CAD), αλλά και της ψηφιακής τεχνολογίας ανάλυσης εικόνας (image processing). Επιπλέον είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν εύκολα οι νέες ολοκληρωμένες τεχνικές ψηφιακής τεκμηρίωσης (αλφαριθμητικά, γραφικά και εικόνες). Αντιμετωπίζονται άμεσα

λεπτομέρειες και πολύπλοκα αρχιτεκτονικά ή δύσκολα προσπελάσιμα στοιχεία.

- Στη διαδικασία των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων, ενσωματώνεται εύκολα η λογική της διαχρονικής παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς του αντικειμένου, εφόσον είναι εύκολη, φθηνή και "πληθωρική" η συλλογή δεδομένων.
- Γίνεται άμεση ανακατασκευή της στερεομετρίας του αντικειμένου.
- Αξιοποιούνται γεωμετρικές ιδιότητες (π.χ., σημεία φυγής, προοπτικότητας, κλπ.) τα οποία διευκολύνουν ή/και πλουτίζουν τις επεξεργασίες.
- Η αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων είναι δύσκολη.
- Υπάρχει ανάγκη για πρόσθετες εργασίες της τοπογραφικής μεθόδου (στις περιπτώσεις χρήσης φωτοσταθερών, ή τοποθέτησης του αντικειμένου σε αμοιβαία σχέση με άλλα αντικείμενα)
- Ο εξοπλισμός πεδίου είναι από χαμηλού κόστους μέχρι μέτριου.
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι εξειδικευμένος είτε μέτριου 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 φωτομηχανής, σχετικά με το αντικείμενο, σε επίγεια και από αέρα.

### **2.2.3.1 Ορθοφωτογραφίες**

Η ορθοφωτογραφία είναι μια εικόνα με μετρητική πληροφορία ορθή προβολή του αντικειμένου, σε αντίθεση με την απλή φωτογραφία η οποία είναι κεντρική προβολή του αντικειμένου με όλες τις προκύπτουσες από αυτό προοπτικές παραμορφώσεις. Η ορθοφωτογραφία έχει ενιαία κλίμακα σε όλη την έκτασή της και είναι απαλλαγμένη από τα σφάλματα που περιέχονται στην αρχική εικόνα λόγω των κλίσεων της λήψης και του αναγλύφου 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).

Στα επόμενα γίνεται αναφορά σε παραδείγματα αποτύπωσης μνημείων με ορθοφωτογραφίες.

- Οι Γεωργόπουλος et al. (2005) αποτύπωσαν τον Μαύρο πύργο της Σίφνου (Εικόνα 2.2.3.1α). Η παραγωγή της ορθοφωτογραφίας (Εικόνα 2.2.3.1β) έγινε αποκλειστικά με τη χρήση του φωτογραμμετρικών μεθόδων. Ο πύργος αυτός είναι κυλινδρικός και αποτελεί παράδειγμα πολύπλοκης μορφής μνημείου.



εικόνα 2.2.3.1α: Ο Μαύρος πύργος της Σίφνου



εικόνα 2.2.3.1β: Μωσαϊκό ορθοεικόνων του αναπτύγματος του κυλινδρικού πύργου

- Η εργασία των Hanke & Grussenmeyer (2002) παρουσιάζει την επεξεργασία ψηφιακής εικόνας της πρόσοψης κτιρίου (εικόνα 2.2.3.1γ) μέσω τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας όπου εφαρμόζονται εξισώσεις για κάθε pixel ώστε να γίνει η παραγωγή της ορθοφωτογραφίας (εικόνα 2.2.3.1δ)



εικόνα 2.2.3.1γ: Αρχική φωτογραφία



εικόνα 2.2.3.1δ: Επεξεργασμένη ορθοφωτογραφία σε κλίμακα

- Η εργασία των Γεωργόπουλου & Ιωαννίδη (2004) παρουσιάζει παράδειγμα ορθοφωτοχαρτών της πρόσοψης του μνημείου της εσωτερικής πρόσοψης της Πύλης του Αδριανού στην Αθήνα. Από την φωτογραφία τεκμηρίωσης της πρόσοψης (εικόνα 2.2.3.1ε) προέκυψε η ορθοφωτογραφία της πρόσοψης(εικόνα 2.2.3.1ζ).



εικόνα 2.2.3.1ε: Φωτογραφία τεκμηρίωσης πρόσοψης



εικόνα 2.2.3.1ζ: Ορθοφωτογραφία πρόσοψης (όχι σε κλίμακα)

#### 2.2.4. Κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου αποτύπωσης με Laser Scanner

- Είναι ταχύτερη και αξιόπιστη μέθοδος αποτύπωσης
- Παρέχει ακριβέστερα προϊόντα από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία
- Απαιτεί λιγότερη προεπεξεργασία αλλά και μικρότερο χρόνο εργασίας στο γραφείο
- Συνδυάζει την ακρίβεια της τοπογραφικής αποτύπωσης και την πληρότητα και συνέχεια αποτύπωσης της φωτογραμμετρικής
- Παρέχουν μεταβλητή ανάλυση στο έδαφος ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος
- Παρέχει συνολική αποτύπωση των 3D αντικειμένων χωρίς επιπλέον κόπο ή χρόνο εργασίας
- Το κόστος αγοράς εξοπλισμού είναι μεγάλο ενώ το κόστος της αποτύπωσης μπορεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλό λόγω του μειωμένου χρόνου παραμονής των ειδικευμένων επιστημόνων στο τόπο καταγραφής

και του περιορισμένου αριθμού εργατωρών που απαιτούνται για τη δημιουργία του συνολικού 3D μοντέλου

Τα σημεία που θα μετρηθούν δεν προσδιορίζονται από το χειριστή του οργάνου αλλά προκύπτουν τυχαία και το μόνο που καθορίζεται είναι το βήμα της οριζόντιας και κατακόρυφης ανάλυσης μετρήσεων.

#### 2.2.4.1 Παραγόμενα αποτύπωσης με Laser Scanner

Στις εικόνες 2.2.4.1 και 2.2.4.2 φαίνεται η αεροφωτογραφία και η κάτοψη του Ενετικού Φρουρίου Ρεθύμνου όπως αυτή δημιουργήθηκε από σάρωση με Laser Scanner το 2010 για την μελέτη αποκατάστασης των σημείων του τοίχου που είχαν ρωγμές εξαιτίας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της βλάστησης που είχε αναπτυχθεί πάνω στον τοίχο.

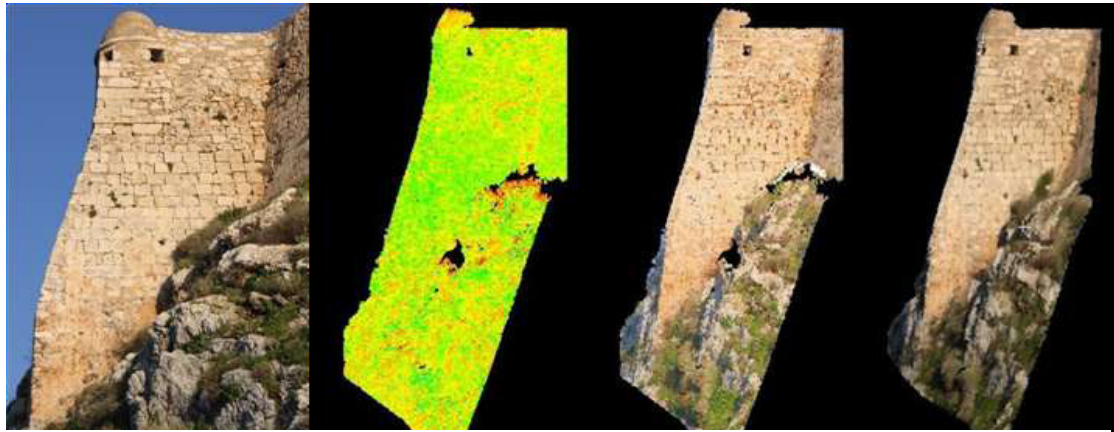


εικόνα 2.2.4.1: Αεροφωτογραφία Ενετικού Φρουρίου Ρεθύμνου



εικόνα 2.2.4.2: Κάτοψη από την επεξεργασία του νέφους σημείων

Οι μετρήσεις έγιναν στο Ενετικό Φρούριο Ρεθύμνου και ένα από τα παραδοτέα μετά την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τις σαρώσεις ήταν η παραπάνω κάτοψη όπως επίσης και το παρακάτω παράδειγμα (εικόνα 2.2.4.3) όπου από την αρχική φωτογραφία και το νέφος σημείων δημιουργήθηκε το νέφος σημείων το οποίο πήρε τα χρώματα της φωτογραφίας και στη συνέχεια δημιουργήθηκε το 3d mesh με φυσικά χρώματα.

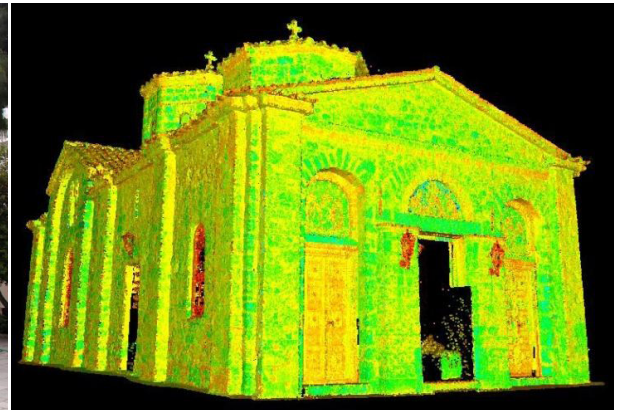


εικόνα 2.2.4.1: α) Φωτογραφία, β) νέφος σημείων, γ) νέφος σημείων με πραγματικά χρώματα και γ) Mesh (πλέγμα)

- Στην αποτύπωση που έγινε στον Ιερό Ναό Ασωμάτων της Μονής Πετράκη για το πρόγραμμα καταγραφής και ανάδειξης των ιερών ναών της Μητρόπολης, για την προβολή και περιήγηση σε αυτά μέσω του διαδικτύου, δημιουργήθηκε από την σάρωση και την επεξεργασία των δεδομένων η τρισδιάστατη φωτορεαλιστική παρουσίαση της εκκλησίας (εικόνα 2.2.4.4 και 2.2.4.5).

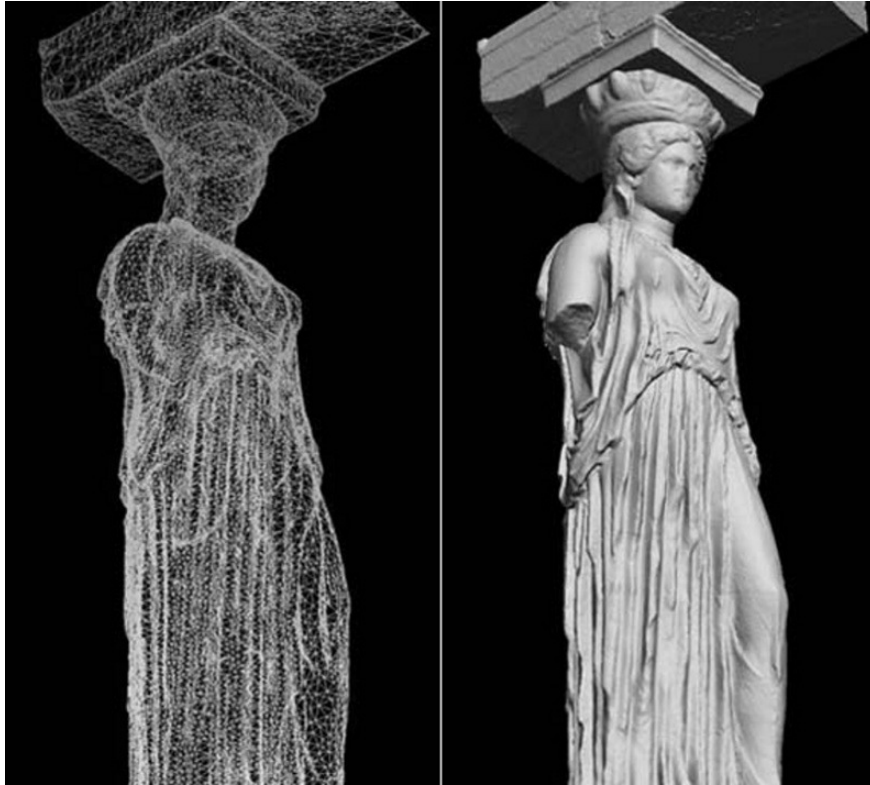


εικόνα 2.2.4.4: Φωτογραφία Ιερού Ναού Ασωμάτων της Μονής Πετράκη



εικόνα 2.2.4.5: Σύννεφο σημείων από εξωτερική σάρωση στην εκκλησία

- Η Υπηρεσία Συντήρησης Μνημείων Ακρόπολης (ΥΣΜΑ: <http://www.ysma.gr>) χρησιμοποίησε τη μέθοδο σάρωσης με Laser Scanner για την Γεωμετρική Τεκμηρίωση του μνημείου. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.2.4.6) διακρίνεται η Καρυάτιδα μετά την επεξεργασία των αρχικών σαρώσεων, αρχικά σαν τρίγωνα από το νέφος σημείων και στη συνέχεια σαν τρισδιάστατο μοντέλο.



εικόνα 2.2.4.6: Νέφος σημείων γεωμετρικής σάρωσης και επιφανειακό μοντέλο Καρυάτιδας από το Ερέχθειο

Ο μη κερδοσκοπικός οργανισμός CyArk προσπαθεί να καταγράψει μια λίστα των μνημείων και χώρων ιστορικής και πολιτιστικής σημασίας. Σκοπός του είναι η ψηφιακή διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς μέσα από τη συλλογή, αρχειοθέτηση και την παροχή ανοικτής πρόσβασης σε δεδομένα που δημιουργούνται από την σάρωση με λέιζερ, ψηφιακή μοντελοποίηση, και άλλες τεχνολογίες. Με φωτορεαλιστική υφή που εφαρμόζεται σε αυτά τα εικονικά σύννεφα σημείων μπορεί κανείς να περιηγηθεί σε αυτά τα μνημεία και να τα γνωρίσει από κοντά μέσω του υπολογιστή. Επίσης η βάση δεδομένων που δημιουργείται μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά για την συντήρηση ή αναστήλωση αυτών των μνημείων. Περισσότερα για τον CyArk μπορεί να βρει κανείς στο <http://archive.cyark.org/>. Μερικά παραδείγματα αναφέρονται στις εικόνες που ακολουθούν.

- Στην εικόνα 2.2.4.7 έχει γίνει σάρωση στο βουνό Rushmore με τη μέθοδο της τρισδιάστατης αποτύπωσης και στη συνέχεια με

επεξεργασία του νέφους σημείων και συνένωσης του με τις φωτογραφίες δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα. Η φωτογραφία είναι μια σύνθεση όλων των βημάτων που ακολουθήθηκαν από τη συλλογή των νεφών σημείων μέχρι το τελικό μοντέλο του 3d mesh. Από δεξιά παρατηρείται το νέφος σημείων το οποίο ομαλοποιείται και στο τέλος αριστερά εξάγεται το τρισδιάστατο μοντέλο με φυσικά χρώματα.



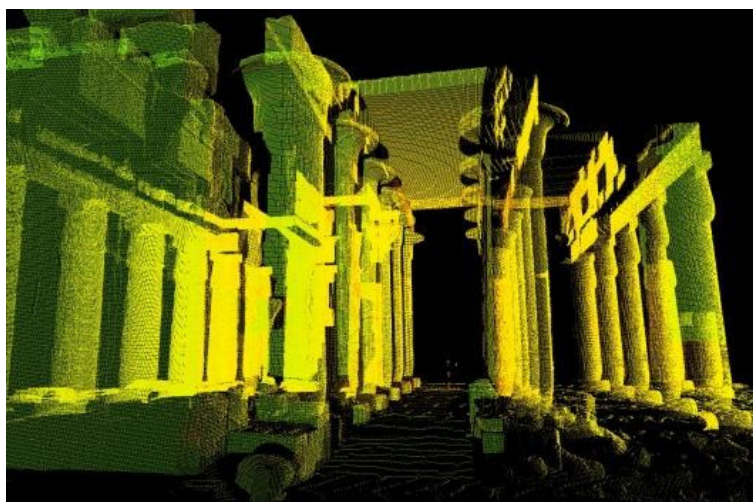
*εικόνα 2.2.4.7: Βουνό Rushmore Laser Scan*

- Στο επόμενο παράδειγμα είναι ένα τμήμα της Υπόστυλης αίθουσας στην Αρχαία Θήβα (εικόνα 2.2.4.8) και το νέφος σημείων (εικόνα 2.2.4.9 ). Η διαδικασία είναι η ίδια με τις προηγούμενες, μετά τη συλλογή των δεδομένων έγινε η ένωση των νεφών των σημείων και έδωσε το τελικό νέφος από το οποίο με τις απαραίτητες διαδικασίες έγινε η εξαγωγή της κάτοψης του μνημείου (εικόνα 2.2.4.10).

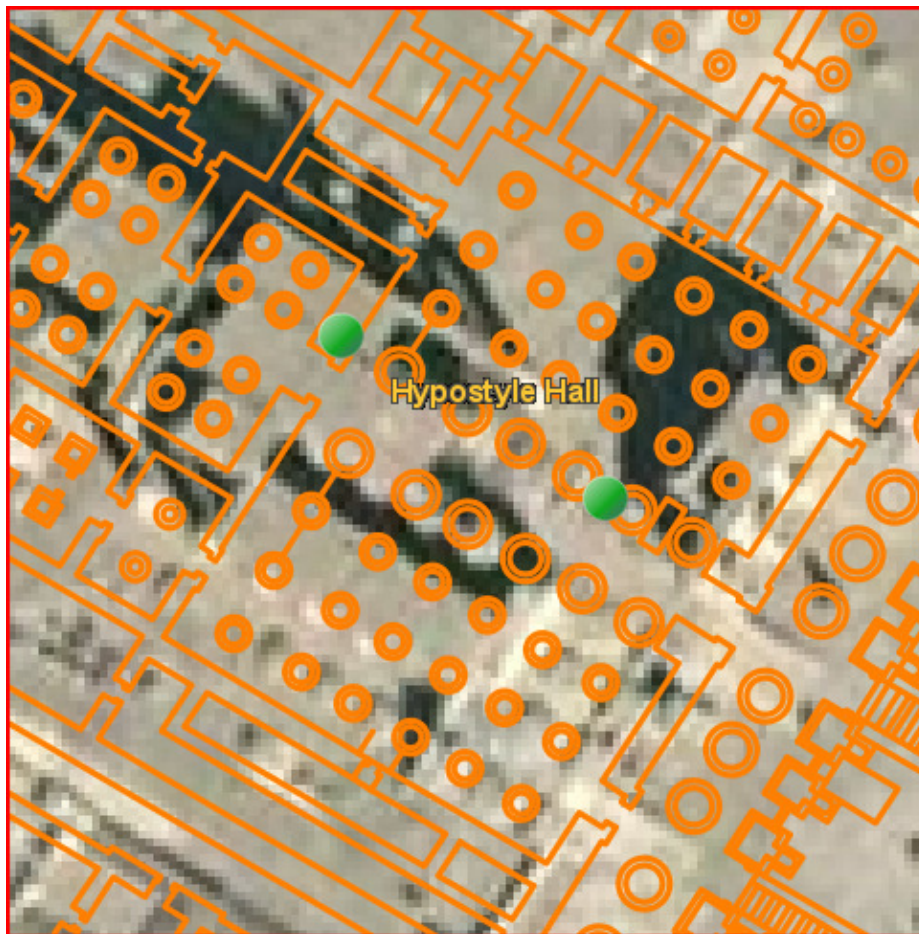




εικόνα 2.2.4.8: Υπόστυλη αίθουσα



εικόνα 2.2.4.9: Νέφος σημείων της Υπόστυλης αίθουσας

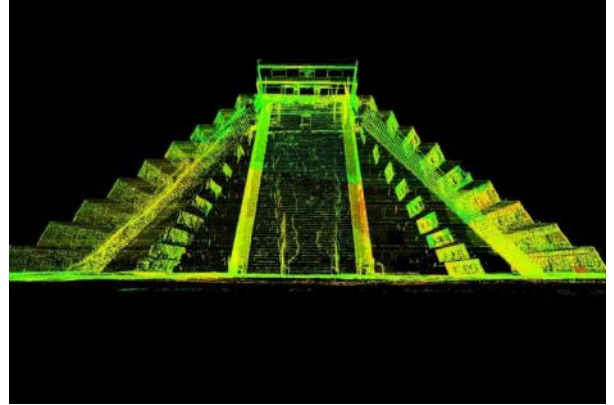


εικόνα 2.2.4.10: Κάτοψη Υπόστυλης αίθουσας από δεδομένα σάρωσης

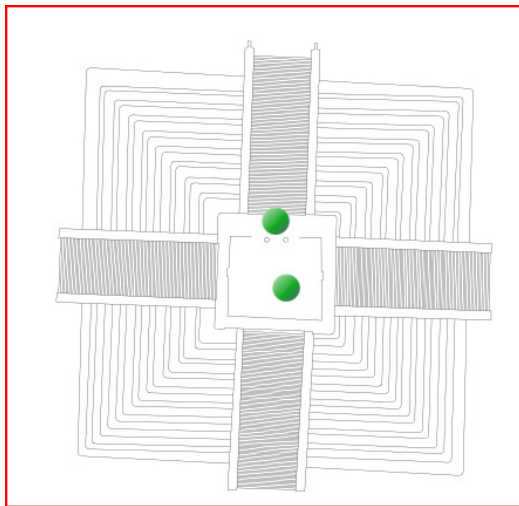
- Ακολουθεί ακόμα μία δουλειά που έγινε από τον οργανισμό CyArk φαίνεται η πυραμίδα του El Castillo στην Προ-Ισπανική πόλη Chichén Itzá των Μάγια η οποία έχει χαρακτηριστεί μνημείο Παγκόσμιας κληρονομιάς από την UNESCO. Είναι η φωτογραφία της δυτικής σκάλας (εικόνα 1.2.4.11), το νέφος σημείων (εικόνα 2.2.4.12), η κάτοψη (εικόνα 3.2.4.13) και η όψη (εικόνα 4.2.4.14) της δυτικής πλευράς της πυραμίδας. Μετά την σάρωση από όλες τις στάσεις έγινε η συνένωση των νεφών και δημιουργήθηκε ένα ενιαίο νέφος από το οποίο αφαιρέθηκε ο θόρυβος από τα τριγύρω κτίσματα ή άλλα εμπόδια. Στη συνέχεια από το τρισδιάστατο μοντέλο έγινε εξαγωγή της κάτοψης και της όψης της δυτικής πλευράς.



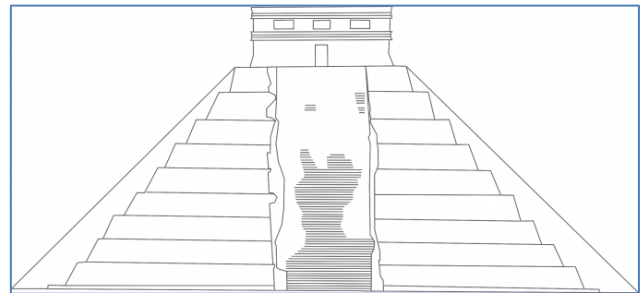
εικόνα 2.2.4.11: Φωτογραφία που ελήφθη από τη βάση της δυτικής σκάλας του El Castillo



εικόνα 2.2.4.12: Προοπτική του El Castillo, που δημιουργήθηκε από δεδομένα λέιζερ σάρωσης



εικόνα 2.2.4.13: Κάτοψη πυραμίδας



εικόνα 2.2.4.14: Όψη δυτικής πλευράς

### **3. ΑΡΧΑΙΟΣ ΠΥΡΓΟΣ ΚΕΑΣ**

Τα κεφάλαια που ακολουθούν χωρίζονται σε δύο μέρη, στο πρώτο θα γίνει μια εισαγωγική προσέγγιση και στο δεύτερο θα αναφερθούν οι εργασίες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα. Στο 3.1 θα αναφερθούν κάποια γενικά στοιχεία για τη Νήσο Κέα και μερικά λόγια για το πού βρίσκεται γεωγραφικά ο Αρχαίος Πύργος. Επίσης θα αναφερθούν κάποια ιστορικά στοιχεία τόσο για το νησί όσο και για τον Πύργο όπως επίσης η υφιστάμενη κατάσταση και περιγραφή του. Στο 3.2 θα αναφερθούν οι εργασίες προστασίας και ανάδειξης του Αρχαίου Πύργου και το στάδιο που βρίσκονται σήμερα.

#### **3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ**

Η Κέα είναι το δυτικότερο κατοικήσιμο νησί των Κυκλάδων, χωροθετείται στα βορειοανατολικά του Νομού Κυκλάδων και η επιφάνειά της εκτιμάται στα 130,6 τ.χλμ. ενώ έχει μήκος ακτών 88 χιλιόμετρα. Είναι το κοντινότερο νησί των Κυκλάδων (εκτός της Μακρονήσου) από την ακτές της αττικής. Το ψηλότερο βουνό είναι ο Προφήτης Ηλίας με υψόμετρο 568 μέτρα. Επίσης στο νησί υπάρχει ένα από τα μεγαλύτερα φυσικά λιμάνια (όρμοι) της Μεσογείου, ο κόλπος του Αγίου Νικολάου.

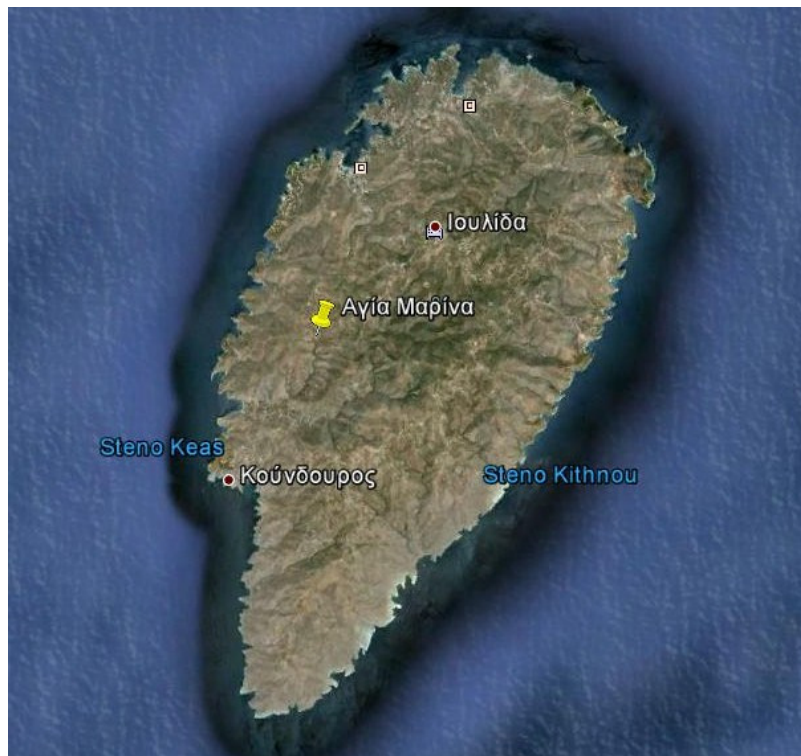
Η Κέα είναι σχετικά αραιοκατοικημένο νησί, με εξαίρεση την Κορησσία (Λιβιάδι), που αποτελεί το κεντρικό λιμάνι του νησιού, την Ιουλίδα, που είναι η Χώρα (πρωτεύουσα) του νησιού και το Βουρκάρι που είναι η ακριβότερη περιοχή του νησιού. Οι ωραιότερες περιοχές του νησιού, λόγω του ότι παραμένουν ακόμη εμπορικά μη αξιοποιημένες, βρίσκονται στην βορειοανατολική μεριά. Μια εξ αυτών είναι η Πέρα Μεριά που έχει αρκετές μικρές παραλίες, όπως το Σπαθί. Το καλοκαίρι σε όλο το νησί πραγματοποιείται η γιορτή των Παραμυθιών.

### 3.1.1. Γεωγραφική Οριοθέτηση

Ο αρχαίος πύργος βρίσκεται στην περιοχή της Αγίας Μαρίνας στη δυτική Κέα, μεταξύ Ιουλίδας και Ποισσών.

Ο αρχαίος Πύργος του Ιερού ναού Αγίας Μαρίνας Κέας βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το ομώνυμο Μοναστήρι το οποίο βρίσκεται 6,5 χλμ περίπου νοτιοδυτικά από την Ιουλίδα. Στην ενδοχώρα της δυτικής Κέας, στο μέσον μίας επιμήκου κοιλάδας μεταξύ της αρχαίας πόλης της Κορησσού (σημερινό λιμάνι/Κορησσία) και της Ποιήεσσας (σημερινό Ποίσσες).

Η τοποθεσία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 3.1.1 στο σημείο που έχει επισημανθεί με την κίτρινη καρφίτσα.



εικόνα 3.1.1: Θέση του Αρχαίου Πύργου στο νησί

### 3.1.2. Ιστορική Αναδρομή

Η Κέα κάποτε αποκαλείτο Υδρούσα, και πιστεύεται ότι το όνομα έχει συνδεθεί με τις νύμφες του νερού, που ζούσαν εδώ σύμφωνα με τη μυθολογία. Το νησί κατοικείται από τη Νεολιθική εποχή, και αργότερα. Η Κέα ήταν αρκετά ευημερούσα και ήταν γνωστή για τον απάνθρωπο νόμο της, που ανάγκαζε όλους τους πολίτες που έφταναν στα 70 να αυτοκτονήσουν πίνοντας κώνειο.

Στον 13ο αιώνα, το νησί το κατέλαβαν οι Ενετοί, και 300 χρόνια αργότερα οι Τούρκοι. Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας το νησί λεγόταν Τζιά. Η σημερινή του ονομασία οφείλεται στον ήρωα Κέω που ήταν επικεφαλής των Λοκρών από τη Ναύπακτο οι οποίοι κατά την αρχαιότητα κατέλαβαν το νησί. Στους αρχαϊκούς χρόνους (7ος -6ος αιώνας), στην Κέα υπήρχαν τέσσερις ανεξάρτητες και δυνατές οικονομικά και πολιτιστικά πόλεις: η Ιουλίς, η Καρθαία, η Ποιήεσσα και η Κορησσός. Ερείπια των οποίων υπάρχουν έως σήμερα και μαρτυρούν την μεγάλη ακμή του νησιού κατά την αρχαιότητα. Έπειτα κατά τους Βυζαντινούς χρόνους, την Φραγκοκρατία και την Τουρκοκρατία το νησί περιήλθε σε παρακμή και ήταν ορμητήριο πειρατών. Από το 1830, η Κέα, όπως και όλες οι Κυκλάδες περιελήφθη στο νεοσύστατο Ελληνικό κράτος.

### 3.1.3. Ιστορικά στοιχεία πύργου



εικόνα 3.1.3α: Γενική άποψη του αρχαιολογικού χώρου

Ο αρχαίος πύργος, ο οποίος χρονολογείται στον 4ο αι. π.χ. περιβάλλεται από τα κατάλοιπα της μεταβυζαντινής μονής της Αγίας Μαρίνας, με το όνομα της οποίας είναι σήμερα γνωστός (εικόνα. 3.1.3α).

Στην Κέα, όπως και σε πλήθος άλλων περιοχών της αρχαίας Ελλάδας, υπήρχε πυκνό δίκτυο πύργων. Η χρησιμότητα των μεμονωμένων αρχαίων πύργων είναι θέμα πολυσύνθετο. Ο οχυρωματικός χαρακτήρας των κτισμάτων αυτών είναι αναμφισβήτητος. Ειδικότερα στην περίπτωση του πύργου της Αγ. Μαρίνας, ο συγκεκριμένος χαρακτήρας ενισχύεται από την υπερυψωμένη είσοδο και τον περιμετρικό εξώστη στη στέψη του κτηρίου. Όμως η θέση του, στο κέντρο καλλιεργήσιμης κοιλάδας και η εγγύτητα σε πηγή νερού τού προσδίδει και έναν αγροτικό χαρακτήρα (εικόνα. 3.1.3β).



**εικόνα 3.1.3β: Χαλκογραφία του πύργου και της μονής της Αγ.Μαρίνας (M.R.Cockerell, 19ου αιώνα)**

Οι πύργοι συχνά περιβάλλονταν από προσκτίσματα και βοηθητικούς χώρους, ίχνη των οποίων δεν είναι ορατά στην περίπτωση του πύργου της Αγ. Μαρίνας. Είναι όμως πιθανό τα όποια σωζόμενα στοιχεία να έχουν χρησιμοποιηθεί ή να βρίσκονται κάτω από τα κατάλοιπα της μεταβυζαντινής μονής.

Περί το 1600 μ.Χ., γύρω από τον αρχαίο πύργο ιδρύθηκε μοναστήρι αφιερωμένο στην Αγία Μαρίνα. Στα νέα κτίσματα της μονής περιλαμβάνονταν το καθολικό, ένας ψηλός περίβολος και βοηθητικοί χώροι, ενώ ο πύργος εντάχθηκε στον περίβολο και χρησιμοποιήθηκε για σκοπούς ενδιαίτησης, αποθήκευσης αγαθών και άμυνας.

Λόγω της χρήσης του και της συντήρησής του από τους μοναχούς, το αρχαίο κτίριο διατηρείτο ακέραιο έως το α΄ μισό του 19ου αι., όπως αποτυπώνεται σε περιγραφές περιηγητών και σε χαλκογραφίες (Εικόνα 3.1.3β).

Το 1837 το συγκρότημα της μονής και ο πύργος εγκαταλείπονται. Το ίδιο έτος επισκέπτονται τον πύργο ο αρχαιολόγος L. Ross και ο αρχιτέκτονας E. Schaubert. Είναι οι τελευταίοι που μαρτυρούν την ακέραιη διατήρησή του σε σχέδια (που δυστυχώς χάθηκαν κατά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο) και σε περιγραφή. Όταν το 1840 ο Ross βρίσκεται πάλι στον πύργο ξεναγώντας το βασιλικό ζεύγος, διαπιστώνει ότι είχε ήδη καταρρεύσει τμήμα του δυτικού τοίχου.

#### **3.1.4. Περιγραφή Αρχαίου Πύργου**

Από την επίσημη ιστοσελίδα του Υπουργείου Πολιτισμού στην διεύθυνση <http://www.tdpeae.gr/index.php?ID=otXfj9IUHpPnVLGM> γίνεται αναλυτική περιγραφή του αρχαίου Πύργου. Πρόκειται για έναν τετράγωνο αυτόνομο πύργο με διαστάσεις πλευράς 9,90 μ. και ύψος 19,55 μ., ο οποίος εσωτερικά διέθετε πέντε επίπεδα. Η επικοινωνία ανάμεσα στα επίπεδα γινόταν με λίθινη, εσωτερική κλίμακα πακτωμένη στους περιμετρικούς εξωτερικούς τοίχους. Τα επίπεδα διαχωρίζονταν σε διαμερίσματα με μεσότοιχο στον άξονα ανατολής-δύσης, ο οποίος εκτεινόταν σε όλο το ύψος του κτηρίου, αλλά και με άλλους εγκάρσιους τοίχους, στο γ΄ και δ΄ επίπεδο. Στο ανώτερο επίπεδο υπήρχε περιμετρικός εξώστης, ο οποίος διέτρεχε και τις τέσσερις πλευρές του κτηρίου και στηριζόταν σε λίθινους προβόλους. Μικρός μεμονωμένος εξώστης υπήρχε και στη νότια πλευρά του κτηρίου, στο ύψος του δ΄ επιπέδου. Κάτω από τον εξώστη και υπερυψωμένη κατά 2,00 μ. από το έδαφος βρίσκεται η είσοδος του πύργου.

Ο πύργος διέθετε ευμεγέθη παράθυρα στη νότια, την ανατολική και τη δυτική πλευρά, ενώ στη βόρεια υπήρχαν μόνο σχιστοειδή ανοίγματα, τα οποία διευρύνονταν προς το εσωτερικό. Τα παράθυρα διέθεταν πλαίσιο και γείσο από λευκό μάρμαρο. Στα δύο ανώτερα επίπεδα η εναλλαγή ανοίγματος – τοίχου ήταν σχεδόν ισοδύναμη.

Ιδιαίτερη μορφή λαμβάνει ο πύργος στο ανώτερο επίπεδο, όπου σε όλες τις πλευρές υπήρχαν από τέσσερα μεγάλα ανοίγματα που διαχωρίζονταν από πεσσόμορφα τοιχία σε ισοδύναμη εναλλαγή. Αυτή η εναλλαγή πεσσών και ανοιγμάτων έχει ερμηνευθεί ως διαμόρφωση επάλξεων, σε συνδυασμό μάλιστα με τον περιμετρικό εξώστη του επιπέδου αυτού και τον οχυρωματικό χαρακτήρα του κτηρίου. Σύμφωνα με αυτήν την ερμηνεία, ο πύργος θα



στεγαζόταν με επίπεδο δώμα. Το θέμα όμως της στέγασης του πύργου παραμένει ανοιχτό, καθώς πρέπει να εξεταστεί και η άποψη του L. Haselberger, ο οποίος υποστηρίζει ότι τα ανοίγματα δεν ήταν επάλξεις αλλά παράθυρα και ότι η στέγαση γινόταν με δίρριχτη στέγη.

Για την κατασκευή του πύργου χρησιμοποιήθηκαν λιθόπλινθοι από σχιστόλιθο και γκρι δολομιτικό μάρμαρο. Το σύστημα δόμησης είναι το ακανόνιστο τραπεζιόσχημο, στο οποίο για την πλήρωση των μικρών κενών χρησιμοποιούνται πλακοειδή βύσματα. Οι εξωτερικοί τοίχοι είναι δίτονοι, χωρίς συνδετικό κονίαμα ή άλλο μέσο σύνδεσης, και η χρήση των διάτονων λίθων είναι περιορισμένη. Το πάχος τους φτάνει το 1,40 μ. στο α' επίπεδο και παρουσιάζει σταδιακή μείωση 0,10-0,15 μ. ανά επίπεδο. Τα δάπεδα διαμορφώνονταν με ξύλινες δοκούς, εκτός από το δάπεδο του β' επιπέδου, όπου τα δοκάρια ήταν λίθινα. Λίθινοι δοκοί χρησιμοποιήθηκαν επίσης για να φέρουν τους εγκάρσιους διαχωριστικούς τοίχους του γ' και δ' επιπέδου.

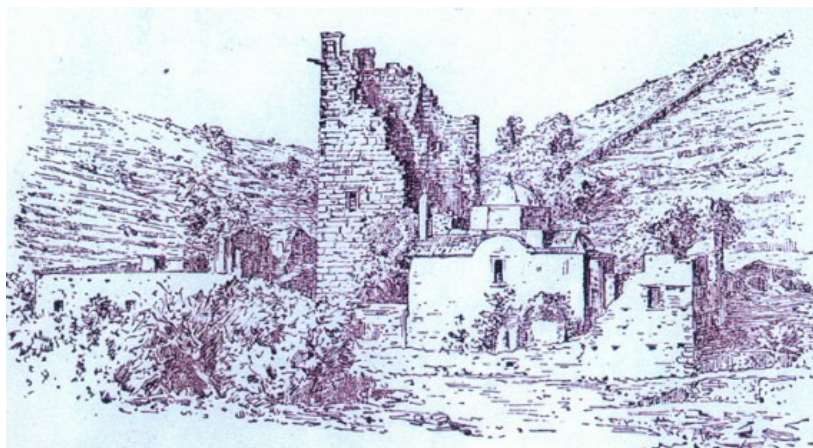
Εξωτερικά, ο πύργος χωρίζεται σε τρεις διακριτές οριζόντιες ζώνες, βάση - κορμό - στέψη. Η διαφοροποίηση αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφορετικού υλικού δόμησης, τη διαφορετική επεξεργασία στην εξωτερική επιφάνεια των λίθων και τη χρήση λίθων διαφορετικού μεγέθους. Στη βάση (α' επίπεδο) χρησιμοποιούνται μεγάλοι λιθόπλινθοι από γνευσιοσχιστόλιθο με επιφάνειες αδρά επεξεργασμένες, οι οποίες παρουσιάζουν κύρτωση. Στον κορμό (β' και γ' επίπεδο) χρησιμοποιείται ως υλικό δόμησης, κατά κύριο λόγο, το γκρι δολομιτικό μάρμαρο, οι λιθόπλινθοι έχουν λοξότμητες άκρες και επιφάνειες με ελαφρά λοξές αυλακώσεις, επεξεργασμένες με βελόνι στα οριζόντια περιθώρια. Η μετάβαση από τον κορμό στη στέψη έχει σαφές όριο, το οποίο καθορίζεται από λεπτή, ελάχιστα προεξέχουσα οριζόντια ζώνη. Στη στέψη (δ' και ε' επίπεδο) γίνεται χρήση αποκλειστικά και μόνο λιθοπλίνθων από γκρι δολομιτικό μάρμαρο, με επιμελώς επεξεργασμένες επιφάνειες, απολύτως επίπεδες, με διακοσμητικά λαξεύματα με βελόνι.

Ο πύργος της Αγ. Μαρίνας είναι μνημείο μοναδικής αξίας για την αρχαία ελληνική αρχιτεκτονική. Αποτελεί το καλύτερα σωζόμενο παράδειγμα τετράγωνου αυτόνομου πύργου των υστεροκλασικών χρόνων, ο οποίος διατηρεί τμήματά του σχεδόν μέχρι το αρχικό ύψος τους, ενώ εμφανίζει μοναδικές αρχιτεκτονικές και μορφολογικές ιδιαιτερότητες. Παραπλήσια παραδείγματα μεμονωμένων πύργων που σώζονται σε μεγάλο ύψος είναι ο πύργος του Χειμάρρου στη Νάξο (ύψους 14,90 μ., διαμέτρου 9,20 μ.) και ο

πύργος του Αγ. Πέτρου στην Άνδρο (ύψους 19,80 μ., διαμέτρου 9,70 μ.), αλλά σε αμφότερες περιπτώσεις πρόκειται για πύργους κυκλικής κάτοψης.

### 3.1.5. Υφιστάμενη Κατάσταση Αρχαίου Πύργου

Ο Κ. Μάνθος, Τζιώτης αρχαιοδίφης του 19ου αι., σημειώνει ότι τμήμα του πύργου κατέρρευσε στις 8 Σεπτεμβρίου του 1858, ύστερα από έντονα καιρικά φαινόμενα με ισχυρές βροχοπτώσεις. Τα επόμενα χρόνια, μέρος του κατακρημνισμένου υλικού χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή ή την επισκευή γειτονικών κτισμάτων. Παράλληλα, συντελέστηκε σταδιακή καταστροφή και λιθολόγηση των κτισμάτων και του περιβόλου της μονής. Ο L. Savignoni, ιταλός αρχαιολόγος, αποτυπώνει την εικόνα του χώρου το 1890 (Εικόνα 3.1.4α).



εικόνα 3.1.4α: Σκίτσο των ερειπίων του πύργου και της μονής της Αγ.Μαρίνας (L.Savignoni, 1998)

Έκτοτε ο πύργος παρέμενε ερειπωμένος και σε ετοιμόρροπη κατάσταση. Ο ανατολικός τοίχος του έχει καταρρεύσει σχεδόν ολοσχερώς. Από το νότιο τοίχο έχει καταρρεύσει πλέον του προς ανατολάς ημίσεως, ενώ από τον δυτικό μεγάλο μέρος του μεσαίου άνω τμήματος. Μόνο ο βόρειος τοίχος σώζεται σε ικανοποιητική κατάσταση, αλλά με εντονότατη κλίση στο άνω τμήμα του. Αντίστοιχα, ο εγκάρσιος εσωτερικός τοίχος σωζόταν μέχρι το ύψος του γ' επιπέδου, ενώ από τους διαχωριστικούς τοίχους των επιμέρους διαμερισμάτων έχει διασωθεί μόνο μικρό τμήμα του δ' επιπέδου, το οποίο επικρέμαται σε ύψος 15 μ.

Από το 1890 και έως το πρόσφατο παρελθόν η κατάσταση αυτή έμοιαζε απaráλλακτη, αν και αναμφισβήτητα εξαιρετικά ασταθής.

Τα τελευταία χρόνια όμως και με μεγάλη συχνότητα, έχουν συμβεί διαδοχικές κατακρημνίσεις σημαντικών τμημάτων του πύργου, θέτοντας σε άμεσο κίνδυνο οποιονδήποτε επισκέπτη του μνημείου ή του ιερού ναού της Αγ. Μαρίνας:

Τον Οκτώβριο του 2005 κατέρρευσε μικρό τμήμα της εξωτερικής παρειάς του νότιου τοίχου στο β' επίπεδο, το οποίο εμφάνιζε έντονη παραμόρφωση.

Τον Νοέμβριο του 2006 κατέρρευσε το τμήμα του εγκάρσιου εσωτερικού τοίχου στο γ' επίπεδο, με αποτέλεσμα την οξεία καταπόνηση του δυτικού τοίχου.

Τον Φεβρουάριο του 2010 κατέρρευσε, κάτω από ιδιαίτερα έντονες καιρικές συνθήκες, σημαντικό τμήμα της εξωτερικής παρειάς του νότιου τοίχου.

Η κατάσταση στην οποία περιήλθε το μνημείο ήταν πλέον άκρως επικίνδυνη και έχρηζε επείγοντως εκτεταμένων στερεωτικών επεμβάσεων.

### **3.2. ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

Επίσης στην ιστοσελίδα του Υπουργείου Πολιτισμού αναφέρονται και οι εργασίες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα στο μνημείο. Μέχρι προσφάτως δεν είχαν επιχειρηθεί εργασίες προστασίας και ανάδειξης του αρχαίου πύργου και του αρχαιολογικού χώρου εν γένει, καθώς η επικίνδυνη κατάσταση του μνημείου καθιστούσε αδύνατη κάθε πρόχειρη και άμεση σωστική επέμβαση. Η οποιαδήποτε επέμβαση χωρίς εμπειριστατωμένη στατική μελέτη, στο συγκεκριμένο μνημείο, ειδικότερα μετά τις πρόσφατες καταρρεύσεις, θα ήταν εξαιρετικά επικίνδυνη τόσο για τους εργαζομένους, όσο και για το ίδιο το μνημείο. Έπρεπε να εξασφαλισθούν απαραίτητως δύο προϋποθέσεις: α) σύνταξη μελέτης ειδικού ικρώματος στήριξης και έγκρισή της από το Κ.Α.Σ. και β) επαρκείς οικονομικοί πόροι για την εφαρμογή της μελέτης.

### **3.2.1 Εργασίες προστασίας και ανάδειξης του αρχαίου πύργου**

Η διαδικασία για την σύνταξη μελέτης ειδικού ικριώματος στήριξης ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβριο του 2009 με την έγκριση από το Κ.Α.Σ. (Κεντρικό Αρχαιολογικό Συμβούλιο) της «Μελέτης στήριξης του αρχαίου πύργου στην Αγία Μαρίνα νήσου Κέας».

Η ευθύνη για την εκτέλεση των εργασιών στον πύργο ανατέθηκε στην Επιστημονική Επιτροπή Συντήρησης, αποκατάστασης και ανάδειξης των αρχαίων μνημείων της Κέας του Τ.Δ.Π.Ε.Α.Ε. (Ταμείο Διαχείρισης Πιστώσεων για την Εκτέλεση Αρχαιολογικών Έργων) η οποία δρομολόγησε κατά το δυνατόν ταχύτερα τις απαραίτητες διοικητικές ενέργειες για τη χρηματοδότηση των εργασιών από το Ε.Σ.Π.Α.

Στις 7-6-2011 ξεκίνησαν οι εργασίες ανασυρσης των πεσμένων αρχιτεκτονικών μελών από τις πρόσφατες κατακρημνίσεις. Για την ανασυρση χρησιμοποιήθηκε τηλεσκοπικός γερανός, μέγιστου ωφέλιμου φορτίου 95 τόνων με μέγιστο μήκος μπούμας 58 μ. σε οριζόντια απόσταση 52 μ. Αρχικά ανασύρθηκαν οι πεσμένοι λίθοι στα νότια και τα ανατολικά του μνημείου και ταξινομήθηκαν στο χώρο νότια του πύργου. Στη συνέχεια ανασύρθηκαν οι πεσμένοι λίθοι από το εσωτερικό του μνημείου, οι οποίοι ταξινομήθηκαν στα βόρεια του πύργου, σε παρακείμενο αγρό. Όλοι οι λίθοι αριθμήθηκαν και πραγματοποιήθηκε μία πρώτη καταγραφή σε σχέση με τη θέση όπου βρέθηκαν, το είδος και το μέγεθος του λίθου και την πιθανή αρχική τους θέση.

Μετά την απομάκρυνση των λίθων, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ίδιου τηλεσκοπικού γερανού η επίχωση του βόρειου διαμερίσματος του πύργου με σκύρα συσκευασμένα σε μεγάλους σάκους, μέχρι το ύψος των δοκαριών του δευτέρου ορόφου, προκειμένου να δημιουργηθεί το κατάλληλο επίπεδο για την έδραση του εσωτερικού τμήματος του ικριώματος στερέωσης. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν οι προβλεπόμενες βάσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα για την έδραση του εξωτερικού τμήματος του ικριώματος, στις τρεις πλευρές του μνημείου (στα νότια, δυτικά και βόρεια).

Στις 20-6-11 κατέφθασαν στο χώρο του Έργου τα μεταλλικά στοιχεία για την κατασκευή του ικριώματος στήριξης. Πρόκειται για τυποποιημένα χαλύβδινα, γαλβανισμένα στοιχεία πλαισίων, χιαστί ράβδων, σωλήνων, συνδέσμων προεκτάσεως και ορθής και μεταβλητής γωνίας και ρυθμιζόμενων κοχλιωτών βάσεων. Την επομένη ξεκίνησε η κατασκευή του ικριώματος από

συνεργείο ειδικευμένων συντηρητών, η οποία ολοκληρώθηκε με επιτυχία στις 24-7-11, σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη στήριξης. Το μνημείο πλαισιώθηκε από ικρίωμα και στις τέσσερις πλευρές του, εσωτερικά και εξωτερικά. Εξωτερικά, το ικρίωμα τοποθετήθηκε σε άμεση επαφή με τον πύργο. Οι διαστάσεις του ικριώματος είναι 13,50 X 13,15 μ., στο οποίο διατάσσονται συνολικά 52 πλαίσια, εκ των οποίων 36 περιμετρικά του πύργου και 16 εσωτερικά. Καθ' ύψος διατάσσονται έως 12 πλαίσια από τη στάθμη του περιβάλλοντος εδάφους, δύο λιγότερα στην ανατολική πλευρά και τρία λιγότερα στο εσωτερικό του πύργου. Παράλληλα με την κατασκευή του ικριώματος πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές αντιστηρίξεις και υποστυλώσεις στα ετοιμόρροπα και παραμορφωμένα τμήματα του μνημείου.

### **3.2.2 Στάδιο που βρίσκονται οι εργασίες σήμερα**

Σήμερα έχει σχεδόν ολοκληρωθεί η πρώτη φάση του Έργου, η οποία αφορά στην άμεση και προσωρινής φύσης στήριξη και σταθεροποίηση της υπάρχουσας ετοιμόρροπης κατάστασης, σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη. Ορισμένες τελικές εργασίες αντιστήριξης στα ανώτερα τμήματα του μνημείου ολοκληρώθηκαν εντός του Σεπτεμβρίου 2011.

Παράλληλα, βρίσκονται σε εξέλιξη εργασίες καταγραφής, οργάνωσης και ταύτισης των ταξινομημένων αρχιτεκτονικών μελών από τις πρόσφατες καταρρεύσεις. Επίσης, ξεκινά η λεπτομερής αποτύπωση και τεκμηρίωση του μνημείου, δεδομένου ότι είναι πλέον εφικτή η προσέγγισή του σε μικρή απόσταση και με σχετική ασφάλεια.

## 4. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΡΧΑΙΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΚΕΑΣ

### 4.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Από τις διάφορες μεθόδους αποτύπωσης επιλέχθηκε αυτή της σάρωσης με χρήση Laser Scanner. Οι λόγοι αναφέρονται παρακάτω.

#### 4.1.1. Αποτύπωση με χρήση Laser Scanner

Σαν αρχική ιδέα αποτύπωσης ήταν η φωτογραμμετρική μέθοδος αλλά λόγω του πλέγματος από σκαλωσιές (εικόνα 4.1.1α και εικόνα 4.1.1β) το τελικό αποτέλεσμα δεν θα ήταν το επιθυμητό.



εικόνα 4.1.1α: Φωτογραφία πύργου



εικόνα 4.1.1β: Φωτογραφία πύργου

Οι κλασσικές μέθοδοι εκτός του ότι θα ήταν πολύ χρονοβόρες για το συγκεκριμένο αντικείμενο δεν θα έδιναν τον όγκο πληροφορίας που χρειάζεται η ομάδα μελέτης για να προχωρήσει σε τεκμηρίωση της υπάρχουσας κατάστασης και παρεμβάσεις για την αναστήλωση, όπως επίσης και σε στατικές μελέτες που θα γίνουν στη συνέχεια. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο η αποτύπωση με Laser Scanner μας δίνει ένα νέφος σημείων της περιοχής σάρωσης. Επειδή το αντικείμενό ήταν αρκετά πολύπλοκο οι δυνατότητες που δίνει το νέφος σημείων από την συνένωση

διαφορετικών σαρώσεων ήταν και ο λόγος που επιλέχθηκε αυτός ο τρόπος. Η σάρωση από διαδοχικές στάσεις δίνει τη δυνατότητα να επιλεχθούν τα σημεία του έχουν μετρηθεί πάνω στον τοίχο και να απορριφθούν τα σημεία πάνω στις σκαλωσιές. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα το τελικό προϊόν να είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση του τοίχου του Πύργου.

#### 4.1.2. Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο σαρωτής (Leica Scanstation C10) όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο τρίποδας για την τοποθέτησή του, φωτογραφική μηχανή και γεωδαιτικό GPS. Εδώ θα αναφερθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σαρωτή, του γεωδαιτικού GPS και της φωτογραφικής μηχανής.

##### 4.1.2.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Scanstation C10

Για την αποτύπωση του πύργου επιλέχθηκε ο σαρωτής Scanstation C10 της Leica Geosystems AG (εικόνα 4.1.2), τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οποίου αναφέρονται παρακάτω (<http://www.metrica.gr/topografikos-eksoplismos/3D-Laser-Scanners/Leica-ScanStation-C10>):



εικόνα 4.1.2.1: Σαρωτής Leica Scanstation C10

Το σύστημα του σαρωτή περιλαμβάνει εκτός από την κεφαλή του και όλα τα παρελκόμενα (τρίποδας, μπαταρίες με τροφοδοτικό, καλώδια επικοινωνίας και τροφοδοσίας, στόχοι, τρικόχλιο).

Υπάρχει η δυνατότητα χειρισμού του σαρωτή δίχως τη χρήση laptop.

Ο σαρωτής λειτουργεί με παλλόμενο laser, δηλαδή με την τεχνολογία Time-of-Flight, και το laser είναι πράσινο κλάσης 3R .

Διαθέτει οπτικό πεδίο 360° x 270° σε οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, αντίστοιχα, επίσης διαθέτει

αναπόσπαστο σερβομηχανισμό που επιτρέπει την κάλυψη του οπτικού πεδίου 360° x 270° χωρίς την χρήση άλλης βάσης. Ο μηχανισμός της σερβοκίνησης δεν απαιτεί βαθμονόμηση.

Ανάλυση της σάρωσης κατά τον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα μέχρι 1mm/100 m.

Διαθέτει ενσωματωμένη auto-adjusting έγχρωμη ψηφιακή κάμερα υψηλής ανάλυσης 4megapixels με zoom video. Το κέντρο της κάμερας ταυτίζεται με το κέντρο εκπομπής της δέσμης laser. Επιπλέον, ο σαρωτής μπορεί να φωτογραφίζει και να αποδίδει στο νέφος σημείων χρωματική υφή από την κάμερα.

Διαθέτει ενσωματωμένο σκληρό δίσκο καταγραφής των μετρήσεων χωρητικότητας 80GB.

Υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων μέσω USB συσκευής.

Ο σαρωτής διαθέτει μέγεθος κουκίδας laser 4,5mm στα 50m.

Ο ρυθμός σάρωσης είναι 50.000σημεία/sec.

Υπάρχει δυνατότητα πραγματοποίησης όδευσης (χωρίς τη χρήση waypoints).

Η ελάχιστη απόσταση εστίασης είναι το πολύ 1m, ενώ η εμβέλεια του σαρωτή είναι 300m.

Υπάρχει η δυνατότητα συνεργασίας του σαρωτή με GPS και συμβατικά τοπογραφικά όργανα.

Διαθέτει δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης και σάρωσης στόχων με υψηλή ανάλυση.

#### 4.1.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωδαιτικού GPS Leica GS08 NetRover



εικόνα 4.1.2.2: Γεωδαιτικό GPS Leica GS08 NetRover

(εικόνα 4.1.2.2) (<http://www.metrica.gr>)

- Σχεδιασμένο για δίκτυα μόνιμων σταθμών αναφοράς GNSS
- 72 κανάλια (GPS + GLONASS)
- GPS: L1,L2,L2C (C/A,P, C Code)
- GLONASS: L1,L2 (C/A,P narrow code)
- Τεχνολογίες SmartCheck, SmartTrack, SmartRTK
- Reliability 99,99%



- Μέθοδοι network positioning : VRS, FKP, iMAX, MAX, Nearest Station
- GSM/GPRS connection
- CS10 3.5G χειριστήριο με ενσωματωμένο high-speed 3.5G mobile broadband
- Ανταλλαγή στοιχείων - δεδομένων μεταξύ γραφείου και πεδίου μέσω ftp server
- Τεχνολογία Bluetooth class 2.0- απαλλαγμένο από καλώδια
- Intenna technology
- 1GB εσωτερική μνήμη
- Ελληνικό μενού
- Απλοποιημένη ροή εργασίας
- Ελαφρύ και κατάλληλο για εφαρμογές RTK
- Ανθεκτικό σε σκόνη, υγρασία και βροχή κατά IP67
- Wi-fi
- 2 Megapixel fixed focus camera
- Φωνητική καθοδήγηση

#### 4.1.2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτογραφικής μηχανής NIKON D90

(εικόνα4.1.2.3) ([http://en.wikipedia.org/wiki/Nikon\\_D90](http://en.wikipedia.org/wiki/Nikon_D90))



εικόνα 4.1.2.3: Φωτογραφική μηχανή Nikon D90

<b>Περιγραφή προϊόντος:</b>	Nikon D90 - Body - Ψηφιακή φωτογραφική μηχανή DSLR
<b>Τύπος προϊόντος:</b>	Ψηφιακή φωτογραφική μηχανή - SLR
<b>Διαστάσεις (ΠxΒxΥ):</b>	13,2 cm x 7,7 cm x 10,3 cm
<b>Βάρος:</b>	0,62 κιλά
<b>Υποστηριζόμενη μνήμη flash:</b>	Κάρτα μνήμης SD, Κάρτα μνήμης SDHC
<b>Σύστημα μείωσης σκόνης αισθητήρα:</b>	Ναι
<b>Ανάλυση αισθητήρα:</b>	12,3 Megapixel
<b>Τρόποι εγγραφής:</b>	Frame movie mode
<b>Φλας μηχανής:</b>	Πτυσσόμενο (pop-up) φλας
<b>Μείωση του φαινομένου κόκκινων ματιών:</b>	Ενσωματωμένη
<b>Μικρόφωνο:</b>	Μικρόφωνο - ενσωματωμένο
<b>Εικονοσκόπιο:</b>	Οπτικό - σταθερό πρίσμα πενταγώνου στο ύψος του ματιού
<b>Οθόνη:</b>	Οθόνη LCD - TFT active matrix - 3" - έγχρωμη
<b>Υποστηριζόμενες μπαταρίες:</b>	1 x Nikon EN-EL3e Li-ion επαναφορτιζόμενη μπαταρία ιόντων λιθίου (περιλαμβάνεται)

## 4.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ

### 4.2.1. Περιοχή αποτύπωσης – Δυσκολίες αποτύπωσης

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο ο Πύργος του Ιερού ναού Αγίας Μαρίας Κέας βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το ομώνυμο Μοναστήρι το οποίο βρίσκεται 6,5 χλμ περίπου νοτιοδυτικά από την Ιουλίδα.

Οι μετρήσεις ολοκληρώθηκαν σε 2 επισκέψεις. Στην πρώτη επίσκεψη στις 22 Φεβρουαρίου 2012, λόγω κακοκαιρίας/βροχόπτωσης η ομάδα δεν κατάφερε να πραγματοποιήσει τις προγραμματισμένες μετρήσεις και



εικόνα 4.2.1: Βορεινή όψη και περίφραξη

απαιτήθηκε δεύτερη επίσκεψη η οποία έγινε στις 7 Μαρτίου 2012. Τα εμπόδια που έπρεπε να ξεπεραστούν ήταν αρκετά. Όπως είναι εμφανές και στην (εικόνα 4.2.1), υπάρχει περίφραξη γύρω από το χώρο του πύργου για να

εμποδίζει την διέλευση ανθρώπων αλλά και ζώων, τα οποία υπάρχουν στα τριγύρω λιβάδια. Στην εικόνα 4.2.2 και 4.2.3 φαίνεται πόσο κοντά είναι τα κτίσματα αλλά και τα δέντρα τα οποία περιορίζουν πολύ το χώρο για την τοποθέτηση του σαρωτή. Επίσης σε όλες τις φωτογραφίες είναι ευδιάκριτες οι σκαλωσιές που έχουν τοποθετηθεί στον πύργο για να στηρίζουν τα τμήματα που κινδυνεύουν με κατάρρευση. Ο συνδυασμός όλων αυτών έκανε πολύ δύσκολη την εύρεση σημείων που επιλέχτηκαν για στάσεις.



εικόνα 4.2.2: Δυτική και νότια πλευρά, είσοδος Αγίας Μαρίας



εικόνα 4.2.3: Δυτική πλευρά Πύργου



εικόνα 4.2.4: Επιλογή στάσεων (Google Earth)

Εξετάζοντας προσεκτικά το χώρο επιλέχθηκαν οι στάσεις (εικόνα 4.2.4 ) στις οποίες στήθηκε τελικά ο σαρωτής με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει επικάλυψη των περιοχών που καλύπτουν οι σκαλωσιές και για αποφυγή εμποδίων που θα αναφερθούν πιο αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Η πρώτη σειρά μετρήσεων στις 22 Φεβρουαρίου 2012, λόγω κακοκαιρίας / βροχόπτωσης φάνηκε να έχει αυξημένο «θόρυβο» λόγω των σταγόνων της βροχής. Κατά συνέπεια έγινε προσπάθεια να πραγματοποιηθεί η σάρωση μόνο όταν η βροχή μειωνόταν σε ένταση. Ένα άλλο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί εξαιτίας της βροχόπτωσης ήταν οι σταγόνες που κατέληγαν στον καθρέπτη του laser και δημιουργούσαν κίνδυνο εκτροπής της δέσμης laser με αποτέλεσμα τη σάρωση λανθασμένης επιφάνειας. Λόγω του

περιορισμένου χρόνου ηλιοφάνειας και των εμποδίων που αναφέρθηκαν, στις 22 Φεβρουαρίου έγινε σάρωση μόνο από δύο στάσεις, την 15 και την 16 οι οποίες θα ενσωματωθούν τελικά στις μετρήσεις της 7 Μαρτίου, κατά τη διαδικασία του Registration το οποίο είναι η πιο σημαντική από τις εργασίες γραφείου και θα γίνει εκτενέστερη αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο. Επιλέχθηκαν αυτά τα δύο σημεία γιατί ήταν εφικτό να καλυφθούν σε λιγότερο χρόνο και καλύτερα οι περιοχές που κάλυπταν οι σκαλωσιές, και ο φράκτης. Ήταν η βορεινή πλευρά του πύργου και ήταν η μόνη με τα λιγότερα εμπόδια.

### **4.3. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ**

#### **4.3.1. Επιλογή στάσεων**

Ο λόγος που επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες 16 στάσεις ήταν τόσο η δυνατότητα να καλύπτει η μία τα κενά που αφήνει η άλλη λόγω των σκαλωσιών, να υπάρχει επικάλυψη της περιοχής σάρωσης από τη μία στάση με την περιοχή που θα σαρωθεί από την άλλη και τελικά να αποφευχθούν εμπόδια όπως δέντρα και διάφορα κτίσματα.

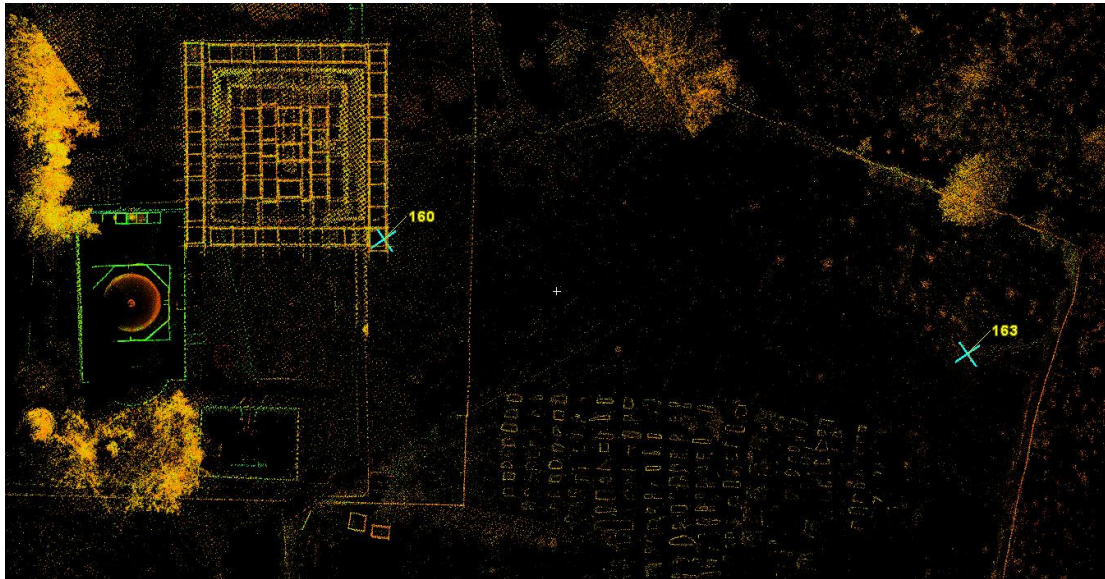
Όταν γίνεται σάρωση μιας περιοχής που έχει ένα εμπόδιο για να δημιουργηθεί σαν τελικό αποτέλεσμα η πλήρης εικόνα που υπάρχει πίσω από το εμπόδιο σαν ένα ενιαίο νέφος σημείων γίνονται δύο διαδοχικές σαρώσεις. Στην κάθε σάρωση υπάρχει το ίδιο εμπόδιο το οποίο κρύβει ένα διαφορετικό τμήμα της επιθυμητής επιφάνειας. Όταν ενωθούν οι σαρώσεις αν αφαιρεθεί το αντικείμενο, τότε η τρύπα που έχει δημιουργηθεί στην πρώτη σάρωση καλύπτεται από την πληροφορία της δεύτερης σάρωσης και αντίστοιχα της δεύτερης από την πρώτη. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η επιθυμητή επιφάνεια χωρίς το εμπόδιο και χωρίς κενό πληροφορίας, σαν να είναι μια ενιαία φωτογραφία.

Η αλληλοεπικάλυψη χρειάζεται για να υπάρξει περισσότερη πληροφορία για την επιφάνεια που θα σαρωθεί και επίσης να δημιουργηθούν πολύ περισσότερα σημεία για να επιτευχθεί η ένωση μεταξύ των διαδοχικών σαρώσεων, χωρίς να χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν οι ειδικόι στόχοι που χρησιμοποιεί ο σαρωτής.

Ένα ακόμα σημαντικό βήμα ήταν να επιλεγούν τα σημεία που ήταν πιο κατάλληλα από άλλα σε σχέση με την ορατότητα που υπήρχε προς τον πύργο. Υπήρχαν πολλά σημεία που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για στάσεις αλλά σε κάθε σημείο υπήρχε και κάποια ιδιαιτερότητα σχετικά με τα εμπόδια που υπήρχαν. Μπορεί κάποιο σημείο να έδινε περισσότερη πληροφορία για ένα τμήμα του τοίχους αλλά έπρεπε να προγραμματιστούν οι σαρώσεις όχι μόνο με το τι δίνει μια μόνο στάση αλλά με το σύνολο των σαρώσεων και με τον διαθέσιμο χρόνο που υπήρχε. Τα σημαντικότερα εμπόδια που αντιμετωπίστηκαν ήταν η στενότητα λόγω της ύπαρξης του ναού δίπλα στον πύργο, τα δέντρα που περιόριζαν ακόμα περισσότερο το παράθυρο σάρωσης, η περιφραγή για όσες στάσεις έγιναν στον εξωτερικό χώρο και το σημαντικότερο εμπόδιο ήταν οι σκαλωσιές που ακόμα και με την πύκνωση που έγινε υπήρχαν σημεία που δεν ήταν δυνατόν να μετρηθούν.

#### **4.3.2 Εξάρτηση στο Ε.Γ.Σ.Α. '87**

Για την ένταξη του συστήματος του πύργου στο κρατικό σύστημα συντεταγμένων είχαν μετρηθεί δύο σημεία με γεωδαιτικό GPS με ακρίβεια 1cm με τη μέθοδο του RTK( Real Time Kinematic), δηλαδή μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο με ένα δέκτη GPS από δεδομένα που λήφθηκαν, για να γίνει η διόρθωση, από μόνιμους σταθμούς αναφοράς. Το GPS λαμβάνει σήμα από τους δορυφόρους και παίρνει δεδομένα μέσω διαδικτύου από το δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς. Με αυτό τον τρόπο διορθώνει την ακρίβεια της θέσης του και μας δίνει συντεταγμένες με ακρίβεια 1 έως 2 εκατοστών. Στη συνέχεια για να μπορέσουν να μεταφερθούν όλα τα σημεία της σάρωσης στο ίδιο σύστημα έγινε σάρωση αυτών των δύο σημείων με βήμα σάρωσης 1mm ώστε να επιλεγθούν μετά στο νέφος σημείων και να πάρουν συντεταγμένες. Τα σημεία είναι το 160 και 163 που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα 4.3.2

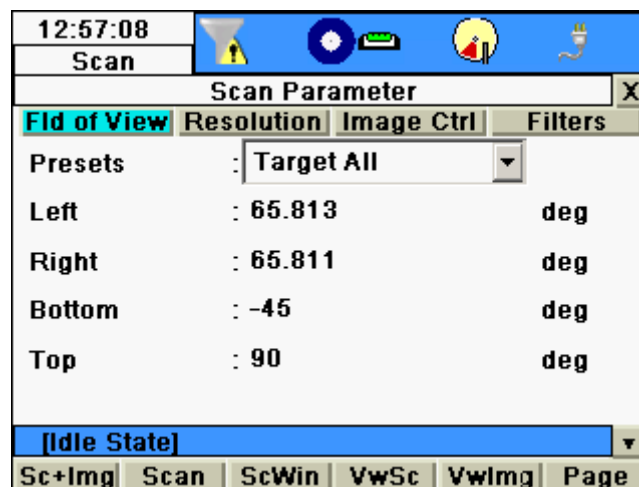


εικόνα 4.3.2: Σημεία 160 και 163 με γνωστές συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ 87

### 4.3.3. Σάρωση περιοχής

Τα βήματα που χρειάζονται για να αρχίσει η σάρωση είναι τα εξής:

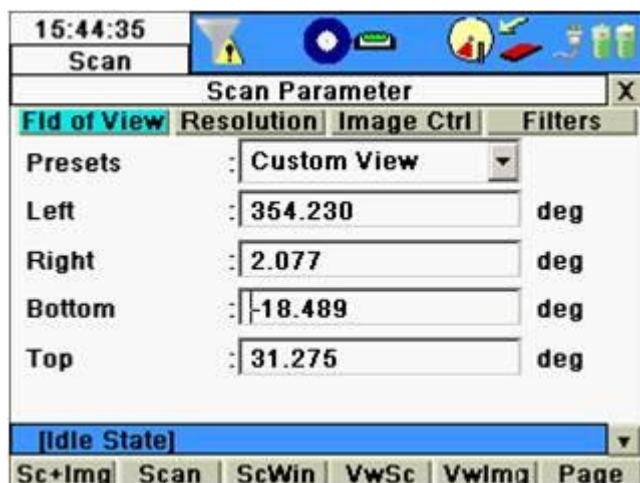
- Οριζοντίωση και κατακορύφωση του οργάνου
- Απενεργοποίηση του αντισταθμιστή
- Data→Project→ new project→ Επιλογή ονόματος για τη νέα εργασία και συνέχεια στο παράθυρο της σάρωσης.



εικόνα 4.3.3α: Παράθυρο αυτόματων παραμέτρων σάρωσης

Εδώ υπάρχει η δυνατότητα μέσω προεπιλογών που δίνει το λογισμικό του σαρωτή όπως το target all που φαίνεται στην εικόνα 4.3.3α να επιλεγθεί

να σαρώσει τα πάντα σε ένα παράθυρο 360\*270. Επίσης υπάρχουν και κάποια άλλα έτοιμα πρότυπα για το παράθυρο που θα σαρωθεί όπως το custom view. Αν χρησιμοποιηθεί η επιλογή custom view όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 4.3.3β μπορεί να επιλεγεί χειροκίνητα το παράθυρο, δίνοντας συντεταγμένες στο σύστημα του σαρωτή για τις τέσσερις γωνίες που περιλαμβάνουν το αντικείμενο που θα σαρωθεί.



εικόνα 4.3.3β: Παράθυρο χειροκίνητων παραμέτρων σάρωσης

Αυτό γίνεται μέσω της κάμερας όπου επιλέγεται η περιοχή που θα σαρωθεί και δίνει σε πόσες μοίρες είναι η γωνία που πρέπει να εισαχθεί αριστερά, δεξιά, πάνω και κάτω. Επιλέχτηκε αυτός ο τρόπος εργασίας όπως αναφέρθηκε και παραπάνω γιατί έτσι επιλέγει ο χρήστης την περιοχή σάρωσης και μειώνεται ο χρόνος που θα χρειαζόταν αν σάρωνε με την ίδια ανάλυση μεγαλύτερο παράθυρο.

Στην συνέχεια επιλέχθηκε η ανάλυση σάρωσης όπου για να υπάρξουν τα επιθυμητά αποτελέσματα στην συγκεκριμένη δουλειά ζητήθηκε μια ανάλυση 0,5cm στα 30 μέτρα.

Το επόμενο βήμα ήταν να επιλεγεί αν θα γίνει λήψη φωτογραφιών ή όχι. Τελικά δε ζητήθηκε από τον σαρωτή να πάρει και φωτογραφίες γιατί θα γίνει χρήση φωτογραφιών που υπήρχαν πριν την εγκατάσταση της σκαλωσιάς. Στη συνέχεια πατώντας το πλήκτρο **Scan** ξεκινάει η διαδικασία της σάρωσης.



Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε στην πρώτη στάση, στις επόμενες δεν δημιουργήθηκε νέο project, αλλά συνεχίστηκε η εργασία στο ίδιο. Η διαφορά είναι ότι στην αρχική οθόνη έγινε επιλογή του πλήκτρου **Scan** και στη συνέχεια επιλέχθηκε νέα στάση, τα υπόλοιπα βήματα παρέμειναν τα ίδια.

**Ένα πολύ σημαντικό βήμα** για να συνενωθούν μεταξύ τους τα νέφη σημείων από διαφορετικές στάσεις ήταν η ενεργοποίηση του αντισταθμιστή σε μία μόνο στάση. Ενεργοποιήθηκε ο αντισταθμιστής μόνο στη στάση δύο από την οποία σαρώθηκαν τα δύο σημεία που είχαν μετρηθεί με γεωδαιτικό GPS. Σε όλες τις υπόλοιπες στάσεις αφού γινόταν η οριζοντίωση του σαρωτή απενεργοποιούταν ο αντισταθμιστής. Αυτό έγινε για να είναι εφικτό να ενωθούν στο τέλος πιο εύκολα οι σαρώσεις από διαφορετικές στάσεις. Αν ήταν σε όλες τις στάσεις ο αντισταθμιστής ενεργός είναι πολύ πιθανό στο τελικό προϊόν να δυσκολευόταν το πρόγραμμα επεξεργασίας να περιστρέψει το νέφος σημείων ώστε να δέσουν σωστά μεταξύ τους.

#### **4.3.4 Λήψη Φωτογραφιών**

Έγινε λήψη φωτογραφιών διαφόρων τμημάτων του Πύργου για να χρησιμοποιηθούν κατά την επεξεργασία του νέφους σημείων τόσο για να εντοπιστούν πιο εύκολα τα σημεία που θα χρειαζόταν για την συνένωση όσο και για να βρεθούν τα χαρακτηριστικά σημεία (εικόνα 4.3.4.1 και εικόνα 4.3.4.2) που είχε βάλει η αρχιτέκτονας Δ. Μαυροκορδάτου για την διδακτορική διατριβή που εκπονεί για τον Αρχαίο Πύργο της Αγίας Μαρίνας στο Ε.Μ.Π ώστε να συνδέσει το τελικό προϊόν της αποτύπωσης με τα γραμμικά σχέδια που είχε σχεδιάσει με εμπειρική μέθοδο (εικόνα 4.3.4.3).



εικόνα 4.3.4.1: Χαρακτηριστικό σημείο  
ένωσης τρισδιάστατου μοντέλου με  
γραμμικό σχέδιο



εικόνα 4.3.4.2: Με κόκκινο κύκλο διακρίνονται τα χαρακτηριστικά σημεία



εικόνα 4.3.4.3: Μεσότοιχος – Νότια Όψη Αρχαίου Πύργου

Επειδή δεν χρησιμοποιήθηκαν στόχοι για να δέσει η μία σάρωση με την επόμενη για να δημιουργηθεί το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν σημεία πάνω στον πύργο, κάποια ήταν και τα παραπάνω χαρακτηριστικά σημεία, αλλά και εκτός αυτού, ώστε με την ένωση αυτών των κοινών σημείων από δύο ή και παραπάνω διαδοχικών σαρώσεων να δέσουν μεταξύ τους να νέφη σημείων και να έχουμε ένα τελικό ενιαίο νέφος που θα χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση.

Επίσης κάποιες από τις φωτογραφίες χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου σε συμπλήρωμα κάποιων φωτογραφιών που είχαν ληφθεί το 2005 πριν γίνει η στήριξη του πύργου με τις σκαλωσιές

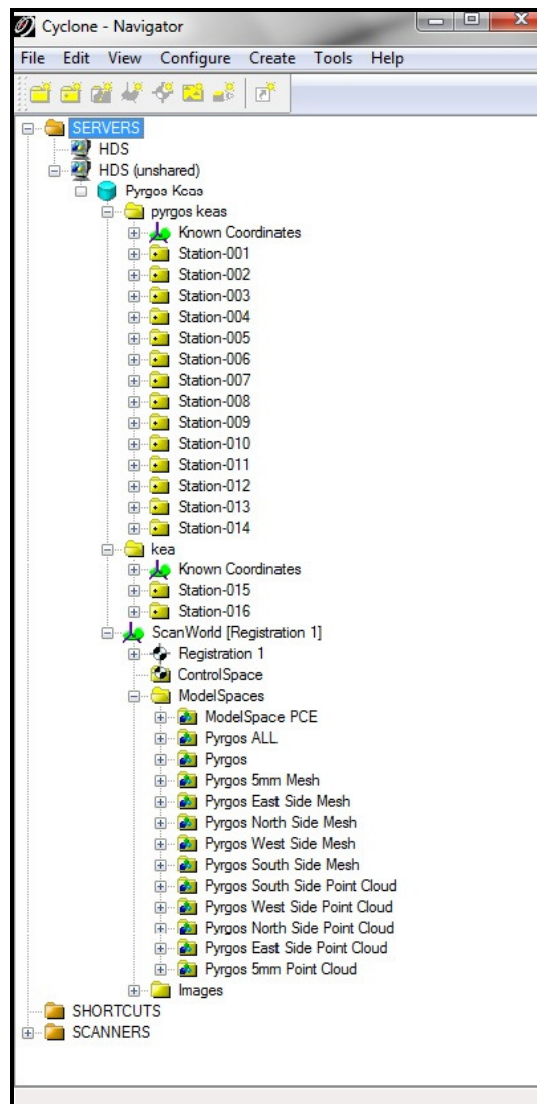
## 5. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ

### 5.1. ΓΡΑΦΕΙΟ

Στα κεφάλαια που ακολουθούν περιγράφεται όλη η διαδικασία που ακολουθήθηκε από το κατέβασμα των δεδομένων από τον σαρωτή και η επεξεργασία τους μέχρι και τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου.

#### 5.1.1. Συνένωση μεμονωμένων σαρώσεων

Η βάση δεδομένων Pyrgos Keas η οποία δημιουργήθηκε από το λογισμικό CYCLONE, που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία γραφείου των δεδομένων του σαρωτή, περιέχει όλη την πληροφορία των σαρώσεων που συλλέχθηκε στο ύπαιθρο.

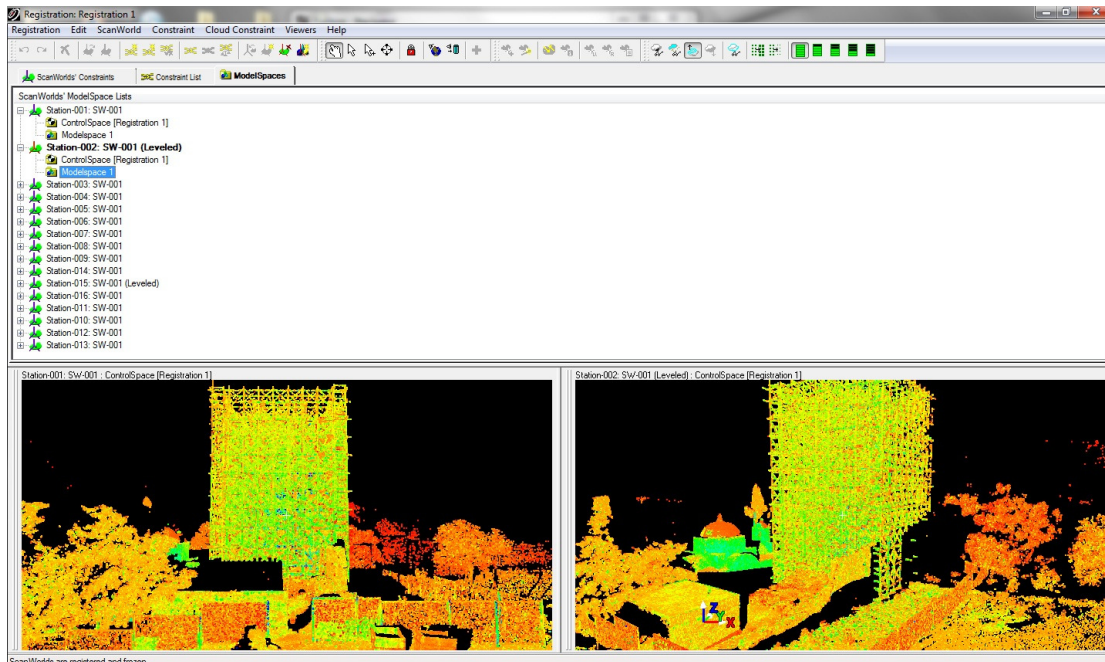


εικόνα 5.1.1.1: Βάση δεδομένων στο Cyclone

Αρχικά έγινε μεταφορά των δεδομένων του σαρωτή στον υπολογιστή στον οποίο ήταν εγκατεστημένο το CYCLONE. Δημιουργήθηκε μια νέα εργασία με την ονομασία *pyrgos keas*, όπου εισήχθησαν όλες τις σαρώσεις οι οποίες στη συνέχεια συνενώθηκαν (εικόνα 5.1.1.1). Η συνένωση των σαρώσεων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε με χρήση μόνο των ειδικών στόχων, είτε με χρήση μόνο των ομόλογων σημείων (τρία τουλάχιστον μη συνευθειακά σημεία), μέσω σύγκρισης νεφών (cloud constraint), ή με ταυτόχρονη χρήση των ειδικών στόχων και των ομόλογων σημείων. Στην παρούσα εργασία η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος των ομόλογων σημείων γιατί το μνημείο είχε πολλά ευδιάκριτα φυσικά χαρακτηριστικά σημεία οπότε ήταν περιττό να χρησιμοποιηθούν και επιπλέον στόχοι. Χρησιμοποιήθηκαν όλα τα νέφη σημείων στη συνένωση γιατί ήταν πιο εύκολο να βρεθούν κοινά μη συνευθειακά σημεία μεταξύ των σαρώσεων. Αν είχε χρησιμοποιηθεί μόνο το νέφος σημείων που είχε ληφθεί πάνω στο τείχος του Πύργου θα υπήρχαν σημεία πάνω σε ένα επίπεδο και θα δημιουργούσε πρόβλημα και μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας στο πρόγραμμα ώστε να καταφέρει να ενώσει τις διαδοχικές σαρώσεις.

Σημεία για την συνένωση λήφθηκαν τόσο πάνω στο τοίχος του Πύργου όσο και σε διάφορα άλλα διακριτά μέρη όπως ο σταυρός πάνω στον ιερό ναό, ο σταυρός της νότιας εισόδου στο χώρο, πάνω στο συρματοπλεγμα της περίφραξης και αλλού.

Για τη διαδικασία της συνένωσης δημιουργήθηκαν τόσα αντικείμενα όσα και οι συνενώσεις που θα γίνονταν κατά την ένωση των διαδοχικών σαρώσεων. Η συνένωση άρχισε με την εντολή *Create registration* και στο παράθυρο (registration window) επιλέχθηκαν αρχικά τα προς συνένωση Scanworlds. Αφού καθορίστηκε το νέφος το οποίο θα αποτελούσε τη βάση πάνω στην οποία θα γινόταν η συνένωση (Home Scanworld) στη συνέχεια έγινε η προσθήκη των δεσμεύσεων (Add Cloud Constraints) επιλέγοντας χειροκίνητα ομόλογα σημεία σε κάθε νέφος.



εικόνα 5.1.1.2: Συνένωση νεφών σημείων

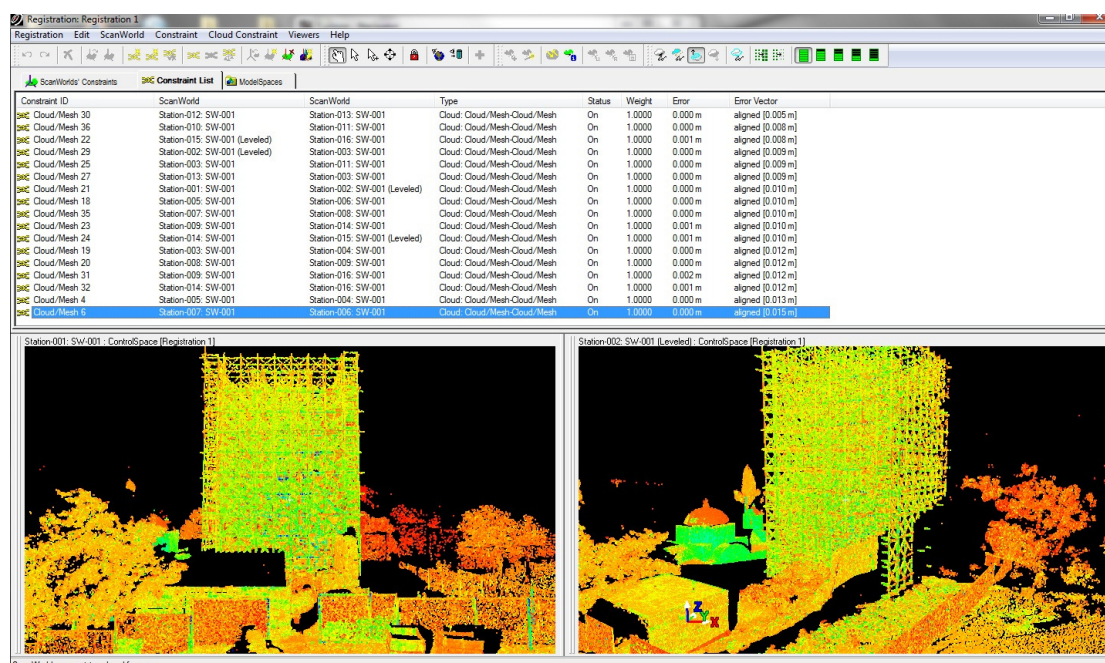
Επιλέχθηκαν οι παράμετροι της διαδικασίας μέσω του μενού *Edit Preferences* και ξεκίνησε η διαδικασία της συνένωσης ανά δύο νέφη (εικόνα 5.1.1.5 ). Επειδή μέχρι αυτό το βήμα όλα όσα έχουν γίνει είναι μια προσεγγιστική λύση δίπλα στο σύννεφο αναγράφεται ότι είναι not aligned. Για να βελτιστοποιηθεί το αποτέλεσμα επιλέγεται η εντολή *Optimize Cloud Alignment* όπου μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας γίνεται ένωση των νεφών με βελτίωση του προσεγγιστικού αποτελέσματος. Από αυτή τη διαδικασία όταν ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια σύγκλισης και ακρίβειας εμφανίζεται ότι το αντικείμενο είναι aligned, οπότε η διαδικασία έχει πετύχει και πραγματοποιούνται οι κατάλληλες μεταθέσεις και στροφές στο χώρο.

Αν δεν πληρούνται όλα τα κριτήρια τότε εμφανίζεται ξανά ότι το αντικείμενο είναι not aligned. Τότε μέσω της εντολής *Registration Diagnostics* μπορεί ο χρήστης να απενεργοποιήσει τις δεσμεύσεις που παρουσιάζουν μεγάλο σφάλμα ή να επιλέξει καλύτερα ομόλογα σημεία.

Στην περίπτωση που ικανοποιείται μόνο το κριτήριο της ακρίβειας τότε το αντικείμενο είναι aligned / underconstrained και πραγματοποιείται έλεγχος των αποτελεσμάτων των Cloud constrains για να εξακριβωθεί αν τα νέφη ταυτίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό.

Στη συνέχεια, και αφού όλα τα cloud/mesh έγιναν Align εκτελείται η εντολή *Register*. Με την εντολή *Register* ξεκινά η διαδικασία συνόρθωσης

όλων των διαδικασιών προκειμένου να προσδιοριστούν οι παράμετροι μετασχηματισμού, τρεις μεταθέσεις και τρεις στροφές στο χώρο του κάθε Scanworld προς το ενιαίο σύστημα αναφοράς που είναι το σύστημα αναφοράς του Scanworld. Αν τα επιλεγμένα σημεία δεν ταιριάζουν εμφανίζεται μήνυμα λάθους, ώστε να επαναληφθεί η διαδικασία επιλέγοντας καλύτερα ομόλογα σημεία. Καλύτερα σημεία σημαίνει ότι τα σημεία δεν πρέπει να είναι συνευθειακά, συνεπίπεδα και να έχουν μεταξύ τους πολύ μικρή απόκλιση. Όταν τα σημεία πληρούν όλα τα κριτήρια στο παράθυρο Constraint List ( εικόνα 5.1.1.3 ) αναγράφονται οι πληροφορίες όλων των συνενώσεων.



εικόνα 5.1.1.3: Constraint List

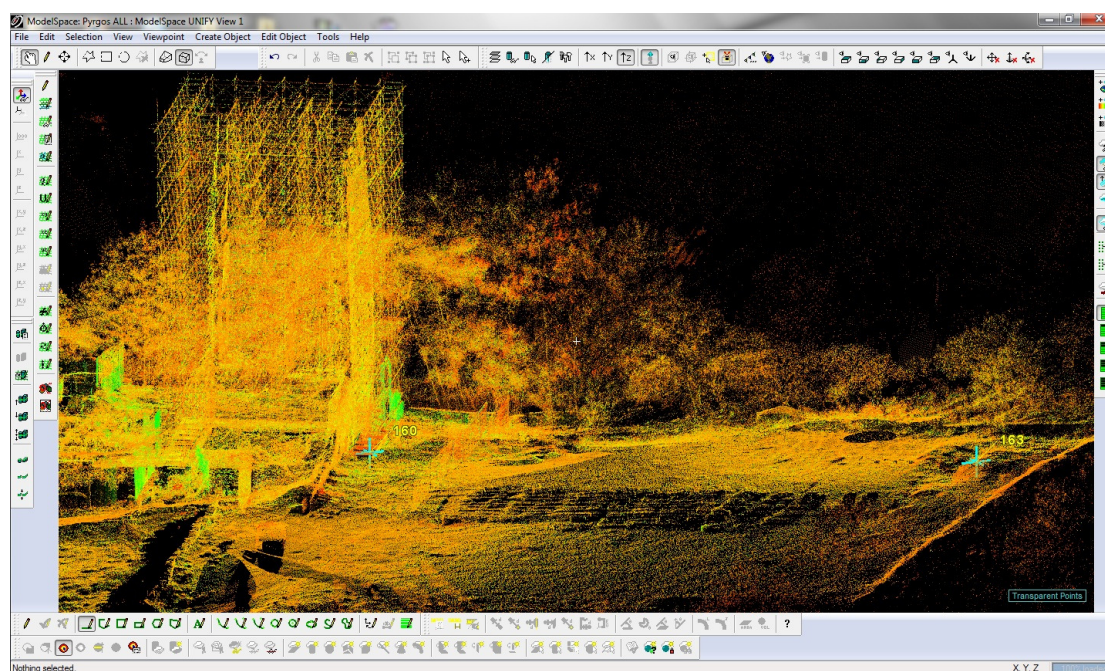
### 5.1.1.1 Γεωαναφορά

Κατά την εργασία πεδίου είχαν μετρηθεί με γεωδαιτικό GPS δύο γνωστά σημεία (στάσεις 160 και 163) οπότε υπήρχαν δύο σημεία για να μπορεί να γεωαναφερθεί όλο το τελικό νέφος σημείων. Κατά τη διαδικασία των σαρώσεων του Πύργου, σαρώθηκαν και οι δύο στάσεις (καρφάκια με κεφάλι) με πολύ μεγάλη ανάλυση 1mm x 1mm. Για να μη χρησιμοποιηθεί και τρίτο σημείο, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.3.3 τα δύο σημεία είχαν

σαρωθεί από τη στάση 2 με ενεργοποιημένο αντισταθμιστή έτσι ώστε να οριστεί το κάθετο επίπεδο.

Για τη μετατροπή του αυθαίρετου συνολικού νέφους που δημιουργήθηκε από το Registration στις συντεταγμένες ΕΓΣΑ των στάσεων, χρησιμοποιήθηκε η εντολή *View* → *Coordinate System* → *Set from Points*. Επιλέχθηκαν με pick points και με πολύ προσοχή οι κεφαλές των στάσεων 160 και 163 (εικόνα 5.1.1.1) και με τη σειρά που αναφέρονται. Η στάση 160 είναι το point 1 (Reference point) και η στάση 163 το point 2 (Azimuth point). Στο παράθυρο που ανοίγει με την εντολή *Set from points* εισάγονται ως αρχικές συντεταγμένες αυτές που έδωσε το GPS για το σημείο 160 (Reference point) και ως γωνία, την γωνία διεύθυνσης μεταξύ των δύο σημείων (Azimuth).

Με αυτό τον τρόπο κάθε σημείο στο τελικό νέφος σημείων έχει συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87.



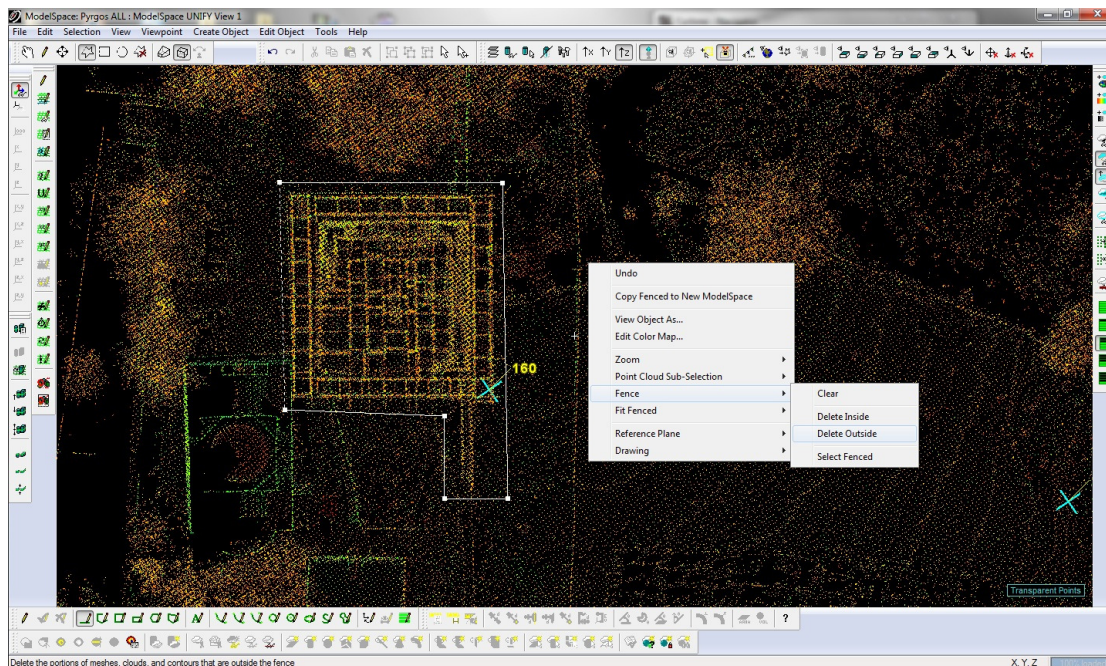
εικόνα 5.1.1.1.1: Σημεία συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87

## 5.1.2. Αφαίρεση περιττών σημείων

Το επόμενο βήμα μετά την συνένωση όλων των σαρώσεων και τη δημιουργία ενός ενιαίου νέφους σημείων είναι η απομάκρυνση του θορύβου

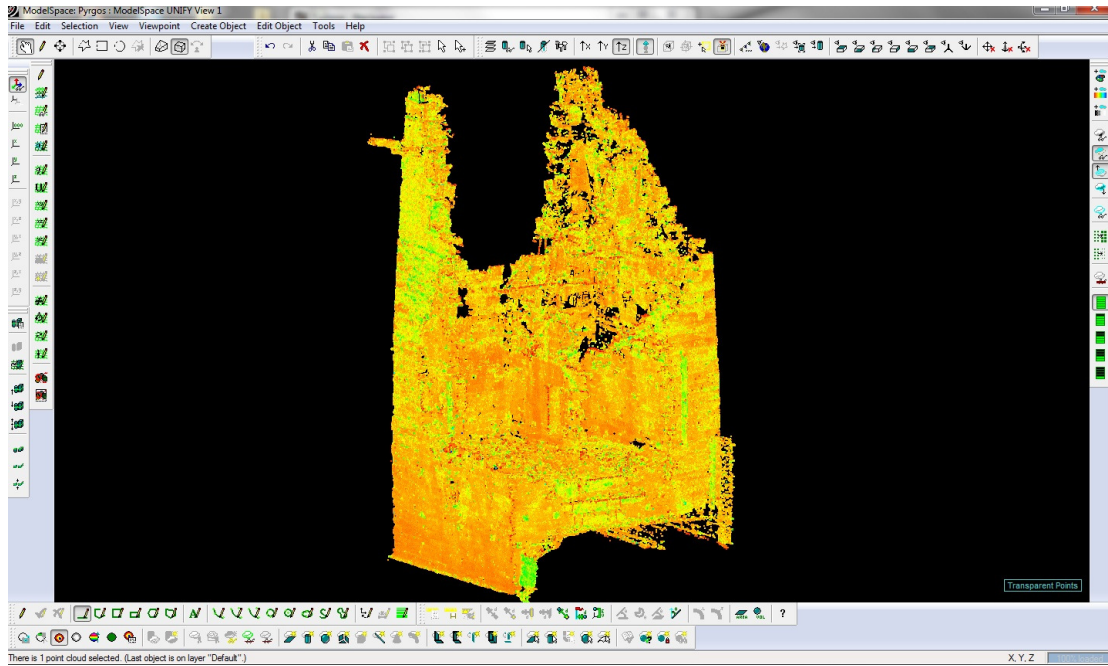


(όλα όσα έχουν σαρωθεί εκτός από τον Πύργο) ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση κοινών σημείων μεταξύ των διαδοχικών σαρώσεων. Επιλέγοντας τις περιοχές που θα αφαιρεθούν με το ποντίκι και χρησιμοποιώντας την εντολή *Edit* → *Modes* → *Polygonal Fence Mode* όπως φαίνεται παρακάτω (εικόνα 5.1.2.1), αφαιρούνται όλα τα σημεία που δεν θα συμμετέχουν στο τελικό προϊόν το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την μελέτη του Πύργου.

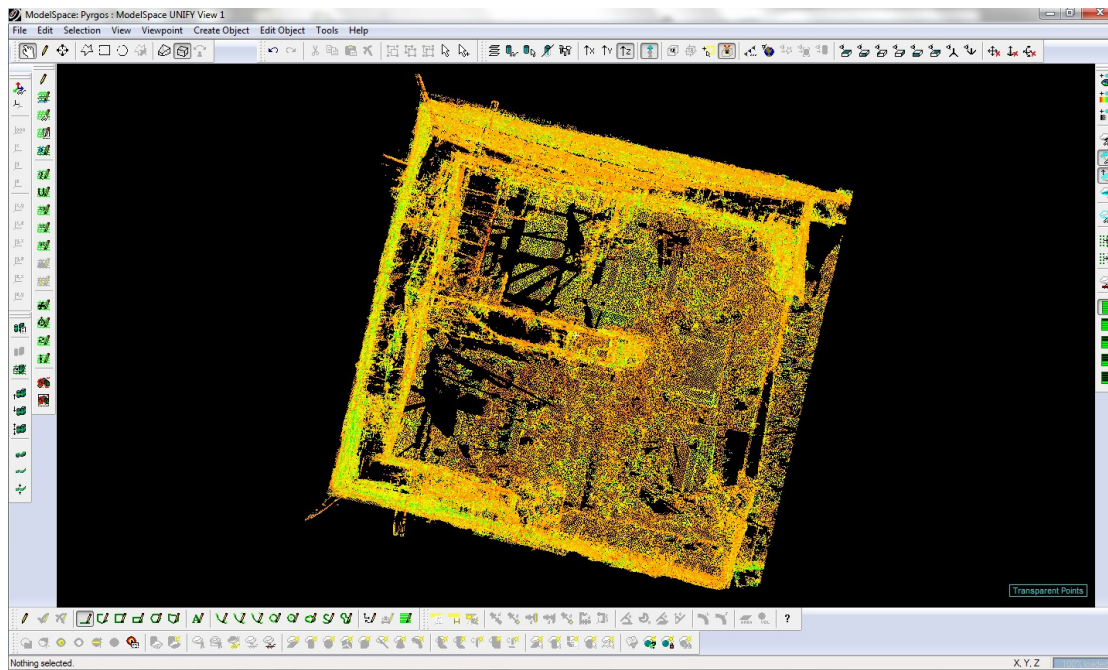


Εικόνα 5.1.2.1: Αφαίρεση περιττών σημείων

Το αρχικό νέφος σημείων αποτελείται από 271.798.796 σημεία ενώ ο καθαρός πύργος αποτελείται από 95.657.471 σημεία όπως είναι εμφανές παρακάτω (εικόνα 5.1.2.2 και εικόνα 5.1.2.3).



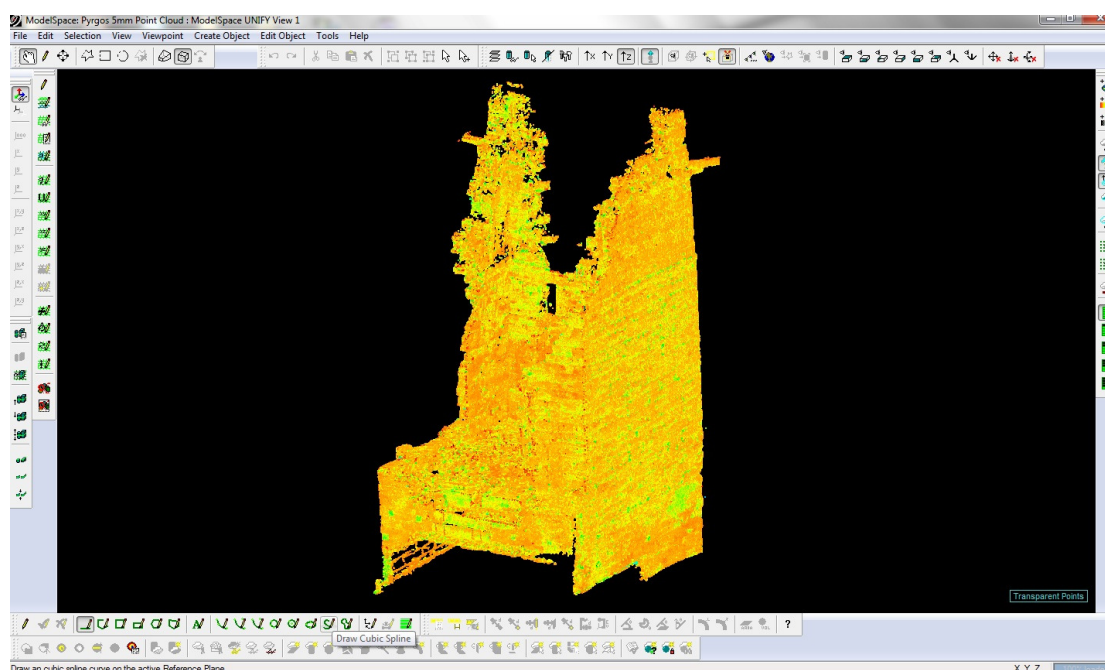
Εικόνα 5.1.2.2: Προβολή Πύργου χωρίς τα επιπλέον νέφη σημείων



Εικόνα 5.1.2.3: Κάτοψη του Πύργου χωρίς επιπλέον σημεία

### 5.1.3. Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου

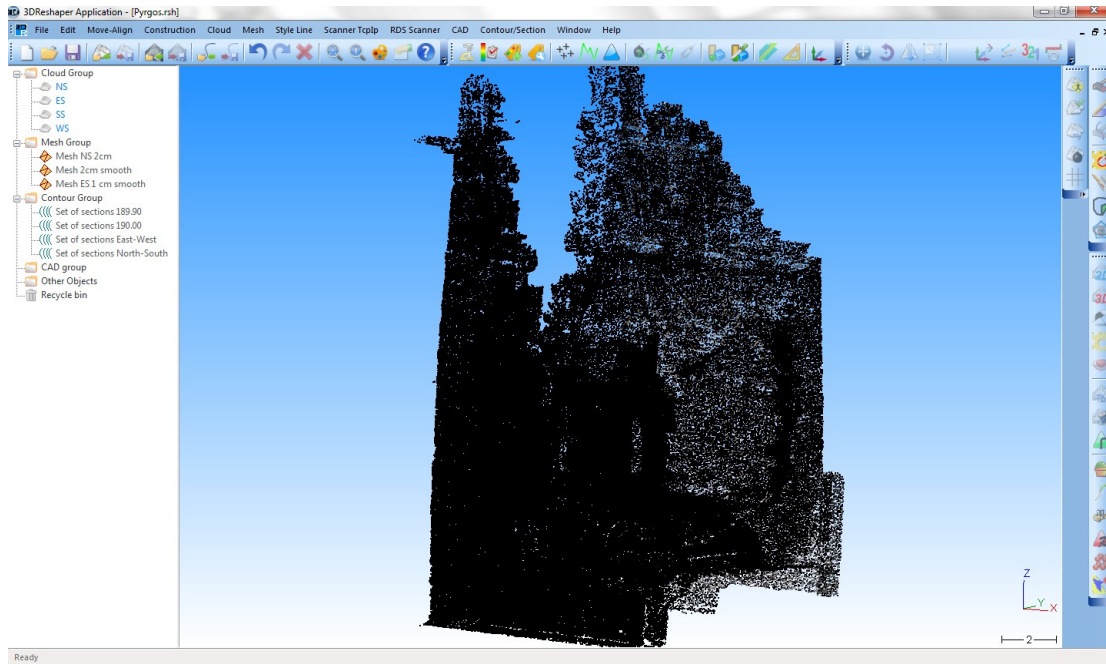
Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, δηλαδή της αφαίρεσης των περιττών σημείων το επόμενο βήμα είναι να μειωθεί το νέφος σημείων. Η αραίωση του νέφους γίνεται με την εντολή *reduce point cloud* ώστε η απόσταση μεταξύ των σημείων να είναι 0,005 μέτρα όπως φαίνεται παρακάτω ( εικόνα 5.1.3.1).



εικόνα 5.1.3.1: Αραιωμένο νέφος σημείων

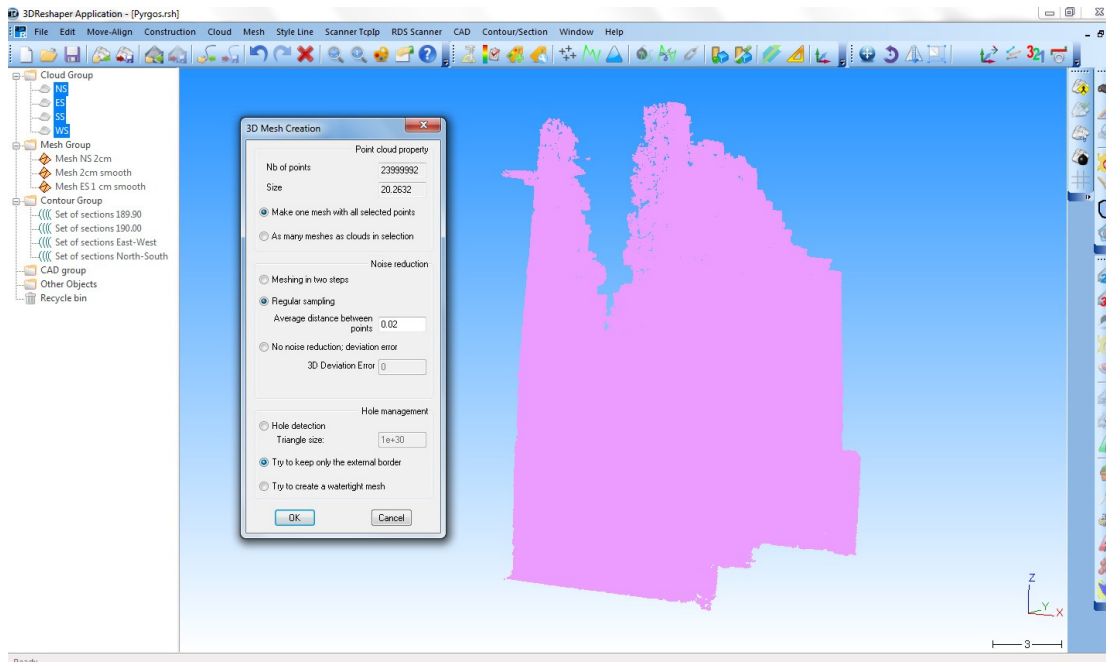
Στη συνέχεια το νέφος σημείων γίνεται export σε τέσσερα αρχεία \*.pts για μπορέσει να εισαχθεί στο 3d Reshaper και να γίνει η διαχείριση του ώστε να δημιουργηθεί το Ψηφιακό μοντέλο του Πύργου. Το κάθε ένα από τα τέσσερα αυτά αρχεία περιλαμβάνει το νέφος σημείων της κάθε πλευράς του Πύργου. Είναι η ανατολική όψη, η βόρεια, η δυτική και η νότια με ονομασία ES.pts, NS.pts, Ws.pts, SS.pts αντίστοιχα.

Στο 3d Reshaper με την εντολή import γίνεται η εισαγωγή των αρχείων \*.pts και δημιουργείται το ενιαίο νέφος σημείων (εικόνα 5.1.3.2).



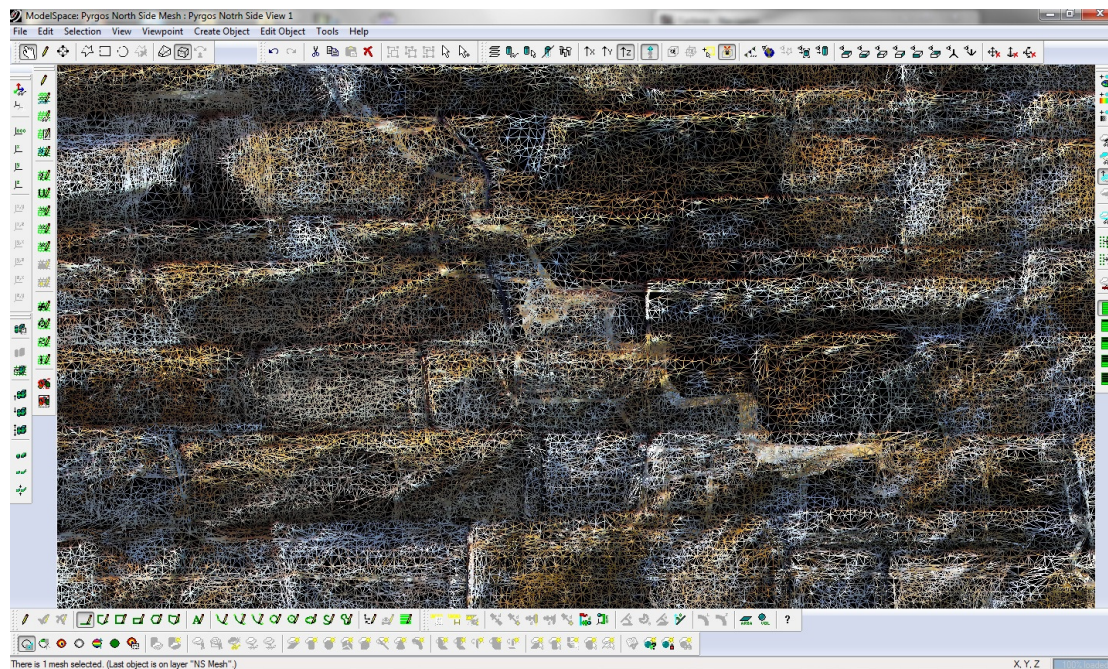
εικόνα 5.1.3.2: Ενιαίο νέφος σημείων

Στη συνέχεια επιλέγοντας *Create mesh* → *3dmesh* με ακρίβεια που ορίζεται στο 0.02 m αρχίζει η διαδικασία δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου το οποίο αποτελείται από τρίγωνα με πλευρές 0,02m (εικόνα 5.1.3.3).



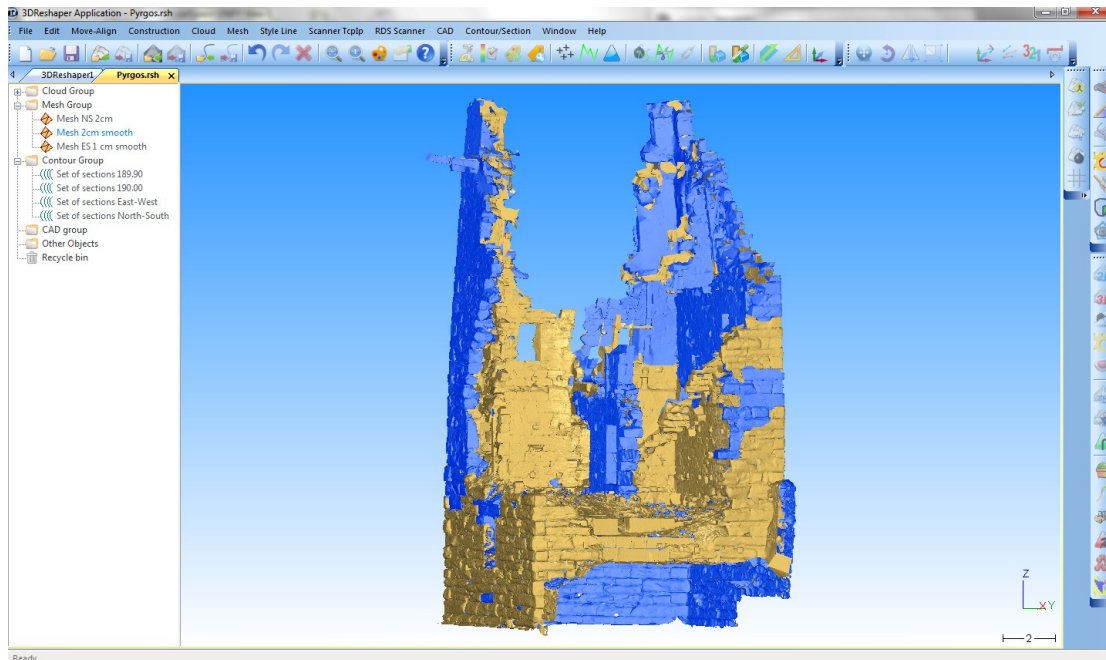
εικόνα 5.1.3.3: Τρισδιάστατο μοντέλο τριγώνων με πλευρές 0,02m

Το συνολικό μοντέλο αποτελείται από 3197255 τρίγωνα τα οποία είναι πιο εμφανή στο Modelspace του Cyclone (εικόνα 5.1.3.4).



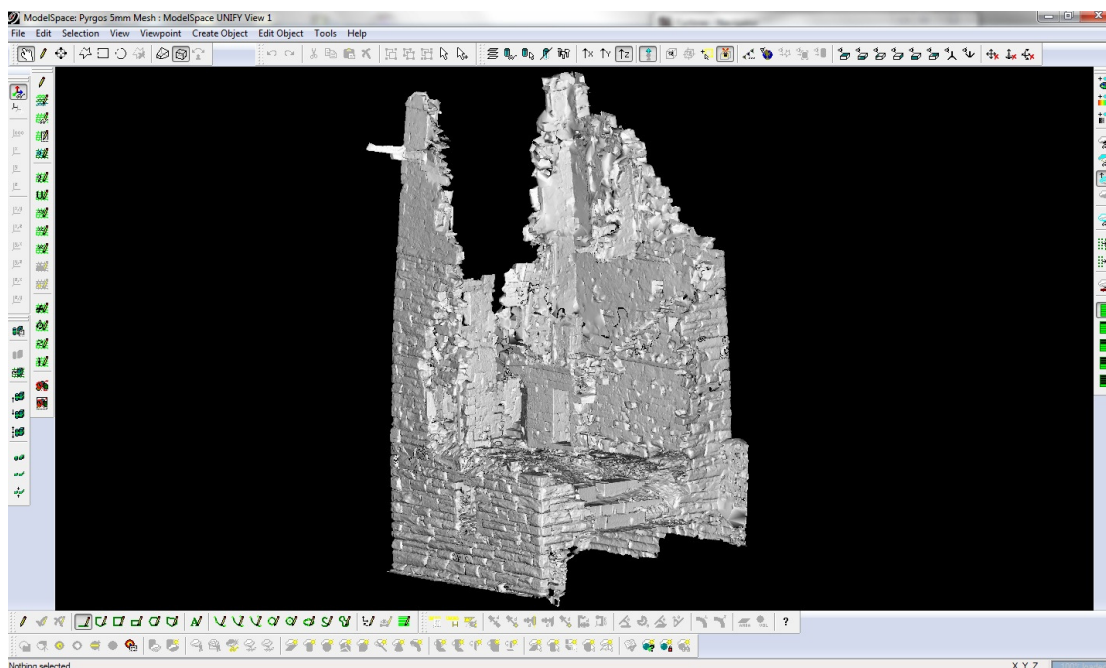
εικόνα 5.1.3.4: Επιφάνεια από τρίγωνα στο Modelspace

Κατά την δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου υπήρξαν κάποιες περιοχές οι οποίες είχαν μεγάλα κενά από σημεία οπότε δεν έχουν δημιουργηθεί τα επιθυμητά τρίγωνα, για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, με την χρήση της εντολής *fill holes* δημιουργεί το 3d Reshaper από μόνο του κάποια σημεία ώστε να καλύψει τα κενά και να δώσει μια πιο σωστή υφή στο τελικό μοντέλου που θα δημιουργηθεί. Όπως γίνεται εμφανές και στην εικόνα 5.1.3.5 η οποία εμφανίζει δύο διαφορετικά χρώματα στα τοιχώματα του Πύργου, γαλάζιο και χρυσαφί, οι περιοχές με τα περισσότερα κενά σημείων είναι αυτές με το γαλάζιο χρώμα.



εικόνα 5.1.3.5: Ολικό 3d Mesh

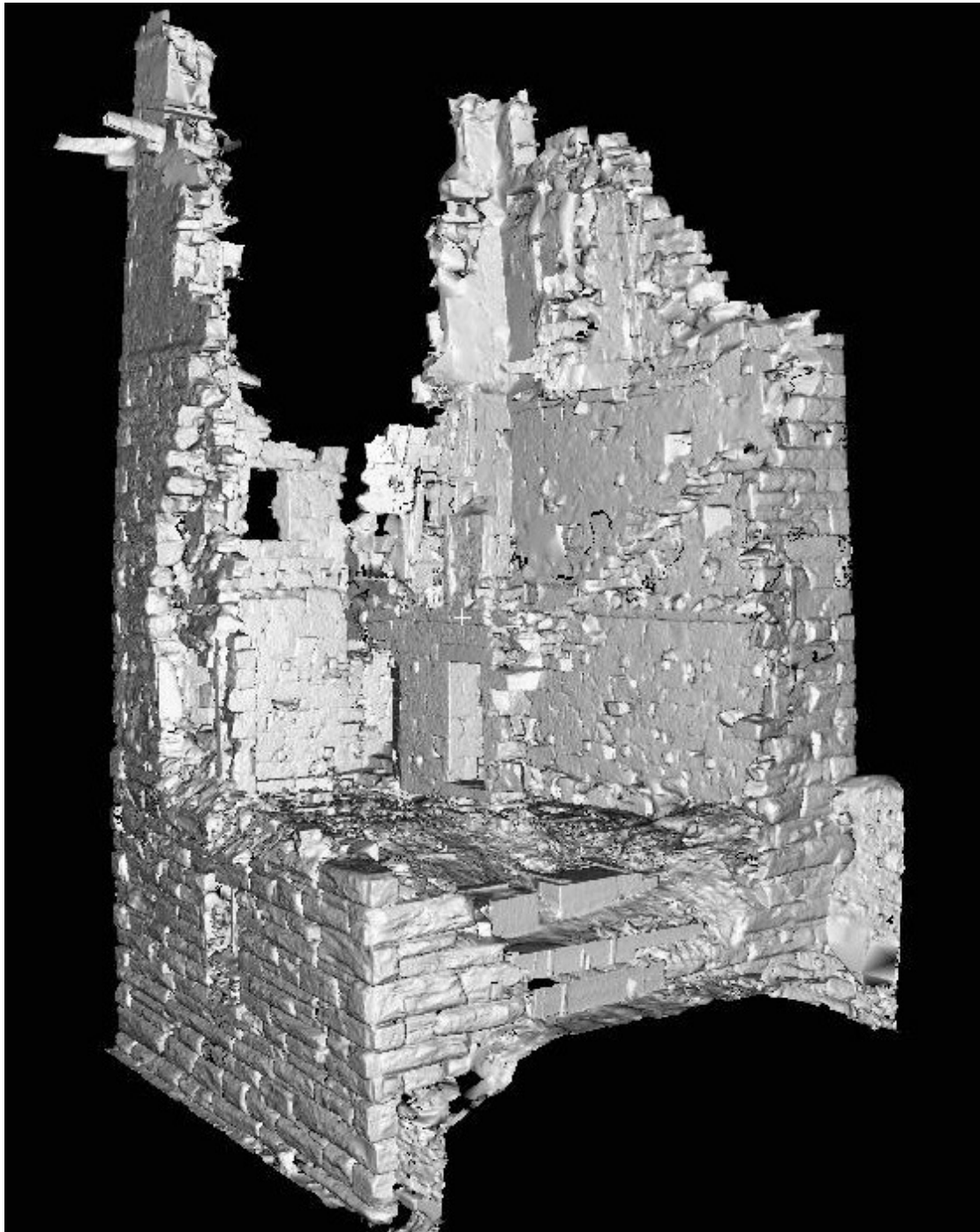
Τελειώνοντας η παραπάνω διαδικασία εισαγωγής γίνεται export το 3d model σε αρχείο Pyrgos ALL.msh και εισάγεται ξανά στο Cyclone για περαιτέρω διαχείριση (εικόνα 5.1.3.6)



εικόνα 5.1.3.6: Ολικό 3d Mesh Cyclone

Παρακάτω (εικόνα 5.1.3.7) μπορεί κανείς να δει την λεπτομέρεια που παρέχει το ολικό 3d mesh και όλα αυτά που βλέπει σε αυτή την εικόνα έχουν

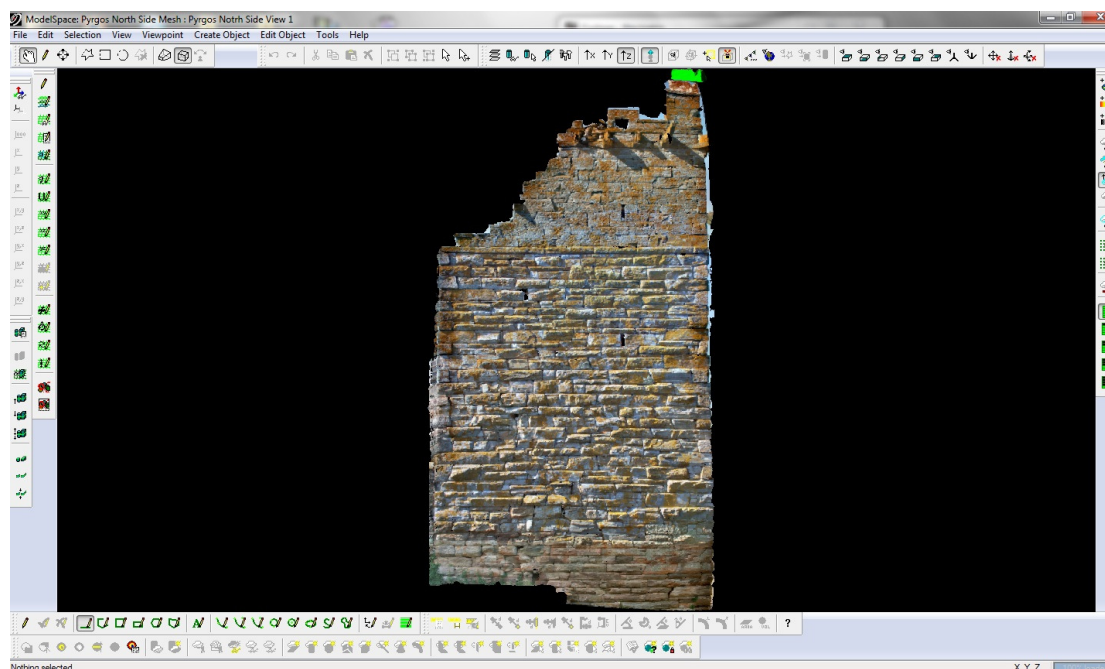
πραγματικές διαστάσεις που μπορούν δώσουν στον χρήστη οποιαδήποτε μετρητική πληροφορία χρειάζεται για το μνημείο.



εικόνα 5.1.3.7: Ολικό 3d Mesh

#### 5.1.4. Εισαγωγή Φωτογραφιών

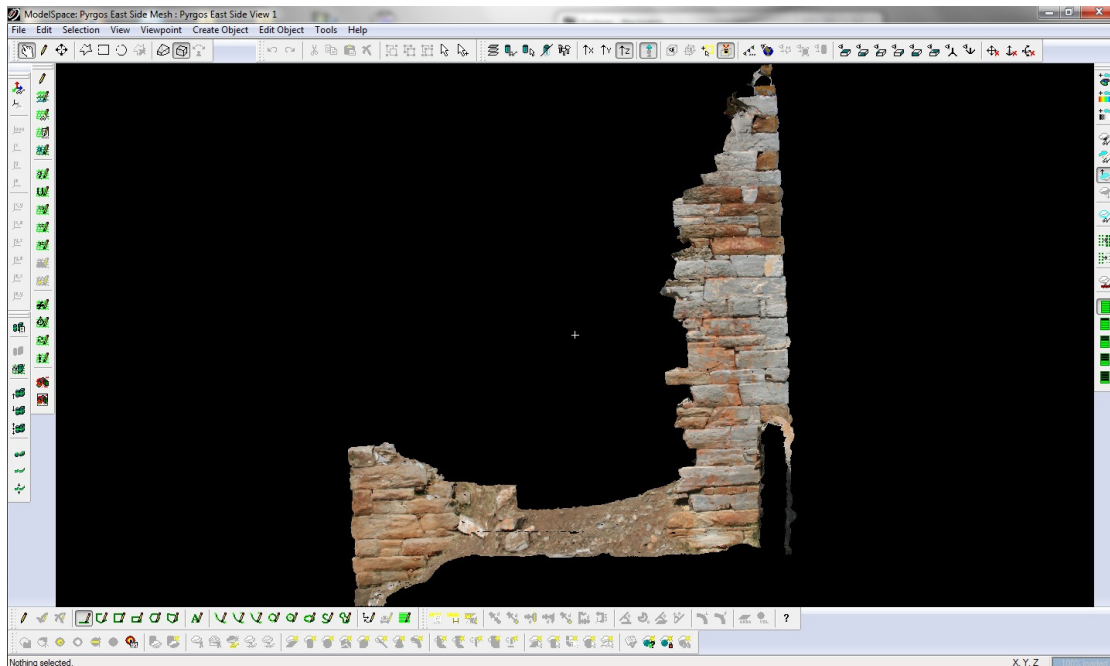
Ακολουθεί εισαγωγή του αρχείου Pyrgos ALL.msh που δημιουργήθηκε από το 3d Reshaper στο Cyclone με την εντολή *import* όπως και η εισαγωγή των φωτογραφιών πάνω στο mesh με την εντολή *texture map browser* → *insert image* και επιλογή 7 ομόλογων σημείων μεταξύ των φωτογραφιών και του μοντέλου κατά το δυνατό συμμετρικά κατανεμημένα σε όλο το εύρος της φωτογραφίας. Με αυτό τον τρόπο τα σημεία που δημιουργούν το mesh παίρνουν χρώμα από τις φωτογραφίες και δημιουργείται στον χρήστη η εντύπωση της φωτογραφίας. Στην παρακάτω φωτογραφία (εικόνα 5.1.4.1) είναι ο βόρειος τοίχος και απ ότι γίνεται εμφανές η φωτογραφία έχει ταυτιστεί με το νέφος σημείων εκτός από ένα μικρό τμήμα στην πάνω δεξιά πλευρά του τοίχου που εμφανίζεται με πράσινο χρώμα. Γι αυτή την περιοχή δεν υπήρχε φωτογραφία. Επίσης στις άκρες των πλευρών του τοίχου στο πάνω μισό του Πύργου υπάρχει παραμόρφωση της φωτογραφίας γιατί δεν είχε σωστή κάθετη λήψη. Στο υπόλοιπο χρησιμοποιήθηκαν 4 φωτογραφίες με κάθετη γωνία λήψης και έδωσαν πολύ καλά με το μοντέλο.



εικόνα 5.1.4.1: Έγχρωμο mesh βόρειου τοίχου

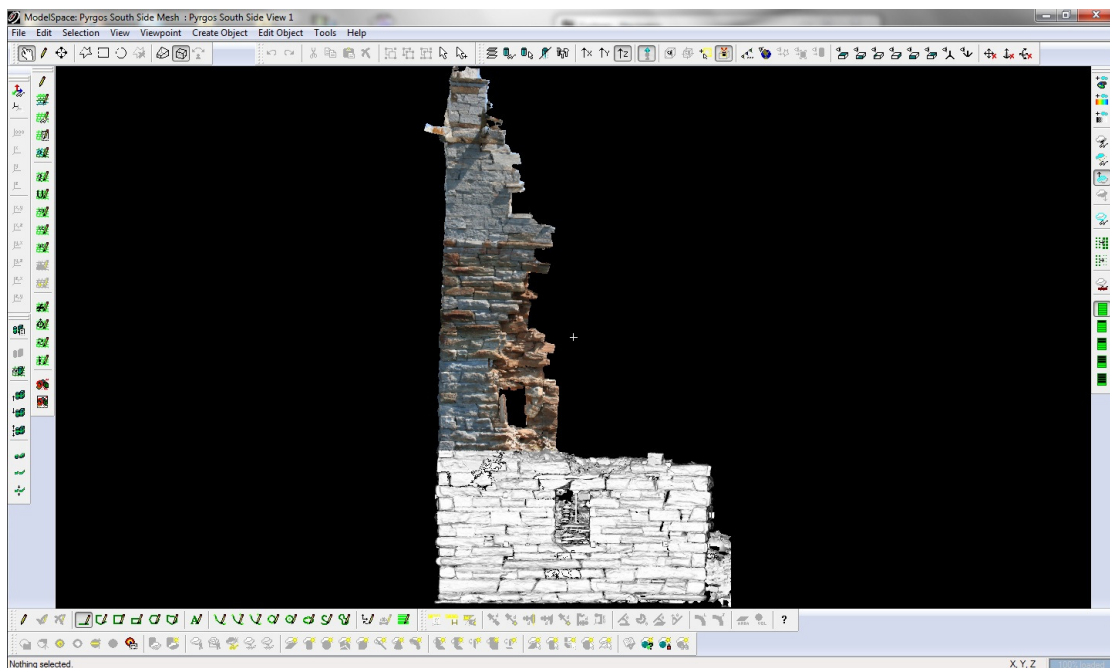
Η παρακάτω φωτογραφία (εικόνα 5.1.4.2) της ανατολικής όψης έχει ταυτιστεί με τον τοίχο χωρίς να αφήνει κενά σημεία και χωρίς παραμορφώσεις.





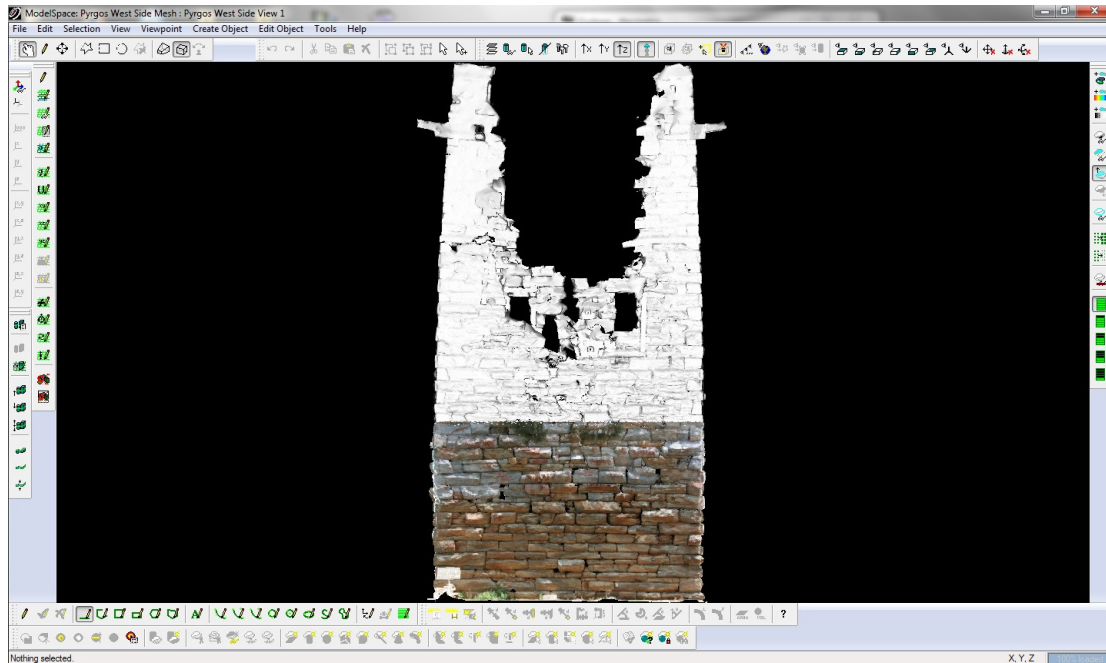
εικόνα 5.1.4.2: Έγχρωμο mesh ανατολικού τοίχου

Ακολουθεί η νότια όψη (εικόνα 5.1.4.3) όπου χρησιμοποιήθηκαν οι φωτογραφίες μόνο του πάνω μισού γιατί οι υπόλοιπές δεν ήταν σε καλή κατάσταση για να χρησιμοποιηθούν επειδή έδιναν πολύ μεγάλη παραμόρφωση.



εικόνα 5.1.4.3: Έγχρωμο mesh νότιου τοίχου

Στην δυτική όψη (εικόνα 5.1.4.4) έγινε χρήση μόνο των φωτογραφιών του κάτω τμήματος γιατί στο πάνω τμήμα υπήρχαν τα κλαδιά και αλλοίωναν το αποτέλεσμα δημιουργώντας μεγάλες παραμορφώσεις.



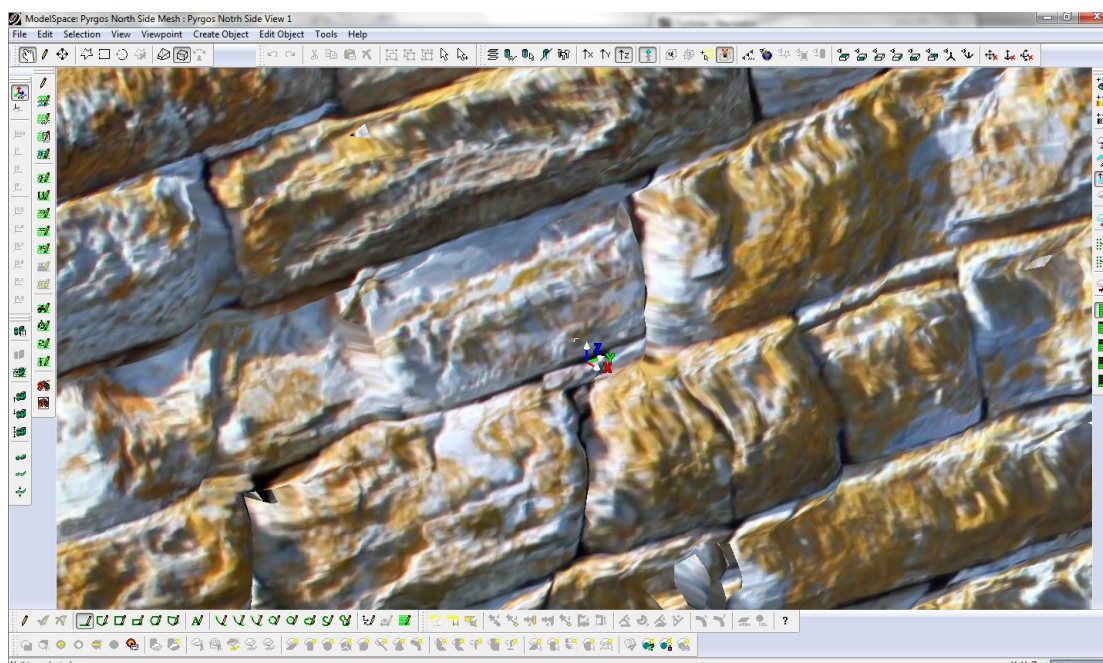
εικόνα 5.1.4.4: Έγχρωμο mesh δυτικού τοίχου

Για το εσωτερικό του Πύργου δεν υπήρχαν καθόλου διαθέσιμες φωτογραφίες για αυτό έχει μείνει μόνο το mesh χωρίς επένδυση από φωτογραφία.

## 5.2 ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΑ

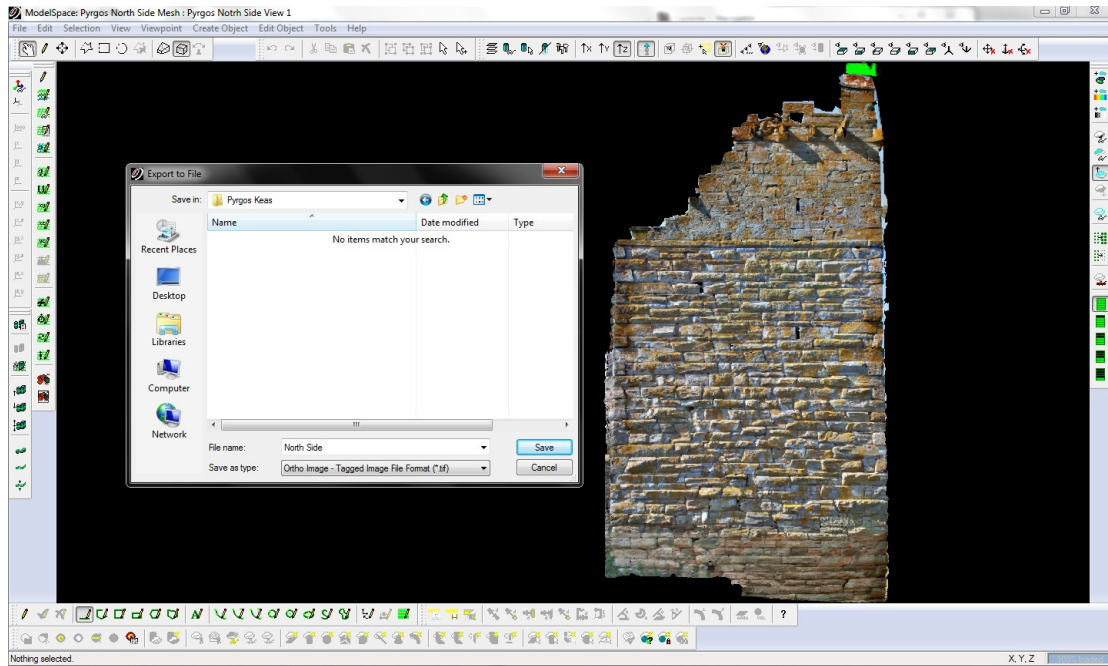
### 5.2.1. Ορθοεικόνες των 4 εξωτερικών πλευρών

Για την δημιουργία των ορθοεικόνων δημιουργήθηκαν στο Cyclone με την εντολή *edit* → *Coordinate System* → *Set from points*, 4 τοπικά συστήματα αναφοράς, ένα για κάθε τοίχο, έτσι ώστε ο άξονας x να είναι κάθετος στο επίπεδο του κάθε τοίχου (εικόνα 5.2.1.1).

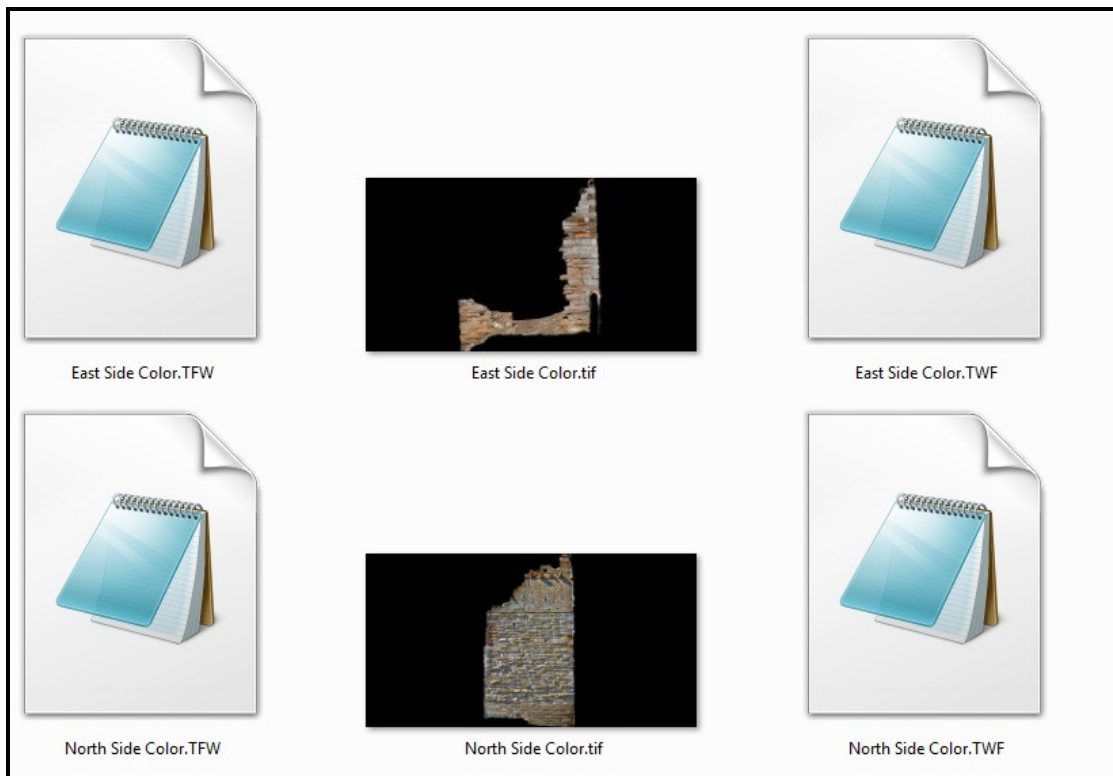


εικόνα 5.2.1.1: Τοπικό σύστημα αναφοράς ορθοεικόνας

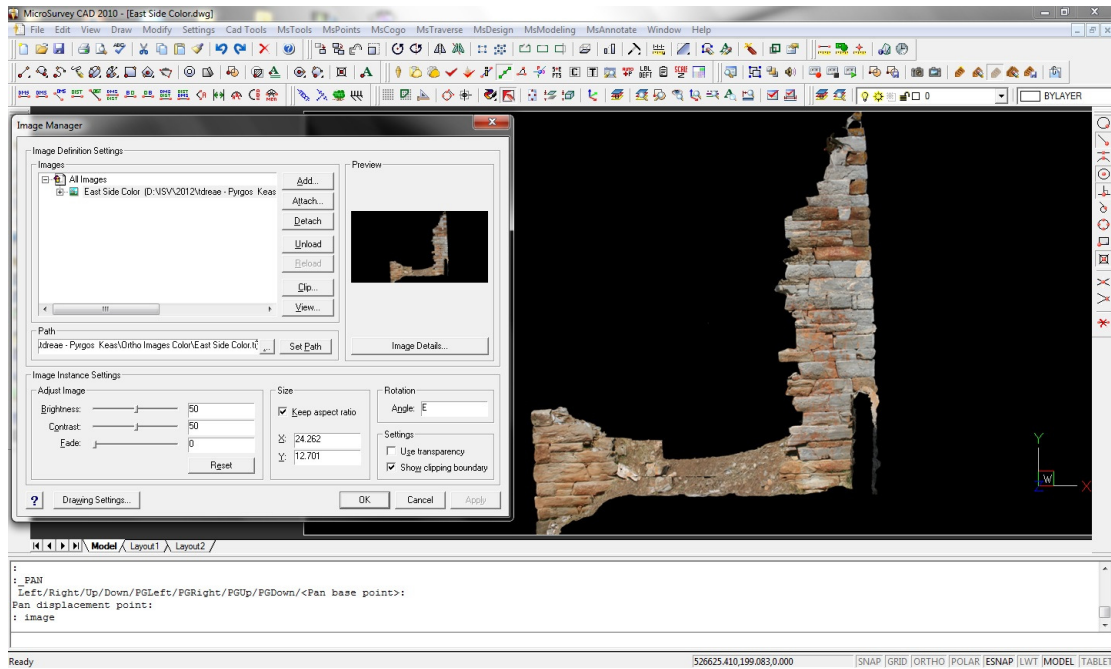
Δηλώνοντας σαν *current coordinate system* το σύστημα του τοίχου που θέλει ο χρήστης να δει, όπως για παράδειγμα τον Βορεινό τοίχο και ενεργοποιώντας την εντολή *frontview* βλέπει κάθετα τον Βορεινό τοίχο. Με την εντολή *export orthoimages* (εικόνα 5.2.1.2) δημιουργείται ορθοεικόνα σε μορφή TIF και αρχεία *.twf* και *.fw* (εικόνα 5.2.1.3) που περιλαμβάνουν την πληροφορία θέσης και κλίμακας ώστε να ανοιχθεί το αρχείο σωστά σε περιβάλλον CAD (εικόνα 5.2.1.4).



εικόνα 5.2.1.2: Εξαγωγή ορθοεικόνων



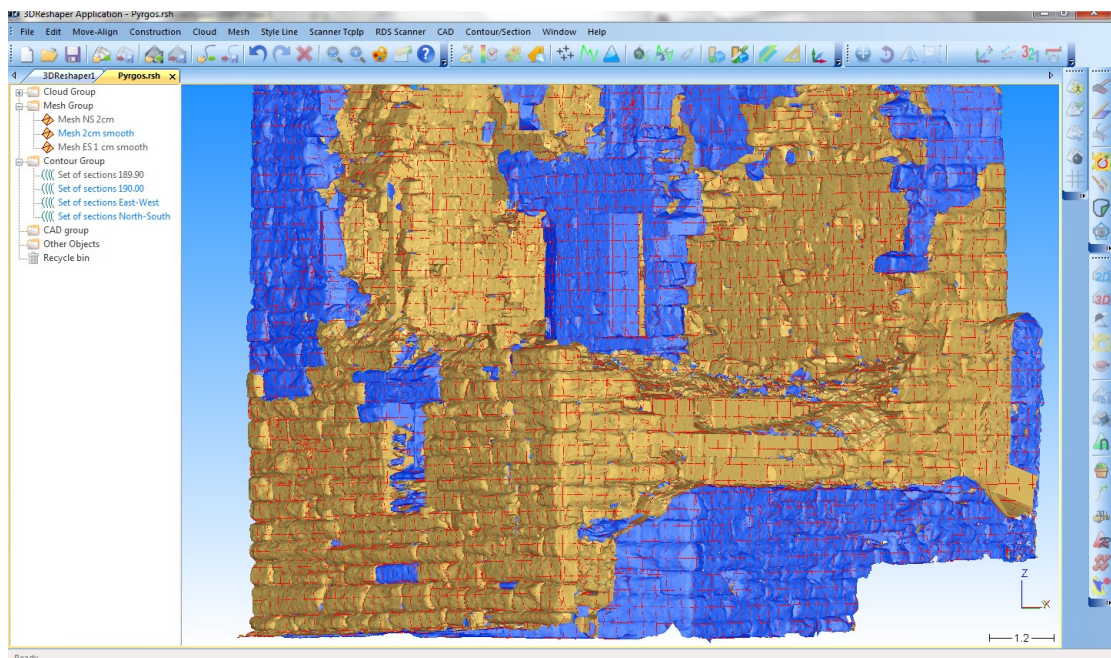
εικόνα 5.2.1.3: Ορθοεικόνες και συνοδευτικά αρχεία



εικόνα 5.2.1.4: Εισαγωγή ορθοεικόνας σε περιβάλλον CAD

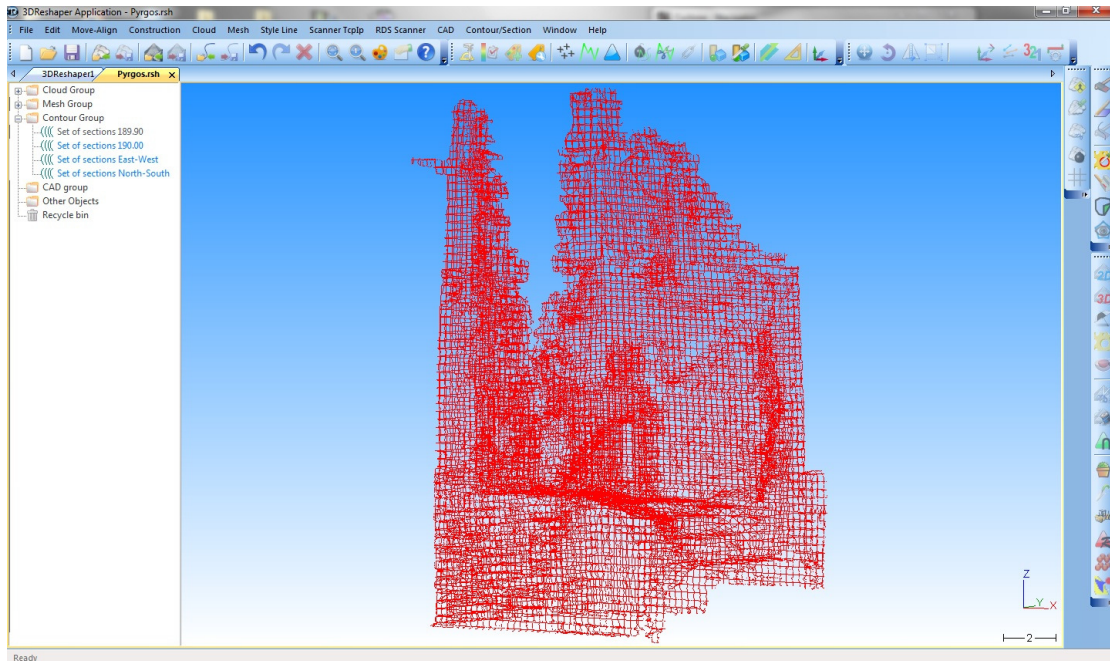
### 5.2.2. 3D διατομές

Στο 3d Reshaper από το mesh με την εντολή *Contour/Sections* → *Planar Sections* δηλώνοντας ως βήμα των διατομών τα 30cm και την αρχή της πρώτης διατομής το ίδιο το πρόγραμμα δημιουργεί polylines τα οποία είναι οι διατομές. Δημιουργήθηκαν αρχικά όλες οι οριζόντιες και κάθετες διατομές στο 3d mesh (εικόνα 5.2.2.1).



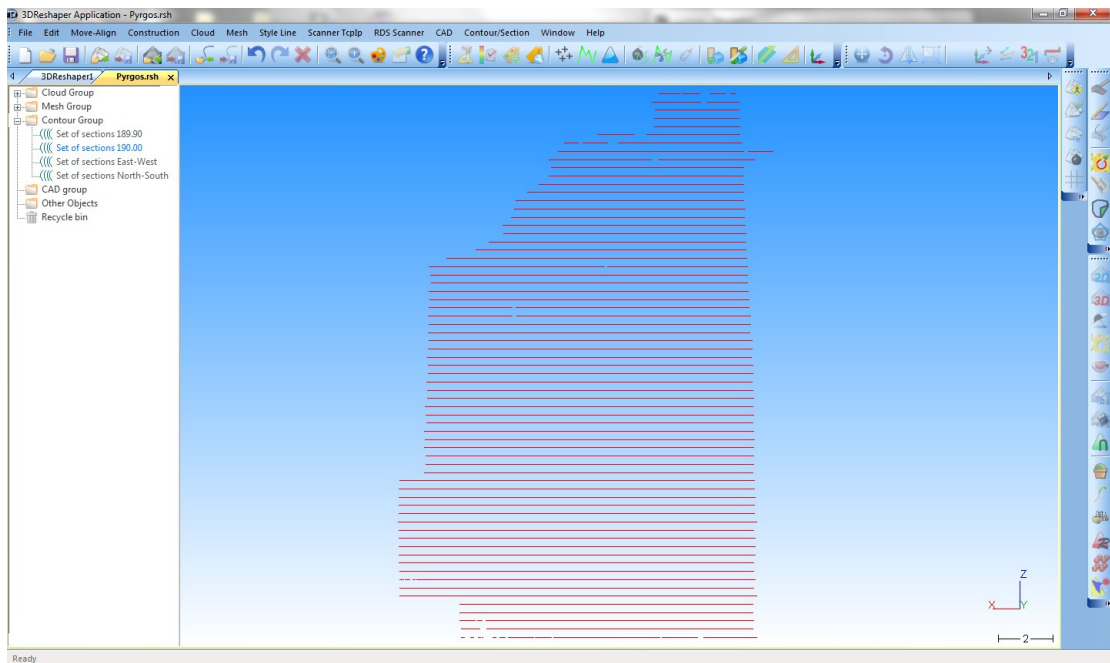
εικόνα 5.2.2.1: Σύνολο διατομών στο mesh

Αν γίνει απόκρυψη του 3d mesh προκύπτουν μόνο οι οριζόντιες και κάθετες διατομές σαν ένας τρισδιάστατος κάρναβος (εικόνα 5.2.2.2).

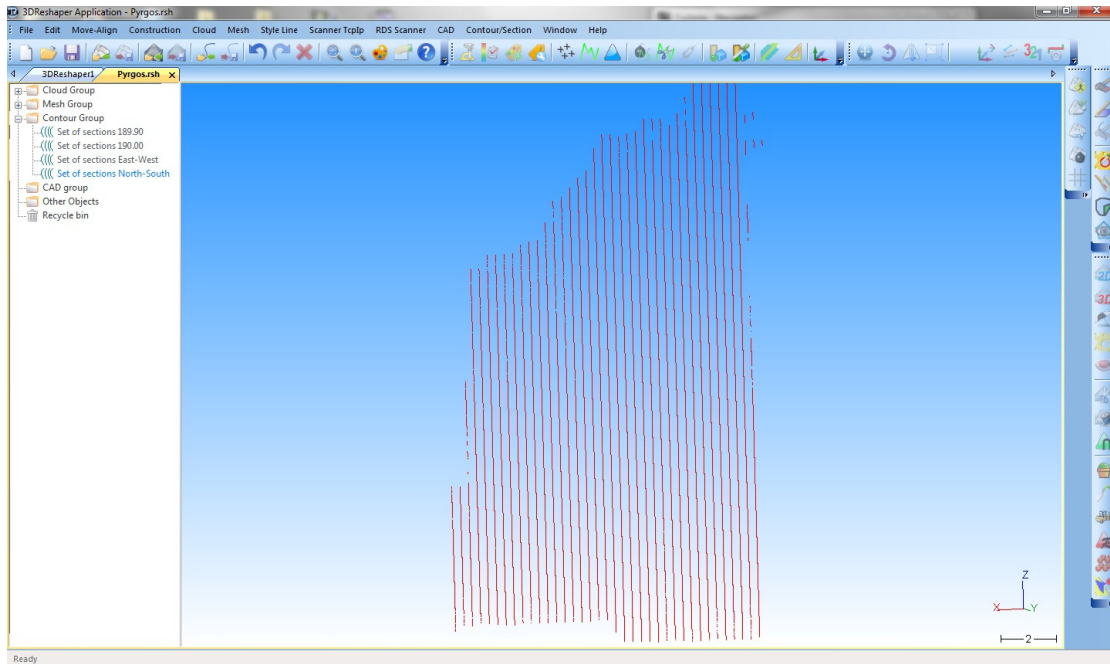


εικόνα 5.2.2.2: Σύνολο 3d διατομών

στη συνέχεια έγινε διαχωρισμός των οριζοντίων (εικόνα 5.2.2.3) από τις κάθετες (εικόνα 5.2.2.4).

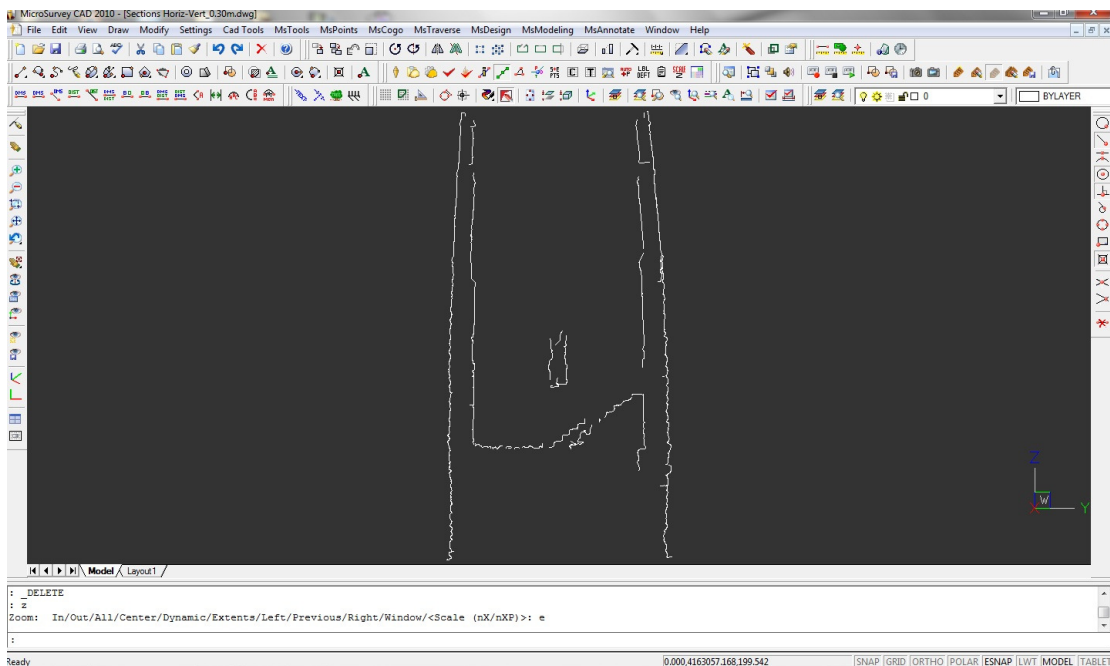


εικόνα 5.2.2.3: Οριζόντιες διατομές

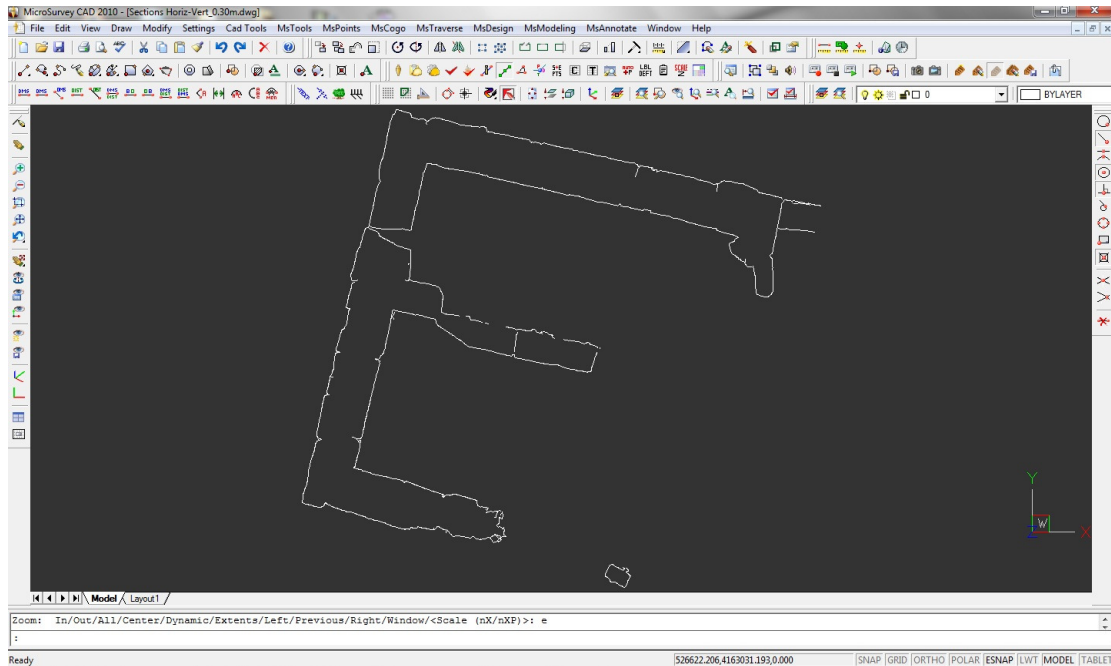


εικόνα 5.2.2.4: Κάθετες διατομές

Πλέον το μόνο που έχει να κάνει ο χρήστης είναι να τις κάνει export σε 3d dxf και να απομονώσει αυτό που χρειάζεται για να το επεξεργαστεί σε ένα δισδιάστατο περιβάλλον CAD (εικόνα 5.2.2.5 και εικόνα 5.2.2.6).



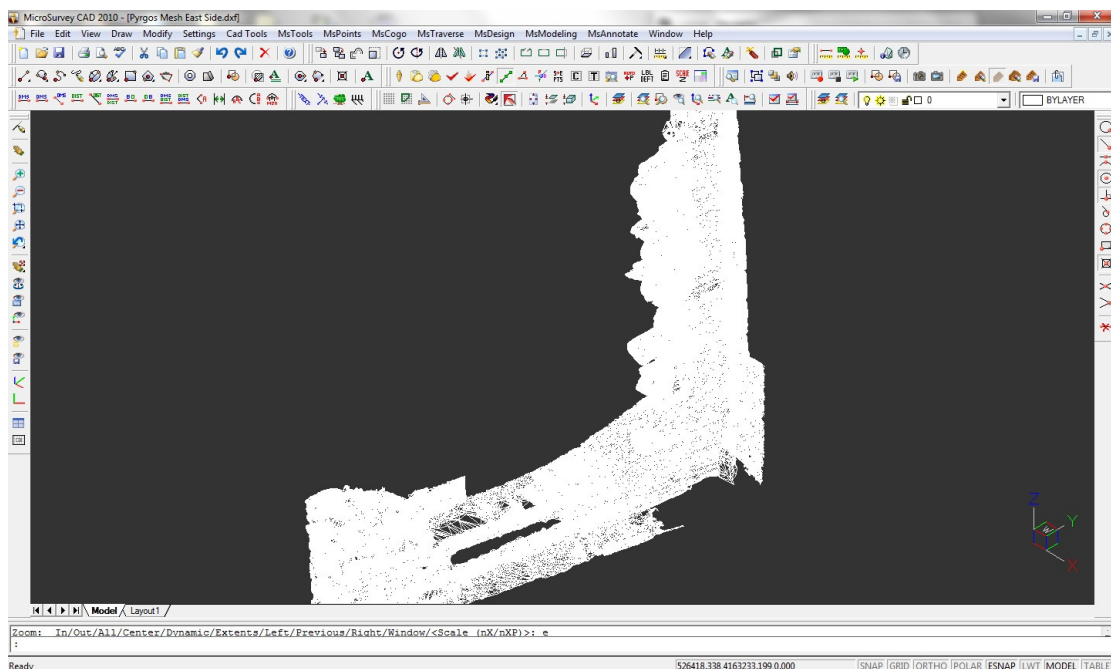
εικόνα 5.2.2.5: Τομή Πύργου σε 2D



εικόνα 5.2.2.6: Κάτοψη Πύργου σε 2D

### 5.2.3. Ψηφιακό μοντέλο των 4 πλευρών

Για την δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου της κάθε πλευράς χρησιμοποιείται το ολικό mesh το οποίο κόβεται σε 4 κομμάτια που είναι οι τέσσερις πλευρές του Πύργου.

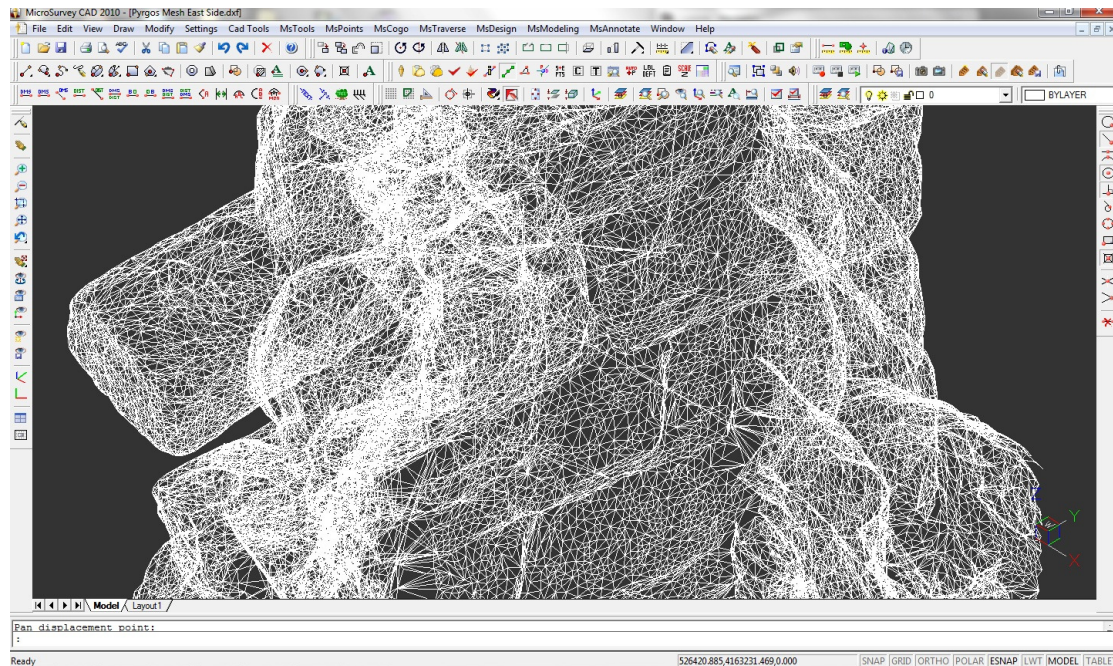


εικόνα 5.2.3.1: Τρισδιάστατο μοντέλο ανατολικού τείχους



Η κάθε πλευρά περιλαμβάνει την εξωτερική και την εσωτερική επιφάνεια του τοίχου, καθώς και μικρή επικάλυψη με τις γειτονικές πλευρές όπως για παράδειγμα το τρισδιάστατο μοντέλο του ανατολικού τοίχου (εικόνα 5.2.3.1).

Σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια φαίνεται ότι το μοντέλο αποτελείται από τα τρίγωνα (εικόνα 5.2.3.2) που δημιουργήθηκαν σε προηγούμενο στάδιο.



εικόνα 5.2.3.2: Λεπτομέρεια τρισδιάστατου μοντέλου ανατολικού τοίχου

#### 5.2.4. Αρχείο περιήγησης / Video

Δημιουργήθηκε video περιήγησης σε αρχείο Pyrgos.avi 16 δευτερολέπτων μέσω του λογισμικού Cyclone. Αρχικά γίνεται αλλαγή της θέασης του modelspace σε perspective view και στη συνέχεια με την επιλογή insert camera εισάγονται τα χαρακτηριστικά σημεία θέασης τα οποία καθορίζουν τη διαδρομή του video. Στη συνέχεια επιλέγονται τα frames ανά δευτερόλεπτο, περίπου 24 fps(frames per second) και γίνεται παραγωγή του αρχείου.

## **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν διερεύνηση της χρήσης σαρωτή Laser για την αποτύπωση Αρχαίου Πύργου στην Αγία Μαρίνα Κέας. Οι βασικοί της πρακτικοί στόχοι ήταν η παραγωγή των ορθοφωτογραφιών των τεσσάρων πλευρών του σε κλίμακα 1/50, με χρήση υψομετρικής πληροφορίας από τον επίγειο σαρωτή laser και η παραγωγή του τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου του Πύργου. Κεντρικό χαρακτηριστικό της διαδικασίας παραγωγής των προϊόντων αυτών είναι η χρήση των νεφών σημείων από τον επίγειο σαρωτή laser για την γεωμετρική περιγραφή της επιφάνειας του αντικειμένου. Με τον τρόπο αυτό ανεξαρτητοποιείται η πρακτική διαδικασία από την απαίτηση της επίπονης φωτογραμμετρικής διαδικασίας παραγωγής ψηφιακού μοντέλου αντικειμένου.

Το μνημείο που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή έχει ύψος περίπου 20m, πλάτος 10m. Αποτελείται από τους δύο διαμερίσματα σε πέντε επίπεδα τα οποία χωρίζονταν μεταξύ του με μεσότοιχο. Η αποτύπωση του αντικειμένου παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες λόγω της ύπαρξης σκαλωσιών. Το χαρακτηριστικό αυτό επέδρασε δυσμενώς τόσο στις εργασίες υπαίθρου, όσο και κατά τη διάρκεια των επεξεργασιών.

### **6.1. Πρακτικά προβλήματα και η αντιμετώπιση τους**

Πρακτικά προβλήματα παρουσιάστηκαν τόσο στη συλλογή δεδομένων όσο και στις διαδικασίες επεξεργασίας αυτών. Ένα μέρος των προβλημάτων αυτών αντιμετωπίστηκε, όπως φαίνεται στις ενότητες που ακολουθούν, με επιτυχία. Οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας οδήγησαν στα συμπεράσματα που περιγράφονται παρακάτω.

#### **6.1.1. Συλλογή δεδομένων**

Οι εργασίες υπαίθρου αποτελούνταν από τις τοπογραφικές εργασίες και από τις μετρήσεις με επίγειο σαρωτή laser.

Η επίλυση του πολυγωνομετρικού δικτύου έγινε βάσει δύο γνωστών, από προηγούμενη εργασία στον χώρο, στάσεων. Δυσκολίες δεν υπήρχαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων των στοιχείων της όδευσης, λόγω της μη επισκεψιμότητας του Πύργου. Η ακρίβεια επίλυσης με χρήση GPS ήταν ικανοποιητική καθώς το σφάλμα αποτύπωσης των σημείων ήταν περίπου στα 0,030m. Στις τεχνικές προδιαγραφές των γεωδαιτικών GPS η ακρίβεια αποτύπωσης οριζοντιογραφικά είναι της τάξης του 0,010m οπότε τα 0,030m είναι μέσα σε ανεκτά όρια.

Λόγω της ύπαρξης σκαλωσιών δεν έγιναν λήψεις φωτογραφιών κατά τη σάρωση του μνημείου, αλλά χρησιμοποιήθηκαν φωτογραφίες που ελήφθησαν πριν τη κατασκευή των σκαλωσιών. Όμως μόνο στη βορεινή πλευρά χρησιμοποιήθηκε καλαθοφόρο όχημα και έτσι σε αυτή τη πλευρά υπάρχουν κάθετα στον τοίχο φωτογραφίες και η αντίστοιχη ορθοεικόνα είναι ικανοποιητική.

Η ανατολική πλευρά έχει το μικρότερο σωζόμενο τμήμα και οι χαμηλές φωτογραφίες που είχαν ληφθεί έδιναν ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Αυτό προκύπτει από σύγκριση που έγινε οπτικά στο ψηφιακό μοντέλο και στις ορθοεικόνες, όπου φάνηκε ότι τα σημεία των αρμών πάνω στις ορθοεικόνες ήταν τα ίδια σημεία πάνω στο ψηφιακό μοντέλο. Επίσης επιλέχθηκαν ενδεικτικά και χαρακτηριστικά σημεία στο ψηφιακό μοντέλο και στις ορθοεικόνες και έγινε σύγκριση των συντεταγμένων τους οι οποίες έδωσαν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς η ακρίβεια τους ήταν της τάξης των 0,005m.

Στη νότια πλευρά οι φωτογραφίες ήταν όλες χαμηλά και από πλάγια θέση λόγω του ναού της Αγίας Μαρίνας. Συνεπώς δεν υπάρχει πληροφορία στα ψηλότερα σημεία και στο ανατολικό κάτω τμήμα του τοίχου. Το αποτέλεσμα της ορθοεικόνας εκτιμάται μέτριο γιατί το CYCLONE όταν προσπαθούσε να εφαρμόσει την εικόνα πάνω στα σημεία την τέντωνε πάρα πολύ στα άκρα και δημιουργεί μια μικρή παραμόρφωση.

Στα δυτικά του τοίχου υπάρχει ένα τεράστιο δέντρο που σχεδόν ακουμπά τον τοίχο και δεν ήταν δυνατή η χρήση καλαθοφόρου οχήματος και συνεπώς οι φωτογραφίες είναι χαμηλές. Το αποτέλεσμα της ορθοεικόνας της δυτικής πλευράς είναι πολύ ικανοποιητικό για το κάτω μισό τμήμα του τοίχου

ενώ ήταν αδύνατο για πάνω μέρος. Συμπεραίνεται ότι θα πρέπει να γίνει καλύτερη λήψη στη νότια και δυτική πλευρά.

Οι σαρώσεις έγιναν σε δύο θέσεις ανά πλευρά τοίχου, η μία κοντινή και μία μακρινή για να σαρωθούν από τη δεύτερη θέση τα σημεία που έκρυβαν οι σκαλωσιές στην πρώτη θέση. Επίσης έγιναν σαρώσεις από τις ακμές τοίχων. Τα αποτελέσματα της σάρωσης στους εξωτερικούς τοίχους όσον αφορά την πληρότητα των σημείων χαρακτηρίζεται πάρα πολύ ικανοποιητική και συνεπώς ο αριθμός των σαρώσεων ήταν υπεραρκετός. Το εσωτερικό του Πύργου λόγω του μεσότοιχου, σαρώθηκε από τέσσερις στάσεις, δύο ανα δωμάτιο, που ήταν και η μέγιστη δυνατή λόγω της ύπαρξης σκαλωσιών. Η σάρωση χαρακτηρίζεται πολύ ικανοποιητική καθώς ενώ υπήρχαν πολλές και πυκνές σκαλωσιές και ήταν αναμενόμενο να υπάρχουν περιοχές με πολλά κενά πληροφορίας, λόγω του ότι η σάρωση ήταν πολύ πυκνή (απόσταση μεταξύ των σημείων 0,005m στα 30m) το τελικό αποτέλεσμα δεν είχε καθόλου κενά.

### **6.1.2. Διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων**

Κατά τη διάρκεια των διαδικασιών επεξεργασίας των δεδομένων και παραγωγής των επιθυμητών προϊόντων παρουσιάστηκαν κάποιες δυσκολίες οι οποίες οδήγησαν στα ακόλουθα συμπεράσματα.

Η επεξεργασία των νεφών σημείων που συλλέχθηκαν από τις σαρώσεις έγινε στο λογισμικό 'Cyclone' που υποστηρίζει τον συγκεκριμένο σαρωτή. Το πρόγραμμα δεν παρουσίαζε γενικά δυσκολίες. Η αφαίρεση των ανεπιθύμητων σημείων έγινε εύκολα και με λίγη περισσότερη προσοχή στους δοκούς αντιστήριξης. Το μεγάλο νέφος σημείων, το πρόγραμμα το διαχειρίστηκε ικανοποιητικά μέσω της εντολής *unify*. Λόγω του μεγάλου αριθμού σημείων και των κενών που υπήρχαν στα νέφη σημείων του μνημείου, της ύπαρξης εμποδίων και της μη ύπαρξης ειδικών στόχων, παρουσιάστηκαν προβλήματα κατά τις διαδικασίες των συνενώσεων και της επεξεργασίας των νεφών στο λογισμικό Cyclone. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων στις συνενώσεις, έγινε χρήση όσων το δυνατόν περισσότερων φυσικών χαρακτηριστικών σημείων του.

Τα σφάλματα που προέκυψαν από την συνένωση των διαφορετικών

σαρώσεων μεταξύ τους ήταν μεταξύ 0,005m και 0,015m όπως αναφέρεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο και κρίθηκαν ικανοποιητικά για τη συγκεκριμένη δουλειά όπου το όριο είχε οριστεί σε 0,020m.

Ο μεγάλος όγκος πληροφορίας, που περιείχε το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (D.E.M.), δεν δυσχέραινε τις διαδικασίες και δεν απαιτούσε πολύ χρόνο και μνήμη στον υπολογιστή για το σύνολο του Πύργου. Η πυκνότητα και η ακρίβεια του D.E.M., επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα καθώς και την γεωμετρική ακρίβεια του τελικού προϊόντος. Για τον λόγο αυτό δεν ήταν δυνατή η αραίωση του σε μεγάλο βαθμό.

Σχετικά με τη συνένωση λόγω του πολύ μεγάλου επικαλυπτόμενου τμήματος μεταξύ των διαδοχικών σαρώσεων δεν χρησιμοποιήθηκαν ειδικόι στόχοι και η επιλογή ήταν σωστή καθώς ήταν εύκολος ο εντοπισμός ομόλογων χαρακτηριστικών σημείων τόσο στο Πύργο, στις σκαλωσιές στο γειτονικό ναό, στις εισόδους όσο και στους βοηθητικούς χώρους.

## **6.2. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και συμπεράσματα**

Το τρισδιάστατο μοντέλο του Αρχαίου Πύργου της Αγίας Μαρίας κρίθηκε ικανοποιητικό για την βόρεια όψη καθώς υπήρχαν ελάχιστα κενά πληροφορίας και περιγράφονται ικανοποιητικά οι λεπτομέρειες στο ανάγλυφο. Γεγονός στο οποίο ίσως να συνέβαλαν οι μεγάλες επικαλύψεις των σαρώσεων και ο μεγάλος αριθμός σημείων. Στην νότια, δυτική και ανατολική όψη το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό για συγκεκριμένα τμήματα αφού υπάρχουν μεγάλα κενά λόγω ύπαρξης εμποδίων και περιορισμένης δυνατότητας φωτογράφησης του μνημείου. Στο λογισμικό 'Cyclone', όπου έγινε το texture mapping έγινε η εισαγωγή ολόκληρου του ενιαίου νέφους και έγινε επένδυση του τρισδιάστατου μοντέλου με εικόνες για την παραγωγή ενός φωτορεαλιστικού μοντέλου του μνημείου.

Η ορθοφωτογραφία του μνημείου σε κλίμακα 1/50 έγινε ακολουθώντας τα βήματα που καθόριζε ο σκοπός της εργασίας. Το αποτέλεσμα κρίθηκε ικανοποιητικό στο μεγαλύτερο μέρος του και τα σημεία που παρουσίαζαν πρόβλημα αντιμετωπίστηκαν, όπως έχει ήδη αναφερθεί, με τη μέθοδο του texture mapping. Παρατηρείται ότι η ποιοτική της πληροφορία, είναι πολύ καλή

σε σχέση με τις μεγάλες κλίσεις που παρουσιάζουν τμήματα του αντικειμένου με το επίπεδο προβολής. Στα σημεία όπου έγινε εφαρμογή του texture mapping η ποιοτική πληροφορία δεν είναι και τόσο καλή καθώς η ανάλυση των παραγόμενων ορθοεικόνων ήταν 2 cm ανά pixel. Όταν κατά την εξαγωγή των ορθοεικόνων έγινε προσπάθεια επιλογής καλύτερης ανάλυσης, από την προτεινόμενη, απεικονιζόταν σε αυτές μόνο ένα μικρό μέρος των σημείων και το μεγαλύτερο μέρος τους ήταν κενά πληροφορίας (μαύρο χρώμα). Οι ανηγμένες εικόνες των τειχών ήταν πολύ ικανοποιητικές ποιοτικά. Γενικά τα κενά πληροφορίας και οι περιοχές με χυμένα pixel καταλαμβάνουν μικρό ποσοστό της ορθοφωτογραφίας.

Εν κατακλείδι, εκτιμάται ότι ο σχεδιασμός των εργασιών υπαίθρου, ήταν σωστός βάσει των παραπάνω συμπερασμάτων, ενώ απαιτείται μεγαλύτερη εξοικείωση με τα υφιστάμενα λογισμικά αλλά και με άλλα για την παραγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων. Σαφέστατα ένας έμπειρος χρήστης θα κατάφερνε ακόμη καλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα και θα χρειαζόταν λιγότερο χρόνο, καθώς πιθανώς να μην αντιμετώπιζε κανένα από τα προβλήματα που συναντήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### **6.3. Προτάσεις**

- Με την πραγματοποίηση καλύτερων φωτογραφήσεων στις προβληματικές περιοχές θα μπορούσαν να παραχθούν ορθοεικόνες καλύτερης ποιοτικής και μετρητικής πληροφορίας και κάλυψη των κενών
- Με ψηφιοποίηση των ορθοεικόνων σε κατάλληλο σχεδιαστικό πρόγραμμα θα μπορούσε να παραχθεί το γραμμικό σχέδιο όλων των όψεων του μνημείου.
- Σαν συνέχεια της συγκεκριμένης εργασίας θα μπορούσε να γίνει εισαγωγή και επεξεργασία των νεφών σημείων σε κάποιο άλλο πρόγραμμα όπως το Polyworks, το Pointcloud ή το ScanMaster και να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και των δυνατοτήτων των διαφόρων λογισμικών.
- Μετά την αποκατάσταση προτείνεται εκ νέου η αποτύπωση του Πύργου με λήψη φωτογραφιών ώστε το τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό

μοντέλο να χρησιμοποιηθεί σε κάποια ιστοσελίδα για την προβολή των μνημείων του νησιού σε ψηφιακό μουσείο.

- Επιπλέον θα μπορούσε να ανατεθεί σε μια ομάδα αρχιτεκτόνων και αρχαιολόγων να διαμορφώσουν μετά την αποκατάσταση του μνημείου, τους χώρους του, ώστε να λειτουργεί σαν μουσείο ή πολιτιστικό κέντρο, όπου θα εκτίθενται διάφορα αρχαία ευρήματα του νησιού.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**Μακρής Γ. Ν.** (1999) 'Σύγχρονες αντιλήψεις και πρακτικές γεωμετρικής τεκμηρίωσης – αποτύπωσης κειμηλίων, μνημείων και συνόλων'. Αθήνα, Ελλάδα.

**Τσιούκας Β.** (2009) «Χρήση νέων τεχνολογιών στην 3D αποτύπωση μνημείων και χώρων». Σημειώσεις για το σεμινάριο του ΤΕΕ. Ξάνθη, Ελλάδα.

**Ιωαννίδης Χ.** (2005) 'Αποτυπώσεις Μνημείων'. Διάλεξη επίγειων σαρωτών laser στις αποτυπώσεις μνημείων. Αθήνα, Ελλάδα.

**Cingoni, P., Montani C. and Scopigno R.,** (1998) A comparison of mesh simplification algorithms, Computers & Graphics. Istituto di Elaborazione dell'Informazione-Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via S. Maria, 46-56126 Pisa, Italy.

**Guidi Gabriele, Beraldin Angelo J. and Atzeni Carlo,**(2004) 'High-Accuracy 3D modeling of Cultural Heritage: The Digitizing of Donatello's 'Maddalena'', IEEE Transactions on Image processing. Florence, Italy.

**Godin Guy, Rioux Marc, Beraldin J. Angelo, Levoy Marc, Cournoyer Luc, Blais Francois,**( 2001) 'An assessment of laser range measurement on marble surfaces', 5th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Vienna, Austria.

**Noborio H. , Fukuda S., Arimoto S.** (1988) Construction of the octree approximating three-dimensional objects by using multiple views. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Washington, DC, USA.

**Campanella C., Tesson M., Bortolotto S., Ciocchini E., Zangheri F.** (2005) Basilica of Saint Peter Martyr from Verona in S. Anastasia (Verona): Structures Geometric Survey and Photographic Campaign for the Preservation Project. Proceedings of CIPA 2005 XX International Symposium, Torino, Italy.



**Georgopoulos A., Makris G.N., Dermentzopoulos A.** (2005) An alternative method for large scale orthophoto production. Proceedings of CIPA 2005 XX International Symposium, 26 September – 01 October, Torino, Italy.