ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS School of Rural & Surveying Engineering

GEOINFORMATICS POST-GRADUATE PROGRAMME

ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

МЕТАПТУХІАКО ПРОГРАММА

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΩΝ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΝΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΗ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ



ΔΠΜΣ Γεωπληροφορική Μεταπτυχιακή Εργασία Γεράσιμος – Αλέξανδρος Καραΐσκος

Επιβλέπων: Ανδρέας Γεωργόπουλος Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2019

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS School of Rural & Surveying Engineering

GEOINFORMATICS POST-GRADUATE PROGRAMME

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΩΝ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΝΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΗ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ

ΔΠΜΣ Γεωπληροφορική Μεταπτυχιακή Εργασία Γεράσιμος – Αλέξανδρος Καραΐσκος

Επιβλέπων: Ανδρέας Γεωργόπουλος Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Υπογραφή	Υπογραφή	Υπογραφή
Ανδρέας Γεωργόπουλος	Χαράλαμπος Ιωαννίδης	Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής Ε.Μ.Π	Καθηγητής Ε.Μ.Π	Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2019

(Υπογραφή)

....

Καραΐσκος Γεράσιμος – Αλέξανδρος

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Είναι σημαντικό πριν την περαιτέρω ανάγνωση αυτής της διπλωματικής εργασίας να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στην εκπόνησή της.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και επιβλέποντα της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας *Ανδρέα Γεωργόπουλο*, κατ' αρχάς για την άψογη συνεργασία σε όλη τη διάρκεια εκπόνησής της καθώς και για την υπομονή και υποστήριξή του σε όλη τη διαδικασία.

Ευχαριστώ, επίσης, την Εφορεία Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου στην Ρόδο για την άδεια και την ευκαιρία που μου δόθηκε για την γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου, καθώς και για τις ιστορικές και άλλες πληροφορίες που ήταν χρήσιμες για την αναφορά του συγκεκριμένου Ναού. Πιο συγκεκριμένα ευχαριστώ τις κ.κ. **Μ. Μιχαηλίδου** (Αρχαιολόγο και Προϊσταμένη της Εφορείας) και την Αρχαιολόγο **Ελ. Παπαβασιλείου**.

Επίσης ευχαριστίες οφείλονται να δοθούν και στον Αρχιτέκτονα κ. Γ. Ντέλλα, για τις πολύτιμες πληροφορίες και την βιβλιογραφία που μου εξασφάλισε.

Ευχαριστώ, επίσης, τους Καθηγητές της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών *Ιωαννίδη Χαράλαμπο* και Πανταζή Γεώργιο, για την βοήθειά τους και την υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής εργασίας.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου και κυρίως στον *Στράτο Κούτρο* που με βοήθησε στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	<i>IX</i>
ABSTRACT	XI
ΠΙΝΑΚΕΣ	XIII
ΕΙΚΟΝΕΣ	XV
ΣΧΗΜΑΤΑ	XIV
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	

1.1 Εντός Ελλάδος	3
1.2 Εκτός Ελλάδος	6

2.1 Ιστορικά Στοιχεία	
2.2 Ακρίβεια Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	21
3.1 Αναγνώριση – Φωτογραφική Τεκμηρίωση	21
3.2 Αυτοσχέδιο Πεδίου	24
3.3 Εξοπλισμός	
3.4 Ίδρυση Γεωδαιτικού Δικτύου – Κλειστής Όδευσης	
3.5 Φωτογραμμετρική Αποτύπωση	
3.6 Μετρήσεις Με Επίγειο Σαρωτή	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ41
4.1 Γεωδαιτικές Μετρήσεις41
4.2 Συνένωση & Γεωαναφορά Νεφών Σημείων
4.3 Επεξεργασία Νέφους Σημείων49
4.4 Δημιουργία Επιφάνειας52
4.5 Προσανατολισμοί Εικόνων
4.5.1 Εσωτερικός Προσανατολισμός
4.5.2 Εζωτερικός Προσανατολισμός
4.6 Απόδοση Υφής Στο Τρισδιάστατο Μοντέλο
4.7 Σύγκριση Οριζόντιας Τομής Από Το 3D Μοντέλο Με Την Οριζόντια Τομή Που Προέκυψε Γεωδαιτικά62
4.8 Οπτικοποίηση Μοντέλου Μέσω Εικονικής Περιήγησης
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i> 73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι <i>ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΩΝ</i> 81 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟΧΩΝ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ <i>ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</i> 91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΤΟΨΕΩΝ ΕΦΟΡΙΑΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ95

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ- ΟΔΕΥΣΕΩΝ-ΤΥΦΛΩΝ ΣΤΑΣΕΩ	N105
ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΑ	
ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ	113
ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΟΔΕΥΣΗΣ Ι	
ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΟΔΕΥΣΗΣ ΙΙ	119
ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΥΦΛΩΝ ΣΤΑΣΕΩΝ	

Περίληψη

Η εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια έχει βοηθήσει πολύ στον τομέα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης για πιο άμεσα και ακριβή αποτελέσματα. Με την πάροδο των χρόνων γίνεται ακόμα εντονότερη η προσπάθεια για την καταγραφή της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς. Έτσι διευκολύνεται σημαντικά η γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων, διαδικασία η οποία αποτελεί σημαντικό κομμάτι για την αποκατάσταση και αξιοποίησή τους όπως άλλωστε ορίζει ήδη από το 1964 και η Χάρτα της Βενετίας.

Με τον όρο "Γεωμετρική Τεκμηρίωση κατασκευής" ορίζεται η καταγραφή της θέσης, του μεγέθους και της μορφής μιας κατασκευής σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, στο χώρο των τριών διαστάσεων. Σκοπός είναι η παρουσίαση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται τη χρονική στιγμή της τεκμηρίωσης. Έτσι είναι δυνατή η παρουσίαση των στοιχείων λεπτομερειών που περιλαμβάνονται σε αυτή και ο εντοπισμός πιθανών κατασκευαστικών αποκλίσεων ή φθορών που έχει υποστεί. Η ακριβής μετρητική καταγραφή της κατασκευής δίνει τη δυνατότητα και σε άλλους ειδικούς επιστήμονες (στατικούς, αρχιτέκτονες, αρχαιολόγους, ιστορικούς) να εκτιμήσουν τη σοβαρότητα των αποκλίσεων ή φθορών και να προτείνουν τις μεθόδους – διαδικασίες παρέμβασης για την αποκατάστασή τους, ειδικά όταν προκειται για ιστορική κατασκευή, δηλαδή ένα μνημείο.

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση του Ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης, στην Μεσαιωνική πόλη της Ρόδου και πιο συγκεκριμένα η δημιουργία του τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου.

Για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου ακριβείας πραγματοποιήθηκαν γεωδαιτικές μετρήσεις, επίγειες σαρώσεις και συλλογή φωτογραμμετρικών δεδομένων. Τα τελικά παράγωγα της εργασίας είναι ένα φωτορεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο ακριβείας, ένα γενικό τοπογραφικό και μια οριζόντια τομή του Ναού. Τα υπόλοιπα απαραίτητα παράγωγα της ολοκληρωμένης γεωμετρικής τεκμηρίωσης, αποτελούν αντικείμενο άλλης Διπλωματικής Εργασίας που εκπονείται παράλληλα από τον συνάδελφο Ευστρ. Κούτρο.

Abstract

During the recent years, the evolution of technology has helped a lot in the field of geometric documentation for more immediate and accurate results. In the recent years, the effort of documenting world cultural heritage using contemporary digital technologies is also becoming more popular. In this way the geometric documentation of monuments is enabled, a process which goes a long way towards restoring and utilizing them as is dictated by the Venice Charter, already since 1964.

The term "Geometric Documentation" implies the recording of the location, size and form of a structure at a given moment time in the space of three dimensions. The purpose is to present the situation at which the documentation is at the moment of measurements. It is therefore possible to present the details contained therein and to identify possible structural deviations or deformations present. The accurate metric recording of construction allows other specialist scientists (stractural engineers, architects, archaeologists, historians) to assess the severity of deviations and to suggest the methods of the intervention procedures for their restoration.

The goal of the present dissertation is the 3D geometric documentation of the Church of Saints Konstantinos & Eleni in the Medieval Town of Rhodes.

For the construction of the precise 3D model a combination of techniques such as geodetic measurements, laser scanning and photogrammetry have been used. The end result of the dissertation is a photorealistic precise 3D model as well as a general plan drawing. The rest of the geometric documentation plans are produced by a parallel dissertation thesis, carried out by E. Koutros.

Πίνακες

Πίνακας 2.1 Αβεβαιότητα συντεταγμένων σημείων αποτύπωσης	20
Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά επίγειου σαρωτή	30
Πίνακας 3.2 Μέγεθος εδαφοψηφίδας	36
Πίνακας 3.3 Πλήθος μετρήσεων – Στόχων	39
Πίνακας 3.4 Πλήθος σημείων λεπτομέρειας	40
Πίνακας 4.1 Μετρήσεις δικτύου οριζοντιογραφικά	42
Πίνακας 4.2 Μ.Ο Υψομετρικών διαφορών μεταξύ των κορυφών του δικ	ατύου 43
Πίνακας 4.3 Συντεταγμένες κορυφών τριγωνομετρικού δικτύου και τυπι Σφάλματα	κά 43
Πίνακας 4.4 Συντεταγμένες κορυφών κλειστής όδευσης Ι	44
Πίνακας 4.5 Συντεταγμένες κορυφών κλειστής όδευσης ΙΙ	45
Πίνακας 4.6 Συντεταγμένες τυφλών στάσεων	46
Πίνακας 4.7 Σφάλματα γεωαναφοράς νεφών εσωτερικά του Ναού	49
Πίνακας 4.8 Σφάλματα γεωαναφοράς νεφών εζωτερικά του Ναού	49
Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα εσωτερικού προσανατολισμού φωτογραφικη μηχανής	ίς 57
Πίνακας 4.10 Αποτελέσματα Απόλυτου Προσανατολισμού	59
Πίνακας 4.11 Δημιουργία επιπέδων στο 3D μοντέλο σε διαφορετικά επίπεδα	62
Πίνακας 4.12 Αποκλίσεις ομόλογων σημείων μεταξύ οριζόντιων τομών.	64
Πίνακας 4.13 Αποκλίσεις ομόλογων σημείων μεταξύ οριζόντιων τομών.	67
Πίνακας 5.1 Κατανομή εργασιών πεδίου και γραφείου για 2 άτομα	74
Πίνακας Ι Συντεταγμένες φωτοσταθερών της αυλής του Ναού	83
Πίνακας ΙΙ Συντεταγμένες φωτοσταθερών της εζωτερικής όψης του Νο	ιού.84
Πίνακας ΙΙΙ Συντεταγμένες φωτοσταθερών εσωτερικά του Ναού	85
Πίνακας ΙV Συντεταγμένες στόχων επίγειου σαρωτή	89

Εικόνες

<mark>Εικόνα 1.1</mark> Ι.Ν. του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά της Κύπρου	3
Εικόνα 1.2 Ωρολόγιο του Ανδρόνικου Κυρρήστου	4
Εικόνα 1.3 Ιερός Ναός της Καπνικαρέας	5
Εικόνα 1.4 Δημιουργία κλειστής πολυγωνικής όδευσης με την χρήση Γεωδαιτικού σταθμού	6
Εικόνα 1.5 Απεικόνιση 3d μοντέλου από laser scanner	7
Εικόνα 1.6 Πρόσοψη Ιερού Κουβουκλίου, όπως προέκυψε μετά από επεξεργασία 3d μοντέλου νέφους σημείων σε συνδυασμό μ φωτογραμμετρική μέθοδο επεξεργασίας	ιε 7
Εικόνα 1.7 Το κάστρο Chatel-sur-moselle στη Γαλλία	8
Εικόνα 1.8 Ψηφιακή αναπαράσταση της γέφυρας Cadi, Γρανάδα	9
Εικόνα 1.9 Το κάστρο Coatfrec στην Γαλλία	
Εικόνα 1.10 Οχυρό Kristiansten στο Trondheim	10
Εικόνα 1.11 3D εκτύπωση του κάστρου Britxi , Βαλένθια Ισπανία	11
Εικόνα 2.1 Ρόδος. Ναός Αγίου Κωνσταντίνου και Ελένης. Κάτοψη το με τις ταφές (φάση Α)	ου ναού 15
Εικόνα 2.2 Πώρινο κεφάλι από παράθυρο ιπποτικού κτίσματος	
Εικόνα 2.3 Σπάραγμα τοιχογραφίας	16
Εικόνα 2.4 Ρόδος. Ναός Αγίου Κωνσταντίνου και Ελένης. Κάτοψη το (φάση Β ')	ου ναού 17
Εικόνα 2.5 Ρόδος. Ναός Αγίου Κωνσταντίνου και Ελένης. Κάτοψη το και Τομές	ου ναού 19
Εικόνα 2.6 Ρόδος. Ναός Αγίου Κωνσταντίνου και Ελένης. Λεπτομέρε πόρτας	ια της 19
Εικόνα 3.1 Κύρια είσοδος Ναού σήμερα	21
Εικόνα 3.2 Νότια όψη Ναού και περιβόλου	
Εικόνα 3.3 Εσωτερικός χώρος Ναού Ι	22
Εικόνα 3.4 Εσωτερικός χώρος Ναού ΙΙ	23
Εικόνα 3.5 Εσωτερικός χώρος Ναού ΙΙ	23
Εικόνα 3.6 Εσωτερικός χώρος Ναού ΙΙΙ	23

Εικόνα 3.7 (Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός TCR 405	28
Εικόνα 3.8 Υ	Ψηφιακή φωτογραφική μηχανή DSLR Canon EOS-1Ds Mark Π	28
Εικόνα 3.9 S	Studio flash kit Bowens (BW3005 DUO & BW3015 DUO)	.29
Εικόνα 3.10	Επίγειος Σαρωτής Ι	29
Εικόνα 3.11	Φωτοσταθερό	34
Εικόνα 3.12	Επίγειος Σαρωτής ΙΙ	37
Εικόνα 3.13	Φωτογραφία νέφους επίγειου σαρωτή	37
Εικόνα 3.14	Μετρήσεις με Ο.Γ.Σ Ι	.38
Εικόνα 3.15	Μετρήσεις με Ο.Γ.Σ ΙΙ	.38
Εικόνα 3.16	Στόχοι Επίγειου Σαρωτή Ι	.39
Εικόνα 3.17	Στόχοι Επίγειου Σαρωτή ΙΙ	39
Εικόνα 4.1 Ι	Εντοπισμός χονδροειδών σφαλμάτων του νέφους (Κόκκινο Κρώμα)	50
Εικόνα 4.2 Ι	Μείωση θορύβου του νέφους	51
Εικόνα 4.3 Ι	Μείωση αριθμού του νέφους	.52
Εικόνα 4.4 Δ	1ημιουργία Επιφάνειας	.53
Εικόνα 4.5 Ί	Ελλειψη πληροφορίας στην επιφάνεια του μοντέλου	54
Εικόνα 4.6 Ι τ	Κλείσιμο τρυπών μέσω της επιφάνειας που δημιουργήθηκε από ης προσανατολισμένες εικόνες	5 .55
Εικόνα 4.7 2	Εχετικός Προσανατολισμός Εικόνων	.59
Εικόνα 4.8 Α	Αραιό νέφος σημείων από προσανατολισμένες εικόνες	.60
Εικόνα 4.9 Ι	Τυκνό νέφος σημείων από προσανατολισμένες εικόνες	60
Εικόνα 4.10	Απόδοση υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο	.61
Εικόνα 4.11	Σημεία ελέγχου – σύγκρισης μεταξύ των οριζόντιων τομών εζωτερικά του Ναού	63
Εικόνα 4.12	Τοποθέτηση οριζόντιων τομών από το 3D μοντέλο (κόκκινο= 101.500 m και πράσινο \Rightarrow 101.710 m χρώμα) πάνω στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του Ο.Γ.Σ (μαύρο χρώμα)	⇒ 63

Εικόνα 4.13	Τοποθέτηση οριζόντιων τομών από το 3D μοντέλο (πορτοκαλί \Rightarrow 101.650 m και μωβ \Rightarrow 101.460 m χρώμα) πάνω στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του Ο.Γ.Σ (μαύρο χρώμα)
Εικόνα 4.14	Σημεία ελέγχου – σύγκρισης μεταξύ των οριζόντιων τομών εζωτερικά του Ναού66
Εικόνα 4.15	Τοποθέτηση οριζόντιων τομών από το 3D μοντέλο (μπλε⇒ 101.500 m και κίτρινο⇒100.070 m χρώμα) πάνω στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του Ο.Γ.Σ (μαύρο χρώμα)
Εικόνα 4.16	Τοποθέτηση οριζόντιων τομών από το 3D μοντέλο (θαλασσί ⇒ 100.5500 m και μωβ⇒ 101.290 m χρώμα) πάνω στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του Ο.Γ.Σ (μαύρο χρώμα)
Εικόνα 4.17	Επιλογή κάμερας στο 3D Studio Max 69
Εικόνα 4.18	Δημιουργία διαδρομής στο 3D Studio Max 69
Εικόνα 4.19	Επιλογή παραμέτρων κάμερας και διαδρομής
Εικόνα 4.20	Οπτικοποίηση του εζωτερικού τμήματος του μοντέλου71
Εικόνα 4.21	Οπτικοποίηση του εσωτερικού τμήματος του μοντέλου

XVIII

Σχήματα

Σχήμα 3.1 Αυτοσχέδιο πεδίου Πολυγωνομετρικών Στάσεων	25
Σχήμα 3.2 Αυτοσχέδιο πεδίου Οριζόντιας Τομής Ι	26
Σχήμα 3.3 Αυτοσχέδιο πεδίου Οριζόντιας Τομής ΙΙ–Κατακόρυφης Τομής2	26
Σχήμα 3.4 Αυτοσχέδιο πεδίου Οριζόντιας Τομής ΙΙΙ	27
Σχήμα 3.5 Αυτοσχέδιο πεδίου Εγκάρσιας Τομής	27
Σχήμα 3.6 Ιδρυση γεωδαιτικού δικτύου	31
Σχήμα 3.7 Ίδρυση κλειστής όδευσης Ι	31
Σχήμα 3.8 Ιδρυση κλειστής όδευσης ΙΙ	32
Σχήμα 3.9 Ιδρυση τυφλών στάσεων	32
Σχήμα 3.10 Structure-from-Motion (SfM)	34
Σχήμα 3.11 Από τη φωτογραφία στο νέφος σημείων: Η ροή εργασίας SFM	35
Σχήμα 3.12 Θέσεις επίγειου σαρωτή	37
Σχήμα 4.1 Μετρήσεις δικτύου οριζοντιογραφικά	41
Σχήμα 4.2 Υψομετρικές διαφορές μεταζύ των κορυφών του δικτύου	42
Σχήμα 4.3 Κλειστή όδευση Ι4	14
Σχήμα 4.4 Κλειστή όδευση ΙΙ	45
Σχήμα 5.1 Κατανομή εργασιών πεδίου και γραφείου σε ποσοστό	71
Σχήμα Ι Τοπογραφικό Διάγραμμα Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης9	<i>)3</i>
Σχήμα ΙΙ Οριζόντια Τομή Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης) 4
Σχήμα ΙΙΙ Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση 1η	97
Σχήμα ΙV Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση 2η9) 8
<mark>Σχήμα V</mark> Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση 3η	99
<mark>Σχήμα VI</mark> Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση 4η10	00
<mark>Σχήμα VII</mark> Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση 5η10)]
<mark>Σχήμα VIII</mark> Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Τομή Α-Α΄.10	02
Σχήμα ΙΧ Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση Γ΄10)3
Σχήμα Χ Τομές Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης)4

Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου του Ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης, στην Μεσαιωνική πόλη της Ρόδου και η διερεύνηση της χρησιμότητάς του στην τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση του Ναού.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή σε εφαρμογές δημιουργίας τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου που έλαβαν χώρα εντός και εκτός Ελλάδος καθώς και η χρησιμότητά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή του Ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης καθώς και κάποιων ιστορικών στοιχείων του Ναού που αναδεικνύουν την σημαντική ιδιαιτερότητά του.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρατίθενται ο διαθέσιμος εξοπλισμός, που χρησιμοποιήθηκε καθώς και όλες οι εργασίες πεδίου που απαιτήθηκαν για την συλλογή δεδομένων για την παρούσα εργασία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιείται η επίλυση των γεωδαιτικών μετρήσεων, η συνένωση και γεωαναφορά των νεφών, η επεξεργασία του τελικού νέφους σημείων, η μοντελοποίηση της επιφάνειας καθώς επίσης και οι προσανατολισμοί των εικόνων που ελήφθησαν. Στο τέλος του κεφαλαίου αναλύεται η σύγκριση της οριζόντιας τομής που δημιουργήθηκε από το τρισδιάστατο μοντέλο με την οριζόντια τομή που μετρήθηκε με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται κάποια συμπεράσματα όπως προκύπτουν από τα επιμέρους στάδια της εργασίας και ο ενδεικτικός χρόνος που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Κεφάλαιο 1

ΑΝΑΝΣΚΟΠΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΊΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΦΩΤΟΡΕΑΔΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΔΩΝ

1.1 Εντός Ελλάδος

«Γεωμετρική τεκμηρίωση Ι. Ν. Αρχάγγελου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου μέσω τρισδιάστατης απεικόνισης»

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση του Ι.Ν. του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά της Κύπρου. Η βυζαντινή εκκλησία αυτή αποτελεί μία από τις δέκα, της περιοχής του Τροόδους, που έχουν κηρυχθεί από την UNESCO μνημεία παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς.

Σε αυτήν την διπλωματική εργασία αναλύεται η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Πιο συγκεκριμένα αναλύεται η επίλυση των γεωδαιτικών μετρήσεων, η συνένωση και γεωαναφορά των νεφών, η επεξεργασία του τελικού νέφους σημείων, η μοντελοποίηση της επιφάνειας καθώς επίσης και οι προσανατολισμοί των εικόνων που ελήφθησαν.

Τέλος περιγράφεται η διαδικασία κατά την οποία γίνεται η απόδοση της υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο και η ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων. (Σ. Γαβριήλ, 2015)



Εικόνα 1.1 Ι.Ν. του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά της Κύπρου (Σ. Γαβριήλ, 2015)

«Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ωρολογίου του Ανδρόνικου Κυρρήστου (Αέρηδες)»

Η εργασία αυτή περιλαμβάνει τη διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του Ωρολογίου του Ανδρόνικου Κυρρήστου ή Πύργου των Ανέμων (*Αέρηδες*), το οποίο βρίσκεται στη Ρωμαϊκή Αγορά στην Αθήνα και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό και ιδιαίτερο μνημείο. Ο σκοπός της διπλωματικής αυτής ήταν η καταγραφή της θέσης, του μεγέθους και της μορφής του μνημείου στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, στο χώρο των τριών διαστάσεων.

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η λήψη εικόνων όλου του μνημείου με ψηφιακή μηχανή, με στόχο τη γεωμετρική τεκμηρίωσή του κυρίως μέσω αποκλειστικά της επεξεργασίας των εικόνων. Ιδρύθηκε τριγωνομετρικό δίκτυο (τοπικό σύστημα αναφοράς) γύρω από το μνημείο, για τη γεωαναφορά των εικόνων και τον ορισμό των επιπέδων τομής.

Στη συνέχεια, λήφθηκαν εικόνες όλου του μνημείου με διαφορετικούς τρόπους και συνθήκες λήψεων. Με τη βοήθεια ενός λογισμικού που χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο Structure from motion, δημιουργήθηκαν τα νέφη σημείων του αντικειμένου, ώστε στη συνέχεια να δημιουργηθεί η επιφάνειά τους και να ολοκληρωθεί η παραγωγή των ορθοφωτογραφιών. (Μ. Τρύφωνα, 2015)



Εικόνα 1.2 Ωρολόγιο του Ανδρόνικου Κυρρήστου (Μ. Τρύφωνα, 2015)

«Η Συμβολή των Φωτογραμμετρικών Αυτοματισμών στην Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων»

Στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν η γεωμετρική τεκμηρίωση του Ιερού Ναού της Καπνικαρέας για λόγους μελέτης της στατικότητας του Ναού κάτω από τις δονήσεις του συρμού της γραμμής μετρό που συνδέει το Σύνταγμα με το Μοναστηράκι.

Στην διπλωματική αυτή επετεύχθη η χρήση λογισμικού, τότε τελευταίας τεχνολογίας (*Photoscan*), το οποίο χρησιμοποιεί αλγορίθμους όρασης υπολογιστών (*Stracture From Motion - SFM*) για τις συνήθεις φωτογραμμετρικές διαδικασίες.

Όμως το πρόγραμμα αυτό είναι εντελώς αυτόματο, περιορίζοντας αρκετά τον χρήστη και επιτρέποντάς του μόνο τη ρύθμιση κάποιων επιμέρους παραμέτρων, χωρίς να έχει ο ίδιος άμεσο έλεγχο στις φωτογραμμετρικές διαδικασίες.

Γι' αυτό ο στόχος της διπλωματικής αυτής είχε διττή φύση: αφ' ενός να εκτιμηθεί αυτόνομα η συμβολή των αυτοματοποιημένων μεθόδων (αυτοματισμών) στη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων και αφ' ετέρου να ερευνηθεί αν οι αυτοματισμοί είναι συμβατοί με τις μέχρι τότε κλασσικές μεθόδους φωτογραμμετρίας και αν ναι, το πώς συνδυάζονται. (Α. Καληνυκτάκης, 2015)



Εικόνα 1.3 Ιερός Ναός της Καπνικαρέας (Α. Καληνυκτάκης, 2015)

1.2 Εκτός Ελλάδος

«Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση σε διαδραστική σχέση με την ολοκληρωμένη μελέτη προστασίας του Ιερού κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα»

Το Ιερό Κουβούκλιο του Ναού της Αναστάσεως, αποτελεί ιδιαίτερο ιστορικό και θρησκευτικό μνημείο που αντανακλά μεγάλο κομμάτι της ιστορίας του ανθρώπινου πολιτισμού και ως τέτοιο οφείλει να προστατευθεί και να διατηρηθεί. Προκειμένου να αποκατασταθούν οι σοβαρές παραμορφώσεις που παρουσιάζονται και εντάθηκαν το τελευταίο χρονικό διάστημα, απαιτήθηκε η καταγραφή της πραγματικής υπάρχουσας μορφής του, καθώς επίσης και να συλλεχθεί οποιαδήποτε πληροφορία το αφορά. Παράλληλα τακμηριώθηκε γεωμετρικά κάθε φάση της πορείας της αποκατάστασής του από την Διεπιστημονική Ομάδα του Ε.Μ.Π.

Η αποτύπωση καταγράφει λεπτομερώς την υπάρχουσα κατάσταση, παρέχοντας στοιχεία για το ακριβές σχήμα του μνημείου. Τα στοιχεία που προκύπτουν από την γεωμετρική τεκμηρίωση, χρησιμοποιούνται ώστε να εξαχθούν κάποια προϊόντα που είναι απαραίτητα για την διερεύνηση της μορφολογίας, τής παθολογίας και τελικά την ορθή σύνταξη των μελετών των εργασιών αποκατάστασης.

Αυτά τα προϊόντα είναι συνήθως δισδιάστατα σχέδια όπως κατόψεις, όψεις, τομές, οψοτομές, αναπτύγματα καθώς και τρισδιάστατα μοντέλα που μπορούν να παραγάγουν προοπτικές και φωτορεαλιστικές απεικονίσεις. Η τεκμηρίωση-αποτύπωση είναι μια συνεχής διαδικασία που λαμβάνει χώρα πριν, κατά την διάρκεια και μετά το πέρας των επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης. (Δ. Γιαννακόπουλος, 2017)



Εικόνα 1.4 Δημιουργία κλειστής πολυγωνικής όδευσης με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Δ. Γιαννακόπουλος, 2017)



Εικόνα 1.5 Απεικόνιση 3d μοντέλου από laser scanner (Δ. Γιαννακόπουλος, 2017)



Εικόνα 1.6 Πρόσοψη Ιερού Κουβουκλίου, όπως προέκυψε μετά από επεζεργασία 3d μοντέλου νέφους σημείων σε συνδυασμό με φωτογραμμετρική μέθοδο επεζεργασίας (Δ. Γιαννακόπουλος, 2017)

«Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του κάστρου Kozel στην Τσεχία»

Πιο συγκεκριμένα δημιουργήθηκε τρισδιάστατο μοντέλο του κάστρου *Kozel* στην Τσεχία για τις ανάγκες οργάνωσης εθνικής βάσης δεδομένων μνημείων. Η εργασία εστιάζει στον σχεδιασμό και την οργάνωση ενός μοντέλου οντοτήτων (*data model*) με γεωγραφική πληροφορία συμβατό με τα χαρακτηριστικά υφιστάμενης γεωβάσης δεδομένων μνημείων (ως *GIS*), το οποίο περιλαμβάνει περιγραφική πληροφορία (πίνακα), χωρική πληροφορία (χάρτης) και τρισδιάστατη απεικόνιση του κάστρου η οποία έχει παραχθεί με φωτογραμμετρία ή *laser scanner*. (*BobekK., JedlickaK. 2011*)

«Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του κάστρου Chatel-sur-Moselle στη Γαλλία»

Πιο συγκεκριμένα έγινε τρισδιάστατη τεκμηρίωση και φωτορεαλιστική αναπαράσταση του κάστρου *Chatel-sur-Moselle* στη Γαλλία για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Για την αποτύπωση των εξωτερικών τειχών και του περιβάλλοντα χώρου έγιναν σαρώσεις με LiDAR, ενώ για τον εσωτερικό χώρο χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός γεωδαιτικών, φωτογραμμετρικών τεχνικών και σαρώσεις με επίγειο σαρωτή λέιζερ.

Προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι διαφορετικές ανάγκες των αρχαιολόγων και των επισκεπτών του κάστρου, παρήχθησαν τρεις εναλλακτικοί τύποι 3D μοντέλων. Η σύνθεση του νέφους σημείων μέσω εικόνων πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα *PhotoModeler-Scanner* και το νέφος ενώθηκε με αυτό από τον επίγειο σαρωτή για να καλυφτεί με ακρίβεια και πληρότητα το αντικείμενο. (*E.Alby*, 2012)



Εικόνα 1.7 Το κάστρο Chatel-sur-moselle στη Γαλλία (http://chatel-medieval.fr/)

«Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του κάστρου της γέφυρας Cadi στη Ισπανία»

Έγινε γεωμετρική τεκμηρίωση και 3D αναπαράσταση της γέφυρας *Cadi*, τμήματος των τειχών της Γρανάδα, στην Ισπανία. Σκοπός του έργου ήταν η 3D αναπαράσταση της γέφυρας στη μορφή που είχε κατά τον 11ο αιώνα. Για την αναπαράσταση χρειάστηκε αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και ανάλυση της γεωμετρίας της δομής της όπως διατηρείται σήμερα. Το απρόσιτο της θέσης οδήγησε στην επιλογή της αποτύπωσης με *SfM* φωτογραμμετρία.

Χρησιμοποιήθηκε το Agisoft Photoscan και το Autodesk 123D Catch για την επεξεργασία των εικόνων και δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές στο mesh. Με επεξεργασία του στο Raindrop Geomagic Studio βελτιώθηκε η ποιότητα και η ταχύτητα των εργασιών επεξεργασίας. (Rodriguez-Navarro P., Verdiani G. 2013)



Εικόνα 1.8 Ψηφιακή αναπαράσταση της γέφυρας Cadi, Γρανάδα (Rodriguez-Navarro P., Verdiani G. 2013)

«Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του κάστρου Coatfrec στην Γαλλία»

Δημιουργήθηκε 3D μοντέλο του κάστρου *Coatfrec* στην Γαλλία για να περιοριστεί η περαιτέρω υποβάθμιση του μνημείου και για να διευκολυνθεί η ιστορική αναδόμηση. Χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα σάρωσης με επίγειο σαρωτή λέιζερ και μιας προ 10ετίας γεωδαιτικής αποτύπωσης που παρείχε πληροφορία σε περιοχές με αποκρύψεις λόγω της βλάστησης. Η μελέτη επικεντρώνεται στην τεχνικές επιλογές της αναδόμησης και όχι στην παραγωγή του 3D μοντέλου. (*Barreau, 2014*)



Εικόνα 1.9 Το κάστρο Coatfrec στην Γαλλία. (www.wikiwand.com)

«Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του οχυρού (fortification) Kristiansten στην Νορβηγία»

Πραγματοποιήθηκε 3D τεκμηρίωση και φωτορεαλιστική αναπαράσταση του οχυρού (fortification) Kristiansten στην Νορβηγία για τουριστικούς σκοπούς. Στην περίπτωση των οχυρού Kristiansten στο Trodheim (Νορβηγία) χρησιμοποιήθηκαν σαρωτές λέιζερ, γεωδαιτικές και φωτογραμμετρικές μέθοδοι.

Τα κτήρια του οχυρού ανασυντέθηκαν από εικόνες και νέφη σημείων χρησιμοποιώντας το AutoCAD. Το TIN μοντέλο της ευρύτερης περιοχής του οχυρού και τα τείχη επεξεργάστηκαν στο Geomagic. Για την οπτικοποίηση του οχυρού χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Cinema 4D, ενώ το τελικό 3D μοντέλο μεταφέρθηκε στην παιχνιδομηχανή Unity για τις ανάγκες διαδραστικής επαφής με το αντικείμενο (KerstenT. L., 2015)



Εικόνα 1.10 Οχυρό Kristiansten στο Trondheim (marinas.com)

«Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου κάστρου-παλατιού Bretxi, Βαλένθια στην Ισπανία»

Έγινε 3D εκτύπωση μοντέλου του κάστρου-παλατιού **Bretxi**, Βαλένθια, Ισπανία Στα πλαίσια διερεύνησης των δυνατοτήτων των νέων 3D τεχνικών, πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις με **laser scanner** και φωτογραφήσεις με βαθμονομημένη κάμερα. Η απόδοση χρώματος στα σημεία του νέφους έγινε χρησιμοποιώντας τις εικόνες. Το επεξεργασμένο 3D μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για 3D εκτύπωση. (Garfella Rybio J. 2015)



Εικόνα 1.11 3D εκτύπωση του κάστρου Britxi, Βαλένθια Ισπανία (Garfella Rybio J. 2015)

Κεφάλαιο 2

Ο ΝΑΟΣ ΤΩΝ ΑΓΙΩΝ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΝΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΗ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΡΟΔΟΥ

2.1 Ιστορικά Στοιχεία

Το μνημείο που έπρεπε να αποτυπωθεί ήταν ο ναός των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης που βρίσκεται στην Μεσαιωνική πόλη της Ρόδου. Αυτή η εκκλησία πιθανώς χτίστηκε τον 14ο αιώνα και ίσως από τις πρώτες ημέρες του οικισμού της Ρόδου.

Η τρίκλιτη εκκλησία των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης κατά τη διάρκεια της τουρκοκρατίας λειτούργησε ως τζαμί, το Καδί Μετζίντ, λόγω της γειτνίασής του με την κατοικία του καδή. Η μελέτη των αρχιτεκτονικών λεπτομερειών επισημαίνει ότι το μνημείο έχει αρκετές φάσεις. Κατά την τουρκοκρατία, καταργήθηκε η κόγχη του ιερού στο κεντρικό κλίτος και το κτίριο φράχθηκε περίπου στην ευθεία των ανατολικών ορίων των πλαγίων κλιτών, ενώ προστέθηκαν ένα μιχράμπ εσωτερικά στη νοτιοανατολική γωνία και ένα άλλο στην ανατολική αυλή.

Ο ναός αυτός βρίσκεται στην οδό Μενεκλέους και είναι γνωστός στη βιβλιογραφία με την τουρκική ονομασία Καδί Μετζίντ, επειδή μετατράπηκε σε τζαμί, όπως και οι υπόλοιποι ναοί της μεσαιωνικής πόλης, μετά την τουρκική κατάληψη του νησιού το 1522. Είναι τρίκλιτη καμαροσκέπαστη βασιλική, που τα κλίτη της χωρίζονται με δύο χαμηλωμένα ημικυκλικά τόξα (το μεσαίο κλίτος είναι μακρύτερο και ελάχιστα ευρύτερο από τα πλάγια), στεγάζονται δε με ισοϋψείς κυλινδρικές καμάρες, ελαφρά οξυκόρυφες (Ε. Παπαβασιλείου, 1991).

Είναι κτισμένη με λαξευτούς, ακανόνιστους πωρόλιθους και κονίαμα ως συνδετικό υλικό. Στην τοιχοποιία χρησιμοποιήθηκαν σποραδικά μαρμάρινα spolia και πωρόλιθοι με ίχνη τοιχογραφιών, όπως στο βόρειο τοίχο του κεντρικού κλιτούς που διακρίνεται φυτικό κόσμημα. Στους αρμούς του ανατολικού τοίχου του βόρειου κλίτους και του νότιου τοίχου του νότιου κλίτους χρησιμοποιήθηκαν κεραμίδες.

Η σημερινή κύρια είσοδος βρίσκεται στα δυτικά του νότιου κλίτους. Εκτός από αυτή, στο νότιο κλίτος υπάρχει ακόμη μία με τοξωτό υπέρθυρο που κλείστηκε με κτίσιμο μεταγενέστερα. Επίσης, πόρτα υπάρχει στο νότιο τοίχο του κεντρικού κλίτους και στο βόρειο του βόρειου κλίτους, όπου παρατηρείται ότι εκεί προϋπήρχε ένα άλλο τοξωτό παράθυρο και μία μεγάλη τοξωτή πόρτα που κτίστηκαν σε κάποια απροσδιόριστη οικοδομική φάση. Στον ανατολικό τοίχο του νότιου κλίτους υπήρχε τοξωτή αβαθής κόγχη, που κόπηκε σχεδόν στη μέση με την κατασκευή μεταγενέστερου τοξωτού παραθύρου, ενώ στο τύμπανο της αψίδας σώζεται δίλοβο παράθυρο κλεισμένο πρόχειρα με πέτρες.

Παρόμοιο τοξωτό παράθυρο ανοίχτηκε στον ανατολικό τοίχο του κεντρικού κλίτους, ενώ φεγγίτης υπάρχει στον ανατολικό τοίχο του βόρειου κλίτους. Οι αλλαγές που υπέστη στην περίοδο της Τουρκοκρατίας συνίστανται: α) στην κατάργηση των αψίδων με την κατασκευή ευθύγραμμου τοίχου, β) στο διαχωρισμό των κλιτών με τα τόξα, γ) στην προσθήκη κόγχης προσευχής (μιχράμπ) στη νοτιοανατολική γωνία του ναού, που την αφαίρεσαν, αφήνοντας μόνο την ημικυκλική της βάση, πίσω από την οποία υπήρχαν τοιχογραφίες. Συγκεκριμένα: στον ανατολικό και νότιο τοίχο του νότιου κλίτους διατηρούνται σε αρκετά καλή κατάσταση τρεις ολόσωμες μορφές (αδιάγνωστος άγιος, ο άγιος Παύλος ο Θηβαίος και η αγία Ελένη) που χρονολογούνται στο 14° ή στις αρχές του 15^{ου} αι. δ) Τέλος, το εσωτερικό του ναού καλύφθηκε με βοτσαλωτό δάπεδο.

Η ανασκαφική έρευνα άρχισε στον εξωτερικό χώρο προς Ανατολάς που ήταν διαμορφωμένος ως αυλή περιτριγυρισμένη με μαντρότοιχο. Μετά την απομάκρυνση των επιφανειακών μπάζων αποκαλύφθηκε μια δεύτερη κόγχη προσευχής και βοτσαλωτό δάπεδο, επιμελημένο και διακοσμημένο με κυπαρίσσι από μαύρο λεπτό βότσαλο. Στο νότιο τοίχο του περιβόλου αποκαλύφθηκε πόρτα, από την οποία διακρινόταν το τοξωτό υπέρθυρο. Αυτή η πόρτα σε κάποια οικοδομική φάση που μπαζώθηκε όλος ο εξωτερικός χώρος και καλύφθηκε με βότσαλα, κτίσθηκε και αχρηστεύτηκε. Ανοίχτηκε ξανά, αφού πρώτα στερεώθηκε κατάλληλα. Όταν αφαιρέθηκε το βοτσαλωτό δάπεδο σε όλη του την έκταση, ο χώρος χωρίστηκε σε τέσσερις μικρότερους, προς διευκόλυνση της ανασκαφής (Ε. Παπαβασιλείον, 1991).

Χώρος 1

Ο χώρος αυτός είναι φανερό ότι χρησιμοποιήθηκε στα χρόνια της Ιπποτοκρατίας για ταφές, χωρίς ξεχωριστούς τάφους. Αυτό το γεγονός διαπιστώθηκε από την έρευνα με την αποκάλυψη αλλεπάλληλων σκελετών, από τους οποίους άλλοι ακέραιοι και άλλοι όχι, όλοι προσανατολισμένοι προς Ανατολάς. Σε όλο το βάθος της επίχωσης παρατηρήθηκαν διασκορπισμένα οστά. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρεται η ταφή ενός μικρού παιδιού στα πόδια πιθανότατα της μητέρας του. Στο τελευταίο στρώμα ταφής ως τάφοι χρησιμοποιήθηκαν οι πέτρες, πολύ μεγάλων διαστάσεων, ενός παλαιότερου, αδιάγνωστου προς το παρόν τοίχου, που τις είχαν λαξεύσει σε σχήμα λάρνακας. Κάθε λαξευτός τάφος περιείχε ένα μόνο σκελετό, εκτός από έναν που στη μία γωνία βρέθηκαν συγκεντρωμένα αρκετά κρανία.

Χρονολογικά εντάσσονται αυτοί οι ενταφιασμοί στην περίοδο της Ιπποτοκρατίας, με βάση τα χάλκινα νομίσματα, καθώς και τα εφυαλωμένα
όστρακα με γραπτή και εγχάρακτη διακόσμηση που βρέθηκαν στην επίχωση. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός της εύρεσης ιπποτικού νομίσματος ανάμεσα στα δόντια ενός νεκρού. Τα υπόλοιπα ευρήματα είναι πλήθος γυάλινών θραυσμάτων από καντήλες ή αγγεία, κομμάτια από χάλκινες καντηλήθρες, καρφιά από τις νεκρικές ξυλοκατασκευές, τμήματα από χάλκινες αλυσίδες, χάλκινοι κρίκοι από περιδέραια ή από διακοσμητικά πάνω σε ενδύματα, χάλκινα κουμπιά, καρφίτσες, ελάχιστες περόνες, πόρπες, δαχτυλήθρες και άλλα αποσπασματικά αντικείμενα, άγνωστης χρήσης.



Εικόνα 2.1 Ρόδος. Ναός Αγίου Κωνσταντίνου και Ελένης. Κάτοψη του ναού με τις ταφές (φάση Α) (Ε. Παπαβασιλείου, 1991)

Εκτός από τα προαναφερόμενα ευρήματα της επίχωσης αυτού του χώρου, αξιόλογο είναι ένα κεφάλι από πωρόλιθο που μιμείται αρχαϊκή κόρη με βοστρυχωτά μαλλιά και ρόδακες στο μέτωπο (*Εικόνα 2.2*). Χρησίμευε ως διακοσμητικό σε παράθυρο.



Εικόνα 2.2 Πώρινο κεφάλι από παράθυρο ιπποτικού κτίσματος (Ε. Παπαβασιλείου, 1991)

Επίσης, βρέθηκε πωρόπετρα με απόσπασμα τοιχογραφίας που παριστάνει το πρόσωπο της Παναγίας (*Εικόνα 1.3*).



Εικόνα 2.3 Σπάραγμα τοιχογραφίας (Ε. Παπαβασιλείου, 1991)

Τεχνοτροπικά έχει έντονη δυτική επίδραση. Επίσης, από τα μπάζα συγκεντρώθηκαν αρκετά κονιάματα και μαρμάρινα θραύσματα από αρχιτεκτονικά μέλη.



Εικόνα 2.4 Ρόδος. Ναός Αγίου Κωνσταντίνου και Ελένης. Κάτοψη του ναού (φάση Β') (Ε. Παπαβασιλείου, 1991)

Χώρος 2

Κάτω από μικρού πάχους επίχωση φάνηκαν τμήματα της ημιεξαγωνικής εξωτερικά διαμορφωμένης αψίδας του μεσαίου κλίτους με ίχνη τοιχογραφιών που ανήκουν στην «ποδιά», πράγμα που βοηθάει να υπολογιστεί περίπου το επίπεδο του δαπέδου. Η κατασκευή μεταγενέστερου πηγαδιού στο χώρο αυτό, κατέστρεψε μέρος της αψίδας. Στη βάση του ποδαρικού του τόξου του νότιου κλίτους, εξωτερικά, χρησιμοποιήθηκε για στήριξη βάση μαρμάρινη από κίονα και μαρμάρινο κιονόκρανο με έλικες και δράκοντες, υστερορωμαϊκής περιόδου. Σε αυτό το σημείο επίσης αποκαλύφθηκε κομμένο τόξο με κατεύθυνση από Ανατολάς προς Δυσμάς, σκάλα με πέντε σκαλοπάτια, στον δε ανατολικό τοίχο του περιβόλου κτισμένη χαμηλή και στενή πόρτα. Ταφές στο χώρο αυτό δεν διαπιστώθηκαν (Ε. Παπαβασιλείου, 1991).

Χώρος 3

Και αυτός ο χώρος χρησιμοποιήθηκε για ταφές, αφού ήλθε στο φως πλήθος σκελετών σε αλλεπάλληλα στρώματα, από τους οποίους αρκετοί ανήκαν σε παιδιά. Όσον αφορά στα ευρήματα είναι κοινά με τους προηγούμενους, όπως και η χρονολόγησή τους. Κάτω από το τελευταίο στρώμα ταφής αποκαλύφθηκε σειρά από μεγάλες λαξευτές πωρόπετρες και φρεάτιο με τετράγωνο στόμιο (διαστ. 0,60x0,68 μ.) και με κατεύθυνση Δ.-Α. Ανασκάφηκε σε βάθος 3,70 μ. Περιείχε μαζί με το χώμα, τις πέτρες και όστρακα διαφόρων εποχών (Ιπποτοκρατία, μεσοβυζαντινά μέχρι και υστερορωμαϊκά), πλήθος μαρμαροθετημάτων, ποικίλων σχημάτων (π.χ. ρόμβοι, τετράγωνα, εξάπλευρα κ.ά.), καθώς και θραύσματα από ορθομαρμάρωση (Ε. Παπαβασιλείον, 1991).

Χώρος 4

Κοντά στη βόρεια είσοδο του ναού φάνηκε τμήμα από στρώση με μαρμαρόπετρες και τμήματα από αρχιτεκτονικά μέλη σε δεύτερη χρήση, καθώς και κτιστός, σκεπασμένος αγωγός, μικρού βάθους. Και σε αυτόν το χώρο συνεχίστηκαν τα στρώματα με τις διαδοχικές ταφές και τα ίδια σχεδόν μικροευρήματα, από τα οποία ξεχωρίζουν ελάχιστα θραύσματα λυχναριών, χάλκινος σταυρός-εγκόλπιο, χάντρες, κρίκος από δαχτυλίδι, τμήμα από βραχιόλι. Ο συνολικός αριθμός των σκελετών ανέρχεται σε 39. Κάτω από το τελευταίο στρώμα ταφής, βρέθηκε η συνέχεια της στρώσης με τις μεγάλες λαξευτές πωρόπετρες. Ενώνοντας αυτές τις πέτρες δημιουργείται μια επίπεδη κατασκευή (τοίχος) πλ. 10,50 μ. περίπου. Προς το παρόν, δεν έχει ερμηνευθεί η χρήση του. Όσον αφορά στη συντήρηση του κτίσματος έγινε αρμολόγημα όλης της τοιχοδομίας του ναού τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά (*E. Παπαβασιλείον*, 1991).

Συμπερασματικά, όλη η έκταση του εξωτερικού χώρου χρησίμευε για συνεχείς ταφές στα χρόνια της Ιπποτοκρατίας, είτε ελεύθερες είτε σε πρόχειρα κτισμένους τάφους. Οι ποικίλες οικοδομικές φάσεις δεν είναι ακόμη εφικτό να διευκρινισθούν.



Εικόνα 2.5 Ρόδος. Ναός Αγίου Κωνσταντίνου και Ελένης. Κάτοψη του ναού και Τομές (A. Gabriel, 1923)



Εικόνα 2.6 Ρόδος. Ναός Αγίου Κωνσταντίνου και Ελένης. Λεπτομέρεια της πόρτας (A. Gabriel, 1923)

2.2 Ακρίβεια Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Λόγω του ότι ο παραδοσιακός τρόπος σχεδίασης έχει πλέον αντικατασταθεί με ολοκληρωμένη ψηφιακή διαδικασία, το ζητούμενο σήμερα δεν είναι πια η κλίμακα σχεδίασης αλλά η μέγιστη επιτρεπτή κλίμακα εκτύπωσης των παραγόμενων διαγραμμάτων, αφού κάθε διάγραμμα τεκμηρίωσης μπορεί να εκτυπωθεί σε περισσότερες της μιας κλίμακες. Ως μέγιστη κλίμακα εκτύπωσης ορίζεται η μεγαλύτερη κλίμακα που καλύπτεται από την ακρίβεια που έχει επιτευχθεί σε κάθε αποτύπωση. Η ακρίβεια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης κατασκευών καθορίζει αποφασιστικά την επιλογή του κατάλληλου γεωδαιτικού εξοπλισμού, την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου μέτρησης, το χρόνο εκτέλεσης των εργασιών πεδίου και γραφείου, το κόστος της τεκμηρίωσης καθώς επίσης και τη μέγιστη κλίμακα εκτύπωσης.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει πόση αβεβαιότητα πρέπει να έχουν οι τελικές συντεταγμένες των σημείων αποτύπωσης σε κάθε κλίμακα εκτύπωσης.

Κλίμακα εκτύπωσης	Αβεβαιότητα (σx, σy, σz) σε mm
1:100	25
1:50	13
1:25	6
1:20	5
1:10	3
1:5	1

Πίνακας 2.1 Αβεβαιότητα συντεταγμένων σημείων αποτύπωσης

Η κλίμακα εκτύπωσης που επιλέχθηκε ήταν η 1:50. Ως αποτέλεσμα η μέγιστη αβεβαιότητα των τελικών συντεταγμένων των σημείων της τομής και της όψης θα πρέπει να είναι 12.5mm και αυτό διότι τα 0.25mm πάνω στο χαρτί εκτύπωσης αντιστοιχούν σε 12.5mm στην πραγματικότητα.

Κεφάλαιο 3

ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Αναγνώριση – Φωτογραφική Τεκμηρίωση

Η πρώτη και σημαντική φάση η οποία έγινε ήταν η αναγνώριση του αντικειμένου και του περιβάλλοντος χώρου. Η εργασία αυτή ήταν ουσιαστική γιατί έγινε καταγραφή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της κατασκευής, όπως οι διαστάσεις και η μορφολογία της. Πραγματοποιήθηκε επιτόπου στο πεδίο εξερευνώντας προσεκτικά την περιοχή που βρισκόταν η κατασκευή, εντοπίζοντας τις ιδιομορφίες που παρουσίαζε.

Αυτό αποβλέπει στην εξοικείωση με το περιβάλλον αλλά και στην εξακρίβωση των δυσκολιών, της μορφής και της πολυπλοκότητας της κατασκευής. Προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη αντίληψη του χώρου, ο εντοπισμός και η ανάδειξη λεπτομερειών καθώς επίσης και ο συσχετισμός των επιμέρους χώρων της κατασκευής ήταν απαραίτητη η φωτογραφική τεκμηρίωση και του εξωτερικού αλλά και του εσωτερικού χώρου του Ναού.

Μερικές φωτογραφίες του εξωτερικού χώρου του κτίσματος που βοήθησαν ιδιαίτερα στην σχεδίαση της οριζόντιας τομής ήταν οι εξής:



Εικόνα 3.1 Κύρια είσοδος Ναού σήμερα



Εικόνα 3.2 Νότια όψη Ναού και περιβόλου

Ιδιαίτερα σημαντικές ήταν και οι φωτογραφίες του εσωτερικού χώρου του Ναού:



Εικόνα 3.3 Εσωτερικός χώρος Ναού Ι



Εικόνα 3.4 Εσωτερικός χώρος Ναού ΙΙ



Εικόνα 3.5 Εσωτερικός χώρος Ναού ΙΙ



Εικόνα 3.6 Εσωτερικός χώρος Ναού ΙΙΙ

Σύμφωνα με τις παραπάνω φωτογραφίες παρατηρείται το γεγονός ότι υπήρχαν πολλές πρακτικές δυσκολίες που αντιμετωπίσθηκαν κατά την διάρκεια των εργασιών. Πιο συγκεκριμένα η μορφολογία του εδάφους τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό του Ναού ήταν ιδιαίτερα έντονη με αποτέλεσμα η διαδικασία της αποτύπωσης να ήθελε μεγάλη προσοχή. Το ανάγλυφο ήταν ιδιαίτερα πολύπλοκο, με μεγάλες πέτρες να επικαλύπτονται και να δυσκολεύουν την αποτύπωση τόσο γεωδαιτικά όσο και φωτογραμμετρικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είχε γίνει ανασκαφή από την Εφορεία Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου στην Ρόδο, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν μεγάλες τομές (με βάθος ακόμα και στα 3 - 4 m).

Ο χώρος του Ναού ήταν ιδιαίτερα μικρός με αποτέλεσμα η τοποθέτηση των στάσεων να γίνει έχοντας μικρές βάσεις στην υλοποίηση του δικτύου. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει μεγάλο σφάλμα ως προς την μέτρηση των διευθύνσεων και γι' αυτό μετρήθηκαν με μεγάλη προσοχή. Επίσης θα έπρεπε να δοθεί προσοχή στην τοποθέτηση των στάσεων χωρίς να καταστραφεί ο Ναός και ταυτόχρονα η μετακίνηση του προσωπικού να γίνεται ώστε να μην κουνηθεί ο Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός. Επιπλέον λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας του Ναού, τα σημεία λεπτομέρειας ήταν πάρα πολλά και η αποτύπωση διευκολύνθηκε με την χρήση του Reflectorless.

Ιδιαίτερη δυσκολία υπήρξε και κατά την φωτογραμμετρική αποτύπωση. Λόγω της μορφολογίας του εδάφους έπρεπε να παρθούν πολλές φωτογραφίες κάνοντας χρήση της μεθόδου structure from motion. Το ίδιο θέμα υπήρξε και με την αποτύπωση του Ναού με επίγειο σαρωτή, όπου θα έπρεπε να τοποθετηθεί σε πολλά σημεία προκειμένου να καλυφθούν τρύπες να υπάρξει μεγάλο πλήθος κοινών σημείων μεταξύ των νεφών και μικρό πλήθος θορύβου.

Τέλος θα ήταν σημαντικό να αναφερθεί πως ο χώρος που βρισκόταν ο Ναός ήταν ιδιαίτερα τουριστικός με αποτέλεσμα η μεγάλη τουριστική κίνηση να δυσκολεύει την αποτύπωση του, όσο αφορά στον εξωτερικό χώρο.

3.2 Αυτοσχέδιο Πεδίου

Πρωταρχικό και καθοριστικό ρόλο στην πραγματοποίηση της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μιας κατασκευής, όπως και στις αποτυπώσεις τμημάτων της ΦΓΕ, κατέχει η σύνταξη των αυτοσχεδίων πεδίου (σκαριφήματα). Είναι αυτά που καθοδηγούν ουσιαστικά την διαδικασία της αποτύπωσης γι' αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην σύνταξή τους.

Τα αυτοσχέδια πεδίου συντάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να απεικονίζεται σε αυτά οποιαδήποτε λεπτομέρεια θα εμφανίζεται στην συνέχεια στα διαγράμματα της κάτοψης ή των τομών-όψεων. Σε κάθε ένα από αυτά περιέχεται όλη η πληροφορία του τμήματος της κατασκευής που απεικονίζεται. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στην ευκρίνεια και στην αναγνωσιμότητά τους, αφού τα προς αποτύπωση σημεία που αναγράφονται σε αυτά είναι πολλά, αλλά και να διασφαλίζεται η συνέχειά τους.

Η πληρότητα και η ευκρίνεια των αυτοσχέδιων πεδίου είναι καθοριστικός παράγοντας για την πληρέστερη γεωμετρική τεκμηρίωση των κατασκευών αλλά και την διευκόλυνση και επιτάχυνση της ψηφιακής σχεδίασης.



Σχήμα 3.1 Αυτοσχέδιο πεδίου Πολυγωνομετρικών Στάσεων







Σχήμα 3.3 Αυτοσχέδιο πεδίου Οριζόντιας Τομής ΙΙ – Κατακόρυφης Τομής



Σχήμα 3.4 Αυτοσχέδιο πεδίου Οριζόντιας Τομής ΙΙΙ



Σχήμα 3.5 Αυτοσχέδιο πεδίου Εγκάρσιας Τομής

3.3 Εξοπλισμός

Χρησιμοποιήθηκε τοπογραφικός και φωτογραμμετρικός εξοπλισμός συλλογής δεδομένων καθώς και λογισμικά επεξεργασίας αυτών. Πιο αναλυτικά:

Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός

Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός που επιλέχθηκε ήταν το TCR 405 της Leica με ακρίβεια 2mm±2ppm στις μετρήσεις μηκών με χρήση ανακλαστήρα και ακρίβεια 3mm±5ppm με την χρήση του Laser χωρίς ανακλαστήρα (reflectorless). Όσον αφορά στην ακρίβεια στην μέτρηση της διεύθυνσης, αυτή είναι 5΄΄ δηλαδή 15cc.



Εικόνα 3.7 Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός TCR 405

<u>Ψηφιακή φωτογραφική μηχανή</u>

Η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή που επιλέχθηκε ήταν η Canon EOS-1Ds Mark III με τα εξής χαρακτηριστικά: Full Frame 36X24mm, Μέγεθος εικονοψηφίδας 6,4μm και φακούς 16-35 mm, 50 mm, και 24 mm.



```
Εικόνα 3.8 Ψηφιακή φωτογραφική μηχανή DSLR Canon EOS-1Ds Mark III
(https://www.google.com/search?client=firefox-
b&biw=1366&bih=654&tbm=isch&sa=1&ei=Si2EW8jGE6PHrgTw-
LTwCQ&q=Canon+EOS-1Ds+Mark+III&oq=Canon+EOS-
1Ds+Mark+III&gs_l=img.3...0.0.040484.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.1c..64.img..0.0.0...
.0.MQcFtvz7ok0#imgrc=_)
```

<u>Studio flash kit Bowens</u> (BW3005 DUO & BW3015 DUO)

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν το Studio flash kit της Bowens για τη λήψη φωτογραφιών εντός του ναού με τεχνητό φωτισμό.



Еіко́va 3.9 Studio flash kit Bowens (BW3005 DUO & BW3015 DUO) (https://www.google.com/search?client=firefox-bab&biw=1366&bih=654&tbm=isch&sa=1&ei=qi6EW9_IKauJrwS63aKwDg&q=St udio+flash+kit+Bowens&oq=Studio+flash+kit+Bowens&gs_l=img.3...10175.10175. 0.10541.1.1.0.0.0.144.144.0j1.1.0...0...1c.1.64.img.0.0.0....0.ib6yEdwMBN0)

Επίγειος Σαρωτής FARO LASER SCANNER FOCUS3D X 330

Επίσης χρησιμοποιήθηκε επίγειος σαρωτής *Laser*, που χρησιμοποιήθηκε για τις σαρώσεις, με τις παρακάτω τεχνικές προδιαγραφές (πίνακας 3.1):



Εικόνα 3.10 Επίγειος Σαρωτής Ι (Faro laser scanner focus3d x 330 User Manual, 2016)

Dowor supply voltage:	19V (external supply)	
rower suppry voltage.	14.4V (internal battery)	
Power consumption:	40W and 80W (while battery charges)	
Battery life:	4.5 hours	
Ambient temperature:	5° - 40°C	
Humidity:	Non-condensing	
Cable connector:	Located in scanner mount	
Weight:	5.2kg	
Size:	240 x 200 x 100mm	
Maintenance / calibration:	Annual	
Unambiguity interval:	330m	
	0.6m - 330m indoor or outdoor with	
Range Focus3D X 330:	upright incidence to a 90% reflective	
	surface	
Measurement speed (pts/sec):	122,000 / 244,000 / 488,000 / 976,000	
Ranging error:	±2mm	
Resolution:	Up to 170 megapixel color	
Dynamic color feature:	Automatic adaption of brightness	
Parallax:	Co-axial design	
Field of view	200°/ 260°	
(vertical/horizontal):	300 / 300	
Step size	0.009° (40,960 3D-Pixel on 360°) /0.009°	
(vertical/horizontal):	(40,960 3D-Pixel on 360°)	
Max. vertical scan speed:	5,820rpm or 97Hz	

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά επίγειου σαρωτή (Faro laser scanner focus3d x 330 User Manual, 2016)

3.4 Ιδρυση Γεωδαιτικού Δικτύου – Κλειστής Όδευσης

Το δίκτυο που ιδρύθηκε δεν είναι ενταγμένο σε κάποιο σύστημα αναφοράς αλλά σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα διότι δεν υπήρχε ανάγκη συσχετισμού της κατασκευής με άλλα έργα ή με τον περιβάλλοντα χώρο. Επιπλέον προτιμάται η προβολή να είναι σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς, για να αποφευχθούν οι παραμορφώσεις του σχήματος ή του μεγέθους που προκαλούν οι προβολές ενός κρατικού συστήματος αναφοράς.

Η επιλογή της θέσης και του αριθμού των κορυφών του εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα της κατασκευής, την πολυπλοκότητά της, την προσβασιμότητα, τις συνθήκες ορατότητας αλλά και από τον σχεδιασμό της αποτύπωσης που θα ακολουθήσει. Το δίκτυο ιδρύθηκε στο εσωτερικό του Ναού και πιο συγκεκριμένα αποτελείται από τέσσερις κορυφές (Σ_{31} , Σ_{32} , Σ_{33} , Σ_{34}).



Σχήμα 3.6 Ιδρυση γεωδαιτικού δικτύου

Εκτός από τις τέσσερις αυτές κορυφές υλοποιήθηκαν και άλλες τέσσερις στάσεις (Σ_{17} , Σ_{18} , Σ_{21} , Σ_{22}) προκειμένου να αποτυπωθεί το κτίσμα όσο πιο αποτελεσματικά γινόταν εξωτερικά. Στο παρακάτω σχέδιο φαίνεται το χαρακτηριστικό σχήμα της κλειστής όδευσης που ιδρύθηκε.



Σχήμα 3.7 Ιδρυση κλειστής όδευσης Ι

Στην συνέχεια υλοποιήθηκαν και άλλες έξι στάσεις (Σ_{11} , Σ_{12} , Σ_{13} , Σ_{14} , Σ_{15} , Σ_{16}) προκειμένου να αποτυπωθεί η περιοχή γύρω από τον Ναό και να δημιουργηθεί ένα γενικό τοπογραφικό. Στο παρακάτω σχέδιο φαίνεται το χαρακτηριστικό σχήμα της κλειστής όδευσης που ιδρύθηκε.



Σχήμα 3.8 Ιδρυση κλειστής όδευσης ΙΙ

Τέλος υλοποιήθηκαν και άλλες 2 τυφλές στάσεις (Σ_{23} , Σ_{24}) προκειμένου να αποτυπωθεί η αυλή και εξωτερικά ο Ναός. Ο υπολογισμός των στάσεων Σ_{23} , Σ_{24} θα μπορούσε να γίνει και με την επίλυση της κλειστής όδευσης Σ_{23} , Σ_{22} , Σ_{21} , Σ_{17} , Σ_{18} , Σ_{31} , Σ_{34} , Σ_{24} . Η κλειστή όδευση επιλύθηκε αλλά παρουσίασε μεγάλο γωνιακό σφάλμα. Σε αυτό οφειλόταν η μετακίνηση της στάσης λόγω υγρασίας.



Παράλληλα με την αποτύπωση μετρήθηκαν τα φωτοσταθερά και οι στόχοι των σαρώσεων. Για να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των σημείων των οδεύσεων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αποστάσεων και γωνιών. Ως αφετηρία επιλέχθηκε η στάση Σ_{31} ($x_{31} = 1000m$, $y_{31} = 1000m$, z = 100m). Ο προσανατολισμός ορίστηκε ως εξής: $a\Sigma_{31}\Sigma_{32} = 100^g$. Τέλος για την υψομετρική επίλυση του δικτύου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της τριγωνομετρικής υψομετρίας.

Εφόσον ιδρύθηκαν το δίκτυο και οι οδεύσεις στην συνέχεια έγινε αποτύπωση των σημείων λεπτομέρειας. Είναι γνωστό ότι η γεωμετρική τεκμηρίωση μιας κατασκευής απαιτεί την αποτύπωση μεγάλου πλήθους σημείων λεπτομέρειας. Με αυτόν τον τρόπο ορίζονται τα σημεία που αποδίδουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής και ανάλογα με την απαιτούμενη αβεβαιότητα και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται εφαρμόζεται και η κατάλληλη μέθοδος.

Η μέθοδος η οποία εφαρμόστηκε ήταν η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων διότι ήταν δυνατή η άμεση μέτρηση του μήκους προς το σκοπευόμενο σημείο. Για την μέτρηση του μήκους χρησιμοποιήθηκε ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός που μετρούσε το μήκος χωρίς την χρήση ανακλαστήρα (*reflectorless*).

Για την εφαρμογή της μεθόδου ο απαιτούμενος εξοπλισμός ήταν:

- Ένας ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός (Total Station).
- Ένας τρίποδας.
- Ένας ανακλαστήρας.
- Μια μετροταινία για την μέτρηση του ύψους οργάνου.

Τα μετρούμενα μεγέθη για κάθε σημείο ήταν η κεκλιμένη απόσταση, η οριζόντια γωνία, η ζενίθια γωνία και το ύψος οργάνου. Το ύψος στόχου για κάθε σημείο ήταν μηδέν διότι η σκόπευση γινόταν απευθείας στο σημείο. Επομένως μετρήθηκαν τα σημεία που τέμνονταν από το οριζόντιο επίπεδο καθώς επίσης και οτιδήποτε προβαλλόταν στο οριζόντιο επίπεδο.

Τέλος ο υπολογισμός των συντεταγμένων των σημείων λεπτομέρειας και του υψομέτρου έγινε εφαρμόζοντας το πρώτο θεμελιώδες θεώρημα και την σχέση της τριγωνομετρικής υψομετρίας αντίστοιχα.

3.5 Φωτογραμμετρική Αποτύπωση

Τα φωτογραμμετρικά δεδομένα που ελήφθησαν ήταν ψηφιακές εικόνες εντός και εκτός του ναού, με σκοπό την απόδοση υφής στο

τρισδιάστατο μοντέλο. Για τον προσανατολισμό των εικόνων απαιτούνται σημεία με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες.

Εσωτερικά και εξωτερικά του ναού τοποθετήθηκαν προσημασμένα φωτοσταθερά όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (*Εικόνα 3.11*). Αυτοί είναι ειδικοί κωδικοποιημένοι στόχοι του προγράμματος *photoscan*, έχοντας την δυνατότητα να τους αναγνωρίζει και να τους εντοπίζει αυτόματα. Κάθε στόχος διαφέρει από τον άλλο, καθώς έχει διαφορετικό σχήμα για κωδικοποίηση.



Εικόνα 3.11 Φωτοσταθερό

Οι εικόνες ελήφθησαν για την εφαρμογή της μεθόδου structure from *motion* (Δομή-από-Κίνηση). Η μέθοδος αυτή λειτουργεί υπό τις ίδιες βασικές αρχές με τη στερεοσκοπική φωτογραμμετρία, δηλαδή ότι η 3D δομή μπορεί να επιλυθεί από μια σειρά επικαλυπτόμενων εικόνων που έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις.



Σχήμα 3.10 Structure-from-Motion (SfM) (M. Westoby et all, 2012)

Η τεχνική *SfM* απαιτεί πολλαπλές επικαλυπτόμενες φωτογραφίες για την εξαγωγή 3D αλγόριθμων ανακατασκευής. Διαφέρει θεμελιωδώς από τη συμβατική φωτογραμμετρία, καθώς η γεωμετρία της σκηνής, οι θέσεις της κάμερας και ο προσανατολισμός επιλύονται αυτόματα χωρίς να χρειάζεται να προσδιοριστεί ένα δίκτυο στόχων που έχουν γνωστές θέσεις. Αντίθετα, αυτά επιλύονται ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας μια, επαναληπτική διαδικασία προσαρμογής δέσμης, βασισμένη σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών που εξάγονται αυτόματα από ένα σύνολο πολλαπλών επικαλυπτόμενων εικόνων (*Snavely, 2008*).

Όπως περιγράφεται παρακάτω, η προσέγγιση είναι πιο κατάλληλη για σύνολα εικόνων με υψηλό βαθμό αλληλοεπικάλυψης που καταγράφουν την πλήρη τρισδιάστατη δομή της σκηνής που φαίνεται από μια ευρεία σειρά θέσεων ή, όπως υποδηλώνει το όνομα, εικόνες που προέρχονται από κινούμενο αισθητήρα. (*M. Westoby et all, 2012*)



Σχήμα 3.11 Από τη φωτογραφία στο νέφος σημείων: Η ροή εργασίας SFM (M. Westoby et all, 2012)

Όσο αφορά στην εδαφοψηφίδα ισχύει το εξής. Η εδαφοψηφίδα είναι η χωρική ενότητα της πραγματικότητας στην οποία αντιστοιχεί ένα εικονοστοιχείο της φωτογραφικής μηχανής. Πιο αναλυτικά κάθε ψηφίδα της φωτοευαίσθητης επιφάνειας της φωτομηχανής καταγράφει και αποτυπώνει μια συγκεκριμένη επιφάνεια στο χώρο. Το μέγεθος της επιφάνειας αυτής εξαρτάται από τρείς παραμέτρους: το μέγεθος του εικονοστοιχείου, τη σταθερά της μηχανής και την απόσταση του αντικειμένου από το κέντρο λήψης της εικόνας.

Φυσικά το αντικείμενο ποτέ δεν είναι επίπεδο και παράλληλο στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια της μηχανής, έχει ακανόνιστο ανάγλυφο που σημαίνει ότι η απόστασή του από το κέντρο λήψης κάθε φορά μεταβάλλεται.

Έτσι υπολογίζεται μια εκτίμηση της μέσης εδαφοψηφίδας θεωρώντας ως απόσταση του αντικειμένου τη μέση απόσταση από το κέντρο λήψης, δηλαδή χρησιμοποιείται η μέση κλίμακα. Στη περίπτωσή αυτή όμως επειδή οι απαιτήσεις της ακρίβειας είναι αρκετά υψηλές θα θεωρηθεί η δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή όταν η απόσταση από το κέντρο λήψης είναι μέγιστη και άρα η κλίμακα φωτογράφισης είναι η ελάχιστη.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφοροι φακοί που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη φωτογράφιση, η μέγιστη απόσταση φωτογράφισης, η ελάχιστη κλίμακα και τέλος η εδαφοψηφίδα. Να σημειωθεί ότι η εικονοψηφίδα της φωτογραφικής μηχανής *Canon EOS Mark III* είναι 6.4 μm σύμφωνα με το κατασκευαστή.

Φακός	Μέγιστη Απόσταση	Ελάχιστη Κλίμακα	Εικονοψηφίδα	Εδαφοψηφίδα
16mm	7m	1:440	6.4µm	2.8mm
17mm	7m	1:410	6.4µm	2.6mm
18mm	7m	1:390	6.4µm	2.5mm
24mm	8m	1:330	6.4µm	2.1mm

Πίνακας	<i>3.2</i>	Μέγεθος	εδαφο	ψηφίδας
---------	------------	---------	-------	---------

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι στη δυσμενέστερη περίπτωση η εδαφοψηφίδα (2.8mm) υπερκαλύπτει το μέγεθος της εδαφοψηφίδας του τελικού προϊόντος (5mm).

3.6 Μετρήσεις Με Επίγειο Σαρωτή

Προκειμένου να αποτυπωθεί το ανάγλυφο του Ναού με ακρίβεια και λεπτομέρεια έγινε χρήση επίγειου σαρωτή. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίστηκε το πυκνό νέφος των σημείων του Ναού προκειμένου να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο. Η σάρωση του αντικειμένου εξ ολοκλήρου δεν ήταν εφικτή, για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε σε περισσότερες από μία διαφορετικές θέσεις του επίγειου σαρωτή. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιήθηκαν 7 σαρώσεις εξωτερικά (πορτοκαλί χρώμα) και 7 εσωτερικά του ναού (μαύρο χρώμα) (Σχήμα 3.12).





Εικόνα 3.12 Επίγειος Σαρωτής ΙΙ Εικόνα 3.13 Φωτογραφία νέφους επίγειου σαρωτή



Σχήμα 3.12 Θέσεις επίγειου σαρωτή

Ο αριθμός των σαρώσεων και η θέση του σαρωτή προέκυψε έτσι ώστε οι διαδοχικές σαρώσεις να έχουν επαρκή επικάλυψη μεταξύ τους και να μην υπάρχουν κενά στο τελικό νέφος σημείων. Η πυκνότητα σάρωσης, η οποία εξαρτάται κυρίως από την πολυπλοκότητα της επιφάνειας του αντικειμένου, ορίστηκε να είναι το 1 cm περίπου σε όλες τις θέσεις του σαρωτή.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην τοποθέτηση των ειδικών στόχων (Εικόνα *3.16.* **3.17**) μεταξύ των σαρώσεων. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η γεωαναφορά και συνένωση των νεφών είναι απαραίτητη η παρουσία τουλάχιστον τριών κοινών στόχων σε κάθε ζεύγος νεφών σημείων. Τα νέφη σημείων που προέκυψαν από τις σαρώσεις βρίσκονται σε σύστημα συντεταγμένων διαφορετικό από το τοπικό αυθαίρετο σύστημα που ιδρύθηκε για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του αντικειμένου. Αναφέρονται δηλαδή στο σύστημα του σαρωτή. Επομένως απαιτείται γεωαναφορά τους ώστε να αναχθούν στο υλοποιημένο τοπικό σύστημα αναφοράς.

Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν γεωδαιτικές μετρήσεις των στόχων του σαρωτή (Εικόνα 3.14, 3.15).



Εικόνα 3.14 Μετρήσεις με Ο.Γ.ΣΙ



Εικόνα 3.15 Μετρήσεις με Ο.Γ.Σ ΙΙ

Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε 5 ημέρες. Η αναγνώριση της περιοχής μελέτης, η ίδρυση και η μέτρηση του πολυγωνομετρικού δικτύου - οδευσεων έγιναν σε 3 ημέρες ενώ η σάρωση του ναού εξωτερικά και εσωτερικά έγινε σε 2 μέρες. Οι υπόλοιπες μετρήσεις που αφορούσαν σε ταχυμετρικά σημεία, φωτοσταθερά, στόχους σαρωτή και σημεία τομών έγιναν παράλληλα με τις σαρώσεις και τις φωτογραφίσεις. Με τον γεωδαιτικό σταθμό πραγματοποιήθηκαν συνολικά 1279 μετρήσεις. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιήθηκαν 72 φωτοσταθερά-σημεία λεπτομέρειας και 14 στόχοι του σαρωτή (μετρήθηκαν σε περισσότερες από μία στάσεις του οργάνου). Ακόμα, ελήφθησαν 971 φωτογραφίες προκειμένου να φωτογραφηθεί εσωτερικά και εξωτερικά ο Ναός.



Εικόνα 3.16 Στόχοι Επίγειου Σαρωτή Ι



Εικόνα 3.17 Στόχοι Επίγειου Σαρωτή ΙΙ

Κατά τη διαδικασία υλοποίησης των τοπογραφικών μετρήσεων προέκυψαν ορισμένα προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα η στάση Σ_{24} εξωτερικά του ναού, η οποία είχε σημανθεί με αυτοκόλλητο στόχο υπέστη φθορά και ιδρύθηκε νέα στάση, η οποία μετρήθηκε εκ νέου ως «τυφλή» στάση. Επίσης παρατηρήθηκε αργότερα ότι έλειπαν κάποιες απλές μετρήσεις με μετροταινία προκειμένου να ολοκληρωθεί το γενικό τοπογραφικό της περιοχής. Να σημειωθεί στο σημείο αυτό πως έγιναν κάποιες επιπλέον μετρήσεις 7 μήνες μετά (Μάιος 2018), που σκοπό είχαν τη βελτίωση και συμπλήρωση των τελικών αποτελεσμάτων.

	Εσωτερικά του Ναού	Εξωτερικά του Ναού
Φωτοσταθερά	38	34
Στόχοι σαρωτή	7	7
Σαρώσεις με επίγειο	7	7
σαρωτή	7	7
Κορυφές		
Πολυγωνομετρικού	4	12
δικτύου - οδεύσεων		
Ψηφιακές Εικόνες	471	500

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά το πλήθος των μετρήσεων και οι στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 3.3 Πλήθος μετρήσεων – Στόχων

Σημεία Λεπτομέρειας	Γενικό Τοπογραφικό	85
	Οριζόντια Τομή (με άνω και κάτω προβολές)	480
		K1⇒ 80 (τομή) / 20 (βόρεια όψη) / 45 (νότια όψη)
	Κατακόρυφη τομή	K2⇒69 (τομή) / 50 (βόρεια όψη) / 56 (νότια όψη)
		K3⇒50 (τομή) / 30 (βόρεια όψη) / 41 (νότια όψη)
	Εγκάρσια τομή	85 (τομή) / 78 (δυτική όψη) / 110 (ανατολική όψη)
	Σύνολο	1279

Πίνακας 3.4 Πλήθος σημείων λεπτομέρειας

Κεφάλαιο 4

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 Γεωδαιτικές Μετρήσεις

Αρχικά επιλύθηκε το δίκτυο που είχε ιδρυθεί στο εσωτερικό του Ναού. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι κορυφές του δικτύου ήταν τέσσερις (Σ_{31} , Σ_{32} , Σ_{33} , Σ_{34}). Για την επίλυση του δικτύου χρησιμοποιήθηκε ως σταθερή κορυφή η Σ_{31} με αυθαίρετες συντεταγμένες $x_{31} = 1000m$, $y_{31} = 1000m$ και $z_{31} = 100m$ και ως γνωστή γωνία διεύθυνσης η $a\Sigma_{31}\Sigma_{32}$ με αυθαίρετη γωνία $a\Sigma_{31}\Sigma_{32} = 100^g$.

Πιο συγκεκριμένα οι μετρήσεις του δικτύου που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι εσωτερικές γωνίες του (β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_5 ,) καθώς και όλες οι αποστάσεις μεταξύ των κορυφών. Εκτός από αυτές μετρήθηκαν και όλες οι κατακόρυφες γωνίες μεταξύ των κορυφών (12 σε αριθμό) καθώς επίσης και το ύψος οργάνου και το ύψος σκόπευσης (Y. Σ =1.30m). Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα και στον αντίστοιχο πίνακα.



Σχήμα 4.1 Μετρήσεις δικτύου οριζοντιογραφικά

	$\Sigma_{34}\Sigma_{31}\Sigma_{33}$	18.1338 ^g
	$\Sigma_{33} \Sigma_{31} \Sigma_{32}$	29.3899 ^g
ΓΩΝΙΑ	$\Sigma_{31} \Sigma_{32} \Sigma_{33}$	67.4982 ^g
	$\Sigma_{33}\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	4.4401 ^g
	Σ32 Σ33 Σ31	103.1449 ^g
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{32}$	8.767 m
Μεςο	$S\Sigma_{31}\Sigma_{33}$	7.650 m
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{34}$	8.309 m
OPIZONIIO	$S\Sigma_{32}\Sigma_{33}$	3.896 m
Μηκος	$S\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	6.232 m
	$S\Sigma_{33}\Sigma_{34}$	2.347 m

Πίνακας 4.1 Μετρήσεις δικτύου οριζοντιογραφικά

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για τα μήκη χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων εφόσον κάθε μήκος μετρήθηκε 2 φορές (allerretour). Αυτό που παρατηρείται είναι ότι οι μετρήσεις του δικτύου είναι n=11. Από την άλλη πλευρά οι άγνωστοι είναι οι συντεταγμένες των κορυφών Σ_{33} (x_{33} , y_{33}) και Σ_{34} (x_{34} , y_{34}) καθώς επίσης και το μήκος $S\Sigma_{31}\Sigma_{32}$. Δηλαδή οι άγνωστοι είναι m=5.

Αντίστοιχα υπολογίστηκαν οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου ως μέσος όρος (aller-retour) και οι μετρήσεις φαίνονται στο παρακάτω σχήμα και στον αντίστοιχο πίνακα.



Σχήμα 4.2 Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου

δz 3132	-0.225 m
δz 3133	-1.794 m
δz 3134	-0.366 m
δz 3233	-1.566 m
δζ3334	1.423 m
δζ3234	-0.140 m

Πίνακας 4.2 Μ.Ο Υψομετρικών διαφορών μεταξύ των κορυφών του δικτύου

Αυτό που παρατηρείται είναι ότι *οι μετρήσεις* είναι n=6. Από την άλλη πλευρά *οι άγνωστοι* είναι τα υψόμετρα των κορυφών Σ_{32} (z₃₂), Σ_{33} (z₃₃) και Σ_{34} (z₃₄). Δηλαδή οι άγνωστοι είναι m=3.

Εφαρμόζοντας λοιπόν **M.E.T** σύμφωνα με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις λύθηκε το δίκτυο οριζοντιογραφικά και υψομετρικά. Έτσι υπολογίστηκαν οι καλύτερες τιμές των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου και τα τυπικά τους σφάλματα καθώς επίσης και τα υψόμετρα τους. Η επίλυση του δικτύου επιλύθηκε ξεχωριστά (*οριζοντιογραφικά και* υψομετρικά). Θα μπορούσε να λυθεί και ενιαία αλλά λόγω της έλλειψης σχετικού λογισμικού και χρόνου επιλέχτηκε να λυθεί ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα σε αυτήν την περίπτωση θα ήταν λίγο διαφορετικά λόγω της χρήσης παραπάνω παρατηρήσεων, χωρίς να διαφέρουν όμως σε σημαντικό βαθμό. Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώνονται όλα τα αποτελέσματα.

Κορυφή	x(m)	y(m)	z(m)	σ _x (mm)	σ _y (mm)	σ _z (mm)
Σ_{31}	1000	1000	100	-	-	-
Σ_{32}	1008.761	1000	99.774	± 3	± 3	± 1
Σ_{33}	1006.852	1003.408	98.208	± 4	± 3	± 1
Σ_{34}	1006.100	1005.640	99.633	± 4	± 3	± 1

Πίνακας 4.3 Συντεταγμένες κορυφών τριγωνομετρικού δικτύου και τυπικά σφάλματα

Τα a posteriori τυπικά σφάλματα της προσαρμογής για την επίλυση του δικτύου οριζοντιογραφικά και υψομετρικά είναι αντίστοιχα:

$\sigma_o = \pm 1.70 \Rightarrow O$ ριζοντιογραφικά

$\sigma_o = \pm 0.002 \ m \Rightarrow Υψομετρικά$

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι η ακρίβεια με την οποία έχουν προσδιοριστεί οι συντεταγμένες του δικτύου είναι εκείνη που απαιτείται, εφόσον είναι μικρότερη από **12.5mm**.

Εφόσον υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες του δικτύου στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των υπολοίπων στάσεων (Σ_{11} , Σ_{12} , Σ_{13} , Σ_{14} , Σ_{15} , Σ_{16} , Σ_{17} , Σ_{18} , Σ_{21} , Σ_{22} ,) επιλύοντάς τες ως κλειστές οδεύσεις.

Πιο συγκεκριμένα οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα της όδευσης $\Sigma_{31,}\Sigma_{18,}\Sigma_{17}, \Sigma_{21}, \Sigma_{22}, \Sigma_{33}$ είναι τα εξής:



Σχήμα 4.3 Κλειστή όδευση Ι

Γωνιακό κλείσιμο **→** 195^{cc}

Οριζοντιογραφικό κλείσιμο **→** 18mm

Υψομετρικό κλείσιμο **→** 1mm

Κορυφή	x (m)	y(m)	z(m)
Σ_{17}	1011.364	995.101	99.275
Σ_{18}	1001.849	992.375	100.387
Σ_{21}	1012.322	1000.858	99.112
Σ_{22}	1012.201	1005.019	98.964

Πίνακας 4.4 Συντεταγμένες κορυφών κλειστής όδευσης Ι

Στην συνέχεια οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα της όδευσης $\Sigma_{11}, \Sigma_{12}\Sigma_{13}, \Sigma_{14}, \Sigma_{15}, \Sigma_{16}, \Sigma_{17}\Sigma_{18}$ είναι τα εξής:



Σχήμα 4.4 Κλειστή όδευση ΙΙ

Γωνιακό κλείσιμο **→** 120^{cc}

Οριζοντιογραφικό κλείσιμο **→ 16mm**

Υψομετρικό κλείσιμο **→ 1mm**

Κορυφή	x(m)	y(m)	z(m)
Σ_{11}	996.320	990.749	100.846
Σ_{12}	992.970	1010.536	101.541
Σ_{13}	1001.954	1012.903	101.087
Σ_{14}	1005.356	1011.245	100.897
Σ_{15}	1012.137	1012.619	100.215
Σ_{16}	1016.380	996.873	98.722

Πίνακας 4.5 Συντεταγμένες κορυφών κλειστής όδευσης ΙΙ

Τέλος σύμφωνα με το πρώτο θεμελιώδες θεώρημα υπολογίστηκαν οι τελικές συντεταγμένες των τυφλών στάσεων :

Στάση	x(m)	y(m)	z(m)
Σ_{23}	1010.307	1009.154	99.357
Σ_{24}	1004.603	1009.009	99.255

T /		,	2 1	,
Πίνακας 4	4.6	τεταγμένες	τυφλών	στασεων

Παρατηρείται ότι η επίλυση των οδεύσεων έκλεισε με μικρά γωνιακά και γραμμικά σφάλματα. Πιο συγκεκριμένα εάν μοιραστεί το γραμμικό σφάλμα σε κάθε βάση παρατηρείται ότι είναι στα 2 με 3mm. Αντίστοιχα για το γωνιακό σφάλμα ισχύει ότι για την μέγιστη απόσταση το αντίστοιχο γραμμικό σφάλμα είναι στα 0.5mm. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το υψομετρικό κλείσιμο είναι πάρα πολύ μικρό (1mm). Αυτό όμως δεν αποδίδει την αβεβαιότητα που έχουν οι κορυφές υψομετρικά. Παρατηρήθηκε ότι οι υψομετρικές διάφορες μεταξύ aller – retour διέφεραν στα 3mm με 4mm. Επομένως το 1mm είναι τυχαίο σφάλμα και η πραγματική αβεβαιότητα κυμαίνεται στα 3mm με 4mm. Και αυτό διότι ο υπολογισμός των υψομέτρων έγινε με την μέθοδο της τριγωνομετρικής υψομετρίας. Η αναλυτική επίλυση του δικτύου και των κλειστών οδεύσεων βρίσκονται στο Παράρτημα V.

Εφόσον επιλύθηκε το δίκτυο και υπολογίστηκαν όλα τα ταχυμετρικά σημεία στην συνέχεια έγινε σχεδίαση της οριζόντιας τομής στο περιβάλλον του *AutoCAD*.

Η οριζόντια τομή είναι ένα διάγραμμα που απεικονίζει την μορφή μιας κατασκευής στα σημεία που τέμνεται από ένα οριζόντιο επίπεδο, όπως αυτό ορίζεται σε μια συγκεκριμένη στάθμη (ύψος).

Οι οριζόντιες τομές για την γεωμετρική τεκμηρίωση μιας κατασκευής γίνονται σε διάφορα ύψη από την επιφάνεια του εδάφους, είτε του δαπέδου της κατασκευής, είτε του σημείου που έχει οριστεί ως υψομετρική αφετηρία για το σύνολο της εργασίας. Η θέση του επιπέδου κάθε οριζόντιας τομής καθορίζεται από την μορφή της κατασκευής και συνήθως ορίζεται έτσι ώστε:

- Να τέμνονται τα χαρακτηριστικά δομικά στοιχεία όπως είναι τα ανοίγματα της κατασκευής.
- Να γίνεται σε συγκεκριμένο ύψος.

Η θέση του επιπέδου μιας οριζόντιας τομής μπορεί να υλοποιηθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- Εμπειρικά με οπτική επαφή.
- Με υλοποίηση του επιπέδου της οριζόντιας τομής (τοποθετώντας ειδικές σημάνσεις).

- Με την τοποθέτηση του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού σε συγκεκριμένο ύψος ίσο με αυτό του επιπέδου της οριζόντιας τομής.
- Με την χρήση χωροβατών ορατού Laser.

Συγκεκριμένα για την εργασία αυτή ορίστηκε ως οριζόντιο επίπεδο τομής το επίπεδο που βρίσκεται σε ύψος περίπου **1,5m** από το δάπεδο του Ναού όπου τοποθετήθηκε η στάση **Σ**31, με σκοπό να τέμνονται τα χαρακτηριστικά δομικά του στοιχεία όπως είναι τα ανοίγματα της κατασκευής (πόρτες, παράθυρα). Επομένως η υλοποίηση του επιπέδου της οριζόντιας τομής έγινε εμπειρικά με οπτική επαφή (ανθρώπινο μάτι) και με στοιχειώδεις βοηθητικές μετρήσεις κατά την διάρκεια της αποτύπωσης.

Για την σχεδίαση της οριζόντιας τομής μετρήθηκαν 480 σημεία, γεγονός που αποδεικνύει την πολυπλοκότητα του Ναού. Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ιδιαίτερα δύσκολη ήταν η αποτύπωση του δαπέδου του Ναού (κάτω προβολή της οριζόντιας τομής) διότι είχαν προηγηθεί ανασκαφές από την αρχαιολογία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανεύρεση τάφων με βάθος στα 3 και 4.40 μέτρα περίπου, γεγονός που δυσκόλευε στην προσβασιμότητα των σημείων λεπτομέρειας. Γι' αυτόν τον λόγο ήταν απαραίτητη και η σάρωση του Ναού με επίγειο σαρωτή καθώς και η φωτογραμμετρική αποτύπωσή του, προκειμένου να γίνει πλήρης γεωμετρική τεκμηρίωση.

Εφόσον υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες όλων των σημείων υλοποίησης, το επόμενο βήμα ήταν το ραπορτάρισμα των σημείων στο σχεδιαστικό πρόγραμμα του *AutoCAD* και η σχεδίαση της οριζόντιας τομής της κατασκευής που μετρήθηκε. Εκτός από τα σημεία υλοποίησης τοποθετήθηκαν και οι κορυφές του δικτύου καθώς επίσης και οι τυφλές στάσεις με τα αντίστοιχα υψόμετρα τους.

Στην συνέχεια μετά την σχεδίαση της οριζόντιας τομής της κατασκευής και των προβαλλόμενων άνω και κάτω στην οριζόντια τομή τοποθετήθηκε ο κάνναβος, ο βορράς, το υπόμνημα και ο τίτλος του διαγράμματος. Στο Παράρτημα ΙΙΙ παρατίθενται τόσο το Τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής όσο και το διάγραμμα της Οριζόντιας Τομής.

4.2 Συνένωση & Γεωαναφορά Νεφών Σημείων

Έγινε επεξεργασία των νεφών μέσω του προγράμματος FARO SCENE προκειμένου να αξιοποιηθούν τα νέφη που συλλέχθηκαν από τον επίγειο σαρωτή. Αρχικά δημιουργήθηκε ένα **project** και στην συνέχεια εισήχθησαν όλα τα νέφη από τον σαρωτή. Στην συνέχεια έγινε καθαρισμός των νεφών από θορύβους (μέσω του προγράμματος) επιλέγοντας να αποδοθεί χρώμα, και να ανιχνευτούν οι στόχοι. Ως θόρυβος ορίζεται το σύνολο των ανεπιθύμητων πληροφοριών, οι οποίες συνοδεύουν το σήμα και υποβαθμίζουν την ορθότητα και ακρίβεια των μετρήσεων. Ο θόρυβος αποτελεί μια ιδιότητα του οργάνου και της διαδικασίας μέτρησης και έχει καθορισμένη προέλευση και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Επίσης, ως θόρυβος ορίζεται και οποιαδήποτε πληροφορία έχει καταγραφεί και δεν αφορά στο αντικείμενο μελέτης π.χ. βλάστηση, τεχνητοί στόχοι, επικαλυπτόμενα τμήματα σαρώσεων, κινούμενα αντικείμενα κ.ά.

Αφού έγινε ο καθαρισμός των νεφών, στην συνέχεια ακολούθησε η ένωσή τους. Η συνένωση των νεφών εξωτερικά και εσωτερικά πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά στο λογισμικό. Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι σύμφωνα και με τις δυνατότητες του λογισμικού, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι συνένωσης των νεφών. Οι μέθοδοι αυτές είναι:

• Συνένωση βασιζόμενη σε κοινούς στόχους

• Συνένωση βασιζόμενη στο επικαλυπτόμενο τμήμα σαρώσεων

Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο γίνεται χρήση προσημασμένων ή μη στόχων που τοποθετήθηκαν πριν τη σάρωση για να προσανατολιστούν τα νέφη. Απαιτούνται τουλάχιστον τρεις κοινοί στόχοι στα διαδοχικά νέφη σημείων προκειμένου να καθοριστούν οι παράμετροι του μετασχηματισμού τους, δηλαδή τρεις μεταθέσεις παράλληλες και τρεις στροφές γύρω από τους άξονες του συστήματος, και να πραγματοποιηθεί η συνένωση.

Στη δεύτερη μέθοδο θα πρέπει τα δύο νέφη σημείων να έχουν επαρκή επικάλυψη μεταξύ τους (τουλάχιστον 30%). Εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος, που ονομάζεται ICP (Iterative Closest Point), για να συνενωθούν τα δυο νέφη. Ο αλγόριθμος αυτός απαιτεί από τον χρήστη να επιλέξει χειροκίνητα τουλάχιστον τρία αντίστοιχα σημεία στα δύο νέφη σημείων. Δεδομένου ότι αυτά τα 3 σημεία δεν θα είναι ποτέ ακριβώς τα ίδια, ο αλγόριθμος ICP ελέγχει επαναληπτικά τις αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων του νέφους και εκτιμά τον μετασχηματισμό για να προσανατολίσει τα διαδοχικά νέφη, ώστε το αποτέλεσμα να έχει το ελάχιστο σφάλμα. Στις προηγούμενες δύο μεθόδους το σύστημα που αναφέρονται τα συνενωμένα πλέον νέφη σημείων είναι αυθαίρετο και απαιτούνται τρεις τουλάχιστον μετρημένοι στόχοι για να γίνει η γεωαναφορά του ενιαίου νέφους.

Στην προκειμένη περίπτωση εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων. Οι στόχοι που απαιτούνταν για την συνένωση μετρήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν και για τη γεωαναφορά των νεφών σημείων. Κατά την συνένωση, όλα τα νέφη σημείων μετασχηματίζονται σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το υλοποιημένο σύστημα αναφοράς των μετρημένων στόχων. Έπειτα εφαρμόζεται μια αυτοματοποιημένη διαδικασία με βάση τον αλγόριθμο ICP, που εισάγει επιπλέον δεσμεύσεις μεταξύ των επικαλυπτόμενων σαρώσεων (Σ. Γαβριήλ, 2015). Τα αποτελέσματα της γεωαναφοράς ήταν τα εξής:

Εσωτερικά του Ναού			
Max distance error	±8.6 mm		
Mean distance error	±7.3 mm		
Max horizontal error	±8.5 mm		
Mean horizontal error	±7.3 mm		
Max vertical error	±1.2 mm		
Mean vertical error	±0.5 mm		

Πίνακας 4.7 Σφάλματα γεωαναφοράς νεφών εσωτερικά του Ναού

Εζωτερικά του Ναού				
Outside I				
Max distance error	±9.8 mm			
Mean distance error	±6.7 mm			
Max horizontal error	±9.5 mm			
Mean horizontal error	±6.3 mm			
Max vertical error	±2.5 mm			
Mean vertical error	±1.6 mm			
Outside II				
Max distance error	±14.2 mm			
Mean distance error	±9.4 mm			
Max horizontal error	±14.2 mm			
Mean horizontal error	$\pm 8.9 mm$			
Max vertical error	$\pm 3.7 mm$			
Mean vertical error	±2.1 mm			

Πίνακας 4.8 Σφάλματα γεωαναφοράς νεφών εζωτερικά του Ναού

Παρατηρείται ότι το μέσο σφάλμα για την γεωαναφορά των νεφών είναι μικρότερο από την απαιτούμενη ακρίβεια των ±12.5mm.

4.3 Επεξεργασία Νέφους Σημείων

Μετά τη συνένωση των νεφών ακολουθεί η διαδικασία αφαίρεσης τυχόν θορύβου που μπορεί να μην έχει αφαιρεθεί.

Αρχικά, πραγματοποιείται χειροκίνητη αφαίρεση της ανεπιθύμητης πληροφορίας πέρα από το αντικείμενο αποτύπωσης. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μείωση θορύβου λόγω σφαλμάτων του οργάνου.

Κατά τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι του λογισμικού επεξεργασίας *Geomagic Studio 2013*.

Το πρώτο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το *Outliers*. Με αυτό το εργαλείο επιλέχθηκαν χονδροειδή σφάλματα και σημεία του νέφους που «πετούσαν» και στην συνέχεια διαγράφηκαν (*Εικόνα 4.1*).



Εικόνα 4.1 Εντοπισμός χονδροειδών σφαλμάτων του νέφους (Κόκκινο Χρώμα)

Στην συνέχεια εφαρμόστηκε το εργαλείο **Reduce Noise**, μείωσης θορύβου που προσφέρει αρκετές δυνατότητες χωρίς να χάνονται οι λεπτομέρειες του αντικειμένου. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί αλγόριθμοι μείωσης θορύβου, όπου ο καθένας χρησιμοποιείται για διαφορετικού τύπου αντικείμενο. Στην προκειμένη περίπτωση που ο Ναός δεν προσομοιάζει κάποια μαθηματική επιφάνεια εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος *free-form shapes*. Ο αλγόριθμος αυτός μειώνει τον θόρυβο ανάλογα με την καμπυλότητα της επιφάνειας. Με τη συγκεκριμένη επιλογή θα μειωθεί το ελάχιστο ποσό του θορύβου στο μοντέλο (*Leonardo*, 2018).


Εικόνα 4.2 Μείωση θορύβου του νέφους

Για τον έλεγχο του ποσοστού μείωσης του θορύβου, το λογισμικό προσφέρει τρεις παραμέτρους, το *smoothness level* (καθορίζει το βαθμό μείωσης του θορύβου), τον αριθμό των επαναλήψεων του αλγορίθμου και το *deviation limit*.

Οι παραπάνω παράμετροι ορίστηκαν με το σκεπτικό να μην υπάρξει απώλεια στην λεπτομέρεια σάρωσης, τα αποτελέσματα να είναι αποδεκτά και το τελικό οπτικό αποτέλεσμα να είναι ικανοποιητικό. Μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου ελέγχεται η τιμή της κρίσιμης γωνίας, η τιμή της οποίας είναι ένας δείκτης της ποιότητας της επιφάνειας που θα δημιουργηθεί στη συνέχεια. Τιμή μεγαλύτερη του 10 δείχνει ότι απαιτείται περαιτέρω μείωση θορύβου (Γαβριήλ, 2015).

Ως τελευταίο βήμα επεξεργασίας των σημείων, πριν τη δημιουργία της επιφάνειας, αποτελεί η διαδικασία μείωσης του πλήθους των σημείων (*uniform*). Το στάδιο αυτό είναι απαραίτητο, καθώς με αυτόν τον τρόπο μειώνεται το μέγεθος του αρχείου και ο χρόνος υπολογισμών σε επόμενα στάδια. Με τη συγκεκριμένη εντολή μειώνεται με ομοιόμορφο τρόπο ο αριθμός των σημείων στις επίπεδες επιφάνειες, ενώ δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στα καμπύλα τμήματα.



Εικόνα 4.3 Μείωση αριθμού του νέφους

Χρησιμοποιείται η πρώτη εντολή (absolute distance) για ακριβέστερα αποτελέσματα, στην οποία καθορίζεται η απόσταση των σημείων στις επίπεδες επιφάνειες. Η τιμή στην εντολή αυτή θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να υπάρχει μια ικανοποιητική μείωση των σημείων χωρίς να χάνεται η απαραίτητη πληροφορία του ανάγλυφου. Έπειτα επιλέγεται η προτεραιότητα που θα δοθεί στα καμπύλα τμήματα (curvature priority). Στην κλίμακα που εμφανίζεται, η μέγιστη τιμή υποδηλώνει ότι η απόσταση των σημείων στις καμπύλες επιφάνειες θα είναι περίπου υποδεκαπλάσια από την απόσταση που ορίστηκε στις επίπεδες (Leonardo, 2018).

4.4 Δημιουργία Επιφάνειας

Εφόσον συνενώθηκε και διορθώθηκε το νέφος, το επόμενο στάδιο ήταν η δημιουργία επιφάνειας. Και αυτή η διαδικασία έγινε με την βοήθεια του λογισμικού *Geomagic* και πιο συγκεκριμένα με την εντολή *point wrap*. Η επιφάνεια που προκύπτει έχει κίτρινο χρώμα εξωτερικά και μπλε εσωτερικά. Αυτό είναι μια αυθαίρετη επιλογή του λογισμικού. Εάν επιθυμεί ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τα χρώματα και μέσω της εντολής *Flip Normals* μπορούν να αντιστραφούν τα χρώματα (*Εικόνα 4.4*).



Εικόνα 4.4 Δημιουργία Επιφάνειας

Στη συνέχεια ακολούθησε η εξέταση της επιφάνειας για τυχόν λάθη και η βελτίωσή της. Υπήρχαν αρκετά ανεστραμμένα τρίγωνα, δηλαδή είχαν αντίθετη κλίση από αυτή της επιφάνειας που περιγράφουν. Τα συγκεκριμένα τρίγωνα είτε διαγράφονται, είτε διατηρούνται εφόσον προηγουμένως αντιστραφεί η κλίση τους. Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν τρίγωνα με σωστή κλίση που παρόλα αυτά δεν περιγράφουν σωστά την επιφάνεια. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στα σημεία από τα οποία δημιουργήθηκε η επιφάνεια αποτελεί θόρυβο που δεν απομακρύνθηκε.

Τα λανθασμένα τρίγωνα πρέπει να διαγραφούν και η επιφάνεια να συμπληρωθεί με καινούρια πληροφορία ώστε να περιγράφει καλύτερα το αποδιδόμενο αντικείμενο. Επιπλέον, σε αρκετές περιοχές παρατηρήθηκε έλλειψη πληροφορίας, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιοχές αυτές δεν σαρώθηκαν επαρκώς. Στην περίπτωση που η έλλειψη πληροφορίας ήταν μικρή, πραγματοποιήθηκε διαγραφή των λανθασμένων τριγώνων και συμπλήρωση της πληροφορίας με τη βοήθεια των εργαλείων του λογισμικού (*fill holes*), τα οποία βασίζονται στην πληροφορία των γειτονικών τριγώνων για την αυτόματη συμπλήρωση.



Εικόνα 4.5 Έλλειψη πληροφορίας στην επιφάνεια του μοντέλου

Κατά την εφαρμογή των εργαλείων δόθηκε προσοχή στην καμπυλότητα της νέας επιφάνειας (επίπεδη, μεσαία ή μεγάλη καμπυλότητα), ώστε να ταιριάζει στην υπάρχουσα.

Στις περιπτώσεις όπου η έλλειψη πληροφορίας είχε μεγαλύτερη έκταση και δεν μπορούσε να συμπληρωθεί με τη βοήθεια της εντολής *fill holes*, δημιουργήθηκε επιφάνεια από τις προσανατολισμένες εικόνες μέσω του προγράμματος *Photoscan* (*Euκόνα* 4.6). Για επιπλέον έλεγχο χρησιμοποιήθηκε η εντολή *Deviation* όπου ελέγχθηκαν οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ της επιφάνειας του *photoscan* και εκείνης που προέκυψε από την σάρωση.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τρύπες που δεν μπορούσαν να καλυφθούν από το νέφος του επίγειου σαρωτή ή των προσανατολισμένων εικόνων έμειναν ανοιχτές λόγω έλλειψης πληροφορίας.



Εικόνα 4.6 Κλείσιμο τρυπών μέσω της επιφάνειας που δημιουργήθηκε από τις προσανατολισμένες εικόνες

4.5 Προσανατολισμοί Εικόνων

Ο προσανατολισμός των εικόνων πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα του **Photoscan**. Για κάθε σύνολο εικόνων που επιθυμείται ο προσανατολισμός τους, δημιουργείται ένα μοντέλο με τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού τους. Έπειτα, σκοπεύονται τα σημεία με γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες σε κάθε εικόνα (φωτοσταθερά ή σημεία λεπτομέρειας).

4.5.1 Εσωτερικός Προσανατολισμός

Ο εσωτερικός προσανατολισμός αφορά στη γεωμετρία της φωτογραφικής μηχανής κατά τη στιγμή της λήψης και εκφράζεται συνήθως με 5 παραμέτρους:

• Σταθερά της φωτογραφικής μηχανής (c)

• Συντεταγμένες πρωτεύοντος σημείου (x_o, y_o)

• Ακτινική διαστροφή (r_x,r_y)

Οι 5 αυτές παράμετροι μπορούν να υπολογιστούν είτε με βαθμονόμηση της μηχανής σε ειδικά διαμορφωμένο εργαστήριο, είτε στο πεδίο κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης και εφόσον υπάρχει ικανός αριθμός φωτοσταθερών που θα προσφέρει περίσσιο βαθμό ελευθερίας στη διαδικασία της συνόρθωσης. Η δεύτερη διαδικασία, η οποία καλείται και αυτοβαθμονόμηση, είναι και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε.

Πιο συγκεκριμένα για την φωτογραμμετρική αποτύπωση του μνημείου χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικοί φακοί, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της φωτογράφισης. Ωστόσο η επεξεργασία των φωτογραφικών δεδομένων χωρίστηκε σε 3 επιμέρους κομμάτια για πιο γρήγορη και ευέλικτη διαδικασία επεξεργασίας. Αυτά είναι το εσωτερικό του ναού, η αυλή και η οροφή του ναού και τέλος η νότια όψη του ναού. Η αυτοβαθμονόμηση έγινε στο περιβάλλον του Photoscan. Στο πρόγραμμα αυτό ο εσωτερικός προσανατολισμός επιλέχτηκε να εκφραστεί με 13 παραμέτρους.

Αναλυτικά προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα για τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού σε κάθε μέρος του ναού με τον αντίστοιχο φακό:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		ΕΣΩΤΕΡΙΚΌ ΤΟΥ ΝΑΟΥ			АҮЛН - ОРОФН		ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ
Φακός		16mm	17mm	18mm	16mm	24mm	24mm
$f_{(pixel)}$	Εστιακή απόσταση	2568.85	2706.95	2803.28	2563.52	3845.44	3852.10
C _{x (pixel)}	Τετμημένη πρωτεύοντος σημείου	-16.12	-24.06	-20.62	-24.35	26.68	46.21
C y (pixel)	Τεταγμένη πρωτεύοντος σημείου	6.96	5.09	7.08	13.92	2.84	3.12
k_1	Παιοίατος	-0.106851	-0.0941954	-0.0764023	-0.108495	-0.0814663	-0.0807189
k_2	Παραμετροι ακτινικής	0.0912171	0.0668647	0.0379224	0.098818	0.1008	0.0996786
k 3		-0.0435498	-0.0171122	0	-0.0521409	-0.0333845	-0.0313786
k4	σιαστροφής	0.00894157	0	0	0.0118685	0	0
<i>b</i> 1	Affinity and Skew (non-	0.381007	0.71986	0.167286	-0.267043	0.542957	-2.98537
b 2	transformation coefficients	0.00217067	0.0872561	0.508806	-0.0273167	-0.551318	-0.351672
p 1	Παράμοτροι	-0.000288771	-0.000536001	-0.000770267	-0.000646558	-2.31810e-05	0.000227998
p 2	Παραμετροι εφαπτομενικής διαστροφής	-0.000137511	-0.000256724	-0.000118874	-0.000171422	0.000232537	0.000257895
p 3		0	0	0	0	0	0
<i>p</i> 4		0	0	0	0	0	0

Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα εσωτερικού προσανατολισμού φωτογραφικής μηχανής

Να σημειωθεί ότι για τις εστιακές αποστάσεις 15mm, 16mm και 17mm χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος φακός. Η διαφορά όμως αυτή οφείλεται στην κατά λάθος διαφοροποίηση του zoom της φωτογραφικής μηχανής. Ωστόσο η διαφορά αυτή αντιμετωπίζεται σαν να χρησιμοποιείται διαφορετικός φακός.

των παραμέτρων Επίσης έγινε έλεγχος του εσωτερικού ομάδες προσανατολισμού για τις διαφορετικές επεξεργασίας που δημιουργήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται ότι οι εικονοσυντεταγμένες του πρωτεύοντας σημείου σε μερικές περιπτώσεις διαφέρουν κάτω των 5 pixel ενώ σε άλλες η διαφορά τα υπερβαίνει. Σε αυτήν την περίπτωση η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στο διαφορετικό πλήθος των εικόνων που χρησιμοποιεί το λογισμικό του photoscsan για να προσδιορίσει τις παραμέτρους του εσωτερικού προσανατολισμού.

4.5.2 Εζωτερικός Προσανατολισμός

0 εζωτερικός προσανατολισμός επιτυγγάνεται δύο uε φωτογραμμετρικές διαδικασίες: τον σχετικό και τον απόλυτο προσανατολισμό. Σχετικός προσανατολισμός ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία επικαλυπτόμενες εικόνες σχετίζονται μεταξύ τους σε κάποιον αυθαίρετο χώρο, έτσι ώστε η σχέση τους αυτή να είναι η ίδια που υπήρχε και κατά την στιγμή της λήψης. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ο σχηματισμός ενός τρισδιάστατου μοντέλου της πραγματικότητας σε ένα αυθαίρετο χώρο και σε αυθαίρετη κλίμακα.

Οι σχετικά προσανατολισμένες εικόνες (Εικόνα 4.7) έχουν μια αυθαίρετη σχέση με το επίγειο σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο αναφέρονται τα σημεία του εδάφους. Η διαδικασία αποκατάστασης της πραγματικής σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στο στερεομοντέλο και στο έδαφος ονομάζεται απόλυτος προσανατολισμός.

Η συνόρθωση ενός μπλοκ εικόνων αποτελεί ένα σύνολο σχετικών και απόλυτων προσανατολισμών όλων των μοντέλων ή των εικόνων, ώστε να προκύψουν οι εξωτερικοί προσανατολισμοί όλων των εικόνων και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες όλων των άγνωστων σημείων. Στη συνόρθωση του μπλοκ με τη μέθοδο των δεσμών, όπου το μοναδιαίο στοιχείο θεωρείται η δέσμη των ακτίνων, χρησιμοποιούνται απευθείας οι σχέσεις μεταξύ των εικονοσυντεταγμένων και των συντεταγμένων του αντικειμένου, δηλαδή η συνθήκη συγγραμμικότητας.



Εικόνα 4.7 Σχετικός Προσανατολισμός Εικόνων

Οι εικόνες προσανατολίστηκαν με τα αντίστοιχα σφάλματα να μην ξεπερνούν το *1 pixel*.

Ως εξισώσεις παρατήρησης χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις της συνθήκης συγγραμμικότητας. Τα αρχικά δεδομένα είναι οι εικονοσυντεταγμένες των σημείων σύνδεσης και των φωτοσταθερών, αλλά και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των τελευταίων. Οι δέσμες μετατοπίζονται (τρεις μετατοπίσεις: **X0**, **Y0**, **Z0**) και στρέφονται (τρεις στροφές: ω , φ , κ) ώστε οι ομόλογες ακτίνες να τέμνονται όσο το δυνατόν καλύτερα στα σημεία σύνδεσης και να ταυτίζονται στα φωτοσταθερά. Οι άγνωστοι είναι τα έξι στοιχεία του εξωτερικού προσανατολισμού της κάθε εικόνας και οι τρεις γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης.

Chunk	Στόχοι	Μέγιστη διαφορά	Total Error
Outside	8	7 mm	4.8 mm
Courtyard	18	12 mm	7.3 mm
Inside	36	11 mm	5.8 mm

Τα αποτελέσματα του απόλυτου προσανατολισμού είναι τα εξής :

Πίνακας 4.10 Αποτελέσματα Απόλυτου Προσανατολισμού

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η ακρίβεια με την οποία έγινε ο απόλυτος προσανατολισμός είναι μικρότερη των **12.5mm**.

Με τον σχετικό προσανατολισμό των εικόνων δημιουργήθηκε ένα αραιό νέφος σημείων (Εικόνα 4.8) και στην συνέχεια δημιουργήθηκε το πυκνό νέφος (Εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.8 Αραιό νέφος σημείων από προσανατολισμένες εικόνες



Εικόνα 4.9 Πυκνό νέφος σημείων από προσανατολισμένες εικόνες

Είναι σημαντικό να αναφερθεί το γεγονός ότι η αποτύπωση του Ναού και κυρίως του δαπέδου φωτογραμμετρικά ήταν ιδιαίτερα δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητάς του. Η ύπαρξη πολλών επιπέδων, σημείων που ήταν δύσκολη η προσβασιμότητα τους και η πολλών λεπτομερειών που έκρυβαν απαραίτητη πληροφορία είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία νέφους σημείων με μεγάλο θόρυβο και μεγάλη έλλειψη πληροφορίας. Αυτό πιθανώς να είχε αποφευχθεί με την καλύτερη εφαρμογή της μεθόδου *structure from motion* αποτυπώνοντας το δάπεδο με περισσότερες φωτογραφίες και με μεγαλύτερη επικάλυψη.

Σε αυτήν την περίπτωση φάνηκε ιδιαίτερα σημαντική η χρήση του επίγειου σαρωτή. Η πυκνή σάρωση που πραγματοποιήθηκε ήταν απαραίτητη για την αποτύπωση του δαπέδου που χωρίς αυτήν θα υπήρξε μεγάλη έλλειψη πληροφορίας.

4.6 Απόδοση Υφής Στο Τρισδιάστατο Μοντέλο

Το τρισδιάστατο μοντέλο δημιουργήθηκε από την σάρωση του Ναού με επίγειο σαρωτή. Για την απόδοση όμως της υφής στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες που είχαν προσανατολιστεί (Εικόνα 4.10). Τόσο το μοντέλο όσο και οι εικόνες βρίσκονται σε ενιαίο σύστημα αναφοράς μετά τον προσανατολισμό τους.

Η εισαγωγή του μοντέλου στο πρόγραμμα *Photoscan* έγινε χωρίζοντας το σε δύο μικρότερα τμήματα (εσωτερικό και εζωτερικό). Ο υπολογισμός της υφής γίνεται σύμφωνα με την εκάστοτε γωνία στροφής του μοντέλου και κάθε επιφάνεια προς απόδοση θα πρέπει να αντιμετωπίζεται διαφορετικά ανάλογα και με τη λήψη των εικόνων.

Κάθε εικόνα που επιλέγεται για την επένδυση του μοντέλου προβάλλεται μέσω ενός είδους ορθής προβολής στην επιφάνεια του αντικειμένου και έτσι υπολογίζεται η υφή που αντιστοιχεί σε κάθε τρίγωνο.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση υφής παίζει η γωνία στροφής (rotate angle) του μοντέλου. Για την καλύτερη επένδυση του αντικειμένου η βέλτιστη γωνία είναι αυτή με την οποία πραγματοποιήθηκε η λήψη της εικόνας. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι εφικτό εφόσον μόνο μία εικόνα δεν είναι αρκετή για να καλύψει εξ ολοκλήρου την επιφάνεια του μοντέλου.



Εικόνα 4.10 Απόδοση υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο

4.7 Σύγκριση Οριζόντιας Τομής Από Το 3D Μοντέλο Με Την Οριζόντια Τομή Που Προέκυψε Γεωδαιτικά

Πιο συγκεκριμένα έγινε σύγκριση της οριζόντιας τομής που μετρήθηκε με γεωδαιτικές μεθόδους, με εκείνη που προέκυψε από την δημιουργία του τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.1 ορίστηκε ως οριζόντιο επίπεδο τομής το επίπεδο που βρίσκεται σε ύψος περίπου **1.5m** από το δάπεδο του Ναού όπου τοποθετήθηκε και η στάση Σ_{31} , με σκοπό να τέμνονται τα χαρακτηριστικά δομικά του στοιχεία όπως είναι τα ανοίγματα της κατασκευής (πόρτες, παράθυρα).

Η υλοποίηση όμως του επιπέδου της οριζόντιας τομής έγινε εμπειρικά με οπτική επαφή (ανθρώπινο μάτι) και με στοιχειώδεις βοηθητικές μετρήσεις κατά την διάρκεια της αποτύπωσης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα στο να πραγματοποιηθούν πολλές μετρήσεις που δεν αντιστοιχούσαν πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, δηλαδή δεν είχαν υψόμετρο 101.500m.

Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν σημεία που απείχαν μέχρι και 25cm στο εσωτερικό του Ναού και 1m στο εξωτερικό του Ναού από το οριζόντιο επίπεδο των 101.500m. Ακόμα και αυτή η απόκλιση των 25cm είναι αρκετά σημαντική διότι η οριζόντια τομή ενός Ναού με μεγάλη πολυπλοκότητα και με έντονη μορφολογία σε διαφορετικό επίπεδο μπορεί να διαφέρει. Ακόμα περισσότερο όταν η μέγιστη κλίμακα εκτύπωσης είναι τα 12.5mm.

Προκειμένου να γίνει η σύγκριση πραγματοποιήθηκε οριζόντια τομή από το τρισδιάστατο μοντέλο στο ύψος των σημείων με υψόμετρο τα 101.500m. Εκτός όμως από αυτό ήταν σημαντικό να γίνει οριζόντια τομή και σε άλλα υψόμετρα προκειμένου να ελεγχθούν τα σημεία που αντιστοιχούσαν στις ακμές του Ναού. Δηλαδή σε εσοχές μεταξύ τοίχων, στις ακμές των παραθύρων και στις εισόδους του Ναού. Εκτός όμως από αυτό ελέγχθηκε και οποιοδήποτε σημείο λεπτομέρειας που είχε το ίδιο υψόμετρο με την οριζόντια τομή.

Ελέγχθηκε ξεχωριστά το εσωτερικό με το εξωτερικό του Ναού διότι τα σημεία διέφεραν κατά πολύ υψομετρικά. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν τα εξής οριζόντια επίπεδα:

Εσωτερικό του Ναού	Εζωτερικό του Ναού
101.460 m	100.070 m
101.500 m	100.550 m
101.650 m	101.290 m
101.710 m	101.500 m

Πίνακας 4.11 Δημιουργία επιπέδων στο 3D μοντέλο σε διαφορετικά επίπεδα

Αρχικά θα αναλυθεί η σύγκριση των οριζόντιων τομών στο εσωτερικό του Ναού. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα σημεία που ελέγχθηκαν.



Εικόνα 4.11 Σημεία ελέγχου – σύγκρισης μεταξύ των οριζόντιων τομών εξωτερικά του Ναού

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η τοποθέτηση των οριζόντιων τομών του 3D μοντέλου στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού (Ο.Γ.Σ).



Εικόνα 4.12 Τοποθέτηση οριζόντιων τομών από το 3D μοντέλο (κόκκινο⇒ 101.500 m και πράσινο⇒ 101.710 m χρώμα) πάνω στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του Ο.Γ.Σ (μαύρο χρώμα)



Εικόνα 4.13 Τοποθέτηση οριζόντιων τομών από το 3D μοντέλο (πορτοκαλί ⇒ 101.650 m και μωβ⇒ 101.460 m χρώμα) πάνω στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του Ο.Γ.Σ (μαύρο χρώμα)

a/a	Απόκλιση
1	6mm
2	11mm
3	12mm
4	10mm
5	5mm
6	1mm
7	5mm
8	8mm
9	9mm
10	2mm
11	15mm
12	6mm
13	7mm
14	0mm
15	5mm
16	3mm
17	3mm
18	10mm
19	11mm
20	7mm
21	5mm
22	16mm
23	12mm
24	12mm
25	8mm
26	6mm
27	5mm
28	4mm
29	5mm
30	10mm
31	18mm

Πίνακας 4.12 Αποκλίσεις ομόλογων σημείων μεταξύ οριζόντιων τομών

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι τα περισσότερα σημεία της οριζόντιας τομής που μετρήθηκαν με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό απέχουν απόσταση μικρότερη από τα 12.5mm που είναι και η ακρίβεια με την οποία θα πρέπει να έχουν υπολογιστεί όλα τα σημεία. Πιο συγκεκριμένα 3 σημεία παρουσιάζουν σφάλμα μεγαλύτερο από τα 12.5mm με μεγαλύτερη την απόκλιση των 18mm. Αναλυτικότερα τα σημεία αυτά είναι το 11, το 22 και το 31.

Η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα σημεία αυτά θα πρέπει να βρίσκονται ακριβώς στο επίπεδο της οριζόντιας τομής που δημιουργήθηκε από το 3D μοντέλο (δηλαδή να έχουν το ίδιο υψόμετρο με εκείνο της οριζόντιας τομής του 3D μοντέλου). Εκτός από αυτό όμως η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στην επεξεργασία του νέφους των σημείων από το *laser scanner* καθώς επίσης και από την επεξεργασία της επιφάνειας του μοντέλου. Και αυτό διότι η οριζόντια τομή προέκυψε από την τομή του τρισδιάστατου μοντέλου σε συγκεκριμένο υψόμετρο.

Επομένως ίσως να μην είχε αφαιρεθεί καλά ο θόρυβος στην συγκεκριμένη περιοχή που βρίσκονται τα σημεία ή λόγω της καμπυλότητας της επιφάνειας και μέσω της επεξεργασίας της να οξύνθηκε ή να ομαλοποιήθηκε η μορφολογία της. Επίσης μπορεί να υπήρχε έλλειψη πληροφορίας από την σάρωση του *laser scanner* με αποτέλεσμα η επεξεργασίας της επιφάνειας να μην είναι απολύτως ορθή.

Πιο σωστό λοιπόν θα θεωρηθεί το σημείο που μετρήθηκε με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό διότι η ακρίβεια με την οποία έχει προσδιοριστεί είναι κάτω των 12.5mm και συγκεκριμένα από συντεταγμένες πολυγωνομετρικού δικτύου με τυπικό σφάλμα στα 3mm με 4mm οριζοντιογραφικά και υψομετρικά.

Γενικότερα πάντως η μέση απόκλιση των σημείων είναι στα 7.6mm που είναι κάτω από την ακρίβεια των 12.5mm.

Στην συνέχεια θα αναλυθεί η σύγκριση των οριζόντιων τομών στο εξωτερικό του Ναού. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το εξωτερικό τμήμα του Ναού είχε ιδιαίτερη μορφολογία και πολύ περισσότερο η αυλή του Ναού. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα σημεία που ελέγχθηκαν και η τοποθέτηση των οριζόντιων τομών του 3D μοντέλου στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού (Ο.Γ.Σ).



Εικόνα 4.14 Σημεία ελέγχου – σύγκρισης μεταξύ των οριζόντιων τομών εξωτερικά του Ναού



Εικόνα 4.15 Τοποθέτηση οριζόντιων τομών από το 3D μοντέλο (μπλε⇒101.500 m και κίτρινο⇒100.070 m χρώμα) πάνω στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του Ο.Γ.Σ (μαύρο χρώμα)



Εικόνα 4.16 Τοποθέτηση οριζόντιων τομών από το 3D μοντέλο (θαλασσί ⇒ 100.5500 m και μωβ ⇒ 101.290 m χρώμα) πάνω στην οριζόντια τομή που σχεδιάστηκε με τις μετρήσεις του Ο.Γ.Σ (μαύρο χρώμα)

a/a	Απόκλιση
1	4mm
2	5mm
3	7mm
4	6mm
5	8mm
6	8mm
7	7mm
8	4mm
9	10mm
10	2mm
11	6mm
12	9mm
13	3mm
14	4mm
15	4mm
16	5mm
17	25mm
18	12mm
19	20mm
20	12mm
21	8mm
22	8mm
23	5mm
24	9mm

Πίνακας 4.13 Αποκλίσεις ομόλογων σημείων μεταξύ οριζόντιων τομών

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι τα περισσότερα σημεία της οριζόντιας τομής που μετρήθηκαν με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό απέχουν απόσταση μικρότερη από τα 12.5mm που είναι και η ακρίβεια με την οποία θα πρέπει να έχουν υπολογιστεί όλα τα σημεία. Πιο συγκεκριμένα 2 σημεία παρουσιάζουν σφάλμα μεγαλύτερο από τα 12.5mm με μεγαλύτερη την απόκλιση των 25mm. Αναλυτικότερα τα σημεία αυτά είναι το 17 και το 19.

Η διαφορά αυτή οφείλεται στην επεξεργασία του νέφους των σημείων από το *laser scanner* καθώς επίσης και από την επεξεργασία της επιφάνειας του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα στο σημείο 17 υπήρχε ένα ξύλο το οποίο αφαιρέθηκε με ειδική επεξεργασία γεγονός που δημιούργησε τρύπα στην επιφάνεια του μοντέλου. Επομένως η επεξεργασία της επιφάνειας δεν έγινε ορθά με αποτέλεσμα να αλλοιωθεί. Από την άλλη πλευρά το σημείο 19 ανήκει σε μια περιοχή που υπήρξε μεγάλος θόρυβος στο νέφος των σημείων λόγω της μορφολογίας του αντικειμένου.

Και σε αυτήν την περίπτωση πιο σωστά θα θεωρηθούν τα σημεία που μετρήθηκαν με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό διότι η ακρίβεια με την οποία έχει προσδιοριστεί είναι κάτω των 12.5mm και συγκεκριμένα από συντεταγμένες πολυγωνομετρικού δικτύου με τυπικό σφάλμα στα 3mm με 4mm οριζοντιογραφικά και υψομετρικά.

Γενικότερα πάντως η μέση απόκλιση των σημείων είναι στα 7.9mm που είναι κάτω από την ακρίβεια των 12.5mm.

Συμπερασματικά η οριζόντια τομή που μπορεί να παραχθεί από το τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο είναι ικανή για να καλύψει την ακρίβεια που επιθυμείτε και ταυτόχρονα να παρέχει την λεπτομέρεια που δεν είναι εφικτό να συλλεχθεί από τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό. Παράλληλα όμως θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην αποτύπωση που έγινε με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν τα σημεία τα οποία είναι απαραίτητα για την σχεδίαση της οριζόντιας τομής.

Επομένως η σχεδίαση της οριζόντιας τομής θα πραγματοποιηθεί από το τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο στο υψόμετρο 101.500m χρησιμοποιώντας παράλληλα όσα σημεία αποτυπώθηκαν με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό στο υψόμετρο αυτό.

4.8 Οπτικοποίηση Μοντέλου Μέσω Εικονικής Περιήγησης

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα **3D** Studio Max έγινε εφικτή η οπτικοποίηση του μοντέλου μέσω εικονικής περιήγησης. Αρχικά έγινε εισαγωγή του μοντέλου στο πρόγραμμα και στην συνέχεια δημιουργήθηκε μια κάμερα και η διαδρομή που θα ακολουθούσε, προκειμένου να δημιουργηθεί το κατάλληλο βίντεο.



Εικόνα 4.17 Επιλογή κάμερας στο 3D Studio Max

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η κάμερα που έχει δημιουργηθεί και στην παρακάτω εικόνα η διαδρομή που θα ακολουθήσει προκειμένου να οπτικοποιηθεί ο Ναός των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης όσο αφορά το εξωτερικό κομμάτι του Ναού.



Εικόνα 4.18 Δημιουργία διαδρομής στο 3D Studio Max



Εικόνα 4.19 Επιλογή παραμέτρων κάμερας και διαδρομής

Στις παραπάνω εικόνες φαίνεται η επιλογή των παραμέτρων της κάμερας και της διαδρομής που θα ακολουθήσει. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε κάμερα με φακό στα **24mm** καθώς επίσης και η διαδρομή του φακού που είναι και διαφορετική από εκείνη της κάμερας.

Κάνοντας τις απαραίτητες δοκιμές επιλέχθηκε η διάρκεια του βίντεο να είναι στα 15 δευτερόλεπτα όσο αφορά το εξωτερικό τμήμα του Ναού και στα 30 δευτερόλεπτα όσο αφορά το εσωτερικό τμήμα.



Εικόνα 4.20 Οπτικοποίηση του εζωτερικού τμήματος του μοντέλου



Εικόνα 4.21 Οπτικοποίηση του εσωτερικού τμήματος του μοντέλου

Κεφάλαιο 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η δημιουργία ενός τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου του Ναού των Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης στην Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου. Με γεωδαιτική και φωτογραμμετρική μεθοδολογία έγινε δυνατή η γεωμετρική τεκμηρίωση της κατασκευής, χρησιμοποιώντας φωτογραφική μηχανή, επίγειο σαρωτή και ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό που είχε τη δυνατότητα μέτρησης μήκους χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα.

Είναι γεγονός ότι, η εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων (Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός, Laser Scanner) και συστημάτων μέτρησης και επεξεργασίας των δεδομένων, έχει διευκολύνει τις μετρητικές διαδικασίες προσφέροντας μεγαλύτερη και ενιαία ακρίβεια στα παραγόμενα προϊόντα. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει συντομεύσει τις διαδικασίες υπολογισμών και έχει διευκολύνει την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε ψηφιακή μορφή.

Η ακριβής μετρητική καταγραφή του μνημείου και η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου δίνει τη δυνατότητα και σε άλλους ειδικούς επιστήμονες (στατικούς, αρχιτέκτονες, αρχαιολόγους, ιστορικούς) να εκτιμήσουν τη σοβαρότητα των αποκλίσεων ή φθορών και να προτείνουν τις μεθόδους - διαδικασίες παρέμβασης για την αποκατάστασή τους.

Όσο αφορά στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι απαραίτητο στοιχείο για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου αποτέλεσε η αναγνώριση της περιοχής και η επίτευξη της βέλτιστης αντίληψης του χώρου με την βοήθεια των φωτογραφιών. Η δημιουργία του τοπικού τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου είναι γνωστό ότι εξασφάλισε την ορθότητα αλλά και την ακρίβεια του τρισδιάστατου μοντέλου. Η σήμανση των κορυφών του δικτύου έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλιστεί η μονιμότητα τους όσο διαρκούσαν οι μετρήσεις χωρίς όμως να προκαλούνται παρεμβάσεις ή φθορές στο χώρο της κατασκευής.

Επιπλέον η ευκρίνεια και η πληρότητα των αυτοσχεδίων πεδίου ήταν καθοριστικά στοιχεία, που διευκόλυναν την παραγωγή των διαγραμμάτων της γεωμετρικής τεκμηρίωσης ενώ παράλληλα υπήρξε ιδιαίτερη προσοχή αλλά και συστηματικότητα στη διαχείριση της μετρητικής πληροφορίας. Αυτό επιτεύχθηκε με ανάλογη κωδικοποίηση των μετρούμενων σημείων. Επιπρόσθετα η αποτύπωση των σημείων λεπτομέρειας τόσο για την οριζόντια όσο για την κατακόρυφη τομή-όψη έγινε με την μέθοδο των πολικών

συντεταγμένων διότι ήταν άμεση η μέτρηση του μήκους προς το σκοπευόμενο σημείο.

Ίσως το σημαντικότερο θέμα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η απώλεια δεδομένων λόγω κάποιου σφάλματος καταγραφής του οργάνου. Είναι απαραίτητο να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στα θέματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου και αυτά να μπορούν να αντιμετωπίζονται άμεσα. Είναι ακόμα πολύ χρήσιμο να πραγματοποιείται έγκαιρος προγραμματισμός όλων των εργασιών που θα ακολουθήσουν καθώς και να υπάρχει μια συνεχής καταγραφή αυτών.

Σχετικά με τον επίγειο σαρωτή είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η επιλογή των θέσεων που έπρεπε να τοποθετηθεί αυτός και οι στόχοι ήταν πολύ σημαντική καθώς η συνένωση των νεφών μπορούσε να επιφέρει μεγάλα σφάλματα. Ακόμη μπορεί να υπάρξει εκτενής έλλειψη πληροφορίας όπως συνέβη σε αρκετά τμήματα του ναού στην προκειμένη περίπτωση.

Κατά τη συνένωση των νεφών το μόνο πρόβλημα που παρουσιάστηκε ήταν ότι δεν αναγνωρίστηκαν κάποιοι από τους στόχους με αποτέλεσμα να τοποθετηθούν χειροκίνητα. Από την άλλη πλευρά όσο αφορά την δημιουργία της επιφάνειας και τον προσανατολισμό των εικόνων, η διαδικασία υλοποίησης τους ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα.

Παρακάτω παρατίθεται η κατανομή των εργασιών πεδίου και γραφείου:

	Απαιτούμενος Χρόνος (ώρες)	
Συλλογή	Γεωδαιτικές Μετρήσεις (Μέτρηση Στόχων Σαρωτή & Φωτοσταθερών	50
δεδομένων	Συλλογή Τρισδιάστατης Πληροφορίας	6
	Λήψη Φωτογραφιών	20
	Επεξεργασία Γεωδαιτικών Μετρήσεων	24
	Συνένωση νεφών (Scene)	8
Επεξεργασία Δεδομένων	Καθαρισμός Νέφους, Δημιουργία & Επεξεργασία Επιφάνειας (<i>Geomagic</i>)	385
	Προσανατολισμοί Εικόνων (Photoscan)	190
	Απόδοση Υφής Τριδιάστατου Μοντέλου (Photoscan)	40
	Οπτικοποίηση μοντέλου μέσω εικονικής περιήγησης	40
	Σχεδίαση Οριζόντιας Τομής	6
	Σχεδίαση Γενικού Τοπογραφικού	6
	775	

Πίνακας 5.1	Κατανομή	εργασιών πεδίου ι	και γραφείου	για 2 άτομα
	11011011000	0070000000000000		/ · · · · = · · · · · · · · · · · · · ·



Σχήμα 5.1 Κατανομή εργασιών πεδίου και γραφείου σε ποσοστό

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η συνολική εμπειρία που αποκομίσθηκε από την εκπόνηση μιας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας τέτοιας έκτασης και τέτοιας δυσκολίας ήταν θετική για πολλούς λόγους. Αρχικά, δόθηκε η ευκαιρία στον συγγραφέα να έρθει σε επαφή με υλικό εξοπλισμό και με λογισμικά που σπάνια έχει την ευκαιρία να συναντήσει κάποιος απλός τοπογράφος.

Ο σαρωτής *laser* και η φωτογραφική μηχανή αποτελούν εξοπλισμό που οδηγούν στην χρήση ψηφιακών μεθόδων που παράγουν εναλλακτικά προϊόντα, διαφορετικά των συμβατικών μεθόδων. Όλα τα ειδικά προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι επίσης σπάνιο να τα συναντήσει κάποιος στο ελεύθερο επάγγελμα, οπότε σίγουρα η εμπειρία της χρήσης τους είναι θετική.

Επίσης, μέσω αυτής της διπλωματικής, έγινε σαφές ότι ο χρόνος είναι πολύτιμος και δεν πρέπει να σπαταλάται άσκοπα. Η πολύ καλή οργάνωση πριν γίνει οποιαδήποτε εργασία πεδίου ή γραφείου καθώς και η εις βάθος γνώση τόσο ενός αντικειμένου γενικά όσο και των ειδικών λογισμικών που χρησιμοποιούνται σε αυτό είναι επίσης πολύτιμη.

Επομένως ο Τοπογράφος Μηχανικός για να αντιμετωπίσει μια τέτοια εργασία θα πρέπει να επιλέγει το βέλτιστο συνδυασμό οργάνων, χρόνου και κόστους της, ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια και τη χρήση του τελικού προϊόντος της τεκμηρίωσης.

Βιβλιογραφία

- Αγατζά Μπαλοδήμου Α.-Μ., "Θεωρία σφαλμάτων και συνορθώσεις Ι", Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2009
- Αγατζά Μπαλοδήμου Α.-Μ., "Θεωρία σφαλμάτων και συνορθώσεις ΙΙ", Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2009
- 3. Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.3, 2017
- 4. Barreau, JB., Bernard, Y., Petit,Q., Beuchet, L., Petit,E., Platen,V., Gaugne, R., Le Rumeur,J., Gouranton V. ''Combination of 3D Scanning, Modeling and Analyzing Methods around the Castle of Coatfree. '' Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection Volume 8740 of the series Lecture Notes in Computer Science, 2014
- Bobek K., Jedlicka K. ''3d data model for purposes of cultural heritage custody-Case study at the Castle Kozel.'' XXVIII CIPA. Symposium, 2011
- **6.** Βρεττού Φ., ΄΄Κάστρο Πεντεσκούφι: Γεωμετρική Τεκμηρίωση΄΄ Αθήνα 2016
- 7. Gabriel A., *''La cite de Rhodes''*, I, Architecture civile et religieuse, Paris 1923
- 8. Garfella Rybio J., Manez Pitarch M.J., Martinez Moya J.A., Ortega Tomas F. ''Puesta en valor del Palacio-Castillio de Betxi, a traves de la modelizacion mediante arquitecturas inversas y documentacion grafica avanzada.'' Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII centuries, 2015
- 9. Γεωργόπουλος Γ., Γκίκας Β., Τελειώνη Ε., Τσακίρη Μ., "Γεωδαισία Μετρήσεις – διορθώσεις – αναγωγές Προσδιορισμός θέσης", Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2011
- 10. Γιαννακόπουλος Δ., ΄ Αρχιτεκτονική Τεκμηρίωση Σε Διαδραστική Σχέση Με Την Ολοκληρωμένη Μελέτη Προστασίας Του Ιερού Κουβουκλίου Του Παναγίου Τάφου_Ιεροσόλυμα΄, Αθήνα 2017

- 11. Δερμάνης Α., ΄Συνορθώσεις Παρατηρήσεων και Θεωρία Εκτίμησης΄, Θεσσαλονίκη 1987
- 12. Faro laser scanner focus3d x 330 HDR User Manual, 2016
- 13. Καληνυκτάκης Αντώνιος, ΄΄Η Συμβολή των Φωτογραμμετρικών Αυτοματισμών στην Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων΄΄ Αθήνα 2015
- 14. Kersten, T., Lindstaedt, M., Maziull, L., Schreyer, K., Tschirschwitz, F., and Holm, K. ''3D recording, modelling and visualization of the fortification Kristiansten in Trondheim (Norway) bu photogrammetric methods and terrestrial laser scanning in the framework of Erasmus programmes.'' Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 2015
- 15. Kollias E., 'The City of Rhodes and the Palace of the Grand Master'', Αθήνα 1988
- 16. Κωτούλα Λ., ''Γεωμετρική Τεκμηρίωση Του Αρχοντικού Σωτήρη Ανάργυρου Στη Ντάπια Σπετσών Για Την Μελέτη Αποκατάστασης'', Αθήνα 2015
- 17. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., "Εφαρμοσμένη γεωδαισία", εκδόσεις Ζήτη, ISBN 978-960-456-205-3, Αθήνα 2010
- 18. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Γεωργόπουλος Γ., Δογγούρης Σ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., "Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας", Διδακτικές σημειώσεις 9ου εξαμήνου της ΣΑΤΜ, Αθήνα 2005
- 19. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., "Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών", Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 1993
- 20. Μπεντίνι Ελόνα, ΄Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ναού του Αρχάγγελου Μιχαήλ στον Παιδούλα, Κύπρου΄΄, Αθήνα 2015
- 21. Πανταζής Γ., ΄ Εφαρμογές ακριβείας΄, Διδακτικές σημειώσεις, ΔΠΜΣ Γεωπληροφορικής Αθήνα 2017
- 22. Παπαβασιλείου Ε., ''Μέρος Β'2 Χρονικά'', Αθήνα 1991.
- 23. Πατιάς Π., 'Εισαγωγή Στην Φωτογραμμετρία', Θεσσαλονίκη 1991

- 24. Πέτσα Ε., ΄΄Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας΄΄, Αθήνα 2000
- 25. Rodriguez –Navarro P., Verdiani G., Gil Piqueras T. 'Comprehensive methodology for documenting defense towers of the Valencian Coast, Spain.' Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries, 2015
- 26. Rodriguez-Navarro P., Verdiani G. 'Digital survey and interpretation of a fortification fragment: the Cadi bridge at the feet of the Alhambra hill, Granada.'' International Conference on Digital Heritage. Marseilles, France 2013
- 27. Ρωσσικόπουλος Δ. "Τοπογραφικά δίκτυα και υπολογισμοί", εκδόσεις Ζήτη, ISBN 960-960-431-128-Χ, Θεσσαλονίκη 1992
- 28. Στεφανία Γαβριήλ, 'Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ναού του Αρχάγγελου Μιχαήλ στον Παιδούλα, Κύπρου μέσω τρισδιάστατης απεικόνισης'', Αθήνα 2015
- **29.** Στυλιανή-Τρύφωνα Μ., ΄Γεωμετρική Τεκμηρίωση του Ωρολογίου του Ανδρόνικου Κυρρήστου (Αέρηδες)΄΄, Αθήνα 2015
- **30.** Westoby M.J., Brasington J., lasser N.F., Hambrey M.J., Reynolds J.M. *'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool* for geoscience applications', Αγγλία 2012

ПАРАРТНМА І

ΎΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΩΝΎ

a/a	Στόχος	X(m)	y (<i>m</i>)	Z(m)
1	target 2B	1007.438	1008.415	101.163
2	target 9B	1012.689	1002.75	100.406
3	target 21B	1013.742	1001.708	99.785
4	target 22B	1013.737	999.357	100.7
5	target 31	1011.091	1005.363	100.801
6	target 33B	1009.986	1000.443	100.314
7	target 34B	1009.364	1004.065	101.831
8	target 45	1011.751	1002.644	100.467
9	target 51	1003.557	1007.777	101.8045
10	target 52	1010.631	998.425	101.397
11	target 55	1007.962	1008.026	100.149
12	target 56	1010.822	1006.214	100.364
13	target 58	1007.145	1010.413	100.082
14	target 64	1011.171	1009.346	100.0295
15	target 67	1010.848	1010.908	100.8895
16	target 74	1011.809	1001.771	100.887
17	target 88	1012.921	1004.407	99.702
18	target 92	1012.16	1006.841	101.083
19	target 98	1012.076	998.5465	100.221
20	target 100	1009.822	1002.773	100.796
21	target 129	1008.368	1005.845	101.227
22	target 153	1005.74	1009.831	101.321
23	target L3	1009.865	1013.49	102.644
24	target L12	1003.457	984.596	103.099
25	target L14	990.304	987.307	102.828
26	target P18A	1000.891	998.341	102.728

Πίνακας Ι Συντεταγμένες φωτοσταθερών της αυλής του Ναού

α/α	Στόχος	X(m)	y(m)	Z(m)
1	target 18A	1000.891	998.341	102.728
2	target 22A	1002.215	996.654	101.69
3	target 16B	1002.558	995.4555	103.042
4	target 4	1003.225	995.035	100.973
5	target 10A	1005.764	995.774	102.229
6	target 44B	1007.881	996.4805	100.715
7	target 38	1011.71	997.669	102.057
8	target 32B	1014.749	998.534	100.772

Πίνακας ΙΙ Συντεταγμένες φωτοσταθερών της εξωτερικής όψης του Ναού

α/α	Στόχος	X (<i>m</i>)	y (<i>m</i>)	Z(m)
1	target 1	1000.236	1005.708	101.494
2	target 2	1000.607	1004.198	102.347
3	target 3A	999.2615	1001.955	102.3005
4	target 3B	1008.997	1001.82	99.832
5	target 5	1003.151	999.832	101.503
6	target 6	1006.488	1007.514	101.616
7	target 7	1007.143	1007.299	100.671
8	target 8	1002.014	1003.543	101.525
9	target 9A	1000.95	1002.371	100.67
10	target 11	1002.151	999.598	102.163
11	target 12	1007.599	1005.955	101.694
12	target 13	1004.529	1006.999	100.754
13	target 14	1002.461	1002.782	101.6415
14	target 15	1002.431	1003.291	101.755
15	target 16A	1007.45	996.585	101.462
16	target 17	998.989	1000.314	102.103
17	target 19A	1002.021	1006.369	102.242
18	target 19B	1007.91	1004.415	99.177
19	target 20A	998.685	1001.504	101.46
20	target 20B	1008.245	1001.021	99.643
21	target 21A	1002.504	1001.145	100.096
22	target 23	999.5595	998.88	100.9815
23	target 24	1007.689	1005.537	100.584
24	target 28	1005.727	1000.457	99.977
25	target 32A	1007.764	999.385	98.825
26	target 39	1004.856	996.309	100.877
27	target 44A	1005.505	997.878	99.9635
28	target 50	1009.696	998.213	100.64
29	target 57	1006.097	1004.407	99.321
30	target 61	1005.022	1003.966	99.4075
31	target 75	1002.9	996.667	102.064
32	target 109	1005.633	1001.824	99
33	target 124	1007.89	997.949	99.5445
34	target 134	1002.374	998.474	101.281
35	target 136	1003.506	999.857	101.387
36	target 139	1006.692	1001.886	98.68
37	target 145	1008.89	1003.766	100.459
38	target 147	1009.375	1000.046	100.1255

Πίνακας ΙΙΙ Συντεταγμένες φωτοσταθερών εσωτερικά του Ναού
ПАРАРТНМА II

ΎΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟΧΩΝ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ΄

a/a	Στόχος	X (<i>m</i>)	y (<i>m</i>)	Z(m)
1	L1	1012.798	998.763	101.425
2	L2	1010.039	1002.188	102.29
3	L3	1009.861	1013.497	102.646
4	L4	1007.703	1007.98	102.234
5	L5	999.001	1000.287	101.334
6	L6	1000.422	1004.917	101.771
7	L7	1005.069	1007.555	101.956
8	L8	1007.934	1004.889	101.481
9	L9	1009.048	1001.276	100.549
10	L10	1006.135	996.721	100.949
11	L11	1002.374	997.195	102.066
12	L12	1003.457	984.606	103.098
13	L13	992.011	980.882	103.726
14	L14	990.304	987.307	102.828

Πίνακας ΙV Συντεταγμένες στόχων επίγειου σαρωτή

ПАРАРТНМА III

ΎΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝΎ



Σχήμα Ι Τοπογραφικό Διάγραμμα Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης



Σχήμα ΙΙ Οριζόντια Τομή Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης

ПАРАРТНМА IV

΄΄ ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΤΟΨΕΩΝ ΕΦΟΡΙΑΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ ΄΄









Σχήμα ΙV Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση 2^η



MENERARO12

Σχήμα V Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση 3^η



OLOI MENEELE AV 2.



Σχήμα VII Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση 5^η



Σχήμα VIII Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Τομή Α-Α΄



Σχήμα ΙΧ Κάτοψη Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης – Φάση Γ΄



Σχήμα Χ Τομές Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης

ПАРАРТНМА V

΄΄ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ- ΟΔΕΥΣΕΩΝ-ΤΥΦΛΩΝ ΣΤΑΣΕΩΝ΄΄

«ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΑ»

	$\Sigma_{34}\Sigma_{31}\Sigma_{33}$	18.1338 ^g
ΓΩΝΙΑ	<i>Σ</i> 33 <i>Σ</i> 31 <i>Σ</i> 32	29.3899 ^g
	Σ31 Σ32 Σ33	67.4982 ^g
	$\Sigma_{33}\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	4.4401 ^g
	$\Sigma_{32} \Sigma_{33} \Sigma_{31}$	103.1449 ^g
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{32}$	8.767 m
Μεςο	$S\Sigma_{31}\Sigma_{33}$	7.650 m
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{34}$	8.309 m
OPIZONTIO	$S\Sigma_{32}\Sigma_{33}$	3.896 m
Μηκος	$S\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	6.232 m
	$S\Sigma_{33}\Sigma_{34}$	2.347 m

Οι μετρήσεις n = 11 του δικτύου είναι :

Οι άγνωστοι m =5 του συστήματος είναι:

 $\overline{x_{S\Sigma1\Sigma2}}, \overline{x_{\chi\Sigma33}}, \overline{x_{\gamma\Sigma33}}, \overline{x_{\chi\Sigma34}}, \overline{x_{\gamma\Sigma34}}$

Ο βαθμός ελευθερίας του συστήματος είναι:

 $r = n - m \Rightarrow r = 6$

Ο πίνακας των αγνώστων είναι:

$$\bar{x} = \begin{vmatrix} \overline{x}_{S\Sigma 1\Sigma 2} \\ \overline{x}_{\chi\Sigma 33} \\ \overline{x}_{y\Sigma 33} \\ \overline{x}_{x\Sigma 34} \\ \overline{x}_{y\Sigma 34} \end{vmatrix}$$

Για την επίλυση του συστήματος χρησιμοποιείται η σχέση:

$$A^T P A \overline{dx} = A^T P dl \Rightarrow \overline{dx} = (A^T P A)^{-1} A^T P dl$$

	625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	625	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	625	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	625	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	625	0	0	0	0	0	0
Р	0	0	0	0	0	250000	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	250000	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	250000	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	250000	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250000	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250000

<u>Πίνακας Βαρών</u>

<u>Προσωρινές Τιμές</u>

	$\overline{x_{S\Sigma1\Sigma2}}$	8.767 m
	$\overline{x_{\chi\Sigma33}}$	1006.851 m
x	$\overline{x_{y\Sigma33}}$	1003.407 m
	$\overline{x_{x\Sigma34}}$	1006.101 m
	$\overline{x_{y\Sigma34}}$	1005.639 m

Πίνακας Α

		$\overline{x_{S\Sigma1\Sigma2}}$	$\overline{x_{\chi\Sigma33}}$	$\overline{x_{\chi\Sigma33}}$	$\overline{x_{\chi\Sigma34}}$	$\overline{x_{y\Sigma34}}$
	Σ34 Σ 31 Σ 33	0.0000	0.0582	-0.1170	-0.0817	0.0884
	$\Sigma_{33} \Sigma_{31} \Sigma_{32}$	0.0000	-0.0582	0.1170	0.0000	0.0000
	Σ31 Σ32 Σ33	-0.2234	0.2234	0.1251	0.0000	0.0000
	$\Sigma_{33}\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	0.0783	-0.2234	-0.1251	0.1451	0.0684
Δ	$\Sigma_{32} \Sigma_{33} \Sigma_{31}$	0.2234	-0.1652	-0.2422	0.0000	0.0000
Л	$S\Sigma_{31}\Sigma_{32}$	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{33}$	0.0000	0.8954	0.4453	0.0000	0.0000
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{34}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.7344	0.6787
	$S\Sigma_{32}\Sigma_{33}$	0.4886	-0.4886	0.8725	0.0000	0.0000
	$S\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	0.4264	0.0000	0.0000	-0.4264	0.9045
	$S\Sigma_{33}\Sigma_{34}$	0.0000	0.3187	-0.9479	-0.3187	0.9479

<u>Πίνακας dl</u>

	$\Sigma_{34}\Sigma_{31}\Sigma_{33}$	0.0170 ^g
	$\Sigma_{33} \Sigma_{31} \Sigma_{32}$	0.0130 ^g
	Σ31 Σ32 Σ33	0.0000 ^g
	$\Sigma_{33}\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	-0.0150 ^g
	$\Sigma_{32} \Sigma_{33} \Sigma_{31}$	0.0200 ^g
dl	$S\Sigma_{31}\Sigma_{32}$	0.008 m
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{33}$	-0.002 m
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{34}$	0.002 m
	$S\Sigma_{32}\Sigma_{33}$	-0.009 m
	$S\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	-0.002 m
	$S\Sigma_{33}\Sigma_{34}$	-0.008 m

<i>dx</i>	$\overline{x_{S\Sigma1\Sigma2}}$	0.008 m
	$\overline{x_{\chi\Sigma33}}$	0.003 m
	$\overline{x_{\chi\Sigma33}}$	0.007 m
	$\overline{x_{\gamma\Sigma34}}$	-0.008 m
	$\overline{x_{\nu\Sigma34}}$	0.007 m

<u>Πίνακας dx</u>

Πίνακας υπολοίπων

	Σ34 Σ 31 Σ 33	-0.0174 ^g
	$\Sigma_{33} \Sigma_{31} \Sigma_{32}$	-0.0136 ^g
	$\Sigma_{31} \Sigma_{32} \Sigma_{33}$	-0.0020 ^g
	$\Sigma_{33}\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	0.0164 ^g
	$\Sigma_{32} \Sigma_{33} \Sigma_{31}$	-0.0174 ^g
$oldsymbol{U}$	$S\Sigma_{31}\Sigma_{32}$	-0.000m
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{33}$	0.001m
	$S\Sigma_{31}\Sigma_{34}$	-0.001m
	$S\Sigma_{32}\Sigma_{33}$	0.005m
	$S\Sigma_{32}\Sigma_{34}$	-0.005m
	$S\Sigma_{33}\Sigma_{34}$	0.005m

Πίνακας Μεταβλητότητας - Συμεταβλητότητας

	1.35926E-05	2.86611E-06	-5.60466E-06	4.32397E-06	-4.74256E-06
	2.86611E-06	1.3341E-05	4.61962E-07	1.64605E-06	-2.0247E-06
V	-5.60466E-06	4.61962E-07	1.20827E-05	-4.34273E-06	5.5373E-06
	4.32397E-06	1.64605E-06	-4.34273E-06	1.90521E-05	-1.12976E-06
	-4.74256E-06	-2.0247E-06	5.5373E-06	-1.12976E-06	9.56557E-06

Επομένως οι καλύτερες τιμές και τα τυπικά τους σφάλματα είναι:

$$\bar{x} = x + \overline{dx}$$

	8.761 m	±3.7 mm	
	1006.852 m	±3.7 mm	
\overline{x}	1003.408 m	±3.5 mm	
	1006.100 m	±4.4 mm	
	1005.640 m	±3.1 mm	

Όπου το a posteriori τυπικό σφάλμα της προσαρμογής είναι: $\widehat{\sigma_o} = 1.7$

Ο Ιακωβιανός πίνακας είναι:

	0.707106781	0	0	0	0
	-0.707106781	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0
J	0	0	1	0	0
	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	1

Ο νέος Πίνακας Μεταβλητότητας-Συμεταβλητότητας είναι:

	6.79631E-06	-6.79631E-06	2.02665E-06	-3.9631E-06	3.05751E-06	-3.3535E-06
	-6.79631E-06	6.79631E-06	-2.02665E-06	3.9631E-06	-3.05751E-06	3.3535E-06
Val	2.02665E-06	-2.02665E-06	1.3341E-05	4.61962E-07	1.64605E-06	-2.0247E-06
VX	-3.9631E-06	3.9631E-06	4.61962E-07	1.20827E-05	-4.34273E-06	5.5373E-06
	3.05751E-06	-3.05751E-06	1.64605E-06	-4.34273E-06	1.90521E-05	-1.12976E-06
	-3.3535E-06	3.3535E-06	-2.0247E-06	5.5373E-06	-1.12976E-06	9.56557E-06

Επομένως οι τελικές συντεταγμένες του δικτύου με τα τυπικά τους σφάλματα είναι:

Κορυφή	x(m)	y(m)	z(m)	σ _x (mm)	σy(mm)
Σ_{31}	1000	1000	100	-	-
Σ_{32}	1008.761	1000	99.774	± 3	± 3
Σ_{33}	1006.852	1003.408	98.208	± 4	± 3
Σ_{34}	1006.100	1005.640	99.633	± 4	± 3

«ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ»

Οι μετρήσεις n = 6 του δικτύου είναι :

Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου

-0.366 m
-0.223 m
0.228 m
-1.564 m
1.568 m
1.424 m
-1.423 m
0.367 m
-1.795 m
1.794 m
0.144 m
-0.137 m

Μέσος Όρος Υψομετρικών διαφορών

δz 3132	-0.225 m
δζ3133	-1.794 m
δζ3134	-0.366 m
δζ3233	-1.566 m
δz3334	1.423 m
δζ3234	-0.140 m

Οι άγνωστοι m =3 του συστήματος είναι:

 $\overline{x_{z\Sigma32}}, \overline{x_{z\Sigma33}}, \overline{x_{z\Sigma34}}$

Ο βαθμός ελευθερίας του συστήματος είναι:

 $r = n - m \Rightarrow r = 3$

Ο πίνακας των αγνώστων είναι:

$$\bar{x} = \begin{vmatrix} \overline{x}_{z\Sigma32} \\ \overline{x}_{z\Sigma33} \\ \overline{x}_{z\Sigma34} \end{vmatrix}$$

Για την επίλυση του συστήματος χρησιμοποιείται η σχέση:

$$A^T A \bar{x} = A^T dl \Rightarrow \bar{x} = (A^T A)^{-1} A^T dl$$

		$\overline{\chi_{z\Sigma32}}$	$\overline{\chi_{Z\Sigma33}}$	$\overline{x_{z\Sigma34}}$
	$z_{\Sigma 31} + \delta z_{3132}$	1	0	0
	$z_{\Sigma 31} + \delta z_{3133}$	0	1	0
A	<i>z</i> _{Σ31} +δ <i>z</i> 3134	0	0	1
	δz_{3233}	-1	1	0
	δz_{3334}	0	-1	1
	δζ3234	-1	0	1

<u>Πίνακας Α</u>

$\partial \pi ov \ z_{\Sigma 31} = 100m$

<u>Πίνακας dl</u>

δΙ	$z_{\Sigma 31} + \delta z_{3132}$	99.775 m
	$z_{\Sigma 31} + \delta z_{3133}$	98.206 m
	$z_{\Sigma 31} + \delta z_{3134}$	99.634 m
	δz_{3233}	-1.566 m
	δz_{3334}	1.423 m
	δ z3234	-0.140 m

<u>Πίνακας υπολοίπων</u>

U	δz_{3132}	-0.001 m
	δz 3133	0.002 m
	δz_{3134}	-0.001 m
	δz_{3233}	0.000 m
	δz_{3334}	0.002 m
	δz_{3234}	-0.001 m

Πίνακας Μεταβλητότητας - Συμεταβλητότητας

	1.60439E-06	8.02196E-07	8.02196E-07
Vx	8.02196E-07	1.60439E-06	8.02196E-07
	8.02196E-07	8.02196E-07	1.60439E-06

Επομένως οι καλύτερες τιμές και τα τυπικά τους σφάλματα είναι:

	ΖΣ32	99.774 m	±0.001 m
\overline{x}	ΖΣ33	98.208 m	±0.001 m
	ZΣ34	99.633 m	±0.001 m

Όπου το a posteriori τυπικό σφάλμα της προσαρμογής είναι: $\widehat{\sigma_o} = \pm 0.002m$

ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΟΔΕΥΣΗΣ Ι»

Η κλειστή όδευση Ι αποτελείται από τις κορυφές Σ_{31} , Σ_{18} , Σ_{17} , Σ_{21} , Σ_{22} και Σ_{33} . Οι συντεταγμένες των κορυφών Σ_{31} και Σ_{33} είναι γνωστές από την επίλυση του δικτύου που προηγήθηκε.

ΓΩΝΙΑ		ΜΕΣΟ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ	
β1	114.2217 ^g	$S_{\Sigma 31\Sigma 18}$	7.8500 m
β2	97.4239 ^g	$S_{\Sigma 18\Sigma 17}$	9.9957 m
β3	128.2478 ^g	$S_{\Sigma 17\Sigma 21}$	5.8472 m
β4	187.6425 ^g	$S_{\Sigma 21\Sigma 22}$	4.1763 m
β5	83.1736 ^g	$S_{\Sigma 22\Sigma 33}$	5.6638 m
β6	189.2710 ^g	$S_{\Sigma 3 3 \Sigma 3 1}$	7.7989 m

Οι μετρήσεις της όδευσης είναι :

Είναι γνωστό ότι το άθροισμα των εσωτερικών γωνιών ενός πολυγώνου με 6 κορυφές θα πρέπει να είναι 800^g. Επομένως η διόρθωση του γωνιακού σφάλματος είναι:

$$w_{\beta} = 800 - \sum_{i=1}^{6} \beta = 195^{cc}$$

Άρα θα πρέπει να προστεθεί η διόρθωση σε κάθε γωνία κατά 195^{cc}/6=32.5^{cc}.

ΓΩΝΙΑ		
β1΄	114.2250 ^g	
β2΄	97.4272 ^g	
β3΄	128.2511 ^g	
β4΄	187.6458 ^g	
β5΄	83.1769 ^g	
β6΄	189.2743 ^g	

Οι διορθωμένες γωνίες είναι :

Οι γωνίες διεύθυνσης για κάθε βάση υπολογίζονται σύμφωνα με το τρίτο θεμελιώδες θεώρημα και είναι :

ΓΩΝΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ		
α.531518	184.8422 ^g	
A\S18\S17	82.2693 ^g	
A £17£21	10.5204 ^g	
$\alpha_{\Sigma 21\Sigma 22}$	398.1661 ^g	
$\alpha_{\Sigma 22\Sigma 33}$	281.3430 ^g	
az33z31	270.6172 ^g	

Επίσης ο μέσος όρος των οριζόντιων μηκών είναι :

ΜΕΣΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΜΗΚΟΣ		
$S_{\Sigma 31\Sigma 18}$	7.850 m	
$S_{\Sigma 18\Sigma 17}$	9.900 m	
S 217 221	5.834 m	
$S_{\Sigma 21\Sigma 22}$	4.162 m	
$S_{\Sigma 22\Sigma 33}$	5.585 m	

Στην συνέχεια εφαρμόζοντας το πρώτο θεμελιώδες θεώρημα υπολογίζονται τα Δx, Δy για κάθε βάση.

	Δx	Дy
$\Sigma_{33}\Sigma_{31}$	-6.852 m	-3.408 m
$\Sigma_{31}\Sigma_{18}$	1.851 m	-7.628 m
$\Sigma_{18}\Sigma_{17}$	9.519 m	2.722 m
$\Sigma_{17}\Sigma_{21}$	0.960 m	5.754 m
$\Sigma_{21}\Sigma_{22}$	-0.120 m	4.160 m
$\Sigma_{22}\Sigma_{33}$	-5.347 m	-1.613 m

Επομένως η διόρθωση του γραμμικού σφάλματος υπολογίζεται ως εξής:

$$w_x = 0 - \sum_{i=1}^{5} \Delta x = -0.011m$$
$$w_y = 0 - \sum_{i=1}^{5} \Delta y = 0.014m$$

Επίσης ο μέσος όρος των υψομετρικών διαφορών είναι :

ΜΕΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ		
$\delta z_{\Sigma 31 \Sigma 18}$	0.387 m	
δζ.518517	-1.113 m	
$\delta z_{\Sigma 17\Sigma 21}$	-0.163 m	
$\delta z_{\Sigma 21 \Sigma 22}$	-0.149 m	
$\delta z_{\Sigma 22\Sigma 33}$	-0.756 m	
$\delta z_{\Sigma 3 3 \Sigma 3 1}$	1.792 m	

Αντίστοιχα η διόρθωση του υψομετρικού σφάλματος υπολογίζεται ως εξής:

$$w_z = 0 - \sum_{i=1}^{6} \Delta z = 0.001m$$

Στην συνέχεια ισσομοιράζεται το σφάλμα σε κάθε βάση αναλογικά έχοντας τα εξής αποτελέσματα:

$$\delta_x = (S \times Wx) / \sum s$$

 $\delta_y = (S \times Wy) / \sum s$
 $\delta_z = (S \times Wz) / \sum s$

	δx	бу
$\Sigma_{31}\Sigma_{18}$	-0.003 m	0.003 m
$\Sigma_{18}\Sigma_{17}$	-0.003 m	0.004 m
$\Sigma_{17}\Sigma_{21}$	-0.002 m	0.002 m
$\Sigma_{21}\Sigma_{22}$	-0.001 m	0.002 m
$\Sigma_{22}\Sigma_{33}$	-0.002 m	0.002 m

Έτσι προκύπτουν τα διορθωμένα $\Delta x'$, $\Delta y'$ και στην συνέχεια οι τελικές συντεταγμένες της όδευσης.

	$\Delta x'$	∆y′
$\Sigma_{31}\Sigma_{18}$	1.848 m	-7.625 m
$\Sigma_{18}\Sigma_{17}$	9.516 m	2.726 m
$\Sigma_{17}\Sigma_{21}$	0.958 m	5.756 m
$\Sigma_{21}\Sigma_{22}$	-0.121 m	4.162 m
$\Sigma_{22}\Sigma_{33}$	-5.349 m	-1.611 m

Κορυφή	x (m)	y(m)	z(m)
Σ_{17}	1011.364	995.101	99.275
Σ_{18}	1001.849	992.375	100.387
Σ_{21}	1012.322	1000.858	99.112
Σ_{22}	1012.201	1005.019	98.964

«ΕΠΙΛΥΣΗ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΟΔΕΥΣΗΣ ΙΙ»

Η κλειστή όδευση ΙΙ αποτελείται από τις κορυφές Σ_{11} , Σ_{12} , Σ_{13} , Σ_{14} , Σ_{15} , Σ_{16} , Σ_{17} , Σ_{18} . Οι συντεταγμένες των κορυφών Σ_{17} και Σ_{18} είναι γνωστές από την επίλυση της όδευσης που προηγήθηκε.

ΓΩΝΙΑ		ΜΕΣΟ ΟΙ	ΡΙΖΟΝΤΙΟ ΜΗΚΟΣ
β1	199.5615 ^g	$S_{\Sigma 17\Sigma 18}$	9.900 m
β2	307.5422 ^g	$S_{\Sigma 18\Sigma 11}$	5.762 m
β3	294.2559 ^g	$S_{\Sigma 11\Sigma 12}$	20.071 m
β4	245.2650 ^g	$S_{\Sigma 12\Sigma 13}$	9.292 m
β5	158.4083 ^g	$S_{\Sigma 13\Sigma 14}$	3.784 m
β6	295.9728 ^g	$S_{\Sigma 14\Sigma 15}$	6.921 m
β7	295.1487 ^g	$S_{\Sigma 15\Sigma 16}$	16.305 m
β8	203.8576 ^g	$S_{\Sigma 16\Sigma 17}$	5.318 m

Οι μετρήσεις της όδευσης είναι :

Είναι γνωστό ότι το άθροισμα των εσωτερικών γωνιών ενός πολυγώνου με 6 κορυφές θα πρέπει να είναι 1200^g. Επομένως η διόρθωση του γωνιακού σφάλματος είναι:

$$w_{\beta} = 2000 - \sum_{i=1}^{6} \beta = -120^{cc}$$

Άρα θα πρέπει να προστεθεί η διόρθωση σε κάθε γωνία κατά 120^{cc}/8=-15^{cc}.

Οι διορθωμένες γωνίες είναι :

ΓΩΝΙΑ		
β1΄	199.5600 ^g	
β2΄	307.5407 ^g	
β3΄	294.2544 ^g	
β4΄	245.2635 ^g	
β5΄	158.4068 ^g	
<i>β6'</i>	295.9713 ^g	
β7΄	295.1472 ^g	
β8΄	203.8561 ^g	

Οι γωνίες διεύθυνσης για κάθε βάση υπολογίζεται σύμφωνα με το τρίτο θεμελιώδες θεώρημα και είναι :

ΓΩΝΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ		
a <i>\Sim 17518</i>	282.2370 ^g	
$a_{\Sigma 18\Sigma 11}$	281.7970 ^g	
a <i>\Si1512</i>	389.3377 ^g	
<i>a\Si2S13</i>	83.5921 ^g	
a <i>z</i> 13 <i>z</i> 14	128.8556 ^g	
$a_{\Sigma 14\Sigma 15}$	87.2624 ^g	
<i>a\Sigma15516</i>	183.2337 ^g	
a <i>5</i> 16 <i>5</i> 17	278.3809 ^g	

Στην συνέχεια εφαρμόζοντας το πρώτο θεμελιώδες θεώρημα υπολογίζονται τα Δx, Δy για κάθε βάση.

	Δx	∆y
$\Sigma_{17}\Sigma_{18}$	-9.515 m	-2.726 m
$\Sigma_{18}\Sigma_{11}$	-5.528 m	-1.625 m
$\Sigma_{11}\Sigma_{12}$	-3.346 m	19.790 m
$\Sigma_{12}\Sigma_{13}$	8.985 m	2.368 m
$\Sigma_{13}\Sigma_{14}$	3.402 m	-1.657 m
$\Sigma_{14}\Sigma_{15}$	6.783 m	1.376 m
$\Sigma_{15}\Sigma_{16}$	4.245 m	-15.743 m
$\Sigma_{16}\Sigma_{17}$	-5.015 m	-1.772 m

Επομένως η διόρθωση του γραμμικού σφάλματος υπολογίζεται ως εξής:

$$w_x = 0 - \sum_{i=1}^{6} \Delta x = -0.011m$$
$$w_y = 0 - \sum_{i=1}^{6} \Delta y = -0.011m$$

ΜΕΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ		
$\delta z_{\Sigma 17\Sigma 18}$	1.112 m	
δζΣ18Σ11	0.459 m	
δζ Σ11Σ12	0.694 m	
$\delta z_{\Sigma 12\Sigma 13}$	-0.454 m	
$\delta z_{\Sigma 13\Sigma 14}$	-0.190 m	
δζ.514515	-0.682 m	
$\delta z_{\Sigma 15\Sigma 16}$	-1.493 m	
δζ.516517	0.553 m	

Επίσης ο μέσος όρος των υψομετρικών διαφορών είναι :

Επομένως η διόρθωση του γραμμικού σφάλματος υπολογίζεται ως εξής:

$$w_z = 0 - \sum_{i=1}^{5} \Delta z = 0.001m$$

Στην συνέχεια ισσομοιράζεται το σφάλμα σε κάθε βάση αναλογικά έχοντας τα εξής αποτελέσματα:

$$\delta_x = (S \times Wx) / \sum s$$

 $\delta_y = (S \times Wy) / \sum s$
 $\delta_z = (S \times Wz) / \sum s$

	δx	δy
$\Sigma_{18}\Sigma_{11}$	-0.001 m	-0.001 m
$\Sigma_{11}\Sigma_{12}$	-0.003 m	-0.003 m
$\Sigma_{12}\Sigma_{13}$	-0.002 m	-0.001 m
$\Sigma_{13}\Sigma_{14}$	-0.001 m	-0.001 m
$\Sigma_{14}\Sigma_{15}$	-0.001 m	-0.001 m
$\Sigma_{15}\Sigma_{16}$	-0.003 m	-0.003 m
$\Sigma_{16}\Sigma_{17}$	-0.001 m	-0.001 m

Έτσι προκύπτουν τα διορθωμένα $\Delta x'$, $\Delta y'$ και στην συνέχεια οι τελικές συντεταγμένες της όδευσης.

	$\Delta x'$	∆y´
$\Sigma_{18}\Sigma_{11}$	-5.529 m	-1.626 m
$\Sigma_{11}\Sigma_{12}$	-3.349 m	19.787 m
$\Sigma_{12}\Sigma_{13}$	8.983 m	2.367 m
$\Sigma_{13}\Sigma_{14}$	3.401 m	-1.658 m
$\Sigma_{14}\Sigma_{15}$	6.782 m	1.375 m
$\Sigma_{15}\Sigma_{16}$	4.242 m	-15.746 m
$\Sigma_{16}\Sigma_{17}$	-5.015 m	-1.772 m

Κορυφή	x(m)	y(m)	z(m)
Σ_{11}	996.320	990.749	100.846
Σ_{12}	992.970	1010.536	101.541
Σ_{13}	1001.954	1012.903	101.087
Σ_{14}	1005.356	1011.245	100.897
Σ_{15}	1012.137	1012.619	100.215
Σ_{16}	1016.380	996.873	98.722
«ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΥΦΛΩΝ ΣΤΑΣΕΩΝ»

Έχοντας γνωστές τις συντεταγμένες των κορυφών Σ_{22} και Σ_{34} έγινε ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των κορυφών Σ_{23} και Σ_{24} ως τυφλές στάσεις.

Συντεταγμένες γνωστών κορυφών:

ΣΤΑΣΗ	x(m)	y(m)	z(m)
Σ_{22}	1012.201	1005.019	98.964
Σ34	1006.100	1005.640	99.633

Συντεταγμένες κορυφών μηδενισμού:

ΣΤΑΣΗ	x(m)	y(m)
Σ_{21}	1012.322	1000.858
Σ33	1006.852	1003.408

Μετρήσεις:

Οριζόντια Γωνία	Κατακόρυφη Γωνία	Κεκλιμένη Απόσταση	Οριζόντια Απόσταση	Y.0	Υ.Σ
174.5004g	97.2987g	4.552m	4.548m	1.500m	1.300m
194.0647g	110.2761g	3.735m	3.687m	1.522m	1.300m

Γωνίες διεύθυνσης:

$\alpha \Sigma_{2122}$	398.1493 ^g
αΣ3334	379.3116 ^g
$\alpha \Sigma_{2223}$	372.6497 ^g
$\alpha \Sigma_{3424}$	373.3763 ^g

Επομένως εφαρμόζοντας το πρώτο θεμελιώδες θεώρημα και την μέθοδο της τριγωνομετρικής υψομετρίας υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των τυφλών στάσεων με τα εξής αποτελέσματα:

Στάση	x(m)	y(m)	z(m)
Σ_{23}	1010.307	1009.154	99.357
Σ_{24}	1004.603	1009.009	99.255