



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αποτύπωση Ιερού Ναου Χριστού Παντοκράτορα στις
Στερνες Χανίων με χρήση φωτογραμμετρικών και
γεωδαιτικών μεθόδων



Μαράτος Κωνσταντίνος
Επιβλέπων καθηγήτρια: Τσουχλαράκη Ανδρονίκη
Διπλωματική Εργασία
Χανιά, Νοέμβριος 2022

*Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και
διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή
τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό.*

*Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και
διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή
ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να
αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που
αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα
πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.*

*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 Πολυτεχνείου Κρήτης".*

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Α.ΚΕ.ΤΕ. ΑΕ, και προσωπικά τον μηχανικό κ. Παντελή Αναγνωστάκη, για την βοήθεια που παρέσχε με τον τοπογραφικό εξοπλισμό για την ολοκλήρωση της αποτύπωσης του Ιερού Ναού.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπαλλήλους της Υπηρεσίας Δόμησης Χανίων για την πολύτιμη βοήθειά τους στην παροχή πληροφοριών.

Για την βοήθεια στην ανάλυση των δεδομένων και την υποστήριξή στο πεδίο, θέλω να ευχαριστήσω τον Τοπογράφο Μηχανικό Ραφαήλ Βασιλείου.

Προσωπικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέποντα καθηγήτρια μου κ. Τσουχλαράκη Ανδρονίκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την παρούσα διπλωματική εργασία.

Περίληψη

Στα Νότιο-Ανατολικά του Ακρωτηρίου Χανίων και σε απόσταση 15 χλμ. από την πόλη των Χανίων, σε υψόμετρο 170μ. σ' ένα πλάτωμα με εξαιρετική θέα προς τον κόλπο της Σούδας, εδώ και αιώνες είναι χτισμένο το κεφαλοχώρι που φέρει το όνομα Στέρνες. Εκείνο που προκαλεί εντύπωση σήμερα στο παραπάνω χωριό είναι ο μεγάλος αριθμός εκκλησιών.

Ο αριθμός είκοσι τέσσερα (20) είναι με τους μετριότερους υπολογισμούς, γιατί σε ένα μέρος που κατέχει σήμερα η Αμερικανική Βάση υπάρχουν κι άλλες που έχουν πρόσβαση μόνο κατά την ημέρα της εορτής.

Μία από αυτές είναι ο Ιερός Ναός του Χριστού Παντοκράτορα ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο του οικισμού. Όπως υποδειλώνει ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός της εκκλησίας, υπολογίζεται ότι έχει κτιστεί κατά την περίοδο της Ενετοκρατίας, δηλαδή πριν το 1637μ.Χ. (σύμφωνα με απογραφή του έτους).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιείται μια λεπτομερής τρισδιάστατη αποτύπωση των όψεων και της στέγης του ναού με την χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων και συμβατικών γεωδαιτικών μεθόδων. Για την αποτύπωση, έγινε χρήση UAV (drone), και φωτογραφικής μηχανικής (mirrorless) για την λήψη εναέριων και επίγειων φωτογραφιών αντίστοιχα, ώστε να γίνει ανακατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου και δημιουργία ορθομωσαϊκού της περιοχής. Επίσης, εξαιτίας της μικρής επιφάνειας της εκκλησίας έγινε αποτύπωση του εσωτερικού με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού καθώς η φωτογραμμετρική μέθοδος θα ήταν χρονοβόρα διαδικασία, τόσο στις εργασίες του πεδίου όσο και στην ανακατασκευή του μοντέλου από το λογισμικό.

Ορίζεται η αρχή λειτουργίας των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ περιγράφεται και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Στη συνέχεια περιγράφονται τα λειτουργικά προγράμματα με τα οποία έγινε η επεξεργασία των δεδομένων καθώς και τα τελικά σχέδια που προέκυψαν.

Τέλος μέσα από την μελέτη των αποτελεσμάτων εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα για την μέθοδο αποτύπωσης που έχει ακολουθηθεί.

Abstract

In the South-East of Akrotiri Chania and at a distance of 15 km from the city of Chania, at an altitude of 170m. on a plateau with an excellent view towards the gulf of Souda, for centuries the village named Sternes has been built. What is striking today in the above village is the large number of churches. The number is twenty-four (20) by the most modest calculations, because in a place that the American Base owns today there are more churches that are accessible only during holidays.

One of the churches is the Holy Temple of Christ Pantocrator which is located in the center of the village. As the architectural design of the church suggests, it is estimated to have been built during the period of the Venetian rule, that is, before 1637 AD. (according to the census of the year).

In this thesis, a detailed 3D mapping of the facades and roof of the church is carried out using photogrammetric methods and conventional geodetic methods. For the mapping, a UAV (drone) and photographic camera (mirrorless) were used to shot aerial and ground photographs respectively, in order to reconstruct a 3D model and create an orthomosaic of the area. Also, due to the small area of the church, the interior was mapped using a Total Station as the photogrammetric method would be a time-consuming process, both in the field work and in the reconstruction of the model by the software.

The principle of operation of the instruments used is defined, while the methodology followed is also described and also the operating process with which the data were processed by the software. Lastly, the final plans and orthophotos are presented.

Through the study of the results, the final conclusions are drawn for the surveying process that has been followed.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Ιστορικά στοιχεία	7
1.1 Συνοπτική περιγραφή του Οικισμού Στέρνες.....	7
1.2 Ιερός Ναός Χριστού Παντοκράτορα	8
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο	11
2.1 Εισαγωγή.....	11
2.2 Φωτογραμμετρία.....	11
2.3 Δομή από Κίνησης - Structure from Motion	13
2.3.1 Βασικές Αρχές	13
2.3.2 Κεντρική Προβολή – Pinhole Projection.....	13
2.3.3 Προσανατολισμός και Θέση της Κάμερας στον χώρο	14
2.3.4 Ψηφιακή Συνταύτιση Εικόνων.....	15
2.3.5 Ανακατασκευή μοντέλου από πολλές εικόνες	17
2.3.6 Προϊόντα Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας.....	17
2.3.7 Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM).....	18
2.3.8 Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DSM)	19
2.3.9 Ορθοφωτογραφία ή Ορθομωσαϊκό	20
2.3.10 Πυκνό Νέφος Σημείων - Dense Point Cloud	20
2.9 Τρισδιάστατο Φωτορεαλιστικό Μοντέλο (3D model).....	21
Κεφάλαιο 3: Εξοπλισμός, Μεθοδολογία και Λογισμικό.....	22
3.1 Δημιουργία τοπικού γεωδαιτικού δικτύου – ίδρυση στάσεων.....	22
3.1.1 Γεωδαιτικός Δέκτης GNSS, e-Survey E600	22
3.1.2 Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης/GNSS.....	22
3.1.3 Ακριβής Τοποθέτηση Σημείων – Precise Point Positioning (PPP).....	23
3.1.4 Δίκτυο μόνιμων σταθμών της GeoSense.....	23
3.2 Τοπογραφικές μετρήσεις με Γεωδαιτικό Σταθμό.....	24
3.2.1 Θεμελιώδη Προβλήματα της Γεωδαισίας.....	24
3.2.2 Τοπογραφική μέθοδος μετρήσεων	27
3.2.3 Γεωδαιτικός Σταθμός- Sanding Arc 10.....	29
3.3 Μη επανδρωμένα αεροσκάφη και Αεροτριγωνισμός	30
3.3.2 DJI Phantom 4 Pro	31
3.3.2 Φωτογραφική μηχανή Sony A6000.....	32
3.3.3 Σημεία Ελέγχου Εδάφους και Φωτοσταθερά	33
3.3.4 Λογισμικό Φωτογραμμετρικής Επεξεργασίας.....	33
Κεφάλαιο 4: Διαδικασία αποτύπωσης και επεξεργασία μετρήσεων	34

4.1 Μελέτη και Αναγνώριση της Περιοχής	34
4.2 Σχεδιασμός της πτήσης.....	34
4.3 Τοποθέτηση Φωτοσταθερών και Σημείων Ελέγχου Εδάφους και Γεωαναφορά	36
4.4 Αποτύπωση με χρήση Γεωδαιτικού Σταθμού	37
4.5 Λήψη Φωτογραφιών	37
4.4 Επεξεργασία Μετρήσεων	37
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα- Σχόλια.....	60
Βιβλιογραφία	61
Εικόνες	64
Πίνακες.....	65
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	66

Κεφάλαιο 1: Ιστορικά στοιχεία

1.1 Συνοπτική περιγραφή του Οικισμού Στέρνες

Ο οικισμός Στέρνες, ανήκει στην Δημοτική Ενότητα Ακρωτησίου, του Δήμου Χανίων, της Περιφερειακής Ενότητας Χανίων, της Περιφέρειας Κρήτης και βρίσκεται σε υψόμετρο 170m περίπου στο νοτιοανατολικό άκρο του Ακρωτηρίου. Απέχει 15km περίπου από την Πόλη το Χανίων, και συνδέεται με αυτήν μέσω ασφαλτωστρομένου οδικού δικτύου. Βόρεια του οικισμού, σε απόσταση μικρότερη των 2km υπάρχει το Διεθνές Αεροδρόμιο Χανίων «Ιωάννης Δασκαλογιάννης».

Ο πληθυσμός του οικισμού Στέρνες είναι 773 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2001. Η κύρια ενασχόληση των κατοίκων είναι η αγροκτηνοτροφία, καθώς παράγονται προϊόντα όπως λάδι, δημητριακά, όσπρια, κρασί, μέλι, και κτηνοτροφικά είδη. Επίσης, τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μια ιδιαίτερη άνθηση στον τουρισμό, λόγω της ευρύτερης τουριστικής ανάπτυξης της περιοχής.

Η ονομασία «Στέρνες», κάνει την εμφάνισή της από την εποχή της Ενετοκρατίας. Ο συγγραφέας Francesco Barozzi da Creta (1537-1604), αναφέρει τον οικισμό ως Cisternes Calaghades, ενώ ο Ιταλός χαρτογράφος Fransesco Basilicata ως Cisternes. Επίσης, ο Ενετός Piero Castrolilaca ή «Καστροφύλακας», σε απογραφή το 1583, καταγράφει τον οικισμό ως Cisterne με πληθυσμό 919 κατοίκους. Λέγεται ότι η ονομασία του χωριού οφείλεται στις πολλές παλιές στέρνες που είχαν σκαφτεί στο μαλακό ασβεστόλιθο που κυριαρχεί στην περιοχή.

Εκείνο που προκαλεί εντύπωση είναι ο μεγάλος αριθμός εκκλησιών. Στο κέντρο του οικισμού υπάρχουν εννιά (9) εκκλησίες (μία από αυτές είναι ερειπωμένη), ενώ σε ακτίνα μικρότερη του 1km συναντάμε ακόμα έντεκα (11). Στην πλειονότητά τους είναι ενοριακοί ναοί και ελάχιστα ιδιωτικοί.

Στην απογραφή των χωριών των Χανίων από τον Trivan το 1644 και στην απογραφή των ναών και των μονών της περιοχής Χανίων του 1637. Στη δεύτερη μάλιστα με δέκα οχτώ (18) καταχωρήσεις μικρών και μεγαλύτερων ναών στην περιφέρεια του χωριού, αριθμό που μόνο η πόλη των Χανίων είχε ξεπεράσει.

Η παράδοση αναφέρει:

«Τα χρόνια εκείνα υπήρχε στο Ακρωτήρι η πιο παλιά εκκλησία, που και σήμερα υπάρχει “Ο Μιχαήλ Αρχάγγελος” στη θέση Βόθωνας, όπου ακόμα φαίνονται ερείπια παλιού οικισμού με την ίδια ονομασία.»

Οι Ακρωτηριανοί συνήθιζαν κάθε χρόνο να κάνουν όλοι μαζί την Ανάσταση στον “Μιχαήλ Αρχάγγελο”.

Εκείνη τη χρονιά όμως οι Στερνιανοί καθυστέρησαν και όταν έφταναν ψηλά στον Αργουλιδέ χτυπούσε η καμπάνα της Ανάστασης.

Ένωσαν βέβαια μεγάλη “προσβολή”! Έκαμαν το σταυρό τους, ευχήθηκαν ο ένας στον άλλο κι έδωσαν όλοι μια υπόσχεση: Του χρόνου να ‘χουν δική τους εκκλησία!

Πήραν λένε από μια πέτρα κι όταν έφτασαν στο χωριό, στάθηκαν και πέταξαν τις πέτρες σε διαφορετική κατεύθυνση, εκεί όπου έπεσαν οι πέτρες έχτισαν εκκλησία...»

1.2 Ιερός Ναός Χριστού Παντοκράτορα



Φωτογραφία 1 – Δυτική όψη Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

Ο Ιερός Ναός του Παντοκράτορα, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο του οικισμού Στέρνες, ανήκει στην Μητρόπολη Κυδωνίας και Αποκορώνου.

Στην επίσημη ιστοσελίδα της Μητροπόλεως, καταγράφεται ότι είναι κατασκευασμένος τον 9^ο αιώνα μ.Χ., την Α' Βυζαντινή περίοδο. Σύμφωνα με άλλες αναφορές, λέγεται πως κτίστηκε κατά την Τουρκοκρατία, από δυο αδέρφια κρυπτοχριστιανούς που φανερά ήταν γενίτσαροι, τον Αντώνη και το Δημήτρη. Στην πραγματικότητα όμως, πρόκειται για κτίσμα της Ενετοκρατίας που αναφέρεται άλλωστε στην απογραφή του 1637. Αυτό αποδεικνύεται και από την αρχιτεκτονική του. Για χρόνια χρησιμοποιούνταν ως Κοινοτικό γραφείο και πριν από λίγα χρόνια αποκαταστάθηκε στην αρχική του μορφή απ' την Αρχαιολογική Υπηρεσία.

Όπως και η πλειοψηφία των ναών της περιοχής, ο Ο Ιερός Ναός του

Χριστού του Παντοκράτορα είναι μονόχωρος, με καμαροσκεπαστός με σφενδόνια και θύρωμα με υστερογοθτικής μορφής κόγχη στο υπέρθυρο (Φωτογραφία 1). Στη Νότια όψη (πλάγια) υπάρχει ένα μικρό παράθυρο, το ίδιο και στην Ανατολική (πλευρά του ιερού) (Φωτογραφία 2), ενώ στην Βόρεια όψη του ναού (Φωτογραφία 3), υπάρχει ένα μικρό θύρωμα.

Κατά την αποκατάσταση του ναού από την Αρχαιολογική Υπηρεσία Χανίων, έχει γίνει ανάδειξη των πέτρινων στοιχείων, γύρω από τα θυρώματα και τα παράθυρα, καθώς επίσης και στα αγκωνάρια (λίθους στις γωνίες του κτιρίου) (Φωτογραφία 4). Ο ναός έχει βαφτεί εξωτερικά στο χρώμα της ώχρας, ενώ εσωτερικά έχει χρώμα λευκό, χωρίς τοιχογραφίες. Στο εσωτερικό του είναι εμφανής η καμάρα με το οξύκορφο τόξο, σημάδι του αρχιτεκτονικού ρυθμού της εποχής της Ενετοκρατίας (Φωτογραφία 5), ενώ το δάπεδο έχει επικάλυψη από πέτρινες πλάκες.



Φωτογραφία 2 – Νότια και Δυτική όψη Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



Φωτογραφία 3 - Βόρεια όψη Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



Φωτογραφία 4 - Πέτρινα στοιχεία ιερού ναού



Φωτογραφία 5 - Εσωτερικό Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Εισαγωγή

Με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, έχει εμφανίσει ιδιαίτερη άνθηση ο τομέας της τρισδιάστατης μοντελοποίησης αντικειμένων του φυσικού χώρου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μια μεγάλη πληθώρα από επιστήμες και κλάδους επωφελούνται από την τεχνολογία αυτή και έτσι έχει στραφεί η προσοχή των ερευνητών στην ανάπτυξη νέων μεθόδων, πιο ευέλικτων, ταχύτερων και οικονομικότερων. Σε συνδιασμό λοιπόν με τα ισχυρά υπολογιστικά συστήματα που αναπτύχθηκαν, την βελτίωση της ποιότητας των ψηφιακών καμερών και με την ολοένα και πιο εύκολη πρόσβαση σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Unmanned Aerial Systems UAV ή drones), η Τεχνική Δομή από Κίνηση (Structure From Motion - SfM) και η τεχνική της Πυκνής Πολυεικονικής Στερεοσκοπικής Συνταύτισης (Multi View Stereo -MVS), έχει δώσει σήμερα λύσεις στα προβλήματα του κόστους, της ταχύτητας και της εξειδίκευσης των χρηστών, ώστε να παραχθούν τρισδιάστατα (3D) μοντέλα υψηλής ανάλυσης, μέσα σε λίγες ώρες, ακολουθώντας μερικούς απλούς κανόνες. Οι νέες αυτές τεχνικές και μέθοδοι, οφείλουν την ύπαρξη τους σε καινοτομίες και μοντέλα από τον κλάδο της Φωτογραμμετρίας.

Επομένως, η λεγόμενη κατ' επέκταση Ψηφιακή Φωτογραμμετρία έχει κυριαρχήσει στον τομέα των επίγειων αποτυπώσεων με εφαρμογές στην Αρχαιολογία, την Αρχιτεκτονική, τη Δασοκομία, την Κατασκευή και monitoring μεγάλων έργων, κ.α.

2.2 Φωτογραμμετρία

Φωτογραμμετρία η επιστήμη της πραγματοποίησης μετρήσεων από τις φωτογραφίες. Βασικός στόχος της επιστήμης της Φωτογραμμετρίας είναι η εξαγωγή τρισδιάστατης πληροφορίας από δύο εικόνες.

Βασικό παράδειγμα: Η απόσταση μεταξύ δύο σημείων που βρίσκονται σε ένα επίπεδο παράλληλο με το επίπεδο φωτογραφικής εικόνας μπορεί να προσδιοριστεί με μέτρηση της απόστασής τους στην εικόνα και στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας την μετρούμενη απόσταση από την παράμετρο κλίμακας. Εάν κάποιος θέλει να μετρήσει το μέγεθος ενός αντικείμενου, ας πούμε το μήκος, το πλάτος και το ύψος ενός σπιτιού, τότε κανονικά θα το κάνει αυτό απευθείας στο αντικείμενο. Ωστόσο, το σπίτι μπορεί να μην υπάρχει πια – π.χ. Καταστράφηκε, αλλά υπάρχουν κάποιες ιστορικές φωτογραφίες. Στη συνέχεια, εάν κάποιος μπορεί να καθορίσει την κλίμακα των φωτογραφιών, πρέπει να είναι δυνατό να λάβετε τα επιθυμητά δεδομένα.

Φυσικά μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει φωτογραφίες για να πάρει πληροφορίες σχετικά με αντικείμενα. Αυτό το είδος πληροφοριών είναι διαφορετικό. Έτσι, για παράδειγμα, μπορεί κανείς να λάβει ποιοτικά δεδομένα (π.χ. το σπίτι φαίνεται να είναι παλιό, οι τοίχοι είναι χρωματισμένοι ανοιχτό πράσινο) από την ερμηνεία των φωτογραφιών ή τα ποσοτικά δεδομένα όπως που αναφέρθηκε προηγουμένως (το σπίτι έχει επιφάνεια βάσης 10m x 14m) από τη φωτογραφική επιμέτρηση ή λάβει πληροφορίες πέρα από τις γνωστικές ικανότητες του ατόμου (π.χ. το σπίτι έχει στοιχεία κλασικού στυλ) και ούτω καθεξής.

Η φωτογραμμετρία παρέχει μεθόδους για τη λήψη ποσοτικών δεδομένων κυρίως. Όπως ήδη υποδεικνύει ο όρος, η φωτογραμμετρία μπορεί να οριστεί ως "επιστήμη της μέτρησης στις φωτογραφίες" και είναι παραδοσιακά μέρος της γεωδαισίας, που ανήκει στον τομέα της τηλεπισκόπησης (RS). Εάν κάποιος θα ήθελε να καθορίσει τις αποστάσεις, τις

επιφάνειες ή οτιδήποτε άλλο, βασικό είναι να αποκτήσουν συντεταγμένες τα σημεία (pixel) στη φωτογραφία από την οποία μπορεί κανείς να εξάγει έπειτα τα γεωμετρικά δεδομένα και να δημιουργήσει τρισδιάστατα μοντέλα και χάρτες.

Η θέση (x,y) ενός pixel σε μια ψηφιακή φωτογραφία είναι απλά ένα γεωμετρικό σημείο στο επίπεδο της εικόνας. Τα σημεία αυτά θα πρέπει να διακρίνονται έτσι ώστε να μπορούν να εντοπιστούν και να αντιστοιχιστούν σε διαφορετικές εικόνες. Κάθε pixel έχει την δική του ταυτότητα, η οποία είναι η ένταση του ή τα χαρακτηριστικά του. Ωστόσο, η ένταση αυτή είναι μια σύνθετη συνάρτηση πολλών παραμέτρων κατά τον σχηματισμό της εικόνας.

Ο στόχος είναι η αναγνώριση αυτών των διαφορετικών εικονοστοιχείων από τα χαρακτηριστικά του, φυσικά μαζί με τη γύρω περιοχή του και όχι μεμονωμένα.

Τα χαρακτηριστικά μιας εικόνας να χωριστούν σε τρία είδη:

- τα σημεία ενδιαφέροντος
- στις ακμές και
- στις περιοχές ενδιαφέροντος

Ακριβώς αυτή η αρχή, η λεγόμενη στερεοσκοπική προβολή, χρησιμοποιείται για να λάβει τρισδιάστατες πληροφορίες. Στη φωτογραμμετρία: Εάν υπάρχουν δύο (ή περισσότερες) φωτογραφίες του ίδιου αντικείμενου, αλλά λαμβάνονται από διαφορετικές θέσεις, μπορεί εύκολα να υπολογίσει τις τρισδιάστατες συντεταγμένες οποιουδήποτε σημείου που απεικονίζεται και στις δύο φωτογραφίες (δημιουργώντας τις εξισώσεις των ακτίνων που προέρχονται από προβολές εικόνων του σημείου στις φωτογραφίες που αναφέρονται και διέρχονται από το ίδιο το σημείο και μετά από αυτό τον υπολογισμό της διασταύρωσης τους).

Επομένως, το κύριο καθήκον της φωτογραμμετρίας θα μπορούσε να οριστεί με τον ακόλουθο τρόπο. Για οποιοδήποτε σημείο-αντικείμενο που αντιπροσωπεύεται-απεικονίζεται σε τουλάχιστον δύο φωτογραφίες, θα πρέπει να υπολογιστούν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες του. Εάν ολοκληρωθεί αυτή η εργασία, είναι δυνατόν να ψηφιοποιηθούν τα σημεία, γραμμές και περιοχές για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων, την παραγωγή χαρτών, τον υπολογισμό αποστάσεων, περιοχών, όγκων, και πολλά άλλα.

Τα χαρακτηριστικά σημεία μιας εικόνας είναι τα σημεία που προσδιορίζουν περιοχές με μεγάλη διακύμανση, δηλαδή περιοχές που είναι χρήσιμες κατά την συνταύτιση. Η συνταύτιση χαρακτηριστικών εκτελείται σε δυο στάδια. Το πρώτο στάδιο έχει να κάνει με την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της κάθε εικόνας ξεχωριστά και το δεύτερο αφορά την συνταύτιση των χαρακτηριστικών υπολογίζοντας ομοιότητες μεταξύ των ιδιοτήτων τους. Τα χαρακτηριστικά, στο πρώτο στάδιο, εξάγονται με την εφαρμογή σημειακών τελεστών ανίχνευσης (local / interest operators) και περιλαμβάνουν περιγραφικές ιδιότητες (attributes). Η κλίση της συνάρτησης έντασης του τόνου γύρω από τα σημεία είναι μια ιδιότητα που τα συνοδεύει κατά την εξαγωγή τους. Στο δεύτερο στάδιο όπου γίνεται η συνταύτιση χαρακτηριστικών, η αναζήτηση ομολογιών περιορίζεται σε δυο λίστες περιγραφικών χαρακτηριστικών και δεν γίνεται σε όλη την εικόνα. Αυτό φέρνει ως αποτέλεσμα την μεγάλη μείωση της πληροφορίας άρα και μείωση του απαιτούμενου χρόνου. Τα στάδια αυτά σχετίζονται μεταξύ τους λόγω του ότι η επιλογή των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους, συνδυάζονται έτσι ώστε στην συνέχεια να είναι εύκολη, γρήγορη και ακριβής η εύρεση των ομολογιών.

2.3 Δομή από Κίνησης - Structure from Motion

Ο όρος Structure from Motion (SfM), αναφέρεται στην φωτογραμμετρική τεχνική αναζήτησης τρισδιάστατων σημείων από ακολουθία δισδιάστατων φωτογραφιών οι οποίες έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις. Ενώ η κλασσική φωτογραμμετρία απαιτεί να γνωρίζουμε εκ των προτέρων τον εξωτερικό προσανατολισμού ή την τρισδιάστατη θέση φωτοσταθερών σημείων, η τεχνική αυτή με γνώση μόνο του εξωτερικού προσανατολισμού και της θέσης ενός σημείου επιτυγχάνει τη ανακατασκευή της γεωμετρίας της σκηνής (εμπροσθοτομία) και με γνώση της θέσης τουλάχιστον τριών φωτοσταθερών γίνεται ο υπολογισμός του εξωτερικού προσανατολισμού (οπισθοτομία). Ακόμα, με γνωστές τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών, των σημείων σύνδεσης των εικόνων, μπορεί να προσδιοριστεί ο ο εξωτερικός προσανατολισμός και οι συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης ταυτοχρόνως (αεροτριγωνισμός).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η τεχνική SfM, αυτό που απαιτεί να γνωρίζουμε για να πετύχει την ανακατασκευή της γεωμετρίας της σκηνής, είναι οι παράμετροι της κάμερας. Στη συνέχεια, μέσω μιας αλληλουχίας υπολογισμών, γίνεται η αυτόματη συνταύτιση σημείων σε πολλαπλές λήψεις. Τα σημεία συνταύτισης εντοπίζονται στις εικόνες δίνοντας μια αρχική εκτίμηση των παραμέτρων της μηχανής και της τρισδιάστατης θέσης των σημείων και έπειτα με την χρήση μεθόδων συνόρθωσης η εκτίμηση βελτιώνεται.

Το προϊόν αυτής της διαδικασίας είναι ένα αραιό νέφος σημείων, τα οποία. Σε αντίθεση με την κλασσική φωτογραμμετρία, δεν έχουν γνωστές συντεταγμένες και βρίσκονται σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς και άγνωστη κλίμακα. Απαιτείται λοιπόν να γίνει ο προσδιορισμός θέσης κάποιων εύκολα αναγνωρίσιμων σημείων του μοντέλου, με τη χρήση γεωδαιτικών μεθόδων. Τα σημεία αυτά ονομάζονται φωτοσταθερά και τοποθετούνται στην σκηνή πριν από την λήψη των φωτογραφιών. Έχοντας γνωστά τα σημεία αυτά, μπορεί να γίνει μετασχηματισμός σε οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς απαιτεί κάθε εφαρμογή.

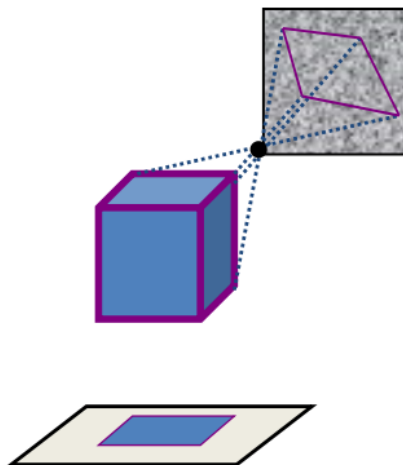
2.3.1 Βασικές Αρχές

Η περίπτωση ενός στερεοζεύγους είναι η πιο απλή που καλείται να αντιμετωπίσει η Ψηφιακή Φωτογραμμετρία. Για να γίνουν κατανοητές οι βασικές αρχές της μεθόδου, θα μελετηθεί το πως γίνεται η επίλυση δύο εικόνων και στη συνέχεια, πως μπορεί να εφαρμοστεί το ίδιο μοντέλο σε πολλαπλές εικόνες.

2.3.2 Κεντρική Προβολή – Pinhole Projection

Το μοντέλο της Κεντρικής Προβολής περιγράφει την μαθηματική σχέση του συστήματος κάμερας-αντικειμένου, κατά τη λήψη της φωτογραφίας. Δηλαδή, Οι δέσμες ακτίνων φωτός των σημείων μιας σκηνής, διέρχονται όλες από το κέντρο προβολής (pinhole) και προβάλλονται σε ένα επίπεδο προβολής (Εικόνα 1). Το μοντέλο αυτό όμως έχει ως δεδομένο μια ιδανική κάμερα, όπου το διάφραγμα της κάμερας περιγράφεται ως μια οπή χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο φακός. Αυτό σημαίνει ότι, τα σημεία που προβάλλονται στο επίπεδο έχουν παραμορφωθεί και το προϊόν αυτής της διαδικασίας είναι μια προσεγγιστική αποτύπωση της τρισδιάστατης σκηνής (3D) στο δισδιάστατο επίπεδο (2D).

Σημασία έχει λοιπόν να καθοριστούν οι μετασχηματισμοί που πρέπει να γίνουν για να προσδιοριστούν οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τα σημεία της σκηνής (3D) με τα σημεία στο επίπεδο (2D).



Εικόνα 1. Pinhole Projection

2.3.3 Προσανατολισμός και Θέση της Κάμερας στον χώρο

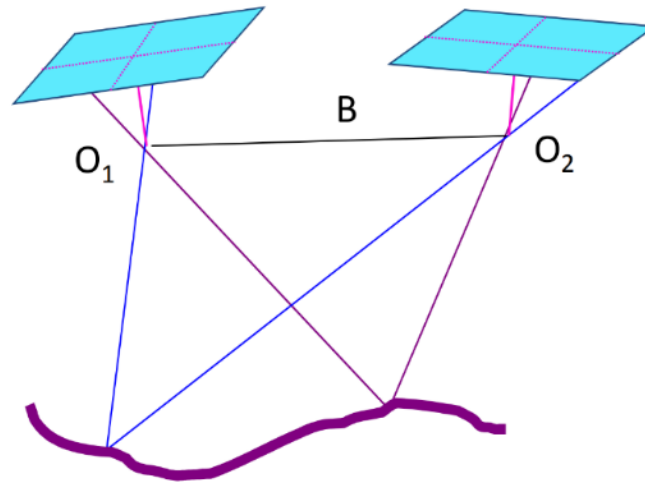
Εφόσον έχει γίνει η προβολή των σημείων της σκηνής στο δισδιάστατο επίπεδο, πρέπει να γίνει στη συνέχεια ο προσανατολισμός της κάμερας. Στη φωτογραμμετρία υπάρχουν δύο τύποι προσανατολισμού, ο εσωτερικός και ο εξωτερικός. Ο πρώτος αναφέρεται στην εσωτερική γεωμετρία της κάμερας, και ο δεύτερος στη σχέση μεταξύ του συστήματος συντεταγμένων της εικόνας και ενός επίγειου συστήματος αναφοράς (Πατιάς, Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία, 1991).

Ο εσωτερικός προσανατολισμός της εικόνας περιγράφει την πορεία των φωτεινών ακτίνων μέσα στην κάμερα κατά την λήψη της φωτογραφίας. Αυτό προϋποθέτει την γνώση των χαρακτηριστικών της κάμερας. Αυτά είναι:

- η εστιακή απόσταση c της μηχανής
- η παραμόρφωση των φακών
- η διακριτική ικανότητα των φακών
- η επιπεδότητα του εστιακού επιπέδου

Ο εξωτερικός προσανατολισμός της εικόνας, ορίζει τη θέση του κέντρου λήψης της κάμερας και την κατεύθυνση του οπτικού άξονα, πάνω στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Αποτελείται από έξι παραμέτρους, τρεις γεωδαιτικές συντεταγμένες X_0, Y_0, Z_0 , του σημείου λήψης στον χώρο, και τρεις στροφές αξόνων ω, ϕ, κ . Έτσι ορίζεται η διεύθυνση του άξονα λήψης και η στροφή της φωτογραφίας γύρω από του άξονες. Ο εξωτερικός προσανατολισμός για να επιτευχθεί χρησιμοποιεί δύο βασικές διαδικασίες της φωτογραμμετρίας, τον σχετικό και τον απόλυτο προσανατολισμό.

- Σχετικός προσανατολισμός είναι η διαδικασία με την οποία μπορεί να γίνει αναπαράσταση των φωτογραφικών λήψεων και βρεθεί η θέση και ο προσανατολισμός της κάμερας στον χώρο. Παρατηρώντας ένα στερεοζεύγος εικόνων, κάθε σημείο χώρου είναι τομή δύο ακτίνων που το ενώνουν με τα κέντρα προβολής. Η παρατήρηση αυτή βοηθάει στη δημιουργία ενός στερεοσκοπικού μοντέλου (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Δημιουργία στερεοσκοπικού μοντέλου

- Ο απόλυτος προσανατολισμός, είναι η διαδικασία με την οποία- το στερεοσκοπικό μοντέλο που δημιουργείται από την προηγούμενη διαδικασία- τοποθετείται σε πραγματική θέση, προσανατολισμό και κλίμακα στο χώρο, σύμφωνα με κάποιο σύστημα αναφοράς.

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων, χρησιμοποιείται μια κλασσική μέθοδος της γεωδαισίας, ο τριγωνισμός.

2.3.4 Ψηφιακή Συνταύτιση Εικόνων

Συνταύτιση ή matching είναι η διαδικασία του εντοπισμού και μέτρησης ομόλογων οντοτήτων σε δύο ή περισσότερα σύνολα, και στην περίπτωσή μας φωτογραφίες. Προφανώς, από μία μόνο φωτογραφία (δισδιάστατο επίπεδο) μπορεί κανείς να πάρει μόνο δισδιάστατες συντεταγμένες. Οι άνθρωποι είναι σε θέση να δουν αντικείμενα με χωρικό τρόπο, και με αυτό είναι σε θέση να εκτιμήσουν την απόσταση μεταξύ ενός αντικειμένου και των ίδιων. Αλλά πώς λειτουργεί; Στην πραγματικότητα, ο ανθρώπινος εγκέφαλος ανά πάσα στιγμή παίρνει δύο ελαφρώς διαφορετικές εικόνες που προκύπτουν από τις διαφορετικές θέσεις του αριστερού και του δεξιού μάτι και λόγω του γεγονότος της κεντρικής προοπτικής του ματιού.

Η ψηφιακή συνταύτιση εικόνων είναι μια πολύπλοκη και πολύπλευρη υπολογιστική διαδικασία και ανήκει στο ευρύτερο γνωστικό αντικείμενο της ψηφιακής συνταύτισης ανάμεσα σε οντότητες που μπορεί να είναι:

- βάσεις δεδομένων (αναζήτηση σε βάσεις δεδομένων σύνθετων αντικειμένων που περιγράφονται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους),
- τρισδιάστατα αντικείμενα (Atkinson, 1996, Bosemann and Sinnreich, 1994, Bosemann, 1996),
- εικονιστικά πρότυπα (Tsai and Tsai, 2002)
- γραφήματα σχέσεων (graph-schematic matching, Sonka et al., 2014,
- επιφάνειες (Malz et al., 1996),
- γραμμές, ακμές ή καμπύλες,

- εικόνες που στη γενική έκφραση σημαίνει συνταύτιση πληθώρας σημείων (ή άλλων χαρακτηριστικών) ανάμεσα σε δυο εικόνες και αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας εργασίας

Τα προβλήματα της εύρεσης ομολόγων σημείων που αντιμετωπίζονται κατά την συνταύτιση είναι (Sun et al., 2002).

- Ο θόρυβος, ψηφιακός ή φωτογραφικός
- Οι ομοιογενείς περιοχές
- Οι ασυνέχειες στη μεταβολή του βάθους
- Οι αόρατες περιοχές, δηλαδή περιοχές που είναι ορατές μόνο στην μία εικόνα. Συνήθως αποτελούν απόρροια του προηγούμενου.

Για την αποφυγή πιθανών σφαλμάτων κατά την συντάυτιση, οι κυριότερες παραδοχές που χρησιμοποιούνται ως δεσμεύσεις είναι οι εξής (Σκαρλάτος & Rona, 2012):

- *Ομοιότητα* των προς συνταύτιση οντοτήτων
- *Μοναδικότητα* των στοιχείων.
- *Συνέχεια επιφάνειας*
- *Διάταξη*
- *Επιπολική γεωμετρία*

Σήμερα η συνταύτιση και αναγνώριση των ομολογιών γίνεται αυτόματα από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αρχικά εντοπίζονται χαρακτηριστικά σημεία με συγκεκριμένες ιδιότητες. Τα σημεία μπορεί να αποτελούν είτε φυσικά και τεχνητά στοιχεία που βρίσκονται ήδη στο πεδίο, είτε στοιχεία που τοποθετούνται πριν τη λήψη των φωτογραφιών. Οι ιδιότητες όμως που πρέπει να έχουν είναι:

- Αμεταβλητότητα σε μετασχηματισμούς κλίμακας των εικόνων
- Αμεταβλητότητα σε μετασχηματισμούς στρέψης των εικόνων
- Αμεταβλητότητα στις αλλαγές φωτισμού των γειτονικών του περιοχών ή ολόκληρων των εικόνων

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται από τον υπολογιστή για τον αυτόματο εντοπισμό των χαρακτηριστικών σημείων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Τους αλγόριθμους εντοπισμού γωνιών. Οι πιο γνωστοί είναι του Harris & Stephens (Harris & Stephens, 1988) και του Canny (Canny, 1986).
2. Τους αλγόριθμους εντοπισμού σημείων ενδιαφέροντος. Ο αλγόριθμος SIFT (Scale – Invariant Feature Transform) που αναπτύχθηκε από τον David Lowe (1999) είναι ο πιο διαδεδομένος και αξιόπιστος. Λιγότερο γνωστοί είναι ο ASIFT (Yu & Morel, 2009) και ο SURF (Herbert et al., 2006).

Αφού εντοπιστούν και γίνει εξαγωγή των χαρακτηριστικών σημείων, πρέπει να ακολουθήσει η συνταύτιση των εικόνων, δηλαδή η αντιστοίχιση των σημείων μεταξύ των εικόνων. Για την διαδικασία αυτή υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται από τους υπολογιστές. Οι αλγόριθμοι Επιφανειακής Συνταύτισης ή Area Based Matching και οι αλγόριθμοι Συνταύτισης Χαρακτηριστικών ή Feature Based Matching.

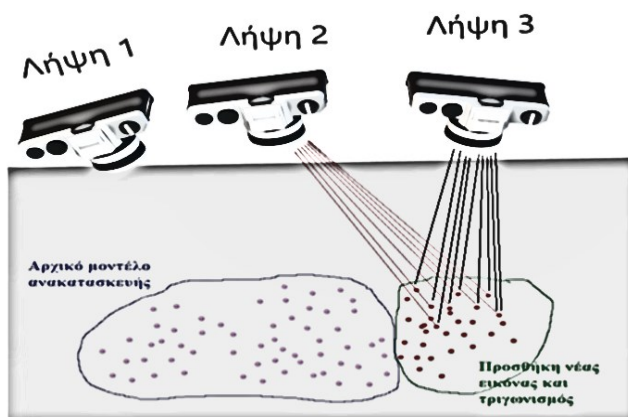
Τέλος, αφού ολοκληρωθεί και η διαδικασία της συνταύτισης των εικόνων, γίνεται γεωμετρική επαλήθευση των εικόνων ώστε να απορριφθούν οι λάθος ομολογίες. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι:

1. ο αλγόριθμος του Εγγύτερου Γείτονα (Argy et al., 1998), ο οποίος χρησιμοποιεί ευκλείδειες αποστάσεις των γειτονιών κάθε χαρακτηριστικού σημείου- pixel στις δύο εικόνες και
2. ο αλγόριθμος RANSAC (Fischler & Bolles, 1981), ο οποίος ακολουθεί, και μέσω μιας επαναλαμβανόμενης διαδικασίας έρχεται για να απορρίψει τις λανθασμένες αντιστοιχίσεις και να επαληθεύσει τις σωστές.

2.3.5 Ανακατασκευή μοντέλου από πολλές εικόνες

Παραπάνω έγινε μια συνοπτική αναφορά στον τρόπο επίλυσης ενός στερεοζεύγους. Στην παράγραφο αυτή θα γίνει επεξήγηση της διαδικασίας που ακολουθεί η τεχνική SfM για την ανακατασκευή ενός μοντέλου, μέσα από ένα πλήθος εικόνων.

Επιλέγεται αρχικά ένα στερεοζεύγος εικόνων, και δημιουργείται ένα αρχικό μοντέλο ανακατασκευής. Έπειτα, με την προσθήκη κάθε νέας εικόνας αυτό το μοντέλο ανανεώνεται. Η καταλληλότητα ενός στερεοζεύγους κρίνεται από το αν οι εικόνες θα μπορέσουν να συνδεθούν με αρκετά ομόλογα σημεία και η απόσταση των σημείων λήψης τους να μην είναι πολύ μικρές. Έτσι το πρόβλημα, μπορεί να επιλυθεί ως διεικονικό, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στις παραπάνω παραγράφους.



Εικόνα 2 - Ανακατασκευή από πολλές εικόνες

Εικόνα 2 - Ανακατασκευή από πολλές εικόνες

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις εικόνες, και στη συνέχεια εκτελείται μια ακόμα φορά κατά δέσμες για την βελτιστοποίηση του νέφους σημείων που προκύπτει (bundle adjustment).

2.3.6 Προϊόντα Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας

Με την χρήση των κατάλληλων λογισμικών που έχουν αναπτυχθεί (Colmap, Metashape, MicMac, κ.α.), στηριζόμενα στις αρχές της ψηφιακής φωτογραμμετρίας και στις τεχνικές της SfM και MVS, προσφέρεται η δυνατότητα στους χρήστες ακολουθώντας απλά αυτοματοποιημένα βήματα, να δημιουργήσουν μια πληθώρα προϊόντων.

Εικόνα 3 Διάγραμμα Ροής



Προϊόντα των λογισμικών αυτών είναι τα παρακάτω:

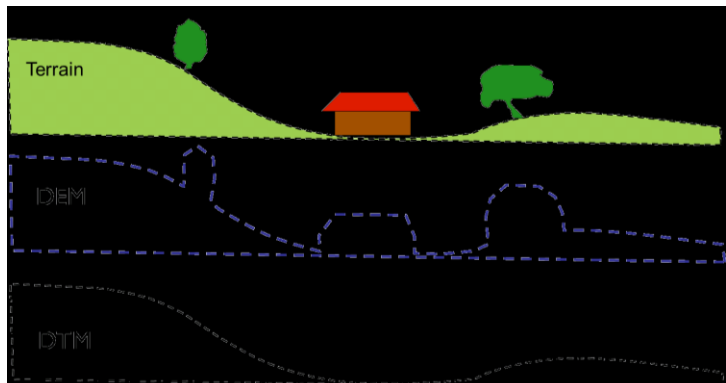
- Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο ή Digital Elevation Model- DEM
- Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας ή Digital Surface Model- DsM
- Ορθοφωτογραφία- Ορθομωσαϊκό
- Πυκνό νέφος σημείων ή Dense Point cloud
- Τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο

Τα 3D μοντέλα είναι προϊόντα της ανακατασκευής των σημείων ενός dense point cloud. Τα μοντέλα αυτά έχουν υφές και αποχρώσεις.

Τα εξαγόμενα προϊόντα αυτών των λογισμικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για μέτρηση αποστάσεων, επιφανειών, όγκων, υψομέτρων κ.α..

2.3.7 Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM)

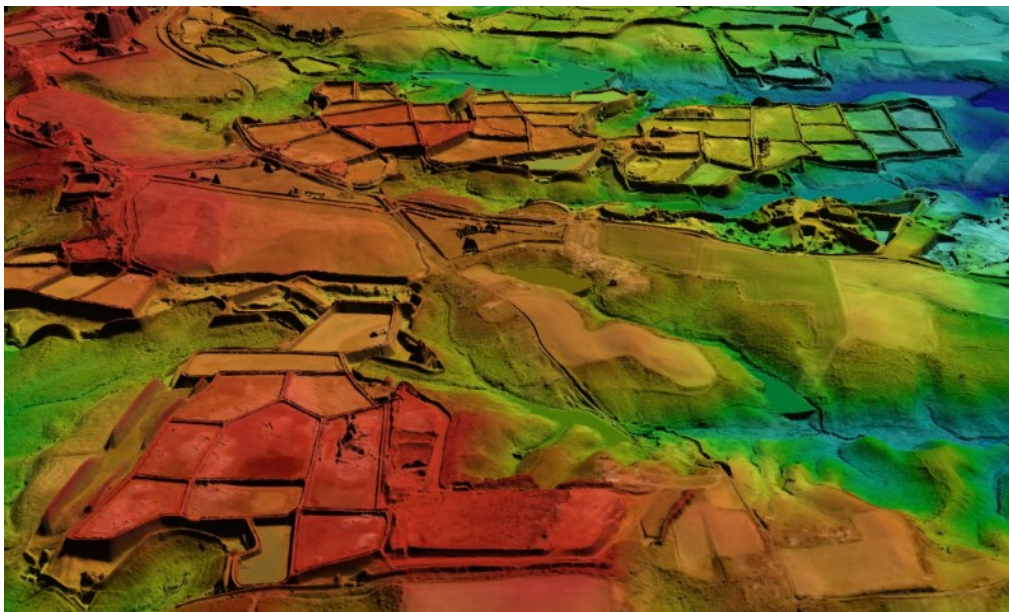
Το Ψηφιακό Υψομετρικό μοντέλο (DEM), είναι προϊόν της Φωτογραμμετρικής διαδικασίας και αναπαριστά υψόμετρα της επιφάνειας του εδάφους μέσω ενός συνόλου σημείων. Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως πρωτογενές δεδομένο ή για την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών. Πολλές φορές τα μοντέλα DEM συγχέονται με τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DTM), τα τελευταία όμως αντιπροσωπεύουν το ύψος μόνο του γυμνού εδάφους ενώ τα μοντέλα DEM λαμβάνουν υπόψη και τα ύψη όλων των αντικειμένων του εδάφους, όπως κτίρια και βλάστηση κλπ (Εικόνα 4)



Εικόνα 4 – Διαφορές Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους και Ψηφιακού μοντέλου Υψομέτρου

Η δημιουργία των DEM, βασίζεται σε αρχεία καταγραφών υψομέτρου της γήινης επιφάνειας. Οι καταγραφές αυτές μπορεί να αντιστοιχούν σε άμεσες καταγραφές από ενόργανες μετρήσεις, να προέρχονται από την φωτογραμμετρική ανάλυση σε στερεοζεύγη αεροφωτογραφιών, ή ακόμα και από παράγωγα δορυφορικής τηλεπισκόπησης.

Η αναπαράσταση του υψομέτρου γίνεται με διάφορους τρόπους-δομές. Η πιο συνιτισμένη είναι η ψηφιδωτή μορφή (raster grid), όπου κάθε pixel έχει υψομετρική πληροφορία. Η αξιοπιστία αυτής της δομής εξαρτάται από την διάσταση του pixel. Η άλλη δομή είναι τα Ακανόνιστα Τριγωνικά Δίκτυα (Triangular Irregular Networks – TINs), όπου ομάδες σημείων με υψομετρική πληροφορία, σχηματίζουν ακανόνιστα τρίγωνα (mesh) προκειμένου να αναπαραστήσουν την επιφάνεια του αντικειμένου ή επιφάνεια γης.

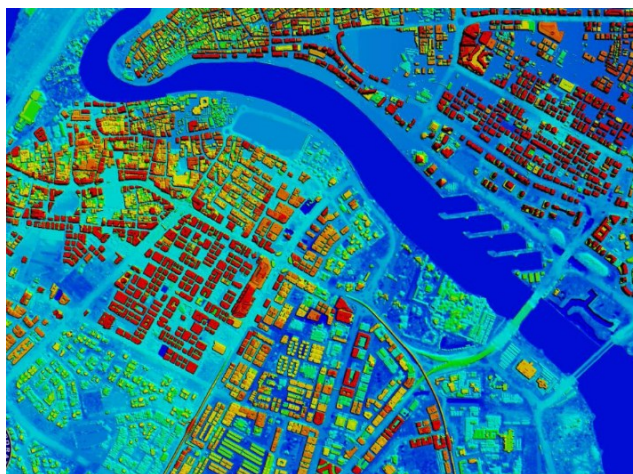


Εικόνα 5 - Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM)

Η δημιουργία ενός Ψηφιακού Υψομετρικού μοντέλου, γίνεται μέσω αυτοματοποιημένων υπολογιστικών διαδικασιών, με χρήση εξειδικευμένων λογισμικών. Ωστόσο, η αναπαράσταση συγκεκριμένων περιοχών (αστικές ή δασικές) ενδεχομένως να μην είναι ακριβής. Αυτό συνήθως οφείλεται στο θόρυβο των δεδομένων ή στα σφάλματα παρεμβολής και τελικά το μοντέλο διορθώνεται με την παρέμβαση του χρήστη.

2.3.8 Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DSM)

Το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας - DSM είναι μια τρισδιάστατη αναπαράσταση των υψών της επιφάνειας της γης, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών ή ανθρωπογενών αντικειμένων που βρίσκονται σε αυτή. Αντιπροσωπεύει τις υψομετρικές διαφορές των ανακλαστικών επιφανειών της βλάστησης, των κτιρίων και άλλων χαρακτηριστικών που υπερυψώνονται πάνω από το γυμνό έδαφος (Εικόνα 6). Επειδή τα DSM απεικονίζουν το γυμνό έδαφος και όλα τα υπέργεια χαρακτηριστικά του, είναι ιδιαίτερα σημαντικά στον πολεοδομικό σχεδιασμό. Τα τρισδιάστατα μοντέλα επιφανειών μπορούν να βοηθήσουν στην ανάλυση σύνθετων αστικών σεναρίων, ειδικά όταν οι δομημένες περιοχές αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου λόγω της αστικής επέκτασης.



Εικόνα 6 - Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας

2.3.9 Ορθοφωτογραφία ή Ορθομωσαϊκό

Μια αεροφωτογραφία γίνεται σύμφωνα με την αρχή της κεντρικής προβολής, που σημαίνει ότι συμβαίνουν ορισμένες γεωμετρικές παραμορφώσεις κατά τη μετατροπή του τρισδιάστατου κόσμου σε μια εικόνα 2D. Τα σημεία που βρίσκονται στην ίδια θέση ως προς τη θέση (οριζόντια), αλλά σε διαφορετικά ύψη, αντιστοιχίζονται σε διαφορετικές θέσεις στην εικόνα. Επιπλέον, τα αντικείμενα που είναι κοντά στην κάμερα τη στιγμή της λήψης της εικόνας εμφανίζονται με μεγαλύτερη κλίμακα από τα πιο μακρινά αντικείμενα. Αυτό σημαίνει ότι μια εικόνα αεροφωτογράφισης δεν βρίσκεται σωστά στο χώρο ως προς τη θέση της και ότι η εικόνα δεν διαθέτει ενοποιημένη κλίμακα. Στην ορθογραφική προβολή, οι ακτίνες προβολής κάθε σημείου είναι κάθετες σε ένα οριζόντιο επίπεδο αναφοράς που σημαίνει ότι το υψόμετρο κάθε σημείου δεν επηρεάζει την προβολική απεικόνισή της, άρα και ότι η κλίμακα στην εικόνα είναι συνεχής. Επομένως, οι μετρήσεις οριζόντιων αποστάσεων στις αεροφωτογραφίες δεν είναι σωστές. Οι παραμορφώσεις της αεροφωτογραφίας μπορούν να διορθωθούν με τη διαδικασία ορθοδιόρθωσης, η οποία μας δίνει ως τελικό προϊόν ένα ορθοφωτογραφικό μωσαϊκό.



Εικόνα 7 - Σφάλματα μιας κοινής Αεροφωτογραφίας σε σχέση με μια Ορθοφωτογραφία

Αυτό σημαίνει ότι, σε αντίθεση με μια αεροφωτογραφία, μια ορθοφωτογραφία μας επιτρέπει να μετράμε οριζόντιες αποστάσεις, επιτρέποντας τη διανυσματοποίηση των κτιρίων και, όταν χρησιμοποιείται μαζί με άλλα διανυσματικά στρώματα, εξασφαλίζει μια πιο σωστή αντιστοίχιση της πραγματικής θέσης.

2.3.10 Πυκνό Νέφος Σημείων - Dense Point Cloud

Το dense point cloud είναι μια συλλογή- νέφος από σημεία όπου το κάθε σημείο έχει το δικό του σύνολο συντεταγμένων X,Y,Z και μια συλλογή πολλαπλών σημείων. Τα νέφη σημείων ευθυγραμμίζονται με τρισδιάστατα μοντέλα ή με άλλα dense point cloud. Επίσης ένα dense point cloud μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρωτογενές δεδομένο και να μετατραπεί σε μοντέλα πλέγματος πολυγώνου ή τριγωνικού πλέγματος (mesh), μέσω μιας διαδικασίας γνωστή ως «ανακατασκευή επιφάνειας».

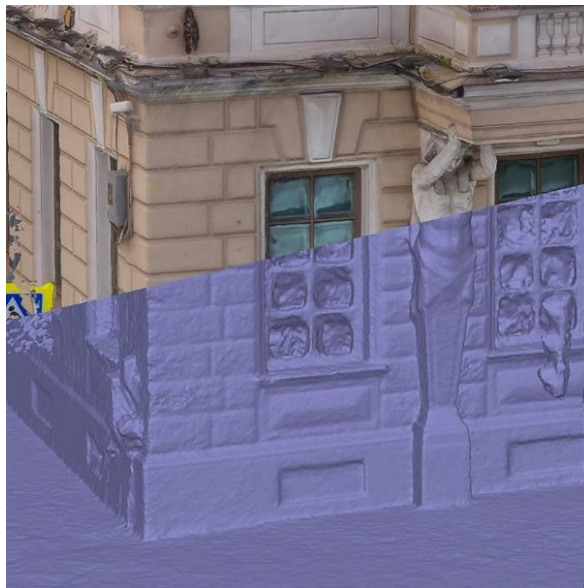


Εικόνα 8 - Αραιό νέφος σημείων (αριστερά) - Πυκνό νέφος σημείων (δεξιά)

Για την δημιουργία ενός πυκνού νέφους σημείων χρησιμοποιείται η τεχνική του Multi View Stereo – MVS. Η τεχνική MVS είναι συμπληρωματική της Structure from Motion - SfM, καθώς έχει ως είσοδο τις παραμέτρους τις κάμερας και του αραιού νέφους σημείων που εξάγονται από τον αλγόριθμο της SfM. Ο πιο δημοφιλής αλγόριθμος που χρησιμοποιείται, είναι ο CMVS–PMVS (Clustering MVS-Patch-Based MVS) (Furukawa et al., 2010), ο οποίος στην πραγματικότητα είναι συνδυασμός των αλγορίθμων, C-MVS και P-MVS.

2.9 Τρισδιάστατο Φωτορεαλιστικό Μοντέλο (3D model)

Ένα 3D model όπως και τα DEM-DTM-DSM, για την δημιουργία των δομικών στοιχείων τους, χρησιμοποιούν πολύγωνα (τρίγωνα ή τετράγωνα). Στην περίπτωση όμως ενός τρισδιάστατου μοντέλου, τα πολύγωνα αυτά έχουν ως κορυφές τα σημεία του πυκνού νέφους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το σύνολο των όψεων των σχημάτων παράγουν ένα συνεχές πλέγμα (mesh) το οποίο αποτελεί την επιφάνεια του πλέγματος του χώρου – αντικειμένου και στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις σειρές φωτογραφιών δημιουργείται ένας χάρτης υφής. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο της σκηνής.



Εικόνα 9 - 3D Model με υφές (πάνω) - χωρίς (κάτω)

Κεφάλαιο 3: Εξοπλισμός, Μεθοδολογία και Λογισμικό

Εφόσον έχει γίνει η θεωρητική προσέγγιση του προβλήματος, θα πρέπει να γίνει αναφορά, στον εξοπλισμό, την μεθοδολογία και το λογισμικό που απαιτείται για την διεξαγωγή μιας εναέριας φωτογραμμετρικής αποτύπωσης με μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα- drone.

3.1 Δημιουργία τοπικού γεωδαιτικού δικτύου – ίδρυση στάσεων

Σε αυτήν όπως και σε κάθε τοπογραφική εργασία είναι απαραίτητη η ίδρυση στάσεων, δηλαδή, η ίδρυση ενός τοπικού γεωδαιτικού δικτύου από το οποίο θα γίνουν οι μετρήσεις και θα εξαρτηθούν σε κάποιο γνωστό γεωδαιτικό σύστημα.

Το τοπικό αυτό δίκτυο, εξαρτήθηκε στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87), μέσω ενός Γεωδαιτικού Δέκτη GNSS, e-Survey E600 και οποίο χρησιμοποιεί το Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς της GeoSense για τον προσδιορισμό της θέσης του.

3.1.1 Γεωδαιτικός Δέκτης GNSS, e-Survey E600



Εικόνα 10 - Γεωδαιτικός Δέκτης, e-Survey E600

Ο Γεωδαιτικός Δέκτης E600 της e-Survey, είναι ένα σύγχρονο εργαλείο το οποίο χρησιμοποιεί το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (Global Navigation Satellite System, GNSS) και επομένως μπορεί να λάβει όλα τα δορυφορικά σήματα (GPS, GLONASS, BeiDou, κ.α.). Ο εξοπλισμός αυτός, τοποθετήθηκε πάνω σε μία τηλεσκοπική ράβδο 2,50m ώστε να μας δώσει την δυνατότητα για ακριβή εξάρτηση των στάσεων στο ΕΓΣΑ 87.

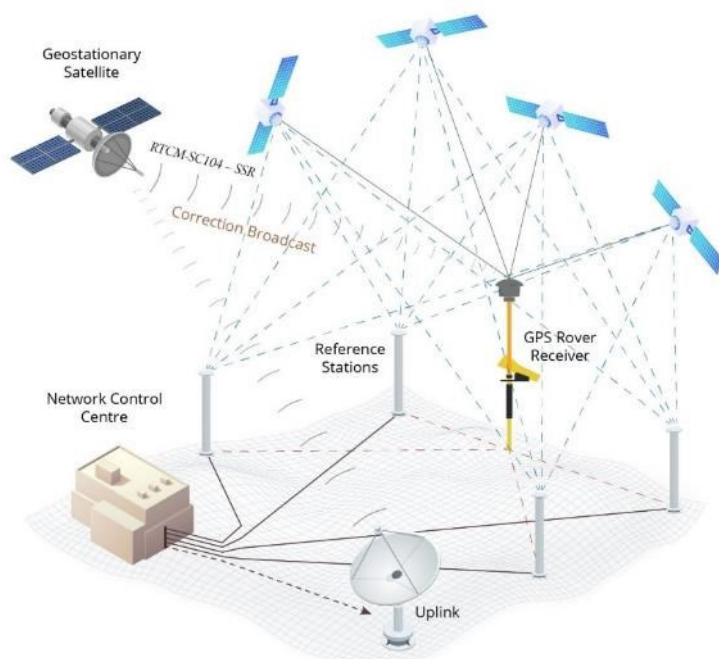
3.1.2 Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης/GNSS

Στον πυρήνα του, τα Global Navigation Satellite Systems (GNSS) είναι ένα σύστημα χρονισμού όπου όλα τα δορυφορικά ρολόγια συγχρονίζονται με ακρίβεια. Οι δορυφόροι GNSS εκπέμπουν κωδικοποιημένα σήματα σε ακριβείς χρόνους και ο δέκτης του χρήστη συλλέγει τα κωδικοποιημένα μηνύματα. Ο δέκτης υπολογίζει το χρόνο που χρειάζεται για να ταξιδέψει κάθε σήμα από τη δορυφορική κεραία GNSS στην κεραία του χρήστη. Μόλις υπολογιστεί ο χρόνος πτήσης, η απόσταση υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον χρόνο πτήσης με την ταχύτητα του φωτός για να φτάσει σε μια μέτρηση απόστασης σε μέτρα από κάθε δορυφόρο μέχρι την κεραία του χρήστη.

Οι δορυφόροι GNSS εκπέμπουν επίσης μηνύματα εφημερίας που επιτρέπουν στον δέκτη GNSS του χρήστη να προσδιορίζει τη θέση της κεραίας του δορυφόρου όταν εκπέμπεται το σήμα μέτρησης (σε καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z). Ο δέκτης πρέπει να μετρήσει τη χρονική καθυστέρηση (εύρος) από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους για να εκτιμήσει τη θέση της επίγεια κεραίας. Με τέσσερις μετρήσεις εύρους, ο δέκτης GNSS υπολογίζει τις συντεταγμένες των κεραιών X, Y, Z και T, τον χρόνο του δέκτη

3.1.3 Ακριβής Τοποθέτηση Σημείων – Precise Point Positioning (PPP)

Η Ακριβής Τοποθέτηση Σημείων είναι η τεχνική που χρησιμοποιείτε κατά κύριο λόγο σε κάθε Τοπογραφική Αποτύπωση. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί διορθώσεις στην τροχιά εκπομπής του δορυφόρου και στο ρολόι του δορυφόρου. Εκτός από τα δορυφορικά σφάλματα, το σήμα GNSS καθυστερεί ή προχωρά καθώς ταξιδεύει στην ατμόσφαιρα και πρέπει να διορθωθεί. Συνήθως, μια υπηρεσία διόρθωσης PPP εκπέμπει πληροφορίες που επιτρέπουν τον υπολογισμό μιας ιονοσφαιρικής διόρθωσης. Μια τροποσφαιρική διόρθωση



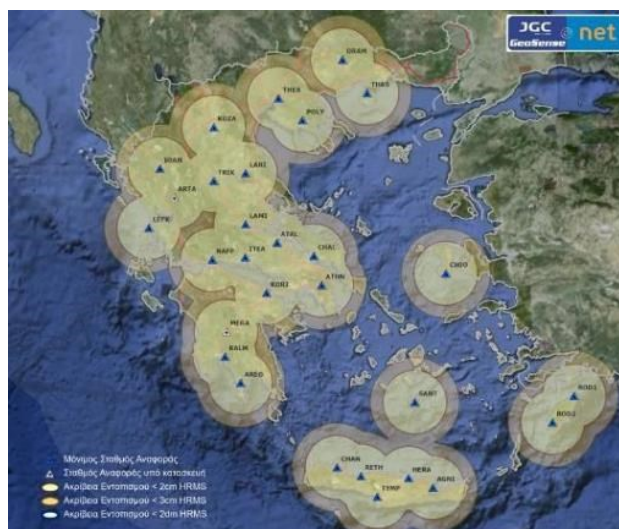
Σχήμα 2 - Σημειακός Εντοπισμός Ακρίβειας- Αρχιτεκτονική Συστήματος

εκτιμάται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο αναφοράς. Η PPP υψηλής ακρίβειας (cm έως dm) απαιτεί δέκτη και κεραία GNSS πολλαπλών συχνοτήτων υψηλής ακρίβειας. Η PPP υψηλής ακρίβειας συνήθως εκτιμά τις ιονόσφαιρες και τροποσφαιρικές καθυστερήσεις. Μια υπηρεσία διόρθωσης PPP αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία: επίγειους σταθμούς παρακολούθησης, λογισμικό ανάλυσης για τον υπολογισμό της τροχιάς, τις διορθώσεις ρολογιού και ιονόσφαιρας και μια μέθοδο διανομής των τροποποιήσεων στους

χρήστες (Σχήμα 2).

3.1.4 Δίκτυο μόνιμων σταθμών της GeoSense

Για την ακριβή τοποθέτηση των στάσεων στο Εθνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ 87 έγινε με χρήση του δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς της GeoSense. Η χρήση των υπηρεσιών του δικτύου αφορά κατόχους των δεκτών GPS/GNSS. Η GeoSense ίδρυσε το δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς GPS, GLONASS, SBASS L1 και SBAS L2 στην Ελλάδα το 2010. Με το δίκτυό της, έχει καλύψει όλο την Ελλάδα και έχει οριζοντιογραφική ακρίβεια Flying RTK $\approx 20\text{cm}$ (CEP) και σε πολλούς νομούς της χώρας ακρίβεια RTK 1-3cm.



Εικόνα 11 - Θέσεις μόνιμων σταθμών αναφοράς της GeoSense

3.2 Τοπογραφικές μετρήσεις με Γεωδαιτικό Σταθμό

Εφόσον έχει γίνει η ίδρυση των απαραίτητων στάσεων και η εξάρτησή τους στο κρατικό σύστημα συντεταγμένων, σειρά έχει η διενέργεια μετρήσεων με τον Γεωδαιτικό Σταθμό (Total Station). Η χρήση του είναι απαραίτητη καθώς θα πρέπει να μετρηθούν:

1. τα σημεία που θα ήταν δύσκολο να εντοπιστούν και να μετρηθούν χρησιμοποιώντας μόνο τις εναέριες φωτογραμμετρικές μεθόδους, και
2. τα φωτοσταθερά, που θα χρησιμοποιηθούν για την φωτογραμμετρική επίλυση του μοντέλου

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων πρέπει να γίνουν απολύτως κατανοητά από τον χρήστη τα θεμελιώδη προβλήματα της τοπογραφίας. Τα θεμελιώδη προβλήματα εντοπίζονται και εφαρμόζονται, σε όλες τις Τοπογραφικές αποτυπώσεις για τον προσδιορισμό σημείων πάνω στην επιφάνεια της γης. Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει δημιουργηθεί μια όδευση στο πεδίο, και γίνουν οι μετρήσεις και τέλος να γίνει η επίλυση της όδευσης.

3.2.1 Θεμελιώδη Προβλήματα της Γεωδαισίας

Στα πλαίσια των τοπογραφικών μετρήσεων στο ύπαιθρο, τα βασικά μεγέθη που μετράμε είναι μήκη, γωνίες και υψομετρικές διαφορές. Με τα παραπάνω μεγέθη, μπορεί να προσδιοριστεί η θέση ενός σημείου στο τρισδιάστατο χώρο. Ο προσδιορισμός της θέσης των σημείων στη Γεωδαισία αντιμετωπίζεται με την χρήση τριών θεμελιωδών προβλημάτων. Τα τρία θεμελιώδη προβλήματα της γεωδαισίας και οι συνδιασμοί τους, μας δίνουν τους βασικούς υπολογισμούς που πρέπει να γίνουν για τον προσδιορισμό της σχετικής θέσης σημείων της επιφάνειας του εδάφους.

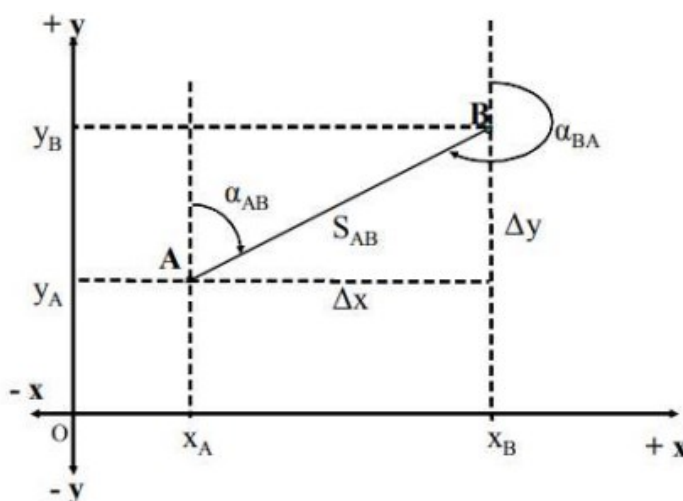
Πρώτο Θεμελιώδες Πρόβλημα

Έστω η πλευρά AB (S_{AB}) στο παρακάτω σχήμα. Η γωνία διεύθυνσής της (α_{AB}) ορίζεται ως η οριζόντια δεξιόστροφη γωνία κατά την οποία πρέπει να στραφεί η παράλληλη του θετικού ημιάξονα ΟΥ που περνάει από το Α για να συμπίψει με την πλευρά (AB).

Με γνωστά τις συντεταγμένες του σημείου A(x_A, y_A), την απόσταση S_{AB} και της γωνίας α_{AB} , μπορούμε να υπολογίσουμε τις συντεταγμένες του σημείου B, x_B και y_B .

$$y_B = y_A + S_{AB} * \cos \alpha_{AB}$$

$$x_B = x_A + S_{AB} * \sin \alpha_{AB}$$



Σχήμα 3 - Υπολογισμός συντεταγμένων του σημείου B

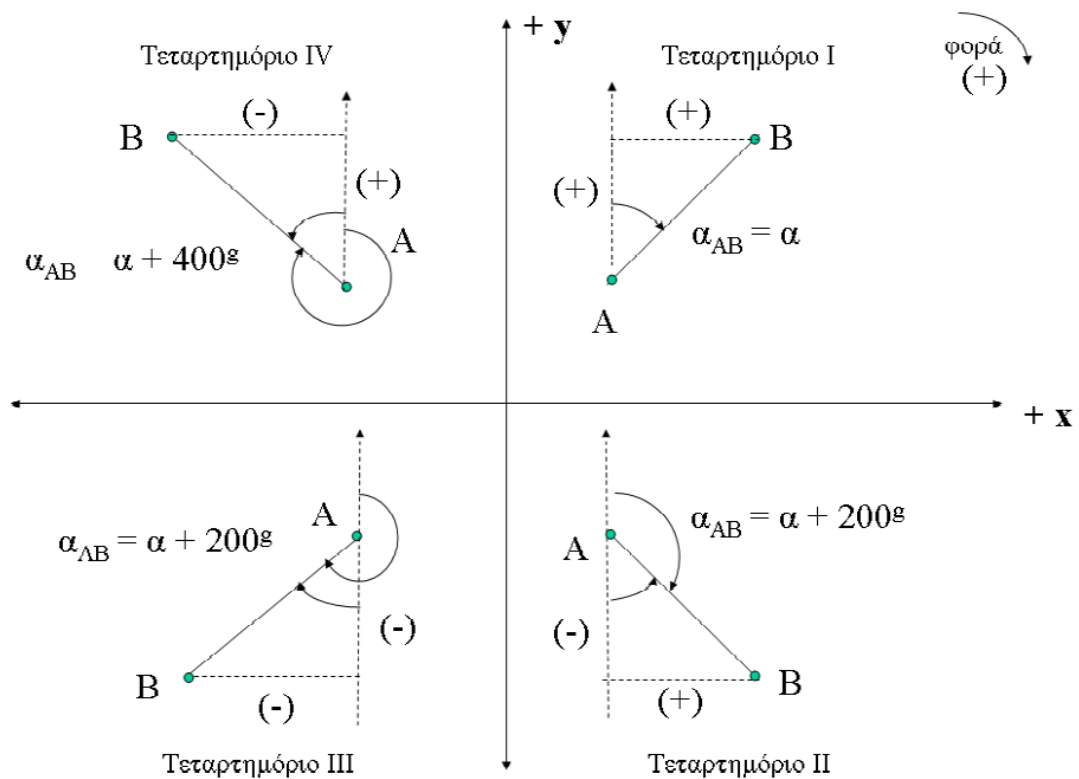
Δεύτερο Θεμελιώδες Πρόβλημα

Όταν έχουμε γνωστά δύο σημεία $A(x_A, y_A)$ και $B(x_B, y_B)$, μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ τους S_{AB} και την γωνία διεύθυνση α_{AB} που σχηματίζουν με τον κάθετο άξονα.

$$\tan \alpha_{AB} = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} \text{ ή } \alpha_{AB} = \arctan \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

$$S_{AB} = \frac{\Delta x}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{\Delta y}{\cos \alpha_{AB}} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

Η γωνία α_{AB} μπορεί να πάρει τιμές τεσσάρων γωνιών από $0^\circ - 400^\circ$. Ανάλογα με τα πρόσημα των Δx και Δy , εφαρμόζουμε τον κατάλληλο τύπο που προκύπτει από το Σχήμα 4 και Πίνακα 1.



Σχήμα 4 - Προσδιορισμός της γωνίας διεύθυνσης α_{AB} ως προς το τεταρτημόριο

Αν	$\frac{\Delta x}{\Delta y}$	$\frac{+}{+}$	τότε	$\alpha_{AB} = \alpha$
Αν	$\frac{\Delta x}{\Delta y}$	$\frac{+}{-}$	τότε	$\alpha_{AB} = 200^g + \alpha$
Αν	$\frac{\Delta x}{\Delta y}$	$\frac{-}{-}$	τότε	$\alpha_{AB} = 200^g + \alpha$
Αν	$\frac{\Delta x}{\Delta y}$	$\frac{-}{+}$	τότε	$\alpha_{AB} = 400^g + \alpha$

Επίσης

αν $\Delta y \geq 0$ τότε $\alpha_{AB} = 0^g$				
Αν $\Delta x = 0$	αν $\Delta y < 0$ τότε $\alpha_{AB} = 200^g$			
αν $\Delta x > 0$ τότε $\alpha_{AB} = 100^g$				
Αν $\Delta y = 0$	αν $\Delta x < 0$ τότε $\alpha_{AB} = 300^g$			

Πίνακας 1 - Διερεύνηση προσήμου για τον υπολογισμό της τιμής της γωνίας διεύθυνσης

Τρίτο Θεμελιώδες Πρόβλημα

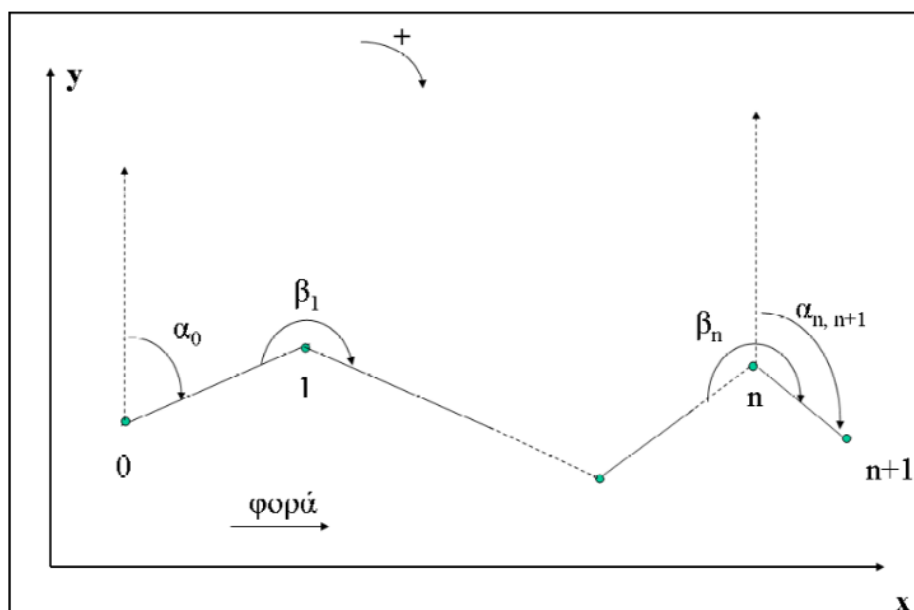
Ένα συχνό πρόβλημα στη Γεωδαισία είναι ο προσδιορισμός της θέσης διαδοχικών σημείων 0,1,2,...n. Τα σημεία αυτά ορίζουν μια τεθλασμένη γραμμή η οποία ονομάζεται όδευση (ή αλλιώς πολυγωνική όδευση). Η γωνία θλάσης β_i ορίζεται η οριζόντια δεξιόστροφη γωνία μεταξύ των πλευρών μιας τεθλασμένης γραμμής.

Όταν έχουμε ως δεδομένα την διεύθυνση α_{01} και μετρήσουμε τις γωνίες θλάσης β_i , μπορούμε να υπολογίσουμε τη γωνία διεύθυνσης $\alpha_{n,n+1}$ της πλευράς $S_{n,n+1}$. Η σχέση με την οποία υπολογίζεται η γωνία διεύθυνσης είναι:

$$\alpha_{n,n+1}^{\text{grad}} = \alpha_{01}^{\text{grad}} + \sum_{i=1}^n \beta_i + n \cdot 200^{\text{grad}} - (k \cdot 400^{\text{grad}})$$

Όπου $i=1,2,\dots,n$ και k = ακέραιος 0,1,2,...

Βασικό είναι, οι γωνίες θλάσης να είναι μετρημένες με την ίδια φορά, αλλιώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς η γωνία $400^g - \beta_i$.



Σχήμα 5 - Πολυγωνική Οδευση

3.2.2 Τοπογραφική μέθοδος μετρήσεων

Οι πολυγωνικές οδεύσεις είναι πολυγωνικές γραμμές (τεθλασμένες) στο έδαφος, αποτελούνται από κορυφές (σημεία) και έχουν μία αρχή και ένα τέλος. Ως αρχή, ορίζουμε την πρώτη στάση του οργάνου μέτρησης και τέλος τη τελευταία στάση. Ζητούμενο της πολυγωνικής οδευσης είναι ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των κορυφών της και η εξάρτησή τους σε κάποιο γνωστό σύστημα αναφοράς.

Υπάρχουν πολλά είδη οδεύσεων και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το σχήμα τους, το σύστημα συντεταγμένων που έχουν εξαρτηθεί οι κορυφές τους, την ποιότητα της εξάρτησης τους και την αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων των κορυφών τους.

Έτσι έχουμε:

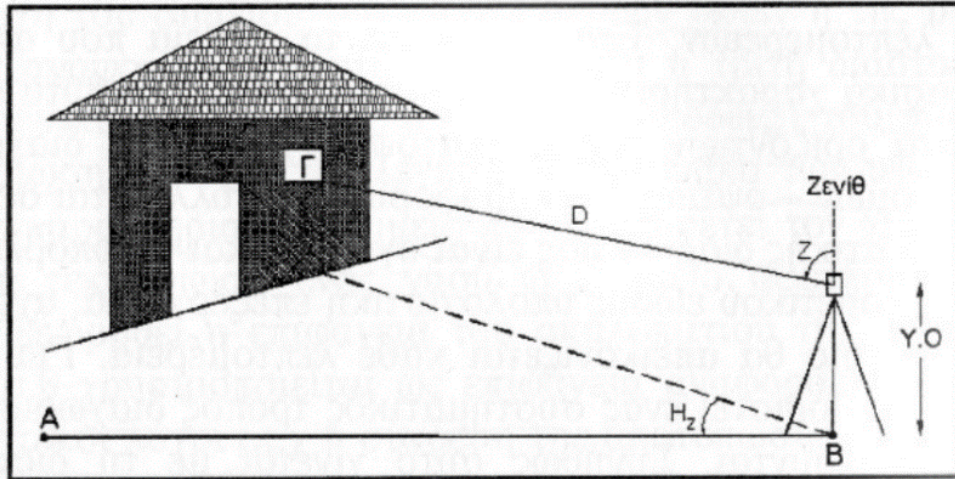
1. τις ανοιχτές πολυγωνικές οδεύσεις, αν το τέλος δεν συμπίπτει με την αρχή, και
2. τις κλειστές πολυγωνικές οδεύσεις, όταν το τέλος της οδευσης ταυτίζεται με την αρχή.
3. την εξαρτημένη πολυγωνική οδευση, όπου η οδευση εξαρτάται τουλάχιστον από ένα ζεύγος Τριγωνομετρικών σημείων,
4. την ανεξάρτητη πολυγωνική οδευση, όπου η οδευση δεν έχει κάποιο σταθερό σημείο, και
5. την πλήρως εξαρτημένη πολυγωνική οδευση, όταν αρχίζει και τελειώνει σε ζεύγη Τριγωνομετρικών σημείων

Η επιλογή της θέσης των κορυφών της οδευσης γίνεται σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

1. Οι κορυφές πρέπει να έχουν απόσταση μεταξύ τους αλλά όχι πολύ μεγάλη, σύμφωνα και με τους ελληνικούς κανονισμούς.
2. Κάθε κορυφή πρέπει να έχει οπτική επαφή με την προηγούμενη και επόμενη κορυφή.
3. Η θέση της κορυφής πρέπει να επιτρέπει την εύκολη και ασφαλή τοποθέτηση του οργάνου μέτρησης, για την διεξαγωγή των μετρήσεων.

4. Οι κορυφές θα πρέπει να έχουν οπτική επαφή με όσο το δυνατόν περισσότερα σημεία επιθυμούμε να αποτυπώσουμε.

Για την αποτύπωση των σημείων στο πεδίο μελέτης, χρησιμοποιείται η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων. Αυτή η μέθοδος, εφαρμόζεται όταν γίνεται άμεση μέτρηση του μήκους προς το σκοπευόμενο σημείο- αντικείμενο.



Εικόνα 12 - Μέθοδος πολικών συντεταγμένων (Συσκάκη, 2010)

Απαραίτητος εξοπλισμός για την διεξαγωγή αυτών των μετρήσεων είναι:

1. ένας ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός (Total Station)
2. ένας τρίποδας
3. ένα πρίσμα – ανακλαστήρας
4. μετροταινία

3.2.3 Γεωδαιτικός Σταθμός- Sanding Arc 10



Εικόνα 13 - Total Station, Sanding Arc 10

Ο γεωδαιτικός σταθμός Arc 10- R20 της Sanding (εικόνα 7), διαθέτει δύο οθόνες αφής 5 inch, ανάλυσης 720x1280, εύκολα αναγνώσιμες κάτω από τον ήλιο. Έχει την δυνατότητα μέτρησης με πρίσμα στα 5000m, ακρίβειας $\pm(2+2\text{ppm}\times D)\text{mm}$, με ταχύτητα μέτρησης 0,3s. Επίσης, μπορεί να κάνει μετρήσεις χωρίς πρίσμα (reflectorless) στα 2000m, ακρίβειας $\pm(3+2\text{ppm}\times D)\text{mm}$ και ταχύτητα μέτρησης από 0,3-3s. Μπορεί να πραγματοποιήσει μετρήσεις με ακρίβεια γωνίας 6cc (2"). Διαθέτει μικροεπεξεργαστή MT6753, οκταπύρινο, συγχρονισμένο στα 1,5Ghz και με μνήμη RAM είναι 3Gb. Το λογισμικό που χρησιμοποιεί είναι το android 6.0 και είναι εξοπλισμένο με την εφαρμογή Map Star. Έχει εσωτερική μνήμη 32Gb για την αποθήκευση δεδομένων.

Το λογισμικό επίλυσης που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των μετρήσεων είναι το Total Control της Recap Survey.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Sanding Arc 10-R20 είναι:

ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ	
Ακρίβεια μέτρησης	πρίσμα: 2mm +2ppm χωρίς πρίσμα: 3mm + 2ppm
Ατμοσφαιρικές διορθώσεις	Αυτόματα μέσω του T-P sensor
Σε ανακλαστικό στόχο (5x5cm)	1.5 μέτρα έως 2000 μέτρα
Σε πρίσμα	1.5 μέτρα έως 5000 μέτρα
Σταθερά πρίσματος	Χειροκίνητη εισαγωγή / αυτόματη διόρθωση
Ταχύτητα μέτρησης	Μέτρηση ακριβείας: 0.3 sec Γρήγορη μέτρηση: 0.1 sec
Χωρίς πρίσμα	2000m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	2"
Διάμετρος κύκλου	79mm
Ελάχιστη ανάγνωση (διακριτότητα)	0.5", 1", 5", 10" κατ'επιλογήν
Μέθοδος	Απόλυτη κωδικοποίηση
Σύστημα ανίχνευσης	2 πλευρές οριζόντια & 2 πλευρές κάθετα
Υποστήριξη μονάδων	360° / 400gon / 6400mil
ΟΘΟΝΗ	
Πληκτρολόγιο	Αριθμητικό
Τοποθέτηση	2
ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ	
USB (host & client)	2 θύρες USB για μεταφορά δεδομένων και διασύνδεση
Σειριακή θύρα RS-232C	Για διασύνδεση με συσκευές που δεν υποστηρίζουν USB
ΣΥΣΤΗΜΑ	
Laser pointer	Class IIIA
Κέντρωση laser	Class II
Λογισμικό	Map Star + Developer's SDK
Μορφή εξόδου	Map Star

ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Διάμετρος στόχου EDM	45mm 50mm
Είδωλο	Ορθό
Εύρος θέασης	1°30'
Μεγέθυνση	30x
Μήκος	154mm
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	
Λειτουργικό σύστημα	Android 6.0
RAM	3GB
Αποθηκευτικός χώρος	32GB
Μοντέλο επεξεργαστή	MT6753
Πυρήνες επεξεργαστή	8
ΟΘΟΝΗ	
Μέγεθος	5" ιντσών TFT LCD 720x1280
Τύπος	Έγχρωμη οθόνη αφής
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	
IP	IP55
Θερμοκρασία χρήσης	-20°C ~ +50°C
Θερμοκρασία συντήρησης	-25°C ~ +60°C
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ - ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ	
Bluetooth	Bluetooth 4.0
SD Card	TF Card
SIM	2G 900/1800 3G 2100/900 CDMA BC0 TDSCDMA A/F 4G LTE band1/3/7/38/39/40/41
USB Type-C	NAI
WiFi	Dual-Band Single Stream 802.11 a/b/g/n RF for Data Link
ΜΠΑΤΑΡΙΑ	
Παροχή ενέργειας	2 μπαταρίες λιθίου DC 7.4V

Πίνακας 2 - Τεχνικά χαρακτηριστικά Sanding Arc 10

3.3 Μη επανδρωμένα αεροσκάφη και Αεροτριγωνισμός

Μη επανδρωμένα αεροσκάφη (MEA) ή Unmanned Aircraft Vehicle, είναι κάθε είδους αεροσκάφος που λειτουργεί ή έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί αυτόνομα ή οδηγείται εξ αποστάσεως, χωρίς χειριστή επί του σκάφους. Τα MEA έχουν συνήθως τη μορφή μικρού αεροπλάνου ή ελικοπτέρου και η πτήση είναι πλήρως ελεγχόμενη με ειδικά προγράμματα ή χειριστήρια επί του εδάφους.

Τα MEA μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς. Μερικοί από αυτούς είναι:

- Λήψη αεροφωτογραφιών
- Στρατιωτικές επιχειρήσεις
- Διανομή προϊόντων και αγαθών σε απομακρυσμένες και μη, περιοχές
- Αγροκαλλιέργειες
- Παρακολούθηση
- Επιθεώρηση έργων

3.3.2 DJI Phantom 4 Pro

Το DJI Phantom 4 Pro της DJI είναι ένα drone το οποίο κυκλοφόρησε το 2016. Το βάρος του είναι 1380gr συμπεριλαμβανομένου της μπαταρίας και των ελικών. Η πτήση και ο έλεγχος της κάμερας γίνεται μέσω χειριστηρίου. Διαθέτει έναν ολοκληρωμένο φακό κάμερας με αισθητήρα 1" CMOS , 20-megapixel, με μεταβλητό διάφραγμα (μεταξύ F2.8 έως F11), μηχανικό κλείστρο, εύρος εστίασης από 1m έως το άπειρο και υποστηρίζει και αυτόματη εστίαση. Επίσης έχει δυνατότητα λήψης βίντεο έως και 4K (4096×2160) στα 60fps (σε κωδικοποίηση H.264). Η κάμερα είναι τοποθετημένη σε ένα υψηλής ακρίβειας gimbal 3 αξόνων που διατηρεί το βίντεο ομαλό και σταθερό, χωρίς κραδασμούς ή κινήσεις κατά την πτήση, ακόμη και σε πολύπλοκους ελιγμούς.

Χρησιμοποιεί μπαταρία λιθίου, ταχείας φόρτισης χωρητικότητας 5870 mAh και τάσης 15,2V με αποτέλεσμα να έχει μέγιστη διάρκεια πτήσης περίπου 30m (κάτω από ιδανικές συνθήκες) ενώ μπορεί να φορτιστεί πλήρως σε διάστημα μιας ώρας



Εικόνα 14 - DJI Phantom 4 Pro

Κυριότερο χαρακτηριστικό του DJI Phantom 4 Pro είναι η λειτουργία αυτόνομης πτήσης. Αυτό σημαίνει ότι το καθιστά ιδανικό για εργασίες εναέριας φωτογραμμετρικής αποτύπωσης καθώς δίνεται η δυνατότητα μέσω ειδικών λογισμικών (Pix4Dcapture, AirMap, Map Pilot Pro, Drone Deploy, κ.α.) να γίνει προγραμματισμός πτήσης για την λήψη φωτογραφιών ή βίντεο με στόχο την φωτογραμμετρική επεξεργασία.

Camera	
Sensor	1" CMOS
	Effective pixels: 20M
Lens	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 - f/11 auto focus at 1 m - ∞
ISO Range	Video:
	100 - 3200 (Auto)
	100 - 6400 (Manual)
	Photo:
	100 - 3200 (Auto)
Mechanical Shutter Speed	100- 12800 (Manual)
	8 - 1/2000 s
Electronic Shutter Speed	8 - 1/8000 s
Image Size	3:2 Aspect Ratio: 5472 × 3648
	4:3 Aspect Ratio: 4864 × 3648
	16:9 Aspect Ratio: 5472 × 3078
PIV Image Size	4096×2160(4096×2160 24/25/30/48/50p)
	3840×2160(3840×2160 24/25/30/48/50/60p)
	2720×1530(2720×1530 24/25/30/48/50/60p)
	1920×1080(1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p)
	1280×720(1280×720 24/25/30/48/50/60/120p)
Still Photography Modes	Single Shot
	Burst Shooting: 3/5/7/10/14 frames
	Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 bracketed frames at 0.7 EV Bias
	Interval: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Video Recording Modes	H.265
	H.264
Max Video Bitrate	100 Mbps
Supported File Systems	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Photo	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Video	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
Supported SD Cards	Micro SD
	Max Capacity: 128GB
	Write speed ≥15MB/s, Class 10 or UHS-1 rating required
Operating Temperature Range	32° to 104°F (0° to 40°C)

3.3.2 Φωτογραφική μηχανή Sony A6000

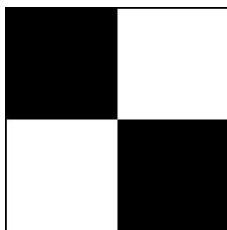
Η A600 της Sony είναι μια mirrorless κάμερα με αισθητήρα Exmor CMOS 24,3MP, τύπου APS-C(23,5x15,6mm). Ο επεξεργαστή BIONZ X αποτυπώνει υφές, μειώνει θολές λεπτομέρειες και περιορίζει τον οπτικό θόρυβο σε συγκεκριμένες περιοχές, για πιο καθαρές εικόνες σε φωτογραφίες και βίντεο. Η μηχανή χρησιμοποιεί την ίδια προτεραιότητα εντοπισμού φάσης για να διασφαλίσει γρήγορη εστίαση και ομαλή παρακολούθηση, για επαγγελματικά αποτελέσματα



Εικόνα 15 - Sony A6000

3.3.3 Σημεία Ελέγχου Εδάφους και Φωτοσταθερά

Τα Σημεία Ελέγχου Εδάφους ή Ground Control Points (GCPs) ή φωτοσταθερά είναι σημεία εδάφους με γνωστές συντεταγμένες που είναι εύκολα διακριτά σε φωτογραφίες από αεροσκάφη -UAV, από επίγειες λήψεις ή από τους δορυφόρους. Τα GCPs αποτυπώνονται σε κάποιο γνωστό δίκτυο συντεταγμένων ως προς τη θέση τους και προς το υψόμετρο τους. Τα σημεία ελέγχου εδάφους μπορεί να είναι οτιδήποτε μπορεί να αναγνωριστεί εύκολα στις εικόνες. Συνήθως μοιάζουν με ένα μικρό τμήμα σκακιάρας. Το σχήμα αφήνει πολύ μικρή ασάφεια σχετικά με το πού βρίσκεται το «σημείο» ενός σημείου ελέγχου εδάφους (Εικόνα 16).



Εικόνα 16 - Σημείο Ελέγχου Εδάφους

Σημεία Ελέγχου Εδάφους μπορούν να είναι και χαρακτηριστικά φυσικά σημεία ή σημεία που εντοπίζονται σε τεχνικές κατασκευές. Ο βασικός κανόνας είναι να έχουν χρώματα υψηλής αντίθεσης - γι' αυτό τα σημεία ελέγχου εδάφους είναι συνήθως ασπρόμαυρα - και να είναι αρκετά μεγάλα ώστε να αναγνωρίζονται από το συγκεκριμένο ύψος πτήσης. Απαιτούνται τουλάχιστον τρία GCPs για την κλίμακα, την περιστροφή και τον εντοπισμό του μοντέλου αλλά για το βέλτιστο αποτέλεσμα, προτείνεται η χρήση από 5 έως 10 GCPs, κατανεμημένα σε όλη την περιοχή που μελετάται. Επομένως, τα GCPs βοηθούν στην δημιουργία αξιόπιστου ορθοφωτοχάρτη και κάθε σημείο της εικόνας να αντιπροσωπεύει μια πραγματική τιμή συντεταγμένων.

3.3.4 Λογισμικό Φωτογραμμετρικής Επεξεργασίας

Το Metashape της Agisoft, γνωστό και ως PhotoScan είναι ένα πρόγραμμα για φωτογραμμετρική επεξεργασία των ψηφιακών εικόνων και την δημιουργία 3D χωρικών δεδομένων για την χρήση GIS εφαρμογών, καταγραφή χρήσεων γης, καταγραφή πολιτιστικής κληρονομιάς, παραγωγή «οπτικών εφέ» για έμμεσες μετρήσεις αντικειμένων σε διάφορες κλίμακες. Το λογισμικό επιτρέπει την επεξεργασία οπτικών (RGB) και πολυφασματικών εικόνων, οι οποίες μπορεί να προέρχονται τόσο από μονό δέκτη/φακό όσο και από σύστημα πολλαπλών δεκτών/φακών με μέγιστη ακρίβεια μέχρι 3cm (για εναέριες λήψεις) και μέχρι 1mm (για κοντινές λήψεις). Τα Παραγόμενα ψηφιακά προϊόντα είναι:

- Πυκνό νέφος σημείων (Dense Point Cloud),
- Πολυγωνικά μοντέλα με υφή (Textured Polygonal Models),
- Ορθομωσαικές εικόνες με Γεωαναφορά (Georeferenced True Orthomosaics),
- Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους ή Επιφανείας (DSMs/DTMs).

Τέλος, με τις διάφορες διαδικασίες μετ' επεξεργασίας (post-processing) και με την χρήση του εργαλείου είναι επίσης εφικτή η αφαίρεση σκιών και η ενίσχυση της υψής του ψηφιακού μοντέλου, ο υπολογισμός διαφόρων δεικτών βλάστησης (NDVI), η αυτόματη ταξινόμηση του νέφους σημείων κ.α.

Κεφάλαιο 4: Διαδικασία αποτύπωσης και επεξεργασία μετρήσεων

4.1 Μελέτη και Αναγνώριση της Περιοχής

Όπως από κάθε τοπογραφική εργασία, απαραίτητη η καλή γνώση του αντικειμένου και της περιοχής. Για την επίτευξη των παραπάνω εξετάζεται η λεπτομερής αναγνώριση της περιοχής. Αυτό επιτρέπει τον καλύτερο προγραμματισμό των εργασιών, την εκτίμηση του χρόνου διεξαγωγής τους, καθώς και της διαδικασίας που απαιτείται για τις μετρήσεις στο πεδίο. Στην περίπτωση μας, η διαδικασία της αναγνώρισης πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις, στο γραφείο και στο ύπαιθρο. Αρχικά έγινε προεπισκόπηση του αντικειμένου μελέτης και της ευρύτερης περιοχής μέσω του Google Earth. Επειδή όμως, το αντικείμενο μελέτης βρίσκεται εντός του οικισμού Στέρνες, και συγκεκριμένα σε κεντρικό σημείο όπου υπάρχουν παράγοντες που ενδέχεται να εμποδίσουν την διαδικασία της αποτύπωσης (αυτοκίνητα, δέντρα, κτίσματα, καλώδια κ.α.) (Φωτογραφία 6) και να κινδυνέψει η ακεραιότητα του εξοπλισμού, έπρεπε να γίνει αυτοψία στον χώρο ώστε να γίνει σωστός προγραμματισμός, να καταγραφούν οι κίνδυνοι, και να αποφευχθούν τα σφάλματα στην αποτύπωση. Επίσης, τοποθετήθηκαν σήμανσεις περιμετρικά του Ιερού Ναού, ώστε να μην σταθμεύσει κάποιο όχημα.

Μετά την αυτοψία αποφασίστηκε να γίνει εναέριες και επίγειες φωτογραφίες για την εξωτερική αποτύπωση του κτιρίου και χρήση γεωδαιτικού σταθμού για το εσωτερικό.



Φωτογραφία 6 - Παράγοντες που πιθανόν να εμποδίσουν στην αποτύπωση

4.2 Σχεδιασμός της πτήσης

Όταν πρόκειται για εναέρια φωτογράφιση που προορίζεται για φωτογραμμετρία, πρέπει να προγραμματιστεί η πτήση που θα εκτελέσει το drone. Θα πρέπει δηλαδή, μέσω ειδικού προγράμματος, να καθορίσουμε την διαδρομή που θα ακολουθήσει το drone, το ύψος στο οποίο θα πετάξει, και το χρονικό διάστημα (interval) μεταξύ των φωτογραφίσεων (επικάλυψη των φωτογραφιών), ώστε να επιτύχουμε την αλληλεπικάλυψη των φωτογραφιών, την γωνία λήψης τους, κ.α.. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό της πτήσης του drone είναι το «Drone Deploy», ενώ το drone- UAV είναι το DJI PHANTOM 4 Pro. Για την αποτύπωση αυτή, έπρεπε να γίνουν τρεις διαφορετικές πτήσεις.

Πρώτη πτήση

Με την πρώτη πτήση, έγινε λήψη φωτογραφιών της περιοχής με στόχο την δημιουργία ορθοφωτοχάρτη. Για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής αξιοπιστίας του αποτελέσματος η πτήση σχεδιάστηκε ως εξής:

1. Πτήσεις με κάθετους μεταξύ τους άξονες
2. Γωνία λήψης των φωτογραφιών -10°
3. Αλληληλοεπικαλύψεις των φωτογραφιών 70% ανά φωτογραφία και 40% ανά λωρίδα (strip)
4. Ύψος πτήσης στα 30m, πάνω από το σημείο της απογείωσης
5. Ταχύτητα πτήσης 2,10m/s

Στο σύνολο τους λήφθηκαν 54 φωτογραφίες

Δεύτερη πτήση

Η δεύτερη πτήση έγινε με στόχο τη λήψη φωτογραφιών για καλύτερη εικόνα στις όψεις του κτιρίου. Η πτήση έγινε ως εξής:

1. Πτήσεις με κάθετους μεταξύ τους άξονες
2. Γωνία λήψης των φωτογραφιών -30°
3. Αλληληλοεπικαλύψεις των φωτογραφιών 70% ανά φωτογραφία και 40% ανά λωρίδα (strip)
4. Ύψος πτήσης στα 20m, πάνω από το σημείο της απογείωσης
5. Ταχύτητα πτήσης 2,10m/s

Στο σύνολο τους λήφθηκαν 94 φωτογραφίες

Τρίτη πτήση

Η δεύτερη πτήση έγινε έχοντας κέντρο τον Ιερό Ναό. Η πτήση έγινε ως εξής:

1. Πτήση σε κυκλικό άξονα
2. Γωνία λήψης των φωτογραφιών -70°
3. Αλληληλοεπικαλύψεις των φωτογραφιών 70% ανά φωτογραφία
4. Ύψος πτήσης στα 10m, πάνω από το σημείο της απογείωσης
5. Ταχύτητα πτήσης 2,10m/s

Στο σύνολο τους λήφθηκαν 38 φωτογραφίες

4.3 Τοποθέτηση Φωτοσταθερών και Σημείων Ελέγχου Εδάφους και Γεωαναφορά

Πριν από την έναρξη των πτήσεων, τοποθετήθηκαν Σημεία Ελέγχου Εδάφους GCPs περιμετρικά της εκκλησίας. Στη συνέχεια, έγινε η γεωαναφορά των GCPs με την χρήση του Γεωδαιτικού Δέκτη GNSS, e-Survey E600 και ιδρύθηκε ένα τοπικό γεωδαιτικό δίκτυο όπου με την χρήση του Γεωδαιτικού Σταθμού της Sanding, Arc 10- R20 αποτυπώθηκαν τα φωτοσταθερά. Τα σημεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν τόσο για τον έλεγχο ακρίβειας, όσο και για την παραγωγή και γεωαναφορά του πυκνού νέφους σημείων (Dense Cloud) και του μοντέλου.

Name	X	Y	Z
gcp1	513018.568	3929470.608	170.375
gcp2	513018.918	3929472.385	170.383
gcp3	513019.816	3929473.701	170.396
gcp4	513019.072	3929478.621	170.44
gcp5	513014.962	3929479.444	170.271
gcp6	513013.536	3929481.371	170.451
gcp7	513010.755	3929481.066	170.073
gcp8	513008.102	3929477.704	169.939
gcp9	513005.226	3929475.948	169.935
gcp10	513004.882	3929473.832	169.944
gcp11	513006.425	3929473.308	169.992
gcp12	513010.204	3929472.042	170.174
gcp13	513013.95	3929471.343	170.288
point 1	513019.16	3929473.836	171.618
point 2	513018.117	3929471.391	173.532
point 3	513018.902	3929476.091	173.855
point 4	513018.631	3929476.495	173.625
point 5	513014.989	3929477.142	172.245
point 6	513009.634	3929478.089	174.191
point 7	513009.405	3929476.819	174.739
point 8	513009.069	3929474.972	172.073
point 9	513008.756	3929473.172	172.022
point 10	513009.174	3929472.747	174.325
point 11	513009.208	3929475.549	178.482
point 12	513017.893	3929471.352	173.758
point 13	513018.096	3929471.31	174.245

Πίνακας 3 - Συντεταγμένες GCPs και Φωτοσταθερών σε Σύστημα Συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87

4.4 Αποτύπωση με χρήση Γεωδαιτικού Σταθμού

Με την χρήση του Γεωδαιτικού Σταθμού έγινε αποτύπωση της ευρύτερης περιοχής του Ιερού Ναού καθώς επίσης και η εσωτερική αποτύπωση. Με την διαδικασία αυτή αποτυπώθηκαν πεζοδρόμια, κτίρια, δέντρα, ερειπωμένα κτίσματα, εσωτερικό ύψος της εκκλησίας, πάχη τοίχων κ.α.. Για την εσωτερική αποτύπωση της εκκλησίας, ιδρύθηκαν 3 στάσεις στο εσωτερικό, μία κοντά στην είσοδο, μία πριν το Ιερό, και μία μέσα στο Ιερό.

4.5 Λήψη Φωτογραφιών

Μετά από αυτήν την ολοκλήρωση των κλασσικών τοπογραφικών μεθόδων, έγιναν οι πτήσεις με το UAV–drone και συλλέχθηκαν οι φωτογραφίες.

Επίσης, έγινε λήψη επίγειων φωτογραφιών με την χρήση της Sony A6000, για έχουμε καλύτερο αποτέλεσμα στην ανακατασκευή του 3D μοντέλου. Η επίγειες λήψεις έγιναν χειροκίνητα, σε απόσταση 2 έως 3 μέτρων περιμετρικά του Ιερού Ναού.

Με τον τρόπο αυτό ολοκληρώθηκε η διαδικασία της αποτύπωσης στο πεδίο.

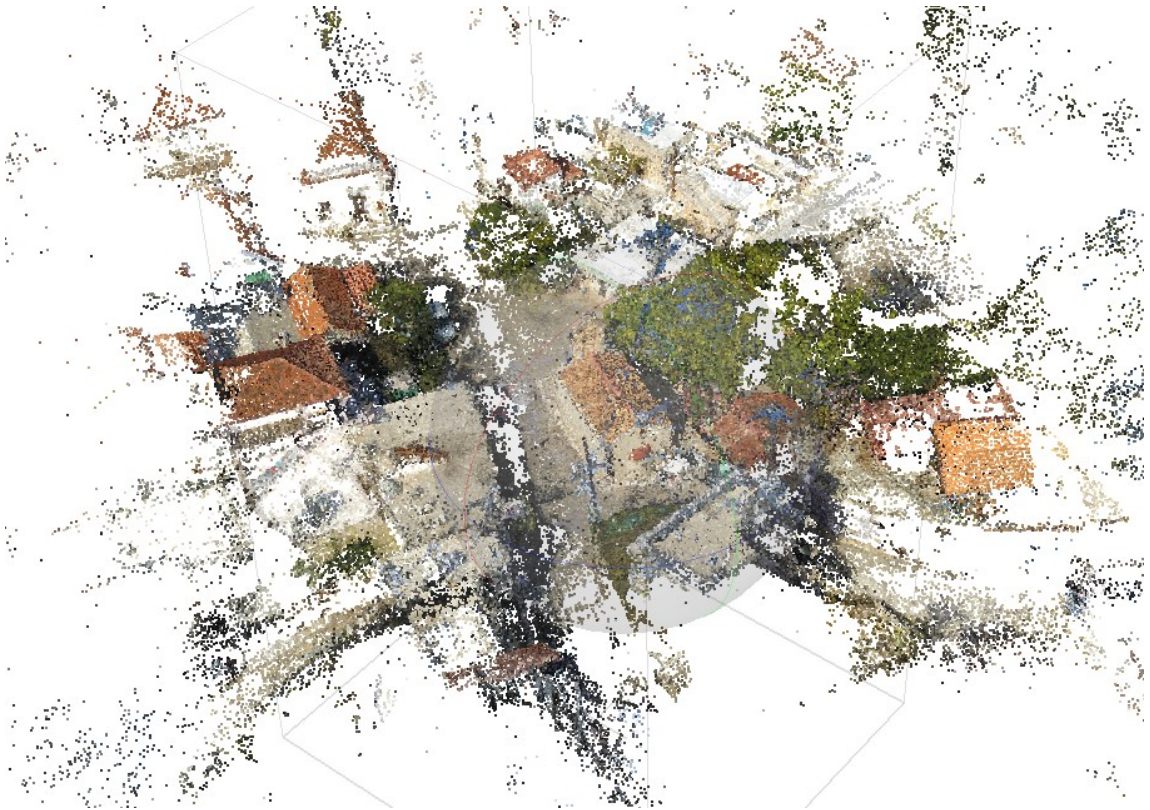
4.4 Επεξεργασία Μετρήσεων

Αρχικά εξάγουμε τις μετρήσεις που έγιναν με τον Γεωδαιτικό Δέκτη και το Total Station σε μορφή txt. Στη συνέχεια, με τη χρήση του επιλυτικού προγράμματος Total Control της e-Survey, εισάγουμε τα πρωτογενή δεδομένα και γίνεται αυτόματη επίλυση της όδευσης. Το προϊόν αυτής της διαδικασίας είναι, τα γεωαναφερμένα σημεία των GCPs, σε μορφή txt. Τα σημεία είναι πλέον έτοιμα να γίνουν εισαγωγή στο πρόγραμμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας Metashape ώστε να γεωαναφερθεί όλο το μοντέλο. Στις όψεις της εκκλησίας ως φωτοσταθερά, εντοπίζουμε τα σημεία που είναι ευδιάκριτα στις φωτογραφίες και τα στοχεύουμε στην κάθε φωτογραφία ξεχωριστά. Το σύνολο των φωτοσταθερών που εντοπίστηκαν στις όψεις ήταν 13, ενώ στο έδαφος εντοπίστηκαν άλλα 13.

Σειρά έχει φωτογραμμετρική επεξεργασία των φωτογραφιών. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η δημιουργία ορθοφωτογραφίας της περιοχής και η δημιουργία τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου του Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα.

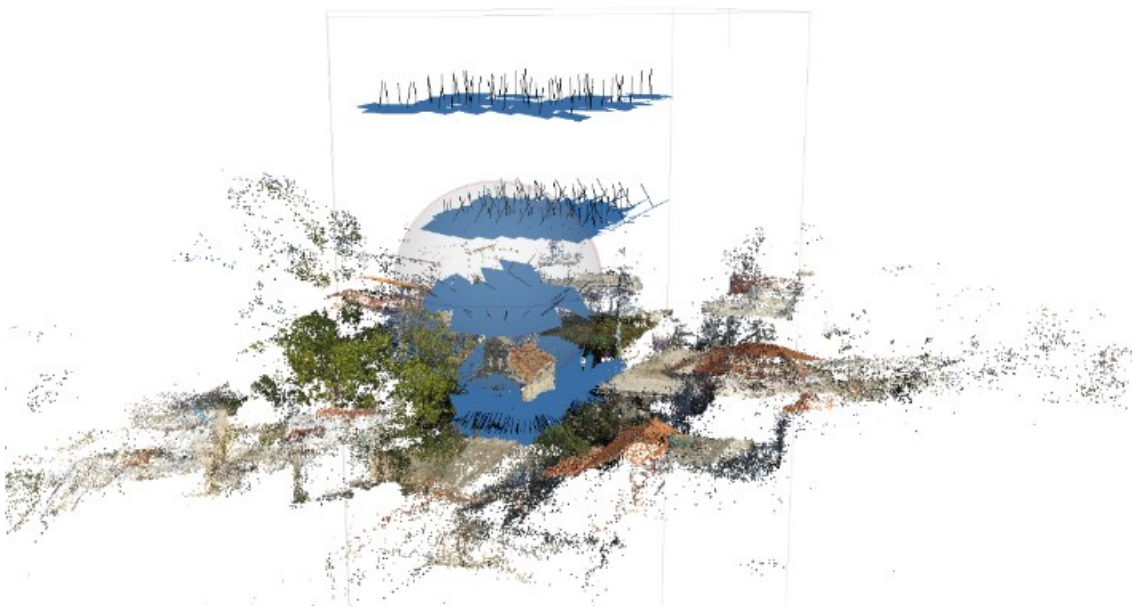
Αφού κάναμε μια προεπισκόπηση των φωτογραφιών -για να εντοπιστούν φωτογραφίες που δεν είχαν ληφθεί σωστά και έπρεπε να αφαιρεθούν- έγινε η εισαγωγή (import) τους στο πρόγραμμα Metashape. Το πρόγραμμα δίνει δυνατότητα επίλυσης πακέτων (block) φωτογραφιών και στη συνέχεια τη συνένωσή τους. Στην περίπτωση μας έγινε εισαγωγή των φωτογραφιών σε ένα πακέτο. Στη συνέχεια ακολούθησε μια αυτοματοποιημένη διαδικασία ως εξής:

1. Στο πρώτο στάδιο μέσω της διαδικασίας του εσωτερικού προσανατολισμού, προσδιορίζονται τα σημεία σύνδεσης (Φωτοσταθερά) μεταξύ των φωτογραφιών και γίνεται προσανατολισμός και τοποθέτηση των αεροφωτογραφιών στο τρισδιάστατο χώρο (Εικόνα 18). Στις όψεις της εκκλησίας ως φωτοσταθερά, εντοπίζουμε τα σημεία που είναι ευδιάκριτα στις φωτογραφίες και τα στοχεύουμε στην κάθε φωτογραφία ξεχωριστά. Το σύνολο των φωτοσταθερών που εντοπίστηκαν στις όψεις ήταν 13, ενώ στο έδαφος εντοπίστηκαν άλλα 13. Στη συνέχεια με την διαδικασία του Αεροτριγωνισμού, δημιουργείται ένα αραιό νέφος σημείων (sparse point cloud) (Εικόνα 19).



Εικόνα 17 - Sparse Point Cloud - Αραιό Νέφος Σημείων

Προσοχή! Θα πρέπει να βεβαιωθούμε στο στάδιο αυτό αν έχει εφαρμοστεί σωστά ο εσωτερικός προσανατολισμός. Αν όχι, θα πρέπει να μαρκάρουμε περισσότερα φωτοσταθερά στις φωτογραφίες. Αυτό είναι ένα από τα πιο χρονοβόρα βήματα όλης της μεθοδολογίας. Για να το αποφύγουμε αυτό, θα πρέπει να έχει γίνει πολύ καλή προετοιμασία στο πεδίο και οι στόχοι να είναι ευκρινείς στις φωτογραφίες ώστε να μπορούν να αναγνωριστούν εύκολα.



Εικόνα 18 - Θέσεις Φωτογραφιών στο χώρο

2. Το επόμενο στάδιο που ακολουθεί είναι η δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων (dense point cloud). Ο χρόνος που χρειάστηκε για την δημιουργία του είναι 45m και 4s και αποτελείται απο 3.824.882 σημεία. Μόλις ολοκληρωθεί αυτό το στάδιο, θα μοιάζει σαν ένα ολοκληρωμένο μοντέλο, αλλά αν κάνετε μεγέθυνση, θα δούμε χιλιάδες μεμονωμένα σημεία (Εικόνα 199 & Εικόνα 20).

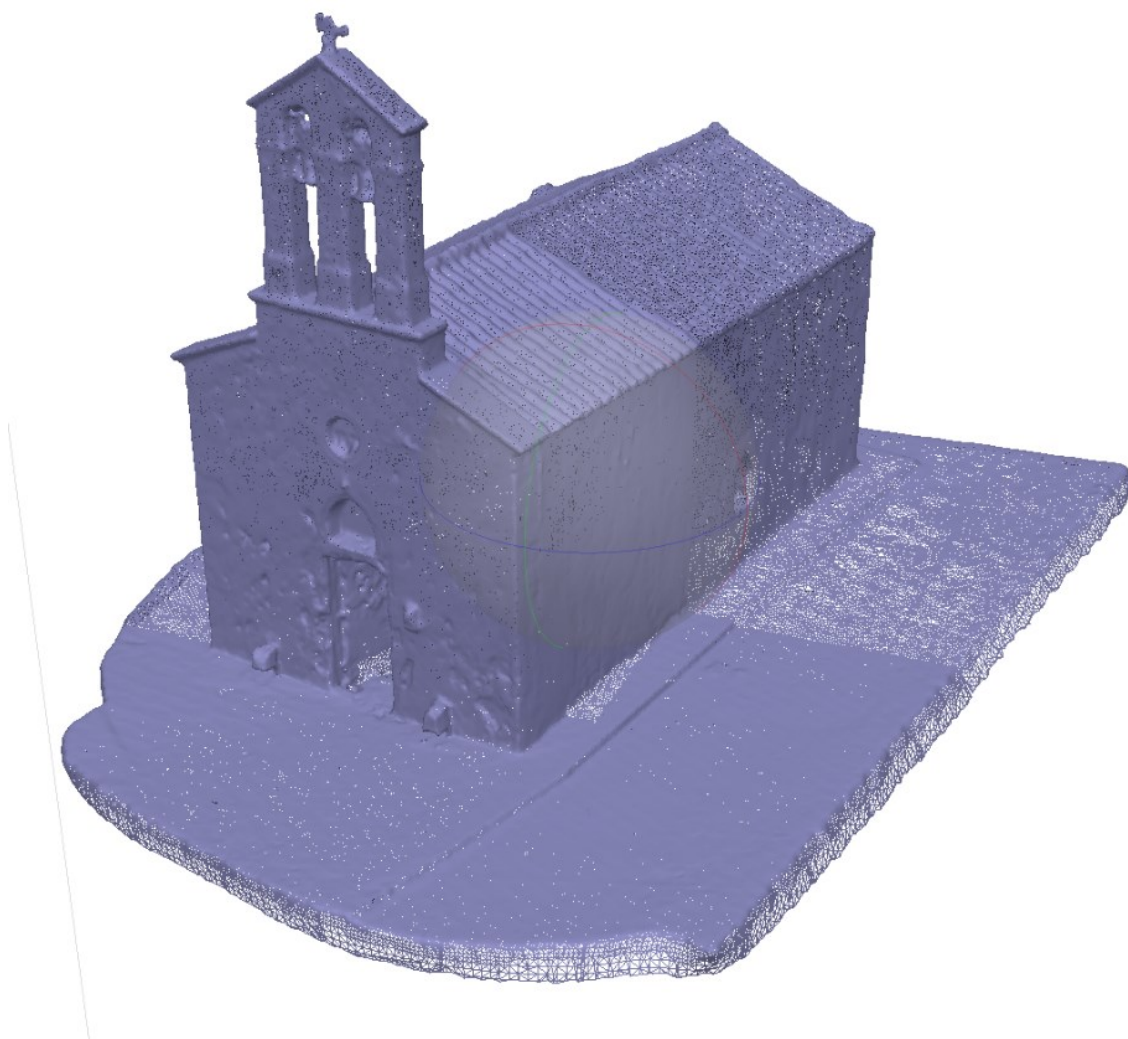


Εικόνα 19 - Dense Point Cloud



Εικόνα 20 - Dense Point Cloud σε μεγέθυνση

3. Στο τρίτο στάδιο γίνεται η ανακατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου. Αρχικά δημιουργείται ένα τρισδιάστατο πολυγωνικό πλέγμα (mesh) το οποίο αναπαριστά την επιφάνεια το κτιρίου. Στη συνέχεια έγινε ο «καθαρισμός» του πλέγματος, δηλαδή αφαιρέθηκαν σημεία περιοχές με τυχών θόρυβο και απομονωμένα τμήματα (Εικόνα 21)



Εικόνα 21 - Τρισδιάστατο Πολυγωνικό Πλέγμα Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

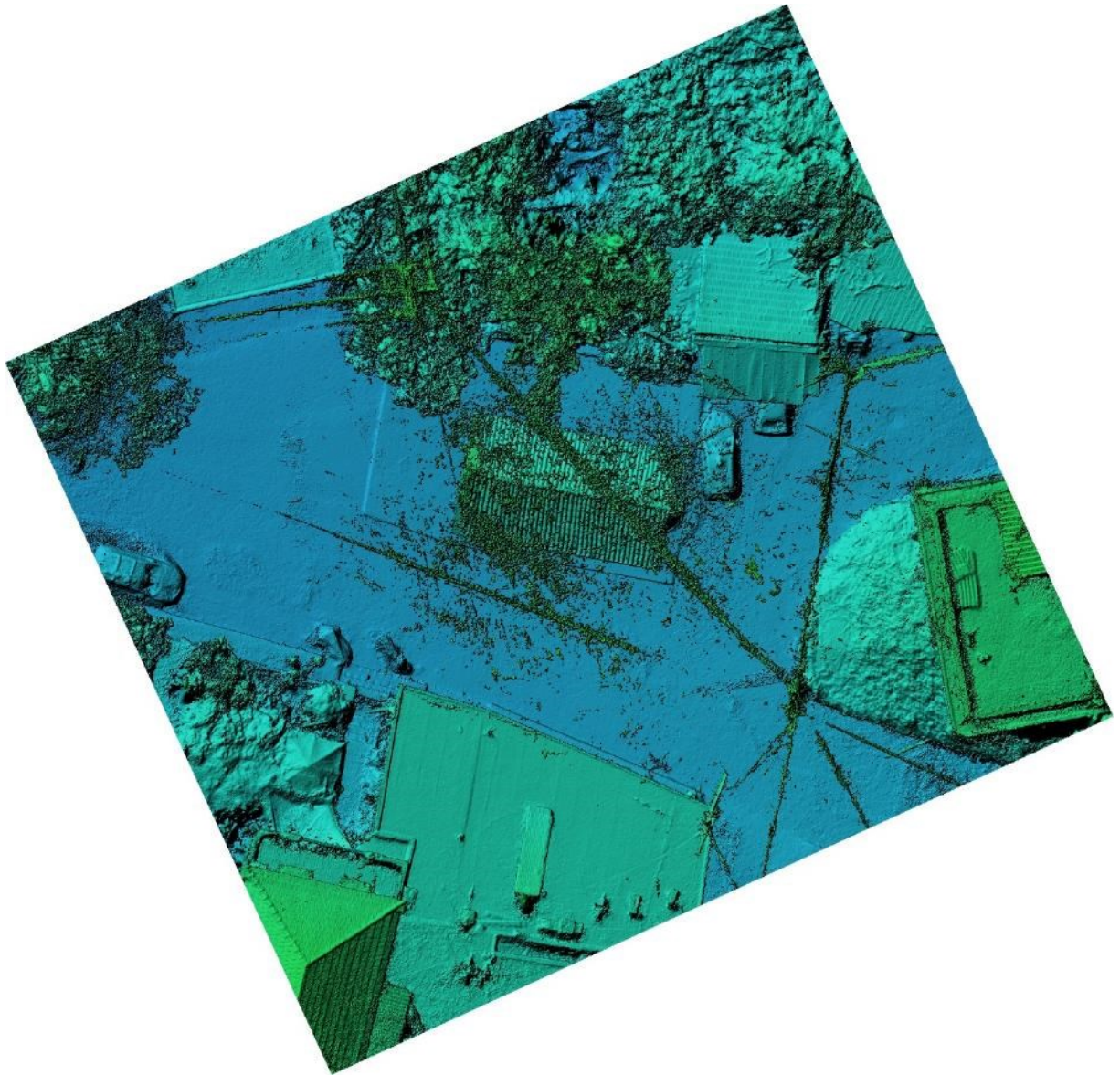
Η ανακατασκευή διήρκησε 14min 42sec και δημιουργήθηκαν 516.818 τρίγωνα από τα οποία αποτελείτε το πλέγμα.

4. Αμέσως μετά δημιουργούμε την υφή (texture) του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή δημιουργεί μια υφή που βασίζεται σε ανάλυση των φωτογραφιών που έχουν φορτωθεί. Έτσι λοιπόν έχουμε πλέον ένα νέο φωτορεαλιστικό μοντέλο με πολύ υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας σε σχέση με τον χρωματισμό του προηγούμενου μοντέλου (Εικόνα 22)



Εικόνα 22 - Τρισδιάστατο Μοντέλο Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα - Οπτικές

5. Για την δημιουργία της ορθοεικόνας θα πρέπει πρώτα να κατασκευάσουμε το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο- DEM (Εικόνα 23). Ως βάση θα χρησιμοποιήσουμε το πυκνό νέφος σημείων (dense point cloud).

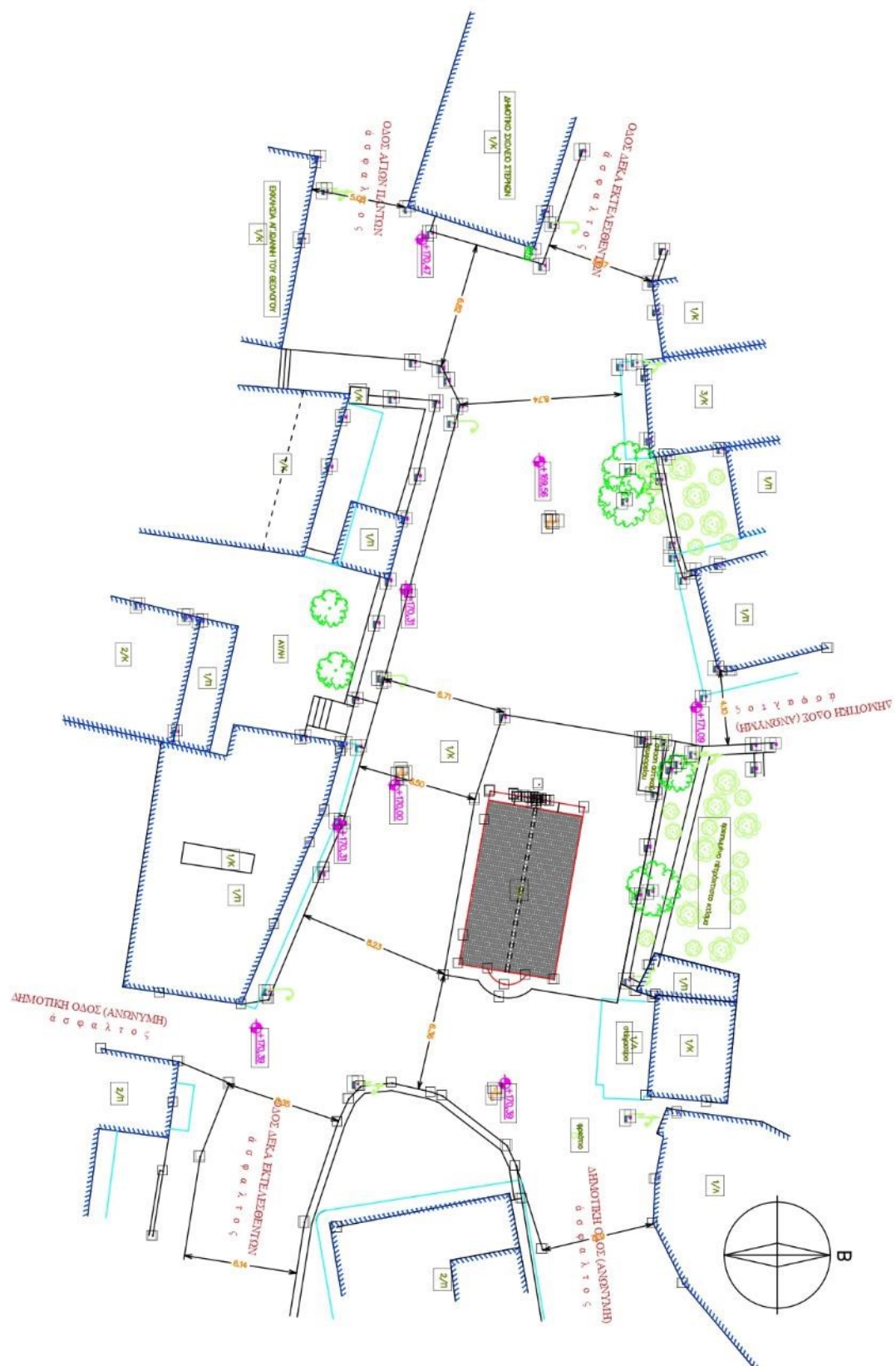


Εικόνα 23 - Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο -DEM

6. Μπορούμε τώρα να δημιουργήσουμε το ορθομωσaiκό της περιοχής, επιλέγοντας την περιοχή του μοντέλου επιθυμούμε να προβάλουμε ως ορθοεικόνα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για καθε όψη του κτιρίου.
7. Τελικό βήμα είναι να αποκτήσει το μοντέλο σωστή κλίμακα και να γεωαναφερθεί. Η διαδικασία υλοποιείται εύκολα με την τοποθέτηση των φωτοσταθερών - GCPs σε όσες φωτογραφίες υπάρχουν ή διακρίνονται εύκολα και στη συνέχεια μέσω της εισαγωγής του αρχείου txt -που περιέχει τις γεωαναφερμένες συντεταγμένες του κάθε φωτοσταθερού- γίνεται ο μετασχηματισμός του 3D μοντέλου στο σύστημα αναφοράς.

Όταν ολοκληρωθούν τα βήματα αυτά, μπορούμε να εξάγουμε τις ορθοεικόνες με τα δεδομένα γεωαναφοράς τους και στη συνέχεια να τις εισάγουμε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD 2020 και να δημιουργήσουμε τα αρχιτεκτονικά σχέδια των όψεων του Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

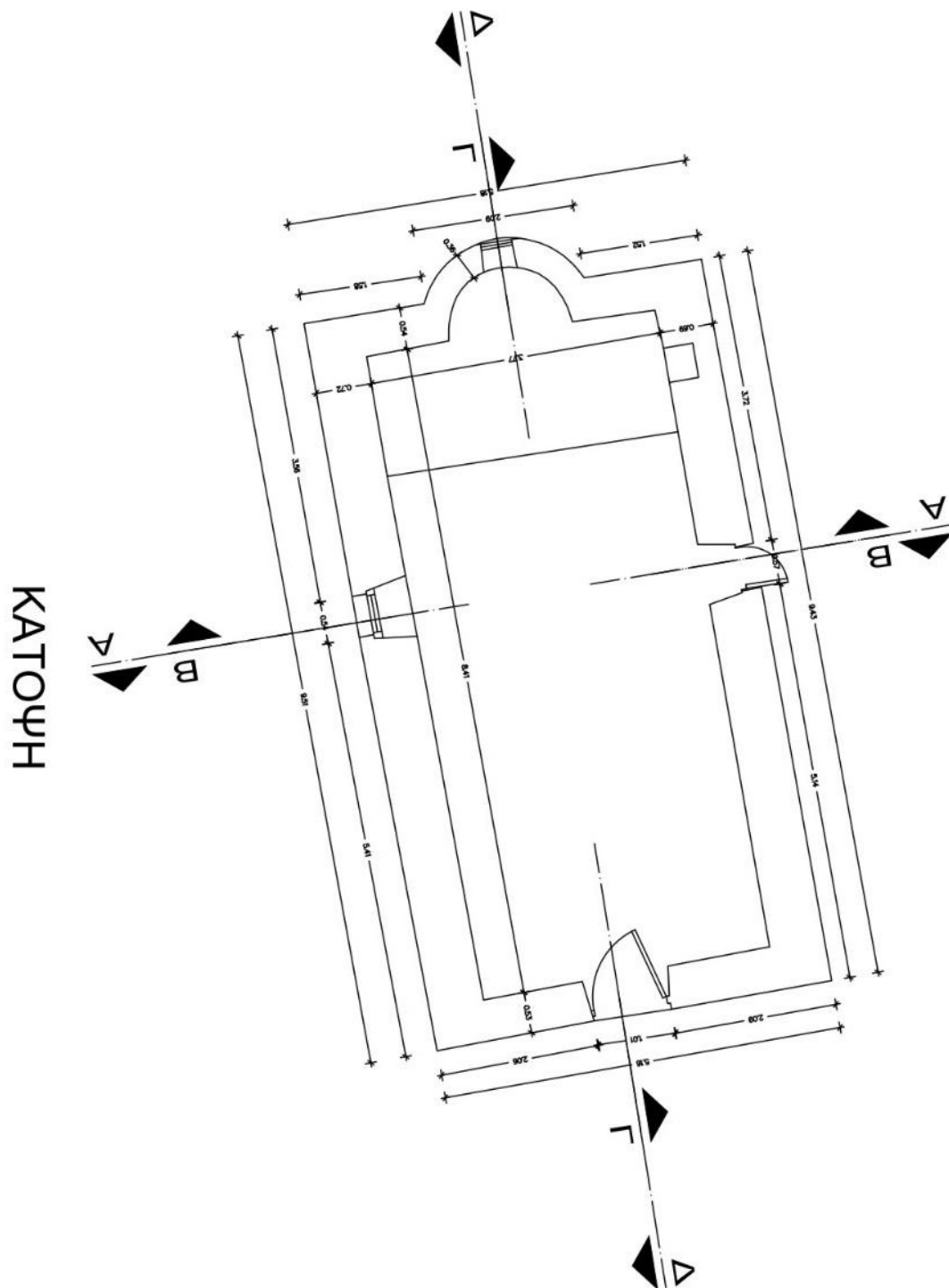
Για την δημιουργία του τοπογραφικού έγινε χρήση και των μετρήσεων με τον Γεωδαιτικό Σταθμό. Παρακάτω θα παρατεθούν τα Αρχιτεκτονικά Σχέδια των όψεων του Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα και οι ορθοεικόνες των όψεων και της κάτοψης του.



Εικόνα 25 - Τοπγραφικό Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



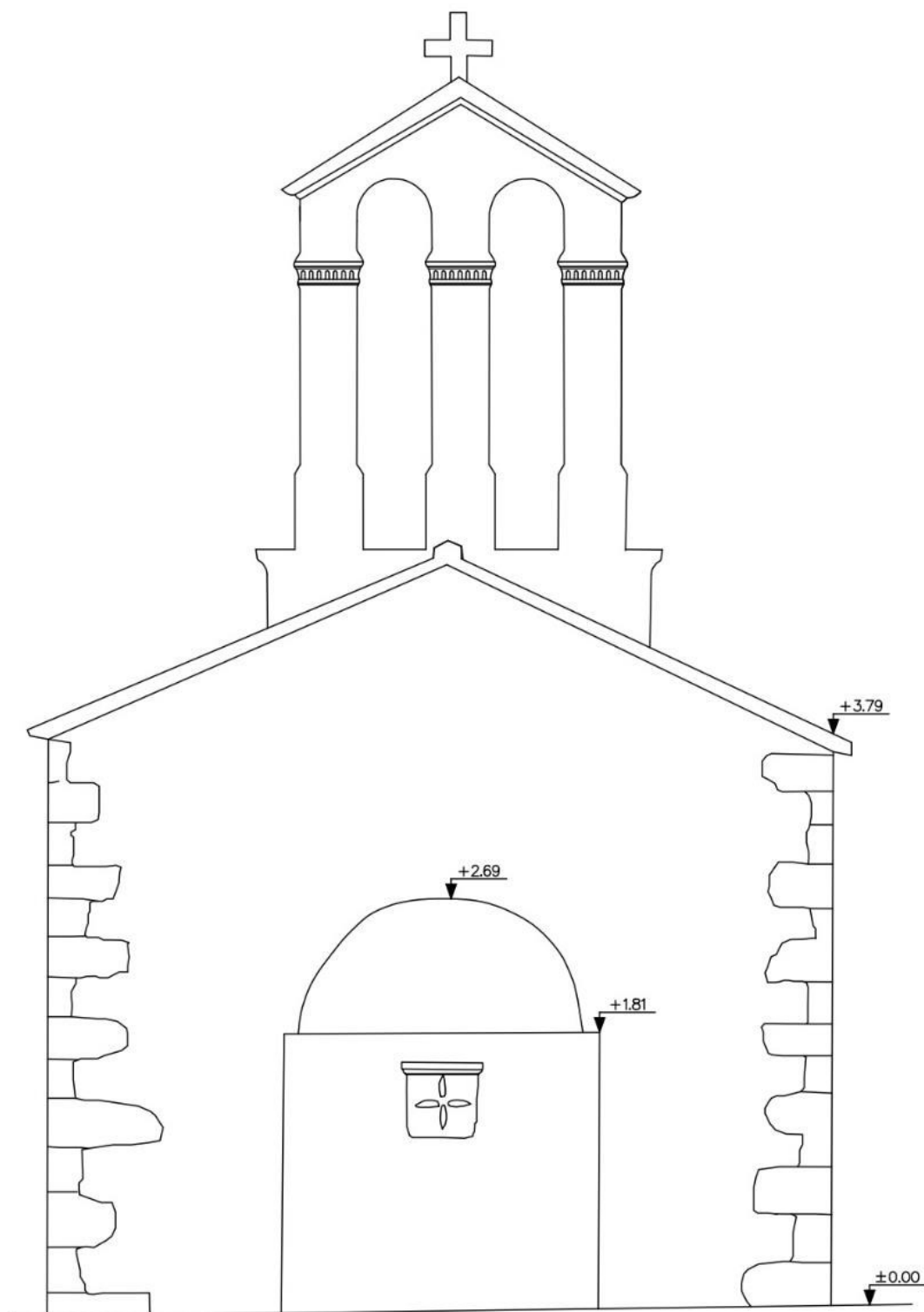
Εικόνα 26 - Ορθοφωτογραφία Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



Εικόνα 27 - Κάτοψη Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



Εικόνα 28 - Ορθοφωτογραφία Ανατολικής Οψης Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

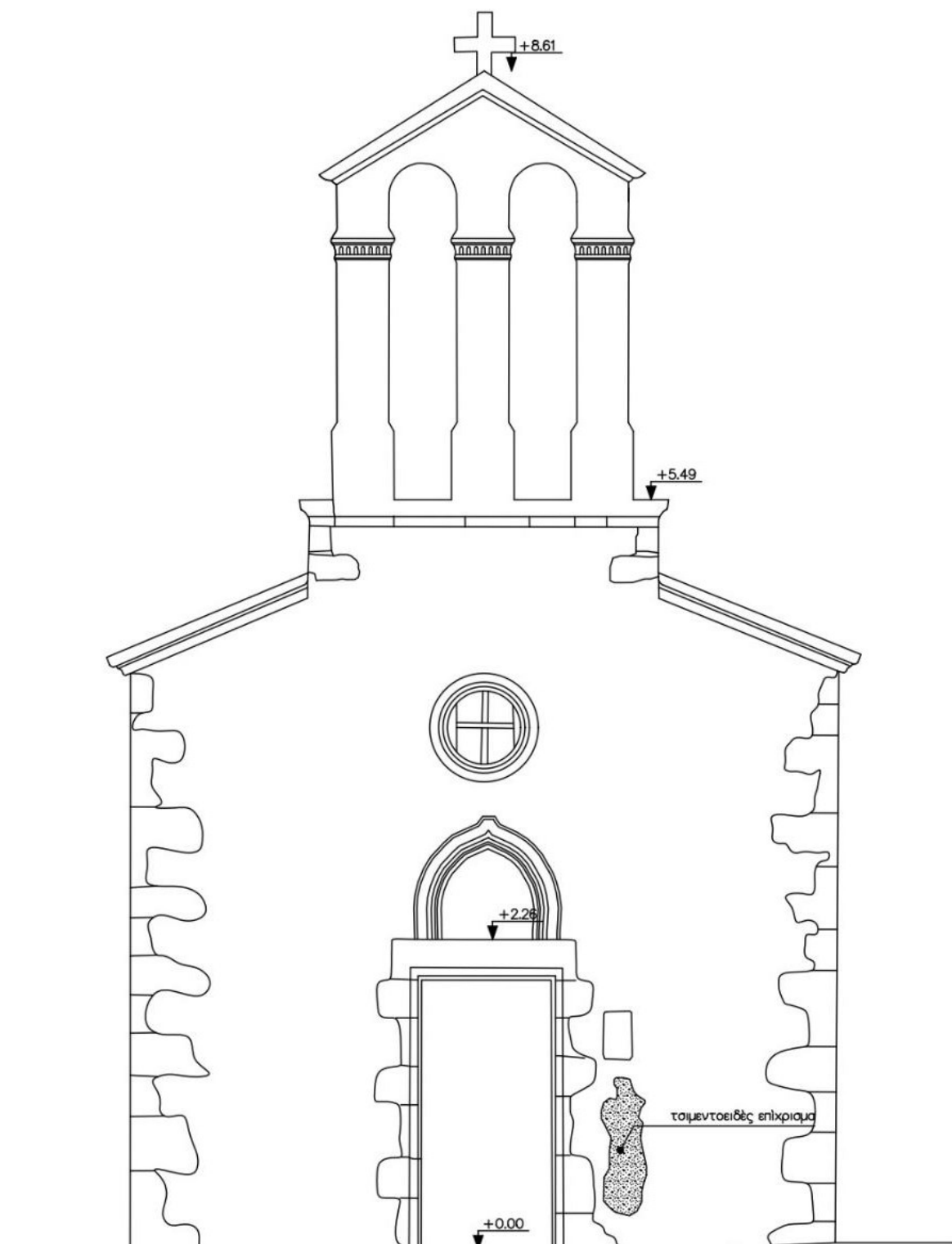


ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ

Εικόνα 30 - Αρχιτεκτονικό Σχέδιο Ανατολικής Οψης Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

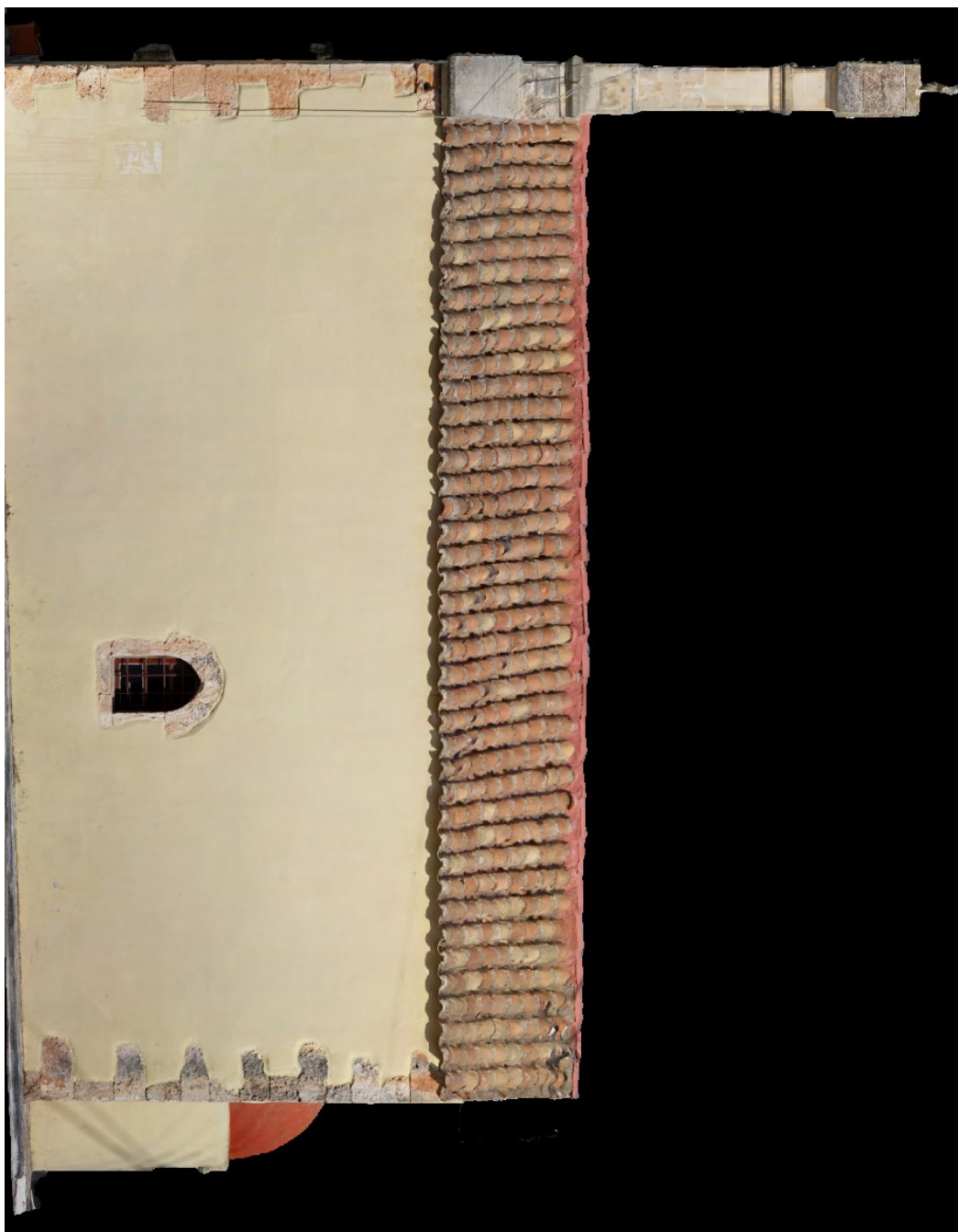


Εικόνα 31 -Ορθοφωτογραφία Δυτικής Όψης Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

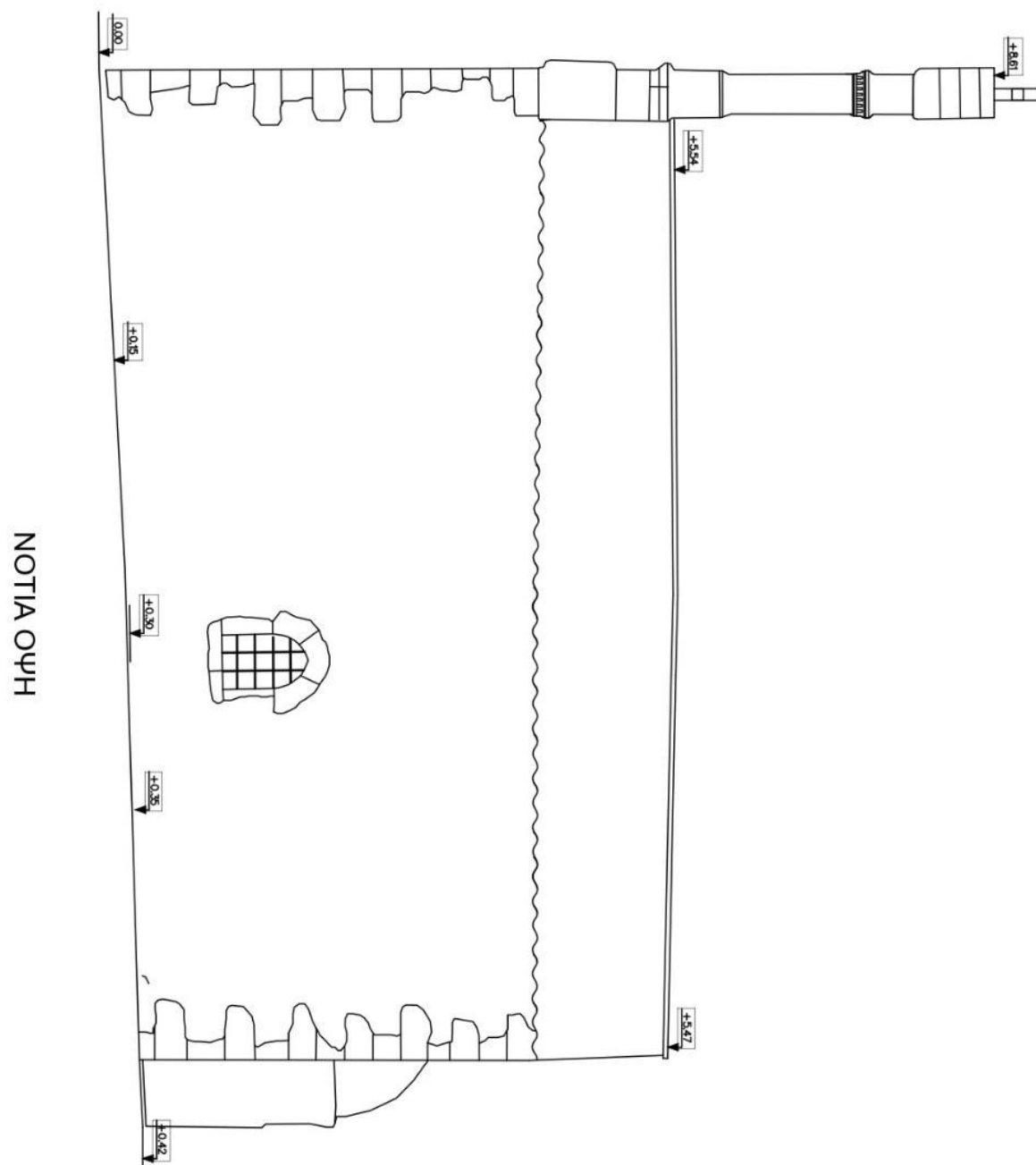


ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ

Εικόνα 32 - Αρχιτεκτονικό Σχέδιο Δυτικής Οψης Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



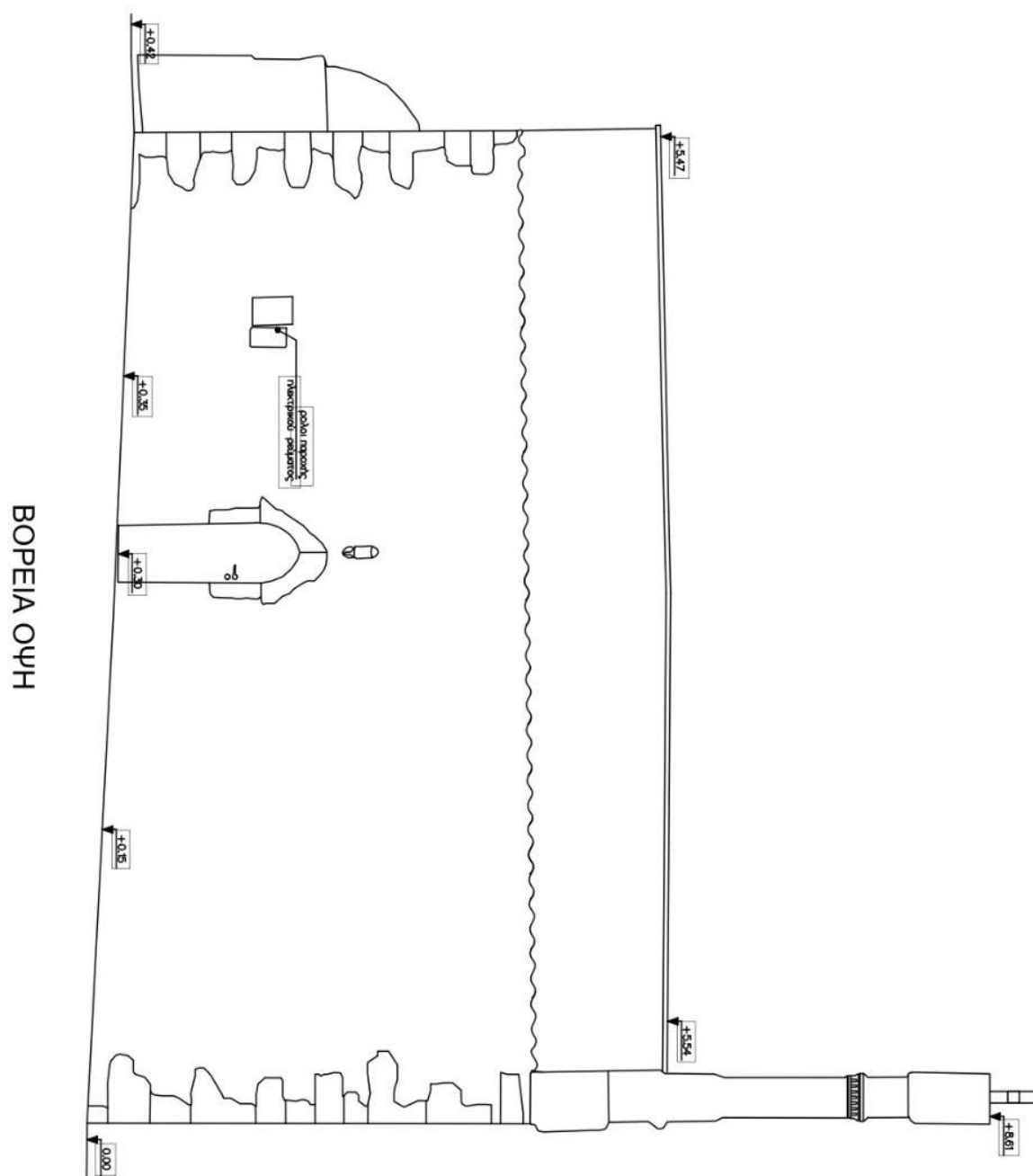
Εικόνα 33- Ορθοφωτογραφία Νότιας Οψης Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



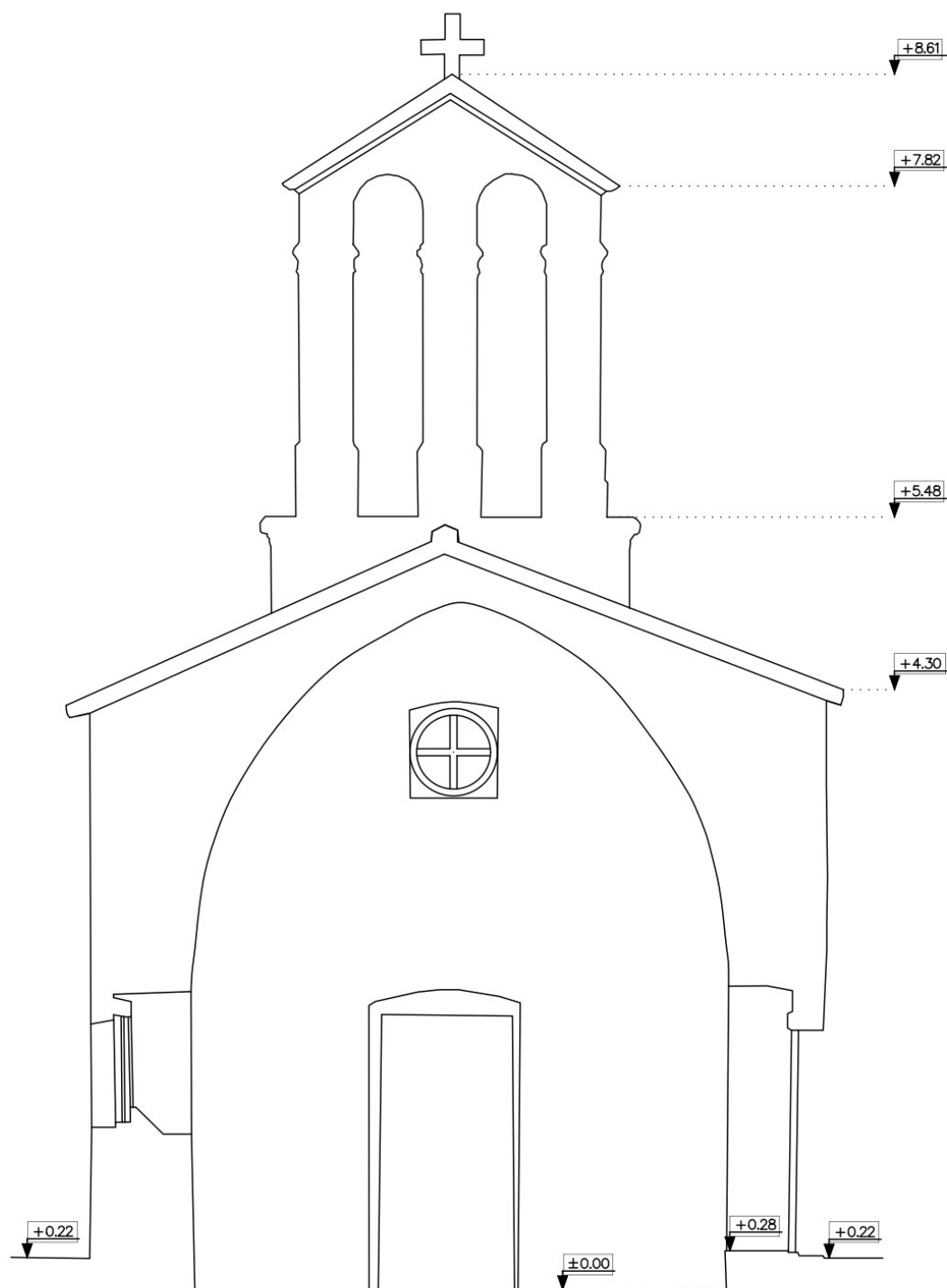
Εικόνα 34 - Αρχιτεκτονικό Σχέδιο Νάτιας Οψης Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



Εικόνα 35 - Ορθοφωτογραφίας Σχέδιο Βόρειας Οψης Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

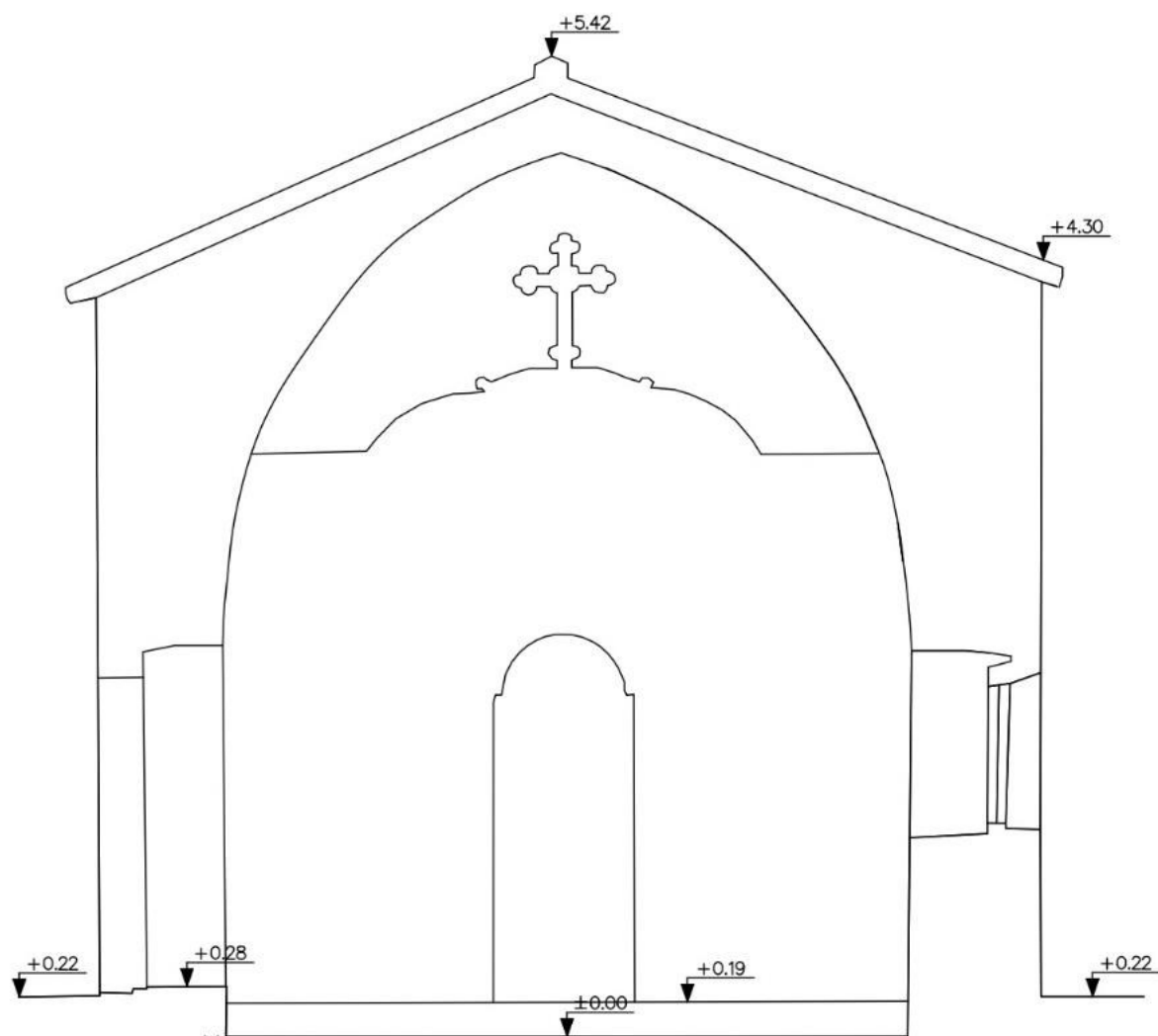


Εικόνα 37 - Αρχιτεκτονικό Σχέδιο Βόρειας Οψης Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



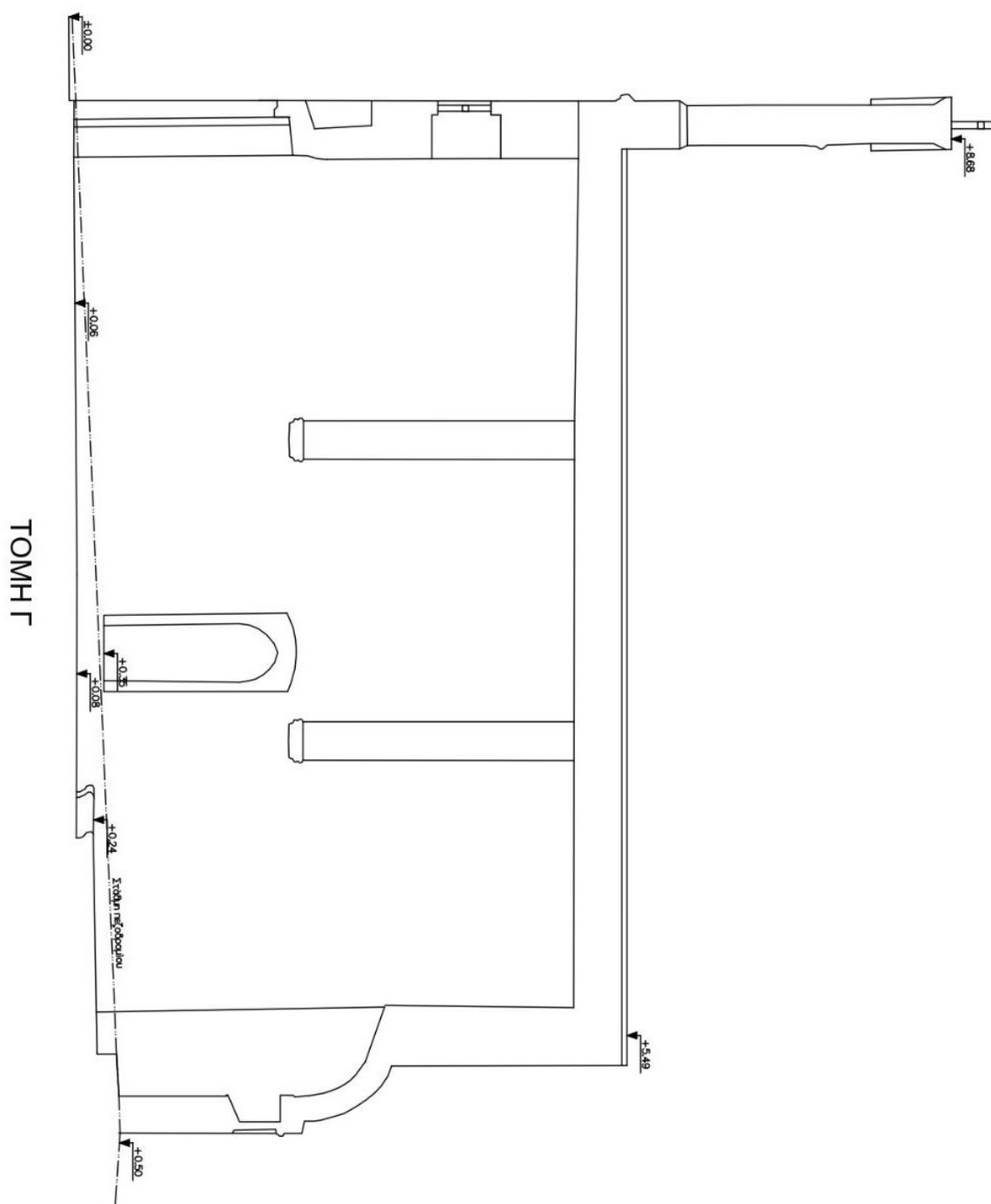
ΤΟΜΗ Α

Εικόνα 38 - Αρχιτεκτονικό Σχέδιο ΤΟΜΗΣ Α-Α Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

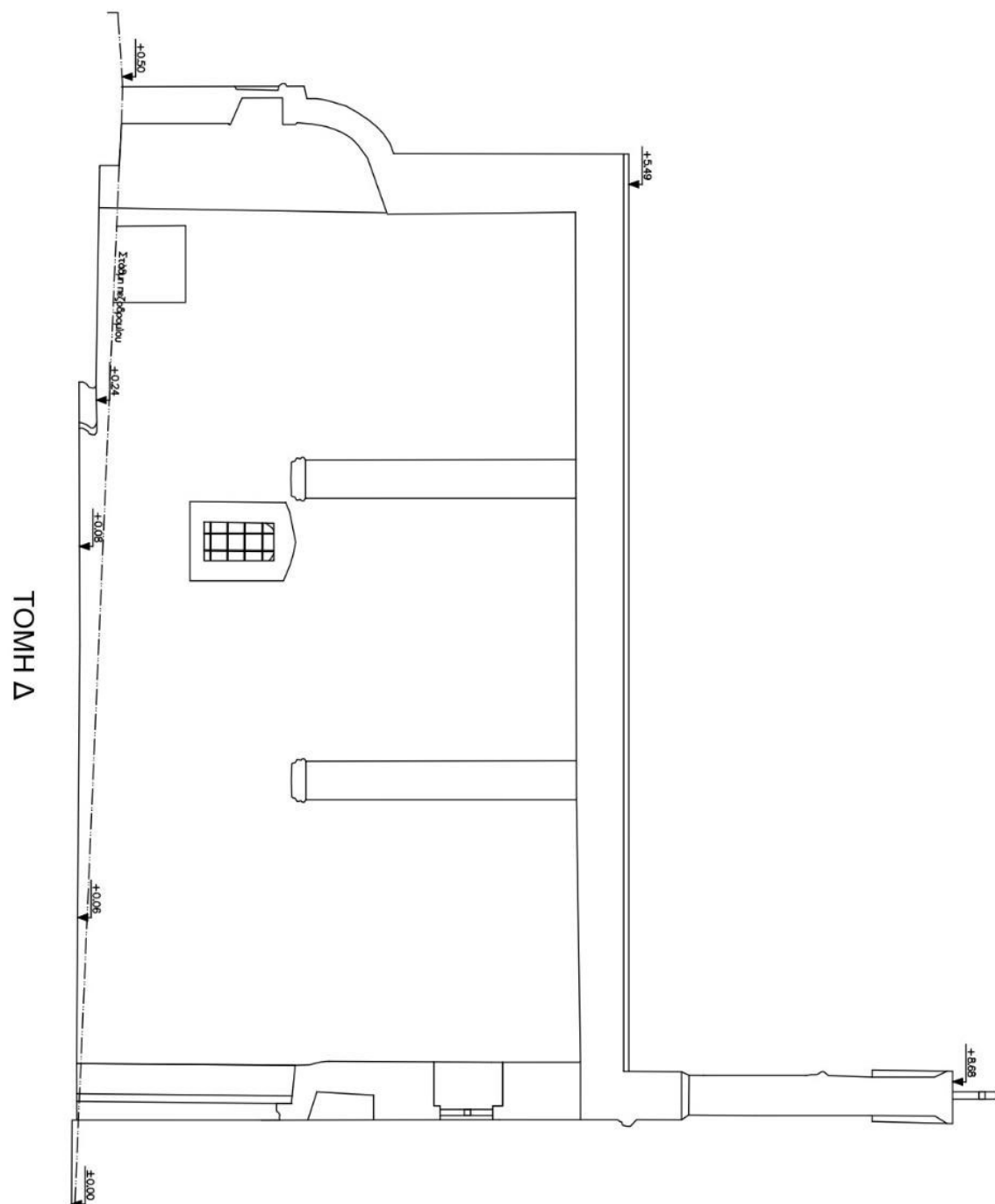


ΤΟΜΗ Β

Εικόνα 39 - Αρχιτεκτονικό Σχέδιο ΤΟΜΗΣ Β-Β Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



Εικόνα 40- Αρχιτεκτονικό Σχέδιο ΤΟΜΗΣ Γ-Γ Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα



Εικόνα 41- Αρχιτεκτονικό Σχέδιο ΤΟΜΗΣ Δ-Δ Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα- Σχόλια

Η αποτύπωση ενός μνημείου καταγράφει την ιστορία και την πολιτισμική κληρονομιά, αλλά παράλληλα και την κατάσταση που βρίσκεται το μνημείο σε συγκεκριμένο χρόνο. Η πολυπλοκότητα του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού του Ιερού Ναού του Παντοκράτορα, είναι αρκετά απλή, και η χρήση της εναέριας φωτογραμμετρικής μεθόδου ήταν αρκετή για να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για το εξωτερικό του κτιρίου, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και με πολύ χαμηλό κόστος εξοπλισμού και λογισμικού. Σε περίπτωση που το κτίριο είχε πολλές αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες και διακοσμητικά στοιχεία, μαζί με την εναέρια φωτογραμμετρία που είναι απαραίτητη για την τοπογραφική αποτύπωση, θα έπρεπε να γίνει και χρήση επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών λέιζερ (3D laser scanner) με τεχνολογία LIDAR (Light Detection And Ranging). Στη περίπτωση αυτή το κόστος θα δεκαπλασιαζόταν. Επομένως, η αποτύπωση με UAV, με επίγειες φωτογραφίες και με χρήση Γεωδαιτικού Σταθμού (για το εσωτερικό) είναι μια πιο οικονομική λύση αλλά και με λιγότερη ακρίβεια σε σχέση με αυτή τον Laser Scanner. Ωστόσο, πρέπει να επισυμανθεί ότι, αυτού του τύπου οι απωτυπώσεις, παράγουν μεγάλο όγκο δεδομένων σε σύγκριση με τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης και απαιτεί σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές με ισχυρή υπολογιστική - επεξεργαστική δύναμη.

Σχετικά με τα αποτελέσματα της αποτύπωσης του Ιερού Ναού Χριστού Παντοκράτορα, πρέπει να αναφέρουμε ότι τα αποτελέσματα της φωτογραμμετρικής μεθόδου επηρεάστηκαν πολύ από τις σκιάσεις. Για το λόγω αυτό, όταν γίνονται αποτυπώσεις με την χρήση UAV, θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη και την θέση του ήλιου, καθώς είναι ένας πολύ βασικός παράγοντας που μπορεί να αλλιώσει το τελικό αποτέλεσμα. Ένας ακόμα παράγοντας που επηρέασε την φωτογραμμετρική διαδικασία είναι τα δέντρα που βρίσκονταν δίπλα από την εκκλησία. Στις φωτογραμμετρικές μεθόδους τα δέντρα δημιουργούν θόρυβο κατά την επεξεργασία και για την διασφάλιση του σωστού αποτελέσματος έπρεπε να γίνουν πιο προσεχτικές επίγειες φωτογραφικές λήψεις στην Βόρεια πλευρά κτιρίου.

Βιβλιογραφία

- agisoft.freshdesk.com. (2022, Ιούλιος 6). Retrieved from <https://guides.lib.unc.edu/metashape>
- Arya, S., Netanyahu, N. S., Mount, D. M., Silverman, R., & Wu, A. Y. (1998). An optimal algorithm for approximate nearest neighbor searching fixed dimensions. *Journal of the ACM*, 45(6), 891-923.
- Atkinson, K. (1996). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Caithness: Whittles Publishing.
- Bosemann, W. (1996). The optical tube measurement system OLM – Photogrammetric methods used for industrial automation and process contro. 31, pp. 55-58.
- Canny, J. (1986, November). A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8(6), 679-698. doi:10.1109/TPAMI.1986.4767851
- dji.com. (n.d.). Retrieved from <https://www.dji.com/gr/phantom-4/info>
- ellinismos.gr. (2021, Μάιος 18). Retrieved from <https://ellinismos.gr/istoria-ellinismoy/topikes-istories/sternes-kydonias-chania/>
- Fischler, M., & Bolles, R. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24(6), 371-395.
- Furukawa, Y., & Hernández, C. (2015). *Multi-View Stereo: A Tutorial*. Hanover: Now Foundations and Trends. doi:10.1561/06000000052
- Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, S., & Szeliski, R. (2010). Towards Internet-scale multi-view stereo. San Francisco, CA, USA: IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. doi:10.1109/CVPR.2010.5539802
- guides.lib.unc.edu. (2022, Μάιος 6). Retrieved from <https://guides.lib.unc.edu/c.php?g=716413&p=5098040>
- Harris, C., & Stephens, M. (1988). A Combined Corner and Edge Detector. Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. *Alvey Vision Conference*, (pp. 147-151). Manchester.
- Herbert, B., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2006). SURF: Speeded Up Robust Features. *European Conference on Computer Vision*, (pp. 404-417).
- Karl Kraus. (2010). *Φωτογραμμετρία Γ' έκδοση, Τόμος 1: Βασικές Έννοιες και Μέθοδοι*. (Ε. Βοζίκης, & Α. Γεωργόπουλος, Trans.) Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
- Malz, R. (1996). "Free-flying" 3-D sensors for efficient close-range measurement and reverse engineering., 31, pp. 336-346.

- Sinnreich, & Bosemann, W. (1994). Optical 3D tube measurement system for quality control in industry. *Automated 3D and 2D Vision*, 2249. Frankfurt, Germany.
- Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2014). *Image processing, analysis and machine vision (34 ed.)*. London: Cengage Learning.
- Sun, J., Shum, H.-Y., & Zheng, N. (2002). Stereo Matching Using Belief Propagation. *tallysman.com*. (n.d.). Retrieved from <https://www.tallysman.com/gnss-positioning-techniques/>
- Tsai, D.-M., & Tsai, Y.-H. (2002). Rotation-invariant pattern matching with color ring-projection. *Pattern Recognition*, 35(1), 131-141.
- Yu, G., & Morel, J.-M. (2009). ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 2(2).
- Αποστολάκης. (1991). *Τοπογραφία, Μετρήσεις-Σφάλματα-Τριγωνισμός - Οδεύσεις - Αποτυπώσεις-Υπολογισμός Εμβαδών και Όγκων*. Πειραιάς: Εκδόσεις Α. Σταμούλης.
- Βελγίρης, Λ. (2018, Ιανουάριος 23). *haniotika-nea.gr*. Retrieved from <https://www.haniotika-nea.gr/sternes-akrotiriou/>
- Βλαβογιλάκης, Μ. (2017, Φεβρουάριος 2). *imka.gr*. Retrieved from <https://www.imka.gr/g-nai/>
- Βλάχος, Δ. (1997). *Τοπογραφία, Τόμος Α'- Όργανα και Μέθοδοι Μετρήσεων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Μέλισσα.
- Βλάχος, Δ. (1997). *Τοπογραφία, Τόμος Β'- Τοπογραφικές Χαρτογραφήσεις*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Μέλισσα.
- Γεωργόπουλος, Α. (n.d.). *Σημειώσεις για το μάθημα της Αναλυτικής Φωτογραμμετρίας*. Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών.
- Γεωργόπουλος, Γ., Γκίγκας, Β., Τελειώνη, Ε., & Τσακίρη, Μ. (2011). *Γεωδεσία, Μετρήσεις - διορθώσεις - αναγωγές- Προσδιορισμός θέσης*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας.
- Ιωαννίδης, Χ. (1992). *ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΕΡΟΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. doi:10.12681/eadd/2366
- Μανούσακας, Ε. (2011, Σεπτέμβριος 3). *haniotika-nea.gr*. Retrieved from <https://www.haniotika-nea.gr/76815-fwtoanadromes-sta-palia-xania/>
- Νίκου, Ν. (1999). *Τοπογραφία Ι*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις: Art of text.
- Νίκου, Ν. (2004). *Τοπογραφία ΙΙ, Θεωρία-Εφαρμογές*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.
- Πατιάς, Π. (1991). *Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία*. Ζήτη.
- Πατιάς, Π. (2008). *Φωτογραμμετρία και τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων και ευρημάτων με απλά λόγια*.

- Σκαρλάτος, Δ., & Rova, S. (2012). Comparison of laser scanning, photogrammetry and SFMMVS pipeline applied in structures and artificial surfaces. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 1-3. ISPRS.
- Σπανάκης, Σ. (n.d.). *Η Κρήτη : τουρισμός, ιστορία, αρχαιολογία, Τόμος Β' Δυτική Κρήτη*. Ηράκλειο: Σφακιανάκης, Βαγγέλης.
- Συσκάκη, Μ. (2010). *ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ*. Αθήνα.

Εικόνες

ΕΙΚΟΝΑ 1. PINHOLE PROJECTION	14
ΕΙΚΟΝΑ 2 - ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΟ ΠΟΛΛΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ	17
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ	17
ΕΙΚΟΝΑ 4 – ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ	18
ΕΙΚΟΝΑ 5 - ΨΗΦΙΑΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (DEM)	19
ΕΙΚΟΝΑ 6 - ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	19
ΕΙΚΟΝΑ 7 - ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΙΑΣ ΚΟΙΝΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΜΙΑ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	20
ΕΙΚΟΝΑ 8 - ΑΡΑΙΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) - ΠΥΚΝΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	21
ΕΙΚΟΝΑ 9 - 3D MODE,L ΜΕ ΥΦΕΣ (ΠΑΝΩ) - ΧΩΡΙΣ (ΚΑΤΩ)	21
ΕΙΚΟΝΑ 10 - ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗΣ, E-SURVEY E600	22
ΕΙΚΟΝΑ 11 - ΘΕΣΕΙΣ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΗΣ GEOSENSE	23
ΕΙΚΟΝΑ 12 - ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩ (ΣΥΣΚΑΚΗ, 2010)	28
ΕΙΚΟΝΑ 13 - TOTAL STATION, SANDING ARC 10	29
ΕΙΚΟΝΑ 14 - DJI PHANTOM 4 PRO	31
ΕΙΚΟΝΑ 15 - SONY A6000	32
ΕΙΚΟΝΑ 16 - ΣΗΜΕΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	33
ΕΙΚΟΝΑ 17 - SPARSE POINT CLOUD - ΑΡΑΙΟ ΝΕΦΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ	38
ΕΙΚΟΝΑ 18 - ΘΕΣΕΙΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ	38
ΕΙΚΟΝΑ 19 - DENSE POINT CLOUD	39
ΕΙΚΟΝΑ 20 - DENSE POINT CLOUD ΣΕ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ	39
ΕΙΚΟΝΑ 21 - ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	40
ΕΙΚΟΝΑ 22 - ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ - ΟΠΤΙΚΕΣ	41
ΕΙΚΟΝΑ 23 - ΨΗΦΙΑΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ -DEM	42
ΕΙΚΟΝΑ 24 - ΤΟΠΓΡΑΦΙΚΟ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ ΣΕ ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΟΡΘΟΦΩΤΟΤΟΓΡΑΦΙΑ	44
ΕΙΚΟΝΑ 25 - ΤΟΠΓΡΑΦΙΚΟ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	45
ΕΙΚΟΝΑ 26 - ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	46
ΕΙΚΟΝΑ 27 - ΚΑΤΟΨΗ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	47
ΕΙΚΟΝΑ 28 - ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	48
ΕΙΚΟΝΑ 29 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	49
ΕΙΚΟΝΑ 30 -ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	50
ΕΙΚΟΝΑ 31 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	51
ΕΙΚΟΝΑ 32- ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	51
ΕΙΚΟΝΑ 33 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	53
ΕΙΚΟΝΑ 34 - ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΧΕΔΙΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΟΨΗΣ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	54
ΕΙΚΟΝΑ 35 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΒΟΡΕΙΑΣ ΟΨΗΣ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	54
ΕΙΚΟΝΑ 36 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΤΟΜΗΣ Α-Α ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	56
ΕΙΚΟΝΑ 37 - ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΤΟΜΗΣ Β-Β ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	57
ΕΙΚΟΝΑ 38- ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΤΟΜΗΣ Γ-Γ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	58
ΕΙΚΟΝΑ 39- ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΤΟΜΗΣ Δ-Δ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	59

Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΡΟΣΗΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ.....	26
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 - ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ SANDING ARC 10.....	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 - ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ GCPs ΚΑΙ ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΕΓΣΑ '87	36

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 1 – ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	8
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2 – ΝΟΤΙΑ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	9
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 3 - ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	9
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 4 - ΠΕΤΡΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ	10
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 5 - ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ ΧΡΙΣΤΟΥ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	10
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 6 - ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΙΘΑΝΟΝ ΝΑ ΕΜΠΟΔΙΣΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ.....	34