



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΡΗΝΗΣ ΤΗΣ
ΚΑΛΛΙΡΡΟΗΣ, ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ
ΠΤΝΥΚΑΣ**



Η πηγή Καλλιρρόη σε Υδρία του 6^{ου} αι. π.Χ.

ΜΠΑΜΠΟΥΡΔΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ

Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπουσα:

Ορθοδοξία Αραμπατζή

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσης διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, την επιβλέπουσα μου κ. Ορθοδοξία Αραμπατζή, Λέκτορα Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που επέδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της συγκεκριμένης μελέτης, καθώς και για την υπερπολύτιμη βοήθειά της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης εργασίας, τόσο με την επιστημονική όσο και με την πρακτική της υποστήριξη.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Βασίλη Παγούνη, Αναπλ. Καθηγητή στο ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ, για την άψογη συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθειά του για την περάτωση της παρούσης διπλωματικής.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τους επαγγελματίες που εργάζονται στον αρχαιολογικό χώρο του λόφου της Πνύκας, για την εξαιρετική τους συνεργασία.

Ευχαριστώ τις φίλες μου Αγγελική και Βιβή για τη συμπαράστασή τους και την ενθάρρυνση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια φοίτησής μου στη Σ.Α.Τ.Μ..

Ευχαριστώ το φίλο μου Τάσο για τη βοήθειά του στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής, αλλά και για τη συνεχή υποστήριξή του σε κάθε μου βήμα.

Πάνω από όλα όμως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Μαρίκα και Νίκο και την αδερφή μου Βασούλα, που βρίσκονται πάντα δίπλα μου, πιστεύουν σε μένα, με ενθαρρύνουν σε κάθε μου βήμα και με στηρίζουν με όλες τους τις δυνάμεις.

Δέσποινα Μπαμπουρδά
Οκτώβριος 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κάθε μνημείο αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική κατασκευή λόγω του ιστορικού, αρχαιολογικού, καλλιτεχνικού, επιστημονικού, κοινωνικού ή τεχνικού της ενδιαφέροντος, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων ή διακοσμητικών στοιχείων που αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της.

Οι αποτυπώσεις μνημείων παρέχουν τα απαραίτητα στοιχεία και αποτελούν τη βάση για την εκτέλεση εργασιών όπως η συντήρηση, η αποκατάσταση, η αναστήλωση, η διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου και αποσκοπούν στη διατήρηση της υλικής υπόστασης και της αυθεντικότητάς τους, στην ανάδειξη και γενικά στην προστασία τους. Έτσι καθίσταται δυνατή η ένταξη των μνημείων, αρχαιολογικών χώρων και ιστορικών τόπων στο πλαίσιο οποιουδήποτε επιπέδου χωροταξικού, αναπτυξιακού, περιβαλλοντικού και πολεοδομικού σχεδιασμού.

Στον ελλαδικό χώρο, ο μεγάλος αριθμός μνημείων κάνει επιτακτική την ανάγκη μελέτης τεχνικών αποτύπωσης και γενικότερα τεχνικών γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων.

Η παρούσα διπλωματική έχει ως στόχο τη γεωμετρική τεκμηρίωση της κρήνης της Καλλιρρόης, που βρίσκεται στον ευρύτερο αρχαιολογικό χώρο του λόφου της Πνύκας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-----	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ-----	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΜΝΗΜΕΙΟ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΡΡΟΗΣ-----	1
1.1. Ιστορική Αναδρομή-----	1
1.2. Η κρήνη της Καλλιρρόης -----	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ-----	6
2.1. Το τριγωνομετρικό δίκτυο-----	6
2.2. Η λειτουργία του GPS-----	7
2.3. Οι μετρήσεις με GPS-----	8
2.4. Όργανα και παρελκόμενα μετρήσεων με GPS-----	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΟΛΥΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ-----	11
3.1. Πολυγωνομετρικά σημεία και κριτήρια επιλογής τους-----	11
3.2. Υλοποίηση και μέτρηση πολυγωνομετρικού δικτύου-----	12
3.3. Προσδιορισμός γεωδαιτικών συν/νων πολυγωνομετρικού δικτύου-----	12
3.4. Όργανα και παρελκόμενα μετρήσεων-----	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΑΡΩΤΗ LAZER-- 16

4.1. Γενικά χαρακτηριστικά-----	16
4.2. Εφαρμογές σαρωτή laser-----	17
4.3. Τεχνολογίες επίγειου σαρωτή laser-----	19
4.4. Τεχνολογία Time-of-Flight-----	19
4.5. Αρχή λειτουργίας-----	20
4.6. Ακρίβεια αποτύπωσης-----	23
4.7. Άλλα προβλήματα σάρωσης-----	25
4.8. Διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων-----	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΣΑΡΩΤΗ LASER----- 29

5.1. Όργανα και παρελκόμενα-----	29
5.2. Διαδικασία μετρήσεων-----	31
5.3. Επεξεργασία μετρήσεων-----	35
5.4. Παράγωγα μετρήσεων-----	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΜΩΝ ΜΕ REFLECTORLESS TOTAL

STATION-----	54
6.1. Reflectorless total station-----	54
6.2. Διαδικασία μετρήσεων-----	55
6.3. Επεξεργασία και αποτελέσματα μετρήσεων-----	56
6.4. Σύγκριση τομών από μετρήσεις με total station και laser scanner-----	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-----	66
7.1. Συμπεράσματα-----	66
7.2. Προτάσεις-----	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-----	71
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ -ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ-----	73
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ-----	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-----	79

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα, μία χώρα με μοναδικό μνημειακό πλούτο, καθίσταται απαραίτητη η γνώση των τεχνικών αποτύπωσης και γενικότερα των τεχνικών γεωμετρικής τεκμηρίωσης των μνημείων. Η αποτύπωση ενός μνημείου, αποτελεί το πρώτο βήμα για την εκτέλεση έργων προστασίας, συντήρησης, αναστήλωσης ή οποιασδήποτε άλλης παρέμβασης σε αυτό.

Η μελέτη που γίνεται σήμερα στον αρχαιολογικό χώρο της περιοχής της Πνύκας, υπήρξε η αφορμή για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής, που έχει στόχο τη γεωμετρική τεκμηρίωση της κρήνης της Καλλιρρόης, η οποία βρίσκεται στα ριζά του λόφου της Πνύκας.

Η κρήνη της Καλλιρρόης είναι υπόγεια και έχει μέγεθος περίπου δύο δωματίων. Για την πλήρη αποτύπωση της κρήνης, χρησιμοποιήθηκαν επίγειες μέθοδοι αποτυπώσεων (μετρήσεις με reflectorless total station, laser scanner) και δορυφορικές παρατηρήσεις (με GPS) για την ένταξη της στο ΚΣΑ.

Οι μετρήσεις με GPS και η ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου έδωσαν την απόλυτη θέση της κρήνης στο ελληνικό σύστημα ΕΓΣΑ 87, ενώ οι μετρήσεις με laser scanner έδωσαν το τρισδιάστατο μοντέλο της κρήνης από το οποίο παρήχθησαν οριζόντιες και κάθετες τομές σε διάφορες θέσεις. Με τη χρήση reflectorless total station, παρήχθησαν δύο κάθετες τομές, οι οποίες συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τομές που προέκυψαν από τις μετρήσεις με laser scanner.

Στα επιμέρους κεφάλαια, παρουσιάζονται λεπτομερώς οι μεθοδολογίες και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, τα στάδια επεξεργασίας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τα σχέδια που παρήχθησαν. Το τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που αφορούν ειδικά στο συγκεκριμένο έργο και γενικά σε παρομοίων απαιτήσεων αποτυπώσεις μνημείων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματεύεται τις μεθόδους αποτύπωσης μνημείων και έχει ως ειδικό στόχο τη γεωμετρική τεκμηρίωση της κρήνης της Καλλιρρόης.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή σχετικά με τη χρησιμότητα της κρήνης σε προηγούμενες εποχές και περιγράφεται αναλυτικά η μορφολογία του εσωτερικού της χώρου.

Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία ίδρυσης τριγωνομετρικού δικτύου στην περιοχή, από το οποίο και πραγματοποιήθηκε η ένταξη της κρήνης της Καλλιρρόης στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ 87).

Στο 3^ο κεφάλαιο συνοψίζεται η διαδικασία ίδρυσης πολυγωνομετρικού δικτύου στο εσωτερικό της κρήνης, περιγράφονται τα κριτήρια επιλογής των πολυγωνομετρικών σημείων, το όργανο με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις αλλά και η μεθοδολογία προσδιορισμού των γεωδαιτικών συν/νων των σημείων.

Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται η τεχνολογία του σαρωτή laser, οι εφαρμογές στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί και γίνεται μία σύντομη περιγραφή της διαδικασίας μετρήσεων με σαρωτή laser.

Στο 5^ο κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία μετρήσεων με το σαρωτή laser, δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σαρωτή που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις, περιγράφεται ο τρόπος επεξεργασίας των μετρήσεων, παρατίθενται τα αποτελέσματα των σαρώσεων και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Στο 6^ο κεφάλαιο συνοψίζεται η τεχνολογία των reflectorless total stations, αναλύεται η διαδικασία μετρήσεων για την αποτύπωση των δύο κάθετων τομών της κρήνης με reflectorless total station, παρατίθενται τα αποτελέσματα και συγκρίνονται οι αντίστοιχες τομές που προέκυψαν από μετρήσεις με σαρωτή laser και reflectorless total station.

Στο 7^ο κεφάλαιο συνοψίζονται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν με την ολοκλήρωση της παρούσης διπλωματικής και αναφέρονται κάποιες προτάσεις που αφορούν τυχόν μελλοντική, επιπρόσθετη διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος.

Στη συνέχεια, παρατίθεται η βιβλιογραφία με την οποία τέθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος και παρουσιάζονται αναλυτικοί πίνακες όλων των σχημάτων- πινάκων και εικόνων που αποτελούν βασικό τμήμα αυτής της διπλωματικής.

Τέλος, ακολουθεί το παράρτημα, το οποίο περιέχει κάποιες επιπλέον φωτογραφίες αλλά και αποτελέσματα μετρήσεων.

Μαζί με το τεύχος της διπλωματικής εργασίας παραδίδεται και ένα CD, το οποίο περιέχει τα νέφη σημείων από τις σαρώσεις με laser scanner καθώς και το τελικό μοντέλο (σε μορφή [.impr]), όλα τα σχέδια που παρήχθησαν, στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, στο σχεδιαστικό πακέτο 'autocad' (.dwg), καθώς επίσης και τη διπλωματική εργασία σε ψηφιακή μορφή.

1. ΤΟ ΜΝΗΜΕΙΟ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΡΡΟΗΣ

1.1. Ιστορική αναδρομή

Στην περιοχή που εκτείνεται μεταξύ των δυτικών παρυφών του Αρείου Πάγου και του λόφου της Πνύκας και ειδικότερα στα ριζά του λόφου της Πνύκας όπου περνάει η σημερινή λεωφόρος Απ. Παύλου, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από υπόσκαφα λαξευμένα στο φυσικό βράχο υδροδοτικά έργα. Τα έργα αυτά, οι ανασκαφείς τα αποδίδουν σε προγενέστερες της τυραννίας του Πεισιστράτου εποχές. Μεταξύ αυτών, διατηρείται σε άριστη σχεδόν κατάσταση ένα περίπλοκο σύστημα υπόσκαφων συγκοινωνούντων δεξαμενών, φρεατίων και διαδρόμων προσπέλασης, στο οποίο ο Γερμανός αρχιτέκτονας Doerpfeld, αναγνώρισε την πηγή Καλλιρρόη (σχήμα 1-1).



Σχήμα 1-1 Η πηγή Καλλιρρόη.

Η κατασκευή της πηγής αυτής χρονολογείται στο τελευταίο τέταρτο του βου αιώνα π.Χ. . Υπάρχει αναφορά του Θουκυδίδη στο πατροπαράδοτο έθιμο, κατά το οποίο οι μελλόνυμφες ετοιμάζουν από τα νερά της πηγής το νυφικό τους λουτρό. Η υπόσκαφη αυτή κατασκευή που ταυτίστηκε από τους Doerpfeld και Graeber με την Καλλιρρόη των αρχαίων πηγών, εκτιμούν ότι παρέμεινε σε χρήση και μετά την κατασκευή του πεισιστράτειου δικτύου και λάμβανε πλέον από εκεί νερό. Στη ρωμαϊκή περίοδο όχι μόνο δεν εγκαταλείφθηκε , αλλά εξωραϊίστηκε με μωσαϊκό δάπεδο και μαρμάρινη επίστρωση. Κατά τη διάρκεια του β' παγκοσμίου πολέμου, η κρήνη της Καλλιρρόης χρησιμοποιήθηκε για τη φύλαξη αρχαίων αντικειμένων.

1.2. Η κρήνη της Καλλιρρόης

Η είσοδος της κρήνης αυτής βλέπει σήμερα στην Απ. Παύλου. Μια κλίμακα οδηγεί στο εσωτερικό του θαλάμου, σε ένα μεγάλο δωμάτιο σχεδόν τετράγωνο με πλευρές περίπου τεσσάρων μέτρων, το οποίο έχει τοξωτά διαμορφωμένη οροφή. Ακριβώς απέναντι από την είσοδο, στον πίσω δυτικό τοίχο και στον άξονά του λοξά ως προς το θάλαμο κατασκευασμένου διαδρόμου, βρίσκεται μια κόγχη βάθους 1,80 μέτρων. Η λοξότητα αυτή και η αξονικότητά της προς το διάδρομο της εισόδου φανερώνουν ότι η είσοδος και η κόγχη διαμόρφωναν αρχικά μία ευθεία στοά, η οποία αργότερα διευρύνθηκε κάπου στο μέσο της για το σχηματισμό του τετράγωνου θαλάμου. Στο δάπεδο της κόγχης υπάρχει ένα φρεάτιο βάθους περίπου δύο μέτρων και στο πάνω τμήμα του πίσω τοιχώματος μια μικρότερη κογχοειδής εκβάθυνση, σχεδόν 0,80 μέτρα

πάνω από το δάπεδο του θαλάμου. Μπροστά από το φρεάτιο τοποθετήθηκε ένα μικρό θωράκιο, ώστε να μπορεί κανείς να τραβάει νερό δίπλα στο φρεάτιο, χωρίς να διατρέχει κίνδυνο. Από την είσοδο και σε ύψος 1,30 μέτρων από το δάπεδο, υπάρχει μια λαξευμένη στο φυσικό βράχο αύλακα, κατά μήκος του νότιου τοίχου με ελάχιστη κλίση προς την κόγχη. Αρχικά ο ρόλος της ήταν να συλλέγει το νερό που μαζεύονταν από την υγρασία των βράχων και να το διοχετεύει στο φρεάτιο του θαλάμου, αργότερα όμως, όταν το νερό των βράχων άρχισε βαθμιαία να λιγοστεύει, χρησιμοποιήθηκε για να φέρνει νερό από το δίκτυο του Πεισιστράτου. Αυτό γινόταν μέσω ενός μολύβδινου αγωγού και μιας πήλινης αύλακας, ίχνη των οποίων σώζονται ακόμα στη νότια πλευρά της εισόδου. Η λίθινη αύλακα έπρεπε απαραίτητα να λαξευτεί στη νότια πλευρά του θαλάμου, γιατί μόνο εκεί θα αποστραγγιζόταν η υγρασία του φυσικού βράχου, ο οποίος είναι επικλινής προς το βορρά.

Η μείωση των φυσικών αποθεμάτων νερού της Πνύκας υπήρξε επακόλουθο της οικοδόμησης του λόφου αυτού και του λόφου των Μουσών, η οποία είχε ως συνέπεια την περιορισμένη πλέον απορρόφηση του νερού της βροχής από το έδαφος. Σήμερα η πηγή αυτή έχει τελείως στερέψει και μόνο το χειμώνα αποδίδει κάποιες σταγόνες νερού.

Κατά τις εκτιμήσεις των ανασκαφών, για πρώτη φορά επιχρίονται οι εσωτερικοί τοίχοι όταν παροχετεύεται εκεί νερό από την παρακείμενη Εννεάκρουνο. Σε μεταγενέστερη εποχή, το επίχρισμα ανανεώθηκε. Το ότι η δεξαμενή αυτή παρέμεινε σε χρήση για πολύ καιρό και ότι κατά τη ρωμαϊκή περίοδο, παρά την αρχαιότητά της είχε ακόμα μεγάλη σημασία,

αποδεικνύεται από το πλούσιο μωσαϊκό του 2^{ου} αιώνα μ.Χ. που βρέθηκε στο δάπεδο της δεξαμενής. Τα μοτίβα περικοκλάδας και πλοχμού και ο λοιπός του διάκοσμος εμφανίζουν ομοιότητες με παρόμοια δάπεδα της εποχής του Αδριανού.

Δεξιά της εισόδου, στη γωνία του θαλάμου, ξεκινάει ένας πλευρικός διάδρομος προς βορρά, ο οποίος σχηματίζοντας σχεδόν ορθή γωνία οδηγεί σε μια δεύτερη κλίμακα, σήμερα με τέσσερις αναβαθμίδες, η οποία με τη σειρά της κατεβαίνει σε έναν ελλειπτικό θάλαμο (r6, σχήμα 1-1). Αυτός ο θάλαμος διασώζει ίχνη επίστρωσης από μάρμαρο, η οποία θεωρείται σύγχρονη με το μωσαϊκό του μεγάλου θαλάμου. Κάτω όμως από αυτή την επίστρωση, βρέθηκε παλαιότερο λιθόστρωτο δάπεδο που θα πρέπει να ανήκει σε πολύ παλαιότερη εποχή. Αυτός ο δεύτερος θάλαμος ήταν προφανώς μια δεύτερη υδροσυλλεκτική δεξαμενή και κάποτε θα ήταν γεμάτη νερό. Και τα δύο δάπεδά της βρίσκονται μέχρι και δύο μέτρα βαθύτερα από το δάπεδο του μεγάλου θαλάμου. Στην ανατολική πλευρά του θαλάμου βρέθηκαν τρεις διάδρομοι -αγωγοί που σήμερα είναι ελεύθεροι, τότε όμως ήταν για αρκετή απόσταση υπόγειοι μέσα στα βράχια : ένα μεγαλύτερο κανάλι, με πλάτος ένα μέτρο και ύψος δύο και με το ίδιο κονίαμα που απαντήθηκε και στο μεγάλο θάλαμο και σε άλλες δεξαμενές, και δύο μικρότερα κανάλια εκατέρωθεν του (σχήμα 1-1). Το μεσαίο κανάλι, όπως επιβεβαιώθηκε από τομές που έγιναν στο δρόμο, φτάνει μέχρι τη μέση του δρόμου περίπου και εκεί εξέρχεται από το βράχο. Υποθέτουμε ότι το πέρας του φρασσόταν με τοίχιο, στο οποίο θα πρέπει να συνδεόταν ένας αγωγός, για τη λήψη νερού. Στο σημείο αυτό υπέθεσαν οι ανασκαφείς την ύπαρξη μιας μικρής κρήνης

χωρίς όμως να αποκλείουν και το ενδεχόμενο η μεγάλη κρήνη του Πεισιστράτου να εκτείνονταν μέχρι εκεί. Κατά τη ρωμαϊκή περίοδο, τειχίστηκε η αρχή του μεσαίου καναλιού και τοποθετήθηκε στη βάση του τετραγωνικής διατομής σκεπαστός αγωγός πλάτους 0,10 μέτρων. Από τα πλευρικά κανάλια, το νότιο προχωράει με τη μορφή γαλαρίας, μέχρι κάτω από την αρχή του δρόμου και σταματάει εκεί. Ένα άνοιγμα στο κάλυμμά του ίσως προσδιορίζει τη θέση όπου ενώνονταν με κάποιο παρακλάδι του πεισιστράτειου αγωγού. Ενώ αυτή η γαλαρία βρίσκεται σχεδόν ένα μέτρο πάνω από το νεώτερο μαρμάρινο δάπεδο του θαλάμου, το βόρειο πλευρικό κανάλι βρίσκεται στο ύψος του δαπέδου αυτού και συνεχίζει τη διαδρομή του προς τα βόρεια. Στη συνέχεια μάλλον περνούσε από την επόμενη δεξαμενή (r5, σχήμα 1-1), έπειτα έμπαινε ξανά μέσα στα βράχια και με τη μορφή στοάς διασταυρωνόταν με τις δύο παράπλευρες δεξαμενές r3 και r2 (σχήμα 1-1) και κατέληγε κοντά στην τελευταία. Σε αντίθεση με το νότιο πλευρικό αγωγό, ο οποίος λόγω του ύψους που βρίσκεται μπορούσε να είναι μόνο αγωγός τροφοδοσίας, ο βόρειος πλευρικός αγωγός προορίζονταν για την εκκένωση του θαλάμου.

2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

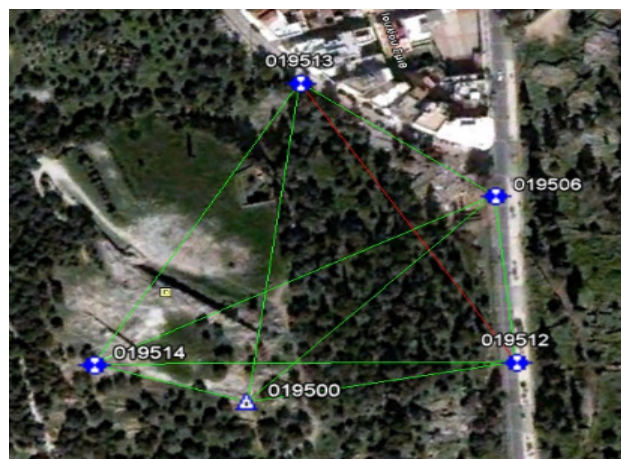
2.1. Το τριγωνομετρικό δίκτυο

Κατά τη γεωμετρική τεκμηρίωση ενός αντικειμένου ή ενός χώρου, δεν είναι απαραίτητη και η ένταξή του σε κάποιο σύστημα αναφοράς, πέραν του τοπικού συστήματος στο οποίο πραγματοποιείται η αποτύπωσή του. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ωστόσο, λόγω της μελέτης που πραγματοποιείται στην ευρύτερη περιοχή της Πνύκας (περιοχή με έντονη πολιτισμική και ιστορική σημασία), θεωρήθηκε αναγκαία η ένταξη της κρήνης της Καλλιρρόης στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ 87), ώστε να συνδεθεί με την ευρύτερη υπό εξέταση περιοχή του λόφου της Πνύκας.

Για το σκοπό αυτό, στην περιοχή γύρω από την κρήνη της Καλλιρρόης, ιδρύθηκε ένα δίκτυο 5 σημείων (019500, 019506, 019512, 0,19513, 019514), το οποίο χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής αλλά και σε άλλες εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή.

Λόγω έντονης κλίσης και βλάστησης στην περιοχή, δεν υπήρχε ορατότητα μεταξύ των σημείων του δικτύου. Η χρήση επίγειων μεθόδων για τη μέτρηση του δικτύου θα απαιτούσε πύκνωση του δικτύου και ο απαιτούμενος χρόνος υπαίθρου θα αυξάνονταν. Για το λόγο αυτό, για την επίλυση του τριγωνομετρικού δικτύου επιλέχθηκε η δορυφορική μέθοδος παρατήρησης με GPS.

Στο τριγωνομετρικό δίκτυο, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με GPS το χρονικό διάστημα (12/05/10 και 19-20/05/10). Με γνωστές τις γεωδαιτικές συν/νες του τριγωνομετρικού σημείου 019500, προσδιορίστηκαν οι συν/νες των υπόλοιπων σημείων του δικτύου στο ΕΓΣΑ 87. Το σημείο 019512, βρίσκεται μπροστά από την είσοδο της Καλλιρρόης .



Εικόνα 2-1 Δίκτυο γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων.

2.2. Η λειτουργία του GPS

Το GPS (Global Positioning System), είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (συντεταγμένες) , χρόνου και ταχύτητας, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης ή και πάνω από αυτήν, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες. Ανήκει στην κατηγορία των συστημάτων GNSS (Global Navigation Satellite System), δηλαδή των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης, όπως είναι το παρόμοιο ρωσικό σύστημα GLONASS (Global Navigation Satellite System) και το πολιτικό ευρωπαϊκό σύστημα GALILEO.

Η χρήση του GPS για τον προσδιορισμό θέσης, δεν απαιτεί ορατότητες μεταξύ των σημείων ενός δικτύου και κατάλληλες καιρικές συνθήκες για την εκτέλεση των μετρήσεων. Οι μόνες συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται είναι η ύπαρξη ικανοποιητικού ορίζοντα, ώστε να λαμβάνεται σήμα από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους και η κατά το δυνατόν απουσία ηλεκτρονικών σημάτων παρεμβολών. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του GPS είναι το WGS84 (World Geodetic System 1984). Οι συντεταγμένες GPS, καρτεσιανές γεωκεντρικές (X, Y, Z) ή ισοδύναμα γεωδαιτικές-ελλειψοειδής (φ, λ, h), μπορούν να μετασχηματίζονται σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών, είτε με γνωστές παραμέτρους μετασχηματισμού, είτε με τον προσδιορισμό τους από μετρήσεις GPS σε κοινά σημεία.

2.3. Οι μετρήσεις με GPS

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην εργασία αυτή, κατά τις μετρήσεις με GPS, ονομάζεται σχετικός, στατικός εντοπισμός θέσης. Στατικός προσδιορισμός θέσης ονομάζεται γιατί, το αντικείμενο - σημείο που υπόκειται σε προσδιορισμό θέσης είναι ακίνητο. Κατά το σχετικό προσδιορισμό θέσης, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες σημείου ως προς ένα άλλο σημείο, του οποίου οι συντεταγμένες θεωρούνται γνωστές ως προς ένα σύστημα αναφοράς τοπικό ή γεωκεντρικό, ή αλλιώς, προσδιορίζεται η σχετική θέση (διαφορές συντεταγμένων) μεταξύ των δύο σημείων. Το σημείο που θεωρείται γνωστό, μπορεί να θεωρηθεί ως η αρχή ενός αυθαίρετου τρισδιάστατου συστήματος αναφοράς ή να έχει γνωστές συντεταγμένες ως προς ένα τοπικό

γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (π.χ. ΕΓΣΑ 87) ή ως προς ένα γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (π.χ. WGS84).

Για τις μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν δύο δέκτες GPS "Hiper Pro", της Topcon (εικόνα 2-2). Οι δύο δέκτες τοποθετήθηκαν στα σημεία του δικτύου και προσδιορίστηκαν οι σχετικές θέσεις μεταξύ των σημείων (βάσεις). Επιλύθηκαν όλες οι βάσεις που παρουσιάζονται στην εικόνα 2-1, με εξαίρεση τη βάση (019513-019512), η οποία παρουσίασε μεγάλα σφάλματα και δεν χρησιμοποιήθηκε στους τελικούς υπολογισμούς. Για κάθε βάση, προσδιορίστηκαν οι καρτεσιανές γεωκεντρικές συνιστώσες (ΔX , ΔY , ΔZ) στο WGS84. Οι αντίστοιχες γεωδαιτικές συνιστώσες στο ΕΓΣΑ 87, προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη ότι : οι συνιστώσες παράλληλης μετάθεσης από το WGS84 στο ΕΓΣΑ87 είναι ($\Delta X=200m$, $\Delta Y= -75m$, $\Delta Z= -246m$). Χρησιμοποιήθηκε το software που συνοδεύει τους δέκτες "Topcon Tools".

Με δεδομένο ότι το σημείο 019500 είναι τριγωνομετρικό με γνωστές τις γεωδαιτικές συνιστώσες στο ΕΓΣΑ 87, υπολογίστηκαν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες για όλα τα σημεία του δικτύου. Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου, όπως αυτές προέκυψαν από την επίλυση, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

Σημείο	X(m)	Y(m)	H(m)
19500	475254,106	4202343,637	108,214
19506	475321,730	4202456,926	78,063
19512	475348,360	4202383,689	83,675
19513	475235,425	4202488,457	81,585
19514	475195,676	4202345,576	108,015

Πίνακας 2-1 Γεωδαιτικές συν/νες σημείων στο ΕΓΣΑ 87.

2.4. Όργανα και παρελκόμενα μετρήσεων με GPS

Στις μετρήσεις με GPS, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν δύο δέκτες GPS δύο συχνοτήτων "Hiper Pro" της Topcon. Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δύο τρίποδες, δύο τρικόχλια και μία μετροταινία (με υποδιαιρέσεις mm) για τη μέτρηση υψών οργάνου.

Το Hiper Pro είναι εξαιρετικά εύχρηστο, έχει βάρος 1,65 Kg, είναι απαλλαγμένο από εξωτερική καλωδιακή σύνδεση και έχει απλή και γρήγορη διαδικασία στησίματος και λειτουργίας. Χρησιμοποιείται τόσο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου RTK, όσο και σε εφαρμογές στατικού εντοπισμού. Στο στατικό εντοπισμό, η ονομαστική οριζοντιογραφική ακρίβεια του οργάνου είναι $3\text{mm}\pm 0,5\text{ppm}$, ενώ η ονομαστική υψομετρική του ακρίβεια είναι $5\text{mm}\pm 0,5\text{ppm}$. Η ενσωματωμένη UHF κεραία, καταγράφει σήματα από δορυφόρους του συστήματος GPS καθώς και του συστήματος GLONASS.



Εικόνα 2-2 Άποψη του οργάνου Hiper Pro της Topcon.

3. ΠΟΛΥΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

3.1. Πολυγωνομετρικά σημεία και κριτήρια επιλογής τους

Με γνωστές τις γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων 019512 και 019506, ιδρύθηκε μία ανοιχτή, εξαρτημένη από το ένα άκρο όδευση, αποτελούμενη από πέντε συνολικά σημεία. Από αυτά, τα δύο είναι τα τριγωνομετρικά, που βρίσκονται στον εξωτερικό χώρο της εισόδου της κρήνης και τα άλλα τρία σημεία (K1, K2, K3), είναι τα σημεία των οποίων υπολογίστηκαν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες, με τη μέτρηση και την επίλυση της όδευσης και βρίσκονται στον εσωτερικό χώρο της κρήνης.

Η επιλογή των σημείων της όδευσης, έγινε με βάση τα παρακάτω κριτήρια :

- την ορατότητα μεταξύ των στάσεων
- την επίτευξη του μικρότερου δυνατού αριθμού πολυγωνομετρικών σημείων
- την κατάλληλη επιλογή της θέσης και του αριθμού των στάσεων, ώστε στο στάδιο μετρήσεων με το laser scanner να μπορέσει να αποτυπωθεί όλο το εσωτερικό τμήμα της κρήνης της Καλλιρρόης

3.2. Υλοποίηση και μέτρηση πολυγωνομετρικού δικτύου

Η υλοποίηση των τριών πολυγωνομετρικών σημείων (K1, K2, K3) στο εσωτερικό της κρήνης, έγινε με ατσάλοκαρφα, τα οποία τοποθέτησαν οι υπεύθυνοι συντηρητές του χώρου.

Η μέτρηση του δικτύου πραγματοποιήθηκε με το total station TCR 1202+ της Leica στις 28/05/2010. Από τις στάσεις O19512, K1, K2 και K3, μετρήθηκαν οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου και δύο περιόδους, κεκλιμένες αποστάσεις, ύψη οργάνου και ύψη σκόπευσης. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, πραγματοποιούνταν πρόχειροι έλεγχοι για τον εντοπισμό χονδροειδών σφαλμάτων.

Η επεξεργασία των μετρήσεων, έγινε σε περιβάλλον Microsoft Excel.

Με την επεξεργασία των παραπάνω μετρήσεων, προσδιορίστηκαν οι τιμές των οριζόντιων και των κατακόρυφων γωνιών του πολυγωνομετρικού δικτύου, καθώς και οι οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών σημείων της όδευσης.

3.3. Προσδιορισμός γεωδαιτικών συν/νων πολυγωνομετρικού δικτύου

Η σχετική θέση ενός σημείου A ως προς κάποιο σημείο B, μπορεί να υπολογιστεί ως προς κάποιο κοινό και για τα δύο σημεία, σύστημα συντεταγμένων. Επίσης, μπορεί να προσδιοριστεί η απόσταση μεταξύ

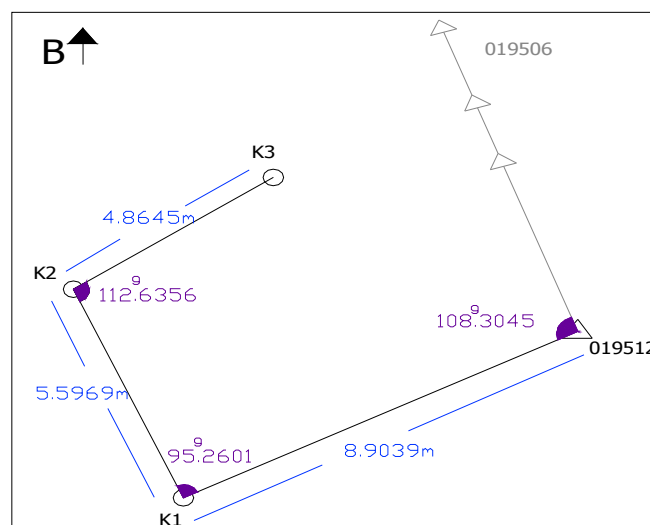
των δύο σημείων και η γωνία διεύθυνσης αυτής της πλευράς. Αυτοί οι υπολογισμοί, αποτελούν τα τρία θεμελιώδη προβλήματα της Γεωδαισίας.

Με τη χρήση των θεμελιωδών προβλημάτων της Γεωδαισίας και με γνωστά τα τριγωνομετρικά σημεία 019506 και 019512, υπολογίστηκαν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων K1, K2 και K3 στο ΕΓΣΑ 87. Να σημειωθεί ότι, δεν πραγματοποιήθηκαν αναγωγές των μηκών, γιατί οι αποστάσεις είναι πολύ μικρές (της τάξης των 10 μέτρων) και ο συντελεστής κλίμακας της περιοχής είναι πολύ κοντά στη μονάδα ($m = 0,9996$).

Οι συντεταγμένες που προσδιορίστηκαν από την επίλυση της όδευσης, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

	X(m)	Y(m)	H(m)
K1	475340,459	4202379,584	82,596
K2	475338,255	4202384,729	82,412
K3	475342,261	4202387,489	81,144

Πίνακας 3-1 Συν/νες πολυγωνομετρικών σημείων στο ΕΓΣΑ 87.



Σχήμα 3-1 Το πολυγωνομετρικό δίκτυο.

3.4. Όργανα και παρελκόμενα μετρήσεων

Για τη μέτρηση του πολυγωνομετρικού δικτύου, χρησιμοποιήθηκε το total station TCR 1202+ της Leica, με δυνατότητα reflectorless λειτουργίας. Το TCR 1202+, έχει μέγιστη ακρίβεια μήκους σε πρίσμα 1 έως 1,5 mm ανά km, ενώ για μετρήσεις μηκών χωρίς πρίσμα η μέγιστη ακρίβεια είναι 2mm ανά km. Η μέγιστη ακρίβεια διεύθυνσης του οργάνου είναι $6^{\circ} = 2''$, ενώ η ελάχιστη ανάγνωση διευθύνσεων είναι $3^{\circ} = 1''$. Το βάρος του είναι περίπου 5kg.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, στις στάσεις 019512 και K2, ήταν απαραίτητη η χρήση αγκωνοειδούς φακού, ώστε να σκοπευθούν οι εκάστοτε στόχοι (K1 και K3). Τα σημεία 019512 και K2, στα οποία χρησιμοποιήθηκε αγκωνοειδής, παρουσιάζονται στις εικόνες 3-1 έως και 3-4.

Τα παρελκόμενα των μετρήσεων ήταν : δύο τρίποδες, μία μετροταινία (με υποδιαίρεσεις mm), τρία τρικόχλια, δύο στυλαιουδάκια , ένας στυλαιός, δύο κατάφωτα και μία βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης. Η βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης, χρησιμοποιήθηκε στη στάση K2, καθώς δεν είναι δυνατόν να στηθεί τρίποδας στο σημείο αυτό.



Εικόνα 3-1 Μέτρηση σημείου 019512 με το TCR 1202+ της Leica.



Εικόνα 3-2 Μέτρηση σημείου 019512 με το TCR 1202+ της Leica (χρήση αγκωνοειδούς φακού).



Εικόνα 3-3 Μέτρηση σημείου K2 με το TCR 1202+ της Leica (χρήση βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης και αγκωνοειδούς φακού).



Εικόνα 3-4 Μέτρηση σημείου K2 με το TCR 1202+ της Leica (χρήση βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης και αγκωνοειδούς φακού).

4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΑΡΩΤΗ LASER

4.1. Γενικά χαρακτηριστικά

Σήμερα, οι επίγειοι σαρωτές laser (Terrestrial Laser Scanner - TLS), με τη βοήθεια των εξελιγμένων ηλεκτρονικών υπολογιστικών συστημάτων και την εμπειρία στη χρήση, τόσο των λογισμικών επεξεργασίας όσο και του ίδιου του σαρωτή laser, αποτελούν μία ειδική κατηγορία οργάνων για γεωδαιτικές εφαρμογές. Έχουν ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, το οποίο όσο περνούν τα χρόνια διευρύνεται ακόμα περισσότερο. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά τους δίνουν λύσεις σε προβλήματα αποτύπωσης, τα οποία με τις μέχρι τώρα τεχνολογίες έμοιαζαν ανυπέρβλητα ή τουλάχιστον ήταν πολύ δύσκολα αντιμετωπίσιμα. Σήμερα, οι σαρωτές laser είναι από τα πιο ακριβά όργανα (έχουν ένα κόστος της τάξης των 100.000 ευρώ), όμως η μείωση του κόστους εργασίας με τη χρήση τους (λόγω μεγαλύτερης ταχύτητας εργασιών και μείωσης του απαραίτητου ανθρώπινου δυναμικού), καθιστά την αγορά σαρωτή laser μία συμφέρουσα επένδυση για εταιρείες που ασχολούνται με την αποτύπωση. Μία τυπική μέσου όγκου δουλειά, που με τις συμβατικές μεθόδους θα απαιτούσε 7-8 ημέρες εργασιών, με τη βοήθεια των σαρωτών laser μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μία μόνο μέρα στο πεδίο.

Οι σαρωτές laser, μαζί με τα reflectorless total stations, έχουν τη δυνατότητα αποτύπωσης χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (laser) που εκπέμπεται από το όργανο, δεν προσπίπτει σε κάποιον ανακλαστήρα, αλλά σε οποιαδήποτε επιφάνεια από την οποία ανακλάται και στη συνέχεια επιστρέφει σε αυτό. Τα πλεονέκτημα των οργάνων που δε χρησιμοποιούν ανακλαστήρα είναι τα εξής :

- Δε χρειάζεται το σημείο μέτρησης να είναι προσβάσιμο
- Δεν απαιτείται ανακλαστήρας για την εκτέλεση των μετρήσεων

Τα reflectorless total stations, πραγματοποιούν εκατοντάδες μετρήσεις προς ένα σημείο μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα (1-2 δευτερόλεπτα), ώστε να δώσουν την τιμή της απόστασης του μετρούμενου σημείου. Αντίθετα, οι σαρωτές laser, στον ίδιο χρόνο έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν εκατοντάδες μετρήσεις διαφορετικών σημείων. Ένα ακόμη πλεονέκτημα των μετρήσεων με σαρωτή laser, είναι η απουσία σφαλμάτων που οφείλονται σε στοιχεία κλασικής τοπογραφίας, όπως τα σφάλματα που προκύπτουν λόγω μη καθετότητας στυλαιού, σφάλματα ύψους στόχου κ.λ.π..

4.2. Εφαρμογές σαρωτή laser

Οι σαρωτές laser, βρίσκουν σημαντικό πεδίο εφαρμογών σε μελέτες οδοποιίας ή συγκοινωνιακών έργων. Μια τυπική αποτύπωση ενός οδικού δικτύου, μπορεί να γίνει 20% - 30% ταχύτερα με τους σαρωτές laser από τις συμβατικές μεθόδους και με μικρότερο συνεργείο

αποτύπωσης. Ένα επίσης σημαντικό πλεονέκτημα της αποτύπωσης πολυσύχναστων δρόμων με σαρωτή laser, είναι ότι δεν υπάρχει ανάγκη διακοπής της κυκλοφορίας.

Ειδικές εφαρμογές τοπογραφικών αποτυπώσεων, όπως είναι η αποτύπωση σπηλαίων (έντονο ανάγλυφο και ακαθόριστο σχήμα) ή η αποτύπωση ενός αεροδρομίου που ήδη βρίσκεται σε χρήση και δεν είναι δυνατή η διακοπή της λειτουργίας του, μπορούν εύκολα να αντιμετωπιστούν με τη χρήση σαρωτών laser.

Αποτυπώσεις λεπτομερειών και απρόσιτων σημείων των κτηρίων, είναι δύο μόνο από τα πλεονεκτήματα που καλύπτουν πολλές από τις ανάγκες της αποτύπωσης αρχιτεκτονικών στοιχείων που αλλιώς θα ήταν προβληματικές. Στις αποτυπώσεις μνημείων (κτηρίων, περιοχών, ακόμα και αντικειμένων), όπου παρουσιάζονται προβλήματα πρόσβασης, εγγύτητας και πολυπλοκότητας, αρχίζει να παγιώνεται η αποτύπωση με σάρωση.

Τέλος, όσον αφορά στις γεωδαιτικές εφαρμογές, οι σαρωτές laser βρίσκουν χρήση και στη βιομηχανική γεωδαισία. Εφαρμογές που αφορούν στο σχεδιασμό αντικειμένων, στον εντοπισμό αστοχιών συστημάτων ή εξαρτημάτων κ.λ.π., στις οποίες απαιτείται η αποτύπωση ακανόνιστου σχήματος αντικειμένων, με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια και ταχύτητα, αντιμετωπίζονται με μετρήσεις σαρωτή laser. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα σάρωσης, από απόσταση, απρόσιτων ή επικίνδυνων εγκαταστάσεων.

4.3. Τεχνολογίες επίγειου σαρωτή laser

Οι δύο κυρίαρχες τεχνολογίες που εφαρμόζουν σήμερα οι επίγειοι σαρωτές laser και οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή στον τομέα των αποτυπώσεων, είναι η Time-of-Flight και του τριγωνισμού.

Η τεχνολογία Time-of-Flight, είναι κατάλληλη για αποτυπώσεις μεγάλων αντικειμένων (π.χ. κτηρίων και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών), καθώς οι σαρωτές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία Time-of-Flight, έχουν τη δυνατότητα αποτύπωσης σε μεγάλες αποστάσεις ακόμα και της τάξης των μερικών χιλιομέτρων. Η τεχνολογία αυτή, προσφέρει μειωμένη σχετικά ακρίβεια, της τάξης των λίγων χιλιοστών.

Η τεχνολογία τριγωνισμού, αντίθετα, προσφέρει μικρή ακτίνα εφαρμογής (της τάξης των μερικών μέτρων) αλλά πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια που μπορεί να φτάσει τα μερικά μικρόμετρα (μm). Οι σαρωτές που χρησιμοποιούν αυτήν την τεχνολογία, βρίσκουν εφαρμογή σε αποτυπώσεις μικρότερου μεγέθους από τους σαρωτές τεχνολογίας Time-of-Flight (αποτυπώσεις βιομηχανικών εξαρτημάτων, γλυπτών, αγγείων κ.λ.π.).

4.4. Τεχνολογία Time-of-Flight

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, που έχει ως στόχο τη γεωμετρική τεκμηρίωση της κρήνης της Καλλιρρόης, χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία Time-of-Flight. Οι σαρωτές laser που χρησιμοποιούν την τεχνολογία

Time-of-Flight, που είναι γνωστοί και ως **LIDAR** (**L**aser **I**nduced **D**ifferential **A**bsorption **R**adar ή **L**Ight **D**etection **A**nd **R**anging), έχουν τη δυνατότητα να μετρήσουν σημεία σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ μέσω της κίνησής τους μπορούν να αποτυπώσουν μεγάλο εύρος του οπτικού τους πεδίου. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην ανάκλαση μιας ακτίνας laser που εκπέμπεται από το σαρωτή και σαρώνει το αντικείμενο αποτύπωσης. Ο σαρωτής μετράει την απόσταση (s), υπολογίζοντας με ακρίβεια το χρόνο (t) που χρειάζεται μία ακτίνα laser που εκπέμπεται από το σαρωτή laser, να ανακλαστεί στο αντικείμενο και να επιστρέψει πίσω στην πηγή της. Με δεδομένο ότι η ταχύτητα διάδοσης του laser είναι σταθερή και ίση με την ταχύτητα του φωτός, υπολογίζεται η απόσταση από τον τύπο $s=(c*t)/2$ (4.4).

Η ακρίβεια του οργάνου εξαρτάται από την ακρίβεια μέτρησης του χρόνου. Σήμερα, η ακρίβεια αυτή μπορεί να φτάσει τα 3,3 picoseconds ($3,3*10^{-12}$ seconds), χρόνος στον οποίο η ακτίνα laser καλύπτει μία απόσταση 1mm. Η ακτίνα laser υπολογίζει την απόσταση ενός σημείου κάθε φορά, ενώ ένας τυπικός σαρωτής τεχνολογίας Time-of-Flight, έχει τη δυνατότητα να σαρώνει 10.000-100.000 σημεία το δευτερόλεπτο.

4.5. Αρχή λειτουργίας

Οι σαρωτές laser, στέλνουν τρισεκατομμύρια φωτόνια στη μονάδα του χρόνου πάνω σε ένα αντικείμενο. Τα φωτόνια αυτά, ανακλώνται επάνω στο αντικείμενο αποτύπωσης και ένα μικρό ποσοστό τους, μετά

από την ανάκλαση αυτή, κατευθύνεται προς τους αισθητήρες του σαρωτή. Τα φωτόνια, κατευθύνονται μέσα στη συσκευή με τη βοήθεια των οπτικών διατάξεων που διαθέτει το κάθε όργανο. Η ανακλαστικότητα κάθε αντικειμένου εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες όπως είναι το χρώμα και το ποσοστό διαφάνειας του αντικειμένου. Μια λευκή επιφάνεια ανακλά περισσότερο ποσοστό της προσπίπτουσας οπτικής ακτινοβολίας από μια σκουρόχρωμη ή μαύρη επιφάνεια. Αντίστοιχα, διάφανες επιφάνειες (όπως το γυαλί), διαθλούν την οπτική ακτινοβολία με αποτέλεσμα να εισέρχονται σφάλματα στις μετρήσεις.

Με τη σάρωση του αντικειμένου, δημιουργείται ένα 'νέφος σημείων' (point cloud), στο οποίο αποτυπώνονται πολύ πυκνά διακριτά σημεία της επιφάνειας του αντικειμένου. Όσο πυκνότερα είναι τα σημεία, τόσο ακριβέστερη είναι η αναπαράσταση του αντικειμένου. Ο σαρωτής, κατά τη διαδικασία της αποτύπωσης, συλλέγει και χρωματική πληροφορία των σημείων (με τη μορφή RGB) και έτσι υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού του χρώματος του αντικειμένου αποτύπωσης.

Ο σαρωτής laser, αποτυπώνει ένα κωνοειδές πεδίο με κορυφή το κέντρο του φακού. Τα σημεία προς αποτύπωση θα πρέπει να είναι ορατά από το σημείο αποτύπωσης και κατά βάση αδιαφανή. Καταγράφονται στοιχεία της απόστασης των σημείων από το σαρωτή και δεδομένα σχετικά με τη θέση τους στο χώρο. Ορίζεται έτσι, ένα σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων, με αρχή τον αισθητήρα του σαρωτή και με τιμές $(\varphi, \theta) = (0, 0)$ για το διάνυσμα που ξεκινάει από τον αισθητήρα και κατευθύνεται προς τα εμπρός του σαρωτή. Τα (φ) και

(θ) , μαζί με την απόσταση του κάθε σημείου (r), αποτελούν τις σφαιρικές συντεταγμένες που περιγράφουν πλήρως τη θέση του αντικειμένου σε ένα σύστημα σχετικό με το σαρωτή. Στις περισσότερες περιπτώσεις, απαιτούνται περισσότερες από μία σαρώσεις (από διαφορετικές γωνίες και όψεις), ώστε να δημιουργηθεί μία σωστή απεικόνιση του αντικειμένου. Αυτές οι διαφορετικές σαρώσεις, πρέπει να αναφερθούν σε ένα ενιαίο, κοινό σύστημα αναφοράς (με τη διαδικασία "registration"), για να ενσωματωθούν σε ένα ενιαίο μοντέλο. Όλη αυτή η διαδικασία, γίνεται μέσω ειδικών λογισμικών και είναι απαραίτητη για τη δημιουργία του τελικού μοντέλου.

Σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης, ο σαρωτής δεν είναι αναγκαίο να τοποθετείται σε συγκεκριμένο σημείο, ούτε υπάρχει ανάγκη ορισμού των συντεταγμένων του σημείου στάσης. Τα σημεία, συσχετίζονται μεταξύ τους, το καθένα με τα γειτονικά του και όχι με τη θέση του σαρωτή. Από τις διαφορετικές θέσεις σάρωσης, δημιουργούνται τα μοντέλα σάρωσης, τα οποία (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω) ενώνονται με τη μέθοδο "registration", κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των σημείων. Συνήθως όμως, προβλέπεται και η αποτύπωση κατά τη σάρωση, σημείων ελέγχου (control points), τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις μετριοούνται με τις κλασικές τοπογραφικές μεθόδους, ώστε να ενταχθούν σε κάποιο δίκτυο. Συνήθως πρόκειται για σφαιρικούς ή κυκλικούς στόχους. Αυτά τα σημεία ελέγχου (3-5 για κάθε σάρωση), επιτρέπουν τη γεωαναφορά του μοντέλου.

4.6. Ακρίβεια αποτύπωσης

Η ακρίβεια με την οποία γίνονται οι μετρήσεις, έχει άμεση συνέπεια στη ποιότητα του τελικού προϊόντος, με αποτέλεσμα να καθορίζει τον βαθμό χρησιμότητας σαρωτή laser για κάθε περίπτωση. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν την ακρίβεια είναι οι εξής :

- ◆ Διαστάσεις κουκκίδας laser
- ◆ Πυκνότητα σάρωσης
- ◆ Θόρυβος σάρωσης

Διαστάσεις κουκκίδας laser : Οι εταιρείες που κατασκευάζουν σαρωτές laser, χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους ώστε να ορίσουν το μέγεθος κουκκίδας. Το μέγεθος αυτό, ορίζει γενικά τις διαστάσεις της κουκκίδας του laser και έχει σημασία γιατί, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της κουκκίδας τόσο καλύτερος ορισμός του σημείου που θα αποτυπωθεί επιτυγχάνεται.

Πυκνότητα σάρωσης : Απαραίτητη προϋπόθεση πριν την έναρξη της σάρωσης, είναι να καθοριστεί το βήμα σάρωσης, η απόσταση δηλαδή μεταξύ των γειτονικών σημείων που θα αποτυπώσει ο σαρωτής. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε δύο στάδια, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω :

- ✓ Αρχικά, ορίζεται η απόσταση μέχρι την οποία ο σαρωτής θα αποτυπώνει. Αυτή η απόσταση ορίζεται με βάση το αντικείμενο προς αποτύπωση και τη θέση του σαρωτή ως προς αυτό, αλλά και

τις τεχνικές προδιαγραφές του σαρωτή.

- ✓ Δίνεται το βήμα σάρωσης, που κυμαίνεται από λίγα χιλιοστά και μπορεί να φτάσει και τα μερικά μέτρα. Το βήμα σάρωσης εξαρτάται από το αντικείμενο προς αποτύπωση, τις δυνατότητες του σαρωτή και τις απαιτήσεις ακρίβειας του τελικού προϊόντος. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι, το βήμα σάρωσης που ορίζεται είναι προσεγγιστικό και αφορά μόνο τα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται κάθετα στην πορεία της ακτίνας laser. Οι πλάγιες σαρώσεις δίνουν μικρότερη πυκνότητα από αυτήν που ορίζεται στις αρχικές ρυθμίσεις πριν την έναρξη της σάρωσης. Έτσι συνήθως, ορίζεται υψηλότερη πυκνότητα από αυτήν που απαιτούν οι προδιαγραφές, ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια και να αποφευχθούν κενές περιοχές ή έλλειψη σημείων.

Θόρυβος σάρωσης : Κατά τη διαδικασία της σάρωσης, αποτυπώνεται και άχρηστη πληροφορία και ειδικότερα όσον αφορά σαρώσεις που γίνονται σε εξωτερικούς χώρους. Το θόρυβο των μετρήσεων αποτελούν περιττά σημεία τα οποία επιλέγονται να αποτυπωθούν για να αποφευχθούν κενά στο τελικό αποτέλεσμα της αποτύπωσης (π.χ. περιοχές με βλάστηση ή άλλα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια μπροστά από το αντικείμενο σάρωσης) , αλλά και περιττά σημεία τα οποία αποτυπώθηκαν από σφάλμα και τα οποία αποτελούν επίσης άχρηστη πληροφορία (π.χ. άνθρωποι ή άλλα εμπόδια που παρεμβάλλονται στιγμιαία στην ακτίνα του laser).

Ο έλεγχος, ο εντοπισμός και η απαλοιφή θορύβου γίνεται κατά τη διαδικασία επεξεργασίας του νέφους, χειροκίνητα (με επιλογή και

διαγραφή των περιττών σημείων) ή μέσω αλγορίθμων. Στην πράξη, ο χειροκίνητος έλεγχος είναι πρακτικότερος και ασφαλέστερος.

4.7. Άλλα προβλήματα σάρωσης

Ένα πρόβλημα που δημιουργείται, ειδικότερα στους σαρωτές Time-of-Flight, είναι το σφάλμα ακμής που παρουσιάζεται κατά την αποτύπωση ακμών του αντικειμένου σάρωσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μέρος της ακτίνας laser που φτάνει στην ακμή του αντικειμένου ανακλάται πίσω στο δέκτη, αλλά ταυτόχρονα υπάρχει και μια δεύτερη ανάκλαση από τις επιφάνειες που βρίσκονται πίσω, στο φόντο της ακμής, από φωτόνια τα οποία πέρασαν την ακμή. Με αυτόν τον τρόπο, στο δέκτη φτάνουν σήματα από δύο διαφορετικές περιοχές. Το όργανο για να υπολογίσει τη θέση του αντικειμένου βγάζει το μέσο όρο των μετρήσεων, με αποτέλεσμα η ακμή του αντικειμένου να φαίνεται σε λάθος θέση. Συνήθως, αυτό το πρόβλημα λύνεται με τον ορισμό, στο λογισμικό του οργάνου, της πρώτης ή της δεύτερης τιμής ανάκλασης ως τιμής μέτρησης της απόστασης.

Ένα δεύτερο πρόβλημα, είναι ο θόρυβος και τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις, από την κίνηση του σαρωτή ή των κατόπτρων στο εσωτερικό του και τις αλλαγές που προκαλούνται στο όργανο, λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής θερμότητας από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε αυτό. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την προστασία του οργάνου από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Επιπρόσθετα όμως, τα σύγχρονα μηχανήματα

περιλαμβάνουν διατάξεις που αντιδρούν σε μικρομετακινήσεις, κάνοντας τη διαδικασία των μετρήσεων πιο αξιόπιστη και μειώνοντας την επίδραση αυτών των σφαλμάτων.

Επίσης, η κίνηση για την αποτύπωση σε διαφορετικές θέσεις, οδηγεί πολλές φορές σε μικρομετακινήσεις, οι οποίες προσθέτουν μία ακόμα πηγή σφαλμάτων. Οι μετακινήσεις αυτές (είτε του οργάνου, είτε των κατόπτρων του), πρέπει να γίνονται ομαλά και όσο το δυνατόν σε μικρότερο εύρος ώστε να μειώνεται η πιθανότητα σφαλμάτων. Συνήθως, αυτό μπορεί να γίνει με το καλύτερο σχεδιασμό των μετρήσεων και τον περιορισμό των μετακινήσεων της κεφαλής του οργάνου. Βέβαια, οι μικροδονήσεις που προκαλούνται από τις μετακινήσεις των κατόπτρων μέσα στο όργανο είναι αδύνατο να απαλειφθούν τελείως.

Η ατμοσφαιρική πίεση και η ύπαρξη μικροεμποδίων στην ατμόσφαιρα (σκόνη, καπνός κ.α.), δημιουργούν σφάλματα ακμής στη σάρωση. Τα σφάλματα αυτά, σε μικρές αποστάσεις αγνοούνται, ενώ για μεγάλες αποστάσεις ακολουθούνται οι ρυθμίσεις που προβλέπει ο κάθε κατασκευαστής.

Τέλος, η ύπαρξη πολύ ισχυρής ακτινοβολίας (π.χ. ηλιακής ακτινοβολίας) στην πορεία του laser, έχει ως αποτέλεσμα τον επηρεασμό των αποτελεσμάτων.

Στην αποτύπωση που πραγματοποιήθηκε στο εσωτερικό της κρήνης της Καλλιρρόης, με το σαρωτή Scan Station 2, δεν υπήρχε επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι θέσεις σάρωσης ήταν οι λιγότερο δυνατές,

ενώ οι ατμοσφαιρικές συνθήκες δεν δημιούργησαν πρόβλημα.

Το βήμα της σάρωσης που επιλέχθηκε είναι 7mm (υψηλή πυκνότητα σάρωσης) και με δεδομένο το έντονο ανάγλυφο στο εσωτερικό της κρήνης, μπορεί κανείς να συμπεράνει (πριν ακόμα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία του νέφους σημείων), ότι θα υπάρχουν σφάλματα ακμής.

4.8. Διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων

Η αποτύπωση ενός αντικειμένου με σαρωτή, μειώνει το χρόνο εργασιών στο πεδίο (καθώς καταγράφει τρισεκατομμύρια σημεία σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα), ωστόσο, απαιτείται προσεκτική επεξεργασία των μετρήσεων στο γραφείο, με εξειδικευμένα λογισμικά προγράμματα. Τα διαδοχικά βήματα που ακολουθούνται για την επεξεργασία των μετρήσεων, είναι κυρίως τα παρακάτω :

- * **Φόρτωση σημείων** : Τα δεδομένα περνούν στον υπολογιστή, ο οποίος διαθέτει προγράμματα επεξεργασίας "νέφους σημείων".
- * **Ένωση μοντέλων (Registration)**: Τα μοντέλα που δημιουργούνται από τις διαφορετικές θέσεις σάρωσης του αντικειμένου, ενώνονται μεταξύ τους, βάσει κοινών σημείων. Τα κοινά σημεία μπορεί να είναι, προσημασμένοι στόχοι που αποτυπώνονται από κάθε στάση ή χαρακτηριστικά σημεία που φαίνονται στα μοντέλα.
- * **Γεωαναφορά** : Έχοντας τις συντεταγμένες τουλάχιστον τριών σημείων, μπορεί να προσανατολιστεί το νέφος σημείων στο πραγματικό σύστημα αναφοράς. Η γεωαναφορά του μοντέλου είναι

απαραίτητη, μόνο στις περιπτώσεις που μας ενδιαφέρει η απόλυτη θέση του μοντέλου, σε κάποιο συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς.

- * **Καθάρισμα νέφους** : Εντοπίζεται ο θόρυβος (περιττά σημεία) μέσα στο μοντέλο και απαλείφεται.
- * **Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου** : Σε αυτό το κομμάτι της επεξεργασίας εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές και φίλτρα, ώστε να εμφανιστούν και να τονιστούν λεπτομέρειες τις οποίες επιθυμούμε. Επίσης, η καταγραφή από το σαρωτή των χρωματικών τιμών RGB (η αξιοπιστία των οποίων εξαρτάται από το φωτισμό των σημείων) για κάθε σημείο, δίνει τη δυνατότητα χρωματικής επεξεργασίας του μοντέλου, ώστε να αντικατοπτρίζει όσο το δυνατόν περισσότερο την πραγματική εικόνα του αντικειμένου.
- * **Εξαγωγή στοιχείων** : Κάθε σημείο του νέφους έχει μοναδικές συντεταγμένες, τις οποίες ο χρήστης βλέπει, απλά επιλέγοντας το σημείο. Επίσης, όλα τα προγράμματα επεξεργασίας νέφους, δίνουν τη δυνατότητα, για μετρήσεις αποστάσεων μεταξύ σημείων του νέφους και δημιουργία επιφανειών από τα σημεία. Η εξαγωγή τομών ή όγκων (αφού οριστούν οι επιφάνειες που περικλείουν αυτούς τους όγκους) από τα νέφη, είναι εύκολες και συνηθισμένες διαδικασίες. Υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής όλου του τρισδιάστατου μοντέλου για επεξεργασία με άλλα λογισμικά (όπως το 3D Studio της Autodesk και το TriForma της Bentley).

5. ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΣΑΡΩΤΗ LASER

5.1. Όργανα και παρελκόμενα

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων με το σαρωτή laser, χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής Scan Station 2 της Leica. Ο σαρωτής Scan Station 2, ανά σημείο, δίνει ακρίβεια θέσης 6mm και ακρίβεια απόστασης 4mm (για αποστάσεις 1m - 50m). Η γωνιακή ακρίβεια του σαρωτή είναι 60 μrad, ενώ η εμβέλεια του είναι 300m. Είναι ενεργητικός σαρωτής (εκπέμπει ο ίδιος ακτίνες laser), η ακτίνα laser που εκπέμπει έχει πράσινο χρώμα και το μέγιστο ποσοστό ανίχνευσης σημείων είναι 50.000 σημεία/sec. Το μέγεθος των σημείων αποτύπωσης, για απόσταση μέχρι 50m, είναι 4mm - 6mm. Η ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ των σημείων (μέγιστη πυκνότητα σάρωσης) είναι το 1mm. Μέγιστο οπτικό πεδίο στον οριζόντιο άξονα έχει 360° , ενώ στον κάθετο άξονα 270°. Ζυγίζει περίπου 12Kg και τα λογισμικά επεξεργασίας είναι το 'Leica Cyclone ' και το 'Leica CloudWorx'.

Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένας τρίποδας, δύο τρικόχλια, ένα στυλαιουδάκι, μία μετροταινία, μία βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης (στη στάση K2) και ένας ειδικός στόχος για αποτυπώσεις με σαρωτή laser (εικόνα 5-3).

Επίσης, η χρήση φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή (laptop) είναι απαραίτητη στις μετρήσεις με σαρωτή. Οι ρυθμίσεις του σαρωτή (όπως

πυκνότητα σάρωσης, εμβέλεια, οπτικό πεδίο κ.τ.λ.), πραγματοποιούνται μέσω του υπολογιστή (αφού συνδεθεί με το σαρωτή) και του ειδικού λογισμικού (Cyclone ή CloudWorx).



Εικόνα 5-1 Μέτρηση με το Scan Station 2, της στάσης Κ3.



Εικόνα 5-2 Μέτρηση με το Scan Station 2, της Κ3. Παρακολούθηση της αποτύπωσης του νέφους σημείων στον Η/Υ.



Εικόνα 5-3 Ειδικός σφαιρικός στόχος πάνω σε βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης (στάση Κ2).



Εικόνα 5-4 Μέτρηση στάσης Κ2 με το Scan Station 2, σε βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης. Διακρίνεται η πράσινη οπτική ακτίνα laser.

5.2. Διαδικασία μετρήσεων

Οι μετρήσεις με το σαρωτή laser πραγματοποιήθηκαν σε δύο ημέρες. Στις 02/06/2010 πραγματοποιήθηκε η σάρωση από τη στάση K1, ενώ στις 18/06/2010 πραγματοποιήθηκε σάρωση από τις στάσεις K2 και K3.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο [4.5.], σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης, ο σαρωτής δεν είναι αναγκαίο να τοποθετείται σε συγκεκριμένο σημείο, ούτε υπάρχει ανάγκη ορισμού των συντεταγμένων του σημείου στάσης. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή ωστόσο, η τοποθέτηση του σαρωτή επιλέχθηκε να γίνει στα σημεία του πολυγωνομετρικού δικτύου (κεφάλαιο 3).

Ο χρόνος κάθε σάρωσης είναι σχετικά μικρός (περίπου 1,5 ώρα).

Πριν την έναρξη κάθε σάρωσης, αφού στηθεί ο σαρωτής στον τρίποδα, πρέπει να συνδεθεί με το laptop, στο οποίο θα οριστούν τα χαρακτηριστικά της σάρωσης (οπτικό πεδίο, βήμα κ.λ.π.).

Κατά τη διάρκεια της σάρωσης, παρουσιάζονται στην οθόνη του υπολογιστή τα σημεία που αποτυπώνονται (νέφος σημείων).

Η περιοχή του αντικειμένου που αποτυπώνεται κάθε στιγμή, είναι ορατή, καθώς προσπίπτει σε αυτήν η πράσινη δέσμη laser που εκπέμπεται από το σαρωτή.

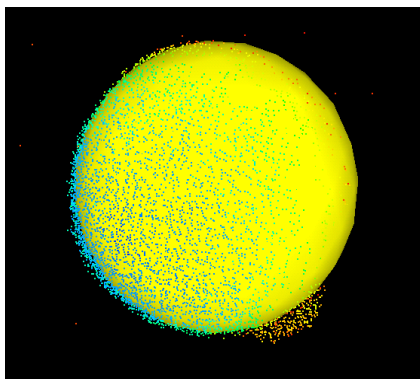
Υπήρξε δυσκολία στη μεταφορά του σαρωτή laser. Το μέγεθος και το βάρος του απαιτεί δύο άτομα για τη μετακίνησή του.

Για την ένταξη του μοντέλου σε ένα ορισμένο σύστημα αναφοράς ακολουθούνται δύο πιθανές διαδικασίες :

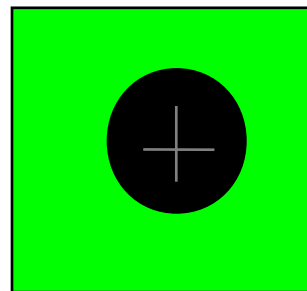
- ✓ Στην περίπτωση που το όργανο τοποθετείται σε τυχαία θέση (όχι κεντρωμένο και οριζοντιωμένο σε σημείο γνωστών συν/νων), είναι απαραίτητη η σάρωση τριών σημείων γνωστών συν/νων (ειδικοί σφαιρικοί στόχοι). Οι άγνωστοι που πρέπει να προσδιοριστούν για την ένταξη του μοντέλου σε ένα ορισμένο σύστημα αναφοράς είναι επτά ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta \omega, \Delta \phi, \Delta \kappa$ και η στροφή του μοντέλου ως προς τον εαυτό του). Με γνωστά τα δύο σημεία προσδιορίζονται οι έξι παράμετροι ($\{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z\}$ - η θέση ενός σημείου του μοντέλου στο χώρο, $\{\Delta \omega, \Delta \phi, \Delta \kappa\}$ - ο προσανατολισμός του μοντέλου στο χώρο), ενώ με μία συντεταγμένη του τρίτου σημείου προσδιορίζεται η στροφή του μοντέλου στο χώρο ως προς τον εαυτό του.
- ✓ Στην περίπτωση που η σάρωση γίνεται από σημείο γνωστών συντεταγμένων, με την κέντρωση του σαρωτή προσδιορίζονται οι παράμετροι $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, ενώ με την οριζοντίωση προσδιορίζεται η στροφή του μοντέλου στο χώρο ως προς τον εαυτό του. Με τη σάρωση ενός σημείου γνωστών συν/νων (ειδικός σφαιρικός στόχος) προσδιορίζονται οι παράμετροι $\Delta \omega, \Delta \phi$ και $\Delta \kappa$. Άρα όταν η σάρωση πραγματοποιείται από σημείο γνωστών συν/νων και ο σαρωτής είναι κεντρωμένος και οριζοντιωμένος, για την ένταξη του μοντέλου σε ορισμένο σύστημα αναφοράς είναι απαραίτητη η χρήση ενός μόνο σφαιρικού στόχου.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ο σαρωτής επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στα πολυγωνομετρικά σημεία (K1, K2 και K3), άρα εφαρμόστηκε η δεύτερη περίπτωση από τις προαναφερθείσες.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο [4.5.], ο ειδικός στόχος μπορεί να είναι σφαιρικός ή κυκλικός (εικόνες 5-5, 5-6).



Εικόνα 5-5 Σφαιρικός στόχος.



Εικόνα 5-6 Κυκλικός στόχος.

Κατά τη διάρκεια των σαρώσεων, χρησιμοποιήθηκε ένας σφαιρικός στόχος. Έτσι, κατά τη σάρωση από τη στάση K1 (στην οποία ο σαρωτής κεντρώθηκε και οριζοντιώθηκε), σαρώθηκε σφαιρικός στόχος που είχε στηθεί στο σημείο 019512. Μόλις ολοκληρώθηκε η σάρωση, μέσω του λογισμικού cyclone, αφού προσδιορίστηκε ο στόχος στο νέφος σημείων, μοντελοποιήθηκε αυτόματα από το πρόγραμμα σε σχήμα σφαίρας και ζητήθηκε να εισαχθούν οι συν/νες του κέντρου της. Δόθηκαν αυθαίρετα οι συν/νες των σημείων 019512 (κέντρο της σφαίρας που μοντελοποιήθηκε) και K1 καθώς δεν ήταν ακόμα γνωστές οι συν/νες των πολυγωνομετρικών αυτών σημείων στο ΕΓΣΑ 87. Για να είναι δυνατή η γεωαναφορά του νέφους, ήταν απαραίτητη η γνώση, την ημέρα

της σάρωσης, των συν/νων των πολυγωνομετρικών σημείων στο ΕΓΣΑ 87. Οι αυθαίρετες συν/νες που δόθηκαν στα πολυγωνομετρικά σημεία 019512 και Κ1, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

	X(m)	Y(m)	H(m)
Κ1	475357,054	4202385,618	82,603
19512	475348,361	4202383,689	83,675

Πίνακας 5-1 Αυθαίρετες συν/νες σημείων, που δόθηκαν στο νέφος που προέκυψε από τη σάρωση στη στάση Κ1.

Κατά τη διάρκεια της σάρωσης από τη στάση Κ3, χρησιμοποιήθηκε σφαιρικός στόχος που στήθηκε στη στάση Κ2 και δόθηκαν αυθαίρετες συν/νες στα σημεία Κ2 και Κ3, όπως αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

	X(m)	Y(m)	H(m)
Κ2	475355,439	4202390,977	82,424
Κ3	475350,596	4202390,519	81,160

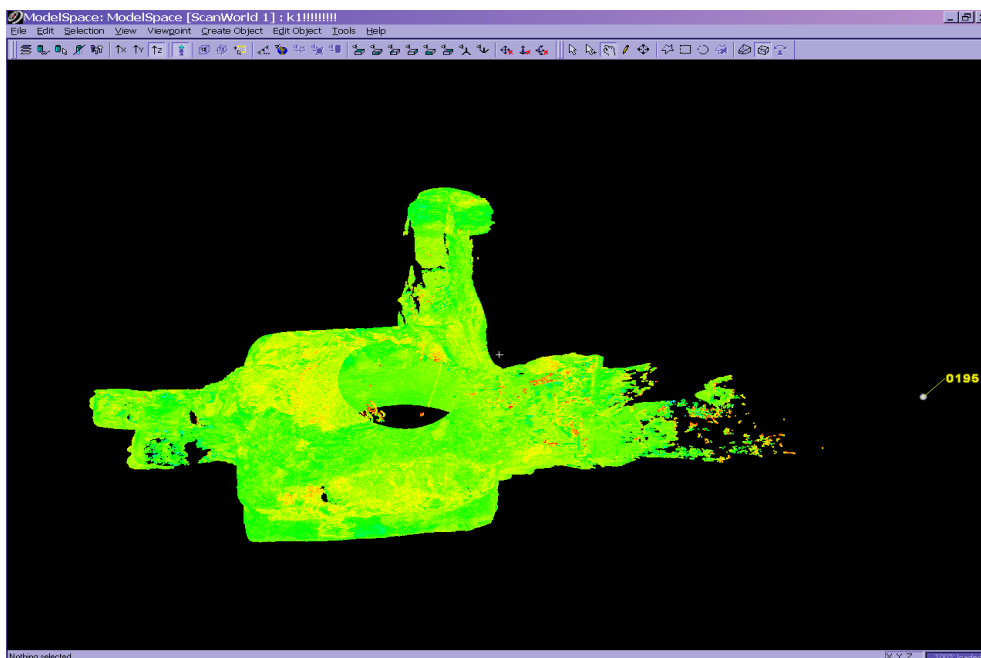
Πίνακας 5-2 Αυθαίρετες συν/νες σημείων, που δόθηκαν στο νέφος που προέκυψε από τη σάρωση στη στάση Κ3.

Στις σαρώσεις στις στάσεις Κ1 και Κ3, ο σαρωτής laser είχε κεντρωθεί και οριζοντιωθεί στο αντίστοιχο πολυγωνομετρικό σημείο. Αντίθετα, στη στάση Κ2, λόγω της ιδιομορφίας της θέσης αυτής (κατηφορικό

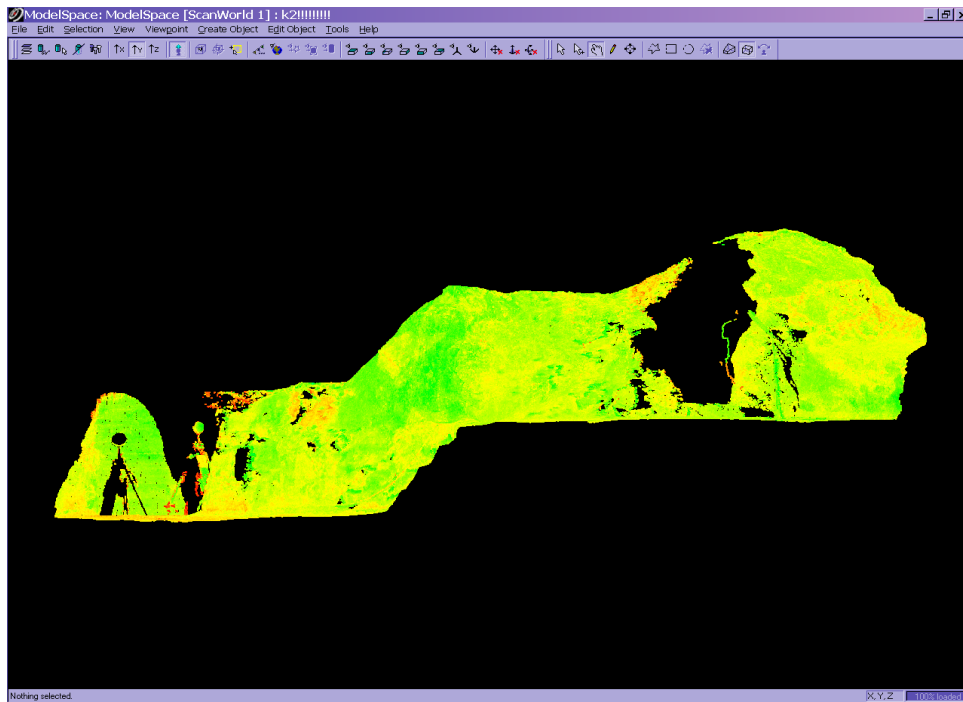
έδαφος και αδυναμία στησίματος τρίποδα με δυνατή τη χρήση μόνο βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης), ο σαρωτής laser δεν οριζοντιώθηκε πριν την έναρξη της σάρωσης. Έτσι το μοντέλο από τη σάρωση στη στάση K2 προέκυψε σε άγνωστο αυθαίρετο σύστημα αναφοράς.

5.3. Επεξεργασία μετρήσεων

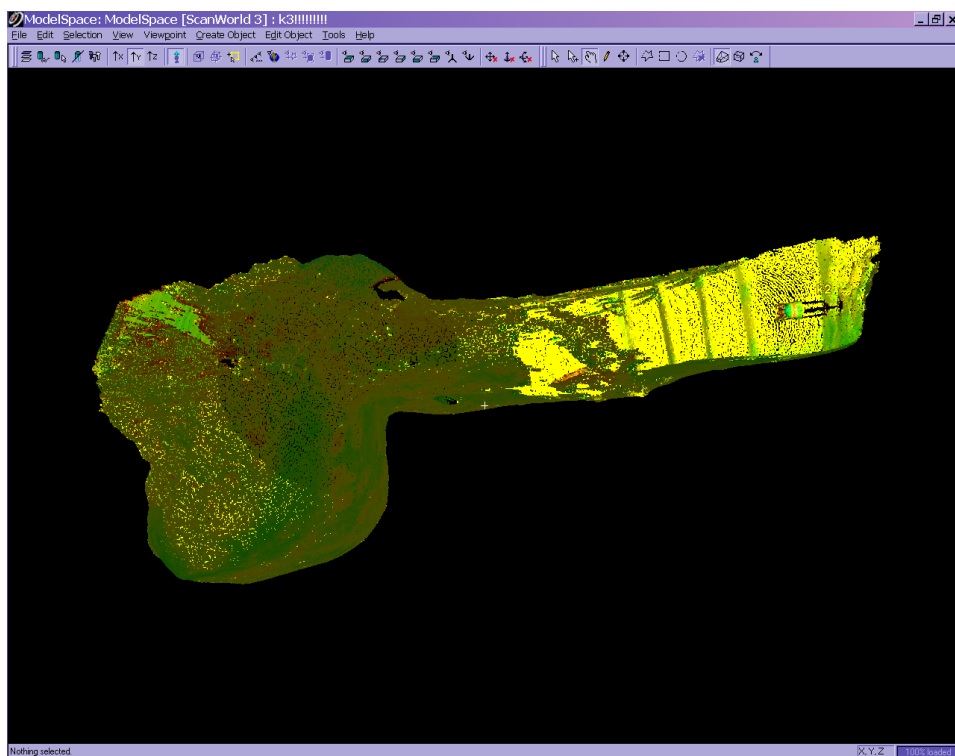
Από τις τρεις σαρώσεις δημιουργήθηκαν τρία νέφη σημείων, η επεξεργασία των οποίων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό "cyclone 6.0". Τα τρία νέφη σημείων που προέκυψαν από τις τρεις διαφορετικές σαρώσεις παρουσιάζονται παρακάτω :



Εικόνα 5-7 Νέφος σημείων από τη σάρωση στη στάση K1.



Εικόνα 5-8 Νέφος σημείων από τη σάρωση στη στάση K2.



Εικόνα 5-9 Νέφος σημείων από τη σάρωση στη στάση K3.

Για την ενσωμάτωση των τριών νεφών σε ένα ενιαίο μοντέλο, πραγματοποιήθηκαν δύο ενοποιήσεις (registration) και χρησιμοποιήθηκαν 3 ομόλογα σημεία (σημεία κοινά και στα δύο νέφη που πρόκειται να ενοποιηθούν) σε κάθε διαδικασία ενοποίησης. Αρχικά, εφαρμόστηκε η διαδικασία "registration" για τα νέφη των στάσεων K3 και K2 (με "μητρικό" το σύστημα αναφοράς του μοντέλου από τη σάρωση στην K3) και στη συνέχεια το ενοποιημένο νέφος (K3-K2) ενσωματώθηκε στο νέφος της στάσης K1. Επιλέγοντας το σύστημα αναφοράς του νέφους από τη στάση K1, ως "μητρικό", το τελικό ενιαίο μοντέλο προσανατολίστηκε με γνωστά τα δύο σημεία O19512 και K1, τα οποία έχουν τις αυθαίρετες συντεταγμένες που τους είχαν δοθεί την ημέρα της σάρωσης στη στάση K1 (πίνακας 5-1).

Τα ομόλογα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν χαρακτηριστικά σημεία, διακριτά και στα δύο εκάστοτε μοντέλα προς ενοποίηση (γωνίες σε σκαλιά και στα τοιχώματα της κρήνης), τα οποία εντοπίστηκαν με την προσεκτική παρατήρηση και των δύο εκάστοτε νεφών προς ενοποίηση. Τα τρία ομόλογα σημεία θα πρέπει να βρίσκονται περιμετρικά του νέφους σημείων και να μην βρίσκονται και τα τρία στο ίδιο επίπεδο.

Για κάθε συνένωση είναι απαραίτητα τρία ομόλογα σημεία. Από τα δύο ομόλογα σημεία προσδιορίζονται οι παράμετροι ΔX , ΔY , ΔZ , $\Delta \omega$, $\Delta \varphi$, και $\Delta \kappa$ μεταξύ των μοντέλων προς συνένωση, ενώ με τη μία μεταβλητή του τρίτου ομόλογου σημείου προσδιορίζεται η στροφή του μοντέλου, που θα συνενωθεί με το μητρικό μοντέλο, ως προς τον εαυτό του.

Η κάθε μία από τις δύο ενοποιήσεις (registration), πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του αλγόριθμου ICP (Iterative Closest Point).

Ο αλγόριθμος ICP ενώνει δύο μοντέλα μέσω των ομόλογων σημείων. Ένα από τα δύο μοντέλα ορίζεται ως μοντέλο αναφοράς και "δίνει" το σύστημα αναφοράς στο τελικό μοντέλο μετά την ενοποίηση.

Ο αλγόριθμος ICP, επιλέγει τα σημεία που βρίσκονται και στα δύο νέφη και τα ενώνει έτσι ώστε, οι αποστάσεις μεταξύ των ομόλογων σημείων να είναι οι μικρότερες δυνατές. Η βέλτιστη λύση συνένωσης των δύο νεφών σημείων σε ένα ενιαίο μοντέλο, επιτυγχάνεται μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας, η οποία σταματά όταν το τυπικό σφάλμα των αποστάσεων των ομόλογων σημείων γίνει το ελάχιστο δυνατό. Η γενική σχέση που περιγράφει τη λειτουργία του αλγορίθμου παρουσιάζεται παρακάτω :

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N || x_i - R^* p_i - T ||^2 = \min \quad (5.3-1)$$

όπου x_i είναι η θέση του σημείου i (X_i, Y_i, Z_i) στο "μητρικό" μοντέλο, p_i είναι η θέση του ομόλογου σημείου i (X_i', Y_i', Z_i') στο δεύτερο μοντέλο, T είναι το διάνυσμα μετάθεσης και R ο πίνακας στροφής του συστήματος αναφοράς του δεύτερου μοντέλου ως προς το σύστημα αναφοράς του "μητρικού" μοντέλου.

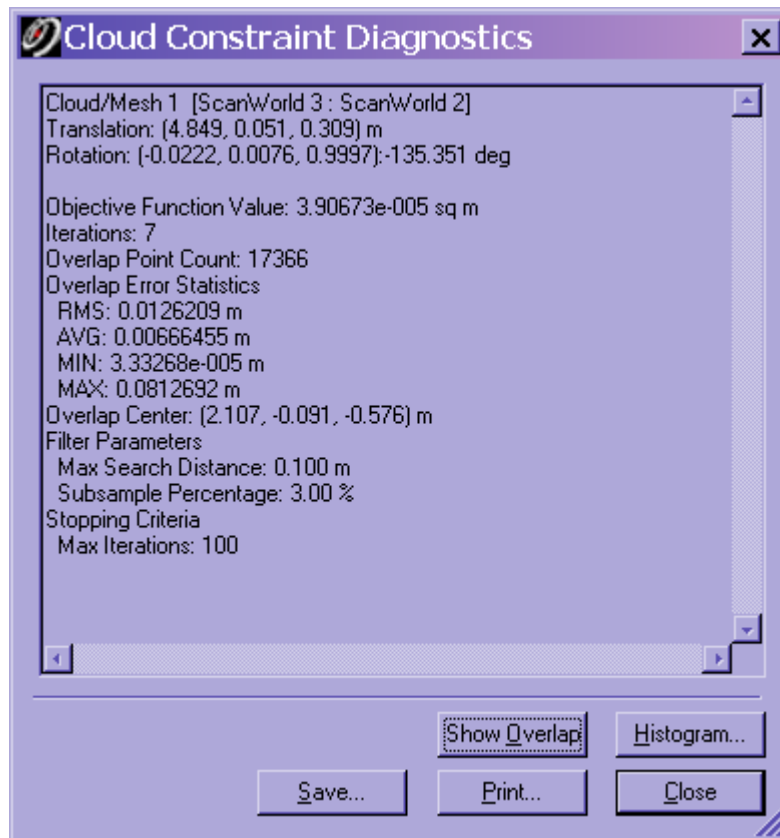
Η συνένωση των νεφών σημείων από τις σαρώσεις στην K2 και K3 (με μητρικό σύστημα αναφοράς αυτό του νέφους από τη σάρωση στην K3), πραγματοποιήθηκε με σφάλμα 1,3 cm.

Η συνένωση των νεφών σημείων από την σάρωση στην K1 με το ενοποιημένο μοντέλο [K2-K3] (με μητρικό σύστημα αναφοράς αυτό του νέφους από τη σάρωση στην K1), πραγματοποιήθηκε με σφάλμα 1,0 cm.

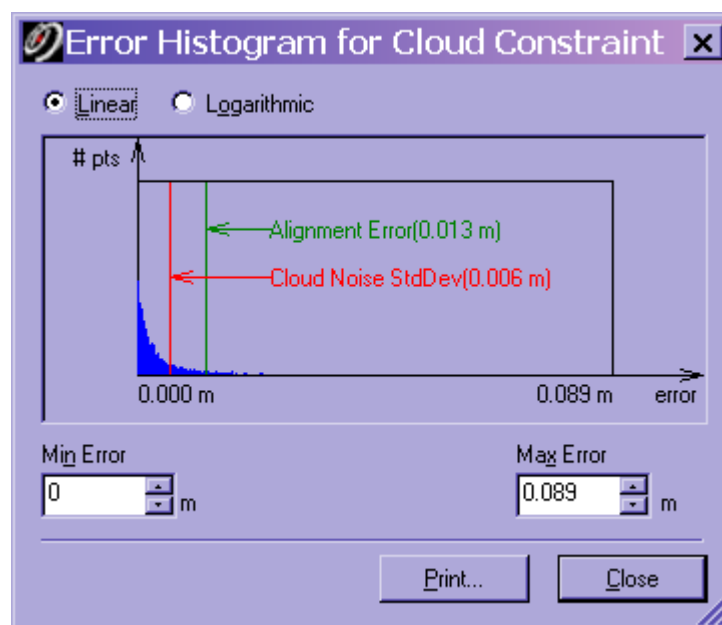
Το τελικό μοντέλο, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι στο σύστημα αναφοράς του νέφους σημείων από τη σάρωση K1, με γνωστά τα σημεία 019512 και K1 (πίνακας 5-1).

Στις εικόνες 5-10 και 5-12 φαίνονται τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε συνένωσης (ΔX , ΔY , ΔZ , $\Delta \omega$, $\Delta \phi$, $\Delta \kappa$, στροφή αντικειμένου ως προς τον εαυτό του, αριθμός επαναλήψεων, αριθμός ομόλογων σημείων, τυπικό σφάλμα, μέγιστο-ελάχιστο-μέσο σφάλμα κτλ).

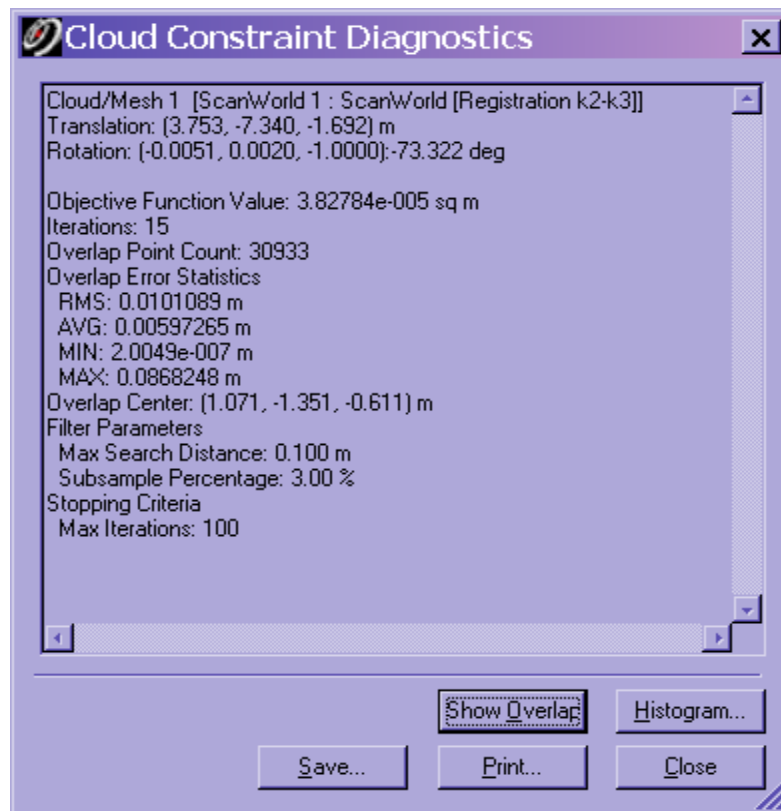
Στις εικόνες 5-11 και 5-13 γίνεται απεικόνιση των σφαλμάτων συνένωσης με τη μορφή ιστογράμματος.



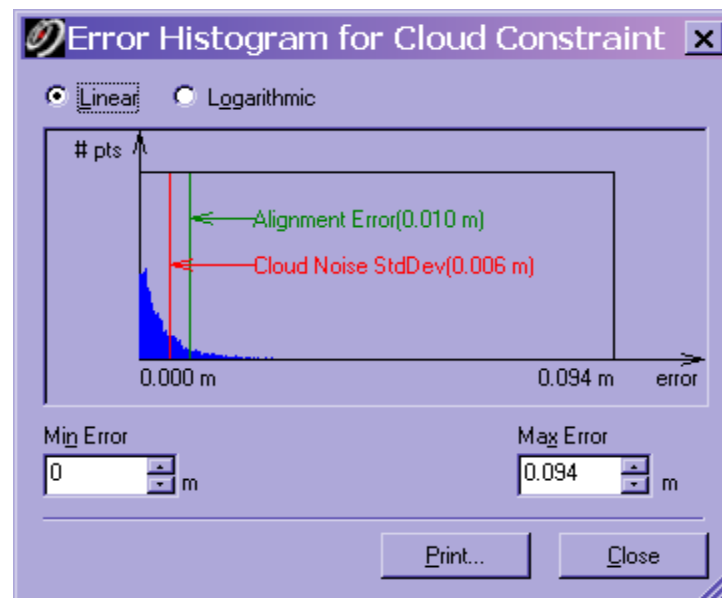
Εικόνα 5-10 Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης των νεφών από τη σάρωση στις στάσεις K2 και K3.



Εικόνα 5-11 Ιστόγραμμα σφαλμάτων συνένωσης των νεφών από τη σάρωση στις στάσεις K2 και K3.

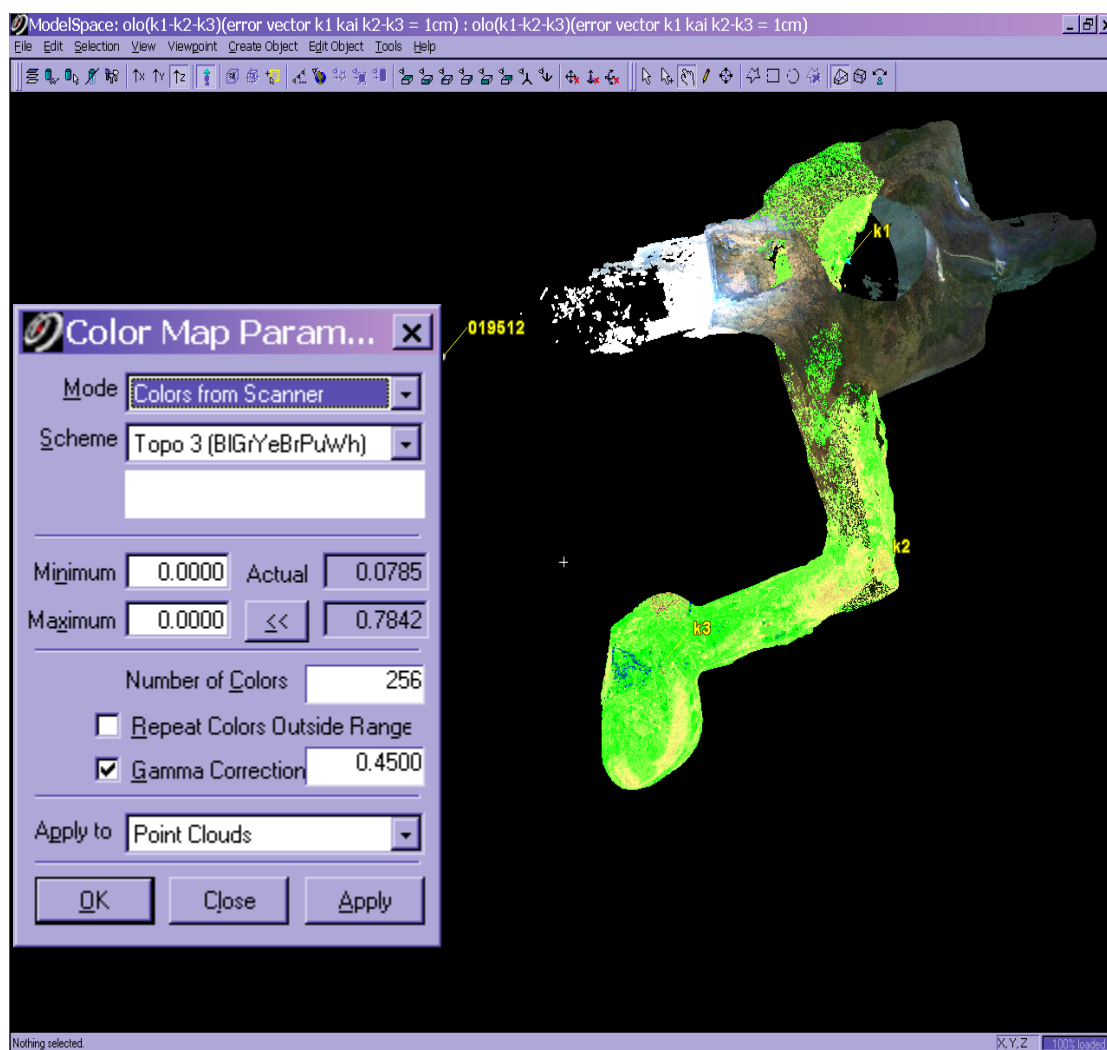


Εικόνα5-12 Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης του νέφους σημείων από τη σάρωση στη στάση K1 με το ενοποιημένο μοντέλο [K2-K3].



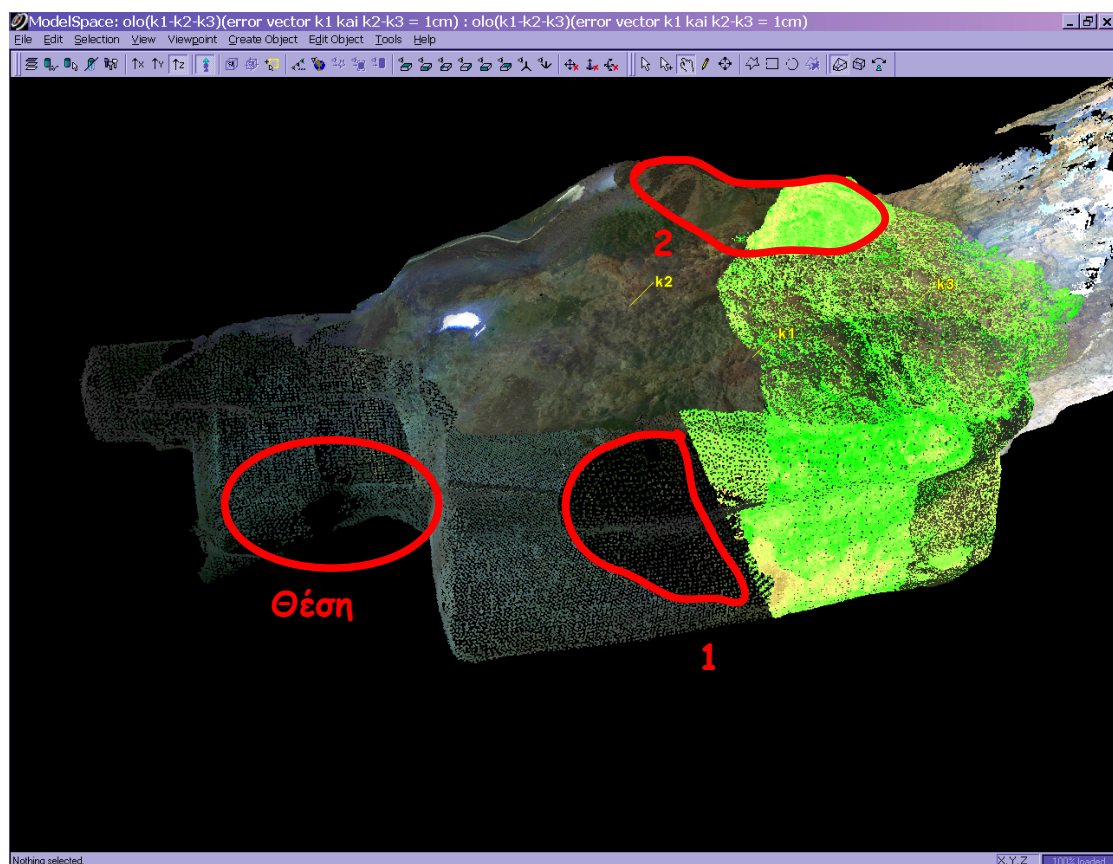
Εικόνα 5-13 Ιστόγραμμα σφαλμάτων συνένωσης του νέφους σημείων από τη σάρωση στη στάση K1 με το ενοποιημένο μοντέλο [K2-K3].

Στο λογισμικό "cyclone 6.0", το μοντέλο μπορεί να επεξεργαστεί. Σημεία που αποτελούν θόρυβο των μετρήσεων διαγράφονται. Υπάρχει δυνατότητα διάφορων επιλογών για τη χρωματική απεικόνιση του μοντέλου, π.χ. "Colors from Scanner - Topo3". Το παράθυρο χρωματικής επιλογής και η απεικόνιση του τελικού μοντέλου στο "ModelSpace" παρουσιάζονται στην εικόνα 5-14 :

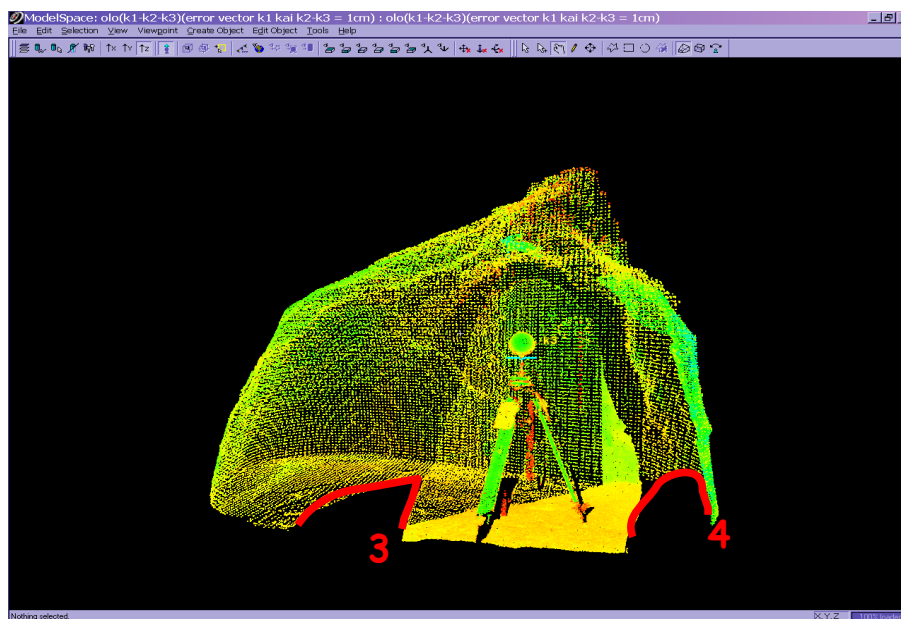


Εικόνα 5-14 Αναπαράσταση τελικού μοντέλου στο "ModelSpace" και παράθυρο επιλογής χρωματικής απεικόνισης μοντέλου.

Μετά τη δημιουργία του τελικού μοντέλου και την επεξεργασία του, εντοπίστηκαν τέσσερα εμφανώς διακριτά κενά σημεία στο μοντέλο (σημεία του αντικειμένου που δεν αποτυπώθηκαν). Τα σημεία αυτά δεν ήταν ορατά από καμία θέση σάρωσης (K1, K2 ή K3) και για να αποτυπωθούν έπρεπε να γίνει σάρωση σε επιπλέον θέσεις. Επίσης, η κρήνη βάθους 1,80 μέτρων δεν αποτυπώθηκε από το σαρωτή αλλά ούτε υπάρχει δυνατότητα σάρωσής της λόγω της θέσης και του σχήματός της. Τα τέσσερα σημεία που παρέμειναν κενά μετά την ολοκλήρωση της σάρωσης καθώς και η θέση της κρήνης παρουσιάζονται στις εικόνες 5-15 και 5-16.



Εικόνα 5-15 Κενά (1 και 2) στο τελικό μοντέλο στην πρώτη αίθουσα.
Απεικόνιση της θέσης που βρίσκεται η κρήνη.



Εικόνα 5-16 Κενά (3 και 4) στο τελικό μοντέλο, στο δάπεδο της δεύτερης αίθουσας.

5.4. Παράγωγα μετρήσεων

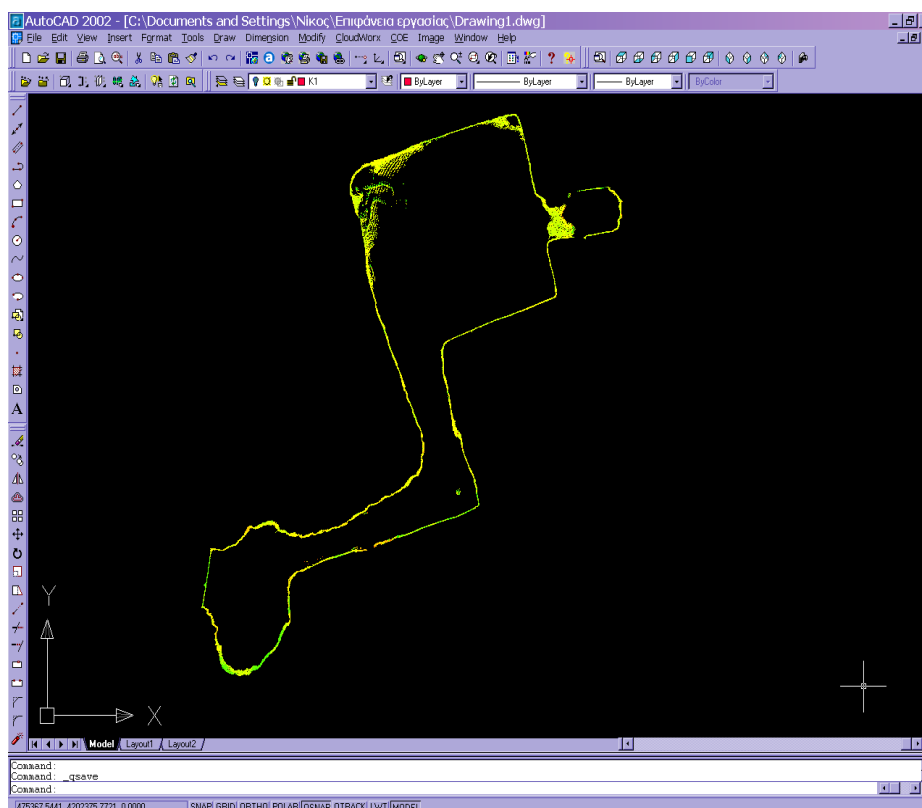
Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο [4.8.], η εξαγωγή τομών είναι μία εύκολη και συνηθισμένη διαδικασία. Στην εφαρμογή αυτή, δημιουργήθηκαν κάθετες και οριζόντιες τομές σε χαρακτηριστικές θέσεις του τελικού μοντέλου.

Για τη δημιουργία οριζόντιων τομών, εισάγεται απευθείας το μοντέλο στο AutoCAD, επιλέγονται τα σημεία που θα αποτελούν την τομή και στη συνέχεια ακολουθεί η ψηφιοποίηση της τομής. Κάθε σημείο του νέφους έχει μοναδικές συντεταγμένες, τις οποίες ο χρήστης βλέπει απλά επιλέγοντας το σημείο και υπάρχει έτσι η δυνατότητα για μετρήσεις αποστάσεων μεταξύ σημείων. Η ψηφιοποιημένη τομή μπορεί να

αποθηκευτεί ως αρχείο (.dwg) για περαιτέρω επεξεργασία.

Κατά την εισαγωγή του μοντέλου στο Autocad, επιλέγεται και το σύστημα αναφοράς στο οποίο θα εμφανιστεί το μοντέλο.

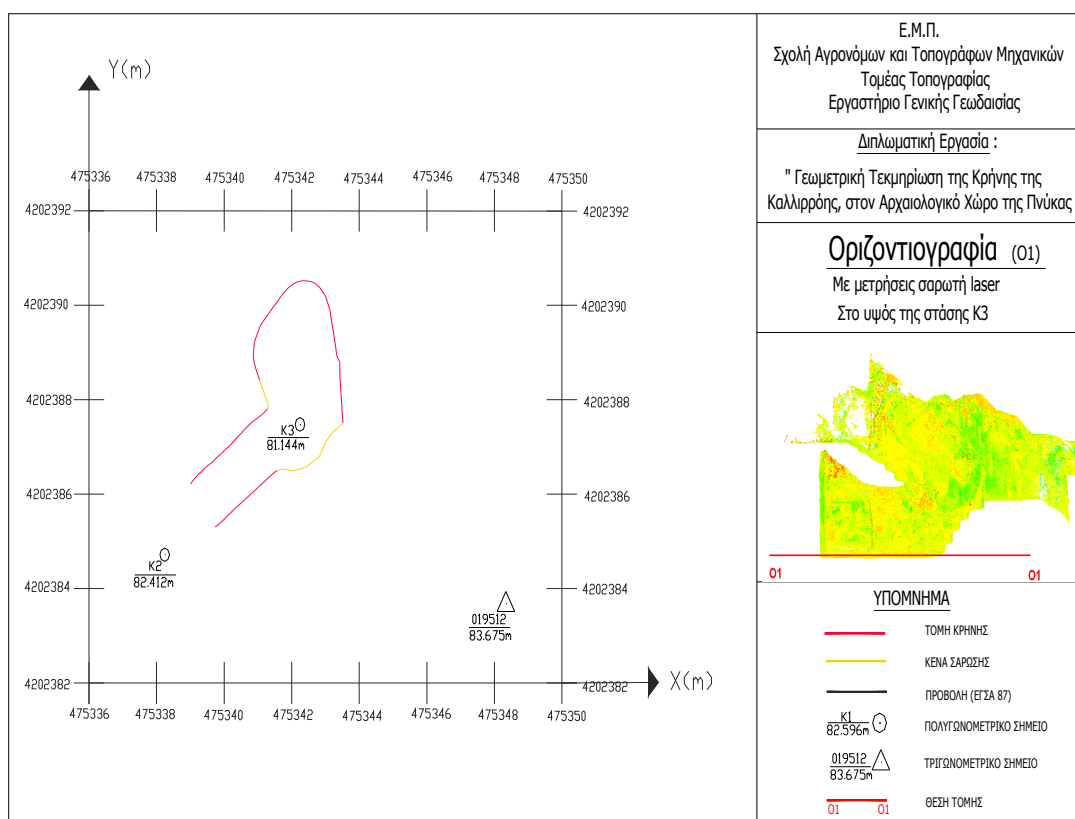
Αρχικά, οι ψηφιοποιημένες οριζόντιες τομές βρίσκονταν στο αυθαίρετο σύστημα του μοντέλου, όπου τα σημεία 019512 και K1 είναι γνωστά (πίνακας 5-1). Στη συνέχεια έγινε εισαγωγή των σημείων 019512 και K1 στο ΕΓΣΑ 87, στο Autocad. Με γνωστά τα σημεία 019512 και K1 τόσο στο αυθαίρετο σύστημα του μοντέλου όσο και στο ΕΓΣΑ 87 και με την εντολή "align" του autocad, οι ψηφιοποιημένες οριζόντιες τομές προσανατολίστηκαν από το αυθαίρετο σύστημα του μοντέλου στο ΕΓΣΑ 87.



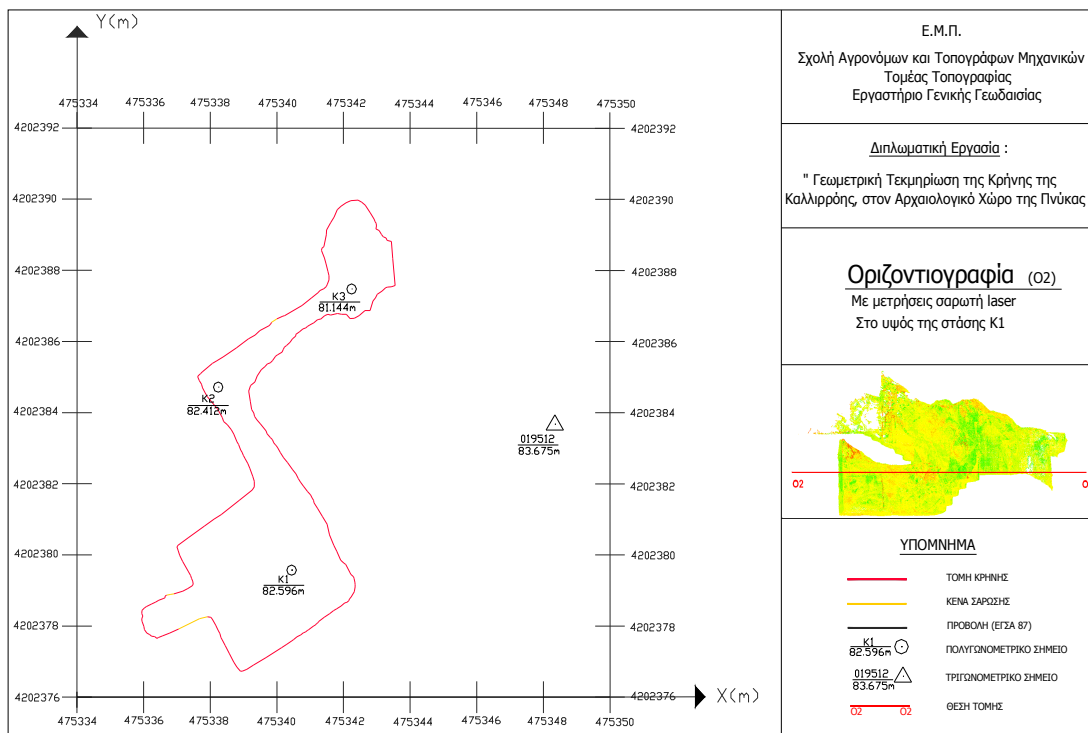
Εικόνα 5-17 Σημεία του μοντέλου που σχηματίζουν την οριζόντια τομή της Κρήνης στο ύψος της K1. Η τομή είναι προσανατολισμένη στο σύστημα του μοντέλου.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι ψηφιοποιημένες οριζόντιες τομές που δημιουργήθηκαν και οι οποίες είναι ενταγμένες στο ΕΓΣΑ 87. Η διαδικασία της ένταξης των τομών στο ΕΓΣΑ 87 δίνει τη δυνατότητα της ένταξή τους στην ευρύτερη περιοχή της Πνύκας.

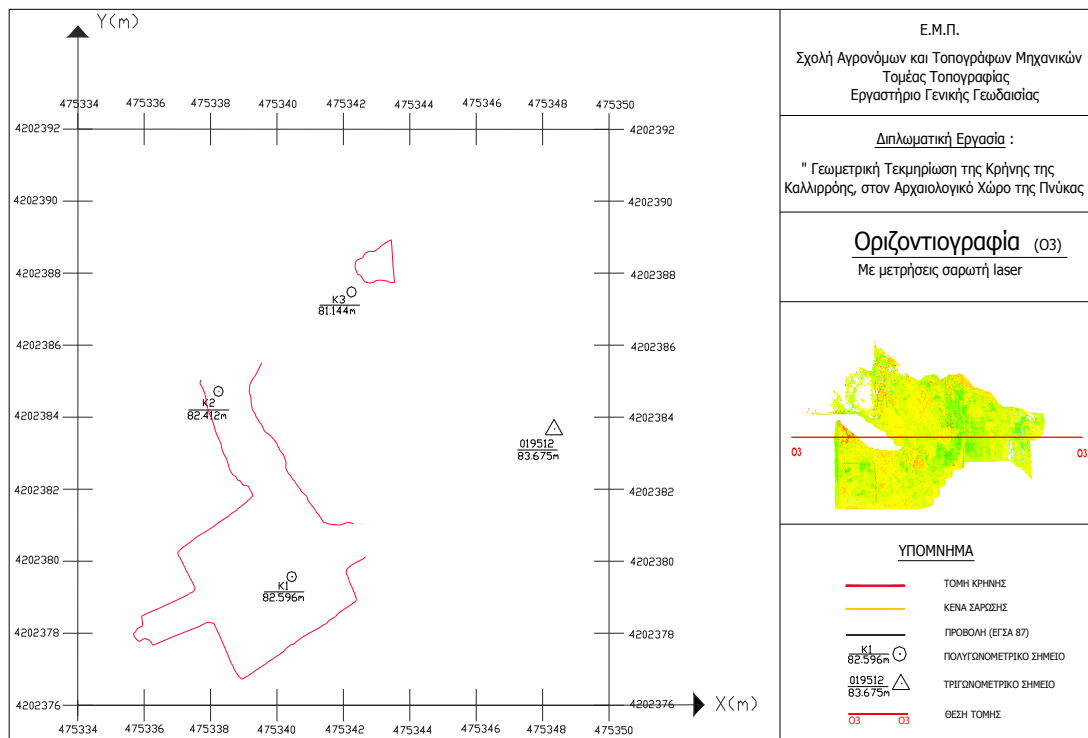
Πρέπει να σημειωθεί ότι, κατά την ψηφιοποίηση των τομών, λόγω του μεγάλου πλήθους σημείων (βήμα σάρωσης 7mm), η επιλογή των σημείων τα οποία θα σχημάτιζαν τις "γραμμές" της ψηφιοποιημένης τομής γίνονταν επιλεκτικά.



Σχήμα 5-1 Οριζόντια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στο ύψος της στάσης Κ3.

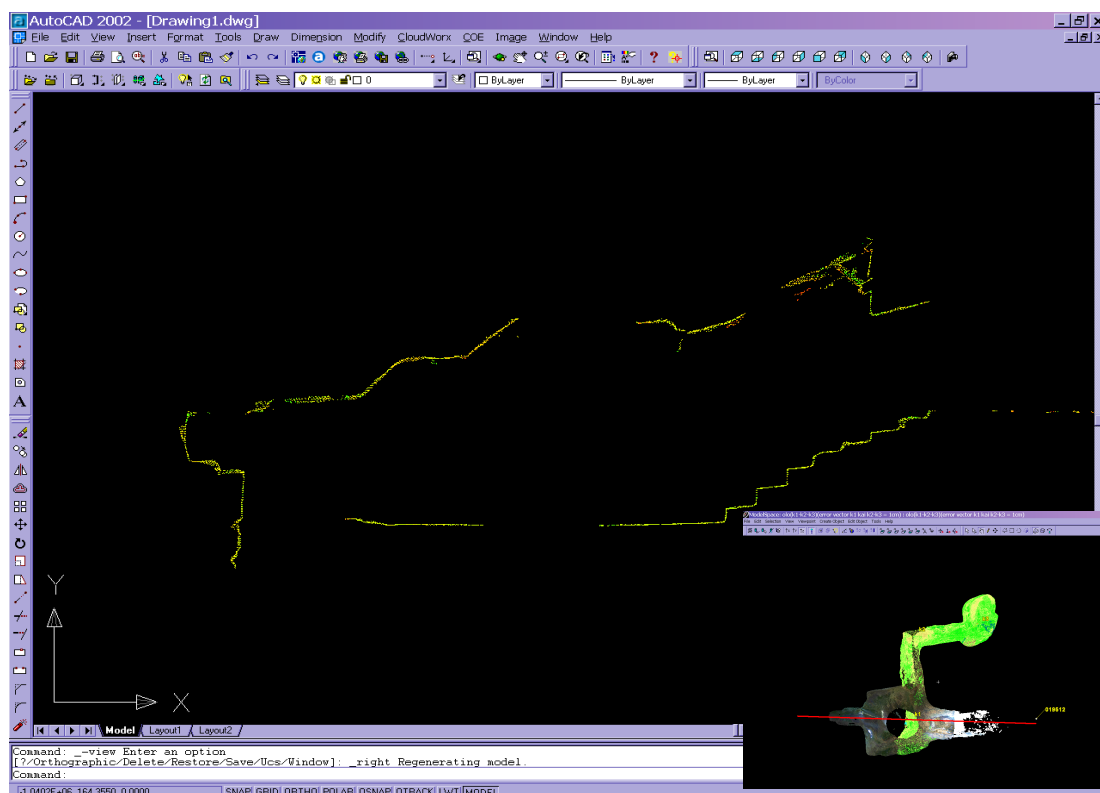


Σχήμα 5-2 Οριζόντια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στο ύψος της στάσης K1.



Σχήμα 5-3 Οριζόντια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, σε ύψος περίπου 1m πάνω από την K1.

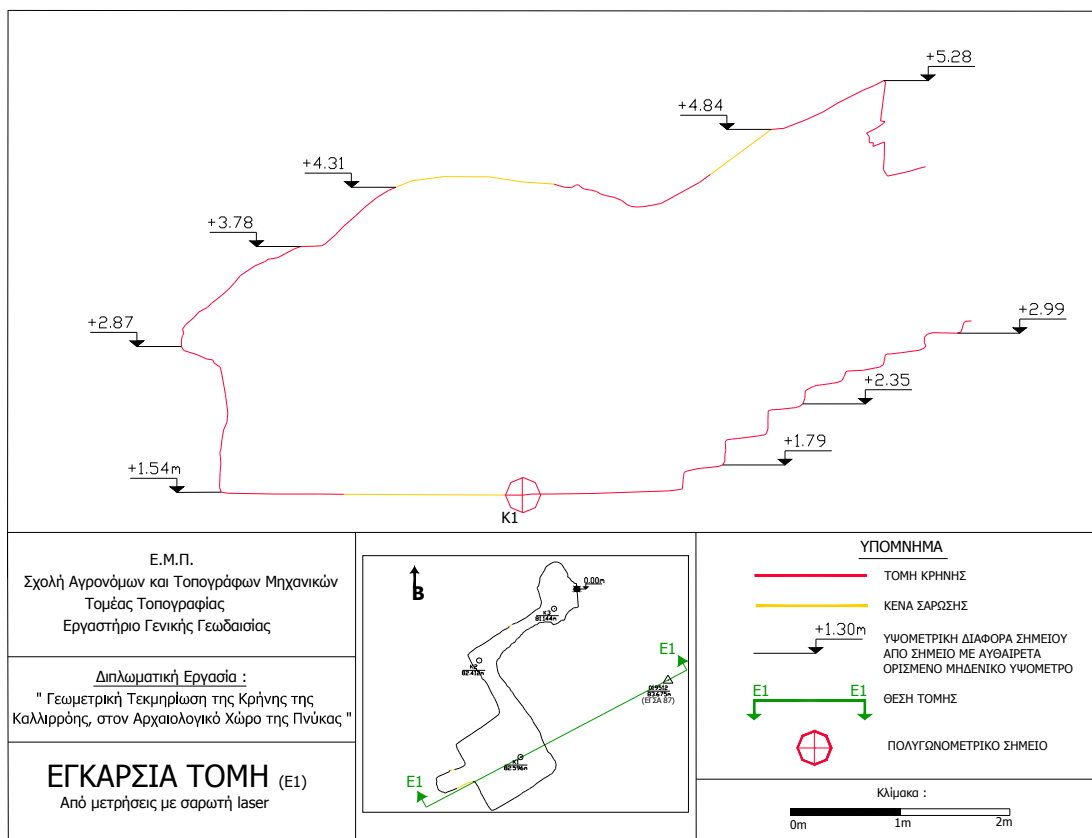
Για τη δημιουργία κάθε διατομής ορίζονταν στο "cyclone" ένα καινούργιο σύστημα, όπου ο ένας από τους άξονές του ήταν παράλληλος στη διατομή. Στη συνέχεια, γίνονταν εισαγωγή του μοντέλου στο "autocad", στο καινούργιο σύστημα που είχε δημιουργηθεί στο "cyclone". Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνονταν για κάθε διατομή. Αφού το μοντέλο είχε εισαχθεί στο "autocad" με το κατάλληλο σύστημα αναφοράς, επιλέγονταν τα σημεία που θα αποτελούσαν την τομή και ακολουθούσε η ψηφιοποίησή της, η οποία και αποθηκεύονταν σε αρχείο (.dwg).



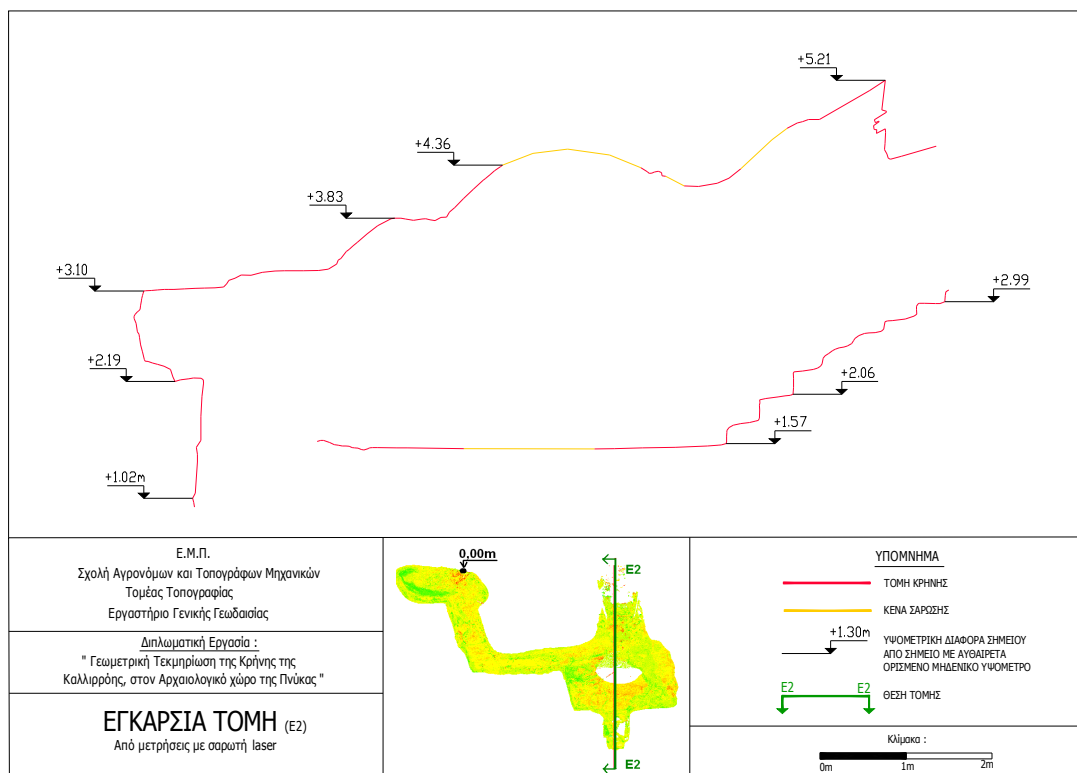
Εικόνα 5-18 Παρουσίαση κάθετης τομής στο λογισμικό "autocad", πριν την ψηφιοποίησή της.

Παρατηρώντας την εικόνα 5-18, μπορεί κανείς να διακρίνει τα κενά που υπάρχουν κατά μήκος της τομής. Τα κενά στο πάνω και κάτω κεντρικό τμήμα της τομής, οφείλονται στη μη δυνατότητα του οργάνου να σαρώνει σε μικρή κυκλική περιοχή πάνω και κάτω από αυτό. Στο νότιο αριστερό τμήμα της τομής βρίσκεται η κόγχη βάθους 1,80 μέτρων. Η δέση laser δεν προσπίπτει στο εσωτερικό της κόγχης και συνεπώς δεν είναι δυνατή η αποτύπωσή της.

Τα σχέδια διατομών που δημιουργήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω :



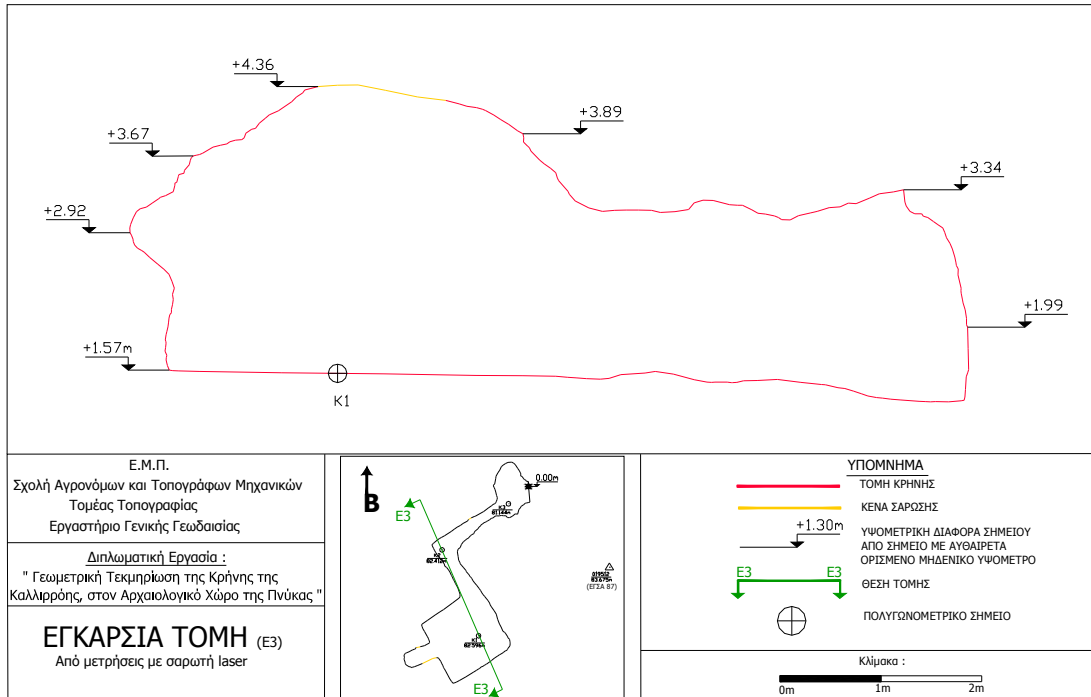
Σχήμα 5-4 Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, κατά μήκος της ευθείας 019512-K1.



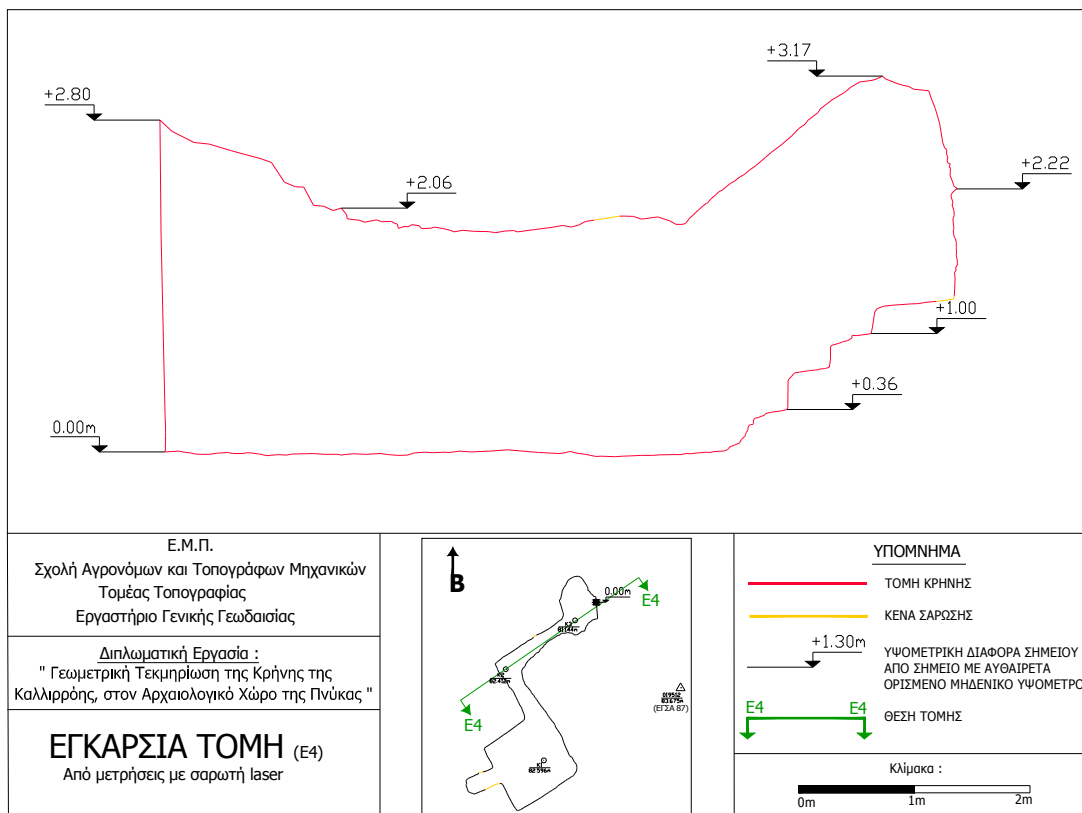
Σχήμα 5-5 Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στην πρώτη αίθουσα της κρήνης.

Με τη δημιουργία των τομών, γίνονται διακριτά και άλλα σημεία, εκτός από αυτά που αναφέρονται στο κεφάλαιο [5.3.], που παρέμειναν κενά μετά την ολοκλήρωση των σαρώσεων. Τα κενά αυτά σημεία επισημαίνονται στα σχέδια, ωστόσο δε δημιουργούν πρόβλημα στη σχεδίαση των τομών, καθώς αποτελούν πολύ μικρές περιοχές στο συνολικό σχέδιο κάθε τομής.

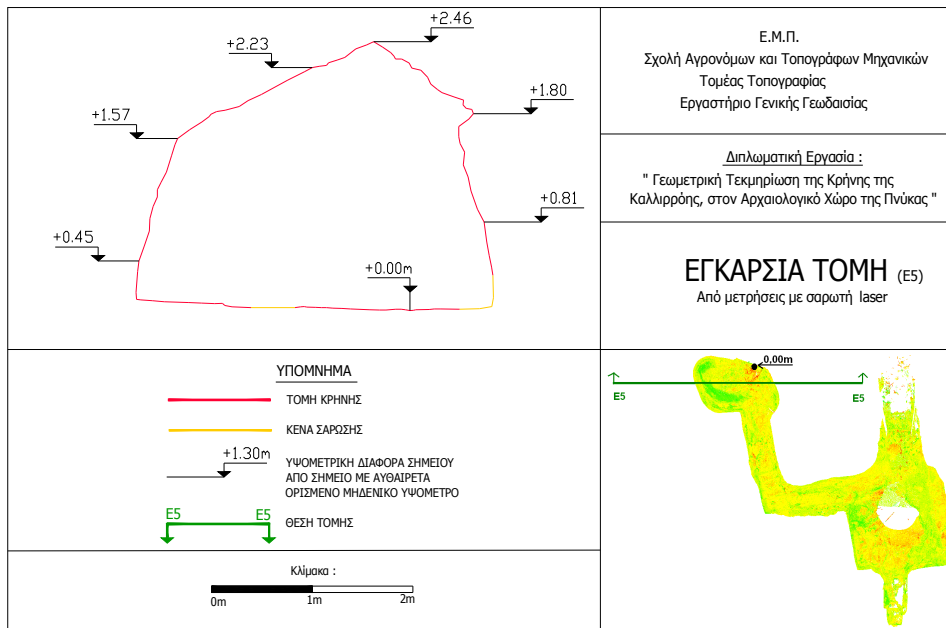
Σε κάθε διατομή, εμφανίζονται οι υψομετρικές διαφορές χαρακτηριστικών σημείων της, σε σχέση με το σημείο της κρήνης με το χαμηλότερο υψόμετρο, το οποίο βρίσκεται στην δεύτερη αίθουσα και στο οποίο δόθηκε αυθαίρετα μηδενικό υψόμετρο.



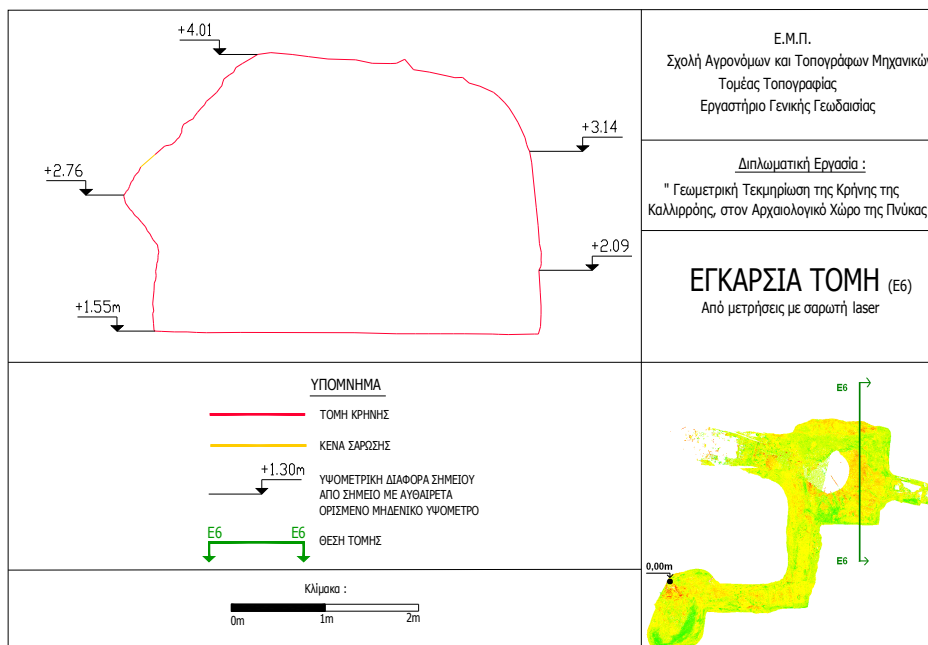
Σχήμα 5-6 Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, κατά μήκος της ευθείας Κ1-Κ2.



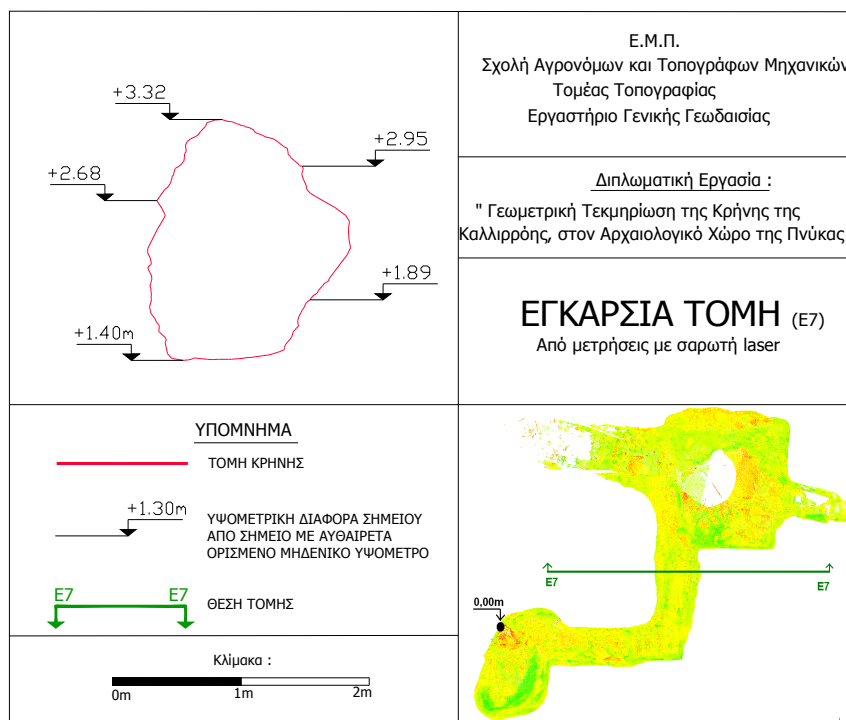
Σχήμα 5-7 Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, κατά μήκος της ευθείας Κ2-Κ3.



Σχήμα 5-8 Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στη δεύτερη αίθουσα της κρήνης.



Σχήμα 5-9 Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στην πρώτη αίθουσα της κρήνης.



Σχήμα 5-10 Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στο διάδρομο που συνδέει την πρώτη με τη δεύτερη αίθουσα της κρήνης.

Η δημιουργία των παραπάνω οριζόντιων και κάθετων τομών, έγινε μετά από επιλογή των συγκεκριμένων τομών ως χαρακτηριστικών τομών της κρήνης, καθώς αποτελούν κομβικά τμήματα για την κατανόηση της μορφής της κρήνης της Καλλιρρόης. Ωστόσο, μέσω του τελικού μοντέλου στο "cyclone", που δημιουργήθηκε από τις τρεις σαρώσεις στις στάσεις K1, K2 και K3, μπορεί κανείς να δημιουργήσει πλήθος διαφορετικών οριζόντιων και κάθετων τομών χωρίς επιπλέον μετρήσεις. Αυτό είναι άλλωστε και ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα δημιουργίας γεωμετρικών τομών με σαρωτή laser, σε σύγκριση με τις μεμονωμένες τομές που προκύπτουν από τις μετρήσεις με reflectorless total station.

6. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΜΩΝ ΜΕ REFLECTORLESS TOTAL STATION

6.1. Reflectorless total station

Τα Reflectorless Totals Station, έχουν τη δυνατότητα να μετρούν μήκη χωρίς τη χρήση πρίσματος. Η ακτίνα laser που εκπέμπεται από το όργανο, δεν προσπίπτει σε κάποιον ανακλαστήρα, αλλά σε οποιαδήποτε επιφάνεια από την οποία ανακλάται και στη συνέχεια επιστρέφει σε αυτό.

Η reflectorless δυνατότητα των οργάνων είναι πολύ χρήσιμη σε εφαρμογές όπου το αντικείμενο προς αποτύπωση δεν είναι προσβάσιμο ή δεν επιτρέπει τη χρήση ανακλαστήρα.

Η μέγιστη ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί σήμερα σε μετρήσεις μηκών χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα είναι $\pm 2\text{mm}$. Αντίθετα, μήκη με χρήση ανακλαστήρα μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια έως και $\pm 0,2\text{mm}$. Από αυτό μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια (μεγαλύτερη από 2mm) δεν είναι δυνατή η χρήση της reflectorless δυνατότητας των οργάνων.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων μηκών χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα είναι οι παρακάτω :

- το χρώμα, το υλικό και η υφή της επιφάνειας πρόσπτωσης (επηρεάζουν το βαθμό ανακλαστικότητας του αντικειμένου)
- η θέση του προς μέτρηση σημείου (σημεία στις ακμές του αντικειμένου παρουσιάζουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα)
- η διεύθυνση πρόσπτωσης της ακτινοβολίας (κάθετα ή υπό γωνία)

Στο εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας έχουν γίνει, ήδη από την εμφάνιση του 1^{ου} reflectorless E.D.M. οργάνου (Leica DIOR 3000), αρκετές σχετικές εργασίες διερεύνησης των παραπάνω παραμέτρων. Αυτές είναι οι εξής:

ΕΤΟΣ	ΦΟΙΤΗΤΗΣ	ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΘΕΜΑ	ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ
1995	Ν. ΜΕΛΑΣ	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ	E.D.M WILD DIOR 3002 S ΕΛΕΓΧΟΙ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	Δ.Δ.ΜΠΑΛΟΔΗΜΟΣ Σ. ΔΟΓΓΟΥΡΗΣ
2003	Π. ΜΠΑΛΤΑΣ	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ	ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΑ- ΦΩΤΟ. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ, ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ	Δ. ΣΤΑΘΑΣ Σ. ΔΟΓΓΟΥΡΗΣ
2006	Χ. ΚΟΣΜΑΣ	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LASER LEICA HDS2500	Μ. ΤΣΑΚΙΡΗ
2008	Θ. ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ	ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΛΑ- ΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ	Γ. ΠΑΝΤΑΖΗΣ
2008	Σ. ΜΑΥΡΑΚΗΣ	ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ	Ε. ΛΑΜΠΡΟΥ
2010	Α. ΜΑΡΚΟΛΕΦΑ	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ	ΛΕΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ REFLECTORLESS ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ	Ε. ΛΑΜΠΡΟΥ

Πίνακας 6-1 Μελέτες για τη μέτρηση μηκών χωρίς ανακλαστήρα.

6.2. Διαδικασία μετρήσεων

Με στάση το πολυγωνομετρικό σημείο K1, αποτυπώθηκαν δύο κάθετες τομές με μηδενισμό στις στάσεις O19512 και K2 αντίστοιχα. Σκοπός της αποτύπωσης των τομών αυτών με reflectorless total station, ήταν η σύγκρισή τους με τις αντίστοιχες τομές που προκύπτουν από τις μετρήσεις με το σαρωτή laser.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το total station TCR 1202+ της Leica, με δυνατότητες χρήσης χωρίς ανακλαστήρα. Τα τεχνικά

χαρακτηριστικά του οργάνου αυτού παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο [3.4.]. Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις ήταν : ένας τρίποδας, ένα τρικόχλιο, μία μετροταινία και ένας στυλαιός.

Για την αποτύπωση κάθε κατακόρυφης τομής, ο οριζόντιος κύκλος του οργάνου παρέμενε σταθερός στο σημείο μηδενισμού, ενώ ο κάθετος σκοπευτικός άξονας περιστρέφονταν στο κατακόρυφο επίπεδο με βήμα 1grad έως 4grad. Στα τμήματα με έντονο ανάγλυφο, το βήμα αποτύπωσης ήταν πιο μικρό, ενώ στα πιο ομοιόμορφα τμήματα το βήμα σάρωσης ήταν μεγαλύτερο.

Στο σημείο που αποτυπώνονταν κάθε φορά από το όργανο, προσέπιπται η πράσινη οπτική ακτίνα laser, η οποία ήταν ορατή και με γυμνό μάτι.

Η reflectorless δυνατότητα του οργάνου ήταν πολύ χρήσιμη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, καθώς το ανάγλυφο και το σχήμα του αντικειμένου αποτύπωσης, εμπόδιζε τη χρήση πρίσματος στα σημεία προς αποτύπωση. Οι παραπάνω μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 17/06/2010.

6.3. Επεξεργασία και αποτελέσματα μετρήσεων

Για να συγκριθούν οι τομές που προκύπτουν με το reflectorless total station με τις τομές που προκύπτουν από το σαρωτή laser, θα πρέπει να βρίσκονται όλες στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Για το λόγο αυτό, οι συντεταγμένες των σημείων των τομών που προκύπτουν με το reflectorless total station, μετασχηματίστηκαν από το ΕΓΣΑ 87 στο αυθαίρετο σύστημα αναφοράς του μοντέλου.

Για να γίνει μετασχηματισμός συντεταγμένων μεταξύ δύο συστημάτων, αρκεί να υπάρχουν τουλάχιστον δύο κοινά σημεία με γνωστές συντεταγμένες και στα δύο συστήματα. Όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός κοινών σημείων, ο προσδιορισμός των παραμέτρων μετασχηματισμού γίνεται συνήθως με μαθηματικές μεθόδους, όπως τη χρήση της αρχής των ελαχίστων τετραγώνων.

Αρχικά, προσδιορίζονται οι παράμετροι (η μετάθεση της στροφής των αξόνων, η στροφή των αξόνων και η κλίμακα) και στη συνέχεια προσδιορίζονται οι συντεταγμένες για όλα τα υπόλοιπα σημεία στο νέο σύστημα. Οι γενικές σχέσεις που δίνουν το μετασχηματισμό συντεταγμένων ενός σημείου από ένα σύστημα I σε ένα σύστημα II είναι οι παρακάτω :

$$X^{II} = X_0^{II} + m (X^I \cdot \cos\omega - Y^I \cdot \sin\omega) \quad (6.3-1)$$

$$Y^{II} = Y_0^{II} + m (X^I \cdot \sin\omega + Y^I \cdot \cos\omega) \quad (6.3-2)$$

όπου X_0^{II} , Y_0^{II} , m και ω είναι οι παράμετροι μετασχηματισμού μεταξύ των δύο συστημάτων.

Έστω δύο σημεία A και B των οποίων οι θέσεις τους (X_A^I, Y_A^I) , (X_B^I, Y_B^I) , (X_A^{II}, Y_A^{II}) , (X_B^{II}, Y_B^{II}) είναι γνωστές σε δύο συστήματα ορθογώνιων συντεταγμένων I και II. Οι παράμετροι μετασχηματισμού υπολογίζονται ως εξής :

- Η κλίμακα m του συστήματος II ως προς το σύστημα I είναι

$$m = S_{AB}^{II} / S_{AB}^I \quad (6.3-3),$$

όπου S_{AB} είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων A και B

- Η γωνία στροφής ω του συστήματος II ως προς το σύστημα I είναι $\omega = \alpha_{AB}^I - \alpha_{AB}^{II}$ (6.3-4),

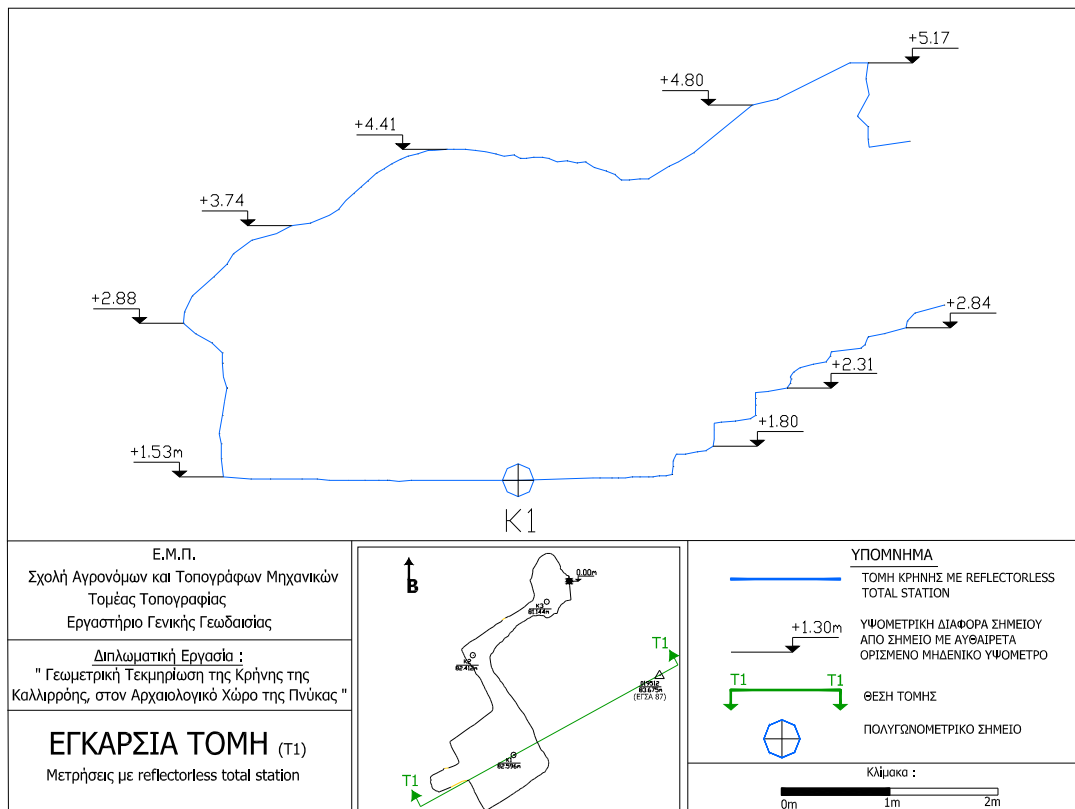
όπου α_{AB} είναι η γωνία διεύθυνσης της ευθείας AB

- Το διάνυσμα της μετάθεσης (X_0^{II}, Y_0^{II}) βάσει ενός από τα δύο γνωστά σημεία, έστω το σημείο A, είναι

$$X_0^{II} = X_A^{II} - (\cos\omega) * X_A^I * m + (\sin\omega) * Y_A^I * m \quad (6.3-5)$$

$$Y_0^{II} = Y_A^{II} - (\sin\omega) * X_A^I * m - (\cos\omega) * Y_A^I * m \quad (6.3-6)$$

Για το μετασχηματισμό των συν/νων των σημείων της τομής (019512-K1), από το ΕΓΣΑ 87 στο σύστημα του μοντέλου (δεδομένου ότι τα σημεία 019512 και K1 είναι γνωστά και στο ΕΓΣΑ 87 αλλά και στο αυθαίρετο σύστημα αναφοράς του μοντέλου), εφαρμόστηκαν οι παραπάνω σχέσεις. Τα αποτελέσματα του μετασχηματισμού των συν/νων παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα. Η τομή (019512-K1) από μετρήσεις με reflectorless total station και όπως αυτή προέκυψε μετά από το μετασχηματισμό των συν/νων στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου, παρουσιάζεται παρακάτω :



Σχήμα 6-1 Εγκάρσια τομή κατά μήκος της ευθείας 019512-K1 , από μετρήσεις με reflectorless total station, στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου.

Στη διατομή, εμφανίζονται οι υψομετρικές διαφορές χαρακτηριστικών σημείων της, σε σχέση με το σημείο της κρήνης με το χαμηλότερο υψόμετρο, το οποίο βρίσκεται στην δεύτερη αίθουσα και στο οποίο δόθηκε αυθαίρετα μηδενικό υψόμετρο.

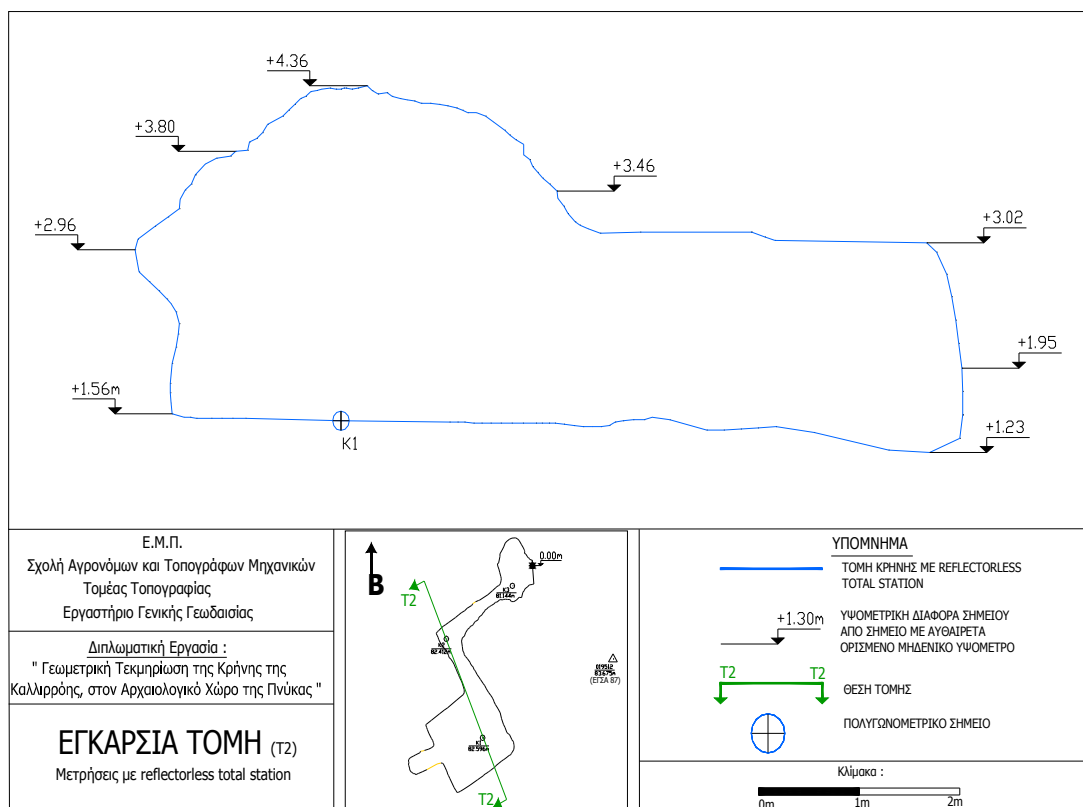
Η διατομή (019512-K1) από μετρήσεις με reflectorless total station, δημιουργήθηκε με την ένωση περίπου 140 σημείων. Τα 140 σημεία που μετρήθηκαν, είναι αναμενόμενο να μην απεικονίζουν όλες τις λεπτομέρειες που ανήκουν στην τομή, όπως αυτές απεικονίζονται στην αντίστοιχη τομή από τις μετρήσεις με το σαρωτή laser.

Για το μετασχηματισμό των συν/νων των σημείων της τομής K1-K2, από το ΕΓΣΑ 87 στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου, είναι γνωστές οι συν/νες του σημείου K1 τόσο στο ΕΓΣΑ 87 όσο και στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου, όμως για το σημείο K2 είναι γνωστές οι συν/νες του μόνο στο ΕΓΣΑ 87. Για το λόγο αυτό, θεωρώντας την απόσταση (K1-K2) και τη γωνία [019512-K1-K2] ίδια και στα δύο συστήματα και με τη χρήση των τριών θεμελιωδών προβλημάτων της Γεωδαισίας, προσδιορίστηκαν οι προσεγγιστικές συν/νες του σημείου K2 στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου, όπως αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 6-2.

	X(m)	Y(m)
K2	475357,857	4202380,079

Πίνακας 6-2 Προσεγγιστικές συν/νες σημείου K2, στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου.

Με γνωστές τις συν/νες των σημείων K1 και K2 τόσο στο ΕΓΣΑ87 όσο και στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου και με την εφαρμογή των σχέσεων 6.3-1 έως 6.3-6, μετασχηματίστηκαν οι συν/νες των σημείων της τομής K1-K2 στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου. Τα αποτελέσματα του μετασχηματισμού των συν/νων παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα. Η τομή (K1-K2) από μετρήσεις με reflectorless total station και όπως αυτή προέκυψε μετά από το μετασχηματισμό των συν/νων στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου, παρουσιάζεται παρακάτω :



Σχήμα 6-2 Εγκάρσια τομή κατά μήκος της ευθείας K1-K2 , από μετρήσεις με reflectorless total station, στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου.

Η διατομή (K1-K2) από μετρήσεις με reflectorless total station, δημιουργήθηκε με την ένωση περίπου 140 σημείων. Η αποτύπωση έγινε μόνο από τη στάση K1 και λόγω του έντονου αναγλύφου στο ταβάνι του διαδρόμου προς την K2, δεν υπήρχε καλή ορατότητα, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να γίνει ακριβής αποτύπωση σε εκείνο το τμήμα της τομής (αναλύεται εκτενώς στο κεφάλαιο [6.4.]).

6.4. Σύγκριση τομών από μετρήσεις με total station και laser scanner

Η διαδικασία των μετρήσεων με total station για την αποτύπωση δύο μόνο κάθετων τομών στην κρήνη της Καλλιρρόης (αποτύπωση περίπου 300 σημείων), ολοκληρώθηκε σε χρονικό διάστημα περίπου 4 ωρών.

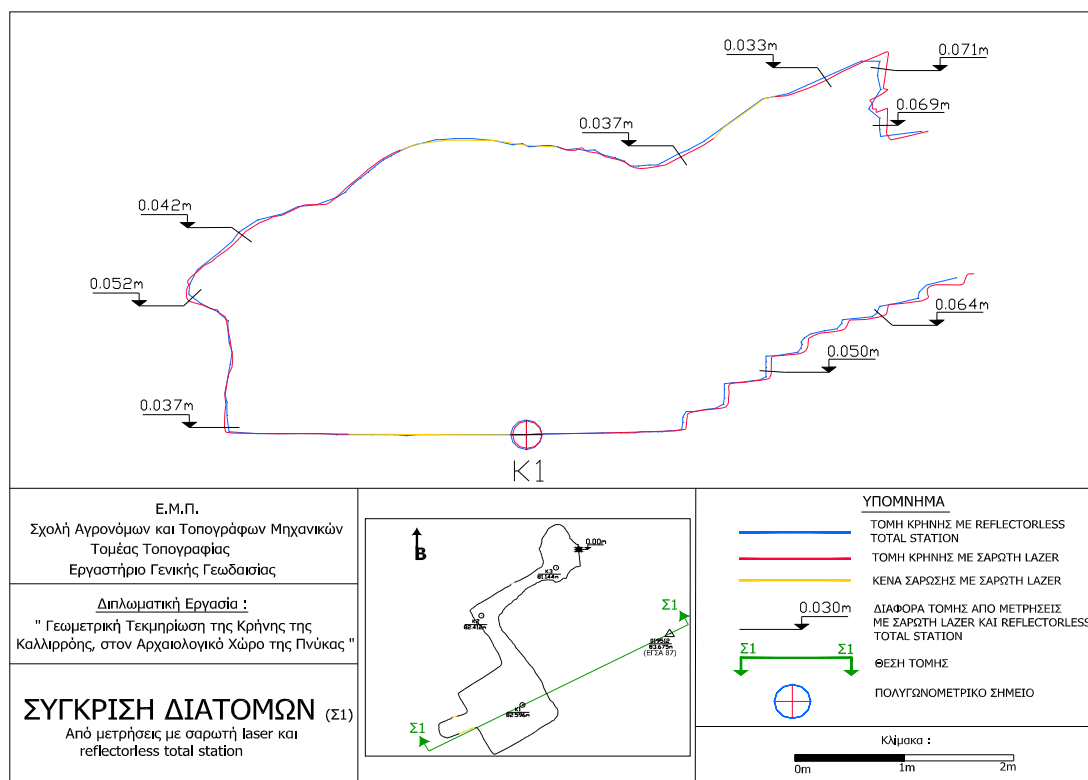
Αντίθετα, η διαδικασία σάρωσης με το laser scanner σε μία θέση (αποτύπωση εκατομμυρίων σημείων), ολοκληρώνονταν σε διάστημα 1,5 ώρας.

Το αποτέλεσμα της σάρωσης με laser scanner ήταν η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου, ενώ με την αποτύπωση με reflectorless total station μετρήθηκαν μερικά μόνο σημεία που βρίσκονται επί της εκάστοτε τομής.

Η αποτύπωση των δύο κάθετων τομών (K1-K2) και (K1-019512), τόσο με το reflectorless total station όσο και με το σαρωτή laser, έδωσε τη δυνατότητα για σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα δύο όργανα.

Για να μπορέσουν όμως να συγκριθούν οι τομές μεταξύ τους μετασχηματίστηκαν όλες στο ίδιο σύστημα αναφοράς, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο [6.3.].

Τα σχέδια στα οποία συγκρίνονται οι τομές που προέκυψαν από το reflectorless total station και από το σαρωτή, παρουσιάζονται παρακάτω:

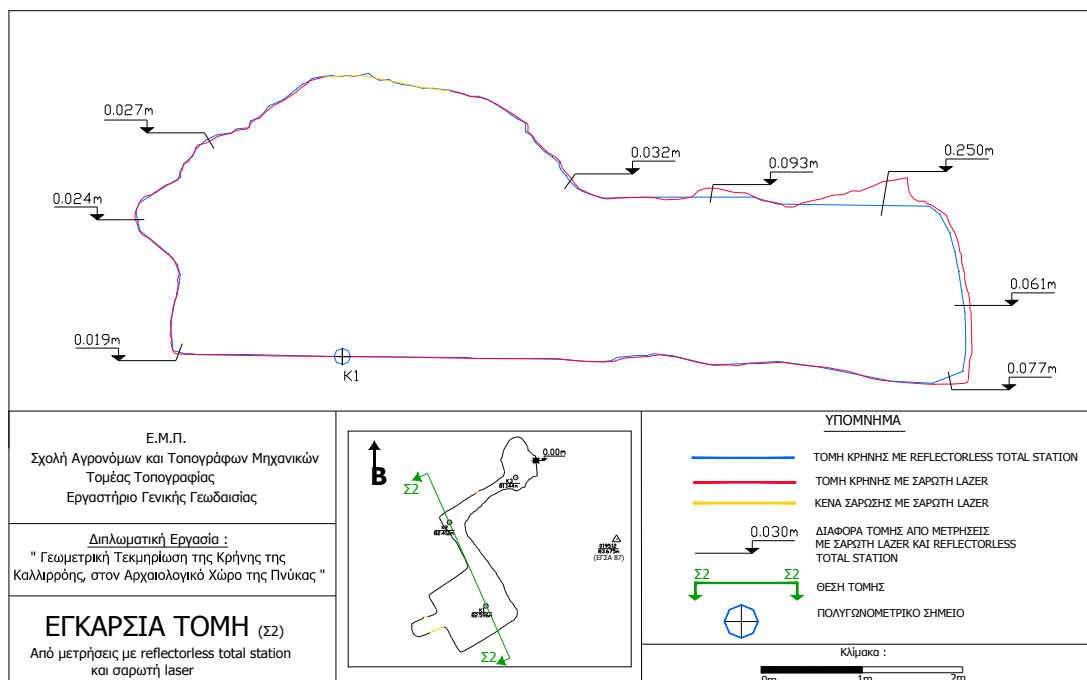


Σχήμα 6-3 Εγκάρσια τομή κατά μήκος της ευθείας 019512-K1, από μετρήσεις με reflectorless total station και σαρωτή laser.

Συγκρίνοντας την τομή K1-019512, όπως αυτή προκύπτει με το σαρωτή laser και το reflectorless total station (σχήμα 6-3), μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ των δύο τομών κυμαίνονται από 0cm έως 7cm. Οι διαφορές αυτές (0-7cm) που παρατηρούνται μεταξύ των τομών, είναι αναμενόμενες και λόγω του μικρού αριθμού σημείων που λήφθηκαν με το total station σε σύγκριση με το σαρωτή laser, αλλά και λόγω θορύβου στις μετρήσεις εξαιτίας ριζών στα πετρώματα της κρήνης.



Εικόνα 6-1 Μέτρηση στη στάση K3 με total station. Απεικόνιση ριζών στα πετρώματα που αποτέλεσαν θόρυβο των μετρήσεων.



Σχήμα 6-4 Εγκάρσια τομή κατά μήκος της ευθείας K1-K2, από μετρήσεις με reflectorless total station και σαρωτή laser.

Συγκρίνοντας την τομή K1-K2 που προκύπτει από τα δύο όργανα στο Autocad (σχήμα 6-4), παρατηρείται ότι σε γενικές γραμμές, η απόκλιση των δύο τομών κυμαίνεται από 0 cm έως 7 cm. Στο πάνω και κάτω δεξί άκρο της τομής, οι διαφορές που προκύπτουν από τις μετρήσεις με τα δύο όργανα, είναι μεγαλύτερες από 7cm. Αυτό οφείλεται στο ότι με το total station δεν λήφθηκαν επαρκή σημεία στα σημεία αυτά, επειδή δεν υπήρχε ορατότητα αυτών των σημείων με το total station από τη στάση K1, από την οποία μετρήθηκε η τομή. Για να ήταν ακριβέστερη η τομή με το total station στα σημεία αυτά, έπρεπε να ληφθούν μετρήσεις σημείων με στάση την K2 και μηδενισμό την K1. Για το λόγο αυτό, στο δεξί τμήμα της τομής, τα αποτελέσματα από το σαρωτή είναι ακριβέστερα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1. Συμπεράσματα

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής και την ανάλυση των αποτελεσμάτων στο κάθε στάδιο διεκπεραίωσής της, προέκυψαν κάποια συμπεράσματα που πρέπει να επισημανθούν και τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η χρήση δορυφορικών μεθόδων (GPS) για τη δημιουργία τριγωνομετρικού δικτύου στη συγκεκριμένη περιοχή, ήταν μία επιλογή η οποία μείωσε τον χρόνο εργασιών στο πεδίο. Αν είχαν επιλεχθεί επίγειες μέθοδοι για τη δημιουργία του τριγωνομετρικού δικτύου, λόγω της μη ορατότητας μεταξύ των σημείων (έντονη βλάστηση και μεγάλη κλίση εδάφους στην περιοχή), θα ήταν απαραίτητη η πύκνωση του δικτύου με αρκετά ακόμα σημεία, με αποτέλεσμα να αυξηθεί ο χρόνος ολοκλήρωσης των μετρήσεων στο πεδίο.
- Με την επιλογή των τριών πολυγωνομετρικών σημείων ως θέσεις σάρωσης με το laser scanner, σε γενικές γραμμές επιτεύχθηκε η αποτύπωση του αντικειμένου. Οι μικρές περιοχές που παρέμειναν ''κενές'' μετά την ολοκλήρωση των τριών σαρώσεων, απαιτούσαν τη σάρωση από επιπλέον θέσεις για να αποτυπωθούν.

- Για να είναι δυνατή η γεωαναφορά του μοντέλου που προκύπτει από τις μετρήσεις με το σαρωτή laser, είναι απαραίτητος ένας ειδικός στόχος (ο οποίος τοποθετείται σε σημείο με γνωστές τις γεωδαιτικές του συν/νες), στην περίπτωση που ο σαρωτής τοποθετείται σε σημείο γνωστών γεωδαιτικών συν/νων και οριζοντιώνεται. Στην περίπτωση όπου ο σαρωτής laser τοποθετείται σε τυχαία θέση, για τη γεωαναφορά του μοντέλου, είναι απαραίτητη η χρήση τριών ειδικών στόχων με γνωστές τις γεωδαιτικές τους συντεταγμένες. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ο σαρωτής τοποθετήθηκε σε πολυγωνομετρικά σημεία, οριζοντιώθηκε και χρησιμοποιήθηκε ένα ειδικός σφαιρικός στόχος που "στήθηκε" επίσης σε πολυγωνομετρικά σημεία. Αν την ημέρα σάρωσης στη στάση K1, ήταν γνωστές οι γεωδαιτικές συν/νες του σημείου K1 στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ 87, τότε το τελικό μοντέλο θα είχε ενταχθεί στο ΕΓΣΑ 87.
- Το τελικό μοντέλο από τις μετρήσεις με σαρωτή laser βρίσκεται σε αυθαίρετο σύστημα αναφοράς. Ωστόσο, με τη γνώση δύο μόνο σημείων (019512 και K1), τόσο στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου όσο και στο ΕΓΣΑ 87, έγινε δυνατή η μετάβαση των οριζοντιογραφιών από το αυθαίρετο σύστημα του μοντέλου στο ΕΓΣΑ 87. Οι οριζοντιογραφίες, δεδομένου ότι βρίσκονται στο Κ.Σ.Α. , μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από άλλους φορείς σε τυχόν μελέτες που αφορούν την ευρύτερη περιοχή της Πνύκας.

- Η δημιουργία γεωμετρικών τομών από μετρήσεις με σαρωτή laser είναι μία εύκολη διαδικασία. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα δημιουργίας γεωμετρικών τομών με σαρωτή laser, σε σύγκριση με τις μεμονωμένες τομές που προκύπτουν από τις μετρήσεις με reflectorless total station, είναι η δυνατότητα δημιουργίας πλήθους κάθετων και οριζόντιων τομών για ένα μόνο μοντέλο χωρίς επιπλέον μετρήσεις.
 - Στις γεωδαιτικές εφαρμογές, ο σαρωτής laser σε συνδυασμό με άλλες τοπογραφικές μεθόδους αποτύπωσης μπορεί να δώσει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα και ειδικά σε αποτυπώσεις κτηρίων, περιοχών, ακόμα και αντικειμένων όπου παρουσιάζονται προβλήματα πρόσβασης, εγγύτητας και πολυπλοκότητας.
 - Κατά τη σύγκριση των τομών από μετρήσεις με σαρωτή laser και με reflectorless total station, έγινε πλήρως διακριτή η αλλαγή που υφίσταται μία τομή ανάλογα με το πλήθος σημείων που τη σχηματίζουν. Κατά την ψηφιοποίηση των τομών από μετρήσεις με σαρωτή laser, λόγω του μεγάλου πλήθους σημείων (βήμα σάρωσης 7mm), η επιλογή των σημείων τα οποία θα σχημάτιζαν τις "γραμμές" της ψηφιοποιημένης τομής έγινε επιλεκτικά, το τελικό αποτέλεσμα όμως έχει μεγάλη γεωμετρική ακρίβεια.
- Αντίθετα, στις τομές από το reflectorless total station δεν αποτυπώνονταν όλες οι λεπτομέρειες των τομών, κάτι τέτοιο απαιτούσε την αποτύπωση πολύ περισσότερων σημείων (μικρότερο βήμα αποτύπωσης).

- Η αποτύπωση με reflectorless total station αντικειμένων με ακανόνιστο σχήμα, αποτελεί μία διαδικασία επίπονη και χρονοβόρα, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθεί μεγάλος αριθμός σημείων ώστε να υπάρξει ικανοποιητική αποτύπωση του αντικειμένου.
- Η γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων και των συμπεριλαμβανομένων εγκαταστάσεων ή διακοσμητικών στοιχείων, απαιτεί τη χρήση διάφορων μεθόδων αποτύπωσης. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για κάθε περίπτωση και ο συνδυασμός των δυνατών μεθόδων για την ολοκλήρωση μιας τέτοιου είδους μελέτης, οδηγεί στα ακριβέστερα και πλέον ολοκληρωμένα αποτελέσματα. Καμία μέθοδος αποτύπωσης δεν αντικαθιστά κάποια άλλη, αντίθετα η μία αποτελεί συμπλήρωμα της άλλης.

7.2. Προτάσεις

Με την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης μελέτης και την ανάλυση των αποτελεσμάτων της, αξίζει να σημειωθούν κάποιες προτάσεις για τυχόν μελλοντική, επιπρόσθετη διερεύνηση του θέματος.

- Η σάρωση από επιπλέον θέσεις μπορεί να καλύψει τα "κενά" που υπάρχουν στο τελικό μοντέλο. Υπάρχει η δυνατότητα διερεύνησης των κενών στο τελικό μοντέλο και της επιλογής του ελάχιστου αριθμού σαρώσεων και της κατάλληλης θέσης κάθε σάρωσης για την πλήρη κάλυψη των "κενών" σημείων.
- Η σάρωση του εξωτερικού χώρου της κρήνης της Καλλιρρόης μπορεί να δώσει ολοκληρωμένα αποτελέσματα αποτύπωσης όσον αφορά τη "σύνδεση" με τη σπηλιά του Πάνα (που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 80 μέτρων από την κρήνη), αλλά και την ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου της Πνύκας.
- Το ψηφιδωτό που βρίσκεται στην πρώτη αίθουσα της κρήνης είναι μεγάλης ιστορικής και πολιτισμικής σημασίας. Η κατασκευή του χρονολογείται τον 2^ο αιώνα μ.Χ. και η αποτύπωσή του θα βοηθήσει σε τυχόν διαδικασίες συντήρησης και προστασίας. Η ακρίβεια λεπτομερειών που απαιτείται για την αποτύπωση του μωσαϊκού, μπορεί να επιτευχθεί μέσω φωτογραμμετρικών διαδικασιών αποτύπωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Συγγράμματα**

1. Κουτσοφλάκης Γ. : « *Αρχαιολογική και Ιστορική Τεκμηρίωση Βόρειας και Ανατολικής Πνύκας* » , Α' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασσικών Αρχαιοτήτων , Υπουργείο Πολιτισμού και Τουρισμού , Αθήνα 2000
2. Παραδείσης Δ. : « *Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας* » , Τομέας Τοπογραφίας , Σ.Α.Τ.Μ. , Ε.Μ.Π. , Αθήνα 2000
3. Φωτίου Α. - Πικριδάς Χ. : « *GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές* » , Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2006
4. Πετρολέκας Κ. : « *Έλεγχος Μικρομετακινήσεων του Μνημείου της Κλεψύδρας στην Ακρόπολη Αθηνών* » , Διπλωματική εργασία , Σ.Α.Τ.Μ. , Ε.Μ.Π., Αθήνα 2008
5. Μπαλοδήμος Δ. - Σταθάς Δ. - Αραμπατζή Α. : « *ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ: Δίκτυα-Αποτυπώσεις-Χαράξεις* » , Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας , Σ.Α.Τ.Μ. , Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006
6. Συμεωνίδης Π. : « *Σαρωτές laser - Τεχνολογία, Τεχνικές και Εφαρμογές* » , Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας , Τ.Ε.Ι Σερρών , Σέρρες 2007
7. Zogg H. : « *Investigations of High Precision Terrestrial Laser Scanning with Emphasis on the Development of a Robust Close-Range 3D-Laser Scanning System* » , A dissertation submitted for the degree of Doctor of Sciences ETH , Institute of Geodesy and Photogrammetry , ETH , Zurich , Switzerland , 2008

8. Μπαλοδήμος Δ. , κ.α. : « *Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας* », Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας , Σ.Α.Τ.Μ. , Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005
9. Κατσιούλη Π. : « *Δημιουργία Γεωμετρικών Τομών από Δεδομένα Επίγειας Σάρωσης* » Διπλωματική εργασία , Σ.Α.Τ.Μ. , Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005
10. Παπαγεωργίου Ε. : « *Συμβολή των Επίγειων Σαρωτών Laser στη Γεωμετρική Τεκμηρίωση Σωστικών Ανασκαφών* » Διπλωματική εργασία , Σ.Α.Τ.Μ. , Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004
11. Μπαλοδήμος Δ. : « *Ειδικές Γεωδαιτικές Αποτυπώσεις* » Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας , Σ.Α.Τ.Μ. , Ε.Μ.Π., Αθήνα 1993

Δικτυακοί Τόποι

1. www.treecomp.gr , Tree Company (Αποκλειστικοί Αντιπρόσωποι της TOPCON στην Ελλάδα)
2. www.ngc-geo.com.ua , Geodetic equipment for building and geodesy
3. www.leica-geosystems.com , Leica Geosystems
4. www.e-topo.web.auth.gr , Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1: Η πηγή Καλλιρρόη.....	1
Σχήμα 3-1: Το πολυγωνομετρικό δίκτυο.....	13
Σχήμα 5-1: Οριζόντια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στο ύψος της στάσης Κ3.....	46
Σχήμα 5-2: Οριζόντια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στο ύψος της στάσης Κ1.....	47
Σχήμα 5-3: Οριζόντια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, σε ύψος περίπου 1m πάνω από την Κ1.....	47
Σχήμα 5-4: Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, κατά μήκος της ευθείας 019512-Κ1.....	49
Σχήμα 5-5: Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στην πρώτη αίθουσα της κρήνης.....	50
Σχήμα 5-6: Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, κατά μήκος της ευθείας Κ1-Κ2.....	51
Σχήμα 5-7: Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, κατά μήκος της ευθείας Κ2-Κ3.....	51
Σχήμα 5-8: Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στη δεύτερη αίθουσα της κρήνης.....	52
Σχήμα 5-9: Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στην πρώτη αίθουσα της κρήνης.....	52
Σχήμα 5-10: Εγκάρσια τομή με μετρήσεις σαρωτή laser, στο διάδρομο που συνδέει την πρώτη με τη δεύτερη αίθουσα της κρήνης.....	53

Σχήμα 6-1: Εγκάρσια τομή κατά μήκος της ευθείας 019512-K1 , από μετρήσεις με reflectorless total station, στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου.....	59
Σχήμα 6-2: Εγκάρσια τομή κατά μήκος της ευθείας K1-K2 , από μετρήσεις με reflectorless total station, στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου.....	61
Σχήμα 6-3: Εγκάρσια τομή κατά μήκος της ευθείας 019512-K1, από μετρήσεις με reflectorless total station και σαρωτή laser.....	63
Σχήμα 6-4: Εγκάρσια τομή κατά μήκος της ευθείας K1-K2, από μετρήσεις με reflectorless total station και σαρωτή laser.....	64

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Γεωδαιτικές συν/νες σημείων στο ΕΓΣΑ 87.....	9
Πίνακας 3-1: Συν/νες πολυγωνομετρικών σημείων στο ΕΓΣΑ 87.....	13
Πίνακας 5-1: Αυθαίρετες συν/νες σημείων, που δόθηκαν στο νέφος που προέκυψε από τη σάρωση στη στάση K1.....	34
Πίνακας 5-2: Αυθαίρετες συν/νες σημείων, που δόθηκαν στο νέφος που προέκυψε από τη σάρωση στη στάση K3.....	34
Πίνακας 6-1: Μελέτες για τη μέτρηση μηκών χωρίς ανακλαστήρα.....	55
Πίνακας 6-2: Προσεγγιστικές συν/νες σημείου K2, στο σύστημα αναφοράς του μοντέλου.....	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1: Δίκτυο γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων.....	7
Εικόνα 2-2: Άποψη του οργάνου Hiper Pro της Topcon.....	10
Εικόνα 3-1: Μέτρηση σημείου 019512 με το TCR 1202+ της Leica.....	15
Εικόνα 3-2: Μέτρηση σημείου 019512 με το TCR 1202+ της Leica (χρήση αγκωνοειδούς φακού).....	15
Εικόνα 3-3: Μέτρηση σημείου K2 με το TCR 1202+ της Leica (χρήση βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης και αγκωνοειδούς φακού).....	15
Εικόνα 3-4: Μέτρηση σημείου K2 με το TCR 1202+ της Leica (χρήση βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης και αγκωνοειδούς φακού).....	15
Εικόνα 5-1: Μέτρηση με το Scan Station 2, της στάσης K3.....	30
Εικόνα 5-2: Μέτρηση με το Scan Station 2, της K3. Παρακολούθηση της αποτύπωσης του νέφους σημείων στον H/Y.....	30
Εικόνα 5-3: Ειδικός σφαιρικός στόχος πάνω σε βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης (στάση K2).....	30
Εικόνα 5-4: Μέτρηση στάσης K2 με το Scan Station 2, σε βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης. Διακρίνεται η πράσινη οπτική ακτίνα laser.....	30
Εικόνα 5-5: Σφαιρικός στόχος.....	33
Εικόνα 5-6: Κυκλικός στόχος.....	33
Εικόνα 5-7: Νέφος σημείων από τη σάρωση στη στάση K1.....	35
Εικόνα 5-8: Νέφος σημείων από τη σάρωση στη στάση K2.....	36
Εικόνα 5-9: Νέφος σημείων από τη σάρωση στη στάση K3.....	36
Εικόνα 5-10: Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης των νεφών από τη σάρωση στις στάσεις K2 και K3.....	40

Εικόνα 5-11: Ιστογράμμα σφαλμάτων συνένωσης των νεφών από τη σάρωση στις στάσεις K2 και K3.....	40
Εικόνα5-12: Πίνακας αποτελεσμάτων συνένωσης του νέφους σημείων από τη σάρωση στη στάση K1 με το ενοποιημένο μοντέλο [K2-K3].....	41
Εικόνα 5-13: Ιστογράμμα σφαλμάτων συνένωσης του νέφους σημείων από τη σάρωση στη στάση K1 με το ενοποιημένο μοντέλο [K2-K3].....	41
Εικόνα 5-14: Αναπαράσταση τελικού μοντέλου στο 'ModelSpace' και παράθυρο επιλογής χρωματικής απεικόνισης μοντέλου.....	42
Εικόνα 5-15: Κενά (1 και 2) στο τελικό μοντέλο στην πρώτη αίθουσα. Απεικόνιση της θέσης που βρίσκεται η κρήνη.....	43
Εικόνα 5-16: Κενά (3 και 4) στο τελικό μοντέλο, στο δάπεδο της δεύτερης αίθουσας.....	44
Εικόνα 5-17: Σημεία του μοντέλου που σχηματίζουν την οριζόντια τομή της Κρήνης στο ύψος της K1. Η τομή είναι προσανατολισμένη στο σύστημα του μοντέλου.....	45
Εικόνα 5-18: Παρουσίαση κάθετης τομής στο λογισμικό 'autocad', πριν την ψηφιοποίησή της.....	48
Εικόνα 6-1: Μέτρηση στη στάση K3 με total station. Απεικόνιση ριζών στα πετρώματα που αποτέλεσαν θόρυβο των μετρήσεων.....	64



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
LABORATORY OF GENERAL GEODESY

***"GEOMETRIC DEMONSTRATION OF KALIROIS'S
FOUNTAIN AT THE ARCHAEOLOGICAL SITE OF PNYKA"***



**DESPOINA BAMBOURDA
DIPLOMA THESIS**

Supervisor :

Orthodoxia Arabatzi

Lecturer N.T.U.A

Athens

October 2010

Preface

Each monument constitutes a particularly important construction because of its historical, archaeological, artistic, scientific, social/technical interest, including installations or decorative elements that constitute part and parcel of the construction.

Monument imprintings provide the essential elements and constitute the base for the accomplishment of constructions such as the maintenance, the restoration, the shaping of the surrounding area and aim at the maintenance of their material existence and authenticity, at gaining distinction and generally at their conservation. In this way, the incorporation of the monuments, archaeological and historical sites within the framework of developmental, environmental, urban and land-planning is rendered possible.

In the Hellenic realm, the large number of monuments makes urgent the need of study of imprinting techniques and generally techniques of geometric demonstration of monuments.

The present diploma presentation is aiming at the geometric demonstration of Kalirois's Fountain, which is situated in the wider archaeological site of Pnyka Hill.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αποτελέσματα μετρήσεων με GPS

Project Summary

Project name: Pnyx-512.ttp

Surveyor:

Comment:

Linear unit: Meters

Projection: GREECE

Geoid:

Adjustment Summary

Adjustment type: Plane + Height, Minimal constraint

Confidence level: 95 %

Number of adjusted points: 5

Number of plane control points: 1

Number of used GPS vectors: 9

A posteriori plane UWE: 3,270513 , Bounds: (0,5700877 ,
1,431083)

Number of height control points: 1

A posteriori height UWE: 3,590348 , Bounds: (0,4076763 ,
1,601874)

Used GPS Observations

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horizontal Precision (m)	Vertical Precision (m)
019500-019506	113,294	67,629	-30,148	0,002	0,003
019500-019512	40,060	94,249	-24,548	0,003	0,004
019500-019513	144,816	-18,678	-26,629	0,002	0,004

019500-019514	1,935	-58,433	-0,198	0,001	0,001
019506-019512	-73,239	26,629	5,599	0,002	0,005
019506-019513	31,543	-86,310	3,502	0,003	0,005
019506-019514	-111,349	-126,050	29,962	0,001	0,002
019512-019514	-38,108	-152,686	24,318	0,003	0,005
019513-019514	-142,878	-39,749	26,420	0,002	0,003

GPS Observation Residuals

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horizontal Precision (m)	Vertical Precision (m)
019500-019506	113,294	67,63	-30,148	0,002	0,003
019500-019512	40,060	94,249	-24,548	0	0,004
019500-019513	144,816	-18,678	-26,629	0,002	0,004
019500-019514	1,935	-58,433	-0,198	0,001	0,001
019506-019512	-73,239	26,629	5,599	0,002	0,005
019506-019513	31,543	-86,310	3,502	0,003	0,005
019506-019514	-111,349	-126,050	29,962	0,001	0,002
019512-019514	-38,108	-152,686	24,318	0,003	0,005
019513-019514	-142,878	-39,749	26,420	0,002	0,003

Control Points

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
019500	4202343,637	475254,106	108,214	

Adjusted Points

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
019506	4202456,926	475321,730	78,063	
019512	4202383,689	475348,360	83,675	
019513	4202488,457	475235,425	81,585	
019514	4202345,576	475195,676	108,015	

--Συνημμένο προωθημένου μηνύματος--

From:

Subject: Points

Date: Tue, 1 Jun 2010 20:22:48 +0300

. Project Summary

Project name: Pnyx-512.ttp

Surveyor:

Comment:

Linear unit: Meters

Projection: GREECE

Geoid:

Points

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
019500	4202343,637	475254,106	108,214	
019506	4202456,926	475321,730	78,063	
019512	4202383,689	475348,360	83,675	
019513	4202488,457	475235,425	81,585	
019514	4202345,576	475195,676	108,015	

Φωτογραφίες από μετρήσεις με total station



Εικόνα Π-1 Μέτρηση με total station στη στάση Κ1. Στόχευση στο τριγωνομετρικό σημείο 019512.



Εικόνα Π-2 Μέτρηση της στάσης Κ2 με το TCR 1202+ της Leica. Χρήση βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης.



Εικόνα Π-3 Μέτρηση της στάσης Κ3 με το TCR 1202+ της Leica.



Εικόνα Π-4 Ανακλαστήρας πάνω σε τρίποδα στη στάση Κ1.
Μερική απεικόνιση ψηφιδωτού.

Μετατροπή συν/νων σημείων (από μετρήσεις με total station)

από ΕΓΣΑ 87 στο αυθαίρετο σύστημα του μοντέλου

ΤΟΜΗ Κ1-019512

ΣΗΜΕΙΟ	X(m)	Y(m)	H(m)			X'(m)	Y'(m)	H'(m)
K1	475340,46	4202379,58	82,6	$\omega=$	2,88078863	475357,05	4202385,61	82,6
19512	475348,36	4202383,69	83,68	$Xo2=$	2018237,872	475348,36	4202383,69	83,68
1	475343,75	4202381,29	85,58	$Yo2=$	8140083,101	475353,44	4202384,81	85,58
2	475343,4	4202381,11	85,6	$m=$	1,000	475353,82	4202384,9	85,6
3	475343,41	4202381,12	85,53			475353,81	4202384,89	85,53
4	475343,4	4202381,11	85,71			475353,82	4202384,9	85,71
5	475343,31	4202381,07	85,8			475353,92	4202384,92	85,8
6	475343,4	4202381,11	85,99			475353,81	4202384,9	85,99
7	475343,38	4202381,1	86,13			475353,84	4202384,9	86,13
8	475343,4	4202381,11	86,27			475353,82	4202384,9	86,27
9	475343,24	4202381,03	86,27			475353,99	4202384,93	86,27
10	475342,64	4202380,72	85,95			475354,66	4202385,08	85,95
11	475341,94	4202380,35	85,48			475355,43	4202385,25	85,48
12	475342,42	4202380,6	85,9			475354,89	4202385,13	85,9
13	475341,8	4202380,28	85,4			475355,57	4202385,29	85,4
14	475341,72	4202380,24	85,36			475355,66	4202385,31	85,36
15	475341,56	4202380,15	85,25			475355,85	4202385,35	85,25
16	475341,48	4202380,12	85,25			475355,93	4202385,36	85,25
17	475341,39	4202380,07	85,24			475356,03	4202385,39	85,24
18	475341,33	4202380,04	85,24			475356,1	4202385,4	85,24
19	475341,27	4202380,01	85,29			475356,16	4202385,42	85,29
20	475341,19	4202379,97	85,32			475356,24	4202385,43	85,32
21	475341,1	4202379,92	85,35			475356,35	4202385,46	85,35
22	475341,02	4202379,88	85,4			475356,43	4202385,48	85,4
23	475340,95	4202379,84	85,39			475356,51	4202385,49	85,39
24	475340,87	4202379,8	85,41			475356,6	4202385,51	85,41
25	475340,79	4202379,76	85,4			475356,69	4202385,53	85,4
26	475340,72	4202379,72	85,43			475356,77	4202385,55	85,43
27	475340,67	4202379,69	85,44			475356,83	4202385,56	85,44
28	475340,59	4202379,65	85,44			475356,91	4202385,58	85,44
29	475340,53	4202379,62	85,43			475356,98	4202385,6	85,43
30	475340,48	4202379,6	85,43			475357,03	4202385,61	85,43
31	475340,43	4202379,57	85,46			475357,09	4202385,62	85,46
32	475340,35	4202379,53	85,45			475357,18	4202385,64	85,45
33	475340,27	4202379,49	85,47			475357,26	4202385,66	85,47
34	475340,19	4202379,44	85,49			475357,35	4202385,68	85,49
35	475340,1	4202379,4	85,5			475357,45	4202385,7	85,5
36	475340,02	4202379,36	85,51			475357,54	4202385,72	85,51
37	475339,92	4202379,3	85,51			475357,65	4202385,75	85,51
38	475339,86	4202379,27	85,51			475357,71	4202385,76	85,51
39	475339,75	4202379,22	85,5			475357,83	4202385,79	85,5
40	475339,71	4202379,2	85,5			475357,88	4202385,8	85,5
41	475339,61	4202379,15	85,47			475357,98	4202385,82	85,47
42	475339,53	4202379,1	85,45			475358,07	4202385,84	85,45
43	475339,47	4202379,07	85,42			475358,14	4202385,86	85,42
44	475339,4	4202379,04	85,38			475358,22	4202385,87	85,38
45	475339,33	4202379	85,34			475358,29	4202385,89	85,34
46	475339,27	4202378,97	85,3			475358,36	4202385,9	85,3
47	475339,2	4202378,93	85,23			475358,44	4202385,92	85,23

48	475339,15	4202378,9	85,18			475358,5	4202385,93	85,18
49	475339,08	4202378,87	85,12			475358,57	4202385,95	85,12
50	475339,02	4202378,84	85,06			475358,64	4202385,97	85,06
51	475338,95	4202378,8	84,98			475358,71	4202385,98	84,98
52	475338,88	4202378,77	84,93			475358,79	4202386	84,93
53	475338,72	4202378,68	84,86			475358,97	4202386,04	84,86
54	475338,56	4202378,6	84,84			475359,14	4202386,08	84,84
55	475338,44	4202378,53	84,77			475359,28	4202386,11	84,77
56	475338,22	4202378,42	84,71			475359,51	4202386,16	84,71
57	475338,07	4202378,34	84,59			475359,68	4202386,2	84,59
58	475338,02	4202378,32	84,5			475359,74	4202386,21	84,5
59	475337,91	4202378,26	84,39			475359,86	4202386,24	84,39
60	475337,72	4202378,16	84,22			475360,06	4202386,28	84,22
61	475337,66	4202378,13	84,08			475360,13	4202386,3	84,08
62	475337,5	4202378,05	83,92			475360,31	4202386,34	83,92
63	475337,65	4202378,12	83,98			475360,14	4202386,3	83,98
64	475337,76	4202378,18	83,89			475360,03	4202386,27	83,89
65	475337,89	4202378,25	83,81			475359,88	4202386,24	83,81
66	475337,98	4202378,3	83,72			475359,78	4202386,22	83,72
67	475337,98	4202378,3	83,63			475359,78	4202386,22	83,63
68	475337,99	4202378,3	83,51			475359,77	4202386,22	83,51
69	475338,02	4202378,32	83,41			475359,74	4202386,21	83,41
70	475338	4202378,3	83,29			475359,76	4202386,22	83,29
71	475337,98	4202378,3	83,17			475359,78	4202386,22	83,17
72	475337,95	4202378,28	83,01			475359,81	4202386,23	83,01
73	475337,97	4202378,29	82,92			475359,79	4202386,22	82,92
74	475337,97	4202378,29	82,79			475359,79	4202386,22	82,79
75	475337,99	4202378,3	82,63			475359,77	4202386,22	82,63
76	475338,21	4202378,42	82,61			475359,52	4202386,16	82,61
77	475338,38	4202378,51	82,61			475359,34	4202386,12	82,61
78	475338,64	4202378,64	82,61			475359,05	4202386,06	82,61
79	475338,77	4202378,71	82,61			475358,91	4202386,03	82,61
80	475338,88	4202378,77	82,6			475358,79	4202386	82,6
81	475339,04	4202378,85	82,6			475358,62	4202385,96	82,6
82	475339,18	4202378,92	82,6			475358,47	4202385,93	82,6
83	475339,29	4202378,98	82,6			475358,34	4202385,9	82,6
84	475339,38	4202379,02	82,6			475358,24	4202385,88	82,6
85	475339,46	4202379,07	82,59			475358,15	4202385,86	82,59
86	475339,56	4202379,12	82,6			475358,04	4202385,83	82,6
87	475340,41	4202379,56	83,95			475357,11	4202385,63	83,95
88	475339,36	4202379,01	82,6			475358,26	4202385,88	82,6
89	475343,79	4202381,31	84,07			475353,39	4202384,8	84,07
90	475344,03	4202381,44	84,14			475353,12	4202384,74	84,14
91	475343,72	4202381,28	83,94			475353,47	4202384,82	83,94
92	475343,72	4202381,28	84			475353,46	4202384,82	84
93	475343,54	4202381,18	83,89			475353,67	4202384,86	83,89
94	475343,4	4202381,11	83,86			475353,82	4202384,9	83,86
95	475343,38	4202381,1	83,79			475353,85	4202384,9	83,79
96	475343,34	4202381,08	83,76			475353,89	4202384,91	83,76
97	475343,09	4202380,95	83,73			475354,16	4202384,97	83,73

98	475343,08	4202380,95	83,69			475354,17	4202384,97	83,69
99	475343,04	4202380,93	83,64			475354,21	4202384,98	83,64
100	475342,93	4202380,87	83,62			475354,33	4202385,01	83,62
101	475342,83	4202380,81	83,59			475354,45	4202385,04	83,59
102	475342,77	4202380,78	83,55			475354,51	4202385,05	83,55
103	475342,75	4202380,77	83,51			475354,54	4202385,06	83,51
104	475342,75	4202380,78	83,49			475354,53	4202385,05	83,49
105	475342,75	4202380,77	83,45			475354,54	4202385,06	83,45
106	475342,72	4202380,76	83,41			475354,57	4202385,06	83,41
107	475342,55	4202380,67	83,38			475354,75	4202385,1	83,38
108	475342,45	4202380,62	83,37			475354,86	4202385,13	83,37
109	475342,45	4202380,62	83,32			475354,86	4202385,13	83,32
110	475342,45	4202380,62	83,26			475354,86	4202385,13	83,26
111	475342,45	4202380,62	83,17			475354,86	4202385,13	83,17
112	475342,41	4202380,6	83,14			475354,91	4202385,14	83,14
113	475342,28	4202380,53	83,12			475355,05	4202385,17	83,12
114	475342,16	4202380,47	83,11			475355,18	4202385,2	83,11
115	475342,11	4202380,44	83,1			475355,24	4202385,21	83,1
116	475342,11	4202380,44	83,04			475355,24	4202385,21	83,04
117	475342,11	4202380,44	82,96			475355,24	4202385,21	82,96
118	475342,1	4202380,44	82,9			475355,25	4202385,21	82,9
119	475342,04	4202380,41	82,86			475355,32	4202385,23	82,86
120	475341,96	4202380,37	82,85			475355,4	4202385,25	82,85
121	475341,86	4202380,31	82,83			475355,51	4202385,27	82,83
122	475341,79	4202380,28	82,83			475355,59	4202385,29	82,83
123	475341,76	4202380,26	82,77			475355,62	4202385,3	82,77
124	475341,76	4202380,26	82,72			475355,62	4202385,3	82,72
125	475341,75	4202380,25	82,65			475355,63	4202385,3	82,65
126	475341,7	4202380,23	82,64			475355,69	4202385,31	82,64
127	475341,64	4202380,2	82,64			475355,75	4202385,33	82,64
128	475341,59	4202380,17	82,63			475355,81	4202385,34	82,63
129	475341,56	4202380,15	82,63			475355,85	4202385,35	82,63
130	475341,48	4202380,12	82,63			475355,93	4202385,36	82,63
131	475341,42	4202380,08	82,63			475356	4202385,38	82,63
132	475341,36	4202380,05	82,62			475356,06	4202385,39	82,62
133	475341,3	4202380,02	82,62			475356,13	4202385,41	82,62
134	475341,24	4202379,99	82,62			475356,19	4202385,42	82,62
135	475341,14	4202379,94	82,62			475356,3	4202385,45	82,62
136	475341,09	4202379,91	82,62			475356,36	4202385,46	82,62
137	475340,5	4202379,6	83,94			475357,01	4202385,6	83,94

**Μετατροπή συν/νων σημείων (από μετρήσεις με total station)
από ΕΓΣΑ 87 στο αυθαίρετο σύστημα του μοντέλου**

ΤΟΜΗ Κ1-Κ2

ΣΗΜΕΙΟ	X(m)	Y(m)	H(m)			X'(m)	Y'(m)	H'(m)
K1	475340,46	4202379,58	82,6	$\omega =$	2,8807886	475356,95	4202385,66	82,6
K2	475338,26	4202384,73	82,41	$\chi_{o2} =$	2018237,8825	475357,75	4202380,12	82,41
2	475338,13	4202385,02	82,33	$\chi_{o2} =$	8140083,0970	475357,79	4202379,8	82,33
3	475338,29	4202384,65	82,35	$m =$	1,000	475357,74	4202380,21	82,35
4	475338,59	4202383,96	82,5			475357,63	4202380,95	82,5
5	475338,74	4202383,6	82,55			475357,57	4202381,33	82,55
6	475338,81	4202383,43	82,54			475357,55	4202381,51	82,54
7	475338,88	4202383,28	82,53			475357,52	4202381,68	82,53
8	475338,94	4202383,12	82,52			475357,50	4202381,85	82,52
9	475339,01	4202382,96	82,52			475357,47	4202382,02	82,52
10	475339,16	4202382,62	82,61			475357,42	4202382,39	82,61
11	475339,23	4202382,46	82,63			475357,40	4202382,56	82,63
12	475339,26	4202382,39	82,61			475357,38	4202382,64	82,61
13	475339,3	4202382,28	82,61			475357,37	4202382,75	82,61
14	475339,34	4202382,19	82,6			475357,35	4202382,85	82,6
15	475339,38	4202382,11	82,59			475357,34	4202382,93	82,59
16	475339,4	4202382,06	82,56			475357,33	4202382,99	82,56
17	475339,43	4202381,99	82,55			475357,32	4202383,07	82,55
18	475339,47	4202381,9	82,55			475357,31	4202383,16	82,55
19	475339,5	4202381,82	82,55			475357,29	4202383,25	82,55
20	475339,54	4202381,73	82,56			475357,28	4202383,34	82,56
21	475339,58	4202381,64	82,57			475357,27	4202383,44	82,57
22	475339,61	4202381,56	82,58			475357,25	4202383,53	82,58
23	475339,64	4202381,5	82,58			475357,24	4202383,59	82,58
24	475339,67	4202381,44	82,58			475357,23	4202383,66	82,58
25	475339,69	4202381,38	82,58			475357,23	4202383,72	82,58
26	475339,74	4202381,26	82,58			475357,21	4202383,85	82,58
27	475339,79	4202381,16	82,58			475357,19	4202383,96	82,58
28	475339,83	4202381,06	82,58			475357,18	4202384,07	82,58
29	475339,87	4202380,97	82,58			475357,16	4202384,17	82,58
30	475339,9	4202380,88	82,58			475357,15	4202384,26	82,58
31	475339,94	4202380,8	82,58			475357,14	4202384,34	82,58
32	475339,97	4202380,73	82,59			475357,12	4202384,43	82,59
33	475340	4202380,66	82,59			475357,11	4202384,5	82,59
34	475340,03	4202380,59	82,59			475357,10	4202384,58	82,59
35	475338,01	4202385,3	82,45			475357,84	4202379,5	82,45
36	475338	4202385,33	82,65			475357,84	4202379,47	82,65
37	475338	4202385,33	82,85			475357,84	4202379,47	82,85
38	475338	4202385,32	83,05			475357,84	4202379,48	83,05
39	475338,01	4202385,3	83,26			475357,84	4202379,51	83,26
40	475338,03	4202385,26	83,46			475357,83	4202379,54	83,46
41	475338,04	4202385,23	83,66			475357,83	4202379,58	83,66
42	475338,06	4202385,18	83,85			475357,82	4202379,63	83,85
43	475338,1	4202385,09	84,04			475357,80	4202379,73	84,04
44	475338,78	4202383,5	84,17			475357,56	4202381,44	84,17
45	475338,14	4202385	84,12			475357,79	4202379,83	84,12
46	475339,44	4202381,97	84,2			475357,32	4202383,08	84,2
47	475338,84	4202383,37	84,21			475357,54	4202381,58	84,21
48	475338,12	4202385,04	84,08			475357,80	4202379,78	84,08

49	475338,74	4202383,59	84,14			475357,57	4202381,34	84,14
50	475338,83	4202383,38	84,21			475357,54	4202381,57	84,21
51	475339,27	4202382,35	84,21			475357,38	4202382,68	84,21
52	475339,48	4202381,86	84,24			475357,30	4202383,2	84,24
53	475339,52	4202381,79	84,27			475357,29	4202383,28	84,27
54	475339,53	4202381,75	84,3			475357,28	4202383,33	84,3
55	475339,56	4202381,68	84,37			475357,27	4202383,4	84,37
56	475339,58	4202381,64	84,43			475357,27	4202383,44	84,43
57	475339,6	4202381,59	84,5			475357,26	4202383,5	84,5
58	475339,61	4202381,58	84,56			475357,26	4202383,51	84,56
59	475339,63	4202381,51	84,62			475357,25	4202383,58	84,62
60	475339,66	4202381,45	84,67			475357,24	4202383,65	84,67
61	475339,68	4202381,4	84,72			475357,23	4202383,7	84,72
62	475339,7	4202381,35	84,77			475357,22	4202383,75	84,77
63	475339,71	4202381,32	84,83			475357,22	4202383,78	84,83
64	475339,74	4202381,27	84,87			475357,21	4202383,84	84,87
65	475339,74	4202381,27	84,96			475357,21	4202383,84	84,96
66	475339,77	4202381,19	85			475357,20	4202383,92	85
67	475339,79	4202381,14	85,04			475357,19	4202383,98	85,04
68	475339,81	4202381,09	85,08			475357,18	4202384,03	85,08
69	475339,86	4202380,99	85,15			475357,17	4202384,14	85,15
70	475339,89	4202380,92	85,2			475357,15	4202384,22	85,2
71	475339,93	4202380,83	85,23			475357,14	4202384,31	85,23
72	475339,96	4202380,75	85,23			475357,13	4202384,4	85,23
73	475339,98	4202380,7	85,25			475357,12	4202384,45	85,25
74	475340	4202380,65	85,27			475357,11	4202384,51	85,27
75	475340,04	4202380,57	85,29			475357,10	4202384,6	85,29
76	475340,07	4202380,49	85,3			475357,09	4202384,68	85,3
77	475340,11	4202380,41	85,31			475357,07	4202384,77	85,31
78	475340,14	4202380,33	85,31			475357,06	4202384,86	85,31
79	475340,17	4202380,26	85,33			475357,05	4202384,93	85,33
80	475340,2	4202380,19	85,34			475357,04	4202385	85,34
81	475340,23	4202380,13	85,35			475357,03	4202385,07	85,35
82	475340,26	4202380,05	85,37			475357,02	4202385,15	85,37
83	475340,28	4202380,01	85,4			475357,01	4202385,2	85,4
84	475340,31	4202379,92	85,39			475357,00	4202385,29	85,39
85	475340,34	4202379,87	85,42			475356,99	4202385,35	85,42
86	475340,36	4202379,82	85,46			475356,98	4202385,4	85,46
87	475340,39	4202379,74	85,44			475356,97	4202385,49	85,44
88	475340,42	4202379,69	85,43			475356,96	4202385,55	85,43
89	475340,44	4202379,63	85,44			475356,95	4202385,61	85,44
90	475340,45	4202379,61	85,44			475356,95	4202385,63	85,44
91	475340,46	4202379,58	85,43			475356,94	4202385,66	85,43
92	475340,48	4202379,53	85,43			475356,94	4202385,71	85,43
93	475340,51	4202379,48	85,44			475356,93	4202385,77	85,44
94	475340,54	4202379,4	85,43			475356,92	4202385,85	85,43
95	475340,55	4202379,36	85,42			475356,91	4202385,9	85,42
96	475340,58	4202379,3	85,41			475356,90	4202385,96	85,41
97	475340,6	4202379,25	85,37			475356,89	4202386,01	85,37
98	475340,62	4202379,21	85,35			475356,89	4202386,06	85,35

99	475340,65	4202379,15	85,3			475356,88	4202386,12	85,3
100	475340,67	4202379,1	85,25			475356,87	4202386,18	85,25
101	475340,69	4202379,04	85,2			475356,86	4202386,24	85,2
102	475340,75	4202378,9	85,13			475356,84	4202386,39	85,13
103	475340,77	4202378,85	85,06			475356,83	4202386,44	85,06
104	475340,8	4202378,8	85,01			475356,82	4202386,5	85,01
105	475340,82	4202378,74	84,98			475356,81	4202386,57	84,98
106	475340,83	4202378,71	84,91			475356,81	4202386,59	84,91
107	475340,88	4202378,61	84,9			475356,79	4202386,71	84,9
108	475340,9	4202378,56	84,86			475356,79	4202386,76	84,86
109	475340,95	4202378,43	84,84			475356,77	4202386,9	84,84
110	475341	4202378,33	84,79			475356,75	4202387,01	84,79
111	475341,04	4202378,24	84,7			475356,74	4202387,11	84,7
112	475341,05	4202378,2	84,62			475356,73	4202387,15	84,62
113	475341,08	4202378,14	84,57			475356,72	4202387,21	84,57
114	475341,1	4202378,09	84,49			475356,71	4202387,26	84,49
115	475341,1	4202378,09	84,41			475356,71	4202387,27	84,41
116	475341,14	4202377,99	84,34			475356,70	4202387,38	84,34
117	475341,2	4202377,86	84,26			475356,68	4202387,51	84,26
118	475341,27	4202377,7	84,15			475356,65	4202387,68	84,15
119	475341,28	4202377,68	84,06			475356,65	4202387,71	84,06
120	475341,27	4202377,69	83,97			475356,65	4202387,69	83,97
121	475341,26	4202377,72	83,87			475356,65	4202387,67	83,87
122	475341,22	4202377,8	83,79			475356,67	4202387,57	83,79
123	475341,18	4202377,9	83,71			475356,68	4202387,47	83,71
124	475341,15	4202377,97	83,64			475356,69	4202387,39	83,64
125	475341,13	4202378,02	83,6			475356,70	4202387,35	83,6
126	475341,12	4202378,05	83,53			475356,71	4202387,3	83,53
127	475341,1	4202378,08	83,43			475356,71	4202387,27	83,43
128	475341,1	4202378,08	83,34			475356,71	4202387,28	83,34
129	475341,11	4202378,06	83,23			475356,71	4202387,3	83,23
130	475341,13	4202378,02	83,09			475356,70	4202387,34	83,09
131	475341,14	4202378	82,92			475356,70	4202387,36	82,92
132	475341,14	4202378	82,84			475356,70	4202387,36	82,84
133	475341,13	4202378,01	82,75			475356,70	4202387,35	82,75
134	475341,13	4202378,02	82,66			475356,70	4202387,34	82,66
135	475341,06	4202378,19	82,63			475356,73	4202387,16	82,63
136	475341,08	4202378,13	82,63			475356,72	4202387,22	82,63
137	475341,03	4202378,24	82,62			475356,74	4202387,1	82,62
138	475340,98	4202378,38	82,62			475356,76	4202386,95	82,62
139	475340,93	4202378,48	82,62			475356,77	4202386,85	82,62
140	475340,89	4202378,58	82,62			475356,79	4202386,74	82,62
141	475340,84	4202378,7	82,62			475356,81	4202386,61	82,62
142	475340,48	4202379,53	83,95			475356,94	4202385,71	83,95