



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

**«ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LASER ΣΕ ΣΥΝΗΘΕΙΣ
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ»**



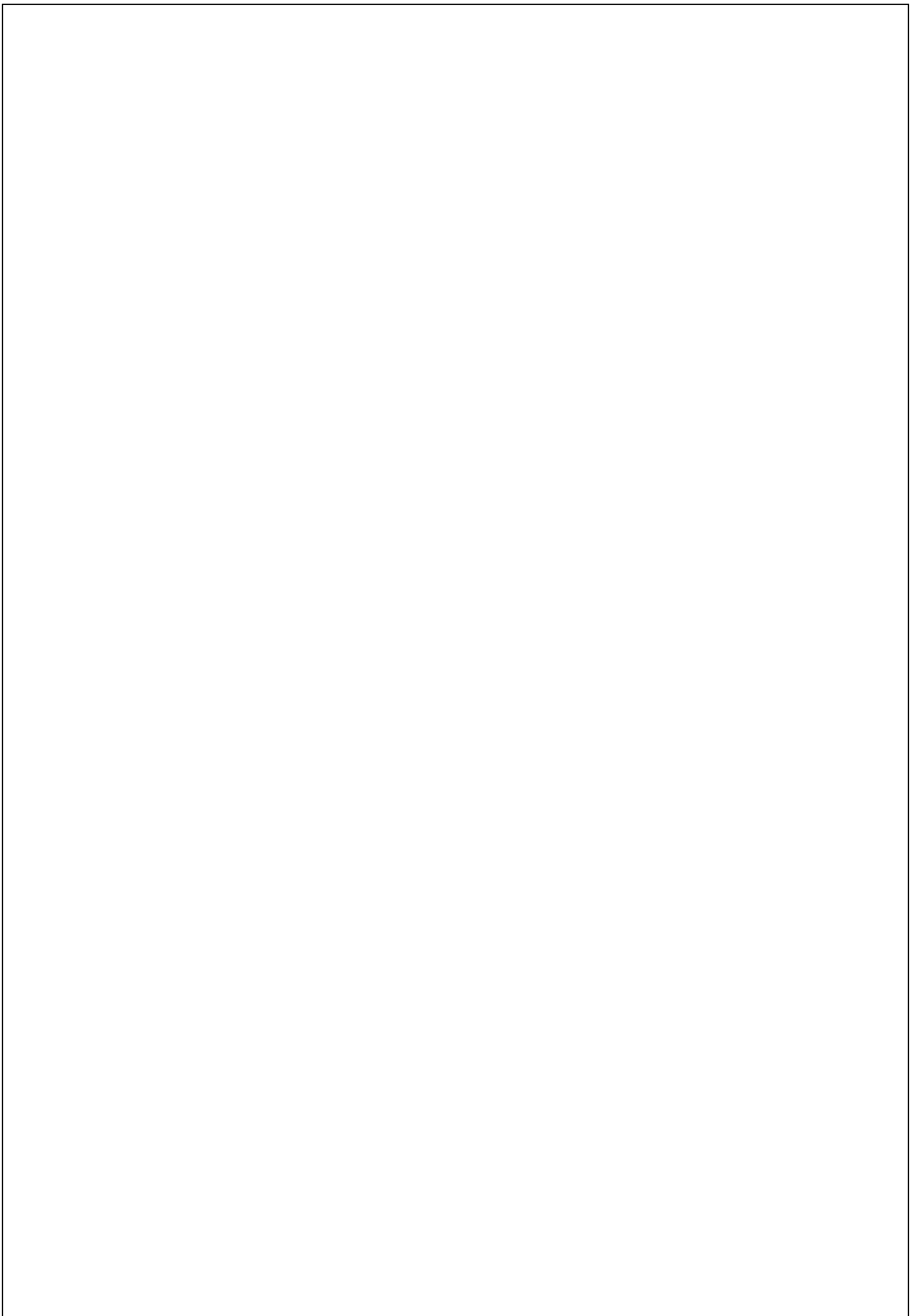
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΚΟΥΡΗ ΙΩΑΝΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ

ΤΣΑΚΙΡΗ Μ., Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

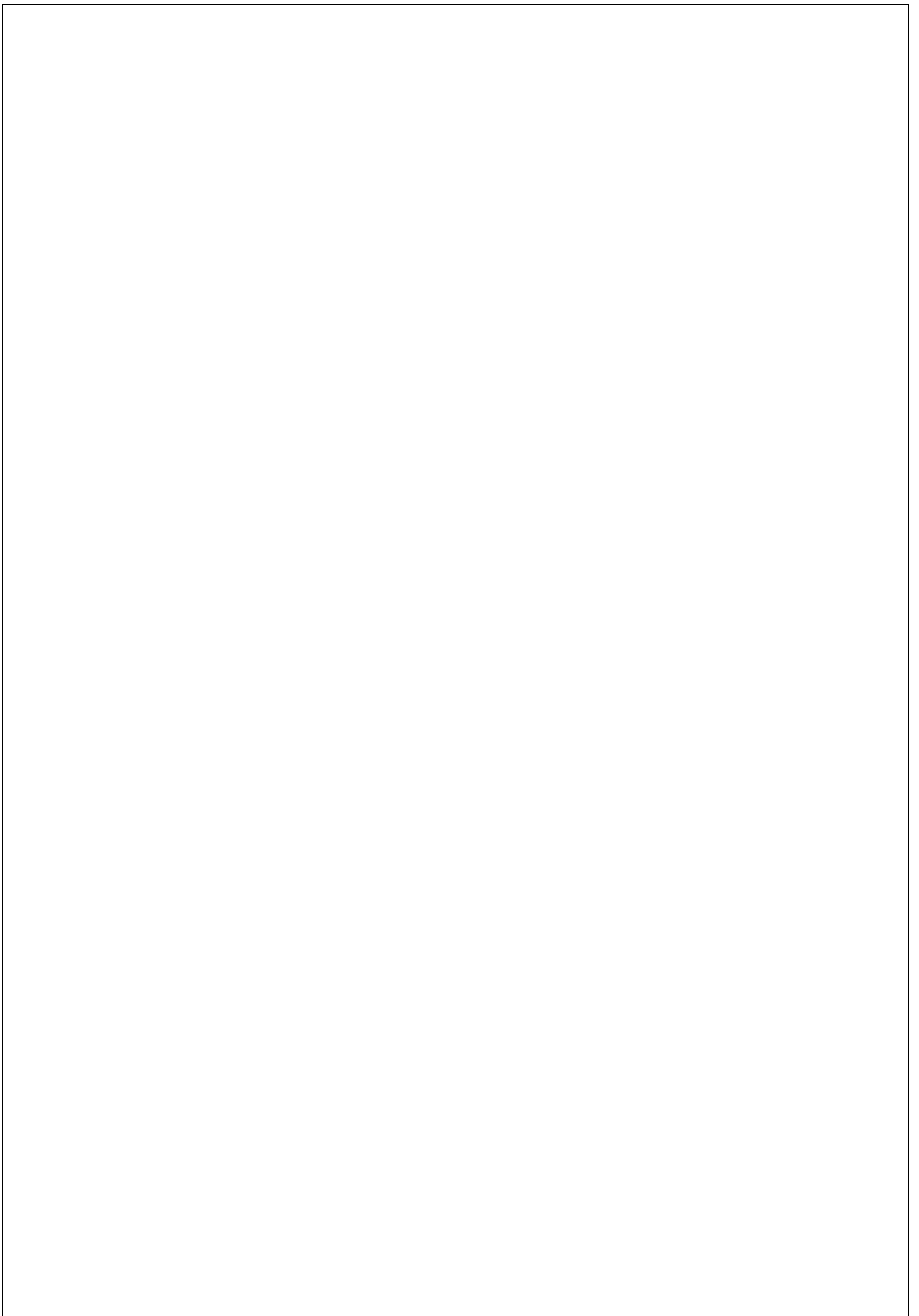


ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Μαρία Τσακίρη, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών καθώς και την κυρία Ορθοδοξία Αραμπατζή, Λέκτορα του ΕΜΠ, για την καθοδήγηση, την πολύ καλή συνεργασία μας, την βοήθεια τους και τις πολύτιμες συμβουλές τους που συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά σε όλους όσους με βοήθησαν, με τον δικό τους τρόπο ο καθένας κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Πάνω από όλα όμως ευχαριστώ τη οικογένεια μου, τις αδερφές μου Παναγιώτα και Παρασκευή, και κυρίως τους γονείς μου Βασίλη και Νικούλα που όλα αυτά τα χρόνια με πιστεύουν και με στηρίζουν με όλες τους τις δυνάμεις.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές laser, είναι όργανα τα οποία μετρούν πολικές συντεταγμένες. Οι μετρήσεις που συλλέγει ο σαρωτής σε κάθε στάση οργάνου (Scanworld) παράγουν ένα νέφος σημείων, οι θέσεις των οποίων υπολογίζονται στο σύστημα αναφοράς του σαρωτή.

Το πρόβλημα της γεωαναφοράς στην τεχνολογία της επίγειας σάρωσης αφορά τον μετασχηματισμό των παρατηρήσεων από το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή, στο σύστημα συντεταγμένων του αντικειμένου.

Η γεωαναφορά μέχρι σήμερα, γινόταν με τη βοήθεια ειδικών στόχων που αναγνωρίζει ο σαρωτής, οι στόχοι αυτοί έπρεπε να έχουν πραγματικές συντεταγμένες σε κάποιο σύστημα αναφοράς.

Οι συντεταγμένες αυτές συνήθως προσδιορίζονταν με χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Total Station). Στην συνέχεια, πραγματοποιούνταν ο κατάλληλος μετασχηματισμός μεταξύ των νεφών σημείων, εισάγονταν μέσω του λογισμικού οι συνταγμένες των στόχων και το τελικό συνενωμένο νέφος σημείων αποκτούσε το σύστημα αναφοράς που έχουν οι ειδικοί στόχοι. Η παραπάνω διαδικασία, προϋποθέτει τη διάθεση επιπλέον εξοπλισμού (Reflectorless Total Station), χρόνου, καθώς επίσης και ενός επιπλέον χειριστή του οργάνου (μηχανικό).

Κύριος στόχος της παρούσας μελέτης, είναι να διερευνήσει τις δυνατότητες που προσφέρουν οι περισσότεροι σύγχρονοι επίγειοι σαρωτές laser για τη χρήση τους σε συνήθεις τοπογραφικές εφαρμογές όπως οδεύσεις και χαράξεις, ώστε να μειωθεί ο χρόνος και οι εργασίες πεδίου, κατά τη διαδικασία της γεωαναφοράς..

Με την εφαρμογή μιας σειράς πειραμάτων, παρουσιάζεται η διαδικασία καθώς και τα αποτελέσματα που δίνει η χρήση ενός επίγειου σαρωτή Laser, ως γεωδαιτικού σταθμού.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	2
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	3
1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	4
2. ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER	6
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	8
2.2. ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ 3D ΣΑΡΩΤΩΝ.....	9
2.2.1. Σάρωση με τη μέθοδο των παλμών (Time of Flight).....	10
2.2.2. Σάρωση με τη μέθοδο διαφοράς φάσης (Phase shift).....	12
2.2.3. Σάρωση με τη μέθοδο του τριγωνισμού (Triangulation).....	14
2.2.3.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΜΙΑ ΚΑΜΕΡΑ.....	14
2.2.3.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΔΥΟ ΚΑΜΕΡΕΣ.....	15
2.2.4 Λειτουργία.....	16
2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ.....	18
2.5 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER.....	20
2.5.1 Ακρίβεια μέτρησης γωνίας	20
2.5.2 Ακρίβεια μέτρησης απόστασης	21
2.5.3 Βήμα της σάρωσης (διακριτική ικανότητα).....	22
2.5.4 Επίδραση ακμών.....	22
2.5.5 Επιρροή της ανακλαστικότητας της επιφάνειας.....	23
2.5.6 Περιβαλλοντικές συνθήκες.....	23
2.6 ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LASER.....	24
2.6.1 Ταχύτητα.....	24
2.6.2 Στόχοι ελέγχου και σύνδεσης.....	25
2.6.3 Ευκολία στη μεταφορά.....	25
2.7 ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	25
2.8 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ.....	26

2.9 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ LASER.....	28
2.10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΤΗ.....	31
2.11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER.....	34
2.12 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ.....	35
3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.....	38
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	39
3.2 Ο ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ SCANSTATION2.....	39
3.2.1 Βασικά μέρη συστήματος.....	39
3.2.2 Λειτουργία του σαρωτή.....	39
3.2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	42
3.3 Ο ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ TOPCON GTP – 3100.....	43
3.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ.....	44
3.4.1 Η διαδικασία της συνένωσης (registration) δύο ή περισσότερων νεφών σημείων (point clouds).....	45
3.4.2 Η διαδικασία της όδευσης.....	49
3.4.3 Η διαδικασία ορισμού των παραμέτρων του πεδίου μετρήσεων (Field Setup).....	51
3.4.4 Η διαδικασία της χάραξης.....	54
4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΥΠΑΙΘΡΟΥ.....	56
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	57
4.2 ΠΕΙΡΑΜΑ 1 ^ο	57
4.2.1 Υλοποίηση Γεωδαιτικού δικτύου.....	57
4.2.2 Σάρωση του περιβάλλοντος χώρου και μέτρηση όδευσης με τον Scanstation2.....	59
4.2.3 Χάραξη των σημείων της όδευσης με τον Scanstation2.....	68
4.3 ΠΕΙΡΑΜΑ 2 ^ο	71
4.3.1 Υλοποίηση Γεωδαιτικού δικτύου.....	71
4.3.2 Σάρωση του περιβάλλοντος χώρου και συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων για τη δημιουργία ενιαίου μοντέλου επιφάνειας.....	74
4.3.2.1 Σάρωση από τη στάση S2.....	74
4.3.2.2 Σάρωση από τη στάση S3.....	76
4.3.3 Μέτρηση όδευσης με τον Scanstation2.....	80

4.3.4 Χάραξη των σημείων της όδευσης με τον Scanstation2.....	82
4.4 ΠΕΙΡΑΜΑ 3 ^ο	85
4.4.1 Υλοποίηση Γεωδαιτικού δικτύου.....	85
4.4.2 Σάρωση του περιβάλλοντος χώρου και συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων για τη δημιουργία ενιαίου μοντέλου επιφάνειας.....	87
4.4.2.1 Σάρωση από τη στάση S0.....	87
4.4.2.2 Σάρωση από τη στάση S1.....	89
4.4.2.3 Σάρωση από τη στάση S2.....	91
4.4.2.4 Σάρωση από τη στάση S3.....	93
4.4.2.5 Συνένωση των σαρώσεων από τις στάσεις S0, S1, S2.....	94
4.5 ΠΕΙΡΑΜΑ 4 ^ο	97
4.5.1 Χάραξη σημείων κατά μήκος του δρόμου με τη βοήθεια του Scanstation2.....	97
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	103
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	104
5.2 ΠΕΙΡΑΜΑ 1 ^ο	104
5.2.1 Αποτελέσματα γεωδαιτικών μετρήσεων.....	104
5.2.2 Αποτελέσματα όδευσης με τον Scanstation2.....	105
5.2.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων όδευσης.....	108
5.2.4 Αποτελέσματα χάραξης.....	109
5.3 ΠΕΙΡΑΜΑ 2 ^ο	111
5.3.1 Αποτελέσματα γεωδαιτικών μετρήσεων.....	111
5.3.2 Αποτελέσματα όδευσης με τον Scanstation2.....	113
5.3.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων όδευσης.....	114
5.3.4 Αποτελέσματα συνένωσης διαδοχικών σαρώσεων με τη βοήθεια κοινών στόχων.....	116
5.3.5 Αποτελέσματα χάραξης.....	117
5.4 ΠΕΙΡΑΜΑ 3 ^ο	119
5.4.1 Αποτελέσματα γεωδαιτικών μετρήσεων.....	119
5.4.2 Αποτελέσματα όδευσης με τον Scanstation2.....	120
5.4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων όδευσης.....	122
5.4.4 Αποτελέσματα συνένωσης διαδοχικών σαρώσεων με τη βοήθεια κοινών στόχων.....	123
5.5 ΠΕΙΡΑΜΑ 4 ^ο	124
5.5.1 Αποτελέσματα γεωδαιτικών μετρήσεων.....	124

5.4.2 Αποτελέσματα χάραξης σημείων κατά μήκος δρόμου με τον Scanstation2.....	125
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	128
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	129
6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	129
6.2.1 Συμπεράσματα που προκύπτουν από το σχεδιασμό των τεσσάρων πειραμάτων που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές συνθήκες.....	129
6.2.2 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διαδικασία των μετρήσεων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.....	130
6.2.1 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση του λογισμικού.....	131
6.3	131
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	
6.3.1 Προτάσεις που αφορούν τη μελλοντική διερεύνηση του προβλήματος.....	132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	134

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Χρόνος διαδρομής του παλμού σε χρόνο t	11
Σχήμα 2.2: Διαφορά φάσης εκπεμπόμενου και επιστρέφοντος κύματος.....	13
Σχήμα 2.3: Σάρωση με τη μέθοδο του τριγωνισμού (μία κάμερα).....	14
Σχήμα 2.4: Σάρωση με τη μέθοδο του τριγωνισμού (δύο κάμερες).....	15
Σχήμα 2.5: Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV) και το οπτικό πεδίο (FOV) για τη μέτρηση τρισδιάστατων καρτεσιανών συντεταγμένων του αντικειμένου.....	16
Σχήμα 2.6: Περιστρεφόμενο κάτοπτρο.....	17
Σχήμα 2.7: Ταλαντευόμενο κάτοπτρο.....	17
Σχήμα 2.8: Πολυγωνικό κάτοπτρο.....	17
Σχήμα 2.9: Σχήματα σάρωσης	18
Σχήμα 2.10: Αβεβαιότητα μέτρησης σαρωτή laser	21
Σχήμα 2.11: Διάγραμμα μεταβολής διάστασης κουκίδας της δέσμης του laser.....	21
Σχήμα 2.12: Η γεωμετρία των μετρήσεων με επίγειο σαρωτή laser.....	32
Σχήμα 2.13: Σύστημα λειτουργίας τρισδιάστατου σαρωτή.....	35
Σχήμα 3.1: Οπτικό πεδίο και δυνατότητες περιστροφής σαρωτή.....	40
Σχήμα 3.2: Οπτικό πεδίο και διάταξη οργάνου ScanStation2.....	41
Σχήμα 3.3: Η διαδικασία της όδευσης με τον scanstation2.....	50
Σχήμα 3.4: Ανοικτή όδευση.....	51
Σχήμα 3.5: Κλειστή όδευση.....	51
Σχήμα 3.6: Οδηγίες μετακίνησης του στόχου ώστε να ταυτιστεί με το σημείο χάραξης.....	55
Σχήμα 4.1: Σκαρίφημα βάθρων και σημείων του δαπέδου στην αίθουσα Y23.....	58
Σχήμα 4.2: Σχηματική παράσταση Τριγωνομετρικής υψομετρίας.....	59
Σχήμα 4.3: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης με τα μετρημένα μεγέθη, όπως αυτά υπολογίσθηκαν από τον σαρωτή μέσω του προγράμματος Cyclone, κατά τον υπολογισμό των συντεταγμένων της στάσης S3.....	67

Σχήμα 4.4: Σκαρίφημα των στάσεων S1, S2, S3, και S4 της όδευσης.....	73
Σχήμα 4.5: Σκαρίφημα στάσεων της όδευσης του 3ου πειράματος.....	86
Σχήμα 4.6: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του πειράματος ,καθώς και των σημείων που χαραχτηκαν στο έδαφος κατά μήκος του δρόμου.....	97
Σχήμα 4.7: Μέθοδος Known Backsight . Τοποθετώντας τον σαρωτή σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων και στοχεύοντας ένα επίσης γνωστό σημείο.....	98
Σχήμα 5.1: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης με τα μετρημένα μεγέθη, όπως αυτά υπολογίσθηκαν από τον σαρωτή μέσω του προγράμματος Cyclone, κατά τον υπολογισμό των συντεταγμένων των στάσεων της όδευσης.....	107
Σχήμα 5.2: Σχηματική απεικόνιση όπου παρουσιάζεται η μετατόπιση του σημείου S3. Η θέση S3' αντιστοιχεί στην λανθασμένη θέση που υποδεικνύει το πρόγραμμα για τη θέση που βρίσκεται το σημείο S3.....	110
Σχήμα 5.3: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης με τα μετρημένα μεγέθη, όπως αυτά υπολογίσθηκαν από τον Scanner μέσω του προγράμματος Cyclone, κατά τον υπολογισμό των συντεταγμένων των στάσεων S3 και S4. Να σημειωθεί ότι τα μήκη του σχήματος είναι οριζόντια και οι γωνίες μετρημένες σε μοίρες.....	114
Σχήμα 5.4: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης που υλοποιήθηκε, μαζί με το σύνολο των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων.....	117
Σχήμα 5.5: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης με τα μετρημένα μεγέθη, όπως αυτά υπολογίσθηκαν από τον Scanner μέσω του προγράμματος Cyclone, κατά τον υπολογισμό των συντεταγμένων των στάσεων S1, S2, S3 και S4. Να σημειωθεί ότι τα μήκη του σχήματος είναι οριζόντια και οι γωνίες μετρημένες σε μοίρες.....	121
Σχήμα 5.6: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης που υλοποιήθηκε για τις ανάγκες του πειράματος ,καθώς και των σημείων που χαραχτηκαν στο έδαφος κατά μήκος του δρόμου.....	125

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Μοντέλα 3D Laser Scanners που κυκλοφορούν στην αγορά διαφόρων εταιριών Trimble GX, Leica ScanStation 1 and 2, Riegl LMS-Z420i, Faro LS 880HE, IMAGER 5006 from Zoller & Fröhlich, and Leica HDS6000.....	8
Πίνακας 2.2: τεχνικές προδιαγραφές διαφορετικών οργάνων και σχετική σύγκριση...9	
Πίνακας 2.3: Συγκριτικός πίνακας Μεθόδων Μέτρησης.....	28
Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά SCANSTATION2.....	42
Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά TOPCON GTP – 3100.....	44
Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες των στάσεων S2, S3, S4, S5 και S6 υπολογισμένες με Total Station.....	104
Πίνακας 5.2: Ακρίβειες υπολογισμού των συντεταγμένων των στάσεων S2, S3, S4, S5 και S6 υπολογισμένες με Νόμο μετάδοσης σφαλμάτων.....	105
Πίνακας 5.3: Συντεταγμένες των στάσεων S3, S4, S5 και S6 υπολογισμένες με τον Scanstation2.....	106
Πίνακας 5.4: Σύγκριση των υπολογισμένων συντεταγμένων των στάσεων με τις δύο μεθόδους.....	108
Πίνακας 5.5: Οδηγίες μετακίνησης των στόχων, ώστε να ταυτιστούν με τις θέσεις των στάσεων.....	110
Πίνακας 5.6: Συντεταγμένες των στάσεων S1, S2, S3 και S4, υπολογισμένες με Total Station.....	112
Πίνακας 5.7: Ακρίβειες υπολογισμού των συντεταγμένων των στάσεων της όδευσης υπολογισμένες με Νόμο μετάδοσης σφαλμάτων.....	112
Πίνακας 5.8: Συντεταγμένες των στάσεων S1, S2, S3 και S4, υπολογισμένες με τον Scanstation2.....	113
Πίνακας 5.9: Σύγκριση των υπολογισμένων συντεταγμένων των στάσεων με τις δύο μεθόδους.....	115

Πίνακας 5.10: Συντεταγμένες σημείων στόχων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων με γεωδαιτικό σταθμό.....	116
Πίνακας 5.11: Οδηγίες μετακίνησης των στόχων, ώστε να ταυτιστούν με τις θέσεις των στάσεων.....	118
Πίνακας 5.12 : Συντεταγμένες των στάσεων S1, S2, S3 και S4, υπολογισμένες με Total Station.....	120
Πίνακας 5.13: Ακρίβειες υπολογισμού των συντεταγμένων των στάσεων της όδευσης υπολογισμένες με Νόμο μετάδοσης σφαλμάτων.....	120
Πίνακας 5.14: Συντεταγμένες των στάσεων S1, S2, S3 και S4, υπολογισμένες με τον Scanstation2.....	121
Πίνακας 5.15: Σύγκριση των υπολογισμένων συντεταγμένων των στάσεων με τις δύο μεθόδους.....	122
Πίνακας 5.16: Συντεταγμένες σημείων στόχων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων.....	123
Πίνακας 5.17 : Συντεταγμένες των σημείων 1,2,3,4,5,6,7, και 8 υπολογισμένες με Γεωδαιτικό σταθμό.....	124
Πίνακας 5.18: Οδηγίες μετακίνησης των στόχων, ώστε να ταυτιστούν με τις θέσεις των στάσεων.....	126

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.1 : Ο σαρωτής SCANSTATION 2 της LEICA GEOSYSTEMS.....	41
Εικόνα 3.2 : Ύψος οργάνου για τον σαρωτή SCANSTATION 2.....	43
Εικόνα 3.3: Γεωδαιτικός σταθμός (Reflectorless) TOPCON GTP – 3105.....	44
Εικόνα 3.4: το πρόγραμμα Cyclone 6 και οι ενότητες που περιλαμβάνει.....	45
Εικόνα 3.5: Ειδικοί στόχοι (HDS TARGETS).....	48
Εικόνα 4.1: Οι στάσεις T1 και S4 με θέση οργάνου στην θέση S2.....	60
Εικόνα 4.2: Σάρωση των στάσεων T1 και S4 με θέση οργάνου στην θέση S2.....	61
Εικόνα 4.3 : Διαδικασία Υπολογισμού συντεταγμένων στάσης S4 με το πρόγραμμα Cyclone 6.....	61
Εικόνα 4.4: Οι στάσεις S2 και S6 με θέση οργάνου στην θέση S4.....	62
Εικόνα 4.5: Σάρωση των στάσεων S2 και S6 με θέση οργάνου στην θέση S4.....	62
Εικόνα 4.6 : Διαδικασία Υπολογισμού συντεταγμένων στάσης S6 με το πρόγραμμα Cyclone 6.....	63
Εικόνα 4.7: Οι στάσεις S4 και S5 με θέση οργάνου στην θέση S6.....	63
Εικόνα 4.8: Σάρωση των στάσεων S4 και S5 με θέση οργάνου στην θέση S6.....	64
Εικόνα 4.9 : Διαδικασία Υπολογισμού συντεταγμένων στάσης S5 με το πρόγραμμα Cyclone 6.....	64
Εικόνα 4.10: Οι στάσεις S3 και S6 με θέση οργάνου στην θέση S5.....	65
Εικόνα 4.11: Σάρωση των στάσεων S3 και S6 με θέση οργάνου στην θέση S5.....	65
Εικόνα 4.12 : Διαδικασία Υπολογισμού συντεταγμένων στάσης S3 με το πρόγραμμα Cyclone 6.....	66
Εικόνα 4.13: Επίλυση της όδευσης με τον Scanstation 2.....	67
Εικόνα 4.14: Οι παράμετροι μετασχηματισμού του συστήματος συντεταγμένων του σαρωτή και του συστήματος συντεταγμένων των γνωστών σημείων T1, T2.....	69
Εικόνα 4.15: Σφαιρικός στόχος τοποθετημένος στο σημείο T1.....	69

Εικόνα 4.16: Επίπεδος στόχος τοποθετημένος επάνω από στάση της όδευσης.....	70
Εικόνα 4.17: Οδηγίες μετακίνησης του στόχου (DCROSS, DLENGTH, DHEIGHT) ώστε να ταυτιστεί με το σημείο χάραξης.....	70
Εικόνα 4.18: Τελικό προϊόν της χάραξης των στάσεων S3, S4, S5, και S6.....	71
Εικόνα 4.19: εικόνα του διαδρόμου όπου πραγματοποιήθηκε το 2ο πείραμα.....	71
Εικόνα 4.20: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον Scanner τοποθετημένο στη στάση S2.....	74
Εικόνα 4.21: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και το πλαίσιο των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν στη στάση S2.....	75
Εικόνα 4.22: Στόχοι που τοποθετήθηκαν κατά τη σάρωση από τη στάση S2.....	75
Εικόνα 4.23: Τελικό προϊόν της Σάρωσης από τη στάση S2.....	76
Εικόνα 4.24: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S3.....	77
Εικόνα 4.25: Διαφορετική οπτική γωνία της ίδιας σάρωσης με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S3.....	77
Εικόνα 4.26: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και το πλαίσιο των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν στη στάση S3.....	78
Εικόνα 4.27: Τελικό προϊόν της Σάρωσης από τη στάση S3.....	78
Εικόνα 4.28: Συνένωση των σαρώσεων ScanWorld 1 και ScanWorld 2.....	79
Εικόνα 4.29: Τελικό προϊόν της συνένωσης , όπου φαίνονται και οι θέσεις λήψης των δύο ScanWorld.....	80
Εικόνα 4.30:Στόχοι τοποθετημένοι στις στάσεις S1 και S3 αντίστοιχα.....	81
Εικόνα 4.31: Σάρωση των στάσεων S1 και S3.....	81
Εικόνα 4.32: Στόχοι τοποθετημένοι στις στάσεις S2 και S4 αντίστοιχα.....	82
Εικόνα 4.33: Σάρωση των στάσεων S2 και S4.....	82
Εικόνα 4.34: Σχέση μεταξύ της θέσης του σαρωτή στο σημείο S2 και του συστήματος συντεταγμένων του γνωστού μας σημείου S1.....	83

Εικόνα 4.35: Εντοπισμός της περιοχής που βρίσκεται ο στόχος.....	84
Εικόνα 4.36: Οδηγίες μετακίνησης του στόχου (Rodman Instructions) ώστε να ταυτιστεί με το σημείο χάραξης.....	84
Εικόνα 4.37: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S0.....	88
Εικόνα 4.38: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και οι επίπεδοι στόχοι τοποθετημένοι στους τοίχους του κτιρίου από τη στάση S0.....	88
Εικόνα 4.39: Όψεις κτιρίου κατά τη σάρωση από τη στάση S0.....	89
Εικόνα 4.40: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S1.....	89
Εικόνα 4.41: Διαφορετική όψη της Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S1.....	90
Εικόνα 4.42: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και οι επίπεδοι στόχοι τοποθετημένοι στους τοίχους του κτιρίου από τη στάση S1.....	90
Εικόνα 4.43: Όψεις κτιρίου κατά τη σάρωση από τη στάση S1.....	91
Εικόνα 4.44: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S2.....	91
Εικόνα 4.45: Διαφορετική όψη της Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S2.....	92
Εικόνα 4.46: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και οι επίπεδοι στόχοι τοποθετημένοι στους τοίχους του κτιρίου από τη στάση S2.....	92
Εικόνα 4.47: Όψεις κτιρίου κατά τη σάρωση από τη στάση S2.....	93
Εικόνα 4.48: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S2.....	93
Εικόνα 4.49: Διαφορετική όψη της Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S2.....	94
Εικόνα 4.50: Όψεις κτιρίου κατά τη σάρωση από τη στάση S3.....	94
Εικόνα 4.51: Συνένωση των σαρώσεων ScanWorld 1 και ScanWorld 2.....	95

Εικόνα 4.52: Τελικό προϊόν της συνένωσης , όπου φαίνονται και οι θέσεις λήψης όλων των ScanWorld.....	96
Εικόνα 4.53: Διαφορετική όψη από το τελικό προϊόν της συνένωσης , όπου φαίνονται και οι θέσεις λήψης όλων των ScanWorld.....	96
Εικόνα 4.54: Σφαιρικός στόχος τοποθετημένος πάνω στη στάση S1.....	99
Εικόνα 4.55: Ορισμός του συστήματος συντεταγμένων (Field Setup) μέσω του προγράμματος Cyclone με τη μέθοδο Known Backsight.....	99
Εικόνα 4.56: Χάραξη σημείου 1 κατά μήκος του δρόμου.....	100
Εικόνα 4.57: Οδηγίες μετακίνησης του στόχου (DCROSS, DLENGTH, DHEIGHT) ώστε να ταυτιστεί με το σημείο χάραξης.....	101
Εικόνα 4.58: Χάραξη σημείου 3 κατά μήκος του δρόμου.....	102
Εικόνα 4.59: Τελικό προϊόν της χάραξης όλων των σημείων κατά μήκος του δρόμου.....	102

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Μια σύγχρονη τεχνολογία που αρχίζει σταδιακά να χρησιμοποιείται στις εφαρμογές του τοπογράφου μηχανικού, είναι αυτή των επίγειων σαρωτών laser. Η τεχνολογία της επίγειας σάρωσης laser, αποτελεί μία υποσχόμενη μέθοδο για λεπτομερείς τοπογραφικές αποτυπώσεις, καθώς δίνει τη δυνατότητα συλλογής σε πραγματικό χρόνο τρισδιάστατων νεφών σημείων των επιφανειών αντικειμένων του χώρου.

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές laser, είναι όργανα τα οποία μετρούν πολικές συντεταγμένες. Οι μετρήσεις που συλλέγει ο σαρωτής σε κάθε στάση οργάνου (Scanworld) παράγουν ένα νέφος σημείων, οι θέσεις των οποίων υπολογίζονται στο σύστημα αναφοράς του σαρωτή. Για κάθε στάση οργάνου, το παραγόμενο νέφος ανήκει σε ένα σύστημα συντεταγμένων, οι παράμετροι του οποίου είναι άγνωστοι για τον μηχανικό.

Στις περισσότερες εφαρμογές, είναι απαραίτητη η λήψη περισσότερων του ενός νέφους σημείων από διαφορετικές θέσεις οργάνου. Έτσι, η ανάγκη για συνένωση δύο ή περισσότερων νεφών σημείων που λήφθηκαν από διαφορετικές θέσεις παρατήρησης, σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς είναι επιτακτική.

Το πρόβλημα της γεωαναφοράς στην τεχνολογία της επίγειας σάρωσης αφορά τον μετασχηματισμό των παρατηρήσεων από το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή, στο σύστημα συντεταγμένων του αντικειμένου, που δύναται να είναι τοπικό ή γενικό σύστημα και ορίζεται από έναν αριθμό τρισδιάστατων σημείων ελέγχου.

Η γεωαναφορά μέχρι σήμερα, γινόταν με τη βοήθεια ειδικών στόχων που αναγνωρίζει ο σαρωτής, με μόνη διαφορά ότι οι στόχοι έχουν πραγματικές συντεταγμένες σε κάποιο σύστημα αναφοράς και ότι αυτοί δεν χρειάζεται να τοποθετηθούν σε επικαλυπτόμενη επιφάνεια μεταξύ των διάφορων σαρώσεων. Οι συντεταγμένες αυτές συνήθως προσδιορίζονταν με χρήση

γεωδαιτικού σταθμού (Total Station). Στην συνέχεια πραγματοποιούνταν ο κατάλληλος μετασχηματισμός μεταξύ των νεφών σημείων, εισάγονταν μέσω του λογισμικού οι συνταγμένες των στόχων και το τελικό συνενωμένο νέφος σημείων αποκτούσε το σύστημα αναφοράς που έχουν οι ειδικοί στόχοι.

Η παραπάνω διαδικασία, προϋποθέτει τη διάθεση επιπλέον εξοπλισμού (Reflecterless Total Station), χρόνου, καθώς επίσης και ενός επιπλέον χειριστή του οργάνου (μηχανικό).

Η διαδικασία της όδευσης, όταν η συσκευή του σαρωτή διαθέτει τη δυνατότητα να οριζοντιώνεται, να κεντρώνεται και να έχει προσανατολισμό, απλουστεύει κατά πολύ την παραπάνω διαδικασία. Το νέφος των σημείων γεωαναφέρεται αυτόματα με τη βοήθεια του λογισμικού που διαθέτει ο σαρωτής.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της ακρίβειας των δυνατοτήτων της όδευσης και χάραξης με τη χρήση ενός επίγειου σαρωτή laser, αντί της χρήσης συμπληρωματικών συμβατικών οργάνων (Total Station).

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, τίθενται οι εξής επιμέρους στόχοι:

- Πραγματοποίηση όδευσης με τη χρήση του επίγειου σαρωτή Scanstation2 της εταιρίας Leica και τη βοήθεια του λογισμικού Cyclone 6.0.
- Πραγματοποίηση χάραξης σημείων στο έδαφος με τη χρήση του ίδιου οργάνου και λογισμικού.
- Συνένωση και γεωαναφορά διαδοχικών σαρώσεων με τη χρήση κοινών στόχων γνωστών συντεταγμένων και εξαγωγή τελικού προϊόντος.
- Συνένωση και γεωαναφορά διαδοχικών σαρώσεων με τη χρήση όδευσης και εξαγωγή τελικού προϊόντος.

- Σύγκριση των συντεταγμένων των σημείων της όδευσης που υπολογίσθηκαν με τον επίγειο σαρωτή Scanstation2, με τις συντεταγμένες των ίδιων σημείων της όδευσης υπολογισμένες με συμβατικό τοπογραφικό όργανο (TOPCON GTP – 3100).
- Χάραξη σημείων στο έδαφος με συμβατικό τοπογραφικό όργανο (TOPCON GTP – 3100), χάραξη των ίδιων σημείων με τον επίγειο σαρωτή Scanstation2, και σύγκριση των αποτελεσμάτων.

1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια των οποίων το περιεχόμενο περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

Στο 1ο Κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο αντικείμενο με το οποίο ασχολείται η εργασία, περιγράφονται ο σκοπός και οι στόχοι της και παρουσιάζεται συνοπτικά η δομή της.

Στο 2ο Κεφάλαιο δίνεται μια σύντομη περιγραφή των αρχών στις οποίες βασίζονται οι επίγειοι σαρωτές, οι βασικές αρχές λειτουργίας τους, τα είδη των επίγειων σαρωτών που υπάρχουν στην αγορά, τα σφάλματα που επηρεάζουν τις μετρήσεις, καθώς και βασικές εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Στο 3ο Κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή του τεχνολογικού εξοπλισμού και λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε κατά της διάρκεια των πειραμάτων της παρούσας εργασίας.

Στο 4ο Κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά οι εργασίες πεδίου που πραγματοποιήθηκαν. Για κάθε ένα από τα πειράματα, περιγράφεται η περιοχή μελέτης, ο στόχος του κάθε πειράματος, καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Στο 5ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προέκυψαν από την χρήση του γεωδαιτικού σταθμού και του επίγειου σαρωτή και γίνεται η αξιολόγησή τους.

Στο 5ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση αυτής της εργασίας καθώς και οι προτάσεις για μελλοντική συνέχιση της.

2. ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER

2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

“Η λέξη laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας) προέρχεται από τη λέξη maser (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation – ενίσχυση μικροκυμάτων με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας) και ουσιαστικά αναφέρεται στην περίπτωση της συχνότητας ν που εμπίπτει στην ορατή ακτινοβολία. Παρ’ όλα αυτά, η λέξη laser χρησιμοποιείται όχι μόνο για συχνότητες στην ορατή περιοχή αλλά για κάθε συχνότητα που εμπίπτει στο μακρό ή κοντινό υπέρυθρο, στο υπεριώδες, και ακόμα στην περιοχή των ακτίνων Χ.

Τα laser μπορούν να παράγουν συνεχές κύμα ή παλμό. Στα laser συνεχούς κύματος ο μηχανισμός διέγερσης παρέχει μια σταθερή ισχύ στο ενεργό μέσο. Το σύστημα φθάνει γρήγορα σε μια “σταθερή” κατάσταση που παράγει μία ακτίνα συνεχούς κύματος. Στα laser παλμού ο μηχανισμός διέγερσης παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια σε παλμούς μικρής διάρκειας. Η ισχύς εξόδου ανέρχεται γρήγορα σε μια υψηλή τιμή και μειώνεται, προκαλώντας μια “έκρηξη” φωτός. Χαρακτηριστικά του laser παλμού είναι η επαναληπτική συχνότητα (laser repetition rate), η οποία καθορίζει τη ταχύτητα συλλογής δεδομένων, και η διάρκεια του παλμού, που καθορίζει την ανάλυση.

Η ισχύς εξόδου ενός laser συνεχούς κύματος μετριέται σε Watt (ενέργεια στη μονάδα χρόνου). Η έξοδος των παλμικών laser περιγράφεται με την ενέργεια του παλμού σε Joules και η μέγιστη ισχύς εξόδου υπολογίζεται από το πηλίκο: ενέργεια εξόδου/ διάρκεια παλμού. Το μέγιστο βεληνεκές συνδέεται άμεσα με την ενέργεια του παλμού και την ισχύ εξόδου του laser” (Τσακίρη Μ. κ.α. 2008).

Τα βασικότερα εμπορικά συστήματα επίγειων σαρωτών προέρχονται από τις εταιρείες Callidus (D) (www.callidus.de), Leica (USA,CH) (www.leica.com), MDL (UK) (www.mdl.co.uk), Mensi (F) (www.mensi.com), Optech (CAN)

(www.optech.on.ca), Riegl (A) (www.riegl.com), I-Site (www.isite3d.com) και Zoller & Frohlich (D) (www.zofre.de).

Ενδεικτικά παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες (πίνακας 2.1, πίνακας 2.2) κάποια μοντέλα 3D laser scanner διάφορων εταιριών καθώς και οι τεχνικές προδιαγραφές τους σύμφωνα με τους κατασκευαστές:



Πίνακας 2.1: Μοντέλα 3D Laser Scanners που κυκλοφορούν στην αγορά διάφορων εταιριών Trimble GX, Leica ScanStation 1 and 2, Riegl LMS-Z420i, Faro LS 880HE, IMAGER 5006 from Zoller & Fröhlich, and Leica HDS6000.

Scanner/ Κριτήριο	Trimble GX	Leica ScanStation 1	Leica ScanStation 2	Riegl LMS- Z420i	FARO LS 880 HE	Z+F IMAGE R 5006	
Μέθοδος Σάρωσης	Time - offlight	Time - offlight	Time - offlight	Time - offlight	Διαφορά φάσης	Διαφορά φάσης	
Οπτικό πεδίο [°]	360 x 60	360 x 270	360 x 270	360 x 80	360 x 320	360 x 310	
Απόσταση Σάρωσης [m]	350	300	300	1000	< 76	< 79	
Ταχύτητα Σάρωσης [pts/sec]	≤ 5000	≤ 4000	≤ 50000	≤ 11000	120000	≤ 500000	
Γωνιακή Ανάλυση [°]	V	0,0018	0,0023	0,0023	0,0020	0,00900	0,0018
	H	0,0018	0,0023	0,0023	0,0025	0,00076	0,0018
3D ακρίβεια Σάρωσης	12mm/100m	6mm/50m	6mm/50m	10mm/50m	3mm/25m	10mm/50 m	
Φωτογραφική μηχανή	Ενσωματωμέν η	Ενσωματωμένη	Ενσωματωμένη	πρόσθετη επιλογή	πρόσθετη επιλογή	πρόσθετη επιλογή	
Αισθητήρας κλίσης	Ικανοποιητικός	Ικανοποιητικός	Ικανοποιητικός	Ικανοποιητικό ς	Ναι	Ναι	

Πίνακας 2.2: τεχνικές προδιαγραφές διαφορετικών οργάνων και σχετική σύγκριση

2.2. ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ 3D ΣΑΡΩΤΩΝ

“Οι οπτικές μέθοδοι μέτρησης με χρήση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού της απόστασης σε άμεσες μεθόδους και μεθόδους που βασίζονται σε εικόνα. Οι άμεσες υπολογίζουν μια απόσταση του στόχου από τον σαρωτή που δεν επηρεάζεται από άλλους παράγοντες ενώ οι μέθοδοι εικόνας υπολογίζουν την απόσταση με κάποιον αλγόριθμο ερμηνεύοντας π.χ. τις σκιές ή την υφή των διαφόρων τμημάτων του στόχου.

Οι άμεσες μέθοδοι διακρίνονται με τη σειρά τους σε μεθόδους τριγωνισμού, μέτρησης διαφοράς χρόνου (time-of-flight) και συμβολομετρίας. Ο τριγωνισμός υπολογίζει την απόσταση με γεωμετρικές μεθόδους μέσω μετρήσεων γωνιών και αποστάσεων, η μέθοδος time-of-flight υπολογίζει την απόσταση μέσω του χρόνου μετάβασης – επιστροφής ενός διαμορφωμένου κύματος και η συμβολομετρία εκμεταλλεύεται την συμφωνία ενός κύματος για τον υπολογισμό της απόστασης. Η συμβολομετρία προσφέρει πολύ υψηλή ακρίβεια αλλά δεν εφαρμόζεται στη τεχνική μέτρησης των σαρωτών laser και επομένως δεν θα γίνει η ανάπτυξή της “(Τσακίρη Μ. κ.α. 2008).

2.2.1. Σάρωση με τη μέθοδο των παλμών (Time of Flight)

Η βασική αρχή της μεθόδου είναι η μέτρηση της διαφοράς χρόνου μεταξύ του εκπεμπόμενου και του λαμβανόμενου σήματος (σχήμα 2.1) και βάσει της ταχύτητας φωτός, ο υπολογισμός της απόστασης δίνεται από την παρακάτω εξίσωση (εξίσωση 2.1):

$$d = c \cdot t \tag{2.1}$$

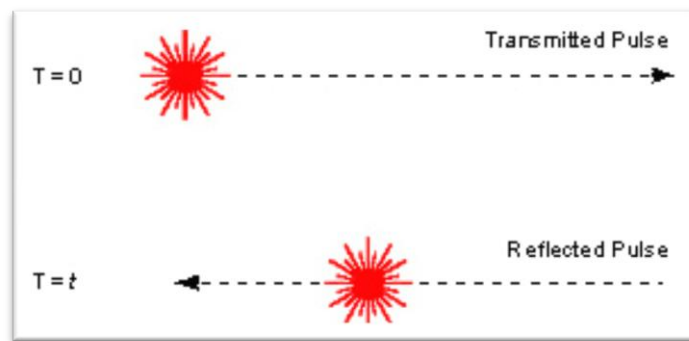
Όπου,

d είναι η διανυθείσα απόσταση

c η ταχύτητα διάδοσης του κύματος

t ο χρόνος διαδρομής (time of flight).

Ο υπολογισμός της διαφοράς χρόνου μεταξύ του εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος γίνεται με διάφορες τεχνικές, με τις σημαντικότερες να είναι η μετάδοση του παλμού και η διαμόρφωση του φέροντος κύματος.



Σχήμα 2.1:Χρόνος διαδρομής του παλμού σε χρόνο t

Κατά την διαδικασία μέτρησης με την μέθοδο του παλμού, ο σαρωτής εκπέμπει μια συγκεντρωμένη φωτεινή ενέργεια σε τακτά χρονικά διαστήματα που μετά την ανάκλασή της σε κάποια επιφάνεια προσλαμβάνεται από τον φωτοανιχνευτή του οργάνου. Η απόσταση S που διάνυσε το σήμα υπολογίζεται από τον χρόνο Δt μετάβασης-επιστροφής του παλμού (εξίσωση 2.2):

$$S = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t \quad (2.2)$$

Όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

“Ουσιαστικά, η αρχή λειτουργίας ενός σαρωτή είναι ίδια με αυτή των ηλεκτρονικών οργάνων μέτρησης μηκών (Electronic Distance Measurement, EDM). Επιπλέον, υπάρχουν περιστρεφόμενα κάτοπτρα που ανακλούν τον παλμό σε ισοδύναμα διαστήματα τόξου τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα μέτρησης κατά τις τρεις διαστάσεις όπου επιτυγχάνεται με δύο βαθμούς ελευθερίας ως προς την περιστροφή.

Οι παλμικοί σαρωτές είναι συστήματα που δεν χρησιμοποιούν κάποιον παθητικό δέκτη (κάτοπτρο) ή ειδικό κατάφωτο, πρίσμα ή άλλου είδους ανακλαστήρα για την μέτρηση αποστάσεων, αλλά δέχονται την ανακλώμενη

ακτινοβολία απ' ευθείας από τον στόχο. Η ενέργεια του ανακλώμενου παλμού εξαρτάται από γεωμετρικούς και φυσικούς παράγοντες.

Οι φυσικοί παράγοντες, οι οποίοι είναι εξαρτώμενοι από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, περιλαμβάνουν τις απώλειες κατά την ανάκλαση λόγω του υλικού, την μαγνητική περατότητα και αγωγιμότητα του υλικού. Αυτές οι παράμετροι υπαγορεύουν το ποσοστό ενέργειας του παλμού που απορροφάται από την επιφάνεια ανάκλασης. Οι γεωμετρικοί παράγοντες περιλαμβάνουν την γωνία πρόσπτωσης και την τραχύτητα της επιφάνειας που καθορίζει πως γίνεται η σκέδαση της ακτινοβολίας.

Εκτός από τις γωνιακές και τις μετρήσεις απόστασης, πολλοί σαρωτές προσφέρουν πληροφορία για το πλάτος της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας, που συνηθίζεται να ονομάζεται «ένταση» σήματος (intensity).

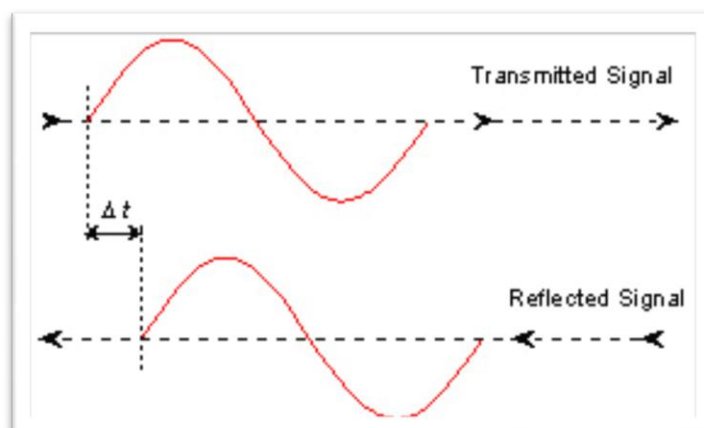
Η ένταση μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για τις ιδιότητες του υλικού των ανακλώμενων επιφανειών. Η φυσική σημασία της πληροφορίας αυτής, δηλαδή αν η ένταση δηλώνει πλάτος επιστρεφόμενου παλμού ή ενέργεια, δεν προσδιορίζεται από τους κατασκευαστές των συσκευών επίγειας σάρωσης. (Τσακίρη Μ. κ.α. 2008).

2.2.2. Σάρωση με τη μέθοδο διαφοράς φάσης (Phase shift)

Στη μέθοδο αυτή, το εκπεμπόμενο σήμα διαμορφώνεται ως ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και του επιστρέφοντος από το αντικείμενο κύματος. (Σχήμα 2.2).

Λόγω της πολύπλοκης ανάλυσης του σήματος, ο προσδιορισμός του απαιτούμενου χρόνου και κατ' επέκταση της απόστασης, είναι πιο ακριβής απ' ότι με τη μέθοδο των παλμών. Επειδή όμως, για να λειτουργήσει η μέθοδος σύγκρισης της φάσης απαιτείται το σήμα που επιστρέφει να είναι δυνατό και καλά προσδιορισμένο, οι σαρωτές που χρησιμοποιούν αυτή τη

μέθοδο έχουν μικρότερο βεληνεκές και μπορεί να παράγουν περισσότερα λάθος σημεία.



Σχήμα 2.2: Διαφορά φάσης εκπεμπόμενου και επιστρέφοντος κύματος

Η μέθοδος μέτρησης της διαφοράς φάσης δεν απαιτεί την ύπαρξη χρονομέτρου μεγάλης ακρίβειας όπως η προηγούμενη μέθοδος, αλλά προβλέπει μια απλή ηλεκτρονική διάταξη για τη μέτρηση της διαφοράς φάσης και τον υπολογισμό του χρόνου μετάβασης – επιστροφής του σήματος από

τον τύπο:

$$t = \frac{T \cdot \Phi}{2 \cdot \pi} \quad (2.3)$$

Όπου,

t ο χρόνος μετάβασης – επιστροφής (*time of flight*).

T η χρονική διάρκεια ενός μήκος κύματος.

Φ η διαφορά φάσης

“Από άποψη λειτουργικότητας, η μέθοδος δεν είναι πολύ διαφορετική από τη μέθοδο του χρόνου πτήσης (*time of flight*). Λόγω της πολυπλοκότερης ανάλυσης των σημάτων, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ακριβέστερα (σε βάρος όμως του συνολικού αριθμού των μετρούμενων σημείων αλλά και της μέγιστης μετρούμενης απόστασης). Δεδομένου του ότι απαιτείται ένα καλά καθορισμένο σήμα επιστροφής για τον υπολογισμό των αποστάσεων, οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο σύγκρισης φάσης μπορεί να έχουν μειωμένη εμβέλεια και να τείνουν να παράγουν περισσότερα λανθασμένα ή

αποκλεισμένα από τις ανοχές σε σφάλματα μετρήσεων “(Τσακίρη Μ. κ.α. 2008).

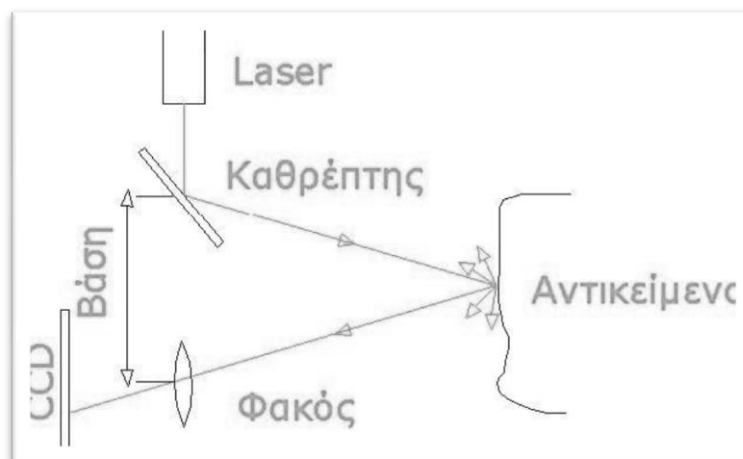
2.2.3. Σάρωση με τη μέθοδο του τριγωνισμού (Triangulation)

Τα πιο διαδεδομένα και ακριβή συστήματα για τη δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών αποδόσεων ενός αντικείμενου, με περιορισμένη εμβέλεια, βασίζονται στη μέθοδο του τριγωνισμού.

2.2.3.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΜΙΑ ΚΑΜΕΡΑ

Οι σαρωτές αυτού του τύπου αποτελούνται από μία βάση, στο ένα άκρο της οποίας βρίσκεται ο πομπός της ακτίνας laser, που εκπέμπεται με γνωστή αυξανόμενη γωνία πάνω στο αντικείμενο, ενώ στο άλλο άκρο της είναι τοποθετημένη μία ψηφιακή ccd κάμερα, που εντοπίζει το στίγμα της ακτίνας επί του αντικείμενου με επίσης γνωστή γωνιακή κίνηση (Σχήμα 2.3).

Η επίλυση του τριγώνου που δημιουργείται από το σημείο εκπομπής της ακτίνας, το σημείο ανάκλασης στην επιφάνεια του αντικείμενου και το προβολικό κέντρο της μηχανής ccd, οδηγεί στον υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων που αποτελούν την επιφάνεια του αντικείμενου.

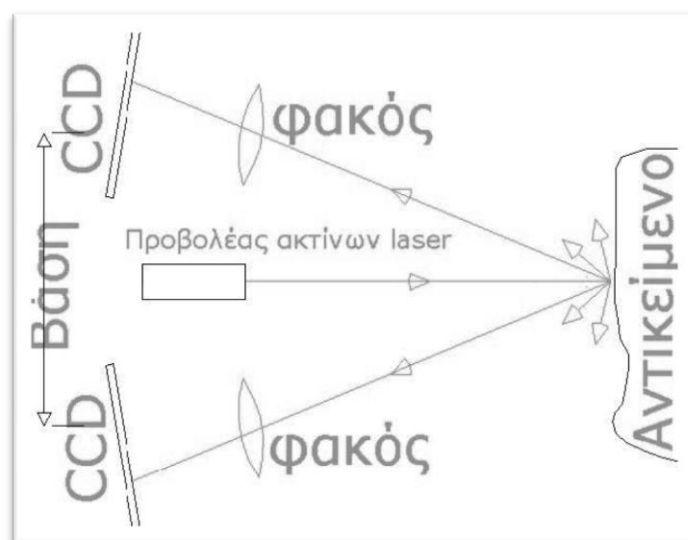


Σχήμα 2.3: Σάρωση με τη μέθοδο του τριγωνισμού (μία κάμερα).

Η αρχή του τριγωνισμού με σταθερή βάση, χρησιμοποιείται στη γεωδαισία και είναι γνωστό ότι η ακρίβεια προσδιορισμού της απόστασης οργάνου – αντικειμένου, ελαττώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης. Έτσι, οι σαρωτές που λειτουργούν με αυτή τη μέθοδο είναι ιδανικοί για σάρωση μικρών αντικειμένων από μικρή απόσταση, διότι είναι πολύ πιο ακριβείς από τους σαρωτές βεληνεκούς.

2.2.3.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΔΥΟ ΚΑΜΕΡΕΣ

Μία παραλλαγή της παραπάνω μεθόδου, επιτυγχάνεται αν τοποθετηθούν ccd μηχανές και στα δύο άκρα της βάσης. Το στίγμα που πρόκειται να εντοπιστεί από τις κάμερες, παράγεται από έναν ανεξάρτητο πομπό που δεν έχει καμία μετρητική ικανότητα και αυτό μπορεί να είναι είτε μία κινούμενη κουκίδα ή γραμμή, είτε πρότυπες κινούμενες λωρίδες, είτε ένας κάναβος που αποτελείται από σημεία ή γραμμές (Σχήμα 2.4).



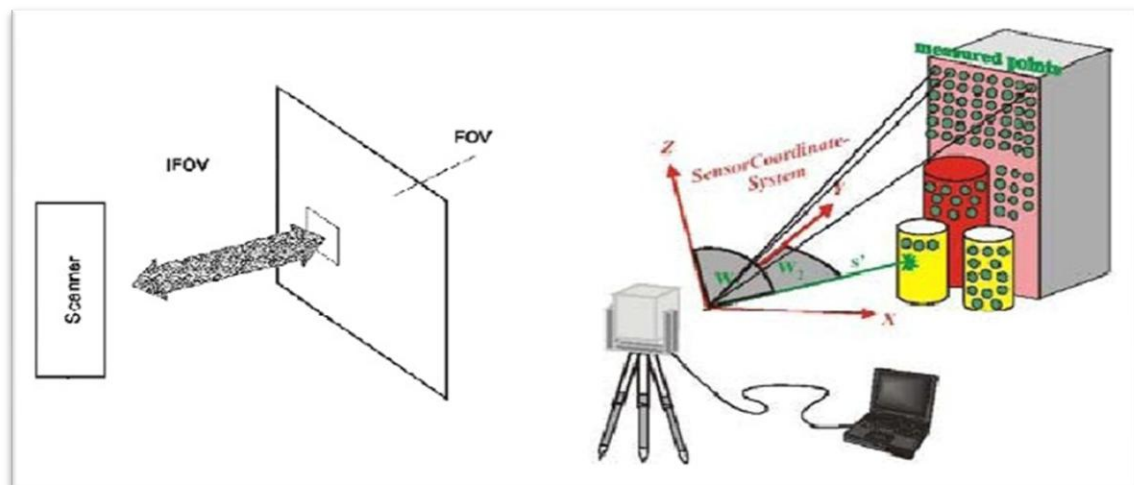
Σχήμα 2.4: Σάρωση με τη μέθοδο του τριγωνισμού (δύο κάμερες)

Δεδομένου ότι ο γεωμετρικός υπολογισμός της απόστασης προκύπτει με τον ίδιο τρόπο όπως και στη μέθοδο με τη μία κάμερα, η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι της ίδιας τάξης μεγέθους και εξαρτάται και πάλι από την απόσταση της βάσης από το αντικείμενο. Τα όργανα που χρησιμοποιούν την παραπάνω μέθοδο, συχνά δεν έχουν τη δυνατότητα καταγραφής μεγάλου

αριθμού σημείων σε πραγματικό χρόνο. Παρ' όλα αυτά, αποτελούν μία εναλλακτική μορφή των σαρωτών που έχουν περιγραφεί, και συνεπώς υπό συγκεκριμένες συνθήκες μπορούν να ενταχθούν στην κατηγορία των επίγειων σαρωτών.

2.2.4 Λειτουργία

“Οι επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές χρησιμοποιούν lasers μήκους κύματος στο ορατό και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το πλεονέκτημα της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ότι είναι πιο ευαίσθητη και ακριβής από την ορατή ακτινοβολία. Για την αποτύπωση μιας επιφάνειας η στενή δέσμη του laser, που συνιστά το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (Instant Field Of View - IFOV), πρέπει να μετακινηθεί κατά μήκος και πλάτος αυτής ώστε να καλύψει το οπτικό πεδίο (Field Of View - FOV) (σχήμα 2.5).



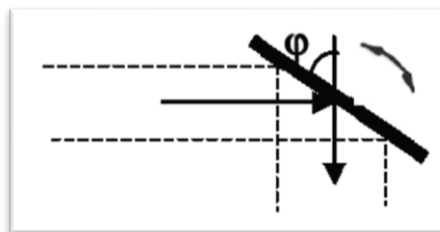
Σχήμα 2.5: Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV) και το οπτικό πεδίο (FOV) για τη μέτρηση τρισδιάστατων καρτεσιανών συντεταγμένων του αντικειμένου

Ο σαρωτής αναλαμβάνει την εκτροπή της ακτίνας με συγκεκριμένο τρόπο (σχήμα σάρωσης) και υψηλή, ομοιόμορφη συνήθως, γωνιακή δειγματοληψία. Η ομοιόμορφη δειγματοληψία στο επίπεδο της εικόνας (image space) δεν εξασφαλίζει πάντα και ομοιόμορφη κατανομή σημείων στον τρισδιάστατο χώρο. Η εκτροπή της ακτίνας σε μία διεύθυνση επιτυγχάνεται με διάφορες

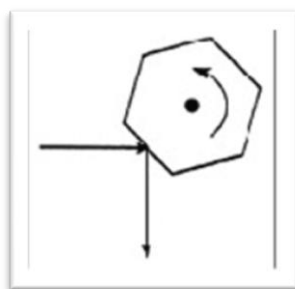
οπτικομηχανικές διατάξεις, όπως περιστρεφόμενα με σταθερή ταχύτητα επίπεδα ή πολυγωνικά κάτοπτρα, ταλαντευόμενα κάτοπτρα ή πρίσματα (σχήματα 2.6, 2.7 και 2.8). Για την εκτροπή της ακτινοβολίας σε δύο διευθύνσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν διπλά κάτοπτρα σε διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους ή να συνδυασθούν οι παραπάνω διατάξεις με μηχανική περιστροφή της κεφαλής του σαρωτή. Η ταυτόχρονη εκτροπή της ακτίνας σε δύο κατευθύνσεις είναι επίσης δυνατή με διάθλασή της από ζεύγος κυκλικών σφηνοειδών πρισμάτων (optical wedges) “(Τσακίρη κ.α. 2008).



Σχήμα 2.6: Περιστρεφόμενο κάτοπτρο

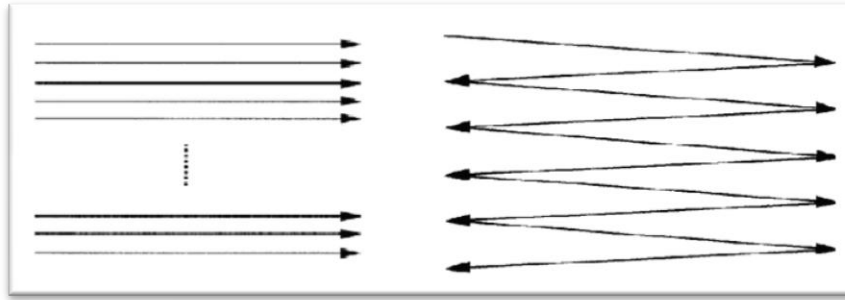


Σχήμα 2.7: Ταλαντευόμενο κάτοπτρο



Σχήμα 2.8: Πολυγωνικό κάτοπτρο

Η χρήση περιστρεφόμενου επίπεδου ή πολυγωνικού κατόπτρου με σταθερή ταχύτητα έχει σαν αποτέλεσμα τη σάρωση του αντικείμενου κατά παράλληλες γραμμές ενώ η χρήση ταλαντούμενου κατόπτρου επιστρέφει σάρωση σε σχήμα Z ή μαιάνδρου (ευθύγραμμου ή ελλειπτικού), όταν χρησιμοποιούνται δύο γαλβανόμετρα (και στους δύο άξονες) (σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.9: Σχήματα σάρωσης

2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ

Η ανάλυση είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των σαρωτών και αναφέρεται κυρίως στην απόσταση όπου ορίζεται ως το μέτρο της διαχωριστικής ικανότητας μεταξύ των δύο στόχων στην ίδια διεύθυνση θέασης (σάρωσης). Είναι η μικρότερη φαινόμενη απόσταση που μπορεί να μετρηθεί. Η ανάλυση είναι συνάρτηση της ανάλυσης μέτρησης του χρόνου και κατ' επέκταση του εύρους ζώνης συχνοτήτων του δέκτη.

Η μέγιστη ανάλυση απόστασης για σαρωτές παλμού είναι:

$$\Delta R_{\max} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot T \quad (2.4)$$

Η ανάλυση των σαρωτών παλμού περιορίζεται από την ανάλυση των χρονομέτρων και την αβεβαιότητα ανίχνευσης του σήματος. Για την επίτευξη ανάλυσης 1 mm απαιτείται ανάλυση του χρονομέτρου 6,7 psec. Τα περισσότερα εμπορικά συστήματα δίνουν ανάλυση από 0,5 έως 1 cm.

Η μέγιστη ανάλυση απόστασης για σαρωτές που χρησιμοποιούν τη διαφορά φάσης είναι:

$$\Delta R_{\max} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{c}{f} \cdot \Delta\Phi \quad (2.5)$$

Η ανάλυση ΔR_{\max} , όπως υπολογίζεται παραπάνω, δεν αποτελεί μέτρο διαχωρισμού μεταξύ των δύο στόχων στην ίδια διεύθυνση θέασης, λόγω του ότι ο δέκτης ανιχνεύει την συνολική (μέση) φάση όλων των επιστροφών από διάφορες πηγές. Υπό ιδανικές συνθήκες, λόγω του μειωμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων, σε σχέση με τους σαρωτές παλμού, οι σαρωτές διαφοράς φάσης επιτυγχάνουν ανάλυση απόστασης 3 έως 5 mm.

Η μέγιστη ανάλυση απόστασης για σαρωτές που χρησιμοποιούν τη διαφορά συχνότητας είναι:

$$\Delta R_{\max} = \frac{c}{2\Delta F} \quad (2.6)$$

Η μέτρηση συχνότητας δίνει την υψηλότερη ανάλυση έναντι όλων των άλλων τεχνικών μέτρησης και παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση μετατροπής όλων των ειδών των μετρήσεων σε μετρήσεις συχνότητας ή διαφοράς συχνότητας. Η διαμόρφωση συχνότητας προσφέρει υψηλή ανάλυση επιτρέποντας το διαχωρισμό του στόχου από άλλους κοντινούς στόχους με την προϋπόθεση ότι η μεταβολή της συχνότητας διατηρείται γραμμική. Στους σαρωτές τριγωνισμού, η ανάλυση απόστασης είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης και περιορίζεται από εικόνες συμβολής και περίθλασης.

Η γωνιακή ανάλυση είναι επίσης σημαντική και περιορίζεται από την ποιότητα και ευαισθησία των οπτικών και μηχανικών διατάξεων. Ορίζεται με το μέτρο της διαχωριστικής ικανότητας δύο σημείων σε παρακείμενες διευθύνσεις θέασης (γραμμές σάρωσης) και είναι συνάρτηση της επιλεγόμενης (ή επιτρεπόμενης) απόστασης μεταξύ δύο σημείων (sampling interval) και του μεγέθους της κηλίδας του laser“ (Τσακίρη κ.α. 2008).

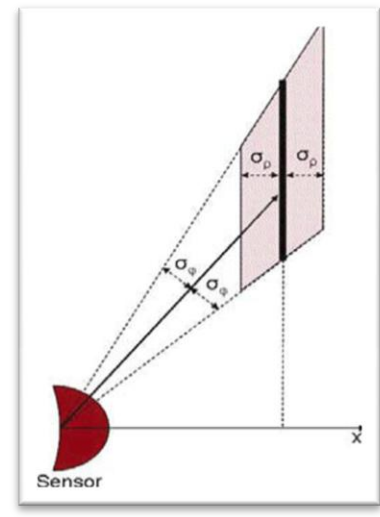
2.5 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER

Σύμφωνα με μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους W. Boehler, et al (2003), η ακρίβεια των επίγειων σαρωτών laser που δίνεται από τους κατασκευαστές είναι πολύ συχνά αναληθής, καθώς αυτή εξαρτάται από τη βαθμονόμηση που έχει γίνει και το χειρισμό του οργάνου μέχρι τότε. Επιπλέον, υποστηρίζεται ότι κάθε σάρωση περιέχει ένα μεγάλο αριθμό σημείων στα οποία εντοπίζονται χονδροειδή σφάλματα και δεν μπορούν να υπάρξουν εγγυήσεις ποιότητας, σε αντίθεση με κάποια άλλα όργανα μέτρησης σημείων.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις βασικές παραμέτρους που επηρεάζουν την ακρίβεια ενός σαρωτή laser.

2.5.1 Ακρίβεια μέτρησης γωνίας

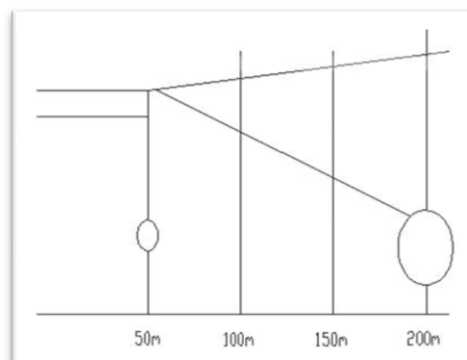
Ο παλμός laser ανακλάται από μια μικρή περιστρεφόμενη συσκευή (καθρέφτης, πρίσμα) και στέλνεται από εκεί στο αντικείμενο. Η δεύτερη γωνία, κάθετη στη πρώτη, μπορεί να αλλάζει χρησιμοποιώντας ένα μηχανικό άξονα ή άλλη περιστρεφόμενη οπτική συσκευή. Οι αναγνώσεις αυτών των δύο γωνιών είναι αναγκαίες για τον υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων. Οποιαδήποτε απόκλιση θα έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της πορείας της ακτίνας και κατά συνέπεια τη γραμμική μετατόπιση του σημείου πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου (σχήμα 2.10). Για να εντοπιστούν τέτοιου είδους σφάλματα, συνιστάται η μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων αποστάσεων μεταξύ αντικειμένων που έχουν σαρωθεί με το scanner και η σύγκριση αυτών με μετρήσεις που έχουν προέλθει από αποδεδειγμένα πιο ακριβείς τοπογραφικές μεθόδους.



Σχήμα 2.10: Αβεβαιότητα μέτρησης σαρωτή laser

2.5.2 Ακρίβεια μέτρησης απόστασης

Το είδος του σαρωτή laser επηρεάζει την ακρίβεια μέτρησης της απόστασης. Στους σαρωτές μεγάλης εμβέλειας, η απόσταση υπολογίζεται βάσει του χρόνου που κάνει το σήμα laser να μεταβεί στο αντικείμενο και να επιστρέψει στο δέκτη του σαρωτή. Όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 100 μέτρα, η ακρίβεια στον προσδιορισμό της παραμένει σταθερή. Αντίθετα, με τους σαρωτές που λειτουργούν με τη μέθοδο του τριγωνισμού η ακρίβεια στον προσδιορισμό των σημείων μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου(σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.11: Διάγραμμα μεταβολής διάστασης κουκίδας της δέσμης του laser

Σφάλματα στην απόσταση μπορούν να παρατηρηθούν όταν μετρώνται γνωστές αποστάσεις στη διεύθυνση της απόστασης με το σαρωτή. Αν οι σαρωτές δεν είναι εφοδιασμένοι με ένα καθορισμένο σημείο αναφοράς (κέντρωση), είναι μόνο πιθανόν να μετρηθούν σχετικές αποστάσεις μεταξύ στόχων. Επίπεδοι, κυλινδρικοί ή σφαιρικοί στόχοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφόσον η ακριβής τους θέση έχουν προσδιορισθεί με όργανα και μεθόδους περισσότερο ακριβή από το σαρωτή laser.

Ενώ ένα συστηματικό σφάλμα στη κλίμακα θα εμφανίζεται σε κάθε μετρημένη απόσταση ένα συστηματικό σφάλμα ως προς την αφετηρία μέτρησης θα ελαχιστοποιείται όταν μετρώνται σχετικές αποστάσεις στη διεύθυνση της απόστασης. Ωστόσο, το συνεχές σφάλμα θα επηρεάζει αποστάσεις μεταξύ δύο σημείων που είναι τοποθετημένα σε διαφορετικές διευθύνσεις ως προς το σαρωτή. Όταν οι σαρωτές έχουν οπτικό πεδίο μεγαλύτερο των 180° , είναι πολύ σημαντική η διερεύνηση για συστηματικά σφάλματα στην απόσταση, καθώς αυτά θα υπεισέλθουν στη σάρωση δύο φορές (αντιδιαμετρικά σημεία).

2.5.3 Βήμα της σάρωσης (διακριτική ικανότητα)

Από τη πλευρά του χρήστη, η διακριτική ικανότητα του σαρωτή περιγράφει την ικανότητα να ανιχνεύσει μικρά αντικείμενα ή αντικείμενα που απαρτίζουν ένα νέφος σημείων. Τεχνικά, δύο διαφορετικές ερμηνείες συνεισφέρουν σε αυτή την ικανότητα, η μικρότερη πιθανή αύξηση της γωνίας ανάμεσα σε δυο διαδοχικά σημεία και το μέγεθος του παλμού laser στο αντικείμενο

Ένα αντικείμενο ελέγχου αποτελούμενο από μικρά στοιχεία ή μικρές σχισμές μπροστά από ένα επίπεδο μπορεί να εξυπηρετήσει το καθορισμό μιας εφαρμογής που δίνει πληροφορία σχετική με τη διακριτική ικανότητα του σαρωτή.

2.5.4 Επίδραση ακμών

Το στίγμα του laser, επί του αντικειμένου έχει κάποιο μέγεθος, ακόμη και όταν είναι πολύ καλά εστιασμένο. Όταν η ακτίνα «χτυπά» κάποια ακμή, τότε

αντανακλάται μόνο ένα μέρος της. Η υπόλοιπη ακμή ανακλάται σε κάποια γειτονική επιφάνεια που βρίσκεται πίσω της ή δεν ανακλάται καθόλου. Όλοι οι σαρωτές παράγουν λανθασμένα σημεία στις περιοχές των ακμών, τα οποία βρίσκονται συνήθως πίσω από αυτές. Το σφάλμα κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά έως κάποια εκατοστά και φυσικά είναι αναπόφευκτο από τη στιγμή που το στίγμα του laser δεν μπορεί να είναι τόσο εστιασμένο ώστε να προσεγγίζει την έννοια του σημείου. Βέβαια, όσο πιο συγκεντρωμένη είναι η ακτίνα, τόσο καλύτερα θα είναι τα αποτελέσματα. Για την σύγκριση των σαρωτών πάνω σε αυτό το θέμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στόχοι με διαφορετικά είδη ακμών, όπως κύβοι, σφαίρες και κύλινδροι.

2.5.5 Επιρροή της ανακλαστικότητας της επιφάνειας

Η λειτουργία των σαρωτών βασίζεται στην αντανάκλαση του σήματος πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου και την επιστροφή του στο δέκτη του οργάνου(αν πρόκειται για σαρωτές μεγάλης εμβέλειας) ή την κάμερα ccd (αν πρόκειται για αυτούς που λειτουργούν με τη μέθοδο του τριγωνισμού). Και στις δύο περιπτώσεις, η ένταση του σήματος εξαρτάται από την ανακλαστική δυνατότητα της επιφάνειας.

Είναι γνωστό, ότι οι άσπρες επιφάνειες ανακλούν την ακτινοβολία σε πολύ μεγάλο βαθμό, ενώ οι μαύρες την απορροφούν σχεδόν ολοκληρωτικά.

Ένας τρόπος για τη διερεύνηση των σφαλμάτων που προκύπτουν από τη μεταβολή της ανακλαστικότητας, είναι η χρήση ενός άσπρου επίπεδου στόχου, του οποίου το κέντρο θα έχει επικαλυφθεί με ανακλαστικό υλικό. Οι διαφορές που θα προκύψουν στον προσδιορισμό της απόστασης μεταξύ του κέντρου και του υπόλοιπου στόχου, θα δώσουν μία σαφή εικόνα των αποκλίσεων που πρέπει να αναμένονται.

2.5.6 Περιβαλλοντικές συνθήκες

Θερμοκρασία Κάθε σαρωτής λειτουργεί κανονικά μόνο όταν χρησιμοποιείται σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας (συνήθως 0-50° C). Ακόμα και μέσα σε αυτό το εύρος μπορεί να παρατηρηθούν αποκλίσεις ειδικά στη μετρημένη απόσταση.

Ατμόσφαιρα. Η θερμοκρασία και η πίεση της ατμόσφαιρας μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα διάδοσης του φωτός μέσα σε αυτή. Από τη στιγμή που μετρώνται μικρές αποστάσεις, η αλλαγή στη ταχύτητα διάδοσης του φωτός λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και μεταβολών στη πίεση δεν επηρεάζει ουσιαστικά τα αποτελέσματα. Αρκετοί χρήστες αναφέρουν ωστόσο ότι μετρήσεις σε περιβάλλον που επικρατεί σκόνη ή ατμός οδηγεί σε αποτελέσματα παρόμοια με αυτά του θορύβου στα άκρα. Δηλαδή, στην εν μέρει ανάκλαση της ακτίνας πάνω σε αυτά τα σωματίδια.

Παρεμβολή ακτινοβολίας. Εάν η ακτινοβολία της πηγής φωτισμού (φως ήλιου, λάμπες) είναι ισχυρή συγκριτικά με το σήμα, αρκετή από αυτή την ακτινοβολία θα περάσει το φίλτρο και θα επηρεάσει την ακρίβεια ή θα εμποδίσει τη μέτρηση αυτή καθαυτή.

2.6 ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LASER

Πέρα από την ακρίβεια, που αποτελεί το σημαντικότερο κριτήριο για την επιλογή ενός σαρωτή, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πριν τη χρήση του σε μία τοπογραφική εφαρμογή.

2.6.1 Ταχύτητα

Παρ' όλο που οι σαρωτές θεωρούνται όργανα υψηλής ταχύτητας απόκτησης δεδομένων, σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλη πυκνότητα σημείων, η διαδικασία της σάρωσης μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα χρονοβόρα. Η καταγραφή 100 σημείων ανά δευτερόλεπτο θεωρείται μικρή ταχύτητα, ενώ μία ταχύτητα της τάξης των 1000 σημείων ανά δευτερόλεπτο, είναι ικανοποιητική για τις περισσότερες εφαρμογές. Βέβαια, η παραπάνω διαφορά δεν συνεπάγεται τον υποδεκαπλασιασμό του απαιτούμενου χρόνου, καθώς σε αυτόν περιλαμβάνονται και άλλες εργασίες όπως η μεταφορά του σαρωτή στις θέσεις παρατήρησης, το στήσιμο και η προετοιμασία του οργάνου, η μέτρηση των σημείων ελέγχου και των στόχων κ.α. Επομένως, υπερβολική αύξηση στην ταχύτητα ενός σαρωτή συχνά δεν επιφέρει ιδιαίτερη μείωση του χρόνου εργασίας στο πεδίο.

2.6.2 Στόχοι ελέγχου και σύνδεσης

Όταν για επικάλυψη ενός αντικειμένου απαιτούνται παραπάνω από μία σαρώσεις ή όταν χρειάζεται η μετατροπή του νέφους των σημείων σε ένα άλλο σύστημα αναφοράς, τότε είναι απαραίτητη η ύπαρξη στόχων στο χώρο του αντικειμένου. Οι στόχοι αυτοί είναι αναγνωρίσιμοι από τον σαρωτή και το λογισμικό που τον συνοδεύει λόγω του σχήματός τους και της υψηλής τους ανακλαστικότητας. Έτσι, κατά την ένωση των επικαλυπτόμενων σαρώσεων χρησιμοποιούνται ως σημεία σύνδεσης και αναγνωρίζονται αυτόματα από τα λογισμικά. Επιπλέον, δεδομένου ότι μπορούν να μετρηθούν από τοπογραφικά όργανα και ότι γίνονται εμφανείς σε εικόνες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σημεία γεωαναφοράς κατά την μετατροπή του συστήματος συντεταγμένων.

2.6.3 Ευκολία στη μεταφορά

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται στην τοπογραφία, πρέπει να είναι κατά κανόνα όσο το δυνατόν πιο μικρά και ελαφριά γίνεται, προκειμένου να μεταφέρονται εύκολα. Έτσι, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο μέγεθος του οργάνου και του παρελκόμενου εξοπλισμού, καθώς επίσης και στην ποιότητα των θηκών συσκευασίας τους. Μέχρι τώρα, οι σαρωτές μέσης και μεγάλης εμβέλειας που κυκλοφορούν στην αγορά είναι αρκετά ογκώδεις με αποτέλεσμα να μην μπορούν να μεταφερθούν μέσα σε ένα συμβατικό Ι.Χ. Με την πάροδο του χρόνου, γίνεται εμφανής η προσπάθεια που καταβάλουν οι κατασκευαστές για τη μείωση του όγκου των σαρωτών και την εξάλειψη του προβλήματος της μεταφοράς.

2.7 ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Οι επίγειοι σαρωτές από την κατασκευή του πρώτου τη δεκαετία του '90, μέχρι σήμερα, έχουν γνωρίσει ιδιαίτερη ανάπτυξη, τόσο σε επίπεδο υλικοτεχνικής υποδομής, όσο και σε επίπεδο λογισμικών, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα συλλογής και επεξεργασίας όλο και μεγαλύτερου όγκου δεδομένων. Με την εξέλιξη των σαρωτών, ανοίγεται μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών όπως αποτυπώσεις μνημείων για την τεκμηρίωση της

πολιτιστικής κληρονομιάς, αποτύπωση τεχνικών κατασκευών, μέτρηση δομικών παραμορφώσεων, δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους, δημιουργία μοντέλων εικονικής πραγματικότητας, ενώ τελευταία, έχει αρχίσει και η χρησιμοποίησή τους σε τοπογραφικές αποτυπώσεις. Επομένως, δεδομένων όλων των παραπάνω εφαρμογών καθώς και άλλων που δεν αναφέρθηκαν, η ζήτησή τους αυξάνεται συνεχώς.

Μερικές από αυτές τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται οι επίγειοι σαρωτές αναφέρονται παρακάτω.

- Βιομηχανικές εφαρμογές αντίστροφης μηχανολογίας, όπως στην κατασκευή εργαλείων και καλουπιών, στην αργυροχρυσοχοϊά, στην ιατρική και γενικά οπουδήποτε χρειάζεται η αναπαραγωγή ενός σύνθετου τρισδιάστατου σχήματος.
- Τοπογραφικές εφαρμογές (π.χ σε σήραγγες).
- Γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Υπολογισμός όγκων και εξαγωγή διατομών.
- Παραμορφώσεις τεχνικών έργων και βιομηχανικών κτιρίων.
- Επιμετρήσεις και ποιοτικός έλεγχος διάφορων κατασκευών και έργων. Τα γεωμετρικά στοιχεία που λαμβάνονται επιτρέπουν τις ποσοτικές και ποιοτικές βελτιστοποιήσεις κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων κατασκευής.
- Επανασχεδιασμός αυτοκινητόδρομων.
- Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου επιφανείας και ψηφιακού μοντέλου εδάφους.
- Δημιουργία χαρτών GIS (Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών).

2.8 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ

Είναι γεγονός, πως αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει κάποιος σαρωτής που να είναι κατάλληλος για κάθε τύπου εφαρμογή. Επομένως, θα ήταν χρήσιμη μία πρώτη ταξινόμηση των επίγειων σαρωτών. Αξίζει να σημειωθεί πως η ταξινόμηση των επίγειων σαρωτών, εξαιτίας της διαφορετικότητας των

τεχνικών τους χαρακτηριστικών αλλά και της διαφορετικής αρχής μέτρησης που χρησιμοποιούν (*triangulation, phase or pulse*) είναι αρκετά δύσκολη. Για παράδειγμα, υπάρχουν σαρωτές, καταλληλότεροι για εσωτερικούς χώρους και με μεσαία εμβέλεια (μέχρι 100m), και άλλοι σαρωτές, καταλληλότεροι για υπαίθρια χρήση και με εμβέλεια αρκετά μεγαλύτερη των 100m (Thorsten SCHULZ et al.,2004)

Η επιλογή του κάθε σαρωτή, θα πρέπει επομένως να εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία προορίζεται να χρησιμοποιηθεί. Ένας τρόπος ταξινόμησης των επίγειων σαρωτών Laser σε δύο βασικές κατηγορίες, θα μπορούσε να βασίζεται στην αρχή του συστήματος μέτρησης που χρησιμοποιούν και τη μέθοδο λειτουργίας τους. Αυτό που διαφοροποιείται κάθε φορά είναι ο τρόπος με τον οποίο καταγράφεται η θέση όπου προσπίπτει η ακτίνα. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτοί όπου μετρούν την απόσταση του αντικειμένου από το όργανο μέσω των ιδιοτήτων του εκπεμπόμενου σήματος, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα ηλεκτρονικά όργανα αποτύπωσης (σαρωτές μέσης και μεγάλης εμβέλειας). Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι σαρωτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο του τριγωνισμού (σαρωτές μικρής εμβέλειας).

Οι περισσότεροι από του επίγειους σαρωτές laser, είναι βασισμένοι στην μέθοδο «*time of flight*». Η συγκεκριμένη μέθοδος, επιτρέπει την μέτρηση αποστάσεων αρκετών εκατοντάδων μέτρων. Θεωρητικά, μπορεί να επιτευχθεί εμβέλεια και μεγαλύτερη του χιλιομέτρου. (π.χ. κατασκευαστές *Mensi, RiegI*). Το πλεονέκτημα της μεγάλης εμβέλειας, συνεπάγει όμως, μικρότερη ακρίβεια στην μέτρηση της απόστασης (μεγαλύτερη του ενός εκατοστού). Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι παρέχει μία λογική ακρίβεια.

Εκτός από τη μέθοδο «*time of flight*», η μέθοδος μέτρησης διαφοράς φάσης, αντιπροσωπεύει μία άλλη τεχνική για μεσαίες εμβέλειες. (Η εμβέλεια περιορίζεται στα 100 μέτρα). (Π.χ. κατασκευαστές *Zoller+Froehlich, IQSun*). Σε αντίθεση με τη μέθοδο «*time of flight*», στη μέθοδο μέτρησης φάσης, μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια χιλιοστού για τις μετρημένες αποστάσεις.

Τέλος, για λόγους πληρότητας, είναι διαθέσιμος και ένας μικρός όμως αριθμός σαρωτών με εμβέλειες που φτάνουν μέχρι μερικά μέτρα, και τέτοιοι σαρωτές, χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές αλλά και στην εφαρμοσμένη μηχανική για on line παρακολούθηση σε διαδικασίες κατασκευής. Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι μέτρησης απόστασης αυτών των σαρωτών, είναι το laser radar και ο τριγωνισμός. Οι ακρίβειες που μπορεί να επιτευχθούν είναι της τάξης του μm (από 10 έως 100).

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των σαρωτών με βάση την αρχή μέτρησης, θα μπορούσαν να παρουσιαστούν συνοπτικά με τον παρακάτω πίνακα:

ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ <i>(Measurement system)</i>	ΕΜΒΕΛΕΙ <i>A Range</i> <i>[m]</i>	ΑΚΡΙΒΕΙΑ <i>Range accuracy</i> <i>[mm]</i>	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ <i>Manufacturers</i>
<i>Time of flight</i>	~ 1000	> 10	Mensi, Riegl, Cyra, Callidus
<i>Phase measurement</i>	< 100	< 10	Zoller+Froehlich, IQSun
<i>Optical triangulation, Laser radar</i>	< 10	< 1	Minolta, Leica

Πίνακας 2.3: Συγκριτικός πίνακας Μεθόδων Μέτρησης

2.9 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΑΡΩΣΗ ΜΕ LASER

Η επίγεια τρισδιάστατη σάρωση (Terrestrial 3D Laser Scanning) είναι μία σύγχρονη τεχνολογία αποτύπωσης η οποία έχει κάποια βασικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μετρήσεων με σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς (Total Stations). Τα κυριότερα από αυτά είναι τα παρακάτω:

Απόλυτη ασφάλεια. Η μέθοδος δεν απαιτεί επαφή του χρήστη με αντικείμενα όπως δύσβατα πρηνή ή οδοί με συνθήκες μεγάλης κυκλοφορίας, μη εκθέτοντας έτσι σε κίνδυνο τα συνεργεία αποτύπωσης. Επίσης η ακτίνα laser που χρησιμοποιούν οι σύγχρονοι σαρωτές είναι απόλυτα ασφαλής. Αυτό έχει ιδιαίτερα σημασία σε περιβάλλον εργοταξίου ή ελεύθερο στο κοινό δεδομένου ότι ο σαρωτής σαρώνει στο επιλεγμένο οπτικό πεδίο ανεξέλεγκτα με ρυθμό χιλιάδων μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο.

Ασύγκριτη πληρότητα δεδομένων-πυκνότητα σημείων. Ένας σαρωτής σαρώνει με ελάχιστο γωνιακό βήμα 20 μ rad (ενδεικτική τιμή που έχουν αρκετοί σύγχρονοι σαρωτές). Αυτό σημαίνει ότι επί ενός αντικειμένου σε απόσταση 100 μέτρων είναι δυνατή η λήψη σημείων ανά 2.6mm. Πρόκειται για μια προσέγγιση αποτύπωσης, που στην πράξη οδηγεί στην μεταφορά του συνολικού τρισδιάστατου σχήματος του αντικειμένου στο γραφείο, με τη μορφή ενός έγχρωμου νέφους σημείων. Ως εργαλείο τεκμηρίωσης, δίνει τη δυνατότητα στον μηχανικό να ανατρέξει για επιπλέον μετρήσεις ή εποπτεία όταν κριθεί απαραίτητο. Ως εργαλείο παρακολούθησης και σύγκρισης διαδοχικών φάσεων, δίνει την δυνατότητα ανίχνευσης των τάσεων μετακίνησης και των μεταβολών σε κάθε σημείο του αντικειμένου και όχι σε επιλεγμένες θέσεις, οδηγώντας στην εξαγωγή ολοκληρωμένων συμπερασμάτων. Οι δε μετρήσεις και οι υπολογισμοί όγκων είναι πολύ πιο ακριβείς από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.

Υψηλή ακρίβεια. Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται με τους σαρωτές εξαρτώνται εν μέρει από την ακρίβεια της κάθε μέτρησης η οποία όμως ενισχύεται από τον πολύ μεγάλο αριθμό μετρήσεων. Η μέθοδος αυτή του αυξημένου δείγματος (oversampling) οδηγεί σε ακρίβεια των μερικών χιλιοστών στους πιο σύγχρονους επίγειους σαρωτές για την μοντελοποίηση αντικειμένων.

Ταχύτατη συλλογή πληροφορίας. Οι επίγειοι σαρωτές καταγράφουν τις συντεταγμένες (X,Y,Z) χιλιάδων σημείων το δευτερόλεπτο γεγονός που οδηγεί στην δυνατότητα αποτύπωσης πολύ μεγάλων αντικειμένων και

επιφανειών σε μικρό χρονικό διάστημα σχετικά με τις συμβατικές μεθόδους αποτύπωσης.

Ταυτόχρονη συλλογή μετρικής και ποιοτικής πληροφορίας (XYZ, RGB).

Κάποιοι σύγχρονοι σαρωτές διαθέτουν ενσωματωμένη καλιμπραρισμένη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή ανάλυσης μερικών megapixel η οποία αποδίδει στα σημεία πραγματικό χρώμα RGB. Το χρώμα των σημείων σε συνδυασμό με την πυκνότητα τους δίνει τη δυνατότητα της πλήρους εποπτείας και ποιοτικής ερμηνείας του υπό αποτύπωση του αντικειμένου. Για παράδειγμα, σε μια αποτύπωση πρανούς δίνεται η δυνατότητα στο γεωλόγο να διαχωρίσει τα πετρώματα, αξιολογώντας ταυτόχρονα το μέγεθος της μετακίνησης και την ευστάθεια των γεωλογικών σχηματισμών. Εναλλακτικά αντί του πραγματικού χρώματος δίνεται η δυνατότητα (ιδιαίτερα χρήσιμη σε συνθήκες κακού φωτισμού π.χ. τη νύχτα ή εντός σπηλαίων) απόδοσης στα σημεία τόνων του γκριζου ανάλογα με την ένταση του ανακλώμενου σήματος. Επίσης υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης εξωτερικής φωτογραφικής μηχανής ή οποιαδήποτε άλλης μορφής αισθητήρα.

Εφαρμόζεται μέρα ή νύχτα και σχεδόν υπό όλες τις καιρικές συνθήκες.

(Εκτός καταιγίδας ή βαριάς χιονόπτωσης).

Δυνατότητα αποτύπωσης απρόσιτων ή δυσπρόσιτων αντικειμένων.

Η μέθοδος είναι εξ ορισμού μέθοδος μη επαφής. Οι σαρωτές βεληνεκούς έχουν εμβέλεια που κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως και εκατοντάδες μέτρα. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να αποτυπώσει αντικείμενα που είναι απρόσιτα ή δυσπρόσιτα από ασφαλή απόσταση.

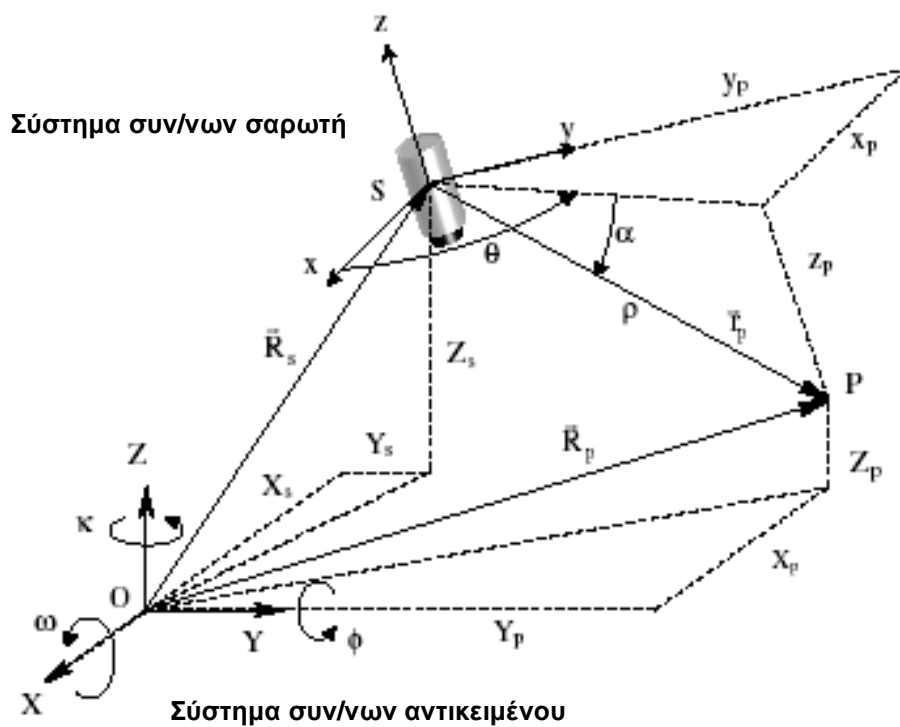
2.10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΤΗ

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές είναι όργανα τα οποία μετρούν πολικές συντεταγμένες. Οι μετρήσεις που συλλέγει ο σαρωτής σε κάθε στάση οργάνου παράγουν ένα νέφος σημείων, οι θέσεις των οποίων υπολογίζονται στο σύστημα αναφοράς του σαρωτή, το οποίο ορίζεται ως εξής:

- η αρχή του συστήματος ταυτίζεται με το σημείο που παράγεται η ακτίνα laser του οργάνου,
- ο άξονας y ταυτίζεται με το μαγνητικό βορρά που προσδιορίζεται από τη μαγνητική πυξίδα του σαρωτή,
- ο άξονας x επιλέγεται με κατεύθυνση προς την ανατολή έτσι ώστε να προκύπτει δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς,
- ο άξονας z ταυτίζεται με την κατακόρυφο στη θέση του οργάνου.

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y, z) , προκύπτουν ως το αποτέλεσμα των λογισμικών επεξεργασίας των παραπάνω πρωτογενών μετρήσεων και θεωρούνται ως οι βασικές παρατηρήσεις της διαδικασίας σάρωσης. Αυτή η παραμετροποίηση διευκολύνει τις μαθηματικές σχέσεις που απαιτούνται για τον μετασχηματισμό όλων των νεφών σημείων σε ενιαίο σύστημα αναφοράς (γεωαναφορά).

Το πρόβλημα της γεωαναφοράς στην τεχνολογία της επίγειας σάρωσης αφορά τον μετασχηματισμό των παρατηρήσεων από το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή (scanner space) στο σύστημα συντεταγμένων του αντικειμένου (object space) που δύναται να είναι τοπικό ή γενικό σύστημα και ορίζεται από αριθμό τρισδιάστατων σημείων ελέγχου.



Σχήμα 2.12: Η γεωμετρία των μετρήσεων με επίγειο σαρωτή laser (Τσακίρη κ.α,2004)

Ο παραμετρικός μετασχηματισμός ενός διανύσματος παρατήρησης από σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή στο σύστημα συντεταγμένων του αντικειμένου δίνεται από την σχέση (εξίσωση 2.7):

$$\vec{R}_p = M \vec{r}_p + \vec{R}_s \quad (2.7)$$

όπου

$\vec{r}_p = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix}^T$ προκύπτει από τις παρατηρήσεις και είναι το διάνυσμα θέσης του σημείου p στον σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή

$\vec{R}_p = \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix}^T$ είναι το διάνυσμα θέσης του σημείου p στο σύστημα συντεταγμένων του αντικειμένου

$\vec{R}_s = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix}^T$ είναι το διάνυσμα θέσης της αρχής του συστήματος συντεταγμένων του σαρωτή στο σύστημα συντεταγμένων του αντικειμένου

M είναι ο πίνακας στροφής των γωνιών (ω, φ, κ) γύρω από τους άξονες X, Y και Z αντίστοιχα και δίνεται από:

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

Η μοναδική λύση για τον προσδιορισμό των παραμέτρων μετασχηματισμού (Xs, Ys, Zs) και των γωνιών στροφής (ω, φ, κ) απαιτεί 6 παρατηρήσεις από 3 σημεία στο σύστημα συντεταγμένων του αντικειμένου, ενώ για περισσότερες παρατηρήσεις χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Το παραμετρικό μοντέλο που εφαρμόζεται προκύπτει όταν στην εξίσωση (2.7) οι όροι αναδιαταχθούν ως εξής

$$\vec{r}_p = M^T (\vec{R}_p - \vec{R}_s) \quad (2.8)$$

Ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας των εκτιμώμενων παρατηρήσεων (x_p, y_p, z_p) πρέπει να προκύψει από τον αντίστοιχο πίνακα των παρατηρήσεων (ρ_p, α_p, θ_p) μέσω του νόμου μετάδοσης των μεταβλητοτήτων. Όμως, στην πράξη θεωρείται ότι προκύπτει διαγώνιος πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας ώστε να διευκολύνει τον σχηματισμό των κανονικών εξισώσεων και την στατιστική ανάλυση των συνορθωμένων αποτελεσμάτων.

Όταν η συσκευή του σαρωτή διαθέτει την δυνατότητα να οριζοντιώνεται, να κεντρώνεται και να έχει προσανατολισμό τότε η διαδικασία της γεωαναφοράς απλουστεύεται σημαντικά. Με βάση την εικόνα 2.9.2, η οριζοντίωση επιτρέπει ώστε οι γωνίες ω και φ να είναι ίσες με μηδέν. Η κέντρωση πάνω από γνωστό σημείο ή η μέτρηση με τοπογραφικό όργανο ή GPS δίνει απευθείας τις 3 παραμέτρους αρχής των αξόνων. Τέλος, η γωνία στροφής κ μπορεί να έχει συγκεκριμένη τιμή από μετρήσεις διεύθυνσης με χρήση εξωτερικού γωνιομετρικού οργάνου που βρίσκεται πάνω στον σαρωτή (Τσακίρη κ.α,2004)

2.11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ LASER

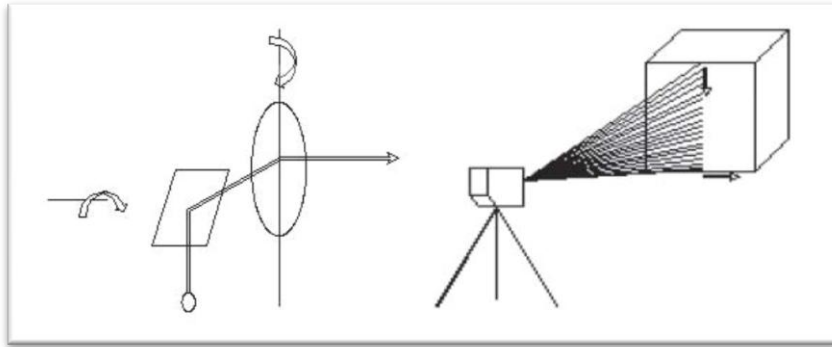
Η διαδικασία της σάρωσης στο πεδίο είναι πλήρως αυτοματοποιημένη. Το όλο σύστημα μπορεί εύκολα να στηθεί και να λειτουργήσει ακόμη και με ένα μόνο άτομο. Αφού πρώτα μελετηθεί γρήγορα η περιοχή που επιλέγεται να σαρωθεί ως προς το μέγεθος, τις ιδιομορφίες που παρουσιάζει και την πολυπλοκότητα ή μη της γεωμετρίας της, με βάση το οπτικό πεδίο του σαρωτή προσδιορίζεται με ακρίβεια ο αριθμός των στάσεων στις οποίες θα στηθεί ο σαρωτής προκειμένου να σαρωθεί η επιλεχθείσα περιοχή χωρίς να υπάρχουν κενά και ασυνέχειες.

Ακόμη, επιλέγονται οι θέσεις στις οποίες θα τοποθετηθούν κατάλληλοι στόχοι που θα χρησιμεύσουν στη σύνδεση των διαδοχικών σαρώσεων (*registration*). Οι στόχοι αυτοί είναι συγκεκριμένων διαστάσεων, ειδικοί για κάθε όργανο, και κατασκευασμένοι από υλικό με μεγάλη ανακλαστικότητα. Για κάθε σάρωση, πρέπει να τοποθετείται στην προς μελέτη περιοχή ένα πλήθος στόχων (τουλάχιστον 3 στόχοι).

Οι στόχοι απαιτούνται ώστε να εξασφαλίσουμε πως οι δύο μεμονωμένες σαρώσεις θα μπορέσουν με ασφάλεια να αποτελέσουν ενιαίο σύνολο. Βασική προϋπόθεση για να γίνει σύνδεση των διαδοχικών σαρώσεων (*registration*) είναι οι σαρώσεις αυτές να έχουν παρθεί από το ίδιο σημείο, δηλ. να μην έχουμε μετακινήσει το σαρωτή.

Η όλη διαδικασία της σάρωσης γίνεται με τη βοήθεια του λογισμικού που συνοδεύει κάθε σαρωτή και ο χρόνος της κάθε σάρωσης κυμαίνεται μεταξύ 1-30min. Ο χρόνος διεξαγωγής της εξαρτάται από το μέγεθος της οριοθετημένης προς σάρωση περιοχής και την πυκνότητα σάρωσης.

Το οπτικό πεδίο του σαρωτή μπορεί να φτάσει τις $360^{\circ} \times 270^{\circ}$ σε οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα (ανάλογα με το σαρωτή) και η ταχύτητα σάρωσης φτάνει τα 100,000 σημεία ανά δευτερόλεπτο.



Σχήμα 2.13: Σύστημα λειτουργίας τρισδιάστατου σαρωτή.

Το αποτέλεσμα της σάρωσης, είναι ένα ιδιαίτερα πυκνό σύνολο από σημεία (νέφος σημείων – *point cloud*), τα οποία μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε σύνολο σημείων τρισδιάστατων καρτεσιανών συντεταγμένων. Το τελικό προϊόν, μπορεί να αποτελείται από ένα πλήθος διαδοχικών σαρώσεων μιας περιοχής.

Το σύνολο των σημείων που έχουν συλλεχθεί, εισάγεται στο λογισμικό για επεξεργασία των δεδομένων και εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος. Στο στάδιο αυτό, γίνεται και η σύνδεση των διαδοχικών σαρώσεων και μοντελοποιείται η προς μελέτη επιφάνεια.

2.12 ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, το νέφος των σημείων που προκύπτει ως αποτέλεσμα της σάρωσης, για να μπορεί να είναι χρήσιμο στον μηχανικό, πρέπει να αναφέρεται σε κάποιο γνωστό σύστημα συντεταγμένων. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να είναι ορισμένο αυθαίρετα από τον ίδιο τον μηχανικό ή να είναι κάποιο κρατικό ή παγκόσμιο σύστημα αναφοράς.

Η γεωαναφορά του νέφους των σημείων μπορεί να γίνει ως εξής :

α) Με χρήση ειδικών στόχων γνωστών συντεταγμένων

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται ειδικοί στόχοι (εικόνα 3.4) με υψηλή ανακλαστικότητα που αναγνωρίζονται από το λογισμικό του σαρωτή και τοποθετούνται στην επικαλυπτόμενη επιφάνεια μεταξύ των σαρώσεων, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Στη μέθοδο αυτή, για να γίνει η γεωαναφορά του νέφους, έπρεπε ο μηχανικός να έχει στη διάθεση του ένα συμβατικό γεωδαιτικό σταθμό (Total Station). Με τον σταθμό αυτό, καλούνταν να υπολογίσει τις συντεταγμένες των ειδικών στόχων.

Οι στόχοι αυτοί χρησιμοποιούνται αργότερα στην επεξεργασία των σαρώσεων από το λογισμικό Cyclone ως σημεία σύνδεσης προκειμένου να γίνει η συνένωση των νεφών σημείων. Με βάση αυτούς τους στόχους το ένα νέφος σημείων μετατίθεται και στρέφεται γύρω από τους τρεις άξονες έτσι ώστε να προσαρμοστεί στο άλλο νέφος σημείων που θεωρείται σαν σταθερό. Το τελικό συνενωμένο νέφος σημείων αποκτά το σύστημα αναφοράς που έχουν οι ειδικοί στόχοι.

Η παραπάνω διαδικασία, προϋποθέτει τη διάθεση επιπλέον εξοπλισμού (Reflectorless Total Station), χρόνου, καθώς επίσης και ενός επιπλέον χειριστή του οργάνου (μηχανικό).

β) Με χρήση όδευσης

Η διαδικασία της όδευσης, όταν η συσκευή του σαρωτή διαθέτει τη δυνατότητα να οριζοντιώνεται, να κεντρώνεται και να έχει προσανατολισμό, απλουστεύει κατά πολύ την παραπάνω διαδικασία. Το νέφος των σημείων γεωαναφέρεται αυτόματα με τη βοήθεια του λογισμικού που διαθέτει ο σαρωτής.

Προϋπόθεση για να εκτελεστεί η διαδικασία της όδευσης είναι η ύπαρξη δύο σημείων γνωστών συντεταγμένων (x, y, z), εκ των οποίων το ένα να βρίσκεται στο έδαφος ώστε να μπορεί ο σαρωτής να κεντρωθεί πάνω του, είτε η

ύπαρξη τριών σημείων γνωστών συντεταγμένων (x, y, z) , αρκεί να έχουν οπτική επαφή με το σαρωτή και να βρίσκονται μέσα στο πεδίο εμβέλειάς του.

Η μέθοδος αυτή, δεν προϋποθέτει επιπλέον εξοπλισμό από το χρήστη και μειώνει τις εργασίες πεδίου αφού εκτελείται σε πολύ λίγο χρόνο και τα αποτελέσματά της παρουσιάζονται αμέσως από το λογισμικό, χωρίς να απαιτείται επιπλέον εργασία γραφείου.

3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, περιγράφονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων της παρούσας εργασίας, καθώς και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων.

3.2 Ο ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΣΑΡΩΤΗΣ SCANSTATION 2

3.2.1 Βασικά μέρη συστήματος

Η μονάδα του συστήματος του laser scanner Scanstation2, αποτελείται από τα εξής:

- Την κεφαλή του συστήματος, η οποία περιλαμβάνει σαρωτή παλμικού laser
- Δύο μπαταρίες για την τροφοδοσία του συστήματος
- Τη μονάδα ελέγχου, δηλαδή έναν φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή σε σύνδεση με το σαρωτή. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία του συστήματος, είναι να εγκατασταθεί στον υπολογιστή το λογισμικό Cyclone που υποστηρίζει τον συγκεκριμένο σαρωτή.

3.2.2 Λειτουργία του σαρωτή

Ο τρισδιάστατος επίγειος σαρωτής laser Scanstation2, είναι ένα όργανο της εταιρίας Leica Geosystems (www.cyra.com). Λειτουργεί σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας χρόνου διαδρομής (time of flight) ενός παλμού laser, όπως αυτή παρουσιάστηκε αναλυτικά στην ενότητα 2.2.1.

Τα δεδομένα της σάρωσης, καταγράφονται στην καταγραφική μονάδα του σαρωτή και μεταφέρονται αυτόματα στη μονάδα ελέγχου όπου γίνεται η επεξεργασία.

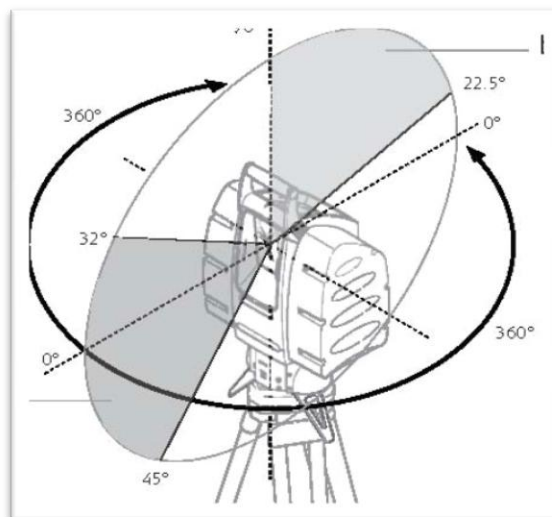
Προκειμένου να έχουμε μετακίνηση της ακτίνας επί του αντικειμένου, στο εσωτερικό του οργάνου είναι τοποθετημένοι ένας ή δύο καθρέπτες που στρέφονται με συγκεκριμένο βήμα και μεταβάλλουν τη διεύθυνση εκπομπής της.

Για να σαρωθεί ολόκληρη η επιφάνεια του αντικειμένου, είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν περισσότερες από μία σαρώσεις, είτε αλλάζοντας τη θέση του σαρωτή, είτε – αν είναι εφικτό- στρέφοντας το αντικείμενο.

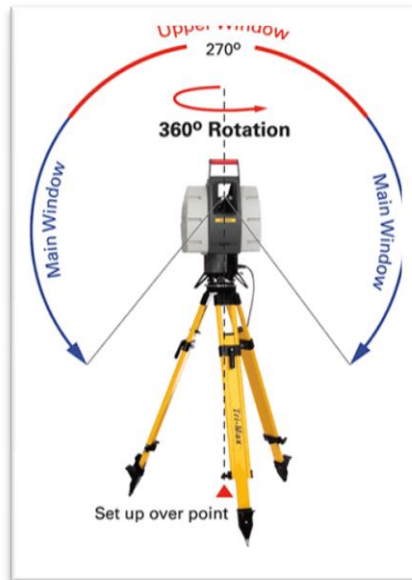
Χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα συλλογής δεδομένων και μεγάλη ταχύτητα σάρωσης καθώς έχει την δυνατότητα συλλογής 50.000 σημείων ανά δευτερόλεπτο. Η μέγιστη εμβέλεια του συγκεκριμένου σαρωτή, ανάλογα με τις συνθήκες μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 300 m, με ακρίβεια μέτρησης της θέσης $\pm 6\text{mm}$, και ακρίβεια στον προσδιορισμό της απόστασης $\pm 4\text{mm}$.

Στον πίνακα 3.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου.

Το πλήρες οπτικό πεδίο του σαρωτή, επιτρέπει στο χρήστη να σαρώνει κάθετα πάνω απ' το σαρωτή, κάθετα, οριζόντια καθώς και κάτω απ' το επίπεδό του με την ίδια ευκολία. Το όργανο διαθέτει κινούμενη κεφαλή με δυνατότητα περιστροφής 360° γύρω από τον οριζόντιο άξονα και 270° γύρω από τον κατακόρυφο άξονα (Σχήματα 3.1, 3.2).



Σχήμα 3.1: Οπτικό πεδίο και δυνατότητες περιστροφής σαρωτή



Σχήμα 3.2: Οπτικό πεδίο και διάταξη οργάνου ScanStation2

Επίσης, ένα ακόμα πλεονέκτημα του Scanstation2 είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα κέντρωσης του οργάνου σε συγκεκριμένο σημείο γνωστών συντεταγμένων που θα επιλέξει ο χρήστης. Όταν η συσκευή του σαρωτή διαθέτει την δυνατότητα να οριζοντιώνεται, να κεντρώνεται και να έχει προσανατολισμό τότε η διαδικασία της γεωαναφοράς απλουστεύεται σημαντικά. Έτσι, όπως και με ένα Γεωδαιτικό Σταθμό ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει το ScanStation 2 σε ποικίλες Τοπογραφικές εργασίες όπως έλεγχο, οπισθοτομία, όδευση ακόμη και χάραξη.



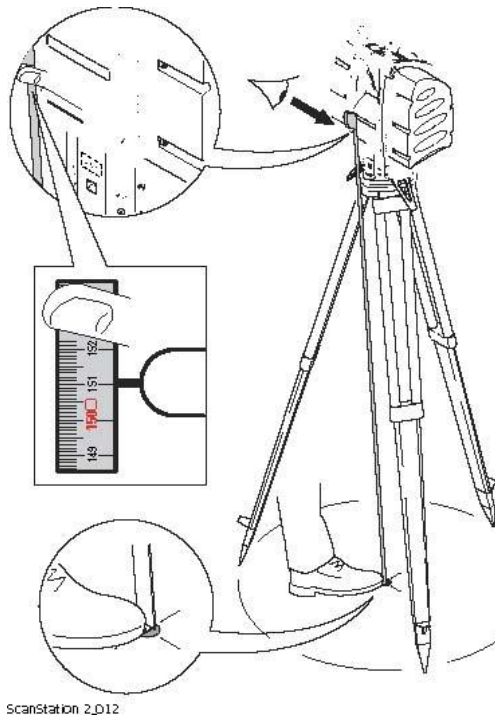
Εικόνα 3.1 : Ο σαρωτής SCANSTATION 2 της LEICA GEOSYSTEMS

3.2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά και οι προδιαγραφές που αφορούν τον συγκεκριμένο σαρωτή αναγράφονται στον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 3.1).

ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΑΡΩΣΗΣ	ΠΑΛΜΙΚΗ
ΧΡΩΜΑ ΑΚΤΙΝΑΣ LASER	ΠΡΑΣΙΝΟ
ΕΜΒΕΛΕΙΑ (ΕΥΡΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ)	300 m @ 90% Ανακλαστικότητα; 134 m @ 18% ανακλαστικότητα
ΡΥΘΜΟΣ ΣΑΡΩΣΗΣ	ΜΕΧΡΙ 50.000 σημεία/sec, (ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ ΤΙΜΗ)
ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΑΡΩΣΗΣ	<p><u>ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ</u>: 6 mm ΑΠΟ 0 - 50 m</p> <p><u>ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ</u>: ανεξάρτητα, πλήρως επιλέξιμο κατακόρυφη και οριζόντια μέτρηση απόστασης (point-to-point)</p> <p><u>ΣΑΡΩΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ</u>: 20,000 points/row, maximum</p> <p><u>ΣΑΡΩΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ</u>: 5,000 points/column, maximum</p>
ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	<p><u>ΘΕΣΗ</u>: 6mm</p> <p><u>ΑΠΟΣΤΑΣΗ</u>: 4mm</p> <p><u>ΓΩΝΙΑ(ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ/ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ)</u>: 12" / 12" (60 mrad / 60 mrad)</p>
ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ/ΘΟΡΥΒΟΣ	2 mm
ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΣΤΟΧΕΥΣΗΣ	2mm ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
DUAL-AXIS COMPENSATOR (ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΤΗΣ ΔΥΟ ΑΞΟΝΩΝ)	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ/ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ <u>ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ</u> : 1.5" / 7.275 mrad
ΠΕΔΙΟ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	<p><u>ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ</u>: 360^ο</p> <p><u>ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ</u>: 270^ο</p> <p>(δυνατότητα οπτικής παρατήρησης με το κουμπί Quickscan)</p>
ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΓΧΡΩΜΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ	<p><u>ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΠΟ ΤΟ ΧΡΗΣΤΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ PIXEL</u>: Low, Medium, High</p> <p><u>ΚΑΘΕ ΕΙΚΟΝΑ</u> 24° x 24°: 1024 x 1024 pixels (1 megapixel) (ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ "High")</p> <p><u>ΓΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΟ ΤΟ ΘΟΛΟ</u> 360° x 270°: 111 ΕΙΚΟΝΕΣ , ΠΕΡΙΠΟΥ. 64 megapixels.</p>

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά SCANSTATION2



Εικόνα 3.2 : Ύψος οργάνου για τον σαρωτή SCANSTATION 2

3. 3 Ο ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ TOPCON GTP – 3100

Κατά την διεξαγωγή όλων των πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon GTP-3105N, (που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.3), για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των στάσεων των οδύσεων που υλοποιήθηκαν. Οι συντεταγμένες αυτές αποτέλεσαν “την αναφορά” για την σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα που δίνει ο σαρωτής ScanStation2.

Ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon GTP-3105N, έχει τη δυνατότητα να μετρά μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (Reflectorless), κατά τον προσδιορισμό της θέσης σημείων σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην εκπομπή ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει σε οποιαδήποτε επιφάνεια, ανακλάται και επιστρέφει στο όργανο. Επομένως, δεδομένου ότι λειτουργεί παράγοντας ακτίνα Laser, ισχύουν τα όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο περί των ιδιοτήτων της συγκεκριμένης ακτινοβολίας.



Εικόνα 3.3: Γεωδαιτικός σταθμός (Reflectorless) TOPCON GTP - 3105

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 3.2).

Γωνιομετρική ακρίβεια:	5" (15cc)
Ελάχιστη ανάγνωση γωνίας:	1"
Εμβέλεια απόστασης με 1 πρίσμα:	4.000m
Ακρίβεια στην απόσταση:	2mm+2ppm
Ακρίβεια στην απόσταση με laser:	3mm+2ppm
Εμβέλεια απόστασης χωρίς πρίσμα:	350m

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά TOPCON GTP - 3100

3. 4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ

Για την επεξεργασία των δεδομένων πεδίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Cyclone, της εταιρείας Leica (www.leica-geosystems.com). Το λογισμικό αποτελείται από διάφορες ενότητες, όπως Cyclone-SCAN, Cyclone-REGISTER, Cyclone-MODEL, Cyclone-PUBLISHER, CloudWorx for

MicroStation, CloudWorx for Autocad, Cyclone II TOPO, και Cyclone-VIEWER Pro (εικόνα 3.4)



Εικόνα 3.4: το πρόγραμμα Cyclone 6 και οι ενότητες που περιλαμβάνει.

Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί νέφη σημείων. Συγκεκριμένα, το λογισμικό επιτρέπει στον χρήστη να πλοηγείται στο νέφος σημείων, να αφαιρεί την περιττή πληροφορία, να εκτελεί διαδικασίες συνόρθωσης και γεωαναφοράς και να πραγματοποιεί τρισδιάστατη μοντελοποίηση των σαρωμένων επιφανειών αντικειμένων. Στην παρούσα εργασία, δεν χρειάστηκε να γίνει μοντελοποίηση κάποιου αντικειμένου. Εκτελέστηκαν μόνο οι διαδικασίες της συνένωσης, όδευσης, χάραξης και γεωαναφοράς. Κάποιες από τις βασικές αρχές συνένωσης ενός νέφους σημείων του προγράμματος Cyclone 6, περιγράφονται παρακάτω.

3.4.1 Η διαδικασία της συνένωσης (registration) δύο η περισσότερων νεφών σημείων (point clouds)

Η δυνατότητα συνένωσης (registration) των νεφών σημείων (point clouds) που έχουν δημιουργηθεί κατά την διαδικασία της σάρωσης ενός αντικειμένου αποτελεί μία από τις βασικότερες λειτουργίες του λογισμικού.

Συνένωση είναι η διαδικασία κατά την οποία ενώνονται δύο η περισσότερα νέφη σημείων που λήφθηκαν από διαφορετικές θέσεις παρατήρησης, τα οποία έχουν μεταξύ τους ένα ελάχιστο ποσοστό επικάλυψης (τουλάχιστον 30

%), σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς (συνήθως τοπικό). Κατά την διαδικασία της συνένωσης επιλέγεται ένα νέφος σημείων έτσι ώστε το ενιαίο νέφος που θα προκύψει να έχει το δικό του τοπικό σύστημα αναφοράς και τα υπόλοιπα προσαρμόζονται σε αυτό με τις κατάλληλες μεταθέσεις και στροφές στις τρεις διευθύνσεις (X, Y, Z).

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι συνένωσης νεφών σημείων οι οποίοι είναι οι εξής :

α) Με χρήση ομόλογων σημείων (Cloud based Registration).

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται συνένωση διαδοχικών σαρώσεων που έχουν παρθεί από διαφορετικές θέσεις οργάνου και έχουν κάποια επικάλυψη (τουλάχιστον 30%) χρησιμοποιώντας τρία τουλάχιστον ομόλογα σημεία και στις δύο σαρώσεις. Για αύξηση της ακριβείας της συνένωσης, τα σημεία αυτά ενδείκνυται :

- I. Να είναι ευδιάκριτα (ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται σημεία πάνω σε γωνίες, στην κορυφή ή στην βάση ενός κατακόρυφου αντικειμένου)
- II. Να καλύπτουν όλη την επιφάνεια επικάλυψης.
- III. Να μην σχηματίζουν συμμετρικές επιφάνειες όπως μια ευθεία, ένα ισόπλευρο και ένα ισοσκελές τρίγωνο.

Τα σημεία αυτά επιλέγονται κατά το στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων και δεν γίνεται σήμανση τους πάνω στο αντικείμενο κατά την διάρκεια της σάρωσης. Μετά την επιλογή των ομόλογων σημείων δημιουργείται το cloud constraint που είναι ο δεσμός που δημιουργείται μεταξύ δύο σαρώσεων και προσδιορίζει τον βέλτιστο μετασχηματισμό ευθυγράμμισης μεταξύ δύο νεφών σημείων.

β) Με χρήση ειδικών στόχων (Target based Registration)

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται ειδικοί στόχοι (εικόνα 3.4) με υψηλή ανακλαστικότητα που αναγνωρίζονται από το λογισμικό του σαρωτή και

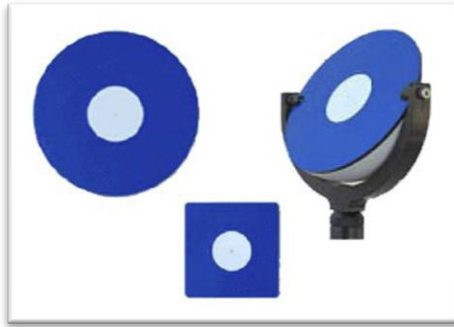
τοποθετούνται στην επικαλυπτόμενη επιφάνεια μεταξύ των σαρώσεων, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Κατά την τοποθέτηση των ειδικών στόχων θα πρέπει να τηρούνται οι εξής προϋποθέσεις :

- i. Χρήση τουλάχιστον τριών ειδικών στόχων.
- ii. Τοποθέτηση των στόχων με τρόπο ώστε να καλύπτουν σχεδόν όλη την επικαλυπτόμενη επιφάνεια.
- iii. Να μην τοποθετούνται πάνω στην ίδια ευθεία.
- iv. Να τοποθετούνται έτσι ώστε να καλύπτουν και τις τρεις διαστάσεις (X, Y, Z)

Οι στόχοι που περιγράφηκαν παραπάνω χρησιμοποιούνται αργότερα στην επεξεργασία των σαρώσεων από το λογισμικό Cyclone ως σημεία σύνδεσης προκειμένου να γίνει η συνένωση των νεφών σημείων. Με βάση αυτούς τους στόχους το ένα νέφος σημείων μετατίθεται και στρέφεται γύρω από τους τρεις άξονες έτσι ώστε να προσαρμοστεί στο άλλο νέφος σημείων που θεωρείται σαν σταθερό.

γ) Με γεωαναφορά (Registration to Survey controlled Targets)

Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά περιλαμβάνει τη μέθοδο χρήσης ειδικών στόχων με μόνη διαφορά ότι οι στόχοι έχουν πραγματικές συντεταγμένες σε κάποιο σύστημα αναφοράς και ότι αυτοί δεν χρειάζεται να τοποθετηθούν σε επικαλυπτόμενη επιφάνεια μεταξύ των διάφορων σαρώσεων. Οι συντεταγμένες αυτές συνήθως προσδιορίζονται με χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Total Station). Στην συνέχεια γίνεται ο κατάλληλος μετασχηματισμός μεταξύ των νεφών σημείων, εισάγονται μέσω του λογισμικού οι συντεταγμένες των στόχων και το τελικό συνενωμένο νέφος σημείων αποκτά το σύστημα αναφοράς που έχουν οι ειδικοί στόχοι.



Εικόνα 3.5: Ειδικοί στόχοι (HDS TARGETS)

Η διαδικασία της συνένωσης δυο διαδοχικών σαρώσεων, μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0, είναι η εξής:

1. Μέσα από το κεντρικό παράθυρο του προγράμματος (Navigator window), εκτελούμε την εντολή (Create Registration) μέσα στο αρχείο (Project) όπου θέλουμε να αποθηκεύσουμε το τελικό προϊόν της συνένωσης.
2. Ανοίγουμε το παράθυρο για τη συνένωση που δημιουργήσαμε (Registration) και εισάγουμε τις σαρώσεις που θέλουμε να συνενωθούν.
3. Στη συνέχεια, εισάγουμε τα κοινά σημεία ελέγχου μεταξύ των δυο σαρώσεων
4. Κάνουμε έλεγχο για την ακρίβεια και ορθότητα της συνένωσης
5. Εκτελούμε τις εντολές (Freeze the Registration) και (create a registered ScanWorld).
6. Γίνεται αυτόματη δημιουργία του τελικού συνενωμένου προϊόντος.

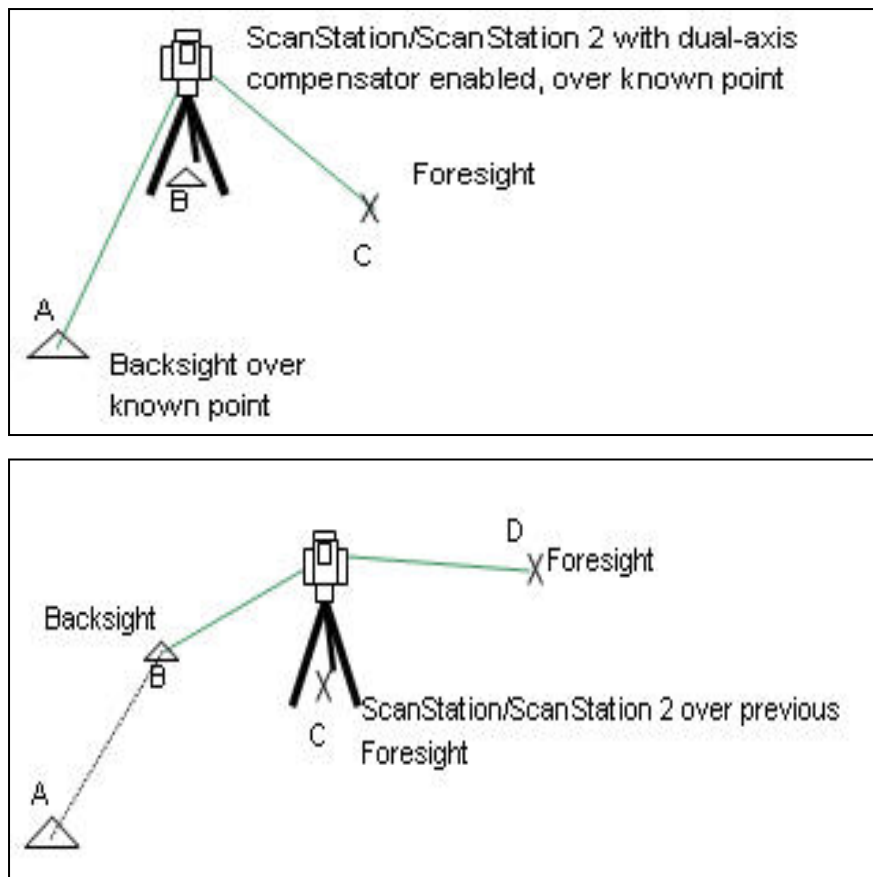
3.4.2 Η διαδικασία της όδευσης

Το προεπιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή, έχει ως αρχή των αξόνων ένα σημείο το οποίο βρίσκεται μέσα στον σαρωτή. Η δυνατότητα του αντισταθμιστή δύο αξόνων (dual-axis compensator) που διαθέτει το όργανο, επιτρέπει τη χρήση του σε συμβατικές τοπογραφικές εργασίες, όπως όδευση και χάραξη. Επειδή ο αντισταθμιστής δύο αξόνων, διορθώνει αυτόματα τα νέφη σημείων κατά την κατακόρυφο, η εγκάρσια διαδικασία δεν απαιτεί τόσους πολλούς στόχους, όσους απαιτούνται κανονικά κατά την μέτρηση μιας όδευσης με συμβατικό όργανο.

Η διαδικασία της όδευσης ξεκινά ανοίγοντας το παράθυρο Traverse από την επιλογή Window του κεντρικού μενού. Το πρόγραμμα Cyclone 6, υποστηρίζει γραμμικές οδεύσεις (ανοικτές ή κλειστές) (σχήματα 3.4., 3.5). Αξίζει να σημειωθεί, ότι για να μπορέσει να εκτελεστεί η όδευση απαιτούνται δύο σημεία με γνωστές συντεταγμένες.

Η όδευση αρχίζει με τον σαρωτή, τοποθετημένο πάνω από ένα γνωστό σημείο και στοχεύοντας ένα γνωστό επίσης όπισθεν σημείο (backsight). Οι γνωστές συντεταγμένες εισάγονται από την εντολή import coordinate list ή από την εντολή add/replace coordinates. Στη συνέχεια, στοχεύετε το επόμενο άγνωστο σημείο της όδευσης (έμπροσθεν/foresight). Όταν αποκτηθούν τα δεδομένα από τη συγκεκριμένη στάση, ο scanner τοποθετείται στο επόμενο σημείο. Το σημείο αυτό είναι το σημείο που μετρήθηκε ως έμπροσθεν στην προηγούμενη φάση. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για όλα τα σημεία της όδευσης έτσι ώστε να παρθούν δεδομένα για κάθε επιθυμητό σημείο. (Σχήμα 3.3) Τελειώνοντας την όδευση, και υπολογίζοντας τις συντεταγμένες και του τελευταίου σημείου, επιλέγεται η εντολή Close.

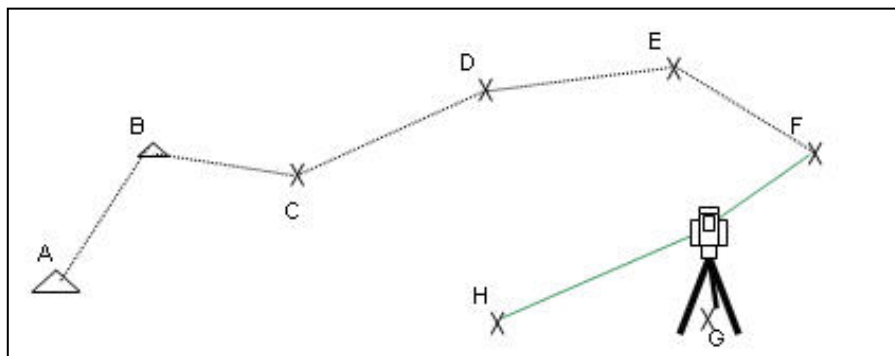
Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται και σχηματικά (σχήμα 3.3):



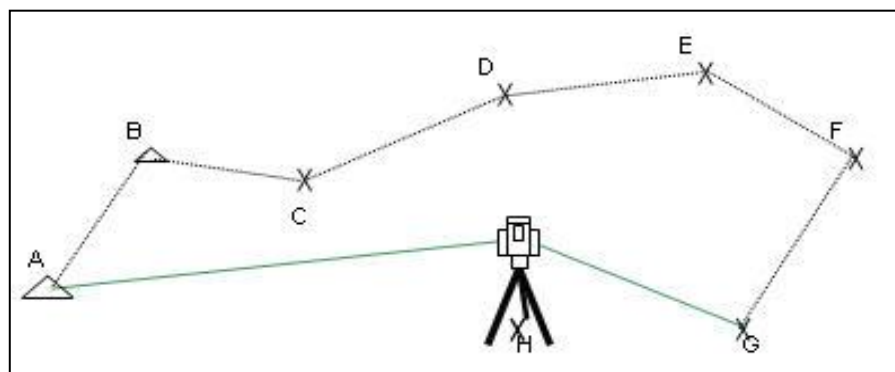
Σχήμα 3.3: Η διαδικασία της όδευσης με τον scanstation2

Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι η εσωτερική ακρίβεια μέτρησης των ειδικών στόχων από το σαρωτή είναι της τάξης του 1-2mm.

Ο σαρωτής τοποθετείται στο σημείο B, γνωστών συντεταγμένων. Στη συνέχεια, στοχεύονται τα σημεία A και C, σημείο όπισθεν και εμπροσθεν αντίστοιχα. Έτσι, υπολογίζονται οι συντεταγμένες του σημείου C. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τοποθετώντας τον σαρωτή στο γνωστό πλέον σημείο C, και στοχεύονται τα σημεία B και D. Έτσι, υπολογίζονται οι συντεταγμένες του σημείου D. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν υπολογισθούν οι συντεταγμένες όλων των στάσεων της όδευσης.



Σχήμα 3.4: Ανοικτή όδευση



Σχήμα 3.5: Κλειστή όδευση

3.4.3 Η διαδικασία ορισμού των παραμέτρων του πεδίου μετρήσεων (Field Setup)

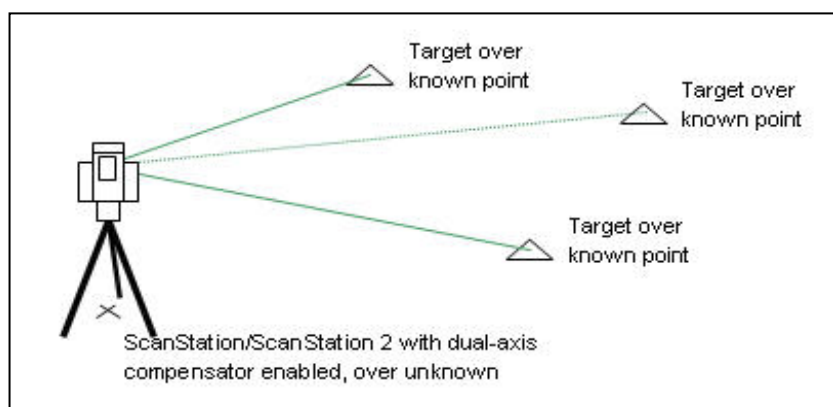
Οι μετρήσεις που συλλέγει ο σαρωτής σε κάθε στάση οργάνου παράγουν ένα νέφος σημείων, οι θέσεις των οποίων υπολογίζονται στο σύστημα αναφοράς του σαρωτή, το οποίο είναι προεπιλεγμένο από το σαρωτή και ορίζεται ως εξής:

- η αρχή του συστήματος ταυτίζεται με το σημείο που παράγεται η ακτίνα laser του οργάνου,
- ο άξονας y ταυτίζεται με το μαγνητικό βορρά που προσδιορίζεται από τη μαγνητική πυξίδα του σαρωτή,
- ο άξονας x επιλέγεται με κατεύθυνση προς την ανατολή έτσι ώστε να προκύπτει δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς,
- ο άξονας z ταυτίζεται με την κατακόρυφο στη θέση του οργάνου.

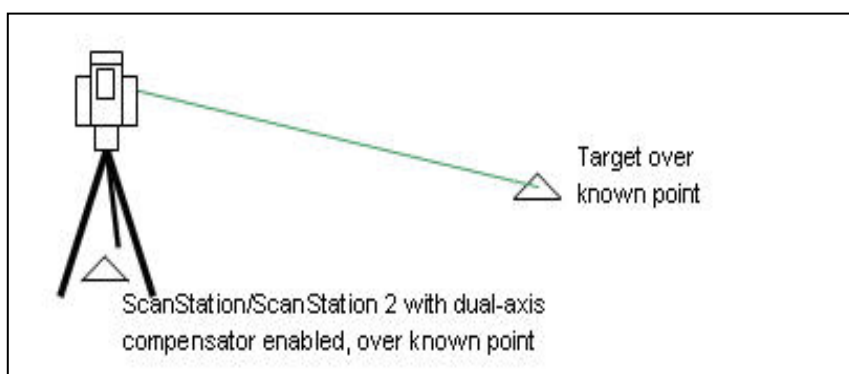
Ο ορισμός της σχέσης μεταξύ του σαρωτή και ενός γνωστού συστήματος συντεταγμένων, γίνεται μέσω της διαδικασίας ορισμού των παραμέτρων του πεδίου μετρήσεων (Field Setup). Έτσι, τα αποτελέσματα των μετρήσεων που δίνει ο σαρωτής μετατρέπονται και παρουσιάζονται αυτόματα στο γνωστό σύστημα συντεταγμένων που έχει ορισθεί από το χρήστη και όχι στο προεπιλεγμένο σύστημα του σαρωτή. Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη πριν από της έναρξη της όδευσης και της χάραξης, και ουσιαστικά μας επιτρέπει να αλλάζουμε το σύστημα συντεταγμένων που μετράει ο σαρωτής.

Η μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να γίνει η διαδικασία ορισμού των παραμέτρων του πεδίου μετρήσεων είναι οι εξής:

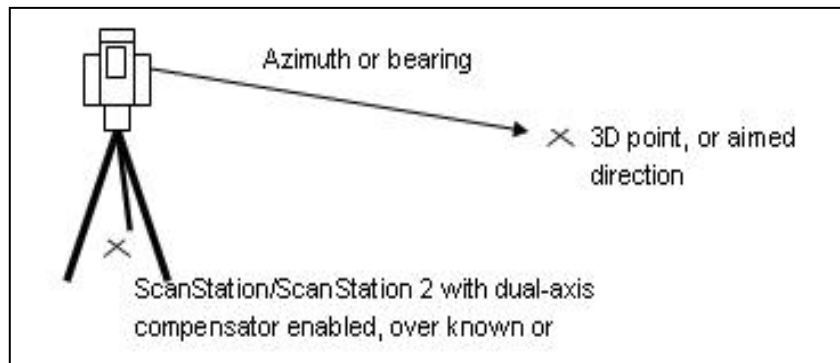
- Με τη βοήθεια δύο ή περισσότερων στόχων γνωστών συντεταγμένων.



- Τοποθετώντας τον σαρωτή σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων και στοχεύοντας ένα επίσης γνωστό σημείο.



- Στοχεύοντας ένα σημείο με γνωστές και τις τρεις διαστάσεις του και εισάγοντας το αζιμούθιο τις ευθείας που ορίζουν ο σαρωτής και το σημείο.



Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο σημεία γνωστών συντεταγμένων. Τοποθετώντας τον σαρωτή σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων και στοχεύοντας ένα επίσης γνωστό σημείο. Η μέθοδος αυτή ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία:

1. Ο σαρωτής και ο ειδικός στόχος (σφαίρα) τοποθετούνται (οριζοντιώνονται και κεντρώνονται) πάνω από τα σημεία γνωστών συντεταγμένων.
2. Μέσα από το πρόγραμμα Cyclone 6.0 που διαθέτει ο φορητός υπολογιστής γίνεται σύνδεση του σαρωτή με το λογισμικό και ενεργοποιείται ο αντισταθμιστής δύο αξόνων (dual-axis compensator).
3. Εισάγονται οι συντεταγμένες των γνωστών σημείων με τη εντολή Add/Replace Coordinate και ανοίγεται το παράθυρο της μεθόδου Field Setup.
4. Εισάγεται η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί, για εμάς μέθοδος (Known Backsight).
5. Εισάγονται η ονομασία του σημείου που έχουν τοποθετηθεί ο σαρωτής και η σφαίρα, καθώς και τα ύψη οργάνου και στόχου.
6. Εισάγεται ο τύπος του στόχου που έχει τοποθετηθεί στο γνωστό σημείο (σφαίρα) και εκτελούνται οι εντολές Acquire και στη συνέχεια Calculate και Apply. Η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί.

3.4.4 Η διαδικασία της χάραξης

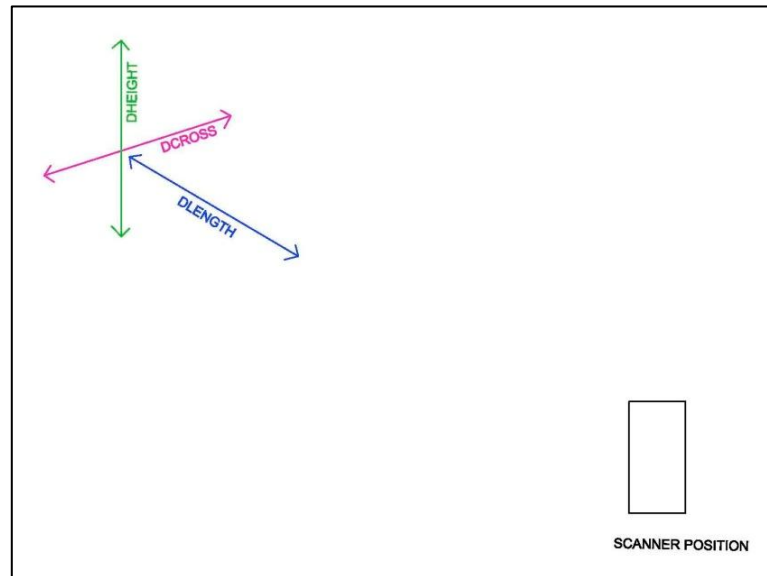
Πριν από τη διαδικασία της χάραξης, απαιτείται να γίνει πρωτίστως η διαδικασία του Field Setup, ώστε να ορίσουμε στον σαρωτή το σύστημα συντεταγμένων που έχουν μετρηθεί τα σημεία που θέλουμε να χαράξουμε.

Η διαδικασία της χάραξης, μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0, είναι η εξής:

1. Η διαδικασία της χάραξης, ξεκινά ανοίγοντας το παράθυρο Stakeout από την επιλογή Window του κεντρικού μενού.
2. Εισάγεται η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί, στην συγκεκριμένη εργασία επειδή ήταν ήδη γνωστές οι συντεταγμένες του σημείου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Orthogonal from Station.
3. Εισάγεται η ονομασία του σημείου χάραξης, καθώς και το ύψος του στόχου σε σχέση με το σημείο χάραξης. Σε περίπτωση που έχουμε επίπεδο στόχο τοποθετημένο πάνω ακριβώς από το σημείο χάραξης, το ύψος αυτό είναι μηδενικό.
4. Εισάγεται ο τύπος του στόχου που έχει τοποθετηθεί στην περιοχή του σημείου χάραξης και εκτελείται ένα χονδροειδές σκανάρισμα ώστε να αναγνωρισθεί η θέση του στόχου.
5. Επιλέγουμε μέσα από το παραγόμενο νέφος των σημείων το σημείο του στόχου και εκτελούμε την εντολή Acquire Target.
6. Στη συνέχεια το πρόγραμμα παρουσιάζει οδηγίες μετακίνησης του στόχου σε σχέση με το σημείο που πρέπει να χαραχθεί. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η θέση του στόχου να ταυτιστεί με το σημείο που θέλουμε να χαράξουμε.

Για την πραγματοποίηση της χάραξης απαιτούνται δύο άτομα. Το ένα άτομο πρέπει να διαχειρίζεται τον σαρωτή, και το δεύτερο άτομο πρέπει να μετακινεί το στόχο κατά τις υποδεικνυόμενες κατευθύνσεις μέχρι ο στόχος να βρεθεί επάνω από το σημείο που θέλουμε να χαράξουμε.

Οι οδηγίες μετακίνησης του στόχου δίνονται μέσω της εντολής Roadman Instructions. Συγκεκριμένα, δίνονται οδηγίες για μετακίνηση του στόχου κατά τις παρακάτω διευθύνσεις:



Σχήμα 3.6: Οδηγίες μετακίνησης του στόχου ώστε να ταυτιστεί με το σημείο χάραξης

Η διεύθυνση DCROSS, αναφέρεται στη μετακίνηση του σημείου δεξιά ή αριστερά σε σχέση με τη θέση του Scanner.

Η διεύθυνση DLENGTH αναφέρεται στη μετακίνηση του σημείου κοντά ή μακριά σε σχέση με τη θέση του Scanner.

Η διεύθυνση DHEIGHT αναφέρεται στη μετακίνηση του σημείου πάνω ή κάτω σε σχέση με τη θέση του Scanner.

4.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

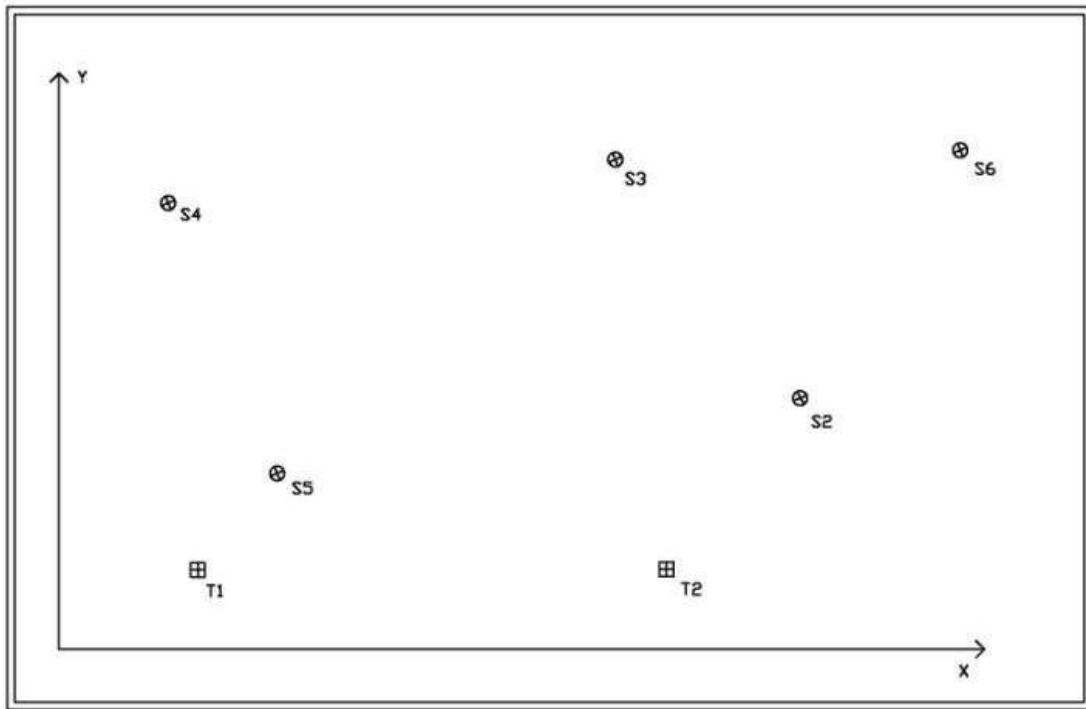
Στο πλαίσιο των εργασιών πεδίου της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν τέσσερα ανεξάρτητα πειράματα. Χρησιμοποιώντας τα όργανα που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο οργανώθηκαν κατάλληλα τα τέσσερα πειράματα, ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί το scanstation2 σε κλασικές γεωδαιτικές εφαρμογές, όπως όδευση και χάραξη.

Τα δύο πρώτα πειράματα, πραγματοποιήθηκαν εντός του κτιρίου Λαμπαδαρίου της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών ΕΜΠ. Τα επόμενα πειράματα, πραγματοποιήθηκαν εντός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

4.2. ΠΕΙΡΑΜΑ 1^ο

4.2.1 Υλοποίηση Γεωδαιτικού Δικτύου

Το πρώτο πείραμα, πραγματοποιήθηκε στη αίθουσα εργαστηρίου Υ23. Με τη βοήθεια υλοποιημένων βάθρων γνωστών συντεταγμένων, που προϋπήρχαν στην αίθουσα από προηγούμενη διπλωματική εργασία, δόθηκαν συντεταγμένες με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας σε πέντε σημεία του δαπέδου μέσα στην αίθουσα. Τα σημεία αυτά υλοποιήθηκαν στο έδαφος με τη βοήθεια χάρτινων στόχων που στη συνέχεια κολλήθηκαν ώστε να παραμείνουν σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Παρακάτω παρατίθεται το σκαρίφημα βάθρων και σημείων του δαπέδου, με άξονες, τους άξονες τους συστήματος συντεταγμένων όπου ανήκουν τα βάθρα και τα σημεία του δαπέδου, όπως αυτό σχεδιάστηκε σε περιβάλλον AutoCAD 2010 (Σχήμα 4.1)



Σχήμα 4.1: Σκαρίφημα βάθρων και σημείων του δαπέδου στην αίθουσα Y23

Οι συντεταγμένες των βάθρων T1 και T2, οι οποίες θεωρήθηκαν γνωστές από προηγούμενη διπλωματική, είναι οι εξής:

T1 (6.564 , 2.491, -0.010) m

T2 (12.502 , 2,498, -0.009) m

Έτσι, πυκνώνοντας το δίκτυο με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας, δόθηκαν δυσδιάστατες συντεταγμένες στις στάσεις S2, S3, S4, S5, S6 (βλ. κεφάλαιο 5.1).

Συγκεκριμένα, τοποθετήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός στις θέσεις των βάθρων T1 και T2 και μετρήθηκαν διαδοχικά οι οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες για όλα τα σημεία των στάσεων, καθώς και τα ύψη οργάνου και στόχων.

Ο υπολογισμός των υψομέτρων των στόχων, έγινε με τη μέθοδο της τριγωνομετρικής υψομετρίας (βλ. σχήμα 4.2). Υπολογίσθηκαν οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ των γνωστών σημείων T1 και T2 και των σημείων των στάσεων. Για να υπολογιστούν οι υψομετρικές διαφορές, χρησιμοποιήθηκαν

οι μετρημένες κατακόρυφες γωνίες, οι οριζόντιες αποστάσεις καθώς και τα ύψη οργάνου και στόχων. Έτσι, με τη βοήθεια του τύπου:

$$\Delta H = D \cdot \cot z + Y_0 - Y_\Sigma$$

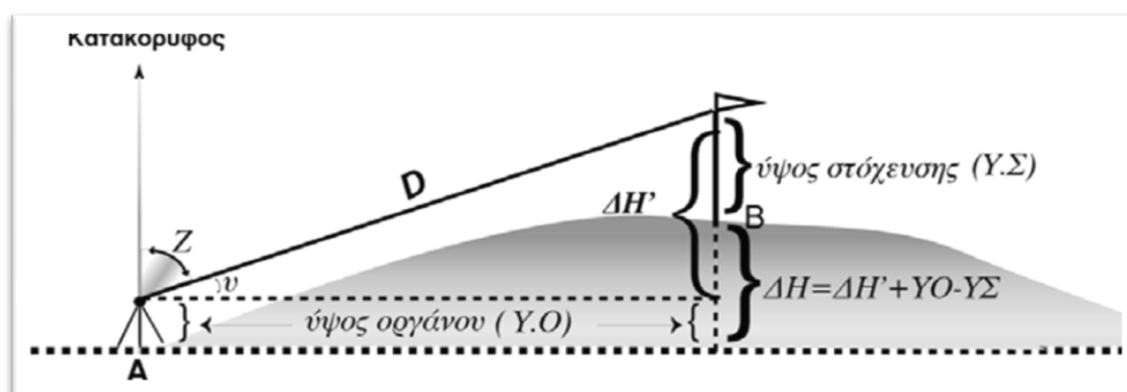
Όπου

D : Η οριζόντια απόσταση οργάνου – στόχου

Z : Η κατακόρυφη γωνία μεταξύ οργάνου – στόχου

Y_0 : Το ύψος οργάνου

Y_Σ : Το ύψος στόχου



Σχήμα 4.2: Σχηματική παράσταση Τριγωνομετρικής υψομετρίας

Στη συνέχεια, τα σημεία S2, S3, S4, S5, και S6, χρησιμοποιήθηκαν ως στάσεις της όδευσης που μετρήθηκε από τον Scanstation2.

4.2.2 Σάρωση του περιβάλλοντος χώρου και μέτρηση όδευσης με τον Scanstation2

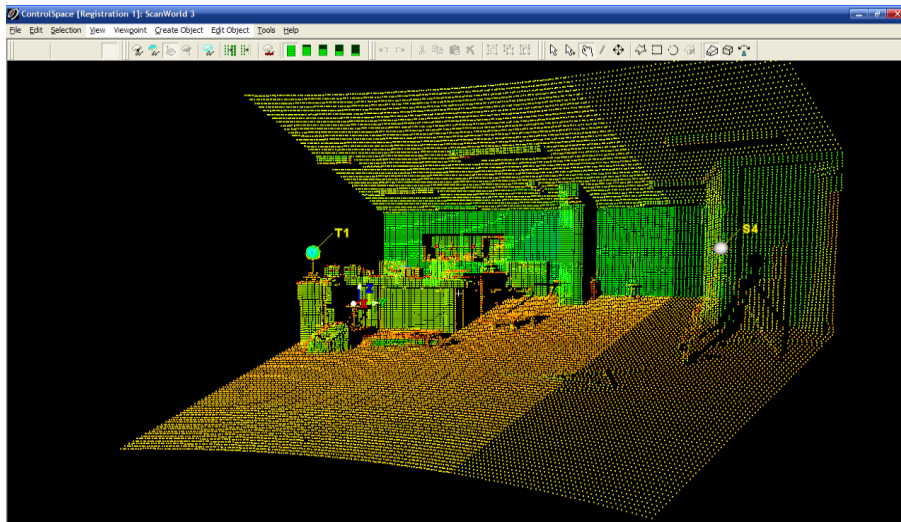
Αφού ολοκληρώθηκε το κομμάτι των μετρήσεων με τον γεωδαιτικό σταθμό, επόμενο βήμα ήταν η συλλογή της τρισδιάστατης πληροφορίας με τη χρήση του σαρωτή. Έπειτα, ακολούθησε ο ανεξάρτητος υπολογισμός των συντεταγμένων των στάσεων S2, S3, S4, S5, και S6 με την επίλυση όδευσης, καθώς και η χάραξη των ίδιων σημείων στο έδαφος, μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0 και τη χρήση του σαρωτή.

Η όδευση και η χάραξη των σημείων S2, S3, S4, S5, και S6 με τον Scanstation2, έγινε με βάση τη διαδικασία που προτείνεται από το λογισμικό και περιγράφηκε στην ενότητα 3.4.

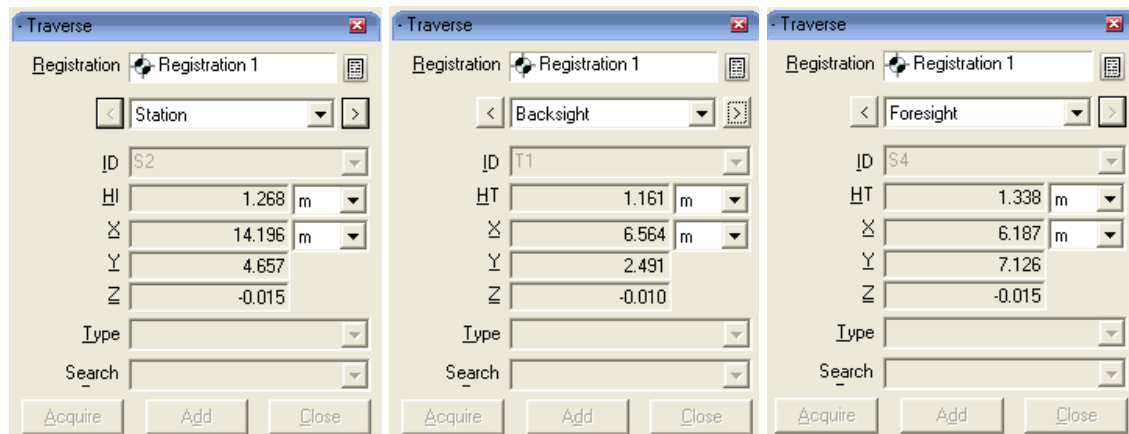
Αρχικά, τοποθετήθηκε ο σαρωτής στο σημείο S2. Στα σημεία T1 και S4, τοποθετήθηκαν ειδικοί στόχοι που αναγνωρίζονται από τον σαρωτή (εικόνα 4.1) και συγκεκριμένα τοποθετήθηκαν σφαίρες (HDS Sphere Target). Οι συντεταγμένες των T1 και S2, θεωρήθηκαν γνωστές. Στη συνέχεια, σαρώθηκαν οι στόχοι στις θέσεις T1 και S2 (εικόνα 4.2) και μετρώντας τα ύψη οργάνου και στόχων, υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες της στάσης S4 μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0 (εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.1: Οι στάσεις T1 και S4 με θέση οργάνου στην θέση S2



Εικόνα 4.2: Σάρωση των στάσεων T1 και S4 με θέση οργάνου στην θέση S2

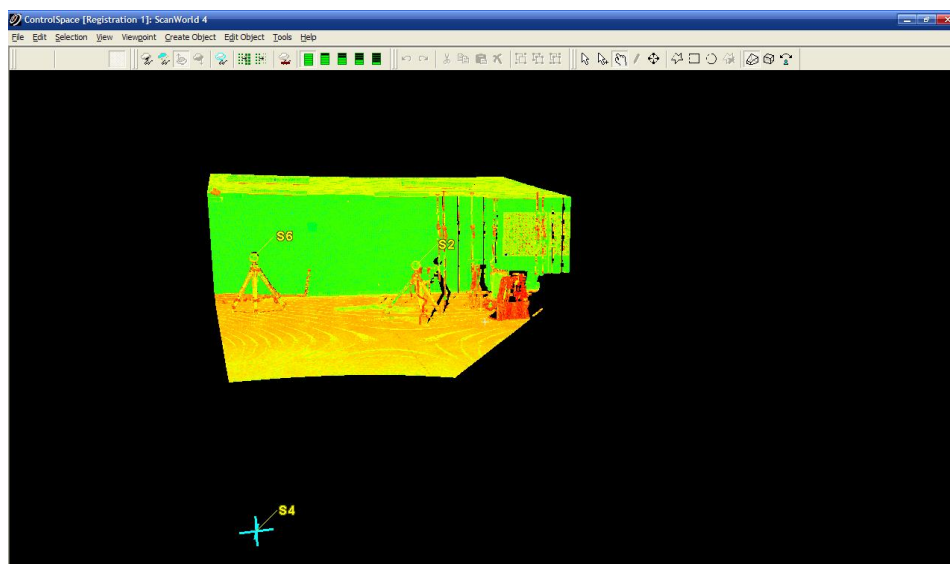


Εικόνα 4.3 : Διαδικασία Υπολογισμού συντεταγμένων στάσης S4 με το πρόγραμμα Cyclone 6

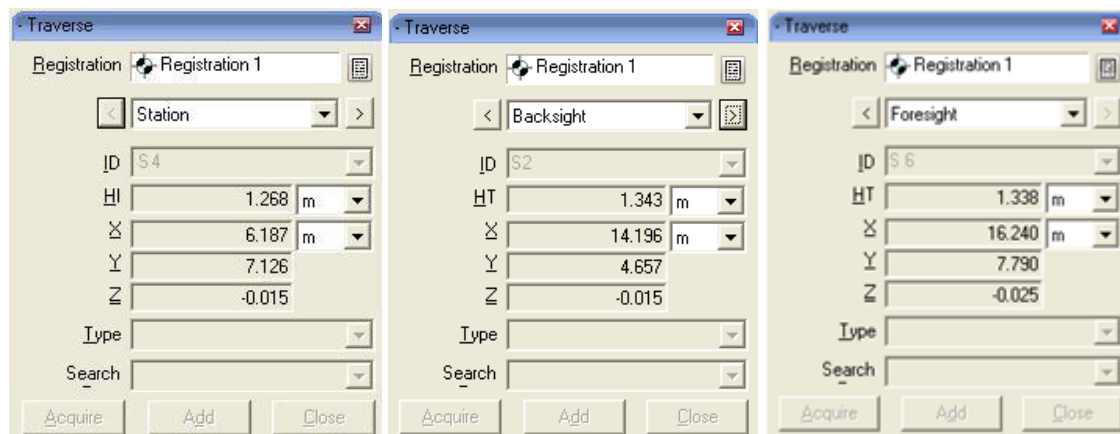
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται διαδοχικά τοποθετώντας τον σαρωτή στη θέση S4 (εικόνα 4.4) και σαρώνοντας αρχικά τη θέση S2 και έπειτα τη θέση S6 (εικόνα 4.5). Έτσι, μετρώντας και εισάγοντας τα ύψη οργάνου και στόχων, υπολογίζονται μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0, οι συντεταγμένες της στάσης S6.



Εικόνα 4.4: Οι στάσεις S2 και S6 με θέση οργάνου στην θέση S4

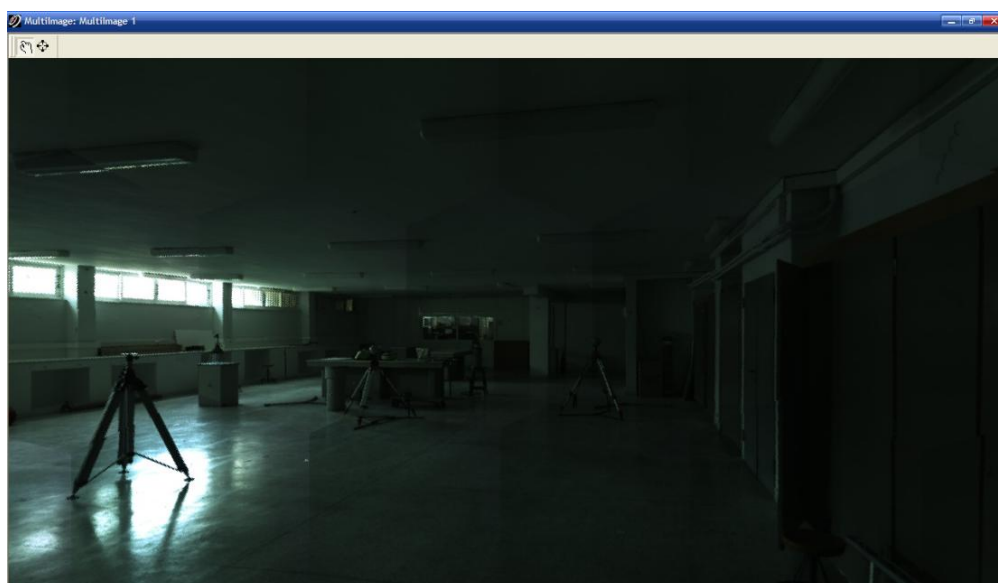


Εικόνα 4.5: Σάρωση των στάσεων S2 και S6 με θέση οργάνου στην θέση S4

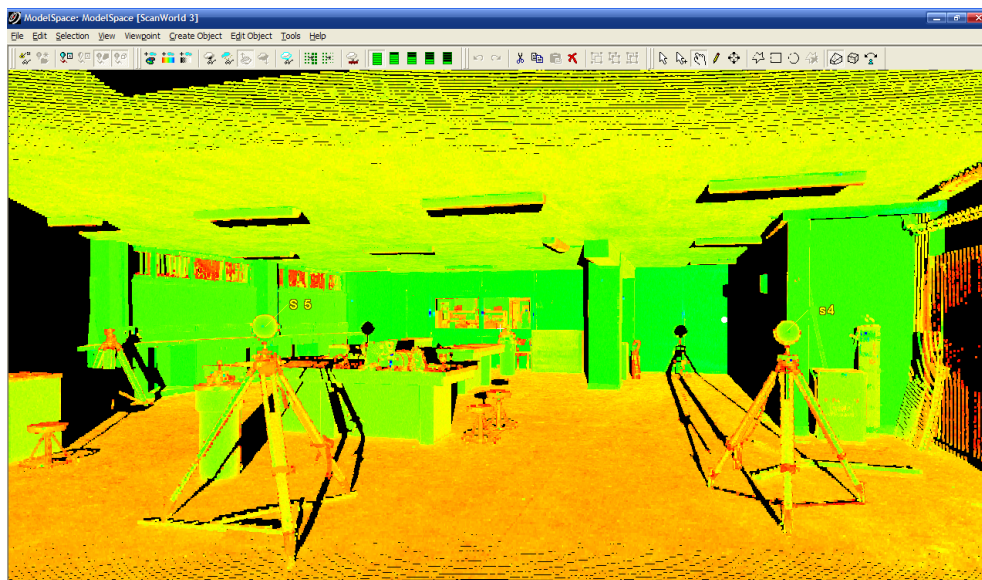


Εικόνα 4.6 : Διαδικασία Υπολογισμού συντεταγμένων στάσης S6 με το πρόγραμμα Cyclone 6

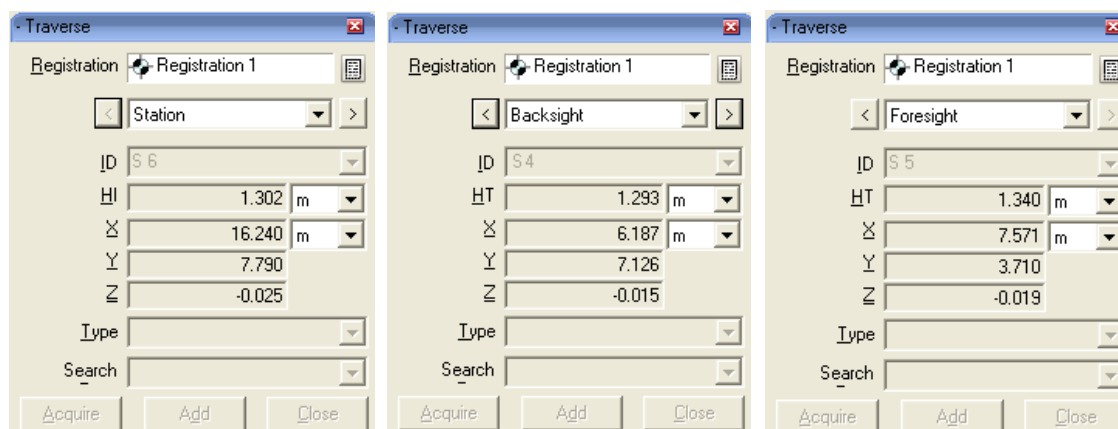
Ακολούθως, τοποθετείται ο σαρωτής στη θέση S6 (εικόνα 4.7). Σαρώνονται οι στόχοι στις θέσεις S4 και S5 (εικόνα 4.8). Στη συνέχεια εισάγοντας τα μετρημένα ύψη οργάνου και στόχων, υπολογίζονται οι συντεταγμένες της στάσης S5 (εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.7: Οι στάσεις S4 και S5 με θέση οργάνου στην θέση S6

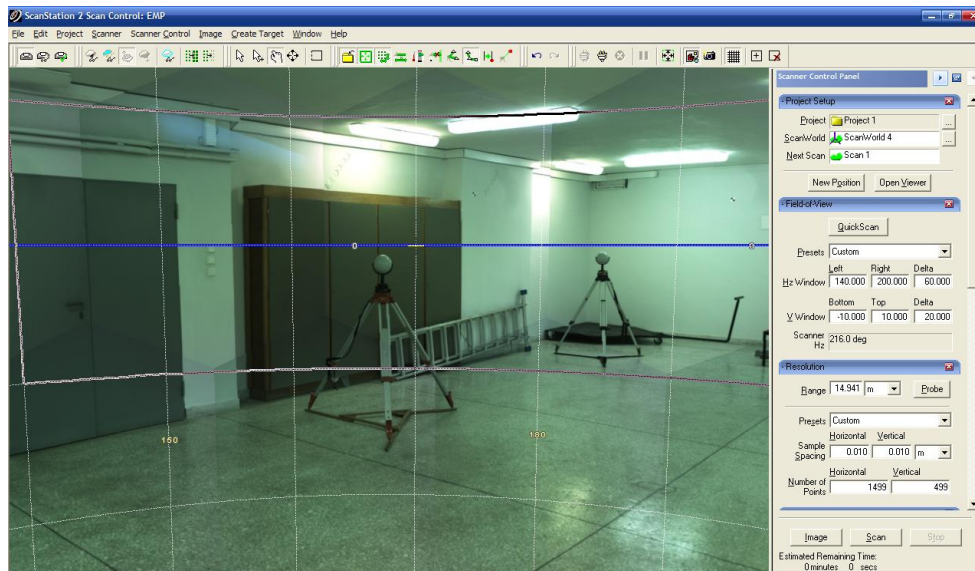


Εικόνα 4.8: Σάρωση των στάσεων S4 και S5 με θέση οργάνου στην θέση S6

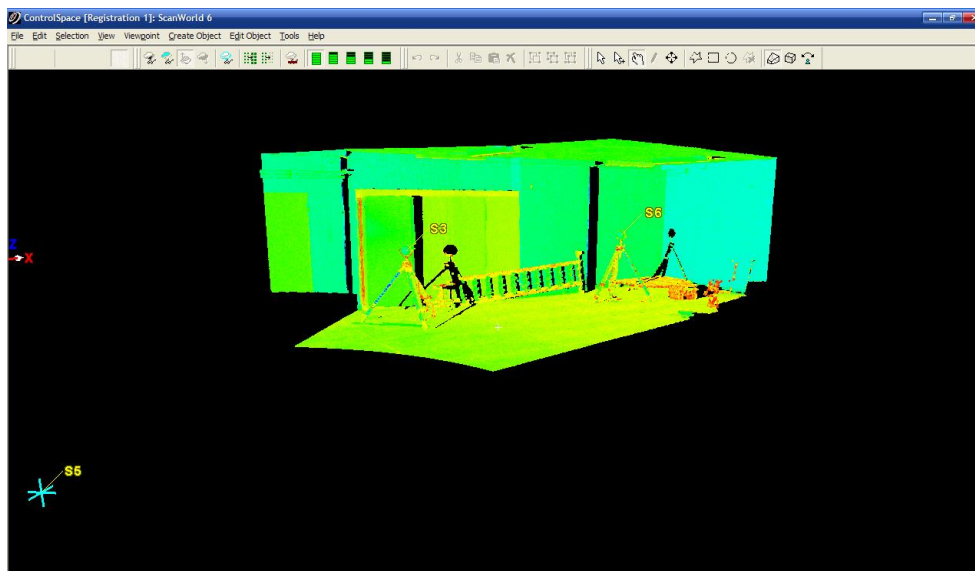


Εικόνα 4.9 : Διαδικασία Υπολογισμού συντεταγμένων στάσης S5 με το πρόγραμμα Cyclone 6

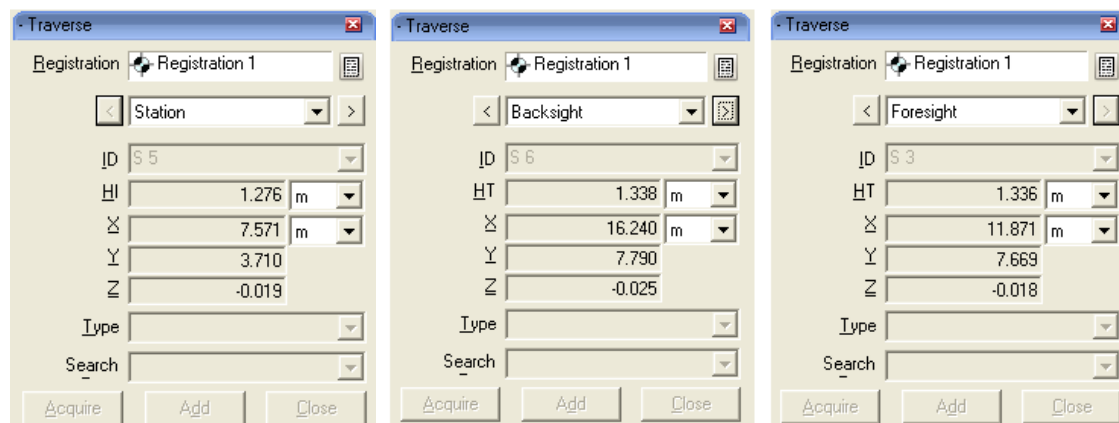
Τέλος, τοποθετείται ο σαρωτής στη θέση S5 (εικόνα 4.10) και σαρώνονται οι στόχοι στις στάσεις S6 και S3 (εικόνα 4.11). Έτσι, εισάγοντας και πάλι τα μετρημένα ύψη οργάνου και στόχων, υπολογίζονται οι συντεταγμένες της στάσης S3 (εικόνα 4.12).



Εικόνα 4.10: Οι στάσεις S3 και S6 με θέση οργάνου στην θέση S5



Εικόνα 4.11: Σάρωση των στάσεων S3 και S6 με θέση οργάνου στην θέση S5

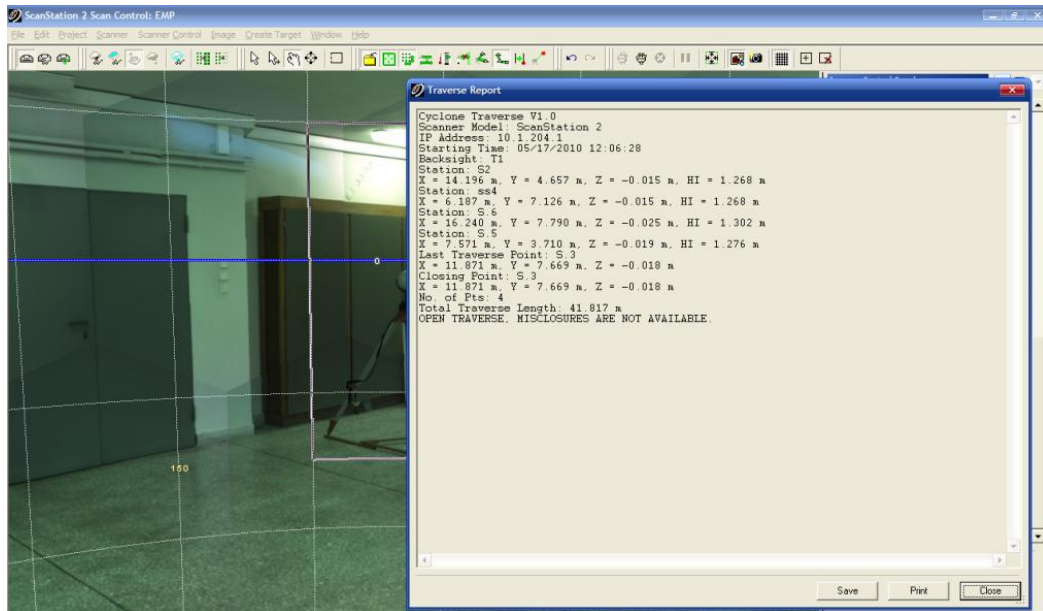


Εικόνα 4.12 : Διαδικασία Υπολογισμού συντεταγμένων στάσης S3 με το πρόγραμμα Cyclone 6

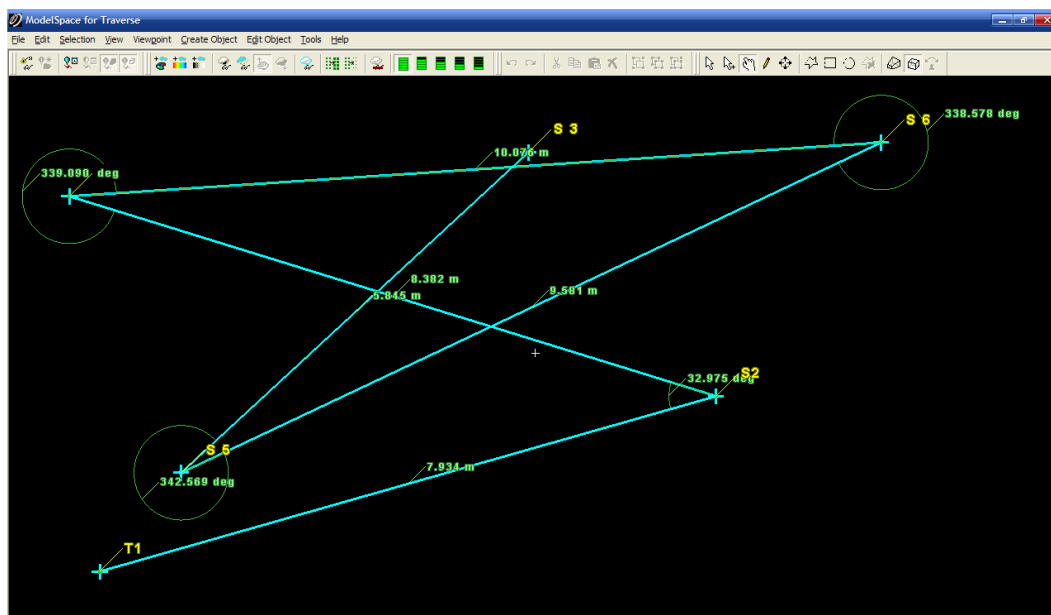
Η παραπάνω διαδικασία και ο υπολογισμός των συντεταγμένων των στάσεων της όδευσης γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα (εικόνα 4.13). Οι ζητούμενες συντεταγμένες παρουσιάζονται στη οθόνη διαδοχικά κατά τη διαδικασία των μετρήσεων και χρησιμοποιούνται αυτόματα για τον υπολογισμό της επόμενης στάσης της όδευσης.

Οι μετρήσεις των σημείων της όδευσης δεν πραγματοποιήθηκαν κατά την διαδοχικά (αύξουσα) σειρά των αριθμημένων κορυφών της όδευσης. Κάτι τέτοιο δεν επηρεάζει καθόλου τα αποτελέσματα. Στην πράξη, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.4, μετρήθηκαν κατά σειρά τα αντιδιαμετρικά σημεία. Αυτό έγινε γιατί ο σαρωτής κατά τον κατασκευαστή είναι προτιμότερο να μετράει σημεία που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των πέντε μέτρων. Όμως, επειδή το πείραμα διεξήχθη μέσα στον εσωτερικό χώρο της Υ23, οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων της όδευσης ήταν σχετικά περιορισμένες. Επομένως, ως διαδοχικά σημεία της όδευσης, επιλέχθηκαν σημεία που βρίσκονταν πιο μακριά από πέντε μέτρα. Αυτό, μας διασφαλίζει ότι δεν υπεισήρθε στα αποτελέσματα κάποιο επιπλέον σφάλμα, λόγω των πολύ κοντινών αποστάσεων του laser.

Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων της όδευσης S2, S3, S4, S5, και S6 παρουσιάζονται με την παρακάτω μορφή (εικόνα 4.13) ή εξάγονται σε αρχείο txt:



Εικόνα 4.13: Επίλυση της όδευσης με τον Scanstation 2



Σχήμα 4.3: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης με τα μετρημένα μεγέθη, όπως αυτά υπολογίσθηκαν από τον σαρωτή μέσω του προγράμματος Cyclone, κατά τον υπολογισμό των συντεταγμένων της στάσης S3.

4.2.3 Χάραξη των σημείων της όδευσης με τον Scanstation2

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία της όδευσης και των υπολογισμών των τρισδιάστατων συντεταγμένων όλων των στάσεων, ακολούθησε η χάραξη των ίδιων σημείων στο έδαφος. Η χάραξη έγινε με τη βοήθεια του Scanstation2, μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0.

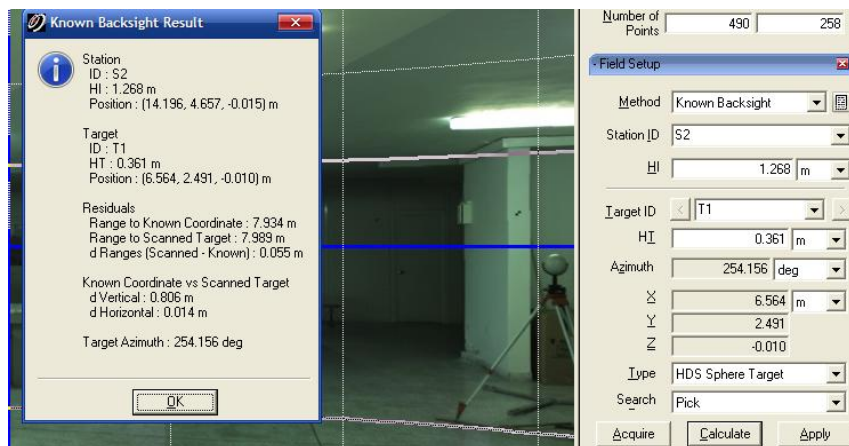
Για τη έναρξη της διαδικασίας της χάραξης, απαιτείται να γίνει πρωτίστως η διαδικασία του Field Setup, ώστε να ορίσουμε στον σαρωτή το σύστημα συντεταγμένων των σημείων που θέλουμε να χαράξουμε.

Υπενθυμίζεται ότι, οι μετρήσεις που συλλέγει ο σαρωτής σε κάθε στάση οργάνου παράγουν ένα νέφος σημείων, οι θέσεις των οποίων υπολογίζονται στο σύστημα αναφοράς του σαρωτή (βλ κεφάλαιο 2.10) το οποίο είναι προεπιλεγμένο από το σαρωτή

Η σύνδεση μεταξύ του συστήματος συντεταγμένων του σαρωτή και ενός άλλου γνωστού συστήματος συντεταγμένων, γίνεται μέσω της διαδικασίας ορισμού των παραμέτρων του πεδίου μετρήσεων (Field Setup). Έτσι, τα αποτελέσματα των μετρήσεων που δίνει ο σαρωτής μετατρέπονται και παρουσιάζονται αυτόματα στο γνωστό σύστημα συντεταγμένων που έχει οριστεί από το χρήστη και όχι στο προεπιλεγμένο σύστημα του σαρωτή.

Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη πριν από της έναρξη της χάραξης, και ουσιαστικά μας επιτρέπει να αλλάζουμε το σύστημα συντεταγμένων που μετράει ο σαρωτής.

Οι παράμετροι μετασχηματισμού του συστήματος συντεταγμένων του σαρωτή και του συστήματος συντεταγμένων των γνωστών σημείων T1 και T2, παρουσιάζεται από το πρόγραμμα με την παρακάτω μορφή (Εικόνα 4.14). Ο υπολογισμός έγινε τοποθετώντας τον σαρωτή σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων και στοχεύοντας ένα επίσης γνωστό σημείο.



Εικόνα 4.14: Οι παράμετροι μετασχηματισμού του συστήματος συντεταγμένων του σαρωτή και του συστήματος συντεταγμένων των γνωστών σημείων T1, T2.

Ο σαρωτής τοποθετήθηκε στη στάση S2 και στο σημείο T1 τοποθετήθηκε ένας σφαιρικός στόχος (Εικόνα 4.15), ώστε να αναγνωρίζεται από το όργανο.



Εικόνα 4.15: Σφαιρικός στόχος τοποθετημένος στο σημείο T1

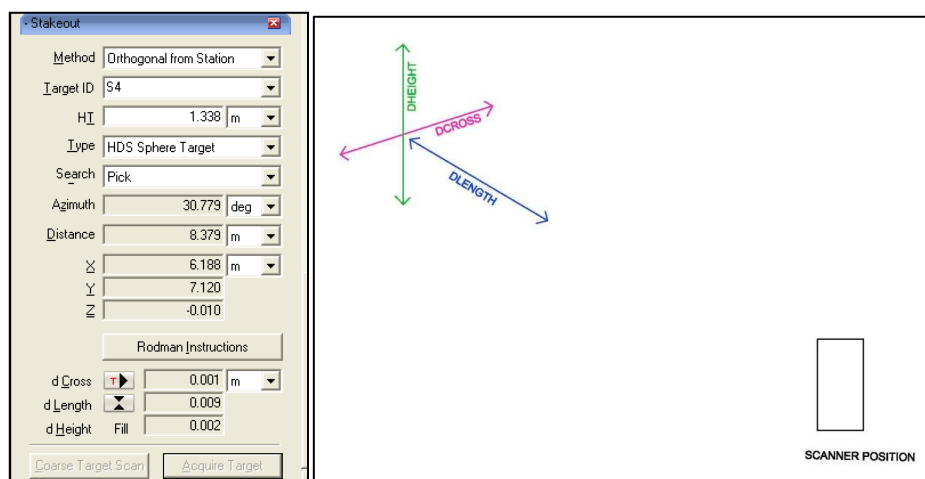
Στο παράθυρο του Field Setup, προσδιορίσθηκαν ο τύπος του στόχου που τοποθετήθηκε στο σημείο T1, τα ύψη οργάνου και στόχου, καθώς και οι συντεταγμένες των σημείων T1 και S2. Στη συνέχεια αναγνωρίσθηκε ο στόχος του σημείου T1, μέσω της εντολής Acquire Target και υπολογίσθηκαν οι παράμετροι μετασχηματισμού του συστήματος συντεταγμένων του σαρωτή και του συστήματος συντεταγμένων των γνωστών σημείων (Εικόνα 4.14) .

Στη συνέχεια, εισήχθησαν οι συντεταγμένες των στάσεων S3, S4, S5, και S6, που θέλουμε να χαράξουμε, και τοποθετήθηκαν επίπεδοι στόχοι ακριβώς πάνω από τα σημεία S3, S4, S5, και S6 (Εικόνα 4.16) . Για κάθε ένα από τα σημεία των στάσεων, εκτελέστηκαν οι εντολές Coarse Target Scan και Acquire Target αντίστοιχα, ώστε να αναγνωρισθεί η θέση των στόχων.



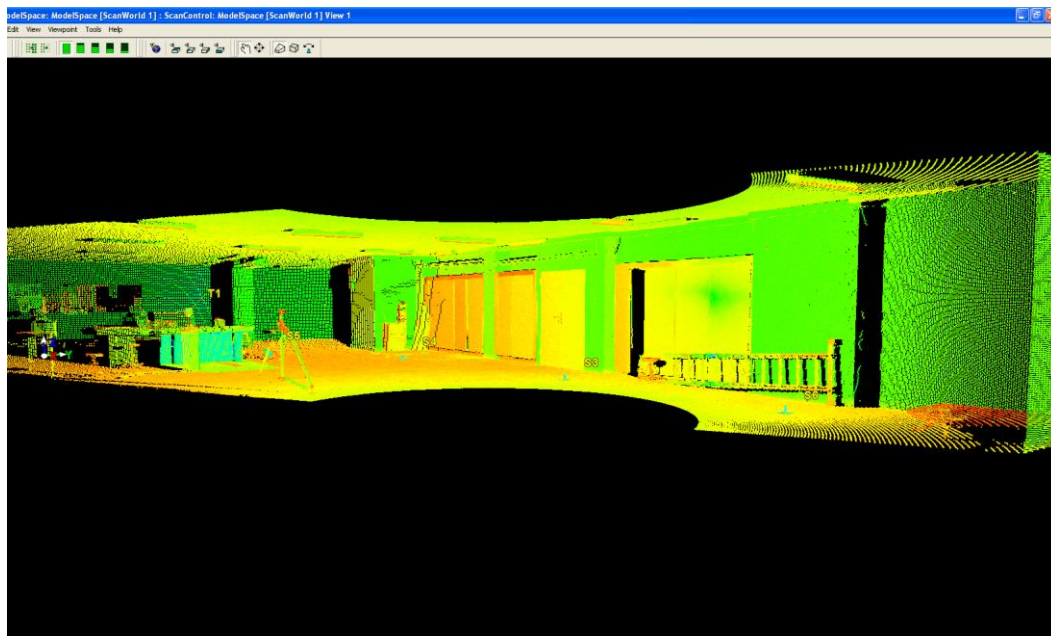
Εικόνα 4.16: Επίπεδος στόχος τοποθετημένος επάνω από στάση της οδευσης

Το πρόγραμμα εξάγει αυτόματα οδηγίες (Rodman Instructions) για την μετακίνηση του κάθε στόχου, ώστε να ταυτιστεί με τη θέση του σημείου που θέλουμε να χαράξουμε. Οι οδηγίες αφορούν τη σχετική μετακίνηση του στόχου βάση της θέσης του σαρωτή (Εικόνα 4.17).



Εικόνα 4.17: Οδηγίες μετακίνησης του στόχου (DCROSS, DLENGTH, DHEIGHT) ώστε να ταυτιστεί με το σημείο χάραξης

Η διαδικασία τελειώνει όταν ο στόχος βρεθεί ακριβώς στο σημείο που θέλουμε να χαραχθεί και η ακριβής θέση του σημείου εμφανίζεται στο νέφος των σημείων της σάρωσης.



Εικόνα 4.18: Τελικό προϊόν της χάραξης των στάσεων S3, S4, S5, και S6

4.3 ΠΕΙΡΑΜΑ 2^ο

4.3.1 Υλοποίηση Γεωδαιτικού Δικτύου.

Το δεύτερο πείραμα, πραγματοποιήθηκε στο διάδρομο του υπογείου του κτιρίου Λαμπαδάριου (Εικόνα 4.19). Η δημιουργία του συγκεκριμένου πειράματος έχει ως σκοπό να προσομοιάσει τη διαδικασία της όδευσης σε κλειστό χώρο. (π.χ. σε σήραγγες).



Εικόνα 4.19: εικόνα του διαδρόμου όπου πραγματοποιήθηκε το 2ο πείραμα.

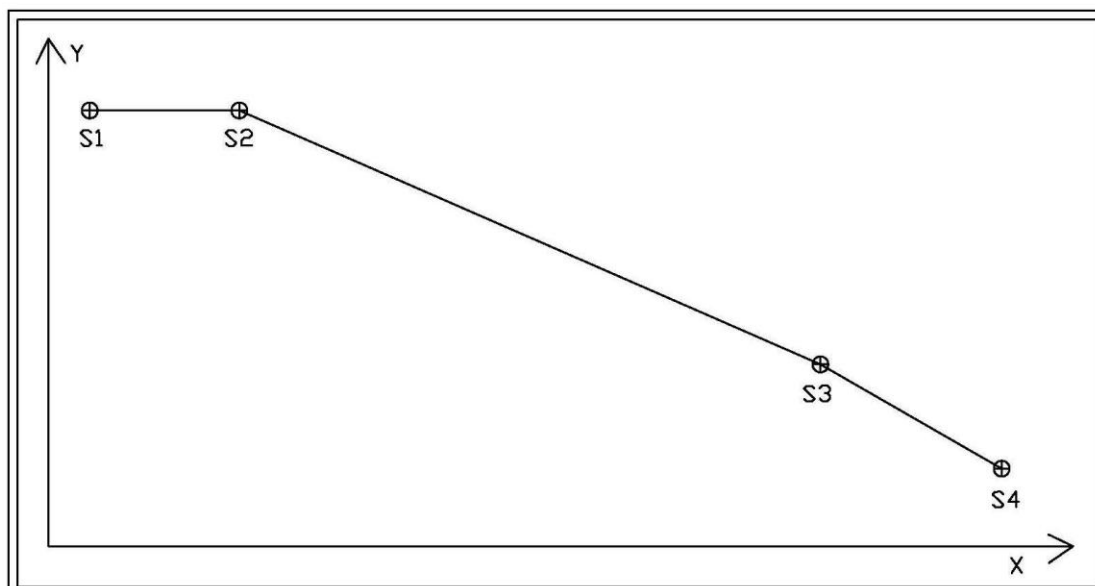
Μέσα σε μία σήραγγα, η τοποθέτηση επίπεδων στόχων για τη συνένωση διαδοχικών σαρώσεων, είναι εξαιρετικά δύσκολη. Αυτό συμβαίνει γιατί η σήραγγα έχει αρκετά μικρή διάμετρο σε σχέση με το μήκος της. Έτσι, υπάρχει δυσκολία σκόπευσης στόχων που πιθανό να τοποθετηθούν στα τοιχώματα. Με αποτέλεσμα, να υπάρχουν λάθη εξαιτίας της πολύ μικρής οπτικής γωνίας.

Για τις ανάγκες του πειράματος, υλοποιήθηκε μία ανοικτή, εξαρτημένη από το ένα άκρο, όδευση. Οι συντεταγμένες των στάσεων της όδευσης βασίστηκαν σε αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων και οι συντεταγμένες τους υπολογίστηκαν αρχικά με γεωδαιτικό σταθμό.

Η μέτρηση της όδευσης με το Total Station έγινε με την μέθοδο των τριών τριπόδων, προκειμένου να εξασφαλιστεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις και για να αποφευχθούν λάθη στην κέντρωση, καθώς σε μια ανοικτή όδευση, εξαρτημένη από το ένα άκρο, δεν υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου. Για τους ίδιους λόγους κρίθηκε σκόπιμο οι μετρήσεις των στοιχείων της όδευσης να γίνουν σε δύο περιόδους.

Τα σημεία της όδευσης του πειράματος, όπως και στο 1^ο πείραμα, υλοποιήθηκαν στο έδαφος με τη βοήθεια στόχων που στη συνέχεια κολλήθηκαν ώστε να παραμείνουν σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Με την επίλυση της όδευσης υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών στο αυθαίρετο τοπικό σύστημα που ιδρύθηκε για τις ανάγκες του πειράματος.

Παρακάτω παρατίθεται το σκαρίφημα των σημείων της όδευσης, όπως αυτό σχεδιάστηκε σε περιβάλλον AutoCAD 2010 (Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4: Σκαρίφημα των στάσεων S1, S2, S3, και S4 της όδευσης

Για τη δημιουργία του αυθαίρετου συστήματος συντεταγμένων θεωρήθηκαν τα εξής:

S1 (1000, 1000, 100) m

$\alpha_{S1S2} = 100^g$

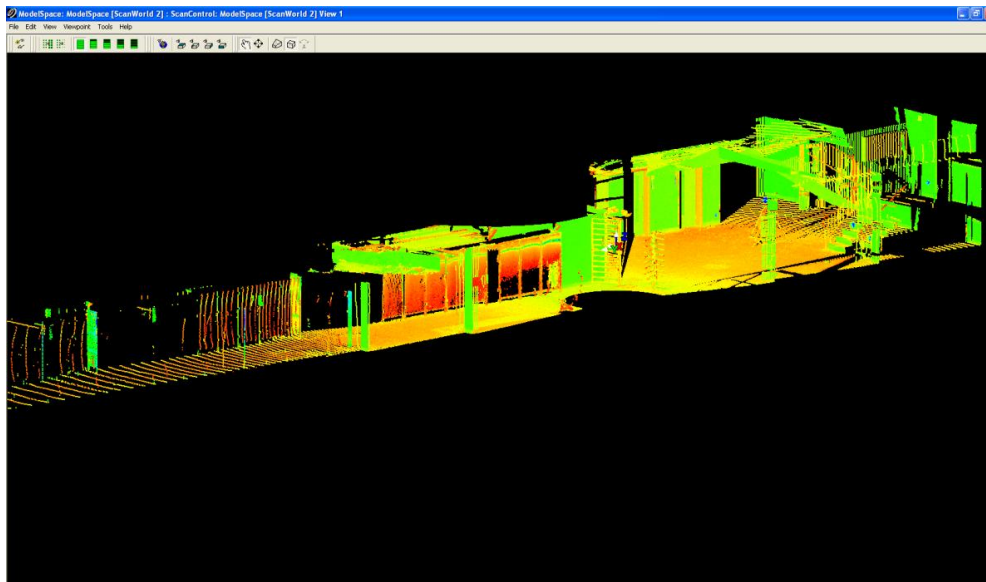
Ακολουθήθηκε η προβλεπόμενη διαδικασία μέτρησης όδευσης, μετρώντας οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες μεταξύ των στάσεων, καθώς και οριζόντια μήκη. Επιπλέον, για κάθε στάση οργάνου, μετρήθηκαν τα ύψη οργάνου και στόχων. Τα υψόμετρα των στάσεων της όδευσης, υπολογίσθηκαν, όπως και στο προηγούμενο πείραμα, με τριγωνομετρική υψομετρία.

Επιπλέον, τοποθετήθηκαν στους τοίχους ειδικοί ανακλαστικοί στόχοι, οι οποίοι αναγνωρίζονται αυτόματα κατά τη διαδικασία της σάρωσης και μετρήθηκαν ως ταχυμετρικά σημεία με τον γεωδαιτικό σταθμό, και υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες τους. Οι στόχοι αυτοί, παρέμειναν στη θέση τους για τη δεύτερη φάση του πειράματος, όπου χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των νεφών με το πρόγραμμα Cyclone 6.0 που θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο.

4.3.2 Σάρωση του περιβάλλοντος χώρου και συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων για τη δημιουργία ενιαίου μοντέλου επιφάνειας.

4.3.2.1 Σάρωση από τη στάση S2

Κατά τη δεύτερη φάση του πειράματος, τοποθετήθηκε ο σαρωτής στη στάση S2 και σαρώθηκε η γύρω περιοχή μαζί με το σύνολο των στόχων που είχαν τοποθετηθεί στους τοίχους (Εικόνα 4.21). Επιλέχθηκε ανάλυση σάρωσης 1cm στα 50 μέτρα (Εικόνα 4.20). Συνολικά, τοποθετήθηκαν 5 επίπεδοι στόχοι και ένας σφαιρικός στη στάση S2. Οι θέσεις των στόχων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις κοινοί στόχοι με την επόμενη σάρωση. Στη συνέχεια, αναγνωρίστηκαν οι στόχοι στους τοίχους με τη εντολή `acquire targets`.



Εικόνα 4.20: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον Scanner τοποθετημένο στη στάση S2.

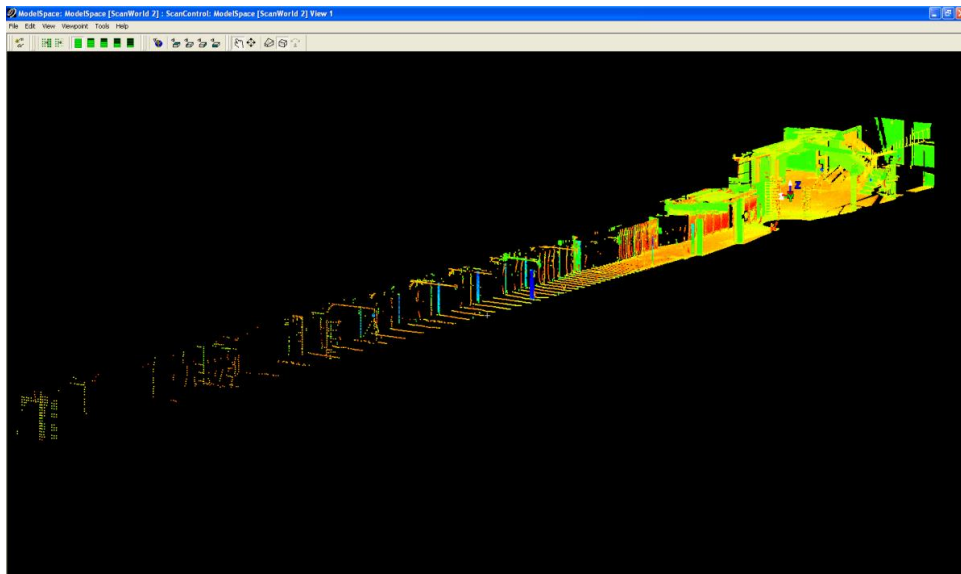


Εικόνα 4.21: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και το πλαίσιο των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν στη στάση S2.



Εικόνα 4.22: Στόχοι που τοποθετήθηκαν κατά τη σάρωση από τη στάση S2.

Το τελικό προϊόν της σάρωσης από τη στάση S2, αποτελείται από ένα νέφος σημείων το οποίο έχει ως σύστημα συντεταγμένων, το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή (Εικόνα 4.23).

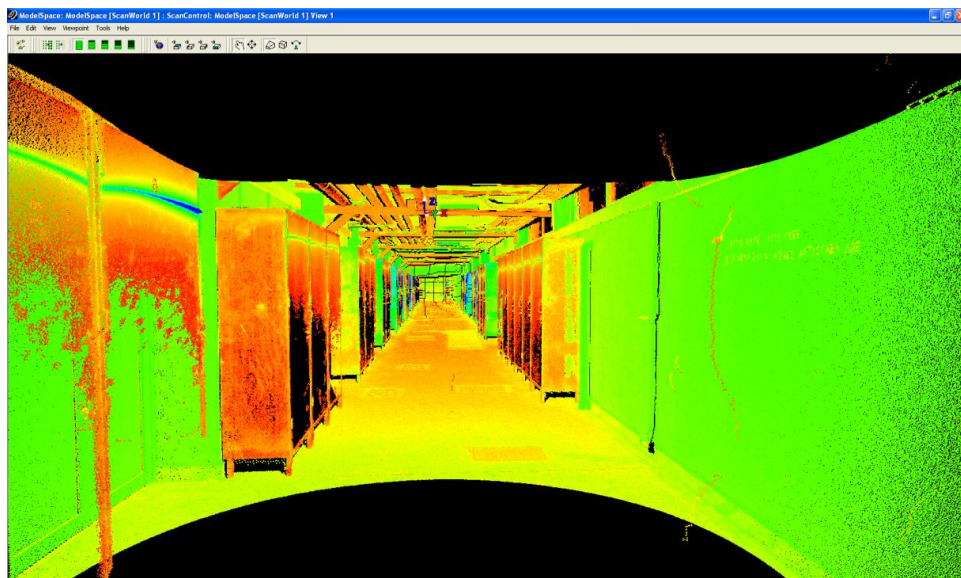


Εικόνα 4.23: Τελικό προϊόν της Σάρωσης από τη στάση S2

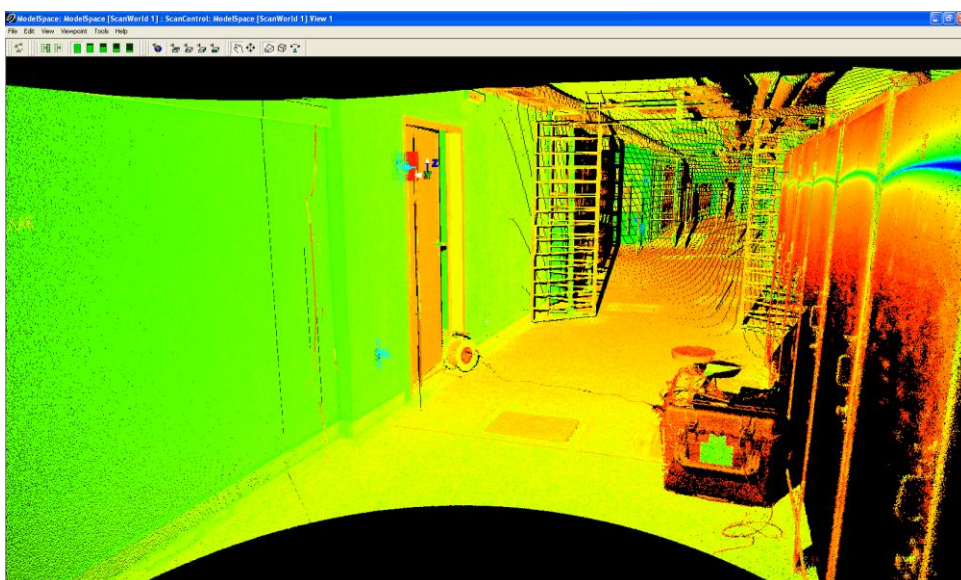
4.3.2.2 Σάρωση από τη στάση S3

Ακολουθως, τοποθετήθηκε ο σαρωτής στη στάση S3 και σαρώθηκε η αντίστοιχη περιοχή με την ίδια ανάλυση (Εικόνα 4.24). Συνολικά, τοποθετήθηκαν 5 επίπεδοι στόχοι και δύο σφαιρικοί στις στάσεις S2 και S4. Ως κοινοί στόχοι μεταξύ των δύο διαδοχικών σαρώσεων επιλέχθηκαν να είναι οι στόχοι 1, 3, και 4 (εικόνα 4.26) που βρίσκονται τοποθετημένοι την αρχή του διαδρόμου.

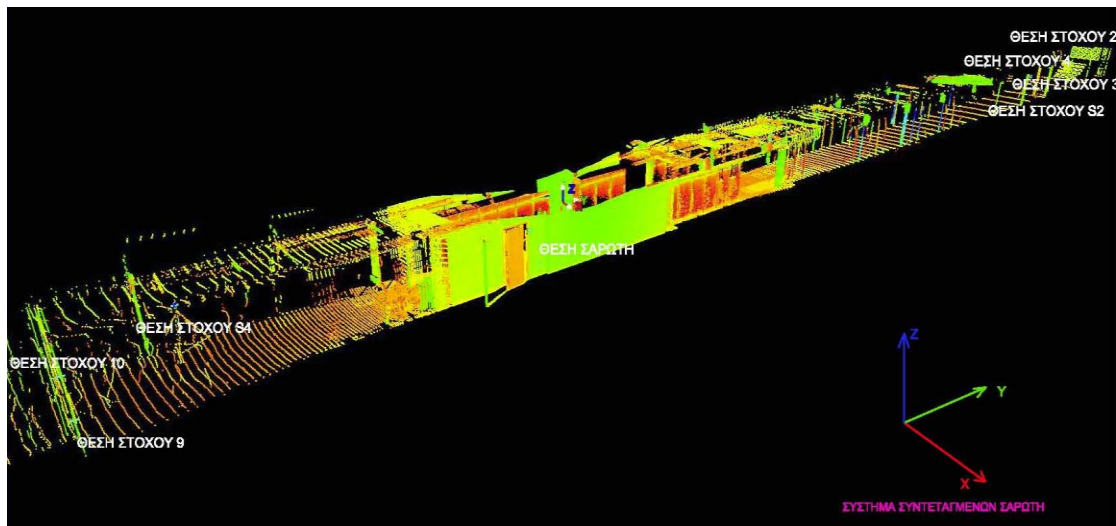
Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή σταθερών σημείων για την τοποθέτηση των στόχων, ώστε να αποφευχθούν τυχόν μετακινήσεις τους μεταξύ των δύο θέσεων της σάρωσης. Οποιαδήποτε μετακίνηση των στόχων θα οδηγούσε σε σφάλματα, ακόμη και σε αδυναμία σύνδεσης (συνένωσης) των δύο σαρώσεων.



Εικόνα 4.24: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S3.

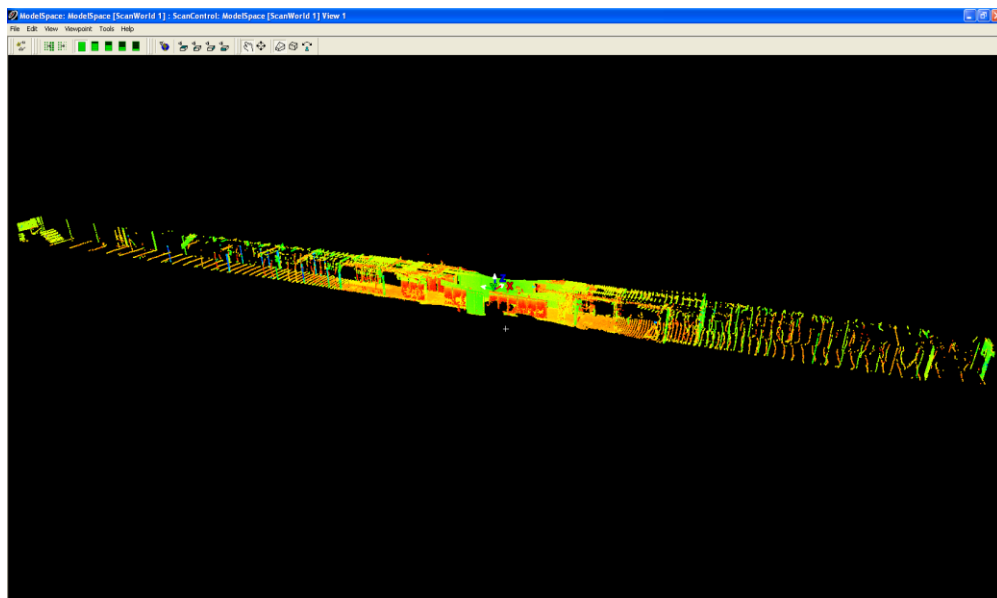


Εικόνα 4.25: Διαφορετική οπτική γωνία της ίδιας σάρωσης με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S3.



Εικόνα 4.26: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και το πλαίσιο των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν στη στάση S3.

Το τελικό προϊόν της σάρωσης από τη στάση S3, αποτελείται από ένα νέφος σημείων το οποίο έχει ως σύστημα συντεταγμένων, το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή (εικόνα 4.27).

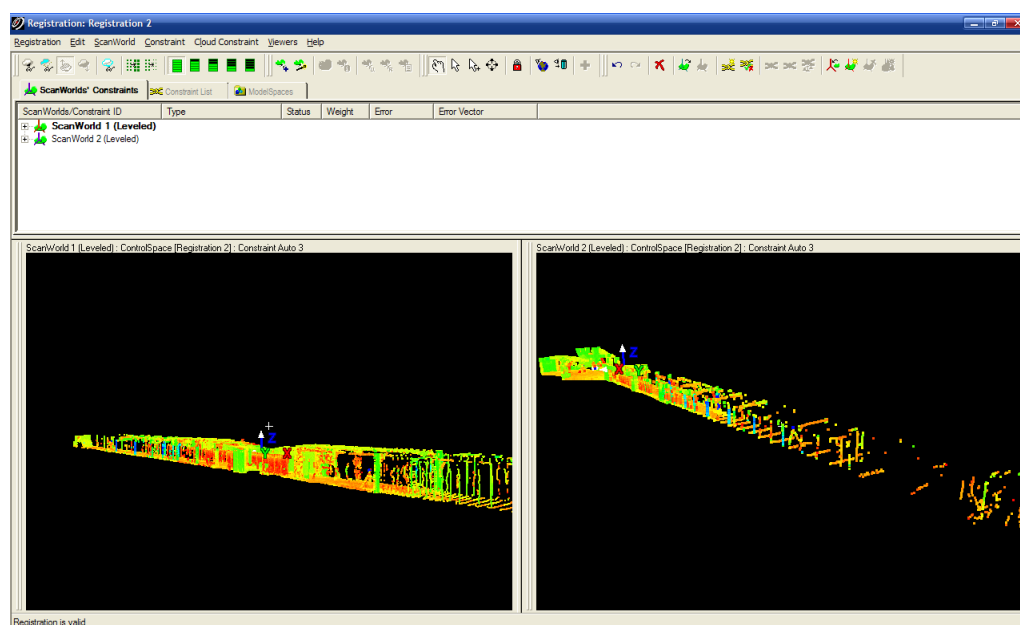


Εικόνα 4.27: Τελικό προϊόν της Σάρωσης από τη στάση S3

Από τις δύο θέσεις σάρωσης, έχουν προκύψει δύο διαφορετικά ScanWorld. Η σύνδεση των δύο σαρώσεων, γίνεται με την βοήθεια των κοινών στόχων μεταξύ των δύο διαδοχικών σαρώσεων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση,

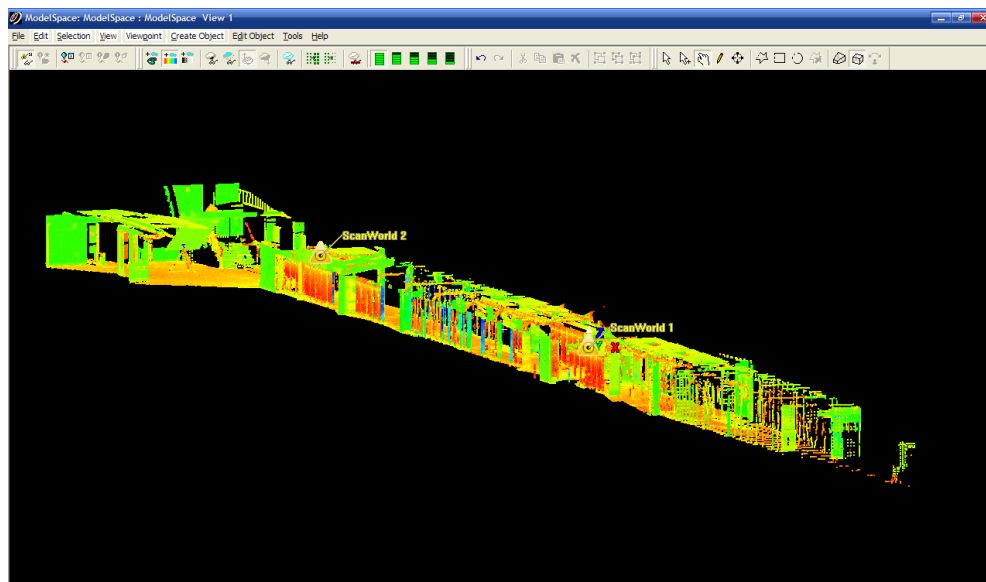
επιλέχθηκαν να είναι οι επίπεδοι στόχοι 1, 3, και 4 που βρίσκονται τοποθετημένοι την αρχή του διαδρόμου. Υπενθυμίζεται ότι για να γίνει η συνένωση θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις κοινοί στόχοι.

Μέσα στο φάκελο του project, όπου έχουν αποθηκευτεί τα δύο ScanWorld, δημιουργείται ένας καινούργιος φάκελος με την εντολή Create→Registration. Στη συνέχεια, ανοίγοντας τον φάκελο Registration, εισάγονται τα ScanWorld 1 και ScanWorld 2 όπου θέλουμε να συνενωθούν. Μέσα από το παράθυρο που ανοίγει (εικόνα 4.28), φαίνεται σε δύο ξεχωριστά παράθυρα, το σύνολο του νέφους των σημείων που έχουν ληφθεί κατά τις δύο σαρώσεις.



Εικόνα 4.28: Συνένωση των σαρώσεων ScanWorld 1 και ScanWorld 2

Σε καθένα από τα νέφη, επιλέγονται οι κοινοί στόχοι που θα χρησιμοποιηθούν στη συνένωση, και εκτελείται η εντολή Register. Αν το σφάλμα της συνένωσης είναι αποδεκτό, ανάλογα με τη εφαρμογή, επιλέγεται η εντολή Registration/ Create ScanWorld/ Freeze Registration. Το τελικό προϊόν της συνένωσης είναι ένα ενιαίο σύνολο σημείων που έχουν ληφθεί και από τις δύο σαρώσεις (εικόνα 4.29),.



Εικόνα 4.29: Τελικό προϊόν της συνένωσης , όπου φαίνονται και οι θέσεις λήψης των δύο ScanWorld.

4.3.3 Μέτρηση όδευσης με τον Scanstation2

Αρχικά, ιδρύθηκε το αυθαίρετο τοπικό σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του πειράματος, και δόθηκαν συντεταγμένες στις πρώτες δύο στάσεις της όδευσης S1 και S2. Έπειτα, ακολούθησε ο ανεξάρτητος υπολογισμός των συντεταγμένων των στάσεων S2, S3 και S4, με την επίλυση όδευσης, καθώς και η χάραξη των ίδιων σημείων στο έδαφος, μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0 και τη χρήση του σαρωτή.

Η όδευση και η χάραξη των σημείων S2, S3 και S4 με τον Scanstation2, έγινε όπως ακριβώς και στο πρώτο πείραμα, με βάση τη διαδικασία που προτείνεται από το λογισμικό .

Συγκεκριμένα, τοποθετήθηκε ο σαρωτής στο σημείο S2. Στα σημεία S1 και S3 τοποθετήθηκαν σε τρίποδες ειδικοί σφαιρικοί στόχοι που αναγνωρίζονται από τον σαρωτή (HDS Sphere Target) (εικόνα 4.30). Με γνωστές τις συντεταγμένες των S1 και S2, σαρώθηκαν οι στόχοι στις θέσεις S1 και S3 και μετρώντας τα ύψη οργάνου και στόχων, υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες της στάσης S3 μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0.

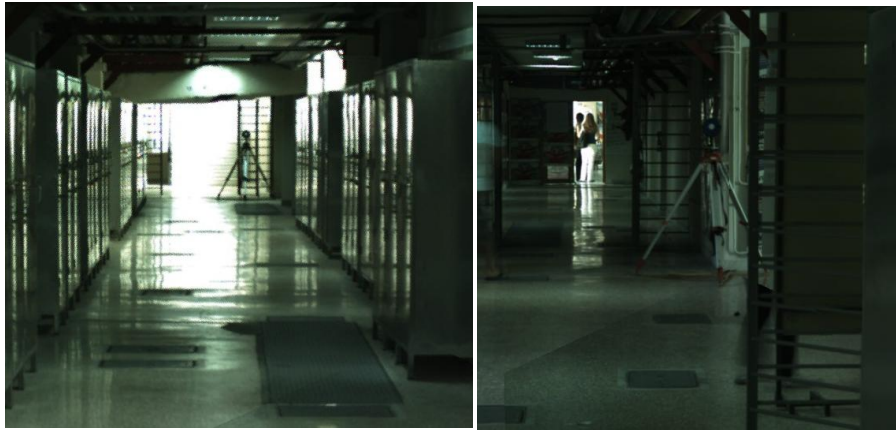


Εικόνα 4.30: Στόχοι τοποθετημένοι στις στάσεις S1 και S3 αντίστοιχα.

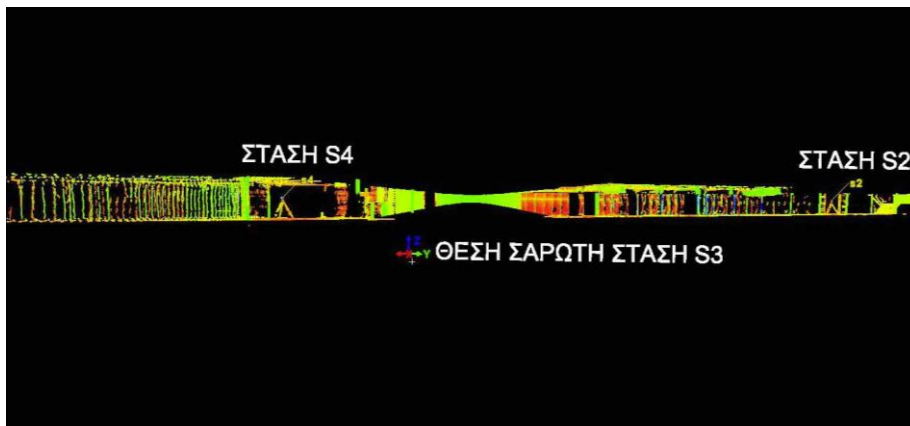


Εικόνα 4.31: Σάρωση των στάσεων S1 και S3.

Στη συνέχεια, κατά τα ίδια, τοποθετήθηκε ο σαρωτής στη στάση S3 και σαρώθηκαν με τον ίδιο τρόπο οι στάσεις S2 και S4 (εικόνα 4.32). Και τέλος, μετρώντας τα ύψη οργάνου και στόχων, υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες της στάσης S3 μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0.



Εικόνα 4.32: Στόχοι τοποθετημένοι στις στάσεις S2 και S4 αντίστοιχα.



Εικόνα 4.33: Σάρωση των στάσεων S2 και S4.

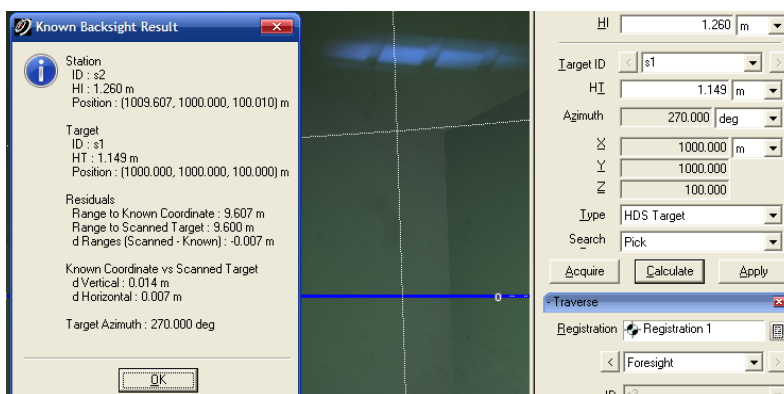
4.3.4 Χάραξη των σημείων της όδευσης με τον Scanstation2

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία της όδευσης και των υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων όλων των στάσεων, ακολούθησε η χάραξη των ίδιων σημείων στο έδαφος. Η χάραξη έγινε όπως και στο 1^ο πείραμα, με τη βοήθεια του Scanstation2, μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0.

Για τη έναρξη της διαδικασίας της χάραξης, απαιτείται να γίνει πρωτίστως η διαδικασία του Field Setup, ώστε να ορίσουμε στον σαρωτή το σύστημα συντεταγμένων που έχουν μετρηθεί τα σημεία που θέλουμε να χαράξουμε.

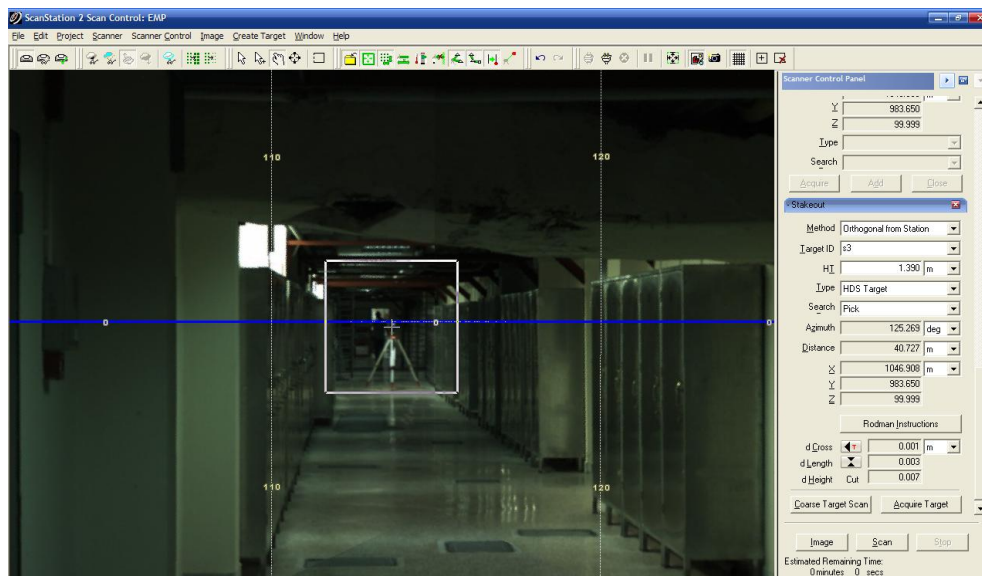
Ο σαρωτής τοποθετήθηκε στη στάση S2 και στο σημείο S1 τοποθετήθηκε ένας σφαιρικός στόχος ώστε να αναγνωρίζεται από το όργανο.

Στο παράθυρο του Field Setup, προσδιορίσθηκαν ο τύπος του στόχου που τοποθετήθηκε στο σημείο S1, τα ύψη οργάνου και στόχου, καθώς και οι συντεταγμένες των σημείων S1 και S2. Στη συνέχεια αναγνωρίστηκε ο στόχος του σημείου S1, μέσω της εντολής Acquire Target και υπολογίσθηκε η σχέση μεταξύ της θέσης του Scanner και του συστήματος των γνωστών συντεταγμένων (Εικόνα 4.34) .



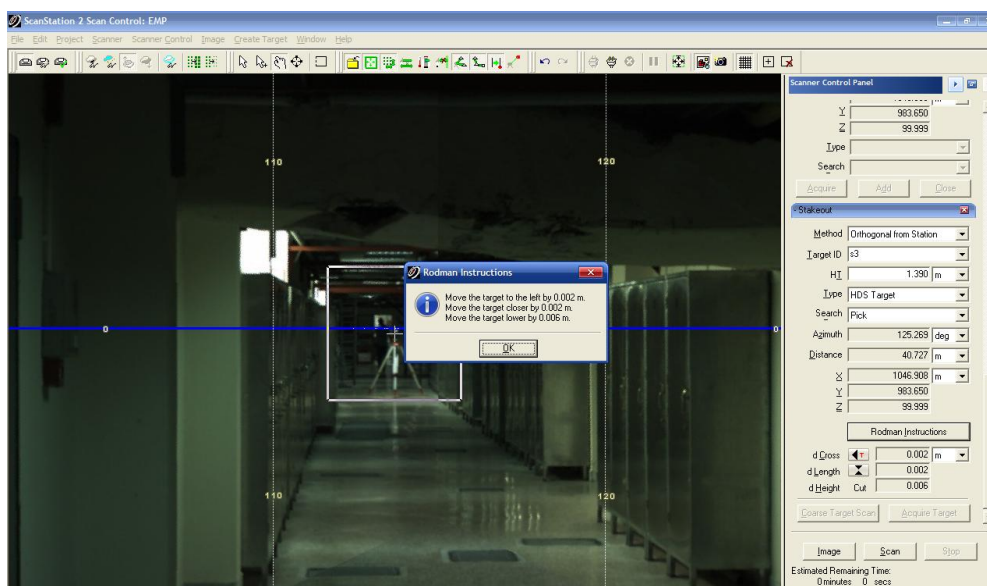
Εικόνα 4.34: Σχέση μεταξύ της θέσης του σαρωτή στο σημείο S2 και του συστήματος συντεταγμένων του γνωστού μας σημείου S1.

Στη συνέχεια, εισήχθησαν οι συντεταγμένες της στάσης S3, που θέλουμε να χαράξουμε, και τοποθετήθηκε σφαιρικός στόχος πάνω σε τρίποδα κεντρωμένο ακριβώς πάνω από το σημείο S3. Εκτελέσθηκαν οι εντολές Coarse Target Scan και Acquire Target αντίστοιχα, ώστε να αναγνωρισθεί η θέση του στόχου (Εικόνα 4.35).



Εικόνα 4.35: Εντοπισμός της περιοχής που βρίσκεται ο στόχος

Στη συνέχεια, αφού αναγνωρισθεί η θέση του στόχου, δίνονται οδηγίες από το πρόγραμμα για μετακίνηση του στόχου ώστε να ταυτιστεί με το ζητούμενο σημείο χάραξης. Οι οδηγίες αφορούν τη σχετική μετακίνηση του στόχου βάσει της θέσης του σαρωτή (Εικόνα 4.36).



Εικόνα 4.36: Οδηγίες μετακίνησης του στόχου (Rodman Instructions) ώστε να ταυτιστεί με το σημείο χάραξης.

Η διαδικασία τελειώνει όταν ο στόχος βρεθεί ακριβώς στο σημείο που θέλουμε να χαραχθεί. Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθείται και κατά τη χάραξη του σημείου S4.

4.4 ΠΕΙΡΑΜΑ 3^ο

4.4.1 Υλοποίηση Γεωδαιτικού Δικτύου.

Το τρίτο πείραμα, πραγματοποιήθηκε σε εξωτερικό περιβάλλον και συγκεκριμένα, έξω από το κτίριο Λαμπαδαρίου της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν η χρήση της όδευσης σε εφαρμογές αποτύπωσης (π.χ. κτιρίων, μνημείων, τεχνικών έργων κλπ.)

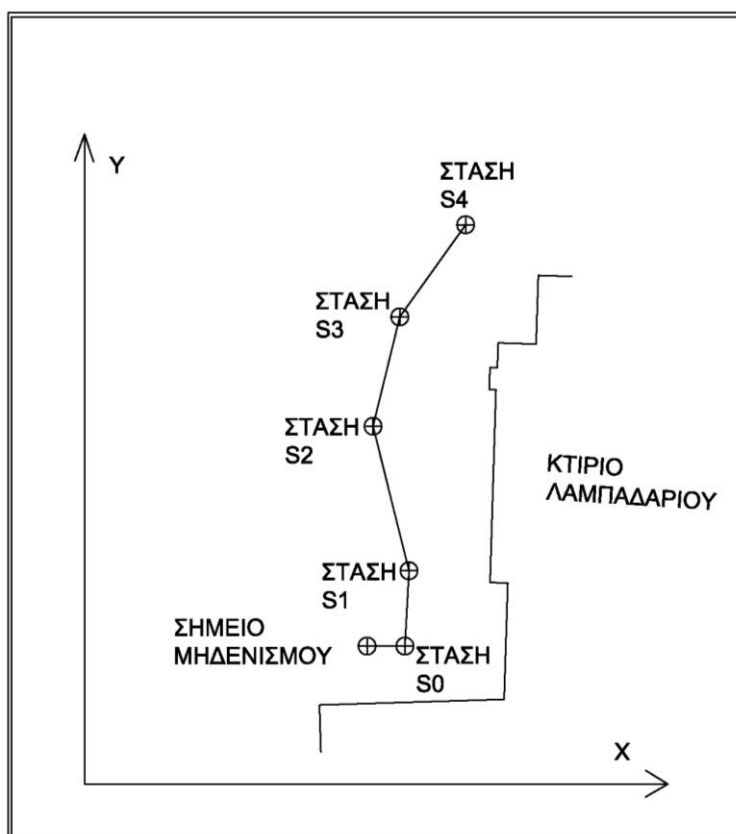
Για τις ανάγκες του πειράματος, υλοποιήθηκε μία ανοικτή, εξαρτημένη από το ένα άκρο, όδευση. Οι συντεταγμένες των στάσεων της όδευσης βασίστηκαν σε αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων και οι συντεταγμένες τους υπολογίστηκαν αρχικά με τον γεωδαιτικό σταθμό.

Η μέτρηση της όδευσης με τον γεωδαιτικό σταθμό έγινε με την μέθοδο των τριών τριπόδων, προκειμένου να εξασφαλιστεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις και για να αποφευχθούν λάθη στην κέντρωση, καθώς σε μια ανοικτή όδευση, εξαρτημένη από το ένα άκρο, δεν υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου. Για τους ίδιους λόγους κρίθηκε σκόπιμο οι μετρήσεις των στοιχείων της όδευσης να γίνουν σε δύο περιόδους, όπως και στο δεύτερο πείραμα.

Τα σημεία της όδευσης του πειράματος, υλοποιήθηκαν με τη βοήθεια καρφιών που τοποθετήθηκαν στο έδαφος.

Με την επίλυση της όδευσης υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών στο αυθαίρετο τοπικό σύστημα που ιδρύθηκε για τις ανάγκες του πειράματος.

Παρακάτω παρατίθεται το σκαρίφημα των σημείων της όδευσης, όπως αυτό σχεδιάστηκε σε περιβάλλον AutoCAD 2010 (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Σκαρίφημα στάσεων της όδευσης του 3ου πειράματος

Για τη δημιουργία του αυθαίρετου συστήματος συντεταγμένων θεωρήθηκαν τα εξής:

ΣΗΜΕΙΟ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ (1000, 1000, 100) m

$$\alpha_{\text{ΣΗΜΕΙΟ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ S0}} = 100^{\text{g}}$$

Ακολουθήθηκε η προβλεπόμενη διαδικασία μέτρησης όδευσης, μετρώντας οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες μεταξύ των στάσεων, καθώς και οριζόντια μήκη. Επιπλέον, για κάθε στάση οργάνου, μετρήθηκαν τα ύψη οργάνου και στόχων. Τα υψόμετρα των στάσεων της όδευσης, υπολογίσθηκαν, όπως και στο προηγούμενο πείραμα, με τριγωνομετρική υψομετρία.

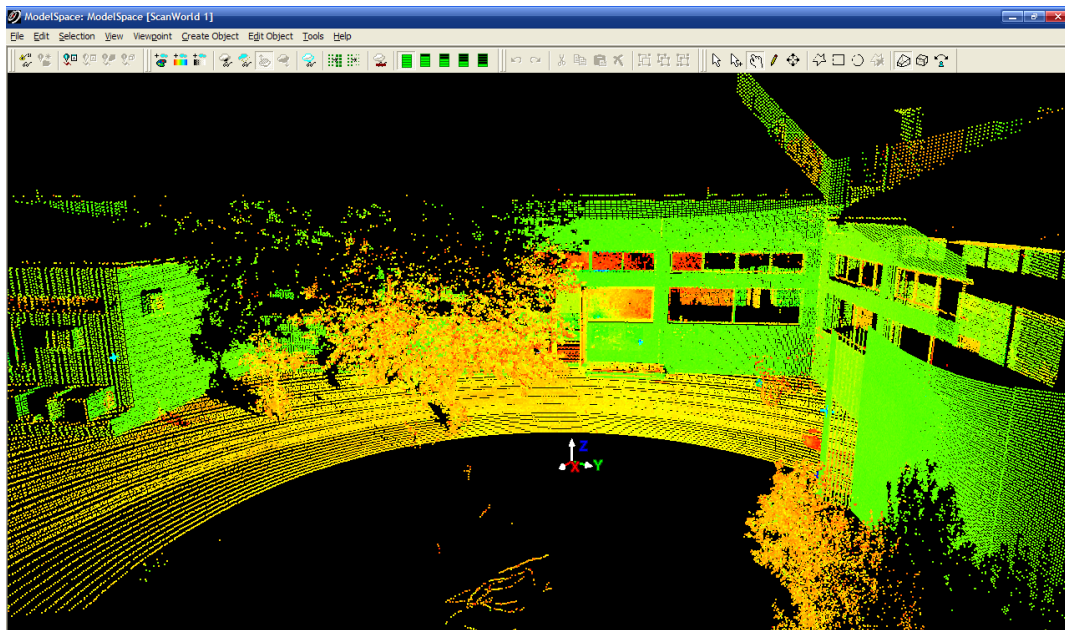
Επιπλέον, τοποθετήθηκαν στους τοίχους του κτιρίου, ειδικοί στόχοι που μετρήθηκαν ως ταχυμετρικά σημεία με το Total Station, και υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες τους. Οι στόχοι αυτοί, παρέμειναν στη θέση τους για τη δεύτερη φάση του πειράματος, όπου χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των νεφών με το πρόγραμμα Cyclone 6.0 που θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο.

4.4.2 Σάρωση του περιβάλλοντος χώρου και συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων για τη δημιουργία ενιαίου μοντέλου επιφάνειας.

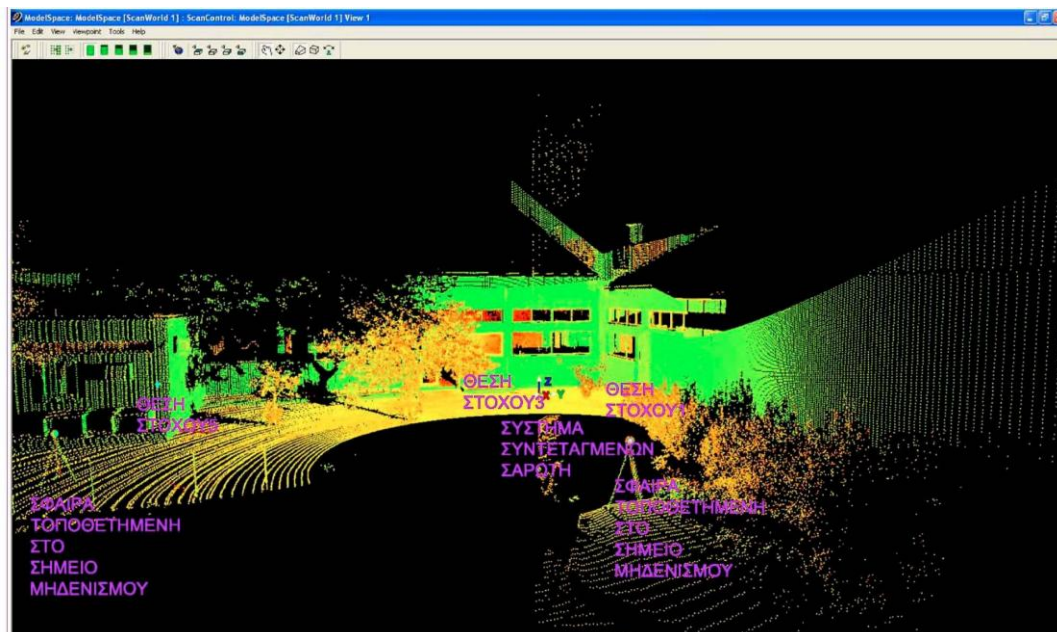
4.4.2.1 ΣΑΡΩΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΣΗ S0

Κατά τη δεύτερη φάση του πειράματος, τοποθετήθηκε ο σαρωτής στη στάση S0 και σαρώθηκε τμήμα του κτιρίου, μαζί με το σύνολο των στόχων που είχαν τοποθετηθεί στους τοίχους του. Επιλέχθηκε ανάλυση σάρωσης 1cm στα 20 μέτρα (Εικόνα 4.37).

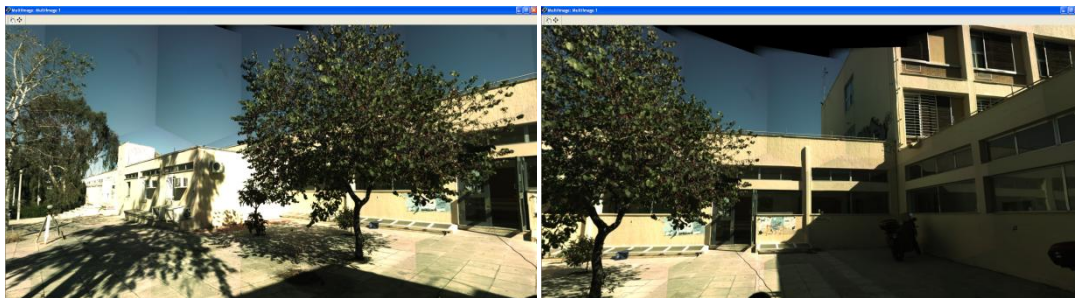
Συνολικά, τοποθετήθηκαν 6 επίπεδοι στόχοι στους τοίχους του κτιρίου, και ένας σφαιρικός στόχος στο έδαφος, στη στάση S1 (Εικόνα 4.38). Οι θέσεις των στόχων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις κοινοί στόχοι με την επόμενη σάρωση. Στη συνέχεια, αναγνωρίσθηκαν οι στόχοι στους τοίχους με τη εντολή `acquire targets` μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0.



Εικόνα 4.37: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S0.



Εικόνα 4.38: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και οι επίπεδοι στόχοι τοποθετημένοι στους τοίχους του κτιρίου από τη στάση S0.

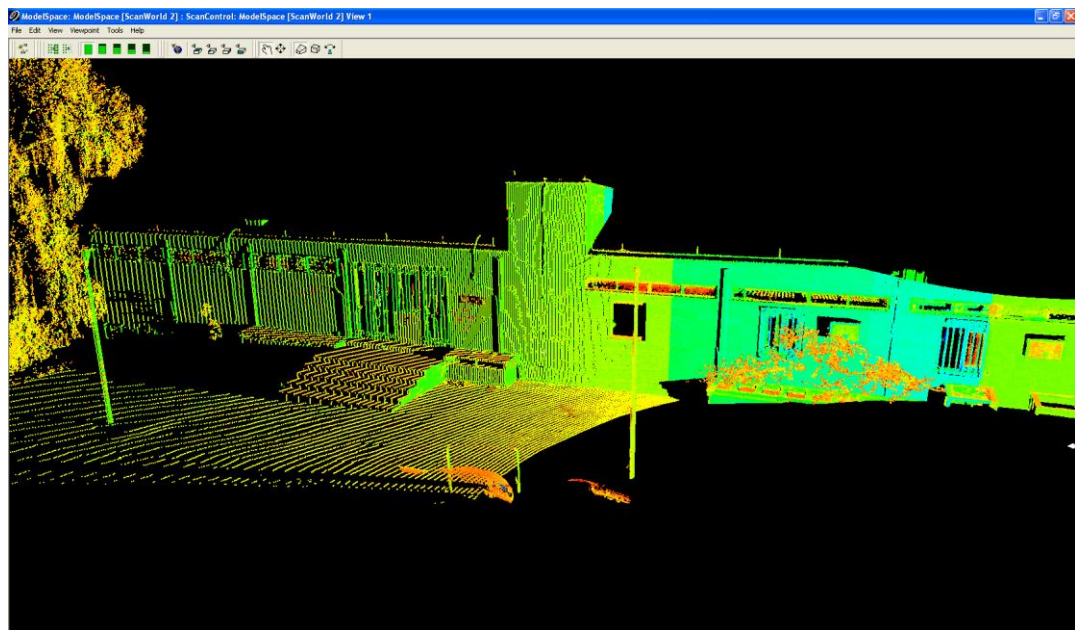


Εικόνα 4.39: Όψεις κτιρίου κατά τη σάρωση από τη στάση S0

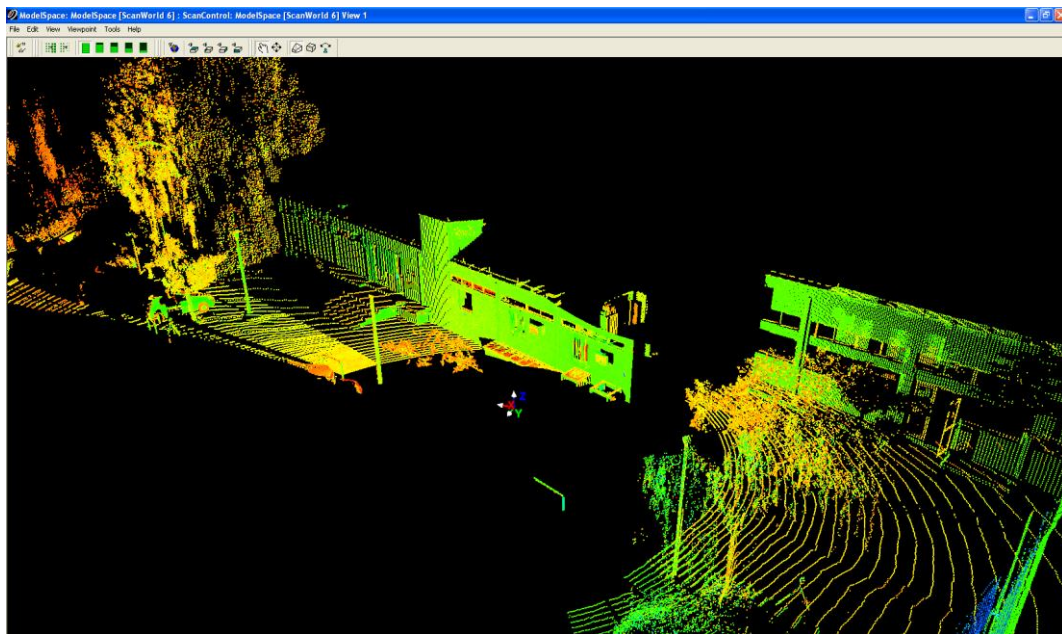
Το τελικό προϊόν της σάρωσης από τη στάση S0, αποτελείται από ένα νέφος σημείων το οποίο έχει ως σύστημα συντεταγμένων, το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή (Εικόνα 4.37).

4.4.2.2 ΣΑΡΩΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΣΗ S1

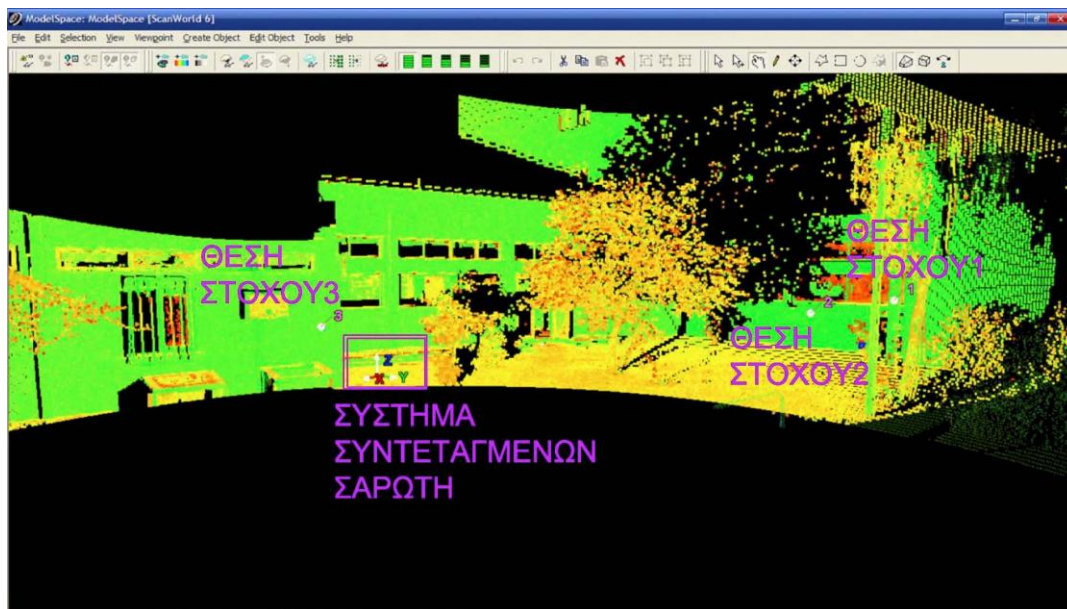
Ακολούθως, τοποθετήθηκε ο σαρωτής στην επόμενη στάση της όδευσης, στάση S1 και σαρώθηκε η αντίστοιχη περιοχή με την ίδια ανάλυση (Εικόνες 4.40, 4.41, 4.42). Συνολικά, τοποθετήθηκαν 5 επίπεδοι στόχοι και δύο σφαιρικοί στις στάσεις S0 και S2.



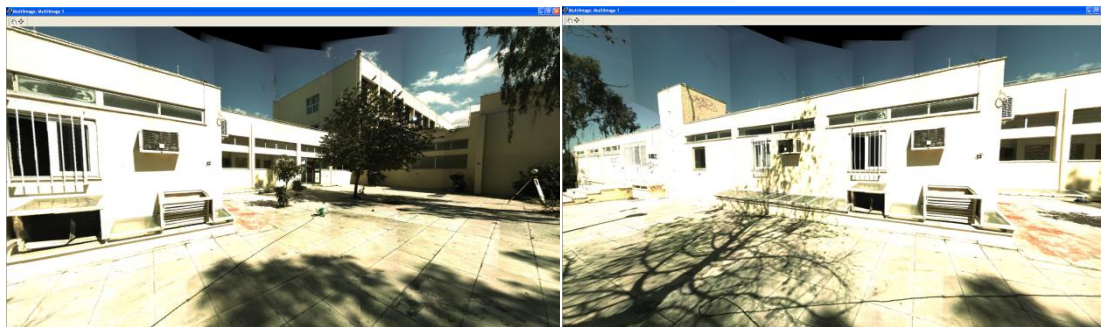
Εικόνα 4.40: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S1.



Εικόνα 4.41: Διαφορετική όψη της Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S1.



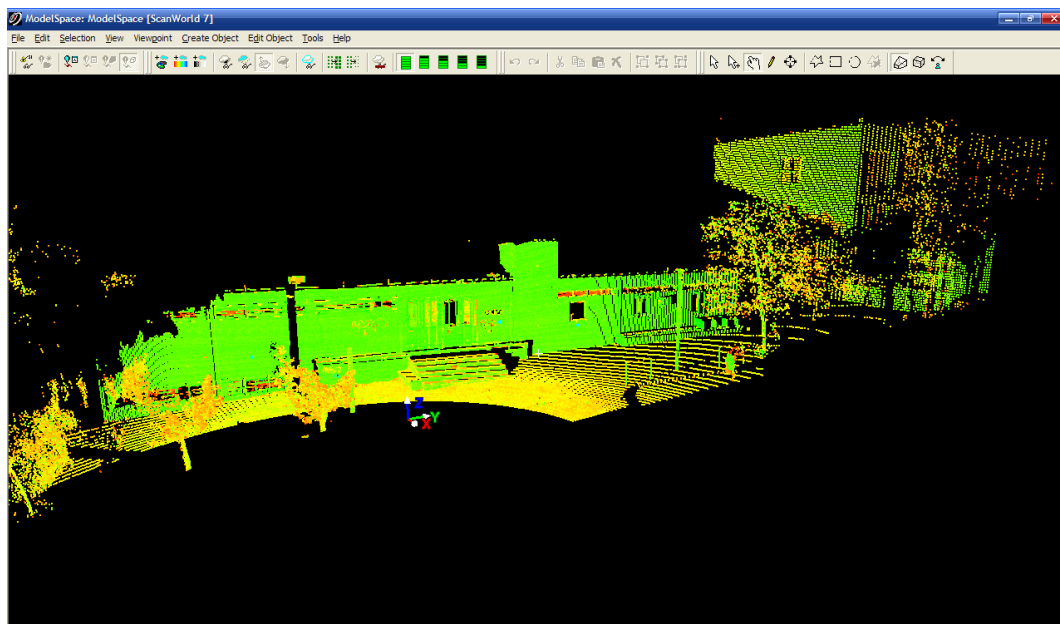
Εικόνα 4.42: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και οι επίπεδοι στόχοι τοποθετημένοι στους τοίχους του κτιρίου από τη στάση S1.



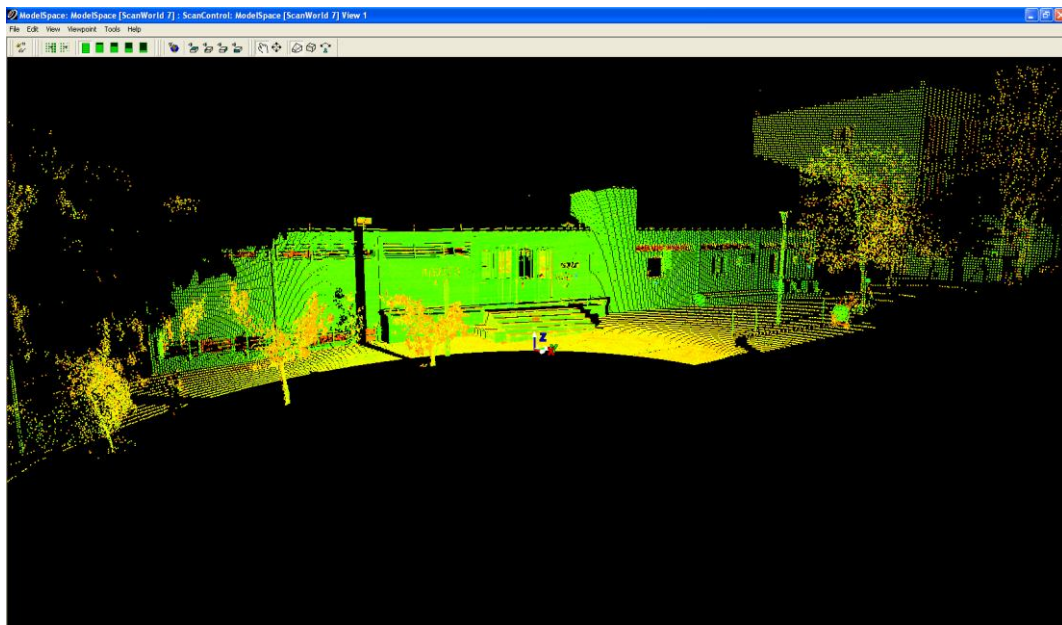
Εικόνα 4.43: Όψεις κτιρίου κατά τη σάρωση από τη στάση S1

4.4.2.3 ΣΑΡΩΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΣΗ S2

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε ο σαρωτής στην επόμενη στάση της όδευσης, στάση S2, και σαρώθηκε το επόμενο τμήμα του κτιρίου με την ίδια ανάλυση (Εικόνες 4.44, 4.45). Συνολικά, τοποθετήθηκαν 3 επίπεδοι στόχοι στους τοίχους, και δύο σφαιρικοί στόχοι στο έδαφος, στις στάσεις S1 και S3.



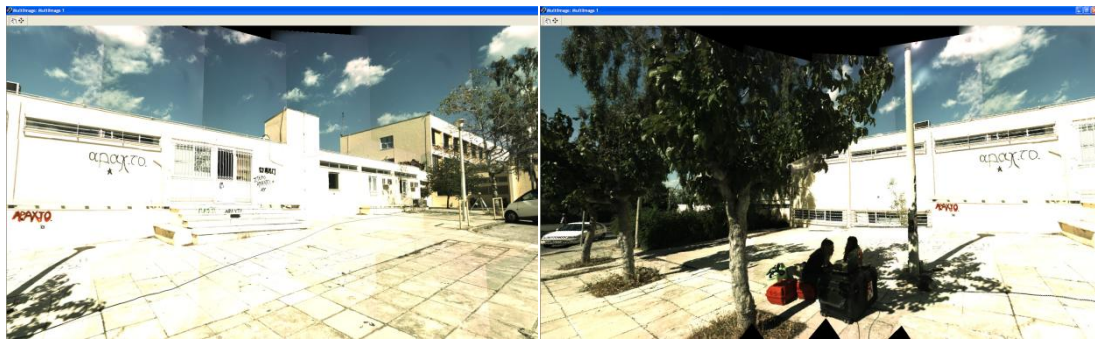
Εικόνα 4.44: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S2.



Εικόνα 4.45: Διαφορετική όψη της Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S2.



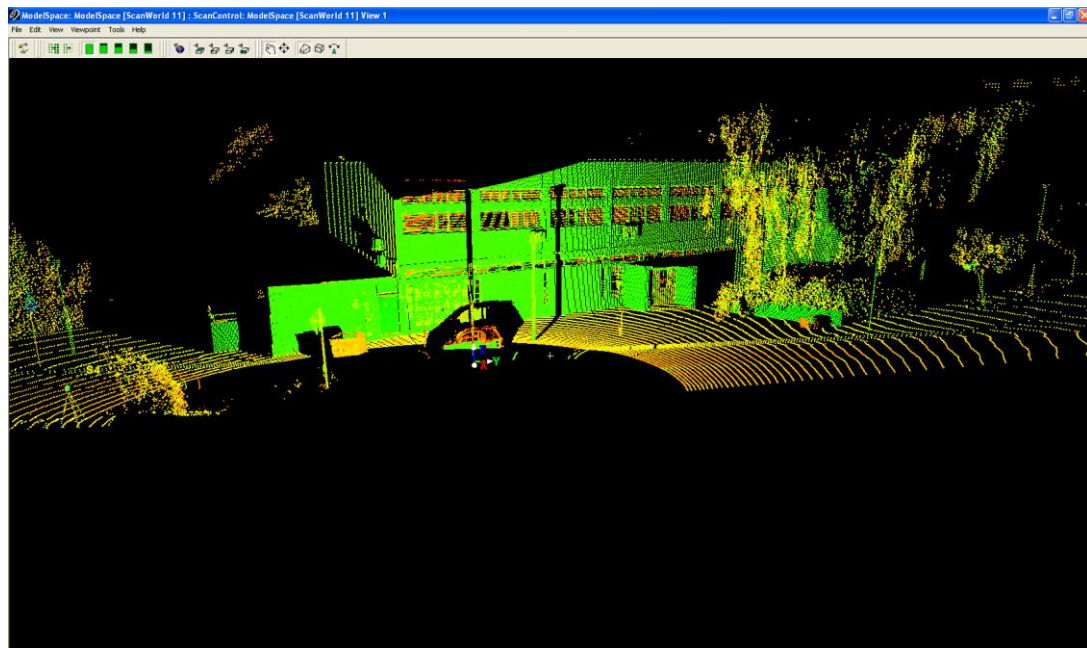
Εικόνα 4.46: Το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή καθώς και οι επίπεδοι στόχοι τοποθετημένοι στους τοίχους του κτιρίου από τη στάση S2.



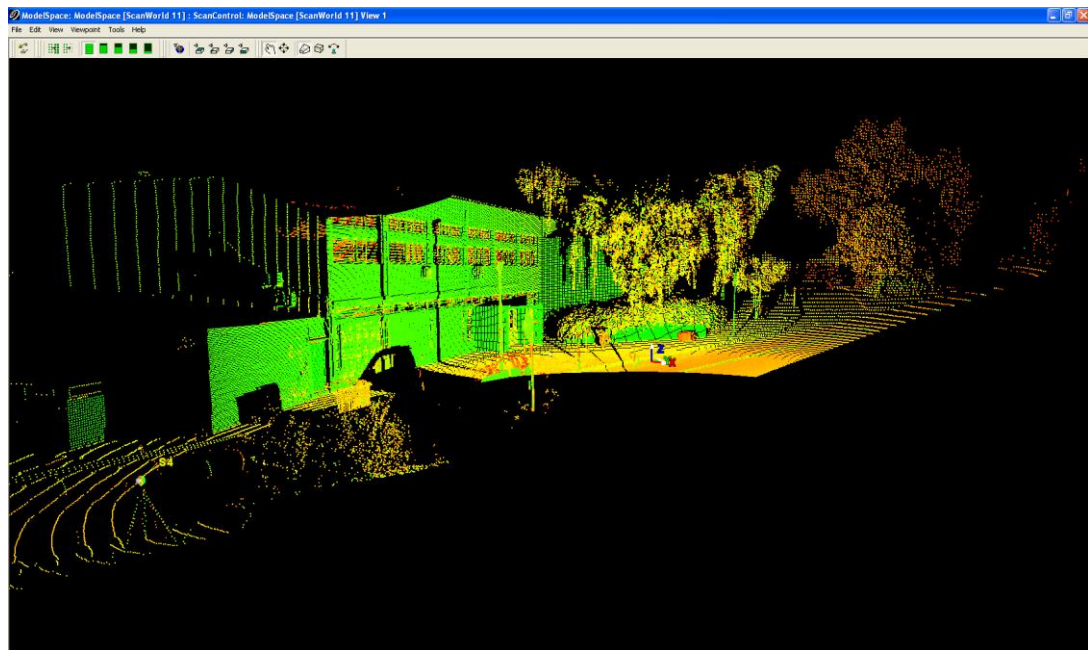
Εικόνα 4.47: Όψεις κτιρίου κατά τη σάρωση από τη στάση S2

4.4.2.4 ΣΑΡΩΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΣΗ S3

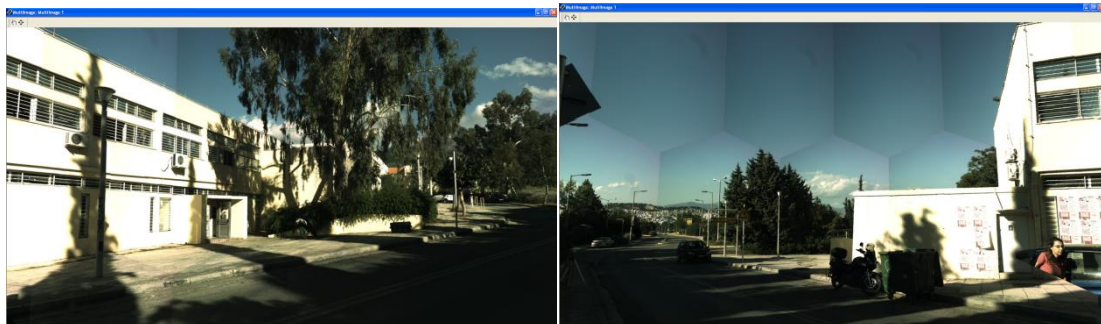
Έπειτα, τοποθετήθηκε ο σαρωτής στην επόμενη στάση της όδευσης, στάση S3, και σαρώθηκε το επόμενο τμήμα του κτιρίου με την ίδια ανάλυση (Εικόνες 4.48, 4.49). Συνολικά, τοποθετήθηκαν 3 επίπεδοι στόχοι στους τοίχους και δύο σφαιρικοί στο έδαφος, στις στάσεις S2 και S4.



Εικόνα 4.48: Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S2.



Εικόνα 4.49: Διαφορετική όψη της Σάρωση σημείων και στόχων του διαδρόμου με τον σαρωτή τοποθετημένο στη στάση S2.



Εικόνα 4.50: Όψεις κτιρίου κατά τη σάρωση από τη στάση S3

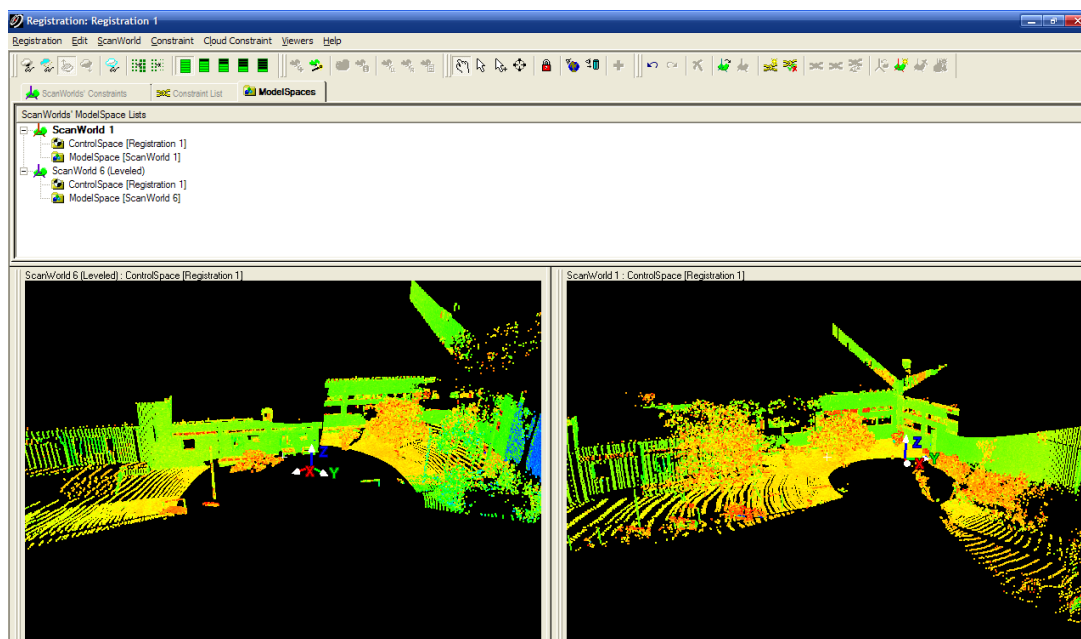
4.4.2.5 ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΤΩΝ ΣΑΡΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΤΑΣΕΙΣ S0, S1, S2

Από τις τρεις θέσης σάρωσης, έχουν προκύψει τρία διαφορετικά ScanWorld. Η σύνδεση των σαρώσεων, γίνεται με την βοήθεια των κοινών στόχων μεταξύ των διαδοχικών σαρώσεων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκαν να είναι οι επίπεδοι στόχοι 1, 3, 4 και 5 για τη συνένωση των σαρώσεων αρχικά από τις στάσεις S0 και S1. Για τη συνένωση των σαρώσεων από τις στάσεις

S1 και S2 επιλέχθηκαν οι στόχοι 4, 5, 6, και 7. Υπενθυμίζεται ότι για να γίνει η συνένωση θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις κοινοί στόχοι.

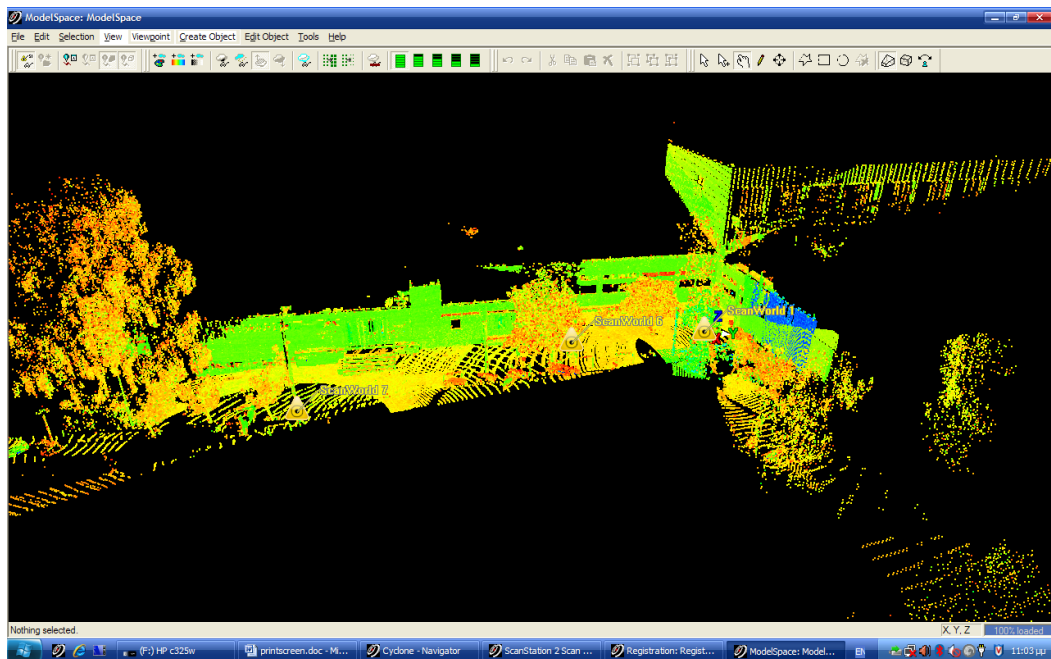
Μέσα στο φάκελο του project, όπου έχουν αποθηκευτεί τα ScanWorld, δημιουργείται ένας καινούργιος φάκελος με την εντολή Create→Registration. Στη συνέχεια, ανοίγοντας τον φάκελο Registration, εισάγονται τα ScanWorld 1, ScanWorld 2 και ScanWorld 3 όπου θέλουμε να συνενωθούν.

Μέσα από το παράθυρο που ανοίγει (Εικόνα 4.51), φαίνεται σε δύο ξεχωριστά παράθυρα, το σύνολο του νέφους των σημείων που έχουν ληφθεί από κάθε μία από τις δύο σαρώσεις.

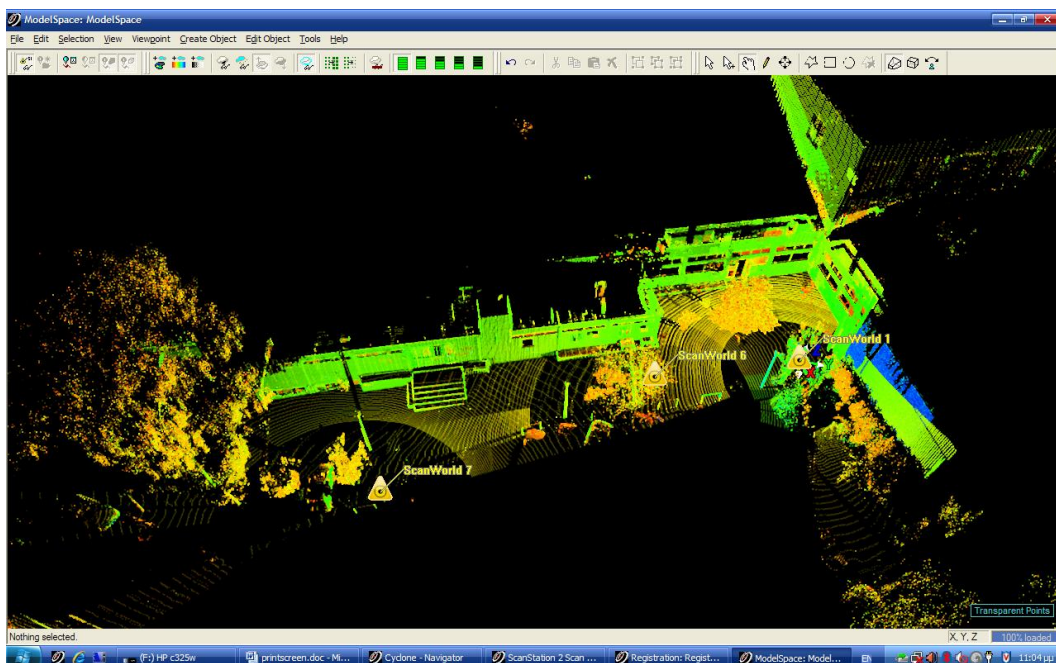


Εικόνα 4.51: Συνένωση των σαρώσεων ScanWorld 1 και ScanWorld 2

Σε καθένα από τα νέφη, επιλέγονται οι κοινοί στόχοι που θα χρησιμοποιηθούν στη συνένωση, και εκτελείται η εντολή Register. Αν το σφάλμα της συνένωσης είναι αποδεκτό, ανάλογα με την ακρίβεια που θέλει να πετύχει ο χρήστης, επιλέγεται η εντολή Registration/ Create ScanWorld/ Freeze Registration. Το τελικό προϊόν της συνένωσης είναι ένα ενιαίο σύνολο σημείων που έχουν ληφθεί και από τις δύο σαρώσεις (Εικόνες 4.52, 4.53).



Εικόνα 4.52: Τελικό προϊόν της συνένωσης , όπου φαίνονται και οι θέσεις λήψης όλων των ScanWorld.



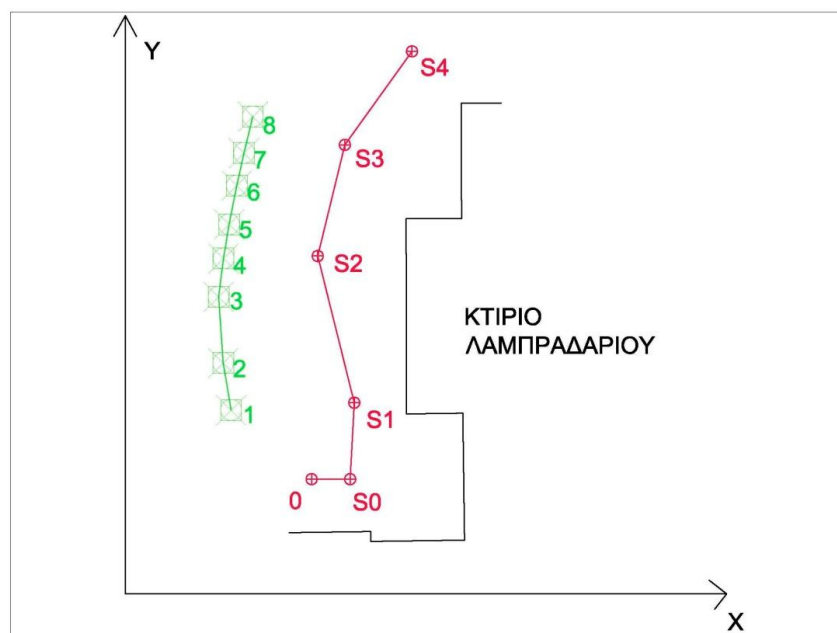
Εικόνα 4.53: Διαφορετική όψη από το τελικό προϊόν της συνένωσης , όπου φαίνονται και οι θέσεις λήψης όλων των ScanWorld.

4.5 ΠΕΙΡΑΜΑ 4^ο

4.5.1 Χάραξη σημείων κατά μήκος δρόμου με τη βοήθεια του Scanstation2

Το τέταρτο πείραμα, πραγματοποιήθηκε σε εξωτερικό περιβάλλον και συγκεκριμένα, στο δρόμο που περνά έξω από το κτίριο Λαμπαδαρίου της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν η χάραξη σημείων κατά μήκος του δρόμου. Τα σημεία χάραξης δεν επιλέχθηκαν να βρίσκονται στον άξονα του δρόμου, αλλά στην αρχή του ρεΐθρου, για λόγους ασφαλείας.

Για τις ανάγκες του πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν δύο στάσεις της όδευσης που υλοποιήθηκε στο προηγούμενο πείραμα. Μετρήθηκαν με τη βοήθεια ενός Total Station οι συντεταγμένες σημείων που βρίσκονται στο ρεΐθρο κατά μήκος του δρόμου. Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών, αφού υπολογίστηκαν, θεωρήθηκαν ως δεδομένες στην προσπάθεια χάραξης των ίδιων σημείων με τον Scanstation2.



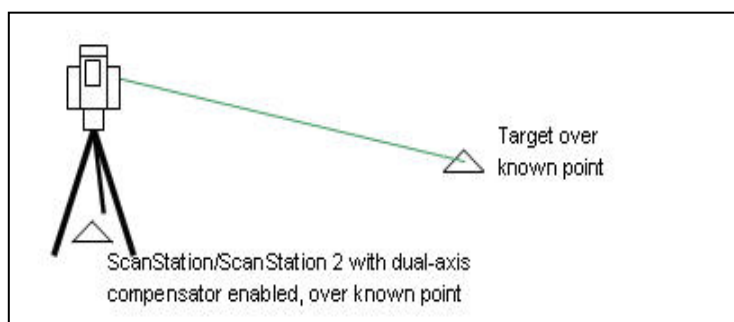
Σχήμα 4.6: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του πειράματος, καθώς και των σημείων που χαραχτηκαν στο έδαφος κατά μήκος του δρόμου

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι στάσεις S1 και S2 της όδευσης του προηγούμενου πειράματος με γνωστές συντεταγμένες. Η στάση S2 χρησιμοποιήθηκε ως θέση του οργάνου, και η στάση S1, ως γνωστό σημείο εξάρτησης και μηδενισμού. Η χάραξη έγινε με τη βοήθεια του Scanstation2, μέσω του προγράμματος Cyclone 6.0.

Για τη έναρξη της διαδικασίας της χάραξης, όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα πειράματα, για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί, απαιτείται να γίνει πρωτίστως η διαδικασία του Field Setup, ώστε να ορίσουμε στον σαρωτή το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο αναφέρονται τα σημεία που θέλουμε να χαράξουμε.

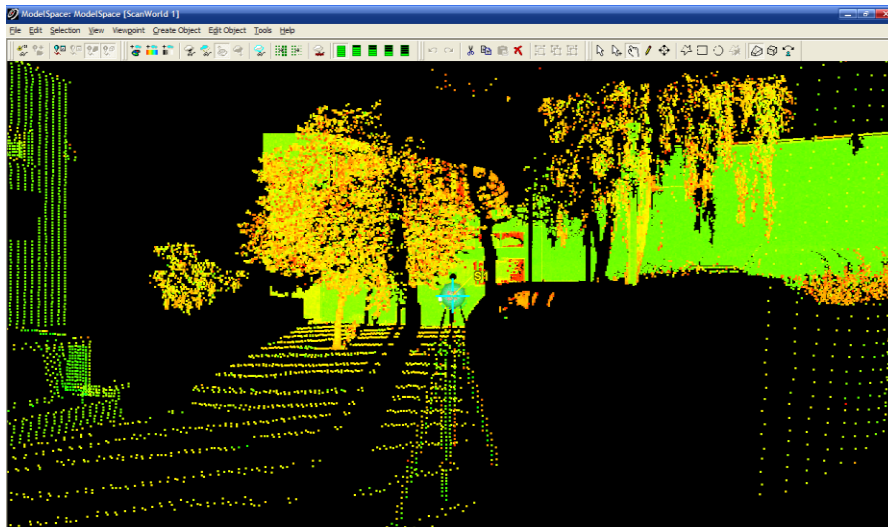
Η παραπάνω διαδικασία είναι απαραίτητη πριν από της έναρξη της χάραξης, και ουσιαστικά μας επιτρέπει να αλλάζουμε το σύστημα συντεταγμένων που μετράει ο σαρωτής.

Αναλυτικά, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Field Setup, με τον σαρωτή τοποθετημένο πάνω σε ένα γνωστό σημείο και στοχεύοντας ένα επίσης γνωστό σημείο (Μέθοδος Known Backsight).



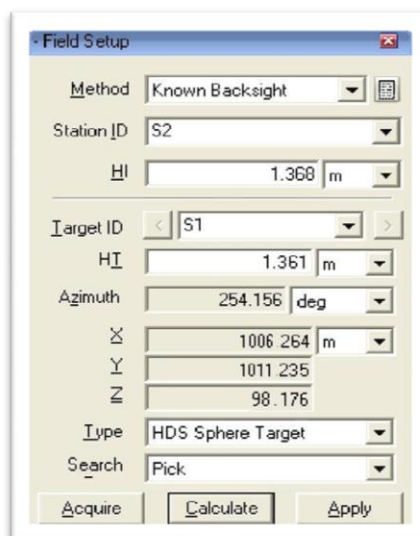
Σχήμα 4.7: Μέθοδος Known Backsight . Τοποθετώντας τον σαρωτή σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων και στοχεύοντας ένα επίσης γνωστό σημείο.

Συγκεκριμένα, ο σαρωτής τοποθετήθηκε στη στάση S2 και στη στάση S1, τοποθετήθηκε ένας σφαιρικός στόχος (Εικόνα 4.54), ώστε να αναγνωρίζεται από το όργανο.



Εικόνα 4.54: Σφαιρικός στόχος τοποθετημένος πάνω στη στάση S1.

Στο παράθυρο του Field Setup, προσδιορίσθηκαν ο τύπος του στόχου που τοποθετήθηκε στο σημείο S1, τα ύψη οργάνου και στόχου, καθώς και οι συντεταγμένες των σημείων S1 και S2. (Εικόνα 4.55). Στη συνέχεια αναγνωρίσθηκε ο στόχος του σημείου S1, μέσω της εντολής Acquire Target (Εικόνα 4.54), και υπολογίσθηκε η σχέση μεταξύ της θέσης του Scanner και του συστήματος των γνωστών συντεταγμένων. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, είναι η άμεση γεωαναφορά του νέφους των σημείων στο σύστημα συντεταγμένων του χρήστη.

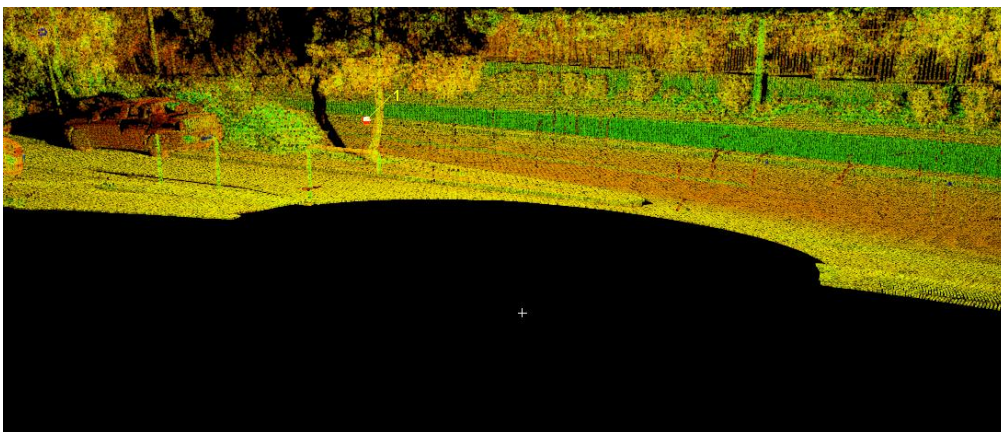


Εικόνα 4.55: Ορισμός του συστήματος συντεταγμένων (Field Setup) μέσω του προγράμματος Cyclone με τη μέθοδο Known Backsight.

Στη συνέχεια, η διαδικασία της χάραξης, πραγματοποιείται μέσω του προγράμματος Cyclone. Συγκεκριμένα, μέσα από το παράθυρο Stakeout του προγράμματος, επιλέγεται αρχικά η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της θέσης των σημείων. Στο συγκεκριμένο πείραμα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Orthogonal from Station, όπου εισάγεται το όνομα του κάθε σημείου και οι συντεταγμένες του (x, y, z). Έτσι, εισάγονται διαδοχικά οι συντεταγμένες των σημείων 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 και 8, που θέλουμε να χαράξουμε, και τοποθετούνται αντίστοιχα επίπεδοι στόχοι ακριβώς πάνω από τα σημεία 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 και 8. Αξίζει στο σημείο αυτό να τονισθεί, ότι ο χρήστης θα πρέπει να γνωρίζει την γενική περιοχή στη οποία βρίσκονται τα σημεία που θέλει να χαράξει.

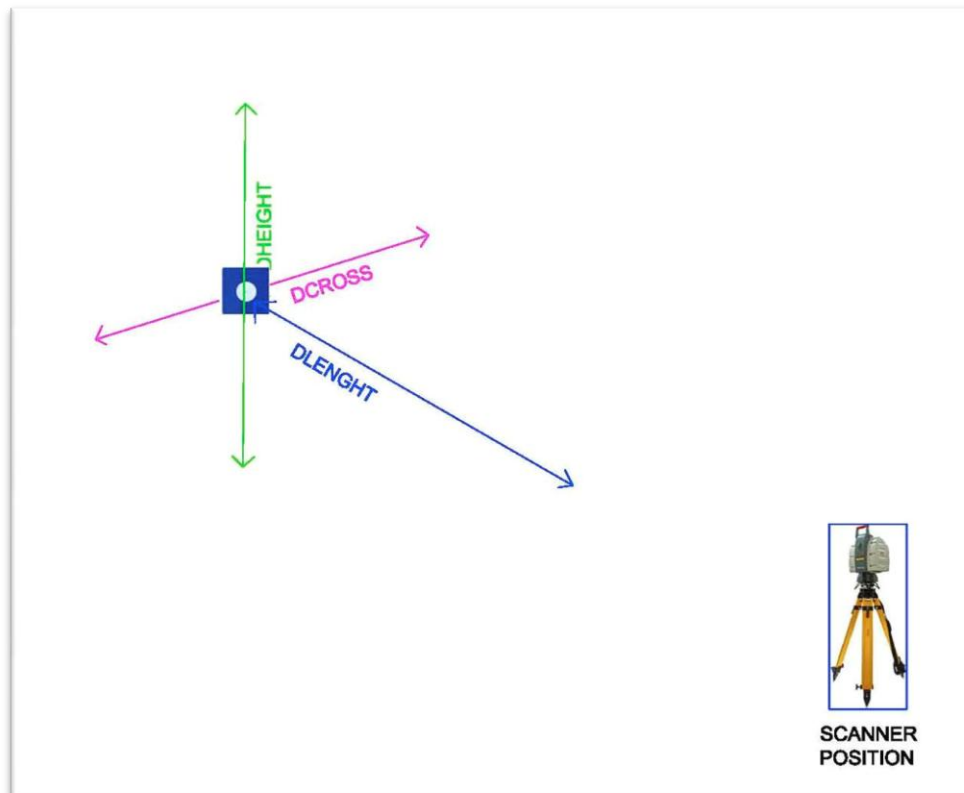
Κατά τη πραγματοποίηση του συγκεκριμένου πειράματος, επειδή ήταν ήδη γνωστή η θέση των σημείων στο έδαφος, οι στόχοι τοποθετήθηκαν πάνω από την ακριβή θέση των σημείων εξαρχής.

Στην περίπτωση όπου δεν είναι γνωστή η θέση του σημείου στο έδαφος, τοποθετείται ένας στόχος στην περιοχή που αναμένεται να βρίσκεται το σημείο και εκτελούνται οι εντολές Coarse Target Scan και Acquire Target αντίστοιχα, ώστε να αναγνωρισθεί η θέση του στόχου.



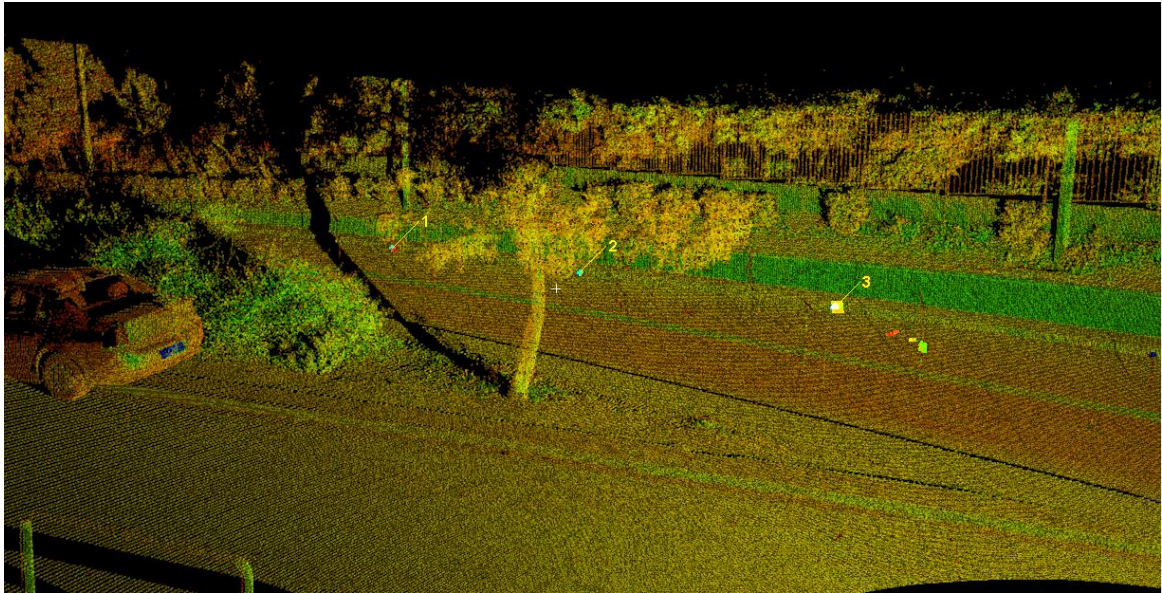
Εικόνα 4.56: Χάραξη σημείου 1 κατά μήκος του δρόμου

Το πρόγραμμα εξάγει αυτόματα οδηγίες (Rodman Instructions) για την μετακίνηση του κάθε στόχου, ώστε να ταυτιστεί με τη θέση του σημείου που θέλουμε να χαραξουμε. Οι οδηγίες αφορούν τη σχετική μετακίνηση του στόχου βάση της θέσης του σαρωτή (Εικόνα 4.57).

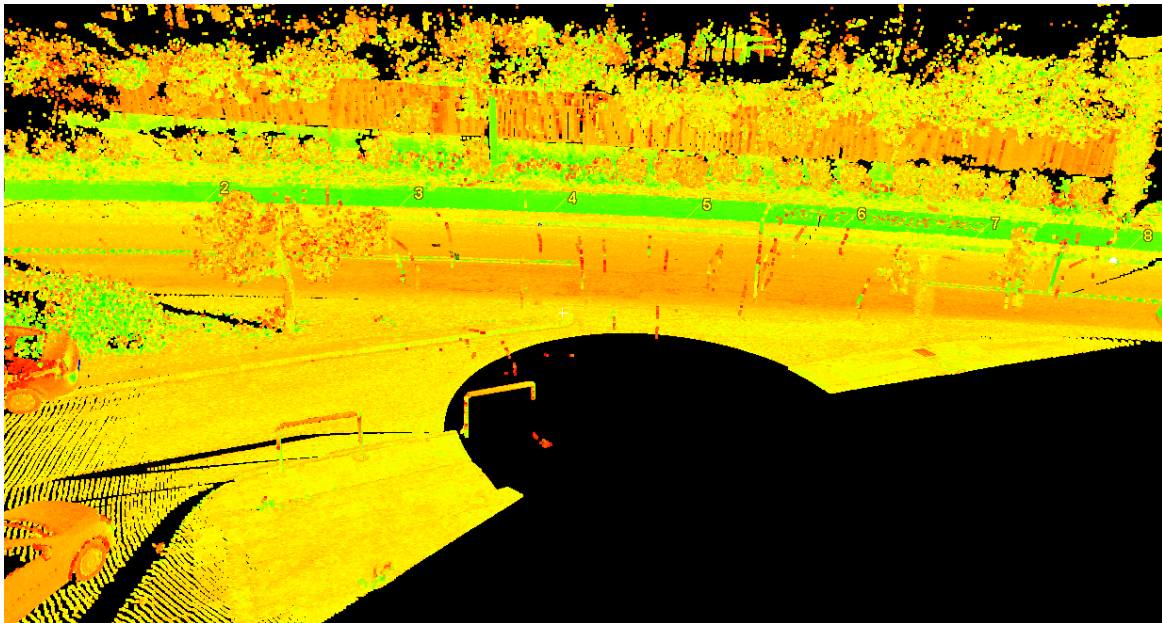


Εικόνα 4.57: Οδηγίες μετακίνησης του στόχου (DCROSS, DLENGTH, DHEIGHT) ώστε να ταυτιστεί με το σημείο χάραξης

Η διαδικασία τελειώνει όταν ο στόχος βρεθεί ακριβώς στο σημείο που θέλουμε να χαραχθεί και η ακριβής θέση του σημείου εμφανίζεται στο νέφος των σημείων της σάρωσης (Εικόνες 4.58, 4.59).



Σχήμα 4.58: Χάραξη σημείου 3 κατά μήκος του δρόμου



Σχήμα 4.59: Τελικό προϊόν της χάραξης όλων των σημείων κατά μήκος του δρόμου

5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μία αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις εργασίες πεδίου και των τριών πειραμάτων.

5.2 ΠΕΙΡΑΜΑ 1^ο

5.2.1 Αποτελέσματα γεωδαιτικών μετρήσεων

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο του Σχεδιασμού των πειραμάτων, στην αίθουσα Υ23 όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα, προϋπήρχαν τα υλοποιημένα πάνω σε βάθρα σημεία T1 και T2, με γνωστές συντεταγμένες. Με την βοήθεια των T1 και T2, δόθηκαν συντεταγμένες στις στάσεις S2, S3, S4, S5 και S6, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. (πίνακας 5.1).

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
T1	6.564	2.491	-0.010
T2	12.502	2.498	-0.009
S2	14.196	4.657	-0.015
S3	11.867	7.669	-0.011
S4	6.188	7.120	-0.010
S5	7.569	3.708	-0.013
S6	16.233	7.786	-0.021

Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες των στάσεων S2, S3, S4, S5 και S6 υπολογισμένες με Total Station.

Οι ακρίβειες προσδιορισμού των συντεταγμένων των στάσεων τις όδευσης με δεδομένες τη γωνιομετρική ακρίβεια του οργάνου, και τη ακρίβεια μέτρησης της απόστασης, υπολογίσθηκαν με τη βοήθεια του Νόμου μετάδοσης

σφαλμάτων και παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.2).

ΣΗΜΕΙΟ	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)
S2	±0.001	±0.001	±0.002
S3	±0.001	±0.002	±0.003
S4	±0.001	±0.002	±0.002
S5	±0.001	±0.001	±0.002
S6	±0.002	±0.002	±0.003

Πίνακας 5.2: Ακρίβειες υπολογισμού των συντεταγμένων των στάσεων S2, S3, S4, S5 και S6 υπολογισμένες με Νόμο μετάδοσης σφαλμάτων.

Οι ακρίβειες που προκύπτουν είναι αρκετά ικανοποιητικές. Το γεγονός ότι το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακό περιβάλλον (μικρές αποστάσεις μεταξύ των σημείων), καθώς και η εξαιρετικά προσεκτικές μετρήσεις (μέτρηση γωνιών και αποστάσεων σε 4 περιόδους), συμβάλλουν στην εξαγωγή των παραπάνω αποτελεσμάτων.

5.2.2 Αποτελέσματα όδευσης με τον scanstation2

Για να μπορέσει να εκτελεστεί η όδευση από τον Scanstation2, απαιτείται η ύπαρξη δύο σημείων γνωστών συντεταγμένων. Στο πρώτο σημείο τοποθετήθηκε η ειδική HDS σφαίρα, οριζοντιωμένη και κεντρωμένη πάνω από σημείο T1, και στο δεύτερο σημείο τοποθετήθηκε ο σαρωτής.

Υπενθυμίζεται ότι για να ξεκινήσει η όδευση πρέπει να υπάρχει ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων, πάνω στο οποίο μπορεί να τοποθετηθεί το όργανο. Έτσι, δεδομένου ότι τα σημεία T1 και T2 βρίσκονται πάνω σε βάθρα, θεωρήθηκαν οι συντεταγμένες της πρώτης στάσης (S2) γνωστές και υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες των υπολοίπων στάσεων. Ο υπολογισμός των συντεταγμένων των στάσεων γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα

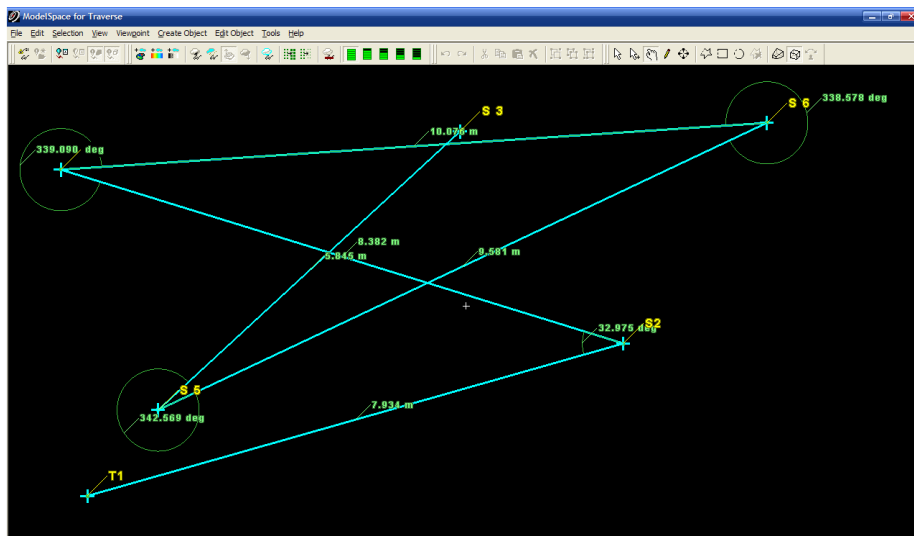
Cyclone 6.0, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα: (πίνακας 5.3).

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
T1	6.564	2.491	-0.010
S2	14.196	4.657	-0,015
S3	11.871	7.669	-0.018
S4	6.187	7.126	-0.015
S5	7.571	3.710	-0.019
S6	16.240	7.790	-0.025

Πίνακας 5.3: Συντεταγμένες των στάσεων S3, S4, S5 και S6 υπολογισμένες με τον Scanstation2.

Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα εποπτείας της όδευσης που μετρήθηκε απεικονίζοντας σχηματικά τις μετρημένες στάσεις καθώς και τα μετρημένα μεγέθη. Στα σχήματα που ακολουθούν, παρουσιάζονται σχηματικά οι μετρημένες οριζόντιες γωνίες και αποστάσεις μεταξύ των στάσεων, όπως αυτές υπολογίσθηκαν διαδοχικά από το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Τα μήκη που παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν είναι οριζόντια και γωνίες μετρήθηκαν σε μοίρες.

Η ακρίβεια υπολογισμού της θέσης των στόχων που βρίσκονται στις στάσεις της όδευσης από το πρόγραμμα είναι της τάξης του 1-2mm. Ωστόσο, στα αποτελέσματα που δίνει το πρόγραμμα, υπεισέρχονται σφάλματα από τα μετρημένα ύψη οργάνου και στόχων, καθώς και σφάλματα οριζοντίωσης και κέντρωσης τόσο του οργάνου, όσο και των στόχων.



Σχήμα 5.1: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης με τα μετρημένα μεγέθη, όπως αυτά υπολογίσθηκαν από τον σαρωτή μέσω του προγράμματος Cyclone, κατά τον υπολογισμό των συντεταγμένων των στάσεων της όδευσης.

5.2.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων όδευσης

Οι συντεταγμένες των σημείων S2, S3, S4, S5 και S6 της όδευσης, υπολογίστηκαν ανεξάρτητα με Total Station και με τον σαρωτή Scanstation2, με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Συγκρίνοντας τις συντεταγμένες αυτές μεταξύ τους, εντοπίζονται διαφορές, οι οποίες παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.4):

ΣΗΜΕΙΟ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ Total Station (m)			ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ScanStation2 (m)			ΔΙΑΦΟΡΑ (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
S2	14.196	4.657	-0,015	14.196	4.657	-0,015	0.000	0.000	0.000
S3	11.867	7.669	-0,011	11.871	7.669	-0,018	-0.004	0.000	0.007
S4	6.188	7.120	-0,010	6.187	7.126	-0,015	0.001	-0.006	0.005
S5	7.569	3.708	-0,013	7.571	3.710	-0,019	-0.002	-0.002	0.006
S6	16.233	7.786	-0,021	16.240	7.790	-0,025	-0.007	-0.004	0.004

Πίνακας 5.4: Σύγκριση των υπολογισμένων συντεταγμένων των στάσεων με τις δύο μεθόδους.

Με βάση τις διαφορές στον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ, μπορούμε να υπολογίσουμε το μέσω τετραγωνικό σφάλμα (RMS) με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.1:

- Τυπικό σφάλμα της μιας μέτρησης

$$\hat{\sigma} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (5.1)$$

Έτσι, υπολογίζονται τα εξής:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \pm 0.005m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{y}} = \pm 0.004m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{z}} = \pm 0.006m$$

Τα αποτελέσματα της όδευσης κρίνονται ικανοποιητικά για εφαρμογές όπου απαιτείται ακρίβεια καλύτερη του 1cm.

5.2.4 Αποτελέσματα χάραξης

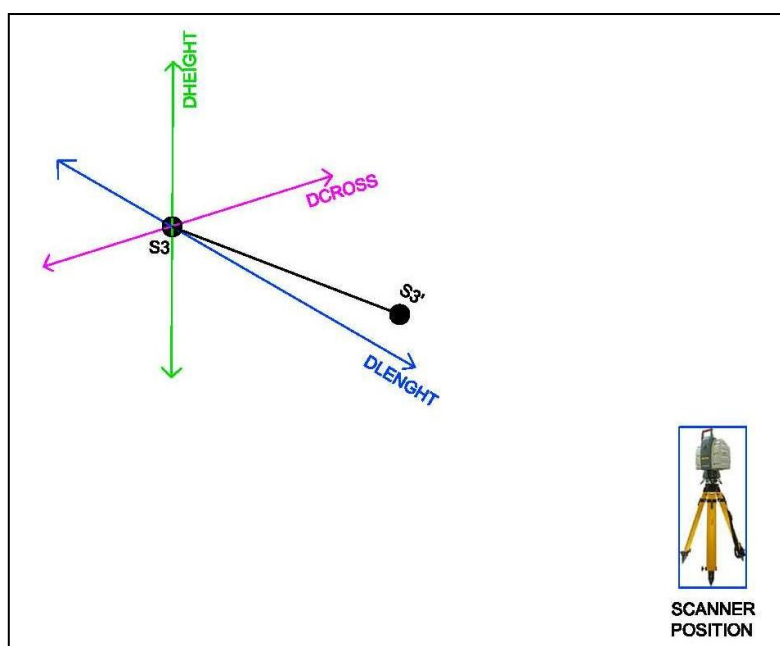
Κατά την χάραξη των στάσεων S2, S3, S4, S5 και S6 της όδευσης, επειδή ήταν ήδη γνωστή η θέση των σημείων στο χώρο, τοποθετήθηκαν επίπεδοι στόχοι ακριβώς πάνω από τα σημεία αυτά. Στη συνέχεια, για κάθε ένα από τα σημεία των στάσεων, εκτελέστηκαν οι εντολές Coarse Target Scan και Acquire Target αντίστοιχα, ώστε να αναγνωρισθεί η θέση των στόχων.

Το πρόγραμμα, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, εξάγει αυτόματα οδηγίες (Rodman Instructions) για την μετακίνηση του κάθε στόχου, ώστε να ταυτιστεί με τη θέση του σημείου που θέλουμε να χαράξουμε. Οι οδηγίες αφορούν τη σχετική μετακίνηση του στόχου βάση της θέσης του σαρωτή.

Οι οδηγίες αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.5):

ΣΗΜΕΙΟ	DCROSS (m)	DLENGHT (m)	DHEIGHT (m)
S3	0.003	0.010	0.001
S4	0.001	0.013	0.001
S5	0.002	0.019	0.002
S6	0.001	0.007	0.001

Πίνακας 5.5: Οδηγίες μετακίνησης των στόχων, ώστε να ταυτιστούν με τις θέσεις των στάσεων



Σχήμα 5.2: Σχηματική απεικόνιση όπου παρουσιάζεται η μετατόπιση του σημείου S3. Η θέση S3' αντιστοιχεί στην λανθασμένη θέση που υποδεικνύει το πρόγραμμα για τη θέση που βρίσκεται το σημείο S3.

Με βάση τις διαφορές στον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων DCROSS, DLENGHT, DHEIGHT, μπορούμε να υπολογίσουμε το μέσω τετραγωνικό σφάλμα (RMS) με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.1:

Έτσι, υπολογίζονται τα εξής:

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}(DCROSS)} = \pm 0.002m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{Y}(DLENGHT)} = \pm 0.013m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{Z}(DHEIGHT)} = \pm 0.001m$$

Στον παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε πως υπάρχει ένα συστηματικό σφάλμα κατά τη διεύθυνση DLENGHT, δηλαδή τη μετακίνηση του στόχου ώστε να βρεθεί πιο κοντά στον σαρωτή. Αυτό το σφάλμα πιθανότατα να οφείλεται σε σφάλμα της ακτίνας του laser εξαιτίας της μικρής οπτική γωνίας. Ο σαρωτής τοποθετήθηκε σε ύψος 1.50m, ενώ οι στόχοι τοποθετήθηκαν στο έδαφος. Έτσι, υπάρχει αδυναμία σκόπευσης των στόχων με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται αυτό το συστηματικό σφάλμα. Συγκεκριμένα, όπως παρατηρείται το σφάλμα αυτό είναι μεγαλύτερο για τα πιο απομακρυσμένα σημεία, και μικρότερο για τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στο σαρωτή. Επιπλέον, για τη διεύθυνση DHEIGHT, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει επίσης κάποιο συστηματικό σφάλμα εξαιτίας του πάχους των επίπεδων στόχων που κυμαίνεται μεταξύ του 1-2mm.

5.3 ΠΕΙΡΑΜΑ 2^ο

5.3.1 Αποτελέσματα γεωδαιτικών μετρήσεων

Οι συντεταγμένες των στάσεων της όδευσης του δεύτερου πειράματος, υπολογίστηκαν με βάση αυθαίρετο τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Για τη δημιουργία του αυθαίρετου συστήματος συντεταγμένων θεωρήθηκαν τα εξής:

S1 (1000, 1000, 100)

$$a_{S1S2} = 100^g$$

Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας τη μέθοδο των τριών τριπόδων, και μετρώντας οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, οριζόντια μήκη, καθώς και ύψη οργάνου και στόχων, υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των στάσεων S2, S3 και S4.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης της όδευσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6:

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
S1	1000	1000	100
S2	1009.607	1000	100.010
S3	1046.915	983.658	100.007
S4	1058.559	977.566	100.011

Πίνακας 5.6: Συντεταγμένες των στάσεων S1, S2, S3 και S4, υπολογισμένες με Total Station.

Οι ακρίβειες προσδιορισμού των συντεταγμένων των στάσεων της όδευσης με δεδομένες τη γωνιομετρική ακρίβεια του οργάνου, και τη ακρίβεια μέτρησης της απόστασης, υπολογίσθηκαν με τη βοήθεια του Νόμου μετάδοσης σφαλμάτων και παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.7).

ΣΗΜΕΙΟ	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)
S1	± 0.001	± 0.001	± 0.002
S2	± 0.002	± 0.003	± 0.003
S3	± 0.002	± 0.002	± 0.002
S4	± 0.001	± 0.002	± 0.002

Πίνακας 5.7: Ακρίβειες υπολογισμού των συντεταγμένων των στάσεων της όδευσης υπολογισμένες με Νόμο μετάδοσης σφαλμάτων.

Οι ακρίβειες που προκύπτουν είναι αρκετά ικανοποιητικές. Το γεγονός ότι το πείραμα πραγματοποιήθηκε εσωτερικό χώρο κτιρίου (σχετικά μικρές αποστάσεις μεταξύ των σημείων), καθώς και η εξαιρετικά προσεκτικές μετρήσεις (μέτρηση γωνιών και αποστάσεων σε 4 περιόδους), συμβάλλουν στην εξαγωγή των παραπάνω αποτελεσμάτων.

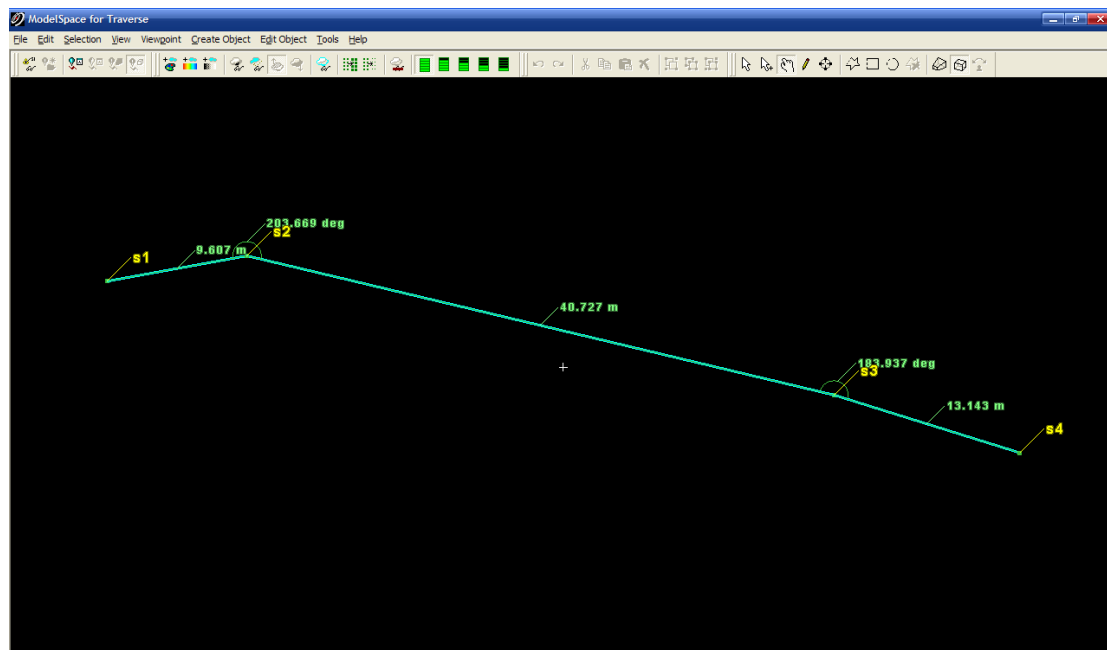
5.3.2 Αποτελέσματα όδευσης με τον scanstation2

Η διαδικασία της όδευσης εκτελέστηκε όπως και στο πρώτο πείραμα, θεωρώντας τα σημεία S1 και S2 γνωστά. Έτσι, υπολογίστηκαν οι συνταγμένες των σημείων S3 και S4 της όδευσης με τη βοήθεια του προγράμματος Cyclone 6.0. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.8):

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
S1	1000	1000	100
S2	1009.607	1000	100.010
S3	1046.908	983.650	99.999
S4	1058.555	977.560	100.004

Πίνακας 5.8: Συντεταγμένες των στάσεων S1, S2, S3 και S4, υπολογισμένες με τον Scanstation2.

Στο σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 5.3), όπως και στο πρώτο πείραμα, παρουσιάζονται σχηματικά οι μετρημένες οριζόντιες γωνίες και αποστάσεις μεταξύ των στάσεων, όπως αυτές υπολογίσθηκαν διαδοχικά από το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



Σχήμα 5.3: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης με τα μετρημένα μεγέθη, όπως αυτά υπολογίστηκαν από τον Scanner μέσω του προγράμματος Cyclone, κατά τον υπολογισμό των συντεταγμένων των στάσεων S3 και S4. Να σημειωθεί ότι τα μήκη του σχήματος είναι οριζόντια και οι γωνίες μετρημένες σε μοίρες.

5.3.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων όδευσης

Οι συντεταγμένες των σημείων S1, S2, S3, και S4 της όδευσης, υπολογίστηκαν ανεξάρτητα με Total Station και με τον σαρωτή Scanstation2, με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Συγκρίνοντας τις συντεταγμένες αυτές μεταξύ τους, εντοπίζονται διαφορές, οι οποίες παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.9):

ΣΗΜ ΕΙΟ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ Total Station (m)			ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ScanStation2 (m)			ΔΙΑΦΟΡΑ (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
S1	1000	1000	100	1000	1000	100	0.000	0.000	0.000
S2	1009.607	1000	100.010	1009.607	1000	100.010	0.000	0.000	0.000
S3	1046.915	983.658	100.007	1046.908	983.650	99.999	0.007	0.008	0.008
S4	1058.559	977.566	100.011	1058.555	977.560	100.004	0.004	0.006	0.007

Πίνακας 5.9: Σύγκριση των υπολογισμένων συντεταγμένων των στάσεων με τις δύο μεθόδους.

Με βάση τις διαφορές στον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων ΔX, ΔY, ΔZ, μπορούμε να υπολογίσουμε, όπως και στο προηγούμενο πείραμα, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.1:

Έτσι, υπολογίζονται τα εξής:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \pm 0.005m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{y}} = \pm 0.006m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{z}} = \pm 0.006m$$

Τα αποτελέσματα της όδευσης κρίνονται ικανοποιητικά για εφαρμογές όπου απαιτείται ακρίβεια καλύτερη του 1cm.

5.3.4 Αποτελέσματα συνένωσης διαδοχικών σαρώσεων με τη βοήθεια κοινών στόχων

Σκοπός της συνένωσης των διαδοχικών σαρώσεων είναι η δημιουργία ενός ενιαίου μοντέλου επιφάνειας. Η συνένωση έγινε με τη βοήθεια στόχων, των οποίων οι συντεταγμένες τους μετρήθηκαν με Total Station και στη συνέχεια θεωρήθηκαν γνωστές και χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση και γεωαναφορά του μοντέλου.

Οι συντεταγμένες των σημείων των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.10):

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	997.537	1004.553	101.493
2	1000	1000	100.000
3	1000.499	1002.729	100.674
4	1001.907	1004.352	100.485
5	998.702	995.022	100.266
6	1000.069	993.580	101.823
7	1049.942	984.494	101.688
8	1058.559	977.566	100.011
9	1060.890	977.979	100.667
10	1061.295	978.318	101.671

Πίνακας 5.10: Συντεταγμένες σημείων στόχων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων μετρημένες με γεωδαιτικό σταθμό.



Σχήμα 5.4: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης που υλοποιήθηκε, μαζί με το σύνολο των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων

Για τη συνένωση και γεωαναφορά των τρισδιάστατων νεφών που προέκυψαν από τις διαδοχικές σαρώσεις χρησιμοποιήθηκαν ως ομόλογα σημεία τα σημεία 1 έως 10. Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε ο δεσμός (cloud constraint) μεταξύ των δύο σαρώσεων με την εντολή Cloud Constraint/Add Cloud Constraint και μέσω της εντολής Cloud Constraint/Optimize Cloud Alignment γίνεται βελτιστοποίηση της ευθυγράμμισης μεταξύ των νεφών. Το σφάλμα σύνδεσης των δύο σαρώσεων στα ομόλογα σημεία είναι μηδενικό ενώ το γραμμικό σφάλμα (RMS) είναι 0.008m και είναι αποδεκτό (γενικά ισχύει $RMS < 1cm$).

5.3.5 Αποτελέσματα χάραξης

Κατά την χάραξη των στάσεων S1, S3, και S4 της όδευσης, επειδή ήταν ήδη γνωστή η θέση των σημείων στο χώρο, κεντρώθηκαν και οριζοντιώθηκαν σφαίρες ακριβώς πάνω από τα σημεία αυτά. Στη συνέχεια, για κάθε ένα από τα σημεία των στάσεων, εκτελέστηκαν οι εντολές Coarse Target Scan και Acquire Target αντίστοιχα, ώστε να αναγνωρισθεί η θέση των στόχων.

Οι οδηγίες (Rodman Instructions) για την μετακίνηση του κάθε στόχου, ώστε να ταυτιστεί με τη θέση του σημείου που θέλουμε να χαράξουμε εξάγονται απ' ευθείας από το πρόγραμμα και αφορούν τη σχετική μετακίνηση του στόχου βάση της θέσης του σαρωτή. Ως θέση οργάνου θεωρήθηκε η θέση S2.

Οι οδηγίες αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.11):

ΣΗΜΕΙΟ	DCROSS (m)	DLENGHT (m)	DHEIGHT (m)
S1	0.000	0.006	0.014
S3	0.001	0.003	0.009
S4	0.001	0.005	0.011

Πίνακας 5.11: Οδηγίες μετακίνησης των στόχων, ώστε να ταυτιστούν με τις θέσεις των στάσεων

Με βάση τις διαφορές στον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων DCROSS, DLENGHT, DHEIGHT, μπορούμε να υπολογίσουμε το μέσω τετραγωνικό σφάλμα (RMS) με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.1:

Έτσι, υπολογίζονται τα εξής:

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}(DCROSS)} = \pm 0.001m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{Y}(DLENGHT)} = \pm 0.005m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{Z}(DHEIGHT)} = \pm 0.012m$$

Στον παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε πως υπάρχει ένα συστηματικό σφάλμα κατά τη διεύθυνση DHEIGHT. Το σφάλμα αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε συστηματικό σφάλμα μέτρησης των υψών οργάνου και στόχων. Τα σφάλματα DCROSS και DLENGHT αναμένεται να περιλαμβάνουν και το σφάλμα κέντρωσης και οριζοντίωσης τόσο του σαρωτή ,όσο και των στόχων.

Ωστόσο, αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι, η διαδικασία της χάραξης για το συγκεκριμένο πείραμα, εκτελέστηκε ταυτόχρονα με τη διαδικασία της όδευσης σε διαφορετικό βέβαια project, ώστε να είναι ανεξάρτητες. Τα αποτελέσματα που δίνει δεν κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά αφού ως συντεταγμένες των στάσεων για τη χάραξη, θεωρήθηκαν οι συντεταγμένες που έδωσε το αποτέλεσμα της όδευσης από τον ίδιο τον σαρωτή χωρίς μετακίνηση ούτε του οργάνου αλλά ούτε και των στόχων. Έτσι, δεδομένου ότι η ακρίβεια του οργάνου στον προσδιορισμό της θέσης είναι 6mm, τα αποτελέσματα δεν κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά για τη διεύθυνση DHEIGHT.

5.4 ΠΕΙΡΑΜΑ 3^ο

5.4.1 Αποτελέσματα γεωδαιτικών μετρήσεων

Οι συντεταγμένες των στάσεων της όδευσης του τρίτου πειράματος, υπολογίστηκαν επίσης με βάση αυθαίρετο τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Για τη δημιουργία του αυθαίρετου συστήματος συντεταγμένων θεωρήθηκαν τα εξής:

Σημείο Μηδενισμού (1000, 1000, 100) m

$A_{0S0} = 100^g$

Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας τη μέθοδο των τριών τριπόδων, και μετρώντας οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, οριζόντια μήκη, καθώς και ύψη οργάνου και στόχων, υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των στάσεων S1, S2, S3 και S4. Τα αποτελέσματα της επίλυσης της όδευσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.12:

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
ΣΗΜΕΙΟ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ	1000	1000	100
S0	1005.655	1000	100.022
S1	1006.258	1011.227	98.167
S2	1000.900	1032.771	97.034
S3	1004.879	1049.096	96.329
S4	1014.728	1062.821	95.449

Πίνακας 5.12 : Συντεταγμένες των στάσεων S1, S2, S3 και S4, υπολογισμένες με Total Station.

ΣΗΜΕΙΟ	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)
S1	±0.002	±0.002	±0.003
S2	±0.002	±0.003	±0.003
S3	±0.001	±0.002	±0.002
S4	±0.001	±0.002	±0.002

Πίνακας 5.13: Ακρίβειες υπολογισμού των συντεταγμένων των στάσεων της όδευσης υπολογισμένες με Νόμο μετάδοσης σφαλμάτων.

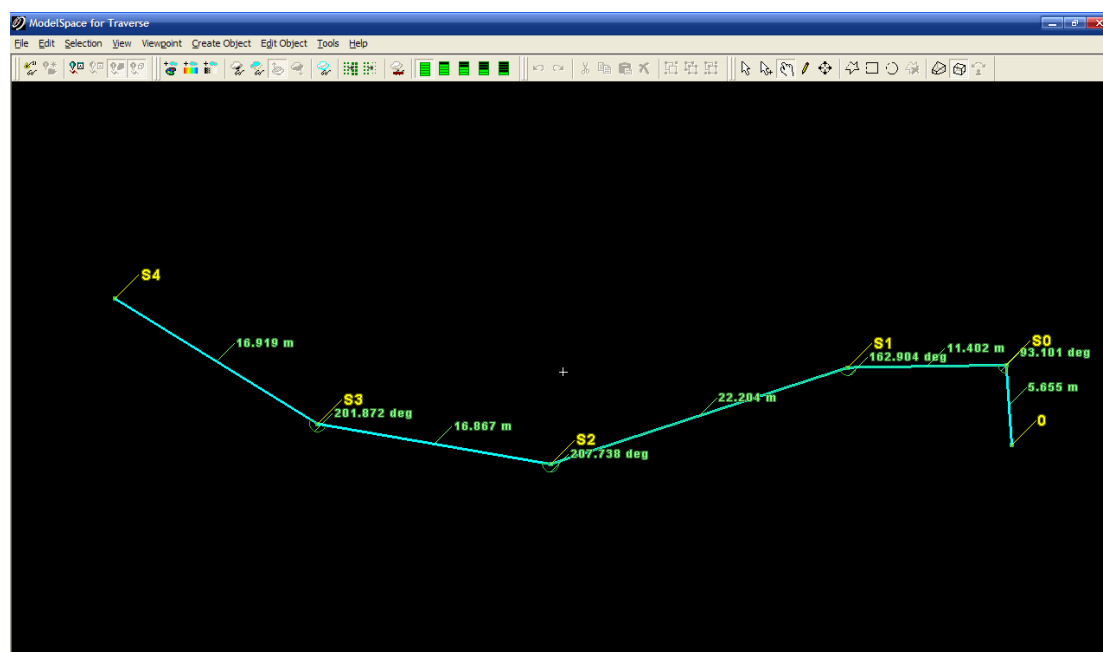
5.4.2 Αποτελέσματα όδευσης με τον scanstation2

Η διαδικασία της όδευσης εκτελέστηκε όπως και στα προηγούμενα πειράματα, θεωρώντας τα σημεία 0 και S0 γνωστά. Έτσι, υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες των σημείων S1, S2, S3 και S4 της όδευσης με τη βοήθεια του προγράμματος Cyclone 6.0. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.14):

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
ΣΗΜΕΙΟ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ	1000	1000	100
S0	1005.655	1000	100.022
S1	1006.264	1011.235	98.176
S2	1000.894	1032.779	97.041
S3	1004.883	1049.090	96.337
S4	1014.722	1062.825	95.456

Πίνακας 5.14: Συντεταγμένες των στάσεων S1, S2, S3 και S4, υπολογισμένες με τον Scanstation2.

Στο σχήμα που ακολουθεί, (σχήμα 5.5) παρουσιάζονται σχηματικά οι μετρημένες οριζόντιες γωνίες και αποστάσεις μεταξύ των στάσεων, όπως αυτές υπολογίστηκαν διαδοχικά από το πρόγραμμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



Σχήμα 5.5: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης με τα μετρημένα μεγέθη, όπως αυτά υπολογίστηκαν από τον Scanner μέσω του προγράμματος Cyclone, κατά τον υπολογισμό των συντεταγμένων των στάσεων S1, S2, S3 και S4. Να σημειωθεί ότι τα μήκη του σχήματος είναι οριζόντια και οι γωνίες μετρημένες σε μοίρες.

5.4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων όδευσης

Οι συντεταγμένες των σημείων S0, S1, S2, S3 και S4 της όδευσης, υπολογίστηκαν ανεξάρτητα με Total Station και με τον σαρωτή Scanstation2, με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Συγκρίνοντας τις συντεταγμένες αυτές μεταξύ τους, εντοπίζονται διαφορές, οι οποίες παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.15)

ΣΗΜΕΙΟ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ Total Station (m)			ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ScanStation2 (m)			ΔΙΑΦΟΡΑ (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
ΣΗΜΕΙΟ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΥ	1000	1000	100	1000	1000	100	0.000	0.000	0.000
S0	1005.655	1000	100.022	1005.655	1000	100.022	0.000	0.000	0.000
S1	1006.258	1011.227	98.167	1006.264	1011.235	98.176	0.006	0.008	0.009
S2	1000.900	1032.771	97.034	1000.894	1032.779	97.041	-0.006	0.008	0.007
S3	1004.878	1049.096	96.329	1004.883	1049.090	96.337	0.005	-0.006	0.008
S4	1014.728	1062.821	95.449	1014.722	1062.825	95.456	-0.006	0.004	0.007

Πίνακας 5.15: Σύγκριση των υπολογισμένων συντεταγμένων των στάσεων με τις δύο μεθόδους.

Με βάση τις διαφορές στον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ, μπορούμε να υπολογίσουμε, όπως και στο προηγούμενο πείραμα, το μέσω τετραγωνικό σφάλμα (RMS) με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.1:

Έτσι, υπολογίζονται τα εξής:

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \pm 0.007m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{Y}} = \pm 0.008m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{Z}} = \pm 0.009m$$

Τα αποτελέσματα της όδευσης κρίνονται ικανοποιητικά για εφαρμογές όπου απαιτείται ακρίβεια καλύτερη του 1cm.

5.4.4 Αποτελέσματα συνένωσης διαδοχικών σαρώσεων με τη βοήθεια κοινών στόχων

Σκοπός της συνένωσης των διαδοχικών σαρώσεων είναι η δημιουργία ενός ενιαίου μοντέλου επιφάνειας. Η συνένωση έγινε με τη βοήθεια στόχων, των οποίων οι συντεταγμένες τους μετρήθηκαν με Total Station και στη συνέχεια θεωρήθηκαν γνωστές και χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση και γεωαναφορά του μοντέλου.

Οι συντεταγμένες των σημείων των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.16):

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	1007.688	992.356	101.563
2	1005.655	1000	100.022
3	1016.509	991.0127	100.451
4	1022.323	998.483	99.986
5	1013.909	1010.692	99.124
6	1013.842	1020.112	100.323
7	1013.926	1024.727	101.018

Πίνακας 5.16: Συντεταγμένες σημείων στόχων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων

5.5 ΠΕΙΡΑΜΑ 4^ο

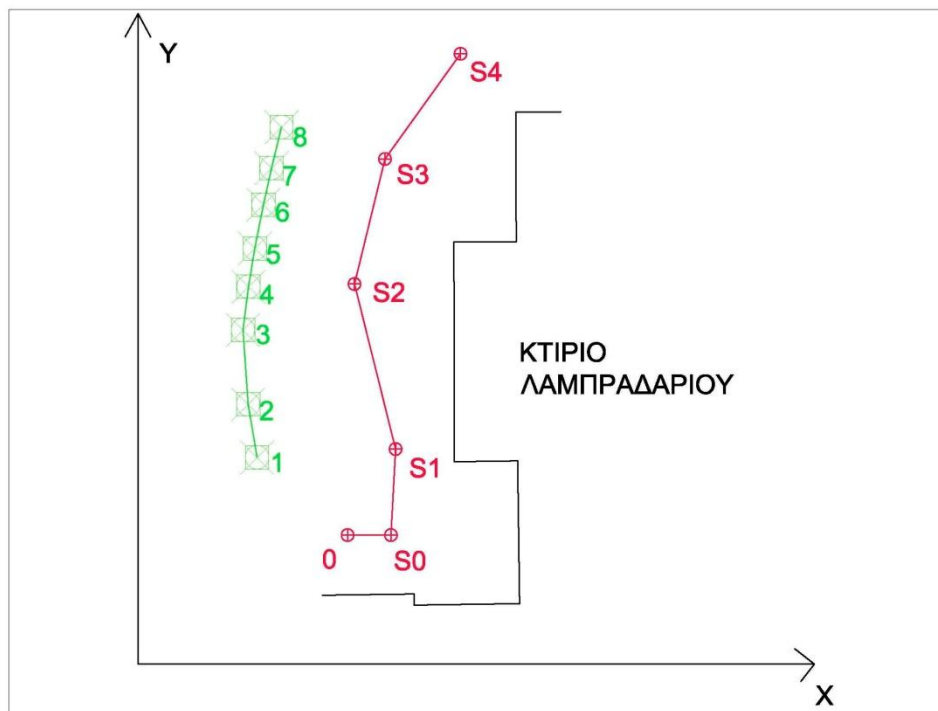
5.5.1 Αποτελέσματα γεωδαιτικών μετρήσεων

Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων κατά μήκος του δρόμου (Σχήμα 5.8) που θα χαραχθούν στην επόμενη φάση του πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν οι στάσεις της όδευσης που ιδρύθηκε στο 3^ο πείραμα. Ως στάση οργάνου χρησιμοποιήθηκε η στάση S2 και ως στάση μηδενισμού και εξάρτησης η στάση S1. Έτσι μετρήθηκαν για καθένα από τα σημεία οριζόντιες γωνίες και αποστάσεις, κατακόρυφες γωνίες καθώς και το ύψος οργάνου. Το ύψος στόχου θεωρήθηκε μηδενικό, αφού μετράται με τη βοήθεια του Reflectorless Total Station απ' ευθείας το σημείο.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.17):

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	988.192	1010.159	97.993
2	987.029	1017.083	97.698
3	986.362	1026.778	97.409
4	987.083	1032.420	97.173
5	987.896	1037.432	96.964
6	989.024	1043.127	96.668
7	990.092	1047.926	96.421
8	991.384	1053.269	96.114

Πίνακας 5.17 : Συντεταγμένες των σημείων 1,2,3,4,5,6,7, και 8 υπολογισμένες με Γεωδαιτικό σταθμό.



Σχήμα 5.6: Σχηματική απεικόνιση της όδευσης που υλοποιήθηκε για τις ανάγκες του πειράματος ,καθώς και των σημείων που χαραχτηκαν στο έδαφος κατά μήκος του δρόμου

5.5.2 Αποτελέσματα χάραξης σημείων κατά μήκος δρόμου με τον scanstation2

Κατά την χάραξη των σημείων 1 έως 8 κατά μήκος του δρόμου, επειδή ήταν ήδη γνωστή η θέση των σημείων στο χώρο, τοποθετήθηκαν επίπεδοι στόχοι ακριβώς πάνω από τη θέση αυτών. Στη συνέχεια, για κάθε ένα διαδοχικά από τα σημεία των στάσεων, εκτελέσθηκαν οι εντολές Coarse Target Scan και Acquire Target αντίστοιχα, ώστε να αναγνωρισθεί η θέση των στόχων.

Οι οδηγίες (Rodman Instructions) για την μετακίνηση του κάθε στόχου, ώστε να ταυτιστεί με τη θέση του σημείου που θέλουμε να χαράξουμε εξάγονται απ' ευθείας από το πρόγραμμα και αφορούν τη σχετική μετακίνηση του στόχου βάση της θέσης του σαρωτή. Ως δεδομένες, θεωρήθηκαν οι συνταγμένες των σημείων που μετρήθηκαν με το Total Station.

Οι οδηγίες αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5.18):

ΣΗΜΕΙΟ	DCROSS (m)	DLENGHT (m)	DHEIGHT (m)
1	0.003	0.006	0.013
2	0.002	0.005	0.009
3	0.002	0.006	0.008
4	0.001	0.004	0.007
5	0.002	0.004	0.005
6	0.001	0.007	0.011
7	0.002	0.005	0.009
8	0.003	0.006	0.007

Πίνακας 5.18: Οδηγίες μετακίνησης των στόχων, ώστε να ταυτιστούν με τις θέσεις των στάσεων

Με βάση τις διαφορές στον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων DCROSS, DLENGHT, DHEIGHT, μπορούμε να υπολογίσουμε το μέσω τετραγωνικό σφάλμα (RMS) με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.1:

Έτσι, υπολογίζονται τα εξής:

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}(DCROSS)} = \pm 0.002m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{Y}(DLENGHT)} = \pm 0.005m$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{Z}(DHEIGHT)} = \pm 0.09m$$

Στον παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε πως υπάρχει ένα συστηματικό σφάλμα κατά τη διεύθυνση DLENGHT, δηλαδή τη μετακίνηση του στόχου ώστε να βρεθεί πιο κοντά στον σαρωτή. Αυτό το σφάλμα οφείλεται κυρίως σε σφάλμα της ακτίνας του laser εξαιτίας της οπτική γωνίας. Ο σαρωτής τοποθετήθηκε σε ύψος 1.35m, ενώ οι στόχοι τοποθετήθηκαν στο έδαφος.

Έτσι, υπάρχει αδυναμία σκόπευσης των στόχων με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται αυτό το συστηματικό σφάλμα. Συγκεκριμένα, όπως παρατηρείται, το σφάλμα αυτό είναι μεγαλύτερο για τα πιο απομακρυσμένα σημεία, και μικρότερο για τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στο σαρωτή. Επιπλέον, για τη διεύθυνση DHEIGHT, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει επίσης κάποιο συστηματικό σφάλμα εξαιτίας του πάχους των επίπεδων στόχων που κυμαίνεται μεταξύ του 1-2mm, καθώς και σφάλμα από τη μέτρηση του ύψους οργάνου από το χειριστή (~1-2mm).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και προτάσεις για το προς μελέτη πρόβλημα.

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη χρήση του επίγειου σαρωτή laser σε συνήθης γεωδαιτικές εφαρμογές όπως οδεύσεις και χαράξεις, προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα που πρέπει να επισημανθούν.

6.2.1 Συμπεράσματα που προκύπτουν από το σχεδιασμό των τεσσάρων πειραμάτων που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές συνθήκες

- Ο μηχανικός θα πρέπει να έχει οργανώσει πολύ καλά το σύνολο των εργασιών που θα εκτελέσει στο πεδίο. Επιπλέον, θα πρέπει να γνωρίζει εκ των προτέρων την ακρίβεια που θέλει να πετύχει στην συγκεκριμένη εφαρμογή.
- Για την επίτευξη βέλτιστης ακρίβειας δεν θα πρέπει οι στάσεις της οδευσης να μη βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Παρατηρείται ότι τα σφάλματα μεταξύ των στάσεων που απέχουν μεταξύ τους απόσταση μικρότερη των 25 μέτρων είναι μικρότερα σε σχέση με αυτά που προκύπτουν για στάσεις που βρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

6.2.2 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διαδικασία των μετρήσεων και τη εξαγωγή των αποτελεσμάτων

- Η ακρίβεια στον υπολογισμό των συντεταγμένων των στάσεων της όδευσης με χρήση του επίγειου σαρωτή laser, κρίνεται ικανοποιητική για εφαρμογές όπου δεν απαιτούνται ακρίβειες καλύτερες του 1cm.
- Η επεξεργασία των δεδομένων της σάρωσης (νέφος σημείων) και η γεωαναφορά τους από το λογισμικό (Cyclone) απαιτεί πολύ λίγο χρόνο.
- Για τη γεωαναφορά του νέφους των σημείων δεν απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός και μπορεί να γίνει ακόμα και από ένα μόνο χειριστή. Ωστόσο, ο χειριστής θα πρέπει να είναι γνώστης τόσο του λογισμικού όσο και κλασσικής γεωδαισίας. Επομένως ενδείκνυται η χρήση του οργάνου από μηχανικούς.
- Για τη δημιουργία ενιαίου γεωαναφερμένου μοντέλου επιφάνειας από τη συνένωση διαδοχικών σαρώσεων ενδείκνυται η εφαρμογή της όδευσης μέσω του λογισμικού Cyclone σε περίπτωση όπου δεν μπορούν να τοποθετηθούν επίπεδοι στόχοι και να μετρηθούν οι συντεταγμένες τους από συμβατικό γεωδαιτικό σταθμό.
- Η χάραξη, μέσω του προγράμματος Cyclone, σημείων στο έδαφος, δεν ενδείκνυται σε εφαρμογές όπου απαιτείται ακρίβεια καλύτερη των 2cm.

6.2.3 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση του λογισμικού

- Τόσο για τη διαδικασία της όδευσης όσο και για τη διαδικασία της σάρωσης απαιτούνται δύο τουλάχιστον σημεία γνωστών συντεταγμένων. Από τα δύο αυτά σημεία, το ένα θα πρέπει να βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να μπορεί να κεντρωθεί και οριζοντιωθεί επάνω του ο σαρωτής.
- Πριν από την έναρξη της διαδικασία της χάραξης , θα πρέπει να εκτελεσθεί η διαδικασία ορισμού των παραμέτρων πεδίου (Field Setup), ώστε να ορισθεί στον σαρωτή το σύστημα συντεταγμένων όπου έχουν υπολογισθεί οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων χάραξης.
- Κατά την διαδικασία της χάραξης, απαιτείται η κατοχή ενός σκαριφήματος για την περιοχή μελέτης. Στο σκαρίφημα αυτό, θα πρέπει να παρουσιάζεται η σχετική θέση των σημείων που πρόκειται να χαραχθούν στο έδαφος, ώστε να απλουστευθεί η διαδικασία και να μειωθεί ο χρόνος παραμονής στο πεδίο.

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας αξίζει να σημειωθούν κάποιες προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση του προβλήματος που μελετήθηκε αλλά και κάποιες γενικότερες σκέψεις.

6.3.1 Προτάσεις που αφορούν τη μελλοντική διερεύνηση του προβλήματος

Όσον αφορά τη χρήση του επίγειου σαρωτή laser σε συνήθης γεωδαιτικές εφαρμογές μπορούν να διερευνηθούν τα εξής:

- Υλοποίηση οδεύσεων με στάσεις που να απέχουν μεταξύ τους απόσταση μεγαλύτερη των 50 μέτρων.
- Υλοποίηση οδεύσεων με σημεία που να ανήκουν σε κρατικό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ). Σύγκριση των αποτελεσμάτων που δίνει ο επίγειος σαρωτής με αποτελέσματα που δίνει η χρήση GPS για τα σημεία των στάσεων της όδευσης.
- Σύγκριση των ίδιων εργασιών με άλλους σαρωτές της αγοράς.
- Πραγματοποίηση οδεύσεων σε πραγματικές συνθήκες (π.χ. σήραγγες) κατά την κατασκευή του έργου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

1. Schulz T. and H. Ingensand, (May 22-27, 2004) “Terrestrial Laser Scanning – Investigations and Applications for High Precision Scanning”, Switzerland. FIG Working Week 2004, Athens, Greece.
2. Fröhlich, C.; Mettenleiter, M., (October 2004) ,“Terrestrial Laser Scanning – New Perspectives in 3D Surveying”. Proceedings of the ISPRS working group VIII/2 03-06, Freiburg, Germany.
3. Kelman O., (October 2008) “Measuring and monitoring of grain silos using laser scanning and total stations”, University of Southern Queensland, Bachelor of Spatial Science (Surveying).
4. Tanaka R., H.Yokoyama, H.Chikatsu, (2002) “study on visual traverse by laser scanning sensor”, Tokyo Denki University, Department of Civil Engineering, Japan.
5. Kersten Th., K. Mechelke, M. Lindstaedt and H. Sternberg, (14-19 June 2008) “Geometric Accuracy Investigations of the Latest Terrestrial Laser Scanning Systems”, Stockholm, Sweden. Proceedings of the FIG Working Week.
6. Cyra Technologies, “Cyra Basic Training Manual – Cyra and Cyclone 4.1”, User Manual, April, 2004.
7. Leica Geosystems AG, “ScanStation2_UM_en”, Εγχειρίδιο Scanstation2.

Ελληνική

1. Μ. Τσακίρη, Δ. Σταθάς, Α. Μπίθας, Α. Βαλάνη, Αθήνα, 11-12 Νοεμβρίου 2005 “ Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Ελέγχου Επίγειων Σαρωτών Laser”, Πρακτικά 1^{ου} τακτικού εθνικού συνεδρίου Μετρολογίας.
2. Ηλιοδρομίτης Α., “Ανάλυση της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα και μελέτη του προσδιορισμού της θέσης σημείων στο χώρο”, Μεταπτυχιακή Εργασία Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα, Απρίλιος 2008.

3. Συγίζης, Λ. (Ιούλιος 2009)“Αποτύπωση σπηλαίων με χρήση της τρισδιάστατης σάρωσης laser - εφαρμογή στο σπήλαιο Κεφάλας”, Διπλωματική Εργασία Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα.
4. Μπαλοδήμος Δ.Δ. , Σταθάς Δ., “ Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών”, Σημειώσεις μαθήματος, ΣΑΤΜ ΕΜΠ 1993.
5. Αγάτζα-Μπαλοδήμου Α. Μ., “Θεωρία σφαλμάτων και συνορθώσεις Ι”, Σημειώσεις μαθήματος, ΣΑΤΜ ΕΜΠ 2000.
6. Μ. Τσακίρη, (2008), “Η τεχνολογία της επίγειας σάρωσης laser”, Σημειώσεις μαθήματος ΔΠΜΣ Γεωπληροφορικής, Αθήνα.
7. Σταυρόπουλος Π., Τσαγκαρόγιαννης Α., Χατζηπαναγή Χ., (Ιούνιος 1986) “Βελτίωση της ακρίβειας και έμμεσες μετρήσεις μικρών αποστάσεων με EDM και χρήση επίπεδης ανακλαστικής επιφάνειας ”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ Αθήνα.

Πηγές στο διαδίκτυο

1. Leica Geosystems SA (www.cyra.com) (Νοέμβριος 2009)
2. www.isite3d.com (Νοέμβριος 2009)
3. http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner (Μάρτιος 2009)
4. <http://www.riegl.com/products/terrestrial-scanning/> (Νοέμβριος 2009)
5. www.optech.on.ca (Δεκέμβριος 2009)
6. www.trimble.com/3dlaserscanners (Νοέμβριος 2009)
7. www.faro.com (Νοέμβριος 2009)
8. www.zf-laser.com (Νοέμβριος 2009)

