



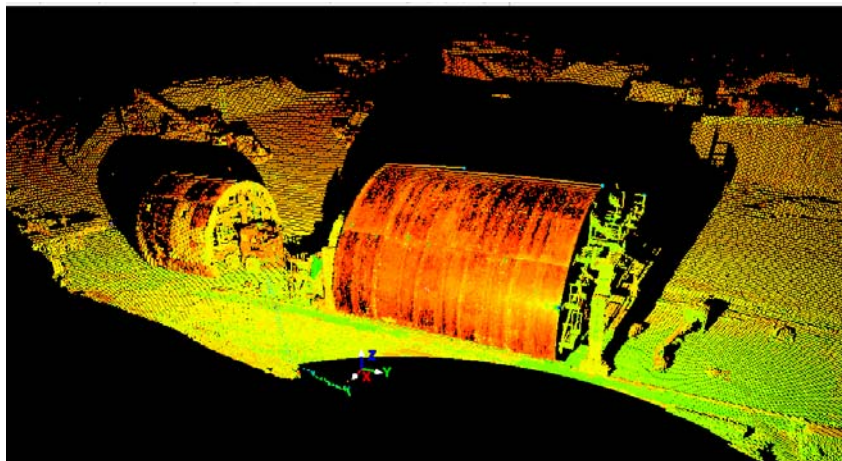
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μεταλλότυπου
Σκυροδέτησης Σήραγγας Οδοποιίας Με Γεωδαιτικές
Μεθόδους**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΓΕΩΡΓΑΝΤΑ Α. ΙΩΑΝΝΗ



Υπεύθυνος : Γκίκας Βασίλειος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπων : Δογγούρης Στέφανος
Επιστημονικός Συνεργάτης Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επίκουρο καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών κύριο Βασίλειο Γκίκα για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του και την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια της Διπλωματικής μου Εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Στέφανο Δογγούρη, Επιστημονικό Συνεργάτη της Σχολής, για την υποστήριξη, τις πολύτιμες γνώσεις και την ανεκτίμητη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής.

Ευχαριστίες αρμόζουν επιπλέον:

Στον Υπεύθυνο Τοπογράφο Μηχ. στα Τέμπη κ. Ε., Καντιάνη για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στις εργασίες υπαίθρου στα Τέμπη και στον εργοταξιάρχη της ΑΘΗΝΑ Α.Τ.Ε. κ. Γ. Ξυγκογεωργόπουλο.

Στον πρόεδρο του τμήματος Αστροφυσικής κ. Νιάρχο για την ελεύθερη πρόσβαση που μου παρείχε στην ταράτσα του κτ. Φυσικής στην Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου για τη διεξαγωγή των αναγκαίων μετρήσεων.

Στον κ. Πέτρου Παναγιώτη της εταιρίας Metrica και στον κ. Πολυκρέτη Γεώργιο της εταιρίας Torcon, οι οποίοι συνέβαλαν καθοριστικά στην εκπόνηση της εργασίας, βοηθώντας στην εξοικείωση με τα όργανα και τα λογισμικά υποστήριξης τους.

Στο μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Β. Αποστολόπουλο για τις καίριες παρατηρήσεις και διευκρινίσεις του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας καθώς και στο φοιτητή κ. Ν. Μπακογιάννη για την πολύτιμη βοήθεια του στις μετρήσεις στο κτίριο Φυσικής.

Στην οικογένεια μου και σε όλους μου τους φίλους – συναδέλφους, που με τον τρόπο τους με στήριξαν σε αυτή μου την προσπάθεια.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν κύριο στόχο τη γεωμετρική τεκμηρίωση του μεταλλότυπου θόλου της σήραγγας T1 στην περιοχή των Τεμπών. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε η σάρωση του μεταλλότυπου με δύο διαφορετικά όργανα, με τον γεωδαιτικό σταθμό Topcon IS203 που παρέχει την λειτουργία σάρωσης καθώς και με το σαρωτή ScanStation 2. Επίσης αποτυπώθηκαν κάποια χαρακτηριστικά σημεία του με το Topcon IS203. Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων των μετρήσεων έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού Cyclone 6.0.3. Αναλυτικότερα μέσω αυτού του λογισμικού έγινε η προσαρμογή μαθηματικών επιφανειών (κυλίνδρων) στα νέφη σημείων που προέκυψαν ώστε να υπολογισθούν η τιμές των ζητούμενων αγνώστων παραμέτρων, π.χ. οι ακτίνες των κυλίνδρων που αναφέρονται στα τέσσερα διαφορετικά κομμάτια του μεταλλότυπου.

Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος και για να είναι μεγαλύτερης ακρίβειας οι μετρήσεις στην περιοχή των Τεμπών πραγματοποιήθηκαν κάποιες προκατασκευαστικές εργασίες σε αίθουσα της Σ.Α.Τ.Μ. Επίσης πραγματοποιήθηκαν και κάποιες μετρήσεις στο κτίριο Φυσικής στην περιοχή Ζωγράφου, μετά το πέρας των μετρήσεων στην περιοχή των Τεμπών.

Οι προκατασκευαστικές εργασίες αναφέρονται στη σάρωση μιας δορυφορικής κεραίας και ενός γεωδαιτικού βάρους με το όργανο Topcon IS 203, και στην προσαρμογή μαθηματικών επιφανειών σε αυτά. Η σάρωση του βάρους, έγινε από τέσσερις διαφορετικές στάσεις και η συνένωση των επιμέρους νεφών έγινε με τη χρήση του 2D μετασχηματισμού ομοιότητας. Όσον αφορά τη σάρωση του θόλου αστεροσκοπείου του κτιρίου φυσικής με το σαρωτή ScanStation 2, έγινε από δύο διαφορετικές στάσεις και η μετέπειτα συνένωση αυτών των δύο επιμέρους νεφών έγινε με χρήση του λογισμικού Cyclone.

Τα κύρια συμπεράσματα που εξήχθησαν είναι:

(α) Το Topcon IS αντιμετωπίζει πρόβλημα στη σάρωση επιφανειών κυρίως όταν αυτές είναι γυάλινες, μεταλλικές ή μεγάλης ανακλαστικότητας.

(β) Όσον αφορά τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν με το σαρωτή ScanStation 2, στο κτίριο Φυσικής το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν αρκετά ικανοποιητικό (αυτόματη συνένωση των επιμέρους νεφών σημείων με σφάλμα 4mm μέσω του λογισμικού Cyclone) διότι τα κοινά σημεία – στόχοι ήταν αρκετά (5), σε αντίθεση με τις εργασίες στην περιοχή των Τεμπών όπου εκεί τα κοινά σημεία – στόχοι ήταν πολύ λιγότερα (2), με αποτέλεσμα να ακολουθηθεί άλλη διαδικασία συνένωσης των επιμέρους νεφών σημείων (2D μετασχηματισμός ομοιότητας).

Abstract

The present dissertation aims at the geometric documentation of the metal formwork of the T1 tunnel dome in the Tempi area. For this reason, the metal formwork was scanned with two different instruments, the total station Topcon IS203, which provides the scanning function and the Laser scanner ScanStation 2. Also, some key features of the metal formwork were surveyed with Topcon IS203 total station. The processing and analysis of data was made by the software Cyclone 6.0.3. More specifically, via this software mathematical surfaces (cylinders) were adapted in the cloud points that were produced, so we can estimate the values of unknown parameters, like the radii of the cylinders referred to four different pieces the metal formwork.

In order to familiarize with the instruments and processing software Cyclone and to have more accurate measurements in the region of Tempi, some preparatory work had to be done in a classroom of School of Rural and Surveying Engineering. Some measurements were also made in the Physics building in Zografou Campus, having finished the measurements in the area of Tempi.

The preparatory work refers to scanning the satellite dish and the geodetic instrument platform with Topcon IS 203, and the adaptation of these to mathematical surfaces. The scanning of the platform was made by four different survey stations and the pooling of individual point clouds was done by using the 2D similarity transformation.

Regarding the scanning of the planetarium dome of the Physics building with ScanStation 2 scanner, this was made by two different survey stations and the subsequent merger of these two sub-clouds was performed using the Cyclone software.

The main conclusions that were exported are:

(a) Topcon IS faces problem in the scanning of some surfaces mainly when these are made of glass, metal or have big reflectivity.

(b) As far as the work that was made by the scanner ScanStation 2 in the building of Physics is concerned, the results were satisfactory (automatic conjunction of individual clouds of points with fault 4mm via computational Cyclone) because the common points - targets were enough (5), contrary to the work in the region of [Tempon] where the common points - targets were fewer (2), so another process of conjunction of individual clouds of points was followed (2D transformation of resemblance).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ.....	3
1.1 Ορισμοί – Ιστορική Αναδρομή	4
1.2 Περιοχές Εφαρμογών – Ακρίβειες.....	7
1.3 Μετρητική Διαδικασία.....	9
1.3.1 Βασικές μέθοδοι υπολογισμού.....	10
1.3.2 Πηγές σφαλμάτων.....	13
2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ.....	18
2.1 Εισαγωγικά – Ιστορικά.....	18
2.2 Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station)	20
2.2.1 Ο γεωδαιτικός σταθμός TOPCON IS 203.....	21
2.2.2 Ο γεωδαιτικός σταθμός TRIMBLE VX.....	26
2.2.3 Σύγκριση των δύο οργάνων.....	30
2.3 Ο Σαρωτής Laser (Laser Scanner).....	33
2.3.1 Ο σαρωτής ScanStation 2 (LEICA GEOSYSTEMS)	35
3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	38
3.1 Γενικά.....	38
3.2 Λογισμικό Επεξεργασίας CYCLONE.....	39
3.2.1 Δομή του λογισμικού.....	39
3.3 Λογισμικό επεξεργασίας TopconLink.....	43
3.3.1 Δομή του λογισμικού.....	44
3.4 Περίπτωση on-line Σύνδεσης με Η/Υ.....	45
4 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΕΚΜΑΘΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ...46	
4.1 Περιγραφή Εξοπλισμού	46
4.2 Διεξαγωγή Μετρήσεων.....	47
4.2.1 Σάρωση δορυφορικής κεραίας (Luxor).....	47
4.2.2 Σάρωση γεωδαιτικού βάρους.....	54
4.2.2α <i>Μετρήσεις</i>	54
4.2.2β <i>Επεξεργασία</i>	58
4.2.3 Σάρωση μεταλλικού σφαιρικού θόλου Φυσικής.....	68

5	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΕΜΠΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΤΥΠΟΥ ΘΟΛΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ.....	73
5.1	Εισαγωγή.....	73
5.2	Βασικά Χαρακτηριστικά Έργου.....	73
5.2.1	Επωνυμία του έργου - γεωγραφική θέση.....	73
5.2.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά της σήραγγας.....	75
5.3	Γεωδαιτικές Εργασίες στη Διάνοιξη Σηράγγων.....	77
5.3.1	Τοπογραφικά στοιχεία.....	77
5.3.2	Γεωδαιτικές εργασίες σήραγγας.....	77
5.4	Μεταλλότυπος Θόλου Σκυροδέτησης.....	80
5.4.1	Γενικά.....	80
5.4.2	Ο μεταλλότυπος θόλου σκυροδέτησης στη σήραγγα των Τεμπών Τ1.....	81
6	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΤΥΠΟΥ ΘΟΛΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	83
6.1	Εισαγωγή – Περιγραφή Εξοπλισμού.....	83
6.2	Εργασίες Υπαίθρου.....	84
6.2.1	Αναγνώριση της περιοχής μελέτης – Ίδρυση στάσεων.....	84
6.2.2	Σύνταξη αυτοσχεδίων υπαίθρου.....	87
6.3	Λήψη Μετρήσεων.....	88
6.3.1	Αποτύπωση χαρακτηριστικών σημείων μεταλλότυπου.....	88
6.3.2	Σάρωση με Topcon IS 203.....	89
6.3.3	Σάρωση με τον επίγειο σαρωτή Laser - ScanStation2.....	91
7	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	96
7.1	Γενικά.....	96
7.2	Επίλυση 2D Μετασχηματισμού Ομοιότητας.....	98
7.3	Επεξεργασία των Χαρακτηριστικών Σημείων Μεταλλότυπου.....	107
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	114
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	118
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	Διαδικασία σάρωσης & επεξεργασίας αποτελεσμάτων	A1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	Σχέδια.....	B1
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	Μετασχηματισμός Ομοιότητας 2D.....	G1

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Σχήμα 1.1: Η σφαιρική γη.[www.Google.com].....	3
Σχήμα 1.2: Πολικές συντεταγμένες [Γκουντινάκος Γ, 2004].....	10
Σχήμα 1.3: Σχηματική παράσταση της εμπροσθοτομίας [Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας, 2005].....	12
Σχήμα 1.4: Ελλείψεις σφάλματος σημείων με δύο γεωδαιτικούς σταθμούς τοποθετημένους αντικριστά [Γκουντινάκος Γ, 2004].....	16
Σχήμα 1.5: (α) Ελλείψεις σφάλματος σημείων από όργανα που έχουν υψηλή ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων σε σχέση με την ακρίβεια μέτρησης διευθύνσεων. (β) Ελλείψεις σφάλματος σημείων από όργανα που έχουν υψηλή ακρίβεια μέτρησης διευθύνσεων σε σχέση με την ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων. [Γκουντινάκος Γ, 2004].....	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Σχήμα 2.1: Topcon Imaging Station. [www.treecomp.gr].....	21
Σχήμα 2.2: (α) Η σελίδα PROGRAM. (β) Τα ενσωματωμένα προγράμματα του Topcon IS. [εγχειρίδιο χρήσης].....	23
Σχήμα 2.3: Γεωδαιτικός σταθμός Trimble VX. [www.trimble.com]	26
Σχήμα 2.4: Λειτουργίες του Trimble VX.....	27
Σχήμα 2.5: Το χειριστήριο TCU του Trimble VX. [www.trimble.com].....	29
Σχήμα 2.6: Το μέγεθος της εικόνας που λαμβάνει το κάθε όργανο.[www.intergeo-east.com]32	
Σχήμα 2.7: Νέφος σημείων από το γεωδαιτικό σταθμό Topcon IS.....	34
Σχήμα 2.8: Γωνιακό εύρος σάρωσης του σαρωτή ScanStation2[www.leicageosystems.com].....	35
Σχήμα 2.9: (α) Ο σαρωτής ScanStation 2. (β) Σφαιρικός στόχος (HDS Target). [Καντιάνης Ε., 2010]	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Σχήμα 3.1: Η κεντρική οθόνη (Navigator) του λογισμικού Cyclone.	42
Σχήμα 3.2: Νέφος σημείων κατά την επεξεργασία του στο Cyclone (Model space).	42
Σχήμα 3.3: Η κύρια οθόνη του λογισμικού Topcon Link.....	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

Σχήμα 4.1: Πειραματική διάταξη στην αίθουσα Υ23 κατά τη μέτρηση με το Topcon IS 203..	48
Σχήμα 4.2: Τα σημεία του κέντρου και της περιφέρειας της δορυφορικής κεραίας.	51
Σχήμα 4.3: Το νέφος σημείων της κεραίας όπως φαίνεται στο Topcon Link.....	51
Σχήμα 4.4: (α) Η προσαρμοσμένη μαθηματική επιφάνεια στο νέφος σημείων της κεραίας στο Cyclone. (β) Η μαθηματική επιφάνεια όπως εξήχθη σε περιβάλλον AutoCAD.....	53
Σχήμα 4.5: Γεωδαιτικό βάθος στην αίθουσα Υ23.....	54
Σχήμα 4.6: Σκαρίφημα του υλοποιημένου δικτύου στην αίθουσα Υ23	55
Σχήμα 4.7: Η διάταξη των οργάνων κατά τη διάρκεια της μέτρησης.	56
Σχήμα 4.8: Το βάθος με τους αυτοκόλλητους στόχους για την προσήμανση των σημείων που αποτυπώθηκαν από τις στάσεις (α) S1, (β) S2, (γ) S3, (δ) S4 και (ε) το εξόγκωμα.	60
Σχήμα 4.9: Οι προβολές των κυλινδρικών επιφανειών που ορίζουν τα σημεία πάνω στο βάθος.....	60
Σχήμα 4.10: Διαδικασία προσαρμογής μαθηματικής επιφάνειας στο νέφος σημείων.	64
Σχήμα 4.11: Η προσαρμοσμένη επιφάνεια στο νέφος σημείων και ο πίνακας με τις ιδιότητες της.....	65
Σχήμα 4.12: Ολόκληρο το βάθος με και χωρίς το χάρτινο αντικείμενο (εξόγκωμα).	66
Σχήμα 4.13: Νέφος σημείων μέρους της αίθουσας Υ23 όπως το έχει συλλέξει το ScanStation2	67
Σχήμα 4.14: Φωτογραφία του προς αποτύπωση αντικειμένου από το ScanStation2.....	68
Σχήμα 4.15: Οι μπλε στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν στη σάρωση.....	69
Σχήμα 4.16: Τα επιμέρους νέφη σημείων από κάθε στάση αλλά και το γεωαναφερμένο νέφος σημείων του μεταλλικού θόλου.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

Σχήμα 5.1: Θέση του έργου στα Τέμπη.[www.google.com].....	74
Σχήμα 5.2: Χάρτης προσανατολισμού – Νομός Λαρίσης.[Καντιάνης Ε., 2010].....	75
Σχήμα 5.3: Πορεία παραλλαγής από την ανοικτή οδοποιία στην σήραγγα T1. [Καντιάνης Ε., 2010].....	76
Σχήμα 5.4: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών.[Καντιάνης Ε., 2010].....	76
Σχήμα 5.5: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών από αεροφωτογραφία.[Καντιάνης Ε., 2010].....	76
Σχήμα 5.6: Οι τρεις γεωμετρίες του μεταλλότυπου θόλου των Τεμπών.....	81
Σχήμα 5.7: Τεχνικό σχέδιο του μεταλλότυπου θόλου.....	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

Σχήμα 6.1: Οι στάσεις S1, S2, S3 του οργάνου.....	85
Σχήμα 6.2: Η στάση S4 του οργάνου.....	86
Σχήμα 6.3: Τα Γεωδαιτικά βάθρα στην περίμετρο της εισόδου της σήραγγας.....	87
Σχήμα 6.4: Κροκί επεξεργασμένο σε περιβάλλον AutoCAD.....	87
Σχήμα 6.5: Ο μεταλλότυπος από τη στάση S2 και το κίτρινο εμπόδιο.....	88
Σχήμα 6.6: (α) Φωτογραφία από ψηφιακή μηχανή, (β) Φωτογραφία που έχει συλλέξει το όργανο.....	90
Σχήμα 6.7: Φωτογραφία που έχει συλλέξει το όργανο.....	90
Σχήμα 6.8: Ο σαρωτής ScanStation2 τοποθετημένος στη στάση S1.....	91
Σχήμα 6.9: Η φωτογραφία που πάρθηκε από τον σαρωτή από τη στάση S3.....	92
Σχήμα 6.10: Το νέφος σημείων από τη στάση S3.....	93
Σχήμα 6.11: Οι στόχοι μετά από τη σωστή σάρωσή τους.....	93
Σχήμα 6.12: Το νέφος σημείων με βάση τις τιμές της ανακλαστικότητας του αντικειμένου από τη στάση S3.....	94
Σχήμα 6.13: Η φωτογραφία του αντικειμένου όπως αυτή πάρθηκε από το σαρωτή (S1).	95
Σχήμα 6.14: Το νέφος σημείων με χρήση των πραγματικών χρωμάτων.....	95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°

Σχήμα 7.1: Η σχετική θέση μεταξύ των τεσσάρων κορυφών του δικτύου.....	97
Σχήμα 7.2: Η σχέση των δύο συστημάτων αναφοράς από τη στάση S1.....	101
Σχήμα 7.3: Η σχέση των δύο συστημάτων αναφοράς από τη στάση S3.....	103
Σχήμα 7.4: Το νέφος σημείων από τη στάση S1.....	104
Σχήμα 7.5: Το νέφος σημείων από τη στάση S3.....	104
Σχήμα 7.6: Οι προσαρμοσμένες μαθηματικές επιφάνειες στα νέφη σημείων.....	106
Σχήμα 7.7: Ολόκληρος ο μεταλλότυπος σαν νέφος σημείων.....	106
Σχήμα 7.8: Τα χαρακτηριστικά σημεία σε οριζοντιογραφία από τη στάση S4.....	108
Σχήμα 7.9: Η θέση των σημείων (βίδες, χώρισμα) στο σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD.	110
Σχήμα 7.10: Η θέση των σημείων (βίδες, χώρισμα) στο σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD.	112

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

Πίνακας 1.1: Απαιτούμενες ακρίβειες - όργανα βιομηχανικής γεωδαισίας [Γκουντινάκος Γ, 2004].....	8
--	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Topcon IS 203. [www.topcon.co.jp].....	25
Πίνακας 2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Trimble VX. [www.trimble.com].....	28
Πίνακας 2.3: Σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών του Topcon IS 203 και του Trimble VX.....	31
Πίνακας 2.4: Πλεονεκτήματα του Laser Scanner.....	34
Πίνακας 2.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά του σαρωτή ScanStation 2. [www.leicageosystems.com].....	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα δοκιμών σάρωσης 1 ^{ης} ημέρας.....	49
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα δοκιμών σάρωσης 2 ^{ης} ημέρας.....	50
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα σάρωσης της κεραίας με το δορυφορικό σταθμό Trimble VX... ..	52
Πίνακας 4.4: Δοκιμές σάρωσης του βάθρου από κάθε στάση.....	57
Πίνακας 4.5: Οι συνορθωμένες συντεταγμένες του δικτύου.....	58
Πίνακας 4.6: Συντεταγμένες των κοινών σημείων.....	59
Πίνακας 4.7: Τα αποτελέσματα του 2D μετασχηματισμού ομοιότητας για κάθε στάση.....	62
Πίνακας 4.8: Αποτελέσματα προσαρμογών κυλίνδρων από κάθε στάση (όπου M.A.E. (m) = Maximum Absolute Error).....	63
Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα προσαρμογών κυλίνδρων για ολόκληρο το βάθρο (όπου M.A.E. (m) = Maximum Absolute Error).....	65
Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα προσαρμογής μαθηματικών επιφανειών στο βάθρο.....	66
Πίνακας 4.11: Τα τυπικά σφάλματα από τη σελίδα Registration Diagnostics.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

Πίνακας 6.1: Οι Γεωδαιτικές συντεταγμένες των τεσσάρων στάσεων.	86
Πίνακας 6.2: Τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας σάρωσης με το Topcon IS 203 για τη στάση S1.....	89
Πίνακας 6.3: Τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας σάρωσης με το Topcon IS 203 για τη στάση S3.....	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°

Πίνακας 7.1: Οι συντεταγμένες των τεσσάρων στάσεων στο ΕΓΣΑ '87.....	96
Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα ελέγχου των τριγώνων.....	97
Πίνακας 7.3: Οι συντεταγμένες των στάσεων όπως έχουν υπολογισθεί από το σαρωτή.....	99
Πίνακας 7.4: Το διάνυσμα των παραμέτρων του μετασχηματισμού, καθώς και ο πίνακας Μεταβλητότητας-Συμμεταβλητότητας από την στάση S1.....	100
Πίνακας 7.5: Οι συντεταγμένες των στάσεων όπως έχουν υπολογισθεί από το σαρωτή....	101
Πίνακας 7.6: Το διάνυσμα των παραμέτρων του μετασχηματισμού, καθώς και ο πίνακας Μεταβλητότητας-Συμμεταβλητότητας από την στάση S3.....	102
Πίνακας 7.7: Τα αποτελέσματα της προσαρμογής της μαθηματικής επιφάνειας.	105
Πίνακας 7.8: Οι τελικές συντεταγμένες των χαρακτηριστικών σημείων από την στάση S4.	109
Πίνακας 7.9: Οι μετρήσεις και οι αντίστοιχες διαφορές από τα θεωρητικά σχέδια.	111
Πίνακας 7.10: Οι τελικές συντεταγμένες των χαρακτηριστικών σημείων από τη στάση S2..	112
Πίνακας 7.11: Οι μετρήσεις και οι αντίστοιχες διαφορές από τα θεωρητικά σχέδια.....	113

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γεωμετρική Τεκμηρίωση κατασκευών, δηλαδή η καταγραφή της θέσης, του μεγέθους και της μορφής κατασκευών του ανθρώπου ή της «φύσης» είναι συχνά απαραίτητη προκειμένου να διαπιστωθούν φθορές, αποκλίσεις ή μικρομετακινήσεις. Η ανάπτυξη των γεωδαιτικών οργάνων και συστημάτων μέτρησης τα οποία έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιούν μετρήσεις με μεγάλη ακρίβεια αλλά και σε μικρό χρονικό διάστημα καθώς και η ανάπτυξη των προγραμμάτων σχεδιαστικής απεικόνισης την τελευταία δεκαετία έχει διευρύνει τα πεδία έρευνας και εφαρμογής του Τοπογράφου Μηχανικού στο αντικείμενο της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης κατασκευών. Έτσι είναι δυνατή η πλήρης απεικόνιση και η παρουσίασή τους σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή.

Ακολουθώντας την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας, η επιστήμη της εφαρμοσμένης γεωδαισίας αναπτύσσει νέες μεθόδους μετρήσεων ή προσαρμόζει τις ήδη υπάρχουσες πάνω στις νέες εξελίξεις, ώστε να βελτιστοποιείται η χρήση των τεχνολογικών καινοτομιών που οδηγούν στην επίτευξη μεγαλύτερων ακριβειών και ολοκληρωμένων προϊόντων.

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μεταλλότυπου θόλου σήραγγας, πριν το στάδιο της τοποθέτησης του μέσα στην σήραγγα ώστε να γίνει η τελική της επένδυση με σκυρόδεμα. Ειδικότερα, ελέγχονται οι διαστάσεις του μεταλλότυπου θόλου της σήραγγας T1 στην περιοχή των Τεμπών. Στα πλαίσια της εργασίας πραγματοποιούνται μετρήσεις με δύο διαφορετικά όργανα, τον γεωδαιτικό σταθμό Topcon IS 203 που παρέχει την λειτουργία σάρωσης καθώς και με το Laser σαρωτή ScanStation 2. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος και για να είναι μεγαλύτερης ακρίβειας οι μετρήσεις στην περιοχή των Τεμπών πραγματοποιήθηκαν κάποιες προκατασκευαστικές μετρήσεις για την εξοικείωση με τα όργανα, αλλά και με το λογισμικό επεξεργασίας Cyclone.

Η **διάρθρωση** της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

Το 1^ο κεφάλαιο αναφέρεται στη Βιομηχανική Γεωδαισία ως κλάδο της εφαρμοσμένης Τεχνικής Γεωδαισίας. Περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά της, οι περιοχές που βρίσκει εφαρμογή, οι ακρίβειες που επιδιώκονται, η μετρητική διαδικασία καθώς και οι πηγές σφαλμάτων που επηρεάζουν τις μετρήσεις.

Το 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζει τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Δίνεται μια γενική περιγραφή των γεωδαιτικών σταθμών Topcon IS 203, Trimble VX και του Laser σαρωτή ScanStation 2 της εταιρίας Leica, της αρχής λειτουργίας τους και των δυνατοτήτων τους.

Το 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζει τα λογισμικά επεξεργασίας Cyclone και TopconLink τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία των οργάνων ScanStation 2, Topcon IS αντίστοιχα.

Το 4^ο κεφάλαιο αναφέρεται διεξοδικά στις προκατασκευαστικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την εξοικείωση με τα όργανα, πριν τις κύριες μετρήσεις στη σήραγγα των Τεμπών.

Το 5^ο κεφάλαιο περιγράφει το έργο (επωνυμία, γεωγραφική θέση, τεχνικά χαρακτηριστικά σήραγγας, γεωμετρικά χαρακτηριστικά αξόνων) στο οποίο διεξήχθησαν οι μετρήσεις. Επιπλέον περιγράφεται ο μεταλλότυπος θόλου της σήραγγας T1 με βάση τα τεχνικά του σχέδια.

Το 6^ο κεφάλαιο περιγράφει τις μετρήσεις που έλαβαν μέρος για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του μεταλλότυπου θόλου σήραγγας.

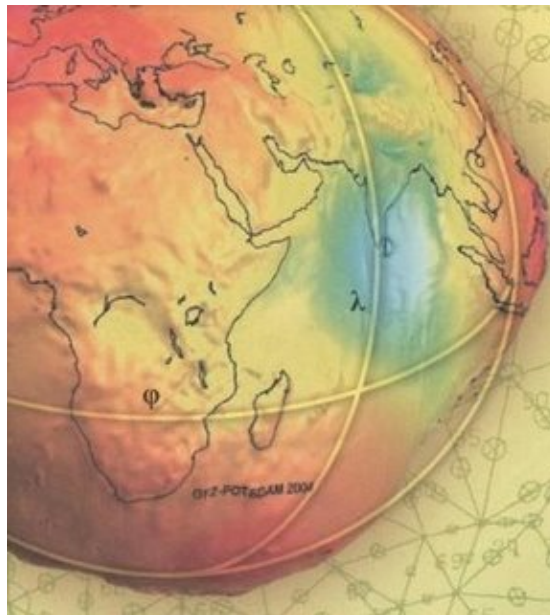
Το 7^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα στάδια της επεξεργασίας των δεδομένων των μετρήσεων, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Τέλος, το 8^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων από τις προπαρασκευαστικές μετρήσεις και τις μετρήσεις στα Τέμπη. Επίσης παρουσιάζονται τα πιθανά πεδία για περαιτέρω έρευνα τα οποία μπορούν να αποτελέσουν έναυσμα για μελλοντικές διπλωματικές εργασίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ

Η Γεωδαισία είναι από τις αρχαιότερες επιστήμες, εντάσσεται στον κλάδο των γεωεπιστημών και έχει στενή σχέση με την Αστρονομία, προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις “γη + δαιώ” ή “γη + δαίομαι” δηλαδή μοιράζω την γη. Ο Ερατοσθένης (3^{ος} π.Χ. αιώνας) θεωρείται ο θεμελιωτής της Γεωδαισίας, αφού ήταν ο πρώτος που υπολόγισε το μέγεθος της σφαιρικής γης από γεωδαιτικές και αστρονομικές παρατηρήσεις (μέτρηση απόστασης και γωνίας).



Σχήμα 1.1: Η σφαιρική γη. [www.Google.com]

Η Γεωδαισία είναι η επιστήμη που ασχολείται με παρατηρήσεις, μετρήσεις και υπολογισμούς, με σκοπό να προσδιορίσει το σχήμα (μορφή), το μέγεθος (διαστάσεις), και το πεδίο βαρύτητας της Γης και τις μεταβολές αυτών με το χρόνο. Αποτελεί λοιπόν, στο πρακτικό της μέρος, μια συνδυασμένη εφαρμογή της τριγωνομετρίας και της γεωγραφίας με χρήση ανώτερων μαθηματικών, και κυρίως στατιστικών μεθόδων.

Μεταξύ άλλων, ιδιαίτεροι τομείς της Γεωδαισίας είναι οι παρακάτω:

- Φυσική Γεωδαισία
- Δορυφορική Γεωδαισία
- Τοπογραφία
- Υδρογραφία
- Ανώτερη Γεωδαισία
- Τεχνική Γεωδαισία

Η Τεχνική Γεωδαισία ασχολείται με τον έλεγχο των μικρομετακινήσεων που υφίστανται τα τεχνικά έργα, αλλά και ο στερεός φλοιός της Γης, με αποτυπώσεις σε μεγάλες κλίμακες π.χ. μνημεία, και γενικότερα με εργασίες που απαιτούν υψηλές ακρίβειες.

1.1 Ορισμοί – Ιστορική Αναδρομή

Ο τομέας της βιομηχανίας αναπτύσσεται συνεχώς και με ραγδαίο ρυθμό, επομένως γίνεται επιτακτική η ανάγκη μέτρησης των διαστάσεων και του σχήματος των διαφόρων βιομηχανικών κατασκευών και παραγωγών. Ο σχεδιασμός πλέον των εξαρτημάτων της βιομηχανικής παραγωγής γίνεται με μαθηματικά μοντέλα και η κατασκευή τους πρέπει να ακολουθεί το σχεδιασμό χωρίς σημαντικές αποκλίσεις.

Οι εργασίες της Γεωδαισίας σε τέτοιου είδους εφαρμογές γίνονται σε πεδίο πολύ περιορισμένης έκτασης, με τη χρήση οργάνων και μεθόδων πολύ μεγάλων ακριβειών.

Αυτό το μέρος της Γεωδαισίας ανήκει στο κεφάλαιο της Τεχνικής Γεωδαισίας, όμως επειδή εστιάζει σε βιομηχανικές εφαρμογές, ονομάζεται **Βιομηχανική Γεωδαισία** και αποτελεί μέρος της Τεχνικής Γεωδαισίας.

Ο σκοπός της Βιομηχανικής Γεωδαισίας είναι να προσδιορίσει τις συντεταγμένες X, Y, Z, σημείων κάποιου αντικειμένου (βιομηχανικό παράγωγο), σε τοπικό αυθαίρετο σύστημα, που πολλές φορές ανήκει στο σύστημα του αντικειμένου, με μεγάλη ακρίβεια, ώστε με κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων να προκύψουν οι διαστάσεις, η μορφή και το σχήμα του αντικειμένου. Κατόπιν είναι δυνατόν, με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού να βρεθούν οι σχετικές αποκλίσεις σε σχέση με τις θεωρητικές θέσεις των σημείων, καθώς επίσης να γίνει και μία προσαρμογή κάποιου μαθηματικού μοντέλου στο σύνολο των σημείων.

Η καταγραφή της θέσης, του μεγέθους και της μορφής μίας κατασκευής σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, στο χώρο των τριών διαστάσεων καλείται «**Γεωμετρική Τεκμηρίωση κατασκευής**». Με τη Γεωμετρική Τεκμηρίωση μίας κατασκευής δίνεται η δυνατότητα σε ειδικούς επιστήμονες (στατικούς, αρχιτέκτονες, αρχαιολόγους, ιστορικούς, κλπ) να εκτιμήσουν τη σοβαρότητα των αποκλίσεων ή φθορών που τυχόν παρουσιάζονται, να διαπιστώσουν αν αυτές είναι αποτέλεσμα φαινομένων όπως σεισμοί, μικρομετακινήσεις του στερεού φλοιού της γης ή αρχικών κατασκευαστικών αστοχιών και σφαλμάτων χάραξης, είτε ακόμη αν δημιουργήθηκαν από τη φθορά στο πέρασμα του χρόνου.

Είναι κατανοητό ότι όπως και στις τοπογραφικές εργασίες, έτσι και στις εργαστηριακές μετρήσεις της Βιομηχανικής Γεωδαισίας απαιτείται συνεργασία με τους υπεύθυνους της βιομηχανίας, διότι τα σημεία που θα επιλεγούν για τη μέτρηση θα πρέπει να επιλεγούν με μεγάλη προσοχή, ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πληρότητα και ακρίβεια στην απεικόνιση του αντικειμένου.

Στο σημείο αυτό αξίζει να γίνει μία αναφορά στην ιστορία της Βιομηχανικής Γεωδαισίας. Η Βιομηχανική Γεωδαισία, λοιπόν, είναι σχετικά πρόσφατη, διότι η αρχή της τοποθετείται στη δεκαετία του 1980, όπου ήδη είχε αναγνωριστεί η ικανότητα των οπτικών μετρητικών οργάνων με σκοπό την απόκτηση συντεταγμένων ώστε να επιτύχουν τις μετρητικές ακρίβειες που απαιτούνται από την βιομηχανική μετρολογία.

Στην αρχή όλα αυτά τα συστήματα βασίστηκαν στην αρχή της τομής μετρημένων στοιχείων, χρησιμοποιώντας είτε απ' ευθείας μετρήσεις μέσω ενός θεοδόλιχου είτε έμμεσων μετρήσεων χρησιμοποιώντας τη φωτογραμμετρία. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ήταν πολύ πιο εύκολο να μετρηθούν διευθύνσεις με ακρίβεια απ' ότι αποστάσεις με ακρίβεια. Συστήματα που βασίζονταν στη τομή γωνιών (αρχή της εμπροσθοτομίας) χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό θεοδόλιχο αντιπροσώπευαν τις πρώτες σοβαρές απόπειρες για την εμπορευματοποίηση των συσκευών μέτρησης συντεταγμένων εξ' αποστάσεως.

Το πρώτο σύστημα που κυκλοφόρησε στην αγορά ήταν το σύστημα HP3822A της Hewlett Packard στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Αυτή η καινοτομία οδήγησε στην ανάπτυξη πολλών ανταγωνιστικών συστημάτων και από άλλες εταιρείες όπως την AIMS, την Zeiss κ.α. Οι δυο κύριοι ανταγωνιστές που αναδείχθηκαν ήταν η Wild-Leitz με το RMS system και η KERN με το KERN ECDS, συστήματα που μοιράζονταν πολλά κοινά στοιχεία (οι δυο αυτές εταιρείες έπειτα συνενώθηκαν το 1988 και σταδιακά αποτέλεσαν μέρος της Leica Geosystems). Στα προαναφερθέντα συστήματα υιοθετούνταν δύο ή περισσότερα θεοδόλιχα, τα οποία χρησιμοποιώντας τη διαδικασία της συνόρθωσης κατά δέσμες

καθόριζαν την θέση και τον προσανατολισμό των οργάνων σε ένα καρτεσιανό τρισδιάστατο οριζοντιωμένο σύστημα συντεταγμένων. Από τη στιγμή που ολοκληρωνόταν αυτή η διαδικασία, οποιαδήποτε σημεία του μετρητικού αντικειμένου μπορούσαν να τμηθούν από οπτικές ακτίνες και σε πραγματικό χρόνο να τους δοθούν τρισδιάστατες συντεταγμένες με εκτίμηση των σφαλμάτων τους.

Ένα από τα κύρια προβλήματα που είχαν τέτοια συστήματα, ήταν η απαίτηση για πολλούς χειριστές που έπρεπε να δουλεύουν ταυτόχρονα για να αναγνωρίσουν και να μετρήσουν στοχευόμενα σημεία. Αυτή η μεθοδολογία ήταν πολύ κοπιαστική, δεδομένου ότι μόλις μερικές δεκάδες σημεία μπορούσαν να μετρηθούν ανά ώρα. Οι προσπάθειες για αυτοματοποίηση της διαδικασίας ήταν αρκετές. Οι Wild και KERN ανέπτυξαν τα συστήματα SPACE και ATMS τα οποία χρησιμοποιούσαν σερβοκαθοδηγούμενα βιντεοθεοδόλιχα για τη μέτρηση των στόχων. Η έρευνα καθοδηγήθηκε από το χώρο της αεροδιαστημικής στην Αμερική (US Aerospace), αλλά λόγω του κόστους του εξοπλισμού ελάχιστα συστήματα ξέφυγαν και δούλεψαν σε άλλο χώρο. Λόγω της μεθοδολογίας των τεμνομένων διευθύνσεων, γρήγορα συνειδητοποιήθηκε η απαίτηση χώρου ώστε να δημιουργείται σωστή γεωμετρία (καλή γωνία τομής των οπτικών ακτινών). Αυτή η απαίτηση, καθώς και για άλλους λόγους, συχνά η προσπάθεια για βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του δικτύου περνούσε σε δεύτερη μοίρα και αποτελούσε παράγοντα μικρότερης σημασίας (ενώ στη πραγματικότητα συμβαίνει το αντίθετο).

Σε όλο αυτό το διάστημα, έγιναν σοβαρές προσπάθειες να αναπτυχθούν όργανα ικανά να προσδιορίσουν την απόσταση με πολύ μεγάλη ακρίβεια (π.χ. νήματα invar, interferometer). Τέτοιες συσκευές δεν προχώρησαν πέρα από το περιβάλλον των εργαστηρίων και ουσιαστικά παρέμειναν πρωτότυπα με χρήση μόνο σε πειράματα φυσικής υψηλής ενέργειας. Στα τέλη όμως της δεκαετίας του 1980, αναπτύχθηκε η συσκευή σάρωσης laser interferometer σε βιομηχανικό περιβάλλον (laser tracker). Το πρώτο εμπορικό laser tracker με τέτοια τεχνολογία παραδόθηκε από τη Leica το 1991 με την ονομασία SMART 310. Ακολούθησε το 1992 το CLS 3000 από τη Chesapeake (μετέπειτα SMX) και το 1999 το Tracker II από την API. Αυτά τα όργανα μέτρησης πολικών συντεταγμένων έχουν το πλεονέκτημα, έναντι των θεοδολίχων, την απαίτηση ενός μόνο χειριστή και τα μεγάλα προβλέψιμα χαρακτηριστικά όσον αφορά τις ακρίβειες μέτρησης. Βασίζονται στην απ' ευθείας μέτρηση ενός σημείου με το καθορισμό μιας γωνίας και μιας απόστασης μετρημένης με interferometer με κατάλληλο ανακλαστικό στόχο. Σε αντίθεση όμως με τα θεοδόλιχα, δεν μπορούν να δουλέψουν σε περιβάλλον όπου δεν είναι δυνατή η επαφή με το αντικείμενο αφού αναγκαστικά απαιτείται η τοποθέτηση του στόχου στο αντικείμενο. Η επόμενη εξέλιξη των laser tracker, ήταν η κατασκευή τους με βάση την αρχή του Mekometer.

Τα τελευταία χρόνια έγινε προσπάθεια στη βιομηχανική γεωδαισία, να συνδυαστούν οι παράγοντες της ακρίβειας, του κόστους, της παραγωγικότητας και της ευκολίας εφαρμογής. Για παράδειγμα τα laser tracker είναι φορητά συστήματα αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι μπορεί να εκτεθούν σε ένα εχθρικό περιβάλλον, όπως π.χ. σε ένα ναυπηγείο, κυρίως λόγω της ευαισθησίας τους. Διαπιστώθηκε ότι σε πολλές εφαρμογές απαιτούνταν πολύ μεγάλη ακρίβεια στις συντεταγμένες αλλά όχι τόσο μεγάλη όσο έδιναν τα laser tracker ή ο συνδυασμός θεοδολίχων. Επιπρόσθετα, το κόστος απόκτησης, λειτουργίας και συντήρησης τέτοιων συστημάτων δεν ήταν ανεκτό από εταιρείες με μικρότερη αγορά εργασίας. Παρόλα αυτά ο ανταγωνισμός επέβαλε σε κάθε βιομηχανική μονάδα να ζητά γρήγορα αποτελέσματα και ευκολία χρήσης.

Αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι η χρησιμοποίηση οργάνων μέτρησης πολικών συντεταγμένων που προερχόταν από την οικογένεια των **total stations** (θεοδολίχο με ενσωματωμένη συσκευή μέτρησης αποστάσεων) και έχουν την ικανότητα να δίνουν συντεταγμένες με ακρίβεια καλύτερη του χιλιοστού. Κύριοι κατασκευαστές αυτών των οργάνων είναι η Leica και η Sokkia. Στην ουσία πρόκειται για total stations με πολύ μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση γωνιών και αποστάσεων, τα οποία συνοδεύονται και συνδέονται με κατάλληλο λογισμικό για την εξαγωγή συντεταγμένων με εκτίμηση των σφαλμάτων τους.

1.2 Περιοχές Εφαρμογών – Ακρίβειες

Οι εφαρμογές της Βιομηχανικής Γεωδαισίας είναι πάρα πολλές και ποικίλες. Οι τεχνικές της πρωτοεμφανίστηκαν στις εργασίες εξόρυξης φυσικών πόρων ανοιχτής θαλάσσης. Σταδιακά όμως εξαπλώθηκαν σε πάρα πολλούς τομείς της βιομηχανίας, όπως στην αεροναυπηγική, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στη ναυπηγική, στις τηλεπικοινωνίες, στην κατασκευαστική και στη χημική βιομηχανία, στην ρομποτική και στην πυρηνική τεχνολογία.

Ένα βασικό κριτήριο για την επιλογή των οργάνων είναι η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί. Σε γενικές γραμμές ισχύουν οι κατηγοριοποιήσεις του επόμενου πίνακα που ακολουθεί :

Μέγιστη διάσταση αντικειμένου (mm)	Απαιτούμενη ακρίβεια μέτρησης (mm)	Διάστημα ανοχής των μετρήσεων (mm)	Παράδειγμα εφαρμογής	Συστήματα οργάνων
5000	0,2	0,05	Αεροδιαστημική	Laser tracker
10000	1	0,5	Αεροδιαστημική	Laser tracker, Θεοδόλιχα, Φωτογραμμετρία
15000	3	2	Ναυπήγηση	Θεοδόλιχα
1000	0,1	0,02	Αεροδιαστημική	Θεοδόλιχα και φωτογραμμετρία
10000	1	0,2	Ναυπήγηση	Θεοδόλιχα

Πίνακας 1.1: Απαιτούμενες ακρίβειες - όργανα βιομηχανικής γεωδαισίας [Γκουντινάκος Γ., 2004]

Σε κάθε περίπτωση για την τελική επιλογή υλοποιείται μια μελέτη που εξαρτάται από την επιθυμητή ακρίβεια μέτρησης, το κόστος, τον απαιτούμενο χώρο και περιβάλλον λειτουργίας, την ευχρηστία και ταχύτητα του συστήματος, το συνοδευόμενο λογισμικό και τον απαιτούμενο αριθμό χρηστών σε σχέση και με τις απαιτούμενες γνώσεις τους. Άλλωστε, οι μέγιστες ακρίβειες των οργάνων επιτυγχάνονται μόνο από πολύ έμπειρους χειριστές, κάτι το οποίο απαιτεί πάρα πολύ χρόνο.

1.3 Μετρητική Διαδικασία

Στη Βιομηχανική γεωδαισία η μετρητική διαδικασία θα πρέπει να ακολουθεί κάποιες βασικές αρχές έτσι ώστε να ικανοποιεί τις προκαθορισμένες απαιτήσεις. Τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι τα κατάλληλα, δηλαδή να καλύπτουν τις απαιτήσεις ως προς την ακρίβεια, το κόστος και τον διαθέσιμο χρόνο. Επίσης η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί οφείλει να επιλεγεί με μεγάλη προσοχή, και τα άτομα που θα διεξάγουν τις μετρήσεις πρέπει να είναι κατάλληλα καταρτισμένα και έμπειρα.

Κατά την διαδικασία των μετρήσεων, τα όργανα δεν κεντρώνονται σε συγκεκριμένες θέσεις, όπως συμβαίνει στην κλασική τοπογραφία. Πιο συγκεκριμένα, εάν το αντικείμενο που ενδιαφέρει πρόκειται να μετρηθεί μία μόνο φορά, (όπως στην συγκεκριμένη εργασία), δημιουργείται ένα ελεύθερο δίκτυο, οπότε τα όργανα δεν χρειάζεται να κεντρωθούν σε κάποιο σημείο. Στην περίπτωση όμως που οι μετρήσεις θα επαναληφθούν, ή θα επαναλαμβάνονται ανά συγκεκριμένο χρονικά διάστημα, ιδρύονται σταθερά βάρη των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές και τα όργανα εκτελούν εξαναγκασμένη κέντρωση.

Στα γεωδαιτικά δίκτυα, είτε είναι ελεύθερα, είτε με εξαναγκασμένες κεντρώσεις, οι συντεταγμένες των στάσεων των οργάνων θα πρέπει να έχουν ακρίβεια τουλάχιστον μια τάξης μεγέθους καλύτερη από το προσδιορισμό των σημείων. Στα δίκτυα της βιομηχανικής Γεωδαισίας όμως, που οι ακρίβειες είναι της τάξης των 0,5 mm, 0.1 mm, είναι ιδιαίτερα δύσκολο, χρονοβόρο και δαπανηρό να προσδιοριστούν στάσεις με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια, γι' αυτό και οι στάσεις των οργάνων προσδιορίζονται με περίπου την ίδια ακρίβεια με τα απλά σημεία.

Η μεθοδολογία μέτρησης και υπολογισμού που χρησιμοποιείται στην Βιομηχανική Γεωδαισία, είναι η ίδια για όλες τις εφαρμογές και έχει σαν σκοπό, τον προσδιορισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων X, Y, Z, με υψηλή ακρίβεια προκαθορισμένων σημείων του αντικειμένου. Η όλη διαδικασία έχει τελικό σκοπό τον υπολογισμό της μορφής και των διαστάσεων του προς αποτύπωση αντικειμένου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Βασικό σημείο είναι ότι οι συντεταγμένες του αντικειμένου ή τα τελικά σχέδιά του μπορούν να συγκριθούν με τις συντεταγμένες ή τα σχέδια που δίνουν οι κατασκευαστές του αντικειμένου, ώστε να εξετασθούν και να υπολογισθούν τυχόν αποκλίσεις.

Όσον αφορά τη γεωδαιτική διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται ο υπολογισμός των συντεταγμένων, χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μέθοδοι. Η πρώτη είναι η μέθοδος της **εμπροσθοτομίας** και η δεύτερη η μέθοδος των **πολικών συντεταγμένων**. Τα συστήματα με δύο ή περισσότερα θεοδόλιχα χρησιμοποιούν τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας, ενώ τα

συστήματα των laser tracker και των γεωδαιτικών σταθμών χρησιμοποιούν τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων.

Από το σκοπό της όλης διαδικασίας που αναφέρθηκε παραπάνω, προκύπτει η σημαντικότητα των διαφόρων πηγών σφαλμάτων.

Τα σφάλματα είναι δυνατόν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες με βάση την πηγή τους:

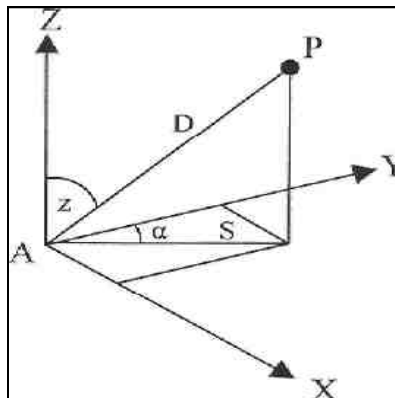
- ❖ Σφάλματα οργάνων μέτρησης και στόχων
- ❖ Σφάλματα εξωτερικών παραγόντων
- ❖ Σφάλματα χειριστών

Στη συνέχεια αναλύονται οι παραπάνω μεθοδολογίες και αναφέρονται τα σφάλματα που επηρεάζουν τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή τους και μπορούν να επιφέρουν αλλοίωση των τελικών αποτελεσμάτων.

1.3.1 Βασικές μέθοδοι υπολογισμού

- Μέθοδος πολικών συντεταγμένων

Τα στοιχεία που μετριοούνται σε αυτή την μέθοδο είναι η οριζόντια και κατακόρυφη γωνία, και η απόσταση από ένα γνωστό σημείο προς τα άγνωστα. Στην ουσία πρόκειται για σφαιρικές συντεταγμένες που με την βοήθεια της κατακόρυφης γωνίας βρίσκεται η οριζόντια απόσταση ώστε να θεωρούνται μετέπειτα πολικές συντεταγμένες.



Σχήμα 1.2: Πολικές συντεταγμένες [Γκουντινάκος Γ., 2004]

Οι συντεταγμένες του σημείου P θα υπολογισθούν από την σχέση:

$$\begin{aligned} X_P &= X_A + S \cdot \sin \alpha \\ Y_P &= Y_A + S \cdot \cos \alpha \\ Z_P &= Z_A + S \cdot \cos z \end{aligned} \quad (1.1)$$

όπου $S = D \cdot \cos z$, και D είναι η κεκλιμένη απόσταση μεταξύ του γνωστού και του άγνωστου σημείου.

Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται κύρια από την ικανότητα της ακριβούς μέτρησης του μήκους παρά των γωνιών, και αυτό αποτελεί το γεγονός που την περιορίζει. Αυτό προκύπτει αν υπολογίσουμε το σφάλμα της μιας συντεταγμένης, π.χ. της σ_{XP} με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων (θεωρώντας το σημείο A χωρίς σφάλμα).

$$\sigma_{XP} = (\sin \alpha \cdot \sigma_S)^2 + (S \cdot \cos \alpha \cdot \sigma_\alpha)^2 \quad (1.2)$$

Όσο μεγαλώνει το S, κυρίαρχο ρόλο στην ακρίβεια της συντεταγμένης παίζει το σ_α . Όσο μικραίνει το S, δραστικό ρόλο στην ακρίβεια της συντεταγμένης παίζει το σ_S . Κατά κανόνα στη βιομηχανική γεωδαισία επικρατούν κοντινές αποστάσεις, για αυτό και στη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων παίζει σημαντικό ρόλο το σφάλμα της μετρούμενης απόστασης. Να σημειωθεί ότι αυτό δεν απαλλάσσει τη μέθοδο από την ανάγκη για υψηλή ακρίβεια στη μέτρηση των γωνιών. Απλά όπως προαναφέρθηκε, οι παράμετροι των οργάνων που μετράνε γωνίες με μεγάλη ακρίβεια φτιάχνονται πιο εύκολα και έτσι το ζητούμενο είναι να υπάρχει αρμονική ακρίβεια γωνιομετρήσεων και μέτρησης αποστάσεων, δίνοντας έτσι μια έλλειψη σφάλματος που θα τείνει σε κύκλο.

Φυσικά και σε αυτή τη μεθοδολογία, όσο αυξάνει η απόσταση αυξάνεται και το σφάλμα του άγνωστου σημείου. Είναι συνέπεια της μέτρησης των γωνιών, που εδώ επιδεινώνεται και από τη μέτρηση μήκους. Να σημειωθεί ότι όπως φαίνεται και από τη σχέση που δίνει το σφάλμα της συντεταγμένης Y

$$\sigma_{YP} = (\cos \alpha \cdot \sigma_S)^2 + (S \cdot \sin \alpha \cdot \sigma_\alpha)^2 \quad (1.3)$$

ότι σε ένα σημείο P τα σ_X και σ_Y είναι αντίστροφα, δηλαδή μεγάλο σ_X θα έχει και μικρό σ_Y . Το ποιο από τα δύο θα είναι μεγαλύτερο εξαρτάται από το ποια συντεταγμένη του αγνώστου σημείου είναι κοντύτερα στους άξονες του συστήματος αναφοράς (εξαιρέση η διαγώνιος).

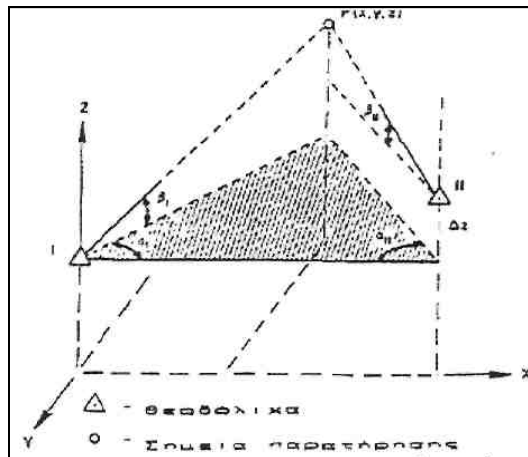
Στο σφάλμα της συντεταγμένης Z αυτό που παρατηρείται είναι ότι σε μικρές αποστάσεις πολύ μικρά σφάλματα παρατηρούνται για ζενίθιες γωνίες γύρω στους 100 βαθμούς ενώ σε μεγάλες αποστάσεις μικρά σφάλματα παρατηρούνται σε μικρές ζενίθιες γωνίες.

$$\sigma_{ZP} = (\cos z \cdot \sigma_D)^2 + (D \cdot \sin z \cdot \sigma_z)^2 \quad (1.4)$$

- Μέθοδος εμπροσθοτομίας

Σε όλες τις γεωδαιτικές περιπτώσεις, ανάλογα με τα στοιχεία που χρειάζεται κάθε μέθοδος, γίνονται ακριβείς μετρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών καθώς και ακριβείς μετρήσεις αποστάσεων. Στη μέθοδο της εμπροσθοτομίας γίνονται μετρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών από δύο γνωστά σημεία προς ένα άγνωστο, και δεν μετρείται κανένα μήκος, ενώ η κλίμακα δίνεται από την γνωστή απόσταση ανάμεσα στα δύο γνωστά σημεία. Η μεθοδολογία αυτή αποτελεί την αρχή στην οποία βασίστηκαν τα πρώτα συστήματα βιομηχανικής γεωδαισίας.

Η βασική αρχή της μεθόδου είναι η υλοποίηση ενός τριγώνου στο χώρο, όπου οι δύο κορυφές του είναι οι δύο γνωστές στάσεις και η τρίτη κορυφή είναι το άγνωστο σημείο. Για την επίλυση του τριγώνου απαιτείται να γνωρίζουμε τρία στοιχεία του, ένα εκ των οποίων να είναι μήκος για να έχουμε κλίμακα.



Σχήμα 1.3: Σχηματική παράσταση της εμπροσθοτομίας [Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας, 2005]

Η απλή μέθοδος εμπροσθοτομίας επιτρέπει την εύρεση των συντεταγμένων ενός σημείου M, εφ' όσον ξέρουμε τις συντεταγμένες δυο άλλων σημείων A και B από τα οποία μπορούν να γίνουν μετρήσεις προς το σημείο M.

1.3.2 Πηγές σφαλμάτων

Είναι προφανές ότι και στις υπόλοιπες τοπογραφικές εργασίες έτσι και στις μετρήσεις της βιομηχανικής γεωδαισίας υπεισέρχονται σφάλματα. Οι τελευταίες απαιτούν υψηλή ακρίβεια ως προς τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των σημείων που σκοπεύονται. Είναι δυνατόν να διαχωριστούν τα σφάλματα σε τρεις κατηγορίες με βάση την πηγή τους:

- Σφάλματα χειριστών
- Σφάλματα εξωτερικών παραγόντων
- Σφάλματα οργάνων μέτρησης και στόχων

Σφάλματα χειριστών

Ένας καθοριστικός παράγοντας για τη σωστή εκτέλεση των μετρήσεων είναι ο ίδιος ο χειριστής του οργάνου. Για να γίνουν οι μετρήσεις με τον σωστό τρόπο, τα όργανα θα πρέπει να χειρίζονται από επαρκώς καταρτισμένα άτομα. Παρόλα αυτά, πάντα είναι πιθανό να γίνει κάποιο χονδροειδές λάθος, π.χ. να οριστεί λάθος κάποια παράμετρος του οργάνου ή να μετρηθεί λάθος σημείο ή να χρησιμοποιηθεί λάθος στόχος. Για αυτό και είναι κρίσιμο να τηρούνται καθορισμένες διαδικασίες, οι οποίες ελαχιστοποιούν, αλλά δεν εξαλείφουν τις πιθανότητες για χονδροειδή λάθη ή θα εξασφαλίζουν τον επαρκή πλεονασμό παρατηρήσεων ώστε να είναι δυνατή η ανίχνευση χονδροειδών λαθών. Επίσης απαραίτητος είναι ο κατάλληλος προγραμματισμός των μετρήσεων, π.χ. η ίδρυση ενός τοπικού αυθαίρετου δικτύου.

Σφάλματα εξωτερικών παραγόντων

Ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για την αποφυγή σφαλμάτων στη βιομηχανική γεωδαισία είναι η σταθερότητα του περιβάλλοντος εργασίας. Φυσικά φαινόμενα, όπως η ανομοιόμορφη θέρμανση των μετρητικών οργάνων, η οπτική διάθλαση ή οι μηχανικές δονήσεις μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις θεωρητικά επιτευξιμες ακρίβειες των μετρήσεων. Πολλοί ασχολούμενοι με τη βιομηχανική γεωδαισία έχουν αναφέρει, από τη στιγμή που δεν υπάρχουν συστηματικά λάθη ή λάθη βαθμονόμησης, κύρια πηγή εσφαλμένων μετρήσεων είναι οι επιδράσεις του περιβάλλοντος.

Οι επιδράσεις του περιβάλλοντος μπορούν να διαχωριστούν σε δυο κατηγορίες:

- στις σχετικές μετακινήσεις ανάμεσα στο όργανο και το μετρούμενο αντικείμενο

- στη παραμόρφωση της οπτικής ακτίνας ανάμεσα στο όργανο και το μετρούμενο αντικείμενο.

Οι σχετικές μετακινήσεις μπορούν να οφείλονται είτε σε ατυχή γεγονότα (όπως κατά λάθος μετακίνηση του οργάνου), είτε σε περιοδικά φαινόμενα (όπως υψηλής ή χαμηλής συχνότητας δονήσεις), είτε σε συστηματικές επιδράσεις (όπως οι μεταβολές λόγω ανομοιομορφης θέρμανσης). Είναι πολύ σημαντικό να επιλέγεται σταθερή θέση οργάνου και η πρόσβαση γύρω από αυτό να είναι ελεγχόμενη. Ίδιας βαρύτητας πρέπει να είναι και η προστασία των οργάνων από τον ήλιο ή άλλη πηγή θέρμανσης. Μια καλή πρακτική, είναι η μέτρηση 3 ή περισσότερων σημείων ελέγχου καλά κατανομημένων στο χώρο πριν την έναρξη των κυρίως εργασιών. Στο τέλος ή μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα, μεγάλες αποκλίσεις των σημείων ελέγχου ίσως αποκαλύψουν κάποια μεταβολή λόγω επίδρασης του περιβάλλοντος.

Τα φαινόμενα διάθλασης είναι γενικά τα πιο σημαντικά στις επιδράσεις των μετρήσεων. Αλλαγές στη θερμοκρασία και στην πίεση και μεταβολές στην ατμόσφαιρα μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στη μέτρηση αποστάσεων, λόγω των αποκλίσεων που επιβάλλουν στη ταχύτητα του φωτός όπου βασίζονται όλες οι συσκευές μέτρησης αποστάσεων.

Ευτυχώς τέτοια φαινόμενα έχουν ερευνηθεί αρκετά και οι όποιες επιδράσεις μπορούν να διορθωθούν, είτε διατηρώντας το μετρητικό περιβάλλον σε επιθυμητές συνθήκες είτε χρησιμοποιώντας αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης για να γνωρίζουμε τις μεταβολές.

Η καμπύλωση των οπτικών ακτίνων εξ' αιτίας τοπικών θερμικών ανωμαλιών είναι ένας μικρότερης σημασίας παράγοντας. Από τη Φυσική είναι γνωστό ότι το φως ταξιδεύει ευθύγραμμο. Αυτό ισχύει μόνο σε ένα ομογενές περιβάλλον, όπου η πυκνότητα και σύσταση του μέσου μεταφοράς είναι ομοιογενής. Καθώς όμως η πυκνότητα της ατμόσφαιρας αλλάζει, προκαλείται καμπύλωση των οπτικών ακτίνων και άρα του σημείου σκόπευσης.

Λόγω της μεγάλης δυσκολίας να παραμετροποιηθούν και να μοντελοποιηθούν τέτοιες συνιστώσες, ενδείκνυται να αποφεύγονται σκοπεύσεις σε περιοχές όπου υπάρχουν μεγάλες οριζόντιες ή κάθετες θερμικές ανωμαλίες, όπως π.χ. σε περιοχές γύρω από σωλήνες που μεταφέρουν πολύ ζεστά ρευστά.

Όλοι οι παραπάνω λόγοι τελικά, επιβάλλουν όσο το δυνατόν πιο ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Βέβαια στην Βιομηχανική γεωδαισία τα

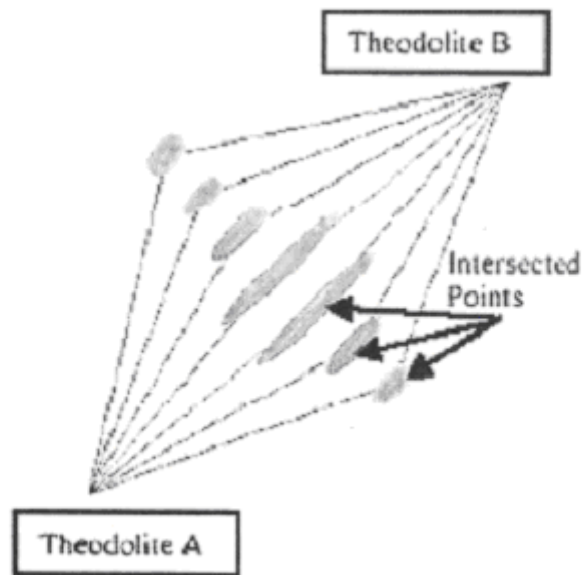
ιδρυθέντα δίκτυα είναι μικρής έκτασης οπότε δεν υπάρχει μεγάλη επίδραση όλων των παραπάνω σφαλμάτων, όμως σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοκρασία, η οποία μπορεί να επηρεάσει το προς αποτύπωση αντικείμενο (πχ.: μεταλλικό αντικείμενο διαστέλλεται συστέλλεται).

Σφάλματα οργάνων μέτρησης και στόχων

Πηγή σφαλμάτων είναι και τα όργανα μέτρησης και οι στόχοι που τα συνοδεύουν. Οι μετρήσεις που γίνονται για να βρεθούν συντεταγμένες, αφορούν μετρήσεις μηκών και γωνιών. Οι περαιτέρω αναλύσεις που γίνονται, θεωρούν γενικά ότι οι μετρήσεις επιτυγχάνουν τη μέγιστη ακρίβεια τους. Στην πράξη όμως όλα τα όργανα παρουσιάζουν αποκλίσεις από τις μέγιστες ακρίβειές τους όσο αυξάνεται η χρήση τους και η διάρκεια ζωής τους. Προς αποφυγή τέτοιων φαινομένων, ανεξάρτητα αν έχουν την ικανότητα να επιβάλλουν διορθώσεις, πρέπει τα μετρητικά όργανα να βαθμονομούνται κατά περιοδικά χρονικά διαστήματα. Προσοχή πρέπει να δίνεται και στη χρησιμοποίηση των κατάλληλων στόχων. Θα πρέπει κάθε φορά να επιλέγεται το σωστό μέγεθος, χρώμα και σχήμα ώστε οι παρατηρήσεις να επιτυγχάνουν τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και σε μετρήσεις αποστάσεων θα πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να διορθώνονται σωστά οι σταθερές των οργάνων.

Η θέση του στόχου ως προς το όργανο ή η σταθερή τοποθέτησή του συχνά αμελείται, αποτελώντας μεγάλη πηγή σφάλματος. Για παράδειγμα, ένας στραμμένος στόχος σε σχέση με το όργανο οδηγεί σε λάθος σκόπευση ή εσφαλμένη μετρημένη απόσταση χωρίς κίολας να γίνεται αντιληπτό από το χρήστη.

Μικρή αιτία σφάλματος μπορεί να αποτελέσει και η επιλογή οργάνων μικρότερης ακρίβειας. Δηλαδή, αν και οι διαφορές είναι μικρές, τα laser tracker γενικά έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό αποστάσεων από τα total station. Αντίθετα τα total station προσδιορίζουν διευθύνσεις με καλύτερη ακρίβεια. Αυτό φαίνεται και από τον προσανατολισμό των ελλείψεων σφάλματος στα γραφήματα που ακολουθούν. Οπότε σε ένα αντικείμενο που οι στόχοι έχουν τοποθετηθεί κυρίως κατά μήκος μιας δέσμης ακτίνων, ίσως το laser tracker να δίνει καλύτερες ακρίβειες. Αντιθέτως σε στόχους τοποθετημένους ακτινικά γύρω από το όργανο, τα όργανα με ακριβέστερες μετρήσεις γωνιών θα υπερτερούν. Δηλαδή επιτυγχάνεται μια πιο αρμονική ακρίβεια των μετρήσεων σε σχέση με τις διαστάσεις του αντικειμένου. Η παραπάνω διαπίστωση ισχύει σε γενικές γραμμές, αφού π.χ. οι μετρήσεις αποστάσεων μπορεί να μετρώνται τόσο καλά που να καλύπτουν την αδυναμία μέτρησης γωνιών ή άλλοι λόγοι να επιβάλλουν διαφορετικά όργανα στα παραπάνω παραδείγματα.



Σχήμα 1.4: Ελλείψεις σφάλματος σημείων με δύο γεωδαιτικούς σταθμούς τοποθετημένους αντικριστά [Γκουντινάκος Γ. 2004]



Σχήμα 1.5: (α) Ελλείψεις σφάλματος σημείων από όργανα που έχουν υψηλή ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων σε σχέση με την ακρίβεια μέτρησης διευθύνσεων. (β) Ελλείψεις σφάλματος σημείων από όργανα που έχουν υψηλή ακρίβεια μέτρησης διευθύνσεων σε σχέση με την ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων. [Γκουντινάκος Γ. 2004]

Ευτυχώς σφάλματα που σχετίζονται με τη γεωμετρία μπορούν να περιοριστούν χρησιμοποιώντας τα σωστά μαθηματικά μοντέλα. Αβεβαιότητες που προκαλούνται από τυχόν λάθος μαθηματικά και στοχαστικά μοντέλα μπορούν να εκλείψουν με την απαραίτητη προσοχή και τη σωστή βαθμονόμηση των οργάνων.

Τα σφάλματα είναι δυνατόν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες με βάση τον τρόπο επίδρασης τους στα αποτελέσματα των μετρήσεων:

- ❖ **Τα χονδροειδή** τα οποία οφείλονται σε ανθρώπινα λάθη.
- ❖ **Τα συστηματικά** των οποίων οι τιμές παραμένουν σταθερές καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Τέτοια σφάλματα είναι όσα προκύπτουν από κακή οριζοντίωση του οργάνου, τη μη σύμπτωση του οριζόντιου ή κατακόρυφου κύκλου με τον άξονα περιστροφής.
- ❖ **Τα τυχαία** τα οποία δε μπορούν να χαρακτηριστούν ως συστηματικά ή χονδροειδή. Χαρακτηριστικό γνώρισμά τους είναι ότι έχουν απρόβλεπτες τιμές με την έννοια ότι κάτω από τις φαινομενικά ίδιες συνθήκες μεταβάλλονται από μέτρηση σε μέτρηση. Ενώ όμως κάθε τυχαίο σφάλμα από μόνο του έχει απρόβλεπτη συμπεριφορά, η συλλογική συμπεριφορά ενός αρκετά μεγάλου αριθμού από αυτά μπορεί να περιγραφεί μόνο με τη βοήθεια της έννοιας της πιθανότητας εμφάνισης των διαφόρων δυνατών τιμών τους. Η επίδραση των τυχαίων σφαλμάτων δε μπορεί να απομακρυνθεί αλλά μόνο να περιοριστεί μέσα από μια διαδικασία ανάλυσης που ονομάζεται συνόρθωση των παρατηρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

2.1 Εισαγωγικά - Ιστορικά

Η γεωδαισία ως επιστήμη θεμελιώθηκε στην αρχαία Αίγυπτο και από τότε έχει γνωρίσει συνεχή ανάπτυξη με αποκορύφωμα τις μέρες μας όπου οι δορυφόροι έχουν τεθεί στην υπηρεσία της.

Από πολύ παλιά ήταν δυνατή η κατασκευή γεωδαιτικών οργάνων, τα οποία μετρούσαν με πολύ μεγάλη ακρίβεια τα γωνιακά μεγέθη, όχι όμως τόσο καλά τις αποστάσεις. Αυτός είναι ο λόγος που οδήγησε την επιστήμη της γεωδαισίας στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοποίηση των γωνιακών δεδομένων.

Κατά τον 18^ο και 19^ο υπήρχε η ανάγκη δημιουργίας χαρτών για στρατιωτικούς σκοπούς καθώς και ο προσδιορισμός των ορίων μεταξύ κρατών, με αποτέλεσμα την εκτέλεση ακριβέστερων και πιο οργανωμένων γεωδαιτικών εργασιών που οδήγησαν στην αλματώδη εξέλιξη της επιστήμης της γεωδαισίας. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και των επιστημών σε συνδυασμό με την αύξηση της αξίας της γης, οδήγησαν στον ακριβή προσδιορισμό των θέσεων σημείων πάνω στην φυσική γήινη επιφάνεια.

Ο Πρώτος Παγκόσμιος Πόλεμος και οι ανάγκες του, έδωσαν ώθηση στην επιστήμη της Γεωδαισίας και της Τοπογραφίας, αλλά και της Φωτογραμμετρίας. Μετά τον πόλεμο πληθαίνουν οι ερευνητικές δραστηριότητες σε σχετικά θέματα.

Σημαντικές μεταβολές στη γεωδαιτική μεθοδολογία επήλθαν αμέσως μετά τον Δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, και συγκεκριμένα τη δεκαετία του 1950 άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα πρώτα ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών τα λεγόμενα και E.D.M., αλλάζοντας σημαντικά τη γεωδαιτική μεθοδολογία των μετρήσεων. Αργότερα εμφανίζονται τα ψηφιακά θεοδόλιχα ενώ συγχρόνως τα E.D.M. γίνονται πιο εύχρηστα, διότι προσαρμόζονται

επιβατηγά σε θεοδόλιχα και τέλος ενσωματώνονται σε αυτά και αποτελούν τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς που χρησιμοποιούμε σήμερα, τα Total Stations.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η Γεωδαισία και η Τοπογραφία είναι επιστήμες που ωφελήθηκαν και ωφελούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη της Ηλεκτρονικής κατά τα τελευταία πενήντα χρόνια. Είναι επίσης από τις πρώτες επιστήμες που χρησιμοποίησαν τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τόσο για τη γρήγορη εκτέλεση υπολογισμών, όσο και για την πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγή σχεδίων και χαρτών με τη βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων (CAD) και περιφερειακών συσκευών. Η αυτοματοποίηση των εργασιών πεδίου και γραφείου οδήγησε στην κατασκευή καταγραφικών συσκευών υπαίθρου, συσκευών στις οποίες αποθηκεύονται οι μετρήσεις και στη συνέχεια μεταφέρονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία.

Η τεχνολογία των γεωδαιτικών σταθμών εξακολουθεί να εξελίσσεται μέχρι σήμερα και παράλληλα η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών επέτρεψε να γίνονται οι πολύπλοκοι υπολογισμοί με ταχύτητα και ασφάλεια. Η τεχνολογική ανάπτυξη παρέχει σήμερα τη δυνατότητα στους γεωδαίτες να εκτελούν τις μετρήσεις τους πιο εύκολα και γρήγορα και να έχουν άμεσα αποτελέσματα ακόμα και στο πεδίο. Τα εργοστάσια κατασκευάζουν σχεδόν αποκλειστικά ηλεκτρονικά όργανα και κυρίως γεωδαιτικούς σταθμούς. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί εξελίσσονται συνεχώς μέχρι και σήμερα με προσθήκες και καινοτομίες, όπως μικροεπεξεργαστές και λειτουργικό σύστημα παρόμοιο και συμβατό με αυτά των ηλεκτρονικών υπολογιστών, προγράμματα για εκτέλεση υπολογισμών στο πεδίο, αυτόματη κίνηση του οργάνου με σερβοκίνηση, αυτόματη αναζήτηση στόχου για μέτρηση, ενσωματωμένη αποθήκευση χιλιάδων σημείων μέτρησης κ.ά.

2.2 Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station)

Ο γεωδαιτικός σταθμός είναι στην ουσία ένας ηλεκτρονικός θεοδόλιχος με ενσωματωμένη τεχνολογία ψηφιακής (ηλεκτρομαγνητικής) μέτρησης αποστάσεων και γωνιών, είναι δηλαδή ένα ηλεκτρονικό/οπτικό όργανο που χρησιμοποιείται στην σύγχρονη τοπογραφία, τα όργανα αυτά έχουν πλέον το αποστασιόμετρο ενσωματωμένο με το ψηφιακό θεοδόλιχο. Τα οπτικομηχανικά θεοδόλιχα αντικαταστάθηκαν από τους σύγχρονους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (Total Station), οι οποίοι εξελίσσονται διαρκώς σε θέματα που αφορούν στην ακρίβεια μέτρησης του μήκους που μπορεί να φθάσει τα $\pm 1\text{mm} \pm 1\text{ppm}$, των γωνιακών μεγεθών που φτάνει μέχρι $\pm 1''$. Οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total Station) χρησιμοποιούνται κατά κόρον σήμερα στην τοπογραφική αποτύπωση, αλλά και στο ευρύτερο πεδίο δράσης ενός Τοπογράφου Μηχανικού.

Οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί μετρούν και καταγράφουν ψηφιακά τις γωνίες και τις αποστάσεις προς οποιοδήποτε υπό παρατήρηση σημείο και καταχωρούν τα αποτελέσματα σε ειδικές καταγραφικές μονάδες.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αποτελεί η ψηφιακή διαδικασία αποκατάστασης της ορθής λειτουργίας τους (κέντρωση, οριζοντίωση), πρόσφατα ενσωματώθηκε και η τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών και έτσι το λειτουργικό MS DOS αντικαταστάθηκε από αυτό των Windows στα όργανα νέας γενιάς, ενώ η σερβοκίνηση και η ρομποτική λειτουργία συναντώνται όλο και συχνότερα. Στην σερβοκίνηση οι δίσκοι του οργάνου κινούνται με σερβομηχανισμό για ακόμα μεγαλύτερη ευκολία και ακρίβεια στη σκόπευση, όμως η κατανάλωση μπαταρίας είναι πολύ μεγάλη.

Οι μετρήσεις αποστάσεων πραγματοποιούνται με διαμορφωμένο μικροκύμα ή με υπέρυθρο μεταφορικό σήμα το οποίο ανακλάται από πρίσμα ή άλλο αντικείμενο. Κατόπιν, η διαμορφωμένη διάταξη του επιστρεφόμενου σήματος λαμβάνεται και ερμηνεύεται από το όργανο. Ένα τυπικό όργανο μετρά αποστάσεις με ακρίβεια $\pm 1.5\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ σε απόσταση έως 1500 m.

Η σημαντικότερη εξέλιξη τους αφορά στην δυνατότητα μέτρησης σημείων χωρίς ανακλαστήρα με την χρήση laser, με τις μετρούμενες αποστάσεις να φτάνουν μέχρι και τα 2000 m, και στη δυνατότητα επικοινωνίας τους με Η/Υ και άλλα περιφερειακά και στην ορθότητα των μετρήσεων που παρέχουν.

Οι ρομποτικοί συνολικοί σταθμοί επιτρέπουν στο χειριστή να ελέγξει το όργανο από μια απόσταση μέσω του τηλεχειρισμού. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για ένα βοηθητικό μέλος

προσωπικού δεδομένου ότι ο χειριστής κρατά τον ανακλαστήρα και ελέγχει το συνολικό σταθμό από το παρατηρηθέν σημείο.

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί ότι όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα των κατασκευών, τόσο αυξάνονται και οι ανάγκες για ακόμη πιο εξελιγμένο και εξειδικευμένο εξοπλισμό.

Οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί παρέχουν πληθώρα αυτοματοποιημένων λειτουργιών μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η σωστή, ακριβής και γρήγορη περάτωση των εργασιών, με αποτέλεσμα η χρησιμότητά τους σήμερα σε κάθε είδους τοπογραφική εφαρμογή να είναι απαραίτητη.

2.2.1 Ο γεωδαιτικός σταθμός TOPCON IS 203

Ένα από τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι ο Ρομποτικός Γεωδαιτικός Σταθμός Imaging Station {IS 203(10^{cc})} της εταιρίας Topcon. Αποτελεί μέρος της νέας σειράς Ρομποτικών Γεωδαιτικών Σταθμών της εταιρίας Topcon η οποία παρουσιάστηκε το 2008 και συνδυάζει τα πιο σύγχρονα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της εποχής με εξελιγμένες δυνατότητες τηλεχειρισμού και σάρωσης. Τα υπόλοιπα όργανα που συμπληρώνουν την σειρά αυτή είναι οι Ρομποτικοί Γεωδαιτικοί Σταθμοί Imaging Station, {IS 201(3^{cc})} και {IS 205(15^{cc})}.



Σχήμα 2.1: Topcon Imaging Station. [www.Treecomp.gr]

Το Topcon IS διαθέτει διπλή ψηφιακή κάμερα απεικόνισης, και διπλή έγχρωμη οθόνη αφής για την ευκολία χειρισμού του και από τις δύο πλευρές, και ενσωματώνει σε πραγματικό χρόνο εικόνες από το πεδίο με χωρικά δεδομένα. Αυτή η διπλή ψηφιακή κάμερα, 1,3 Mp η καθεμία, καταγράφει την τεχνολογική πραγματικότητα με ευρεία γωνία και οπτικό ζουμ 30x που εγγυάται την καλύτερη δυνατή ακρίβεια. Μέσω των οθονών αυτών επιτυγχάνεται η εύκολη περιήγηση στις επιλογές του γεωδαιτικού σταθμού, αλλά και η σκόπευση των σημείων μέσω ενός ηλεκτρονικού σταυρονήματος που εμφανίζεται πάνω σε αυτές. Το τηλεσκόπιο έχει μήκος 165 mm, με αντικειμενικούς φακούς διαμέτρου 45 mm. Αυτό σημαίνει ότι με βάση τον προσεγγιστικό τύπο $\delta^{cc} = 37,5 / d$ για την διακριτική ικανότητα του τηλεσκοπίου έχουμε:

$$\delta^{cc} = 37.5 / d = 37.5 / 4.5 = 8.333^{cc}$$

Δηλαδή σε αποστάσεις των 10 m μπορούν να διακριθούν σημεία που απέχουν 0,13 mm, ενώ για αποστάσεις των 60 m μπορούν να διακριθούν σημεία που απέχουν 0,79 mm.

Όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την ενσωματωμένη δυνατότητα σάρωσης, παρέχει ένα δυναμικό σύστημα το οποίο παρέχει την αυτοματοποίηση ενός πολύ ακριβούς laser σαρωτή. Το IS Imaging Station παρέχει πολύ καλή και ακριβή μέτρηση στην λειτουργία reflectorless μέχρι τα 2000 m. Παρέχει επίσης την μεγαλύτερη ταχύτητα μέτρησης σημείων που ανέρχεται στα 20 σημεία ανά δευτερόλεπτο στην λειτουργία σάρωσης.

Επομένως το όργανο αυτό συνδυάζει την ρομποτική λειτουργία, την τρισδιάστατη σάρωση (3D), και τις νέες τεχνολογίες video σε ένα μικρό, ευέλικτο και εύκολο στην χρήση γεωδαιτικό σταθμό.

Το λειτουργικό σύστημα του οργάνου είναι Microsoft Windows, γεγονός που καθιστά ικανή τη χρήση του ως ηλεκτρονικού υπολογιστή, καθώς και την εγκατάσταση οποιουδήποτε συμβατού προγράμματος στο λειτουργικό του σύστημα το οποίο βοηθά το χρήστη στην ταχύτερη και πιο αποδοτική ολοκλήρωση των εργασιών του.

Διαθέτει αντισταθμιστή εύρους 6' που υπάρχει και στους δύο άξονες με ακρίβεια διορθώσεων της τάξης του 1" (1mgon). Η εμβέλεια επικοινωνίας είναι 900 m, ενώ η επικοινωνία μέσω του Bluetooth φτάνει μέχρι τα 5 m. Το βασικότερο είναι ότι διαθέτει πολλές δυνατότητες αυτοελέγχου.

Μπορεί να συνδεθεί με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω θύρας USB ή ασύρματα μέσω τεχνολογίας Bluetooth, ή μπορεί να αποθηκεύσει τα μετρούμενα στοιχεία σε κάρτα μνήμης, ή στον σκληρό δίσκο του. Έχει την δυνατότητα να εκτελεί διάφορα προγράμματα όπως (BS, REM, MLM, REP, EDGE, Ext.Link) στην επιλογή program mode.

- BS: Setting a Direction Angle for Backsight Orientation
- REM: Remote Elevation Measurement
- MLM: Missing Line Measurement
- REP: Repetition Angle Measurement
- EDGE: Edge Abstraction Mode
- Ext. Link: Setting AP-L1A communication



Σχήμα 2.2: (α) Η σελίδα PROGRAM. (β) Τα ενσωματωμένα προγράμματα του Torcon IS. [εγχειρίδιο χρήσης]

Το όργανο έχει ακόμα την δυνατότητα να εκτελεί και άλλα προγράμματα εργασιών όπως, οπισθοτομία, εμπροσθοτομία, χάραξη, σάρωση, αποτύπωση με laser. Οι κοχλίες μετακίνησης είναι και οι δύο στην δεξιά πλευρά του οργάνου, δεν έχουν όριο περιστροφής, και λειτουργούν ταυτόχρονα και για την μικροκίνηση. Διαθέτει επίσης, όπως αναφέρεται και παραπάνω, σερβομηχανισμούς για την ρομποτική του λειτουργία, δηλαδή εκτελεί την περιστροφή από την πρώτη θέση τηλεσκοπίου, στην δεύτερη, χωρίς τη βοήθεια του χρήστη, απλά ο χρήστης πατάει ένα κουμπί.

Η οριζοντίωση του οργάνου επιτυγχάνεται χονδρικά με αεροστάθμη (σωληνωτή) και με τρικόχλιο (σφαιρική αεροστάθμη), ενώ η λεπτομερής οριζοντίωση διεξάγεται ψηφιακά, αφού το όργανο διαθέτει ευαίσθητο ηλεκτρονικό κλισίμετρο.

Το IS έχει την δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης στόχου (ATR). Με αυτή τη λειτουργία του και τον κατάλληλο στόχο, το όργανο μπορεί να βρίσκει την ακριβή θέση του στόχου εφόσον του έχει οριστεί μια συγκεκριμένη περιοχή μέσα στην οποία βρίσκεται ο στόχος

(γωνία). Σε συνέχεια αυτής της λειτουργίας, μπορεί να ακολουθεί έναν κινούμενο στόχο ο οποίος κινείται με κάποια ορισμένη ταχύτητα. Η λειτουργία του ATR βασίζεται στην ύπαρξη μιας CCD κάμερας μέσα στο όργανο. Η συσκευή στέλνει μια ακτίνα laser και κατά την επιστροφή της ελέγχει κατά πόσο αποκλίνει από το κέντρο της κάμερας CCD, επιβάλλοντας τις ανάλογες διορθώσεις ή κινώντας τους σερβομηχανισμούς. Η ακρίβεια της λειτουργίας αυτής είναι 30', η ταχύτητα εντοπισμού του στόχου είναι 15°/sec, και η εμβέλεια εντοπισμού είναι 1000 m με το στάνταρ πρίσμα. Βέβαια η ακρίβεια του ATR εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο εκτελείται η εργασία αυτή, την απόσταση του στόχου, το είδος και την κατάσταση του στόχου.

Στις δυνατότητες του IS είναι αναγκαίο να αναφερθεί και η λειτουργία της σάρωσης (scanning), διότι χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον σε αυτή την διπλωματική.

Με την λειτουργία αυτή ορίζεται ένα παράθυρο (ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, πολύγωνο, κ.α.) και το όργανο σαρώνει αυτήν την περιοχή δημιουργώντας σύννεφο σημείων. Η ταχύτητα που έχει η σάρωση, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που δίνουν οι κατασκευαστές, είναι έως 20 Hz, με ακρίβεια 5mm (m.s.e.).

Η σάρωση μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- Με βάση την γωνία που θα έχει το βήμα των σημείων (επιλογή angle)
- Με βάση τον αριθμό των σημείων που θα πάρει (επιλογή points)
- Με βάση την απόσταση που έχει από το προς σάρωση αντικείμενο (επιλογή distances)

Όλες οι παραπάνω δυνατότητες και όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά συσκευάζονται μέσα σε ένα ευέλικτο και συμπαγές πλαίσιο, δίνοντας μεγάλη αντοχή και αξιοπιστία στον γεωδαιτικό σταθμό.

Το IS της Topcon είναι ιδανικό για την τοπογραφική έρευνα, για την έρευνα σε θέματα εξόρυξης, και ιδανικό για πολλές άλλες εφαρμογές όπως την μέτρηση δύσκολων στόχων, όπως τα ηλεκτροφόρα καλώδια. Με τις προηγμένες δυνατότητες 3D modelling εικόνας επιτρέπουν την άμεση δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με ενσωμάτωση εικόνων και μετρήσεις όγκου.

Όλα τα παραπάνω τεχνικά χαρακτηριστικά φαίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

TOPCON IS-203	
Μέτρηση γωνιών	
Μέθοδος	Απόλυτη Ανάγνωση
Ελάχιστη Ανάγνωση	1" / 5" (0,2 / 1mgon)
Ακρίβεια	3" (1mgon)
Αντισταθμιστής Οριζοντίωσης	Δύο Αξόνων
Εύρος Αντισταθμιστή	±6"
Τηλεσκόπιο	
Μήκος	165mm
Αντικειμενικός Φακός	45mm (EDM 50mm)
Μεγέθυνση	30x
Εικόνα	Erect
Field of View	1° 30'
Διακριτική Ικανότητα	3"
Ελάχιστη Εστίαση	1.4m
Μέτρηση Αποστάσεων	
Με Πρίσμα	
Εμβέλεια 1/ 3/ 9 Πρίσματα	3000m /4000m /5000m
Ακρίβεια	± (2mm±2ppm x D*) m.s.e.
Χωρίς Πρίσμα	
- Μικρές Αποστάσεις	1.5m – 250m
Ακρίβεια	±5mm m.s.e.
- Μεγάλες Αποστάσεις	5m – 2000m
Ακρίβεια	±(10mm±10ppm x D*) m.s.e.
Ταχύτητα scanning	Έως 20Hz ±5mm m.s.e.
Τάξη Laser EDM	Τάξη 1
Αυτόματος Εντοπισμός Στόχου	
Ταχύτητα Εντοπισμού	15° /sec
Εμβέλεια Εντοπισμού	1000m (με το στάνταρ πρίσμα)
Ταχύτητα Περιστροφής	85° /sec
IMAGING	
Ψηφιακή Φωτογραφική Μηχανή	(2ccd) 1.3M pixel
Ταχύτητα εικόνας	Έως 15fps
Scanning	Max 20 points /sec
Τεχνικά χαρακτηριστικά σταθμού	
Λειτουργικό (OS)	Microsoft Windows CE ^o NET 4.2
Επεξεργαστής	Intel PXA255 400 MHz
Οθόνη	Έγχρωμη οθόνη τεχνολογίας αφής
Εμβέλεια Επικοινωνίας	Έως 900m
Στόχευση Laser Pointer	LD (ορατό Laser)
Μνήμη	128 MB/RAM 2 MB Flash Rom 1 GB micro SD Card

Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Topcon IS203.[www.Topcon.co.jp]

2.2.2 Ο γεωδαιτικός σταθμός TRIMBLE VX

Το όργανο αυτό δε χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, αλλά θα ήταν καλό να αναφερθεί για το λόγο ότι προσφέρει παρόμοιες λειτουργίες με το γεωδαιτικό σταθμό IS Imaging Station της Topcon, αλλά με κάποιες σημαντικές διαφορές. Ο γεωδαιτικός σταθμός απεικόνισης VX της Trimble ενσωματώνει γεωδαιτικό σταθμό και τρισδιάστατο σαρωτή σε μία μονάδα. Διαθέτει:

- Εξαιρετικής ποιότητας οπτικά συστήματα
- Δυνατότητα τρισδιάστατης σάρωσης
- Τεχνολογία ψηφιακής απεικόνισης



Σχήμα 2.3: Γεωδαιτικός σταθμός Trimble VX. [www.Trimble.com]

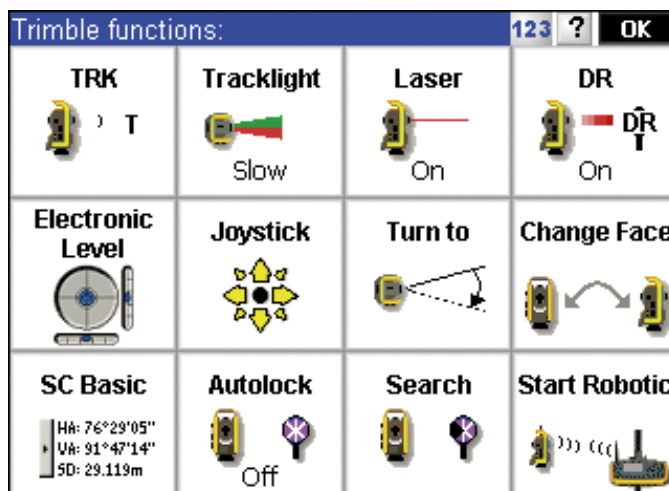
ώστε τα σημεία που συλλέγει να έχουν υψηλές ακρίβειες συντεταγμένων και η χωρική πληροφορία που προσφέρει να είναι χρήσιμη σε απαιτητικές εφαρμογές όπως αποτύπωση σηράγγων, μνημείων, σε ναυπηγεία, βιομηχανίες, κ.λπ.

Ο σταθμός Trimble VX συλλέγει δεδομένα τοπογραφικής ακρίβειας με επίγεια μέθοδο, όπως ένας συμβατικός γεωδαιτικός σταθμός. Επιπλέον χρησιμοποιεί την τεχνολογία laser, για τη σάρωση του αντικειμένου, συλλέγοντας μεγάλο όγκο δεδομένων για την πιστή απόδοση αυτού. Τέλος διαθέτει ενσωματωμένη video camera για την απόδοση της πραγματικής υφής του αντικειμένου. Οι τρεις τεχνολογίες (γεωδαιτικός σταθμός, σαρωτής laser και ψηφιακή video camera) χρησιμοποιούνται παράλληλα, ελέγχονται από ένα και μόνο χειριστήριο, με ένα και μόνο λογισμικό πεδίου σε περιβάλλον Windows. Το όργανο διαθέτει 1 MB μνήμη, γεγονός που επιτρέπει στον μηχανικό να πάρει μαζί του στο ύπαιθρο όλα τα βασικά στοιχεία που θα του χρειαστούν (κατάλογοι σημείων, χάρτες υποβάθρου).

Το λειτουργικό σύστημα του οργάνου είναι Microsoft Windows, γεγονός που καθιστά ικανή τη χρήση του ως ηλεκτρονικού υπολογιστή, καθώς και την εγκατάσταση οποιουδήποτε συμβατού προγράμματος στο λειτουργικό του σύστημα το οποίο βοηθά το χρήστη στην ταχύτερη και πιο αποδοτική ολοκλήρωση των εργασιών του.

Το όργανο έχει ακόμα την δυνατότητα να εκτελεί και άλλα προγράμματα εργασιών όπως, οπισθοτομία, εμπροσθοτομία, χάραξη, σάρωση, αποτύπωση με laser. Μπορεί να

συνδεθεί με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω θύρας USB ή ασύρματα μέσω τεχνολογίας Bluetooth ή μπορεί να αποθηκεύσει τα μετρούμενα στοιχεία σε κάρτα μνήμης ή στον σκληρό δίσκο του. Οι κοχλίες μετακίνησης δεν έχουν όριο περιστροφής και λειτουργούν ταυτόχρονα και για την μικροκίνηση. Διαθέτει επίσης σερβομηχανισμούς για τη ρομποτική του λειτουργία, δηλαδή εκτελεί την περιστροφή από την πρώτη θέση τηλεσκοπίου, στη δεύτερη, χωρίς τη βοήθεια του χρήστη, απλά ο χρήστης πατάει ένα κουμπί.



Σχήμα 2.4: Λειτουργίες του Trimble VX.

Στην λειτουργία του σκαναρίσματος ο χειριστής έχει την ευχέρεια να επιλέξει τον τρόπο που θέλει να το κάνει. Εύκολα μπορεί να καθορίσει τις περιοχές ανίχνευσης με τις προκαθορισμένες μεθόδους επιλογής και έπειτα την ανίχνευση μέχρι 15 σημεία ανά δευτερόλεπτο. Ο γεωδαιτικός σταθμός της Trimble δίνει την εύκολη πρόσβαση στις παραμέτρους ανίχνευσης, όπου μπορείτε να καθορίσετε τον αριθμό σημείων που ανιχνεύονται βασισμένος στα διαστήματα γωνίας και απόστασης.

Όλα τα παραπάνω τεχνικά χαρακτηριστικά φαίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

TRIMBLE VX	
Τυπικό σφάλμα γωνίας	1''=3 ^{cc}
Κάμερα	
Αισθητήρας ανίχνευσης	1 κάμερα: ευρεία έγχρωμη ψηφιακή κάμερα
Field of view	16,5° x12,3°
Pixels	3 M pixel
Ανάλυση	2048x1536
Γωνιακή ανάλυση	29''
Ταχύτητα εικόνας	5 fps
Οθόνη	
LCD	3,5'' έγχρωμη TFT
Ανάλυση	320x240 dots
Αποστάσεις	
Τυπικό σφάλμα	± 3mm ±2ppm ±5mm ±2ppm
Βεληνεκές	1600m χωρίς πρίσμα 5500m με πρίσμα

Πίνακας 2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού σταθμού Trimble VX. [www.Trimble.com]

Το χειριστήριο TCU

Το χειριστήριο TCU αποτελεί την εξέλιξη του χειριστηρίου Trimble VX. Διαθέτει λογισμικό Windows CE και μνήμη 256 MB. Είναι ένα εξελιγμένο αποσπώμενο χειριστήριο, κατάλληλο για σκληρές συνθήκες πεδίου, υψηλής απόδοσης και αξιοπιστίας. Διαθέτει έγχρωμη οθόνη γραφικών TFT υψηλής ανάλυσης και ενσωματωμένη τεχνολογία Bluetooth.

Το χειριστήριο TCU έχει τα ακόλουθα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ενσωματώνει τεχνολογία επικοινωνίας Bluetooth και έγχρωμη οθόνη γραφικών TFT υψηλής ανάλυσης.
- Έχει εσωτερική μνήμη 256 Mb.
- Προσφέρεται με ενσωματωμένο το λογισμικό Trimble Survey Controller που επιτρέπει τον έλεγχο της λειτουργίας γεωδαιτικών σταθμών και συστημάτων G.P.S. Το λογισμικό αυτό είναι συμβατό και με γεωδαιτικούς σταθμούς άλλων εταιρειών.

Στα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου λογισμικού περιλαμβάνονται:

- Ο έλεγχος λειτουργίας συστημάτων G.P.S και γεωδαιτικών σταθμών.
- Η αποθήκευση ανεξάρτητων εργασιών (projects) καθώς και μεθόδων αποτύπωσης σύμφωνα με την επιθυμία του χειριστή (survey styles).
- Η επιλογή του επιθυμητού συστήματος αναφοράς και προβολής.
- Η παρουσίαση χάρτη με όλα τα διαθέσιμα δεδομένα πεδίου και γραφείου.
- Η υποστήριξη προγραμμάτων υπολογισμού γεωμετρικών στοιχείων(CoGo).
- Η εισαγωγή αρχείων από γνωστά CAD και GIS λογισμικά είτε ως γραφικό υπόβαθρο είτε ως ενεργό αρχείο δεδομένων.
- Η καταγραφή ιδιοτήτων (attributes) στα στοιχεία (features) που συλλέγονται και η επεξεργασία και απόδοση αυτών.



Σχήμα 2.5: Το χειριστήριο TCU του Trimble VX. [www.Trimble.com]

Το λογισμικό

Το λογισμικό Trimble Real Works Survey επιτρέπει την επεξεργασία τρισδιάστατου νέφους σημείων που συλλέγεται αποκλειστικά από σαρωτές laser. Το λογισμικό παρέχει εργαλεία προσανατολισμού και επεξεργασίας του νέφους σημείων για την απόδοση τόσο της πραγματικής υψής όσο και της λεπτομερούς γεωμετρίας του αντικειμένου της σάρωσης. Το λογισμικό αυτό αξιοποιεί το μεγάλο πλήθος σημείων που συλλέγουν οι

τρισδιάστατοι σαρωτές, επιτρέπει την γρήγορη διαχείριση αυτού ενώ ενσωματώνει εξειδικευμένα χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την χρήση του σε πολλές και διαφορετικές εφαρμογές.

Ειδικότερα το λογισμικό Trimble RealWorks Survey:

- Επιτρέπει την συνένωση, τον προσανατολισμό και την γεωαναφορά ανεξάρτητων νεφών σημείων που έχουν μετρηθεί από μία ή περισσότερες θέσεις του σαρωτή.
- Προσφέρει εργαλεία για την επεξεργασία του νέφους σημείων με σκοπό είτε την απόδοση της πραγματικής υψής του αντικειμένου είτε την απόδοση με μεγάλη ακρίβεια των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών.
- Έχει την δυνατότητα δημιουργίας πολλαπλών ορθών προβολών του αντικειμένου σάρωσης με χρήση φωτογραφιών εσωτερικής ή και εξωτερικής μηχανής. Στην περίπτωση χρήσης εξωτερικής μηχανής παρέχονται και τα εργαλεία προσανατολισμού της φωτογραφίας στο νέφος σημείων.
- Διαθέτει εργαλεία υπολογισμού ισοϋψών, κατά μήκος τομών ή διατομών, όγκων, κλπ και γενικότερα εργαλεία για τον πλήρη έλεγχο και απόδοση του αντικειμένου σάρωσης.
- Προσφέρει ευκολία στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων μέσω εκτυπώσεων ή απευθείας μεταφοράς αυτών σε γνωστά σχεδιαστικά πακέτα.

2.2.3 Σύγκριση των δύο οργάνων

Πολλά από τα χαρακτηριστικά των οργάνων που παρουσιάστηκαν παραπάνω είναι κοινά, ωστόσο σημαντικές είναι και ορισμένες διαφορές μεταξύ τους. Αναλυτικότερα όσον αφορά τα κοινά τους στοιχεία, και το **Topcon IS Imaging Station** και το **Trimble VX** είναι εφοδιασμένα με ψηφιακή video camera. Αυτή η κάμερα είναι τοποθετημένη στο πλευρό του τηλεσκοπίου του οργάνου, με αποτέλεσμα να έχει την δυνατότητα να περιστρέφεται μαζί με το τηλεσκόπιο και να συλλέγει τις εικόνες των μετρημένων αντικειμένων αλλά και του γύρω χώρου.

Επίσης οι γεωδαιτικοί σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με σερβομηχανισμούς για την οριζόντια, αλλά και για την κατακόρυφη κίνηση του τηλεσκοπίου. Και οι δύο σταθμοί έχουν την δυνατότητα να εκτελέσουν την λειτουργία της σάρωσης χωρίς τη χρησιμοποίηση πρίσματος.

Τέλος και τα δύο όργανα χρησιμοποιούν τηλεχειρισμό στην μετρητική διαδικασία. Το τηλεσκοπικό σήμα μπορεί να έχει σταλεί μέσω καλωδίου ή ασύρματα από το όργανο στον χειριστή του.

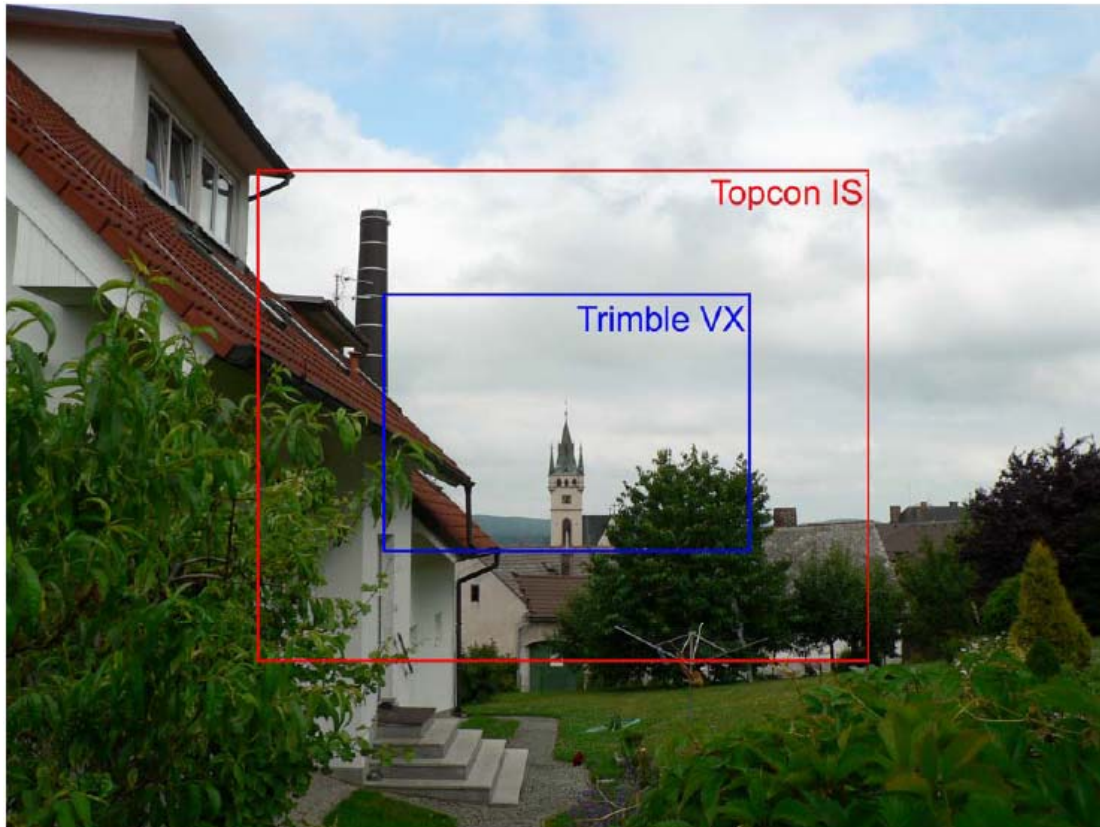
Η διαφορά στην φιλοσοφία των εικόνων, στα όργανα **Topcon IS Imaging Station**, και **Trimble VX** είναι φανερή διότι το Trimble VX είναι λίγο παλαιότερο από το όργανο της Topcon, επομένως η σύγκριση που θα γίνει έχει απλά αναφορικό χαρακτήρα.

Η βασική διαφορά ανάμεσα στα δύο όργανα είναι ο αριθμός των ψηφιακών καμερών που έχουν, αλλά και η ανάλυση αυτών. Το Trimble VX είναι εξοπλισμένο με μία ψηφιακή, ευρείας γωνίας κάμερα των 3 Mpixel, ενώ το Topcon IS είναι εξοπλισμένο με δύο ψηφιακές κάμερες των 1,3 Mpixel, από τις οποίες η μία είναι τοποθετημένη στο τηλεσκόπιο και εξυπηρετεί την ανάγκη για μια πιο λεπτομερή άποψη του αντικειμένου, ενώ η άλλη που είναι τοποθετημένη εκτός του τηλεσκοπίου χρησιμοποιείται για μια πιο γενική τεκμηρίωση. Η εικόνα απεικόνισης μεγεθύνει μέχρι 4x για το Topcon IS και μέχρι 7x για το Trimble VX, ώστε να γίνεται καλύτερη αναγνώριση των λεπτομερειών.

Οι παραπάνω διαφορές φαίνονται και στον ακόλουθο πίνακα:

	TOPCON IS 203	TRIMBLE VX
Τυπικό σφάλμα γωνίας	1mgon=3''=10 ^{cc}	0,3mgon=1''=3 ^{cc}
	Κάμερα	
Αισθητήρας ανίχνευσης	2 κάμερες: ευρεία και τηλεσκόπιο, έγχρωμη ψηφιακή κάμερα	1 κάμερα: ευρεία έγχρωμη ψηφιακή κάμερα
Field of view	1° 30'	16,5° x12,3°
Pixels	(2ccd) 1.3M pixel	3 M pixel
Ανάλυση	1280x1024	2048x1536
Ταχύτητα εικόνας	Έως 15fps	5 fps
Μέτρηση αποστάσεων	± 5mm (χωρίς πρίσμα<250μ)	
	± 10mm ±10ppm (χωρίς πρίσμα>250 μ)	± 5mm ± 2ppm (χωρίς πρίσμα > 300μ)
	± 2mm ± 2ppm (με πρίσμα)	±3mm ± 2ppm
Βεληνεκές	2000 (χωρίς πρίσμα) 3000 (με πρίσμα)	1600 (χωρίς πρίσμα) 5500 (με πρίσμα)
Scanning	Max 20 points /sec	Max 15 points /sec
LCD	3,5'' έγχρωμη TFT	3,5'' έγχρωμη TFT
Ανάλυση	320x240 dots	320x240 dots

Πίνακας 2.3: Σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών του Topcon IS 203 και του Trimble VX.



Σχήμα 2.6: Το μέγεθος της εικόνας που λαμβάνει το κάθε όργανο. [www.intergeo-east.com]

Για την ταχύτητα εικόνας, και τα δύο όργανα έχουν ικανοποιητική συχνότητα, η οποία είναι πάνω 5 fps (frames per second) για το Trimble VX και πάνω από 15 fps για το Topcon IS. Η συχνότητα γενικά πρέπει να είναι 2 fps τουλάχιστον, διότι συχνότητες χαμηλότερες από αυτή, επιβραδύνονται από την ταχύτητα λειτουργίας του οργάνου.

Το σύστημα με τη μία κάμερα δεν μπορεί να φτάσει την γωνιακή ακρίβεια που μπορεί να πετύχει το σύστημα των δύο καμερών. Το σύστημα με τη μία κάμερα, ταυτόσημο με το Trimble VX, πρέπει να χρησιμοποιήσει κάμερα 300 Mpixel για να φτάσει τη γωνιακή ακρίβεια του Topcon IS. Βέβαια η κάμερα τέτοιας ακρίβειας είναι αρκετά μακριά από τις σύγχρονες δυνατότητες.

Σαν συμπέρασμα λοιπόν, Trimble και Topcon έχουν τον κατάλληλο εξοπλισμό καμερών για την τεκμηρίωση, την απεικόνιση και την ανίχνευση των αντικειμένων. Το σύστημα καμερών που εφαρμόζεται στο Topcon είναι ισχυρότερο στον τομέα της μακρινής λειτουργίας. Αν και χρησιμοποιώντας μικρότερες εικόνες, προσφέρει το υψηλότερο γωνιακό αποτέλεσμα. Το σύστημα που χρησιμοποιεί το Topcon, μπορεί να μεταφέρει τη ψηφιακή εικόνα στο μακρινό χειριστή σχεδόν με την ίδια ποιότητα.

2.3 Ο σαρωτής Laser (Laser Scanner)

Οι ρίζες της τεχνολογίας laser για την μέτρηση αποστάσεων βρίσκονται στα τέλη της δεκαετίας του 1970, ωστόσο εφαρμογές της όπως οι ψηφιακοί σαρωτές laser, καθυστέρησαν να εμφανιστούν στην αγορά. Πρόσφατα η ανάπτυξή τους έχει επιτρέψει την κατασκευή εμπορικών συσκευών ικανοποιητικής ακρίβειας, φορητών από άποψη μεγέθους και βάρους και προσιτών από άποψη τιμής, εισάγοντας έτσι δυναμικά την χρήση τους στην τοπογραφία αλλά και στην επίγεια φωτογραμμετρία. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους είναι εμφανή, καθιστούν δυνατή την εύκολη συλλογή πυκνών Ψηφιακών Μοντέλων Επιφανείας μεγάλης ακρίβειας και πυκνότητας σε λίγα μόλις λεπτά. Στις περισσότερες επίγειες εφαρμογές η συλλογή των δεδομένων των μοντέλων με τοπογραφικές μεθόδους είναι σχεδόν αδύνατη λόγω των μεγεθών των αντικειμένων, οπότε η λύση που ακολουθείται είναι η φωτογραμμετρική στερεοαπόδοση, η εξαγωγή δηλαδή υψομετρικής πληροφορίας από προσανατολισμένα ζεύγη φωτογραφιών του αντικειμένου. Η διαδικασία ωστόσο είναι πολύ χρονοβόρα και παρά το γεγονός ότι η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί είναι μεγάλη, η χρήση των σαρωτών laser υπερτερεί.

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές laser είναι ένα νέο και αρκετά υποσχόμενο είδος οργάνων. Μπορούν να προσδιορίζουν τις θέσεις σημείων σε τρεις διαστάσεις ως προς ένα τοπικό σύστημα αναφοράς, μετρώντας την απόσταση, την κατακόρυφη και την οριζόντια γωνία προς αυτά. Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή ενός γεωδαιτικού σταθμού, με τη διαφορά ότι απουσιάζει η οπτική διάταξη σκόπευσης αφού η σάρωση διεξάγεται πλήρως αυτοματοποιημένα. Το προϊόν που παράγεται είναι νέφος σημείων με συντεταγμένες X, Y, Z που αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς της σάρωσης και η ένταση του ανακλώμενου σήματος.

Το πλήθος των σημείων που λαμβάνονται σε μία σάρωση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυρίως όμως από το γωνιακό βήμα με το οποίο οι κινητήρες του οργάνου περιστρέφουν την μετρητική κεφαλή κατά τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα, από την ανάλυση του δίσκου κάθε άξονα, καθώς και από το γωνιακό εύρος στο οποίο είναι ικανή να κινηθεί η κεφαλή επί οριζοντίου και καθέτου άξονα. Ο αριθμός των σημείων που μπορεί να μετρήσει ένας σύγχρονος σαρωτής, ξεκινά από μερικές εκατοντάδες χιλιάδες και φτάνει έως μερικά εκατομμύρια σημεία ανά στάση σάρωσης. Εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων που συλλέγει ο σαρωτής, προκειμένου να γίνει επεξεργασία αυτών, απαιτούνται ιδιαίτερα αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες. Για το λόγο αυτό μόλις τα τελευταία χρόνια έγινε δυνατή η κατασκευή τέτοιων οργάνων, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας Η/Υ.

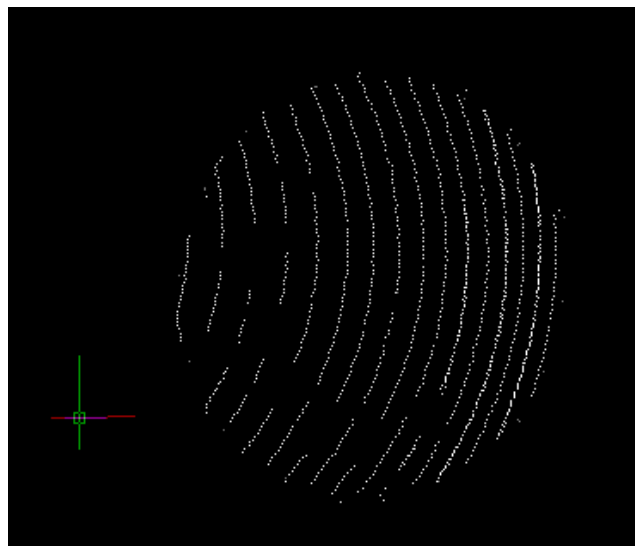
Οι κυριότερες εφαρμογές της τεχνολογίας τρισδιάστατης σάρωσης laser σχετίζονται κυρίως με αποτυπώσεις τεχνικών έργων όπως σήραγγες και γέφυρες, μηχανολογικών εγκαταστάσεων, αρχιτεκτονικών μνημείων, εσωτερικών χώρων, ενώ τελευταία έχει εφαρμοστεί επιτυχώς και σε χώρους εγκλημάτων.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας τρισδιάστατης σάρωσης laser φαίνονται παρακάτω:

Πλεονεκτήματα Laser Scanner
➤ Απευθείας αποτύπωση σημείων 3D
➤ Επεξεργασία μεγάλου αριθμού σημείων σε επιφάνειες
➤ Αριστη μέθοδος για την αποτύπωση και περιγραφή πολύπλοκων μη κανονικών επιφανειών
➤ Τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα

Πίνακας 2.4: Πλεονεκτήματα του Laser Scanner.

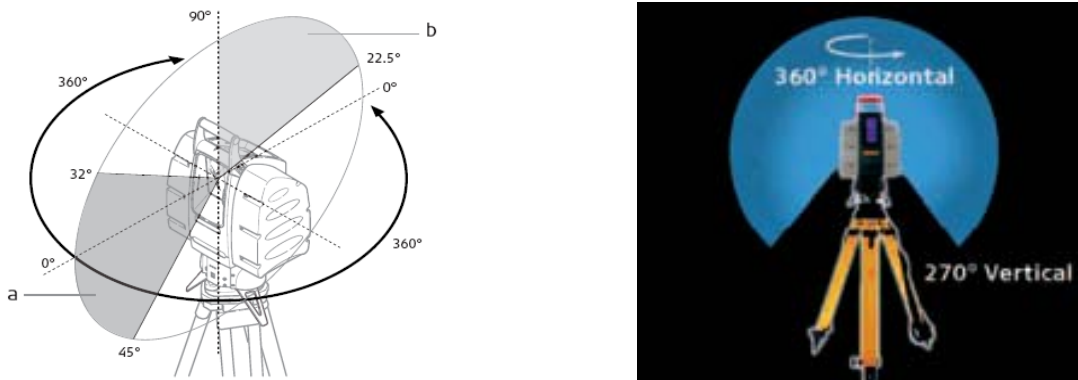
Ως **νέφος σημείων** ορίζεται ένα σύνολο σημείων που μοιράζονται το ίδιο τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Κάθε σημείο φέρει πληροφορία που το τοποθετεί σε μια συγκεκριμένη θέση μέσα στον τρισδιάστατο χώρο και αντιστοιχεί σε μια θέση πάνω στην επιφάνεια που ψηφιοποιήθηκε. Η πληροφορία αυτή είναι τρεις διαφορετικές τιμές, μία για κάθε άξονα X, Y, Z.



Σχήμα 2.7: Νέφος σημείων από το γεωδαιτικό σταθμό Topcon IS.

2.3.1 Ο σαρωτής ScanStation 2 (LEICA GEOSYSTEMS)

Το όργανο χρησιμοποιεί ένα ρομποτικό σύστημα καθρεφτών και έναν έλεγχο περιστροφής που συνδέεται με laser και με μια ψηφιακή κάμερα, για να συλλάβει την υπό αποτύπωση περιοχή. Ο χρόνος πτήσης της ακτίνας laser από την στιγμή της εκπομπής της από το όργανο μέχρι την στιγμή που θα ληφθεί η διαθλασμένη επιστρεφόμενη ακτίνα μετρείται, με βάση την ταχύτητα του φωτός και έτσι ο ανιχνευτής υπολογίζει την απόσταση σε κάθε σημείο. Το όργανο διαθέτει κινούμενη κεφαλή με δυνατότητα περιστροφής 360° γύρω από τον οριζόντιο άξονα και 270° γύρω από τον κατακόρυφο άξονα (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8: Γωνιακό εύρος σάρωσης του σαρωτή ScanStation 2. [www.leicageosystems.com]

Το όργανο έχει την δυνατότητα να συλλέγει μέχρι και 50,000 σημεία το δευτερόλεπτο, με μέγιστη πυκνότητα σάρωσης ενός χιλιοστού (1mm). Η μέγιστη εμβέλεια σάρωσης είναι τα 300 m και παρέχει στους χρήστες την επιλογή πολλαπλών τύπων σάρωσης και πυκνότητας σάρωσης σημείων. Επίσης η ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης και της απόστασης είναι 6mm, και 4mm αντίστοιχα. Στο Σχήμα 2.9 εικονίζεται η διάταξη του οργάνου.



Σχήμα 2.9: Ο σαρωτής ScanStation 2.



Σχήμα 2.10: Σφαιρικός στόχος (HDS Target).
[Καντιάνης Ε. 2010]

Το σύννεφο σημείων που θα προκύψει από το όργανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το λογισμικό AutoCAD και από άλλα βασισμένα στο AutoCAD προγράμματα σχεδιασμού για να παραχθούν προϊόντα όπως 2D σχέδιο CAD, 3D σχέδιο CAD, βέβαια το βασικό λογισμικό επεξεργασίας των τρισδιάστατων στοιχείων από τα σύννεφα σημείων που παράγει το όργανο είναι το Cyclone. Στο λογισμικό αυτό θα γίνει αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο.

Ο επίγειος σαρωτής ScanStation 2 δεν έχει την δυνατότητα κέντρωσης, οπότε τα σημεία που λαμβάνονται δεν ανήκουν σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς, αλλά σε ένα άλλο, αυτό του σαρωτή. Πιο συγκεκριμένα, τα σημεία αυτά που αποτυπώνονται έχουν πολικές συντεταγμένες ως προς τη θέση του οργάνου. Προκειμένου λοιπόν το νέφος των σημείων να μπορεί να υποστεί επεξεργασία, κρίνεται αναγκαίο να μετασχηματιστούν οι συντεταγμένες αυτές σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς. Για να επιτευχθεί αυτό εφαρμόζεται μία μέθοδος όμοια με αυτές της πολυγωνομετρίας στις τοπογραφικές αποτυπώσεις. Έτσι λοιπόν, αρχικά τοποθετούνται τουλάχιστον δύο στόχοι (HDS targets) σε σημείο τέτοιο ώστε να μπορούν να αποτυπωθούν από τον σαρωτή. Στη συνέχεια, οι στόχοι αυτοί λαμβάνουν συντεταγμένες με τη βοήθεια ενός γεωδαιτικού σταθμού, και κατόπιν, σαρώνεται από το laser scanner.

Να σημειωθεί εδώ ότι ο στόχος μπορεί να τοποθετηθεί είτε με τρίποδα σε τυχαίο σημείο, είτε πάνω σε στάση με γνωστές συντεταγμένες.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Laser Scanner ScanStation2:

Γενικά	
Τύπος οργάνου	Παλλόμενος, με διπλός-άξονας αντιστάθμισης, πολύ υψηλής ταχύτητας ανιχνευτής λέιζερ
Επικοινωνία με τον χρήστη	Notebook or Tablet PC
Κίνηση ανιχνευτών (scanner motor)	Κίνηση με σερβομηχανισμό
Κάμερα	Ενσωματωμένη κάμερα υψηλής ανάλυσης
Ακρίβεια της μέτρησης	
Θέση	6 mm
Απόσταση	4 mm
Γωνία (οριζόντια/ κατακόρυφη)	60 μrad/60 μrad
Μέτρηση στόχων	2 mm απόκλιση
Διπλός-άξονας αντιστάθμισης	Μπορεί να επιλεγεί on/ off: Resolution 1", dynamic range $\pm 5'$
Σύστημα laser	
Τύπος	Παλλόμενο
Χρώμα	Πράσινο
Τάξη laser	3R
Εμβέλεια	300 m κατά 90% και 134 m κατά 18%
Μέγεθος σημείων	Από 0 - 50m :4mm (FWHH): 6mm (Gaussian)
Μέγιστη πυκνότητα δειγμάτων	< 1 mm
Οπτικό πεδίο	
Οριζόντια γωνία	360°
Κατακόρυφη γωνία	270°
Οπτική ανίχνευσης	Ενιαίος καθρέφτης, πανοραμικό, με 2 παράθυρα, ένα μπροστά και το άλλο επάνω, τα οποία προστατεύονται από το περιβάλλον από 2 ασπίδες γυαλιού
Δείκτης για οριζοντίωση	Εξωτερική φυσαλίδα και μέσω του laptop
Ανταλλαγή δεδομένων	
Εισαγωγή	Cyclone native IMP object database format, Cyclone Object Exchange (COE) format, ASCII point data (XYZ, SVY, PTS, PTX, TXT) Leica X-function DBX, LandXML, ZFS, ZFC, 3DD
Εξαγωγή	ASCII point data (XYZ, SVY, PTS, PTX, TXT) DXF, Leica X-function DBX, LandXML, PTZ

Πίνακας 2.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά του σαρωτή ScanStation 2. [www.leicageosystems.com]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

3.1 Γενικά

Έχει γίνει κατανοητό έως τώρα ότι στη βιομηχανική γεωδαισία η έννοια του συστήματος στη μέτρηση συντεταγμένων είναι πολύ σημαντική. Δηλαδή δεν αρκεί να υπάρχει το κατάλληλο όργανο αλλά πρέπει να υποστηρίζεται και από το κατάλληλο λογισμικό. Ο σωστός συνδυασμός οργάνου και προγράμματος επεξεργασίας παρουσιάζει ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων:

- Ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο ύπαρξης κάθε τύπου λαθών τόσο κατά τη μεταφορά δεδομένων όσο και κατά την επεξεργασία τους. Έτσι μειώνετε το ανθρώπινο δυναμικό, και ο χρόνος για την επεξεργασία.
- Αποφεύγονται τα τυχόν προβλήματα ασυμβατότητας μεταξύ των λογισμικών των οργάνων και της μονάδας επεξεργασίας με συνέπεια να γίνεται μεγάλη εξοικονόμηση σε χρόνο και κόπο.
- Μειώνεται πολύ ο χρόνος της μεταφοράς των δεδομένων, του μετασχηματισμού τους σε άλλο σύστημα, της επεξεργασίας τους και της παραγωγής των αποτελεσμάτων.

Γενικότερα οι μετρήσεις με τα επεξεργασμένα αποτελέσματα και συμπεράσματα ίσως να έχαναν τελικά σε ακρίβεια και σίγουρα δεν θα μπορούσαν να ακολουθήσουν σε ταχύτητα τις ανάγκες της σύγχρονης βιομηχανίας.

Τα σημερινά πακέτα προγραμμάτων που κυκλοφορούν, δίνουν έμφαση στη συλλογή των δεδομένων on-line, στη μαθηματική ανάλυση των δεδομένων (off-line, on-line), στις προσαρμογές μαθηματικών επιφανειών στα δεδομένα και στην τρισδιάστατη γραφική απεικόνιση των δεδομένων.

Τυπικά γνωρίσματα των πακέτων είναι:

- Εμφάνιση των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.
- Πολλαπλά δίκτυα οργάνων
- Ικανότητα σύνδεσης περιβαλλοντικών αισθητήρων για ανάκτηση σχετικών πληροφοριών.
- Εκτέλεση συνορθώσεων με ελάχιστα τετράγωνα.
- Επεξεργασία και εμφάνιση ποιοτικών χαρακτηριστικών των μετρήσεων.
- Ανίχνευση χονδροειδών λαθών.
- Αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων ενεργειών.
- Τρισδιάστατα γραφικά.
- Προσαρμογή μαθηματικών στοιχείων (ευθείες και καμπύλες γραμμές, επίπεδες ή μεγαλύτερου βαθμού επιφάνειες).
- Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων(προσαρμογών, τομών) με προγράμματα CAD.

3.2 Λογισμικό επεξεργασίας CYCLONE

Το λογισμικό επεξεργασίας που συνοδεύει τον σαρωτή **ScanStation 2** είναι το Cyclone (στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 6.0.3) το οποίο λειτουργεί σε περιβάλλον windows. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του συστήματος του σαρωτή αλλά και για τη μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται από τις εργασίες πεδίου.

3.2.1 Δομή του λογισμικού

Η Leica έχει προσθέσει ορισμένα υποπρογράμματα έτσι ώστε να διευκολύνει την επεξεργασία μέσα στο περιβάλλον του λογισμικού. Επομένως είναι χρήσιμο να περιγραφούν τα υποπρογράμματα από τα οποία αποτελείται το Cyclone 6.0.3.

Cyclone-Scan: Είναι το πρόγραμμα μέσω του οποίου λειτουργεί ένας Leica 3D laser σαρωτής. Με τη βοήθεια αυτού του υποπρογράμματος πραγματοποιείται η σάρωση του αντικειμένου αφού πρώτα έχουν προσδιοριστεί οι παράμετροι της σάρωσης όπως η οριοθέτηση της περιοχής σάρωσης, η ανάλυση της σάρωσης και η φωτεινότητα.

Cyclone-Register: Είναι το πρόγραμμα που παρέχει τη δυνατότητα συνένωσης νεφών σημείων, τα οποία έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις σάρωσης. Το υποπρόγραμμα αυτό παρέχει επίσης αναλυτικά στατιστικά στοιχεία της συνένωσης, που περιλαμβάνουν την ακρίβεια της συνένωσης, το σφάλμα του κάθε στόχου (target constraint) και τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS) και το ιστόγραμμα σφάλματος για κάθε νέφος (cloud constraint).

Cyclone-Model: Είναι το πρόγραμμα που παρέχει τη δυνατότητα της άμεσης διαχείρισης του νέφους σημείων, της μοντελοποίησης των αντικειμένων που έχουν σαρωθεί και μπορούν εύκολα να εξαχθούν ή να εισαχθούν σε περιβάλλον CAD. Το υποπρόγραμμα αυτό περιλαμβάνει εργαλεία που βοηθούν στη μοντελοποίηση των τρισδιάστατων νεφών σημείων ως γεωμετρία CAD ή ως νέφη για μηχανικές, τοπογραφικές, κατασκευαστικές, αρχιτεκτονικές και άλλες σχετικές εφαρμογές.

Cyclone-Survey: Είναι υποπρόγραμμα του Cyclone-Model και επιτρέπει στους χρήστες να εξάγουν γρήγορα σχετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά και πληροφορία συντεταγμένων από το νέφος σημείων. Με το υποπρόγραμμα αυτό είναι δυνατή η δημιουργία TIN – η δημιουργία τριγώνων μεταξύ των γειτονικών σημείων, ισοϋψών καμπυλών, διατομών και υπάρχουν ακόμα πολλές χρήσιμες δυνατότητες.

Cyclone-Viewer: Είναι μία έκδοση του Cyclone στην οποία ο χρήστης βλέπει τα δεδομένα χωρίς τη δυνατότητα επεξεργασίας. Η έκδοση αυτή παρέχει τη δυνατότητα εμφάνισης της βάσης δεδομένων και οι χρήστες του μπορούν να πλοηγηθούν στο νέφος σημείων και στα τρισδιάστατα μοντέλα, χωρίς όμως να λειτουργεί το Cyclone-Model.

Cyclone-Server: Παρέχει την δυνατότητα για ταυτόχρονη σύνδεση πολλών χρηστών στην ίδια βάση δεδομένων μέσα σε ένα δίκτυο. Έτσι εξοικονομείται χρόνος στην διεκπεραίωση κάποιας σύνθετης εργασίας όπου συνεργάζονται πολλά άτομα.

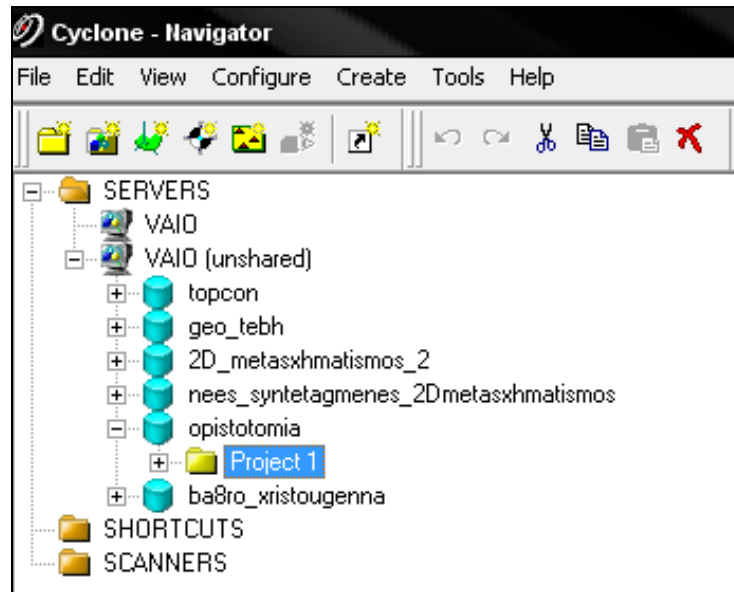
Cyclone CloudWorx for AutoCAD: Είναι το υποπρόγραμμα που λειτουργεί ως σύνδεση με το AutoCAD. Το υποπρόγραμμα αυτό επιτρέπει στους χρήστες του AutoCAD να εργαστούν απευθείας με τα νέφη σημείων χρησιμοποιώντας τα εργαλεία και τις εντολές του λογισμικού πακέτου AutoCAD. Ουσιαστικά το υποπρόγραμμα αυτό καλεί το νέφος των σημείων μέσα από το Cyclone και επιτρέπει να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία μέσα στο περιβάλλον του AutoCAD. Το μεγάλο πλεονέκτημα του υποπρογράμματος CloudWorx είναι η ικανότητα διαχείρισης τεράστιου όγκου πληροφορίας μέσα σε περιβάλλον CAD.

Στην υπόψη διπλωματική εργασία το λογισμικό Cyclone 6.0.3, χρησιμοποιήθηκε για να γίνει προσαρμογή μαθηματικής επιφάνειας σε νέφος μετρημένων σημείων, και για το λόγο αυτό εργαστήκαμε κυρίως με το υποπρόγραμμα Cyclone-Model.

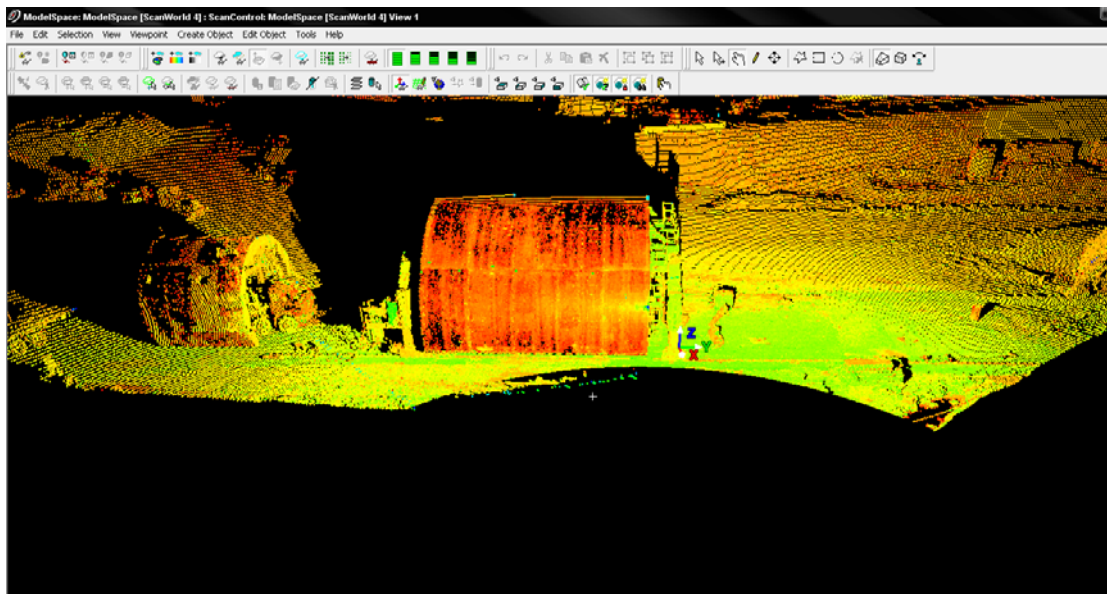
Η ποιοτική πληροφορία που παρέχεται από το πρόγραμμα Cyclone 6.0.3 περιορίζεται στο πόσο καλή θα είναι η προσαρμογή της μαθηματικής επιφάνειας ως προς το νέφος σημείων που έχει μετρηθεί. Η μοντελοποίηση αυτή γίνεται από το υποπρόγραμμα Cyclone-Model, χωρίς όμως να δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει τα σφάλματα της συνόρθωσης.

Η παραγόμενη πληροφορία δίνεται από τις εξής παραμέτρους που δείχνουν πόσο ταιριάζει το γεωμετρικό σχήμα που επιλέχθηκε για να προσαρμοστεί στην πραγματική επιφάνεια:

- **Absolute Error Mean:** η παράμετρος αυτή εκφράζει τη μέση τυπική απόκλιση του συνόλου των σημείων, που χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή της μαθηματικής επιφάνειας, από την επιφάνεια αυτή.
- **Maximum Absolute Error:** η παράμετρος αυτή εκφράζει τη μέγιστη τυπική απόκλιση σημείου από την προσαρμοσμένη μαθηματική επιφάνεια.



Σχήμα 3.1: Η κεντρική οθόνη (Navigator) του λογισμικού Cyclone.



Σχήμα 3.2: Νέφος σημείων κατά την επεξεργασία του στο Cyclone (Model space).

3.3 Λογισμικό επεξεργασίας TorconLink

Το λογισμικό Torcon Link χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την εισαγωγή και εξαγωγή στοιχείων για τα όργανα της εταιρίας Torcon. Το λογισμικό αυτό παρέχεται δωρεάν με την αγορά του οργάνου και είναι αναγκαίο για το κατέβασμα των εργασιών από το γεωδαιτικό σταθμό. Το Torcon Link περιέχει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τις λειτουργίες για να μπορεί να εκτελέσει τις ακόλουθες δραστηριότητες:

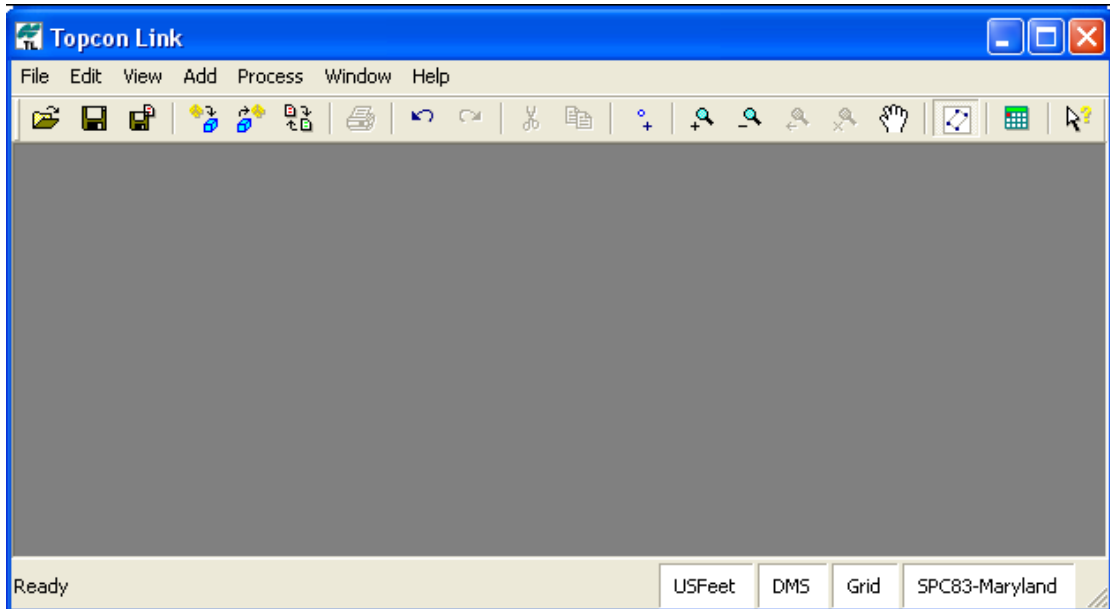
- Εισαγωγή αρχείων με στοιχεία από όλα τα όργανα της εταιρίας Torcon.
- Μετατροπή όλων των αρχείων Torcon και πολλών άλλων βιομηχανικών – τυποποιημένων αρχείων στις αντίστοιχες μορφές αρχείων.
- Άνοιγμα και προβολή των στοιχείων στους εύχρηστους πίνακες και στην λειτουργία CAD που διαθέτει.
- Εξάγει ένα OAF σε έναν δέκτη GPS της Torcon, ισότιμα αρχεία εξαγωγής σε έναν συνολικό σταθμό, και εξάγει οποιοδήποτε αρχείο στοιχείων σε έναν ελεγκτή TPS.

Το Torcon Link επιδεικνύει τα στοιχεία κατά δύο απόψεις:

- Μία άποψη CAD η οποία είναι μία δισδιάστατη, γραφική αντιμετώπιση των στοιχείων που έχουν μετρηθεί.
- Και μία άποψη πινάκων που εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά των στοιχείων που έχουν μετρηθεί.

3.3.1 Δομή του λογισμικού

Η κύρια οθόνη έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:



Σχήμα 3.3: Η κύρια οθόνη του λογισμικού Topcon Link.

- Title Bar = περιέχει το όνομα προγράμματος και το όνομα του ενεργού αρχείου αυτή τη στιγμή.
- Menu Bar = περιέχει τις εξελισσόμενες επιλογές για όλες τις λειτουργίες.
- Ράβδος εργαλείων = περιέχει συντομεύσεις των κουμπιών για τις πιο συχνές λειτουργίες.
- Περιοχή εργασίας = πλαίσιο διαλόγου, πληροφορίες αρχείων εργασίας.
- Status Bar = ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται κάποιες λειτουργίες

3.4 Περίπτωση on-line Σύνδεσης με Η/Υ

Στην περίπτωση που το όργανο και το πρόγραμμα επεξεργασίας λειτουργούν συνδεδεμένα (on-line) σε πραγματικό χρόνο (πλέον ευρέως διαδεδομένη περίπτωση στη βιομηχανική Γεωδαισία), έχουμε να κάνουμε με σύστημα μετρήσεων-επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο. Είναι προφανές ότι ένα τέτοιο σύστημα έχει μεγάλη ευελιξία και υπερέχει των off-line σε πολλούς τομείς. Συγκεκριμένα:

- Η real time επεξεργασία προσφέρει μεγάλη εξοικονόμηση χρόνου, ενώ βοηθά να έρθει σε πέρας η εργασία με όσο το δυνατόν λιγότερο ανθρώπινο δυναμικό.
- Μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμη η πλειοψηφία των δυνατοτήτων των οργάνων σε μεγαλύτερο βαθμό (όπως για παράδειγμα η λειτουργία ATR στα total station ή η χρήση της μεθόδου ADM στα laser trackers).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΕΚΜΑΘΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ

4.1 Περιγραφή Εξοπλισμού

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγιναν προπαρασκευαστικά πειραματικές μετρήσεις για την εκμάθηση των οργάνων και του λογισμικού Leica Cyclone 6.0.3. Στόχος ήταν η εξοικείωση με αυτά καθώς και με τον τρόπο μεταφοράς των δεδομένων από τα όργανα στον υπολογιστή, ώστε οι τελικές μετρήσεις στη σήραγγα των Τερμπών να διεξαχθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια και σε μικρότερο χρόνο.

Για αυτές τις πειραματικές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω εξοπλισμός:

- Ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS
- Ο σαρωτής Scanstation 2 (Leica Geosystem)
- Τρίποδες βιομηχανικής γεωδαισίας
- Ένας απλός τοπογραφικός τρίποδας ο οποίος τοποθετήθηκε πάνω σε ειδική βάση (αράχνη)
- Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής εφοδιασμένος με το κατάλληλο λογισμικό (Leica Cyclone 6.0.3)
- Τα κατάλληλα καλώδια ώστε να συνδεθεί ο υπολογιστής με τα όργανα
- Τρία τρικόχλια
- Τρία κατάφωτα με τα στυλεουδάκια τους
- Μετροταινία

4.2 Διεξαγωγή Μετρήσεων

Παρακάτω περιγράφονται τρεις εφαρμογές (προπαρασκευαστικές εργασίες) κατά τις οποίες διαπιστώθηκαν οι δυνατότητες των οργάνων καθώς και του λογισμικού Cyclone 6.0.3. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις που διεξήχθησαν είναι οι εξής:

- 1) Σάρωση δορυφορικής κεραίας (Luxor) πρώτα με το Topcon IS κι έπειτα με το Trimble VX.
- 2) Σάρωση γεωδαιτικού βάρου με το Topcon IS.
- 3) Σάρωση μεταλλικού σφαιρικού θόλου αστεροσκοπείου του κτιρίου φυσικής με το σαρωτή Scan Station 2 (Laser Scanner).

4.2.1 Σάρωση δορυφορικής κεραίας (Luxor)

Η μέτρηση αυτή έλαβε χώρα στην αίθουσα Υ23 στο Κτίριο Λαμπαδάριο της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) στην περιοχή Ζωγράφου. Η αίθουσα αυτή είναι υπόγεια και προσφέρει ένα ήσυχο περιβάλλον, κατάλληλο για εργαστηριακές μετρήσεις, ενώ διαθέτει και σταθερά βάρη με εξαναγκασμένες κεντρώσεις αποκλείοντας τον κίνδυνο για σφάλματα κέντρωσης.

Το προς αποτύπωση αντικείμενο ήταν μία δορυφορική κεραία, διαμέτρου 1,4 m. Η δορυφορική κεραία έχει τοποθετηθεί όσο γίνεται πιο κάθετα ως προς το έδαφος ώστε να είναι ορατά όλα τα σημεία της επιφάνειας της και έχει προσδεθεί κατάλληλα ώστε να διατηρείται σταθερή η θέση της κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



Σχήμα 4.1: Πειραματική διάταξη στην αίθουσα Υ23 κατά τη μέτρηση με το Topcon IS 203.

Όπως προαναφέρθηκε αρχικά χρησιμοποιήθηκε ο Γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203. Το όργανο τοποθετήθηκε πάνω σε ειδικό τρίποδα βιομηχανικής γεωδαισίας, ο οποίος είναι βαρύτερος και έχει σταθερό άνοιγμα ποδιών που του επιτρέπει να παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η θέση του οργάνου επιλέχθηκε έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή οπτική επαφή με το προς αποτύπωση αντικείμενο (Σχήμα 4.1). Επομένως ας σημειωθεί ότι δεν πραγματοποιήθηκε κέντρωση του οργάνου σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο, απλά έγινε η απαραίτητη οριζοντίωσή του και ο μηδενισμός του σε μία τυχαία θέση. Έπειτα ακολούθησε η σάρωση της δορυφορικής κεραίας. Η διαδικασία σάρωσης με το Topcon IS περιγράφεται διεξοδικά στο Παράρτημα Α. Βασικό βήμα της διαδικασίας αυτής είναι η οριοθέτηση του αντικειμένου μέσα στην οθόνη του οργάνου από το χρήστη. Στη συγκεκριμένη μέτρηση η κεραία οριοθετήθηκε με την επιλογή του τετραγώνου (square).

Το Topcon IS δίνει τρεις επιλογές για την εκτέλεση της διαδικασίας σάρωσης:

1) Angle

Με την επιλογή αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει το γωνιακό βήμα της σάρωσης κατακόρυφα (H_D) και οριζόντια (H_A).

2)Points

Με την επιλογή αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει το πλήθος των γραμμών που θα μετρήσει το όργανο κατακόρυφα (V_D Div) και οριζόντια (H_D Div).

3)Distance

Με την επιλογή αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μετρήσει την απόσταση του οργάνου από το αντικείμενο και να ορίσει το βήμα της σάρωσης κατακόρυφα (V_D Div) και οριζόντια (H_D Div).

Η αποτύπωση της δορυφορικής κεραίας έγινε την πρώτη μέρα με την επιλογή Distance, συγκεκριμένα έγιναν τέσσερις δοκιμές, κάθε μία με διαφορετικό βήμα όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Από τις δοκιμές αυτές φαίνεται, η δραστική αύξηση του χρόνου σάρωσης, αλλά και του πλήθους των σημείων που συλλέγονται όσο μικραίνει το βήμα του καννάβου.

TOPCON IS203 (1^η μέρα)							
	DISTANCE	HA	VA	HD Div	VD Div	TIME	POINTS
1 ^η δοκιμή	5,415	1,1760	1,1760	10 cm	10 cm	1min 44sec	1669
2 ^η δοκιμή	5,415	0,5863	0,5863	5 cm	5 cm	4min 6sec	3486
3 ^η δοκιμή	5,415	0,3526	0,3526	3 cm	3cm	6min 20sec	5378
4 ^η δοκιμή	5,415	0,1175	0,1175	1 cm	1 cm	1h 0min 54sec	59469

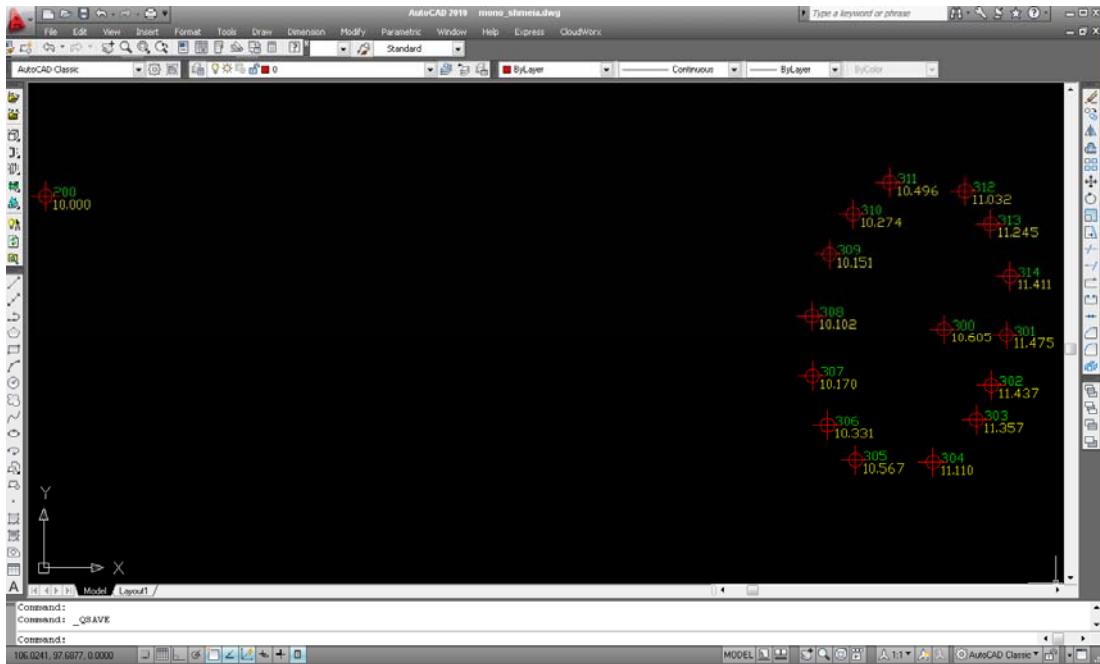
Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα δοκιμών σάρωσης 1^{ης} ημέρας.

Τη δεύτερη μέρα η αποτύπωση της δορυφορικής κεραίας έγινε με την επιλογή Points, συγκεκριμένα έγιναν πάλι τέσσερις δοκιμές, κάθε μία με διαφορετικό πλήθος γραμμών και στηλών όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Από τις δοκιμές αυτές φαίνεται, όπως ήταν αναμενόμενο η δραστική αύξηση του χρόνου σάρωσης, αλλά και του πλήθους των σημείων που συλλέγονται όσο μικραίνει το βήμα του καννάβου.

TOPCON IS203 (2^η μέρα)							
	DISTANCE	HA	VA	HD Div	VD Div	TIME	POINTS
1 ^η δοκιμή	5,694	0,4959	0,4431	50	50	4min 22sec	4418
2 ^η δοκιμή	5,694	0,3661	0,3173	70	70	5min 5sec	4893
3 ^η δοκιμή	5,694	0,2468	0,2224	100	100	10min 32sec	8821
4 ^η δοκιμή	5,694	0,1224	0,1103	200	200	1h 25min 22sec	72359

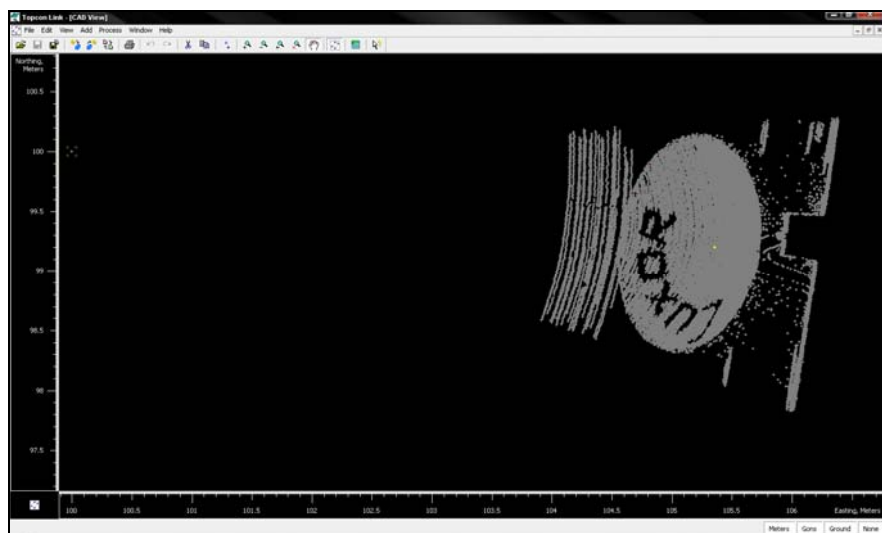
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα δοκιμών σάρωσης 2^{ης} ημέρας.

Στο τέλος της σάρωσης έγινε η αποτύπωση του κέντρου και σημείων της περιφέρειας της κεραίας, ώστε να είναι εμφανή τα όρια της (Σχήμα 4.2). Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολη η μετέπειτα απαλλαγή από τα περιττά σημεία, δηλαδή τα σημεία εκτός κεραίας. Το όργανο δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να δώσει περιγραφή στο κάθε σημείο, καθώς και διαφορετικό χρώμα σε αυτά ώστε η επεξεργασία τους αργότερα να είναι ευκολότερη.



Σχήμα 4.2: Τα σημεία του κέντρου και της περιφέρειας της δορυφορικής κεραίας.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι στην επιφάνεια της κεραίας, που είναι λευκού χρώματος, υπάρχει γραμμένη η λέξη «LUXOR» με μπλε σκούρα γράμματα. Κατά τη διαδικασία της σάρωσης παρατηρήθηκε ότι στα σημεία αυτά δεν ήταν εφικτή η καταγραφή τιμών όπως είναι έκδηλο και από την παρακάτω εικόνα (Σχήμα 4.3). Το γεγονός αυτό ενδεχόμενα οφείλεται στην απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το μπλε χρώμα των γραμμάτων. Το αποτέλεσμα αυτών των μετρήσεων και η ύπαρξη του προβλήματος φαίνεται στην λειτουργία CAD του λογισμικού Topcon Link στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Το νέφος σημείων της κεραίας όπως φαίνεται στο Topcon Link.

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2^ο), παρόμοιας λειτουργίας όργανο με το Topcon IS είναι το Trimble VX, το οποίο παρέχει στο χρήστη τη λειτουργία σάρωσης. Κρίθηκε σκόπιμο λοιπόν να παρατεθεί ένας πίνακας (Πίνακας 4.3), παρόμοιος με τον πίνακα για το Topcon IS που δείχνει το πλήθος των σημείων που συλλέγονται, καθώς και το χρόνο που χρειάζεται, σε σχέση με το βήμα του καννάβου.

Όπως και στην προηγούμενη μέτρηση το όργανο τοποθετήθηκε πάνω σε ειδικό τρίποδα βιομηχανικής γεωδαισίας και έγινε η απαραίτητη οριζοντίωσή του και ο μηδενισμός του σε μία τυχαία θέση.

Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν παρατηρείται ότι ο γεωδαιτικός σταθμός της εταιρίας Topcon, εκτελεί γρηγορότερα τη διαδικασία σάρωσης. Αυτό προκύπτει απ' το γεγονός ότι στα αντίστοιχα βήματα καννάβου το Topcon IS συλλέγει μεγαλύτερο πλήθος σημείων και σε λιγότερο χρόνο σε σχέση με το Trimble VX. Επιπλέον ο γεωδαιτικός σταθμός Trimble VX θεωρήθηκε δύσχρηστος και περίπλοκος.

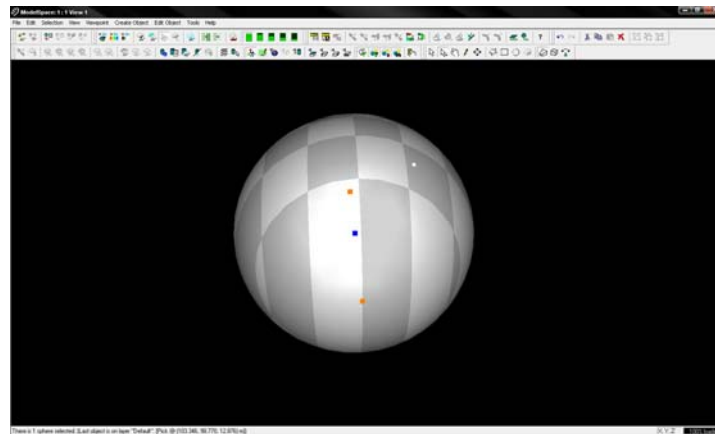
TRIMBLE VX							
	DISTANCE	HA (gon)	VA (gon)	HD Div	VD Div	TIME	POINTS
1 ^η δοκιμή	5,980	1,0645	1,0645	10 cm	10 cm	1min 16sec	396
2 ^η δοκιμή	5,976	0,5326	0,5326	5 cm	5 cm	1h 4m 16sec	1628
3 ^η δοκιμή	5,981	0,3193	0,3913	3 cm	3cm	6min 20sec	4453
4 ^η δοκιμή	5,981	0,1064	0,1064	1 cm	1 cm	2h 6min 28sec	39458

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα σάρωσης της κεραίας με το δορυφορικό σταθμό Trimble VX.

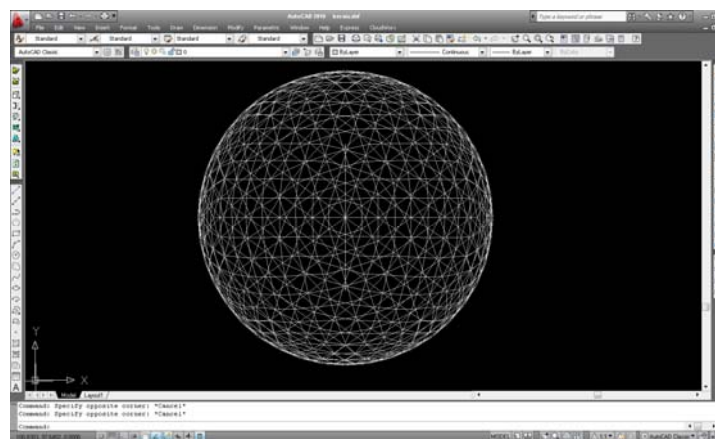
Τέλος έγινε και μία προσπάθεια προσαρμογής μαθηματικής επιφάνειας στο σύνολο των σημείων που έχουν ληφθεί από το Topcon IS με τη μέθοδο της σάρωσης. Το λογισμικό πακέτο Cyclone 6.0.3 δεν παρέχει τη δυνατότητα προσαρμογής παραβολοειδούς

επιφάνειας στο νέφος σημείων που έχει μετρηθεί, οπότε το μοναδικό μαθηματικό μοντέλο που προσαρμόστηκε στο σύνολο αυτό των σημείων ήταν οι σφαίρα. Αρχικά έγινε η εισαγωγή των μετρημένων σημείων στο λογισμικό Cyclone 6.0.3 και στη συνέχεια με την εντολή **Fit to Cloud** → **Sphere** έγινε η προσαρμογή της μαθηματικής επιφάνειας. Επίσης, το λογισμικό αυτό προσφέρει τη δυνατότητα μέσω της εντολής **Export**, να μεταφερθεί η προσαρμοσμένη επιφάνεια, η σφαίρα στη συγκεκριμένη περίπτωση, σε περιβάλλον AutoCAD για περαιτέρω επεξεργασία. Τα αποτελέσματα από την προσαρμογή ήταν (η ακτίνα της σφαίρας $R = 1,579$ m και η μέγιστη τυπική απόκλιση των σημείων από την επιφάνεια που προσαρμόστηκε είναι $M.A.E. = 0,014$ m.

Επισημαίνεται ότι τα παραπάνω αποτελέσματα δεν δηλώνουν την ποιότητα των μετρήσεων. Η προσαρμογή σφαίρας στα δεδομένα αποτύπωσης έγινε αποκλειστικά για λόγους εκμάθησης του λογισμικού Cyclone 6.0.3.



(α)



(β)

Σχήμα 4.4: (α) Η προσαρμοσμένη μαθηματική επιφάνεια στο νέφος σημείων της κεραίας, στο Cyclone,
(β) η μαθηματική επιφάνεια όπως εξάχθηκε σε περιβάλλον AutoCAD.

4.2.2 Σάρωση γεωδαιτικού βάρου

Η σάρωση του βάρου (Σχήμα 4.5) πραγματοποιήθηκε στην αίθουσα Υ23 στο Κτίριο Λαμπαδάριο της ΣΑΤΜ με χρήση του γεωδαιτικού σταθμού Topcon IS.



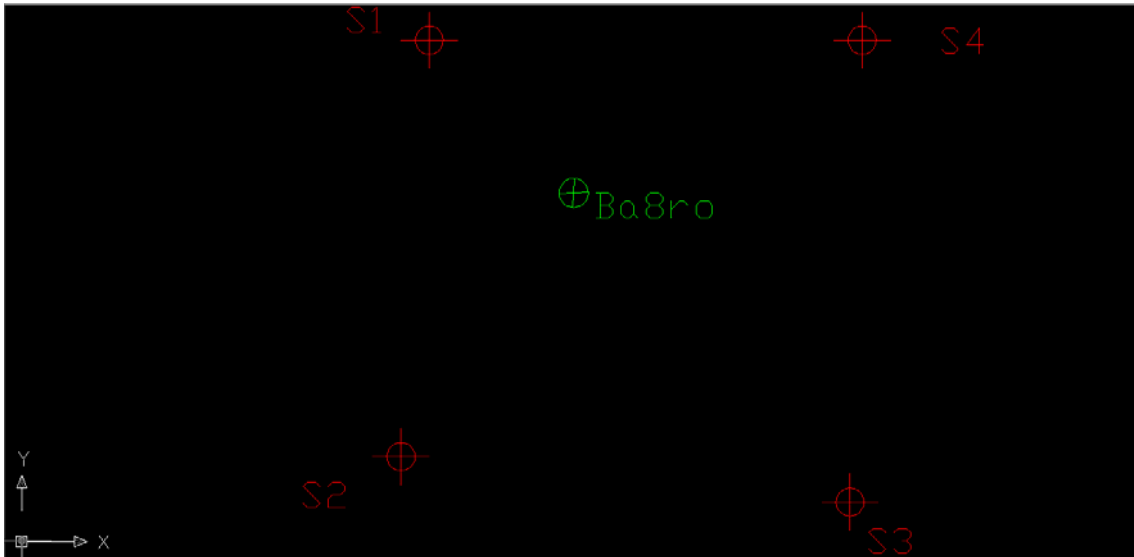
Σχήμα 4.5: Γεωδαιτικό βάρο στην αίθουσα Υ23.

4.2.2α Μετρήσεις

Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν δύο τρίποδες βιομηχανικής γεωδαισίας και δύο μεταλλικοί τρίποδες. Οι τελευταίοι τοποθετήθηκαν πάνω στις ειδικές βάσεις στήριξης (αράχνες). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν τρία τρικόχλια και τρία κατάφωτα με τα στυλεουδάκια τους. Οι θέσεις των τριπόδων ήταν τυχαίες, ωστόσο επιλέχθηκαν έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη οπτική επαφή με το προς αποτύπωση αντικείμενο, αλλά και να εξασφαλισθεί καλή γεωμετρία δικτύου.

Αρχικά, λοιπόν, τοποθετήθηκε το όργανο σε κάθε έναν τρίποδα ώστε να οριζοντιωθεί και με τη σφαιρική και με τη σωληνωτή αεροστάθμη που διαθέτει το όργανο. Έπειτα ακολούθησε η μέτρηση του τοπικού ελεύθερου δικτύου, η οποία έγινε σε δύο πλήρεις περιόδους, και κατά την οποία όταν στη μία στάση τοποθετείται το όργανο, στις άλλες μπαίνουν τα τρικόχλια με τα κατάφωτα. Οι μετρήσεις συλλέχθηκαν με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων. Οι στάσεις του οργάνου ονομάστηκαν S1, S2, S3 και S4 και τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

Βήμα 1: Μετρήθηκαν τα ύψη των οργάνων και των στόχων για κάθε στάση. Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.6) παρατίθεται το σκαρίφημα του δικτύου που υλοποιήθηκε στη αίθουσα Υ23.



Σχήμα 4.6: Σκαρίφημα του υλοποιημένου δικτύου στην αίθουσα Υ23.

Βήμα 2: Από την κάθε στάση έγινε μηδενισμός στην αμέσως προηγούμενη, π.χ. από τη S1 έγινε μηδενισμός στη S4, από τη S2 στη S1 κ.ο.κ. και το δίκτυο μετρήθηκε δεξιόστροφα από κάθε στάση. Αποτέλεσμα αυτών των μετρήσεων είναι οι οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες καθώς και τα κεκλιμένα μήκη.

Βήμα 3: Τοποθετήθηκαν επάνω στο βάθρο ασπρόμαυροι αυτοκόλλητοι στόχοι ώστε από κάθε στάση να υπάρχουν τουλάχιστον δύο κοινοί στόχοι. Έπειτα έγινε αποτύπωση αυτών των στόχων από κάθε στάση.

Βήμα 4: Ακολούθησε η σάρωση του βάθρου από κάθε στάση. Η διαδικασία της σάρωσης έγινε με την επιλογή της παραμέτρου Distance, και ορίζοντας το βήμα του καννάβου, όπως ακριβώς περιγράφηκε παραπάνω.

Βήμα 5: Από τη στάση S2 πραγματοποιήθηκε ακόμη μία σάρωση μόνο που αυτή τη φορά πάνω στο βάθρο είχε τοποθετηθεί ένα χάρτινο εξόγκωμα (χάρτινο κουβάρι). Η επιπλέον αυτή σάρωση πραγματοποιήθηκε για να διερευνηθεί εάν το λογισμικό Cyclone αναγνωρίζει τέτοιου είδους ανωμαλίες που τυχόν υπάρχουν στο προς αποτύπωση

αντικείμενο. Δηλαδή τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν από αυτό το πείραμα αναμένεται να έχουν μόνο ποιοτικό ενδιαφέρον.

Δεδομένου ότι τα βήματα 1 έως 3 δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαιτερότητα θεωρήθηκε καλύτερο τα αποτελέσματα που προέκυψαν να παρατεθούν στα συνημμένα έντυπα στο Παράρτημα Β. Από την άλλη όμως μεριά καλό είναι να παρουσιασθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων των βημάτων 4 και 5 ώστε να γίνουν και τα απαραίτητα σχόλια.

Αναλυτικότερα, στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.4) φαίνεται για παράδειγμα στην 1^η γραμμή ότι από τη στάση S1 γίνεται μηδενισμός προς τη στάση S4, η απόσταση της S1 από το βάθρο είναι 2,702 m και για οριζόντιο και κατακόρυφο βήμα ίσο με 30 cm, ο χρόνος σάρωσης είναι 30 sec και τα σημεία που συλλέγονται είναι 665. Όταν το βήμα ορίζεται ίσο με 8 cm τότε ο χρόνος σάρωσης όπως και τα σημεία αυξάνονται κ.ο.κ.

Δεδομένου ότι στην παρούσα εφαρμογή στόχος είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση του γεωδαιτικού βάθρου και η προσαρμογή σε αυτό μαθηματικής επιφάνειας (κυλίνδρου), κρίνεται σκόπιμη η συλλογή όσο μεγαλύτερου πλήθους σημείων γίνεται. Γι' αυτό το λόγο επιβάλλεται ο ορισμός μικρότερου βήματος, δηλαδή για τη S1 προτιμάται βήμα καννάβου ίσο με 5 cm. Αντίστοιχα γίνεται και ο ορισμός βήματος και για τις υπόλοιπες στάσεις.

Αναφορικά με το Βήμα 5, στο οποίο τοποθετήθηκε πάνω στο βάθρο ένα χάρτινο αντικείμενο (εξόγκωμα), στόχος ήταν να ελεγχθεί ο βαθμός λεπτομέρειας με την οποία το όργανο μπορεί μέσω της διαδικασίας σάρωσης να αποτυπώσει τυχόν παραμόρφωση του αντικειμένου, π.χ. κάποια εσοχή ή προεξοχή. Σε μετέπειτα στάδιο θα ελεγχθεί κατά πόσο το λογισμικό Cyclone μπορεί να αποδώσει τις διαφορές κατά την προσαρμογή της μαθηματικής επιφάνειας.



Σχήμα 4.7: Η διάταξη των οργάνων κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

ΣΤΑΣΗ	DIST (m)	HD Div	VD Div	TIME	POINTS
S1→S4	2,702	30 cm	30 cm	30 sec	665
		8 cm	8 cm	2min 57sec	2134
		5 cm	5 cm	3min 55sec	3539
S4→S3	4,015	5 cm	5 cm	1min 42sec	973
		3 cm	3 cm	4min 28sec	3178
S3→S2	4,974	3 cm	3 cm	1min 42sec	857
		2 cm	2 cm	5min 52 sec	4840
S2→S1	3,845	3 cm	3cm	3min 3sec	1906
(βήμα 5) S2→S1	3,845	3 cm	3 cm	4min 22sec	2271

Πίνακας 4.4: Δοκιμές σάρωσης του βάρου από κάθε στάση.

Τέλος, ας προστεθεί στα μειονεκτήματα της διαδικασίας σάρωσης με τον γεωδαιτικό σταθμό Topcon IS ότι κατέστη αδύνατη η σάρωση της επάνω επιφάνειας του βάρου. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο είδος του υλικού, στο χρώμα και την υφή του αντικειμένου (μεταλλική και σκούρου γκριζου χρώματος). Από τα πειράματα αυτά απορρέει ότι η διαδικασία της σάρωσης επηρεάζεται όταν οι προς αποτύπωση επιφάνειες είναι γυάλινες, μεταλλικές ή είναι επιφάνειες μεγάλης ανακλαστικότητας. Πρόβλημα επίσης παρουσιάζεται όταν ο φωτισμός δεν είναι καλός.

4.2.2β Επεξεργασία

Η επεξεργασία των μετρήσεων που διεξήχθησαν στην αίθουσα Υ23, ξεκίνησαν με την επίλυση του δικτύου των τεσσάρων στάσεων. Αρχικά υπολογίστηκαν οι προσωρινές συντεταγμένες των κορυφών, θεωρώντας σαν σταθερή κορυφή την S1 (100,100,10) m και σαν σταθερή διεύθυνση την $\alpha_{S1S4} = 100 \text{ grad}$. Επομένως με την επίλυση του δικτύου προέκυψαν οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών και τα υψόμετά τους, όπως παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Οι συνορθωμένες συντεταγμένες του Δικτύου			
Σημείο	X (m)	Y (m)	H (m)
S1	100,000	100,000	10,000
S2	99,660	94,998	10,034
S3	105,066	94,450	9,992
S4	105,213	100,000	9,957

Πίνακας 4.5: Οι συνορθωμένες συντεταγμένες του δικτύου.

Στη συνέχεια ακολούθησε η επεξεργασία των σημείων που είχαν μετρηθεί από την κάθε στάση, με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

$$X_i = X_{i-1} + S_{i-1,i} \cdot \sin(\alpha_{i-1,i} + H_z)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + S_{i-1,i} \cdot \cos(\alpha_{i-1,i} + H_z) \quad (4.1)$$

$$Z_i = Z_{i-1} + DZ_{i-1,i}$$

$$DZ_{i-1,i} = S \cdot \cos z + Y \cdot \text{Οργ.} - Y \cdot \text{Στοχ.}$$

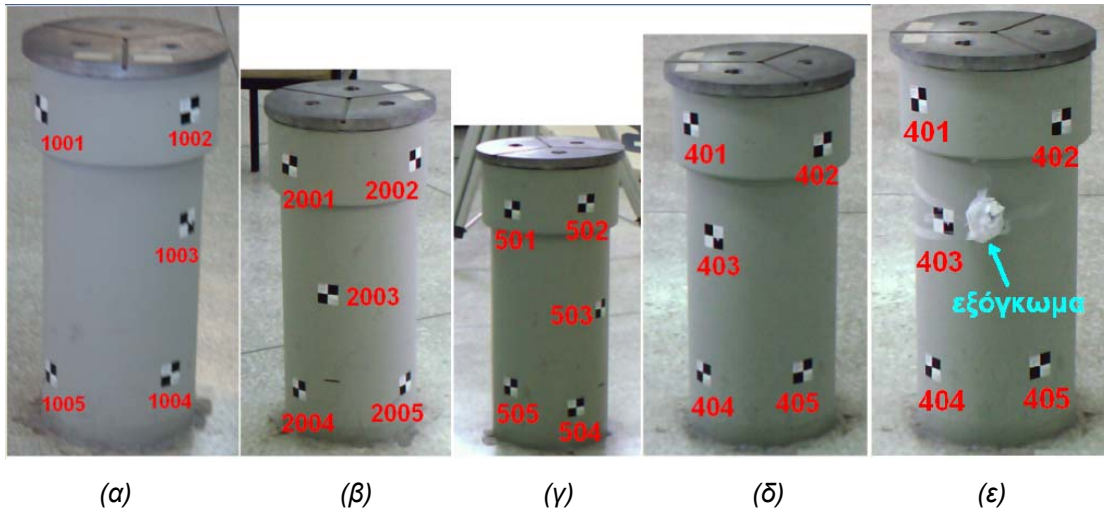
Όπου $S_{i-1,i}$ η οριζόντια απόσταση μεταξύ των σημείων και $\alpha_{i-1,i}$, z η οριζόντια και κατακόρυφη γωνία μεταξύ των σημείων αντίστοιχα.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο Πίνακας 4.6 με τις συντεταγμένες των αποτυπωμένων σημείων στο τοπικό σύστημα. Το σύμβολο (\equiv) δηλώνει ότι τα σημεία ταυτίζονται.

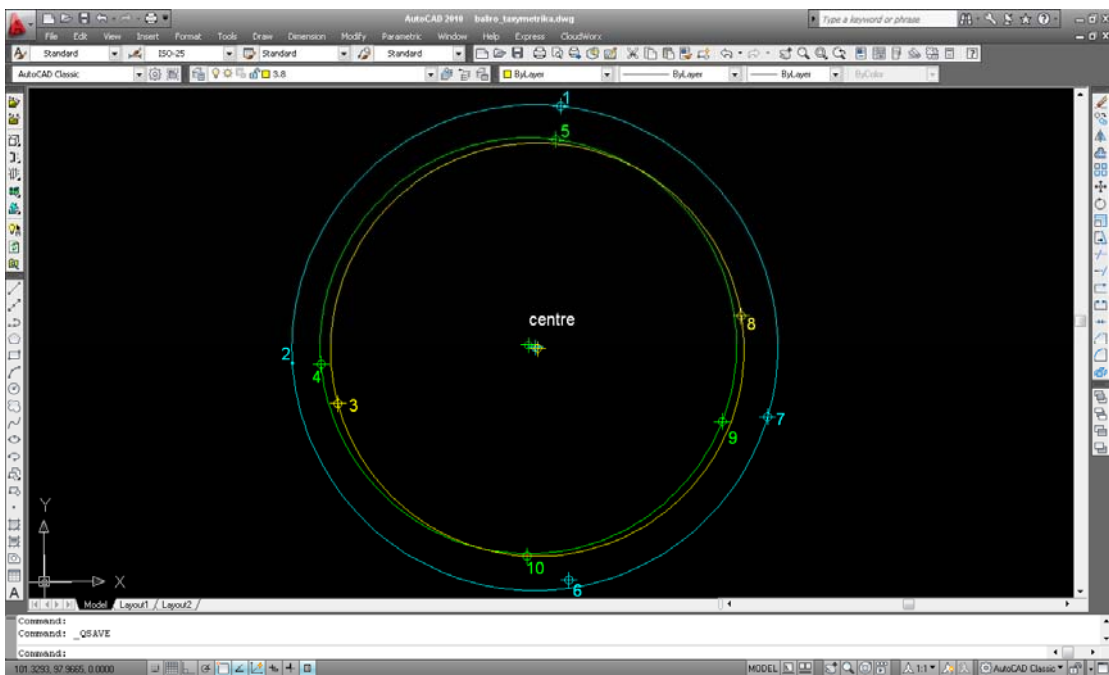
A/A	Χαρακτηριστικό σημείο	X (m)	Y (m)	H (m)
1	1001 ≡ 2002	101,760	98,364	10,710
2	1002 ≡ 401	101,536	98,149	10,734
3	1003 ≡ 403	101,574	98,115	10,490
4	1004 ≡ 404	101,560	98,148	10,178
5	1005 ≡ 2005	101,756	98,336	10,154
6	501 ≡ 402	101,767	97,968	10,693
7	502 ≡ 2001	101,933	98,104	10,707
8	503 ≡ 2003	101,911	98,189	10,404
9	504 ≡ 2004	101,895	98,100	10,144
10	505 ≡ 405	101,732	97,988	10,197

Πίνακας 4.6: Συντεταγμένες των κοινών σημείων.

Τα σημεία (1,2,6,7) ανήκουν στην ίδια κυλινδρική επιφάνεια. Παρατηρείται ότι το «σημείο 6» απέχει 7 mm από την περιφέρεια του κυλίνδρου (κυανό). Ο κύλινδρος αυτός αναφέρεται στο πάνω κομμάτι του βάρου, όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.8), και είναι **διαμέτρου 0,406 m**. Το κέντρο του έχει συντεταγμένες K1 (101.739, 98.162) m. Τα σημεία (4,5,9,10) ανήκουν στην ίδια κυλινδρική επιφάνεια. Ο κύλινδρος αυτός αναφέρεται στο κάτω κομμάτι του βάρου (πράσινο). Η διάμετρός του είναι **0,348 m**. Το «σημείο 10» απέχει 2 mm από την περιφέρεια του κυλίνδρου. Το κέντρο του έχει συντεταγμένες P1 (101.733, 98.164) m. Τέλος τα σημεία (3 και 8) ανήκουν στην ίδια κυλινδρική επιφάνεια με αυτή των σημείων (4,5,9,10), όμως γίνεται η εξέταση τους ξεχωριστά λόγω του διαφορετικού τους ύψους. Η διάμετρος που προκύπτει από αυτά είναι **0,347 m**, και το κέντρο του έχει συντεταγμένες P2 (101.739, 98.163). Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι τα σημεία (3,4,5,8,9,10) ανήκουν στην ίδια κυλινδρική επιφάνεια. Στο Σχήμα 4.8 παρατίθεται το γεωδαιτικό βάρο με τους αυτοκόλλητους στόχους από κάθε στάση. Γίνεται εύκολα κατανοητό πως ανά δύο οι στάσεις έχουν τουλάχιστον δύο κοινά σημεία (παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6 με το σύμβολο της ισότητας). Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι το βάρο θεωρήθηκε κατακόρυφο, οπότε τα σημεία που ανήκουν στην ίδια κυλινδρική επιφάνεια θα ανήκουν και στην ίδια κυκλική επιφάνεια.



Σχήμα 4.8: Το βάζο με τους αυτοκόλλητους στόχους για την προσήμανση των σημείων που αποτυπώθηκαν από τις στάσεις (α) S1, (β) S2, (γ) S3, (δ) S4 και (ε) το εξόγκωμα.



Σχήμα 4.9: Οι προβολές των κυλινδρικών επιφανειών που ορίζουν τα σημεία πάνω στο βάζο.

Στο Σχήμα 4.9 φαίνονται οι προβολές των τριών κυλινδρικών επιφανειών που προαναφέρθηκαν στο οριζόντιο επίπεδο και παρουσιάζονται τα υποτυπωθέντα σημεία τους. Θεωρείται ότι το βάθρο είναι κατακόρυφο επομένως οι προβολές των κυλινδρικών επιφανειών στο οριζόντιο επίπεδο είναι κύκλοι. Οι κύκλοι χρώματος πράσινου και κίτρινου αναφέρονται στο κάτω μέρος του γεωδαιτικού βάθρου, δηλαδή στον κύλινδρο μικρότερης ακτίνας, και η διαφορά των αντίστοιχων ακτίνων τους είναι στα 1 mm.

Ο κύκλος χρώματος κυανού αναφέρεται στο πάνω μέρος του γεωδαιτικού βάθρου, δηλαδή στον κύλινδρο μεγαλύτερης ακτίνας. Επομένως είναι λογικό ο κύκλος κυανού χρώματος να είναι μεγαλύτερος από τους άλλους δύο. Οι κύκλοι είναι ομόκεντροι όπως φαίνεται και από τις συντεταγμένες των κέντρων τους που προέκυψαν από το σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD 2010. Ας σημειωθεί ότι τα κέντρα των κύκλων που αναφέρονται στο κάτω κομμάτι, δηλαδή των κύκλων χρώματος πράσινου και κίτρινου, διαφέρουν κατά 6 mm, όπως προκύπτει από τον τύπο της απόστασης για τα δύο αυτά κέντρα. Τα κέντρα των κύκλων πράσινο - κυανό απέχουν κατά 6 mm, ενώ των κύκλων κίτρινο - κυανό απέχουν κατά 1 mm.

Στην συνέχεια επιλύθηκε ο 2D μετασχηματισμός ομοιότητας και υπολογίστηκε και ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας, με τα αποτελέσματα που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4.7). ακολουθήθηκε αυτός ο τρόπος επίλυσης διότι δεν χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Image Master ώστε να γίνει η ένωση αυτόματα μέσω αυτού του λογισμικού.

Στάση	Αποτελέσματα 2D μετασχηματισμού ομοιότητας		Τυπική απόκλιση	
S1	A	-0,0001374	σ_A	0,0008102
	B	1,000002	σ_B	0,0008102
	$\Delta X(m)$	0,014	$\sigma_{\Delta X(m)}$	0,012
	$\Delta Y(m)$	200,014	$\sigma_{\Delta Y(m)}$	0,012
S2	A	0,9975998	σ_A	0,0007766
	B	0,0677403	σ_B	0,0007766
	$\Delta X(m)$	-6,873	$\sigma_{\Delta X(m)}$	0,011
	$\Delta Y(m)$	2,011	$\sigma_{\Delta Y(m)}$	0,011
S3	A	0,1008815	σ_A	0,0007853
	B	-0,9950692	σ_B	0,0007853
	$\Delta X(m)$	194,485	$\sigma_{\Delta X(m)}$	0,011
	$\Delta Y(m)$	-15,145	$\sigma_{\Delta Y(m)}$	0,011
S4	A	-0,9996746	σ_A	0,0006991
	B	-0,0266287	σ_B	0,0006991
	$\Delta X(m)$	207,844	$\sigma_{\Delta X(m)}$	0,010
	$\Delta Y(m)$	197,305	$\sigma_{\Delta Y(m)}$	0,010

Πίνακας 4.7: Τα αποτελέσματα του 2D μετασχηματισμού ομοιότητας για κάθε στάση.

Οι τύποι του μετασχηματισμού ομοιότητας που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στο Παράρτημα Γ και με αυτούς υπολογίστηκαν οι τελικές συντεταγμένες των νεφών σημείων από κάθε στάση. Σε αυτή τη φάση έγινε κατ' ανάγκη η χρήση του 2D μετασχηματισμού ομοιότητας διότι το λογισμικό Cyclone δεν αναγνωρίζει τους στόχους που τοποθετήθηκαν στο βάθος και αποτυπώθηκαν από το όργανο. Τώρα τα νέφη έχουν συντεταγμένες στο τοπικό αυθαίρετο σύστημα αναφοράς που είχε οριστεί στις μετρήσεις. Οι συντεταγμένες των νεφών αποθηκεύονται σε αρχεία ASCII και εισάγονται στο λογισμικό επεξεργασίας Cyclone (Παράρτημα Α). Για κάθε νέφος που εισάγεται, γίνεται ο καθαρισμός του από τα

άχρηστα σημεία και η προσαρμογή των μαθηματικών επιφανειών, δηλαδή γίνεται η επιλογή του αντικειμένου, και πατώντας δεξί κλικ εμφανίζεται ο κατάλογος με τις επιλογές, και επιλέγεται το **Fit Fenced** → **Cylinder**. Έτσι προκύπτει ο επόμενος πίνακας (Πίνακας 4.8) με τα αποτελέσματα των προσαρμογών από κάθε στάση:

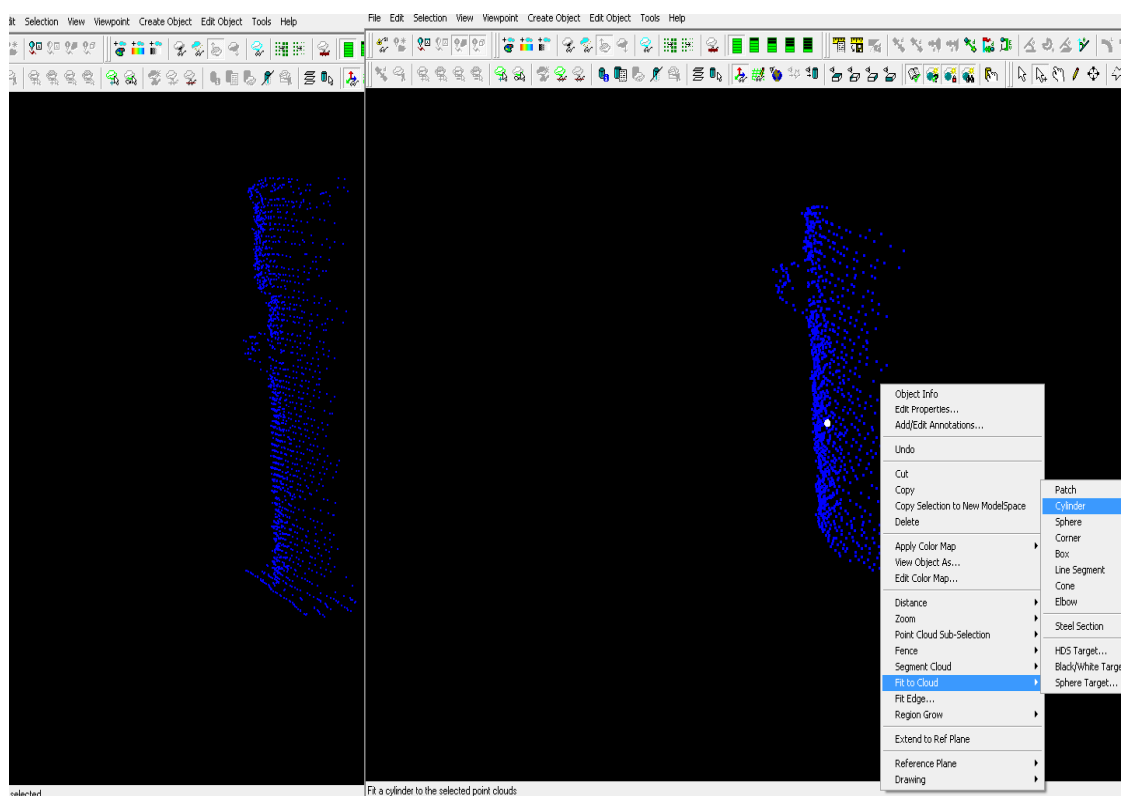
Στάση	Πάνω μέρος βάρους		Κάτω μέρος βάρους	
S1	Διάμετρος (m)	0,373	Διάμετρος (m)	0,333
	Ύψος (m)	0,190	Ύψος (m)	0,577
	M.A.E. (m)	0,020	M.A.E. (m)	0,012
S2 (κανονικό)	Διάμετρος (m)	0,378	Διάμετρος (m)	0,320
	Ύψος (m)	0,186	Ύψος (m)	0,573
	M.A.E. (m)	0,016	M.A.E. (m)	0,021
S3	Διάμετρος (m)	0,377	Διάμετρος (m)	0,324
	Ύψος (m)	0,181	Ύψος (m)	0,593
	M.A.E. (m)	0,016	M.A.E. (m)	0,023
S4	Διάμετρος (m)	0,366	Διάμετρος (m)	0,318
	Ύψος (m)	0,186	Ύψος (m)	0,595
	M.A.E. (m)	0,023	M.A.E. (m)	0,023
S2 (εξόγκωμα)	Διάμετρος (m)	0,378	Διάμετρος (m)	0,311
	Ύψος (m)	0,186	Ύψος (m)	0,579
	M.A.E. (m)	0,016	M.A.E. (m)	0,057

Πίνακας 4.8: Αποτελέσματα προσαρμογών κυλίνδρων από κάθε στάση (όπου M.A.E. (m) = Maximum Absolute Error).

Παρατηρείται ότι ο κύλινδρος που εφαρμόζεται στο πάνω μέρος του βάρους από τις στάσεις S2 και S3 έχουν τη μικρότερη τιμή στο Maximum Absolute Error = 1,6 cm (κεφάλαιο 3.2.1), και δίνουν διάμετρο ίση με 0,378 m κατά μέσο όρο. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τα σημεία που αποτυπώθηκαν χειροκίνητα και παρουσιάζονται παραπάνω, δίνουν την τιμή της εν λόγω διαμέτρου ίση με 0,406 m. Ομοίως όσον αφορά το κάτω μέρος του βάρους το μικρότερο Maximum Absolute Error = 1,2 cm αντιστοιχεί στη στάση S1 και ο κύλινδρος που εφαρμόζεται έχει διάμετρο 0,333 m. Τα αντίστοιχα

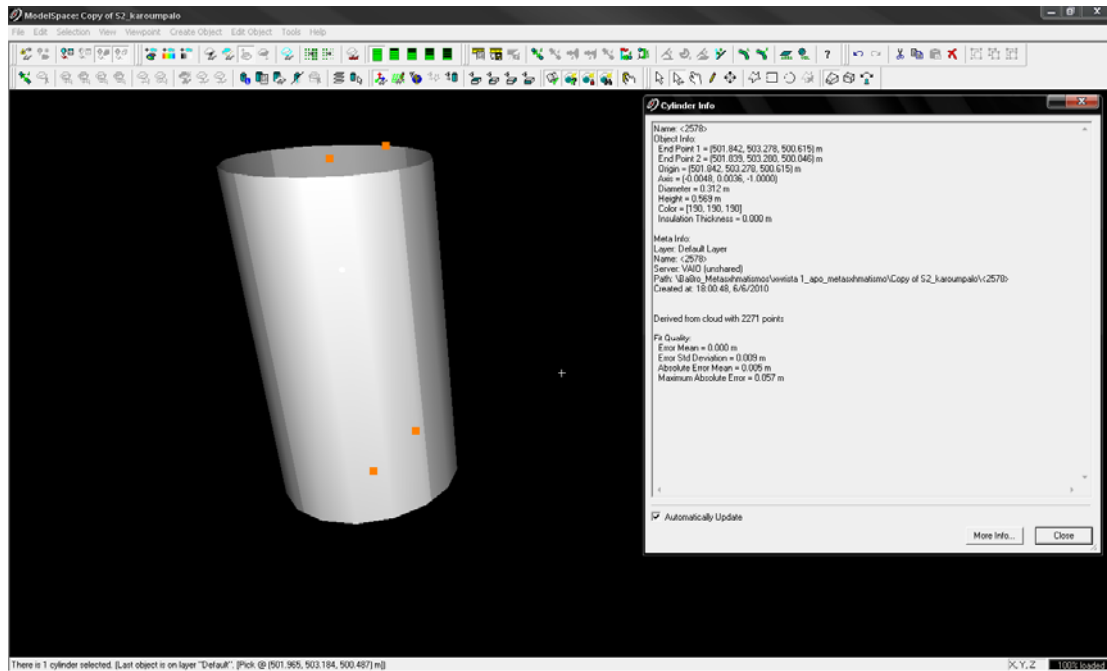
αποτελέσματα από τα σημεία που αποτυπώθηκαν χειροκίνητα δίνουν την τιμή της εν λόγω διαμέτρου ίση με 0,348 m.

Τέλος αναφορικά με το αντικείμενο που τοποθετήθηκε στο βάθρο (εξόγκωμα) φαίνεται ότι η προσαρμογή της μαθηματικής επιφάνειας παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή στη μέγιστη τυπική απόκλιση (M.A.E.) από ότι χωρίς το αντικείμενο. Επομένως δεν πρόκειται για μία καλή προσέγγιση της πραγματικότητας. Επίσης γίνεται κατανοητό ότι αυτή η παραμόρφωση επηρεάζει την προσαρμογή μαθηματικής επιφάνειας, και το αρνητικό είναι ότι το λογισμικό Cyclone γεν έχει την δυνατότητα να αναγνωρίσει αυτές τις ανωμαλίες.



Σχήμα 4.10: Διαδικασία προσαρμογής μαθηματικής επιφάνειας στο νέφος σημείων.

Το σχήμα 4.10 απεικονίζει μία ακόμα διαδικασία που ακολουθείται για την προσαρμογή μαθηματικής επιφάνειας με το λογισμικό Cyclone: **Fit to Cloud** → **Cylinder**. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11: Η προσαρμοσμένη επιφάνεια στο νέφος σημείων και ο πίνακας με τις ιδιότητές της.

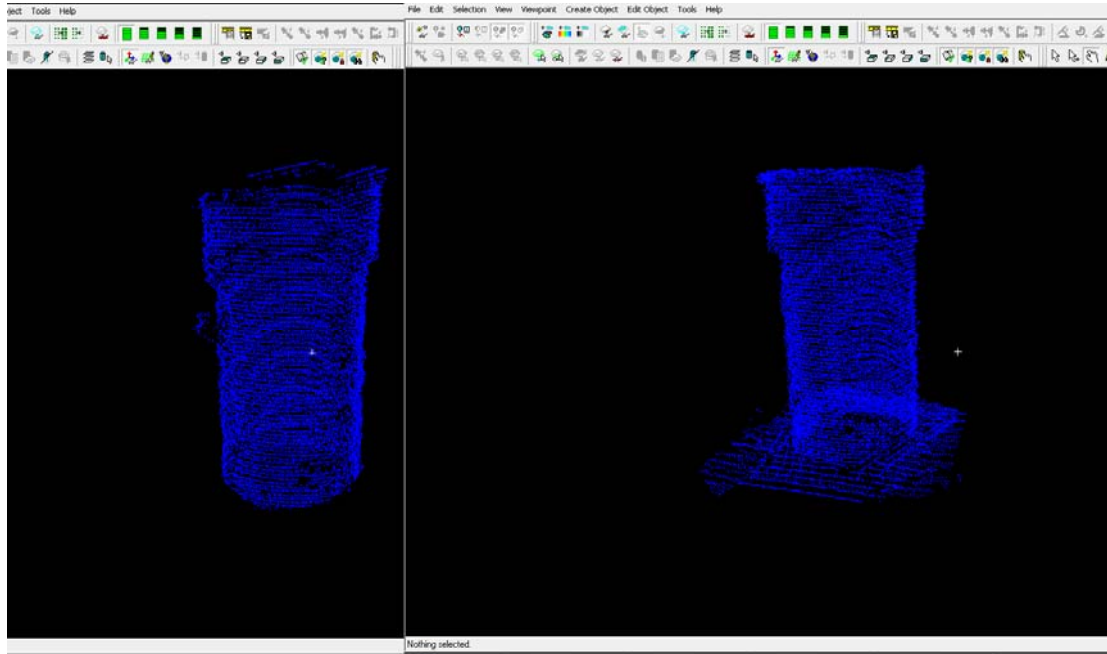
Από τη συνένωση των επιμέρους νεφών μέσω του δισδιάστατου μετασχηματισμού ομοιότητας προκύπτει η απεικόνιση ολόκληρου του βάθρου σαν ένα ενιαίο νέφος σημείων. Παρακάτω φαίνονται οι τιμές, λοιπόν, για ολόκληρο το βάθρο χωρίς το εξόγκωμα, αλλά και με αυτό, καθώς και οι αντίστοιχες εικόνες.

Βάθρο	Πάνω μέρος βάθρου		Κάτω μέρος βάθρου	
	Ολόκληρο χωρίς αντικείμενο	Διάμετρος (m)	0,402	Διάμετρος (m)
Ύψος (m)		0,197	Ύψος (m)	0,597
M.A.E. (m)		0,020	M.A.E. (m)	0,030
Ολόκληρο με αντικείμενο (εξόγκωμα)	Διάμετρος (m)	0,403	Διάμετρος (m)	0,356
	Ύψος (m)	0,210	Ύψος (m)	0,586
	M.A.E. (m)	0,023	M.A.E. (m)	0,061

Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα προσαρμογών κυλίνδρων για ολόκληρο το βάθρο (όπου M.A.E. (m) = Maximum Absolute Error).

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.9 για το Γεωδαιτικό σταθμό Topcon IS, παρατηρείται ότι η τιμή της διαμέτρου του κυλίνδρου που προσαρμόζεται στα νέφη σημείων, κατά περίπτωση είναι λίγα εκατοστά μεγαλύτερη από ότι πριν (επιμέρους

νέφη σημείων). Το αποτέλεσμα αυτό ενδεχομένως προκύπτει εξαιτίας της ακρίβειας προσδιορισμού των παραμέτρων του μετασχηματισμού ομοιότητας ($\sigma_{\Delta X}$, $\sigma_{\Delta Y} \approx 1$ cm). Η ακρίβεια των παραμέτρων του μετασχηματισμού παίζει καθοριστικό ρόλο για την εκτίμηση των συντεταγμένων που θα προέλθουν από το μετασχηματισμό.



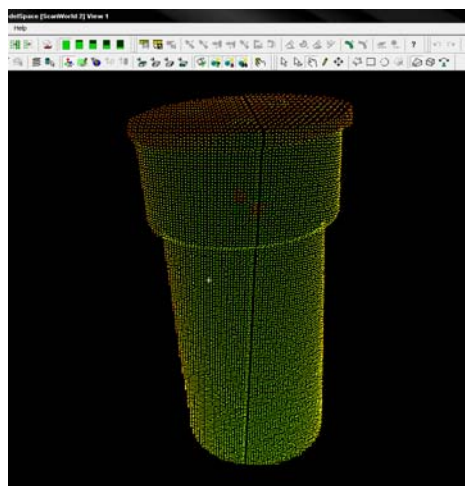
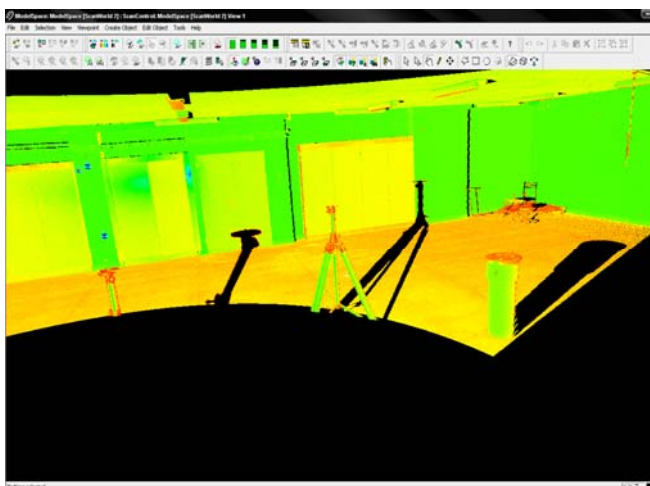
Σχήμα 4.12: Ολόκληρο το βάθρο με και χωρίς το χάρτινο αντικείμενο (εξόγκωμα).

Εδώ θα ήταν σκόπιμο να αναφερθεί ότι προτού γίνουν οι μετρήσεις στην περιοχή των Τεμπών είχε προηγηθεί μία μέτρηση στην αίθουσα Y23 με το σαρωτή ScanStasion2 με στόχο την εξοικείωση με αυτό. Από αυτή τη μέτρηση προέκυψε το σύννεφο σημείων ενός μέρους της αίθουσας όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.13. Όπως γίνεται φανερό, το laser scanner δεν έχει καμία δυσκολία στην αποτύπωση του επάνω μεταλλικού μέρους του βάρου σε αντίθεση με το Topcon IS. Η ακρίβεια της σάρωσης που προσφέρει ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS είναι της τάξης των ± 5 mm, ενώ η ακρίβεια που προσφέρει ο σαρωτής ScanStasion2 ± 4 mm.

Στην συνέχεια έγιναν και οι αντίστοιχες προσαρμογές επιφανειών στα δύο κομμάτια του βάθρου (κάτω και πάνω) και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα (Πίνακας 4.10) που ακολουθεί:

Πάνω μέρος βάθρου	D (m)	0,376
	H(m)	0,180
	M.A.E.	0,006
Κάτω μέρος βάθρου	D (m)	0,323
	H(m)	0,578
	M.A.E.	0,011

Πίνακας 4.10: Αποτελέσματα προσαρμογής μαθηματικών επιφανειών στο βάθρο.



Σχήμα 4.13: Νέφος σημείων μέρος της αίθουσας Y23 όπως το έχει συλλέξει το ScanStation2.

4.2.3 Σάρωση μεταλλικού σφαιρικού θόλου Φυσικής

Η τελευταία προπαρασκευαστική μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έλαβε μέρος στο κτίριο Φυσικής (Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών) στην Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου. Σαν αντικείμενο είχε τη σάρωση του μεταλλικού θόλου του αστεροσκοπίου που βρίσκεται στην ταράτσα του συγκεκριμένου κτιρίου με το όργανο ScanStation 2 (Laser Scanner). Το υπόψη πείραμα έπεται χρονικά του βασικού πειράματος αποτύπωσης του μεταλλότυπου θόλου της σήραγγας των Τεμπών, παρατίθεται όμως εδώ δεδομένου ότι αποτελεί μέρος των βοηθητικών πειραμάτων που περιλαμβάνονται στη διπλωματική εργασία.

Για λόγους που περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6, δεν κατέστη δυνατή η συνένωση νεφών σημείων σάρωσης από διαφορετικές στάσεις του σαρωτή ScanStation2. Κατά συνέπεια σε αυτή την ενότητα περιγράφεται η διαδικασία πεδίου και επεξεργασίας των συλλεγόμενων νεφών σημείων από διαφορετικές στάσεις.

Επίσης στο πείραμα της σήραγγας των Τεμπών δεν κατέστη δυνατή η συλλογή ικανού πλήθους σημείων πάνω στο μεταλλότυπο. Για το σκοπό αυτό επελέχθη ως αντικείμενο σάρωσης ο μεταλλικός θόλος του αστεροσκοπίου του κτιρίου φυσικής λόγω παρεμφερών γεωμετρικών χαρακτηριστικών.



Σχήμα 4.6: Φωτογραφία του προς αποτύπωση αντικειμένου από το ScanStation2.

Όσον αφορά τη διαδικασία της μέτρησης χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές στάσεις για την αποτύπωση του μεταλλικού θόλου (S1, S2) όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο κροκί που παρατίθεται στο παράρτημα Β. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν πέντε μπλε μαγνητικοί στόχοι, που συνοδεύουν το όργανο, οι οποίοι τοποθετήθηκαν έτσι ώστε να είναι κοινοί και από τις δύο στάσεις (Σχήμα 4.14). Οι μετρήσεις που συλλέγει ο σαρωτής σε κάθε στάση οργάνου παράγουν ένα νέφος σημείων, οι συντεταγμένες των οποίων υπολογίζονται στο σύστημα αναφοράς του σαρωτή, το οποίο ορίζεται ως εξής:

- Η αρχή του συστήματος είναι η θέση του σαρωτή.
- Ο άξονας y ταυτίζεται με την κατεύθυνση που κοιτά το πίσω μέρος του σαρωτή και ορίζει το σημείο μηδενισμού του.
- Ο άξονας x έχει κατεύθυνση κάθετη προς τον άξονα y.
- Ο άξονας z ταυτίζεται με την κατακόρυφο στη θέση του οργάνου.



Σχήμα 4.7: Οι μπλε στόχοι που χρησιμοποιήθηκαν στην σάρωση.

Αρχικά εγκαταστάθηκε το όργανο στη στάση S1 και μέσω της εντολής «**Get Image**» λήφθηκε η φωτογραφία ολόκληρης της περιοχής. Έπειτα οριοθετήθηκε η προς αποτύπωση περιοχή, δηλαδή ο μεταλλικός θόλος, του οποίου η βάση απείχε από το όργανο περίπου 22 m. Ορίστηκε βήμα καννάβου ίσο με 15 cm, ο συνολικός χρόνος σάρωσης ήταν 4min 39sec. Έπειτα επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία από τη στάση S2, από την οποία η βάση του θόλου απείχε περίπου 25 m. Ορίστηκε ξανά βήμα καννάβου ίσο με 15 cm, ο συνολικός χρόνος σάρωσης ήταν 5min 33sec.

Στη συνέχεια έγινε η επεξεργασία αυτών των μετρήσεων με τη χρήση του λογισμικού Cyclone. Συγκεκριμένα έγινε η συνένωση των επιμέρους νεφών με τη διαδικασία που αναφέρεται αναλυτικά στο Παράρτημα Α. Στη ρουτίνα **Registration** του Cyclone εισάγονται τα αντίστοιχα ScanWorld και επιλέγονται τα Model Spaces που πρέπει να ενωθούν. Το ένα σύστημα αναφοράς θα μετασχηματιστεί ως προς το άλλο με τη βοήθεια των κοινών ειδικών στόχων (5 κοινούς στόχους). Συγκεκριμένα μετασχηματίζεται το ένα τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς ως προς το άλλο. Αυτό σημαίνει ότι οι συντεταγμένες (X,Y,Z) των σημείων της μιας σάρωσης θα συμπέσουν με τις συντεταγμένες (x,y,z) των σημείων της άλλης με κάποιο τυπικό σφάλμα μετασχηματισμού. Έπειτα με την εντολή **Auto Add Constrains** το πρόγραμμα εντοπίζει τους κοινούς στόχους μεταξύ των νεφών και με την εντολή **Register** τα νέφη συνενώνονται, γεωαναφέρονται και υπολογίζονται τα τυπικά σφάλματα στα κοινά σημεία – στόχους. Τα σφάλματα αυτά παρουσιάζονται στο παράθυρο που εμφανίζεται με την επιλογή της εντολής **Registration diagnostics**.

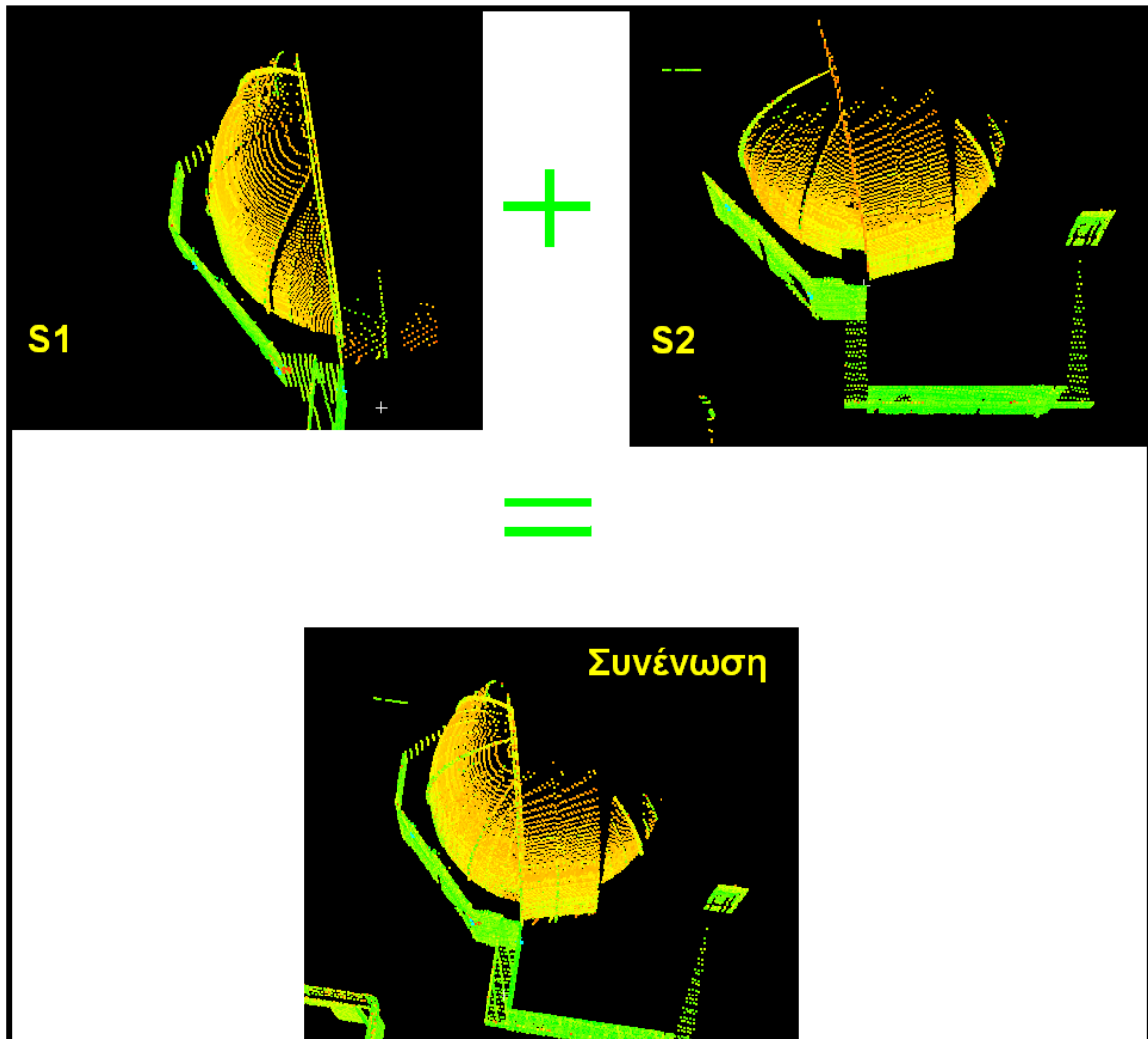
Ο μετασχηματισμός που εφαρμόζεται στα επιμέρους νέφη σημείων είναι ένας τρισδιάστατος μετασχηματισμός ομοιότητας (διατήρηση σχήματος αντικειμένου και καμία παραμόρφωση αντικειμένου). Υπάρχει η στροφή των αξόνων του ενός συστήματος ως προς το άλλο κατά γωνίες (ω , ϕ , κ) και η μετάθεση της αρχής των αξόνων του ενός συστήματος ως προς το άλλο κατά (Δx , Δy , Δz). Η κλίμακα δεν λαμβάνει μέρος στο μετασχηματισμό διότι τα δύο συστήματα έχουν την ίδια κλίμακα μέτρησης και στους δύο άξονες και το αντικείμενο δεν αλλάζει μέγεθος.

Στην γενική περίπτωση, οι παράμετροι του τρισδιάστατου μετασχηματισμού ομοιότητας είναι έξι, οι γωνίες στροφής (ω , ϕ , κ) και οι γραμμικές μετατοπίσεις (Δx , Δy , Δz) χωρίς να λαμβάνει μέρος η παράμετρος της κλίμακας. Επομένως για να γίνει η συνένωση των επιμέρους νεφών χρειάζονται τουλάχιστον τρία κοινά σημεία – στόχοι, διότι κάθε στόχος παρέχει τρεις εξισώσεις παρατήρησης. Στην περίπτωση των Τεμπών, τα κοινά σημεία ήταν δύο με αποτέλεσμα να μην επαρκούν για την συνένωση μέσω του λογισμικού Cyclone.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, οι κοινοί στόχοι μεταξύ των δύο συστημάτων είναι πέντε και κάθε στόχος παρέχει τρεις εξισώσεις παρατήρησης με αποτέλεσμα οι εξισώσεις παρατήρησης να είναι δεκαπέντε (3x5). Άρα με 15 μετρημένα μεγέθη και 6 άγνωστες ανεξάρτητες καθοριστικές παραμέτρους, ο υπολογισμός των καλύτερων τιμών των παραμέτρων και των τυπικών σφαλμάτων των συντεταγμένων θα γίνει με την μέθοδο των έμμεσων παρατηρήσεων από την θεωρία σφαλμάτων (Παράρτημα Γ). Ο βαθμός ελευθερίας του συστήματος είναι : $r = 15-6 = 9$.

Η θεωρητική μέθοδος των έμμεσων παρατηρήσεων για τον συγκεκριμένο μετασχηματισμό παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα Γ.

Στο σχήμα (Σχήμα 4.15) που ακολουθεί φαίνεται το γεωαναφερμένο νέφος σημείων. Η σελίδα του **Registration diagnostics** (Παράρτημα Β), παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.11, και όπως παρατηρείται τα τυπικά σφάλματα των στόχων είναι της τάξης των 2 mm – 4 mm. Το μέσο τυπικό σφάλμα της ένωσης (Mean Absolute Error for Enabled Constraints) είναι 4 mm. Συνεπώς η ένωση είναι ικανοποιητική, επομένως θα ολοκληρωθεί η διαδικασία της ένωσης των νεφών επιλέγοντας από την εντολή **Registration** → **Create ScanWorld/ Freeze Registration**.



Σχήμα 4.8: Τα επιμέρους νέφη σημείων από κάθε στάση αλλά και το γεωαναφερμένο νέφος σημείων του μεταλλικού θόλου.

Στόχος	Error (m)	Error Vector (m)			Horz (m)	Vert (m)
Auto 1	0.002	0.001	-0.002	0.000	0.002	0.000
Auto 2	0.004	-0.004	0.002	0.001	0.004	0.001
Auto 3	0.004	0.004	-0.001	0.001	0.004	0.001
Auto 4	0.002	0.001	-0.002	0.000	0.002	0.000
Auto 5	0.004	-0.004	0.002	0.001	0.004	0.001

Πίνακας 4.11: Τα τυπικά σφάλματα από τη σελίδα *Registration Diagnostics*.

Η δεύτερη στήλη αναφέρεται στο μέσο τυπικό σφάλμα του κάθε στόχου. Η στήλες που φέρουν την κεφαλίδα *Error Vector* αναφέρονται στα διανυσματικά σφάλματα στους τρεις άξονες. Οι δύο τελευταίες στήλες αναφέρονται στο τυπικό σφάλμα κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση.

Το σύστημα από τη στάση S2 στράφηκε κατά (0.0003, -0.0016, -1.0000) μοίρες και μετατέθηκε κατά (-11.231, -23.412, 0.005) m ώστε να μετασχηματιστεί στο σύστημα της στάσης S1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΕΜΠΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΤΥΠΟΥ ΘΟΛΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ

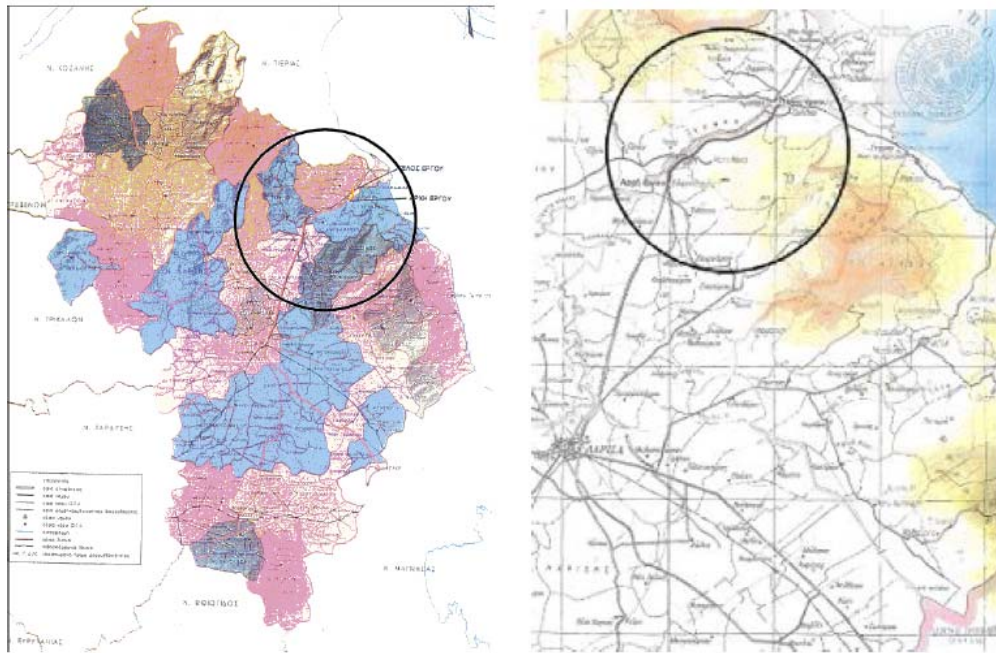
5.1 Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως βασικό αντικείμενο τη γεωμετρική τεκμηρίωση του μεταλλότυπου θόλου που χρησιμοποιείται για την επένδυση της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι αφενός να παρουσιάσει το έργο στο οποίο ανήκει το προς αποτύπωση αντικείμενο καθώς και κάποια στοιχεία για τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις συνθήκες περάτωσης του έργου αυτού. Αφετέρου στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία προσέγγιση ορισμένων βασικών εννοιών που αφορούν τη μελέτη μίας σήραγγας σε σχέση με την επιστήμη του Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού. Όλα αυτά τα στοιχεία έστω και συνοπτικά γραμμένα δε θα μπορούσαν να λείπουν από ένα επιστημονικό σύγγραμμα σαν κι αυτό.

5.2 Βασικά Χαρακτηριστικά Έργου

5.2.1 Επωνυμία του έργου – γεωγραφική θέση

Το έργο στο οποίο διεξήχθησαν οι μετρήσεις για τη διπλωματική αυτή εργασία, λοιπόν, φέρει την ακόλουθη επωνυμία: «Μελέτη – Κατασκευή - Χρηματοδότηση – Λειτουργία - Συντήρηση και Εκμετάλλευση του έργου Μαλλιακός - Κλειδί» και βρίσκεται στο «Υπομήμα πέρας κόμβου Τεμπών - Αρχή κόμβου Ραψάνης».

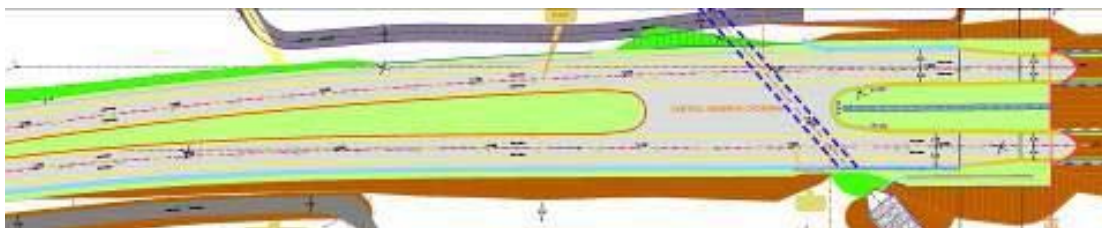


Σχήμα 5.2: Χάρτης προσανατολισμού – Νομός Λαρίσης.[Καντιάνης Ε., 2010]

5.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά της σήραγγας

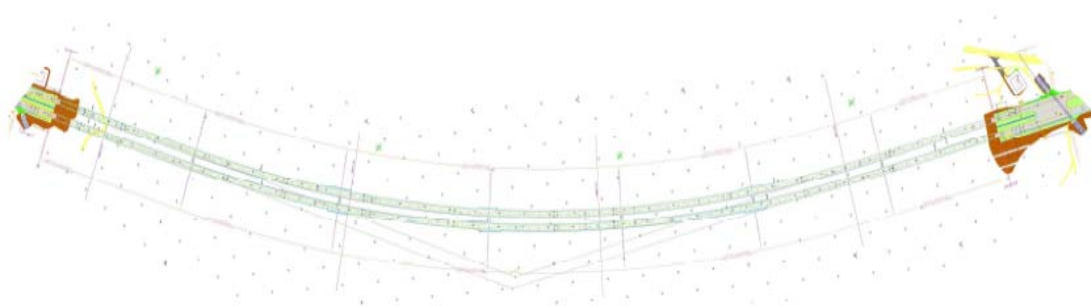
Πρόκειται για έργο οδοποιίας που εντάσσεται στα έργα και τις δραστηριότητες της Ομάδας Ι της Πρώτης (Α) κατηγορίας της ΚΥΑ 69269/5387/24.10.1990. Η οδική αρτηρία κατατάσσεται στην κατηγορία των οδών ΑΙ και κατασκευάζεται με δύο λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και λωρίδα έκτακτης ανάγκης (ΛΕΑ). Ως ταχύτητα μελέτης λαμβάνεται αυτή των 120 χλμ/ώρα.

Η σήραγγα Τ1 είναι διπλής κατευθύνσεως, συνίσταται από δύο κλάδους έναν ανά κατεύθυνση οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους αξονική απόσταση περίπου 25 m, συνολικού μήκους 1900 m έκαστος. Η αξονική απόσταση μεταξύ δύο κλάδων στην ανοικτή οδοποιία είναι περίπου 12 m (Σχήμα 5.3). Ανά 300 m περίπου θα κατασκευασθούν εγκάρσιοι διάδρομοι προσπέλασης.



Σχήμα 5.3: Πορεία παραλλαγής από την ανοικτή οδοποιία στην σήραγγα T1.[Καντιάνης Ε., 2010]

Στο Σχήμα 5.4, φαίνεται η οριζοντιογραφία της σήραγγας T1 σε κάρναβο, ενώ στο Σχήμα 5.5 φαίνεται η οριζοντιογραφία της σήραγγας προσανατολισμένη σε αεροφωτογραφία της περιοχής των Τεμπών.



Σχήμα 5.4: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών.[Καντιάνης Ε., 2010]



Σχήμα 5.5: Οριζοντιογραφία σήραγγας T1 Τεμπών από αεροφωτογραφία.[Καντιάνης Ε., 2010]

5.3 Γεωδαιτικές Εργασίες στη Διάνοιξη Σηράγγων

5.3.1 Τοπογραφικά στοιχεία

Ο Τοπογράφος Μηχανικός, πριν από την έναρξη κατασκευής ενός οποιουδήποτε έργου, θα πρέπει να έχει στη διάθεσή του όλες τις μελέτες που αφορούν και σχετίζονται με αυτό το έργο, διότι θα πρέπει να εξαχθούν οποιαδήποτε στοιχεία είναι απαραίτητα για την κατασκευαστική πρόοδο του έργου, όπως μηκοτομές και οριζόντιες τομές, τυπικές διατομές της σήραγγας, ώστε να διασφαλίζεται κάθε στιγμή η ορθότητα της κατασκευής και της γεωμετρίας. Ακόμα ο Τοπογράφος Μηχανικός θα πρέπει να γνωρίζει τα στοιχεία του Τριγωνομετρικού και Υψομετρικού Δικτύου που υπάρχει στην περιοχή.

5.3.2 Γεωδαιτικές εργασίες σήραγγας

Η παρουσία του Τοπογράφου Μηχανικού είναι απαραίτητη από την αρχή του έργου έως το τέλος αυτού, διότι είναι ο κύριος υπεύθυνος για την άρτια γεωμετρία ενός έργου καθώς επίσης και για την πιστοποίηση αυτής. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά και απλουστευμένα οι εργασίες πεδίου στις οποίες απαιτούνται και είναι αναγκαίες οι υπηρεσίες του Τοπογράφου Μηχανικού. Η σειρά με την οποία παρατίθενται αντικατοπτρίζει και τη σειρά με την οποία αυτές διεξάγονται στο εργοτάξιο.

i. Οριοθέτηση μετώπου σήραγγας

Στο στάδιο αυτό δύο θέματα είναι σημαντικά, τα όρια της εκσκαφής και η τήρηση των κλίσεων των πρανών.

ii. Εγκατάσταση τριγωνομετρικού Δικτύου

Στο στάδιο αυτό, από το ήδη εγκατεστημένο τριγωνομετρικό δίκτυο, χρησιμοποιούνται δύο τριγωνομετρικά βάθρα στην περιοχή μετώπων της σήραγγας, από τα οποία θα πρέπει να εξασφαλίζονται αμοιβαίες σκοπεύσεις. Με βάση τα σημεία αυτά ορίζεται ο προσανατολισμός του άξονα του έργου.

iii. Ίδρυση πολυγωνομετρικού δικτύου εντός της σήραγγας

Η ανάγκη ίδρυσης ενός πολυγωνομετρικού δικτύου μέσα στην σήραγγα απαιτείται για την χάραξη και τον έλεγχο της κατασκευής.

iv. Χάραξη πορείας των δοκών προπορείας

Οι δοκοί προπορείας χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του μετώπου μιας σήραγγας σε μη συνεκτικά εδάφη, τα οποία έχουν κακές μηχανικές ιδιότητες. Κατά το στάδιο αυτό, ο τοπογράφος μηχανικός έχει την ευθύνη της σωστής τοποθέτησης των δοκών ώστε να επιτευχθεί η γεωμετρία αυτών.

v. Έλεγχος γεωμετρίας πλαισίων και ταυτόχρονη χάραξη άξονα

Όλες οι διατομές έχουν μία συγκεκριμένη γεωμετρία. Αφού ο τοπογράφος μηχανικός έχει εξάγει στοιχεία για την γεωμετρία της κάθε διατομής, είναι σε θέση να ορίσει που θα τοποθετηθεί το πλαίσιο.

vi. Έλεγχος γεωμετρίας εκσκαφής, χωρίς πλαίσιο

Σε αντίθεση με τα πλαίσια, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πετρώματα κακής ποιότητας, σε πετρώματα καλής ποιότητας η προχώρηση γίνεται μόνο με εκσκαφή και χωρίς μέτρα προσωρινής υποστήριξης, παρά μόνο τα αγκύρια στα τοιχώματα της σήραγγας.

vii. Χάραξη γραμμής διάτρησης

Έπειτα από τη διάστρωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος το μέτωπο της εκσκαφής είναι έτοιμο για την επόμενη διάτρηση, όμως ο χειριστής του μηχανήματος δεν γνωρίζει τα όριά της, επομένως χαράσσονται τα όρια της διατομής ώστε να προχωρήσουν οι εργασίες.

viii. Γεωμετρικός έλεγχος της εκσκαφής Β' φάσης

Όλες οι εργασίες μέχρι στιγμής, αφορούν εργασίες της Α' φάσης εκσκαφής. Το αντικείμενο των εργασιών της Β' φάσης αφορά στη διαδικασία εκσκαφής και στον έλεγχο των διατομών του έργου.

ix. Γεωμετρικός έλεγχος μεταλλότυπου θόλου

Ο μεταλλότυπος θόλου είναι ουσιαστικά το καλούπι το οποίο χρησιμοποιείται για τη σκυροδέτηση της τελικής επένδυσης. Είναι λοιπόν αυτονόητο ότι η γεωμετρία του καλουπιού πρέπει να ταιριάζει με αυτή της θεωρητικής τελικής επένδυσης. Κι εδώ πάλι, ο τοπογράφος μηχανικός καλείται ελέγχοντας τις αποκλίσεις από τις θεωρητικές τιμές να υλοποιήσει τη βέλτιστη θέση και προσανατολισμό, τοποθέτησής του (στήσιμο). Επίσης, κατά την τοποθέτηση του μεταλλότυπου στην αρχική θέση (πρώτη καλουπιά), διεξάγεται ταυτόχρονος έλεγχος και στα δύο άκρα του, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η συνολική ταύτισή του με την γεωμετρία της τυπικής διατομής.

x. Γεωμετρικός έλεγχος τελικής επένδυσης

Μετά τη φάση της σκυροδέτησης της τελικής επένδυσης, κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος της. Ο έλεγχος αυτός θα υποδείξει κατά πόσο η γεωμετρία της κατασκευής (as built) ταυτίζεται με τη θεωρητική γραμμή, ώστε εάν υπάρχουν αποκλίσεις να παρθούν μέτρα για την εξάλειψη ή βελτίωση αυτών.

5.4 Μεταλλότυπος θόλου σκυροδέτησης

5.4.1 Γενικά

Ο μεταλλότυπος θόλου είναι ουσιαστικά το καλούπι το οποίο χρησιμοποιείται για την σκυροδέτηση της τελικής επένδυσης της σήραγγας. Είναι ένα νέο σύστημα καλουπιώματος που αντικαθιστά τους ξυλότυπους με μεγάλες μεταλλικές επιφάνειες. Ετοιμάζονται και τοποθετούνται επιτόπου στο εργοτάξιο ή παραγγέλλονται από άλλες χώρες του εξωτερικού όπως οι μεταλλότυποι που χρησιμοποιήθηκαν στις σήραγγες των Τεμπών (Ιταλικής προέλευσης), σύμφωνα με τη μελέτη του έργου. Οι μεταλλότυποι σε σχέση με τα άλλα υλικά καλουπιών έχουν το πλεονέκτημα ότι αποδίδουν λείες επιφάνειες σκυροδέματος, οποιωνδήποτε ανοιγμάτων και ύψους σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα:

- Καλή ποιότητας, λείες και εμφανείς επιφάνειες στο έργο.
- Κατασκευή μεγάλων έργων σε μικρό χρονικό διάστημα.
- Επιτυγχάνεται ακρίβεια στην κατασκευή υλοποίησής της.
- Ελαχιστοποίηση του ανθρώπινου παράγοντα λάθους.

Η διαδικασία που ακολουθείται συνήθως για την σκυροδέτηση της σήραγγας είναι :

- Αρχικά σκυροδετείται η θεμελίωση, δηλαδή τα πέδιλα ή το μόνιμο ανεστραμμένο τόξο, ώστε να χρησιμοποιηθούν ως βάση έδρασης του μεταλλότυπου.
- Στη συνέχεια ακολουθεί η σκυροδέτηση του θόλου. Ο θόλος σκυροδετείται μέσα από τις ειδικά διαμορφωμένες οπές (παράθυρα) του μεταλλότυπου, με αντλία σκυροδέματος και δονητές εγκατεστημένους στο μεταλλότυπο.
- Η αφαίρεση του μεταλλότυπου γίνεται 8-12 ώρες μετά τη σκυροδέτηση.

5.4.2 Ο μεταλλότυπος θόλου σκυροδέτησης στη σήραγγα των Τεμπών T1

Ο μεταλλότυπος που χρησιμοποιήθηκε στην σήραγγα T1 των Τεμπών και ήταν αντικείμενο της βασικής εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελείται από τρεις διαφορετικές γεωμετρίες κυλίνδρου. Το τμήμα (1) αποτελείται από δύο διαφορετικά τμήματα τα οποία ανήκουν στον ίδιο κύλινδρο. Ο εν λόγω κύλινδρος έχει ακτίνα 7,400 m όπως φαίνεται και από τα σχέδια του μεταλλότυπου (Σχήμα 5.7). Στο τμήμα (2) υπάρχουν δύο όμοια τμήματα κυλίνδρου, ακτίνας 4,800 m όπως φαίνεται από τα κατασκευαστικά σχέδια. Τέλος το τμήμα (3) αποτελείται από δύο όμοια κομμάτια τα οποία ανήκουν σε κύλινδρο ίδιας ακτίνας. Όσον αφορά το μήκος του αυτό είναι ίσο με 12,500 m, και το ύψος του είναι ίσο με 8,760 m.

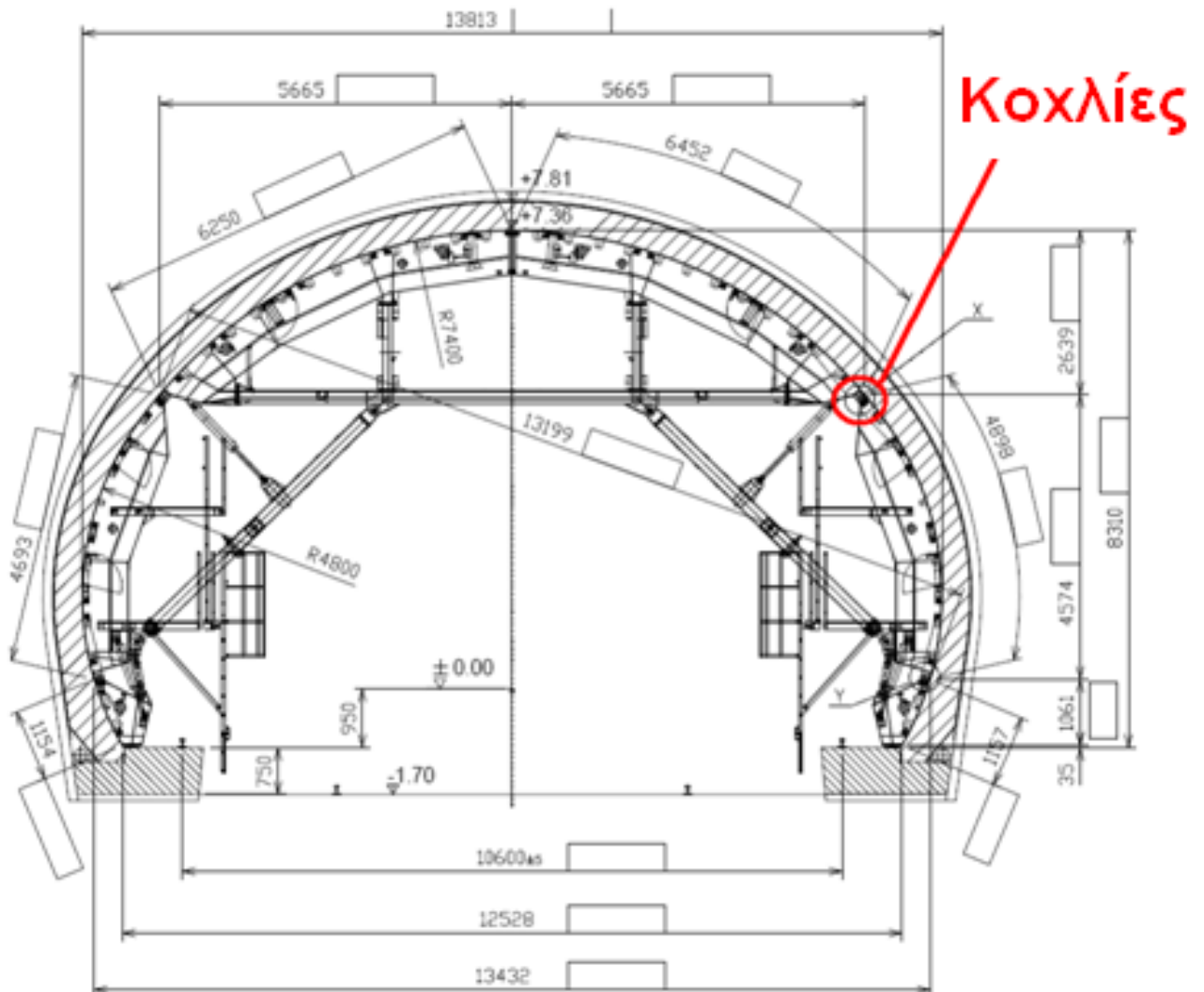
Η γεωμετρία της διατομής που θα χρησιμοποιηθεί στην κάθε σήραγγα εξαρτάται από:

- Τη γεωμορφολογία της περιοχής
- Τις ανάγκες των κυκλοφοριακών φόρτων όπου υλοποιούνται στις σχετικές μελέτες
- Στατικούς κυρίως λόγους, και συγκεκριμένα το θολωτό άνω τμήμα βοηθάει στην καλύτερη παραλαβή και κατανομή των άνωθεν φορτίων.



Σχήμα 5.6: Οι τρεις γεωμετρίες του μεταλλότυπου θόλου των Τεμπών.

Αναλυτικά οι διαστάσεις του μεταλλότυπου, που ενδιαφέρουν τον Τοπογράφο μηχανικό και είναι απαραίτητες για το γεωμετρικό του έλεγχο, φαίνονται στο Σχήμα 5.7. Τα σημεία που ενδιαφέρουν στην συγκεκριμένη μελέτη είναι αυτά που αναφέρονται όλες οι διαστάσεις του μεταλλότυπου και εδώ ονομάστηκαν «ΒΙΔΕΣ».



Σχήμα 5. 7: Τεχνικό σχέδιο του μεταλλότυπου θόλου.

Η ανοχή στην ακρίβεια που πρέπει να αποτυπωθούν τα χαρακτηριστικά σημεία του μεταλλότυπου είναι ± 5 mm για αποστάσεις μέχρι 30 m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΤΥΠΟΥ ΘΟΛΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

6.1 Εισαγωγή – Περιγραφή Εξοπλισμού

Στο κεφάλαιο αυτό πρόκειται να αναλυθεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη διεξαγωγή των μετρήσεων στο ύπαιθρο.

Σε κάθε μέθοδο αποτύπωσης οποιουδήποτε αντικειμένου οι εργασίες χωρίζονται στις εργασίες υπαίθρου ή συλλογής πληροφορίας και στις εργασίες γραφείου, όπου γίνεται η επεξεργασία των μετρήσεων και η παραγωγή των τελικών προϊόντων. Στο παρόν κεφάλαιο αναφέρεται ο εξοπλισμός και τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και περιγράφονται αναλυτικά οι εργασίες υπαίθρου με τη χρονική σειρά εκτέλεσης τους. Ενώ οι εργασίες γραφείου και τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 7).

Όσον αφορά τον εξοπλισμό και τα παρελκόμενα των μετρήσεων, αυτά είναι:

- ✓ Γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203
- ✓ Ο σαρωτής Laser (ScanStation2)
- ✓ Τέσσερις μεταλλικοί τρίποδες
- ✓ Τρία τρικόχλια με τρεις στυλεούς
- ✓ Μετροταινία

- ✓ Ηλεκτρονικός υπολογιστής που απαιτείται για τη λειτουργία του ScanStation2
- ✓ Τρεις σφαιρικοί στόχοι (HDS Targets), τους οποίους αναγνωρίζει ο σαρωτής ScanStation2
- ✓ Καλώδιο για τη τροφοδοσία του ScanStation2 και του ηλεκτρονικού υπολογιστή

6.2 Εργασίες Υπαίθρου

Οι εργασίες υπαίθρου συνοπτικά και με χρονολογική σειρά είναι:

- 1^ο- Αναγνώριση της περιοχής μελέτης
- 2^ο- Ίδρυση των στάσεων
- 3^ο- Σύνταξη αυτοσχεδίων υπαίθρου (κροκί)
- 4^ο- Αποτύπωση χαρακτηριστικών σημείων με Topcon IS 203
- 5^ο- Σάρωση με Topcon IS 203
- 6^ο- Σάρωση με Laser Scanner (ScanStation2)
- 7^ο- Λήψη φωτογραφιών

6.2.1 Αναγνώριση της περιοχής μελέτης – Ίδρυση στάσεων

Το πρώτο στάδιο που απαιτείται για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του μεταλλότυπου κι έχει ουσιαστικό σημασίας ρόλο είναι η αναγνώριση της περιοχής μελέτης. Κι αυτό επειδή με τη γνώση της τοποθεσίας και της υπάρχουσας κατάστασης επιτυγχάνεται ο σωστός προγραμματισμός των εργασιών και η αποφυγή σφαλμάτων που μπορεί να κοστίσουν χρονικά και οικονομικά.

Για το λόγο αυτό στην πρώτη επίσκεψη έγινε αναγνώριση της ευρύτερης περιοχής, εξετάζοντας τη μορφολογία και την προσβασιμότητα, με σκοπό τον εντοπισμό των βέλτιστων θέσεων για την τοποθέτηση των στάσεων των οργάνων. Από την επίσκεψη

αυτή επιλέχθηκαν ως οι καταλληλότερες θέσεις για τις στάσεις να είναι πάνω στα πρανή που βρίσκονται εκατέρωθεν του μεταλλότυπου καθώς και μπροστά και πίσω από αυτόν. Η επιλογή έγινε με κριτήριο την καλύτερη οπτική επαφή με το αντικείμενο και κυρίως της κορυφής του θόλου αυτού, διότι στόχος ήταν η σάρωση όσον το δυνατόν μεγαλύτερης επιφάνειας του τελευταίου.

Οι στάσεις S1, S2, S3 και S4 φαίνονται στα δύο επόμενα σχήματα (Σχήμα 6.1, 6.2) καθώς και στο αυτοσχέδιο υπαίθρου (Σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.1: Οι στάσεις S1, S2, S3 του οργάνου.



Σχήμα 6.2: Η στάση S4 του οργάνου.

Λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου χρόνου και των αντίξων συνθηκών (συνεχής κίνηση οχημάτων από και προς την σήραγγα) κατά την ημέρα των μετρήσεων, οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου υπολογίστηκαν εκ των προτέρων από το τοπογραφικό συνεργείο του εργοταξίου χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τα τριγωνομετρικά βάθρα που υπάρχουν στην περίμετρο της εισόδου της σήραγγας (Σχήμα 6.3).

Οι τιμές των συντεταγμένων των κορυφών των στάσεων στην προβολή του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος αναφοράς του '87, φαίνονται στον πίνακα (τα ύψη των στόχων θεωρούνται μηδέν). Τα βάθρα αυτά (Σχήμα 6.3) όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5) έχουν κατασκευασθεί πριν ακόμα ξεκινήσουν οι εργασίες διάνοιξης της σήραγγας.

Στάσεις	x (m)	y (m)	H (m)
S1	373533,640	4412036,441	46,513
S2	373516,915	4411989,711	40,513
S3	373549,769	4411973,413	48,705
S4	373564,702	4412004,122	40,786

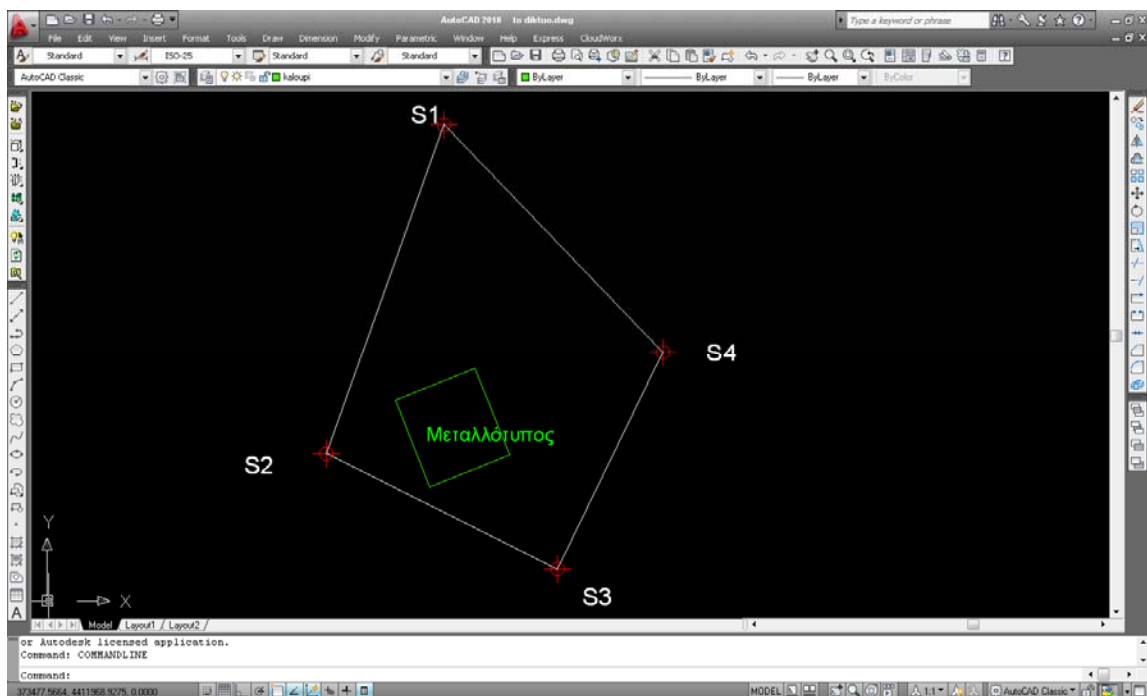
Πίνακας 6.1: Οι Γεωδαιτικές συντεταγμένες των τεσσάρων στάσεων.



Σχήμα 6.3: Τα Γεωδαιτικά βάθρα στην περίμετρο της εισόδου της σήραγγας.

6.2.2 Σύνταξη αυτοσχεδίων υπαίθρου

Η σύνταξη των αυτοσχεδίων υπαίθρου είναι πολύ σημαντικό βήμα για την ορθή πορεία των εργασιών. Τα αυτοσχέδια υπαίθρου αποτελούν το σκελετό των γεωδαιτικών μετρήσεων και παρατίθενται στο Παράρτημα Β, εδώ φαίνεται ένα κροκί επεξεργασμένο σε περιβάλλον AutoCAD.



Σχήμα 6.4: Κροκί επεξεργασμένο σε περιβάλλον AutoCAD.

6.3 Λήψη Μετρήσεων

6.3.1 Αποτύπωση χαρακτηριστικών σημείων μεταλλότυπου

Εγκαταστάθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203 στη στάση S4 και έγινε ο μηδενισμός του οργάνου στη στάση S3. Από τη στάση αυτή έγινε η αποτύπωση των χαρακτηριστικών σημείων του μεταλλότυπου, με βάση τα θεωρητικά σχέδια του. Τα σημεία που αποτυπώθηκαν ήταν οι μεταλλικές βίδες (κόκκινο χρώμα) και τα χωρίσματα μεταξύ των τόξων (πράσινο χρώμα) του καλουπιού.

Ομοίως και από τη στάση S2, έγινε μηδενισμός στη στάση S1 και αποτυπώθηκαν τα χαρακτηριστικά σημεία του μεταλλότυπου. Μόνο που από αυτή τη στάση λόγω κακής ορατότητας, λόγω του κίτρινου εμπόδιου (Σχήμα 6.5), δεν πάρθηκαν όλα τα σημεία παρά μόνο 4 σημεία. Τα σκαριφήματα αυτής της διαδικασίας παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.



Σχήμα 6.5: Ο μεταλλότυπος από τη στάση S2 και το κίτρινο εμπόδιο.

6.3.2 Σάρωση με Topcon IS 203

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της σάρωσης του μεταλλότυπου, με τον γεωδαιτικό σταθμό Topcon IS 203 από τη στάση S1, έγινε ο απαραίτητος ορισμός της στάσης (ύψος και προσανατολισμός S1(100 m, 100 m, 10 m)), ο μηδενισμός του οργάνου στη στάση S4 και έλαβε χώρα η διαδικασία της σάρωσης.

Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

HA	VA	HD	VD	Distance	Time	Points
0.3874	0.3874	20 cm	20cm	32.8620 m	4 min	1004

Πίνακας 6.2: Τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας σάρωσης με το Topcon IS 203 για τη στάση S1.

Ο λόγος που ορίστηκε ως βήμα καννάβου τα 20 cm στις εργασίες αυτές, σε αντίθεση με τις εργασίες που είχαν γίνει στην αίθουσα Υ23, ήταν ο περιορισμένος χρόνος λόγω των συνεχών παρεμβολών που υπήρχαν από τα δρομολόγια των φορτηγών. Δηλαδή η σάρωση του μεταλλότυπου από αυτήν την στάση έπρεπε να γίνει σε πολύ μικρό χρόνο και με ικανοποιητικό αριθμό σημείων.

Η γυαλιστερή επιφάνεια του μεταλλότυπου σε συνδυασμό με την υπερβολική φωτεινότητα της ατμόσφαιρας και δευτερεύοντος η γεωμετρία παρατήρησης ήταν τα βασικά αίτια εξαιτίας των οποίων παρουσιάστηκε η δυσκολία του οργάνου στη συλλογή επαρκούς πλήθους σημείων επάνω στον μεταλλικό θόλο. Άρα ακόμη και αν είχε οριστεί μικρότερο βήμα καννάβου, όπως κανονικά θα έπρεπε, το αποτέλεσμα θα ήταν και πάλι μη ικανοποιητικό όπως συνέβαινε και με το επάνω μέρος του βάρους (αίθουσα Υ23). Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 6.6 (β), η επιφάνεια του μεταλλότυπου είναι πολύ γυαλιστερή και λεία με αποτέλεσμα το όργανο να δυσκολεύεται στην αποτύπωσή του.



(α)



(β)

Σχήμα 6.6: (α) Φωτογραφία από ψηφιακή μηχανή, (β) Φωτογραφία που έχει συλλέξει το όργανο.

Στη συνέχεια έγινε η μεταφορά του οργάνου στη στάση S3 ώστε να γίνει η σάρωση του μεταλλότυπου από την απέναντι στάση. Έπειτα ορίστηκε η στάση του οργάνου (ύψος και προσανατολισμός S3 (500 m, 500 m, 50 m)), και έγινε ο μηδενισμός του οργάνου στην στάση S2 έλαβε χώρα η διαδικασία της σάρωσης.

Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

HA	VA	HD	VD	Distance	Time	Points
0,7346	0,7346	20 cm	20 cm	17.3310 m	6min 44sec	2980

Πίνακας 6.3: Τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας σάρωσης με το Topcon IS 203 για τη στάση S3.



Σχήμα 6.7: Φωτογραφία που έχει συλλέξει το όργανο.

Το αποτέλεσμα και αυτής της σάρωσης ήταν πρακτικά ανεπιτυχές. Το όργανο παρουσιάζει μεγάλη αδυναμία στην συλλογή νέφους σημείων πάνω στην επιφάνεια του μεταλλότυπου. Επίσης παρατηρείται και από τις εικόνες που παρουσιάζουν τον μεταλλότυπο, οι οποίες λήφθηκαν από το όργανο, ότι η επιφάνειά του είναι υπερβολικά γυαλιστερή και λεία.

6.3.3 Σάρωση με τον επίγειο σαρωτή Laser - ScanStation2

Στη τελευταία μετρητική διαδικασία που διεξήχθη στην περιοχή των Τεμπών, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο Laser Scanner (ScanStation2) με τον οποίο συλλέχθηκε ένα μεγάλο πλήθος σημείων (νέφος σημείων) ώστε να αποδοθεί το σχήμα και οι διαστάσεις του προς αποτύπωση αντικειμένου.

Αρχικά, η συσκευή του σαρωτή τοποθετήθηκε πάνω στο μεταλλικό τρίποδα στη στάση S3 και συνδέθηκε με τη μπαταρία τροφοδοσίας ρεύματος καθώς και με τον ειδικό φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω των αντίστοιχων συνδεσμολογιών, ενεργοποιήθηκαν οι παραπάνω συσκευές, το σύστημα σάρωσης έκανε την απαραίτητη προθέρμανση πριν ξεκινήσει η διαδικασία μέτρησης και προσανατολίστηκε αυτόματα. Ας σημειωθεί ότι ο Η/Υ έχει εγκατεστημένο το λογισμικό Cyclone 5.1 το οποίο είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του σαρωτή.



Σχήμα 6.1: Ο σαρωτής ScanStation2 τοποθετημένος στη στάση S1.

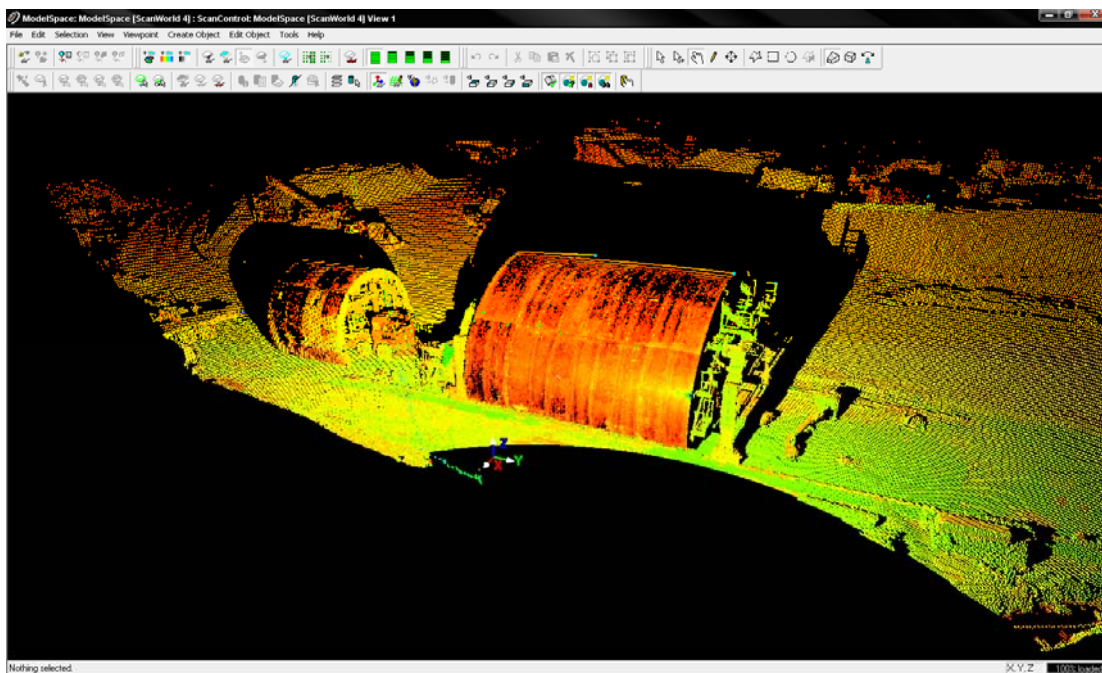
Αναλυτικά η αρχή λειτουργίας του σαρωτή παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α, και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του στο Κεφάλαιο 2. Όπως επισημαίνεται και εκεί, πριν τη διαδικασία σάρωσης δημιουργήθηκε μία νέα βάση δεδομένων η οποία ονομάστηκε “tebh_geo” και μέσα σε αυτή ένας φάκελος εργασίας (Project) κι έπειτα ένα Scan World μέσα στο Project.

Στο Scan World αποθηκεύονται οι σαρωμένες επιφάνειες και οι αντίστοιχες φωτογραφίες από τη θέση του οργάνου. Έπειτα έγινε η λήψη μιας φωτογραφίας ολόκληρης της περιοχής ώστε να εντοπισθεί η θέση του μεταλλότυπου. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 6.9 που δείχνει τη φωτογραφία που έχει παρθεί από τον σαρωτή από τη στάση S3.

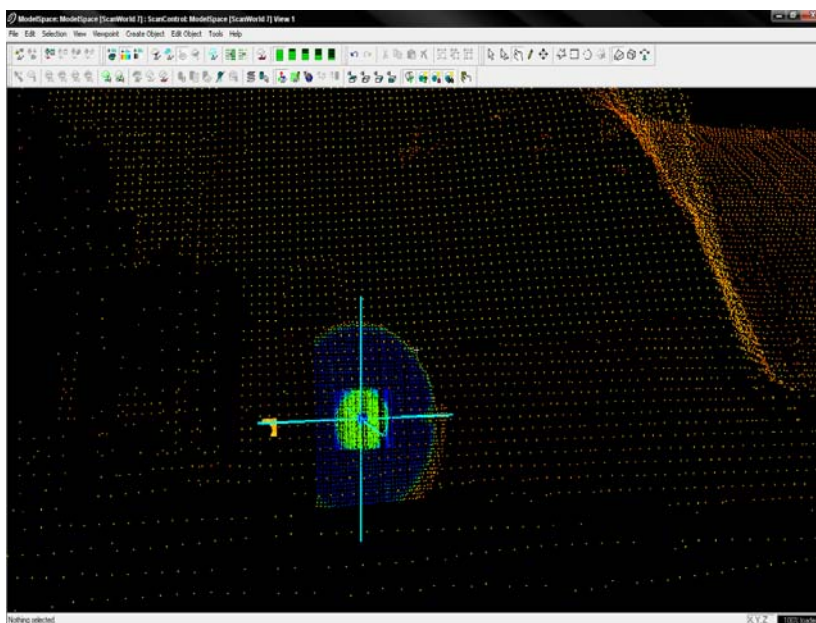


Σχήμα 6.2: Η φωτογραφία που πάρθηκε από τον σαρωτή από τη στάση S3.

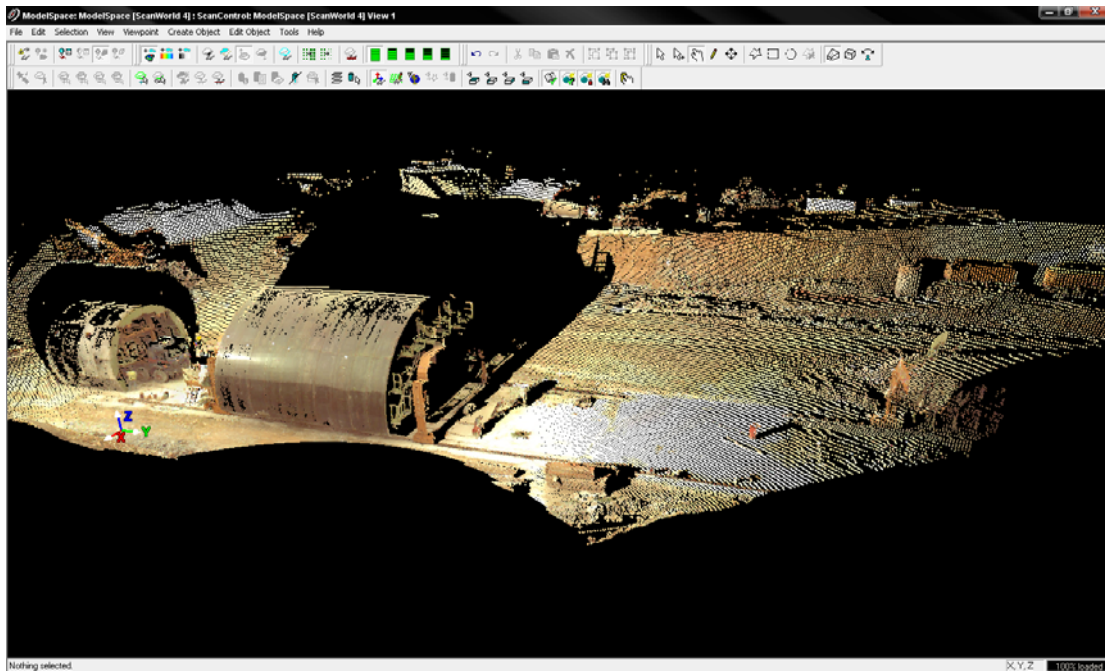
Στη συνέχεια οριοθετήθηκε το προς αποτύπωση αντικείμενο, και ορίστηκε βήμα καννάβου ίσο με 18 cm, έγινε η έναρξη της διαδικασίας scanning (εντολή “scan”). Ο συνολικός χρόνος που διήρκεσε η διαδικασία αυτή, ήταν 3m 30sec και συλλέχθηκε σύννεφο σημείων πλήθους 109.732. Στο Σχήμα 6.10 φαίνεται το νέφος σημείων από τη στάση S3, ενώ η αρχή XYZ δηλώνει τη θέση του οργάνου. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η λεπτομερής αποτύπωση των σφαιρικών στόχων που ήταν τοποθετημένοι στις στάσεις S1 και S2 (εντολή “Acquire targets”). Ο στόχος που είχε τοποθετηθεί στη στάση S4 δεν αποτυπώθηκε από τον σαρωτή με αυτό το βήμα καννάβου και γι’ αυτό δεν έγινε η λεπτομερής αποτύπωσή του. Οι στόχοι μετά από σωστή σάρωση έχουν την μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 6.11.



Σχήμα 6.3: Το νέφος σημείων από τη στάση S3.



Σχήμα 6.4: Οι στόχοι μετά από τη σωστή σάρωσή τους.



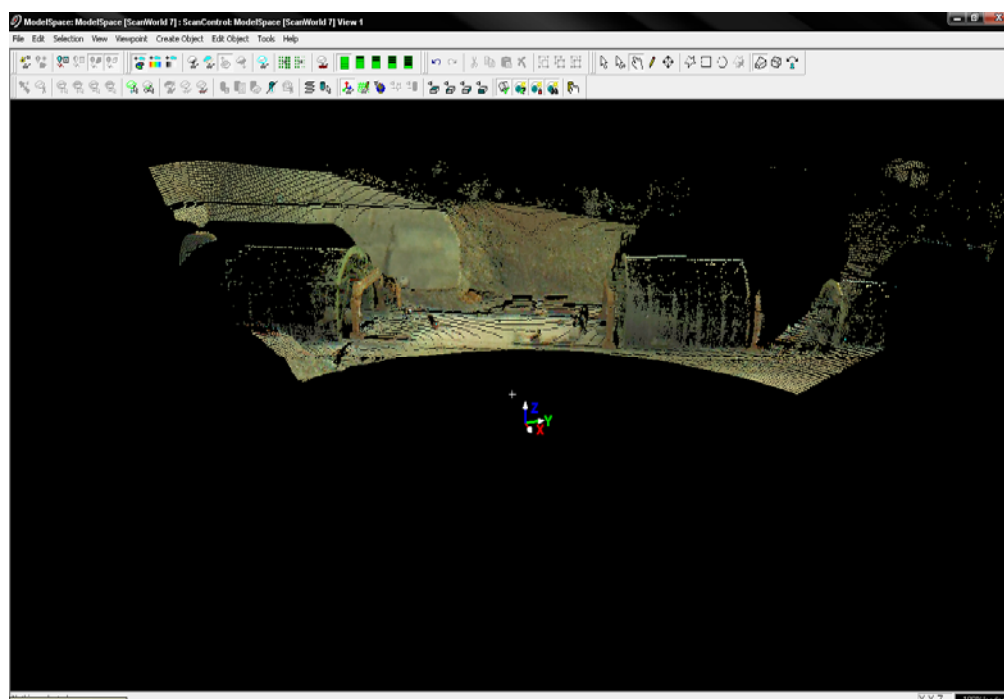
Σχήμα 6.5: Το νέφος σημείων με βάση τις τιμές της ανακλαστικότητας του αντικειμένου από τη στάση S3.

Μετά το πέρας της σάρωσης του μεταλλότυπου από τη στάση S3, το όργανο μεταφέρθηκε στη στάση S1 ώστε να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία. Ακολουθεί το σχήμα (Σχήμα 6.13) που παρουσιάζει τη φωτογραφία του αντικειμένου όπως αυτή λήφθηκε από το σαρωτή, καθώς και το σχήμα (Σχήμα 6.14) που παρουσιάζει το νέφος σημείων με βάση τις τιμές της ανακλαστικότητας του αντικειμένου (η αρχή XYZ δηλώνει τη θέση του οργάνου). Ορίστηκε και πάλι βήμα καννάβου ίσο με 18cm. Ο συνολικός χρόνος που διήρκησε η διαδικασία αυτή ήταν 2m 45sec και συλλέχθηκε σύννεφο σημείων πλήθους 41.064. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η λεπτομερής αποτύπωση των σφαιρικών στόχων που ήταν τοποθετημένοι στις στάσεις S2, S3 και S4 (εντολή **“Acquire targets”**). Όπως είναι εμφανές η σάρωση του μεταλλότυπου από αυτή τη στάση δεν είναι ικανοποιητική, διότι το νέφος σημείων είναι αρκετά αραιό. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στην πολύ λεία και γυαλιστερή επιφάνεια του μεταλλότυπου καθώς στο μεγάλο (αραιό) βήμα καννάβου που είχε οριστεί. Θα έπρεπε να είχε γίνει καινούργια σάρωση με μικρότερο βήμα καννάβου ώστε το νέφος να ήταν πυκνότερο.

Στην συνέχεια τα παραπάνω δεδομένα εξετάζονται, αναλύονται και γίνεται η λεπτομερής επεξεργασία τους. Τα αποτελέσματα αυτά, καθώς και η διαδικασία της επεξεργασίας παρουσιάζονται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.



Σχήμα 6.6: Η φωτογραφία του αντικειμένου όπως αυτή πάρθηκε από το σαρπητή, στάση S1.



Σχήμα 6.7: Το νέφος σημείων με βάση τις τιμές της ανακλαστικότητας του αντικειμένου από τη στάση S1.

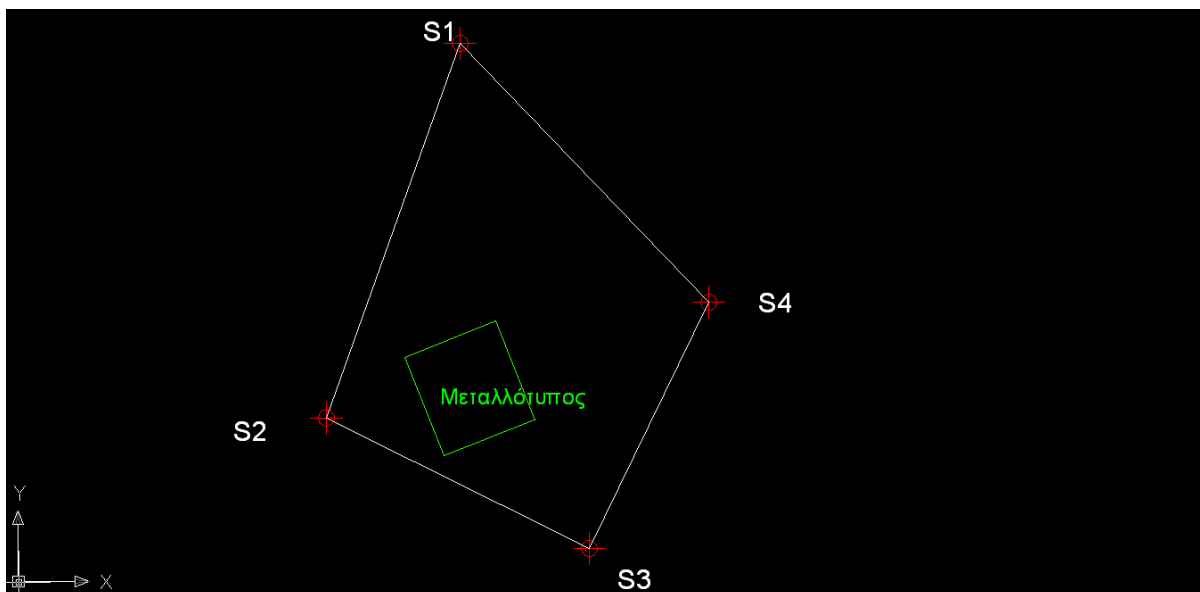
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ****7.1 Γενικά**

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα αναφερθούν τα στάδια και οι τρόποι επεξεργασίας των δεδομένων που αποκτήθηκαν από τις μετρήσεις καθώς επίσης και τα αποτελέσματα που προέκυψαν με το πέρας της επεξεργασίας. Όπως προέκυψε από την διεξαγωγή των μετρήσεων (κεφάλαιο 6^ο) οι συντεταγμένες των τεσσάρων στάσεων, στο ΕΓΣΑ '87 είναι:

Σημεία	x (m)	y (m)	H (m)
S1	373533,640	4412036,441	46,513
S2	373516,915	4411989,711	40,513
S3	373549,769	4411973,413	48,705
S4	373564,702	4412004,122	40,786

Πίνακας 7.1: Οι συντεταγμένες των τεσσάρων στάσεων στο ΕΓΣΑ '87.

Η σχετική θέση μεταξύ τους, φαίνεται στο Σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1: Η σχετική θέση μεταξύ των τεσσάρων κορυφών του δικτύου.

Η επεξεργασία των στοιχείων που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο ξεκίνησε με τον βασικό έλεγχο «κλεισίματος» των συντεταγμένων των τεσσάρων κορυφών. Συγκεκριμένα έγινε εισαγωγή των συντεταγμένων των σημείων στο σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD 2007 και έγινε η ένωση των τεσσάρων σημείων με γραμμές. Έπειτα έγινε ο έλεγχος του αθροίσματος (άθροισμα γωνιών τριγώνου = 200 grad) των γωνιών των τριγώνων (**S1S4S3**, **S1S3S2**, **S4S2S3**, **S1S2S4**). Τα αποτελέσματα του ελέγχου φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Τρίγωνο	Άθροισμα (Sum)	Υπόλοιπο (200g – Sum)
S1S4S3	199,9999 grad	0,0001 grad = 1 cc
S1S3S2	200 grad	0,0000 grad = 0 cc
S4S2S3	199,9999 grad	0,0001 grad = 1 cc
S1S2S4	200 grad	0,0000 grad = 0 cc

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα ελέγχου των τριγώνων.

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι τα τρίγωνα που σχηματίζονται «κλείνουν» ικανοποιητικά, όμως ως σημειωθεί ότι τα υπόλοιπα (200g – Sum) που προέκυψαν αφορούν στο γεωμετρικό έλεγχο της μορφής και του σχήματος του αντικειμένου και όχι στον έλεγχο της ακρίβειάς του. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το όργανο που μετρήθηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών ήταν ο γεωδαιτικός σταθμός TCRM 1101 plus της LEICA GEOSYSTEMS AG, της σειράς TPS 1100. Το όργανο αυτό έχει ακρίβεια μέτρησης γωνιών 1.5".

7.2 Επίλυση 2D Μετασχηματισμού Ομοιότητας

Ο λόγος που εφαρμόστηκε η διαδικασία του 2D μετασχηματισμού ομοιότητας είναι ότι οι κοινοί στόχοι που είχαν τοποθετηθεί, και σαρωθεί από το όργανο δεν ήταν αρκετοί ώστε να γίνει η γεωαναφορά αυτόματα μέσα από το λογισμικό Cyclone, όπως περιγράφεται στο Παράρτημα Α. Όπως έχει αναφερθεί και στην παράγραφο 4.2.3 του Κεφαλαίου 4, τα δύο διαφορετικά νέφη σημείων θα πρέπει να έχουν τουλάχιστον τρία κοινά σημεία – στόχους μεταξύ τους για να γεωαναφερθούν μέσω του λογισμικού Cyclone. Ο μετασχηματισμός ομοιότητας, όπως αναλύεται διεξοδικά στο Παράρτημα Γ, είναι συνδυασμός μετάθεσης (κατά x και y), στροφής και κλίμακας, όπου η γωνία στροφής (ϵ) μετριέται αριστερόστροφα από τον άξονα X και η κλίμακα (κ) είναι ενιαία για το επίπεδο εφαρμογής. Η χαρακτηριστική ιδιότητα του μετασχηματισμού ομοιότητας είναι ότι διατηρούνται τα σχήματα κάτι που χαρακτηρίζει όλες τις σύμμορφες προβολές.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρειάστηκε να γίνει χρήση του 3D μετασχηματισμού ομοιότητας διότι τα δύο συστήματα (σαρωτής και δίκτυο τεσσάρων κορυφών σε ΕΓΣΑ '87) είναι μεταξύ τους παράλληλα, αφού οι άξονες Z και των δύο είναι παράλληλοι. Αυτό συμβαίνει διότι τα όργανα σε κάθε στάση έχουν οριζοντιωθεί με μεγάλη ακρίβεια (σφαιρική και σωληνωτή αεροστάθμη). Επίσης δεν υπάρχει ο συντελεστής κλίμακας. Άρα οι παραπάνω γραμμικές σχέσεις παραμένουν οι ίδιες απλά δεν θα γίνει χρήση της σχέσης που δίνει τον συντελεστή κλίμακας. Η επίλυση του μετασχηματισμού ομοιότητας επαναλήφθηκε δύο φορές, για τις δύο στάσεις του σαρωτή (S1, S3). Και στις δύο περιπτώσεις υπήρχε πλεόνασμα παρατηρήσεων, επομένως οι μετασχηματισμοί επιλύθηκαν με την Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.). Συγκεκριμένα:

Για τη στάση S1:

Όπως έχει προαναφερθεί και στη διαδικασία των μετρήσεων, ο σαρωτής τοποθετήθηκε στην στάση S1 και έγινε η σάρωση της περιοχής αλλά και των σφαιρικών στόχων. Επομένως η στάση S1 έχει συντεταγμένες (0,0,0), ενώ οι άλλες στάσεις έχουν τις ακόλουθες συντεταγμένες όπως υπολογίστηκαν από το όργανο (ScanStation2), (Πίνακας 7.3):

Στάσεις	ξ (m)	η (m)	Στάση Σαρωτή
S1	0,000	0,000	S1
S2	-22,163	44,361	
S3	-56,699	31,919	
S4	-44,832	-0,103	

Πίνακας 7.3: Οι συντεταγμένες των στάσεων όπως έχουν υπολογισθεί από το σαρωτή.

Στην περίπτωση αυτή υπάρχει πλεόνασμα παρατηρήσεων, επομένως η επίλυση θα γίνει με την Μ.Ε.Τ.. Τα πλήθος των παρατηρήσεων είναι $n=8$ ($\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2, \xi_3, \eta_3, \xi_4, \eta_4$), ενώ οι ανεξάρτητες καθοριστικές παράμετροι είναι $m=4$ (A,B,C,D), επομένως ο βαθμός ελευθερίας είναι $r=4$. Άρα θα δημιουργηθεί ο πίνακας των παρατηρήσεων **A** ο οποίος θα έχει διαστάσεις 8×4 , ο πίνακας **DL** διαστάσεων 8×1 και το διάνυσμα **X** των αγνώστων, διαστάσεων 4×1 .

Έπειτα από πράξεις υπολογίστηκε το **διάνυσμα** των αγνώστων παραμέτρων του μετασχηματισμού από την στάση S1, καθώς και ο πίνακας **Μεταβλητότητας-Συμμεταβλητότητας** και είναι:

X	A	-0,6915879			
	B	-0,7222930			
	ΔX (m)	373533,626			
	ΔY (m)	4412036,429			
Vx		7,73219E-08	6,7606E-24	2,39106E-06	-1,47254E-06
		0	7,73219E-08	-1,47254E-06	-2,39106E-06
		2,39106E-06	-1,47254E-06	0,000168226	2,37154E-20
		-1,47254E-06	-2,39106E-06	2,37154E-20	0,000168226

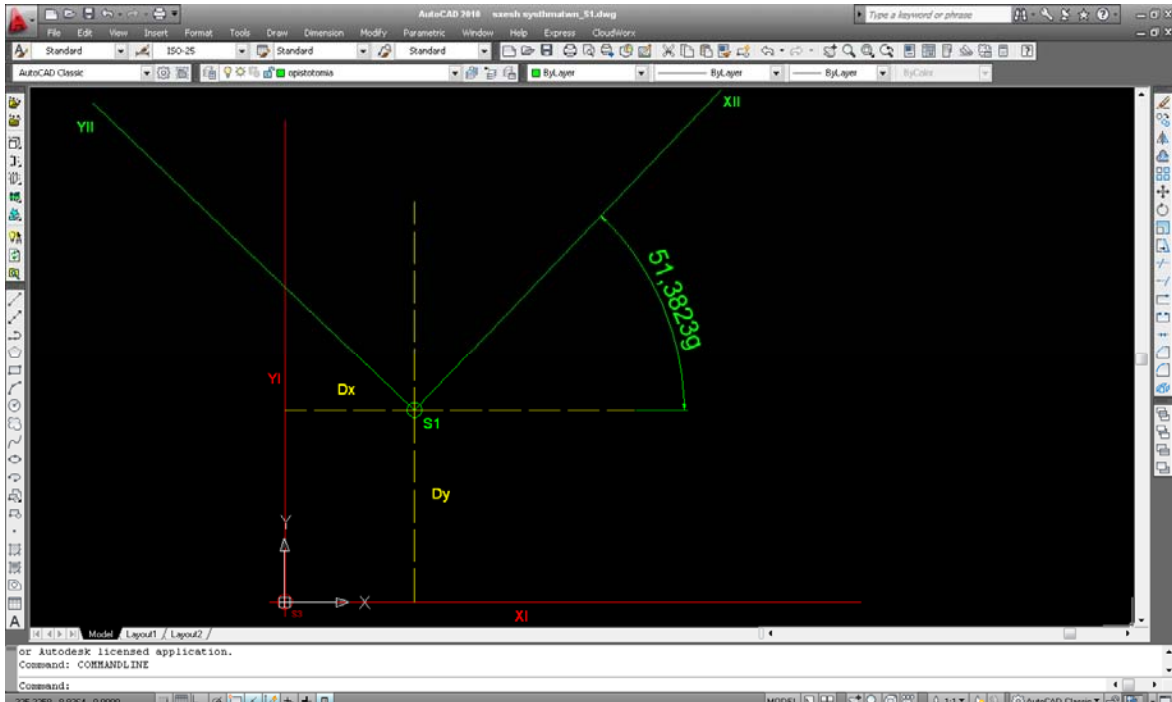
Πίνακας 7.4: Το διάνυσμα των παραμέτρων του μετασχηματισμού, καθώς και ο πίνακας Μεταβλητότητας-Συμμεταβλητότητας από την στάση S1.

Δηλαδή τα τυπικά σφάλματα των αγνώστων είναι:

$\sigma_A = \pm 0,00028$	$\sigma_{\Delta X} = \pm 0,013 \text{ m}$
$\sigma_B = \pm 0,00028$	$\sigma_{\Delta Y} = \pm 0,013 \text{ m}$

Στην συνέχεια έγινε ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων του νέφους σημείων με βάση τις σχέσεις του μετασχηματισμού. Τα συνολικά νέφη σημείων που είχαν συλλεχθεί από την κάθε στάση έχουν ήδη καθαριστεί από τα περιττά σημεία και έχουν απομείνει μόνο τα σημεία που σχετίζονται με τον μεταλλότυπο. Αυτά με την σειρά τους χωρίστηκαν σε δύο διαφορετικά νέφη με βάση την τιμή της ακτίνας της κυλινδρικής επιφάνειας που ανήκουν, δηλαδή τα πάνω μέρη του μεταλλότυπου (ακτίνα 7400mm) και τα κάτω μέρη του μεταλλότυπου (ακτίνα 4800mm), ώστε να είναι πιο εύκολος ο χειρισμός τους, αλλά και η επεξεργασία τους.

Η σχέση των δύο συστημάτων αναφοράς με βάση τον 2D μετασχηματισμό ομοιότητας για τη στάση S1 φαίνεται στο σχήμα (Σχήμα 7.2) που ακολουθεί. Στο σχήμα αυτό με κόκκινο χρώμα εμφανίζεται το σύστημα αναφοράς του laser scanner (σύστημα 1°), με κίτρινο είναι οι ποσότητες Δx, Δy και με πράσινο χρώμα είναι το σύστημα αναφοράς το οποίο ορίζουν οι τέσσερις κορυφές (σύστημα 2°).



Σχήμα 7.2: Η σχέση των δύο συστημάτων αναφοράς από τη στάση S1.

Για τη στάση S3:

Από την τοποθέτηση του οργάνου στη στάση S3 προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας με τις συντεταγμένες των στάσεων σύμφωνα με τον σαρωτή. Στην περίπτωση αυτή τα παρατηρούμενα σημεία είναι τρία διότι όπως είχε αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο σφαιρικός στόχος στην στάση S4 δεν σαρώθηκε από το όργανο.

Στάσεις	ξ (m)	η (m)	Στάση Σαρωτή
S1	-63,212	15,182	S3
S2	-29,764	-21,433	
S3	0,000	0,000	

Πίνακας 7.5: Οι συντεταγμένες των στάσεων όπως έχουν υπολογισθεί από το σαρωτή.

Στην περίπτωση αυτή υπάρχει πλεόνασμα παρατηρήσεων, επομένως η επίλυση θα γίνει με τη Μ.Ε.Τ.. Το πλήθος των παρατηρήσεων είναι $n=6$ ($\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2, \xi_3, \eta_3$), ενώ οι ανεξάρτητες καθοριστικές παράμετροι είναι $m=4$ (A,B,C,D), επομένως ο βαθμός ελευθερίας είναι $r=2$. Άρα θα δημιουργηθεί ο πίνακας των παρατηρήσεων **A** ο οποίος θα έχει διαστάσεις 6×4 , ο πίνακας **DL** διαστάσεων 6×1 και το διάνυσμα **X** των αγνώστων, διαστάσεων 4×1 σε αυτή την περίπτωση. Έπειτα από πράξεις στο Excel υπολογίστηκε το **διάνυσμα** των αγνώστων παραμέτρων του μετασχηματισμού από τη στάση S3, καθώς και ο πίνακας **Μεταβλητότητας-Συμμεταβλητότητας** και είναι:

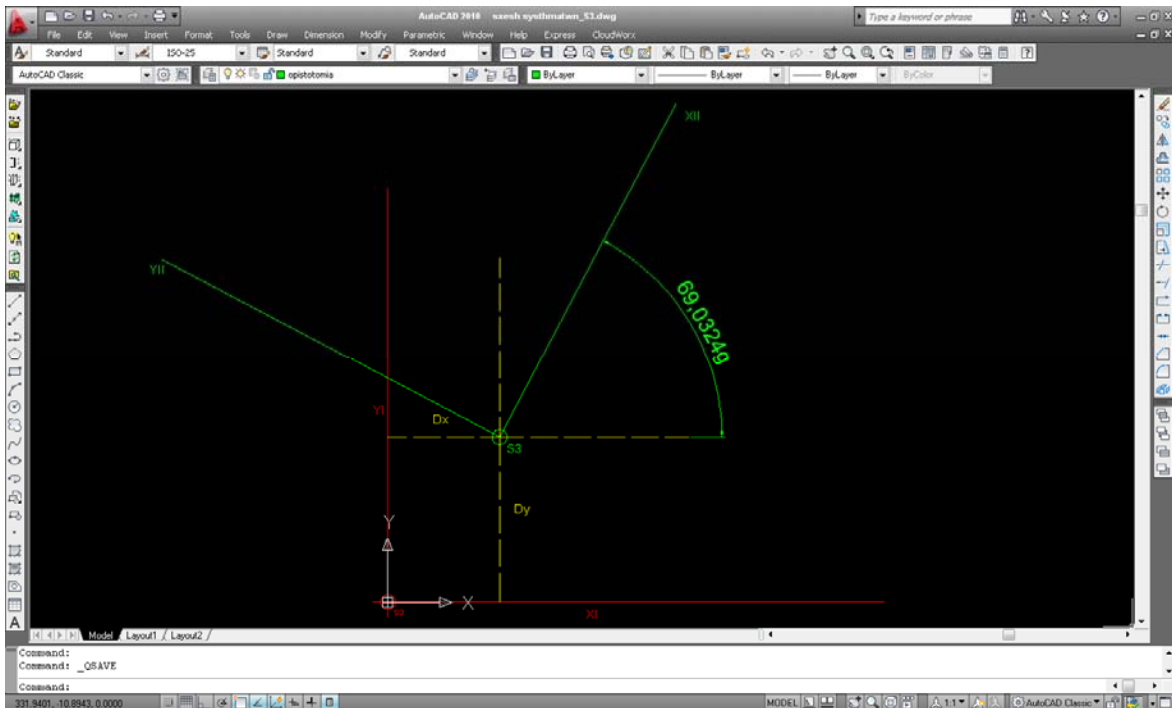
X	A	0,4677659			
	B	0,8845451			
	ΔX (m)	373549,781			
	ΔY (m)	4411973,417			
Vx	6,77276E-08	9,03208E-25	2,09901E-06	1,41122E-07	
	4,51604E-25	6,77276E-08	1,41122E-07	-2,09901E-06	
	2,09901E-06	1,41122E-07	0,000125782	2,42201E-21	
	1,41122E-07	-2,09901E-06	2,42201E-21	0,000125782	

Πίνακας 7.6: Το διάνυσμα των παραμέτρων του μετασχηματισμού, καθώς και ο πίνακας Μεταβλητότητας-Συμμεταβλητότητας από την στάση S3.

Δηλαδή τα τυπικά σφάλματα των αγνώστων είναι:

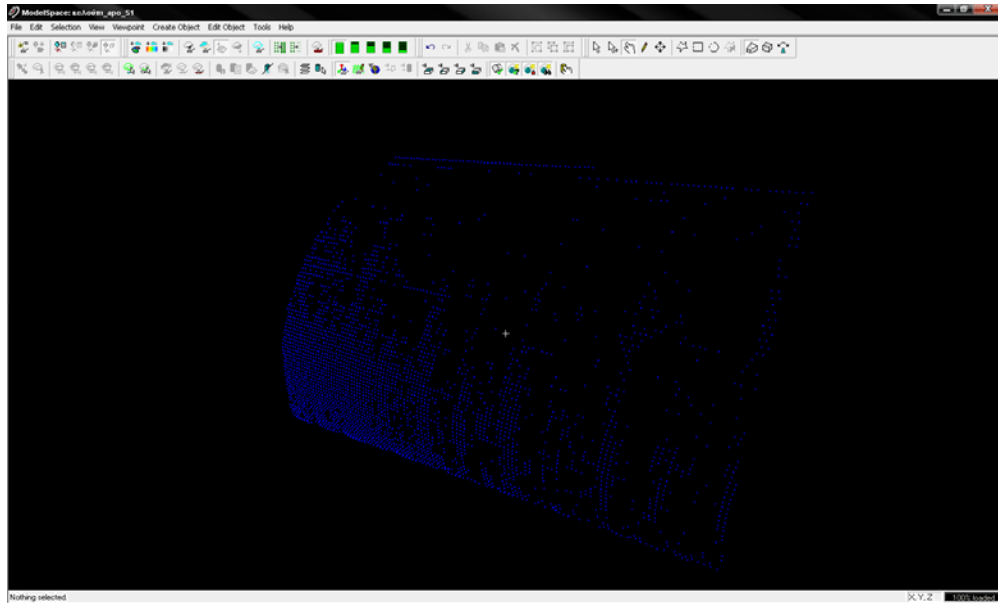
$\sigma_A = \pm 0,00026$	$\sigma_{\Delta X} = \pm 0,011$ m
$\sigma_B = \pm 0,00026$	$\sigma_{\Delta Y} = \pm 0,011$ m

Η σχέση των δύο συστημάτων αναφοράς με βάση τον 2D μετασχηματισμό ομοιότητας για τη στάση S3 φαίνεται στο σχήμα (Σχήμα 7.3) που ακολουθεί. Στο σχήμα αυτό με κόκκινο χρώμα εμφανίζεται το σύστημα αναφοράς του laser scanner (σύστημα 1^ο), με κίτρινο είναι οι ποσότητες Δx , Δy και με πράσινο χρώμα είναι το σύστημα αναφοράς το οποίο ορίζεται από τις τέσσερις κορυφές (σύστημα 2^ο).

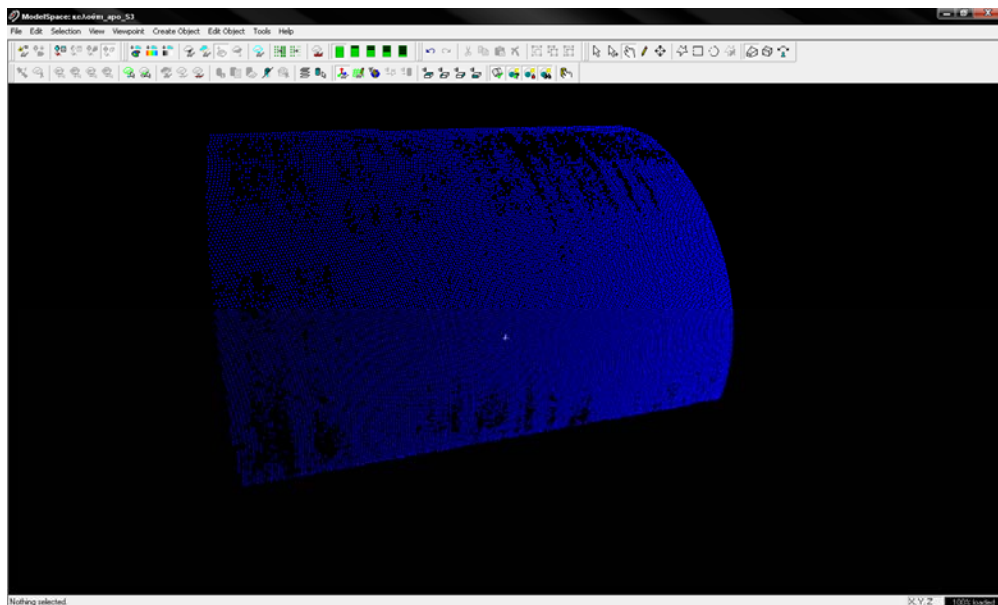


Σχήμα 7.3: Η σχέση των δύο συστημάτων αναφοράς από τη στάση S3.

Στην συνέχεια και αφού η διεργασίες του μετασχηματισμού έχουν ολοκληρωθεί, έγινε εισαγωγή των νεφών σημείων στο λογισμικό Cyclone. Η διαδικασία αυτή έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 4. Αρχικά εισάγεται το νέφος σημείων ολόκληρου του μεταλλότυπου από τη στάση S1. Όπως παρατηρείται και από το επόμενο σχήμα (Σχήμα 7.4), το όργανο δεν έχει αποτυπώσει καλά τον μεταλλότυπο από αυτή τη στάση. Η γυαλιστερή επιφάνεια του μεταλλότυπου σε συνδυασμό με την επίδραση της γεωμετρίας παρατήρησης και του αραιού βήματος καννάβου καθώς και το υλικό του μεταλλότυπου (λεία και γυαλιστερή επιφάνεια) ήταν τα βασικά αίτια της δυσκολία του οργάνου στη συλλογή επαρκούς πλήθους σημείων. Από τη στάση S3 όμως η αποτύπωση του μεταλλότυπου είναι αισθητά καλύτερη.



Σχήμα 7.4: Το νέφος σημείων από τη στάση S1.



Σχήμα 7.5: Το νέφος σημείων από τη στάση S3.

Τα αποτελέσματα από την κάθε στάση, αλλά και για κάθε κομμάτι (τόξο) ξεχωριστά φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 7.7). Επίσης παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα για ολόκληρο το μεταλλότυπο μετά τον μετασχηματισμό των επιμέρους νεφών σημείων. Η τελευταία στήλη του πίνακα δείχνει τις θεωρητικές τιμές των αντίστοιχων ακτίνων των τόξων με βάση τα σχέδια του μεταλλότυπου.

Τόξο Καλουπιού	Στάση S1		Στάση S3		Σχέδια
Επάνω τόξο	R (m)	7,432	R (m)	7,367	R = 7,400m
	Ύψος(m)	12,748	Ύψος(m)	12,762	
	σημεία	419	σημεία	8636	
	M.A.E.(m)	0,058	M.A.E.(m)	0,025	
Κάτω τόξο	R (m)	4,794	R (m)	4,811	R = 4,800m
	Ύψος(m)	12,755	Ύψος(m)	12,755	
	σημεία	5063	σημεία	16941	
	M.A.E.(m)	0,018	M.A.E.(m)	0,017	
Ολόκληρο Επάνω μέρος	R (m)	7,341			
	Ύψος(m)	12,773			
	M.A.E.(m)	0,061			

Πίνακας 7.7: Τα αποτελέσματα της προσαρμογής της μαθηματικής επιφάνειας.

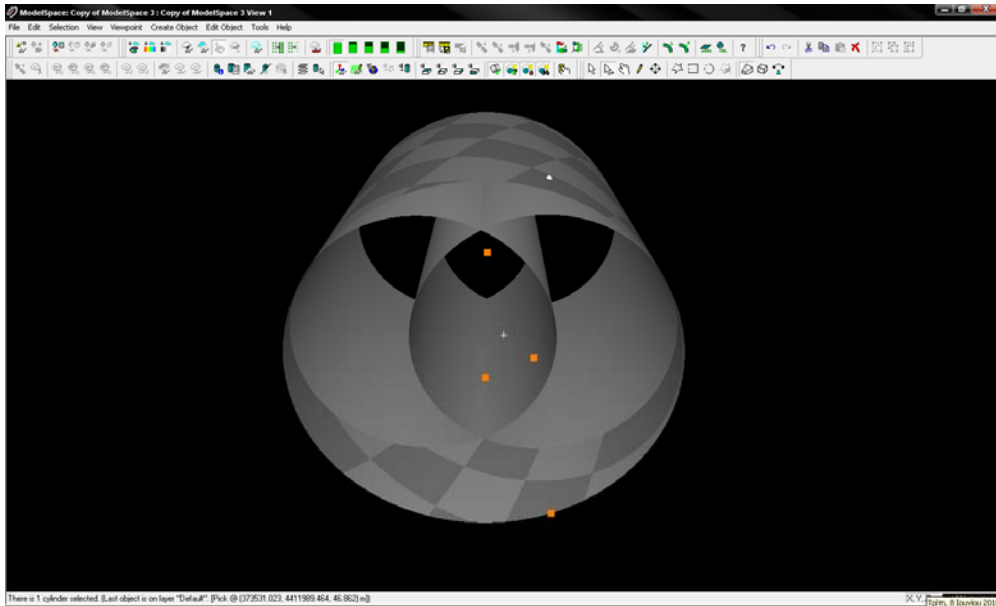
Όπως φαίνεται από τον πίνακα, η προσαρμογή της μαθηματικής επιφάνειας στο επάνω μέρος του μεταλλότυπου δεν προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματικότητα και από τις δύο στάσεις. Βέβαια πιο ρεαλιστική είναι η προσέγγιση από την στάση S3 διότι είναι κατά πολύ μεγαλύτερο το πλήθος σημείων που έχει συλλεχθεί και είναι κατά 3cm μικρότερη η μέγιστη τυπική απόκλιση των σημείων. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο μικρό βήμα καννάβου, αλλά και στο σφάλμα που υπάρχει στην προσαρμογή των επιφανειών.

Κατά αντιστοιχία στο κάτω μέρος πάλι ρεαλιστικότερη είναι η προσαρμογή που αναφέρεται στην στάση S3 λόγω του μεγάλου πλήθους σημείων και τις μέγιστης τυπικής απόκλισης περίπου στα 2cm.

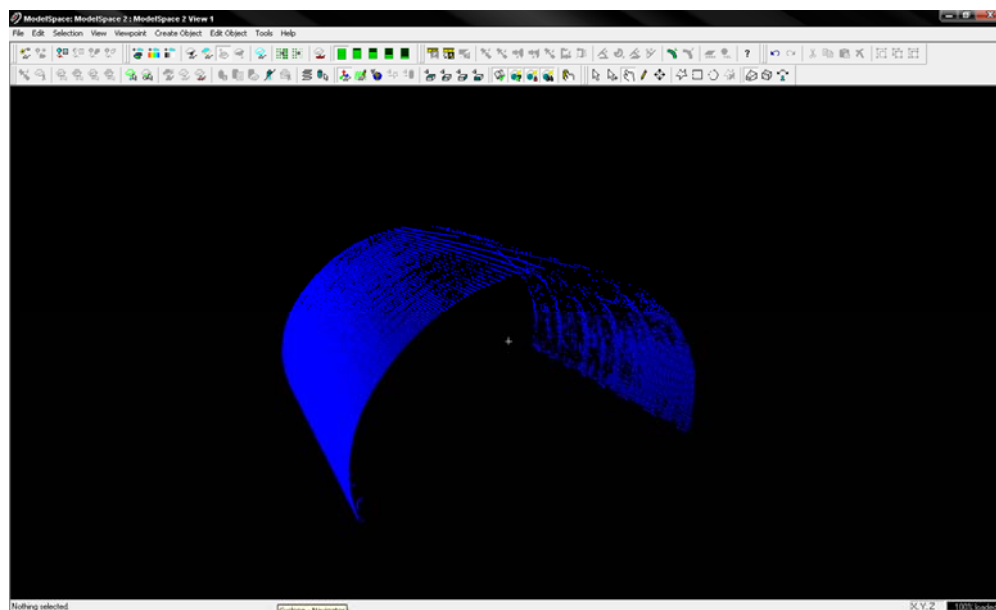
Όσον αναφορά ολόκληρο το πάνω μέρος, δηλαδή την ένωση των επιμέρους τμημάτων με την διαδικασία του μετασχηματισμού ομοιότητας παρατηρείται απόκλιση 5,9cm από τα θεωρητικά σχέδια. Αυτό είναι αναμενόμενο διότι το τελικό αποτέλεσμα επηρεάζεται από την ακρίβεια του μετασχηματισμού. Δηλαδή ο έλεγχος της γεωμετρίας του μεταλλότυπου και της ακρίβειας προσαρμογής της μαθηματικής επιφάνειας στο συνολικό μετασχηματισμένο καλούπι, εξαρτάται άμεσα από την ακρίβεια του μετασχηματισμού

ομοιότητας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το τυπικό σφάλμα του μετασχηματισμού είναι στα 1,3cm όπως φαίνεται από τους πίνακες.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα σχήματα που απεικονίζουν τον μεταλλότυπο ως σύννεφο σημείων και σαν κυλινδρικές επιφάνειες. Ο κύλινδρος που περικλείει τους άλλους δύο αναφέρεται στα τόξα του πάνω μέρους του θόλου. Οι άλλοι δύο, όμοιοι κύλινδροι τέμνονται μεταξύ τους αλλά ταυτόχρονα εφάπτονται στον προηγούμενο.



Σχήμα 7.6: Οι προσαρμοσμένες μαθηματικές επιφάνειες στα νέφη σημείων.



Σχήμα 7.7: Ολόκληρος ο μεταλλότυπος σαν νέφος σημείων.

7.3 Επεξεργασία των Χαρακτηριστικών Σημείων Μεταλλότυπου

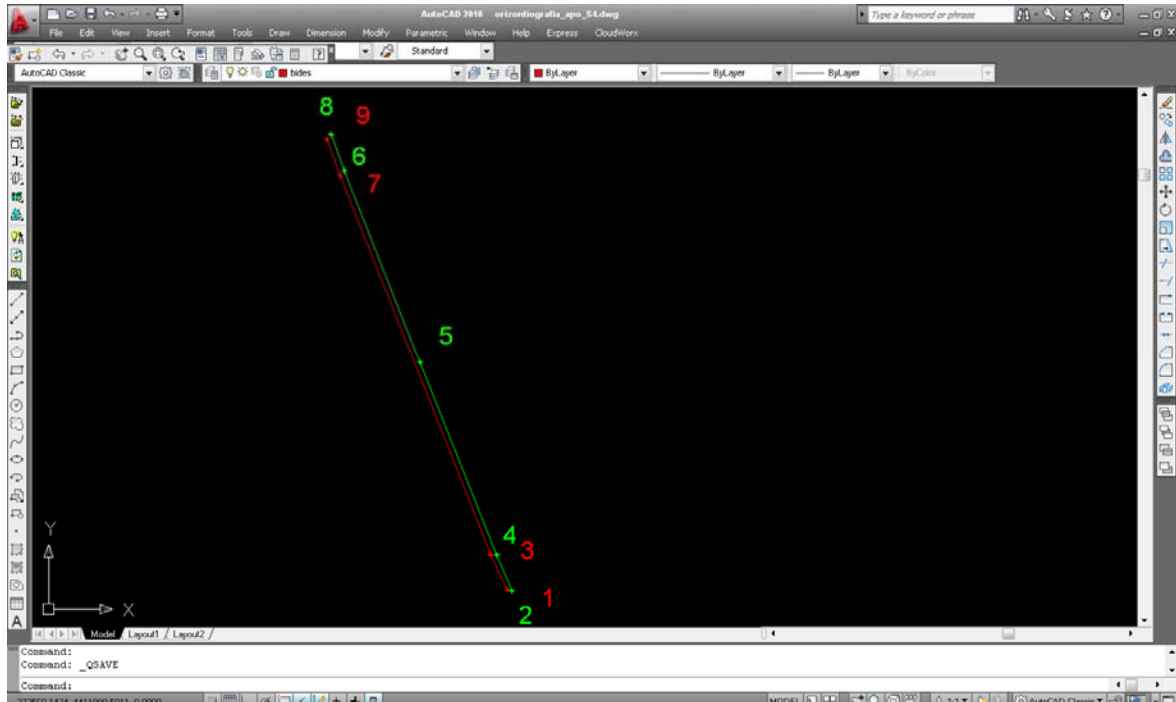
Από τις στάσεις που βρίσκονταν μπροστά (S2) και πίσω (S4) από το καλούπι έγινε η αποτύπωση των χαρακτηριστικών σημείων του μεταλλότυπου, των σημείων δηλαδή που ορίζουν τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του προς αποτύπωση αντικειμένου. Για την αποτύπωση των σημείων αυτών έγινε χρήση της μεθόδου των πολικών συντεταγμένων, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 6. Με βάση λοιπόν τις μετρήσεις που έγιναν και με χρήση κατάλληλων εξισώσεων μετασχηματισμού, και έπειτα από πράξεις, υπολογιστήκαν οι συντεταγμένες των σημείων στο ΕΓΣΑ'87. Οι εν λόγω εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

$$\begin{aligned}
 X_i &= X_{i-1} + S_{i-1,i} \cdot \sin(\alpha_{i-1,i} + H_z) \\
 Y_i &= Y_{i-1} + S \cdot \cos(\alpha_{i-1,i} + H_z) \\
 Z_i &= Z_{i-1} + DZ_{i-1,i} \\
 DZ_{i-1,i} &= S \cdot \cos z + Y \cdot \text{Οργ.} - Y \cdot \text{Στοχ.}
 \end{aligned}
 \tag{7.1}$$

Όπου το **S** είναι το οριζόντιο μήκος, **α** είναι η γωνία διεύθυνσης, **Z** είναι η κατακόρυφη γωνία και **H_z** είναι η οριζόντια γωνία.

Η παρουσίαση των σημείων θα γίνει ποιοτικά, θεωρώντας ότι ο μεταλλότυπος είναι οριζοντιωμένος, άρα τα σημεία που έχουν αποτυπωθεί θα ανήκουν στην ίδια κατακόρυφη τομή. Η κατακόρυφη τομή είναι κατακόρυφο επίπεδο που τέμνει κάθετα το οριζόντιο σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 7.8, τα σημεία που έχουν αποτυπωθεί ανήκουν σε δύο διαφορετικά κατακόρυφα επίπεδα. Στο ένα ανήκουν τα σημεία – βίδες και στο άλλο τα σημεία - χώρισμα. Τα αποτελέσματα εισήχθησαν στο σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD ώστε να ελεγχθεί αν βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία.

Όπως φαίνεται επίσης από το ίδιο σχήμα για τη στάση S4, τα σημεία βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία και τα σημεία που βρίσκονται πιο αριστερά για κάθε οριζοντιογραφία είναι το 8 (χώρισμα – πράσινο χρώμα) και το 9 (βίδες – κόκκινο χρώμα). Επίσης εύκολα μπορεί να υπολογιστεί και η εξίσωση αυτών των ευθειών από το Excel, έτσι προκύπτει ότι τα σημεία που αποτελούν τις βίδες έχουν εξίσωση $Y = -2,511 \cdot X + 5^E + 06$ ενώ τα σημεία που αποτελούν τα χωρίσματα έχουν εξίσωση $Y = -2,5268 \cdot X + 5^E + 06$.



Σχήμα 7.8: Τα χαρακτηριστικά σημεία σε οριζοντιογραφία από τη στάση S4.

Αφού τα σημεία είναι πάνω στην ίδια ευθεία, τα σημεία (8) και (9) θα λειτουργήσουν σαν αρχές των νέων συστημάτων, τα οποία σχηματίζουν γωνία στροφής $\Phi(9,1) = \alpha_{\text{τομή}} = 175,7896 \text{ grad}$ και $\Phi(8,2) = \alpha_{\text{τομή}} = 176,0316 \text{ grad}$ αντίστοιχα για βίδες, χώρισμα, διότι η στροφή έγινε στον άξονα Y.

Μετά την εύρεση της ευθείας ακολούθησε η διαδικασία της στροφής:

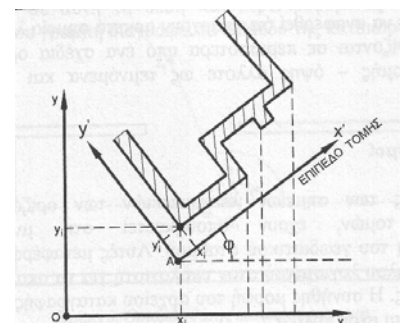
Οι σχέσεις της στροφής είναι:

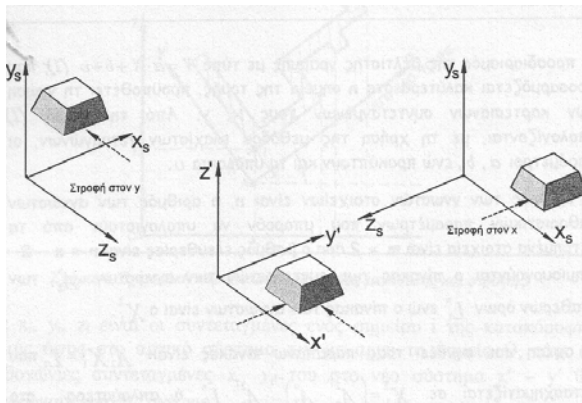
$$x'_i = x_A + \cos\varphi \cdot (x_i - x_A) - \sin\varphi \cdot (y_i - y_A)$$

$$y'_i = y_A + \sin\varphi \cdot (x_i - x_A) + \cos\varphi \cdot (y_i - y_A)$$

Όπου: φ είναι η γωνία στροφής των δύο συστημάτων,

x_A, y_A είναι οι συντεταγμένες της αρχής του συστήματος





$$\left. \begin{array}{l} X_{Si} = Y_i \\ Y_{Si} = Z_i = z_i \\ Z_{Si} = X_i \end{array} \right\} \text{για στροφή στον άξονα } Y$$

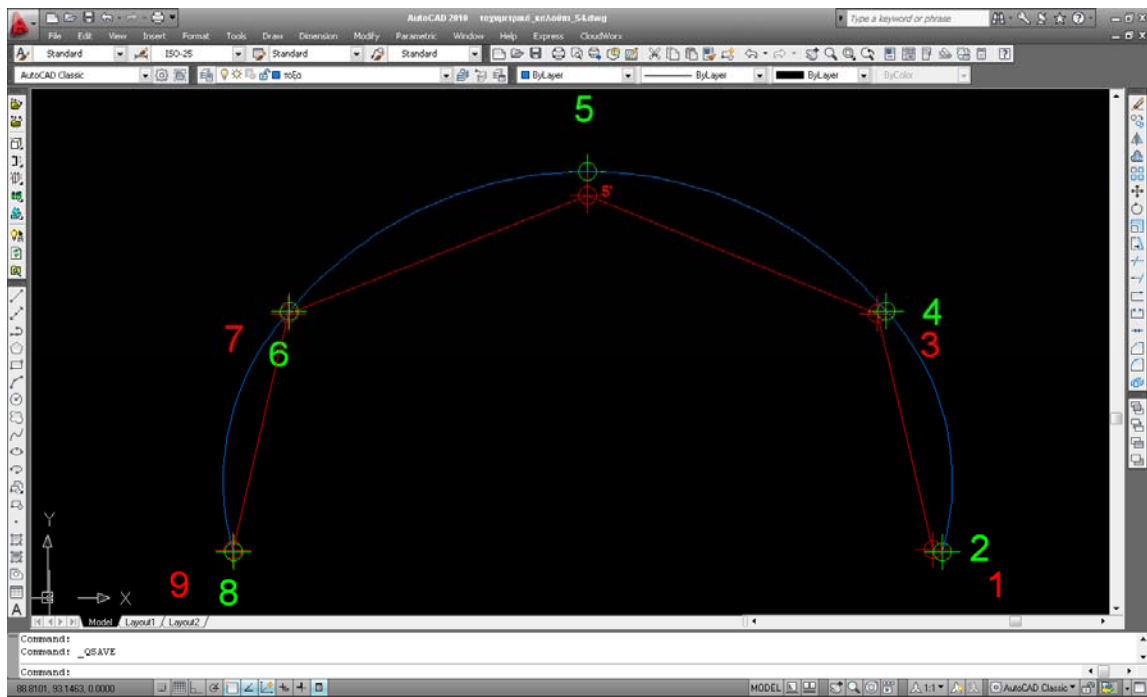
$$\left. \begin{array}{l} X_{Si} = X_i \\ Y_{Si} = Z_i = z_i \\ Z_{Si} = -Y_i \end{array} \right\} \text{για στροφή στον άξονα } X$$

Οι τελικές υπολογισμένες συντεταγμένες των χαρακτηριστικών σημείων από την στάση S4 φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Σημείο	Xs (m)	Ys (m)	Zs (m)
1	4412009,655	40,527	373590,335
3	4412008,602	45,013	373590,399
7	4411997,449	45,005	373590,362
9	4411996,397	40,521	373590,334
2	4412009,835	40,489	373590,211
4	4412008,772	45,062	373590,226
5	4412003,114	47,703	373590,242
6	4411997,466	45,055	373590,236
8	4411996,409	40,485	373590,211

Πίνακας 7.8: Οι τελικές συντεταγμένες των χαρακτηριστικών σημείων από την στάση S4.

Το Σχήμα 7.9 δείχνει ποιοτικά τη θέση των σημείων αυτών στο σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD. Με κόκκινο χρώμα είναι τα σημεία που αναφέρονται στις βίδες καθώς και οι αποστάσεις που αφορούν αυτά τα σημεία, ενώ με πράσινο χρώμα παρουσιάζονται τα σημεία που αναφέρονται στα χωρίσματα μεταξύ των τόξων του μεταλλότυπου. Τέλος με μπλε χρώμα φαίνονται τα τόξα κυλίνδρου που ξεκινούν και τελειώνουν στα χωρίσματα, τα οποία έχουν ακτίνες 4,800m (8-6, 2-4) και 7,400m (6-5, 4-5).



Σχήμα 7.9: Η θέση των σημείων (βίδες, χωρίσμα) στο σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD.

Με βάση τα σχέδια του μεταλλότυπου που παρατίθενται στο Παράρτημα Β φαίνεται ότι η ανοχή (class of the tolerance) είναι στα 5 mm για απόσταση αποτύπωσης από 6 m έως 30m (roughly). Στην συγκεκριμένη περίπτωση όλες οι αποστάσεις είναι στα 26,485 m κατά μέσο όρο. Οι μετρήσεις και οι αντίστοιχες διαφορές φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Αποστάσεις	Μέτρηση (m)	Θεωρητικό (m)	Διαφορά
(9 – 7)	4,673	4,693	2 cm
(3 – 1)	4.667	4,693	2,6 cm
Τόξα	Μέτρηση (m)	Θεωρητικό (m)	Διαφορά
(8 – 6)	4,901	4,898	3 mm
(4 – 2)	4,906	4,898	6 mm
(6 – 5)	6,439	6,452	1,3 cm
(4 – 5)	6,446	6,452	6 mm

Πίνακας 7.9: Οι μετρήσεις και οι αντίστοιχες διαφορές από τα θεωρητικά σχέδια.

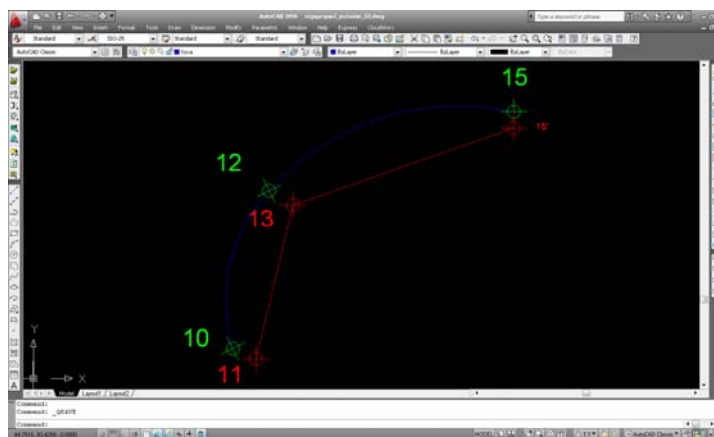
Όσον αφορά τη στάση S2 είναι αντίστοιχα, το σημείο 10 (χώρισμα) πιο αριστερά και το σημείο 11 (βίδες) πιο αριστερά στις αντίστοιχες οριζοντιογραφίες. Προκύπτει ότι τα σημεία που αποτελούν τις βίδες έχουν εξίσωση $Y = 1 \cdot X + 0,4477$ ενώ τα σημεία που αποτελούν τα χωρίσματα έχουν εξίσωση $Y = -2,3511 \cdot X + 5^E + 06$.

Οι τελικές υπολογισμένες συντεταγμένες των χαρακτηριστικών σημείων από την στάση S2 φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Σημείο	Xs (m)	Ys (m)	Zs (m)
10	4411986,103	40,435	373505,441
12	4411987,244	45,008	373505,852
11	4411985,376	40,468	373505,304
13	4411986,445	44,949	373505,304
15	4411992,812	47,640	373505,441

Πίνακας 7.10: Οι τελικές συντεταγμένες των χαρακτηριστικών σημείων από την στάση S2.

Το επόμενο σχέδιο δείχνει την θέση των σημείων αυτών στο σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD. Με κόκκινο χρώμα είναι τα σημεία που αναφέρονται στις βίδες καθώς και οι αποστάσεις που αφορούν αυτά τα σημεία, ενώ με πράσινο χρώμα παρουσιάζονται τα σημεία που αναφέρονται στα χωρίσματα μεταξύ των τόξων του μεταλλότυπου. Τέλος με μπλε χρώμα φαίνονται τα τόξα κυλίνδρου που ξεκινούν και τελειώνουν στα χωρίσματα, τα οποία έχουν ακτίνες 4,800m (10 - 12) και 7,400m (12 - 15).



Σχήμα 7.10: Η θέση των σημείων (βίδες, χωρίσμα) στο σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD.

Με βάση τα σχέδια του μεταλλότυπου που παρατίθενται στο παράρτημα φαίνεται ότι η ανοχή (class of the tolerance) είναι στα 5 mm για απόσταση αποτύπωσης από 6 m έως 30m (roughly). Στην συγκεκριμένη περίπτωση όλες οι αποστάσεις είναι στα 12,682 m κατά μέσο όρο. Οι μετρήσεις και οι αντίστοιχες διαφορές φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Αποστάσεις	Μέτρηση (m)	Θεωρητικό (m)	Διαφορά
(11 – 13)	4,670	4,693	2,3 cm
Τόξα	Μέτρηση (m)	Θεωρητικό (m)	Διαφορά
(10 – 12)	4,927	4,898	3 cm
(12 – 15)	6,437	6,452	1,5 cm

Πίνακας 7.11: Οι μετρήσεις και οι αντίστοιχες διαφορές από τα θεωρητικά σχέδια.

Από τη μελέτη των παραπάνω πινάκων προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι τιμές που προκύπτουν από την αποτύπωση των χαρακτηριστικών σημείων του μεταλλότυπου θόλου έχουν κάποιες σημαντικές διαφορές από τις θεωρητικές τιμές που προκύπτουν από τα σχέδια. Όσον αφορά τα τόξα, αυτά δημιουργήθηκαν στο σχεδιαστικό πακέτο AutoCAD, ορίζοντας την αρχή και το τέλος του, καθώς και την ακτίνα βάση σχεδίων, και παρατηρείται ότι η προσέγγιση αυτή είναι ικανοποιητική διότι η μέγιστη απόκλιση που παρουσιάζουν τα μήκη αυτών των τόξων από τα θεωρητικά είναι στα 3cm για τη στάση S2, ενώ στα 1,3 cm για τη στάση S3. Αυτές οι διαφορές δεν δικαιολογούνται από την ακρίβεια του οργάνου, επομένως ενδέχεται να υπάρχει σφάλμα του παρατηρητή λόγω περιορισμένου χρόνου την ημέρα των μετρήσεων ή τα σχέδια που αφορούν τον μεταλλότυπο να μην είναι τα σωστά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγιναν εφαρμογές Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης κάποιων κατασκευών με τα όργανα Topcon IS 203 και ScanStation 2 με βασική εφαρμογή το μεταλλότυπο θόλο της σήραγγας των Τεμπών. Για την επεξεργασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Cyclone 6.0.3. Με αυτό το λογισμικό έγιναν οι προσαρμογές μαθηματικών επιφανειών στο σύνολο των νεφών σημείων που είχαν ληφθεί από κάθε όργανο. Η ποιότητα των προσαρμογών αυτών ελέγχεται από το δείκτη ανάλυσης Maximum Absolute Error Mean που εκφράζει τη μέγιστη τυπική απόκλιση των σημείων από τη μαθηματική επιφάνεια που προσαρμόζεται και η ιδανική της τιμή είναι το μηδέν. Βέβαια το Cyclone δεν παρέχει πληροφορία που να αφορά στη συνόρθωση της επίλυσης.

Στη συνέχεια θα παρουσιασθούν τα βασικότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την ανάλυση των μετρήσεων.

Από τις προπαρασκευαστικές μετρήσεις προέκυψε ότι:

- Συγκρίνοντας το Topcon IS με το Trimble VX, το πρώτο εκτελεί ταχύτερα τη διαδικασία της σάρωσης, αφού για τα αντίστοιχα βήματα καννάβου συλλέγει μεγαλύτερο πλήθος σημείων και σε λιγότερο χρόνο σε σχέση με το δεύτερο.
- Το Topcon IS αντιμετωπίζει πρόβλημα στη σάρωση επιφανειών όταν αυτές είναι γυάλινες, μεταλλικές ή μεγάλης ανακλαστικότητας καθώς και όταν ο φωτισμός δεν είναι καλός.
- Ας προστεθεί στα μειονεκτήματα του γεωδαιτικού σταθμού και η απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του από τα μπλε γράμματα της δορυφορικής κεραίας με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η σάρωση σε εκείνα τα σημεία.
- Δεν υπάρχει η επιλογή προσαρμογής παραβολοειδούς από το λογισμικό Cyclone, επομένως δεν μπορεί να γίνει οποιαδήποτε σύγκριση ως προς το ποια μαθηματική

επιφάνεια προσαρμόζεται καλύτερα στα σημεία που μετρήθηκαν, απλά μπορούν να παρουσιαστούν μόνο ποιοτικά αποτελέσματα.

- Ο κύλινδρος που εφαρμόζεται στο πάνω και κάτω μέρος βάθρου είναι αντιπροσωπευτικότερος με βάση το νέφος σημείων του ScanStation 2 (M.A.E.=0,006m και 0,011m αντίστοιχα) απ' ότι των σημείων που μετρήθηκαν με συμβατικές μεθόδους και με τη διαδικασία της σάρωσης με το Topcon IS (M.A.E.= 0,016m και 0,012m αντίστοιχα).
- Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις ακτίνες των κυλίνδρων με βάση τα σημεία που αποτυπώθηκαν με συμβατικές μεθόδους διαφέρουν κάποια εκατοστά απ' ότι αυτές που προέκυψαν από τα νέφη σημείων. Γεγονός αναμενόμενο εξ' αιτίας της ακρίβειας προσδιορισμού των παραμέτρων του 2D μετασχηματισμού ομοιότητας ($\sigma_{\Delta X}$, $\sigma_{\Delta Y} \approx 1$ cm) που χρησιμοποιήθηκε για την στροφή και μετάθεση των νεφών σημείων. Η ακρίβεια υπολογισμού των παραμέτρων του μετασχηματισμού παίζει καθοριστικό ρόλο για την εκτίμηση των συντεταγμένων που θα προέλθουν από το μετασχηματισμό.
- Η προσαρμογή της εκάστοτε μαθηματικής επιφάνειας επηρεάζεται από παραμορφώσεις του αντικείμενου. Το λογισμικό Cyclone όμως δεν αναγνωρίζει τέτοιου είδους ανωμαλίες που τυχόν να υπάρχουν πάνω στο αντικείμενο και ενδεχομένως να ενδιαφέρουν τον χρήστη και μόνο ποιοτικά αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν.
- Τέλος για τη συνένωση των επιμέρους νεφών από την αποτύπωση του θόλου αστεροσκοπείου στο κτίριο φυσικής από δύο διαφορετικές στάσεις είχε σαν αποτέλεσμα ένα συνολικό νέφος σημείων με τυπικό σφάλμα συνένωσης 4 mm.

Από την επεξεργασία των μετρήσεων για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του μεταλλότυπου θόλου της σήραγγας προέκυψε ότι:

- Με τη σάρωση με το Topcon IS το αποτέλεσμα και από τις δύο στάσεις ήταν απογοητευτικό. Το όργανο παρουσίασε μεγάλη αδυναμία στη συλλογή νέφους σημείων πάνω στην επιφάνεια του μεταλλότυπου. Ενδεχομένως αυτό συνέβη λόγω της υπερβολικά γυαλιστερής επιφάνειας του μεταλλότυπου και του υλικού του.
- Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των χαρακτηριστικών σημείων που μετρήθηκαν με το Topcon IS συμπεραίνεται ότι οι τιμές που προκύπτουν έχουν κάποιες σημαντικές διαφορές από τις θεωρητικές τιμές που

δίνονται από τα σχέδια. Αυτές οι διαφορές δεν δικαιολογούνται από την ακρίβεια του οργάνου και ενδεχομένως να υπάρχει σφάλμα παρατήρησης των σημείων ή σφάλμα στα τεχνικά σχέδια του μεταλλότυπου.

- Με τη σάρωση με το σαρωτή ScanStation 2 από τη στάση S3 προκύπτουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, και οι προσαρμογές επιφανειών είναι πιο ρεαλιστικές από αυτές που γίνονται στο νέφος σημείων που προέκυψε από τη στάση S1. Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι από τη στάση S3 είναι κατά πολύ μεγαλύτερο το πλήθος σημείων που έχει συλλεχθεί αφού το όργανο παρουσίασε πρόβλημα κατά τη συλλογή του νέφους από τη στάση S1. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο βήμα του καννάβου που είχε οριστεί, στην επίδραση της γεωμετρίας παρατήρησης και στην μεταλλική επιφάνεια του μεταλλότυπου (λεία, γυαλιστερή). Αναφορικά με το βήμα καννάβου, αυτό θα έπρεπε να ήταν μικρότερο, όμως δεν το επέτρεπαν οι συνθήκες. Οι διαφορές των προσαρμοσμένων επιφανειών (κυλίνδρων) από τα σχέδια είναι της τάξης των 3 cm.
- Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι για τη συνένωση των επιμέρους νεφών σημείων από κάθε στάση ακολουθήθηκε η διαδικασία του 2D μετασχηματισμού ομοιότητας. Αυτό συνέβη γιατί δεν υπήρχε το αναγκαίο πλήθος κοινών σημείων (στόχων) μεταξύ των νεφών από κάθε στάση ώστε η ένωση να γίνει αυτόματα μέσω του λογισμικού Cyclone όπως έγινε στο πείραμα του κτιρίου φυσικής. Επομένως η προσαρμογή της μαθηματικής επιφάνειας που έγινε στο συνολικό καλούπι εξαρτάται από την ακρίβεια προσδιορισμού των παραμέτρων του μετασχηματισμού (σ_{DX} , $\sigma_{DY} \approx 1$ cm). Η προσαρμοσμένη επιφάνεια απέχει 6 cm από τις τιμές των θεωρητικών σχεδίων.

Επομένως εάν η διαδικασία των μετρήσεων επαναλαμβανόταν θα είχαν ακολουθηθεί οι παρακάτω διαφορετικές διαδικασίες από πριν, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη βεβαιότητα για την ποιότητα των αποτελεσμάτων αλλά και των μετρήσεων:

1. Θα είχαν τοποθετηθεί περισσότεροι στόχοι στην περιοχή και όχι μόνο οι σφαιρικοί που τοποθετήθηκαν στους τρίποδες, αλλά θα είχαν χρησιμοποιηθεί και κάποιοι μαγνητικοί (τετράγωνοι) τους οποίους φέρει το όργανο, οι οποίοι θα είχαν τοποθετηθεί σε τέτοια θέση ώστε να είναι κοινός και από τις δύο στάσεις του σαρωτή, με αποτέλεσμα περισσότερα κοινά σημεία μεταξύ των διαφορετικών νεφών, οπότε η συνένωση των νεφών να γινόταν αυτόματα μέσα από το λογισμικό Cyclone χωρίς να χρειάζεται να ακολουθηθεί η διαδικασία της γεωαναφοράς των

2. Θα είχε γίνει διερεύνηση της αδυναμία που παρουσιάζει ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203, στη σάρωση μεταλλικών επιφανειών.

Τα πιθανά πεδία για περαιτέρω έρευνα τα οποία μπορούν να αποτελέσουν έναυσμα για μελλοντικές διπλωματικές εργασίες είναι:

1. Χρειάζεται διερεύνηση της αδυναμία που παρουσιάζει ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon IS 203, στη σάρωση μεταλλικών επιφανειών.
2. Ο έλεγχος των σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών (Topcon IS, Trimble VX) που παρέχουν στο χρήστη τη λειτουργία της σάρωσης. Οπότε ο έλεγχος αυτός θα πρέπει να αναφέρεται στην σάρωση διαφόρων αντικειμένων, με διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης, με διαφορετικό κάθε φορά φωτισμό, ώστε να σημειωθούν και να γίνουν γνωστά τα προβλήματα αλλά και τα πλεονεκτήματα των οργάνων αυτών.
3. Η σύγκριση των παραπάνω γεωδαιτικών σταθμών ώστε να καταμετρηθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους.
4. Ο έλεγχος του σαρωτή ScanStation 2 στη σάρωση διαφόρων αντικειμένων, με διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης και με διαφορετικό κάθε φορά φωτισμό. Επίσης να γίνει ο έλεγχος για την ακρίβεια αποτύπωσης των στόχων του για διάφορες γωνίες παρατήρησης.

Στο σημείο αυτό θα ήταν καλό να αναφερθεί ότι το κόστος απόκτησης του σαρωτή ScanStation 2 είναι πολύ μεγάλο, όμως το ασύγκριτο πλεονέκτημα της χρήσης του για τέτοιου είδους εργασίες είναι η ικανότητα συλλογής πολύ μεγάλου πλήθους σημείων σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, η αυτόματη συνένωση των επιμέρους νεφών από διάφορες στάσεις, έχοντας βέβαια τοποθετήσει το επαρκές πλήθος κοινών στόχων (τουλάχιστον 3 κοινούς), καθώς και η πληροφορία που παρέχει για το σφάλμα αυτής της συνένωσης.

Τέλος ένα θετικό στοιχείο και των δύο οργάνων είναι η δυνατότητα που παρέχουν για την επεξεργασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, που είναι χρήσιμη για τον προγραμματισμό αλλά και τον έλεγχο της εκτελούμενης εργασίας.

Βιβλιογραφία

- [1] Π. Μήλας, Χ. Μπιλλήρης, «Μετατροπές Συστημάτων Αναφοράς και Προβολικών Συστημάτων – Υψομετρικά Συστήματα Αναφοράς», Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2006
- [2] Δ. Δ. Μπαλοδήμος, Ε. Λάμπρου, Γ. Πανταζής, «Γεωδαιτικές Μετρήσεις Ακριβείας», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2005
- [3] Α. Μ. Αγάτζα – Μπαλοδήμου, Δ. Δ. Μπαλοδήμος, «Εισαγωγή στη Γεωδαισία», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 1996 - 1997
- [4] Δ. Δ. Μπαλοδήμος, Δ. Σταθάς, Ο. Αραμπατζή, «Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2000
- [5] Σ. Δογγούρης, «Σημειώσεις Βιομηχανικής Γεωδαισίας», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2005
- [6] Γ. Πανταζής, «Σημειώσεις Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Τεχνητών και Φυσικών Κατασκευών σε μεγάλες κλίμακες», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2005
- [7] Δ. Δ. Μπαλοδήμος, Δ. Σταθάς, Ο. Αραμπατζή, «Γεωδαισία. Δίκτυα – Αποτυπώσεις – Χαράξεις», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2000
- [8] Α. Μ. Αγάτζα – Μπαλοδήμου, «Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2000
- [9] Α. Μ. Αγάτζα – Μπαλοδήμου, «Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις ΙΙ», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2000
- [10] Δ. Δ. Μπαλοδήμος, «Ειδικές Γεωδαιτικές Αποτυπώσεις», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.
- [11] Ε. Καντιάνης, Διπλωματική Εργασία «Αποτύπωση διατομών σηράγγων κατά τη διάνοιξη με συμβατικές γεωδαιτικές μεθόδους και επίγειο σαρωτή Laser: Εφαρμογή στη σήραγγα των Τεμπών», ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2010
- [12] Γ. Μπακόπουλος, Διπλωματική Εργασία «Σύγκριση συστημάτων Βιομηχανικής Γεωδαισίας μέσω των λογισμικών Axyz V1.4 και Cyclone 5.1 – Εφαρμογή: Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της επιφάνειας δορυφορικής κεραίας», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2006
- [13] Α. Σόφης, Διπλωματική Εργασία «Γεωμετρική τεκμηρίωση νομέων Υ/Β με μεθόδους Βιομηχανικής Γεωδαισίας», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2008

- [14] Γ. Γκουντινάκος, Διπλωματική Εργασία «Ο Γεωδαιτικός Σταθμός Leica TDA 5005 – Εργαστηριακοί έλεγχοι – Συνδυασμένη χρήση με το λογισμικό Βιομηχανικής Γεωδαισίας Axyz», Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2004
- [15] Ο. Θ. Ντίνης, «Τοπογραφικές Εφαρμογές», εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2009
- [16] Α. Δερμάνης, Δ. Ρωσσικόπουλος, Α. Φωτίου, «Τοπογραφικοί Υπολογισμοί και Συνορθώσεις Δικτύων», εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1994
- [17] Α. Ι. Φωτίου, «Γεωμετρική Γεωδαισία, Θεωρία και Πράξη», εκδόσεις Ζήτη
- [18] Δ. Τσούλης, «Εισαγωγή στην Τοπογραφία», εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2005
- [19] Γ. Καριώτης, Ε. Παναγιωτόπουλος, «Εφαρμοσμένη Τοπογραφία», εκδόσεις Γκιούρδας, Α' τόμος
- [20] Α. Δερμάνης, Α. Φωτίου, «Μέθοδοι και Εφαρμογές Συνορθωσης Παρατηρήσεων», εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1995
- [21] www.Topconpositioning.com
- [22] www.Topconpositioning.eu/index.asp?pajeid
- [23] www.Topcon.co.jp
- [24] www.treecomp.gre/900IS.html
- [25] www.Trimble.com
- [26] www.img.directindustry.com/pdf/repository_di/14795/trimble-S6-total-station_brochure
- [27] www.Amerisurv.com
- [28] www.intargeo-east.com/cd/papers.html
- [29] www.google.com
- [30] www.leicageosystems.com
- [31] www.princeengineering.com
- [32] εγχειρίδιο χρήσης Topcon, Trimble.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Διαδικασία Σάρωσης με ScanStation 2

Η διαδικασία της σάρωσης με το σαρωτή ScanStation 2 της εταιρίας Leica είναι πλήρως αυτοματοποιημένη. Το όλο σύστημα μπορεί εύκολα να στηθεί και να λειτουργήσει ακόμη και με ένα μόνο άτομο. Αρχικά το όργανο τοποθετείται πάνω στον μεταλλικό τρίποδα και συνδέεται με την μπαταρία και με τον ειδικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος έχει εγκατεστημένο το λογισμικό **Cyclone 5.1**, μέσω των αντίστοιχων συνδεσμολογιών. Αφού γίνει η ενεργοποίηση των παραπάνω συσκευών, το σύστημα σάρωσης θα χρειαστεί μερικά λεπτά προθέρμανσης πριν ξεκινήσει τη διαδικασία μέτρησης. Και συγκεκριμένα, το όργανο είναι έτοιμο όταν το φωτάκι που έχει στο πίσω μέρος με την ένδειξη ready γίνει πράσινο.

Έπειτα θα πρέπει να εκτελεσθεί το πρόγραμμα **Cyclone**, και στο αρχικό μενού του (Navigator) θα δημιουργηθεί από τον χρήστη μία καινούργια Database με δεξί κλικ στο server.

Server => Databases => add.

Θα δοθεί ένα όνομα σε αυτή τη βάση (όνομα.imp) που θα περιέχει όλα τα δεδομένα από την κάθε εργασία.

Στην καινούργια βάση που έχει δημιουργηθεί ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Δημιουργία Project:
database => δεξί κλικ => create => project
- Δημιουργία του πρώτου ScanWorld που θα χρησιμοποιηθεί:
project => δεξί κλικ => create => ScanWorld

Στο ScanWorld αποθηκεύονται οι σαρωμένες επιφάνειες και οι φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από το όργανο στη θέση που έχει στηθεί. Σε κάθε νέα θέση που θα τοποθετείται το όργανο πρέπει οπωσδήποτε ο χρήστης να αλλάξει (ορισμός καινούργιου) ScanWorld, αλλιώς όλες οι μετρήσεις θα είναι λάθος.

Το πρώτο Scan

Ακολουθεί η διαδικασία της σάρωσης, η οποία πραγματοποιείται με τα ακόλουθα βήματα:

1. Με διπλό κλικ πάνω στην εντολή **scanner** στο αρχικό μενού **Navigator** ανοίγει το **scan control**. Επομένως ο χρήστης έχει την δυνατότητα να βλέπει στην οθόνη του υπολογιστή που ακριβώς σκοπεύει το όργανο.
2. Ο χρήστης επιλέγει το Project που έχει δημιουργήσει νωρίτερα.
3. Ο χρήστης θα πρέπει να ενεργοποιήσει την εντολή (εάν δεν είναι ήδη ενεργοποιημένη) **Enable dual axis compensator**.
4. Έπειτα, μόλις η ένδειξη ready του scanner πρασινίσει ο χρήστης θα πρέπει να συνδέσει τον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τον scanner, άρα από την εντολή **scanner => connect**.
5. Βέβαια για να γίνει και η λεπτομερής οριζοντίωση του οργάνου ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει την εντολή **View bubble adjustment**. Η μερική οριζοντίωση του οργάνου έχει ήδη γίνει κατά την διαδικασία της τοποθέτησής του πάνω στον τρίποδα.
6. Στην συνέχεια θα γίνει η επιλογή του ScanWorld που έχει δημιουργηθεί νωρίτερα, κάνοντας

Project=> select a ScanWorld

7. Καλό είναι πάντα να υπάρχει μία εικόνα 3D από την περιοχή, για καλύτερη μετέπειτα επεξεργασία. Επομένως

Image => get image (high resolution)

Επίσης για να τραβήξει το όργανο φωτογραφία όλης της περιοχής, δηλαδή φωτογραφία 360°, ακολουθείται η παρακάτω εντολή (σε χρόνο 5 λεπτών).

Field of view=> presets => target all

8. Δεξιά υπάρχει η καρτέλα **Resolution**, στην οποία μπορεί ο χρήστης να ορίσει την ανάλυση (βήμα καννάβου) που επιθυμεί να έχει η σάρωση που θα γίνει στο αντικείμενο. Πολύ σημαντικό είναι να οριστεί το βάθος πεδίου (**Range**) στο οποίο βρίσκεται το προς αποτύπωση αντικείμενο και στο οποίο αναφέρεται η ανάλυση που έχει οριστεί στην σελίδα **Resolution**.
9. Τέλος επιλέγοντας ο χρήστης την εντολή **scan** ξεκινάει η σάρωση.

Το scanner διαθέτει δύο παράθυρα από τα οποία καταγράφει διαφορετικές γωνίες του πεδίου. Το μπροστινό παράθυρο λαμβάνει κατακόρυφες γωνίες από -45° μέχρι 32° , ενώ το πάνω παράθυρο από $22,5^{\circ}$ μέχρι 90° μοίρες. Δεδομένου ότι το σκανάρισμα γίνεται πρώτα από το μπροστινό και μετά από το πάνω παράθυρο, θα ήταν προτιμότερο, αν δεν είναι απαραίτητο, να ορίζονται τα όρια σκαναρίσματος σύμφωνα με το ένα παράθυρο (λογικά το μπροστινό). Έτσι ο χρόνος σκαναρίσματος είναι μικρότερος (αν χρησιμοποιούνται και τα δύο παράθυρα είναι 2x).

Μπορούν να γίνουν όσα διαφορετικά σκαναρίσματα επιθυμεί ο χρήστης, από την ίδια θέση. Αυτά μπορούν να εμφανιστούν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ταυτόχρονα, χωρίς να επηρεάζουν το ένα το άλλο.

Ακριβής αποτύπωση στόχων (acquire targets)

Μόλις τελειώσει το σκανάρισμα θα πρέπει να γίνει και η λεπτομερής αποτύπωση των στόχων που έχουν τοποθετηθεί στην περιοχή. Αυτό θα γίνει με τα ακόλουθα βήματα:

1. Ο χρήστης θα πρέπει να ανοίξει ένα **viewer**, όπου εκεί φαίνεται το νέφος των σημείων που έχουν παρθεί από το σαρωτή, καθώς και οι στόχοι. Αυτό γίνεται με την εντολή

Project =>Open Modelspace Viewer

2. Ο χρήστης έπειτα θα πρέπει να επιλέξει από την εργαλειοθήκη την επιλογή **multi pick mode** (για το ποντίκι), και στην συνέχεια να επιλέξει ένα σημεία του νέφους σημείων για κάθε στόχο, το οποίο πρέπει να απέχει το πολύ 2 ίντσες από το κέντρο του στόχου.
3. Μόλις ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, της επιλογής των στόχων, ο χρήστης θα πρέπει να επιστρέψει στο Scan Control παράθυρο. Εκεί θα επιλέξει Scanner

Controls => Acquire targets

4. Στην συνέχεια θα πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο εικονίδιο ανάλογα με το είδος του στόχου που έχει χρησιμοποιηθεί. Αυτό είναι **HDS Target** είτε **Sphere Target**. Προσθέτονται έτσι τα σημεία που έχουν επιλεγεί στο Modelspace Viewer.
5. Τέλος στο πινακάκι φαίνεται το είδος του στόχου που έχει επιλεγεί και υπάρχει η δυνατότητα ο χρήστης να του δώσει όνομα και να το δει στην

οθόνη αφού το επιλέξει. Επίσης ο χρήστης θα πρέπει να τσεκάρει κουτάκι του “Acquire” και να πατήσει **Acquire**.

6. Αυτό που κάνει τώρα το scanner είναι: κεντράρισμα σε κάθε στόχο ξεχωριστά, καταγραφή αυτού με μεγαλύτερη ακρίβεια, εύρεση του κέντρου του και τοποθέτηση ενός διανύσματος στο κέντρο αυτού. Επίσης, οι στόχοι αυτοί καταχωρούνται στο “**ControlSpace**”.

Σημείωση: Το όργανο καθώς ανοίγει, ορίζει τον μηδενισμό του μόνο του. Δεν μπορεί ο χρήστης να του δώσει ακριβές σημείο μηδενισμού. Επίσης σε κάθε νέο σημείο που τοποθετείται το όργανο, θεωρείται σαν (0,0,0).

Επεξεργασία νεφών σημείων στο λογισμικό Cyclone

Με τη χρήση του λογισμικού Cyclone το οποίο παρέχεται μαζί με το σαρωτή μπορεί να γίνει επεξεργασία στα νέφη σημείων τα οποία προκύπτουν από τις διάφορες σαρώσεις.

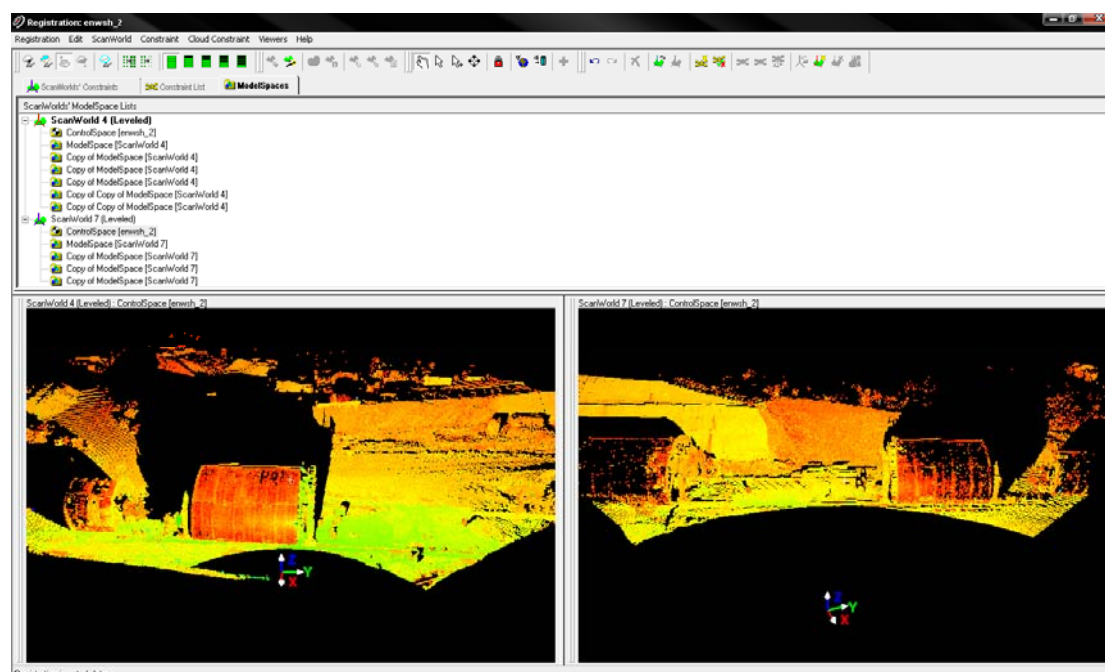
Κατά την επεξεργασία γίνεται ένωση όλων των νεφών και γεωαναφέρονται στο τοπικό σύστημα. Ακολούθως πραγματοποιείται καθαρισμός των νεφών από τα ανεπιθύμητα αντικείμενα, όπως έδαφος και δένδρα.

Σε αρχικό στάδιο πραγματοποιείται συνένωση και γεωαναφορά των νεφών που συλλέχθηκαν με τον επίγειο σαρωτή laser. Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα συνένωσης των νεφών με δύο μεθόδους. Η πρώτη επιτυγχάνεται με χρήση ειδικών στόχων και η δεύτερη με χρήση ομόλογων σημείων. Πριν γίνει η συνένωση των νεφών προηγείται η μεταφορά τους από τον υπολογιστή που χρησιμοποιεί ο σαρωτής, σε υπολογιστή μεγαλύτερης υπολογιστικής ισχύος.

Η συνένωση των επιμέρους νεφών γίνεται με τη χρήση της ρουτίνας **Registration** του Cyclone. Στη σελίδα αυτή εισάγονται τα αντίστοιχα ScanWorld και επιλέγονται τα Model Spaces που πρέπει να ενωθούν. Έπειτα με την εντολή **Auto Add Constrains** το πρόγραμμα εντοπίζει τους κοινούς στόχους μεταξύ των νεφών και με την εντολή **Register** τα νέφη συνενώνονται, γεωαναφέρονται και υπολογίζονται τα στατιστικά σημεία με την επιλογή της εντολής **Registration diagnostics**. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εξαιρέσει τα σημεία με τα μεγαλύτερα σφάλματα και να επαναλάβει τη


διαδικασία έως ότου το μέσο τετραγωνικό σφάλμα να περιοριστεί στα επιθυμητά όρια.

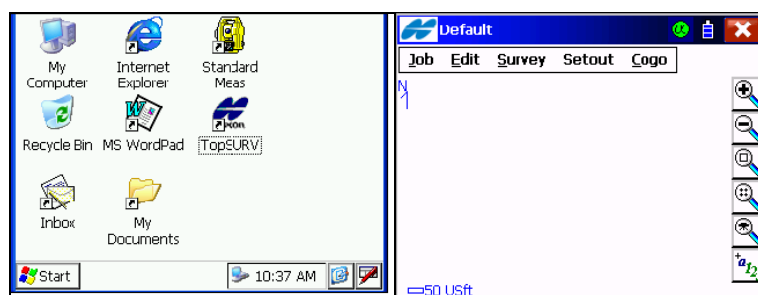
Για την συνένωση με τη χρήση ομόλογων σημείων, επιλέγονται τα νέφη που θα λάβουν μέρος στη συνένωση και έπειτα με την εντολή Add Cloud Constrains εμφανίζονται στην οθόνη δύο παράθυρα στα οποία παρουσιάζονται τα δύο νέφη. Στην συνέχεια επιλέγονται τουλάχιστον τρία ομόλογα σημεία στην επικαλυπτόμενη περιοχή και εκτελείται η συνόρθωση των νεφών με την εντολή Optimize Cloud Alignment. Τα ομόλογα σημεία πρέπει να καλύπτουν κατά το δυνατό όλη την επικαλυπτόμενη περιοχή και να μην είναι συνευθειακά. Αν η σύγκλιση είναι ικανοποιητική τότε το νέφος χαρακτηρίζεται Aligned. Σε κάποιες περιπτώσεις, όμως, η διαδικασία κρίνεται ανεπιτυχής και το συνενωμένο νέφος χαρακτηρίζεται ως Aligned/Underconstrain, αυτό δείχνει ότι η συνένωση είναι υποορισμένη, δηλαδή έχει επιτευχθεί με μικρή ακρίβεια, με τους ελάχιστους περιορισμούς. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης ελέγχει τα ομόλογα σημεία, εξαιρεί αυτά με τη μικρότερη ακρίβεια ή προσθέτει άλλα, αν εξακολουθεί το νέφος να παραμένει υποορισμένο μπορούν να αλλάξουν οι παράμετροι της συνένωσης, όπως, οι επαναλήψεις της συνόρθωσης ή και το ποσοστό των σημείων που συγκρίνονται στην επικαλυπτόμενη περιοχή. Αν το συνενωμένο νέφος εξακολουθεί να παραμένει υποορισμένο, τότε το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα παρατήρησης του συνενωμένου νέφους και αν η συνένωση κρίνεται ικανοποιητική και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα βρίσκεται στα επιθυμητά πλαίσια, πραγματοποιείται η συνένωση.




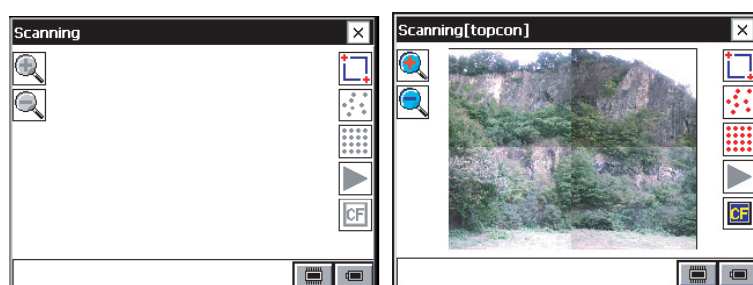
Εικόνα1: Η οθόνη της ρουτίνας Registration του Cyclone.



Διαδικασία Σάρωσης με Topcon IS 203

Για να τεθεί το όργανο σε λειτουργία θα πρέπει ο χρήστης να πατήσει το πράσινο κουμπί που βρίσκεται στο πλάι του οργάνου. Μετά το άνοιγμα του, η αρχική εικόνα που εμφανίζεται είναι η ακόλουθη. Ο χρήστης θα πρέπει έπειτα να κάνει διπλό κλικ στο εικονίδιο  για να βρεθεί στην κεντρική οθόνη του προγράμματος **TopSURV**. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.



Στην συνέχεια θα πρέπει να επιλεγεί από το πτυσσόμενο μενού **Survey** η εντολή **scanning**. Πατώντας την εντολή αυτή θα εμφανιστεί η ακόλουθη οθόνη (με ήδη παρμένη εικόνα, και χωρίς), η οποία αριστερά έχει τις δύο επιλογές zoom in, zoom out, ενώ δεξιά υπάρχουν οι βασικές λειτουργίες για να πραγματοποιηθεί το scanning. Η πρωταρχική εικόνα που εμφανίζεται είναι η εικόνα 1, ενώ με την χρήση της εντολής επάνω δεξιά () δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να οριοθετήσει (μέσα σε τετράγωνο, πολύγωνο, όλα γύρω, μία γραμμή, καθορισμός αεροπλάνου) το προς αποτύπωση αντικείμενο, καθώς και να του δώσει όνομα.



Το κουμπί  χρησιμοποιείται για να γίνουν οι ρυθμίσεις της διαδικασίας σάρωσης, και το κουμπί  δίνει την εντολή να ξεκινήσει η σάρωση του αντικειμένου που ενδιαφέρει.

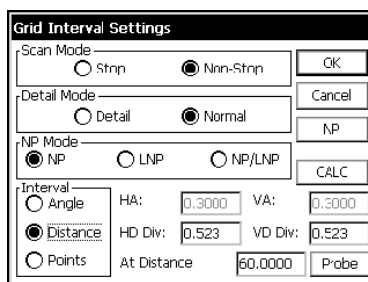
Γενικά υπάρχουν δύο ειδών μέθοδοι scanning που μπορεί το όργανο να πραγματοποιήσει, αυτές είναι:

- **Grid Scan:** αυτή η μέθοδος λαμβάνει νέφος σημείων από αυτόματο scanning από ένα συγκεκριμένο αριθμό σημείων σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- **Feature Scan:** αυτή η μέθοδος εξάγει εικόνες (γωνίες) από την εικόνα από την συγκεκριμένη περιοχή με την κάμερα που διαθέτει το IS. Οι εικόνες μπορούν να σκαναριστούν αυτόματα ή να μετρηθούν με χειροκίνητα.

Στην συνέχεια φαίνονται οι επιλογές που υπάρχουν στην οθόνη του οργάνου για τους πέντε διαφορετικούς τρόπους σάρωσης:



Όταν λοιπόν ο χρήστης πατήσει το κουμπί (☐) θα εμφανιστεί στην οθόνη το μενού που φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Οι ρυθμίσεις που είναι επιλεγμένες ήδη από το όργανο είναι: **Non stop** για το Scan Mode, **Normal** για το Detail Mode και **Angle** για το Interval. Στην συγκεκριμένη διπλωματική, στην καρτέλα Interval είχε επιλεγεί η ρύθμιση Distance.



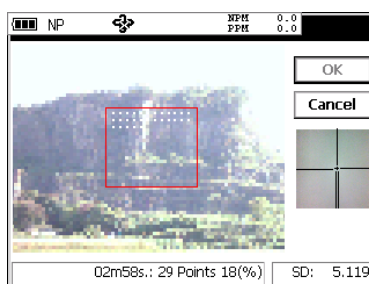
Ας σημειωθεί ότι στην καρτέλα **NP Mode**, οι ρυθμίσεις που μπορούν να επιλεγούν έχουν κάποια κριτήρια:

- **Normal**: Όταν η απόσταση μεταξύ οργάνου και αντικειμένου είναι από 3 – 120 μέτρα.
- **Long**: Όταν η απόσταση μεταξύ οργάνου και αντικειμένου είναι από 30 – 1200 μέτρα.
- **Normal/Long**: Αυτή η ρύθμιση είναι επιλεγμένη αυτόματα.

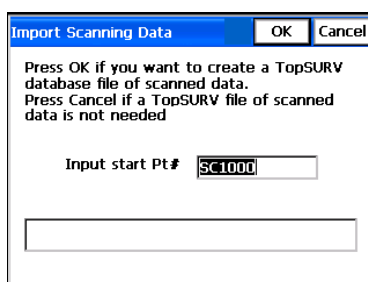
Επίσης στην καρτέλα **Interval**, όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ τριών επιλογών (Angle, Distance, Points) ας σημειωθεί η διαφορά αυτών:

- **Angle**: Επιλέγεται το βήμα των γωνιών οριζόντια (H) και κατακόρυφα (V).
- **Distance**: Πρώτα θα πρέπει ο χρήστης να πληκτρολογήσει την απόσταση που επιθυμεί, ή πατώντας το κουμπί (Probe) να την μετρήσει το όργανο αυτόματα, και στην συνέχεια να ορίσει το επιθυμητό βήμα καννάβου.
- **Points**: εδώ ο χρήστης ορίζει τις οριζόντιες (H) και κατακόρυφες (V) γραμμές σημείων.

Στην συνέχεια θα πρέπει ο χρήστης να πατήσει το κουμπί (OK) το οποίο βρίσκεται επάνω δεξιά σε αυτή την οθόνη, ώστε να προχωρήσει στην σάρωση του αντικειμένου. Στην εικόνα εικόνα3 φαίνεται η οθόνη του οργάνου κατά την διάρκεια σάρωσης μίας επιφάνειας. Το όργανο ενημερώνει τον χρήστη για την κατάσταση της μπαταρίας, για τον χρόνο που διαρκεί το scanning, για το πλήθος των σημείων που συλλέγονται καθώς και το ποσοστό επί τις εκατό που βρίσκεται η διαδικασία.



Τέλος μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία του scanning, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την επιλογή (OK). Εάν ο χρήστης επιθυμεί την έξοδο του από το μενού της λειτουργίας scanning και πατήσει το κουμπί της εξόδου, τότε θα εμφανιστεί η επόμενη οθόνη στην οποία ερωτάτε εάν θα αποθηκευτούν οι σαρώσεις. Με την επιλογή (OK) οι σαρώσεις θα αποθηκευτούν σε μία νέα βάση δεδομένων μέσα στο όργανο.



Σημαντικό είναι να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι οι εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί αποθηκεύονται στον φάκελο (**Internal Disk**) του οργάνου. Μέσα εκεί βρίσκεται όλη η δουλειά σαν βάση δεδομένων, καθώς και υποφακέλοι με τις φωτογραφίες από τις σαρώσεις, και άλλα σημαντικά δεδομένα. Το αρχείο της δουλειάς που θα πρέπει να κατεβάσει ο χρήστης από το όργανο έχει την μορφή (**όνομα.tsj**).

Ο χρήστης θα πρέπει να έχει εγκατεστημένο στον υπολογιστή του το λογισμικό Topcon Link, το οποίο συνοδεύει το όργανο κατά την αγορά του. Έχοντας αυτό το λογισμικό γίνεται δυνατή η μεταφορά των αρχείων από το όργανο στον υπολογιστή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Μετασχηματισμός Ομοιότητας 2D

Πολλές φορές στην πράξη υπάρχει η ανάγκη να συσχετιστούν χάρτες ή τοπογραφικά διαγράμματα που αναφέρονται σε διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων. Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο μετασχηματισμός ομοιότητας (similarity transformation) στο επίπεδο αρκεί να υπάρχουν κοινά σημεία που οι συντεταγμένες τους να είναι γνωστές και στα δύο συστήματα αναφοράς.

Ο μετασχηματισμός ομοιότητας είναι συνδυασμός μετάθεσης (κατά x και y), στροφής και κλίμακας, όπου η γωνία στροφής (ϵ) μετριέται αριστερόστροφα από τον άξονα X και η κλίμακα (k) είναι ενιαία για το επίπεδο εφαρμογής. Η χαρακτηριστική ιδιότητα του μετασχηματισμού ομοιότητας είναι ότι διατηρούνται τα σχήματα κάτι που χαρακτηρίζει όλες τις σύμμορφες προβολές (μερκατορική προβολή, εγκάρσια μερκατορική προβολή, η σύμμορφη κωνική του Lambert με δυο βασικούς παράλληλους και η στερεογραφική αζιμουθιακή).

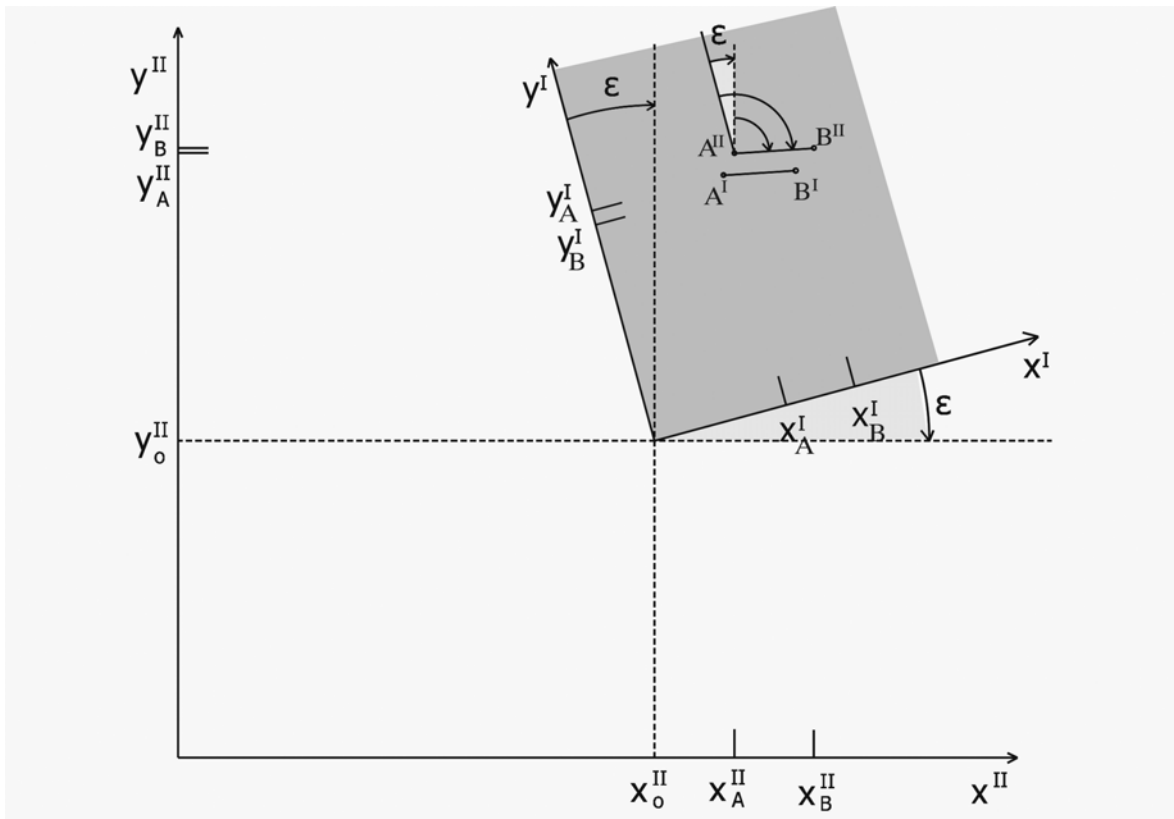
Σε πρώτη φάση πρέπει να προσδιοριστούν οι παράμετροι που ορίζουν το μετασχηματισμό, κάτι που συνήθως γίνεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και που προϋποθέτει την ύπαρξη περισσότερων δεδομένων από το πλήθος των αγνώστων που πρόκειται να προσδιοριστούν. Επιπλέον τα κοινά σημεία πρέπει να είναι καλά καταμεμημένα στη περιοχή εφαρμογής για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Τέλος αφού οι παράμετροι του μετασχηματισμού έχουν προσδιοριστεί ακολουθεί ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων για όλα τα υπόλοιπα σημεία.

Η ακρίβεια των παραμέτρων του μετασχηματισμού παίζει καθοριστικό ρόλο για την εκτίμηση των συντεταγμένων που θα προέλθουν από ένα τέτοιο μετασχηματισμό και επομένως για το αν ικανοποιεί ή όχι ανάλογα με τις ανάγκες και τη φύση της συγκεκριμένης εργασίας.

Η γενική σχέση που συνδέει τις επίπεδες ορθογώνιες συντεταγμένες δύο συστημάτων (I και II) με βάση τον μετασχηματισμό αυτό είναι:

$$\begin{bmatrix} x^{\text{II}} \\ y^{\text{II}} \end{bmatrix} = \kappa \mathbf{R} \begin{bmatrix} x^{\text{I}} \\ y^{\text{I}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0^{\text{II}} \\ y_0^{\text{II}} \end{bmatrix} \quad \text{όπου} \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon \\ \sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{bmatrix}$$

Όπου $(x_0^{\text{II}}, y_0^{\text{II}})$ είναι οι τιμές της μετάθεσης για μετάβαση από το σύστημα (I) στο (II) ή οι συντεταγμένες της αρχής του συστήματος (I) ως προς το σύστημα (II) και ε είναι η γωνία στροφής (αριστερόστροφα) του συστήματος (I) ώστε να γίνει παράλληλο με το σύστημα (II).



Σε μορφή γραμμικών σχέσεων η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$\begin{aligned} x_i^{\text{II}} &= \kappa \cos(\varepsilon) x_i^{\text{I}} - \kappa \sin(\varepsilon) y_i^{\text{I}} + x_0^{\text{II}} \\ y_i^{\text{II}} &= \kappa \sin(\varepsilon) x_i^{\text{I}} + \kappa \cos(\varepsilon) y_i^{\text{I}} + y_0^{\text{II}} \end{aligned}$$

Συνήθως όμως ο μετασχηματισμός ομοιότητας εφαρμόζεται με τις παρακάτω γραμμικές σχέσεις, όπου για κάποιο σημείο (i) ισχύει:

$$\begin{aligned}x_i'' &= A \cdot x_i' + B \cdot y_i' + C \\y_i'' &= -B \cdot x_i' + A \cdot y_i' + D\end{aligned}$$

Τότε οι γεωμετρικές παράμετροι του μετασχηματισμού (μετάθεση, στροφή και κλίμακα) συσχετίζονται με τους συντελεστές των γραμμικών σχέσεων (A, B, C και D) από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\Delta x = C \text{ και } \Delta y = D \text{ (μετάθεση)}$$

$$\varepsilon = \arctan(B/A) \text{ (στροφή)}$$

$$k = (A^2 + B^2)^{1/2} \text{ (κλίμακα)}$$

Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων – Έμμεσες Παρατηρήσεις

➤ Εξισώσεις παρατήρησης (γενική μορφή)

$$\begin{aligned}
 l_1 + u_1 &= a_{10} + a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1m} \cdot x_m \\
 l_2 + u_2 &= a_{20} + a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2m} \cdot x_m \\
 &\dots\dots\dots \\
 l_n + u_n &= a_{n0} + a_{n1} \cdot x_1 + a_{n2} \cdot x_2 + \dots + a_{nm} \cdot x_m
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

όπου : x_1, x_2, \dots, x_m οι καλλίτερες τιμές των m ανεξάρτητων καθοριστικών παραμέτρων

l_1, l_2, \dots, l_n οι μετρημένες τιμές των n στοιχείων που μετρήθηκαν

u_1, u_2, \dots, u_n τα πιθανά ή φαινόμενα σφάλματα των μετρήσεων

Σε μορφή πινάκων το σύστημα των εξισώσεων παρατήρησης γράφεται :

$$\mathbf{l} + \mathbf{u} = \mathbf{a} + \mathbf{A}\mathbf{x}
 \tag{2}$$

όπου :

$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \\ \vdots \\ a_{n0} \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}
 \tag{3}$$

Τα στοιχεία του πίνακα \mathbf{A} των συντελεστών των άγνωστων θεωρούνται χωρίς σφάλμα. Ο πίνακας \mathbf{A} λέγεται και πίνακας σχεδιασμού. Επίσης χωρίς σφάλμα θεωρούνται και τα στοιχεία του πίνακα \mathbf{a} που υπάρχει περίπτωση να είναι και μηδενικά. Το σύστημα των

εξισώσεων παρατήρησης περιέχει n εξισώσεις όσες και οι μετρήσεις και $n(u_i) + m(x_i)$ άγνωστα μεγέθη. Άρα η λύση θα ικανοποιεί την δέσμευση της Μ.Ε.Τ.

$$S^2 = \mathbf{u}^T \mathbf{P} \mathbf{u} = \min \Rightarrow \frac{\partial S^2}{\partial \mathbf{x}} = 0 \quad (4)$$

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει η υπενθύμιση ότι το \mathbf{x} είναι η καλύτερη τιμή των άγνωστων καθοριστικών παραμέτρων.

➤ Εκτίμηση του \mathbf{x}

$$\text{Από την σχέση : } \mathbf{I} + \mathbf{u} = \mathbf{a} + \mathbf{A}\mathbf{x} \Rightarrow \mathbf{u} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{a} - \mathbf{I} \Rightarrow \mathbf{u} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{\delta I} \quad (5)$$

Αν στην σχέση $\frac{\partial S^2}{\partial \mathbf{x}} = 0$ αντικατασταθεί το S^2 με το $\mathbf{u} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{\delta I}$ και με επίλυση της εξίσωσης το αποτέλεσμα είναι η εξίσωση :

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{\delta I} \Rightarrow \mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{\delta I} \quad (6)$$

Αν οι μετρήσεις είναι ισοβαρείς τότε ο πίνακας \mathbf{P} είναι ο μοναδιαίος \mathbf{I} άρα το \mathbf{x} υπολογίζεται από την σχέση :

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{\delta I} \quad (7)$$

Στους παραπάνω τύπους το διάνυσμα \mathbf{x} αποτελεί την καλύτερη τιμή.

➤ Εκτίμηση του \mathbf{V}_x (a priori).

Από τον τύπο $\mathbf{x} = \mathbf{A} \mathbf{\delta I} \Rightarrow \mathbf{V}_x = \mathbf{A} \mathbf{V}_{\delta I} \mathbf{A}^T$ και $\mathbf{V}_I = \sigma_o^2 \mathbf{P}^{-1}$ με αντικατάσταση από τους παραπάνω τύπους προκύπτει : $\mathbf{V}_x = \sigma_o^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}$ (a priori, εκτίμηση μεταβλητοτήτων πριν την συνόρθωση). Πάντα στους τύπους εισάγεται η καλύτερη τιμή του διανύσματος \mathbf{x} .

➤ Εκτίμηση του \mathbf{V}_I (a priori).

Από τις σχέσεις : $\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{\delta I}$, $\mathbf{V}_I = \mathbf{V}_{\delta I}$ και $\mathbf{V}_x = \sigma_o^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1}$ προκύπτει :

$$\mathbf{V}_I = \sigma_o^2 \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T$$

Στους παραπάνω τύπους χρησιμοποιούνται οι καλύτερες τιμές των διανυσμάτων $\mathbf{x}, \mathbf{l}, \mathbf{\delta l}$.

Όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί είναι a priori υπολογισμοί. Δηλαδή οι πίνακες μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας με τους τύπους που δόθηκαν μπορούν να υπολογιστούν πριν γίνουν οι μετρήσεις.

➤ Εκτίμηση των μεταβλητοτήτων μετά την συνόρθωση (a posteriori).

Αφού υπολογιστεί η καλλίτερη τιμή του διανύσματος \mathbf{x} από τους γνωστούς τύπους, με αντικατάσταση της στις εξισώσεις παρατηρήσεις, προκύπτει το διάνυσμα των υπόλοιπων \mathbf{u} .

Τα n γινόμενα $\mathbf{u}_i^2 \mathbf{P}_i$ δίνουν n ισοβαρείς εκτίμησης της μεταβλητότητας της μονάδας βάρους, όπου οι $n-m$ είναι ανεξάρτητες. Άρα οι ανεπηρέαστη, από τις ανεξάρτητες καθοριστικές παραμέτρους, εκτίμηση της μεταβλητότητας της μονάδας βάρους θα δίνεται

από την σχέση :
$$\sigma_o^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n - m} \quad (8) \quad (\text{a posteriori μεταβλητότητα μονάδας βάρους}).$$

Από την σχέση $\mathbf{u} = \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{\delta l}$ και με αντικατάσταση στον τύπο $S^2 = \mathbf{u}^T \mathbf{P} \mathbf{u}$ το σ_o^2 υπολογίζεται

από την τελική σχέση :
$$\sigma_o^2 = \frac{\mathbf{\delta l}^T \mathbf{P} \mathbf{\delta l} - \mathbf{x}^T \mathbf{N} \mathbf{x}}{n - m}$$
 όπου x καλλίτερη τιμή.

Εάν \mathbf{V}_i ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας των μετρήσεων από εκτιμήσεις πριν την συνόρθωση, μετά την συνόρθωση θα είναι :

$$\mathbf{V}_i = \mathbf{s}_o^2 \mathbf{P}^{-1} = \frac{\sigma_o^2 \mathbf{V}_i}{\sigma_o^2} \quad \text{όπου: } \sigma_o \text{ στον αριθμητή (a posteriori), } \mathbf{V}_i \text{ a posteriori} \quad (9)$$

Από τα παραπάνω καταλήγουμε στους τύπους των μεταβλητοτήτων μετά την συνόρθωση:

$$\mathbf{V}_x = \sigma_o^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \quad (10)$$

$$\mathbf{V}_l = \sigma_o^2 \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \quad (11)$$

Όπου $\sigma_o, \mathbf{V}_x, \mathbf{V}_l$ a posteriori τιμές.