



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

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ
ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ ΤΟΥ
Σ.Ε.Φ. ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΕΠΙΓΕΙΑΣ
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ**



ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ

ΓΙΩΡΓΟΣ Δ. ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ
ΕΛΙΣΑΒΕΤ Χ. ΤΕΛΕΙΩΝΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΙΜΙΛΙΑ Μ. ΙΩΑΝΝΟΥ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που συνέβαλλαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στην υλοποίηση της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες Λέκτορες του ΕΜΠ, την κυρία Τελειώνη Ελισάβετ και τον κύριο Γεωργόπουλο Γιώργο, για την ανάθεση της εργασίας, τη συνεχή επικοινωνία και βοήθεια καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αρχιτέκτονα Μηχανικό κ. Αθανάσιο Ροζολή, Διευθυντή Τεχνικών Υπηρεσιών του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας καθώς και όλο το προσωπικό για τη βοήθεια τους και τη παροχή χώρου φύλαξης του εξοπλισμού μας εντός του σταδίου.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου Ολυμπία Λάγγα και Γιώργο Αντωνίου για την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας και τη φίλη μου Δήμητρα Σγούρδου για τη πολύτιμη βοήθεια της σε ορισμένες μεταφράσεις από την αγγλική βιβλιογραφία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, την αδερφή μου Κωνσταντίνα και τους φίλους μου για την κατανόηση και την στήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα.

Αιμιλία Μ. Ιωάννου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	8
1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΕΙΡΗΝΗΣ ΚΑΙ ΦΙΛΙΑΣ.....	12
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	13
2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ Σ.Ε.Φ.....	14
2.2.1 Η θεμελίωση του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας.....	14
2.2.2 Χωροταξικά στοιχεία.....	15
2.2.3 Κατασκευαστικά στοιχεία.....	16
2.3 ΣΤΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.....	20
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	21
3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.....	22
3.2.1 Φυσικές μέθοδοι.....	22
3.2.2 Γεωδαιτικές μέθοδοι.....	23
3.2.3 Φωτογραμμετρική μέθοδος.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Ο ΕΠΙΓΕΙΟΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ LASER ΣΑΡΩΤΗΣ.....	28
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	29
4.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΑΡΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ LASERSCANNER.....	29
4.2.1 Η λειτουργία του σαρωτή.....	30
4.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ.....	33
4.3.1 Σαρωτές επαφής.....	34
4.3.2 Σαρωτές απόστασης.....	34
4.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	37
4.4.1 Συνένωση νέφους σημείων (Registration).....	38
4.4.2 Γεωαναφορά νέφους (Geo-reference).....	41
4.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	42
4.6 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	43
4.6.1 Διαστάσεις κουκίδας Laser.....	43
4.6.2 Ακρίβεια μέτρησης απόστασης.....	43
4.6.3 Ακρίβεια μέτρησης γωνίας.....	44
4.6.4 Εκτίμηση ακρίβειας μέτρησης σημείου.....	44
4.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	45
4.7.1 Βήμα σάρωσης.....	45
4.7.2 Θόρυβος.....	46
4.7.3 Ατμοσφαιρικές συνθήκες.....	46
4.7.4 Ανακλαστικότητα.....	46
4.7.5 Σφάλμα ακμής.....	47

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Το Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας.....	13
Εικόνα 2 : Η κάτοψη του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας.....	16
Εικόνα 3 : Τα δομικά στοιχεία του σταδίου.....	18
Εικόνα 4 : Σχηματική αναπαράσταση της λογικής της φωτομηχανής.....	30
Εικόνα 5 : Κωνοειδές πεδίο σαρωτή.....	31
Εικόνα 6 : Εκπομπή δέσμης Laser.....	33
Εικόνα 7 : Σαρωτές επαφής φορητού τύπου και τύπου γέφυρας.....	34
Εικόνα 8 : Αρχή λειτουργίας της Time of Flight τεχνικής τρισδιάστατης ανίχνευσης.....	36
Εικόνα 9 : Σαρωτής τεχνολογίας Time of Flight.....	37
Εικόνα 10: Τετραγωνικός ειδικός στόχος, κυκλικοί ειδικοί στόχοι.....	40
Εικόνα 11: Ειδικός σφαιρικός στόχος για τον σαρωτή ScanStation2.....	40
Εικόνα 12: Σάρωση αντικειμένου από διαφορετικές θέσεις σαρωτή.....	41
Εικόνα 13: Ορειχάλκινο μπουλόνι.....	52
Εικόνα 14: Σήμανση στόχων.....	52
Εικόνα 15: Ο επίγειος τρισδιάστατος laser σαρωτής.....	60
Εικόνα 16: Απαραίτητος εξοπλισμός για σάρωση.....	61
Εικόνα 17: Το λογισμικό Cyclone	62
Εικόνα 18: Ύψος οργάνου (σαρωτή).....	63
Εικόνα 19: Ο σαρωτής οριζοντιωμένος και κεντρωμένος στην κορυφή 2 του δικτύου, ειδικός στόχος τοποθετημένος στην κορυφή 9.....	65
Εικόνα 20: Απαλοιφή θορύβου στο Cyclone.....	70
Εικόνα 21: Τρισδιάστατο μοντέλο του σταδίου μετά την απαλοιφή του θορύβου.....	70
Εικόνα 22: Προβολή του μοντέλου με την απόχρωση Topo 3.....	71
Εικόνα 23: Απεικόνιση του επιπέδου αναφοράς της τομής.....	72
Εικόνα 24: Απεικόνιση της τομής του δακτυλίου.....	72
Εικόνα 25: Τα σημεία που ορίζουν το δακτύλιο.....	76
Εικόνα 26: Κάτοψη σταδίου.....	76
Εικόνα 27: Προβολή των σημείων του δακτυλίου σε οριζόντιο επίπεδο.....	77
Εικόνα 28: Οι κάτω ακμές των δοκών των υποστυλωμάτων.....	80

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Κατηγοριοποίηση των επίγειων σαρωτών Laser.....	33
Σχήμα 2: Συνένωση των νεφών σημείων.....	38
Σχήμα 3: Το δίκτυο οριζοντίου ελέγχου.....	51
Σχήμα 4: Εύρος πεδίου ορατότητας ScanStation2.....	59

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Συντεταγμένες και ορθομετρικό υψόμετρο κορυφών 1 και 2.....	53
Πίνακας 2: Στοιχεία του δικτύου οριζοντίου ελέγχου.....	54
Πίνακας 3: Συν/νες κορυφών δικτύου και οι αβεβαιότητες τους.....	54
Πίνακας 4: Αποτελέσματα σφαλμάτων γεωαναφοράς από κάθε κορυφή.....	64
Πίνακας 5: Αποτελέσματα προσομοίωσης δακτυλίου.....	79
Πίνακας 6: Αποτελέσματα προσομοίωσης υποστυλωμάτων.....	80

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Κατανομή εργασιών διπλωματικής εργασίας.....	89
Γράφημα 2: Κατανομή εργασιών πεδίου.....	90
Γράφημα 3: Κατανομή εργασιών γραφείου.....	91

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Τεκτονικό πλαίσιο του σεισμογόνου χώρου του λεκανοπεδίου.....	84
Χάρτης 2: Το διάνυσμα μετακίνησης του δακτυλίου.....	85

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα, με τη μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας και τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας, έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί πολλά Τεχνικά Έργα (π.χ. φράγματα, γέφυρες, μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα) για την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών. Σε αυτά τα έργα απαιτείται να γίνεται μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς τους, η οποία μπορεί να εκδηλωθεί από διάφορες αιτίες. Η παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς των τεχνικών έργων δεν πρέπει να περιορίζεται μόνο στις φάσεις της κατασκευής, αλλά να συνεχίζεται και μετά την ολοκλήρωση του έργου. Μια πιθανή μετακίνηση μπορεί να φορτίσει την κατασκευή με μη αναμενόμενες τάσεις, προκαλώντας σημαντικά προβλήματα, ακόμα και αστοχία μέρους ή και ολόκληρου του φέροντα οργανισμού της κατασκευής.

Η γεωδαιτική μεθοδολογία έχει τη δυνατότητα, αξιοποιώντας τη σύγχρονη τεχνολογία, να ανιχνεύσει ακόμη και μικρού μεγέθους μετακινήσεις και να παρακολουθήσει την εξέλιξή τους με ακρίβεια, αξιοπιστία και οικονομία. Αυτές οι μετακινήσεις είναι πιθανό να επιφέρουν κρίσιμες παραμορφώσεις στον φέροντα οργανισμό των έργων.

Μια τέτοια αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας για την ανίχνευση παραμορφώσεων ενός τεχνικού έργου αποτελεί η χρήση επίγειου σαρωτή laser. Τα τελευταία χρόνια, οι επίγειοι σαρωτές (Terrestrial Laser Scanners –TLS) άρχισαν να εισέρχονται δυναμικά στην Γεωδαισία και να καθιερώνονται ως συστήματα οργάνων κατάλληλα για πολλές εφαρμογές, όπως είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση αλλά και η παρακολούθηση μετακινήσεων των κατασκευών.

Τα σύγχρονα αυτά συστήματα έχουν πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα όπως είναι η καταγραφή της τρισδιάστατης πληροφορίας, η απομακρυσμένη και χωρίς επαφή συλλογή δεδομένων καθώς και η δυνατότητα συλλογής πυκνής πληροφορίας σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Την κινηματική συμπεριφορά ενός τεχνικού έργου, του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας, για τον προσδιορισμό των μετακινήσεων με χρήση της τεχνολογίας των επίγειων σαρωτών πραγματεύεται και η παρούσα διπλωματική εργασία. Το Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας είναι μια κατασκευή που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ως προς την δόμηση του και την απόκριση του κατά τον σεισμό του 1999, που έπληξε ιδιαίτερα το λεκανοπέδιο.

Συγκεκριμένα, στην παρούσα διπλωματική εργασία, προσδιορίσθηκε το διάνυσμα της οριζόντιας μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης της κατασκευής, με γεωδαιτική μεθοδολογία με χρήση επίγειου τρισδιάστατου laser σαρωτή. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια συσχέτισης του διανύσματος με τεκτονικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του λεκανοπεδίου.

Για τον προσδιορισμό του διανύσματος μετακίνησης, έγιναν σαρώσεις του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης με (TLS). Οι σαρώσεις έγιναν με κατάλληλο βήμα από τις

κορυφές του γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου, το οποίο έχει εγκατασταθεί στο ΣΕΦ από τις αρχές της δεκαετίας του 1980.

ABSTRACT

Nowadays, many structures have been designed and constructed in order to satisfy human needs due to the great technological development as well as the growing demands of modern society. Dams, bridges and large building complexes are examples of such works. The study of the kinematic behavior of structures is of utmost importance since structures' deformations may occur due to several causes. The detection of structural deformations must not be carried out during the stages of the structures' construction, but must be expanded during all the cycle of the structure's life. A possible deformation, which is due to manmade or accidental causes, can charge the construction with unexpected loads, and might cause major problems including partial or even total failure of the construction.

The Geodetic methodology is capable, utilizing modern technology to detect and monitor even movements of small magnitude with precision, reliability and economy.

The detection of horizontal movements of a construction using a terrestrial laser scanner, as part of geodetic methodology, represents an example of such a technique. In recent years, terrestrial scanners (Terrestrial Laser Scanners -TLS) have been established as systems of instruments suitable for many applications, such as the geometric documentation and the monitoring of constructions' displacement.

These modern systems have many comparative advantages such as registration of three-dimensional measurement, remote and contactless data collection, and compilation of large amount of information in a very short time.

This diploma thesis detects the kinematic behavior of the Peace and Friendship stadium (commonly known by its acronym SEF). SEF is a building of special interest, regarding its structure and its response to the 1999 earthquake that stroke the wider area of Athens.

More specifically, the purpose of this thesis was to estimate the vector of the horizontal displacement of the roof's mounting ring, with geodetic methodology. The thesis examines the (possible) correlation of this movement with tectonic faults existing in the wider area of Attica basin.

The ring of the roof, as well as part of the supporting beams, was scanned using (TLS), in order to determine the displacement vector. The scans were performed with the use of appropriate resolution from the points of the horizontal geodetic control network, established in the area of SEF in the early 1980s.

After the scanning, the points of the cloud belonging to the outer surface of the roof's ring as well as those of the faces of the supporting beams were isolated. The elements (center's coordinates and radius) of the best fitting circles to the roof's points and to the beams' faces points respectively, were estimated using least squares techniques.

The vector of the horizontal displacement of the roof's ring with respect to the supporting beams was estimated. This vector has a magnitude of 10cm and direction that is in coincidence with the direction of the tectonic fault that caused the 1999 earthquake.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο έλεγχος της μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας (ΣΕΦ) στο Ν. Φάληρο. Η μετακίνηση αυτή προκλήθηκε από το σεισμό του 1999 που έπληξε το λεκανοπέδιο και το μέτρο και η διεύθυνση της έχει προσδιοριστεί σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς στα πλαίσια προηγούμενης διπλωματικής εργασίας [12]. Παρόλα αυτά, λόγω της σημαντικότητας της συγκεκριμένης κατασκευής, κρίθηκε αναγκαίο να προσδιοριστεί εκ νέου το διάνυσμα της μετακίνησης και να μελετηθούν τυχόν διαφοροποιήσεις των στοιχείων του (μέτρο, φορά και διεύθυνση). Παράλληλα θα γίνει προσπάθεια συσχετισμού των στοιχείων του διανύσματος με τεκτονικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του (ΣΕΦ).

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των στοιχείων του γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου, που είχε ιδρυθεί στην περιοχή του σταδίου. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν με τη χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού και συνορθώθηκαν με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Το δίκτυο επιλύθηκε, με προσανατολισμό στο κρατικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ' 87 και προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών του με τις αβεβαιότητες τους.

Στη συνέχεια, από τις κορυφές του γεωδαιτικού δικτύου πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης, των δοκών (προβόλων) και τμήματος των υποστυλωμάτων μέχρι τη στάθμη του άνω διαζώματος χρησιμοποιώντας επίγειο τρισδιάστατο σαρωτή laser (TLS). Η χρήση του (TLS) δίνει τη δυνατότητα συλλογής πυκνής τρισδιάστατης πληροφορίας της γεωμετρίας των αντικειμένων του χώρου υπό τη μορφή νεφών σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Οι (TLS) καταγράφουν τη γεωμετρία καθώς και πληροφορίες υψής για τις επιφάνειες των αντικειμένων ενώ το τελικό αποτέλεσμα είναι η ψηφιακή τρισδιάστατη απεικόνιση του αντικειμένου σε ένα επιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων.

Τέλος το μοντέλο των σαρώσεων μετά από την κατάλληλη επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του διανύσματος της μετακίνησης του δακτυλίου. Συγκεκριμένα, με τη βοήθεια του λογισμικού Cyclone, προσδιορίστηκαν τα σημειοσύνολα του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης και των κάτω ακμών των δοκών των υποστυλωμάτων και στη συνέχεια προσαρμόστηκαν σε αυτά δυο (βέλτιστες) αντίστοιχες περιφέρειες κύκλων. Προσδιορίστηκαν οι θέσεις των κέντρων των παραπάνω περιφερειών και με βάση αυτές υπολογίστηκε το διάνυσμα μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης.

1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 10 κεφάλαια και 3 παραρτήματα. Συγκεκριμένα :

Στο **πρώτο κεφάλαιο** περιλαμβάνεται η εισαγωγή, στην οποία αναφέρονται στοιχεία σχετικά με το σκοπό της διπλωματικής εργασίας και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την δομή της εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης. Δίνονται πληροφορίες σχετικές με την κατασκευή και τη στατική λειτουργία του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η αναγκαιότητα της συστηματικής παρακολούθησης της κινηματικής συμπεριφοράς ενός τεχνικού έργου. Επιπλέον, γίνεται μια σύντομη αναφορά στις μεθόδους με τις οποίες μπορεί αυτή να πραγματοποιηθεί.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** αναφέρεται στους επίγειους σαρωτές, δηλαδή στα όργανα που άρχισαν τα τελευταία χρόνια να εισάγονται δυναμικά στην επιστήμη της Γεωδαισίας. Συγκεκριμένα, περιγράφονται οι βασικές αρχές λειτουργίας τους και οι τύποι των σαρωτών που χρησιμοποιούνται για τις επίγειες αποτυπώσεις. Περιγράφεται επίσης η διαδικασία της συνένωσης των νεφών των σημείων καθώς και η διαδικασία της γεωαναφοράς τους. Ακολουθούν τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου σάρωσης, που την διαφοροποιεί σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους κατά την εφαρμογή της. Τέλος παρατίθενται στοιχεία σχετικά με την ακρίβεια της σάρωσης και τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται.

Στο **πέμπτο κεφαλαίο** αναφέρονται συνοπτικά, στοιχεία σχετικά με την αναγνώριση, τη μέτρηση των στοιχείων, τη συνόρθωση τους και την επίλυση του γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου, από τις κορυφές του οποίου πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια η γεωμετρική τεκμηρίωση του σταδίου.

Στο **έκτο κεφάλαιο** περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία των σαρώσεων που πραγματοποιήθηκαν στο Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η μεθοδολογία συλλογής των ψηφιακών δεδομένων και η μετέπειτα επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων. Επιπλέον γίνεται αναφορά ειδικά στον τρισδιάστατο επίγειο σαρωτή ScanStation 2 με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις καθώς και στο λογισμικό Cyclone που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή και την επεξεργασία των στοιχείων.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** γίνεται η επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου, δηλαδή το σύνολο των ενεργειών για την απαλοιφή του θορύβου των μετρήσεων και τη δημιουργία των τομών.

Στο **όγδοο κεφάλαιο** παρουσιάζονται οι προσαρμογές (με M.E.T.) των βέλτιστων περιφερειών των κύκλων στα σημειοσύνολα που ορίζουν το δακτύλιο της στέγης και την εξωτερική περίμετρο δόμησης των δοκών. Προσδιορίζονται τα στοιχεία του διανύσματος της απόκλισης των κέντρων των περιφερειών και ελέγχεται η στατιστική σημαντικότητά του για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επιπλέον γίνεται συσχέτιση της διεύθυνσης του διανύσματος μετακίνησης του δακτυλίου (απόκλιση κέντρων περιφερειών) με τα τεκτονικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής της Αττικής και ειδικότερα με την κύρια κατεύθυνση του σεισμικού κύματος του 1999.

Στο **ένατο κεφάλαιο** παρουσιάζεται το χρονοδιάγραμμα των εργασιών υπαίθρου και γραφείου, που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο **δέκατο κεφάλαιο** παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και οι προτάσεις για τυχόν μελλοντική και επιπρόσθετη διερεύνηση του θέματος.

Το **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι** περιλαμβάνει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν στη φάση των μετρήσεων.

Στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ** παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής για την καλύτερη κατανόηση της πορείας των εργασιών για τη συλλογή της πληροφορίας με τον επίγειο σαρωτή, καθώς και την μετέπειτα επεξεργασία του νέφους των σημείων.

Στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ** παρουσιάζεται η τεκμηρίωση, φωτογραφική και γεωμετρική, των κορυφών του γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου.

Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με ανάλογη βιβλιογραφία σε αναλογική και ηλεκτρονική μορφή (ιστογραφία).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΕΙΡΗΝΗΣ ΚΑΙ ΦΙΛΙΑΣ

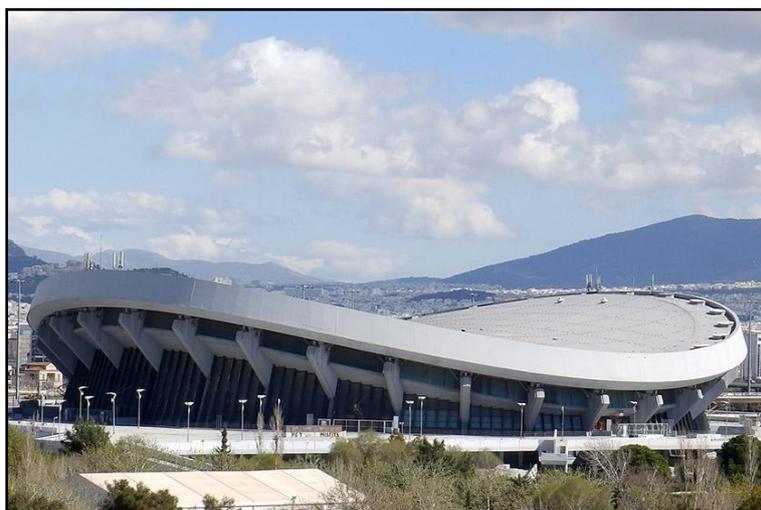
2 ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΕΙΡΗΝΗΣ ΚΑΙ ΦΙΛΙΑΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας (Σ.Ε.Φ.) είναι ένα κλειστό αθλητικό κέντρο οι εγκαταστάσεις του οποίου αναγέρθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και αποτελεί ιδιοκτησία του Ελληνικού Δημοσίου (Εικόνα 1). Το (ΣΕΦ) βρίσκεται στο Νέο Φάληρο, και απέχει 10 km από τα κέντρο της Αθήνας και 3 km από το κέντρο του Πειραιά.

Η ανέγερση του αθλητικού κέντρου του (ΣΕΦ) του Νέου Φαλήρου, είχε ως σκοπό να καλύψει τις ανάγκες του αθλητισμού και της ψυχαγωγίας σε τοπικό και υπερτοπικό επίπεδο. Οι εγκαταστάσεις του κλειστού γυμναστηρίου έχουν χωρητικότητα 16.000 θεατών, ο περιβάλλον χώρος των 340 στρεμμάτων με τα γήπεδα αθλοπαιδιών, τους χώρους αναψυχής και πρασίνου και τα πάρκα, αλλά και η πολύ εύκολη πρόσβαση, στόχευαν στη ανάδειξη του Σ.Ε.Φ σε μητροπολιτικό πόλο αθλητισμού και αναψυχής όλων των κοινωνικών ομάδων.

Είναι το πλέον πολύ-λειτουργικό κλειστό αθλητικό κέντρο στην Ελλάδα αφού πέρα από τους αγώνες μπάσκετ που φιλοξενεί, διαθέτει και εγκαταστάσεις για τα αγωνίσματα του στίβου, του βόλεϊ, της ενόργανης γυμναστικής καθώς και παγοδρόμιο. Έχει φιλοξενήσει μεγάλο αριθμό διεθνών συναντήσεων σε διάφορα αθλήματα. Κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων του 2004 χρησιμοποιήθηκε, φιλοξενώντας όλους τους αγώνες βόλεϊ (προκριματικούς και τελικούς). Γι' αυτό το λόγο το στάδιο παρέμεινε κλειστό από το 2002 μέχρι το 2004 ώστε να γίνουν έργα εκσυγχρονισμού των εγκαταστάσεων συνολικής αξίας 7.300.000 € από την εταιρία ΤΕΡΝΑ [34]. Μετά από την ανακαίνισή του το στάδιο άνοιξε πάλι τις πόρτες του στο κοινό στις 11 Αυγούστου του 2004, λίγο πριν την επίσημη έναρξη των Ολυμπιακών αγώνων της Αθήνας [38].



Εικόνα 1 : Το Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας [35]
Picture 1 : The Peace and Friendship Stadium

2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΕΙΡΗΝΗΣ ΚΑΙ ΦΙΛΙΑΣ

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται ορισμένα στοιχεία σχετικά με την κατασκευή του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας, τη θεμελίωση του, τα βασικά τμήματα του καθώς και την ιδιαιτερότητα που παρουσιάζει το σύστημα ανάρτησης της στέγης.

Οι ενέργειες για το σχεδιασμό και την ανέγερση του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας άρχισαν το 1983 ενώ ολοκληρώθηκαν το 1985 και το κόστος κατασκευής του ανήλθε στα 25.000.000 € [32] [38]. Η αρχιτεκτονική μελέτη έγινε από την εταιρεία «*Θύμιος Παππαγιάννης και ΣΙΑ*». Η στατική μελέτη συντάχθηκε από τον Δρ. Πολιτικό Μηχανικό κ. Δ. Μπαϊρακτάρη. Η μελέτη ανατέθηκε μετά από πανελλήνιο αρχιτεκτονικό διαγωνισμό που πραγματοποιήθηκε το 1977 ενώ το Στάδιο εγκαινιάστηκε στις 16 Φεβρουαρίου 1985, στο πρώτο Πανελλήνιο Πρωτάθλημα Κλειστού Στίβου. Από το 1985 μέχρι και σήμερα το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο έχει αναθέσει πολλές διπλωματικές εργασίες με σκοπό να γίνει έλεγχος της κινηματικής συμπεριφοράς των φερόντων στοιχείων του σταδίου.

2.2.1 Η θεμελίωση του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας

Η κατασκευή του σταδίου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς την θεμελίωση της. Ο χώρος που βρίσκεται σήμερα το στάδιο Ειρήνης και Φιλίας καλυπτόταν στο πρόσφατο παρελθόν από θάλασσα. Το έδαφος αποτελείται από τεχνητές προσχώσεις / μπαζώματα, οι οποίες υποβλήθηκαν σε προφόρτιση με φορτίο γαιών ύψους 6 μέτρων για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός έτους. Προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση της φέρουσας ικανότητας, εφαρμόστηκε η τεχνική της δυναμικής συμπύκνωσης τόσο στο στίβο του γυμναστηρίου όσο και σε μια περιμετρική λωρίδα πλάτους 15 μέτρων έξω από τις εξωτερικές σειρές των υποστυλωμάτων.

Η κυρίως κατασκευή (το στάδιο) έχει θεμελιωθεί σε σύστημα πασσαλοεσχάρας που αποτελείται από 192 φρεατοπασσάλους, διαμέτρου 1,30 μέτρων οι οποίοι φτάνουν στο μητρικό πέτρωμα σε βάθος 35 μέτρων. Οι υπόλοιπες εγκαταστάσεις έχουν θεμελιωθεί με άμεση έδραση στο έδαφος μέσω πέδινων και πεδιλοδοκών.

Το έδαφος στο οποίο έγιναν οι θεμελιώσεις των βοηθητικών κατασκευών, όπως αναφέρθηκε, είναι τεχνητές προσχώσεις οι οποίες αποτελούνται από διαφορετικά υλικά με ανόμοια χαρακτηριστικά. Επομένως το έδαφος και μετά τη δυναμική συμπύκνωση που υπέστη δεν παρουσιάζει ομοιογένεια. Τέλος σημειώνεται ότι το υπόβαθρο του εδάφους του σταδίου είναι κατά κύριο λόγο αργιλικό.

2.2.2 Χωροταξικά στοιχεία

Το αθλητικό κέντρο του Νέου Φαλήρου αποτελείται από δύο ενότητες: ένα σύνθετο κτιριακό συγκρότημα που αποτελείται από τρία επιμέρους τμήματα καθώς και από τον περιβάλλοντα χώρο.

Το κτιριακό συγκρότημα αποτελείται από τα εξής τρία τμήματα:

1. Το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει συγκρότημα αιθουσών προπονήσεων (πάλης, άρσης βαρών, πυγμαχίας μπάσκετ, βόλεϊ, πινγκ πονγκ, ξιφασκίας, σκοποβολής, ενόργανης γυμναστικής). Οι αίθουσες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την προθέρμανση των αθλητών σε περίπτωση αγώνων στίβου. Αυτό το τμήμα συμπληρώνουν αίθουσες σεμιναρίων, αποδυτήρια και κυλικεία. Ο συνολικός όγκος φθάνει τα 110.000 m³.

2. Το δεύτερο τμήμα αποτελεί το βασικό στοιχείο της κύριας υποδομής. Αποτελείται από το κλειστό γυμναστήριο χωρητικότητας 11.390 θεατών για αγώνες μπάσκετ και 10.520 θεατών για αγώνες στίβου ενώ με τη χρήση κινητών θέσεων και καθισμάτων η χωρητικότητα αυξάνεται σε 16.000 θεατές [38]. Ο αγωνιστικός χώρος έχει επιφάνεια 4000 τετραγωνικά μέτρα και περιλαμβάνει κινητό στίβο 200 μέτρων και 5 διαδρόμων. Η διάμετρος της κυκλικής αίθουσας του γυμναστηρίου είναι 120 μέτρα, ενώ το ελεύθερο εσωτερικό ύψος στο επίπεδο του αγωνιστικού χώρου είναι 25 μέτρα. Το κλειστό γυμναστήριο περιλαμβάνει αποδυτήρια, ιατρείο, αίθουσες τύπου και δημοσιογράφων, γραφεία διοίκησης, αποθήκες και άλλους βοηθητικούς χώρους. Ο συνολικός όγκος του κύριου γυμναστηρίου είναι 282.000 m³.

3. Το τρίτο τμήμα αποτελούν το κέντρο συνεδρίων, που περιλαμβάνει το αμφιθέατρο “Μελίνα Μερκούρη” που διαθέτει 942 αναδιπλούμενα καθίσματα καθώς και μια δεύτερη βοηθητική αίθουσα που χρησιμοποιείται επίσης για συνέδρια, σεμινάρια, διαλέξεις και συνεντεύξεις τύπου. Επιπλέον υπάρχουν τα γραφεία, ο χώρος υποδοχής και το αναψυκτήριο για το κοινό ενώ ο συνολικός όγκος φθάνει τα 475.300 m³.

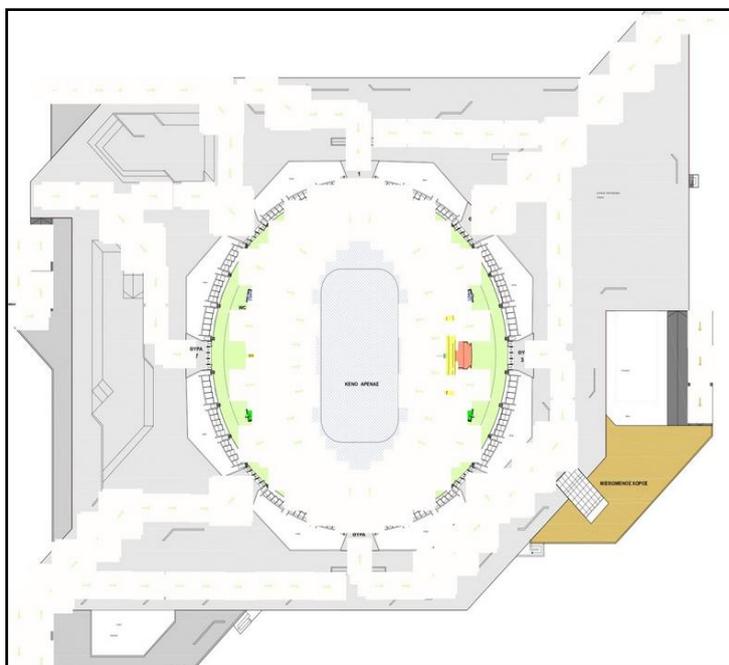
Ο περιβάλλον χώρος του σταδίου έχει έκταση 340 περίπου στρέμματα και είχε σχεδιαστεί έτσι ώστε να προσφέρει ευκαιρίες ψυχαγωγίας και αθλητισμού σε όλες τις ηλικίες. Το δυτικό τμήμα αποτελείται από πλατείες, χώρους πρασίνου, γήπεδα τένις, γήπεδα βόλεϊ, γήπεδα μπάσκετ, ανοιχτό στίβο, υπαίθριους χώρους ενόργανης γυμναστικής, παιδικές χαρές, 2 συγκροτήματα αποδυτηρίων 3 αναψυκτήρια, 1 εστιατόριο και 6 εκδοτήρια εισιτηρίων και έχει έκταση 200 στρέμματα. Το ανατολικό τμήμα του περιβάλλοντα χώρου, έκτασης 140 στρεμμάτων περίπου, περιλαμβάνει τα έργα προσπελάσεως και τους χώρους στάθμευσης. Τέλος σε συνδυασμό με τα έργα διευθέτησης της εκβολής του Κηφισού, δημιουργήθηκε κατάλληλος χώρος για χρήση μαρίνας και ένα διάφραγμα μήκους 575 μέτρων για την προστασία των έργων από τους κυματισμούς.

2.2.3 Κατασκευαστικά στοιχεία

Ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας αποτελεί η κατασκευή της στέγης, αφού είναι η πρώτη αναρτημένη στέγη που κατασκευάστηκε στην Ελλάδα, το 1983.

Η ιδέα της αναρτημένης στέγης πρωτοεμφανίζεται το 70 π.Χ. με το ‘velarium’ όπως λεγόταν η τέντα που χρησιμοποίησαν οι Ρωμαίοι για την κάλυψη του Κολοσσαίου. Πιο σύγχρονη σύλληψη μιας τέτοιας κατασκευής ξαναεμφανίζεται αιώνες μετά, με την μελέτη και ανέγερση της στέγης του σταδίου Raleigh στη Βόρεια Καρολίνα των Ηνωμένων Πολιτειών το 1953, που αποτέλεσε την αρχή μιας νέας εποχής για τις καλωδιωτές στέγες. Στην Ελλάδα το σημαντικότερο δείγμα καλωδιωτής στέγης είναι αυτή του Σ.Ε.Φ., της οποίας το σχήμα είναι υπερβολικό παραβολοειδές.

Η κάλυψη του κλειστού γυμναστηρίου πραγματοποιείται με μεμβράνη σχήματος υπερβολικού παραβολοειδούς, με κυκλική κάτοψη διαμέτρου 112 μέτρων (Εικόνα 2). Η δημιουργία της επιφάνειας επικάλυψης πραγματοποιείται από δύο ομάδες παραβολικών καλωδίων οι οποίες τέμνονται κάθετα. Κατά τη μια διεύθυνση τα καλώδια με τα κοίλα προς τα κάτω προεντείνονται, η τάση προέντασης μηδενίζεται μετά την πλήρη φόρτιση της στέγης. Η μεμβράνη αναρτάται από τον οριζόντιο κυκλικό περιμετρικό δακτύλιο από οπλισμένο σκυρόδεμα, ο οποίος εδράζεται στο πάνω μέρος (ζυγώματα) των κυρίων πλαισίων. Τα κύρια πλαίσια δέχονται και τα φορτία των κερκίδων.



Εικόνα 2 : Η κάτοψη του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας [35]
Picture 2: Base Plan of Peace and Friendship Stadium

2.3 ΣΤΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΔΙΟΥ ΕΙΡΗΝΗΣ ΚΑΙ ΦΙΛΙΑΣ

Τα φορτία του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας αποτελούνται από τα νεκρά φορτία της κατασκευής, με ποσοστό 70% και σε ποσοστό 30% από τα ωφέλιμα φορτία. Η στέγη με το σύστημα καλωδίων αναρτάται από τον ολόσωμο δακτύλιο, ο οποίος εδράζεται στα ζυγώματα των πλαισίων. Οι εδράσεις του δακτυλίου είναι κυλίσσεις που επιτρέπουν την εξισορρόπηση του και αποσβένουν τυχόν μετατοπίσεις του, που θα είχαν ως συνέπεια τη διατάραξη των φορτίων που μεταβιβάζονται στα υποστυλώματα.

Τα υποστυλώματα που βρίσκονται περιμετρικά της κατασκευής παραλαμβάνουν μέσω των ζυγωμάτων τα φορτία του δακτυλίου και των κερκίδων. Το ύψος των υποστυλωμάτων είναι μεταβαλλόμενο. Υπάρχουν τα κοντά υποστυλώματα τα οποία είναι τα πιο δύσκαμπτα, τα ψηλά υποστυλώματα που είναι τα πιο εύκαμπτα, καθώς και μια ενδιάμεση κατηγορία. Με βάση τη στατική μελέτη του σταδίου έχει κατανεμηθεί το μεγαλύτερο βάρος της κατασκευής στα κοντά και δύσκαμπτα υποστυλώματα και το μικρότερο στα υψηλά και εύκαμπτα.

Ειδικά η οροφή (δακτύλιος και στέγη) του Σ.Ε.Φ., έχει την δυνατότητα κίνησης κατά τη διάρκεια του 24ωρου και επαναφοράς της στην αρχική της θέση ώστε να πραγματοποιείται η ορθή κατανομή των φορτίων στα υποστυλώματα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών συστημάτων ελεγχόμενης κύλισης (αμορτισέρ) στα οποία εδράζεται η οροφή. Ωστόσο ο σεισμός της 7^{ης} Σεπτεμβρίου του 1999 προκάλεσε την μετακίνησή της και την ακινητοποίηση της σε μια θέση, χωρίς τη δυνατότητα επαναφοράς της.

Στην εικόνα 3 παρουσιάζονται τα κύρια δομικά μέρη του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας που είναι ο δακτύλιος ανάρτησης της στέγης (1), τα κοντά υποστυλώματα (2) και ψηλά υποστυλώματα (3) καθώς και οι δοκοί των υποστυλωμάτων (4) και η καλωδιωτή στέγη (5).



Εικόνα 3 : Τα δομικά στοιχεία του σταδίου
Picture 3: The parts of stadium

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι παραμορφώσεις των τεχνικών έργων, οφειλόμενες σε διάφορες αιτίες (σεισμός, βροχόπτωση, πυρκαγιά, αλλαγή χρήσης, υπεράντληση υπόγειων υδάτων, υπόγεια έργα κ.λπ.), προκαλούνται από διαφορικές μετακινήσεις των στοιχείων του φέροντα οργανισμού τους. Γι' αυτόν το λόγο η μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς των τεχνικών έργων είναι επιβεβλημένη κατά την φάση της λειτουργίας τους. Ιδιαίτερα, μετά την εκδήλωση ακραίων φυσικών φαινομένων (ισχυρός σεισμός, έντονη βροχόπτωση κ.λπ.), τυχηματικών γεγονότων (σεισμός, πυρκαγιά) αλλά και εκτεταμένων ανθρωπογενών δράσεων (μεγάλες εκσκαφές, υπόγεια έργα κ.λπ.), απαιτείται να γίνεται έλεγχος της συμπεριφοράς του φέροντα οργανισμού των τεχνικών έργων, στην περιοχή των οποίων έχουν εκδηλωθεί οι προηγούμενες δυσμενείς καταστάσεις. Οι παραμορφώσεις, στον φέροντα οργανισμό των τεχνικών έργων, δημιουργούν επιπρόσθετες εντατικές καταστάσεις, οι οποίες, κατά το στάδιο της μελέτης του, δεν έχουν υπολογισθεί. Έτσι, υπάρχει σημαντική πιθανότητα να προκληθούν αστοχίες με τεράστιο κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Ειδικότερα, για τα μεγάλα τεχνικά έργα (γέφυρες, φράγματα, κ.λπ.) και τα κτίρια ειδικών χρήσεων (νοσοκομεία, σχολεία, αθλητικές εγκαταστάσεις κ.λπ.), η ύπαρξη της μέγιστης δυνατής ασφάλειας είναι βασική προϋπόθεση για την όσον το δυνατόν ασφαλή χρησιμοποίησή τους από τους πολίτες. Γι' αυτόν το λόγο, απαιτείται συστηματική συντήρηση και έλεγχος κατά τη φάση της λειτουργίας τους. Σε αυτό το πλαίσιο εντάσσεται και η παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς, κατά κανόνα, του φέροντα οργανισμού τους.

Όσο πλήρης και αν είναι η μελέτη μιας κατασκευής, όσο καλή και αν είναι η ποιότητα δόμησής της, δεν μπορεί να αποκλεισθεί η πιθανότητα αστοχίας του φέροντα οργανισμού της, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της, λόγω των παραπάνω ακραίων ή δυσμενών καταστάσεων. Σε περίπτωση μερικής ή ολικής αστοχίας οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές, με τον κίνδυνο απώλειας ανθρώπινων ζωών να είναι η σημαντικότερη και η πιο άμεση, καθώς οι παραπάνω κατασκευές χρησιμοποιούνται σε καθημερινή βάση από πλήθος ανθρώπων. Επίσης, σημαντικές θα είναι και οι επιπτώσεις στον οικονομικό τομέα, καθώς το κόστος επισκευής συχνά είναι πολύ μεγάλο.

Από μια γενική θεώρηση, όλες οι ανθρώπινες κατασκευές υπόκεινται σε παραμορφώσεις, που ανεξάρτητα των αιτιών, προκύπτουν είτε από την παραμόρφωση του υλικού κατασκευής, είτε από την παραμόρφωση του εδάφους θεμελίωσης. Συγκεκριμένα, οι παραμορφώσεις είναι πολύ πιθανό να οφείλονται :

- σε υπόγεια διεργασία (μεταβολή του υδροφόρου ορίζοντα, κατασκευή υπόγειων έργων) που μπορεί να προκαλέσει διαφορικές καθιζήσεις στην θεμελίωση

- στις θερμοκρασιακές μεταβολές στην περιοχή του έργου
- σε μετακινήσεις μεγάλων εδαφικών μαζών στην περιοχή (κατολισθήσεις)
- σε φυσικά φαινόμενα που δεν έχουν προβλεφθεί κατά τη μελέτη του έργου (σεισμοί, πλημμύρες, πυρκαγιές κ.α.)
- στην αντοχή του εδάφους καθώς και στον τρόπο θεμελίωσης αυτών των κατασκευών
- στην αλλαγή χρήσης του τεχνικού έργου, που μπορεί να επιβαρύνει την κατασκευή με επιπρόσθετα φορτία που δεν είχαν προβλεφθεί κατά τη μελέτη.

Οι μετακινήσεις μπορεί να είναι σχετικές ή απόλυτες. Οι σχετικές αφορούν τη μετακίνηση ενός τμήματος μόνο του τεχνικού έργου σε σχέση με κάποιο άλλο, ενώ οι απόλυτες τη μετακίνηση ολόκληρου του έργου αναφορικά με σταθερά σημεία της ευρύτερης περιοχής. Η μετακίνηση σημειακά εκφράζεται με ένα διάνυσμα. Όπως είναι γνωστό τα στοιχεία του διανύσματος είναι το μέτρο, η διεύθυνση και η φορά. Αυτά τα στοιχεία μεταβάλλονται μέσα στο χρονικό διάστημα που εξακολουθεί η δράση του αρχικού αιτίου που προκάλεσε τη μετακίνηση, αλλά οι μεταβολές μπορεί να συνεχιστούν και μετά το πέρας της δράσης μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας των τάσεων στη κατασκευή.

Είναι γνωστό ότι οι μετακινήσεις προκαλούν ανακατανομή των τάσεων στις διατομές των φερόντων στοιχείων της κατασκευής (δοκοί, υποστυλώματα κ.λπ.). Όταν οι νέες τάσεις υπερβούν τα όρια αντοχής τότε επέρχεται αστοχία στον φέροντα οργανισμό της κατασκευής. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι μερική ή και ολική αστοχία και να συνοδευτεί από μερική ή ολική κατάρρευση της κατασκευής.

Επομένως, αποκτά ιδιαίτερη σημασία η διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών των στοιχείων του διανύσματος της μετακίνησης, με στόχο την έγκαιρη λήψη μέτρων για την ασφάλεια της κατασκευής.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Για τον έλεγχο και τον προσδιορισμό της κινηματικής συμπεριφοράς των τεχνικών έργων χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

3.2.1 Φυσικές μέθοδοι

Οι φυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούν γεωτεχνικές οργανομετρήσεις προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την κινηματική συμπεριφορά των κατασκευών. Τα γεωτεχνικά όργανα προσαρμόζονται σε σημεία πάνω στο τεχνικό έργο ή ακόμα και σε ειδικές κατασκευές μέσα σε αυτό.

Ορισμένα από τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι:

- ✓ Το **πιεζόμετρο** για τη μέτρηση της πίεσης του νερού.
- ✓ Το **κλισιόμετρο** για τη μέτρηση της εγκάρσιας παραμόρφωσης του εδάφους.
- ✓ Το **κλινόμετρο** για τη μέτρηση των στροφών.
- ✓ Το **μηκυνσιόμετρο** για την άμεση μέτρηση των μεταβολών του μήκους μεταξύ δύο σημείων, στα οποία αγκυρώνεται.

Οι παραπάνω μέθοδοι προσδιορίζουν με μεγάλη ακρίβεια τις σχετικές μετακινήσεις τμημάτων του τεχνικού έργου. Παρόλα αυτά η πληροφορία που προκύπτει από τις μετρήσεις με αυτά τα όργανα είναι μόνο ποσοτική και σημειακή, δηλαδή δεν είναι δυνατόν να συσχετισθούν οι παρατηρούμενες μετακινήσεις, οι οποίες αναφέρονται αποκλειστικά στο συγκεκριμένο σημείο, όπου γίνονται οι μετρήσεις.

3.2.2 Γεωδαιτικές μέθοδοι

Οι γεωδαιτικές μέθοδοι για την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς των τεχνικών έργων διακρίνονται σε **επίγειες** και **δορυφορικές**.

Οι κυριότερες επίγειες μέθοδοι είναι:

✓ Μέθοδος των ευθυγραμμίων

Κατά τη μέθοδο αυτή ορίζονται ως σημεία ελέγχου, σημεία τα οποία ανήκουν σε μια ευθυγραμμία, η οποία υλοποιείται από δύο σταθερά σημεία εκτός της κατασκευής. Η μέθοδος βασίζεται στις επαναλαμβανόμενες (ανά τακτά χρονικά διαστήματα) μετρήσεις της απόκλισης των σημείων ελέγχου από την παραπάνω ευθυγραμμία. Η ιδιαιτερότητα της μεθόδου είναι ότι η μετακίνηση μπορεί να προσδιοριστεί μόνο ως προς διεύθυνση κάθετη σε αυτήν που ορίζεται από την ευθυγραμμία των σταθερών σημείων.

✓ Γεωδαιτικά δίκτυα

Η μέθοδος αυτή είναι η συνηθέστερα και συχνότερα χρησιμοποιούμενη για την ανίχνευση και την παρακολούθηση της εξέλιξης των παραμορφώσεων ενός τεχνικού έργου.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο προσδιορισμός των μετακινήσεων γίνεται με την ίδρυση ενός γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου και τη μέτρηση των στοιχείων του σε περισσότερες της μιας χρονικές στιγμές (φάσεις). Κορυφές του δικτύου αποτελούν τα σημεία ελέγχου, τα οποία είναι υλοποιημένα σε προσεκτικά επιλεγμένες θέσεις πάνω στην κατασκευή που ελέγχεται, καθώς και τα σημεία αναφοράς, που ιδρύονται εκτός της κατασκευής σε θέσεις, οι οποίες πρέπει να βρίσκονται σε περιοχή εκτός της επιρροής του αιτίου που προκαλεί τη μετακίνηση. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η επιλογή της θέσης των παραπάνω κορυφών, ώστε να βρίσκονται σε κατάλληλες κομβικές θέσεις που να εξασφαλίζουν την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς των τεχνικών έργων και της ευρύτερης περιοχής τους, όποτε αυτό απαιτείται. Οι μετακινήσεις συνήθως μελετώνται ανεξάρτητα κατά την οριζόντια και

κατακόρυφη έννοια. Τα γεωδαιτικά δίκτυα ελέγχου, ανάλογα με το αν ο έλεγχος γίνεται κατά την οριζόντια ή την κατακόρυφη έννοια, διακρίνονται σε δίκτυα οριζοντίου ελέγχου και σε δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου αντίστοιχα.

- Τα **δίκτυα οριζοντίου ελέγχου**, χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς ενός τεχνικού έργου στις δύο διαστάσεις. Η σήμανση των κορυφών γίνεται με ειδικές κατασκευές (βάθρα από σκυρόδεμα, ειδικές ορειχάλκινες κατασκευές-μπουλόνια ή μεταλλικά βάθρα) έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μονιμότητα και η σταθερότητά τους στο χρόνο και το χώρο, καθώς ένα δίκτυο μπορεί να μετρηθεί αρκετές φορές σε μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τα μετρούμενα στοιχεία είναι μήκη, οριζόντιες γωνίες ή διευθύνσεις και κατακόρυφες γωνίες μεταξύ των σημείων. Από τα στοιχεία αυτά μετά τη συνόρθωση τους, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες των κορυφών και οι αβεβαιότητές τους για κάθε φάση μέτρησης. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται σε τουλάχιστον δύο φάσεις. Η επίλυση γίνεται συνήθως σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς, διατηρώντας τις ίδιες ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις και τις ίδιες αρχικές συνθήκες για κάθε φάση. Στη συνέχεια υπολογίζεται το διάνυσμα μεταβολής της θέσης των κορυφών του δικτύου ελέγχου και με κατάλληλη στατιστική επεξεργασία ελέγχεται αν πρόκειται για μετακίνηση για επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

- Τα **δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου**, ιδρύονται για την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς μιας κατασκευής κατά την κατακόρυφη διεύθυνση (ανύψωση ή καθίζηση). Η σήμανση των κορυφών γίνεται με ορειχάλκινα μπουλόνια με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η μονιμότητα και η σταθερότητα τους. Στην περίπτωση των δικτύων κατακόρυφου ελέγχου, τα μετρούμενα στοιχεία είναι οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών. Από τα στοιχεία αυτά, μετά τη συνόρθωση, προκύπτουν τα υψόμετρα για κάθε κορυφή του δικτύου. Συγκρίνοντας τα υψόμετρα μεταξύ δύο διαδοχικών φάσεων μέτρησης, προσδιορίζεται το διάνυσμα μεταβολής κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Με κατάλληλη στατιστική επεξεργασία ελέγχεται αν πρόκειται για ανύψωση ή καθίζηση, για επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Οι **δορυφορικές μέθοδοι** χρησιμοποιούν τρισδιάστατα γεωδαιτικά δίκτυα.

- Με τα **τρειςδιάστατα δίκτυα ελέγχου** πραγματοποιείται η παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς του τεχνικού έργου ταυτόχρονα και στις τρεις διαστάσεις. Σήμερα η μέτρηση των στοιχείων των τρισδιάστατων δικτύων που καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις γίνεται με τη μέθοδο του δορυφορικού εντοπισμού, και γι' αυτό έχει επικρατήσει τα δίκτυα αυτά να ονομάζονται δορυφορικά δίκτυα. Το σύστημα δορυφορικού εντοπισμού χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί το διάνυσμα (βάση) μεταξύ 2 κορυφών του δικτύου, με συνιστώσες ΔX , ΔY , ΔZ . Οι συντεταγμένες της πρώτης κορυφής είναι γνωστές στο παγκόσμιο ή το κρατικό σύστημα αναφοράς, ενώ της δεύτερης προσδιορίζονται με ταυτόχρονες δορυφορικές παρατηρήσεις, προς

τουλάχιστον 4 κοινούς δορυφόρους, ορατούς συγχρόνως από τις δυο κορυφές. Αν οι κορυφές ενός δικτύου, με άγνωστες συντεταγμένες, είναι παραπάνω από μία, τότε προκύπτει ένα σύνολο από βάσεις στο χώρο, οι οποίες συνιστούν ένα χωρικό δίκτυο [4]. Οι μετρήσεις όλων των βάσεων γίνεται με γεωδαιτικούς δέκτες συστημάτων δορυφορικού εντοπισμού και στη συνέχεια, μετά από την επεξεργασία των βάσεων, γίνεται η συνόρθωσή τους και η εκτίμηση της τρισδιάστατης θέσης (X, Y, Z) των άγνωστων κορυφών. Επισημαίνεται πως οι κορυφές του τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου πρέπει να επιλεγούν με προσοχή ώστε να βρίσκονται σε ανοιχτό ορίζοντα και μακριά από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια που μπορεί να εμποδίσουν στο σήμα του δορυφορικού εντοπισμού.

✓ Με Σάρωση

Η ανίχνευση των μετακινήσεων με αυτή τη μέθοδο γίνεται μέσω της σάρωσης της επιφάνειας του τεχνικού έργου. Η σάρωση πραγματοποιείται με ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς που έχουν τη δυνατότητα να μετρούν μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα με ακρίβεια που φθάνει τα ± 2 mm (εικονοσταθμοί) ή με επίγειους τρισδιάστατους σαρωτές laser (3D Terrestrial Laser Scanners). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια για τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων τεχνικών έργων. Με αυτή την τεχνική αποτυπώνονται χιλιάδες σημεία σε ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Η ακρίβεια της θέσης του σημείου είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών. Στα πλεονεκτήματα των σαρωτών συγκαταλέγονται επίσης η απευθείας απόδοση στο σημείο τρισδιάστατων συντεταγμένων, η ευκολία και η αυτοματοποιημένη διαδικασία που απαιτεί ελάχιστη συμβολή από το χρήστη καθώς και η δυνατότητα λειτουργίας του σαρωτή και κάτω από δυσμενείς συνθήκες πεδίου. Συνεπώς όλα τα παραπάνω καθιστούν τη σάρωση μια πολύ χρήσιμη εναλλακτική ή και συμπληρωματική τεχνική για την κλασική μέθοδο της Γεωδαισίας ή της Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας. Το προϊόν που παράγεται είναι νέφος σημείων με συντεταγμένες που αναφέρονται σε ένα επιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων. Έτσι, δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο της επιφάνειας του έργου για κάθε διαφορετική χρονική στιγμή. Στη συνέχεια το ψηφιακό αυτό μοντέλο του αντικειμένου απαλλάσσεται από τον θόρυβο των μετρήσεων και υποβάλλεται σε διάφορες διαδικασίες ώστε να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των μετακινήσεων του τεχνικού έργου. Τέτοιες διαδικασίες μπορεί να είναι η δημιουργία οριζόντιων τομών ή η προσαρμογή κατάλληλων επιφανειών στα δομικά μέρη της κατασκευής.

3.2.3 Φωτογραμμετρική μέθοδος

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη λήψη διαδοχικών φωτογραφιών του έργου, στις οποίες περιλαμβάνονται κοινά σταθερά σημεία (φωτοσταθερά), με τη βοήθεια των οποίων γίνεται η συσχέτιση των φωτογραφιών και η παραγωγή του μοντέλου του αντικειμένου. Στη συνέχεια με άμεσες μετρήσεις επί των εικόνων προσδιορίζονται οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων του αντικειμένου. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού σχετικών και απόλυτων μετακινήσεων. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής συγκαταλέγεται το γεγονός ότι απαιτεί πολύ ακριβό εξοπλισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ LASER
ΣΑΡΩΤΕΣ

4. ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ LASER ΣΑΡΩΤΕΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η διαχρονική παρακολούθηση των παραμορφώσεων και ο έλεγχος της κινηματικής συμπεριφοράς ενός τεχνικού έργου αποτελεί ένα από τα πεδία με τα οποία ασχολείται η επιστήμη της Γεωδαισίας. Στο παρελθόν η παρακολούθηση των μετακινήσεων των τεχνικών έργων πραγματοποιούνταν με μη αυτοματοποιημένες διαδικασίες χρησιμοποιώντας κατά κύριο λόγο θεοδόλιχα και στη συνέχεια ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς. Με τα όργανα αυτά πραγματοποιούνται μετρήσεις προς προεπιλεγμένα σημεία τα οποία θα πρέπει να έχουν σημειωθεί πάνω στην κατασκευή και όπως είναι προφανές η πληροφορία είναι σημειακή.

Ωστόσο, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας συνέβαλε στη δημιουργία σύγχρονων ολοκληρωμένων συστημάτων και πλέον τέτοιες μελέτες μπορούν να πραγματοποιηθούν και με τη χρήση της τεχνολογίας του Laser. Σε αυτή την περίπτωση τα παράγωγα είναι τρισδιάστατα μοντέλα του, προς μελέτη, αντικειμένου και παρέχουν στον χρήστη ποσοτικές αλλά και ποιοτικές πληροφορίες σε ολογραφία.

4.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΑΡΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ LASER ΣΑΡΩΤΗ

Η ψηφιακή σάρωση είναι μια νέα μέθοδος που ενδείκνυται για τη γεωμετρική τεκμηρίωση κτηρίων, μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς και γενικά οποιουδήποτε τεχνικού έργου, όπου απαιτείται υψηλή ανάλυση ευκρίνειας στην τεκμηρίωση, αλλά και για ειδικές περιπτώσεις, όταν οι κατασκευές είναι απροσπέλαστες ή δεν πρέπει να αγγίζονται.

Κατά τη διαδικασία της ψηφιακής σάρωσης πραγματοποιούνται μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και το αποτέλεσμα κάθε μεμονωμένης μέτρησης είναι ένα σημείο με τρισδιάστατες συντεταγμένες. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται στην πυκνή καταγραφή των συντεταγμένων των σημείων της προς αποτύπωση επιφάνειας, σε πολύ υψηλές ταχύτητες λήψης, που μπορούν να φτάσουν ακόμα και τις αρκετές δεκάδες χιλιάδες σημεία το δευτερόλεπτο.

Η ολοκλήρωση της εργασίας πεδίου έχει σαν παράγωγο ένα σύνολο από σημεία (νέφος σημείων). Στη συνέχεια στο νέφος αυτό με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να αποδοθεί το αντικείμενο που σαρώθηκε και να δοθούν πολύ χρήσιμες πληροφορίες στον χρήστη. Συνεπώς, οι τρισδιάστατοι επίγειοι σαρωτές Laser (3D Terrestrial Laser scanners) είναι τα ολοκληρωμένα συστήματα που καταγράφουν τη γεωμετρία αλλά και την υφή ενός αντικειμένου και παράγουν την ψηφιακή τρισδιάστατη απεικόνιση (νέφος σημείων) του. Είναι φανερό ότι αυτή η απεικόνιση λόγω της αβεβαιότητας των μετρήσεων, έχει ανάλογη ακρίβεια.

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την ψηφιακή σάρωση ποικίλουν και καθένα βασίζεται σε διαφορετικές τεχνολογίες. Για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας

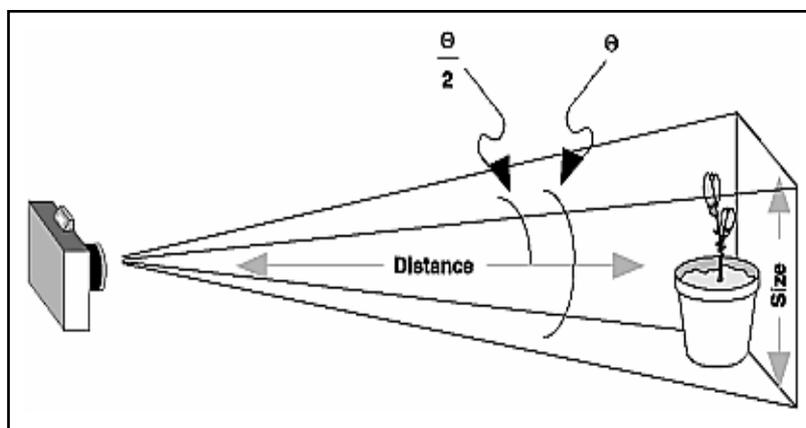
και συνεπώς του πλέον αποτελεσματικού οργάνου για την κάθε εργασία, λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου, όπως για παράδειγμα το μέγεθος, το είδος του ή των υλικών από το οποίο έχει κατασκευαστεί και η υφή του, καθώς και η ακρίβεια που επιθυμείται να επιτευχθεί.

Η κυριότερη όμως λογική πίσω από όλες τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι η χρησιμοποίηση της οπτικής ακτινοβολίας. Η οπτική ακτινοβολία μπορεί να δώσει λύσεις ακόμα και σε δύσκολες περιπτώσεις, όπως σε περιπτώσεις όπου τα αντικείμενα είναι διάφανα ή αντανακλούν έντονα το φως με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να υπεισέλθουν σφάλματα στις μετρήσεις. Η λογική των σαρωτών που βασίζεται στην εκπομπή οπτικής ακτινοβολίας θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί στην επόμενη υποενότητα (4.2.1).

4.2.1 Η λειτουργία του σαρωτή

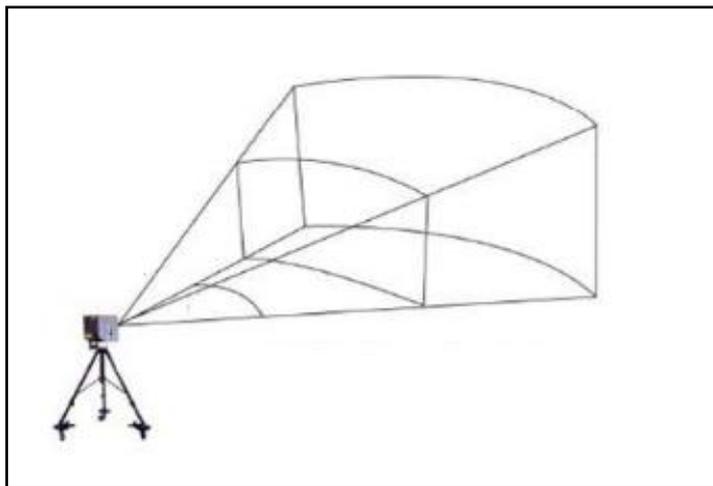
Ο τρισδιάστατος επίγειος σαρωτής laser είναι ένα όργανο που αξιοποιεί την εκπομπή ακτινών laser οι οποίες ανήκουν στο ορατό ή στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αποτυπώνει εξαιρετικά πυκνά, διακριτά σημεία της επιφάνειας του αντικειμένου και το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα νέφος σημείων (points cloud) όπου σε κάθε σημείο έχουν προσδιορισθεί οι τρισδιάστατες συντεταγμένες του (X,Y,Z). Η σύνθεση αυτών των σημείων αναπαριστά πιστά το αντικείμενο που έχει σαρωθεί, ενώ, παράλληλα, ο σαρωτής συλλέγει και χρωματική πληροφορία (με τη μορφή τιμών RGB) για το κάθε σημείο. Έτσι μπορεί να αποδοθεί και η υφή αλλά και το χρώμα του αντικειμένου που αποτυπώθηκε.

Η λογική της λειτουργίας των σαρωτών μοιάζει με αυτή των φωτογραφικών μηχανών (Εικόνα 4), και αυτό γιατί, και στις δύο περιπτώσεις, αποτυπώνεται ένα κωνοειδές πεδίο με αρχή το κέντρο του οργάνου (ηλεκτροπτικό κέντρο) και βάση το αντικείμενο προς αποτύπωση (Εικόνα 5) και δημιουργείται μια ορθή προβολή του αντικειμένου. Παρόλα αυτά οι φωτογραφικές μηχανές συλλέγουν κυρίως χρωματική πληροφορία, ενώ οι σαρωτές laser καταγράφουν πληροφορίες σχετικές με την απόσταση τους από τα αντικείμενα.



Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση της λογικής της φωτομηχανής [39]

Picture 4: Schematic representation of the photo camera



Εικόνα 5 : Κωνοειδές πεδίο σαρωτή [19]

Picture 5 : Conical field of view

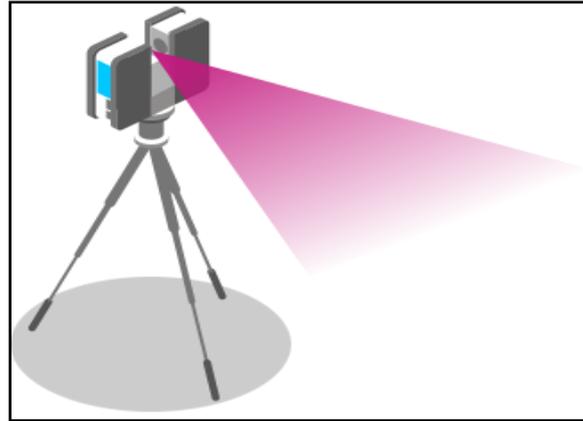
Η διαδικασία της σάρωσης αρχίζει με τη σύνδεση του Laser σαρωτή με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Μέσω της CCD κάμερας του σαρωτή (ενσωματωμένη κάμερα υψηλής ανάλυσης) είναι δυνατή η εμφάνιση της εικόνας του αντικειμένου στην οθόνη του Η/Υ για διευκόλυνση του χρήστη. Στη συνέχεια ορίζονται τα όρια της περιοχής που θα σαρωθεί, καθώς και η πυκνότητα (βήμα) της σάρωσης. Όσο πιο πυκνή είναι η σάρωση τόσο πιο πιστή θα είναι η αναπαράσταση του αντικειμένου. Αφού οριστούν οι απαραίτητες παράμετροι της σάρωσης (όρια περιοχής σάρωσης, βήμα σάρωσης), ο σαρωτής αρχίζει την υλοποίησή της με την εκπομπή τρισεκατομμυρίων φωτονίων προς το αντικείμενο (Εικόνα 6). Τα φωτόνια αυτά προσπίπτουν στην επιφάνεια του αντικειμένου και στη συνέχεια ανακλώνται πίσω στο σαρωτή. Τα ανακλώμενα φωτόνια εισέρχονται ξανά στο σαρωτή με τη βοήθεια των οπτικών διατάξεων που διαθέτει το όργανο και, αφού μετρηθεί ο χρόνος μετάβασης και επιστροφής και οι γωνίες ανάκλασης της δέσμης laser, οι πληροφορίες αυτές μεταφέρονται σε πραγματικό χρόνο στον Η/Υ. Επειδή, όπως είναι φυσικό, η ανακλαστικότητα κάθε αντικειμένου δεν είναι ίδια, για την αποφυγή σφαλμάτων που υπεισέρχονται στις μετρήσεις και επηρεάζουν την ακρίβεια, τα αντικείμενα προς αποτύπωση πρέπει να είναι κατά βάση ορατά από το σημείο αποτύπωσης και αδιαφανή. Η δέσμη laser που εκπέμπει ο σαρωτής μετακινείται κατά μήκος και κατά πλάτος του κωνοειδούς πεδίου και καταγράφονται πληροφορίες σχετικά με την απόσταση από το αντικείμενο. Εκτός από την απόσταση των σημείων του αντικειμένου από το σαρωτή, καταγράφονται και στοιχεία σχετικά με τη θέση των σημείων αυτών στο χώρο. Οι θέσεις αυτές αναφέρονται στο σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή, το οποίο ορίζεται ως εξής:

- Ως αρχή του συστήματος ορίζεται το ηλεκτροπτικό κέντρο του οργάνου
- Ο άξονας Y ταυτίζεται με το μαγνητικό βορρά και προσδιορίζεται από τη μαγνητική πυξίδα που διαθέτει ο σαρωτής

- Ο άξονας Z ταυτίζεται με την κατακόρυφο στο σημείο που τοποθετείται το όργανο
- Ο άξονας X έχει κατεύθυνση προς την ανατολή, έτσι ώστε να προκύπτει δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς

Συνεπώς ορίζεται ένα σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων με αρχή το ηλεκτροπτικό κέντρο του σαρωτή και τιμές $\varphi=0$ και $\theta=0$ (όπου φ θεωρείται η γωνία ύψους και θ η οριζόντια γωνία) για το διάνυσμα που ξεκινάει από τον αισθητήρα του σαρωτή και κατευθύνεται εμπροσθεν του σαρωτή. Τα φ και θ μαζί με το r , που αντιπροσωπεύει την απόσταση σαρωτή και σημείου και που ήδη έχει προσδιοριστεί από την καταγραφή του χρόνου μετάβασης και επιστροφής της δέσμης, αποτελούν τις σφαιρικές συντεταγμένες που ορίζουν τη θέση του αντικειμένου στο αυθαίρετο σύστημα του σαρωτή. Τέλος, γίνεται η μετατροπή των σφαιρικών συντεταγμένων σε καρτεσιανές συντεταγμένες του συστήματος (X, Y, Z), που ορίστηκε παραπάνω για κάθε σημείο και αποτελούν τα τελικά αποτελέσματα της σάρωσης.

Για την ολοκληρωμένη απόδοση ενός αντικειμένου η διαδικασία της σάρωσης που περιγράφηκε παραπάνω, πιθανότατα θα πρέπει να πραγματοποιηθεί περισσότερες από μία φορές, από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως πρέπει να επιλέγονται με προσοχή οι θέσεις όπου θα τοποθετηθεί ο σαρωτής, καθώς η δέσμη laser θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κάθετη στο αντικείμενο και να αποφεύγονται οι μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης της. Στη συνέχεια, όλες αυτές οι διαφορετικές σαρώσεις θα πρέπει να αναφερθούν σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων και να συνθέσουν το τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου. Αυτό πραγματοποιείται με την **διαδικασία της σύνεωσης** των νεφών των σημείων που προκύπτουν από τις διαφορετικές σαρώσεις και τη δημιουργία ενός μοντέλου στο ενιαίο σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή. Τέλος προκειμένου το σαρωμένο μοντέλο να μπορεί να συγκριθεί με άλλα μοντέλα που αναφέρονται σε κάποιο άλλο επιλεγμένο σύστημα αναφοράς (π.χ. στο ΕΓΣΑ '87) γίνεται η **γεωαναφορά** του σε αυτό το συγκεκριμένο σύστημα. Οι παραπάνω διαδικασίες καθώς και η μετέπειτα επεξεργασία του σαρωμένου νέφους για την εξαγωγή της τελικής εικόνας του αντικειμένου γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού και θα περιγραφούν πλήρως στη συνέχεια (ενότητες 4.4.1 , 4.4.2).

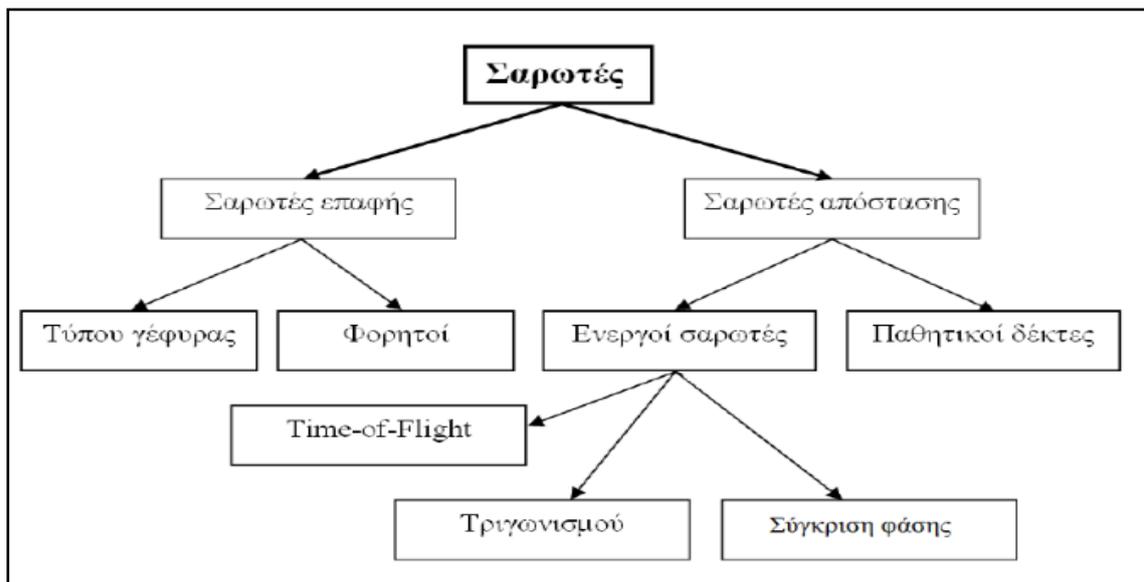


Εικόνα 6 : Εκπομπή δέσμης laser [37]

Picture 6: Emission of laser beam

4.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΣΑΡΩΤΩΝ

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των σαρωτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια επίγεια σάρωση, ενώ θα δοθεί έμφαση στον τύπο σαρωτή που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ο βασικός διαχωρισμός των επίγειων σαρωτών γίνεται ανάλογα με το αν είναι **σαρωτές επαφής** ή **σαρωτές απόστασης**. Στο σχήμα 2 που ακολουθεί παρατίθεται η κατηγοριοποίηση των σαρωτών.



Σχήμα 1 : Κατηγοριοποίηση των επίγειων σαρωτών laser [9]

Fig. 1: Categorization of Terrestrial Laser Scanners

4.3.1 Σαρωτές επαφής

Οι σαρωτές αυτής της κατηγορίας πρέπει να έρθουν σε επαφή με το αντικείμενο προς αποτύπωση, ώστε να αποδώσουν σχετικές συντεταγμένες των σημείων σε ένα ενσωματωμένο καταγραφικό σύστημα. Οι σαρωτές αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές και παρέχουν σχετικά καλή ακρίβεια. Τα μειονεκτήματά τους όμως είναι σημαντικά, καθώς απαιτούν επαφή με το αντικείμενο προς αποτύπωση, γεγονός που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ανέφικτο (π.χ. για αντικείμενα απρόσιτα, ευαίσθητα ή εύθραυστα). Ένα επιπλέον μειονέκτημα της σάρωσης με αυτούς τους σαρωτές είναι ότι η διαδικασία είναι αρκετά χρονοβόρα συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους. Οι σαρωτές επαφής διακρίνονται σε :

- σαρωτές τύπου γέφυρας
- Φορητούς σαρωτές



Εικόνα 7: Σαρωτής επαφής φορητού τύπου (αριστερά) και τύπου γέφυρας (δεξιά) [9]

Picture 7: Contact laser scanners

4.3.2. Σαρωτές απόστασης (non-contact laser scanners)

Οι σαρωτές αυτής της κατηγορίας δεν χρειάζεται να έρθουν σε επαφή με το αντικείμενο αλλά εκπέμπουν ακτινοβολία για τον εντοπισμό των σημείων του αντικείμενου που θα αποτυπωθούν. Οι σαρωτές απόστασης διακρίνονται σε **ενεργούς** και **παθητικούς** σαρωτές.

Οι ενεργοί σαρωτές εκπέμπουν ακτινοβολία (π.χ. ακτίνες X ή ακτίνες φωτός ή υπερήχους), που ανακλάται στο αντικείμενο και επιστρέφει πίσω στο σαρωτή. Με αυτόν τον τρόπο οι σαρωτές μπορούν να προσδιορίσουν την απόσταση τους από το αντικείμενο. Πλεονέκτημα της σάρωσης με σαρωτές αυτής της κατηγορίας είναι η ταχύτητα της διαδικασίας, ενώ μειονέκτημα αποτελεί η αδυναμία τους να αποτυπώσουν αντικείμενα με μαύρο χρώμα καθώς αυτά απορροφούν όλη την ακτινοβολία που στέλνει ο σαρωτής.

Αντίθετα οι παθητικοί σαρωτές είναι όργανα που δεν εκπέμπουν ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, αλλά διαθέτουν δέκτες που εντοπίζουν την περιρρέουσα ακτινοβολία που εκπέμπουν τα αντικείμενα. Τέτοιου τύπου ακτινοβολία αποτελεί το ορατό φως. Οι σαρωτές αυτοί έχουν τη δυνατότητα, εκτός από το ορατό φάσμα, να κάνουν μετρήσεις και στο υπέρυθρο. Πρόκειται για μικρούς, εύχρηστους δέκτες που δεν απαιτούν εξειδικευμένο λογισμικό για την πραγματοποίηση της υπολογιστικής τους διαδικασίας. Αυτό τους κάνει να υστερούν σε ακρίβεια σε σχέση με τους ενεργούς σαρωτές.

Οι ενεργοί σαρωτές απόστασης αποτελούν την πιο διαδεδομένη κατηγορία σαρωτών στις εφαρμογές γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Οι ενεργοί σαρωτές διακρίνονται με τη σειρά τους, ανάλογα με την τεχνολογία αποτύπωσης που χρησιμοποιούν, σε:

- Σαρωτές τεχνολογίας παλμών Time of flight
- Σαρωτές Τριγωνισμού
- Σαρωτές σύγκρισης φάσης

Στις περιπτώσεις γεωμετρικής τεκμηρίωσης κατασκευής ή τεχνικών έργων συνήθως επιλέγονται τύποι σαρωτών που βασίζονται στην μέτρηση του χρόνου, όπως είναι οι σαρωτές σύγκρισης φάσης και οι σαρωτές τεχνολογίας παλμών Time-of-Flight (TOF).

Οι σαρωτές σύγκρισης φάσης μπορούν να σαρώσουν αντικείμενα σε αποστάσεις (μέχρι 120 μέτρα), αλλά έχουν πολύ μεγάλη ταχύτητα σάρωσης. Στην περίπτωση αυτή, το εκπεμπόμενο σήμα διαμορφώνεται ως ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου υπολογίζεται μέσω της διαφοράς φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και του επιστρέφοντος, από το αντικείμενο, κύματος.

Εδώ θα δοθεί έμφαση στους σαρωτές που λειτουργούν με την τεχνολογία παλμών Time-of-Flight, όπως ο σαρωτής ScanStation 2 που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας. Οι σαρωτές αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως στην γεωμετρική τεκμηρίωση μεγάλων αντικειμένων (π.χ. κτιρίων) και έχουν τη δυνατότητα σάρωσης σε πολύ μεγάλες αποστάσεις ακόμα και της τάξης των μερικών χιλιομέτρων. Ένα ακόμα πλεονέκτημα τους είναι το μεγάλο εύρος κίνησης τους, χάρη στην κεφαλή και τα ειδικά κάτοπτρα που διαθέτουν, μέσω των οποίων μπορούν να κατευθύνουν τη δέσμη και οριζόντια αλλά και κάθετα. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην εκπομπή δέσμης laser, η οποία προσπίπτει στο αντικείμενο και επιστρέφει πίσω στον σαρωτή, όπου ένας laser μετρητής προσδιορίζει την απόσταση του οργάνου από το αντικείμενο, βάσει του χρόνου μετάβασης και επιστροφής (Εικόνα 8). Δεδομένου ότι η ταχύτητα του laser ισούται με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό η απόσταση υπολογίζεται από την γνωστή σχέση:

$$S = (1/2) c \cdot t \quad (4.1)$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός και t ο χρόνος μετάβασης - επιστροφής της δέσμης laser.

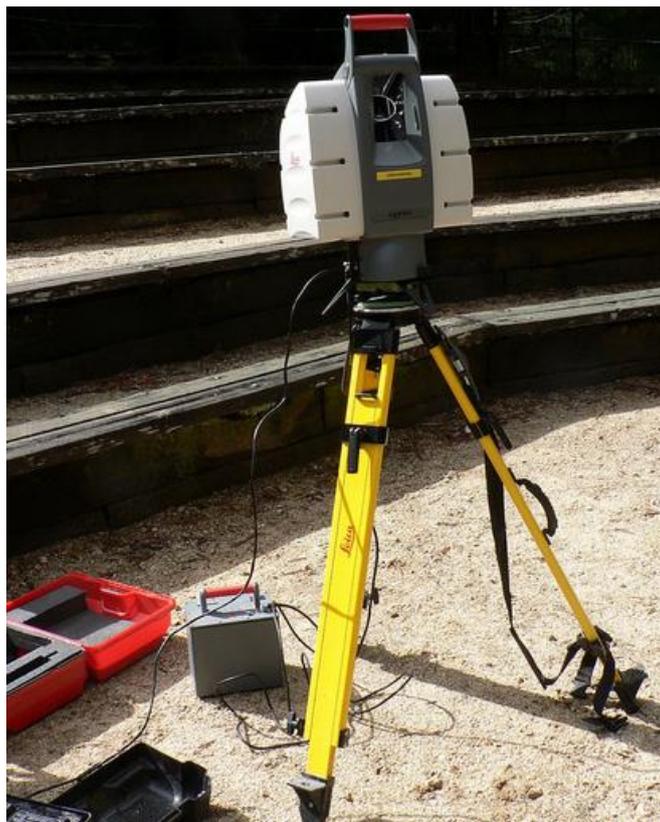
Η μέτρηση πολλαπλών σημείων του αντικειμένου πραγματοποιείται είτε περιστρέφοντας τον laser μετρητή της απόστασης είτε περιστρέφοντας ειδικά διαμορφωμένα κάτοπτρα στο εσωτερικό του οργάνου. Συνηθέστερη τεχνική αποτελεί η δεύτερη λόγω του μικρότερου βάρους και της μεγαλύτερης ταχύτητας περιστροφής των κατόπτρων σε σχέση με τον μετρητή.



Εικόνα 8 : Αρχή λειτουργίας της Time of flight τεχνικής τρισδιάστατης ανίχνευσης [40]

Picture 8: Time of flight Principle of operation

Η ακρίβεια και η ανάλυση που μπορούν να παρέχουν οι σαρωτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο TOF είναι περιορισμένη εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας του φωτός και της συνακόλουθης δυσκολίας ακριβούς μέτρησης του χρόνου μετάβασης και επιστροφής της δέσμης. Επιπλέον η ακρίβεια μπορεί να χαθεί όταν η ακτίνα προσπίπτει στην γωνία ενός αντικειμένου καθώς η πληροφορία που επιστρέφει στο όργανο είναι από δύο θέσεις για ένα μόνο παλμό laser. Οι συντεταγμένες για το σημείο θα προκύψουν ως μέσος όρος με αποτέλεσμα τον λανθασμένο προσδιορισμό του στο χώρο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «σφάλμα ακμής» και θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα (4.7). Η ακρίβεια της μεθόδου TOF ορίζεται από τους κατασκευαστές στα μερικά χιλιοστά (ακρίβεια θέσης σημείου).



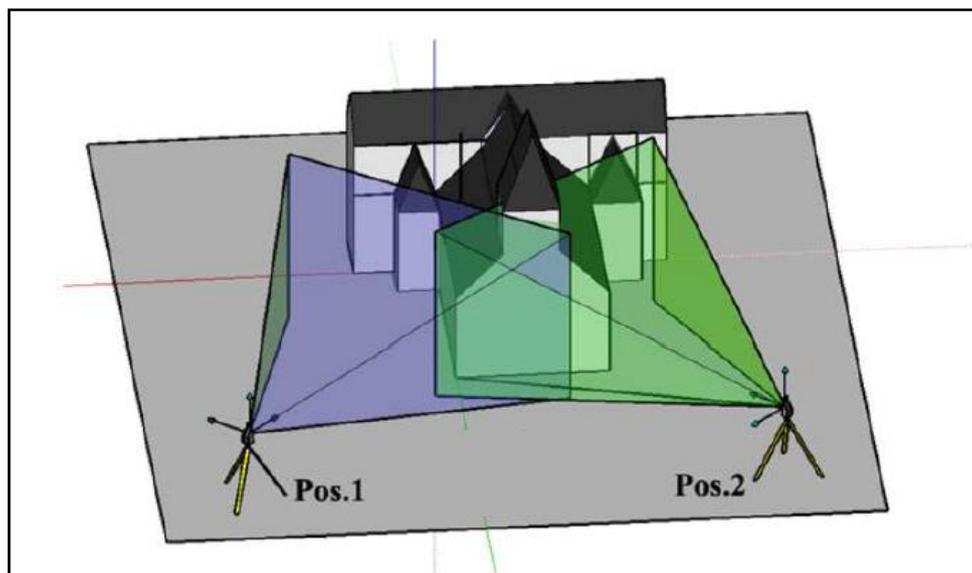
Εικόνα 9: Σαρωτής τεχνολογίας Time-of-Flight [32]
Picture 9 : Scanner using Time-of-Flight technology

4.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα (4.2), η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων είναι εφικτή, εύκολα και αξιόπιστα, με τη χρήση της τεχνολογίας των σαρωτών. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της σάρωσης προκύπτει το πρώτο παραγόμενο προϊόν, δηλαδή το νέφος σημείων. Συνήθως, όπως έχει αναφερθεί, η δημιουργία ολοκληρωμένων τρισδιάστατων μοντέλων επιβάλλει τη σάρωση του αντικειμένου από περισσότερες της μιας θέσεις. Έτσι δημιουργούνται ανεξάρτητα νέφη σημείων, τα οποία χρειάζεται να συνενωθούν σ' ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων, το σύστημα του σαρωτή. Συχνά το δημιουργούμενο μοντέλο χρειάζεται να αναφερθεί από το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή σε άλλο σύστημα συντεταγμένων προκειμένου τα παράγωγα της σάρωσης να είναι αξιοποιήσιμα και συγκρίσιμα. Απαιτείται επομένως η διαδικασία της γεωαναφοράς του μοντέλου.

4.4.1 Συνένωση νέφους (Registration)

Συνένωση νέφους είναι η διαδικασία που πραγματοποιείται ώστε να ενταχθούν διαφορετικές σαρώσεις του ίδιου αντικειμένου, οι οποίες έχουν μεταξύ τους ένα ποσοστό επικάλυψης, σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων (Σχήμα 2). Κατά τη διαδικασία της συνένωσης επιλέγεται ένα νέφος σημείων το οποίο ονομάζεται κύριο νέφος, πράγμα που σημαίνει πως το συνενωμένο νέφος θα έχει το δικό του σύστημα συντεταγμένων. Όλα τα υπόλοιπα νέφη συνδέονται με το κύριο νέφος με βάση τα κοινά σημεία (σημεία που βρίσκονται στο επικαλυπτόμενο τμήμα των γειτονικών σαρώσεων) και γίνονται οι κατάλληλες μεταθέσεις και στροφές στις τρεις διευθύνσεις. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η αρχική δομή του κάθε νέφους δεν μεταβάλλεται μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της συνένωσης. Το μόνο που αλλάζει είναι η θέση του σε σχέση με τα υπόλοιπα.



Σχήμα 2 : Συνένωση των νεφών σημείων

Fig. 2: Registration of point clouds

Η συνένωση των νεφών περιγράφεται μαθηματικά μέσω του μοντέλου του τρισδιάστατου μετασχηματισμού στερεού σώματος. Ως στερεό σώμα ορίζεται γεωμετρικά κάθε τρισδιάστατο σημειοσύνολο με συντεταγμένες X, Y, Z , δηλαδή κάθε νέφος, το οποίο μετασχηματιζόμενο, δεν μεταβάλλεται κατά σχήμα και μέγεθος. Συγκεκριμένα, για την ένταξη του μοντέλου σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν 6 παράμετροι:

- οι 3 μεταθέσεις του μοντέλου ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)
- οι 3 στροφές ($\Delta \omega, \Delta \varphi, \Delta \kappa$) περί τους τρεις άξονες του συστήματος

Αυτές οι 3 μεταθέσεις και στροφές αποτελούν τους 6 βαθμούς ελευθερίας που πρέπει να υπολογισθούν ώστε να προσδιορισθεί ένα αντικείμενο στον τρισδιάστατο χώρο.

Συνεπώς, για να πραγματοποιηθεί η συνένωση, είναι απαραίτητα τουλάχιστον 3 σημεία. Με την επιλογή του πρώτου σημείου προκύπτει ο προσδιορισμός των τριών μεταθέσεων (X_s , Y_s , Z_s), με την επιλογή του δεύτερου σημείου εξασφαλίζεται η δυνατότητα προσδιορισμού των 2 στροφών του μοντέλου, ενώ απαιτείται και η επιλογή ενός τρίτου σημείου ώστε να προσδιοριστεί και η τελευταία στροφή και να επιλυθεί το πρόβλημα της συνένωσης. Αν επιλεγθούν παραπάνω από 3 σημεία, θα έχουμε περισσότερες παρατηρήσεις και θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων για την εκτίμηση των 6 παραμέτρων. Η συνένωση των νεφών σημείων μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια από τις παρακάτω μεθόδους:

➤ **Με τη χρήση ομόλογων σημείων**

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται συνένωση σαρώσεων του ίδιου αντικειμένου αφού επιλεγούν τουλάχιστον 3 ομόλογα (κοινά) σημεία μεταξύ των επιμέρους νεφών αξιοποιώντας την επικαλυπτόμενη επιφάνεια τους. Για να αυξηθεί η ακρίβεια της συνένωσης τα σημεία αυτά πρέπει να επιλεγθούν με προσοχή, ώστε να είναι ευδιάκριτα και κατανοημένα ομοιόμορφα στο επικαλυπτόμενο τμήμα μεταξύ των σαρώσεων, ενώ δεν πρέπει να είναι συνευθειακά ή να ανήκουν στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο. Τα σημεία αυτά επιλέγονται κατά το στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων και δεν σημαίνονται πάνω στο αντικείμενο πριν την έναρξη της διαδικασίας της σάρωσης. Η συνένωση με τη χρήση ομόλογων σημείων πραγματοποιείται με τη χρήση του ICP αλγόριθμου. Ο χρήστης εντοπίζει ορισμένα σημεία που βρίσκονται στο επικαλυπτόμενο τμήμα των σαρωμένων νεφών και τα υποδεικνύει και στα 2 νέφη. Αν και τα απαραίτητα κοινά σημεία για να επιτευχθεί η συνένωση είναι τρία, συνήθως επιλέγονται παραπάνω ώστε να έχει μεγαλύτερη αξιοπιστία το τελικό προϊόν. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος δίνει προσωρινές τιμές στα σημεία ώστε να ξεκινήσει ο υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ των ομόλογων σημείων. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν οι αποστάσεις μεταξύ τους είναι οι μικρότερες δυνατές. Συνεπώς η βέλτιστη λύση της συνένωσης των δύο νεφών επιτυγχάνεται μέσω επαναληπτικής διαδικασίας η οποία σταματά όταν το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων των ομόλογων σημείων, των δύο σαρωμένων νεφών, είναι το ελάχιστο δυνατό.

➤ **Με τη χρήση ειδικών HDS στόχων**

Για τη συνένωση των σαρώσεων με αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται στόχοι που τοποθετούνται στην περιοχή της σάρωσης και είναι ορατοί από τις θέσεις που τοποθετείται ο σαρωτής. Οι στόχοι είναι συνήθως επίπεδοι ή έχουν γεωμετρικό σχήμα, όπως το σχήμα μιας σφαίρας (Εικόνα 10, 11). Το ακριβές σχήμα των στόχων διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή, το κοινό χαρακτηριστικό όμως όλων είναι η υψηλή τους ανακλαστικότητα ώστε να αναγνωρίζονται από τον σαρωτή. Το

γεωμετρικό σχήμα που χρησιμοποιείται πιο συχνά είναι οι σφαίρες ή τα ημισφαίρια. Οι στόχοι αυτοί σαρώνονται και με ειδική επεξεργασία προσδιορίζεται το κέντρο τους το οποίο στη συνέχεια λειτουργεί ως το σημείο σύνδεσης για την ένωση των σαρώσεων. Οι παραπάνω στόχοι τοποθετούνται στο επικαλυπτόμενο τμήμα της επιφάνειας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και ισχύουν οι ίδιες προϋποθέσεις όπως και στη συνένωση με τη χρήση ομόλογων σημείων. Συγκεκριμένα είναι απαραίτητη η χρήση 3 τουλάχιστον στόχων, μη συνευθειακών, οι οποίοι πρέπει να είναι καλά κατανομημένοι στο επικαλυπτόμενο τμήμα ώστε να καλύπτουν και τις 3 διαστάσεις (X, Y, Z). Αφού πραγματοποιηθεί η σάρωση των ειδικών στόχων, με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού γίνεται η συνένωση των νεφών και προκύπτει το μοντέλο σε ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων.



Εικόνα 10: Τετράγωνος ειδικός στόχος αριστερά, κυκλικόι ειδικοί στόχοι κέντρο – δεξιά [41]
Picture 10: Square special target (left), circular targets (center-right)

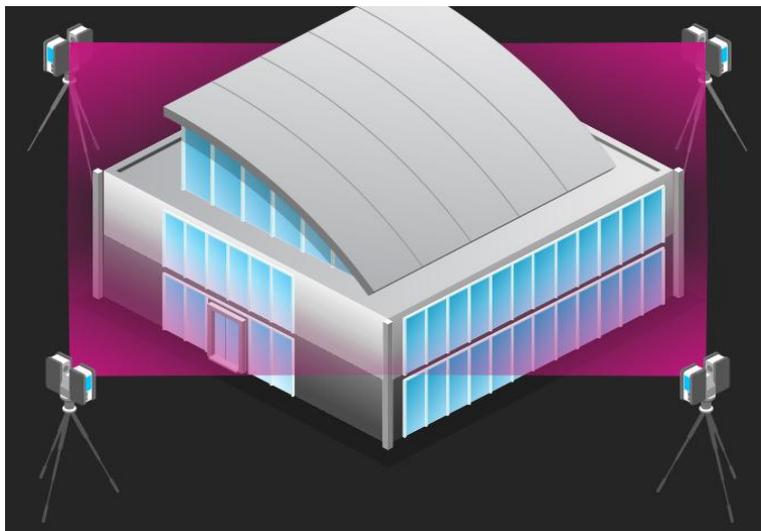


Εικόνα 11: Ειδικός σφαιρικός στόχος για το ScanStation 2 [42]
Picture 11 : Special sphere target for ScanStation 2

➤ **Με συνδυασμό των μεθόδων**

Πολλές φορές για την επίτευξη καλύτερου αποτελέσματος με μεγαλύτερη ακρίβεια η διαδικασία της συνένωσης των νεφών μπορεί να πραγματοποιηθεί με συνδυασμό των 2 μεθόδων που αναλύθηκαν παραπάνω. Ο χρήστης μπορεί αρχικά να συνενώσει τις επιμέρους σαρώσεις με τη βοήθεια ειδικών στόχων και στη συνέχεια να προσθέσει και δεσμούς μεταξύ ομόλογων σημείων ή και αντίστροφα. Το αποτέλεσμα αυτής της

διαδικασίας θα είναι πάλι ένα τελικό ενιαίο μοντέλο που θα αναφέρεται στο σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή.



Εικόνα 12: Σάρωση αντικειμένου από διαφορετικές θέσεις σαρωτή [37]

Picture 12: Object scan from different scanner positions

4.4.2 Γεωαναφορά (Geo-referencing)

Η διαδικασία της γεωαναφοράς συνίσταται στον προσανατολισμό του νέφους σημείων ή του μοντέλου σε πραγματικές συντεταγμένες στο χώρο, δηλαδή γίνεται μετάβαση από το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή σε άλλο, επιλεγμένο, σύστημα συντεταγμένων. Αν ο σαρωτής τοποθετείται σε τυχαία θέση, δηλαδή δεν είναι κεντρωμένος σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες, τότε όπως και στην περίπτωση της συνένωσης, απαιτούνται τρία σημεία γνωστών συντεταγμένων (στο επιλεγμένο σύστημα) από το επικαλυπτόμενο τμήμα των σαρώσεων προκειμένου να επιλυθεί ο μετασχηματισμός και να επιτευχθεί η γεωαναφορά του αντικειμένου. Τα σημεία αυτά είναι είτε χαρακτηριστικά λόγω γεωμετρίας πάνω στο σώμα του αντικειμένου (π.χ. γωνίες) είτε ειδικοί επίπεδοι ή σφαιρικοί στόχοι υψηλής ανακλαστικότητας. Στην περίπτωση που, ο σαρωτής κεντρωθεί και οριζοντιωθεί σε κορυφή με συντεταγμένες γνωστές σε ένα σύστημα συντεταγμένων και προσανατολισθεί (μηδενισμός) σε κορυφή με συντεταγμένες γνωστές στο ίδιο σύστημα, τότε το παραγόμενο νέφος των σημείων εντάσσεται απ' ευθείας στο παραπάνω σύστημα αναφοράς. Γενικεύοντας τα προηγούμενα, με την ίδρυση ενός γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου στην «εγγύς» περιοχή του αντικειμένου, υπάρχει η δυνατότητα οι σαρώσεις προς το αντικείμενο να γίνονται από τις κορυφές του δικτύου. Τότε, τα παραγόμενα νέφη σημείων, που περιγράφουν το αντικείμενο, είναι απ' ευθείας ενταγμένα στο σύστημα αναφοράς του δικτύου.

4.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές laser καθώς και οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που έχουν τη δυνατότητα να αποτυπώνουν αντικείμενα από απόσταση, είναι όργανα με πολλά θετικά χαρακτηριστικά που τα διαφοροποιούν από τα κλασικά γεωδαιτικά όργανα και τεχνικές, που συνήθως χρησιμοποιούνται για τη γεωμετρική τεκμηρίωση των κατασκευών και γενικά των τεχνικών έργων. Τα χαρακτηριστικά αυτά παρατίθενται παρακάτω.

- Η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει μεγάλη ταχύτητα αφού μπορεί να καταγράψει ακόμα και μερικές δεκάδες χιλιάδες σημεία το δευτερόλεπτο. Παράλληλα αποτελεί μια πολύ αξιόπιστη μέθοδο γεωμετρικής τεκμηρίωσης.
- Η μέθοδος αυτή συνδυάζει ακρίβεια, πληρότητα αλλά και συνέχεια, κάτι που πολλές φορές δεν μπορεί να επιτευχθεί με την αποτύπωση με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό. Με το γεωδαιτικό σταθμό επιλέγονται προσεκτικά ποια απαραίτητα σημεία θα αποτυπωθούν ώστε να αναπαραχθεί το αντικείμενο.
- Με τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη σάρωση απαιτείται λιγότερη προεπεξεργασία αλλά και μικρότερος χρόνος εργασίας στο γραφείο. Επίσης το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μια ολογραφία του αντικειμένου.
- Το υψηλό κόστος αγοράς του απαραίτητου για τη διαδικασία εξοπλισμού, αντισταθμίζεται με το χαμηλό κόστος γεωμετρικής τεκμηρίωσης, λόγω του μειωμένου χρόνου παραμονής στον τόπο καταγραφής. Συνεπώς και ο αριθμός ανθρωποωρών είναι μικρότερος.
- Τα παράγωγα της μεθόδου είναι τρισδιάστατα μοντέλα του, προς γεωμετρική τεκμηρίωση, αντικειμένου, συνεπώς ο όγκος της πληροφορίας που παρέχουν είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τα γραμμικά σχέδια κατόψεων, όψεων και τομών που είναι κατά βάση διδιάστατα.
- Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις όπου τα αντικείμενα προς αποτύπωση είναι απρόσιτα ή ευαίσθητα (μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, περιοχές ατυχημάτων κ.α.)
- Τέλος η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεγάλη ευκολία για το χειριστή, καθώς καλείται μόνο να καθορίσει το βήμα της οριζόντιας και της κατακόρυφης ανάλυσης.

4.6 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης με επίγειο σαρωτή laser και ιδιαίτερα σε μελέτες παραμορφώσεων τεχνικών έργων είναι η ακρίβεια, καθώς έχει άμεση επίπτωση στην ποιότητα του τελικού προϊόντος.

4.6.1 Διαστάσεις κουκίδας laser

Ένας παράγοντας που συνδέεται άμεσα με την ακρίβεια προσδιορισμού ενός μεμονωμένου σημείου με το laser σαρωτή είναι οι διαστάσεις της κουκίδας laser (spot size). Το μέγεθος της κουκίδας διαφέρει ανάλογα με την εταιρία κατασκευής και το όργανο. Γενικά όμως ισχύει ότι όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του ίχνους της δέσμης (κουκίδα) τόσο ακριβέστερα ορίζεται το σημείο που προσδιορίζεται κατά τη σάρωση. Συμβατικά η ακτίνα της κουκίδας ορίζεται από το κέντρο της δέσμης μέχρι το σημείο που η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται στο:

$$\frac{1}{e^2} \times I_{max} = 0,135 \times I_{max} \quad (4.2)$$

Όπου: $e = 2,7182$ βάση των φυσικών λογαρίθμων και I_{max} η μέγιστη ένταση της κουκίδας laser.

Η κουκίδα της ακτίνας laser έχει την τάση να αυξάνεται όσο μεγαλώνει και η απόσταση σαρωτή - αντικειμένου. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διασπορά και είναι πολύ σύνηθες στους σαρωτές Laser που χρησιμοποιούνται στη γεωμετρική τεκμηρίωση. Αν η απόσταση σαρωτή και αντικειμένου είναι πολύ μεγάλη, η ακτίνα της κουκίδας μπορεί να φτάσει ακόμα και το δεκαπλάσιο του αρχικού της μεγέθους. Το γεγονός αυτό θα δυσκολέψει πολύ τον εντοπισμό των σωστών σημείων και θα εισάγει σφάλματα στις μετρήσεις. Αντίθετα αν οι σαρώσεις των αντικειμένων πραγματοποιούνται από μικρότερες αποστάσεις η αβεβαιότητα λόγω του μεγέθους της κουκίδας περιορίζεται στα πλαίσια του θορύβου. Για τον σαρωτή ScanStation 2 που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, το μέγεθος της κουκίδας μεγαλώνει σταδιακά για την πραγματοποίηση σαρώσεων από αποστάσεις μεγαλύτερες των 50 m.

4.6.2 Ακρίβεια μέτρησης απόστασης

Η τεχνολογία με την οποία λειτουργεί ο επίγειος τρισδιάστατος σαρωτής επηρεάζει και την ακρίβεια μέτρησης της απόστασης. Στους σαρωτές τεχνολογίας Time of Flight για παράδειγμα, η απόσταση υπολογίζεται καταγράφοντας το χρόνο που κάνει η δέσμη laser να εξέλθει από τον σαρωτή, να μεταβεί στο αντικείμενο να ανακλασθεί και να επιστρέψει πάλι πίσω στο όργανο. Συγκρίνοντας την απόσταση που προκύπτει από το σαρωτή με μετρήσεις της ίδιας απόστασης με χρήση άλλων μεθόδων (π.χ.

ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς) μπορεί να υπολογιστεί το σφάλμα στην απόσταση. Σε περίπτωση που ο σαρωτής δεν είναι κεντρωμένος σε σημείο γνωστών συντεταγμένων, μπορούν να υπολογιστούν μόνο σχετικές αποστάσεις [16]. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής ScanStation 2 με ακρίβεια στη μέτρηση της απόστασης (κατά τον κατασκευαστή) $\sigma_s = \pm 4 \text{ mm}$.

4.6.3 Ακρίβεια μέτρησης γωνίας

Η γωνία ύψους (α) και η οριζόντια γωνία (θ) μαζί με την απόσταση (ρ) είναι τα πρωτογενή δεδομένα του σαρωτή, από τα οποία προκύπτουν οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων που ορίζουν το αντικείμενο. Κατά τη λειτουργία του σαρωτή, ο παλμός του laser εκτρέπεται από μια μικρή περιστρεφόμενη συσκευή (καθρέφτης, πρίσμα) και κατευθύνεται προς το αντικείμενο. Οποιαδήποτε απόκλιση θα έχει ως αποτέλεσμα τη γραμμική μετατόπιση του σημείου πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου. Συνεπώς σφάλματα στη μέτρηση της γωνίας μπορούν να εντοπιστούν μετρώντας μικρές οριζόντιες και κατακόρυφες αποστάσεις ανάμεσα σε αντικείμενα (π.χ. σφαίρες) τα οποία θα είναι τοποθετημένα στην ίδια απόσταση από το σαρωτή και συγκρίνοντας αυτές τις αποστάσεις με άλλες μετρήσεις που προέρχονται από περισσότερο ακριβείς γεωδαιτικές μεθόδους [16]. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ο σαρωτής ScanStation 2 που χρησιμοποιήθηκε, κατά τον κατασκευαστή, έχει ακρίβεια μέτρησης στην οριζόντια και κατακόρυφη γωνία $\sigma_\theta = \sigma_\alpha = \pm 60 \text{ } \mu\text{rad}$.

4.6.4 Εκτίμηση της ακρίβειας στον προσδιορισμό της θέσης σημείου

Χρησιμοποιώντας τις ακρίβειες που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, καθώς και το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων, μπορεί να προκύψει η ακρίβεια προσδιορισμού μεμονωμένου σημείου με τον επίγειο Τρισδιάστατο laser σαρωτή. Η ακρίβεια αυτή έχει ήδη προσδιοριστεί από τον κατασκευαστή του οργάνου πως είναι ίση με $\pm 6 \text{ mm}$ και πρόκειται να συγκριθεί με τα αποτελέσματα που θα προκύψουν σε αυτή την ενότητα. Όπως έχει αναφερθεί οι παρατηρήσεις του σαρωτή είναι η απόσταση ρ , η γωνία ύψους α καθώς και η οριζόντια διεύθυνση θ . Οι καρτεσιανές συντεταγμένες (x , y , z) προκύπτουν μετά από την εφαρμογή των κατάλληλων λογισμικών επεξεργασίας στις πρωτογενείς παρατηρήσεις (ρ , α , θ). Συνεπώς οι εξισώσεις που συνδέουν τις καρτεσιανές συντεταγμένες (x , y , z) ενός σημείου με τις αντίστοιχες σφαιρικές συντεταγμένες (ρ , θ , α) είναι οι ακόλουθες.

$$x_i = \rho_i * \sin(\theta_i) * \cos(\alpha_i) \quad (4.3)$$

$$y_i = \rho_i * \cos(\theta_i) * \cos(\alpha_i) \quad (4.4)$$

$$z_i = \rho_i * \sin(\alpha_i) \quad (4.5)$$

Μετά από την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στις σχέσεις (4.3), (4.4) και (4.5) προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις.

$$\sigma_x = \pm \sqrt{(\sin\theta * \cos\alpha)^2 * \sigma\rho^2 + (\rho * \cos\theta * \cos\alpha)^2 * \sigma\theta^2 + [\rho * \sin\theta * (-\sin\alpha)]^2 * \sigma\alpha^2} \quad (4.6)$$

$$\sigma_y = \pm \sqrt{(\cos\theta * \cos\alpha)^2 * \sigma\rho^2 + [\rho * \cos\alpha * (-\sin\theta)]^2 * \sigma\theta^2 + [\rho * \cos\theta * (-\sin\alpha)]^2 * \sigma\alpha^2} \quad (4.7)$$

$$\sigma_z = \pm \sqrt{(\sin\alpha)^2 * \sigma\rho^2 + (\rho * \cos\alpha)^2 * \sigma\alpha^2} \quad (4.8)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις για τον σαρωτή ScanStation2 που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία προκύπτει ότι $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \pm 4\text{mm}$. Δηλαδή ακρίβειες στον προσδιορισμό θέσης σημείου που είναι μέσα στα όρια που έχει θέσει ο κατασκευαστής του οργάνου ($\pm 6\text{mm}$).

4.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΑΡΩΣΗΣ

Η ακρίβεια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης με τον επίγειο τρισδιάστατο Laser σαρωτή επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες, πέρα από αυτούς που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Παρόλα αυτά η επίδραση αυτών των σφαλμάτων στην εκτίμηση της τελικής ακρίβειας προσδιορισμού θέσης σημείου με σαρωτή, δεν μπορεί να περιγραφεί εκφράζοντάς τις με μαθηματικές σχέσεις.

Ο σαρωτής έχει κατασκευαστεί ώστε να αντιμετωπίζει ορισμένους από αυτούς τους παράγοντες και σε συνδυασμό με την προσεκτική χρήση του κατά τη φάση των μετρήσεων, η επίδραση τους στην ακρίβεια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης περιορίζεται.

4.7.1 Βήμα σάρωσης

Ένας από αυτούς τους παράγοντες είναι το βήμα σάρωσης καθώς και η μέγιστη απόσταση σαρωτή – αντικειμένου που καλείται ο χρήστης να ορίσει κατά τη φάση προγραμματισμού της σάρωσης. Η τιμή της μέγιστης απόστασης τοποθετείται προσεγγιστικά, αν και σε ορισμένα σύγχρονα όργανα η απόσταση αυτή τοποθετείται αυτόματα μόλις ο χρήστης ορίσει τα όρια της περιοχής που πρόκειται να σαρωθεί. Το βήμα σάρωσης του αντικειμένου, είναι στην ουσία οι διαστάσεις του κανάβου στις κορυφές του οποίου ο σαρωτής θα πάρει μετρήσεις. Όπως είναι φανερό όσο μικρότερο είναι το βήμα σάρωσης, τόσο περισσότερα σημεία θα αποτυπώσει ο σαρωτής και συνεπώς το τελικό προϊόν θα έχει περισσότερες λεπτομέρειες και μεγαλύτερη ακρίβεια.

4.7.2 Θόρυβος

Κατά τη διαδικασία της σάρωσης και ειδικότερα στις σαρώσεις που πραγματοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους είναι πιθανό να αποτυπωθεί και άχρηστη πληροφορία. Η άχρηστη αυτή πληροφορία ονομάζεται θόρυβος σάρωσης. Ο θόρυβος εμφανίζεται στο τελικό προϊόν ως σημεία που είναι σκορπισμένα σε τυχαίες διευθύνσεις γύρω από το αντικείμενο. Τέλος θόρυβο μπορεί να αποτελέσουν φυσικά ή τεχνικά εμπόδια μπροστά από το αντικείμενο σάρωσης (π.χ. δένδρα), άνθρωποι ή άλλα κινητά εμπόδια που παρεμβάλλονται στιγμιαία μπροστά από την ακτίνα laser κατά τη διαδικασία της σάρωσης. Ο εντοπισμός και η απαλοιφή του θορύβου μπορεί να γίνει κατά τη φάση επεξεργασία του νέφους με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού.

4.7.3 Ατμοσφαιρικές συνθήκες

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τον επίγειο σαρωτή laser είναι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Ο σαρωτής είναι κατασκευασμένος ώστε να λειτουργεί σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών (0-50°C), αλλά ακόμα και μέσα σε αυτό το εύρος μπορεί να παρατηρηθούν αποκλίσεις ειδικά σε σαρώσεις από μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον, κατά τη σάρωση από ένα σημείο για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενδέχεται να προκύψει ελαφριά μετακίνηση στη θέση του οργάνου εξαιτίας μεταβολής της θερμοκρασίας. Για την εξάλειψη αυτού του φαινομένου ορισμένοι σαρωτές διαθέτουν έναν ισοσταθμιστή ώστε να εξουδετερώνεται οποιαδήποτε κίνηση τους κατά τη διάρκεια της σάρωσης. Τέλος δεν συνιστάται να χρησιμοποιούνται οι σαρωτές σε ακραίες καιρικές συνθήκες (π.χ. βροχή), καθώς οι σταγόνες της βροχής μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένες μετρήσεις.

4.7.4 Ανακλαστικότητα

Ένας παράγοντας που συνδέεται άμεσα με τη σάρωση είναι η ανακλαστικότητα της επιφάνειας του αντικειμένου. Μιας και η λειτουργία του επίγειου σαρωτή βασίζεται στην εκπομπή και την επιστροφή μιας δέσμης laser, η ένταση του επιστρεφόμενου σήματος εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις δυνατότητες ανάκλασης της επιφάνειας του αντικειμένου. Επιφάνειες που ανακλούν τον παλμό σε υψηλό βαθμό, επιστρέφουν μεγαλύτερη ενέργεια και άρα είναι δυνατή η σάρωση τους από μεγαλύτερες αποστάσεις. Λευκές επιφάνειες αποδίδουν εντονότερη ανάκλαση σε σχέση με σκουρόχρωμες όπου η ανάκλαση τους είναι ασθενής. Επιπλέον, οι επιφάνειες που σαρώνονται πρέπει να είναι κατά βάση αδιαφανείς, καθώς σε αντίθετη

περίπτωση η δέσμη του laser που προσπίπτει σε διαφανείς επιφάνειες διαχέεται και οι μετρήσεις περιέχουν σφάλματα.

4.7.5 Σφάλμα ακμής

Τέλος ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί σε ένα άλλο χαρακτηριστικό των σαρωτών και ειδικά αυτών που στηρίζονται στην τεχνολογία Time-of-flight που είναι το πρόβλημα που παρουσιάζουν κατά την αποτύπωση των ακμών ενός αντικειμένου. Συγκεκριμένα, όταν η ακτίνα laser προσπίπτει στην ακμή του αντικειμένου, ανακλάται πίσω στο δέκτη. Ταυτόχρονα όμως υπάρχει και μια δεύτερη ανάκλαση από τις επιφάνειες που υπάρχουν στο φόντο της ακμής, από φωτόνια που πέρασαν από αυτή, με αποτέλεσμα στο δέκτη να επιστρέφουν σήματα από δύο διαφορετικές περιοχές. Το όργανο υπολογίζει τον μέσο όρο των μετρήσεων των αποστάσεων προκειμένου να προσδιορίσει τη θέση του σημείου. Όπως είναι φανερό μετά από αυτή την ενέργεια η ακμή του αντικειμένου φαίνεται σε λάθος θέση. Το πρόβλημα αυτό έχει προβλεφθεί από τον κατασκευαστή του οργάνου, αφού υπάρχει εντολή που μπορεί να ορίσει την πρώτη ανακλώμενη τιμή, ως τιμή για τον προσδιορισμό της απόστασης και να αγνοηθεί η δεύτερη ή το αντίστροφο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΣΤΟ Σ.Ε.Φ.

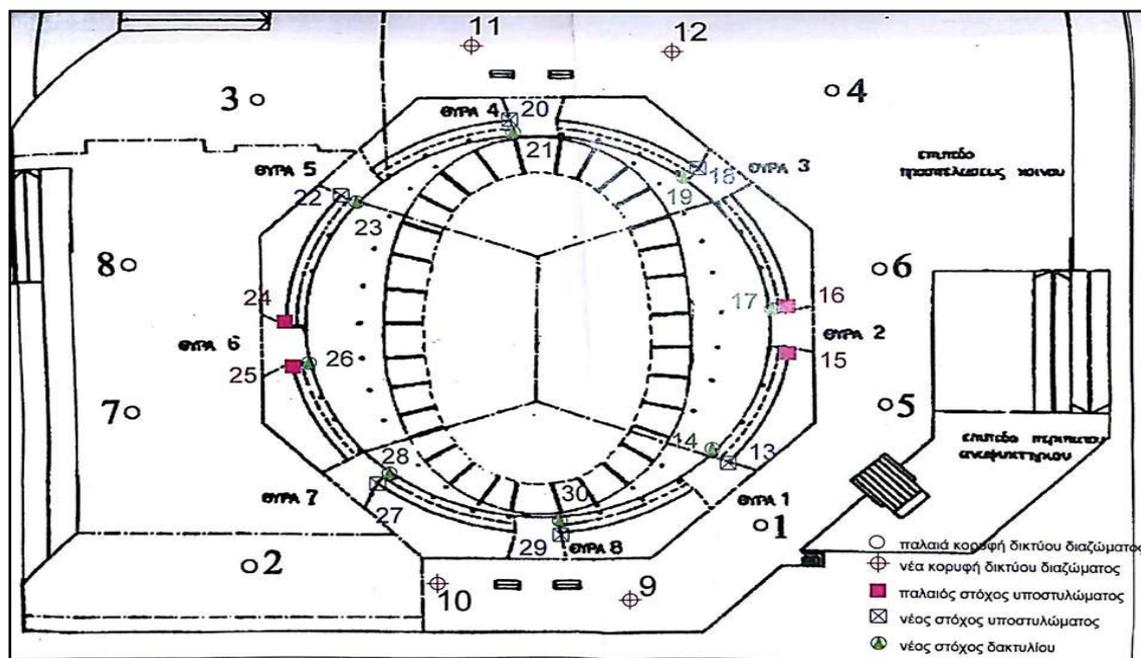
5. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟ Σ.Ε.Φ.

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Μετά από το σεισμό του 1999 που έπληξε το λεκανοπέδιο, στο πλαίσιο Διπλωματικής Εργασίας που εκπονήθηκε το 2000, διαπιστώθηκε πως ο δακτύλιος ανάρτησης της στέγης του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας είχε μετακινηθεί σε σχέση με τις δοκούς (ζυγώματα πλαισίων) [12]. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας κρίθηκε σκόπιμο να επαναπροσδιορισθεί η μετακίνηση αυτή για την ανίχνευση πιθανών μεταβολών του διανύσματος. Ο προσδιορισμός της σχετικής μετακίνησης δακτυλίου – δοκών θα γίνει αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα που παρέχει ο επίγειος τρισδιάστατος laser σαρωτής. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρονται η μέτρηση των στοιχείων του γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου που είχε εγκατασταθεί στο σώμα αλλά και περιμετρικά του Σ.Ε.Φ. στο πλαίσιο της Δ.Ε. του 2000 [12], καθώς και η επίλυσή του για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των κορυφών του, από τις οποίες θα πραγματοποιηθούν στη συνέχεια οι σαρώσεις με επίγειο τρισδιάστατο laser σαρωτή. Η αναφορά σε αυτά τα στοιχεία δεν θα είναι εκτενής, καθώς δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ενώ ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει για περισσότερες πληροφορίες στη διπλωματική εργασία [27].

5.2 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το γεωδαιτικό δίκτυο ελέγχου (Σχήμα 3) όπως έχει αναφερθεί είχε ιδρυθεί στα πλαίσια προηγούμενης διπλωματικής [12].

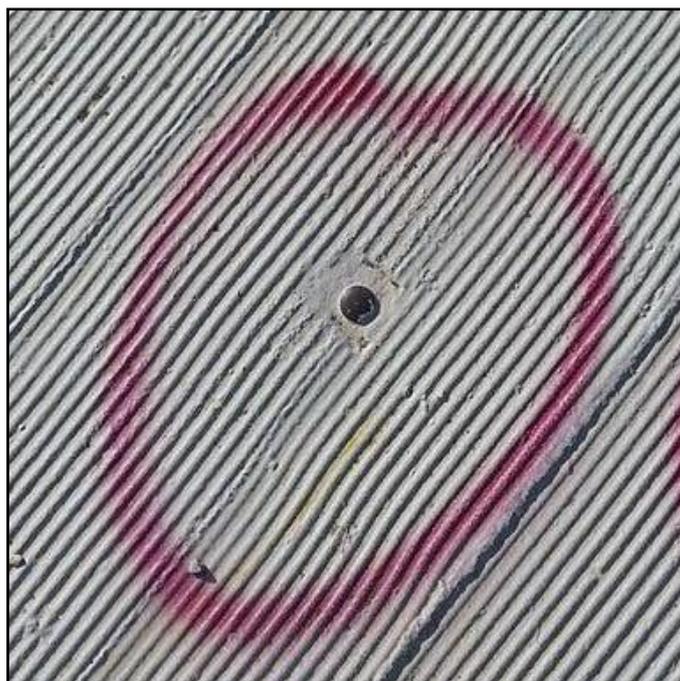


Σχήμα 3 : Το δίκτυο οριζοντίου ελέγχου του 2000 [12]

Fig.3: Horizontal Control Network 2000

5.2.1 Αναγνώριση

Αρχικά έγινε η αναγνώριση της περιοχής, δηλαδή της κύριας κατασκευής καθώς και του περιβάλλοντα χώρου. Σκοπός ήταν ο εντοπισμός των κορυφών του γεωδαιτικού δικτύου που είχε ιδρυθεί στην περιοχή το 2000. Το δίκτυο αποτελείται από 12 σημεία αναφοράς τα οποία εγκαταστάθηκαν στον περιβάλλοντα χώρο, περιμετρικά του σταδίου στη στάθμη του άνω διαζώματος και έχουν υλοποιηθεί με ορειχάλκινα μπουλόνια (Εικόνα 13). Αποτελείται επίσης από 18 σημεία ελέγχου τα οποία έχουν εγκατασταθεί πάνω στην κατασκευή (8 στο δακτύλιο ανάρτησης της στέγης, 10 στις δοκούς των υποστυλωμάτων) και έχουν υλοποιηθεί με ειδική σήμανση (Εικόνα 14). Κατά την αναγνώριση διαπιστώθηκε ότι 3 από τις 12 κορυφές αναφοράς (κορυφές 3,7,8) είχαν χαθεί και έτσι αντικαταστάθηκαν με νέες. Η σήμανση τους έγινε με ειδικά ορειχάλκινα μπουλόνια και πακτώθηκαν με εποξειδική ρητίνη ώστε να εξασφαλιστεί η μονιμότητά τους. Αλλαγές δεν υπήρχαν μόνο στα σημεία αναφοράς αλλά και στα σημεία ελέγχου. Τέσσερα από τα σημεία αυτά (16, 20, 26, 28) έλειπαν, ενώ το σημείο ελέγχου 19 είχε καταστραφεί με το πέρασμα του χρόνου. Τα κατεστραμμένα σημεία ελέγχου δεν αντικαταστάθηκαν. Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μόνο μεταξύ των κορυφών αναφοράς του δικτύου.



Εικόνα 13 : Ορειχάλκινο μπουλόνι
Picture 13: Bronze mark



Εικόνα 14 : Σήμανση σημείων ελέγχου
Picture 14: Target for control points

5.2.2 Μέτρηση των στοιχείων του δικτύου

Για τη μέτρηση των στοιχείων του δικτύου χρησιμοποιήθηκε ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Topcon GPT3105 N, 3 τρίποδες, 2 τρικόγλια, μετροταινία καθώς και αγκωνοειδές πρίσμα για τη πραγματοποίηση σκοπεύσεων σε μικρές ζενίθιες γωνίες. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος των οπτικών κεντρώσεων των τρικογλίων, καθώς και έλεγχος για την ύπαρξη σταθεράς οργάνου - καταφώτου, για την αποφυγή συστηματικών σφαλμάτων. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών, κεκλιμένων μηκών, καθώς και υψών οργάνου και στόχων. Οι γωνιομετρήσεις έγιναν με τη μέθοδο των πλήρων περιστροφών σε δύο πλήρεις περιόδους. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κυρίως πρωινές και μεσημεριανές ώρες.

5.2.3 Προσανατολισμός δικτύου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα γίνει προσπάθεια συσχέτισης του διανύσματος της οριζόντιας μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης της οροφής με τα τεκτονικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του σταδίου. Γι' αυτόν το λόγο, κρίθηκε απαραίτητος ο «προσανατολισμός» του δικτύου οριζοντίου ελέγχου ως προς το βορρά τετραγωνισμού του ΕΓΣΑ '87. Χρησιμοποιείται ο όρος «προσανατολισμός» γιατί δεν πραγματοποιήθηκαν οι αναγωγές για την ένταξη του δικτύου στο ΕΓΣΑ '87 (αναγωγή μηκών λόγω της προβολής) απλώς προσδιορίστηκε η γωνία διεύθυνσης μεταξύ της σταθερής και της ημισταθερής κορυφής του δικτύου ως προς το Βορρά τετραγωνισμού του ΕΓΣΑ '87. Για τον προσανατολισμό του δικτύου χρησιμοποιήθηκε δέκτης δορυφορικού εντοπισμού και συγκεκριμένα ο δέκτης Smart Station 4700 της Leica Geosystems. Εφαρμόστηκε η μέθοδος του κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK). Ως σταθμός αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός αναφοράς MET0 της εταιρείας Metrica. Ο δέκτης τοποθετήθηκε στη σταθερή (κορυφή 1) και την ημισταθερή κορυφή του δικτύου (κορυφή 2) και προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες τους καθώς και το γεωμετρικό τους υψόμετρο, το οποίο μέσω του λογισμικού HEPOSTT μετατράπηκε σε ορθομετρικό. Η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης ήταν της τάξης των $\pm 15\text{mm}$. Χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες αυτές καθώς και τα μετρημένα στοιχεία του δικτύου, θα επιλυθεί το δίκτυο και θα προσδιοριστούν οι τελικές συντεταγμένες για όλες τις κορυφές του γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΚΟΡΥΦΗ	X (m)	Y(m)	H(m)
1	470648,685	4199124,077	9,634
2	470517,621	4199153,554	9,588

Πίνακας 1 : Συντεταγμένες και ορθομετρικό υψόμετρο των κορυφών 1 και 2

Table 1 : Coordinates and orthometric height of network points 1 and 2

5.2.4 Επίλυση δικτύου

Το δίκτυο οριζοντίου ελέγχου επιλύθηκε με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις, (μια σταθερή κορυφή (1) και με σταθερή διεύθυνση τη διεύθυνση της πλευράς [1-2]). Η συνόρθωση των παρατηρήσεων και η επίλυση του δικτύου έγινε με τη MET, με τη μέθοδο των έμμεσων παρατηρήσεων και ειδικότερα τη μέθοδο μεταβολής των συντεταγμένων. Το πλήθος των παρατηρήσεων ήταν 51 γωνίες και 28 αποστάσεις. Τα στοιχεία της συνόρθωσης δίνονται στον πίνακα 2:

Αριθμός παρατηρήσεων (μετρήσεις)	n	79
Αριθμός παρατηρήσεων γωνιών	n ₁	51
Αριθμός παρατηρήσεων αποστάσεων	n ₂	28
Ανεξάρτητοι καθοριστικοί παράμετροι	m	21
Βαθμοί ελευθερίας	r	58
Αβεβαιότητα μηκών (mm)	σ _s	±5
Αβεβαιότητα γωνιών (cc)	σ _γ	±35
σ _o apriori	σ _o	±1
σ _o aposteriori	σ _o	±1,03

Πίνακας 2 : Στοιχεία του δικτύου οριζοντίου ελέγχου
Table 2: Components of Horizontal Control Network Adjustment

Από την επίλυση προέκυψαν οι εκτιμήσεις των καλύτερων τιμών των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου και οι αβεβαιότητες τους και παρουσιάζονται στον πίνακα 3 που ακολουθεί.

ΚΟΡΥΦΗ	X(m)	σx(mm)	Y (m)	σy(mm)
1	470648,685	0	4199124,077	0
2	470517,552	±3	4199153,570	±1
3	470586,216	±4	4199283,866	±2
4	470713,700	±3	4199230,521	±3
5	470691,160	±3	4199137,156	±2
6	470711,750	±2	4199180,469	±3
7	470517,432	±3	4199215,749	±3
8	470536,445	±4	4199258,779	±3
9	470610,670	±3	4199108,285	±1
10	470563,108	±3	4199131,222	±1
11	470632,524	±4	4199288,861	±2
12	470683,399	±4	4199268,206	±3

Πίνακας 3: Συν/νες κορυφών δικτύου και οι αβεβαιότητες τους
Table 3: Estimated coordinates of Network points and their standard deviations

Τέλος πραγματοποιήθηκαν στατιστικοί έλεγχοι του δικτύου, δηλαδή ο ολικός έλεγχος αξιοπιστίας του δικτύου με το test X^2 και η σάρωση δεδομένων κατά Baarda, για την ανίχνευση πιθανών χονδροειδών σφαλμάτων σε κάθε μια παρατήρηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

6. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

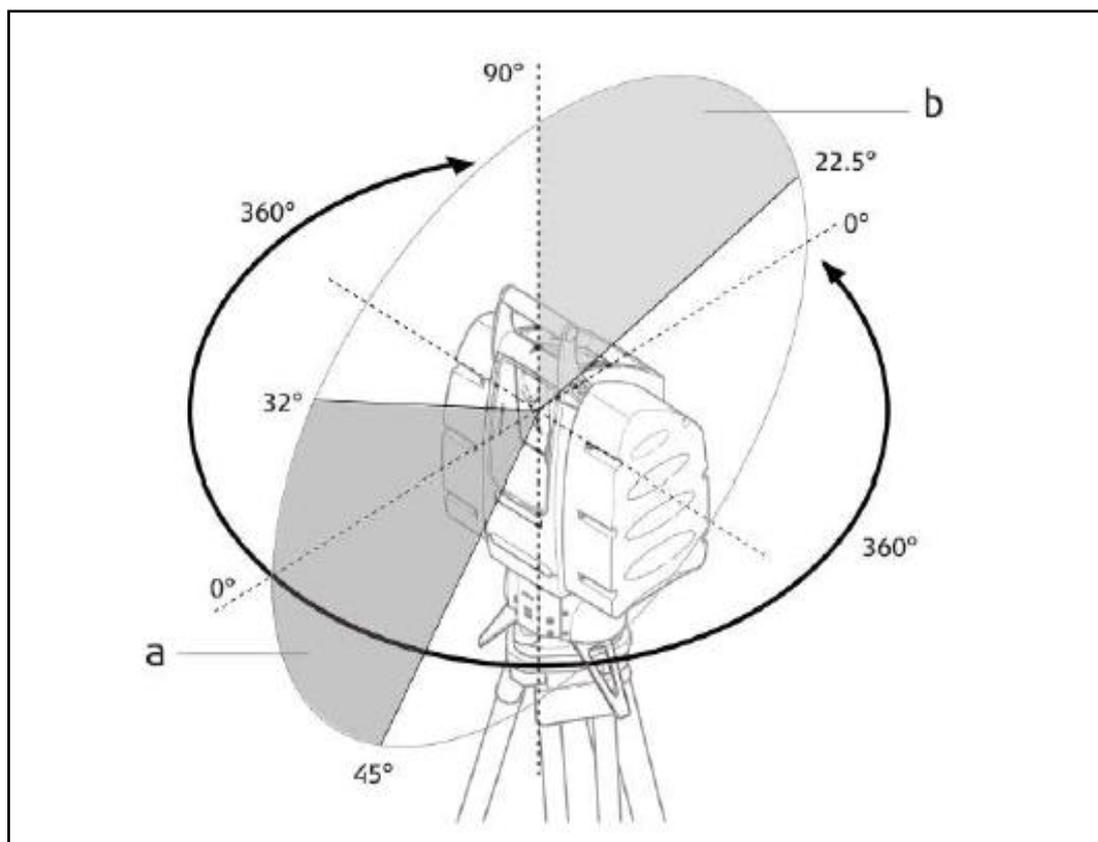
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες για τον επίγειο τρισδιάστατο laser σαρωτή ScanStation 2 που χρησιμοποιήθηκε για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης και τμήματος των δοκών (ζυγώματα πλαισίων) του σταδίου. Επιπλέον περιγράφονται όλες οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν στο ύπαιθρο για την γεωμετρική τεκμηρίωση. Η συλλογή του νέφους σημείων, καθώς και όλη η μετέπειτα επεξεργασία του έγινε με τη χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού Cyclone.

6.2 Ο ΣΑΡΩΤΗΣ SCANSTATION 2

Για τη διαδικασία της σάρωσης του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας ο επίγειος τρισδιάστατος σαρωτής laser που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο ScanStation 2 της Leica Geosystems. Ο συγκεκριμένος σαρωτής, έχει την δυνατότητα να σαρώνει μέχρι και 50.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο με μέγιστη πυκνότητα σάρωσης τα 2 χιλιοστά (βήμα σάρωσης).

Ο ScanStation 2 είναι σαρωτής απόστασης και λειτουργεί με τη μέθοδο της μέτρησης του χρόνου πτήσης (Time-of-flight). Οι συσκευές που λειτουργούν σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο είναι γνωστές και ως LIDAR (Laser Induced Differential Absorption Radar) και έχουν τη δυνατότητα να μετρήσουν σημεία σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ μέσω της κίνησης τους μπορούν να αποτυπώσουν μεγάλο εύρος του οπτικού τους πεδίου. Η κεφαλή του μηχανήματος έχει τη δυνατότητα κίνησης κατά την οριζόντια αλλά και την κατακόρυφη διεύθυνση.

Ο ScanStation 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σάρωση σε όλες τις συνθήκες φωτισμού και έχει εμβέλεια έως 300 μέτρα. Το μέγιστο οπτικό πεδίο του είναι 360 ° στο οριζόντιο επίπεδο και 270 ° στο κατακόρυφο επίπεδο (Σχήμα 4), δηλαδή δεν είναι εφικτό να αποτυπωθούν τα σημεία που βρίσκονται στον κατακόρυφο άξονα από -45° μέχρι 45° εξαιτίας του τρόπου στήριξης του σαρωτή. Η γωνιακή του ακρίβεια είναι $\pm 60 \mu\text{rad}$ (12"), η ακρίβεια μέτρησης απόστασης $\pm 4\text{mm}$ ενώ η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης σημείου είναι $\pm 6\text{mm}$.



Σχήμα 4 : Εύρος πεδίου ορατότητας ScanStation 2

Fig. 4: ScanStation 2 field of view

Ο σαρωτής ScanStation 2 είναι εξοπλισμένος με μια ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα για έγχρωμες σαρώσεις, ενώ μπορεί να συνδεθεί με Ηλεκτρονικό Υπολογιστή για την συλλογή των σημείων και την επεξεργασία τους. Ο σαρωτής διαθέτει επίσης ισοσταθμιστή 2 αξόνων (dual axis compensator) που αντισταθμίζει - διορθώνει πιθανές αποκλίσεις από την οριζοντίωση και στους δύο άξονες. Έτσι, όταν η εντολή αυτή είναι ενεργοποιημένη ο σαρωτής αυτόματα διορθώνει τα δεδομένα όταν η απόκλιση είναι μέσα σε προκαθορισμένα όρια. Όταν τα όρια αυτά πάψουν να τηρούνται, ο σαρωτής σταματά από μόνος του τη λειτουργία του και παρουσιάζεται μήνυμα στο χρήστη για εκ νέου οριζοντίωση. Η παραπάνω ιδιότητα του σαρωτή ενεργοποιείται με την εντολή :

Scanner menu → *Enable Dual Axis Compensator*



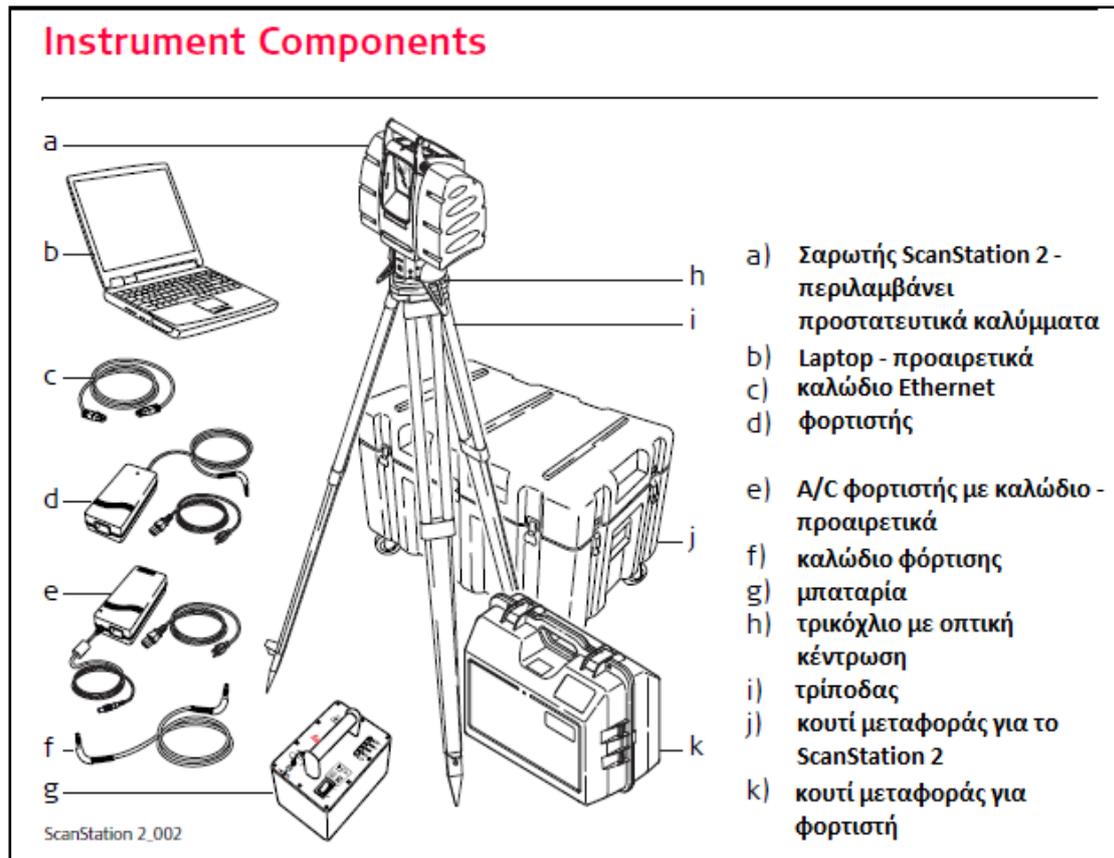
Εικόνα 15 : Ο επίγειος τρισδιάστατος laser σαρωτής [28]

Picture 15: Terrestrial 3D Laser Scanner

Τέλος, ο επίγειος σαρωτής μπορεί να κεντρωθεί σε σημείο γνωστών συντεταγμένων. Ο ScanStation 2 εκτός από εργασίες γεωμετρικής τεκμηρίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε γεωδαιτικούς σταθμούς σε ποικίλες τοπογραφικές εργασίες (π.χ. μέτρηση στοιχείων όδευσης, χαράξεις κ.α.). Συνδυάζεται με ειδικό HDS στόχο (ημισφαίριο) για την συνένωση σαρώσεων από διαφορετικές θέσεις σαρωτή και την παραγωγή ενός ενιαίου μοντέλου για το αντικείμενο.

Εκτός από τον σαρωτή χρησιμοποιήθηκαν και παρελκόμενα όργανα (Εικόνα 16) όπως:

- 2 τρίποδες (για το σαρωτή και για τον ειδικό στόχο)
- Φορητός Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
- Καλώδιο Ethernet για τη σύνδεση σαρωτή και Υπολογιστή
- Καλώδιο για την τροφοδοσία του σαρωτή με ηλεκτρικό ρεύμα
- μετροταινία για τη μέτρηση του ύψους οργάνου και στόχου



Εικόνα 16 : Απαραίτητος εξοπλισμός για σάρωση [15]
 Picture 16: equipment required for scanning

6.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

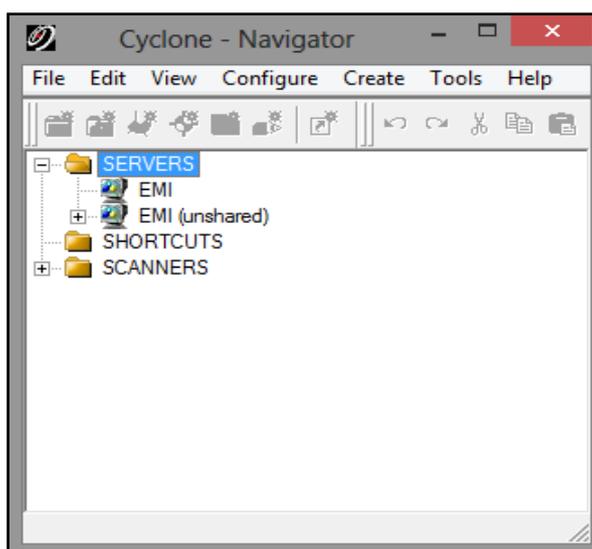
6.3.1 Το λογισμικό Cyclone

Το Cyclone είναι ένα λογισμικό επεξεργασίας που παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να απεικονίσει, να πλοηγήσει, να μετρήσει και να μοντελοποιήσει με μεγάλη ακρίβεια ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Το λογισμικό αυτό λειτουργεί συνοδευτικά με τον τρισδιάστατο σαρωτή laser για τη συλλογή και την επεξεργασία του νέφους σημείων και λειτουργεί σε περιβάλλον Windows.

Αρχικά ο σαρωτής συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή και με τη χρήση του λογισμικού Cyclone πραγματοποιείται η συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων και στη συνέχεια η επεξεργασία τους για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Το Cyclone μπορεί να συλλέγει, να διαχειρίζεται και να επεξεργάζεται έναν τεράστιο όγκο δεδομένων χωρίς να μειώνεται η απόδοσή του, γι' αυτό το λόγο προτιμήθηκε και στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας (Εικόνα 17).

Το Leica Cyclone αποτελείται από επιμέρους μονάδες λογισμικού για τις διαφορετικές ανάγκες του χρήστη. Αυτές είναι:

- [Leica Cyclone REGISTER](#)
- [Leica Cyclone BASIC](#)
- [Leica Cyclone SURVEY](#)
- [Leica Cyclone MODEL](#)
- [Leica Cyclone IMPORTER](#)
- [Leica Cyclone SERVER](#)
- [Leica Cyclone PUBLISHER](#)
- [Leica Cyclone II TOPO](#)



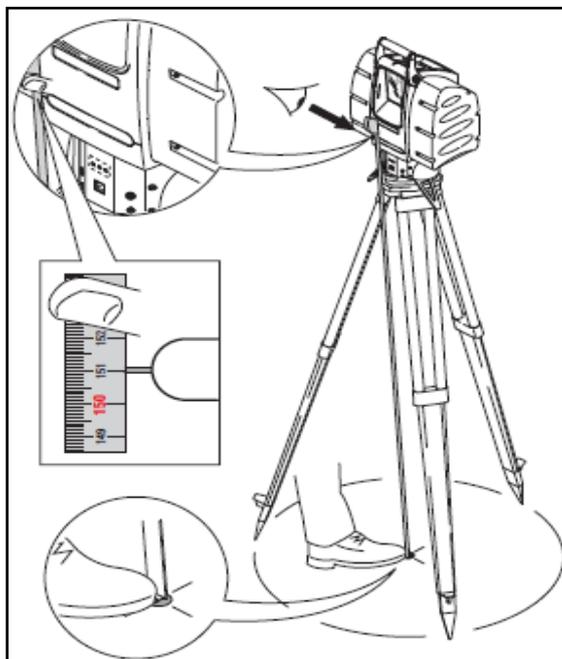
Εικόνα 17 : Το λογισμικό Cyclone
Picture 17 : Cyclone Software

6.3.2 Η διαδικασία της σάρωσης

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η σάρωση της εξωτερικής επιφάνειας του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας μέχρι τη στάθμη του άνω διαζώματος. Τα τμήματα της κατασκευής που είχαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη μελέτη ήταν οι δοκοί των υποστυλωμάτων (ζυγώματα πλαισίων) και ο δακτύλιος ανάρτησης της στέγης του σταδίου.

Η σάρωση της επιφάνειας πραγματοποιήθηκε και από τις 12 κορυφές (σημεία αναφοράς) του δικτύου οριζοντίου ελέγχου. Για την άμεση συνένωση και γεωαναφορά των σαρώσεων χρησιμοποιήθηκε ειδικός ημισφαιρικός HDS στόχος (Εικόνα 19) σε συνδυασμό με τρικόχλιο και τρίποδα, που τοποθετήθηκε σε σημεία αναφοράς του δικτύου. Παράλληλα γίνεται μέτρηση του ύψους οργάνου καθώς και του ύψους στόχου. Η διενέργεια μιας σάρωσης με τον επίγειο σαρωτή ScanStation 2 απαιτεί την ταυτόχρονη σύνδεση του με πηγή παροχής ρεύματος και με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω καλωδίου Ethernet. Ο υπολογιστής είναι απαραίτητος, καθώς μέσω αυτού γίνονται όλες οι διαδικασίες και δίνονται και οι εντολές στο

σαρωτή. Αφού συνδεθεί ο υπολογιστής με το σαρωτή γίνεται εκκίνηση και του προγράμματος Cyclone, μέσω του οποίου προγραμματίζονται οι σαρώσεις, συλλέγονται και επεξεργάζονται τα νέφη σημείων.



Εικόνα 18 : Ύψος οργάνου (σαρωτή) [15]

Picture 18: Instrumental height (scanner)

Το πρόγραμμα Cyclone παρέχει αρχικά τη δυνατότητα στο χρήστη να τεκμηριώσει φωτογραφικά το αντικείμενο το οποίο πρόκειται να σαρωθεί (**get image**). Ταυτόχρονα, ορίζονται και οι συνθήκες φωτισμού κατά τη στιγμή της λήψης (εσωτερικές ή εξωτερικές λήψεις). Με βάση τη λήψη της εικόνας της περιοχής περιμετρικά του σαρωτή, που είναι ορατή στην οθόνη του υπολογιστή, ο χρήστης είναι σε θέση να ορίσει με μεγαλύτερη ευκολία τις παραμέτρους της σάρωσης. Συγκεκριμένα, ορίζεται από το χρήστη το βήμα σάρωσης. Στην παρούσα διπλωματική λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γεωμετρία και η υφή των στοιχείων του σταδίου (εμφανές σκυρόδεμα) αλλά και τη ζητούμενη ακρίβεια τεκμηρίωσης, ορίστηκε ως βήμα σάρωσης τα 0,005m. Επιπλέον ορίζονται τα όρια της περιοχής που πρόκειται να αποτυπωθεί ορίζοντας τις κατάλληλες συντεταγμένες στον κάναβο του προγράμματος καθώς και η μέγιστη απόσταση σαρωτή και αντικειμένου (**probe**), με προσοχή ώστε η εκτίμηση αυτή να μην είναι εσφαλμένη και υπάρξουν κενά στην αποτύπωση. Στη συνέχεια με την εντολή **Scan** ξεκινάει η σάρωση του αντικειμένου. Το πρόγραμμα υπολογίζει και εμφανίζει στο κάτω μέρος της οθόνης το χρόνο που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η σάρωση. Πριν την έναρξη της σάρωσης πραγματοποιείται η σάρωση του ειδικού ημισφαιρικού στόχου HDS. Ο στόχος τοποθετήθηκε στα σημεία αναφοράς του γεωδαιτικού δικτύου, ορίστηκαν οι παράμετροι σάρωσης όμοια με παραπάνω και σαρώθηκε. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι για το σφαιρικό στόχο ορίστηκε βήμα σάρωσης τα 0,002m.

Όπως έχει αναφερθεί ο σαρωτής αποτυπώνει το αντικείμενο, συλλέγοντας πλήθος σημείων τα οποία όμως αναφέρονται στο σύστημα συντεταγμένων του. Ο ορισμός της σχέσης μεταξύ του σαρωτή και ενός γνωστού συστήματος αναφοράς και συνεπώς η διαδικασία της άμεσης αναφοράς γίνεται μέσω της διαδικασίας ορισμού των παραμέτρων του πεδίου μετρήσεων (**field setup**). Δημιουργείται ένα αρχείο με τις συντεταγμένες σαρωτή και ημισφαιρικού στόχου HDS και υποδεικνύεται στο πρόγραμμα η κορυφή που είναι τοποθετημένος ο σαρωτής και η κορυφή που είναι τοποθετημένος ο HDS στόχος καθώς και τα αντίστοιχα ύψη τους (Y₀, Y_S). Στο πλαίσιο διαλόγου field setup υποδεικνύεται και η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί (**known Backsight**).

Στη συνέχεια με την εντολή **acquire** γίνεται η στόχευση του ειδικού ημισφαιρικού στόχου HDS που είναι κεντρωμένος στην κορυφή γνωστών συντεταγμένων, για την πραγματοποίηση της συνένωσης σε ενιαίο μοντέλο σε επόμενο στάδιο. Με την εντολή **calculate**, γίνεται υπολογισμός της απόστασης μεταξύ σαρωτή και στόχου και τέλος με την εντολή **apply**, ολοκληρώνεται η διαδικασία και αποθηκεύονται τα δεδομένα. Από αυτή τη διαδικασία προκύπτει επίσης και το σφάλμα γεωαναφοράς του νέφους. Ως σφάλμα γεωαναφοράς ορίζεται η απόκλιση ανάμεσα στις συντεταγμένες του κέντρου του στόχου HDS, που υποδεικνύει ο χρήστης με την εισαγωγή του αρχείου που αναφέρθηκε παραπάνω, και τις συντεταγμένες που εντοπίζει ο σαρωτής μετά από την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Στον πίνακα 4. που ακολουθεί παρουσιάζονται τα σφάλματα αυτά για κάθε κορυφή του δικτύου που τοποθετήθηκε ο ειδικός ημισφαιρικός στόχος HDS και πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της γεωαναφοράς νέφους σημείων.

Ως μέγιστο αποδεκτό οριζοντιογραφικό ($\sigma_{\text{horizontal}}$) και υψομετρικό σφάλμα (σ_{vertical}) ορίστηκαν τα $\pm 6\text{mm}$, όση είναι και η αντίστοιχη ακρίβεια που μπορεί να επιτύχει ο σαρωτής στον προσδιορισμό της θέσης μοναδιαίου σημείου.

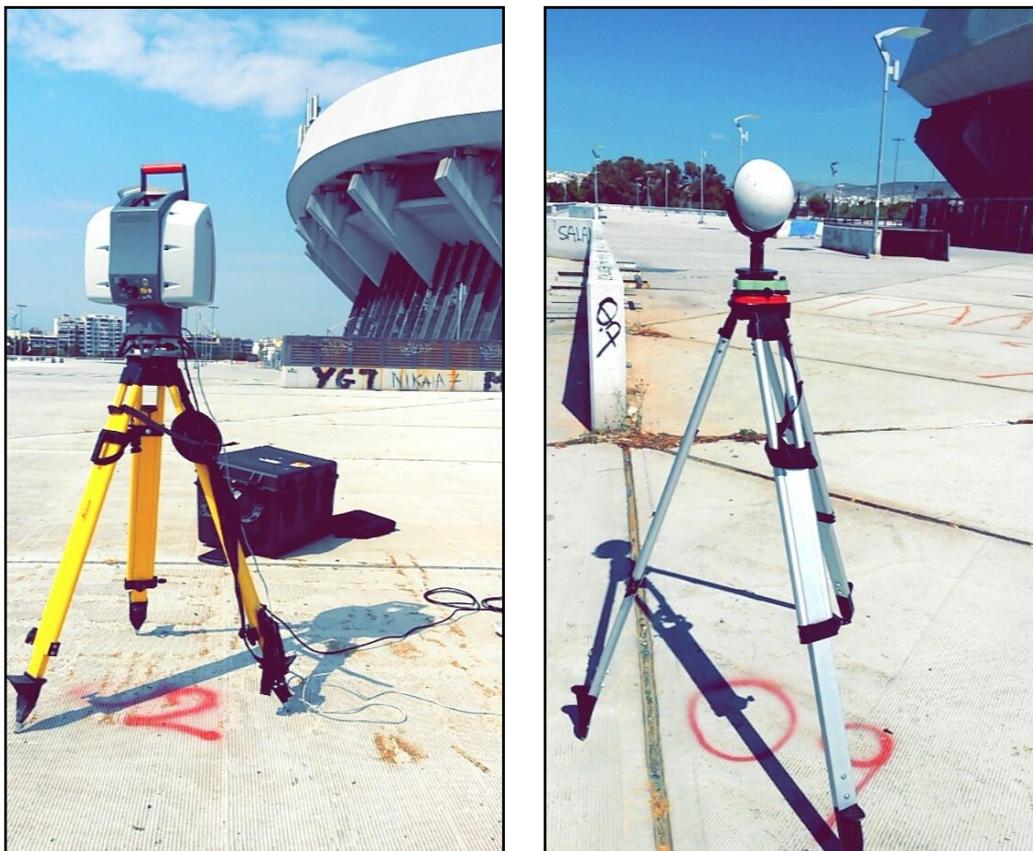
ΚΟΡΥΦΗ	$\sigma_{\text{Horizontal}}$ (mm)	σ_{Vertical} (mm)
1	+6	-3
2	+4	-6
3	+3	-2
4	+3	-3
5	+2	-5
6	+2	-1
7	+2	-5
8	+1	+2
9	+2	-2
10	0	-3
11	+1	-4
12	0	-1

Πίνακας 4 : Σφάλματα γεωαναφοράς από κάθε κορυφή

Table 4: georeferencing errors from each scanning point

Η διαδικασία της σάρωσης, όπως αναλύθηκε παραπάνω, πραγματοποιήθηκε από κάθε κορυφή του γεωδαιτικού δικτύου. Η διαδικασία των σαρώσεων ήταν αρκετά

χρονοβόρα. Λόγω της μεγάλης έκτασης του σταδίου και του μικρού βήματος των σαρώσεων έγιναν σαρώσεις από κορυφές που διήρκησαν ακόμα και 2,5 ώρες. Η ελάχιστη διάρκεια σάρωσης από κορυφή ήταν περίπου 1 ώρα, ενώ η μέση διάρκεια περίπου 1,5 ώρα.



Εικόνα 19 : Ο σαρωτής οριζοντιωμένος και κεντρωμένος στην κορυφή 2 του δικτύου (αριστερά), ειδικός στόχος τοποθετημένος στην κορυφή 9 του δικτύου (δεξιά)

Picture 19 : Scanner leveled and centered at network's point 2(left), special target situated at network's point 9(right)

6.4 ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΝΕΦΟΥΣ ΣΗΜΕΙΩΝ

Κατά τη διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας προέκυψαν 12 νέφη σημείων, ένα από κάθε κορυφή του γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου. Όλα αυτά τα νέφη σημείων πρέπει να συνενωθούν για τη δημιουργία του ενιαίου τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου.

Ο σαρωτής μέσω της διαδικασίας της σάρωσης συλλέγει πλήθος σημείων προκειμένου να συνθέσει το αντικείμενο. Τα σημεία αυτά αναφέρονται στο σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που δίνει ο σαρωτής μετατρέπονται αυτόματα σε άλλο σύστημα συντεταγμένων επιλεγμένο από το χρήστη, αφού συμπληρωθούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία στο πλαίσιο διαλόγου field

set-up, όπως περιγράφηκε στην ενότητα (6.2.2). Έτσι, κάθε σάρωση γεωαναφέρεται άμεσα από το σύστημα συντεταγμένων του σαρωτή στο σύστημα στο οποίο αναφέρονται οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου και είναι τοποθετημένος ο ημισφαιρικός στόχος. Η διαδικασία της συνένωσης στη συνέχεια είναι ιδιαίτερα απλή και πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Cyclone με την εντολή:

Create Scan World/Freeze Registration → Create and Open Modelspace

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όταν ολοκληρωθούν οι διαδικασίες της σάρωσης, της συνένωσης των νεφών (points clouds) και της γεωαναφοράς, προκύπτει ένα τρισδιάστατο μοντέλο του σαρωμένου αντικειμένου. Το μοντέλο αυτό μετά από την κατάλληλη επεξεργασία είναι ικανό να δώσει ένα πλήθος παραγώγων, όπως σχέδια σε δυο διαστάσεις (κατόψεις, τομές, όψεις), ορθοφωτογραφίες, ακόμα και βίντεο περιήγησης. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται πώς έγινε η επεξεργασία του συνενωμένου νέφους σημείων στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε και πάλι το λογισμικό Cyclone, καθώς πέρα από τις δυνατότητες που έχει κατά τη συλλογή και συνένωση των νεφών, διαθέτει και πολλά εργαλεία που απλοποιούν το χειρισμό του νέφους.

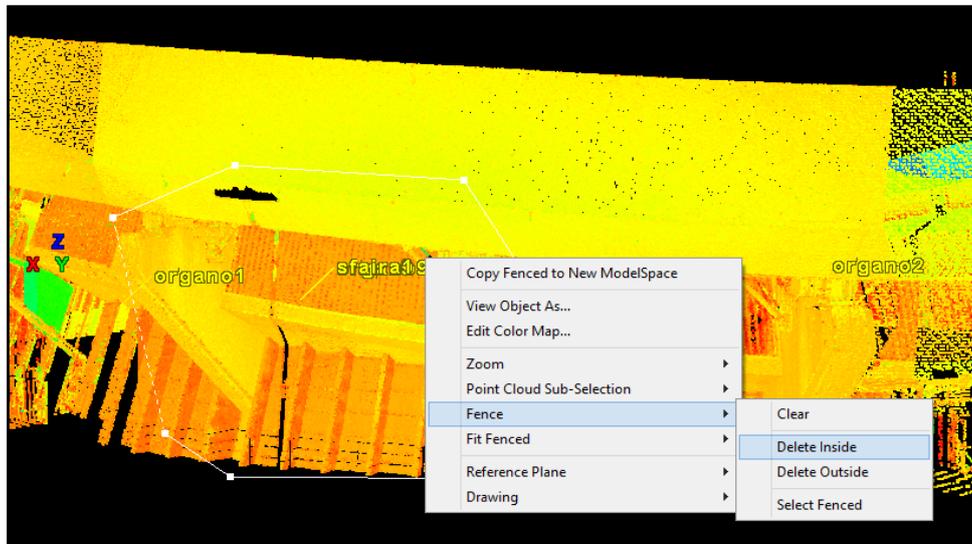
7.2 ΑΠΑΛΟΙΦΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Το πρώτο βήμα που πραγματοποιείται κατά την επεξεργασία του συνενωμένου νέφους είναι η απομάκρυνση των σημείων που αποτελούν θόρυβο στις μετρήσεις. Τα σημεία αυτά είναι σημεία που δεν ανήκουν στο αντικείμενο που σαρώθηκε, και αν δεν διαγραφούν θα εισάγουν σφάλματα στο ψηφιακό μοντέλο. Εκτός από το θόρυβο, με την εντολή αυτή μπορεί να διαγραφούν και σημεία που ανήκουν στο σαρωμένο αντικείμενο αλλά θεωρούνται περιττά από το χειριστή με σκοπό να μειωθεί ο τεράστιος αριθμός σημείων του νέφους. Οι πηγές αυτών των λανθασμένων ή περιττών δεδομένων μπορεί να οφείλονται σε:

- Κίνηση ανθρώπων, ζώων ή οχημάτων στο πεδίο της σάρωσης
- Αντικείμενα (π.χ. δένδρα, βλάστηση) μεγάλου όγκου που εμποδίζουν το πεδίο σάρωσης
- Επιφάνειες με υψηλή ανάκλαση (γυαλιστερές επιφάνειες, επιφάνειες καλυμμένες με νερό)
- Ακμές αντικειμένων που πολλές φορές ανακλούν μέρος της ακτίνας laser δίνοντας εικόνα για τα αντικείμενα και από την πίσω πλευρά τους.

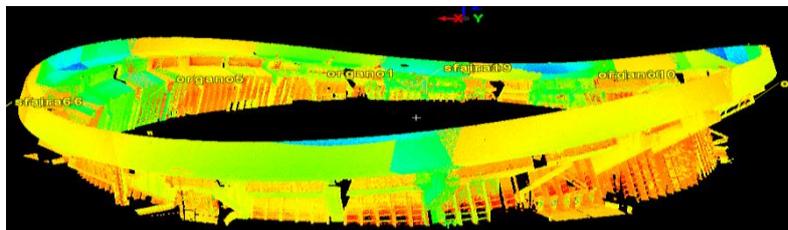
Τα σημεία που έχουν σαρωθεί και συνθέτουν το αντικείμενο παρουσιάζονται με διαφορετικά χρώματα στο Cyclone, κάτι που διευκολύνει πολύ το χρήστη. Αυτά τα σφάλματα απαλείφονται ή διορθώνονται από το λογισμικό επεξεργασίας νέφους είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα. Στην παρούσα διπλωματική απομακρύνθηκαν τα σημεία που αποτελούσαν θόρυβο χειροκίνητα. Παρόλο που αυτή η μέθοδος είναι πολύ χρονοβόρα εξασφαλίζει τα ακριβέστερα αποτελέσματα. Αρχικά ορίζεται ένα πολύγωνο γύρω από αυτά τα σημεία και διαγράφονται με την εντολή (Εικόνα 20):

Fence → Delete inside



Εικόνα 20 : Απαλοιφή θορύβου στο Cyclone
Picture 20: Noise elimination at Cyclone

Επισημαίνεται πως είναι σημαντικό να διατηρούνται πάντα σε αντίγραφο ασφαλείας όλα τα αρχικά δεδομένα σάρωσης, καθώς είναι πιθανό μια λάθος ενέργεια να είναι μη αναστρέψιμη και έτσι η βάση δεδομένων να καταστραφεί.



Εικόνα 21: Τρισδιάστατο μοντέλο του σταδίου μετά την απαλοιφή του θορύβου
Picture 21: The 3D model of the stadium after noise elimination

7.3 ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

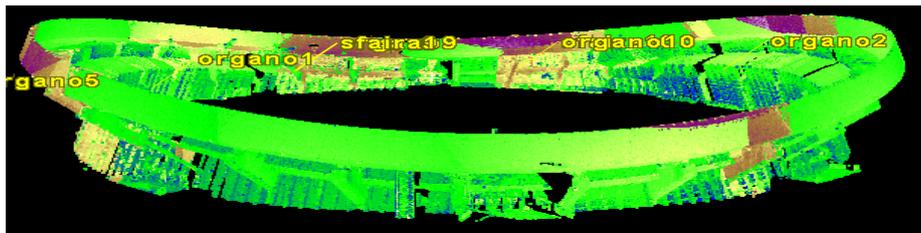
Όπως ήδη έχει αναφερθεί κατά τη διαδικασία αποτύπωσης υπάρχει η δυνατότητα να συλλέγονται από το σαρωτή πλήθος σημείων και στη συνέχεια να απεικονίζονται στο πρόγραμμα Cyclone με διαφορετικό χρώμα το καθένα. Τα σημεία μπορούν κατά τη διαδικασία επεξεργασίας του νέφους και τρισδιάστατης προβολής τους, να εμφανιστούν έγχρωμα ώστε να διευκολυνθεί ο χρήστης να διακρίνει λεπτομέρειες του σαρωμένου αντικειμένου. Η εναλλαγή αυτή πραγματοποιείται με την εντολή :

View → View object as → Color Map Parameters

Στην παρούσα διπλωματική μετά από δοκιμές επιλέχθηκε η απόχρωση Multi - Hue/Rainbow διότι κρίθηκε πιο εποπτική (Εικόνα 21).

Η εναλλαγή αυτή των χρωμάτων δεν είναι τυχαία αλλά οφείλεται στη διαφορετική τιμή ανακλαστικότητας που έχει το κάθε σημείο του νέφους.

Υπενθυμίζεται ότι ο σαρωτής laser καταγράφει πέρα από το χρόνο μετάβασης και επιστροφής της ακτινοβολίας και την τιμή της ανακλαστικότητας του κάθε σημείου. Αυτή η διαφορά μπορεί να οφείλεται είτε στη διαφορετική γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας laser, είτε στο υλικό και την υφή του αντικειμένου που σαρώνεται.



Εικόνα 22 : Προβολή του μοντέλου με την απόχρωση Topo 3
Picture 22: The model of the stadium with Topo 3 hue

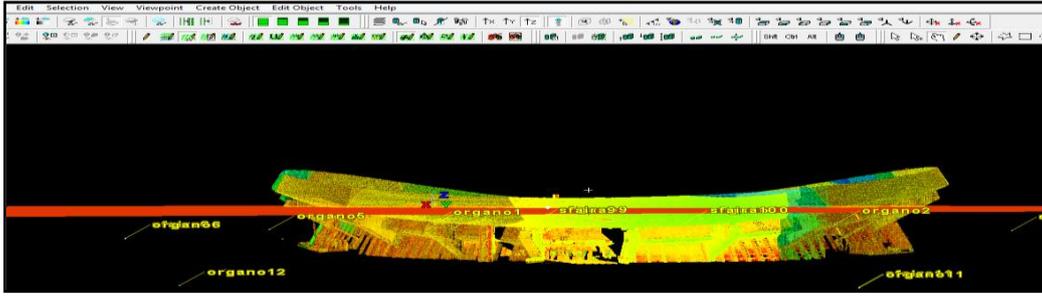
7.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΜΩΝ

Μια σημαντική δυνατότητα που παρέχει το πρόγραμμα Cyclone και χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής είναι η δημιουργία οριζόντιων τομών. Αφού στο συνενωμένο νέφος πραγματοποιηθούν οι ενέργειες που περιγράφηκαν παραπάνω και είναι πλέον απαλλαγμένο από το θόρυβο, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τη θέση από την οποία θα διέρχεται το επίπεδο που θα τμήσει το αντικείμενο (Εικόνα 23). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής.

Αρχικά επιλέγεται το **pick mode** και ορίζεται το σημείο πάνω στο νέφος, από το οποίο θα διέρχεται το επίπεδο της τομής. Στη συνέχεια από το μενού επιλέγεται η εντολή, με την οποία θα οριστεί το επίπεδο της τομής :

Tools → Reference Plane → Set Plane Origin at Pick Point

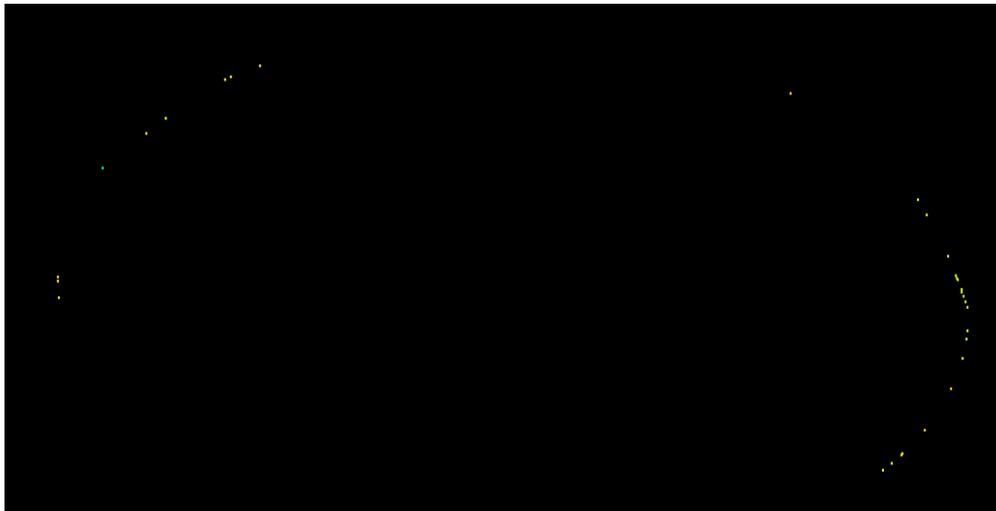
Έτσι με αυτή την εντολή εμφανίζεται πάνω στο σαρωμένο μοντέλο το επίπεδο της τομής. Επιπλέον υπάρχουν εντολές με τις οποίες μπορεί ο χρήστης να μεταβάλει τη θέση του επιπέδου αυτού. Αυτές οι εντολές είναι : *Pan Ref Plane, Rotate Ref Plane, Tilt Ref Plane, Raise/Lower Ref Plane.*



Εικόνα 23: Απεικόνιση του επιπέδου της τομής (κόκκινο χρώμα)
Picture 23: Representation of section's plane (with red color)

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η τομή και εμφανίζεται το ίχνος της τομής του οριζώντιου επιπέδου αναφοράς με το αντικείμενο με την εντολή:

Tools → Cut plane → Set from Active Ref Plane



Εικόνα 24 : Απεικόνιση της τομής του δακτυλίου
Picture 24: Representation of the section of the ring

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ
ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ ΤΟΥ Σ.Ε.Φ.

8. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ ΤΟΥ Σ.Ε.Φ.

8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ανίχνευση μετακινήσεων σε ένα τεχνικό έργο μπορεί εύκολα να πραγματοποιηθεί αξιοποιώντας τα παράγωγα του επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή laser. Το κύριο μειονέκτημα των σαρωτών σε σχέση με τις κλασικές γεωδαιτικές μεθόδους στις εφαρμογές ανίχνευσης παραμορφώσεων είναι η χαμηλή ακρίβεια των σημείων που προσδιορίζουν, αφού κυμαίνεται από ± 5 έως ± 25 χιλιοστά [17]. Παρόλα αυτά ο μεγάλος αριθμός δεδομένων που μπορούν να συλλέξουν σε μικρό σχετικά χρόνο αντισταθμίζει τη μικρή ακρίβεια του κάθε σημείου ξεχωριστά [24]. Στην παρούσα διπλωματική με τη χρήση του σαρωτή ScanStation 2 η ακρίβεια στον προσδιορισμό μεμονωμένου σημείου που επιτεύχθηκε (σύμφωνα με τον κατασκευαστή) ήταν τα $\pm 6\text{mm}$. Επιπλέον, το γεγονός ότι επιτρέπεται η απόκτηση χιλιάδων σημείων στον τρισδιάστατο χώρο σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα χωρίς να απαιτείται εγκατάσταση ειδικών στόχων στο ελεγχόμενο αντικείμενο, καθιστούν τον σαρωτή κατάλληλο για τέτοιου είδους μελέτες. Τέλος ο επίγειος τρισδιάστατος laser σαρωτής έχει τη δυνατότητα να παράγει μια ολογραφική απεικόνιση του αντικειμένου σε ορθή προβολή.

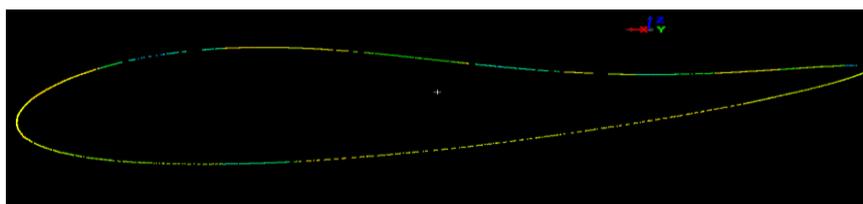
Όπως έχει προαναφερθεί στόχος της παρούσας διπλωματικής αποτέλεσε ο προσδιορισμός της μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας σε σχέση με τις δοκούς έδρασης κατά την περίοδο 2000 – 2016. Γι' αυτό το σκοπό σαρώθηκε η εξωτερική επιφάνεια του σταδίου, από τη στάθμη του άνω διαζώματος μέχρι τη στέγη του.

Από τα κατασκευαστικά σχέδια του σταδίου είναι γνωστό ότι η κάτοψη του δακτυλίου ανάρτησης είναι περιφέρεια κύκλου. Επίσης η προβολή σε οριζόντιο επίπεδο των εξώτερων σημείων των δοκών (ζυγώματα πλαισίων), όπως και των υποστυλωμάτων των πλαισίων, βρίσκονται σε περιφέρειες κύκλων ίδιου κέντρου (Εικόνα 26). Στην περίπτωση που ο δακτύλιος ανάρτησης βρίσκεται σε ισορροπία, οι παραπάνω δυο περιφέρειες (δακτυλίου και υποστυλωμάτων – δοκών) είναι ομόκεντρες (τα κέντρα τους ταυτίζονται). Έτσι, έγινε προσαρμογή 2 'βέλτιστων' κύκλων στα σημεία τα οποία προέκυψαν από την προβολή του νέφους των σημείων του δακτυλίου και των σημείων των δοκών σε οριζόντιο επίπεδο. Τα κέντρα των κύκλων που προέκυψαν από τις παραπάνω προβολές, όπως είναι αναμενόμενο, δεν ταυτίζονται καθώς έχει ήδη διαπιστωθεί από προηγούμενη διπλωματική εργασία [12] μετακίνηση του δακτυλίου χωρίς, μέχρι σήμερα (2016), να έχει πραγματοποιηθεί η αποκατάστασή της. Γι' αυτό τον λόγο προσδιορίστηκαν (με M.E.T.) οι συντεταγμένες των κέντρων των κύκλων και τα στοιχεία του διανύσματος της απόκλισής τους. Αυτά τα στοιχεία είναι το μέτρο του διανύσματος, η διεύθυνση και η φορά. Αν η απόκλιση αυτή, μετά τον στατιστικό έλεγχο είναι σημαντική, αποτελεί και τη ζητούμενη

σχετική μετακίνηση δακτυλίου ανάρτησης της στέγης ως προς τα ζυγώματα των πλαισίων (δοκοί). Όλα τα παραπάνω θα παρουσιαστούν εκτενέστερα στη συνέχεια.

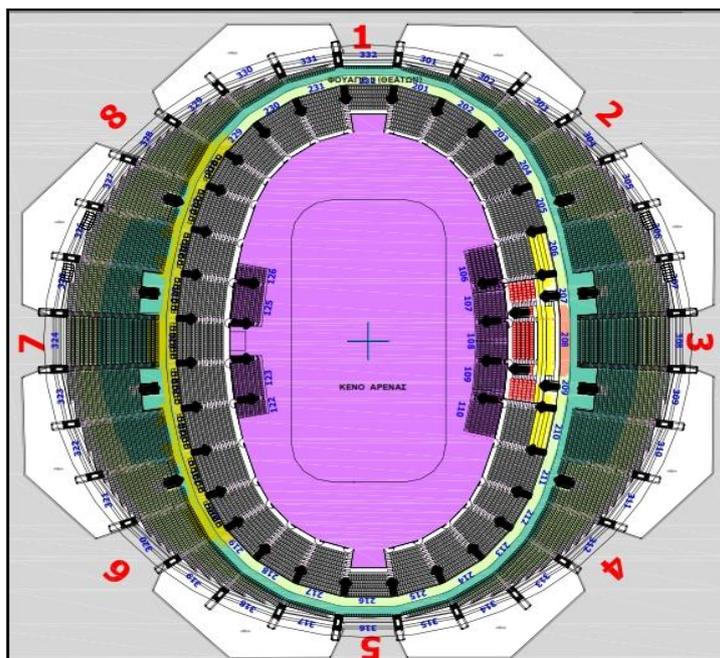
8.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΚΥΚΛΟΥ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟΣΥΝΟΛΟ ΤΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ

Για τον προσδιορισμό των κατάλληλων σημείων έγιναν πολλές προσπάθειες δημιουργίας τομών με οριζόντιο επίπεδο που θα περνά από ένα ορισμένο σημείο του δακτυλίου. Καμία δοκιμή όμως δεν έδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Έτσι αξιοποιήθηκε και πάλι η εντολή **Fence** του λογισμικού Cyclone. Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα (7.2) η εντολή αυτή δεν χρησιμοποιείται μόνο για την απαλοιφή του θορύβου αλλά και για την αποκοπή σημείων που θεωρούνται από το χρήστη ως περιττά. Μετά από αυτή τη διαδικασία απομονώθηκαν από το μοντέλο του σταδίου, τα εξωτερικά σημεία που ορίζουν περιμετρικά το δακτύλιο ανάρτησης της στέγης (Εικόνα 25).



Εικόνα 25 : Τα σημεία που ορίζουν το δακτύλιο

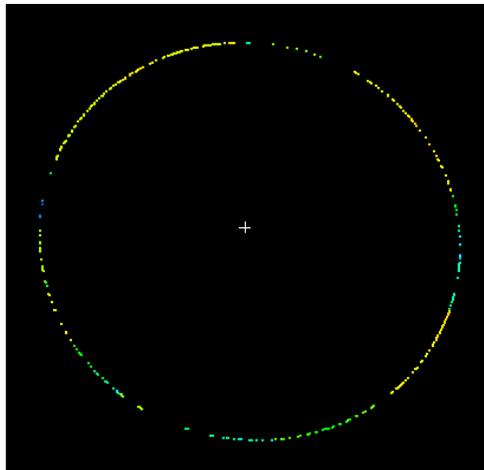
Picture 25: Set of points for the ring



Εικόνα 26: Κάτοψη σταδίου [34]

Picture 26: Plan of stadium

Τα σημεία που απομονώθηκαν προβλήθηκαν σε ένα οριζόντιο επίπεδο (Εικόνα 27). και αποτέλεσαν το σημειοσύνολο, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για την προσαρμογή σε αυτό του βέλτιστου κύκλου.



Εικόνα 27 : Προβολή των σημείων του δακτυλίου σε οριζόντιο επίπεδο
Picture 27 : View of the ring points on an horizontal plane

Η προσαρμογή έγινε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, όπως παρουσιάζεται παρακάτω. Η γενική μορφή της εξίσωσης του κύκλου είναι η εξής :

$$f_i = \sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2} - R_o \quad (8.1)$$

όπου οι άγνωστες καθοριστικές παράμετροι είναι τρεις: οι συντεταγμένες του κέντρου του κύκλου (x_o , y_o) και η ακτίνα του (R_o). Το πλήθος των εξισώσεων είναι ίσο με τον αριθμό των σημείων του δακτυλίου ($n=8690$). Για την εύρεση των προσωρινών τιμών των αγνώστων (x_o , y_o , R_o), έγινε εξαγωγή του σημειοσυνόλου από το Cyclone σε μορφή .txt αρχείου και εισαγωγή του στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad. Η σχέση (8.1) δεν είναι γραμμική, μετά από τη γραμμικοποίηση της καταλήγουμε στην εξίσωση παρατήρησης :

$$a_{i1}\delta x_o + a_{i2}\delta y_o + a_{i3}\delta R = \delta l_i + v_i \quad (8.2)$$

Η σχέση αυτή συνδέει γραμμικά τα αποτελέσματα κάθε μέτρησης με τις άγνωστες καθοριστικές παραμέτρους.

Ο πίνακας σχεδιασμού $A [n \times m]$ έχει τη μορφή :

$$\begin{bmatrix} \frac{\theta f_1}{\theta x_o} & \frac{\theta f_2}{\theta y_o} & \frac{\theta f_3}{\theta R_o} \\ \frac{\theta f_2}{\theta x_o} & \frac{\theta f_2}{\theta y_o} & \frac{\theta f_3}{\theta R_o} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\theta f_v}{\theta x_o} & \frac{\theta f_v}{\theta y_o} & \frac{\theta f_v}{\theta R_o} \end{bmatrix}$$

Η παραγωγή της εξίσωσης του κύκλου ως προς x_o είναι :

$$\frac{\theta f_i}{\theta x_o} = \frac{(x_o - x_i)}{\sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2}}, \text{ όμοια η παραγωγή ως προς } y_o \text{ είναι :}$$

$$\frac{\theta f_i}{\theta y_o} = \frac{(y_o - y_i)}{\sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2}}, \text{ ενώ ως προς την ακτίνα } R_o \text{ είναι :}$$

$$\frac{\theta f_i}{\theta R_o} = -1$$

Το διάνυσμα $[\delta l]$ προκύπτει από τη διαφορά $\rightarrow \delta l = l_i - l_i^o = 0 - l_i^o \rightarrow \delta l = -l_i^o$

Με αντικατάσταση στη σχέση (8.1) προκύπτει ότι :

$$\delta l = R - \sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2} \quad (8.3)$$

Οι μετρήσεις θεωρήθηκαν ισοβαρείς . Επομένως η λύση προέκυψε από την επίλυση του συστήματος :

$$x = (A^T A)^{-1} A^T \delta l = N^{-1} A^T \delta l \quad (8.4)$$

Στη συνέχεια υπολογίσθηκαν τα υπόλοιπα v_i :

$$v = A\hat{x} - \delta l \quad \text{ή} \quad v = \hat{l} - l_{\text{μετρημ ένο}} = \hat{l} \quad (8.5)$$

το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους:

$$\hat{\sigma}_o = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-m}} \quad (8.6)$$

καθώς και ο a posteriori πίνακας μεταβλητότητας:

$$\widehat{V}_x = \widehat{\sigma}^2 N^{-1} \quad (8.7)$$

Μετά την επίλυση ελέγχθηκαν τα υπόλοιπα των παρατηρήσεων. Όσες παρατηρήσεις είχαν υπόλοιπο μεγαλύτερο από 2 cm ($v_i > 0,02m$) εξαιρέθηκαν και επαναλήφθηκε η συνόρθωση. Το όριο προσδιορίστηκε λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα στον προσδιορισμό θέσης (σύμφωνα με τον κατασκευαστή) που είναι της τάξης των $\pm 6mm$. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσαρμογής.

X₀ (m)	470617,726	σ_{x0} (mm)	±1
Y₀ (m)	4199197,084	σ_{y0} (mm)	±1
R₀ (m)	66,326	σ_{R0} (mm)	±1

Πίνακας 5 : Αποτελέσματα προσαρμογής βέλτιστου κύκλου δακτυλίου
Table 5: The results of ring points approximation with a best fitting circle

Παρατηρείται ότι οι αβεβαιότητες των συντεταγμένων του κέντρου του κύκλου καθώς και της ακτίνας, όπως προέκυψαν μετά την επίλυση, είναι της τάξης του $\pm 1mm$. Αυτό το μέγεθος δεν χαρακτηρίζει την ποιότητα των σαρώσεων, αλλά την ακρίβεια με την οποία προσαρμόστηκε ο βέλτιστος κύκλος στο σημειοσύνολο του δακτυλίου ανάρτησης. Σε αυτό το γεγονός συνέβαλε ο μεγάλος αριθμός σημείων που χρησιμοποιήθηκαν για την προσαρμογή.

8.3 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΚΥΚΛΟΥ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Για τον προσδιορισμό του σημειοσυνόλου των δοκών των υποστυλωμάτων του σταδίου ακολουθήθηκε στο Cyclone διαδικασία όμοια με αυτή που περιγράφηκε για το δακτύλιο. Συγκεκριμένα απομονώθηκαν οι κάτω ακμές των δοκών κάθε υποστυλώματος. Οι προβολές των σημείων αυτών σε οριζόντιο επίπεδο βρίσκονται, σε μια περιφέρεια κύκλου.



Εικόνα 28: Οι κάτω ακμές των δοκών των υποστυλωμάτων
Picture 28: The edges of the beams of the pillars

Έτσι όπως αναλύθηκε στην ενότητα (8.2), πραγματοποιείται ο προσδιορισμός του κέντρου και της ακτίνας του κύκλου που προσαρμόζεται στα σημεία των κάτω ακμών των δοκών (Εικόνα 28). Το πλήθος των εξισώσεων παρατήρησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 847, ενώ και εδώ εξαιρέθηκαν παρατηρήσεις που είχαν υπόλοιπο πάνω από το όριο των ± 2 cm. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

X_0 (m)	470617,750	σ_{x_0} (mm)	± 1
Y_0 (m)	4199197,100	σ_{y_0} (mm)	± 1
R_0 (m)	64,962	σ_{R_0} (mm)	± 1

Πίνακας 6 : Αποτελέσματα της προσαρμογής βέλτιστου κύκλου δοκών
Table 6: The results of beam points' approximation with a best fitting circle

8.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ

Μετά από τον προσδιορισμό των κέντρων και των ακτινών των 2 βέλτιστων κύκλων εκτιμήθηκε το διάνυσμα μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης. Το διάνυσμα αυτό προκύπτει από την απόκλιση των κέντρων των 2 περιφερειών. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε στατιστική αξιολόγησή του για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

- Προσαρμογή βέλτιστου κύκλου στις Δοκούς
Συντεταγμένες κέντρου κύκλου δοκών: $X_1 = 470617,750\text{m}$,
 $Y_1 = 4199197,181\text{m}$

$$V_{X^1} = \begin{bmatrix} 4,70729 \times 10^{-7} & 1,8379 \times 10^{-8} & -6,10102 \times 10^{-8} \\ 1,83793 \times 10^{-8} & 4,2627 \times 10^{-7} & 6,98186 \times 10^{-8} \\ -6,10102 \times 10^{-8} & 6,98186 \times 10^{-8} & 2,32906 \times 10^{-7} \end{bmatrix} \text{m}^2$$

- Προσαρμογή βέλτιστου κύκλου στο Δακτύλιο
Συντεταγμένες κέντρου κύκλου δακτυλίου : $X_2 = 470617,726\text{m}$,
 $Y_2 = 4199197,084\text{m}$

$$V_{X^2} = \begin{bmatrix} 8,30024 \times 10^{-8} & -1,2015 \times 10^{-8} & -6,22019 \times 10^{-9} \\ -1,2015 \times 10^{-8} & 3,2094 \times 10^{-8} & 9,35536 \times 10^{-9} \\ -6,221019 \times 10^{-9} & 9,35536 \times 10^{-9} & 2,29871 \times 10^{-8} \end{bmatrix} \text{m}^2$$

Αρχικά υπολογίζονται τα στοιχεία του διανύσματος της μεταβολής της θέσης των κέντρων των κύκλων. Το μέτρο του διανύσματος είναι :

$$\delta r = \sqrt{(x_{02} - x_{01})^2 + (y_{02} - y_{01})^2} = 0,100 \text{ m} \quad (8.8)$$

η γωνία διεύθυνσης του διανύσματος είναι:

$$a_{\delta r} = 218,0571 \text{ grad}$$

Ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας $V_{\delta x}$ του δr προκύπτει:

$$V_{\delta x} = V_{X^1} + V_{X^2} = \begin{bmatrix} 5,53731 \times 10^{-7} & 6,36438 \times 10^{-9} & -6,72304 \times 10^{-8} \\ 6,36438 \times 10^{-9} & 4,58364 \times 10^{-7} & 7,9174 \times 10^{-8} \\ -6,72304 \times 10^{-8} & 7,9174 \times 10^{-8} & 2,55893 \times 10^{-7} \end{bmatrix} \text{m}^2$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα στοιχεία της έλλειψης σφάλματος της μετακίνησης, χρησιμοποιώντας τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας $V_{\delta x}$.

Τα στοιχεία της έλλειψης σφάλματος της μετακίνησης είναι τα ακόλουθα:

$$\sigma_{\max}=0,001\text{m} , \sigma_{\min}=0,001\text{m} \text{ και } a=95,7765^{\circ}$$

Από το μονοδιάστατο έλεγχο για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% διαπιστώνεται ότι το διάνυσμα μετακίνησης είναι στατιστικά σημαντικό.

8.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΜΕ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στο σημείο αυτό θα συγκριθεί το διάνυσμα μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης με το αντίστοιχο διάνυσμα που είχε προσδιοριστεί στα πλαίσια της προηγούμενης διπλωματικής εργασίας [12]. Το διάνυσμα μπορεί να συγκριθεί μόνο κατά μέτρο, καθώς οι 2 γωνίες διεύθυνσης αναφέρονται σε διαφορετικά συστήματα αναφοράς.

Συγκεκριμένα το μέτρο της μετατόπισης της οροφής του Σ.Ε.Φ ως προς τις δοκούς που προσδιορίστηκε από τις μετρήσεις του 2000 ήταν $\delta r = 0,092 \text{ m}$. Επομένως παρατηρείται ότι το μέτρο του διανύσματος μετακίνησης είναι ίδιας τάξης μεγέθους με αυτό που προσδιορίστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας ($\delta r=0,100 \text{ m}$). Είναι προφανές ότι η διαφορά των μέτρων των δύο διανυσμάτων είναι στατιστικά μη σημαντική. Συνεπώς συμπεραίνεται ότι ο δακτύλιος ανάρτησης της στέγης του σταδίου δεν έχει μετακινηθεί στο χρονικό διάστημα 2000 - 2016.

8.6 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΜΕ ΤΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

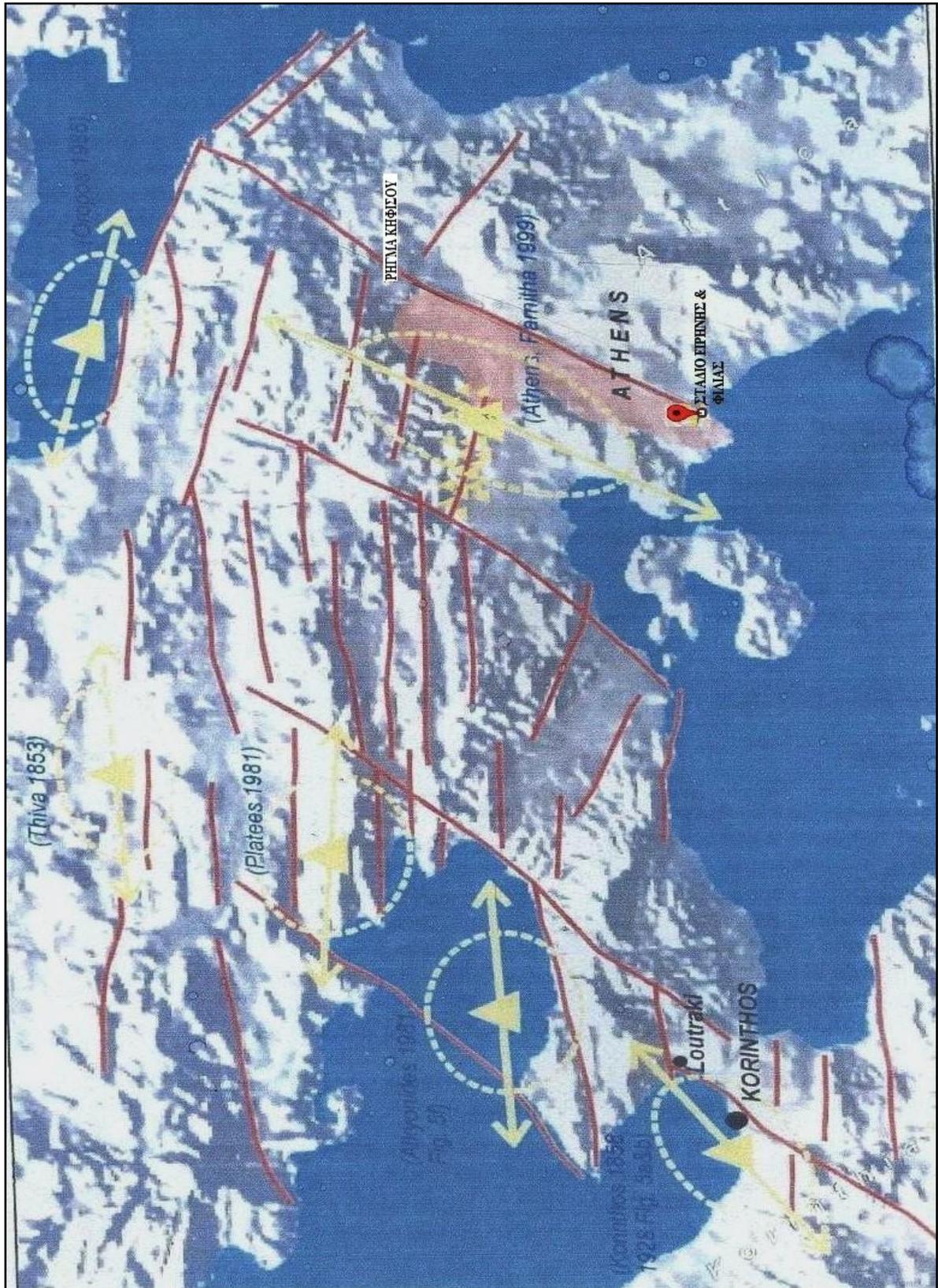
8.6.1 Ο σεισμός της Πάρνηθας το 1999

Ο σεισμός της Πάρνηθας που έπληξε το Λεκανοπέδιο της Αττικής στις 7 Σεπτεμβρίου του 1999 προκάλεσε πολλές υλικές ζημιές και κόστισε ανθρώπινες ζωές. Ο συγκεκριμένος σεισμός, είχε ένταση 5.9 της κλίμακας Ρίχτερ και παρόλο που δεν θεωρείται ιδιαίτερα ισχυρός σεισμός και είχε διάρκεια μόλις 15 δευτερόλεπτα, οι συνέπειες του ήταν καταστροφικές κυρίως εξαιτίας της εγγύτητας του στην Αθήνα. Το επίκεντρο του τοποθετείται ανάμεσα στις Αχαρνές και στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας, 18 χιλιόμετρα μακριά από το κέντρο της Αθήνας και το εστιακό του βάθος ήταν μικρό (15 – 20 km). Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Γενικού Αστεροσκοπείου Αθηνών [26] συμπληρώνει τα χαρακτηριστικά του καταστροφικού σεισμού της Αττικής καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τελικά πραγματοποιήθηκαν δυο σεισμοί, έντασης 5.8 και 5.5 Ρίχτερ, οφειλόμενοι στην ενεργοποίηση διαφορετικών ρηγμάτων και με διαφορά 3.5 δευτερολέπτων μεταξύ τους.

8.6.2 Διαπιστώσεις για το διάνυσμα μετακίνησης του δακτυλίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα (2.2.1) το έδαφος θεμελίωσης του στάδιο προέκυψε από τεχνητές προσχώσεις - μαζώματα. Ωστόσο, η κυρίως κατασκευή έχει θεμελιωθεί με σύστημα πασσαλοεσχάρα στο μητρικό πέτρωμα, που είναι η μάργα του Πειραιά. Είναι γνωστό ότι ο δακτύλιος ανάρτησης της στέγης του σταδίου μετακινήθηκε εξαιτίας του σεισμού από την αρχική του θέση. Επιπλέον, δεν έχει την δυνατότητα να κινείται κατά τη διάρκεια της ημέρας και ακινητοποιήθηκε σε μια τυχαία θέση φορτίζοντας τον φέροντα οργανισμό της κατασκευής με τάσεις που δεν έχουν προβλεφθεί κατά το στάδιο της μελέτης. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι το διάνυσμα μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης αποτελεί μια «παγωμένη» σεισμική κίνηση στην περιοχή.

Στο Χάρτη 1. που ακολουθεί απεικονίζεται το νεοτεκτονικό πλαίσιο του ευρύτερου σεισμογόνου χώρου του Λεκανοπεδίου της Αττικής.

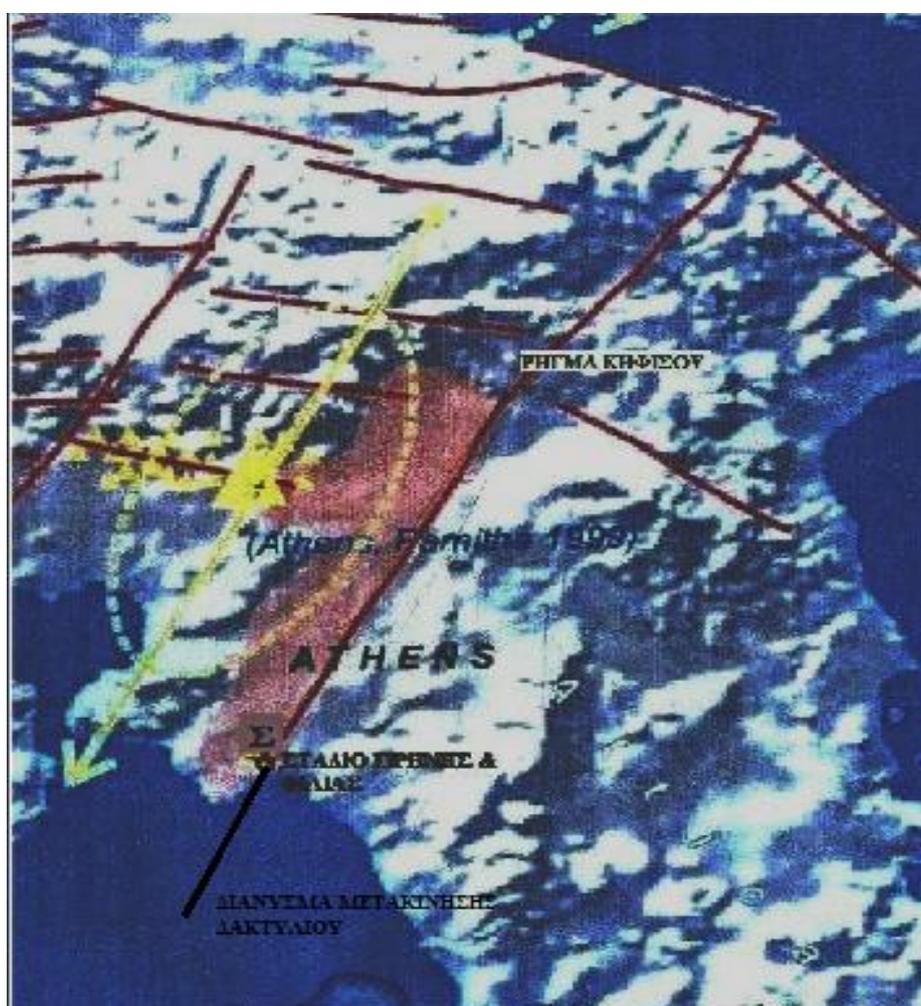


Χάρτης 1: Τεκτονικό πλαίσιο του σεισμογόνου χώρου του λεκανοπεδίου [26]
Map 1: Main Tectonic faults in the area of Attica basin - Epicenters of main earthquakes

Στο χάρτη αυτό εμφανίζονται οι πιο καταστροφικοί σεισμοί που έχουν πλήξει το λεκανοπέδιο τον τελευταίο αιώνα. Με κίτρινο τρίγωνο απεικονίζεται το επίκεντρο κάθε σεισμού. Με κίτρινο διπλό βέλος και έλλειψη η κύρια κατεύθυνση των σεισμικών εντάσεων ενώ με πορτοκαλί σκιά η περιοχή που επηρεάστηκε από το σεισμό της Πάρνηθας το 1999.

Στο σχήμα επίσης σημειώθηκε η τοποθεσία του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας, η οποία εξομοιώθηκε ως σημείο. Από το χάρτη διαπιστώνεται επίσης ότι το στάδιο βρίσκεται επάνω στη ρηξιγενή ζώνη του Κηφισού.

Στη συνέχεια τοποθετήθηκε στον παρακάτω χάρτη 2. το διάνυσμα μετακίνησης του δακτυλίου.



Χάρτης 2: Το διάνυσμα μετακίνησης του δακτυλίου
Map 2: The vector of ring's displacement

Παρατηρώντας το χάρτη 2, διαπιστώνεται ότι η κίνηση του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης του σταδίου έγινε προς τα νοτιοδυτικά, ενώ προς τα νοτιοδυτικά - βορειοανατολικά είναι και η κύρια κατεύθυνση της μακροσεισμικής έντασης του σεισμού. Επίσης, παρατηρείται ότι ο δακτύλιος κινήθηκε κατά την διεύθυνση του ρήγματος του Κηφισού. Επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κατά μήκος του ρήγματος του Κηφισού υπήρξε μετακίνηση, που πιθανό να επηρέασε την περιοχή του λεκανοπέδιου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

9. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οι εργασίες αυτές χωρίζονται σε εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο και σε εργασίες γραφείου.

Οι εργασίες πεδίου ολοκληρώθηκαν σε 20 ημέρες καλύπτοντας το 19% των συνολικών εργασιών της διπλωματικής, ενώ η εργασίες γραφείου ολοκληρώθηκαν σε 86 ημέρες με αντίστοιχο ποσοστό 81%.

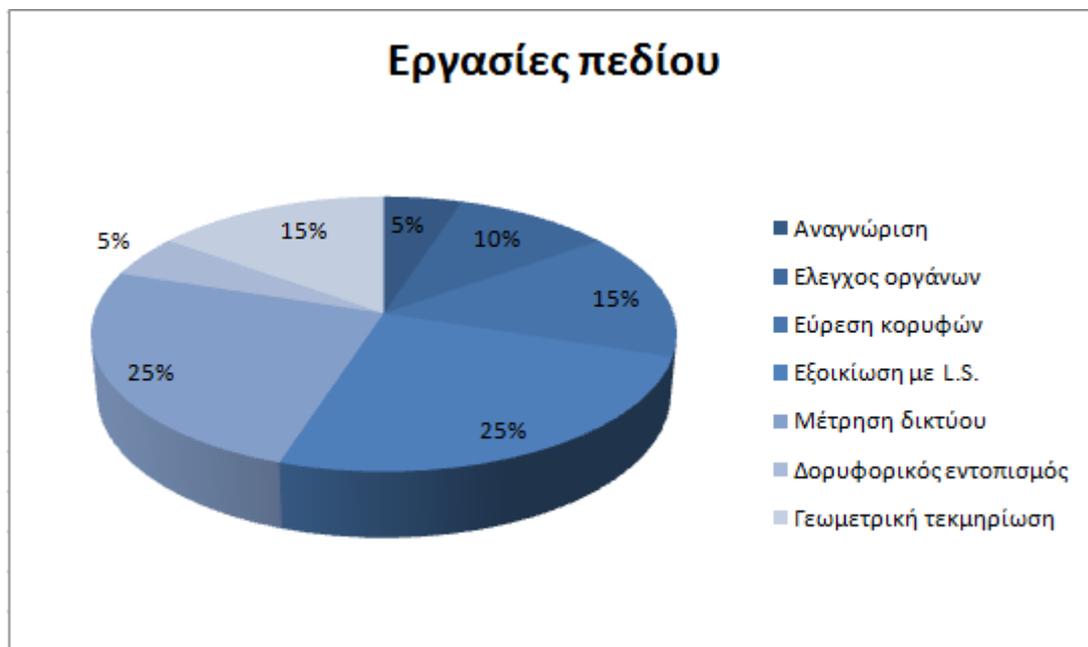


Γράφημα 1 : Κατανομή εργασιών διπλωματικής εργασίας
Diagram 1: work distribution of diploma thesis

Αναλυτικότερα οι εργασίες πεδίου περιελάμβαναν :

- την αναγνώριση της περιοχής του σταδίου Ειρήνης και Φιλίας ,που διήρκησε **1 ημέρα**.
- τον έλεγχο των οπτικών κεντρώσεων των τριχογλίων, καθώς και τον έλεγχο για την ύπαρξη σταθεράς οργάνου – καταφώτου που διήρκησαν **2 ημέρες**.
- την εύρεση των κορυφών του γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου και την ίδρυση τριών νέων κορυφών , διαδικασία που διήρκησε **3 ημέρες**.
- την εξοικείωση με τα καινούργια όργανα που κράτησε συνολικά **5ημέρες**, με μέσο όρο εργασιών ανά ημέρα τις 4 ώρες.
- τη μέτρηση των στοιχείων του γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου που διήρκησε **5 ημέρες** , με μέσο όρο εργασιών τις 7 ώρες ανά ημέρα.
- την εύρεση των συντεταγμένων των κορυφών 1 και 2 του δικτύου με τη χρήση δέκτη δορυφορικού εντοπισμού που διήρκησε **1 ημέρα**.

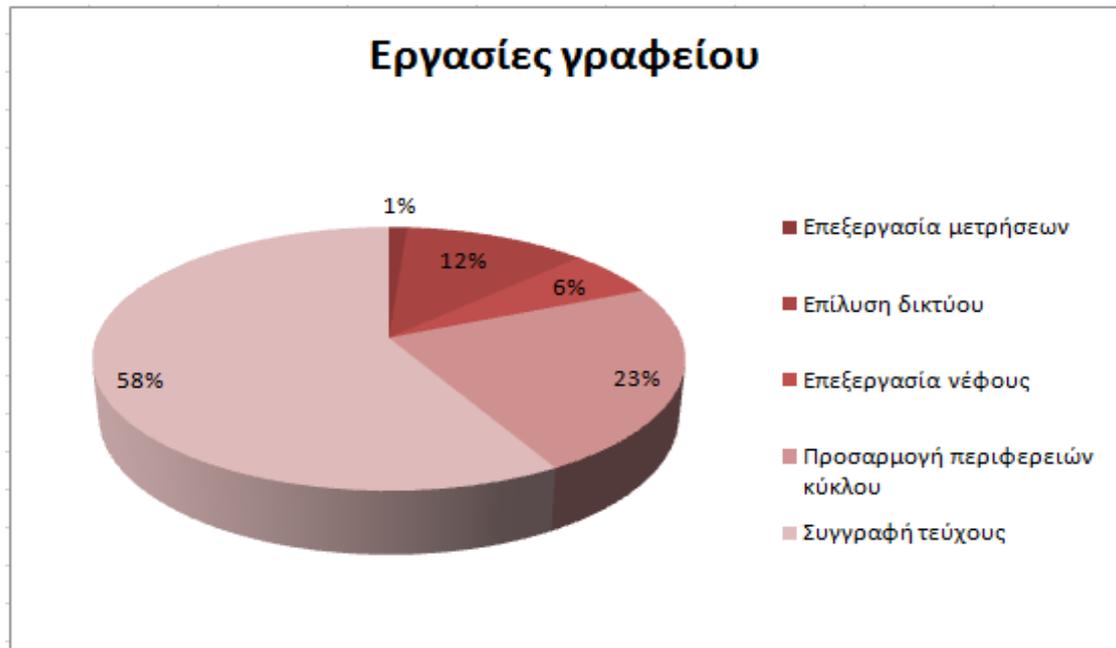
- τη γεωμετρική τεκμηρίωση του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας με τη χρήση του επίγειου τρισδιάστατου Laser σαρωτή, διαδικασία που διήρκτησε **3 ημέρες** με μέσο όρο εργασιών τις 8 ώρες/ημέρα.



Γράφημα 2 : Κατανομή εργασιών πεδίου
Diagram 2: Field work distribution

Αντίστοιχα οι εργασίες γραφείου περιελάμβαναν:

- την επεξεργασία των μετρήσεων του γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου που διήρκτησε **1 ημέρα**.
- την επίλυση του γεωδαιτικού δικτύου (συνόρθωση – έλεγχοι) που διήρκτησε συνολικά **10 ημέρες**.
- την επεξεργασία του παραγόμενου νέφους από τον επίγειο τρισδιάστατο Laser σαρωτή και τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του σταδίου, εργασίες που διήρκτησαν συνολικά **5 ημέρες** με μέσο όρο εργασιών τις 4 ώρες/ημέρα.
- την προσαρμογή των βέλτιστων περιφερειών κύκλων στα σημεία του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης και στα υποστυλώματα του σταδίου, διαδικασία που διήρκτησε **20 ημέρες**.
- τη συγγραφή του τεύχους η οποία διήρκτησε περίπου **50 ημέρες**.



Γράφημα 3 : Κατανομή εργασιών γραφείου
Diagram 3: Office work distribution

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα έτσι όπως προέκυψαν μετά την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας. Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν την ύπαρξη παραμορφώσεων στο Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας, που αποτελεί και το βασικό στόχο της διπλωματικής εργασίας καθώς και αυτά που προκύπτουν κατά τα στάδια συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων. Τέλος αναφέρονται προτάσεις που ενδεχομένως να φανούν χρήσιμες σε περίπτωση μελλοντικής διερεύνησης του θέματος.

10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

10.1.1 Συμπεράσματα κατά τη συλλογή δεδομένων

- Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων στο πεδίο επιβεβαίωσε τη χρησιμότητα του επίγειου Laser σαρωτή στις εφαρμογές που έχουν σκοπό την ανίχνευση παραμορφώσεων στα Τεχνικά έργα. Η ταχύτητα με την οποία μπορεί να επιτευχθεί η γεωμετρική τεκμηρίωση του αντικειμένου, καθώς και το τελικό προϊόν της διαδικασίας που είναι μια ολογραφική απεικόνιση, προσδίδουν στον επίγειο σαρωτή σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό. Ο γεωδαιτικός σταθμός έχει τη δυνατότητα να μετρά έναν περιορισμένο αριθμό προσημασμένων σημείων στην επιφάνεια του αντικειμένου και χαρακτηρίζεται ως αντικοινωνικός για τέτοιες εφαρμογές. Παρόλα τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του, ο επίγειος τρισδιάστατος σαρωτής δεν μπορεί να αντικαταστήσει τον γεωδαιτικό σταθμό. Έτσι, θα πρέπει να επιλέγεται το κατάλληλο όργανο ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εργασίας.
- Κατά τη γεωμετρική τεκμηρίωση του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης καθώς και μέρους των δοκών και των υποστυλωμάτων του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας κρίθηκε απαραίτητη η λήψη μεγάλου αριθμού σημείων, ώστε να περιοριστεί η πιθανότητα ύπαρξης κενών στο τελικό μοντέλο. Έτσι στις σαρώσεις ορίστηκε βήμα της τάξης των 5 mm. Είναι φανερό ότι όσο μικρότερο είναι το βήμα σάρωσης, τόσο περισσότερα σημεία του αντικειμένου θα αποτυπωθούν και τόσο μεγαλύτερη λεπτομέρεια θα φέρει το ολόγραμμα που αποτελεί τελικό προϊόν. Λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα σημεία που σαρώθηκαν και σε αυτά που τελικά χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση της μετακίνησης, καθώς και τη μεγάλη ακρίβεια των προσομοιώσεων των σημείων του δακτυλίου και των δοκών (8.2, 8.3) προκύπτει το συμπέρασμα ότι αν αυξηθεί το βήμα σάρωσης δεν θα επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα.

- Παρά τη μεγάλη ταχύτητα συλλογής δεδομένων με το σαρωτή, το μικρό βήμα σάρωσης και οι διαστάσεις του σταδίου, κατέστησαν τη διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης πολύ χρονοβόρα. Όταν ο χρόνος παραμονής του σαρωτή στο πεδίο είναι μεγάλος, αυξάνονται και οι πιθανότητες εισαγωγής θορύβου στις μετρήσεις (π.χ. εξαιτίας παρεμβολών μεταξύ σαρωτή – αντικειμένου, μεταβολής της θέσης του σαρωτή, θερμοκρασιακών μεταβολών κλπ). Επιπλέον πολλές φορές λόγω του πλήθους των σημείων που καλείται να αποτυπώσει το όργανο παύει να αποκρίνεται, κάτι που συνέβη αρκετές φορές στο πλαίσιο των εργασιών πεδίου της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Συνεπώς συμπεραίνεται ότι ο προγραμματισμός μικρών και σύντομων χρονικά σαρώσεων, αν αυτό είναι δυνατό, οδηγεί σε αξιόπιστα αποτελέσματα, στις περιπτώσεις ταχέως μεταβαλλόμενων μετακινήσεων.

10.1.2 Συμπεράσματα κατά την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων

- Κατά την επεξεργασία των δεδομένων κρίθηκε απαραίτητη η χρήση ειδικού λογισμικού που να μπορεί να διαχειριστεί το μεγάλο όγκο δεδομένων που συλλέχθηκε καθώς η εισαγωγή των σημείων σε σχεδιαστικά λογισμικά αντενδείκνυται. Το λογισμικό που επιλέχθηκε ήταν το Cyclone καθώς η χρήση του ήταν ιδιαίτερα απλή και τα αποτελέσματα που προσέφερε ήταν ποιοτικά αξιόπιστα. Επιπλέον, η απόδοση του νέφους με χρωματική πληροφορία καθιστούσε την πλοήγηση σε αυτό σχετικά εύκολη, σε αντίθεση με άλλα λογισμικά που δεν παρέχουν αυτή τη δυνατότητα.
- Για την ανίχνευση παραμορφώσεων είναι προτιμότερη η δημιουργία, της βέλτιστα προσαρμοσμένης στο μοντέλο, επιφάνειας και επεξεργασίας αυτής, παρά η προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων μέσω μεμονωμένων επιλεγμένων σημείων του νέφους.

10.1.3 Συμπεράσματα σχετικά με τη μετακίνηση του δακτυλίου ανάρτησης

- Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο του τμήματος του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας που δημιουργήθηκε παρέχει στον χρήστη μετρητική πληροφορία καθώς επίσης και πληροφορίες σχετικά με την υφή του αντικειμένου. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η συλλογή νεφών σημείων με τη χρήση του σαρωτή, η επεξεργασία τους και η χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων για τη δημιουργία προσομοιώσεων έδωσαν αξιόπιστα αποτελέσματα.
- Σχετικά με τον κύριο στόχο της εργασίας, δηλαδή τον προσδιορισμό της μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης, διαπιστώνεται η σχετική μετακίνηση του δακτυλίου ως προς τις δοκούς στήριξης (ζυγώματα πλαισίων)

του δακτυλίου, μέτρου 0.100 m και γωνίας διεύθυνσης 218,0571 grad. Συγκρίνοντας το μέτρο του διανύσματος της μετακίνησης με αυτό που προέκυψε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του 2000, προκύπτει πως δεν έχει διαφοροποιηθεί το μέτρο της μετακίνησης στο διάστημα 2000 - 2016. Επομένως, η θέση του δακτυλίου δεν έχει μεταβληθεί μετά τον σεισμό του 1999.

- Από τη σύγκριση της διεύθυνσης του διανύσματος μετακίνησης του δακτυλίου με τα τεκτονικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής, προκύπτει ότι η κίνηση του δακτυλίου ταυτίζεται με την κύρια κατεύθυνση της μακροσεισμικής έντασης καθώς και με τη διεύθυνση του ρήγματος του Κηφισού.

10.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Μετά την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης Διπλωματικής εργασίας και την εξαγωγή των συμπερασμάτων, αξίζει να παρατεθούν ορισμένες προτάσεις για μεγαλύτερη ευκολία σε περίπτωση επόμενης μελέτης στο ίδιο στάδιο, αλλά και την πρόληψη αστοχίας των φερόντων στοιχείων, λόγω της παραμένουσας μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης.

- Ο χώρος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις είναι ένα ανοιχτό πεδίο το οποίο επηρεάζεται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Προτείνεται η αποφυγή μετρήσεων τις ώρες έντονης ηλιοφάνειας γιατί υπάρχει αδυναμία στη σάρωση. Επιπλέον θα πρέπει να αποφεύγονται οι σαρώσεις όταν πνέουν δυνατοί άνεμοι γιατί η ποιότητα τους μειώνεται σημαντικά λόγω κραδασμών του σαρωτή και του τρίποδα, ενώ υπάρχει και κίνδυνος πτώσης των οργάνων.
- Σε όλες τις γεωδαιτικές εφαρμογές, η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού πριν την έναρξη των εργασιών αποτελεί πολύ σημαντική διαδικασία, καθώς η ακρίβεια που μπορεί να παρέχει κάθε όργανο, επηρεάζει την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Όμοια στις εφαρμογές για την ανίχνευση παραμορφώσεων στα Τεχνικά έργα με τη χρήση σαρωτών, θα πρέπει να εξετάζονται όλες οι παράμετροι (επιθυμητή ακρίβεια τελικού προϊόντος, διαθέσιμος χρόνος, κόστος) και να γίνεται η επιλογή του «βέλτιστου», για κάθε περίπτωση, οργάνου. Σε περίπτωση επόμενης μελέτης στο Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας, προτείνεται η χρήση ενός πιο εξελιγμένου και ταχύτερου οργάνου προκειμένου να μειωθεί στο ελάχιστο ο χρόνος παραμονής στο πεδίο. Επιπλέον όπως επεξηγήθηκε και στα συμπεράσματα προτείνεται σε επόμενη αντίστοιχη μελέτη να αυξηθεί το βήμα σάρωσης, γεγονός που δεν θα επηρεάσει την ακρίβεια του αποτελέσματος. Εναλλακτικά προτείνεται το βήμα να διατηρηθεί ίδιο και να μειωθεί το εύρος του πεδίου σάρωσης από κάθε θέση του σαρωτή.

- Απαραίτητη κρίνεται η επανάληψη της σάρωσης σε επόμενη χρονική στιγμή για την ανίχνευση πιθανής αλλαγής του διανύσματος μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης.

- Η μετακίνηση του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης του Σταδίου και η ακινητοποίηση του σε τυχαία θέση, επιβαρύνει τις δοκούς με μόνιμα φορτία που δεν έχουν προβλεφθεί κατά το σχεδιασμό. Συνεπώς πρέπει να βρεθεί άμεσα ένας τρόπος επαναφοράς της οροφής στην αρχική της θέση για την αποφυγή δυσμενών καταστάσεων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΟΡΓΑΝΩΝ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΑΡΩΤΗ SCANSTATION 2



ΓΕΝΙΚΑ	
Τύπος οργάνου	Ανιχνευτής παλμών Laser με αντισταθμιστή 2 αξόνων, σαρωτής τεχνολογίας Time of Flight, πολύ υψηλής ταχύτητας σάρωσης
Επικοινωνία με χρήστη	μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή
Κίνηση ανιχνευτή	Κίνηση με σερβομηχανισμό
Κάμερα	Ενσωματωμένη κάμερα υψηλής ανάλυσης
ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
Ακρίβεια της μίας μέτρησης	Θέση $\pm 6\text{mm}$ Απόσταση $\pm 4\text{mm}$ Γωνία (οριζ. /κατακ.) $60\mu\text{rad}$
Μοντελοποιημένη επιφάνεια	Ακρίβεια $\pm 2\text{mm}$
Απόκτηση στόχου	Απόκλιση $\pm 2\text{mm}$
Αντισταθμιστής 2 αξόνων	Επιλογές on/off Ανάλυση 1'' περιοδικός αυτοέλεγχος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του
ΣΥΣΤΗΜΑ LASERSCANNER	
Τύπος Laser	παλλόμενο
Τάξη Laser	3R (IEC 60825-1)
Χρώμα Laser	Πράσινο
Εμβέλεια Laser	300m κατά 90% , 134 κατά 18%
Ρυθμός/ Ταχύτητα σάρωσης	Μέχρι και 50.000 σημεία/δευτερόλεπτο (εξαρτάται από την πυκνότητα κάθε σάρωσης και το εύρος του οπτικού πεδίου)
Μέγεθος σημείων σάρωσης	Από 0-50m: 4mm(FWHH), 6 mm(Gaussian)

Εύρος οπτικού πεδίου οριζόντια κατακόρυφα	360° (μέγιστο) 270° (μέγιστο)
Οπτική ανίχνευση	Ενιαίο, πανοραμικό κάτοπτρο με 2 παράθυρα το ένα στο μπροστινό και το άλλο στο επάνω μέρος του σαρωτή, τα οποία προστατεύονται από το περιβάλλον από 2 ασπίδες γυαλιού
Δείκτες κατάστασης σαρωτή	3 LEDs υποδεικνύουν πότε ο σαρωτής είναι έτοιμος, πότε το laser είναι ανοικτό και τέλος την κατάσταση επικοινωνίας σαρωτή – H/Y
Δείκτης οριζοντίωσης	εξωτερική φυσαλίδα και μέσω H/Y (laptop)
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	
Θερμοκρασία λειτουργίας	0°C έως +40°C
Θερμοκρασία φύλαξης	-25°C +65°C
Φωτισμός	Πλήρης λειτουργία σε πολύ φωτεινό περιβάλλον και απόλυτο σκοτάδι
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΑΡΩΤΗ	
Διαστάσεις	10,5 "D x 14,5" W x 20" H
Βάρος	18,5 Kg
Επιπλέον εξοπλισμός	Θήκη μεταφοράς σαρωτή Τρίποδας καλώδιο Ethernet για σύνδεση σαρωτή – H/Y τροφοδοτικό καλώδιο για σύνδεση σαρωτή – μπαταρίας φορτιστής μπαταρίας εγχειρίδιο (User Manual) Σύνεργα καθαρισμού Λογισμικό Cyclone
ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
Εισαγωγή	Cyclone native IMP object format Cyclone Object Exchange (COE) format ASCII point data (XYZ, SVY, PTS, TXT) Leica X-Function DBX format, Land XML, ZFS, ZFC, 3DD
Εξαγωγή	ASCII point data (XYZ, SVY, PTS, TXT) DXF, Leica X-Function DBX, Land XML,

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ TOPCON
GPT3105N



ΕΜΒΕΛΕΙΑ ΟΡΓΑΝΟΥ

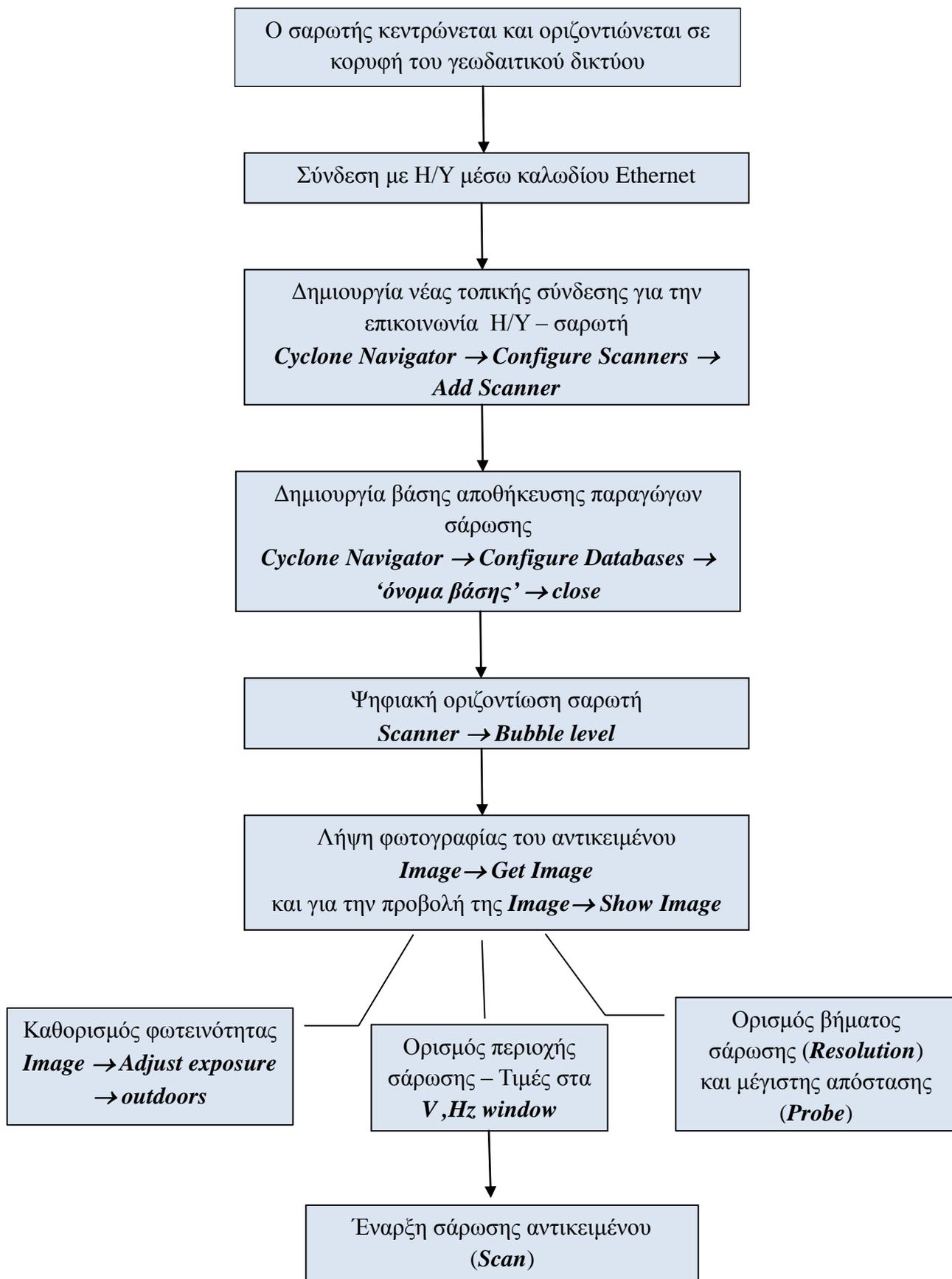
Εμβέλεια απόστασης με πρίσμα	3000m
Εμβέλεια απόστασης χωρίς πρίσμα	350m

ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΟΡΓΑΝΟΥ

Ακρίβεια μέτρησης μήκους με πρίσμα	$\pm(2\text{mm} + 2\text{ppm})$
Ακρίβεια μέτρησης μήκους χωρίς πρίσμα	$\pm(3\text{mm} + 2\text{ppm})$
Γωνιομετρική ακρίβεια	5''(15cc)
Δυνατότητες	Laser pointer, 2 φωτεινοί οδηγοί χάραξης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ

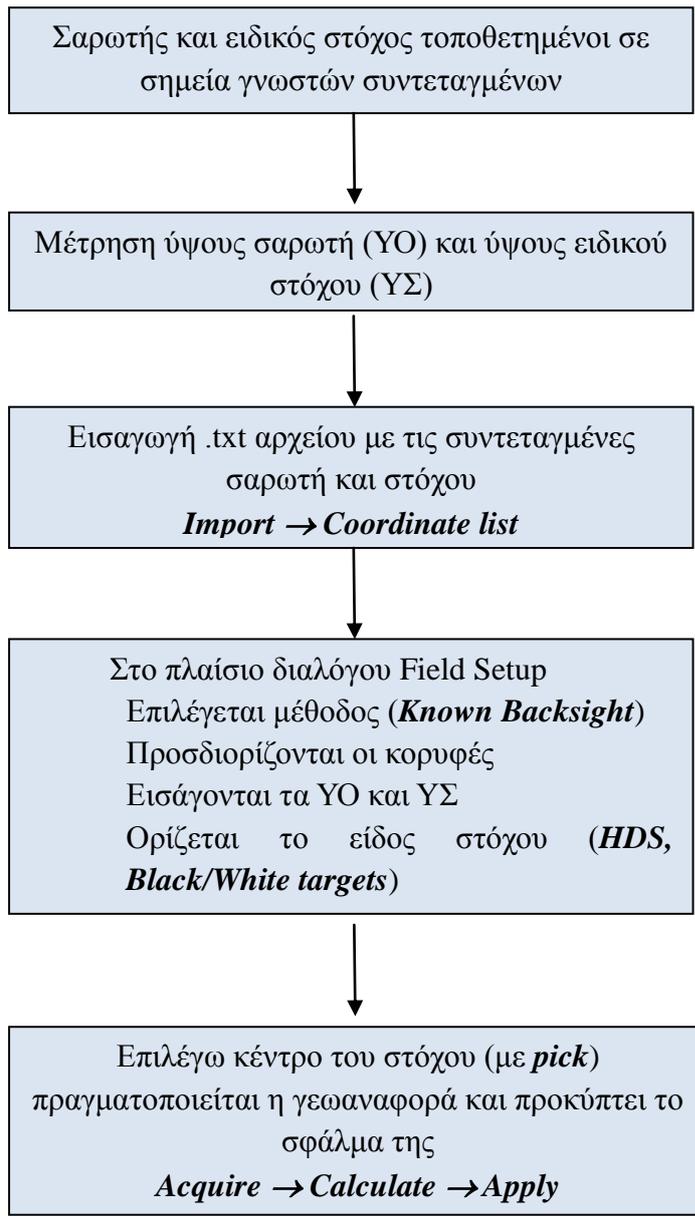
➤ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



↓

Σάρωση ειδικού στόχου –
Προσδιορισμός κέντρου στόχου με
ακρίβεια 2 mm

➤ ΑΜΕΣΗ ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ



➤ ΣΥΝΕΝΩΣΗ ΣΕ ΕΝΙΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Οι σαρώσεις είναι γεωαναφερμένες σε ενιαίο σύστημα συντεταγμένων - Η συνένωση τους για τη δημιουργία ολογραφικής απεικόνισης του αντικειμένου είναι πλέον απλή και πραγματοποιείται με τις εντολές:

Create → Registration
Create ScanWorld / Freeze Registration
Create and Open Modelspace

➤ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

✓ Απαλοιφή θορύβου

οριοθετείται η περιοχή που θεωρείται θόρυβος

↓

Διαγράφεται η 'άχρηστη' πληροφορία
Fence → Delete inside

✓ Δημιουργία τομών

Με την εντολή ***pick*** επιλέγεται σημείο πάνω στο αντικείμενο

↓

Δημιουργείται το επίπεδο αναφοράς της τομής που θα περνά από το σημείο που ορίστηκε
Tools → Reference Plane → set Plane origin at pick point

↓

Η θέση του επιπέδου αναφοράς μπορεί να μεταβληθεί με την εντολή
Tools → Reference Plane → Pan/ Rotate/ Tilt/Raise-Lower

↓

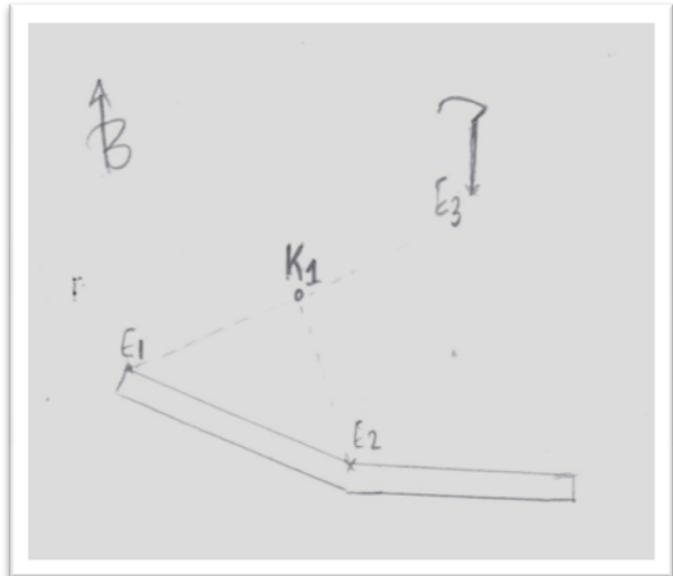
Δημιουργείται η τομή του αντικειμένου με το
επίπεδο αναφοράς
Tools → Cut plane → set from active Ref. Plane



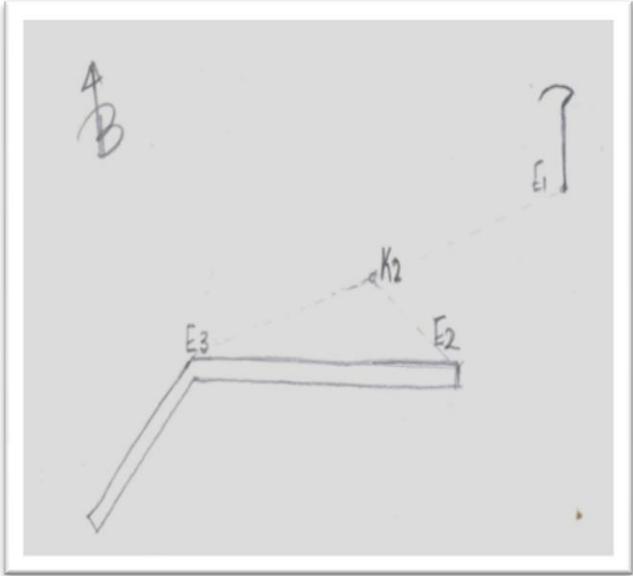
Εμφανίζονται τα σημεία της τομής με την εντολή
Tools → Cut plane → View slice

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ
ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

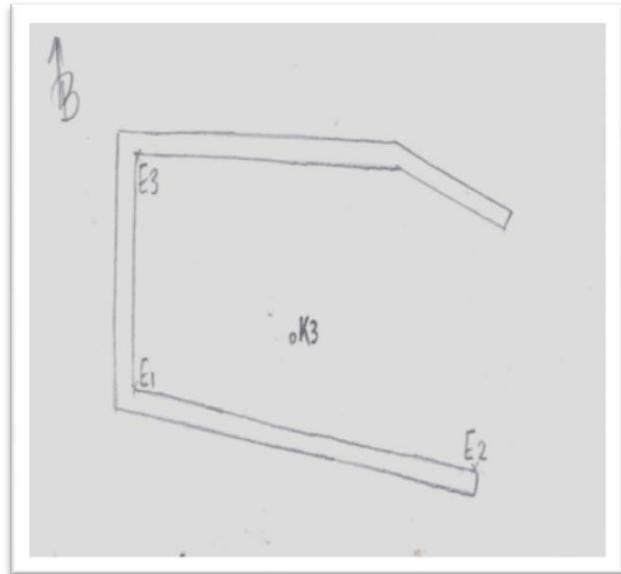
ΚΟΡΥΦΗ 1
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
 $X1 = 470648,685$
 $Y1 = 4199124,077$
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ: $K1E1 = 5,90 \text{ m}$
 $K1E2 = 8,50 \text{ m}$
 $K1E3 = 8,95 \text{ m}$



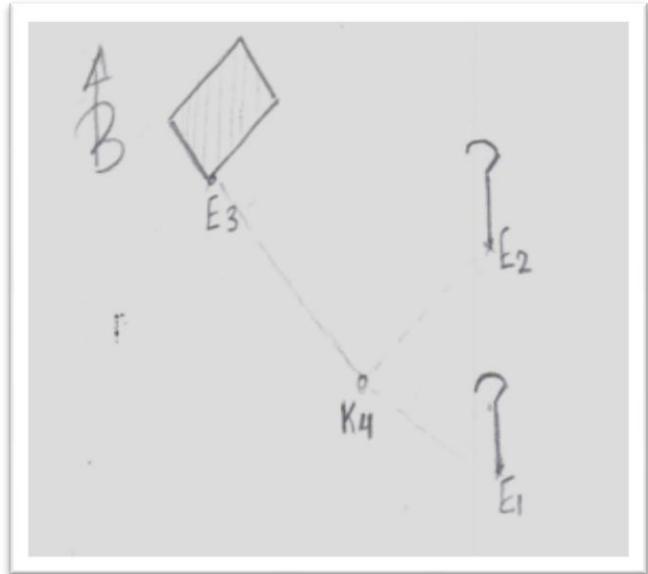
ΚΟΡΥΦΗ 2
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
 $X_2 = 470517,551$
 $Y_2 = 4199153,570$
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ: $K_2E_1 = 13,1 \text{ m}$
 $K_2E_2 = 5,15 \text{ m}$
 $K_2E_3 = 10,5 \text{ m}$



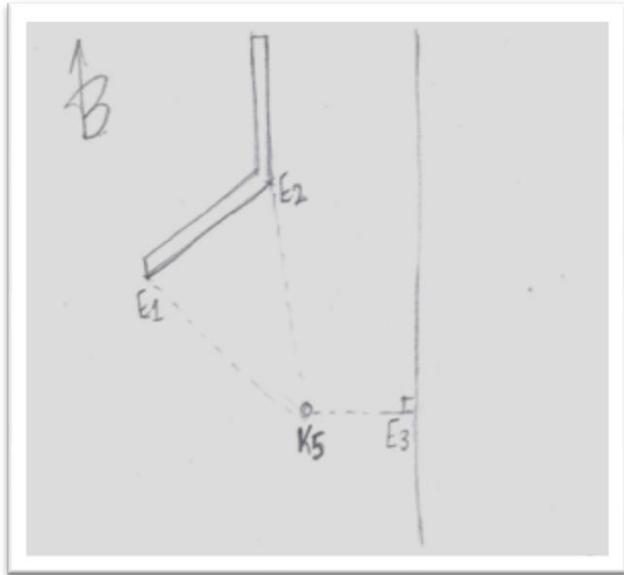
ΚΟΡΥΦΗ 3
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
 $X_3 = 470586,214$
 $Y_3 = 4199283,866$
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ: $K_3E_1 = 4,10 \text{ m}$
 $K_3E_2 = 6,70 \text{ m}$
 $K_3E_3 = 7,15 \text{ m}$



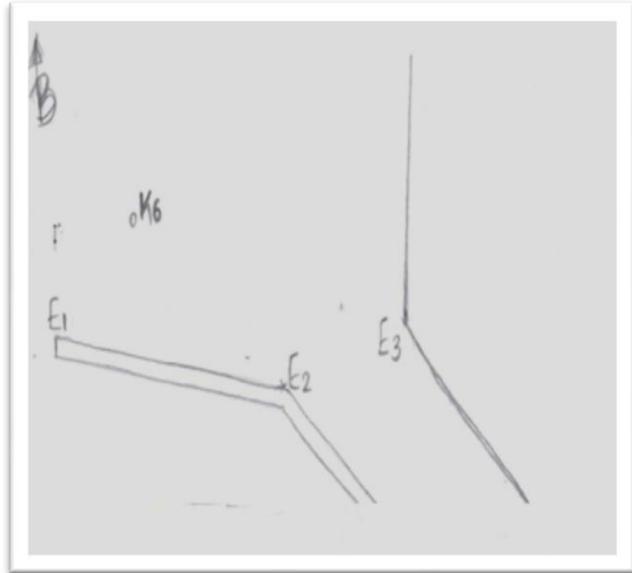
ΚΟΡΥΦΗ 4
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X4 = 470713,698
Y4 = 4199230,522
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ: K4E1 = 12,0 m
K4E2 = 15,0 m
K4E3 = 25,3 m



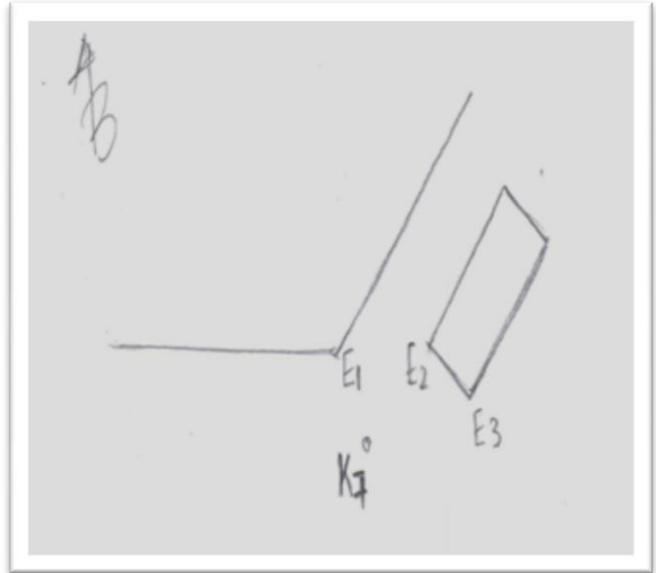
ΚΟΡΥΦΗ 5
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X5 = 470691,157
Y5 = 4199137,156
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ: K5E1 = 10,4 m
K5E2 = 12,0 m
K5E3 = 3,50 m



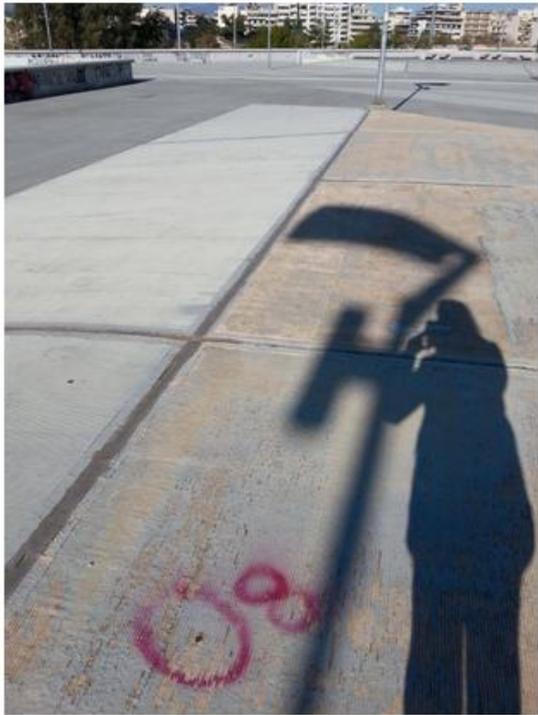
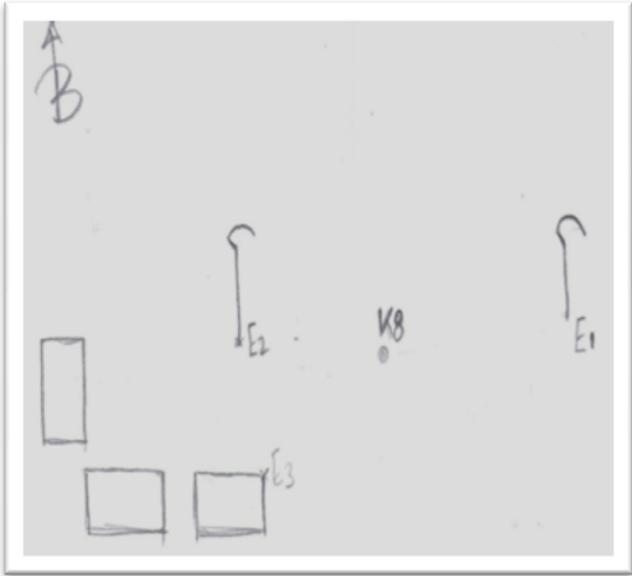
ΚΟΡΥΦΗ 6
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝ:
X6 = 470711,748
Y6 = 4199180,469
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ: K6E1 = 2,40 m
K6E2 = 3,54 m
K6E3 = 12,5 m



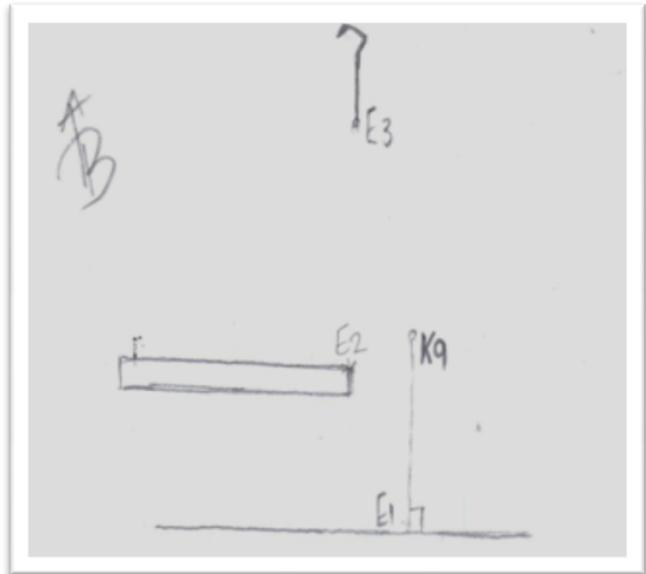
ΚΟΡΥΦΗ 7
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X7 = 470517,431
Y7 = 4199215,747
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ: Κ7Ε1 = 1,00 m
 Κ7Ε2 = 2,50 m
 Κ7Ε3 = 2,75 m



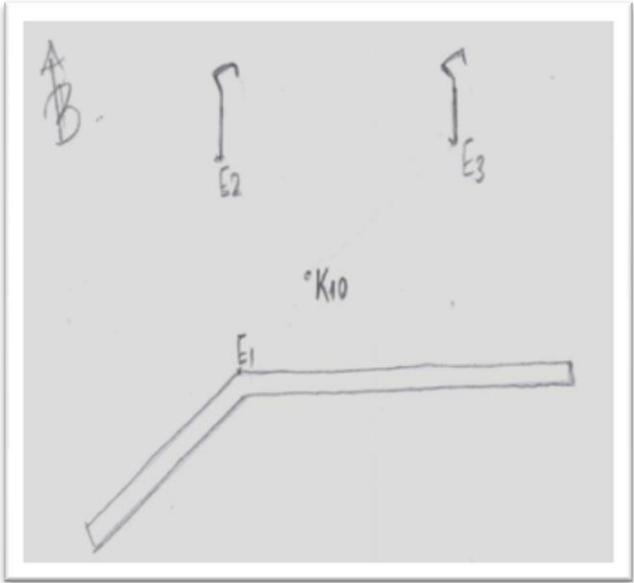
ΚΟΡΥΦΗ8
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X8 = 470536,446
Y8 = 4199258,780
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ:K8E1 = 13,0 m
K8E2 = 10,1 m
K8E3 = 10,8 m



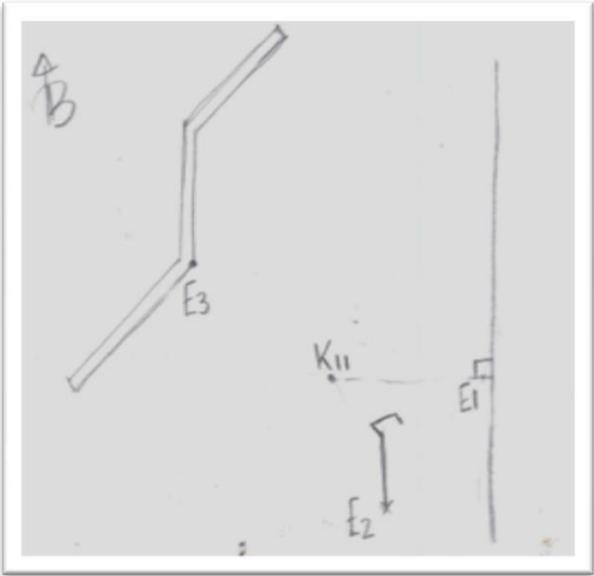
ΚΟΡΥΦΗ 9
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X9 = 470610,668
Y9 = 4199108,285
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ: Κ9Ε1 = 3,40 m
 Κ9Ε2 = 2,30 m
 Κ9Ε3 = 9,25 m



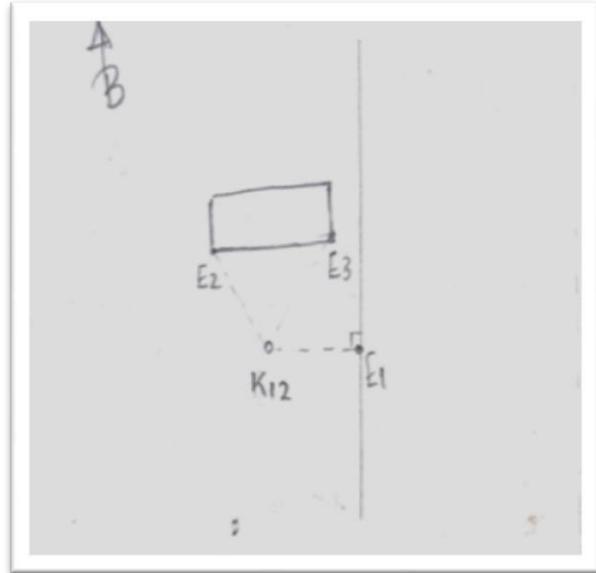
ΚΟΡΥΦΗ 10
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X10 = 470563,106
Y10 = 4199131,222
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ :
K10E1=2,10m
K10E2=7,20m
K10E3=11,8m



ΚΟΡΥΦΗ 11
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X11 = 470632,523
Y11 = 4199288,862
ΑΠΟΣΤΑΣΗ: K11E1 = 6,20 m
K11E2 = 5,25 m
K11E3 = 9,40 m



ΚΟΡΥΦΗ 12
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ:
X12 = 470683,397
Y12 = 4199268,207
ΑΠΟΣΤΑΣΗ : K12E1 = 3,80 m
K12E2 = 3,10 m
K12E3 = 3,90 m



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά – Μπαλοδήμου, **Θεωρία σφαλμάτων και Συνορθώσεις I**, Αθήνα 2007
2. Αγατζά – Μπαλοδήμου, **Θεωρία σφαλμάτων και Συνορθώσεις II**, Αθήνα 2009
3. Βασιλοπούλου Ι., Γαντές Χ, **Ευπάθεια Δικτύων καλωδίων σε κόπωση Ανεμοπίεσης**, 6^ο Εθνικό Συνέδριο Μεταλλικών Κατασκευών
4. Γεωργόπουλος Γ., Γκίκας Β., Τελειώνη Ε., Τσακίρη Μ., **Δίκτυα – Αποτυπώσεις - Χαράξεις**, Σ.Α.Τ.Μ, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2016
5. Γεωργόπουλος Γ., Δογγούρης Σ., Λάμπρου Ε., Μπαλοδήμος Δ., Πανταζής Γ., **Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας**, Σ.Α.Τ.Μ, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2005
6. **Εισαγωγή στη Γεωδαισία**, Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας. Σ.Α.Τ.Μ, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2008
7. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., **Παρακολούθηση παραμορφώσεων φραγμάτων με γεωδαιτικές μεθόδους**, Σ.Α.Τ.Μ, Ε.Μ.Π, Αθήνα
8. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., **Εφαρμοσμένη Γεωδαισία**, Εκδόσεις ΖΗΤΗ
9. Συμεωνίδης Π., **Σαρωτές laser, τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές**, ΤΕΙ Σερρών, Σέρρες 2007
10. Τσακίρη Μ., Σταθάς Δ., Μπίθας Α., Βαλάνη Α., **Ανάπτυξη μεθοδολογίας ελέγχου επίγειων σαρωτών Laser**, Σ.Α.Τ.Μ, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2005
11. Γιαννούλης Ι., **Έλεγχος Κινηματικής Συμπεριφοράς Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας – Επέκταση Δικτύου οριζοντίου ελέγχου με χρήση συστήματος GPS**, Αθήνα, Φεβρουάριος 2002, Διπλωματική εργασία
12. Γιαννακόπουλος Π., **Έλεγχος Κινηματικής Συμπεριφοράς του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας – Δίκτυο οριζοντίου ελέγχου**, Αθήνα, Νοέμβριος 2007, Διπλωματική εργασία
13. Κουτή Α., **Έλεγχος Κινηματικής Συμπεριφοράς Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας – Δίκτυο Κατακόρυφου Ελέγχου**, Αθήνα, Φεβρουάριος 2002, Διπλωματική εργασία
14. Leica Cyclone Basic User Manual
15. εγχειρίδιο ScanStation 2
16. Boehler W., Marbs A., **Investigating Laser Scanner Accuracy**, Institute for Spatial Information and Surveying Technology, FH Mainz, University of Applied Sciences, Mainz, Germany
17. Lovas, Barsi, Detrekoi, Dunai, Csak, Polgar, Berenyi, Kibedy, Szocs, **Terrestrial Laser Scanning in Deformation Measurement of Structures**, p. 527-532
18. Lichti D., Gordon J., **Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording**, FIG, Athens, Greece, May 22-27, 2004

19. Lijing B., Zhengpeng Z., **Application of Point Clouds from Terrestrial 3D Laser Scanner for Deformation Measurements**, the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, 2008
20. Monserrat O., Crosseto M. , 2008, **Deformation measurement using Terrestrial Laser scanning data and least squares 3D surface matching**, Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, p. 142-154
21. Nuttens T., De Wulf A., Bral L., De Wit B., Carlier L., De Ryck M., Stal C., Constales D., De Backer H., 2010, **High resolution terrestrial laser scanning for Tunnel deformation measurements**, Proceedings of the XXIV FIG International Congress 2010, International Federation of Surveyors (FIG), Sydney, Australia
22. Nuttens T., De Wulf A., Deruyter G., Stal C., De Backer H., Schotter k., **Application of laser scanning for deformation measurements**, Belgium
23. Teza G., Pesci A., 2013, **Geometric characterization of a cylinder – shaped Structure form laser scanner data: Development of an analysis tool and its use on a leaning bell tower**, Journal of Cultural Heritage, p. 411-423
24. Tsakiri M, Lichti D., Pfeifer N., **Terrestrial Laser Scanning for deformation Monitoring**, 3rd IAG/12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006
25. Zogg H-M., Ingensand H., **Terrestrial Laser Scanning for Deformation Monitoring - Load Tests on the Felsenau Viaduct**, the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences
26. Ερευνητική ομάδα Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Γεωλογική – Γεωτεχνική μελέτη λεκανοπεδίου Αθηνών, Αθήνα – Μάρτιος 2002
27. Λάγγα Ο., **Έλεγχος της μετακίνησης του δακτυλίου ανάρτησης της στέγης του Σ.Ε.Φ.**, Αθήνα , Διπλωματική εργασία

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

28. www.leica-geosystems.com
29. www.metraca.gr
30. www.astrolabe.gr
31. www.aibotix.com
32. www.wikipedia.org
33. www.ypodomes.com
34. www.stadia.gr/sef
35. www.sef-stadium.gr
36. www.ktimatologio.gr
37. www.digitalsurveys.co.uk
38. www.spaziomondo.com
39. www.GLProgramming.com
40. www.ipet.gr/digitech2
41. www.smartgeometrics.com
42. www.go3dusa.com