



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**

ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΧΑΡΑΞΕΙΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ



Ανδρόνικος Νικόλας
Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπων:
Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα Οκτώβριος 2023



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**

ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΧΑΡΑΞΕΙΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

του

Ανδρόνικου Νικόλα

Επιβλέπων:

Γεώργιος Πανταζής

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

(Υπογραφή)

.....
Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Ορθοδοξία Αραπατζή
Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

(Υπογραφή)

.....
Γεώργιος Πάνου
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα Οκτώβριος 2023

Ο εχθρός του καλού είναι το ακόμα καλύτερο.

(Υπογραφή)

.....

ΑΝΔΡΟΝΙΚΟΣ ΝΙΚΟΛΑΣ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός και Μηχανικός
Γεωπληροφορικής Ε.Μ.Π.

Copyright © Ανδρόνικος Νικόλας, 2023

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Δεν θα είχε νόημα η περαιτέρω ανάγνωση του παρόντος τεύχους, εάν πρώτα δεν εξέφραζα τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων κ. **Γιώργο Πανταζή**, Καθηγητή της Σ.Α.Τ.Μ-ΜΓ του Ε.Μ.Π., για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ για τη συνεργασία του, για τον χρόνο που αφιέρωσε, αλλά και τη συνεχή καθοδήγηση και τις συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. **Κωνσταντίνο Νικολίτσα**, Επίκουρο Καθηγητή της Σ.Α.Τ.Μ-ΜΓ του Ε.Μ.Π., για τη συμμετοχή του και την ανεκτίμητη βοήθειά του στις εργασίες που έπρεπε να γίνουν , για τις επισημάνσεις του και για το χρόνο που αφιέρωσε.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον **Αθανασόπουλο Δημήτρη** Αγρονόμο και Τοπογράφο Μηχανικό Ε.Μ.Π., για τη στήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και για τις πολύτιμες συμβουλές για τη σταδιοδρομία μου στη σχολή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω γενικότερα όλους τους καθηγητές του εργαστηρίου **Γεωδαισίας** για όλα όσα με δίδαξαν αυτά τα 5 χρόνια που βρίσκoμαι στη σχολή.

Πάνω απ' όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου **Παναγιώτη και Μαρία**, όπως και την αδερφή μου **Μυρσίνη**.

Επίσης, οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στους συμφοιτητές μου για τις αξέχαστες στιγμές που περάσαμε μαζί **Γιώργο Γαλένο, Δημήτρη Τάμο, Λημναίο Γιάννη , Αλεξανδρή Ισίδωρο, Πέκο Ζήση, Πετρά Γιώργο, Παναγιωτόπουλο Γιάννη, Τσουραπά Αποστόλη, Μαργαρίτη Ανδρέα, Σταθερόπουλο Κωνσταντίνο**.

Τέλος , θα ήθελα να ευχαριστήσω την συμφοιτήτριά μου **Παναγοπούλου Ελισσάβετ** που ήταν δίπλα μου σε ένα μεγάλο κομμάτι αυτής της σχολής την ευχαριστώ για τη βοήθεια και την στήριξη της.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάγκη των τοπογραφικών χαράξεων σε μικρές και μεγάλες εργασίες έχει αυξηθεί δραματικά στην σύγχρονη εποχή της τεχνολογίας. Με τις υψηλές απαιτήσεις που επιβάλλονται στις κατασκευές και τα έργα, η ακρίβεια και η αξιοπιστία των μετρήσεων γίνονται ζωτικής σημασίας. Στην παρούσα διεθνή αγορά, οι τοπογραφικές χαράξεις αντιπροσωπεύουν ένα απαραίτητο εργαλείο για την επίτευξη της ακρίβειας και της ασφάλειας σε κάθε είδους έργο.

Στις μικρές κατασκευές, όπως οι οικιακές κατοικίες και οι εμπορικοί χώροι, οι τοπογραφικές χαράξεις παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ορθή τοποθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο. Ακόμη και στις μικρές κλίμακες, η ανεπάρκεια ή η ανακρίβεια των μετρήσεων μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπτώσεις, όπως προβλήματα στην κατασκευή ή νομικά ζητήματα με τους γείτονες. Με τις τοπογραφικές χαράξεις εξασφαλίζεται έτσι η ακρίβεια και την επιτυχία του έργου.

Στις μεγάλες κατασκευές, όπως γέφυρες, οδικά δίκτυα και μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, η σημασία των τοπογραφικών χαράξεων είναι ακόμη πιο κρίσιμη. Οι υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας και αξιοπιστίας στην κατασκευή και τη λειτουργία αυτών των έργων καθιστούν απαραίτητη τη χρήση προηγμένων τοπογραφικών μεθόδων και εξοπλισμού. Οι τοπογραφικές χαράξεις εξασφαλίζουν την ακρίβεια στην τοποθέτηση και την ευθυγράμμιση των δομικών στοιχείων, παρέχοντας τις βάσεις για την ασφαλή και ανθεκτική κατασκευή των έργων αυτών.

Τέλος, η σύγχρονη εποχή της τεχνολογίας φέρνει μεγάλη ποικιλία νέων εργαλείων και τεχνολογιών στον τομέα των τοπογραφικών χαράξεων. Η χρήση γεωδαιτικών οργάνων, GPS και άλλων προηγμένων συστημάτων παρέχει ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια, ταχύτητα και αποτελεσματικότητα στις τοπογραφικές μετρήσεις. Η εφαρμογή των σύγχρονων τεχνολογιών στις τοπογραφικές χαράξεις επιτρέπει στους επαγγελματίες να εκτελούν εργασίες με μεγαλύτερη ακρίβεια, αποδοτικότητα και ασφάλεια.

Συνοψίζοντας, η ανάγκη για τοπογραφικές χαράξεις σε μικρές και μεγάλες εργασίες είναι αναμφίβολα απαραίτητη. Με τις υψηλές απαιτήσεις που επιβάλλει η σύγχρονη εποχή της τεχνολογίας, η χρήση ακριβών μεθόδων και προηγμένων τεχνολογιών στις τοπογραφικές χαράξεις αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχία και την ασφάλεια των έργων. Με την σωστή προετοιμασία, επαγγελματική εμπειρία και χρήση σύγχρονων

τεχνολογιών, οι τοπογράφοι μπορούν να παρέχουν ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της εποχής.

Περιεχόμενα	
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	II
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	III
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	XVIII
ABSTRACT	XX

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	1
ΠΕΡΙ ΧΑΡΑΞΕΩΝ	1
1.1 Χάραξη.....	1
1.2 Έργα προς χάραξη	3
1.3 Λήψη συντεταγμένων σημείων χάραξης.....	5
1.4 Γεωδαιτικά συστήματα όπου εντάσσονται οι μελέτες.	6
1.5 Πύκνωση δικτύου	8
1.5.1 Πύκνωση υψομετρικού δικτύου	9
1.5.2 Πύκνωση οριζοντιογραφικού ή τριδιάστατου δικτύου.....	11
1.4.2.1 Πύκνωση με γεωδαιτικούς σταθμούς.	11
1.4.2.2 Πύκνωση με δέκτες δορυφορικού εντοπισμού.....	13
1.4.3 Πύκνωση δικτύου με χρήση πολλαπλής οπισθοτομίας (free station)	14
1.6 Υπολογισμός στοιχείων χάραξης.....	16
1.6.1 Υπολογισμός στοιχείων χάραξης για την χρήση γεωδαιτικού σταθμού.....	16
1η περίπτωση: Το σύστημα να είναι τοπικό αυθαίρετο.	16
2η περίπτωση: Το σύστημα να είναι κρατικό (ΕΓΣΑ87).....	18
1.6.2 Υψομετρική χάραξη με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.....	19
1η Μέθοδος.....	19
1.6.3 Υψομετρική με χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Missing Line Measurement)	20
2η Μέθοδος.....	20
1.5.4 Υψομετρική με χρήση ψηφιακού χωροβάτη	22

3η Μέθοδος	22
1.6.5 Τριδιάστατη χάραξη με χρήση δεκτών GNSS.....	23
1.7 Τεχνική διαδικασία της χάραξης	25
1.7.1 Τεχνική διαδικασία της χάραξης με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.	25
1.7.2 Τεχνική διαδικασία της χάραξης με χρήση δεκτών GNSS	27
1.7.3 Τεχνική διαδικασία της χάραξης με χρήση χωροβάτη	28
1.8 Έλεγχος υλοποιημένων σημείων χάραξης.....	29
1.8.1 Τρόπου ελέγχου υλοποιημένων σημείων χάραξης.....	29
1.8.2 Προκαταρκτικοί έλεγχοι πριν την έναρξη της διαδικασίας της χάραξης.....	29
1.9 Λογισμικά και παρελκόμενα που επισπεύδουν τις διαδικασίες	31
1.9.1 Αυτόματος υπολογισμός στοιχείων χάραξης	31
1.9.2 Οδηγοί χάραξης.....	33
1.9.3 Αυτόματος υπολογισμός συντεταγμένων στάσης με χρήση πολλαπλής Οπισθοτομίας (Free Station)	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	36
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΧΑΡΑΞΗΣ	36
2.1 Γενικά περί σφαλμάτων	36
2.2 Καταγραφή σφαλμάτων κατά τη χρήση δεκτών GNSS.....	38
2.2.1 Σφάλματα που σχετίζονται με τους δορυφόρους.....	39
2.2.2 Σφάλματα που σχετίζονται με τους δέκτες	39
2.2.3 Σφάλματα που σχετίζονται με τη διάδοση του σήματος.....	40
2.2.4 Σφάλματα που σχετίζονται με τη διαδικασία της χάραξης	41
2.3 Καταγραφή σφαλμάτων κατά τη χρήση χωροβάτη.....	41
2.3.1 Υπολογισμός της αβεβαιότητας στις μετρήσεις με χωροβάτη.	42
2.4 Καταγραφή σφαλμάτων κατά τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών. .	43
2.4.1 Αβεβαιότητες που δίνει κατασκευαστής για τα όργανα	43

2.4.1.1 Αβεβαιότητες στις διευθύνσεις (γωνίες).....	44
2.4.1.2 Αβεβαιότητες στα μήκη	44
2.4.2 Αβεβαιότητες που προκύπτουν κατά τη διαδικασία χάραξης ..	45
2.4.2.1 Σφάλμα κέντρωσης του οργάνου.....	45
2.4.2.2 Σφάλμα προσδιορισμού ύψους στόχου οργάνου.	48
2.4.2.3 Σφάλμα σκόπευσης κατά τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού	53
2.4.2.4 Σφάλμα κατακορύφωσης στόχου (στυλεού – πρίσματος)	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	65
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΧΑΡΑΞΗΣ	65
3.1 Γενικά περί υλοποίησης σημείου.....	65
3.2 Κατασκευή παρελκόμενου (στυλεού) και απαιτήσεις	66
3.2.1 Εφαρμογή χαράξεων σε διαφορετικές επιφάνειες.	66
3.2.2 Χρήση διαφόρων πρισμάτων.	67
3.2.3 Τροποποίηση του κορμού με σκοπό την υλοποίηση σημείου. .	68
3.2.3.1 Διακριτική ικανότητα του ματιού.....	69
3.2.3.2 Τελική Τροποποίηση.....	69
3.3 Υλοποίηση της κατασκευής	72
3.4 Μετρολογικός έλεγχος της κατασκευής.....	73
3.4.1 Υπολογισμός σταθεράς c του πρίσματος.....	73
3.4.1.1 Υπολογισμός σταθεράς c του πρίσματος 1ος τρόπος.....	75
3.4.1.2 Υπολογισμός σταθεράς c του πρίσματος 2ος τρόπος.....	88
3.4.1.3 Στατιστικός έλεγχος συγκρίσεις αποτελεσμάτων των 2 πειραμάτων.	94
3.4.2 Διαδικασία υπολογισμού ύψους στόχου (Υ.Σ)	95
3.4.2.1 Υπολογισμός συντεταγμένων του κέντρου του πρίσματος. .	96
3.4.2.2 Μαθηματικό μοντέλο επίλυσης Μ.Ε.Τ στο επίπεδο.....	98
3.4.2.3 Υπολογισμός απόστασης κέντρου πρίσματος από επίπεδο...	99
3.4.2.4 Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο.....	100
Επίλυση πρώτου πειράματος.	102

Επίλυση δεύτερου πειράματος.....	106
Στατιστικός έλεγχος συγκρίσεις αποτελεσμάτων των 2 πειραμάτων.	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	111
ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΧΑΡΑΞΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	111
4.1 Εισαγωγή	111
4.2 1ο Πείραμα	111
4.2.1 Προκαταρκτικές εργασίες γραφείου πριν την έναρξη της χάραξης.	113
4.2.2 Έναρξη εργασιών πεδίου – Κέντρωση γεωδαιτικού σταθμού πάνω στο βάθρο και υπολογισμός του Ύψους Στόχου.	114
4.2.3 Έναρξη χάραξης των 6 σημείων.	117
4.2.4 Υψομετρική χάραξη των σημείων με δεύτερο τρόπο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο διαφοράς τριγωνομετρικής υψομετρίας (M.L.M).	121
4.2.5 Έλεγχος της χάραξης αποτυπώνοντας τα υλοποιημένα χαραγμένα σημάδια.....	124
4.3 2ο Πείραμα	125
4.3.1 Έναρξη διαδικασίας χάραξης	127
4.3.2 Αποτύπωση υλοποιημένων σημείων με το Laser tracker και συνόρθωση κύκλου.	131
4.3.3 Αποτελέσματα συνόρθωσης κύκλου.....	136
4.3.4 Έλεγχος ορθότητας αποτελεσμάτων.	138
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	140
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	140
5.1 Συμπεράσματα	140
5.2 Προτάσεις.....	144

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Χάραξη σε εργοτάξιο [https://www.alamy.com/].....	1
Εικόνα 1.2: Βάθρα τριγωνομετρικού δικτύου Ελλάδας.....	7
Εικόνα 1.3: Κεφαλές βάθρων του τριγωνομετρικού δικτύου Ελλάδας	7
Εικόνα 1.4: Υψομετρική αφετηρία repere της ΓΥΣ.....	8
Εικόνα 1.5: 3D Χάραξη με χρήση δεκτών GNSS [https://www.skyviv.com/emild/rs2].....	27
Εικόνα 1.6: Κεντρικό Μενού γεωδαιτικού σταθμού Topcon GPT-3005LN με δυνατότητα επιλογής λογισμικού χάραξης.....	31
Εικόνα 1.7: Διαδικασίες που γίνονται εσωτερικά στο λογισμικό.....	32
Εικόνα 1.8: Οδηγοί χάραξης γεωδαιτικού σταθμού Topcon GPT-3005LN.....	33
Εικόνα 1.9: Ίδρυση νέας στάσης με την μέθοδο της Οπισθοτομίας.....	34
Εικόνα 2.1: Κορυφές δικτύων μόνιμες και ημιμόνιμες.....	45
Εικόνα 2.2: Βάθρα από οπλισμένο σκυρόδεμα που φέρουν στην στέψη τους κατασκευή για εξαναγκασμένη κέντρωση γεωδαιτικών σταθμών και στόχων. (Βάθρα Αερολιμένα Αθηνών).....	47
Εικόνα 2.3: Εξαναγκασμένη κέντρωση γεωδαιτικού σταθμού πάνω σε μεταλλική κατασκευή. (Σήραγγα μετρό Σταθμός Κατεχάκη).....	48
Εικόνα 2.4: Σημείο μέτρησης ύψους οργάνου γεωδαιτικού σταθμού Topcon GPT-3005LN.....	49
Εικόνα 2.5: Μέτρηση Ύψους Οργάνου με χρήση γεωδαιτικού σταθμού της Leica [Leica Autoheight Feature white paper].....	52
Εικόνα 2.6: Σπειροειδή αναζήτηση ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού [Γεωδαιτικές Μετρήσεις Ακριβείας – Όργανα – Διαδικασίες , Γ. Πανταζής].....	56

Εικόνα 2.7: Φυσαλίδα κέντρωσης στυλεού.....	57
Εικόνα 2.8: Mini prism ιδανικό για χαράξεις με σταθερό και αμετάβλητο Ύψος Στόχου 10 εκατοστά το οποίο δίνεται από τον κατασκευαστή.....	62
Εικόνα 2.9: Mini prism της εταιρίας Leica ιδανικό για χαράξεις με σταθερό και αμετάβλητο Ύψος Στόχου επίσης 10 εκατοστών το οποίο δίνεται από τον κατασκευαστή.....	62
Εικόνα 2.10: Δίποδο που εφαρμόζει πάνω στον στυλεό και βοηθάει στην διαδικασία της κέντρωσης.[https://g2survey.com/mini-bipod-for-mini-prism-pole/].....	63
Εικόνα 3.1: Υλοποιημένο σημείο χάραξης με την χρήση καρφιού σε εργοτάξιο.....	65
Εικόνα 3.2: Παρελκόμενο της εταιρίας GLM.....	69
Εικόνα 3.3: Υλοποιημένη κατασκευή κορμού σύμφωνα με τα σχέδια.	72
Εικόνα 3.4: Υλοποιημένη κατασκευή βάσης όπου τοποθετείται το εκάστοτε πρίσμα σύμφωνα με τα σχέδια.....	72
Εικόνα 3.5: Πρίσμα πάνω στην κατασκευασμένη βάση και τον ειδικό αντάπτορα που ανώνει την βάση αυτή με το τρικόχλιο.....	76
Εικόνα 3.6: Ψηφιακή φυσαλίδα κέντρωσης γεωδαιτικού σταθμού LEICA TCRM 1201.....	77
Εικόνα 3.7: Διαδικασία μετρήσεων στο τούνελ μετρολογικού ελέγχου της ΣΑΤΜΓ.....	78
Εικόνα 3.8: Μετρήσεις 21 αποστάσεων με την χρήση του πρίσματος CCR 1.5' που είναι τοποθετημένο στην βάση που κατασκευάστηκε..	82
Εικόνα 3.9: Μετρήσεις 21 αποστάσεων με την χρήση του πρίσματος GMP 111 που είναι τοποθετημένο στην βάση που κατασκευάστηκε...	85
Εικόνα 3.10: Μέτρηση απόστασης από το Βάθρο B20→ B26 κατά την διεξαγωγή του 2ου πειράματος.....	90
Εικόνα 3.11: Laser tracker της εταιρίας FARO.....	95
Εικόνα 3.12: Μέτρηση σημείων σε επίπεδη επιφάνεια με την χρήση laser tracker για τον υπολογισμό της εξίσωσης του επιπέδου.....	101

Εικόνα 3.13: Μέτρηση σημείου στο κέντρο του πρίσματος με την χρήση laser tracker.....	101
Εικόνα 3.14: Λογισμικό PolyWorks με το οποίο διαχειρίζονται οι μετρήσεις του laser tracker.....	102
Εικόνα 4.1: Γεωδαιτικός σταθμός LEICA TCRM 1201 τοποθετημένος πάνω στο βάθρο T1 συντεταγμένων (x=100 , y=100).	114
Εικόνα 4.2: Σταδία στην στέψη βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης έστω σε σημείο A και ο χωροβάτης λαμβάνει ανάγνωση.....	115
Εικόνα 4.3: Σταδία πάνω σε χελώνα σε τυχαίο σημείο B στο πεδίο και ο χωροβάτης λαμβάνει ανάγνωση.....	116
Εικόνα 4.4: Ανάγνωση στην σταδία στο σημείο B.....	117
Εικόνα 4.5: Προσπάθεια χάραξης του 1ου σημείου από τα 6.....	118
Εικόνα 4.6: Υλοποιημένο σημείο οριζοντιογραφικής χάραξης του σημείου 1.....	119
Εικόνα 4.7: Υλοποιημένο σημείο οριζοντιογραφικής και υψομετρικής χάραξης του σημείου 1 (τριδιάστατη).....	119
Εικόνα 4.8: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 2.....	120
Εικόνα 4.9: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 3.....	120
Εικόνα 4.10: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 4.....	120
Εικόνα 4.11: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 5.....	120
Εικόνα 4.12: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 6.....	121
Εικόνα 4.13: Πανοραμική εικόνα των 3 σημείων του τόξου (Αρχή, μέση , τέλος).....	121
Εικόνα 4.14: Μέθοδος υψομετρικής χάραξης MLM γεωδαιτικός σταθμός σκοπεύει την υψομετρική αφετηρία.....	122
Εικόνα 4.15: Υψομετρική χάραξη του σημείου 1 με τον δεύτερο τρόπο (MLM).....	122
Εικόνα 4.16: Προσπάθεια χάραξης του σημείου 4 του κύκλου. Στην εικόνα φαίνεται ο χειριστής του γεωδαιτικού σταθμού να κατευθύνει τον στοχοφόρο.....	128
Εικόνα 4.17: Υλοποιημένο σημείο 2ου πειράματος N_1ο.....	129

Εικόνα 4.18: Υλοποιημένο σημείο 2ου πειράματος N_2ο.....	129
Εικόνα 4.19: Υλοποιημένο σημείο 2ου πειράματος N_3ο.....	129
Εικόνα 4.20: Υλοποιημένο σημείο 2ου πειράματος N_4ο.....	130
Εικόνα 4.21: Υλοποιημένο σημείο 2ου πειράματος N_5ο.....	130
Εικόνα 4.22: Υλοποιημένο σημείο 2ου πειράματος N_6ο.....	130
Εικόνα 4.23: Υλοποιημένο σημείο 2ου πειράματος (Κ_Κέντρο κύκλου).....	130
Εικόνα 4.24: Αποτύπωση σημείων του κύκλου ,του κέντρου του κύκλου με την χρήση laser tracer.....	132

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος.....	3
Σχήμα 1.2: Σχήμα του έργου επί του τοπογραφικού διαγράμματος.....	4
Σχήμα 1.3: Αντληση συντεταγμένων από αναλογικό διάγραμμα.....	5
Σχήμα 1.4: Μορφή υψομετρικών δικτύου.....	6
Σχήμα 1.5: Μορφή τριδιάστατου δικτύου.....	10
Σχήμα 1.6: Πύκνωση δικτύου με την χρήση δεκτών GNSS.....	11
Σχήμα 1.7: Σχηματική παράσταση της ελεύθερης στάσης.....	13
Σχήμα 1.8: Οριζοντιογραφική χάραξη σημείου.....	14
Σχήμα 1.9: Υψομετρική χάραξη σημείου.....	19
Σχήμα 1.10: Υψομετρική χάραξη σημείου.(MLM).....	21
Σχήμα 1.11: Υψομετρική χάραξη σημείο με χρήση χωροβάτη.....	22
Σχήμα 1.12: Υψομετρική χάραξη σημείο με χρήση χωροβάτη.....	24
Σχήμα 1.13: Τεχνική διαδικασία 3D Χάραξης σημείου με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.....	26
Σχήμα 1.14: Τεχνική διαδικασία 3D Χάραξης σημείου με χρήση δεκτών GNSS.....	27

Σχήμα 1.15: Τεχνική διαδικασία υψομετρικής χάραξης σημείου με χρήση χωροβάτη.....	28
Σχήμα 1.16: Έλεγχος πριν τη χάραξη.....	30
Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση ακρίβειας, ορθότητας και αξιοπιστίας.....	37
Σχήμα 2.2: Σχηματική παράσταση σφάλματος κέντρωσης οργάνου...	46
Σχήμα 2.3: Ακριβής προσδιορισμός του ύψους οργάνου γεωδαιτικού σταθμού με χρήση χωροβάτη.....	50
Σχήμα 2.4: Αβεβαιότητα μέτρησης οριζόντιων γωνιών εξαιτίας σφάλματος σκόπευσης.....	53
Σχήμα 2.5: Αβεβαιότητα μέτρησης κατακόρυφων γωνιών εξαιτίας σφάλματος σκόπευσης.....	54
Σχήμα 2.6: Σκαρίφημα λάθος σκόπευσης σε πρίσμα με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.....	55
Σχήμα 2.7: Λάθος κατακορύφωση συστήματος στυλεού – πρίσματος (τυχαίο / τυπικό σκαρίφημα).....	58
Σχήμα 3.1: Μύτη στυλεού προς κατασκευή σε αυθαίρετη κλίμακα και διαστάσεις σε χιλιοστά.....	67
Σχήμα 3.2: Βάση που τοποθετείται το εκάστοτε πρίσμα σε αυθαίρετη κλίμακα και διαστάσεις σε χιλιοστά.....	68
Σχήμα 3.3: Σχέδια οπής στον κορμό του στυλεού σε αυθαίρετη κλίμακα και διαστάσεις σε χιλιοστά.....	70
Σχήμα 3.4: Σχέδιο βάσης μετρολογικού ελέγχου Κέντρου Μετρολογίας της Σ.Α.Τ.Μ.Γ.....	74
Σχήμα 3.5: Τυπική μορφή του πεδίου ελέγχου. [Τα Πρότυπα ISO Κ.Νικολίτσας.....	75
Σχήμα 3.6: Διαδικασία συλλογής των 21 μετρήσεων στο τούνελ από τα βάθρα. [Τα Πρότυπα ISO Κ. Νικολίτσας.].....	78
Σχήμα 4.1: Τμήμα Ορθοφωτοχάρτη του κτιρίου Λαμπαδάριου , όπου φαίνονται τα 6 σημεία που καλούνται να χαραχθούν και το βάθρο (T1) που κεντρώνεται ο γεωδαιτικός σταθμός και η διεύθυνση T2 που μηδενίζει το όργανο.....	112

Σχήμα 4.2: Σκαρίφημα των 6 σημείων που βρίσκονται πάνω στον κύκλο ακτίνας 1 μέτρου ,το κέντρο του κύκλου και οι κορυφές του δικτύου.....	126
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 2.1: Οριζοντιογραφικό σφάλμα σο λόγω κακής κέντρωσης στόχου.....	60
Διάγραμμα 2.2: Υψομετρικό σφάλμα συ λόγω κακής κέντρωσης στόχου.....	61

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1: Μεταβολή του σφάλματος στη μέτρηση της γωνίας λόγω του σφάλματος κέντρωσης του οργάνου.....	46
Πίνακας 2.2: Οριζοντιογραφικό σφάλμα σο λόγω κακής κέντρωσης στόχου.....	59
Πίνακας 2.3: Υψομετρικό σφάλμα συ λόγω κακής κέντρωσης στόχου.....	59
Πίνακας 3.1: Πίνακας σχεδιασμού A (μαθηματικό μοντέλο)-ISO 17123-4.....	80
Πίνακας 3.2: Πίνακας των μετρήσεων dI (μαθηματικό μοντέλο)-ISO 17123-4.....	80
Πίνακας 3.3: Πίνακας καλύτερων τιμών X (μαθηματικό μοντέλο)-ISO 17123-4.....	81
Πίνακας 3.4: Πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων VX (μαθηματικό μοντέλο)-ISO 17123-4.....	81
Πίνακας 3.5: Πρωτογενή δεδομένα 21 μετρήσεων με το πρίσμα CCR 1.5''.....	82
Πίνακας 3.7: : Πίνακας υπολοίπων. Αποτελέσματα για πρίσμα CCR 1.5''.....	83
Πίνακας 3.8: Πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας. Αποτελέσματα για πρίσμα CCR 1.5''.....	84

Πίνακας 3.9: Πίνακας καταγραφής σφαλμάτων d_0 και c όπως προκύπτει μετά τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας...	84
Πίνακας 3.10: Πρωτογενή δεδομένα 21 μετρήσεων με το πρίσμα GMP 111	85
Πίνακας 3.11: Πίνακας καλύτερων τιμών X αποτελέσματα για πρίσμα CCR 1.5''	86
Πίνακας 3.12: : Πίνακας υπολοίπων. Αποτελέσματα για πρίσμα GMP 111.....	86
Πίνακας 3.13: Πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας. Αποτελέσματα για πρίσμα GMP 111.....	87
Πίνακας 3.14: Πίνακας καταγραφής σφαλμάτων d_0 και c όπως προκύπτει μετά τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας...	87
Πίνακας 3.14: Πρωτογενή δεδομένα μετρήσεων με το πρίσμα CCR 1.5''. (20 Πείραμα).....	89
Πίνακας 3.15: Πρωτογενή δεδομένα μετρήσεων με το πρίσμα GMP 111. (20 Πείραμα).....	89
Πίνακας 3.16: Αποτελέσματα των δυο πειραμάτων για τις τιμές σταθεράς πρίσματος c και τα σφάλματα τους.....	94
Πίνακας 3.17: Πίνακας καλύτερων τιμών X εξίσωσης επιπέδου πρώτου πειράματος.....	103
Πίνακας 3.18: Πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας παραμέτρων εξίσωσης επιπέδου πρώτου πειράματος.....	103
Πίνακας 3.19: Καλύτερες τιμές μεταβλητών εξίσωσης επιπέδου και τα σφάλματα τους - αποτελέσματα πρώτου πειράματος.....	103
Πίνακας 3.20: Πίνακας καλύτερων τιμών X εξίσωσης επιπέδου δεύτερου πειράματος.....	106
Πίνακας 3.21: Πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας παραμέτρων εξίσωσης επιπέδου δεύτερου πειράματος.....	106
Πίνακας 3.22: Καλύτερες τιμές μεταβλητών εξίσωσης επιπέδου και τα σφάλματα τους - αποτελέσματα δεύτερου πειράματος.....	107
Πίνακας 4.1: Πίνακας σύγκρισης αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων υψομετρικής χάραξης.....	123

Πίνακας 4.2: Πίνακας Πρωτογενών δεδομένων αποτύπωσης υλοποιημένων σημείων χάραξης.....	124
Πίνακας 4.3: Συντεταγμένες αποτύπωσης των υλοποιημένων σημείων χάραξης.....	125
Πίνακας 4.4: Πίνακας αποτελεσμάτων υψομετρικής χάραξης 2ου πειράματος.....	131
Πίνακας 4.5: Συντεταγμένες των υλοποιημένων σημείων χάραξης που αποτυπώθηκαν με το laser tracker.....	132
Πίνακας 4.6: Πίνακας σχεδιασμού (Α) Μ.Ε.Τ στον κύκλο (2ο πείραμα).....	136
Πίνακας 4.7: Πίνακας των μετρήσεων dl Μ.Ε.Τ στον κύκλο (2ο πείραμα).....	136
Πίνακας 4.8: Πίνακας καλύτερων τιμών X Μ.Ε.Τ στον κύκλο (2ο πείραμα).....	136
Πίνακας 4.9 : Πίνακας υπολοίπων Μ.Ε.Τ στον κύκλο (2ο πείραμα).....	137
Πίνακας 4.10: Πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας και σφάλματα των μεταβλητών a,b,c Μ.Ε.Τ στον κύκλο (2ο πείραμα).....	137
Πίνακας 4.11: Καλύτερες τιμές κέντρου του κύκλου και ακτίνας r του κύκλου.....	137
Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα για τις σταθερές c των δυο πρισμάτων και τα σφάλματα τους όπως αυτά προέκυψαν από τα δυο πειράματα.....	143
Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα για το Ύψος Στόχου και σφάλματα όπως αυτά προέκυψαν από την διπλή επανάληψη του ίδιου πειράματος ...	143
Πίνακας 6.3: Καλύτερες τιμές κέντρου του κύκλου και ακτίνας r του κύκλου (πείραμα 2 ^ο).....	144

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι οι τριδιάστατες χαράξεις ακρίβειας με χρήση συγχρόνων συστημάτων μέτρησης. Συγκεκριμένα έχει γίνει ανάλυση των διαδικασιών και των υπολογισμών που πρέπει να ακολουθηθούν και να γίνουν και φυσικά έχει γίνει ανάλυση του εξοπλισμού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί , με σκοπό να επιτευχθούν χαράξεις ακρίβειας.

Πρωτοτυπία της διπλωματικής εργασίας είναι η προσπάθεια ελαχιστοποίησης ή και εξάλειψης του σφάλματος υλοποίησης σημείου χάραξης , όπου για την επίτευξη αυτού του σκοπού κατασκευάστηκε ειδικό σύστημα στυλεού – πρίσματος.

- **Στο πρώτο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθήσει ο τοπογράφος μηχανικός στο γραφείο πριν την έναρξη της διαδικασίας της χάραξης. Έπειτα γίνεται αναφορά στον υπολογισμό των στοιχείων χάραξης και στην τεχνική διαδικασία που ακολουθείτε στο πεδίο χρησιμοποιώντας τον εκάστοτε γεωδαιτικό εξοπλισμό με τον οποίο μπορεί αν επιτευχθεί η διαδικασία της χάραξης.
- **Στο δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται καταγραφή όλων των σφαλμάτων που ελλοχεύουν κατά την χρήση τις εκάστοτε μεθόδου χάραξης με την χρήση του εκάστοτε γεωδαιτικού εξοπλισμού , όπου γίνεται εμφανές με ποιες μεθόδους και εξοπλισμό δεν μπορούν να επιτευχθούν χαράξεις ακριβείας. Έπειτα προτείνονται λύσεις ελαχιστοποίησης ή εξαλείψεις σφαλμάτων κυρίως χονδροειδών.
- **Στο τρίτο κεφάλαιο** πραγματοποιούνται μηχανολογικά σχέδια για την κατασκευή συστήματος στυλεού – πρίσματος στην προσπάθεια εξάλειψης του σφάλματος υλοποίησης σημείου. Η κατασκευή αυτή αφού υλοποιήθηκε από μηχανουργό πέρασε από μετρολογικό έλεγχο υπολογισμού του Ύψους στόχου και της σταθεράς c του πρίσματος.
- **Στο τέταρτο κεφάλαιο** πραγματοποιούνται δυο πειράματα χρησιμοποιώντας την κατασκευή στυλεού – πρίσματος που κατασκευάστηκε στα πλαίσια του προηγούμενο κεφαλαίου και χρησιμοποιώντας το θεωρητικό υπόβαθρο των δυο πρώτων κεφαλαίων με σκοπό την επίτευξη χαράξεων ακριβείας.
- **Στο πέμπτο κεφάλαιο** συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το σύνολο των εφαρμογών και την σφαλματική

ανάλυση των πρώτων κεφαλαίων με σκοπό να βγει ένα πόρισμα ως προς τις ακρίβειες που μπορεί να πετύχει ο τοπογράφος μηχανικός κατά διαδικασία της χάραξης.

ABSTRACT

The subject of this thesis is three-dimensional precision stakeouts using modern measurement equipment. In particular, an analysis has been made of the procedures and calculations that must be followed during various stakeout methods and of course an analysis has been made about the equipment that must be used, in order to achieve precision stakeouts.

The originality of the thesis is the attempt to minimize or even eliminate the error of marking the stakeout point, where to achieve this purpose a special pole - prism system has been constructed.

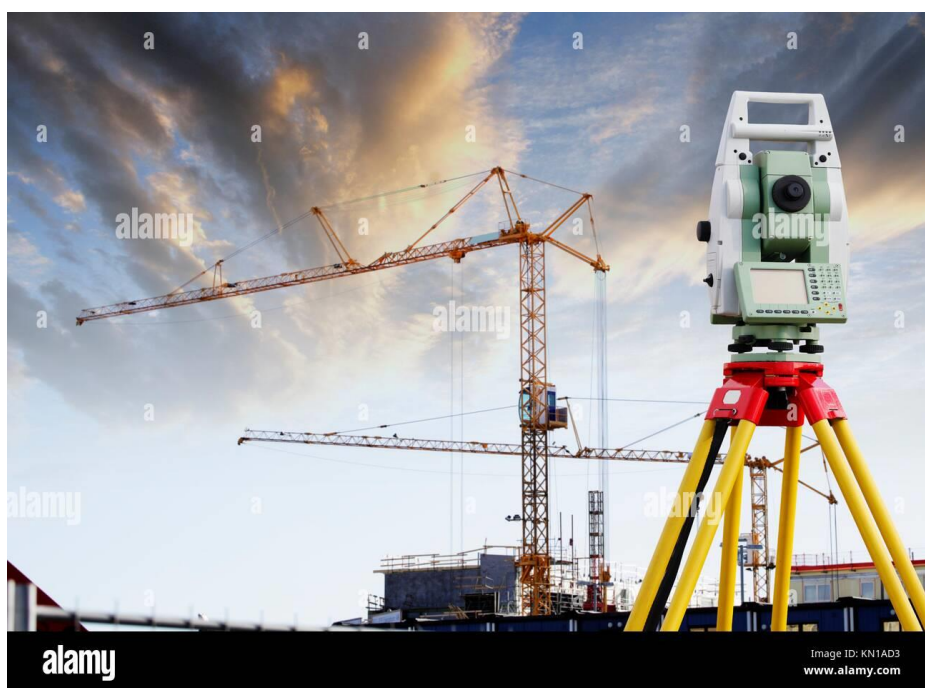
- **In the first chapter**, a reference is made to the procedures to be followed by the surveyor engineer in the office before starting the stakeout process are discussed. Then, a reference is made about the calculations needed to start the stakeout process and the technical process that must be followed in the field using the respective geodetic equipment with which the stakeout process can be achieved.
- **In the second chapter**, a reference is made to all the errors that lurk when using the respective stakeout method using the respective geodesic equipment are recorded, where it becomes obvious which methods and equipment cannot achieve precision stakeouts. Solutions are then proposed to minimize or eliminate errors.
- **In the third chapter**, engineering drawings are carried out for the construction of a special pole - prism system in an attempt to eliminate the point marking error. This construction after being implemented by a machinist is passed through a metrological check of calculating the target Height and the prism constant c .
- **In chapter four**, two experiments are carried out using the special pole - prism system constructed within the previous chapter and using the theoretical background of the first two chapters to achieve precision stakeouts.
- **Chapter five** brings together the conclusions drawn from the set of applications and the error analysis of the first chapters in order to reach a conclusion as to the accuracies that the surveyor engineer can achieve in the process of stakeout.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΠΕΡΙ ΧΑΡΑΞΕΩΝ

1.1 Χάραξη

Χάραξη ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία υλοποιείται πάνω στην ΦΓΕ ή και γενικότερα στο χώρο η θέση και τα χαρακτηριστικά ενός σημείου. Τέτοιου είδους εργασίες καλείται να εκπονήσει ένας τοπογράφος μηχανικός ενδεχομένως για να οριστεί η θέση μιας ιδιοκτησίας στο χώρο ή κατά την διάρκεια κατασκευής τεχνικών έργων.). [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ ,2013].



Εικόνα 2.1: Χάραξη σε εργοτάξιο [https://www.alamy.com/]

Εναλλακτικός ορισμός της χάραξης θεωρείται ως το αντίστροφο της αποτύπωσης όπου θυμίζετε ότι αποτύπωση είναι η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται η απεικόνιση της υφιστάμενης κατάστασης και γενικότερα του περιβάλλοντος. Στην πραγματικότητα ωστόσο η χάραξη είναι το φυσικό επακόλουθο της αποτύπωσης. Οι μέθοδοι και τα όργανα που χρησιμοποιούνται στις αποτυπώσεις χρησιμοποιούνται και στις χαράξεις. [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ ,2013].

Η χάραξη ενός σημείου διακρίνεται σε 3 κατηγορίες:

1. Υψομετρική
2. Οριζοντιογραφική
3. Τριδιάστατη

Με τον όρο τριδιάστατη χάραξη ορίζεται η υλοποίηση ενός σημείου στο χώρο των τριών διαστάσεων. Οι τριδιάστατες χαράξεις είναι συνδυασμός των υψομετρικών και των οριζοντιογραφικών χαράξεων στην ουσία και για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις ακολουθείται διαφορετική μεθοδολογία και διαδικασίες στο πεδίο και πολλές φορές χρησιμοποιείται και διαφορετικός γεωδαιτικός εξοπλισμός.

Συνοψίζοντας λοιπόν σε μια χάραξη το ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός γραμμών και γενικότερα σημείων. Ενδεχομένως να ακούγεται απλό ως διαδικασία αλλά απαιτεί εξειδικευμένους επαγγελματίες με γνώσεις τοπογραφίας και σίγουρα απαιτεί και ειδικό γεωδαιτικό εξοπλισμό.

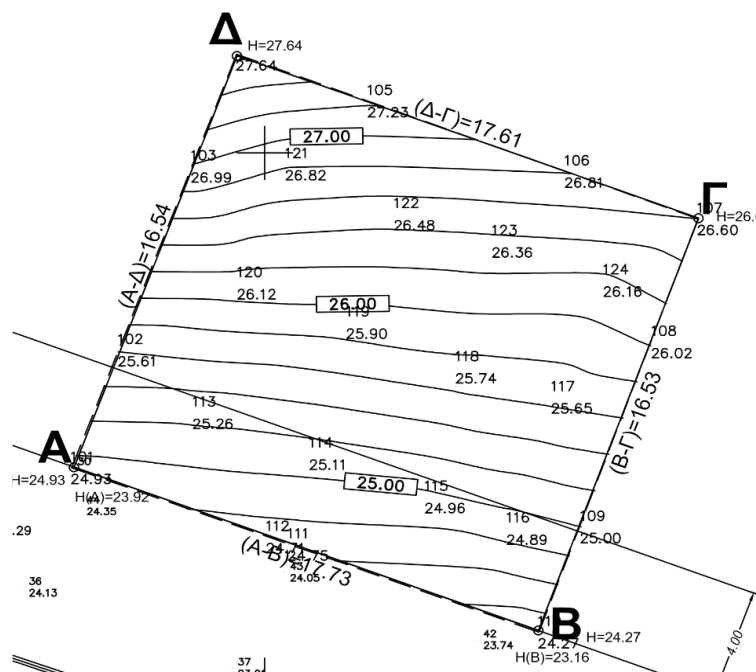
Η διαδικασία της χάραξης είναι αυτή που καθιστά τον τοπογράφο μηχανικό ως ένα αναπόσπαστο κομμάτι ενός εργοταξίου αφού είναι ο πρώτος που μπαίνει σε ένα έργο και αυτός όπου σε κάθε φάση του κατευθύνει τις διαδικασίες της κατασκευής. Συμπληρωματικά είναι ο μηχανικός που μπορεί να πετύχει ακρίβειες που απαιτούνται για την υλοποίηση της κατασκευής.

Ο γεωδαιτικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τις χαράξεις είναι κυρίως γεωδαιτικοί σταθμοί , δέκτες GNSS , χωροβάτες αναλογικοί ψηφιακοί και laser. Συγκεκριμένα οι χωροβάτες κάθε είδους βοηθούν στην υψομετρική χάραξη και συνεπώς στο προσδιορισμό των σταθμών επιτυγχάνοντας πολύ καλές ακρίβειες. Οι δέκτες GNSS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τριδιάστατες χαράξεις οριζοντιογραφικές και υψομετρικές ωστόσο με περιορισμένες ακρίβειες οι οποίες στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι απαγορευτικές σε αντίθεση με τους γεωδαιτικούς σταθμούς οι οποίοι και έχουν την δυνατότητα τριδιάστατης χάραξης αλλά και εξασφαλίζουν την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική αναφορά σε όλο το γεωδαιτικό εξοπλισμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα εργοτάξιο συναρτήσει των ακριβειών που μπορούν να πετύχουν.

1.2 Έργα προς χάραξη

Η χάραξη όπως οι περισσότερες γεωδαιτικές εργασίες που καλείται να φέρει εις πέρας ένας τοπογράφος απαιτούν εργασίες γραφείου αλλά και εργασίες υπαίθρου. Σε αντίθεση με την αποτύπωση στην οποία οι εργασίες έξω στο πεδίο (μετρήσεις) προηγούνται των εργασιών στο γραφείο (υπολογισμοί, σχεδίαση). Κατά την χάραξη οι υπολογισμοί στο γραφείο προηγούνται (υπολογισμοί) των εργασιών που γίνονται κατά την χάραξη στο ύπαιθρο (υλοποίηση σημείων). Όπως προμηνύει και ο τίτλος σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται επεξήγηση των διαδικασιών πριν.

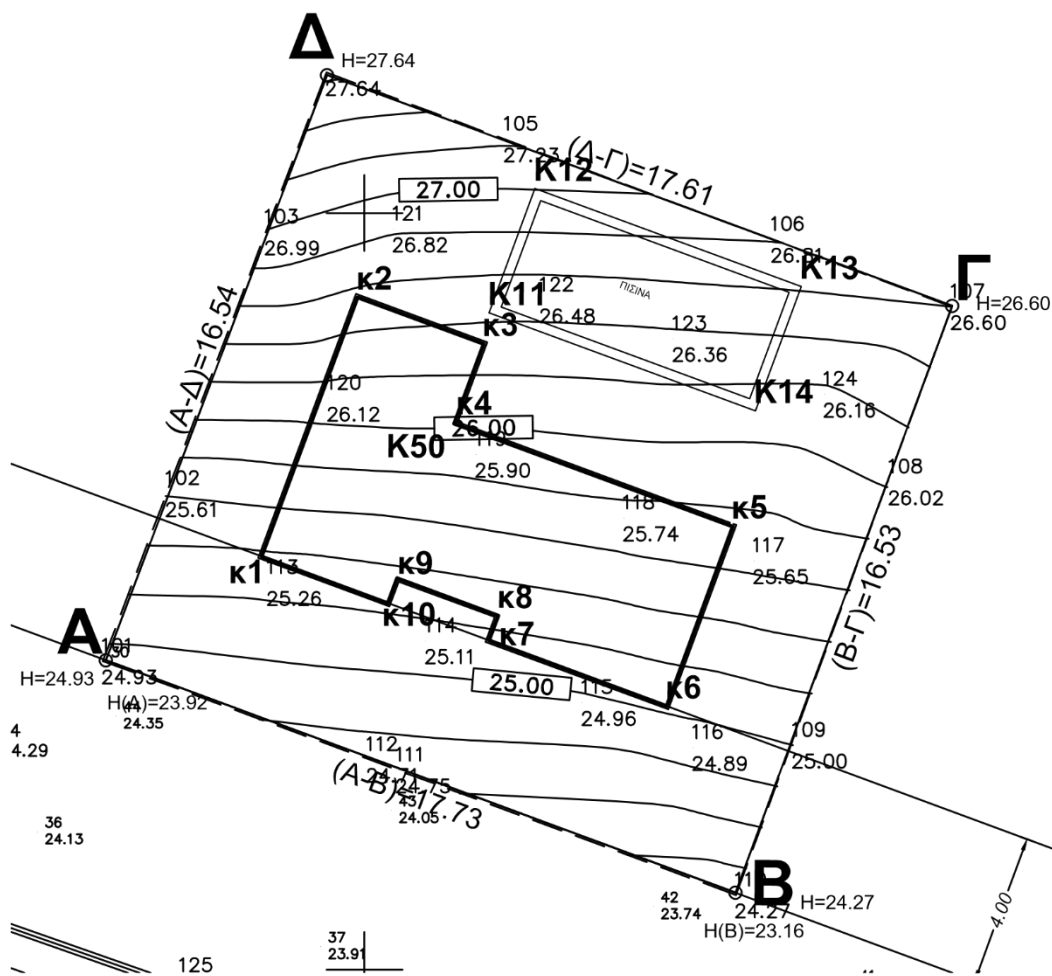
Ως πρώτη και κύρια προκαταρκτική εργασία για τη χάραξη είναι η αναζήτηση των σημείων τα οποία πρέπει να χαραχθούν. Πριν αρχίσει οποιαδήποτε διεργασία που να αφορά το έργο πριν καν αρχίσουν οι μελέτες ή το στάδιο της κατασκευής ενός έργου απαιτείτε να υπάρχει ή να γίνει αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης της περιοχής μελέτης στην οποία έπεται να γίνει το εκάστοτε έργο. Το αποτέλεσμα της αποτύπωσης αυτής, δηλαδή, της τοπογραφικής μελέτης θα είναι ένα σχέδιο το οποίο οφείλει να είναι πλήρες και να παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες οριζοντιογραφικά και υψομετρικά (ισοϋψείς καμπύλες). Γενικά οφείλει να υπάρχει μια “as build” αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης το γνωστό τοπογραφικό διάγραμμα ή τοπογραφική μελέτη στο οποίο θα βασιστούν οι επόμενες μελέτες που θα γίνουν που αφορούν το έργο.



Σχήμα 1.1: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1 απεικονίζεται ένα τμήμα τοπογραφικού διαγράμματος μιας ιδιοκτησίας που ορίζεται από το πολύγωνο ΑΒΓΔΑ. Στο διάγραμμα αναγράφονται σημαντικές πληροφορίες όπως οι διαστάσεις των πλευρών της ιδιοκτησίας και ισοϋψείς καμπύλες δηλαδή η μελέτη είναι πλήρης σε πληροφορία οριζοντιογραφικά και υψομετρικά.

Η τοπογραφική μελέτη χρησιμοποιείται από μηχανικούς άλλων ειδικοτήτων ως βάση για τη μελέτη του έργου. Εν συνεχεία το προτεινόμενο σχήμα του έργου σχεδιάζεται επί του τοπογραφικού διαγράμματος. Με αυτό τρόπο προκύπτει λοιπόν ένα διάγραμμα μελέτης μαζί με ένα σύνολο υπολογισμών και εγγράφων τα οποία παραδίδονται στους ανάδοχους μηχανικούς οι οποίοι καλούνται να αναλάβουν την κατασκευή του έργου. Έχοντας λοιπόν αυτήν την πληθώρα μελετών ο τοπογράφος που θα αναλάβει την κατασκευή οφείλει να χαράξει σωστά τα σημεία ενδιαφέροντος.



Σχήμα 1.2: Σχήμα του έργου επί του τοπογραφικού διαγράμματος.

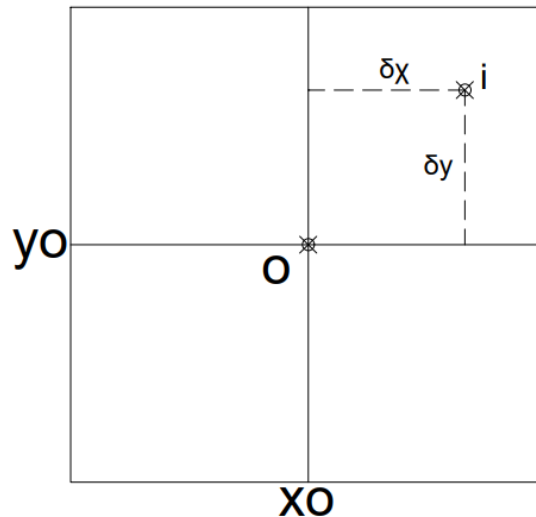
Για παράδειγμα προκύπτει ότι το τοπογραφικό διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα 1.1 χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη διώροφου πλακοσκεπές κτιρίου με πισινά εντός της ιδιοκτησίας ΑΒΓΔΑ (βλέπε σχήμα 1.2).

1.3 Λήψη συντεταγμένων σημείων χάραξης

Έχοντας περάσει στην ψηφιακή εποχή η λήψη των συντεταγμένων από το εκάστοτε διάγραμμα μελέτης όπου καλείται να χαράξει ο τοπογράφος γίνεται πλέον γρήγορα και εύκολα. Αντί η λήψη συντεταγμένων να βασίζεται στο μολύβι και το χαρτί πλέον αυτοματοποιούνται οι διαδικασίες εκτέλεσης. Με την πληθώρα των σχεδιαστικών προγραμμάτων που υπάρχουν με απλές εντολές γίνεται εύκολη εξαγωγή της πληροφορίας που χρειάζεται ο τοπογράφος για τη χάραξη του έργου με κύριο τις συντεταγμένες των σημείων ενδιαφέροντος (περίγραμμα της κατασκευής) αλλά και αποστάσεις μεταξύ των σημείων. Για παράδειγμα (βλέπε σχήμα 1.2) για την τοποθέτηση του κτιρίου και της πισίνας στο χώρο ο τοπογράφος από τα ψηφιακά σχέδια μπορεί να εξάγει τις συντεταγμένες (κορυφές) x,y,H των σημείων K1-K10 που αφορούν το κτίριο και από K11-K14 που αφορούν τη πισίνα.

Παλιότερα οι συντεταγμένες που καλούνταν να χαραχθούν αντλούνταν από αναλογικά διαγράμματα. Σε αυτή την περίπτωση οι διαδικασίες για την εύρεση των συντεταγμένων του σημείου που έπρεπε να χαραχθεί γίνονταν πιο σύνθετες. Συγκεκριμένα σε αντίθεση με τα ψηφιακά διαγράμματα όπου αντλούνται συντεταγμένες με μια εντολή στο αναλογικό πρέπει να γίνουν οι παρακάτω διαδικασίες :

Συγκεκριμένα όλες οι τοπογραφικές μελέτες ή διαγράμματα φέρουν πάνω τους κάναβο τετραγωνισμού . Ανεξάρτητα της χρήσης του διαγράμματος ή της κλίμακας του ο κάναβος έχει πάντα διαστάσεις 10cmx10cm και σε κάθε γραμμή του του κανάβου αναγράφονται οι συντεταγμένες της τετμημένης και της τεταμένης. Με αυτή την εισαγωγή προκύπτει ότι οι συντεταγμένες ενός τυχαίου σημείου (i) προκύπτουν από τις παρακάτω διαδικασίες.(βλέπε σχήμα 1.3)



Σχήμα 1.3: Άντληση συντεταγμένων από αναλογικό διάγραμμα.

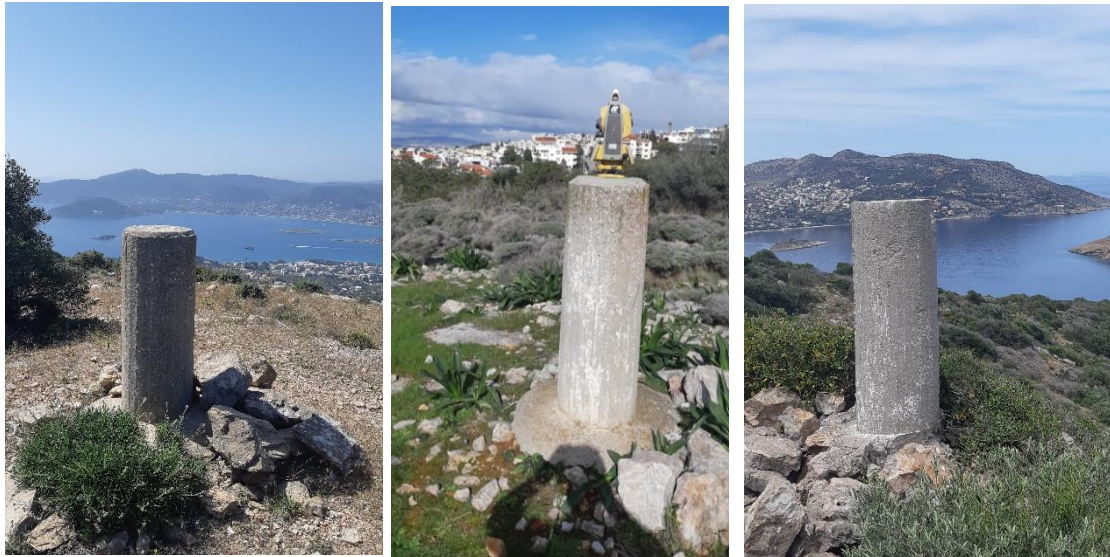
1. Μετρούνται πάνω στο διάγραμμα για το σημείο i οι τιμές δx και δy (βλέπε σχήμα 1.3).
2. Με τη βοήθεια της κλίμακας του διαγράμματος όπου κλίμακα είναι η αναλογία ενός συστήματος αναπαράστασης σε σχέση με την πραγματικότητα προκύπτει: $\Delta_{xi} = \text{κλίμακα} \cdot \delta x$, $\Delta_{yi} = \text{κλίμακα} \cdot \delta y$.
3. Προστίθενται οι τιμές που προκύψαν από τους υπολογισμούς του βήματος 2 στις τιμές x_0 , y_0 που αντιστοιχούν στο κάτω αριστερό άκρο O του Κανάβου (σχήμα 1.3) και προκύπτουν οι συντεταγμένες του σημείου i :

$$x_i = x_0 + \Delta x_i \quad \text{και} \quad y_i = y_0 + \Delta y_i \quad (1.1)$$

1.4 Γεωδαιτικά συστήματα όπου εντάσσονται οι μελέτες.

Το γεωδαιτικό σύστημα στο οποίο είναι ενταγμένη η τοπογραφική μελέτη είναι συνήθως σε κάποιο κρατικό σύστημα και σπανιότερα σε αυθαίρετο. Με τον όρο γεωδαιτικό σύστημα εννοούμε ένα σύνολο παραμέτρων και των συστημάτων συντεταγμένων που εφαρμόζεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή και σε ολόκληρη τη γη και ως προς το οποίο καθορίζονται οι θέσεις των σημείων και αντικειμένων της ΦΓΕ στο χώρο. Ο λόγος που γίνεται αυτή η εξάρτηση είναι επειδή υπάρχει η ανάγκη συσχετισμού της κατασκευής με άλλα έργα ή με τον περιβάλλοντα χώρο.

Στην Ελλάδα το κρατικό σύστημα είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ 87 , όπου οι τοπογραφικές μελέτες είναι ενταγμένες. Το ΕΓΣΑ 87 υλοποιείται από συγκεκριμένα σημεία που ανήκουν στο τριγωνομετρικό δίκτυο της Ελλάδας. Η υλοποίηση του κρατικού τριγωνομετρικού δικτύου έχει γίνει με βάση βάθρα που έχει εγκαταστήσει η Γεωγραφική υπηρεσία του στρατού (ΓΥΣ).



Εικόνα 1.2: Βάθρα τριγωνομετρικού δικτύου Ελλάδας .



Εικόνα 1.3: Κεφαλές βάθρων του τριγωνομετρικού δικτύου Ελλάδας.

Σε αντίθεση με τα συστήματα αναφοράς στις δυο διαστάσεις υπάρχει και σύστημα αναφοράς για την τρίτη διάσταση. Για τα υψόμετρα η επιφάνεια αναφοράς θεωρείται η μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ). Σημεία που υλοποιούν κάποιες υψομετρικές αφετηρίες τα reperers οι οποίες είναι

τοποθετημένες από τη γεωγραφική υπηρεσία του στρατού (ΓΥΣ). Είναι ειδικές ορειχάλκινες κατασκευές πακτωμένες οριζόντια σε χαρακτηριστικά σημεία όπως μεγάλες οδικές αρτηρίες.



Εικόνα 1.4: Υψομετρική αφετηρία reper της ΓΥΣ.

1.5 Πύκνωση δικτύου

Ως βασική αρχή της γεωδαισίας όπως κατά την διαδικασία της αποτύπωσης έτσι και κατά τη διαδικασία της χάραξης απαιτείται η ίδρυση δικτύου οριζοντίου ελέγχου και δικτύου κατακορύφου ελέγχου. Σημαντικό είναι για την αποφυγή σφαλμάτων το δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε κατά την αποτύπωση να χρησιμοποιηθεί και για την χάραξη του έργου. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως πολλές από τις αρχικές κορυφές του δικτύου ή έχουν καταστραφεί ή δεν βολεύουν για τις διαδικασίες της χάραξης συχνά σχεδόν απαραίτητη κρίνεται να γίνει πύκνωση δικτύου εντός του χώρου του εργοταξίου. Για τα σημεία αυτά πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

1. Πρέπει να είναι εύχρηστα, π.χ προσιτά και εμφανή ώστε να επιτυγχάνεται η εύκολη χρήση των κορυφών αυτών από τον χειριστή του γεωδαιτικού εξοπλισμού.
2. Να είναι μόνιμα και να μην καταστρέφονται ή αφαιρούνται με ευκολία με το πέρας των διαδικασιών της κατασκευής.
3. Να αντέχουν επίσης στις εκάστοτε καιρικές συνθήκες.
4. Να είναι υλοποιημένα και άρτια κατασκευασμένα ώστε να μείνουν ακλόνητα κατά την διάρκεια της κατασκευής, ώστε να μπορούν να επιτευχθούν και επιθυμητές ακρίβειες.

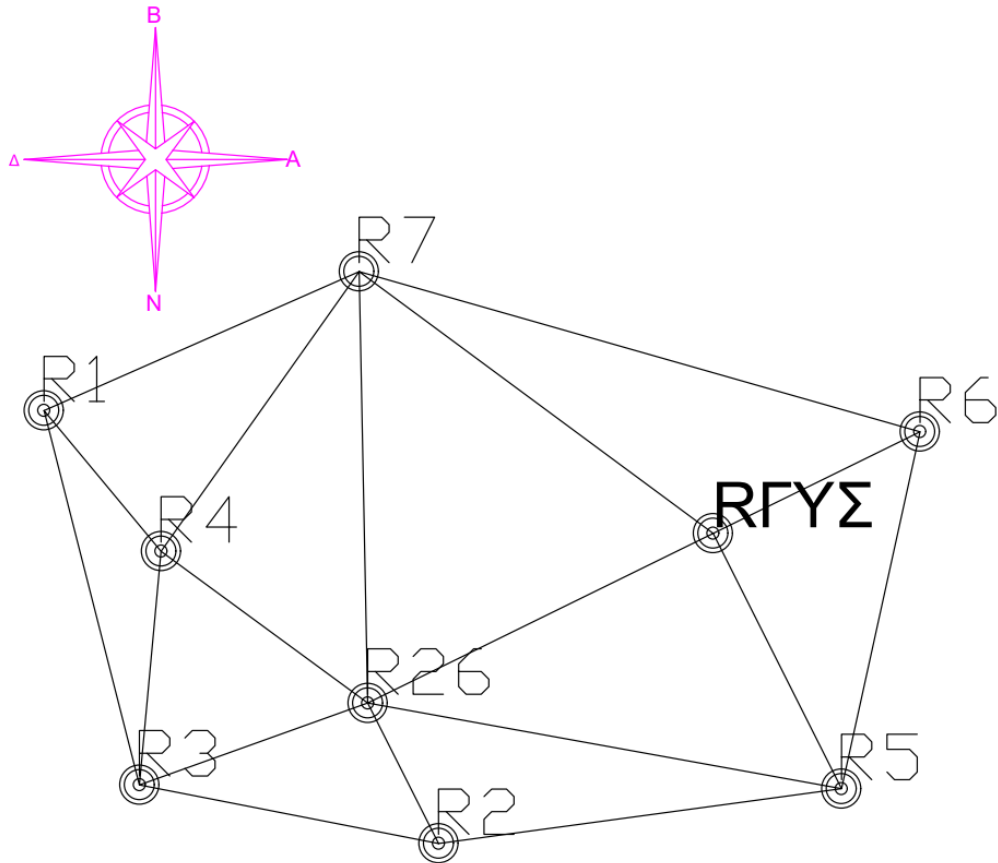
Σε περίπτωση που οι στάσεις και τα σημεία ελέγχου δεν επαρκούν για τις ανάγκες της χάραξης και του εργοταξίου οι δεν καλύπτουν τις επιθυμητές ορατότητες που χρειάζονται τα τοπογραφικά όργανα οφείλει να γίνει πύκνωση του δικτύου αυτού. Σαν δίκτυο ορίζεται ένα σύνολο μόνιμων σημείων εγκατεστημένων σε μια περιοχή. Τα σημεία αυτά συνδέονται μεταξύ τους με μετρήσεις και είναι γνωστή η θέση τους στο χώρο και οι συντεταγμένες τους σε μια δυο ή και τρεις διαστάσεις.

Για να γίνει η πύκνωση ή επέκταση του δικτύου εντός της περιοχής ενός εργοταξίου προσδιορίζονται οι συντεταγμένες ενός ή περισσοτέρων σημείων τα οποία προστίθενται στις ήδη υπάρχουσες στάσεις της περιοχής όπου από τα σημεία αυτά θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις των σημείων χάραξης που αφορούν το τεχνικό έργο. Τα σημεία αυτά πρέπει να είναι υλοποιημένα και να βρίσκονται στο χώρο με σήμανση και σίγουρα να είναι ενταγμένα σε κάποιο κρατικό σύστημα.

Για τον προσδιορισμό των νέων σημείων γίνονται οι απαραίτητες μετρήσεις από τα ήδη υπάρχοντα σημεία για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων τους. Τα τριγωνομετρικά σημεία ή σημεία όδευσης των οποίων προσδιορίζονται οι συντεταγμένες μπορεί να είναι σε δυο και τρεις διαστάσεις ενώ τα μονοδιάστατα δίκτυα έχουν μόνο υψομετρική πληροφορία.

1.5.1 Πύκνωση υψομετρικού δικτύου

Η πύκνωση ενός υψομετρικού δικτύου ή δικτύου κατακορύφου ελέγχου είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία ενός εργοταξίου ώστε να επιτευχθούν υψομετρικές χαράξεις. Για την πύκνωση ενός υψομετρικού δικτύου χρειάζεται να εγκατασταθούν στην περιοχή του εργοταξίου υψομετρικές αφετηρίες *reperes*. Στις νέες υψομετρικές αφετηρίες πρέπει γίνονται μετρήσεις υψομετρικών διαφορών από κάποιο γνωστό σημείο *reperere* της τοπογραφικής μελέτης ή του Ελληνικού Συστήματος Υψομέτρων που υλοποιείται από τις αφετηρίες τις ΓΥΣ (βλέπε εικόνα 1.4). Ένα υψομετρικό δίκτυο αποτελείται από κλειστούς βρόγχους (πολύγωνα) ή τρίγωνα όπου προσδιορίζονται οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του (βλέπε σχήμα 1.4). Οι μετρήσεις προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών γίνονται συνήθως με τη χρήση χωροβατών αναλογικών ή ψηφιακών και χρησιμοποιώντας την μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμησης.



Σχήμα 1.4: Μορφή υψομετρικών δικτύου.

Το δίκτυο αποτελείται από τρίγωνα ή βρόγχους (βλέπε σχήμα 1.4) το άθροισμα των τιμών των υψομετρικών διαφορών σε ένα τρίγωνο θα πρέπει να είναι θεωρητικά ίσο με μηδέν. Οι μετρήσεις στο πεδίο ποτέ δεν είναι τέλειες και το άθροισμα αυτό αποκλείεται να είναι ακριβώς 0 ωστόσο είναι ένας κάλος πρώτος έλεγχος για την αξιοπιστία των μετρήσεων και την αποφυγή ένταξης παρατηρήσεων στην συνόρθωση οι οποίες δεν είναι ορθές.

Για να γίνει συνόρθωση του υψομετρικού δικτύου πρέπει ο αριθμός των μετρήσεων n δηλαδή οι υψομετρικές διαφορές που μετρήθηκαν να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των αγνώστων κορυφών του δικτύου m . Η τιμή $n-m$ είναι ο βαθμός ελευθερίας του δικτύου. Εφόσον ο βαθμός ελευθερίας είναι μεγαλύτερος της μονάδας στο δίκτυο μπορεί να γίνει συνόρθωση με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και έτσι υπολογίζεται η καλύτερη τιμή του υψόμετρου για κάθε κορυφή όπως επίσης υπολογίζεται και η αβεβαιότητα της τιμής αυτής από τον πίνακα μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας.

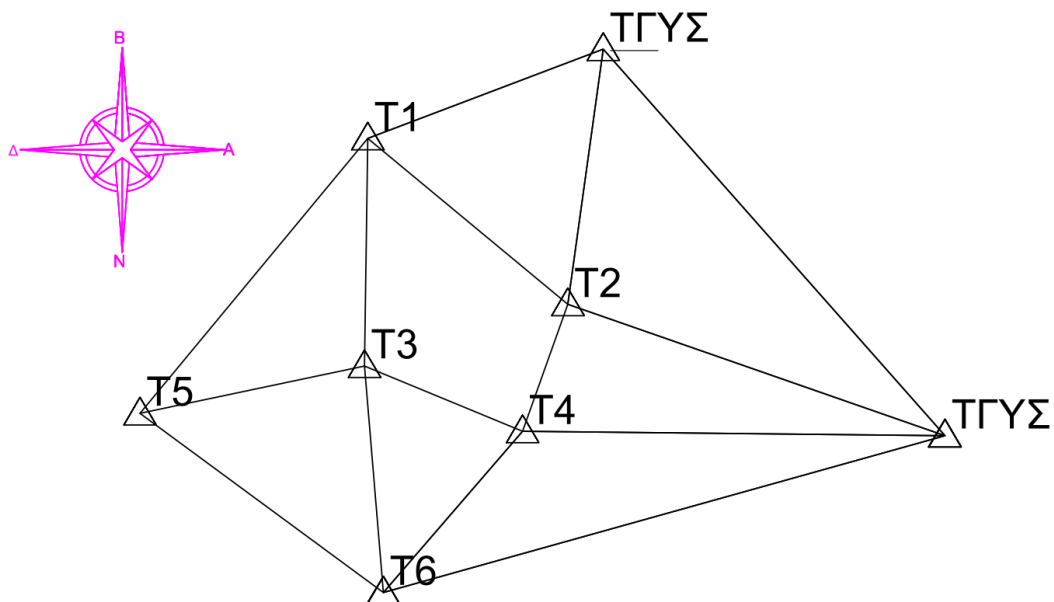
1.5.2 Πύκνωση οριζοντιογραφικού ή τριδιάστατου δικτύου.

Πύκνωση τέτοιων δικτύων γίνεται με γεωδαιτικούς σταθμούς και δέκτες GNSS. Η κάθε μέθοδος έχει διαφορές στον τρόπο μέτρησης και επίλυσης του δικτύου καθώς επίσης υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

1.4.2.1 Πύκνωση με γεωδαιτικούς σταθμούς.

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί (total stations) είναι τα κυριότερα όργανα της γεωδαισίας είναι στην πραγματικότητα μια μετεξέλιξη των παλιών θεοδολικών αφού πλέον εκτός από την μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών γίνεται και άμεση μέτρηση μηκών.

Με την χρήση γεωδαιτικών σταθμών γίνεται η πύκνωση ενός τριδιάστατου ή οριζοντιογραφικού δικτύου. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίλυση του δικτύου και την ένταξη του σε κάποιο κρατικό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ 87) είναι η γνώση των συντεταγμένων ενός τουλάχιστον σημείου (κορυφής του δικτύου) και την γωνιά διεύθυνσης μιας πλευράς του. Τα γνωστά σημεία αυτά μπορεί να είναι της τοπογραφικής μελέτης ή να είναι τριγωνομετρικά της ΓΥΣ (βλέπε σχήμα 1.5). Τέλος χρειάζονται προσεγγιστικές τιμές για τις συντεταγμένες των μη γνωστών κορυφών του δικτύου.



Σχήμα 1.5: Μορφή τριδιάστατου δικτύου.

Μεταξύ των σημείων του δικτύου γίνονται οι εξής μετρήσεις με την χρήση γεωδαιτικών σταθμών:

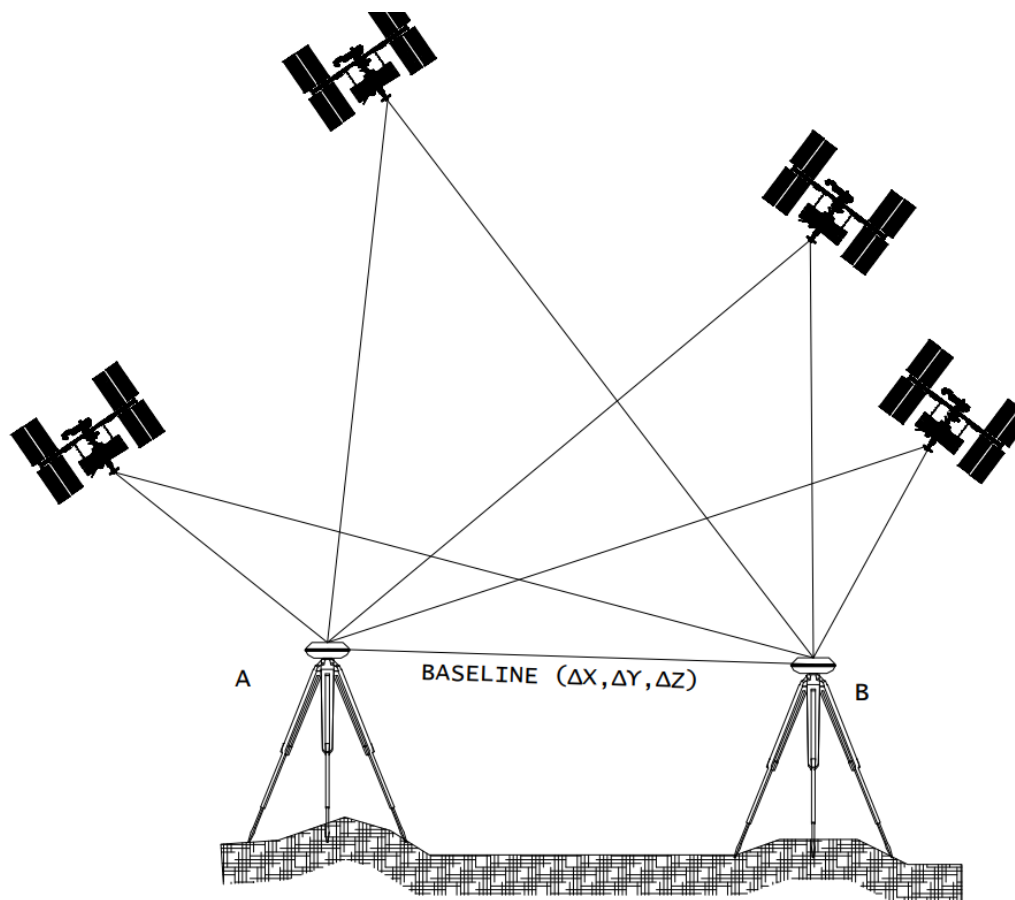
1. Οριζοντίων γωνιών
2. Κατακόρυφων ή ζενίθιων γωνιών
3. Κεκλιμένων μηκών
4. Ύψος οργάνου (σε κάθε σημείο ή κορυφή του δικτύου όπου τοποθετείται το όργανο).
5. Ύψος στόχου ή ανακλαστήρα (οι ανακλαστήρες τοποθετούνται στις κορυφές του δικτύου και στοχεύονται από τους γεωδαιτικούς σταθμούς).

Η επίλυση του δικτύου γίνεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων αν και εφόσον οι μετρήσεις που λήφθηκαν στο πεδίο n είναι περισσότερες από τους αγνώστους ,δηλαδή, τις συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου m . Από την επίλυση προκύπτουν οι καλύτερες τιμές – συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου x,y,z καθώς και οι αβεβαιότητες των τιμών αυτών όπως αυτές προκύπτουν από τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της επίλυσης η γωνία διεύθυνσης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το δεύτερο θεμελιώδες από τις συντεταγμένες x,y των δυο γνωστών σημείων σταθερού και ημισταθερού. Επίσης οι προσωρινές συντεταγμένες υπολογίζονται με την χρήση του πρώτου θεμελιώδους και με την χρήση των MET υπολογίζονται μεταβολές Δx , Δy , Δz που προστίθενται στις προσωρινές αυτές τιμές ώστε να γίνουν οι καλύτερες του δικτύου. Σημειώνεται ότι οι καλύτερες τιμές που προκύπτουν επανατοποθετούνται σαν προσωρινές και ξαναγίνεται επίλυση μέχρι οι προσωρινές και καλύτερες τιμές να έχουν τις ίδιες τιμές ,όσες επαναλήψεις και αν χρειαστούν.

Σε ένα εργοτάξιο οι κορυφές του δικτύου πρέπει να είναι προσδιορισμένες με ακρίβεια γιατί με αρχή αυτές πραγματοποιούνται οι χαράξεις εντός του εργοταξίου για αυτό τον λόγο αυτό η διαδικασία του τριγωνισμού είναι προτιμότερη σε σχέση με την πολυγωνομετρία και την κατάστροψη απλών οδεύσεων αφού ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι πολύ μεγαλύτερος και συνεπώς είναι καλύτερες και οι ακρίβειες στον προσδιορισμό των κορυφών του δικτύου.

1.4.2.2 Πύκνωση με δέκτες δορυφορικού εντοπισμού.

Η πύκνωση του δικτύου και μάλιστα και στις 3 διαστάσεις μπορεί να γίνει και με δέκτες GNSS που είναι συστήματα δορυφορικού εντοπισμού. Για την διαδικασία αυτή απαιτούνται δυο δέκτες δορυφορικού εντοπισμού και ο αριθμός δορυφόρων όπου πρέπει να λαμβάνουν σήμα οι δυο δέκτες αυτοί να είναι κατά ελάχιστο 4 και αυτό πάντα χωρίς να εξασφαλίζεται λύση με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Πλέον σε τροχιά βρίσκονται δορυφορικοί σχηματισμοί GPS, Glonass, Beidou και Galileo όπου δίνουν σήμα στους δέκτες και συνολικά είναι πολύ παραπάνω από 4 και συνεπώς είναι καλά και τα αποτελέσματα. Επίσης για την επίλυση σε αντίθεση με την χρήση γεωδαιτικών σταθμών είναι απαραίτητη η γνώση μόνο ενός γνωστού σημείου από την αρχική μελέτη ή τριγωνομετρικού της ΓΥΣ (βλέπε σχήμα 1.6). Η μέθοδος μέτρησης που χρησιμοποιείται μεταξύ των δεκτών είναι αυτή του σχετικού στατικού εντοπισμού που δίνει καλύτερες ακρίβειες. Κατά τη διαδικασία της μέτρησης τοποθετείται και κεντρώνεται πάνω στο γνωστό σημείο ο ένας δέκτης και ο δεύτερος δέκτης στο νέο ιδρυθέν τριγωνομετρικό.



Σχήμα 1.6: Πύκνωση δικτύου με την χρήση δεκτών GNSS.

Τα σφάλματα προσδιορισμού των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου χρησιμοποιώντας δέκτες GNSS προκύπτουν από τη γεωμετρία των δορυφόρων (δείκτη PDOP) , την απόσταση από την σταθερή κορυφή, τον αριθμό των δορυφόρων που δίνουν σήμα στους δέκτες και τέλος τον χρόνο μέτρησης των δεκτών.

1.4.3 Πύκνωση δικτύου με χρήση πολλαπλής οπισθοτομίας (free station)

Αυτή η διαδικασία πύκνωσης 3d δικτύου είναι ο πιο σύνηθες τρόπος πριν ξεκινήσει η διαδικασία της χάραξης και εφαρμόζεται συχνά σε εργοταξιακούς χώρους. Η διαδικασία επιτυγχάνεται με τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών και το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι πως το όργανο οριζοντιώνεται και κεντρώνεται αυθαίρετα από τον μηχανικό σε μια τυχαία θέση T5 (T5 βλέπε σχήμα 1.7) όπου να έχει αρκετή ορατότητα μετέπειτα για να χαράξει τα σημάδια του.

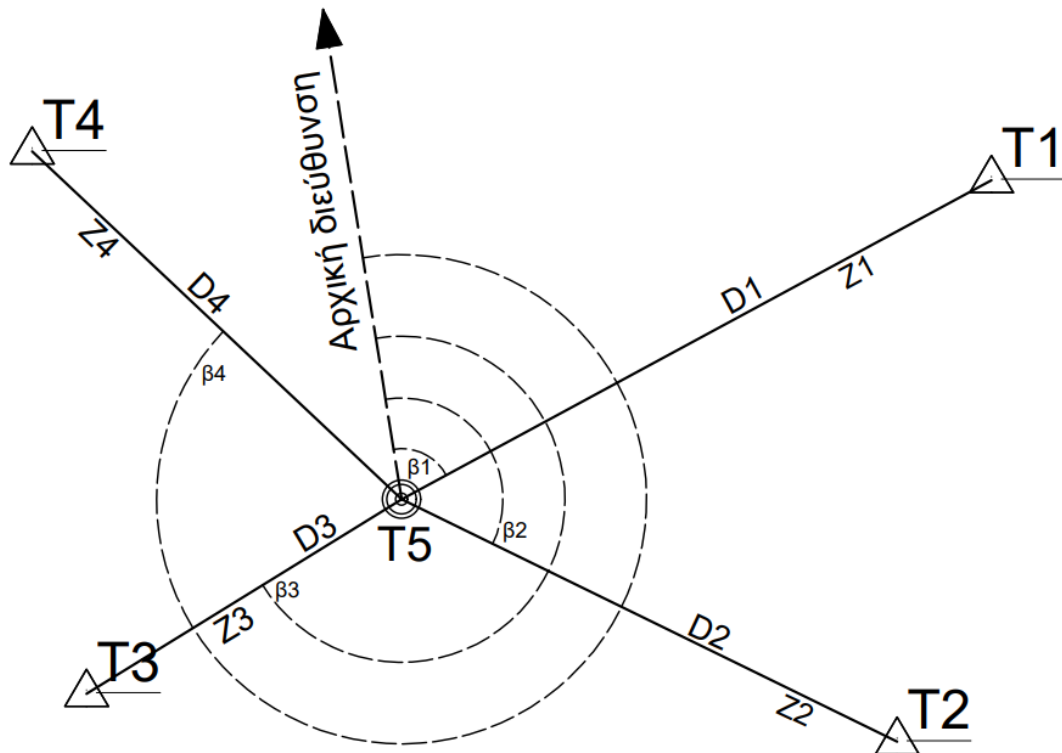
Για τον προσδιορισμό συντεταγμένων στο άγνωστο σημείο γίνονται κατάλληλες μετρήσεις προς τα γνωστά σημεία που υπάρχουν στο χώρο δηλαδή την περιοχή εντός του εργοταξίου για τα οποία προφανώς είναι γνωστές οι συντεταγμένες τους x, y, z . Για την επίλυση και την εύρεση των συντεταγμένων του αγνώστου σημείου είναι τουλάχιστον η στόχευση σε άλλα 2 γνωστά ώστε να υπάρξει μοναδιαία λύση αλλά προφανώς μπορεί να γίνει στοχεύσει και σε παραπάνω .

➤ Ζητούμενα στοιχεία είναι λοιπόν :

- Οι συντεταγμένες x, y, z του σημείου.
- Προσανατολισμός του οργάνου

➤ Μετρούμενα στοιχεία:

- Η οριζόντια γωνία (β) προς κάθε γνωστό σημείο.
- Η ζενίθια γωνία (z) προς κάθε γνωστό σημείο.
- Το κεκλιμένο μήκος (D) προς κάθε γνωστό σημείο.
- Το ύψος οργάνου στην τυχαία θέση.
- Το ύψος του ανακλαστήρα (αν χρησιμοποιήθηκε για την στόχευση των γνωστών σημείων).



Σχήμα 1.7: Σχηματική παράσταση της ελεύθερης στάσης.

Η επίλυση γίνεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιώντας ως εξισώσεις (n) παρατήρησης τις παρατηρήσεις μηκών, οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών. Ως άγνωστοι είναι οι συντεταγμένες του σημείου στησίματος του οργάνου x, y, z άρα $m=3$. Ο βαθμός ελευθερίας του δίκτυο του σχήματος 1.7 όπου ως βαθμός ελευθερίας ορίζεται η διαφορά του πλήθους των παρατηρήσεων ($n = 12$) μείον τον αριθμό των αγνώστων ($m=3$). Έτσι ο βαθμός ελευθερίας r του δικτύου του σχήματος 1.5 ισούται με $r = n - m = 9$.

Η αβεβαιότητα προσδιορισμού των καρτεσιανών συντεταγμένων x, y, z της ελεύθερης στάσης εξαρτάται από:

- Τις αβεβαιότητες των συντεταγμένων των γνωστών σημείων.
- Την σχετική θέση των σημείων
- Τις αβεβαιότητες μέτρησης μηκών
- Τις αβεβαιότητες μέτρησης γωνιών (οριζοντίων, κατακορύφων)
- Τις αβεβαιότητες μέτρησης ύψους οργάνου και ύψους στόχου.

Με την χρήση ενός γεωδαιτικού σταθμού ακρίβειας είναι πολύ πιθανό η αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων της ελεύθερης στάσης να είναι κάτω από $1 \pm \text{mm}$.

1.6 Υπολογισμός στοιχείων χάραξης

Με την ίδρυση και πύκνωση του δικτύου εντός του εργοταξίου τελευταία διαδικασία πριν την έναρξη της χάραξης είναι ο υπολογισμός των στοιχείων χάραξης. Τα στοιχεία της χάραξης προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου ελέγχου και των στοιχείων που λαμβάνονται από τα κατασκευαστικά σχέδια της μελέτης του τεχνικού έργου. Μια 3d χάραξη στον χώρο μπορεί να γίνει και με τη χρήση γεωδαιτών σταθμών και με τη χρήση δεκτών GNSS.

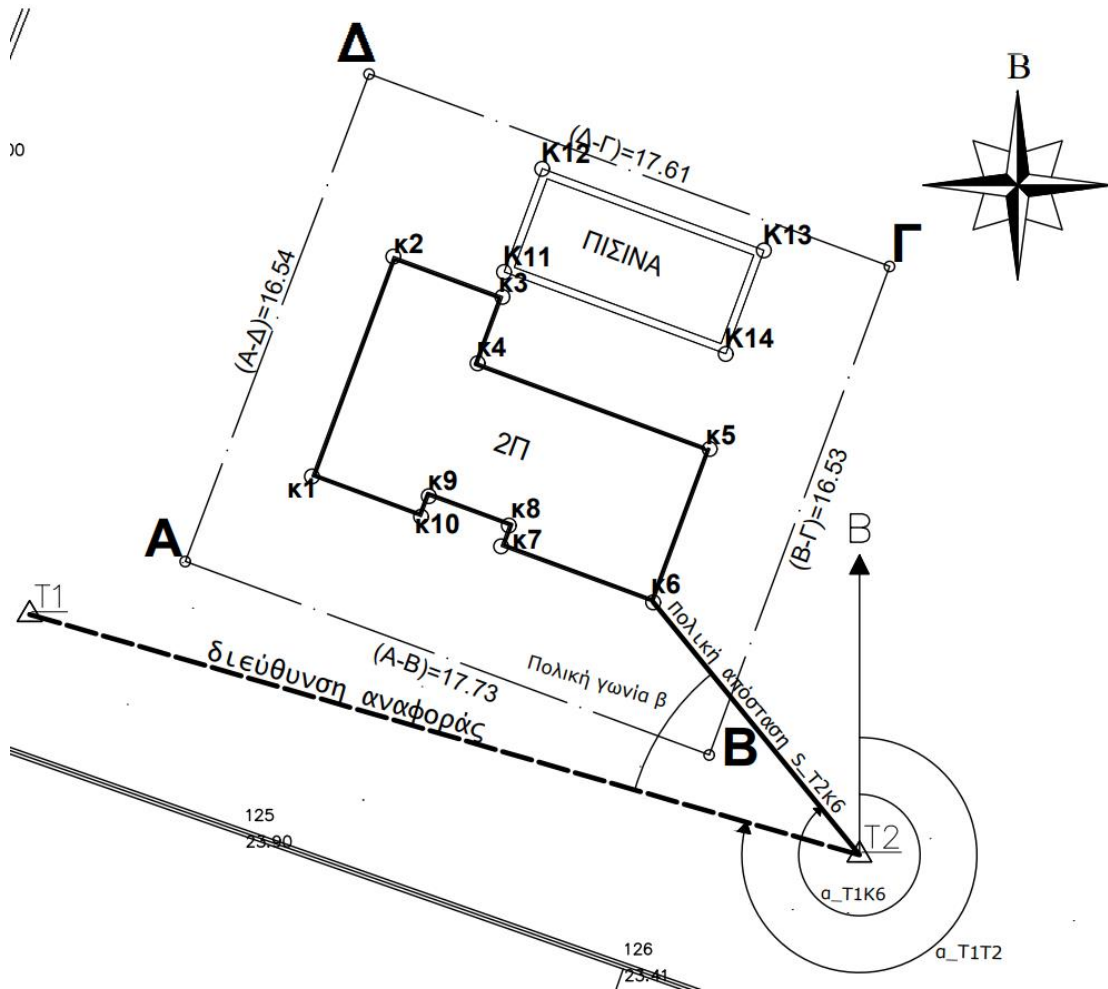
1.6.1 Υπολογισμός στοιχείων χάραξης για την χρήση γεωδαιτικού σταθμού.

1^η περίπτωση: Το σύστημα να είναι τοπικό αυθαίρετο.

Για τη χάραξη ενός σημείου (K6) στο χώρο χρειάζονται οι συντεταγμένες x, y, z δυο σημείων T1 και T2 (σχήμα 1.6) του γεωδαιτικού δικτύου που εγκαταστάθηκαν είτε κατά τη διάρκεια παραγωγής της τοπογραφικής μελέτης (αποτύπωσης) είτε μετά από πύκνωση του δικτύου και να έχει γίνει λήψη των συντεταγμένων του σημείου αυτού από την τοπογραφική μελέτη. Πληροφορίες για τη λήψη των συντεταγμένων των σημείων που καλούνται να χαραχθούν είτε για την πύκνωση του δικτύου πληροφορίες βρίσκονται σε παραπάνω παραγράφους.

Για την επίτευξη μιας τριδιάστατης χάραξης με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού αρχικά το σημείο χαράζεται οριζοντιογραφικά και μετέπειτα υψομετρικά ή το αντίστροφο ανάλογα τις απαιτήσεις της εργασίας. Τέλος οι υπολογισμοί των στοιχείων χάραξης διαφέρουν ανάλογα το σύστημα αναφοράς είναι τοπικό αυθαίρετο ή το σύστημα αναφοράς είναι το κρατικό δηλαδή το (ΕΓΣΑ 87).

- Οριζοντιογραφικά η χάραξη ενός σημείου K6 από ένα σημείου του δικτύου T2 επιτυγχάνεται σε δυο στάδια:
 - Τη χάραξη και εύρεση της οριζόντιας γωνία $\alpha_{T2,K6}$
 - Τη χάραξη της οριζόντιας απόστασης $D_{T2,K6}$



Σχήμα 1.8: Οριζοντιογραφική χάραξη σημείου.

Στο σχήμα 1.8 φαίνεται το σχήμα 1.2 (σελίδα 4) απόσπασμα τοπογραφικής μελέτης όπου έχει γίνει πύκνωση δικτύου και έχουν ιδρυθεί κοντά στα σημεία που καλούνται να χαραχθούν οι κορυφές δικτύου T1 και T2.

Ο μηχανικός που καλείται να κάνει την χάραξη έχει ως δεδομένα τις συντεταγμένες των κορυφών T1 και T2 και τις συντεταγμένες των σημείων προς χάραξη (έστω K6) και ως ζητούμενα πρέπει να υπολογιστούν :

1. Η οριζόντια γωνία β που προκύπτει από τη διαφορά της γωνίας διευθύνσεις α_{T2T1} και την προς χάραξη γωνία διεύθυνσης α_{T2K6} .

$$\beta = \alpha_{T2K6} - \alpha_{T1T2} \quad (1.2)$$

όπου ,

$$\tan(\alpha_{T2K6}) = \frac{\Delta x_{T2K6}}{\Delta y_{T2K6}} = \frac{x_{K6} - x_{T2}}{y_{K6} - y_{T2}} \leftrightarrow \alpha_{T2K6} = \arctan \frac{x_{K6} - x_{T2}}{y_{K6} - y_{T2}} \quad (1.3)$$

$$\tan(\alpha_{T_2T_1}) = \frac{\Delta x_{T_2T_1}}{\Delta y_{T_2T_1}} = \frac{x_{T_1} - x_{T_2}}{y_{T_1} - y_{T_2}} \leftrightarrow \alpha_{T_2T_1} = \arctan \frac{x_{T_1} - x_{T_2}}{y_{T_1} - y_{T_2}} \quad (1.4)$$

2. Η οριζόντια απόσταση $S_{T_2K_6}$ του σημείου K_6 και της κορυφής του δικτύου T_2 .

$$S_{T_2K_6} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \leftrightarrow \sqrt{(x_{K_6} - x_{T_2})^2 + (y_{K_6} - y_{T_2})^2} \quad (1.5)$$

2^η περίπτωση: Το σύστημα να είναι κρατικό (ΕΓΣΑ87).

Σε περίπτωση που η τοπογραφική μελέτη είναι ενταγμένη σε στο ΕΓΣΑ 87' προστίθενται κάποιες μικρές αλλαγές στον υπολογισμό των στοιχείων χάραξης. Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς χρησιμοποιεί σαν χαρτογραφική προβολή την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή έτσι προκύπτει:

1. Οι οριζόντιες γωνίες υφίστανται μακρές μεταβολές και έτσι η διόρθωση λόγω χαρτογραφικής προβολής θεωρείται μηδενική.
2. Μεγάλες αλλαγές και αναγωγές γίνονται στα μήκη αφού το σύστημα ανήκει στο κρατικό σύστημα οι συντεταγμένες x,y των σημείων έχουν προσδιοριστεί με βάση τον συντελεστή χαρτογραφικής παραμόρφωσης K της περιοχής μελέτης συνεπάγεται ότι και οι αποστάσεις είναι αναγόμενες λόγω χαρτογραφικής προβολής. Έτσι για τον προσδιορισμό της απόστασης που πρέπει να χαραχθεί γίνεται η αντιστροφή διαδικασία.

$$S_{T_2K_6} = \frac{S_{T_2K_6(ΕΓΣΑ)}}{K} \quad (1.6)$$

Όπου, $K = 0.012311 \cdot (X - 0.5)^2 + 0.9996$

και X μια μέση τιμή της τετμημένης (Easting) της περιοχής χάραξης στο ΕΓΣΑ 87 σε εκατομμύρια m (Mm).

Όπου $S_{T_2K_6(ΕΓΣΑ)}$ η απόσταση μεταξύ των σημείων όπως προσδιορίζεται από τη σχέση (1.5) και τις συντεταγμένες x, y των σημείων στο Εγσα 87'.

Τέλος πρέπει να γίνει ακόμα μια αναγωγή στην απόσταση η οποία ευθύνεται στην χορδή του ελλειψοειδούς.

$$S_{\text{χάραξης}} = S_{T2K6} + \frac{S_{T2K6} \cdot h_m}{R} \quad (1.7)$$

Όπου:

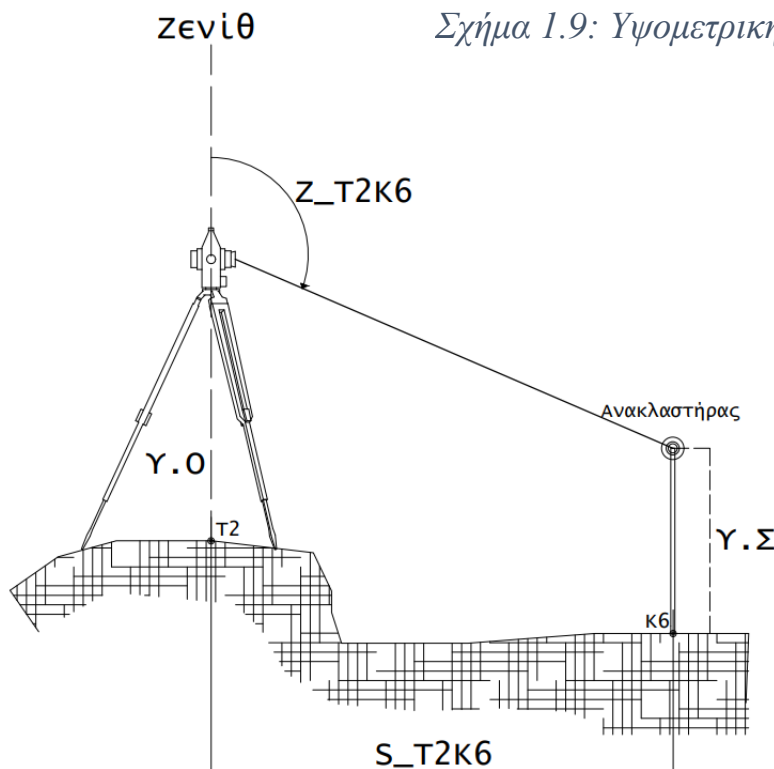
- S_{T2K6} η απόσταση που προκύπτει από την σχέση (1.6)
- R ακτίνα της γης που ισούται με 6371000m
- h_m το μέσο γεωμετρικό υψόμετρο των σημείων T2 και K6.

1.6.2 Υψομετρική χάραξη με χρήση γεωδαιτικού σταθμού

1^η Μέθοδος

Η υψομετρική χάραξη μπορεί και αυτή να γίνει με χρήση γεωδαιτικού σταθμού και συνήθως γίνεται αφού ολοκληρωθεί η Οριζοντιογραφική χάραξη πρώτα. Ανεξάρτητα από το αν η χάραξη γίνεται σε κάποιο αυθαίρετο σύστημα ή σε κάποιο κρατικό και στις δυο περιπτώσεις είναι απαραίτητη η γνώση:

- Μιας υψομετρικής αφετηρίας του δικτύου (T2)
- Το υψόμετρο του κάθε σημείου προς χάραξη (K6)



Σχήμα 1.9: Υψομετρική χάραξη σημείου.

Έτσι υπολογίζεται η υψομετρική διαφορά που καλείται ο μηχανικός να χαραχτεί $\Delta H_{T2K6} = H_{K6} - H_{T2}$.

Τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την χάραξη ενός σημείου K6 από μια κορυφή T2 με τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού είναι (βλέπε σχήμα 1.7)

- Να είναι γνώστες οι συντεταγμένες x,y των δυο σημείων
- Να υπολογιστεί η απόσταση S_{T2K6} από τις συντεταγμένες x,y χρησιμοποιώντας τη σχέση (1.5)
- Να μετρηθεί το ύψος οργάνου (YO)
- Να οριστεί σε τι ύψος στόχου τοποθετείται ο ανακλαστήρας.

Έχοντας αυτά τα μετρούμενα δεδομένα ο μηχανικός καλείται να υπολογίσει την κατάλληλη ζενίθια ή κατακόρυφη γωνία Z_{T2K6}

$$\Delta H_{T2K6} = S_{T2K6} \cdot \cot z_{t2k6} + Y.O - Y.\Sigma \rightarrow$$

$$Z_{T2K6} = \operatorname{arccot} \frac{\Delta H_{T2K6} - Y.O + Y.\Sigma}{S_{T2K6}} \quad (1.8)$$

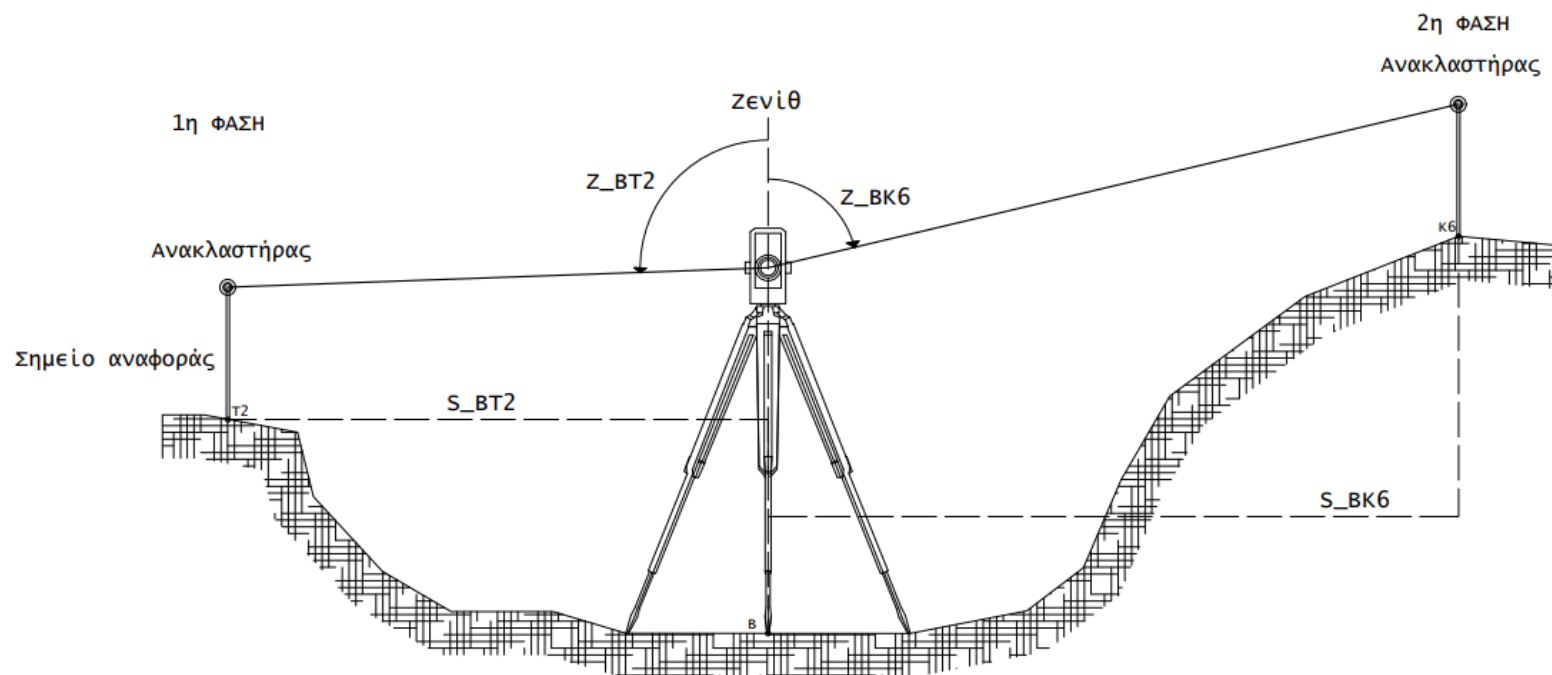
1.6.3 Υψομετρική με χρήση γεωδαιτικού σταθμού (Missing Line Measurement)

2^η Μέθοδος

Ακόμα μια μέθοδος υψομετρικής χάραξης ή μεταφοράς υψομέτρου στο χώρο γίνεται επίσης με γεωδαιτικό σταθμό και στηρίζεται στην διαφορά του τύπου της τριγωνομετρικής υψομετρίας. Αυτή η μέθοδος επιτυγχάνεται αφού το σημείο έχει χαραχθεί πρώτα Οριζοντιογραφικά. Σε αντίθεση με την πρώτη περίπτωση όπου ο γεωδαιτικός σταθμός οριζοντιώνεται και κεντρώνεται πάνω σε κάποια κορυφή του δικτύου σε αυτή τη περίπτωση ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετείται αυθαίρετα στο χώρο σε κάποιο τυχαίο σημείο (B) με μοναδικό κριτήριο την ορατότητα με κάποια γνωστή υψομετρική αφετηρία (reperce ή τριγωνομετρικό) και προφανώς τα σημεία που καλούνται να χαραχθούν υψομετρικά.

- Υπολογίζεται η υψομετρική διαφορά που καλείται να χάραξη ο μηχανικός, η οποία ισούται με $\Delta H_{T2K6} = H_{K6} - H_{T2}$

Αυτό που κάνει αυτή τη μέθοδο πιο αποτελεσματική σε θέματα ακριβείας είναι πως η μέθοδος αυτή είναι ανεξάρτητη του ύψους οργάνου (Υ.Ο) και σε πολλές περιπτώσεις είναι και ανεξάρτητη και του ύψους στόχου στοιχεία που προκαλούν πολλές αβεβαιότητες αφού μετρούνται με μετροταινία με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα σφάλματα. Η περίπτωση που απαλείφεται το Ύψος Στόχου είναι όταν χρησιμοποιείται το ίδιο στυλεός που φέρει πάνω του τον ανακλαστήρα για όλες τις μετρήσεις ή όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία reflectorless (βλέπε σχήμα 1.10).



Σχήμα 1.10: Υψομετρική χάραξη σημείου. (MLM)

Έστω λοιπόν ότι ο γεωδαιτικός σταθμός κεντρώνεται σε ένα τυχαίο σημείο (B) και έπειτα σκοπεύεται το σημείο με γνωστό υψόμετρο αφετηρία (T2) και μετά το σημείο που καλείται να χαραχθεί (K6).

Σε αυτή τη περίπτωση :

$$\Delta H_{T2K6} = H_{K6} - H_{T2} =$$

$$S_{BK6} \cdot \cot(Z_{BK6}) + Y.O (B) - Y.Σ - (S_{BT2} \cdot \cot(Z_{BT2}) + Y.O (B) - Y.Σ) =$$

$$S_{BK6} \cdot \cot(Z_{BK6}) + Y.O (B) - Y.Σ - S_{BK6} \cdot \cot(Z_{BK6}) - Y.O (B) + Y.Σ =$$

$$S_{BK6} \cdot \cot(Z_{BK6}) - S_{BK6} \cdot \cot(Z_{BK6}) + Y.O (B) - Y.O (B) + Y.Σ - Y.Σ$$

Επομένως :

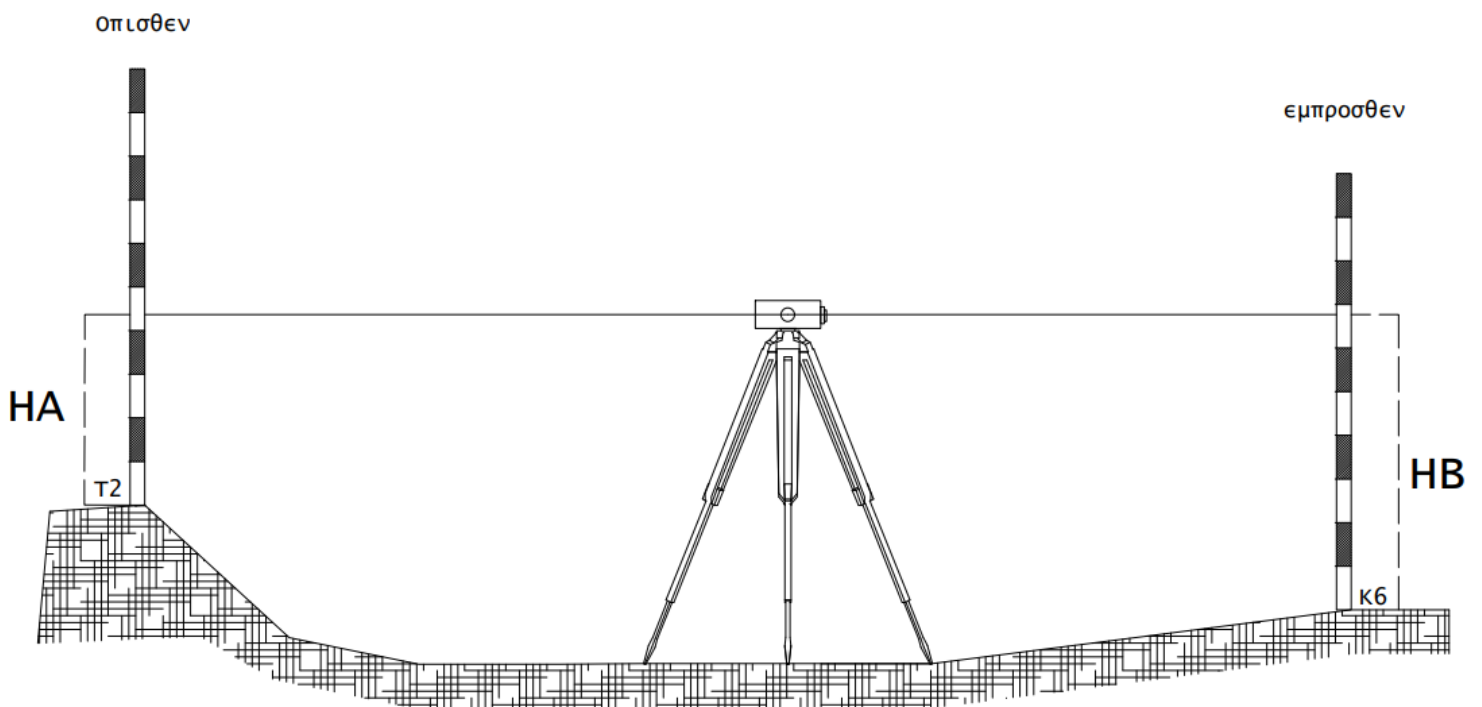
$$\Delta H_{T2K6} = H_{K6} - H_{T2} = S_{BK6} \cdot \cot(Z_{BK6}) - S_{BK6} \cdot \cot(Z_{BK6}) \quad (1.9)$$

Ο μηχανικός λοιπόν έχοντας σκοπεύσει το σημείο με την υψομετρική αφετηρία σκοπεύει έπειτα το σημείο προς χάραξη και κάνει αρκετές δοκιμές μέχρι η τιμή $S_{BK6} \cdot \cot(Z_{BK6})$ που είναι μεταβλητή να γίνει ίση με ΔH_{T2K6} .

1.5.4 Υψομετρική με χρήση ψηφιακού χωροβάτη

3^η Μέθοδος

Για τη χάραξη με τη χρήση χωροβάτη ακολουθούνται παρόμοιες διαδικασίες με αυτές της χωροστάθμησης. Ο χωροβάτης οριζοντιώνεται σε αυθαίρετο σημείο με μοναδικό κριτήριο να υπάρχει ορατότητα τόσο σε κάποια υψομετρική αφετηρία (reperce) όσο και στα σημεία που καλούνται να χαραχθούν υψομετρικά. Προϋπόθεση να είναι γνωστό το υψόμετρο της υψομετρικής αφετηρίας και το υψόμετρο του σημείου που πρέπει να χαραχθεί όπως αυτό έχει προκύψει από τη μελέτη. Έστω η όπισθεν ανάγνωση να είναι αυτή στην αφετηρία (T2) και η έμπροσθεν στο σημείο προς χάραξη (K6) (σχήμα 1.11).



Σχήμα 1.11: Υψομετρική χάραξη σημείο με χρήση χωροβάτη.

Εφόσον είναι γνωστό το υψόμετρο του T2 και το υψόμετρο της μελέτης για το σημείο K6 είναι γνωστή η μεταξύ τους υψομετρική διαφορά ΔH_{T2K6} . Αν θεωρηθεί η ανάγνωση στη σταδία για το σημείο T2 ίση με H_A και την ανάγνωση για το σημείο K6 ίση με H_B (σχήμα 1.11) τότε προκύπτει ότι:

$$\Delta H_{T2K6} = H_A - H_B \rightarrow H_B = H_A - \Delta H_{T2K6} \quad (1.10)$$

Γνωρίζοντας ποια είναι η θεωρητική τιμή ανάγνωσης στην σταδία για την τιμή του έμπροσθεν γίνονται όσες δοκιμές (μετρήσεις) χρειάζονται μέχρι να γίνει ανάγνωση της κατάλληλης τιμής στη σταδία και να επιτευχθεί η υψομετρική διαφορά ΔH_{T2K6} .

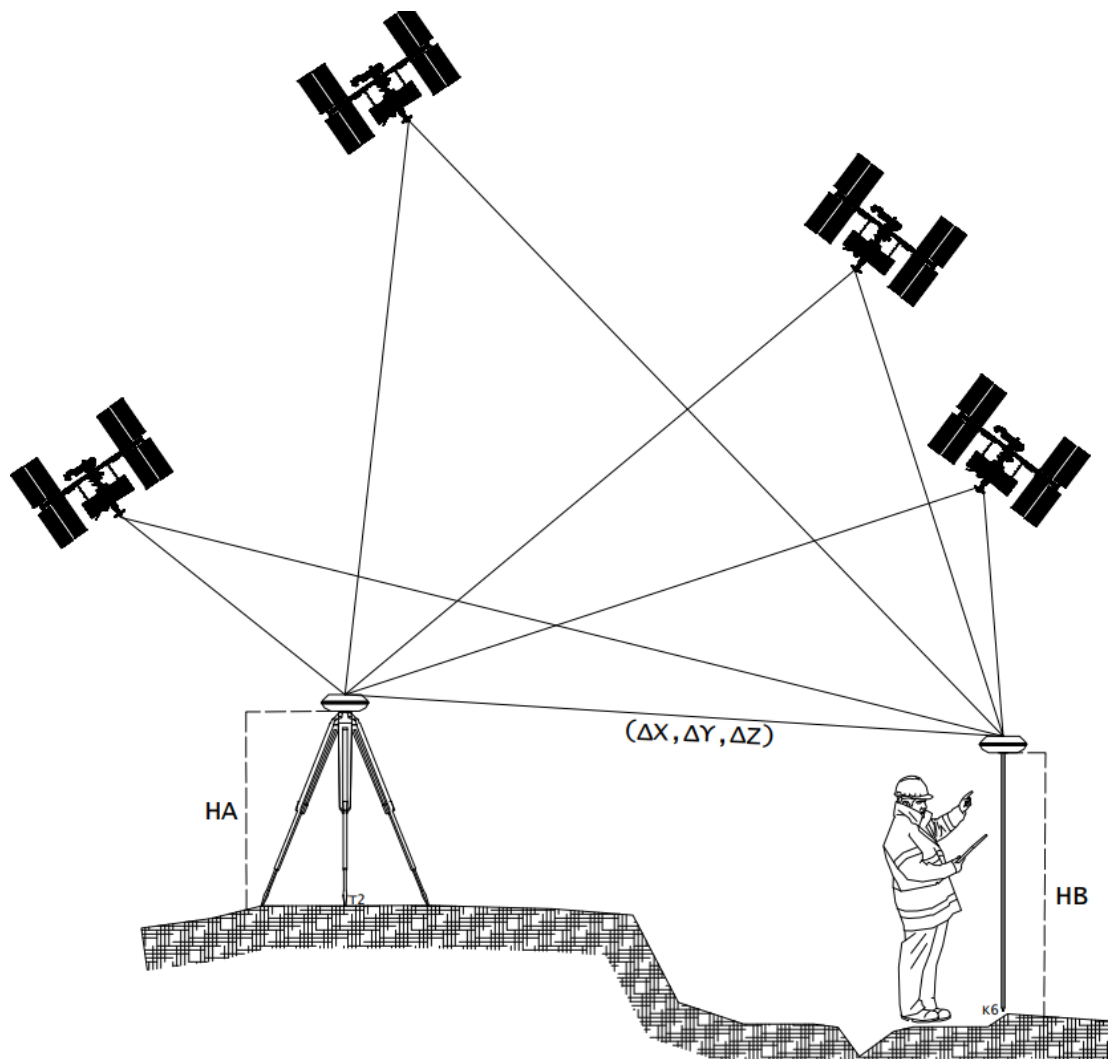
1.6.5 Τριδιάστατη χάραξη με χρήση δεκτών GNSS

Προσθήκη στις μεθόδους και τους τρόπους χάραξης είναι η χρήση των δεκτών δορυφορικού εντοπισμού. Με τους δέκτες GNSS μπορεί να χαραχθεί το επιθυμητό σημείο στο χώρο οι συντεταγμένες του σε πραγματικό χρόνο (real time kinematic).

Για την πραγματοποίηση της χάραξης χρειάζονται 2 δέκτες δορυφορικού εντοπισμού όπου ο ένας οριζοντιώνεται και κεντρώνεται σε γνωστή κορυφή του δικτύου και μετράτε το Υ.Ο.

Το δεύτερο δέκτη τον χειρίζεται ο τοπογράφος τον οποίο έχει τοποθετήσει πάνω σε ειδικό στυλεό γνωστού μήκους. Οι δυο δέκτες επικοινωνούν μεταξύ τους και ο μηχανικός με την χρήση χειριστηρίου βλέπει σε πραγματικό χρόνο για το γεωδαιτικό σύστημα που έχει επιλέξει (ΕΓΣΑ 87) τις συντεταγμένες για το σημείο στο οποίο βρίσκεται ο δεύτερος δέκτης.

Το χειριστήριο που χρησιμοποιεί ο μηχανικός είναι εξοπλισμένο με λογισμικά χάραξης, όπου υπολογίζουν το διάνυσμα ΔX , ΔY , ΔZ μεταξύ του σταθερού γνωστού σημείου (T2) του δικτύου όπου έχει τοποθετηθεί ο πρώτος δέκτης και του σημείου που καλείται να χαράξει ο μηχανικός (K6). Με τον τρόπο αυτό ο μηχανικός καθοδηγείται μέσω του χειριστηρίου προς ποια κατεύθυνση και ποια απόσταση οφείλει να μετακινηθεί σε πραγματικό χρόνο (Real time) μέχρι ο δεύτερος δέκτης να βρεθεί πάνω στο σημείο προς χάραξη (σχήμα 1.12).



Σχήμα 1.12: 3D χάραξη σημείου με χρήση δεκτών GNSS.

Η χάραξη με δέκτες δορυφορικού εντοπισμού χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπου υπάρχει ανοχή σε περιορισμένες ακρίβειες μερικών εκατοστών (2-3cm) οριζοντιογραφικά ,δηλαδή συνήθως σε έργα οδοποιίας ή υδραυλικών. Υψομετρικά η χάραξη με δέκτες GNSS απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Η μετατροπή των γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών, που υπολογίζονται, σε ορθομετρικές μπορεί να γίνει αν είναι γνωστή η τιμή της μεταβολής του υψομέτρου του γεωειδούς N για την περιοχή. Συνήθως η μετατροπή αυτή γίνεται χρησιμοποιώντας κάποιο παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς που είναι ενσωματωμένο στο λογισμικό των δεκτών. Η διαδικασία δηλαδή της υψομετρικής χάραξης εμπεριέχει αβεβαιότητες που μπορεί να φτάνουν και τα δεκάδες εκατοστά.

Γενικά η χάραξη με χρήση δεκτών GNSS δεν συνιστάτε για χαράξεις ακρίβειας.

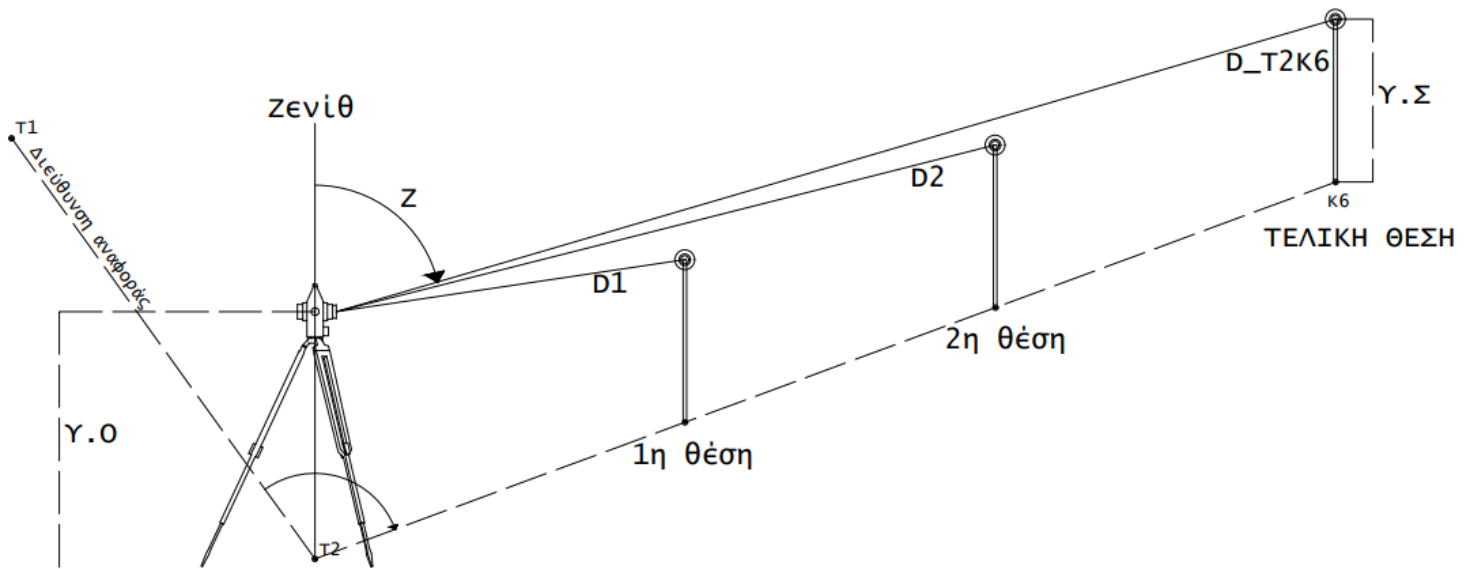
1.7 Τεχνική διαδικασία της χάραξης

Εφόσον έχει γίνει η λήψη των συντεταγμένων που καλούνται να χαραχθούν έχει γίνει κατανόηση της μελέτης της κατασκευής έχει γίνει πύκνωση δικτύου και έχουν γίνει οι κατάλληλοι υπολογισμοί των στοιχείων χάραξης ο τοπογράφος είναι έτοιμος να μεταβεί στο πεδίο και να χαράξει και να υλοποιήσει τα σημεία που του έχουν αναθέσει. Στο πεδίο για τις διαδικασίες της χάραξης συνήθως υπάρχει ανάγκη για διμελές συνεργείο τοπογράφων όπου ο ένας είναι χειριστής του γεωδαιτικού εξοπλισμού και ο άλλος των παρελκόμενων (σταδία ,ανακλαστήρας).

Ανεξάρτητα του γεωδαιτικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στην χάραξη κοινός παρονομαστής στη διαδικασία είναι η αναζήτηση του σημείου στο χώρο που καλείται να χαραχθεί. Ο στυλεός που φέρει πάνω τον ανακλαστήρα , η σταδία ή ο στυλεός που φέρει πάνω τον δεύτερο δέκτη GNSS τοποθετούνται κάθε φορά ολοένα και πιο κοντά στο σημείο που πρέπει να χαραχθεί.

1.7.1 Τεχνική διαδικασία της χάραξης με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.

Με τη χρήση του γεωδαιτικού σταθμού υπάρχει δυνατότητα 3d χάραξης σημείου όπου το σημείο συνήθως χαράζεται πρώτα οριζοντιογραφικά και έπειτα υψομετρικά. Η τεχνική διαδικασία ξεκινάει με τη κέντρωση και οριζοντίωση του γεωδαιτικού σταθμού σε κάποιο σημείο με γνωστές συντεταγμένες (T2) και τη μέτρηση του ύψους οργάνου (Υ.Ο). Έπειτα γίνεται σκόπευση σε σημείο επίσης γνωστών συντεταγμένων (T1) και εκεί γίνεται ο μηδενισμός του οριζοντίου δίσκου και έτσι δίνεται στο σύστημα μια διεύθυνση αναφοράς. Με τον υπολογισμό των στοιχείων χάραξης στο γραφείο γίνεται στροφή του οριζοντίου δίσκου του οργάνου κατά οριζόντια γωνία β όπου στην διεύθυνση αυτή βρίσκεται το σημείο προς χάραξη (K6). Έπειτα ο χειριστής του στυλεού που φέρει πάνω τον ανακλαστήρα κινείται ώστε να βρεθεί στη διεύθυνση που ορίζει ο σκοπευτικός άξονας. Τέλος ο χειριστής του σταθμού υπολογίζει αυτόματα κάθε φορά που μετρά το μήκος D από την στάση που είναι μέχρι το σημείο που είναι ο ανακλαστήρας και εφόσον η διεύθυνση του σημείου χάραξης είναι γνωστή ο στοχοφόρος γνωρίζει αν πρέπει να πάει πιο μπροστά ή πιο πίσω μέχρι να βρει το σημείο που τον ενδιαφέρει (σχήμα 1.13).



Σχήμα 1.13: Τεχνική διαδικασία 3D Χάραξης σημείου με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.

✚ 1^η Περίπτωση υψομετρικής χάραξης με γεωδαιτικό σταθμό

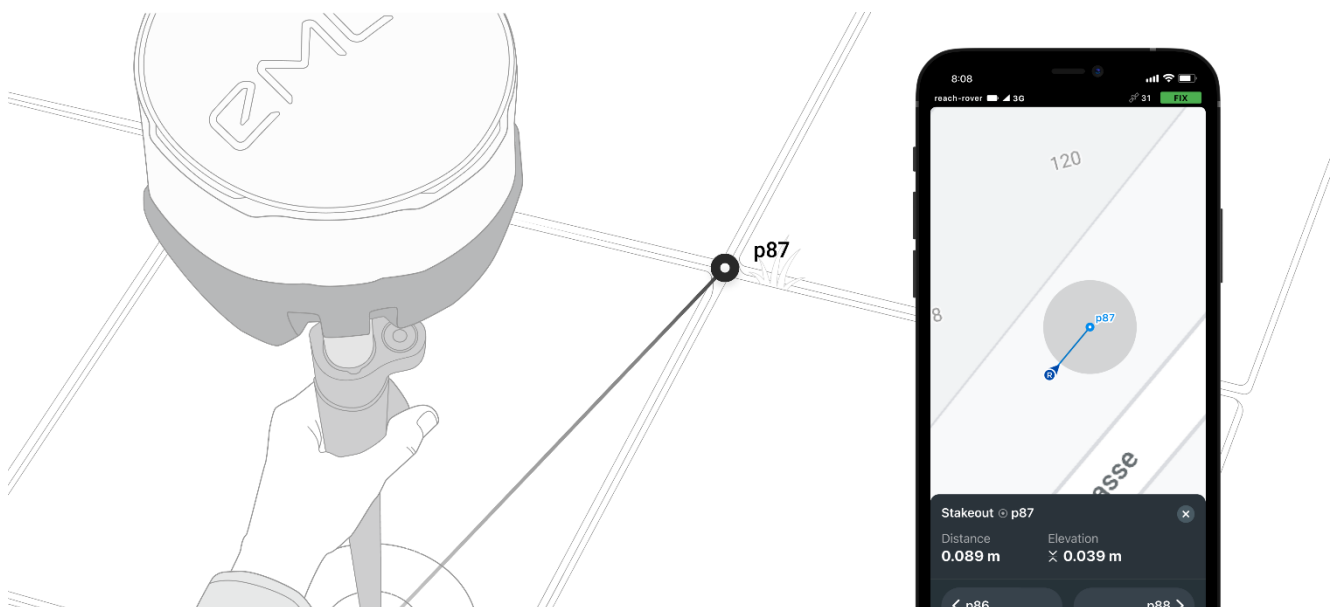
Εφόσον έχει γίνει η οριζοντιογραφική χάραξη σειρά ακολουθεί η υψομετρική. Η πιο αξιόπιστη μέθοδος υψομετρικής χάραξης ή μεταφοράς υψομέτρου είναι η μέθοδος (MLM) που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.5.4 . Η διαδικασία που ακολουθείται στο πεδίο για την επίτευξη της μεθόδου είναι η κέντρωση και οριζοντίωση του γεωδαιτικού σταθμού σε τυχαία θέση με μοναδικό κριτήριο την ορατότητα μιας υψομετρικής αφετηρίας και του σημείου προς χάραξη. Κάνοντας τους υπολογισμούς από την σχέση 1.9 ο μηχανικός γνωρίζει αν το σημείο πρέπει να μετακινηθεί κατακόρυφα προς τα πάνω ή προς τα κάτω.

✚ 2^η Περίπτωση υψομετρικής χάραξης με γεωδαιτικό σταθμό

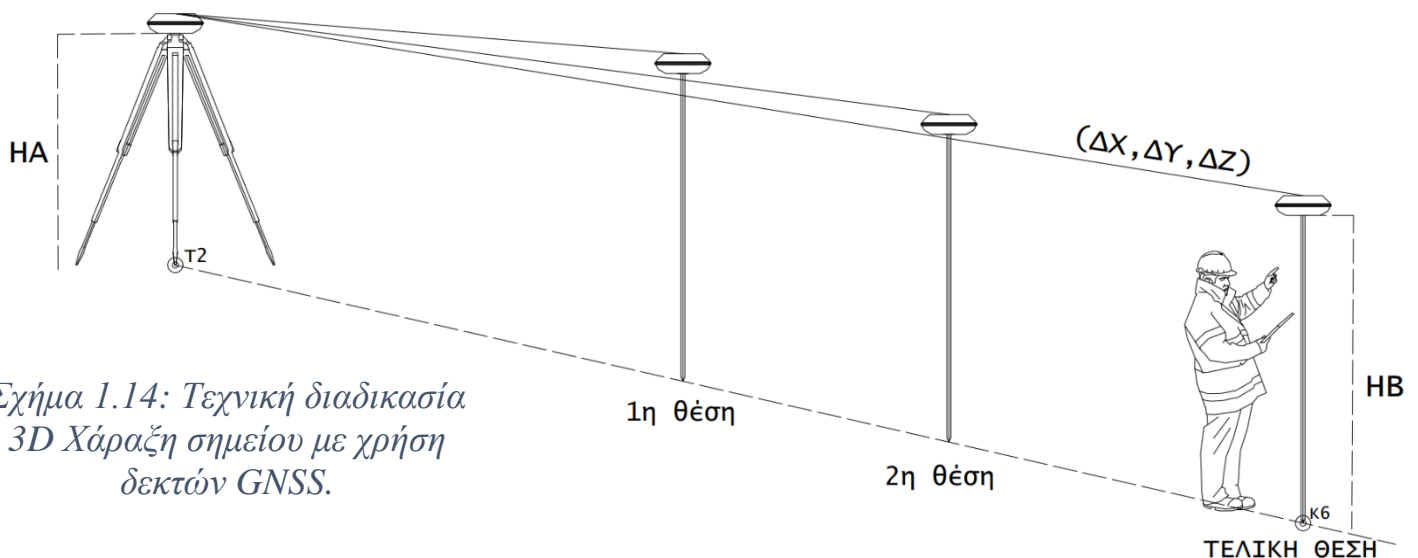
Στην παράγραφο 1.5.3 υπολογίστηκαν τα στοιχεία υψομετρικής χάραξης δηλαδή η κατάλληλη τιμή ζενίθιας γωνίας για την επίτευξη υψομετρικής χάραξης. Έτσι από εκεί που μόνο ο οριζόντιος δίσκος ήταν πακτωμένος τώρα πακτώνεται και ο κατακόρυφος του οργάνου. Έπειτα γίνεται μετακίνηση του σπειριού που φέρει πάνω τον ανακλαστήρα κατακόρυφα προς τα πάνω ή προς τα κάτω μέχρι το κέντρο του τηλεσκοπίου να ταυτίζεται με το κέντρο του πρίσματος. Έπειτα υπολογίζεται το $Υ.Ο'$ και μετά η διαφορά $\Delta_{ΥΣ} = Υ.Ο - Υ.Ο'$. Έτσι ο μηχανικός γνωρίζει αν το σημείο βρίσκεται κατακόρυφα προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά $\Delta_{ΥΣ}$.

1.7.2 Τεχνική διαδικασία της χάραξης με χρήση δεκτών GNSS

Κατά τη χάραξη με χρήση δεκτών GNSS ο χρήστης μέσω του χειριστηρίου μπορεί να δει την απόσταση που καλείται να διανύσει από το σημείο που βρίσκεται ο δέκτης που χειρίζεται (rover) μέχρι να φτάσει στο επιθυμητό σημείο. Εφόσον διανύσει την απόσταση και έχει πλέον χαράξει το σημείο οριζοντιογραφικά από το τηλεχειριστήριο μπορεί να δει αν το επιθυμητό σημείο πρέπει να ανεβεί ή να κατέβει κατακόρυφα προς τα πάνω ή προς τα κάτω χαράζοντας το σημείο αυτό και υψομετρικά (βλέπε εικόνα 1.5). Ο μηχανικός που χειρίζεται το rover και το χειριστήριο κάνει όσες δοκιμές χρειάζονται μέχρι να βρει το σημείο χάραξης. Η διαδικασία γίνεται εφικτή εφόσον γνωρίζουμε το διάστημα μεταξύ των δυο δεκτών GNSS και τις συντεταγμένες του σημείου χάραξης.



Εικόνα 1.5: 3D Χάραξη με χρήση δεκτών GNSS [<https://www.skyliv.com/emild/rs2>]



Σχήμα 1.14: Τεχνική διαδικασία 3D Χάραξη σημείου με χρήση δεκτών GNSS.

1.7.3 Τεχνική διαδικασία της χάραξης με χρήση χωροβάτη

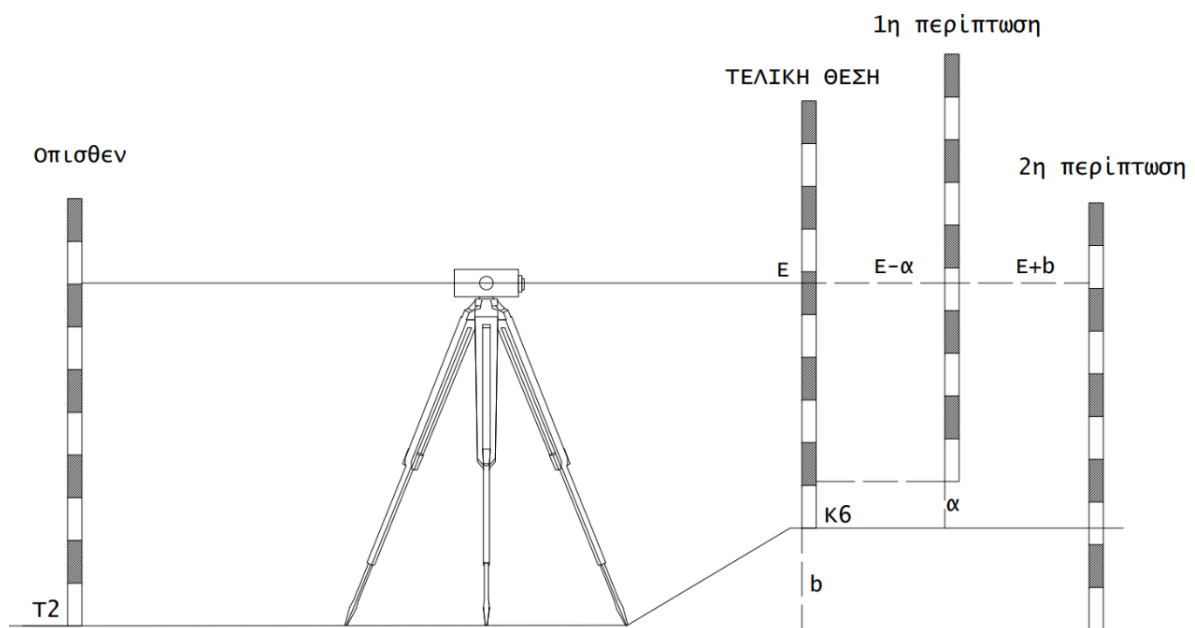
Με χρήση χωροβάτη μπορεί να γίνει μόνο υψομετρική χάραξη και εφόσον έχουν υπολογιστεί τα στοιχεία χάραξης ο μηχανικός είναι σε θέση να βγει στο πεδίο. Η τεχνική διαδικασία ξεκινάει με την τοποθέτηση της σταδίας σε κάποια γνωστή υψομετρική αφετηρία (T2) έπειτα την τοποθέτηση και οριζοντίωση του χωροβάτη σε τυχαία θέση. Γίνεται σκόπευση στη σταδία στο σημείο υψομετρικής αφετηρίας και λαμβάνεται η ανάγνωση όπισθεν (O). Τέλος η δεύτερη σταδία τοποθετείται στο σημείο προς υψομετρική χάραξη και λαμβάνεται η ανάγνωση έμπροσθεν (E). Η ανάγνωση έμπροσθεν είναι συγκεκριμένη και προκύπτει από την εξίσωση (1.10) ωστόσο αποκλείεται με την πρώτη προσπάθεια η ανάγνωση (E) να είναι η επιθυμητή και έτσι διακρίνονται δυο περιπτώσεις.

✚ 1^η περίπτωση :

Πρώτη περίπτωση είναι η ανάγνωση έμπροσθεν να είναι μικρότερη από την επιθυμητή δηλαδή η ανάγνωση στην σταδία να είναι $E-a$ όπου a ένας τυχαίος θετικός αριθμός. Έτσι προκύπτει ότι η σταδία πρέπει να μετακινηθεί κατακόρυφα προς τα κάτω κατά τιμή a ώστε να ληφθεί η επιθυμητή ανάγνωση και να επιτευχθεί η χάραξη (βλέπε σχήμα 1.15).

✚ 2^η περίπτωση :

Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται ακριβώς το αντίθετο δηλαδή λαμβάνεται ανάγνωση στην σταδία μεγαλύτερη από την επιθυμητή δηλαδή $E+b$ όπου b τυχαίος θετικός αριθμός. Στην περίπτωση αυτή η σταδία πρέπει να μετακινηθεί κατακόρυφα προς τα πάνω.



Σχήμα 1.15: Τεχνική διαδικασία υψομετρικής χάραξης σημείου με χρήση χωροβάτη.

1.8 Έλεγχος υλοποιημένων σημείων χάραξης

Με το τέλος της διαδικασίας της χάραξης στο πεδίο οφείλεται να γίνει μια ακόμα διαδικασία. Όπως κάθε άλλη γεωδαιτική εργασία έτσι και στη διαδικασία της χάραξης πρέπει να γίνει ο απαραίτητος έλεγχος. Συγκεκριμένα πρέπει να ελεγχθεί αν τα σημεία που χαράχθηκαν ορίστηκαν ορθά και συμφωνούν με τις μελέτες.

1.8.1 Τρόπου ελέγχου υλοποιημένων σημείων χάραξης

- Με απλές τοπογραφικές μετρήσεις δηλαδή με την χρήση μετροταινίας ελέγχονται οι αποστάσεις μεταξύ των υλοποιημένων σημείων ή ακόμα καλύτερα γίνεται έλεγχος από αλλά σταθερά σημεία αν αυτό είναι δυνατόν.
- Συνήθεις έλεγχος είναι αυτός της καθετότητας των σημείων. Αν θεωρήσουμε ότι 3 σημεία ορίζουν ένα ορθογώνιο τρίγωνο μετρούνται οι αποστάσεις μεταξύ των 3 πλευρών του τριγώνου οι οποίες αν το τρίγωνο είναι πράγματι ορθογώνιο πρέπει να ακολουθούν το πυθαγόρειο θεώρημα. Τέτοιοι έλεγχοι είναι πολύ συνηθισμένοι σε κτιριακές εφαρμογές όπου συνηθίζεται οι γωνίες του περιγράμματος του κτιρίου να είναι ορθές γωνίες.
- Η πιο σωστή μέθοδος ελέγχου είναι η αποτύπωση των υλοποιημένων χαραγμένων σημάδιών στο πεδίο. Όπου μετά την χάραξη ο τοπογράφος αποτυπώνει τα υλοποιημένα σημεία χάραξης παίρνει τα προτογενή δεδομένα πίσω στο γραφείο και κάνοντας τις κατάλληλες επιλύσεις προσδιορίζονται οι συντεταγμένες των σημείων αυτών οι οποίες προφανώς δεν πρέπει να έχουν καμία απόκλιση με αυτές που παρτήκαν από τις τοπογραφικές μελέτες.

1.8.2 Προκαταρκτικοί έλεγχοι πριν την έναρξη της διαδικασίας της χάραξης.

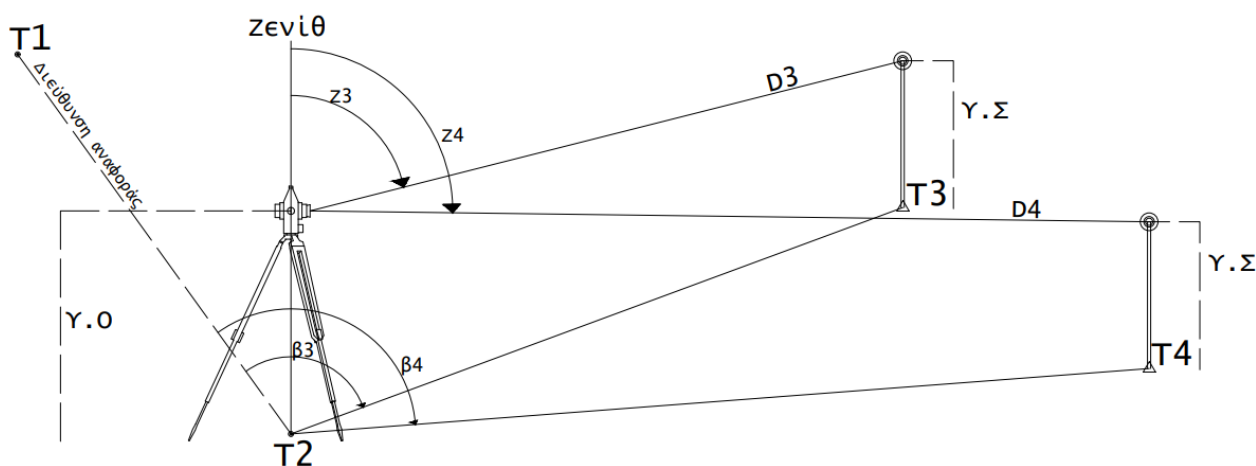
1. Φροντίδα εξοπλισμού

Όλα τα γεωδαιτικά όργανα που χρησιμοποιούνται σε τοπογραφικές εργασίες ειδικά σε εργασίες χαράξεων όπου συχνά απαιτούνται μεγάλες ακρίβειες πρέπει να είναι κατάλληλα ελεγμένα. Καλό είναι ο γεωδαιτικός εξοπλισμός να ελέγχεται αρκετές φορές το χρόνο από ειδικά μετρολογικά εργαστήρια ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία τους ειδικά όταν ο εξοπλισμός αυτός χρησιμοποιείται σχεδόν καθημερινά. Παραδείγματος χάρη οι γεωδαιτικού σταθμοί χρειάζονται τακτικό έλεγχο και

βαθμονόμηση του οριζοντίου και του κατακορύφου δίσκου όπου με τον όρο βαθμονόμηση εννοείται η τεκμηρίωση της απόκλισης ενός οργάνου συγκριτικά με την κατάσταση στην οποία θα έπρεπε να είναι.

2. Έλεγχος με τη διαδικασία χάραξης άλλων κορυφών του δικτύου.

Η καλύτερη μέθοδος ελέγχου που προοικονομεί το αν θα γίνει σωστά η χάραξη είναι η εξής και ισχύει για όλο τον γεωδαιτικό εξοπλισμό δηλαδή δέκτες GNSS, Χωροβάτες και γεωδαιτικούς σταθμούς. Στο πεδίο πριν την έναρξη της χάραξης των σημείων ενδιαφέροντος (που υλοποιούν το περίγραμμα ενός κτιρίου για παράδειγμα (σχήμα 1.2) χαράζονται πρώτα άλλες κορυφές του δικτύου που τυχόν υπάρχουν στην περιοχή. Αυτό προϋποθέτει φυσικά την εύρεση των στοιχείων χάραξης για τις κορυφές αυτές του δικτύου από πριν στο γραφείο. Με τη χρήση Δεκτών GNSS ο χειρίστης του δεύτερου δέκτη που έχει και το τηλεχειριστήριο (βλέπε εικόνα 1.5) πηγαίνει απευθείας στην υλοποιημένη κορυφή του δικτύου και τοποθετεί τον δέκτη, όπου φυσικά περιμένει να μην υπάρχει καμία απόκλιση ούτε οριζοντιογραφικά ούτε υψομετρικά. Με τη χρήση χωροβάτη έχοντας πάρει την ανάγνωση Όπισθεν από κάποια γνωστή υψομετρική αφετηρία τοποθετείται η σταδία σε άλλη γνωστή υψομετρική αφετηρία του δικτύου και λαμβάνεται η ανάγνωση Έμπροσθεν η οποία πρέπει να είναι ίδια με αυτή που έχει υπολογιστεί από τα στοιχεία χάραξης. Τέλος με τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού ο στοχοφόρος πηγαίνει απευθείας και τοποθετεί το σύστημα στυλεού-πρίσματος σε κάποια κορυφή του δικτύου όπου έπειτα ο χειρίστης του οργάνου αναμένεται να λάβει τις αναγνώσεις οριζόντιας γωνίας β , απόστασης D και ζενίθιας γωνίας Z ίδιες αυτές των στοιχείων χάραξης (σχήμα 1.16). Ο έλεγχος μπορεί να γίνει σε περισσότερες από 1 κορυφή.

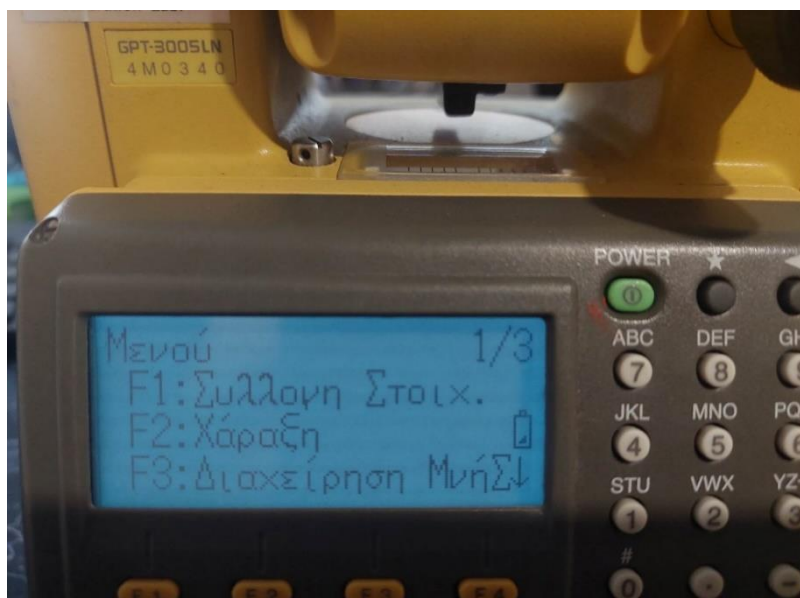


Σχήμα 1.16: Έλεγχος πριν τη χάραξη.

1.9 Λογισμικά και παρελκόμενα που επισπεύδουν τις διαδικασίες

1.9.1 Αυτόματος υπολογισμός στοιχείων χάραξης

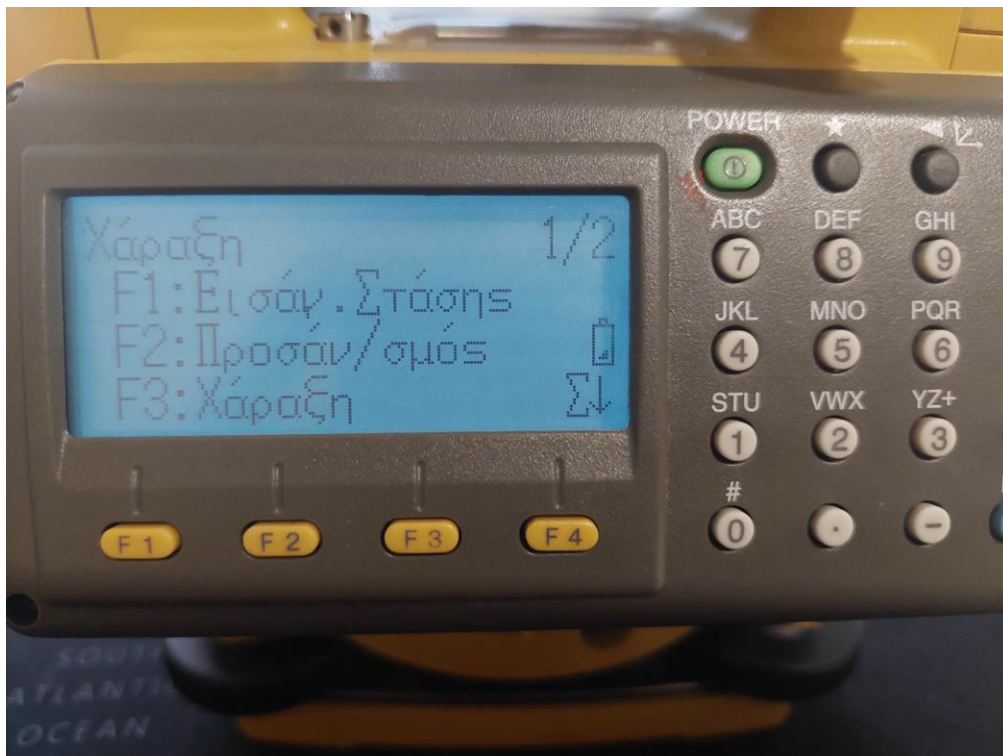
Πέρα από τους δέκτες GNSS όπου η χάραξη γίνεται με βοήθεια λογισμικών είδη εδώ και αρκετά χρόνια και οι γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν στο κεντρικό τους μενού ενσωματωμένα λογισμικά που κάνουν την διαδικασία της χάραξης πιο γρήγορη (βλέπε εικόνα 1.6). Συγκεκριμένα πλέον στον γεωδαιτικό σταθμό μπορούν να εισαχθούν οι συντεταγμένες των σημείων προς χάραξη και οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου x,y,z μαζί με την κωδική ονομασία τους μεταφέρονται μέσω κάποιου αρχείου txt από τον υπολογιστή στο όργανο.



Εικόνα 1.6: Κεντρικό Μενού γεωδαιτικού σταθμού Topcon GPT-3005LN με δυνατότητα επιλογής λογισμικού χάραξης.

Στο πεδίο ο χειρίστης του οργάνου στο λογισμικό κάνει τις εξής διαδικασίες (βλέπε εικόνα 1.7):

- Δηλώνει στο λογισμικό σε ποια κορυφή του δικτύου έχει γίνει οριζοντίωση και κέντρωση του γεωδαιτικού σταθμού και ταυτόχρονα εισάγει και το ύψος στόχου (F1: Εισαγωγή Στάσης).
- Δηλώνει σε ποια κορυφή του δικτύου θα μηδενίσει τον οριζόντιο άξονα (F2: Προσανατολισμός).
- Τέλος δηλώνει στο λογισμικό τον κωδικό του σημείου που καλείται να χαράξει έστω K6 (F3: Χάραξη).



Εικόνα 1.7: Διαδικασίες που γίνονται εσωτερικά στο λογισμικό.

Μετά από αυτές τις διαδικασίες το λογισμικό χάραξης υπολογίζει αυτόματα στο πεδίο τα στοιχεία χάραξης για το εκάστοτε σημείο (πολική γωνία, πολική απόσταση και ζενίθια γωνία). Από εκεί και πέρα ακολουθούνται οι διαδικασίες για τη χάραξη του σημείου.

Πολύ πρόσφατη προσθήκη σε πολύ συγχρόνους γεωδαιτικούς σταθμούς είναι η εισαγωγή ολόκληρου αρχείου dwg όπου ο χρήστης μπορεί από εκεί να κάνει αντίστοιχες διαδικασίες στο πεδίο για τον αυτόματο υπολογισμό των στοιχείων χάραξης.

Παράμετροι

Από τα λογισμικά χάραξης δεν παραλείπονται επιλογές παραμέτρων όπως ο συντελεστής κλίμακας K και το μέσο γεωμετρικό υψόμετρο h_m όπου χρειάζονται σε περίπτωση που η χάραξη γίνεται σε κάποιο κρατικό γεωδαιτικό σύστημα. Ο χρήστης δίνει τιμές στο λογισμικό για την τιμή K και h_m όπου μετέπειτα το λογισμικό αυτόματα κάνει τους υπολογισμούς των σχέσεων (1.6) και (1.7) και με αυτό το τρόπο προκύπτει η επιθυμητή τιμή $S_{\text{χάραξης}}$.

1.9.2 Οδηγοί χάραξης.

Οι περισσότεροι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί φέρουν ειδικούς οδηγούς χάραξης με τη βοήθεια των οποίων η χάραξη της διεύθυνσης γίνεται ευκολότερα και ταχύτερα.[Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

Οι οδηγοί είναι δυο φωτεινές πηγές ορατού laser ίδιου χρώματος ή διαφορετικού , όπου η μια πηγή είναι συνεχούς εκπομπής και η άλλη διακοπτόμενης εκπομπής και βρίσκονται κοντά στο τηλεσκόπιο του γεωδαιτικού σταθμού (βλέπε εικόνα 1.8).[Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].



Εικόνα 1.8: Οδηγοί χάραξης γεωδαιτικού σταθμού Topcon GPT-3005LN

Οι οδηγοί αυτοί καθοδηγούν το τροχοφόρο δεξιά ή αριστερά ώστε να προσεγγίσει εύκολα τη διεύθυνση χάραξης του σημείου. Έτσι επιταχύνεται η διαδικασία χάραξης της διεύθυνσης και δεν είναι απαραίτητη η συνεχής επικοινωνία με τον παρατηρητή (χειριστή του γεωδαιτικού σταθμού). [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

1.9.3 Αυτόματος υπολογισμός συντεταγμένων στάσης με χρήση πολλαπλής Οπισθοτομίας (Free Station)

Στο πεδίο ο μηχανικός πρέπει να εξασφαλίσει ότι η στάση του οργάνου έχει ορατότητα και σε άλλες κορυφές του δικτύου αλλά κυρίως ορατότητα στο χώρο όπου καλούνται να χαραχθούν τα σημεία. Η καταλληλότερη μέθοδος πύκνωσης δικτύου για την περίπτωση αυτή είναι της πολλαπλής οπισθοτομίας ή (free station) όπου το θεωρητικό της υπόβαθρο αναλύθηκε στο κεφάλαιο 1.4.3. Οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί διαθέτουν λογισμικά όπου γίνεται η μέθοδος αυτή στο πεδίο αυτόματα χωρίς να χρειάζεται ο τοπογράφος να κάνει επιλύσεις στο γραφείο (εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9: Ίδρυση νέας στάσης με την μέθοδο της Οπισθοτομίας.

Εισάγοντας στο όργανο τις συντεταγμένες άλλων κορυφών του δικτύου ο μηχανικός τοποθετεί το όργανο στο χώρο αυθαίρετα με μοναδικό κριτήριο την ορατότητα και επιλέγει στο λογισμικό την μέθοδο της οπισθοτομίας. Έπειτα δηλώνει στο όργανο τις συντεταγμένες των κορυφών που θα στοχεύσει με το γεωδαιτικό σταθμό. Με το πέρας της διαδικασίας προκύπτουν τα αποτελέσματα :

- Οι συντεταγμένες x , y , z του σημείου του οργάνου.
- Προσανατολισμός του οργάνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΧΑΡΑΞΗΣ

2.1 Γενικά περί σφαλμάτων

Για την επίτευξη χαράξεων ακρίβειας ο τοπογράφος μηχανικός οφείλει να προσδιορίσει την αβεβαιότητα (σφάλμα) με την οποία έχει χαραχθεί το ζητούμενο σημείο.

Τα σφάλματα που περιέχονται στις μετρήσεις που πραγματοποιούνται με γεωδαιτικά όργανα διακρίνονται σε :

- Χονδροειδή
- Συστηματικά
- Τυχαία

Ως χονδροειδή ορίζονται τα σφάλματα που οφείλονται κυρίως σε απροσεξία του παρατηρητή (π.χ λάθος κέντρωση του γεωδαιτικού εξοπλισμού, λάθος σκόπευση, λάθος ανάγνωση της μέτρησης). Τα σφάλματα αυτά εντοπίζονται και διορθώνονται δύσκολα, ωστόσο αποφεύγονται με την αυξημένη προσοχή κατά τη διάρκεια της μέτρησης. [Λάμπρου Ε , Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

Ως συστηματικά ορίζονται τα σφάλματα που εμφανίζουν σταθερότητα σε μέγεθος και σε πρόσημο. Αυτά συνήθως οφείλονται σε φυσικά αίτια (π.χ μεταβολές θερμοκρασίας , υγρασίας) σε ατέλειες οργάνων και στην λειτουργία των ανθρωπίνων αισθήσεων (σφάλμα σκόπευσης). [Λάμπρου Ε , Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

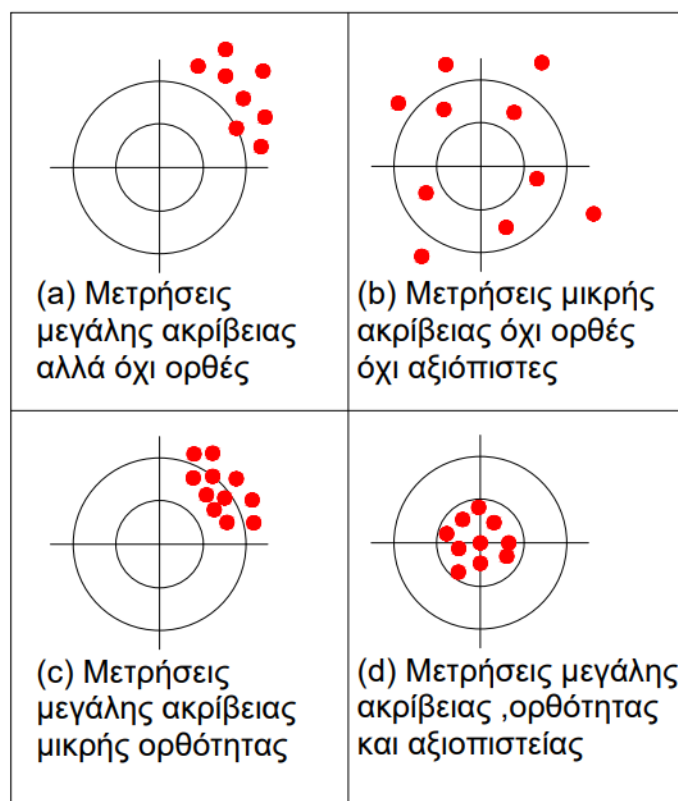
Τα συστηματικά σφάλματα υπακούουν σε κάποιο φυσικό νομό και εκφράζονται με τη βοήθεια των μαθηματικών σχέσεων. Έτσι μπορούν να υπολογιστούν και να διορθωθούν είτε μερικές φορές εφαρμόζοντας ειδική μεθοδολογία μετρήσεων, μπορούν να εξαλειφθούν ή τουλάχιστον να ελαχιστοποιηθούν. [Λάμπρου Ε , Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

Ως τυχαία ορίζονται τα σφάλματα που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια μέτρησης ενός μεγέθους με τη βοήθεια κατάλληλου οργάνου. Δεν μπορούν να υπολογιστούν και επομένως να διορθωθούν. Τα σφάλματα αυτά ακολουθούν την κανονική κατανομή (Gauss) και εκτιμώνται με μεθόδους της στατιστικής. Από την ανάλυση τους εκτιμώνται επίσης τόσο η ποιότητα των μετρήσεων όσο και η αβεβαιότητα των μεγεθών που

προκύπτουν άμεσα (μετρήσεις) ή έμμεσα (μετρήσεις – υπολογισμοί). [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

Με τον όρο ακρίβεια (precision) ή διασπορά της μέτρησης ή της τιμής ενός μεγέθους , ορίζεται η έννοια που αναφέρεται στο πόσο πλησιάζουν μεταξύ τους οι μετρήσεις που έγιναν. Εξαρτάται από την ευαισθησία του γεωδαιτικού εξοπλισμού αλλά και από την επιδεξιότητα του παρατηρητή. Μπορεί να εκτιμηθεί για ένα μέγεθος αν πραγματοποιηθούν σειρές (επαναλήψεις) μετρήσεων με το ίδιο σύστημα “ όργανο – παρατηρητής – συνθήκες”. Αναφέρεται και ως εσωτερική ακρίβεια. [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

Η ορθότητα (accuracy) της τιμής ενός μεγέθους είναι η έννοια που αναφέρεται στο πόσο οι μετρήσεις πλησιάζουν την αληθή τιμή του μεγέθους. Δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί από σειρές μετρήσεων ενός μεγέθους με το ίδιο σύστημα “ όργανο – παρατηρητής – συνθήκες ”. Αναφέρεται και ως εξωτερική ακρίβεια. [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].



Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση ακρίβειας, ορθότητας και αξιοπιστίας.

Η ακρίβεια και η ορθότητα συνθέτουν την αξιοπιστία (reliability) της μέτρησης. Είναι η πιθανότητα το αποτέλεσμα να είναι το αναμενόμενο (αληθής τιμή) (σχήμα 2.1).

Πριν βγει στο πεδίο ο μηχανικός οφείλει να κάνει μια προεκτίμηση της αβεβαιότητας με την οποία θα χαράξει χρησιμοποιώντας τον γεωδαιτικό εξοπλισμό που αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο και τις αντίστοιχες μεθόδους χάραξης. Ο λόγος που οφείλει να γίνει μια προεκτίμηση είναι διότι στις χαράξεις ακριβείας δηλαδή σε χαράξεις με μικρές αβεβαιότητες λίγων χιλιοστών κάποια από τις μεθόδους ή κάποιος εξοπλισμός μπορεί να μην αντεπεξέρχεται στις απαιτήσεις.

2.2 Καταγραφή σφαλμάτων κατά τη χρήση δεκτών GNSS.

Στην περίπτωση της χρήσης δεκτών GNSS για την διαδικασία της χάραξης διακρίνονται μια σειρά σφαλμάτων συστηματικού κυρίως χαρακτήρα που επηρεάζουν τον προσδιορισμό της θέσης. [Α. Φωτίου , Χ. Πικριδάς GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].

Τα σφάλματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- **Στα σφάλματα που σχετίζονται με τους δορυφόρους :** το σφάλμα της δορυφορικής εφημερίδας ή το σφάλμα τροχιάς , το σφάλμα ρολογιού του δορυφόρου. [Α. Φωτίου , Χ. Πικριδάς GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].
- **Στα σφάλματα που σχετίζονται με τους δέκτες :** το σφάλμα του ρολογιού του δεκτή , το σφάλμα της μεταβολής του κέντρου φάσης της κεραίας. [Α. Φωτίου , Χ. Πικριδάς GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].
- **Στα σφάλματα που σχετίζονται με τη διάδοση του σήματος:** Τα ατμοσφαιρικά σφάλματα (τροποσφαιρικό και ιονοσφαιρικό σφάλμα, ατμοσφαιρικές καθυστερήσεις), το σφάλμα της πολυανάκλασης , το σφάλμα της ολίσθησης κύκλων , καθυστερήσεις στα κυκλώματα δορυφόρου και δεκτή. [Α. Φωτίου , Χ. Πικριδάς GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].

- **Στα σφάλματα που σχετίζονται με τη διαδικασία της χάραξης:** Το σφάλμα αβεβαιότητας του γνωστού σημείου κατά την επίλυση της βάσης και τυχαία σφάλματα της παρατήρησης.

2.2.1 Σφάλματα που σχετίζονται με τους δορυφόρους.

- **Το σφάλμα της τροχιάς των δορυφόρων:** Η ποιότητα των παραμέτρων της τροχιάς των δορυφόρων επηρεάζει άμεσα την ποιότητα των αποτελεσμάτων σε κάθε εφαρμογή GPS. Το σφάλμα της τροχιάς είναι η συστηματική παρέκκλιση της θέσης και της ταχύτητας του δορυφόρου από την πραγματική θέση, τη θέση με βάση τις παρατηρήσεις για τον υπολογισμό των τροχιών και των μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται. Τονίζεται ότι σημασία έχει η συνιστώσα του σφάλματος κατά τη διεύθυνση της απόστασης δέκτη – δορυφόρου. [Α. Φωτίου, Χ. Πικριδάς GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].
- **Το σφάλμα του ρολογιού του δορυφόρου :** Το σφάλμα αυτό οφείλεται στο μη συγχρονισμό του ατομικού ρολογιού του κάθε δορυφόρου ως προς το χρόνο GPS που αποτελεί την ενιαία κλίμακα χρόνου του συστήματος. [Α. Φωτίου, Χ. Πικριδάς GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].

2.2.2 Σφάλματα που σχετίζονται με τους δέκτες

- **Το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη:** Για την παραγωγή των σημάτων – αντιγράφων και τη διατήρηση της ονομαστικής του κλίμακας χρόνου ο δέκτης χρησιμοποιεί έναν συνηθισμένο ταλαντωτή ή ρολόι. Ο μη συγχρονισμός του ρολογιού του δέκτη με την κλίμακα χρόνου GPS εκφράζεται από το αντίστοιχο σφάλμα που είναι σημαντικό. [Α. Φωτίου, Χ. Πικριδάς GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].
- **Οι μεταβολές των κέντρων φάσης της κεραίας:** Το ηλεκτρονικό κέντρο της κεραίας ή αλλιώς το κέντρο φάσης κεραίας (Antenna Phase Center) είναι το σημείο όπου γίνεται η λήψη των δορυφορικών σημάτων και στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις GPS. Τα άκρα μιας βάσης

GPS ορίζονται αρχικά από τα αντίστοιχα κέντρα φάσης των κεραιών των δεκτών. Το κέντρο φάσης δεν ταυτίζεται με το μηχανικό σημείο και λόγω των χαρακτηριστικών της κεραίας και της κατασκευαστικής της δυσκολίας δεν είναι φυσικό και σταθερό σημείο που μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Οι μεταβολές των κέντρων φάσης γύρω από μια θέση είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών και αποκτούν κρίσιμο χαρακτήρα στις μετρήσεις ακριβείας. [Α. Φωτίου , Χ. Πικριδής GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].

2.2.3 Σφάλματα που σχετίζονται με τη διάδοση του σήματος.

- **Το τροποσφαιρικό σφάλμα:** Τα τμήματα της ατμόσφαιρας της τα οποία επηρεάζουν ουσιαστικά και κατά διαφορετικό τρόπο τη διαδρομή του δορυφορικού ηλεκτρομαγνητικού σήματος, με αποτέλεσμα χρονικές καθυστερήσεις λόγω της μείωσης της ταχύτητας διάδοσης και της καμπυλότητας της τροχιάς από την αλλαγή της κατεύθυνσης σε σχέση με την ευθύγραμμη διαδρομή στο κενό. [Α. Φωτίου , Χ. Πικριδής GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].
- **Το ιονοσφαιρικό σφάλμα:** Η ιονόσφαιρα είναι το τμήμα της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από 50 έως 1000 km πάνω από τη γήινη επιφάνεια και χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ιονιζόντων αερίων (O_2 , H_2 , He , N_2), κυρίως ελεύθερων ηλεκτρονίων και θετικών ιόντων. Η ιονόσφαιρα αποτελεί μέσο διασποράς για το σήμα GPS. [Α. Φωτίου , Χ. Πικριδής GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ]
- **Το σφάλμα πολυανάκλασης:** Πολυανάκλαση είναι το φαινόμενο όπου το ίδιο δορυφορικό σήμα λαμβάνεται και από άλλη ή άλλες έμμεσες διαδρομές εκτός από την κανονική του πορεία εξαιτίας της ανάκλασης του σε γειτονικές επιφάνειες παραδείγματος χάρη επιφάνειες κτιρίων, δαπέδων, αντικειμένων. Έτσι το σήμα ακολουθώντας μεγαλύτερη διαδρομή από την κανονική καθυστερεί και επηρεάζει τη διαδικασία συσχέτισης για την εξαγωγή των παρατηρήσεων GPS. Η επίδραση αυτή ονομάζεται σφάλμα πολυανάκλασης. [Α. Φωτίου , Χ. Πικριδής GPS και ΓΕΩΔΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ].

2.2.4 Σφάλματα που σχετίζονται με τη διαδικασία της χάραξης

- **Το σφάλμα της αβεβαιότητας του γνωστού σημείου:** Όταν ο δέκτης οριζοντιώνεται και κεντρώνεται σε κάποιο σταθερό σημείο γνωστών συντεταγμένων ελλοχεύει το σφάλμα κέντρωσης και οριζοντίωσης με αποτέλεσμα να επηρεάζονται τα διανύσματα (Δx , Δy , Δz). Επίσης καθοριστικό ρόλο παίζει η ακρίβεια με την οποία έχουν προσδιοριστεί οι συντεταγμένες του σταθερού σημείου αυτού.
- **Το σφάλμα υπολογισμού ύψους κεραίας:** Σφάλματα υπολογισμού του ύψους κεραίας δηλαδή το ύψος το πρώτου δέκτη όπως αυτός βρίσκεται κατακόρυφα προς τα πάνω από το υλοποιημένο σημείο γνωστών συντεταγμένων. Σφάλμα υπολογισμού του ύψους του δεύτερου δέκτη που βρίσκεται πάνω στον στυλεό.

Έχοντας καταγράψει τα σφάλματα κατά τη διαδικασία της χάραξης με δέκτες GNSS προκύπτει ότι συνολικά οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν είναι αυτές των μερικών εκατοστών και υψομετρικά έως και πολλών εκατοστών. Χαράξεις τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται σε έργα όπου υπάρχει ανοχή για τέτοιες αβεβαιότητες όπως για παράδειγμα έργα οδοποιίας. Γενικά οι χαράξεις με χρήση δεκτών GNSS δεν ανήκουν στην κατηγορία χαράξεων ακρίβειας.

2.3 Καταγραφή σφαλμάτων κατά τη χρήση χωροβάτη.

Κατά τη χρήση χωροβατών για τη διαδικασία της υψομετρικής χάραξης οφείλουν να επισημανθούν μια σειρά σφαλμάτων τα οποία είναι τα εξής και οφείλονται

- ❖ Στο χωροβάτη
- ❖ Στις σταδίες
- ❖ Στις συνθήκες της ατμόσφαιρας
- ❖ Στον παρατηρητή

- **Το σφάλμα παρατηρητή:** Οφείλεται στις αναγνώσεις που λαμβάνει ο παρατηρητής στη σταδία οι οποίες εμπεριέχουν κάποια αβεβαιότητα. Σήμερα που χρησιμοποιούνται κυρίως ψηφιακοί χωροβάτες το σφάλμα αυτό ελαχιστοποιείται.

- **Σφάλματα που οφείλονται στο χωροβάτη:** Οφείλονται σε μη ακριβή οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα και μη τοποθέτησης της σφαιρικής αεροστάθμης στο κανονικό της σημείο. Ωστόσο πλέον με τη χρήση ψηφιακών χωροβατών υπάρχουν εσωτερικά συστήματα ελέγχου όπου απαγορεύουν στο χρήστη τη λήψη μέτρησης αν δεν είναι ορθά οριζοντιωμένο το όργανο.
- **Σφάλματα που οφείλονται στις σταδίες:** Οφείλονται στην μη κατακόρυφη τοποθέτηση τους στο πεδίο , λόγω φθορών και στον ορισμό της μηδενικής υποδιαίρεσής τους. Με τη χρήση ψηφιακών χωροβατών υπάρχει σύστημα ελέγχου που απαγορεύει στο χρήστη να πάρει μέτρηση αν οι σταδίες δεν είναι τοποθετημένες κατακόρυφα.

Το σφάλμα του ορισμού του μηδενός της κλίμακας στο κάτω άκρο της σταδίας μπορεί αν εξαλειφθεί αν χρησιμοποιηθεί η ίδια σταδία στο αρχικό (γνωστή υψομετρική αφετηρία) και στο τελικό σημείου προς χάραξη. [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

- **Σφάλματα που οφείλονται στις συνθήκες της ατμόσφαιρας:** Τα σφάλματα αυτά μπορούν να εξαλειφθούν επιλέγοντας οι αποστάσεις μεταξύ του χωροβάτη και της σταδίας στις θέσεις όπισθεν και εμπροσθεν να είναι περίπου ίσες. Δηλαδή ο χωροβάτης να τοποθετείται πάντοτε σε σημείο της μεσοκαθέτου της ευθυγραμμίας που ορίζουν οι θέσεις των σταδίων. [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

Επειδή αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό να συμβεί ο χωροβάτης πρέπει να ελέγχεται για τυχόν αποκλίσεις του σκοπευτικού του άξονα από την ορθή θέση. Ο έλεγχος που γίνεται είναι γνωστός ως έλεγχος μέσου - άκρου και είναι πολύ σημαντικό να εκτελείται πάντοτε πριν τη χρήση του χωροβάτη. [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

2.3.1 Υπολογισμός της αβεβαιότητας στις μετρήσεις με χωροβάτη.

Για τον προσδιορισμό του σφάλματος της υψομετρικής διαφοράς με τη χρήση του χωροβάτη κατά τη χάραξη χρησιμοποιείται ο νόμος μετάδοσης σφαλμάτων στις αναγνώσεις όπισθεν και εμπροσθεν:

$$\sigma_{\Delta H} = \pm \sqrt{\sigma_O^2 + \sigma_E^2} \quad (2.1)$$

Αν θεωρηθεί ότι η αβεβαιότητα και τις δυο αναγνώσεις είναι ίδια δηλαδή $\sigma_O = \sigma_E = \sigma_a$ τότε η εξίσωση (2.1) γίνεται:

$$\sigma_{\Delta H} = \pm\sqrt{2} \cdot \sigma_a \quad (2.2)$$

Με τη χρήση ψηφιακών χωροβατών είναι πιθανό να η αβεβαιότητα σ_a να είναι 0.1 mm. Φυσικά πρέπει να ληφθεί υπόψη και η αβεβαιότητα που έχει η υψομετρική αφετηρία από όπου λήφθηκε η ανάγνωση όπισθεν. Η τιμή της αβεβαιότητας της υψομετρικής αφετηρίας προκύπτει από τον πίνακα μεταβλητότητας συμεταβλητότητας κατά την επίλυση του δικτύου.

Συνοψίζοντας μια υψομετρική χάραξη με τη χρήση χωροβάτη μπορεί να θεωρηθεί χάραξη ακριβείας αφού δίνει αποτελέσματα με αβεβαιότητα λίγων χιλιοστών ωστόσο η χάραξη αυτή δεν είναι τριδιάστατη είναι μονοδιάστατη πράγμα που σημαίνει ότι για να χαραχθεί και οριζοντιογραφικά κάποιο σημείο χρειάζεται η χρήση κάποιου επιπλέον γεωδαιτικού εξοπλισμού στο πεδίο αυξάνοντας έτσι το κόστος.

2.4 Καταγραφή σφαλμάτων κατά τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών.

Κατά τη διαδικασία της χάραξης με χρήση γεωδαιτικών σταθμών (total station) τα σφάλματα διακρίνονται κυρίως σε αυτά που οφείλονται στις αβεβαιότητες που δίνει ο κατασκευαστής για τα όργανα (συστηματικά σφάλματα) και σε χονδροειδή σφάλματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, δηλαδή της χάραξης.

2.4.1 Αβεβαιότητες που δίνει κατασκευαστής για τα όργανα

Η επιλογή γεωδαιτικού σταθμού προκαταρκτικά της χάραξης γίνεται με κριτήριο τις αβεβαιότητες που δίνει ο κατασκευαστής για τα μετρούμενα μεγέθη δηλαδή τις οριζόντιες γωνίες, τις κεκλιμένες αποστάσεις και κατακόρυφες γωνίες και ανάλογα τις ακρίβειες που πρέπει να επιτευχθούν στη χάραξη γίνεται και αντίστοιχη επιλογή γεωδαιτικού σταθμού. Προφανώς όσο μεγαλύτερες οι ακρίβειες που παρέχει ο γεωδαιτικός σταθμός τόσο μεγαλύτερο είναι και το κόστος του.

2.4.1.1 Αβεβαιότητες στις διευθύνσεις (γωνίες)

Οι εταιρίες κατασκευής γεωδαιτικών σταθμών συμβολίζουν την αβεβαιότητα στη μέτρηση διευθύνσεων στους γεωδαιτικούς σταθμούς σε δευτερόλεπτα της μοίρας όπου για παράδειγμα :

$$1'' = 3^{cc}$$

Η ακρίβεια στις γωνίες σε έναν γεωδαιτικό σταθμό εξαρτάται από την ποιότητα κατασκευής των δίσκων εσωτερικά του οργάνου και την ποιότητα και τον αριθμό των αισθητήρων ανάγνωσης όπου λαμβάνουν τις αναγνώσεις από τους δίσκους αυτούς.

Κατασκευαστικά η ελάχιστη αβεβαιότητα γωνιακά σε έναν γεωδαιτικό σταθμό είναι μισό δευτερόλεπτο δηλαδή $0.5'' = \pm 1.5^{cc}$.

Συνηθίζεται από τις εταιρίες η ακρίβεια μέτρησης της διεύθυνσης σε δευτερόλεπτο της μοίρας να αναγράφεται στο τελευταίο ψηφίο του ονόματος του γεωδαιτικού σταθμού. Παραδείγματος χάρη στην εικόνα 1.6 απεικονίζεται ο γεωδαιτικός σταθμός Topcon GPT 3005 αυτό συνεπάγεται ότι το όργανο αυτό είναι 5 δευτερολέπτων δηλαδή έχει αβεβαιότητα στις διευθύνσεις $\pm 15^{cc}$.

Οι αβεβαιότητες αυτές προφανώς λοιπόν ισχύουν και για τις οριζόντιες και για τις κατακόρυφες γωνίες.

2.4.1.2 Αβεβαιότητες στα μήκη

Οι εταιρίες κατασκευής γεωδαιτικών σταθμών συμβολίζουν την αβεβαιότητα στην μέτρηση μηκών με τη μορφή:

$$\pm a \text{ mm} + b \text{ ppm}$$

- Η τιμή a είναι σταθερή και δεν εξαρτάται από το μέγεθος του μετρούμενου μήκους.
- Η τιμή b είναι εξαρτώμενη από το μέγεθος του μήκους και τα ppm (parts per million) σημαίνουν μέρη στο εκατομμύριο κοινός αυτό μεταφράζεται ότι υπάρχει αβεβαιότητα b χιλιοστά στο χιλιόμετρο.

Άρα προκύπτει ότι για ένα μήκος D (σε m) με την χρήση γεωδαιτικού σταθμού το σφάλμα του μήκους προκύπτει από τον τύπο :

$$\sigma_{D(mm)} = \pm \sqrt{a^2 + (b \cdot D \cdot 10^{-3})^2} \quad (2.3)$$

2.4.2 Αβεβαιότητες που προκύπτουν κατά τη διαδικασία χάραξης

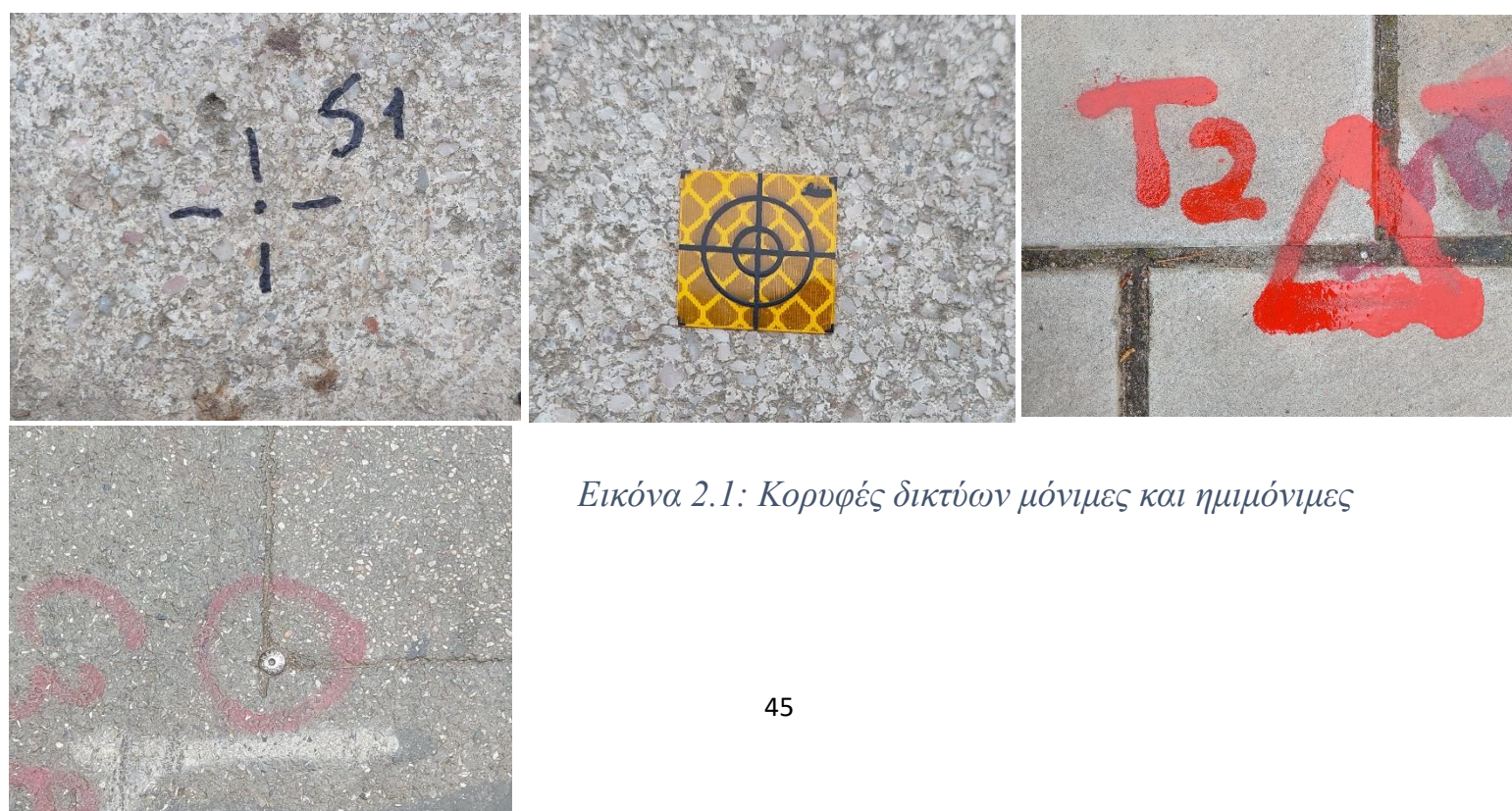
Ανεξάρτητα από την επιλογή γεωδαιτικού σταθμού για την επίτευξη χαράξεων ακριβείας υπάρχουν κάποιες διαδικασίες που γίνονται κατά την διάρκεια της χάραξης όπου επηρεάζουν τα αποτελέσματα προς το χειρότερο δηλαδή γίνεται λόγος για χονδροειδή σφάλματα που αυξάνουν την αβεβαιότητα του σημείου προς χάραξη. Συγκεκριμένα τα σφάλματα αυτά είναι :

- Η κέντρωση του οργάνου σε κάποια κορυφή του δικτύου και σφάλμα της κορυφής αυτής.
- Υπολογισμός του ύψους οργάνου.
- Σφάλμα σκόπευσης από τον χειριστή του γεωδαιτικού σταθμού.
- Η κατακορύφωση των στόχων (σύστημα στυλεού – πρίσματος) και το ύψος του στόχου αυτού.

Τα σφάλματα αυτά εφαρμόζοντας συγκεκριμένες διαδικασίες είναι πιθανό να εξαλειφθούν ή να μειωθούν σημαντικά.

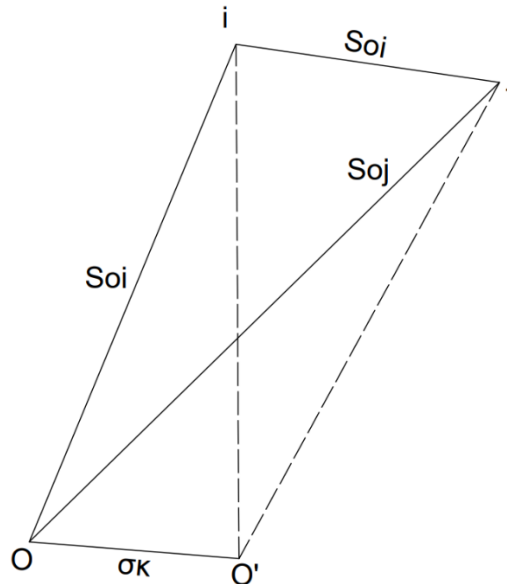
2.4.2.1 Σφάλμα κέντρωσης του οργάνου.

Η σήμανση των κορυφών ενός δικτύου είναι συνήθως μόνιμη ή και σε περιπτώσεις ημιμόνιμη (εικόνα 2.1). Σε κάθε περίπτωση όσο έμπειρος και να είναι ο χειριστής του γεωδαιτικού σταθμού ποτέ δεν μπορεί να υπάρξει βεβαιότητα ότι έχει γίνει τέλεια η οριζοντίωση και η κέντρωση του οργάνου πάνω στο σημείο.



Εικόνα 2.1: Κορυφές δικτύων μόνιμες και ημιμόνιμες

Η λάθος κέντρωση του οργάνου κατά σ_k προσδίδει σφάλμα στην οριζόντια γωνία που μετράται. Δηλαδή ο γεωδαιτικός σταθμός από την θέση O που έπρεπε να έχει οριζοντιωθεί και κεντρωθεί είναι τοποθετημένος στην θέση O' . Συνεπάγεται λοιπόν ότι η γωνία iOj “μετατρέπεται” σε $iO'j$ (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Σχηματική παράσταση σφάλματος κέντρωσης οργάνου.

Το σφάλμα σε μια γωνία εξαιτίας της εσφαλμένης κέντρωσης περιγράφεται από τον τύπο:

$$\sigma^{cc} = \pm \frac{\sigma_k \cdot S_{ij}}{S_{oi} \cdot S_{oj}} \cdot \rho^{cc} \quad (2.4)$$

Αν θεωρηθεί ότι $S_{oi} = S_{oj} = S_{ij} = S$ τότε στον παρακάτω πίνακα 2.1 φαίνεται το σφάλμα της οριζόντιας γωνίας ανάλογα την τιμή σ_k και για τιμές S σχετικά μικρές μιας και δεν συνηθίζεται να γίνονται χαράξεις σε μεγάλες αποστάσεις.

σ_k S	±1 mm	±2 mm	±5 mm
10 m	± 63 ^{cc}	± 127 ^{cc}	± 318 ^{cc}
20 m	± 32 ^{cc}	± 64 ^{cc}	± 159 ^{cc}
50 m	± 13 ^{cc}	± 25 ^{cc}	± 64 ^{cc}
100 m	± 6 ^{cc}	± 13 ^{cc}	± 32 ^{cc}
150 m	± 4 ^{cc}	± 8 ^{cc}	± 21 ^{cc}

Πίνακας 2.1: Μεταβολή του σφάλματος στη μέτρηση της γωνίας λόγω του σφάλματος κέντρωσης του οργάνου.

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 2.1 το σφάλμα κέντρωσης του οργάνου επηρεάζει πολύ τις μετρήσεις γωνιών που γίνονται σε μικρές αποστάσεις. Για το λόγο αυτό την λύση στις μετρήσεις – χαράξεις ακριβείας φέρνει η μέθοδος εξαναγκασμένης κέντρωσης του οργάνου όπου εξασφαλίζει σφάλμα στην κέντρωση $\pm 0.1\text{mm}$. . [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

Για την επίτευξη της εξαναγκασμένης κέντρωσης απαραίτητη είναι η δημιουργία κατασκευών συνήθως βάθρα από οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλικές κατασκευές με αυξημένη ακαμψία. Τα βάθρα αυτά φέρουν στην άνω επιφάνεια τους (στέψη) ειδική κατασκευή η οποία εξασφαλίζει την κέντρωση γεωδαιτών οργάνων και στόχων με υψηλή ακρίβεια (βλέπε εικόνα 2.2 – 2.3). [ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ Ε. ΤΕΛΕΙΩΝΗ].



Εικόνα 2.2: Βάθρα από οπλισμένο σκυρόδεμα που φέρουν στην στέψη τους κατασκευή για εξαναγκασμένη κέντρωση γεωδαιτικών σταθμών και στόχων. (Βάθρα Αερολιμένα Αθηνών)



Εικόνα 2.3: Εξαναγκασμένη κέντρωση γεωδαιτικού σταθμού πάνω σε μεταλλική κατασκευή. (Σήραγγα μετρό Σταθμός Κατεχάκη).

Με την χρήση της εξαναγκασμένης κέντρωσης απαλείφονται σχεδόν τελείως σφάλματα που αφορούν την κέντρωση του γεωδαιτικού σταθμού και συνεπώς τις μετρήσεις που θα ληφθούν από εκεί και πέρα. Επίσης αν χρησιμοποιηθούν οι κατασκευές αυτές και για την πύκνωση του δικτύου η αβεβαιότητα των συντεταγμένων των κορυφών θα είναι επίσης πολύ μικρή.

2.4.2.2 Σφάλμα προσδιορισμού ύψους στόχου οργάνου.

Για την επίτευξη τριδιάστατης χάραξης είναι απαραίτητης ο υπολογισμός του ύψους οργάνου ώστε να γίνει ο υπολογισμός των στοιχείων χάραξης και μετέπειτα η ίδια η χάραξη. Ο υπολογισμός του ύψους οργάνου συνήθως για λόγους ταχύτητας γίνεται με την χρήση μετροταινίας όπου με την μέθοδό αυτή η αβεβαιότητα προσδιορισμού του ύψους οργάνου είναι της τάξης αρκετών χιλιοστών 2mm-5mm όπου το σφάλμα του μεταφέρεται ακέραιο στην αβεβαιότητα προσδιορισμού του υψομέτρου της χάραξης.

Σε όλους τους γεωδαιτικούς σταθμούς υπάρχει συγκεκριμένη σήμανση από την οποία γίνεται η μέτρηση του ύψους οργάνου (εικόνα 1.4). Η διαδικασία μέτρησης του ύψους οργάνου γίνονται αφού πρώτα έχουν ολοκληρωθεί οι διαδικασίες της κέντρωσης και της οριζοντίωσης προφανώς.



Εικόνα 2.4: Σημείο μέτρησης ύψους οργάνου γεωδαιτικού σταθμού Topcon GPT-3005LN

Για την επίτευξη χαράξεων ακριβείας είναι επιτακτικός ο υπολογισμός του ύψους οργάνου με μεγάλη ακρίβεια. Αυτό επιτυγχάνεται με τις παρακάτω μεθόδους.

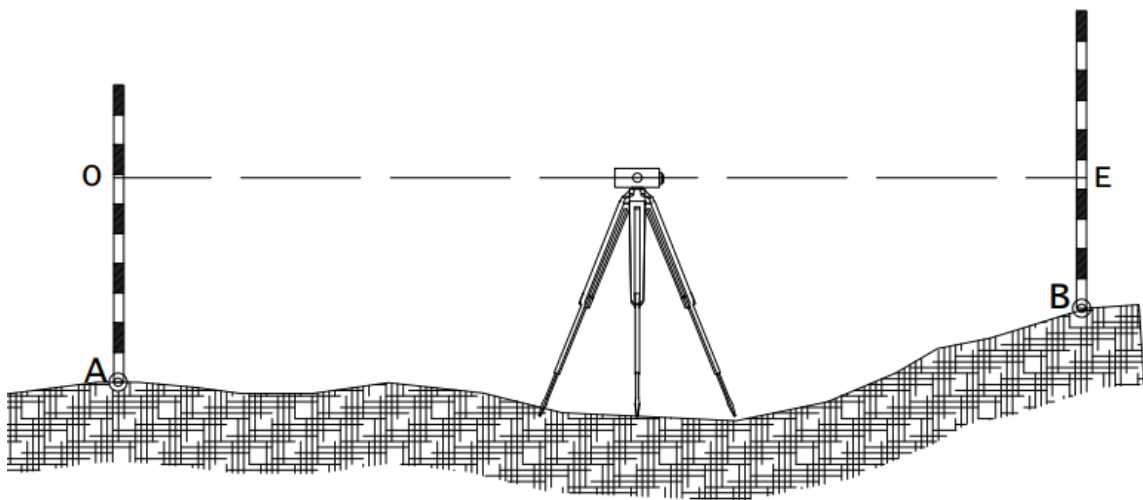
✚ 1^η Μέθοδος.

Ο υπολογισμός του ύψους οργάνου μπορεί να γίνει με τη χρήση χωροβάτη 2 σταδίων και του γεωδαιτικού σταθμού. Έχοντας στον χώρο μια στάση A και ενός τυχαίου σημείου B γίνεται η εξής διαδικασία σε 2 φάσεις.

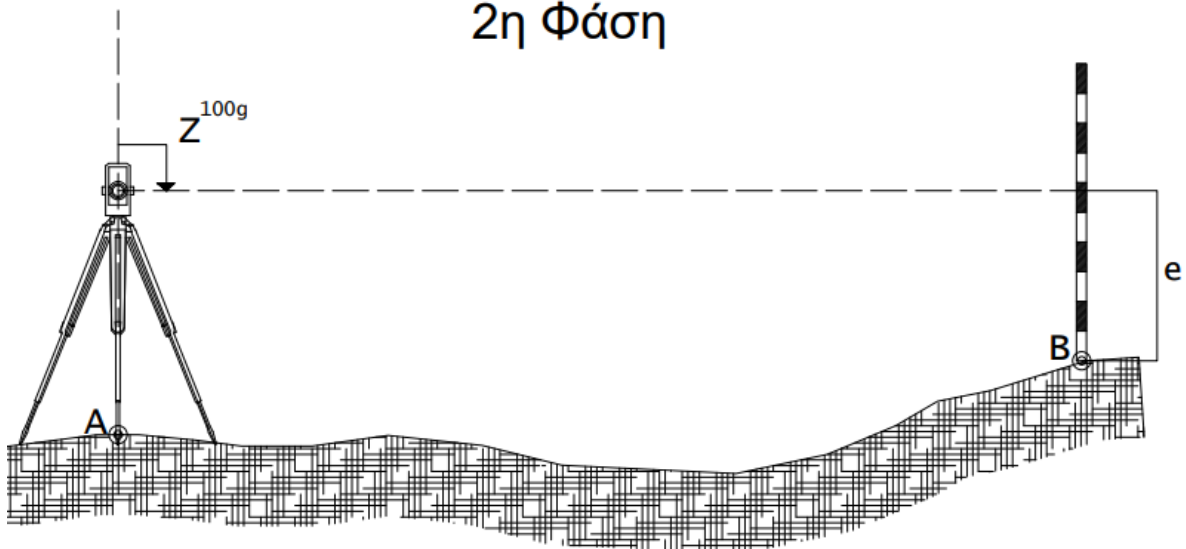
Στην πρώτη φάση τοποθετείται η μια σταδία στο σημείο A και η δεύτερη στο σημείο B και με τη χρήση χωροβάτη που τοποθετείται στην μεσοκάθετο λαμβάνονται οι αναγνώσεις Όπισθεν και Έμπροσθεν.

Στην δεύτερη φάση απομακρύνεται ο χωροβάτης και έπειτα φεύγει η σταδία από το σημείο Α. Έπειτα ο γεωδαιτικός σταθμός οριζοντιώνεται και κεντρώνεται στο σημείο Α και χρησιμοποιείται ως χωροβάτης δηλαδή πακτώνεται ο κατακόρυφος άξονας του οργάνου στους 100° και λαμβάνεται από τον παρατηρητή η ανάγνωση στην σταδία e^1 σε πρώτη θέση οργάνου και ανάγνωση e^2 σε δεύτερη θέση οργάνου 300° (σχήμα 2.3). Όπου έπειτα από τις αναγνώσεις e^1 και e^2 βγαίνει ο μέσος όρος.

1η Φάση



2η Φάση



Σχήμα 2.3: Ακριβής προσδιορισμός του ύψους οργάνου γεωδαιτικού σταθμού με χρήση χωροβάτη.

Στην πρώτη φάση λοιπόν υπολογίζεται η υψομετρική διαφορά $\Delta H_{AB} = O - E$ και στην δεύτερη η τιμή e όπως αυτή προκύπτει από τον μέσο ορό των δυο αναγνώσεων. Προκύπτει λοιπόν ότι το Ύψος Οργάνου (Υ.Ο) υπολογίζεται ως άθροισμα $Υ.Ο = \Delta H_{AB} + e$.

Σε αυτή την περίπτωση η αβεβαιότητα προσδιορισμού του ύψους οργάνου είναι ίση περίπου με $\pm 0.3\text{mm}$ αν θεωρηθεί ότι:

- Η αβεβαιότητα των αναγνώσεων πάνω στη σταδία είναι $\pm 0.1\text{mm}$ χρησιμοποιώντας ψηφιακό χωροβάτη και σταδίες.
- Η αβεβαιότητα ανάγνωσης e του παρατηρητή πάνω στη σταδία μέσω του γεωδαιτικού σταθμού είναι $\pm 0.25\text{mm}$ [Λάμπρου Ε , Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

2^η Μέθοδος.

Ταχύτερος τρόπος μέτρησης του ύψους οργάνου με αρκετά μεγάλη ακρίβεια επιτυγχάνεται με μια πρόσφατη κατασκευαστική προσθήκη στους γεωδαιτικούς σταθμούς της εταιρίας Leica. Πλέον τοποθετείται laser που τοποθετείται στο κάτω μέρος του γεωδαιτικού σταθμού το οποίο στην πραγματικότητα είναι ένα αποστασιόμετρο (EDM). Με την προσθήκη αυτή επιτυγχάνονται:

- Βοήθεια κατά στην κέντρωση του οργάνου λόγω της φωτεινής ένδειξης στο έδαφος (pointer)
- Αυτόματη μέτρηση του ύψους οργάνου χρησιμοποιώντας το EDM.

[Leica AutoHeight Feature White Paper]

Η λειτουργία Autoheight μπορεί να δώσει αποτέλεσμα για το ύψος οργάνου και να πάρει μέτρηση σε οποιαδήποτε επιφάνεια και δεν απαιτείται η χρήση συγκεκριμένου στόχου. Γενικά η διαδικασία αυτή δεν έχει μεγάλες διαφορές από τη λειτουργία reflectorless των οργάνων. Το ύψος μετράτε πάντα εκεί που το ορατό laser (pointer) βρίσκει το έδαφος και η τιμή του Υ.Ο εισέρχεται αυτόματα στο λογισμικό του οργάνου.

Σε περίπτωση που το τρικόχλιο του οργάνου δεν είναι καλά ισορροπημένο εμφανίζεται από το λογισμικό του οργάνου προειδοποιητικό μήνυμα στον χρήστη ότι ενδεχομένως να υπάρξει πρόβλημα με τη μέτρηση. [Leica AutoHeight Feature White Paper]

Με την λειτουργία Autoheight η μέτρηση του Υ.Ο επιτυγχάνεται εύκολα με την χρήση ενός πλήκτρου και με αποτέλεσμα να υπάρχουν τα εξής οφέλη:

- Δεν σπαταλάται χρόνος στο πεδίο κατά την μέτρηση με την μετροταινία
- Το Ύψος Οργάνου μετράται με ταχύτητα και ακρίβεια
- Δεν υπάρχουν λάθη στη χειροκίνητη ανάγνωση και πληκτρολόγηση της μέτρησης
- Δεν υπάρχει άλλος πρόσθετος εξοπλισμός για φροντίδα.

[Leica AutoHeight Feature White Paper]



Εικόνα 2.5: Μέτρηση Ύψους Οργάνου με χρήση γεωδαιτικού σταθμού της Leica [Leica Autoheight Feature white paper]

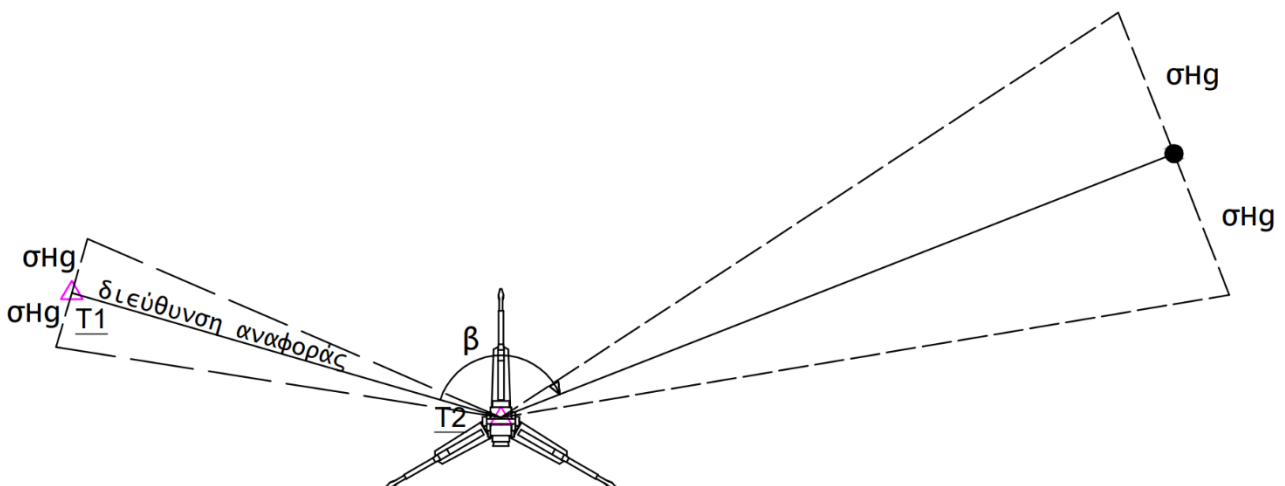
Οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση του Autoheight είναι $\pm 1\text{mm}$ στο Υ.Ο.

Η εμβέλεια λειτουργίας του Autoheight είναι από 0.7m έως 2.7m και ο χρόνος μέτρησης είναι μικρότερος των 3 δευτερολέπτων. [Leica AutoHeight Feature White Paper].

2.4.2.3 Σφάλμα σκόπευσης κατά τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού

Αν γίνει η υπόθεση ότι το σύστημα στείλεου – πρίσματος είναι τοποθετημένο τελείως κατακόρυφα δηλαδή η μύτη του στείλεού που ακουμπάει στο έδαφος βρίσκεται στην ίδια ευθεία κατακόρυφα με το κέντρο του πρίσματος δουλειά του χειριστή του γεωδαιτικού σταθμού είναι η σκόπευση ακριβώς στο κέντρο αυτού του συστήματος. Η εργασία αυτή γίνεται χειροκίνητα και εξαρτάται τελείως από τον ανθρώπινο παράγοντα. Φυσικά η διαδικασία αυτή είναι σχεδόν αδύνατο να είναι τέλεια και απεργάδιαστη με αποτέλεσμα να προκύπτουν γωνιακά σφάλματα.

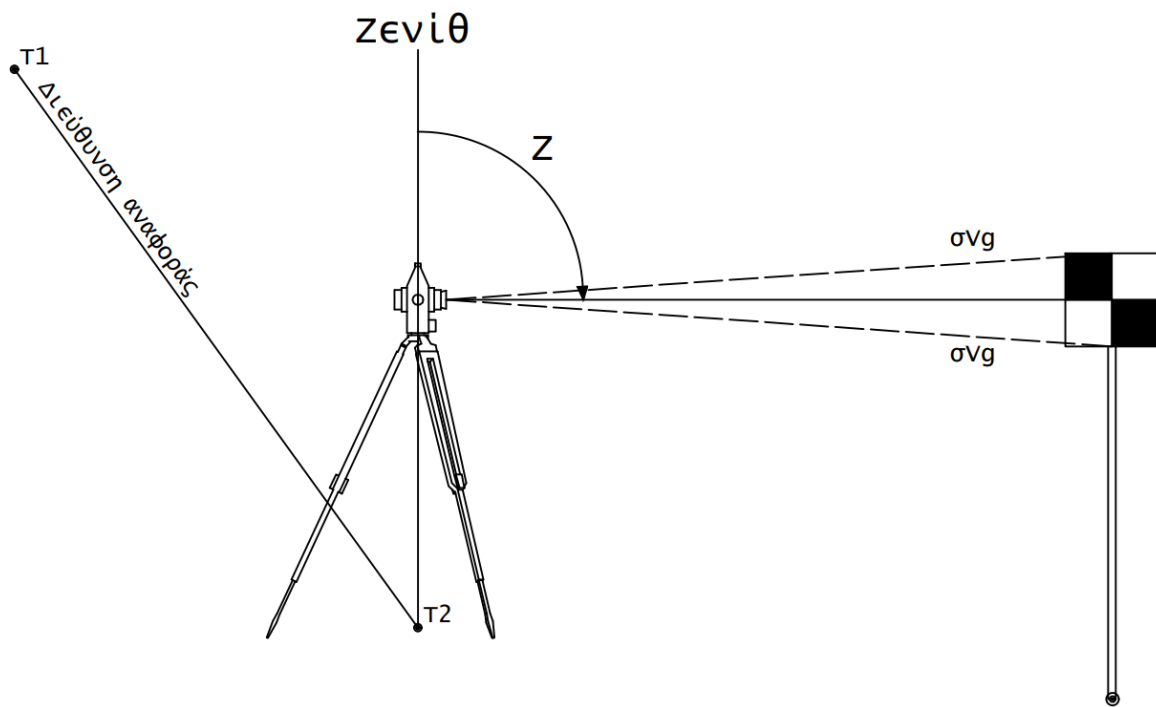
Τα γωνιακά σφάλματα που προκύπτουν αφορούν την οριζόντια και την κατακόρυφη γωνιά τα οποία επηρεάζουν την τριδιάστατη χάραξη (σχήματα 2.4 και 2.5 αντίστοιχα). Αν γίνει η υπόθεση ότι κατά την διαδικασία της χάραξης χρησιμοποιούνται εξαναγκασμένες κεντρώσεις τότε θεωρούμε ότι εξαλείφεται τελείως το σφάλμα κέντρωσης ωστόσο οι αβεβαιότητες στην οριζόντια γωνία προκαλούν πρόβλημα και στην διεύθυνση αναφοράς κατά την χάραξη.



Σχήμα 2.4: Αβεβαιότητα μέτρησης οριζόντιων γωνιών εξαιτίας σφάλματος σκόπευσης.

Εξαιτίας του ότι η σκόπευση γίνεται χειροκίνητα προκύπτουν σφάλματα στις οριζόντιες γωνίες και συνεπώς στον προσδιορισμό της διεύθυνσης αναφοράς με αποτέλεσμα να προκύπτει σφάλμα στρέψεως όλων των σημείων που θα χαραχθούν από την συγκεκριμένη στάση αλλά και γενικότερα σφάλματα στην χάραξη των ίδιων των σημείων χάραξης. (σχήμα 2.4).

Αντίστοιχα εξαιτίας του σφάλματος σκόπευσης προκύπτουν αβεβαιότητες και στις κατακόρυφες γωνίες. (σχήμα 2.5).

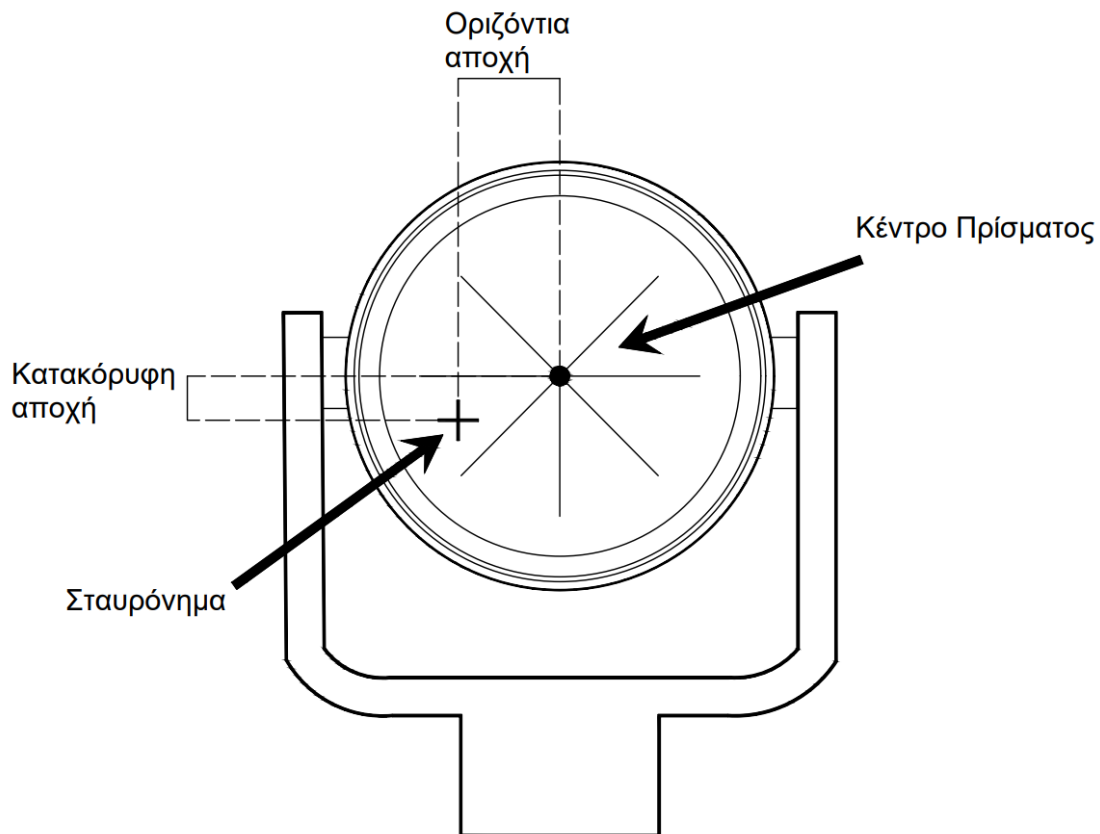


Σχήμα 2.5: Αβεβαιότητα μέτρησης κατακόρυφων γωνιών εξαιτίας σφάλματος σκόπευσης.

Η αβεβαιότητα στις κατακόρυφες γωνίες συνεπάγεται με αβεβαιότητες στην υψομετρική χάραξη χρησιμοποιώντας γεωδαιτικούς σταθμούς.

Σε περίπτωση που για την υψομετρική χάραξη χρησιμοποιείται η μέθοδος Missing Line Measurement που αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο τότε υπάρχει αβεβαιότητα και στην μετρούμενη κατακόρυφη γωνία προς το σημείο γνωστής υψομετρικής αφετηρίας και προς το σημείο προς χάραξη.

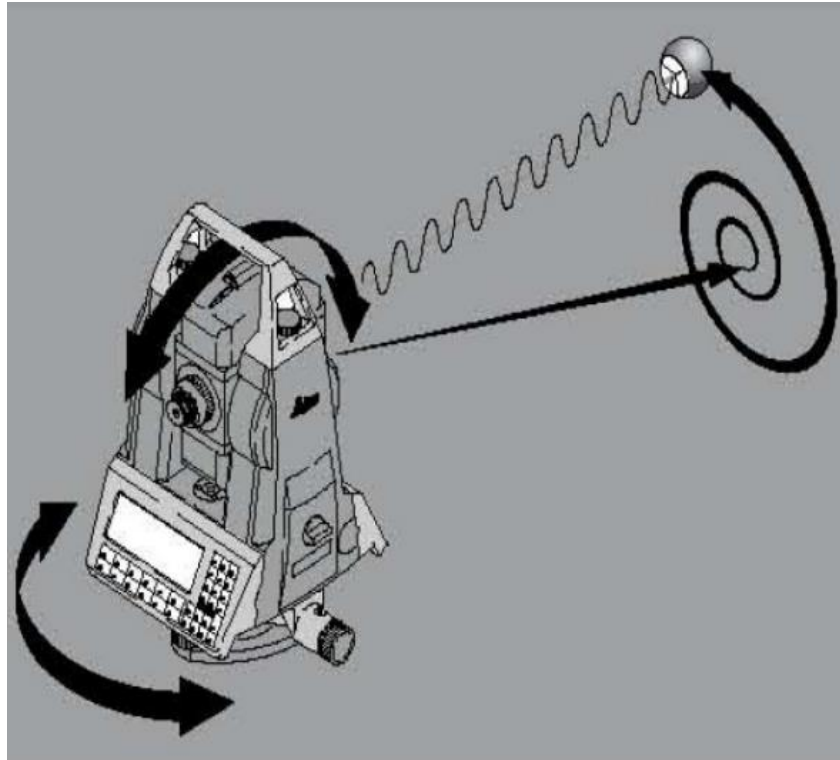
Στο σχήμα 2.6 της παρακάτω σελίδας παρουσιάζεται ένα τυπικό σκαρίφημα λάθος σκόπευσης από χειριστή γεωδαιτικού σταθμού. Στο σχήμα αυτό φαίνεται η οριζόντια αποχή από το κέντρο του πρίσματος το οποίο όπως αναφέρθηκε έχει επιπτώσεις οριζοντιογραφικά στον υπολογισμό της διεύθυνσης αναφοράς και στην χάραξη x,y του σημείου. Επίσης φαίνεται η κατακόρυφη αποχή από το κέντρο του πρίσματος όπου έχει επιπτώσεις στην διαδικασία της υψομετρικής χάραξης.



Σχήμα 2.6: Σκαρίφημα λάθος σκόπευσης σε πρίσμα με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.

Λύση στην λάθος σκόπευση είναι η χρήση ρομποτικών γεωδαιτικών σταθμών όπου έχουν την δυνατότητα του Automatic Target Recognition (ATR). Ο γεωδαιτικός σταθμός κινείται μόνος του χωρίς να χρειάζεται χειριστής και το κέντρο του σταυρονήματος του τηλεπισκοπίου κινείται αυτόματα και εντοπίζει το κέντρο του κατάφωτου.

Το ATR χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα εικόνας μέσα στο τηλεσκόπιο για να ανιχνεύσει έναν ανακλαστικό στόχο. Με τη βοήθεια των ενσωματωμένων κινητήρων, το όργανο εκτελεί μια σπειροειδή αναζήτηση και μόλις εντοπιστεί ένας στόχος, το όργανο κλειδώνει προς αυτόν (εικόνα 2.6). Το όργανο ανιχνεύει τον στόχο ως φωτεινό σημείο και με τη χρήση αυτού του χαρακτηριστικού εντοπίζεται ένας στόχος όπως ένα πρίσμα. Μόλις εντοπιστεί ο στόχος, μπορεί να υπολογιστεί η ακριβής γωνία προς το κέντρο του στόχου. Το σταυρόνημα δεν χρειάζεται να είναι ακριβώς ευθυγραμμισμένο με το κέντρο του στόχου, καθώς οι διαφορές εντοπίζονται από τον αισθητήρα εικόνας και προστίθενται στις μετρήσεις γωνίας οριζόντιας και κατακόρυφης. Με τη λειτουργία ATR μειώνονται σημαντικά τα σφάλματα οριζόντιας και κατακόρυφης αποχής.



Εικόνα 2.6: Σπειροειδή αναζήτηση ρομποτικού γεωδαιτικού σταθμού [Γεωδαιτικές Μετρήσεις Ακριβείας – Όργανα – Διαδικασίες, Γ. Πανταζής].

Δηλαδή οι ηλεκτροκινούμενοι γεωδαιτικοί σταθμοί στέφονται αυτόματα στη διεύθυνση χάραξης κάθε σημείου i χωρίς την παρέμβαση (σκόπευση) του παρατηρητή αφού προηγηθεί βέβαια ο ορισμός της διεύθυνσης αναφοράς. Αν ο γεωδαιτικός σταθμός είναι και ρομποτικός τότε καθοδηγεί και τον τροχοφόρο που φέρει το σύστημα στελλειού – κατάφωτου , ώστε να προσεγγίσει το σωστό σημείο συνεπώς η χάραξη μπορεί να γίνει και από ένα άτομο. [Λάμπρου Ε ,Πανταζής Γ , Εφαρμοσμένη Γεωδαισία].

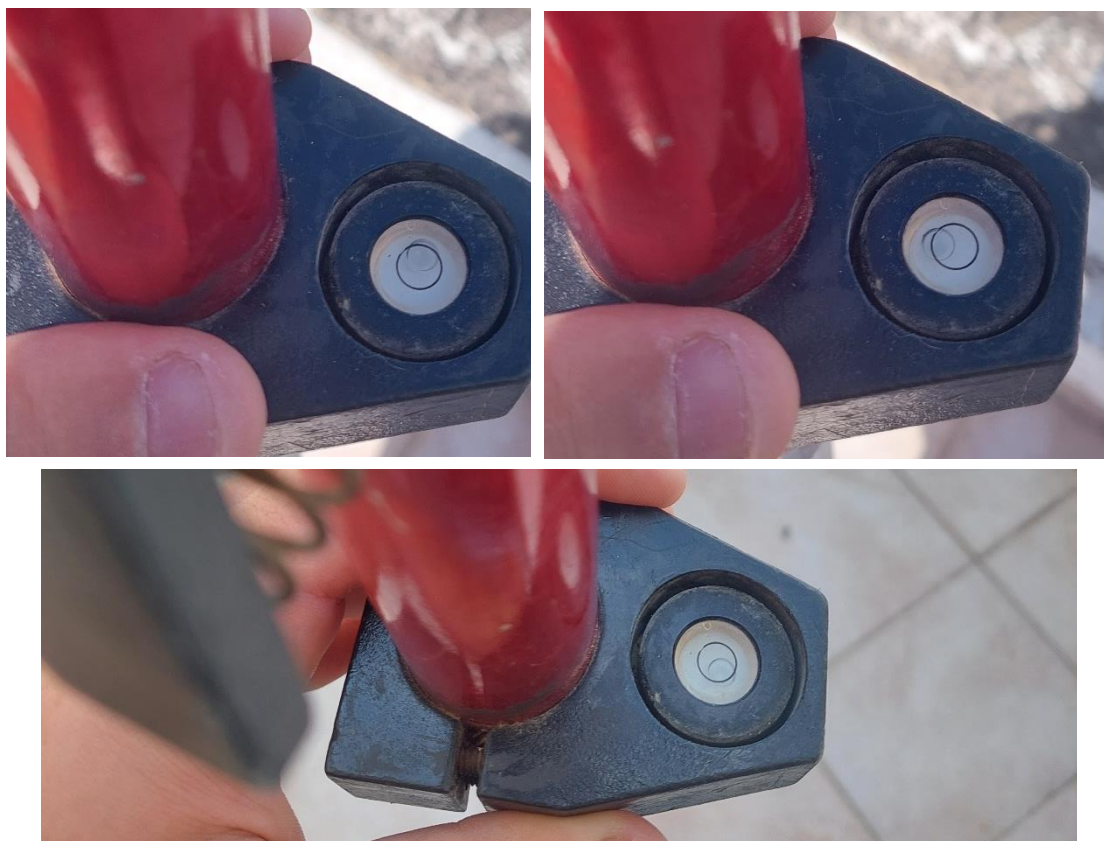
Συνοψίζοντας οι σκοπεύσεις του στόχου κατά τη χάραξη μπορούν να γίνονται αυτόματα μέσω της διαδικασίας ATR. Έτσι ελαχιστοποιούνται τα τυχαία και συστηματικά σφάλματα και αποφεύγονται τα χονδροειδή σφάλματα σκόπευσης του παρατηρητή.

Η ακρίβεια της λειτουργίας ATR εξαρτάται από :

- Την ακρίβεια της κάμερας CCD του γεωδαιτικού σταθμού
- Την απόσταση που μετράται
- Τις ατμοσφαιρικές συνθήκες

2.4.2.4 Σφάλμα κατακορύφωσης στόχου (στυλεού – πρίσματος)

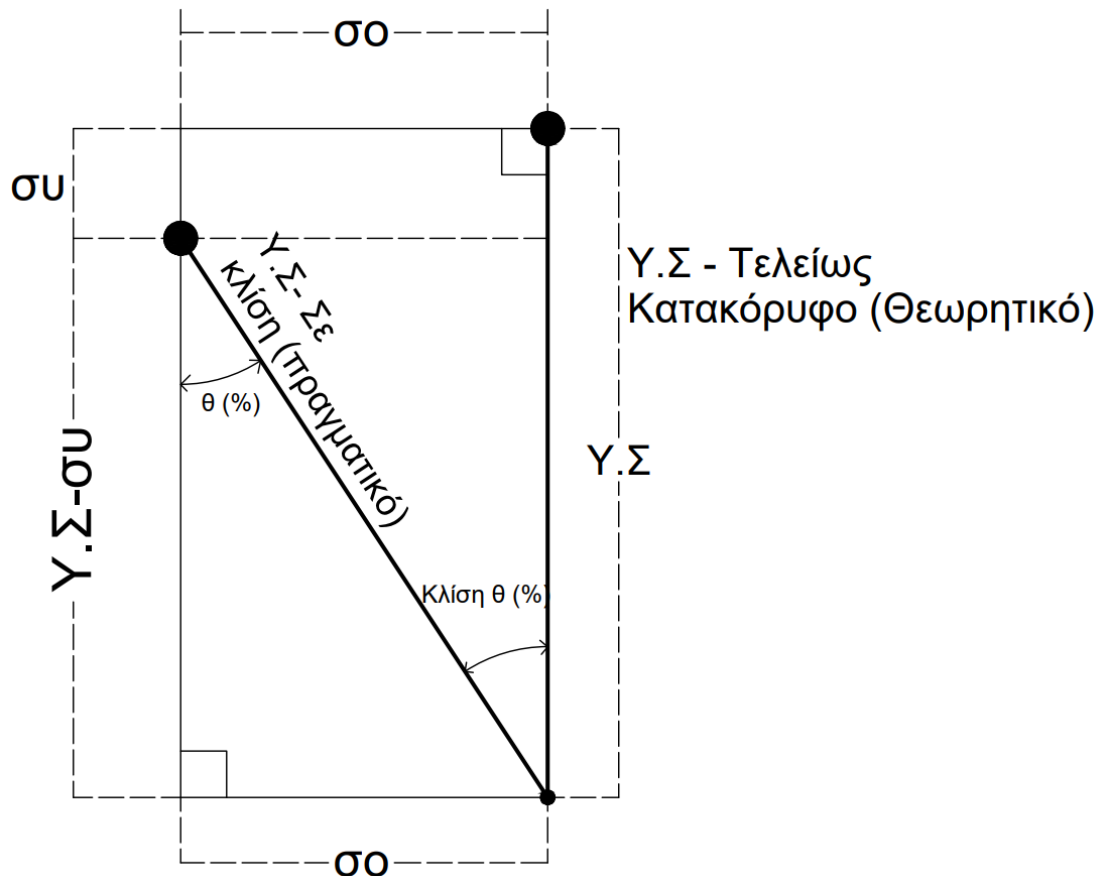
Ο στοχοφόρος που φέρει το σύστημα στυλεού – πρίσματος είναι υποχρεωμένος να κρατάει το σύστημα όσο πιο κατακόρυφα μπορεί έχοντας την βοήθεια φυσαλίδας κέντρωσης η οποία βρίσκεται πακτωμένη πάνω στον στυλεό (βλέπε εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7: Φυσαλίδα κέντρωσης στυλεού

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.7 ο στοχοφόρος δεν μπορεί ποτέ να είναι βέβαιος ότι κρατάει κατακόρυφα το στυλεό με αποτέλεσμα ο στυλεός από την θεωρητική κατακόρυφη θέση του να αποκτά μια κλίση με αποτέλεσμα να υπάρχει οριζοντιογραφικό και υψομετρικό σφάλμα κατά την διάρκεια της χάραξης.

Η θεωρητική τελείως κατακόρυφη θέση του στυλεού με την πραγματική θέση του που βρίσκεται σε ελαφριά κλίση (θ) σχηματίζουν ένα ορθογώνιο τρίγωνο, όπου η θεωρητική θέση είναι η κάθετη προσκείμενη και η πραγματική είναι η υποτείνουσα και η προσκείμενη πλευρά είναι το **οριζοντιογραφικό σφάλμα σο**. Φυσικά εξαιτίας της κλίσης προκύπτει και υψομετρικό σφάλμα $\sigma\upsilon$, αφού ο στυλεός όταν είναι σε κλίση έχει ύψος $\Sigma.Y-x$, όπου $x = \sigma\upsilon$. (σχήμα 2.7)



Σχήμα 2.7: Λάθος κατακόρυφωση συστήματος στυλεού – πρίσματος (τυχαίο / τυπικό σκαρίφημα)

Έχοντας το σχήμα 2.7 γίνεται να υπολογιστούν το σ_0 και το σ_u με χρήση απλών

✚ Υπολογισμός του σ_0 :

Το σ_0 ορίζεται ως το γινόμενο του ημιτόνου γωνίας θ (κλίση στυλεού) με την υποτείνουσα (ύψος στυλεού σε κλίση/πραγματικό).

$$\sin(\theta) = \frac{\sigma_0}{Y.\Sigma} \rightarrow \sigma_0 = \sin(\theta) \cdot Y.\Sigma \quad (2.5)$$

✚ Υπολογισμός του σ_u :

Το σ_u ορίζεται ως το $Y.\Sigma$ μείον το γινόμενο του συνημίτονου γωνίας θ (κλίση στυλεού) με την υποτείνουσα (ύψος στυλεού σε κλίση/πραγματικό).

$$\cos(\theta) = \frac{Y.\Sigma - \sigma_u}{Y.\Sigma} \rightarrow \sigma_u = Y.\Sigma - \cos(\theta) \cdot Y.\Sigma \quad (2.6)$$

✚ Τιμές σο:

Οριζοντιογραφικά προκύπτουν οι αντίστοιχες τιμές σο για τις διάφορες τιμές υψών στόχου και κλίσεων στυλεού (βλέπε τον παρακάτω πίνακα 2.2). (Προφανώς οι τιμές αυτές δεν είναι τυχαίες και αντιστοιχούν σε ρεαλιστικά δεδομένα).

Οριζοντιογραφικό - σο (mm)											
Υ.Σ(m) Κλίση (%)	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
0.2%	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0
0.4%	0.4	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	8.0
0.6%	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	12.0
0.8%	0.8	1.6	3.2	4.8	6.4	8.0	9.6	11.2	12.8	14.4	16.0
1.0%	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
1.2%	1.2	2.4	4.8	7.2	9.6	12.0	14.4	16.8	19.2	21.6	24.0
1.4%	1.4	2.8	5.6	8.4	11.2	14.0	16.8	19.6	22.4	25.2	28.0
1.6%	1.6	3.2	6.4	9.6	12.8	16.0	19.2	22.4	25.6	28.8	32.0
1.8%	1.8	3.6	7.2	10.8	14.4	18.0	21.6	25.2	28.8	32.4	36.0
2.0%	2.0	4.0	8.0	12.0	16.0	20.0	24.0	28.0	32.0	36.0	40.0
2.2%	2.2	4.4	8.8	13.2	17.6	22.0	26.4	30.8	35.2	39.6	44.0
2.4%	2.4	4.8	9.6	14.4	19.2	24.0	28.8	33.6	38.4	43.2	48.0
2.6%	2.6	5.2	10.4	15.6	20.8	26.0	31.2	36.4	41.6	46.8	52.0
2.8%	2.8	5.6	11.2	16.8	22.4	28.0	33.6	39.2	44.8	50.4	56.0
3.0%	3.0	6.0	12.0	18.0	24.0	30.0	36.0	42.0	48.0	54.0	60.0

Πίνακας 2.2: Οριζοντιογραφικό σφάλμα σο λόγω κακής κέντρωσης στόχου.

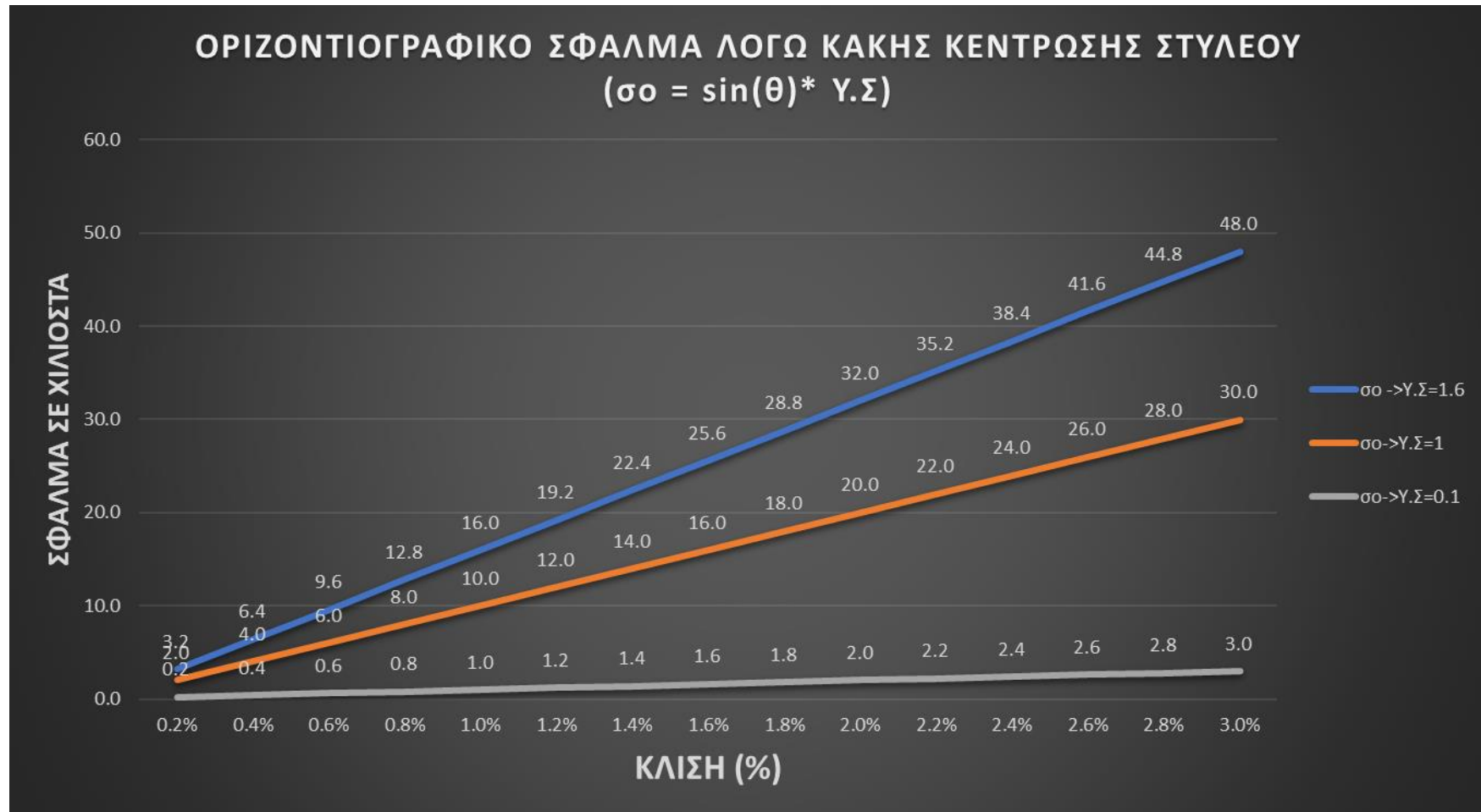
✚ Τιμές συ:

Υψομετρικά προκύπτουν οι αντίστοιχες τιμές συ για τις διάφορες τιμές υψών στόχου και κλίσεων στυλεού (βλέπε τον παρακάτω πίνακα 2.3) . (Προφανώς οι τιμές αυτές δεν είναι τυχαίες και αντιστοιχούν σε ρεαλιστικά δεδομένα).

Υψομετρικό - συ (mm)											
Υ.Σ(m) Κλίση (%)	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
0.2%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
0.6%	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
0.8%	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06
1.0%	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
1.2%	0.01	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.14
1.4%	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
1.6%	0.01	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.26
1.8%	0.02	0.03	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19	0.23	0.26	0.29	0.32
2.0%	0.02	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40
2.2%	0.02	0.05	0.10	0.15	0.19	0.24	0.29	0.34	0.39	0.44	0.48
2.4%	0.03	0.06	0.12	0.17	0.23	0.29	0.35	0.40	0.46	0.52	0.58
2.6%	0.03	0.07	0.14	0.20	0.27	0.34	0.41	0.47	0.54	0.61	0.68
2.8%	0.04	0.08	0.16	0.24	0.31	0.39	0.47	0.55	0.63	0.71	0.78
3.0%	0.04	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81	0.90

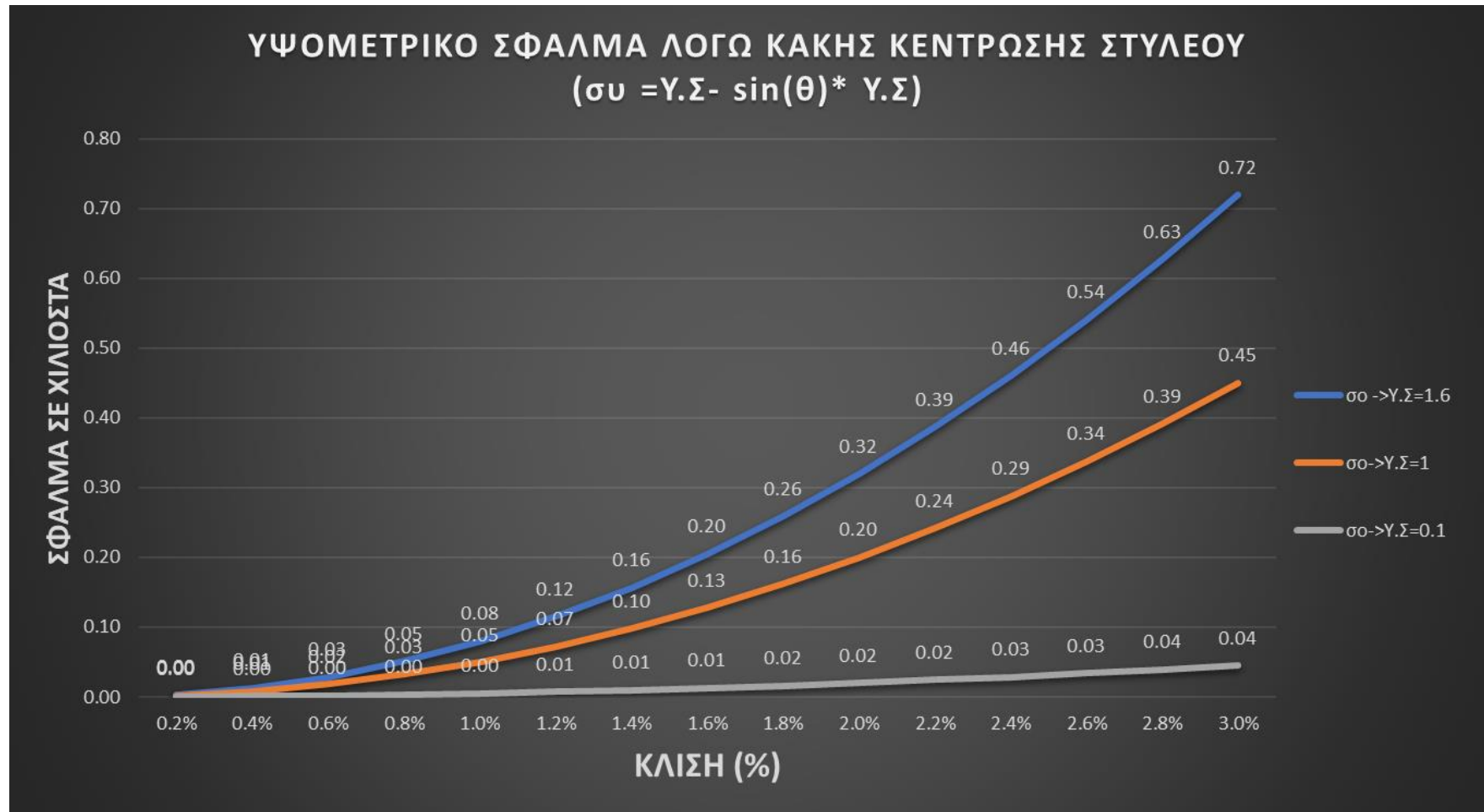
Πίνακας 2.3: Υψομετρικό σφάλμα συ λόγω κακής κέντρωσης στόχου.

Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 2.2 και για 3 πιο πιθανές τιμές Ύψους – Στόχου (0.1 , 1 , 1.6 (m)) προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα με το οριζοντιογραφικό σφάλμα σ_0 λόγο κακής κατακορύφωσης στόχου για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης (%).



Διάγραμμα 2.1: Οριζοντιογραφικό σφάλμα σ_0 λόγω κακής κέντρωσης στόχου.

Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 2.3 και για 3 πιο πιθανές τιμές Ύψους – Στόχου (0.1 , 1 , 1.6 (m)) προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα με το υψομετρικό σφάλμα σ_u λόγο κακής κατακορύφωσης στόχου για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης (%).



Διάγραμμα 2.2: Υψομετρικό σφάλμα σ_u λόγω κακής κέντρωσης στόχου.

Από τα δυο διαγράμματα προκύπτει ότι όσο μικρότερο σε μήκος είναι το σύστημα στυλεού – πρίσματος δηλαδή όσο μικρότερο είναι ύψος στόχου τόσο ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά λόγω κλίσης. Οι στυλεοί επίσης συμβαίνει να έχουν την δυνατότητα μεταβολής του μήκους το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί από τον στοχοφόρο και προφανώς εφόσον χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση ενδέχεται να εμπεριέχει σφάλματα.

Τα παραπάνω είναι γνωστά από τις εταιρίες κατασκευής τοπογραφικού εξοπλισμού οι οποίες για την επίτευξη χαράξεων ακρίβειας από τους ενδιαφερόμενους έχουν κατασκευάσει ειδικά συστήματα στυλεού – πρίσματος μικρού μήκους (mini prism) για τους λογούς που έχουν αναφερθεί παραπάνω. Επίσης σε συνδυασμό με το μικρό μήκος οι εταιρίες επιλέγουν να μην μπορεί να μεταβληθεί το μήκος έχοντας στην ουσία “πακτωμένο” το πρίσμα εντός του στυλεού και δίνοντας στους χειριστές το οριστικό και αμετάβλητο ύψους στόχου του συστήματος για την αποφυγή σφαλμάτων (βλέπε εικόνα 2.8 και 2.9).



Εικόνα 2.8: Mini prism ιδανικό για χαράξεις με σταθερό και αμετάβλητο Ύψος Στόχου 10 εκατοστά το οποίο δίνεται από τον κατασκευαστή.



Εικόνα 2.9: Mini prism της εταιρίας Leica ιδανικό για χαράξεις με σταθερό και αμετάβλητο Ύψος Στόχου επίσης 10 εκατοστών το οποίο δίνεται από τον κατασκευαστή.

Ακόμα και με την χρήση ωστόσο μικρού στυλεού σίγουρα ελαχιστοποιούνται αρκετά τα σφάλματα , ωστόσο παραμένει το πρόβλημα κέντρωσης της φυσαλίδας από τον χρήστη. Η λύση έρχεται με την χρήση μικρού δίποδου που εφαρμόζεται πάνω στο σύστημα στυλεού - πρίσματος και βοηθάει στην διαδικασία της κέντρωσης και κατά επέκταση στην διαδικασία της χάραξης γενικότερα. Το συγκεκριμένο παρελκόμενο δεν είναι τόσο διαδεδομένο , ωστόσο προμηθεύεται από μερικές εταιρίες πώλησης γεωδαιτικού εξοπλισμού (βλέπε εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.10: Δίποδο που εφαρμόζει πάνω στον στυλεό και βοηθάει στην διαδικασία της κέντρωσης.[<https://g2survey.com/mini-bipod-for-mini-prism-pole/>]

Το συγκεκριμένο δίποδο εφαρμόζεται πάνω στον στυλεό (βλέπε εικόνα 2.10) και χρησιμοποιεί την μύτη του στυλεού σαν τρίτο πόδι για την στήριξη και κέντρωση του συστήματος. Η οριζοντίωση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τις δυο βίδες που φαίνονται στην εικόνα και με την βοήθεια της αεροστάθμης γίνονται οι κατάλληλες ρυθμίσεις για την οριζοντίωση του συστήματος. Με την αυξομείωση των βιδών του παρελκόμενου ο στυλεός μπορεί να παραμείνει κεντρωμένος ακόμα και αν στο πεδίο υπάρχει έντονη κλίση εδάφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΧΑΡΑΞΗΣ

3.1 Γενικά περί υλοποίησης σημείου

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας της χάραξης όπου ο στοχοφόρος βρίσκει την θέση του σημείου προς χάραξη οφείλει να το υλοποίηση κιάλας στο πεδίο με κάποια σήμανση για να χρησιμοποιηθεί για τους σκοπούς κάποια κατασκευής για παράδειγμα. Η υλοποίηση στο πεδίο γίνεται συνήθως με την τοποθέτηση κάποιου καρφιού ή ανεξίτηλου μαρκαδόρου στο σημείο που καλείται να χαραχθεί και με την υλοποίηση αυτή ολοκληρώνεται η διαδικασία της χάραξης του εκάστοτε σημείου (βλέπε εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Υλοποιημένο σημείο χάραξης με την χρήση καρφιού σε εργοτάξιο.

Το πρόβλημα με τη διαδικασία αυτή είναι πως όταν ο στοχοφόρος βρει την θέση του σημείου που καλείται να χαραχθεί απομακρύνει το σύστημα στυλεού – πρίσματος και στη θέση αυτή τοποθετεί κάποιο καρφί ή μαρκαδόρο και έτσι προκύπτουν αποκλίσεις μερικών χιλιοστών αφού είναι σχεδόν αδύνατο το υλοποιημένο σημείο να βρίσκεται ακριβώς εκεί που ήταν η μύτη του στυλεού.

Η απόκλιση των μερικών χιλιοστών από την ιδανική θέση όπου θα έπρεπε να υλοποιηθεί το σημείο μέχρι την πραγματική θέση που υλοποιήθηκε αποτελεί χονδροειδές σφάλμα και η απόκλιση αυτή δεν αποτελεί χάραξη ακριβείας. Σε αντίθεση με την καταγραφή χονδροειδών σφαλμάτων που έγινε στο δεύτερο κεφάλαιο όπου υπήρχε τρόπος εκμηδενισμού ή ελαχιστοποίησης του σφάλματος το σφάλμα που περιγράφεται τώρα και το μέγεθός του εξαρτάται καθαρά από τον ανθρώπινο παράγοντα και την εμπειρία που έχει στις χαράξεις καθώς δεν υπάρχει μέθοδος ή γεωδαιτικό παρελκόμενο που να βοηθάει στην υλοποίηση του σημείου χάραξης.

Αυτό αποτελεί και το κύριο θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας την κατασκευή κάποιου παρελκόμενου για την σωστή υλοποίηση του σημείου και τον εκμηδενισμό ή την ελαχιστοποίηση του σφάλματος υλοποίησης του σημείου.

3.2 Κατασκευή παρελκόμενου (στυλεού) και απαιτήσεις

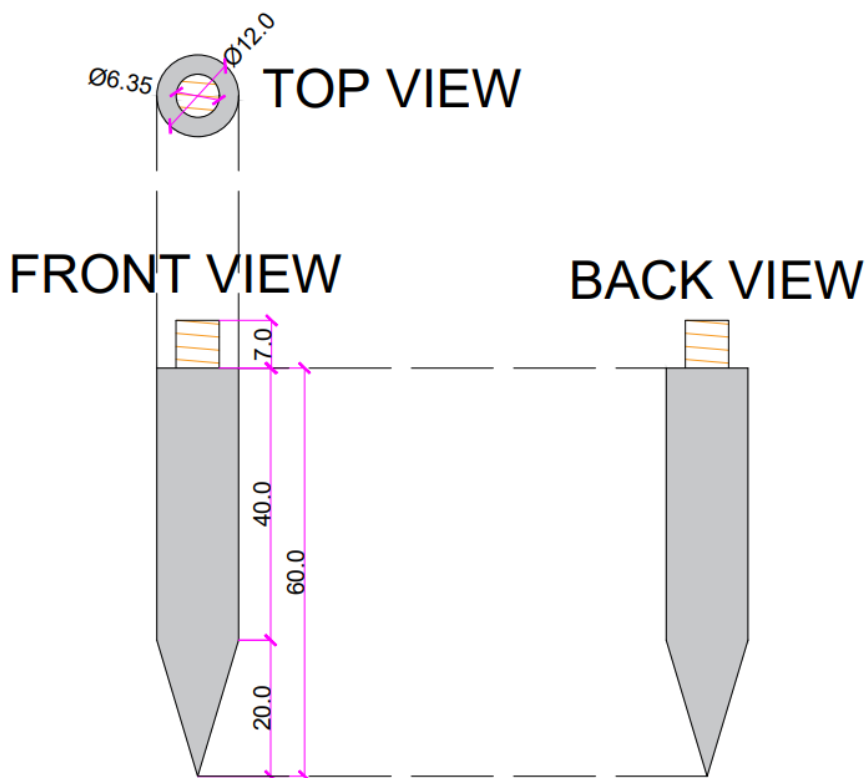
Συγκεκριμένα ζητούμενο ήταν να κατασκευαστή ένας κατάλληλος στυλεός ο οποίος πέρα από το ότι θα διευκόλυνε την υλοποίηση του σημείου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές επιφάνειες μπετό , άσφαλο , κλειστό χώρο και άλλα. Επιπλέον να μπορούσε πάνω του να φέρει διαφορετικών ειδών πρίσματα mini prism , smr, cube ώστε να μπορούν να γίνουν μετρήσεις με γεωδαιτικούς σταθμούς και γεωδαιτικούς σταθμούς βιομηχανικής γεωδαισίας.

3.2.1 Εφαρμογή χαράξεων σε διαφορετικές επιφάνειες.

Χάραξη μπορεί να γίνει σε όλες τις επιφάνειες , ωστόσο χάραξη ακριβείας δεν μπορεί να γίνει σε μερικές από αυτές όπως χώμα. Χαράξεις σε χωμάτινες επιφάνειες και γενικά μη στέρες επιφάνειες γίνονται συνήθως για οριοθέτηση οικοπέδων ή για χαράξεις οδοποιίας , όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και δέκτης GNSS (χάραξη περιορισμένης ακρίβειας) ,αφού κύριο πρόβλημα των μη στέρων επιφανειών είναι η μεγάλη ανακρίβεια στην υλοποίηση του σημείου.

Συμπερασματικά λοιπόν χαράξεις ακριβείας μπορούν να γίνουν μόνο σε στέρες επιφάνειας όπως μπετό άσφαλο ή σε κάποιο εσωτερικό χώρο και τα λοιπά.

Για τη χάραξη λοιπόν σε στέρεες επιφάνειες οφείλει ο στυλεός να έχει λεπτό κορφό όπου θα καταλήγει σε κάποια μυτερή μύτη ώστε ο στυλεός να αγγίζει το έδαφος όσο πιο σημειακά γίνεται. Παρακάτω στο σχήμα 3.1 φαίνονται σχέδια της μύτης του στυλεού προς κατασκευή σε αυθαίρετη κλίμακα με τις διαστάσεις να είναι σε χιλιοστά (mm).

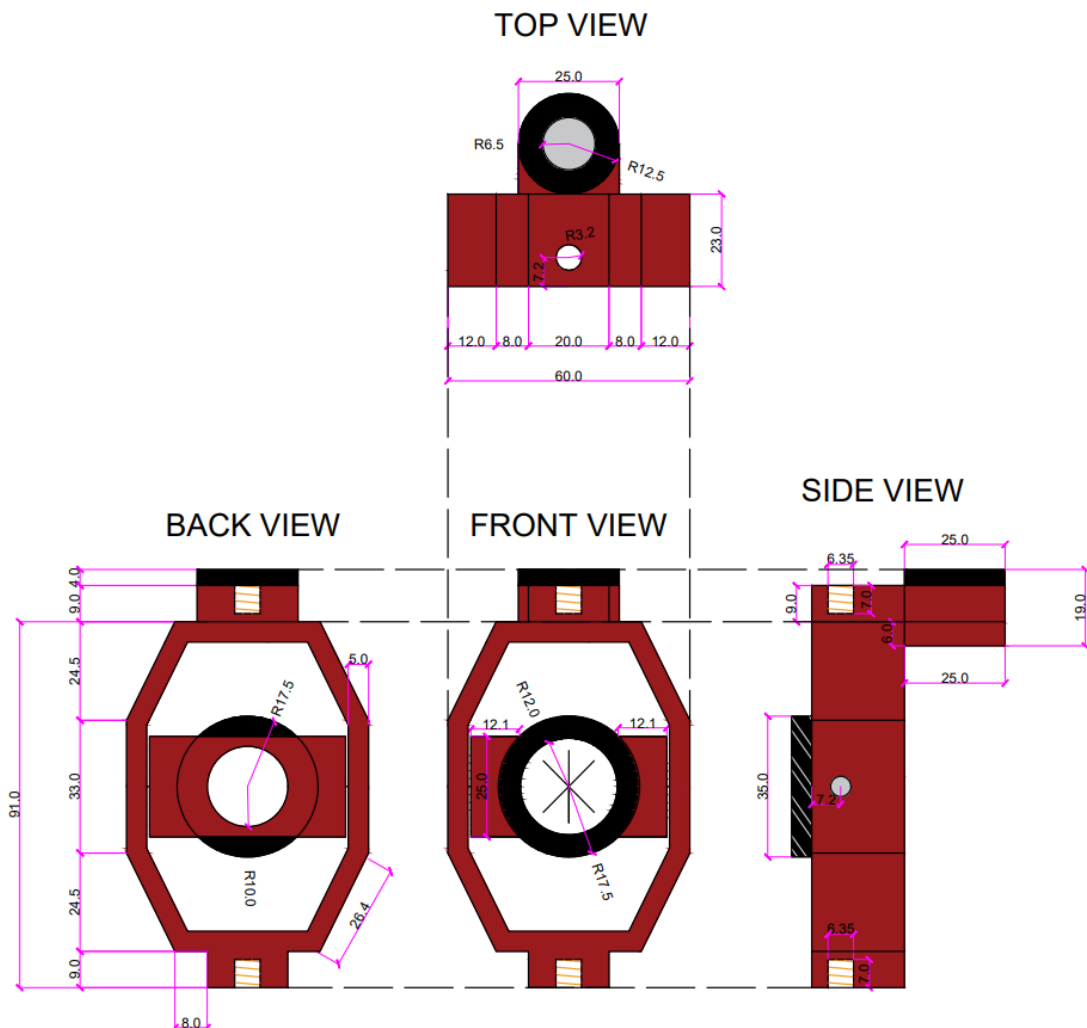


Σχήμα 3.1: Μύτη στυλεού προς κατασκευή σε αυθαίρετη κλίμακα και διαστάσεις σε χιλιοστά.

3.2.2 Χρήση διαφόρων πρισμάτων.

Πάνω στη βάση του στυλεού οφείλει να υπάρχει μια βάση, όπου θα μπορούν να τοποθετηθούν διάφορων ειδών πρίσματα mini prism όπου γεωδαιτικοί σταθμοί θα μπορούν να πάρουν μετρήσεις ή και πρίσματα smr και cube όπου γεωδαιτικοί σταθμοί βιομηχανικής γεωδαισίας θα μπορούν να λαμβάνουν μετρήσεις. Φυσικά απαραίτητο είναι η μύτη του στυλεού με το κέντρο του εκάστοτε πρίσματος να βρίσκονται τελείως κατακόρυφα μεταξύ τους κατά μια τιμή ΔZ . Τέλος στη βάση αυτή πρέπει να μην μπορεί να μεταβληθεί το ύψος ώστε να αποφευχθούν κατά τη διάρκεια των χαράξεων υψομετρικά σφάλματα όπως έχει γίνει αναφορά και στο κεφάλαιο 2.4.2.4.

Παρακάτω στο σχήμα 3.2 φαίνονται σχέδια της βάσης που τοποθετείται πάνω στον στυλεό και εκεί θα τοποθετείται το εκάστοτε πρίσμα. Η κλίμακα είναι αυθαίρετη και οι διαστάσεις σε χιλιοστά (mm).



Σχήμα 3.2: Βάση που τοποθετείται το εκάστοτε πρίσμα σε αυθαίρετη κλίμακα και διαστάσεις σε χιλιοστά.

3.2.3 Τροποποίηση του κορμού με σκοπό την υλοποίηση σημείου.

Κύριος σκοπός της συγκεκριμένης κατασκευής είναι να υλοποιείται το σημείο χάραξης τη στιγμή που ο στοχοφόρος βρίσκει την τελική θέση χάραξης με σκοπό την εξάλειψη του σφάλματος της υλοποίησης του σημείου, δηλαδή με το που εντοπίζεται η τελική θέση χωρίς να χρειαστεί ο στοχοφόρος να απομακρύνει το σύστημα στυλεού – πρίσματος από το έδαφος να μπορέσει να υλοποιηθεί το σημείο χάραξης.

3.2.3.1 Διακριτική ικανότητα του ματιού.

Η διακριτική ικανότητα του ματιού είναι ένα τέταρτο του χιλιοστού (0.25 mm) συνεπώς το μικρότερο σε μέγεθος σημάδι υλοποίησης σημείου μπορεί να έχει αυτήν τη διάσταση. Εφόσον το μικρότερο σημάδι που μπορεί να τοποθετηθεί στον χώρο έχει διάσταση 0.25 χιλιοστά (mm) συνεπάγεται ότι και η μέγιστη ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί στην χάραξη έχει τιμή 0.25 mm , αφού οποιαδήποτε μικρότερη τιμή δεν μπορεί να υλοποιηθεί.

Προκύπτει λοιπόν ότι με σκοπό την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της χάραξης η υλοποίηση του σημείου θα πρέπει να είναι όσο πιο σημειακή γίνεται.

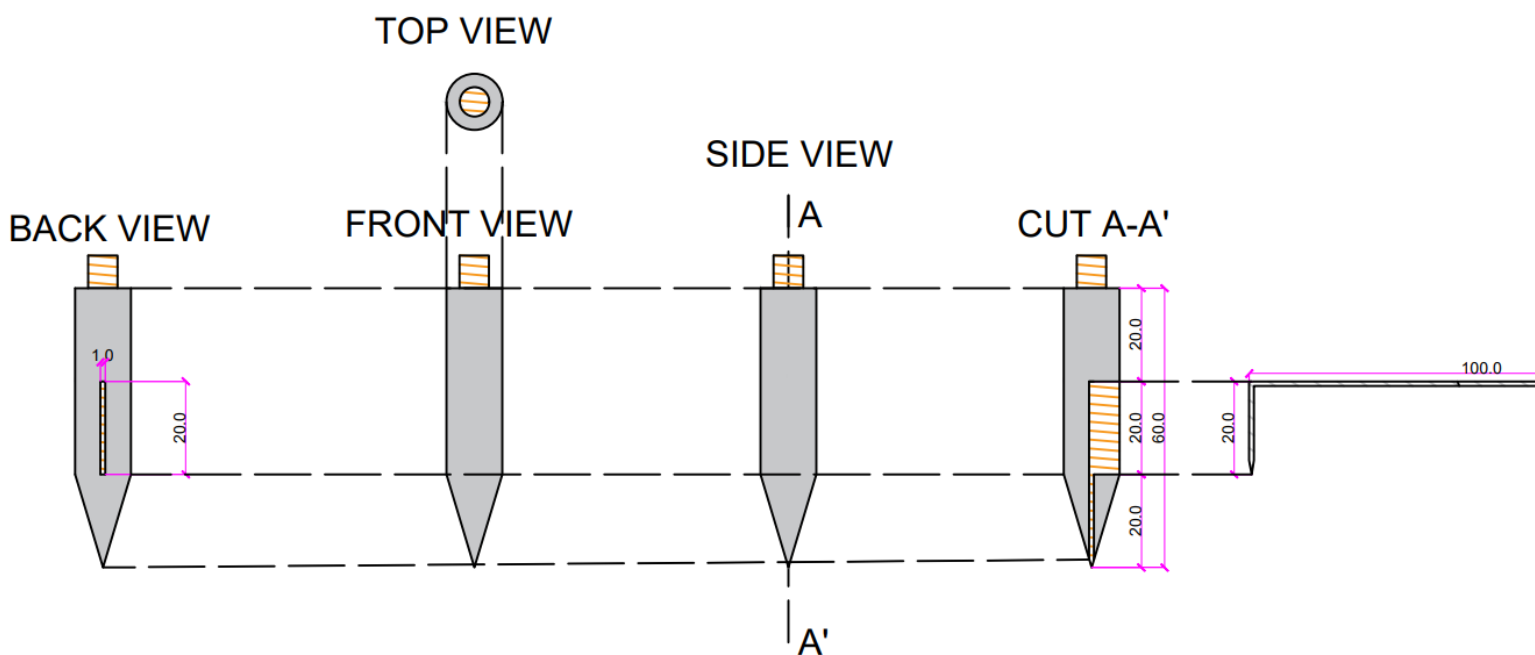
3.2.3.2 Τελική Τροποποίηση

Έμπνευση για τη λύση του προβλήματος της υλοποίησης σημείου ήταν το παρελκόμενο της εταιρίας GLM , όπου έχει κατασκευάσει ειδικό σύστημα κατάλληλο για χάραξη και τοποθέτηση σημείων στο έδαφος ή σε αντικείμενα. Στη συγκεκριμένη κατασκευή μπορούν να τοποθετηθούν πρίσματα SMR ή TBR και αφού βρεθεί η ακριβής θέση του σημείου χάραξης ο χειρίστης (στοχοφόρος) μπορεί εύκολα να υλοποιήσει το σημείο , αφού η κατασκευή αυτή φέρει μια οπή στη βάση της από όπου μπορεί να περάσει κάποιο αντικείμενο γραφική ύλης (στυλό ή μολύβι) και να υλοποιηθεί το σημείο στο έδαφος.[GLM-Absteckadapter_en]



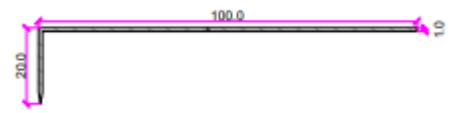
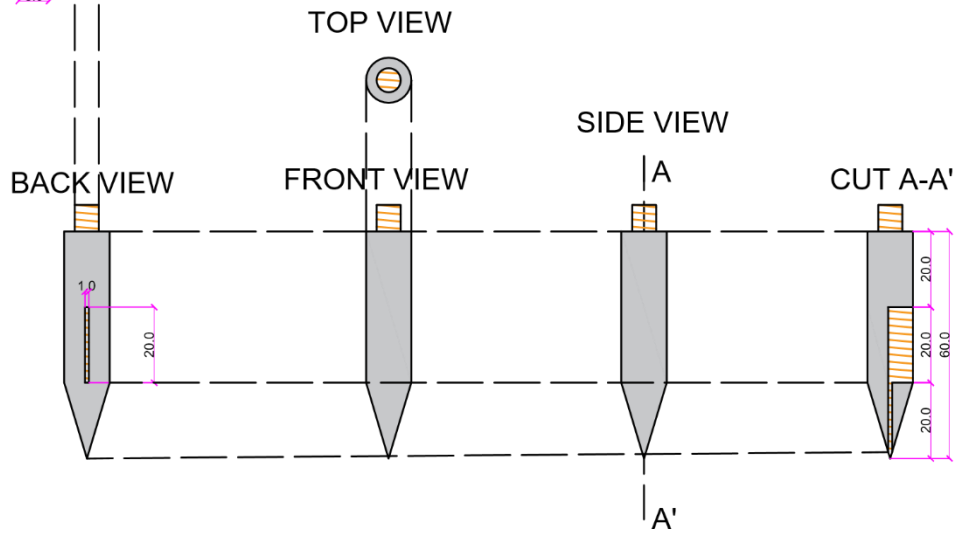
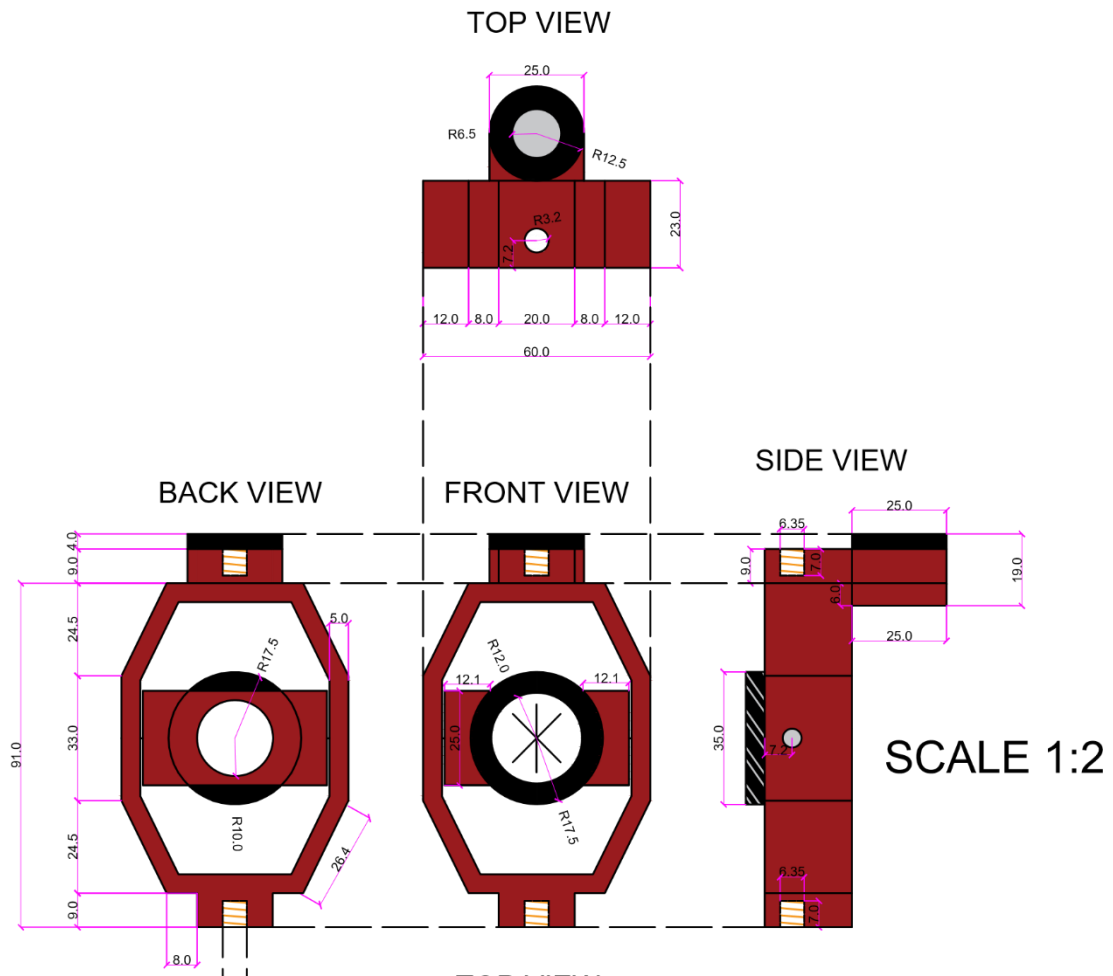
Εικόνα 3.2: Παρελκόμενο της εταιρίας GLM.

Έχοντας ως πρότυπο την παραπάνω κατασκευή θεωρήθηκε ότι στον κορμό του κυλινδρικού στυλεού θα έπρεπε κεντρικά να γίνει διάνοιξη μιας οπής. Η διάνοιξη αυτή θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν πιο σημειακή όπου θα μπορούσε να περάσει μια βελόνα βουτηγμένη σε μελάνι και να αφήσει στίγμα στο έδαφος ή σε κάποιο αντικείμενο και έτσι να υλοποιηθεί το σημείο. Η διάμετρος της οπής που επιλέχθηκε να γίνει στον κορμό του στυλεού ήταν 1 χιλιοστό και η βελόνα θα μπορούσε να εισέρθει στον κορμό του στυλεού από μια οπή που θα γινόταν στην πίσω όψη πάχους 1 mm και ύψους 2 cm από όπου θα μπορούσε να περάσει η βελόνα κεντρικά και να επιτευχθεί η υλοποίηση του σημείου. Παρακάτω στο σχήμα 3.3 φαίνονται σχέδια της τροποποίησης του κορμού και της μύτης του στυλεού ώστε να επιτευχθεί η κατασκευή αυτή. Το σχήμα είναι σε αυθαίρετη κλίμακα και οι διαστάσεις είναι σε mm.



Σχήμα 3.3: Σχέδια οπής στον κορμό του στυλεού σε αυθαίρετη κλίμακα και διαστάσεις σε χιλιοστά.

Στην επόμενη σελίδα φαίνονται ολοκληρωμένα τα σχέδια του συστήματος στυλεού – ανακλαστήρα σε κλίμακα 1:2 και διαστάσεις σε mm που καλούνται να κατασκευαστούν.



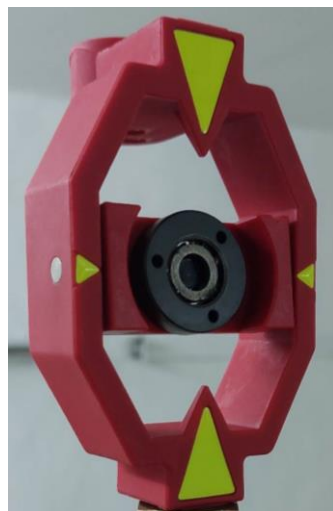
3.3 Υλοποίηση της κατασκευής

Η υλοποίηση της κατασκευής, έγινε χρησιμοποιώντας τα σχέδια της κατασκευής όπου φαίνονται στην παραπάνω σελίδα (71) με τη βοήθεια μηχανουργού της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Συγκεκριμένα η τροποποίηση στη βάση ήταν επιτυχημένη και πράγματι μπορούσαν να τοποθετηθούν διαφορετικών ειδών πρίσματα και στον κορμό του στυλεού είχαν γίνει οι κατάλληλες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα παρατίθενται παρακάτω εικόνες με τα τελικά αποτελέσματα.



Εικόνα 3.3: Υλοποιημένη κατασκευή κορμού σύμφωνα με τα σχέδια.



Εικόνα 3.4: Υλοποιημένη κατασκευή βάσης όπου τοποθετείται το εκάστοτε πρίσμα σύμφωνα με τα σχέδια.

3.4 Μετρολογικός έλεγχος της κατασκευής

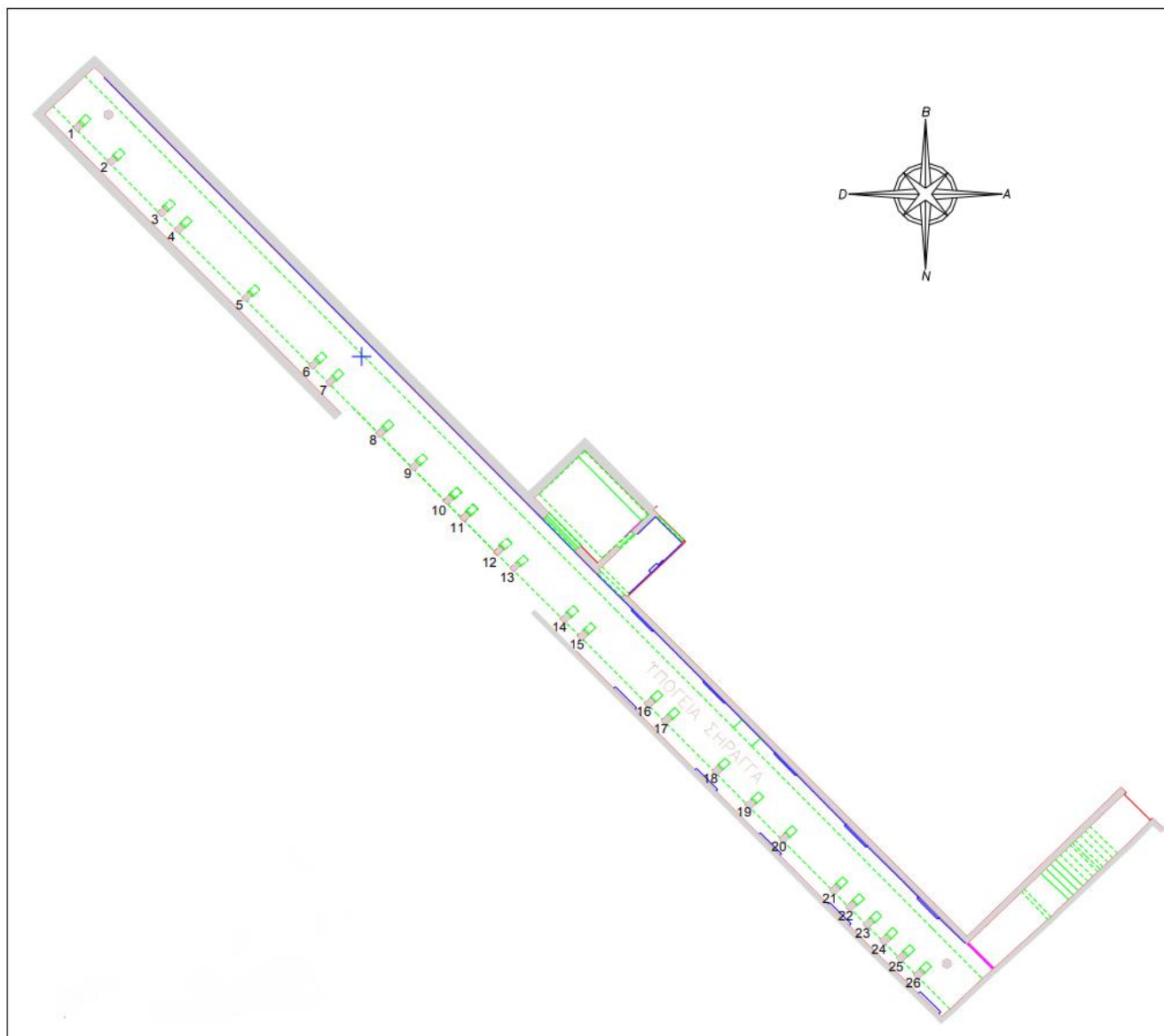
Η κατασκευή φυσικά έπρεπε να εκλεχθεί μετρολογικά σε ότι αφορά τον υπολογισμό του Ύψους Στόχου και της σταθεράς c του πρίσματος δεδομένα απαραίτητα για τη χάραξη όπως άλλωστε αυτό προκύπτει και από το πρώτο κεφάλαιο.

3.4.1 Υπολογισμός σταθεράς c του πρίσματος

Για τον υπολογισμό της σταθεράς του πρίσματος διεξήχθησαν πειράματα στην αίθουσα μετρολογικού ελέγχου (βλέπε σχήμα 3.4) της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Ε.Μ.Π όπου πραγματοποιήθηκαν δυο διαφορετικά πειράματα για τον προσδιορισμό της σταθεράς c για 2 διαφορετικά πρίσματα. Στο σχήμα 3.4 φαίνεται η κάτοψη της αίθουσας καθώς και η αρίθμηση των βάθρων εξαναγκασμένης κέντρωσης που υπάρχουν στην αίθουσα.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά την διαδικασία των μετρήσεων και για τα δυο πειράματα παρατίθεται παρακάτω:

- **Total station Leica TCRM 1201+ :**
Οι ακρίβειες που δίνονται από τον κατασκευαστή για το συγκεκριμένο όργανο για τον προσδιορισμό των αποστάσεων είναι $\pm 1 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ ppm}$ και γωνιακή ακρίβεια $\pm 3''$.
- **2 βάσεις εξαναγκασμένης κέντρωσης:**
Οι βάσεις αυτές παρέχουν τη δυνατότητα στο χρήστη να πετύχει εξαναγκασμένη κέντρωση (βλέπε 2^ο κεφάλαιο) στα βάθρα του τούνελ του μετρολογικού ελέγχου.
- **Πρίσμα CCR 1.5''**
- **Πρίσμα GMP 111**
- **2 Τρικόχλια:**
Τρικόχλια ώστε να επιτευχθεί η οριζοντίωση και κέντρωση τόσο του γεωδαιτικού σταθμού όσο και του πρίσματος.
- **Ειδικός αντάπτορας :**
Ο ειδικός αντάπτορας που τοποθετείται πάνω στο τρικόχλιο και έχει ως σκοπό την κέντρωση και την οριζοντίωση της βάσης του πρίσματος μαζί με το εκάστοτε πρίσμα σε συγκεκριμένο υψόμετρο.

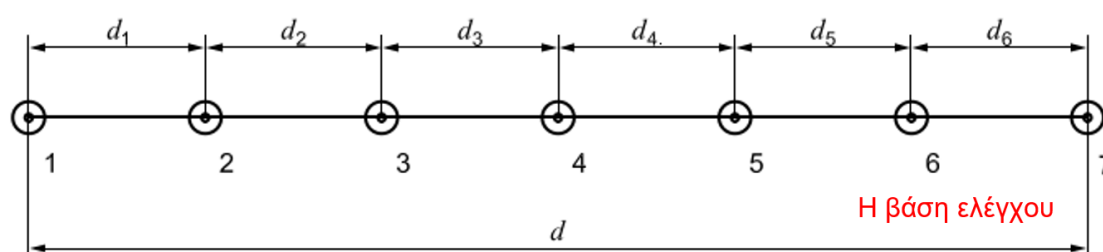


Σχήμα 3.4: Σχέδιο βάσης μετρολογικού ελέγχου Κέντρου Μετρολογίας της Σ.Α.Τ.Μ.Γ.

3.4.1.1 Υπολογισμός σταθεράς c του πρίσματος 1^{ος} τρόπος

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μετρήσεις στο πλήθος ανακλαστήρων είτε χωρίς αυτούς λαμβάνοντας υπόψιν αυτόματα την κατάλληλη σταθερά για κάθε ένα από αυτά.

Ο υπολογισμός της σταθεράς c στο πρώτο πείραμα επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας την πλήρη διαδικασία πεδίου ελέγχου ISO 17123 – 4 η οποία προβλέπει ότι οι μετρήσεις θα γίνουν από 7 βάθρα όπου οι αποστάσεις μεταξύ των βάθρων υπολογίζονται από μαθηματικές σχέσεις οι οποίες στηρίζονται στο μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει το όργανο κατά την μέτρηση μηκών. (βλέπε σχήμα 3.5). [Τα Πρότυπα ISO Κ.Νικολίτσας].



Σχήμα 3.5: Τυπική μορφή του πεδίου ελέγχου. [Τα Πρότυπα ISO Κ.Νικολίτσας].

Για την εφαρμογή του ISO 17123 – 4 απαιτούνται μετρήσεις μηκών από κάθε βάθρο προς τα επόμενα ώστε στο τέλος της διαδικασίας των μετρήσεων να έχουν παραχθεί 21 μετρήσεις μηκών. Η διάταξη των 7 βάθρων επιτυγχάνεται καλύτερα όταν οι 6 αποστάσεις μεταξύ των βάθρων είναι διαφορετικές. [Τα Πρότυπα ISO Κ.Νικολίτσας].

d : το συνολικό μήκος της βάσης ελέγχου

$$d_1 = \frac{d}{63}, d_2 = 2d_1, d_3 = 4d_1, d_4 = 8d_1, d_5 = 16d_1, d_6 = 32d_1$$

Τα 26 βάθρα στην αίθουσα μετρολογικού ελέγχου έχουν τοποθετηθεί σε ευθεία γραμμή σε αποστάσεις μεταξύ τους που είναι γνωστές από μετρήσεις που έχουν γίνει παλιότερα. Επιπλέον τα βάθρα είναι ισοϋψή στην στέψη τους. Γνωρίζοντας αυτό επιλέχθηκαν τα 7 βάθρα που θα χρησιμοποιούνταν για το πείραμα τα οποία ήταν :

- B26 , B25 , B23 , B20 , B16 , B9 , B1

Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων λαμβάνεται υπόψιν ότι :

- Οι 21 αποστάσεις μεταξύ των 7 σημείων θα πρέπει να μετρηθούν την ίδια μέρα.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εξαναγκασμένες κεντρώσεις.
- Η θερμοκρασία και η πίεση θα πρέπει να μετρούνται συχνά ώστε να εξασφαλίζεται οι αξιόπιστες ατμοσφαιρικές διορθώσεις των μηκών. Προφανώς η επιλογή να γίνουν οι μετρήσεις στην αίθουσα μετρολογικού ελέγχου έγινε ακριβώς για τον λόγο ότι η θερμοκρασία και η πίεση σε αυτό το χώρο είναι σταθερές και ιδανικές για μετρήσεις.
- Η μέτρηση της απόστασης από το ένα βάθρο στο άλλο θα πρέπει να γίνεται με τον γεωδαιτικό σταθμό να έχει πακτωμένο τον κατακόρυφο άξονα στους 100 βαθμούς ώστε να αποφευχθεί το σφάλμα μέτρησης κατακόρυφων γωνιών. Συνεπώς αυτό σημαίνει ότι ο σκοπευτικός άξονας του οργάνου θα πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο ύψος με το κέντρο του πρίσματος. Για την επίτευξη αυτού σίγουρα βοηθάει ότι τα βάθρα είναι ισοϋψή στην στέψη τους ωστόσο έπρεπε να τοποθετηθεί και ειδικός αντάπτορας όπου πάνω του τοποθετείται η βάση του πρίσματος και το πρίσμα (βλέπε εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5: Πρίσμα πάνω στην κατασκευασμένη βάση και τον ειδικό αντάπτορα που ανώνει την βάση αυτή με το τρικόχλιο.

- Τόσο ο γεωδαιτικός σταθμός όσο και η βάση του πρίσματος με το πρίσμα και τον ειδικό αντάπτορα θα πρέπει να έχουν οριζοντιωθεί και κεντρωθεί πλήρως για την εξασφάλιση των ορθών μετρήσεων μήκους. Για την επίτευξη αυτού πριν γίνει η οποιαδήποτε μέτρηση τοποθετούνταν πάνω στο ένα και στο άλλο τρικόγλιο ο γεωδαιτικός σταθμός ο οποίος έφερε λογισμικό με ψηφιακή αεροστάθμη , με την βοήθεια της οποίας επιτυγχάνεται η οριζοντίωσή. (βλέπε εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6: Ψηφιακή φουσαλίδα κέντρωσης γεωδαιτικού σταθμού LEICA TCRM 1201

- Τέλος ο γεωδαιτικός σταθμός πρέπει να έχει ρυθμισμένο στο λογισμικό του σταθερά πρίσματος 0 , ώστε να προκύψει αργότερα από τους υπολογισμούς η σωστή σταθερά πρίσματος.

Οι μετρήσεις που έγιναν μεταξύ των βάθρων είναι:

X1.2, X1.3, X1.4, X1.5, X1.6, X1.7

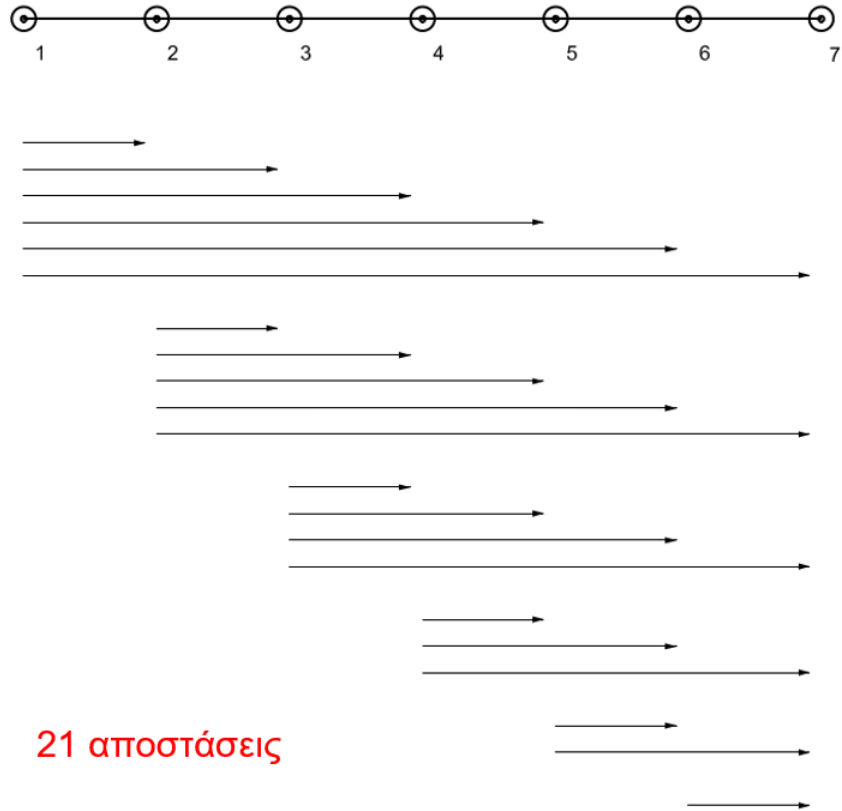
X2.3, X2.4, X2.5, X2.6, X2.7

X3.4, X3.5, X3.6, X3.7

X4.5, X4.6, X4.7

X5.6, X5.7

X6.7 (βλέπε σχήμα 3.6)



21 αποστάσεις

Σχήμα 3.6: Διαδικασία συλλογής των 21 μετρήσεων στο τούνελ από τα βάθρα. [Τα Πρότυπα ISO Κ. Νικολίτσας.]



Εικόνα 3.7: Διαδικασία μετρήσεων στο τούνελ μετρολογικού ελέγχου της ΣΑΤΜΓ.

Η επίλυση του συστήματος γίνεται με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων όπου λόγω της πληθώρας μετρήσεων οι υπολογισμοί έγιναν σε υπολογιστικό φύλλο excel.

- Οι μετρήσεις είναι 21 άρα $n=21$
- Οι άγνωστοι είναι 7 άρα $m=7$
 $d_{12}, d_{23}, d_{34}, d_{45}, d_{56}, d_{67}, c$
- Ο βαθμός ελευθερίας του συστήματος είναι $r=n-m=14>0$ άρα μπορεί να γίνει συνόρθωση με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.

Οι εξισώσεις παρατηρήσεις του συστήματος είναι :

$$x_{1,2} + c = d_{12}$$

$$x_{1,2} + x_{2,3} + c = d_{13}$$

$$x_{1,2} + x_{2,3} + x_{3,4} + c = d_{14}$$

$$x_{1,2} + x_{2,3} + x_{3,4} + x_{4,5} + c = d_{15}$$

$$x_{1,2} + x_{2,3} + x_{3,4} + x_{4,5} + x_{5,6} + c = d_{16}$$

$$x_{1,2} + x_{2,3} + x_{3,4} + x_{4,5} + x_{5,6} + x_{6,7} + c = d_{17}$$

$$x_{2,3} + c = d_{23}$$

$$x_{2,3} + x_{3,4} + c = d_{24}$$

$$x_{2,3} + x_{3,4} + x_{4,5} + c = d_{25}$$

$$x_{2,3} + x_{3,4} + x_{4,5} + x_{5,6} + c = d_{26}$$

$$x_{2,3} + x_{3,4} + x_{4,5} + x_{5,6} + x_{6,7} + c = d_{27}$$

$$x_{3,4} + c = d_{34}$$

$$x_{3,4} + x_{4,5} + c = d_{35}$$

$$x_{3,4} + x_{4,5} + x_{5,6} + c = d_{36}$$

$$x_{3,4} + x_{4,5} + x_{5,6} + x_{6,7} + c = d_{37}$$

$$x_{4,5} + c = d_{45}$$

$$x_{4,5} + x_{5,6} + c = d_{46}$$

$$x_{4,5} + x_{5,6} + x_{6,7} + c = d_{47}$$

$$x_{5,6} + c = d_{56}$$

$$x_{5,6} + x_{6,7} + c = d_{57}$$

$$x_{6,7} + c = d_{67}$$

Ο πίνακας σχεδιασμού A περιέχει τους συντελεστές των αγνώστων στις εξισώσεις παρατήρησης και προκύπτει ίσως με :

A=	1	0	0	0	0	0	1
	1	1	0	0	0	0	1
	1	1	1	0	0	0	1
	1	1	1	1	0	0	1
	1	1	1	1	1	0	1
	1	1	1	1	1	1	1
	0	1	0	0	0	0	1
	0	1	1	0	0	0	1
	0	1	1	1	0	0	1
	0	1	1	1	1	0	1
	0	1	1	1	1	1	1
	0	0	1	0	0	0	1
	0	0	1	1	0	0	1
	0	0	1	1	1	0	1
	0	0	1	1	1	1	1
	0	0	0	1	0	0	1
	0	0	0	1	1	0	1
	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1
	0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	1	1	
0	0	0	0	0	1	1	
0	0	0	0	0	1	1	
0	0	0	0	0	1	1	
0	0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	1	1	

Πίνακας 3.1: Πίνακας σχεδιασμού A (μαθηματικό μοντέλο)-ISO 17123-4

dl=	$x_{1,2}$
	$x_{1,3}$
	$x_{1,4}$
	$x_{1,5}$
	$x_{1,6}$
	$x_{1,7}$
	$x_{2,3}$
	$x_{2,4}$
	$x_{2,5}$
	$x_{2,6}$
	$x_{2,7}$
	$x_{3,4}$
	$x_{3,5}$
	$x_{3,6}$
	$x_{3,7}$
	$x_{4,5}$
	$x_{4,6}$
	$x_{4,7}$
	$x_{5,6}$
	$x_{5,7}$
$x_{6,7}$	

Πίνακας 3.2: Πίνακας των μετρήσεων dl (μαθηματικό μοντέλο)-ISO 17123-4

➤ Ενδιάμεσα γίνονται οι πράξεις πινάκων:

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{A}$$

$$\mathbf{k} = \mathbf{A}^T \delta \mathbf{y}$$

➤ Προκύπτουν οι καλύτερες τιμές των αγνώστων στον πίνακα X:

$\mathbf{X} = \mathbf{N}^{-1} * \mathbf{k} =$	d12
	d23
	d34
	d45
	d56
	d67
	c

Πίνακας 3.3: Πίνακας καλύτερων τιμών X (μαθηματικό μοντέλο)-ISO 17123-4.

➤ Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι:

$$\sigma_o = \pm \sqrt{\frac{\mathbf{u}^T \mathbf{u}}{n-m}} \quad (3.1)$$

,όπου

- $\mathbf{u} = \mathbf{A}\mathbf{X} - \mathbf{d}$
- $n = 21$ πλήθος μετρήσεων
- $m = 7$ αγνωστοι

➤ Ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων των αγνώστων είναι:

$\mathbf{V}_X = \sigma_o^2 \mathbf{N}^{-1} =$	σ_{d12}^2					
		σ_{d23}^2				
			σ_{d34}^2			
				σ_{d45}^2		
					σ_{d56}^2	
						σ_{d67}^2

Πίνακας 3.4: Πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων VX (μαθηματικό μοντέλο)-ISO 17123-4.

Αποτελέσματα επίλυσης σταθεράς c για το πρίσμα CCR 1.5''

Τα πρωτογενή δεδομένα που πάρθηκαν στο τούνελ μετρολογικού ελέγχου με το πρίσμα CCR 1.5'' (Βλέπε εικόνα 3.8) παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πρωτογενή - CCR 1.5'' (ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΗΚΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ)						
	B25	B23	B20	B16	B9	B1
B26	0.9458	2.9437	7.9459	15.9435	29.9433	49.9427
B25		1.942	6.9441	14.9416	28.9419	48.9406
B23			4.9469	12.9442	26.9438	46.9432
B20				7.941	21.9412	41.9406
B16					13.9444	33.943
B9						19.943

Πίνακας 3.5: Πρωτογενή δεδομένα 21 μετρήσεων με το πρίσμα CCR 1.5''.



Εικόνα 3.8: Μετρήσεις 21 αποστάσεων με την χρήση του πρίσματος CCR 1.5'' που είναι τοποθετημένο στην βάση που κατασκευάστηκε.

- Οι καλύτερες τιμές των αγνώστων στον πίνακα X:

X=N-1*K=	1.0018
	1.9977
	5.0026
	7.9973
	14.0000
	19.9991
	-0.0560

Πίνακας 3.6: Πίνακας καλύτερων τιμών X αποτελέσματα για πρίσμα CCR 1.5''.

Από τον πίνακα x προκύπτει ότι η σταθερά του πρίσματος είναι ίση με -0.0560m όπως αυτό προκύπτει από την τελευταία γραμμή του πίνακα X. Επίσης προκύπτουν οι καλύτερες τιμές για τις αποστάσεις μεταξύ των βάθρων οι οποίες αν αθροιστούν προκύπτει η συνολική απόσταση d_0 :

$$d_{12} + d_{23} + d_{34} + d_{45} + d_{56} + d_{67} = d_0 \quad (3.2)$$

$$1.0018 + 1.9977 + 5.0026 + 7.9973 + 14.0 + 19.9991 = 49.9986\text{m} = d_0$$

- Το διάνυσμα των υπολοίπων είναι :

U=AX-DL	-0.00001
	-0.00020
	0.00024
	-0.00004
	0.00014
	-0.00013
	-0.00028
	0.00026
	0.00007
	-0.00024
	0.00018
	-0.00025
	-0.00024
	0.00014
	-0.00013
	0.00032
	0.00010
-0.00017	
-0.00001	
0.00012	
0.00013	

Πίνακας 3.7: : Πίνακας υπολοίπων. Αποτελέσματα για πρίσμα CCR 1.5''.

- Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{u^T u}{n-m}} = \pm 0.00023$$

- Ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων των αγνώστων είναι:

VX=	1.54067E-08	-6.45417E-09	8.32796E-10	8.32796E-10	8.32796E-10	8.32796E-10	-2.91479E-09
	-6.45417E-09	1.54067E-08	-6.45417E-09	8.32796E-10	8.32796E-10	8.32796E-10	-2.91479E-09
	8.32796E-10	-6.45417E-09	1.54067E-08	-6.45417E-09	8.32796E-10	8.32796E-10	-2.91479E-09
	8.32796E-10	8.32796E-10	-6.45417E-09	1.54067E-08	-6.45417E-09	8.32796E-10	-2.91479E-09
	8.32796E-10	8.32796E-10	8.32796E-10	-6.45417E-09	1.54067E-08	-6.45417E-09	-2.91479E-09
	8.32796E-10	8.32796E-10	8.32796E-10	8.32796E-10	-6.45417E-09	1.54067E-08	-2.91479E-09
	-2.91479E-09	-2.91479E-09	-2.91479E-09	-2.91479E-09	-2.91479E-09	-2.91479E-09	1.02017E-08

Πίνακας 3.8: Πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας. Αποτελέσματα για πρίσμα CCR 1.5''.

Από τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας προκύπτουν τα σφάλματα για τους 7 αγνώστους τα οποία παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα :

σ d12	0.00012
σ d23	0.00012
σ d34	0.00012
σ d45	0.00012
σ d56	0.00012
σ d67	0.00012
σ c	0.00010

Πίνακας 3.9: Πίνακας καταγραφής σφαλμάτων d_0 και c όπως προκύπτει μετά τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας.

Προκύπτει λοιπόν ότι το σφάλμα υπολογισμού της σταθεράς c του πρίσματος είναι ίση με $\pm 0.0001m = 0.1mm$.

$$C = -0.0560m \pm 0.0001m$$

Επίσης προκύπτει από τον πίνακα 3.9 ότι το σφάλμα του d_0 μπορεί να υπολογιστεί αν γίνει νόμος μετάδοσης σφαλμάτων στην σχέση (3.2) , όπου προκύπτει ότι :

$$\sigma_{d_0} = \sqrt{6} \cdot 0.00012 = 0.0003m$$

$$\text{Άρα } d_0 = B1 - B26 = 49.9986m \pm 0.0003m$$

Αποτελέσματα επίλυσης σταθεράς c για το πρίσμα CCR 1.5''

Τα πρωτογενή δεδομένα που πάρθηκαν στο τούνελ μετρολογικού ελέγχου με το πρίσμα CCR 1.5'' (Βλέπε εικόνα 3.9) παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πρωτογενή - GMP 111" (ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΗΚΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ)						
	B25	B23	B20	B16	B9	B1
B26	0.986	2.9833	7.9868	15.9839	29.984	49.983
B25		1.9814	6.9845	14.9817	28.9815	48.9811
B23			4.9866	12.985	26.9843	46.9841
B20				7.9819	21.982	41.9809
B16					13.9845	33.9836
B9						19.9834

Πίνακας 3.10: Πρωτογενή δεδομένα 21 μετρήσεων με το πρίσμα GMP 111



Εικόνα 3.9: Μετρήσεις 21 αποστάσεων με την χρήση του πρίσματος GMP 111 που είναι τοποθετημένο στην βάση που κατασκευάστηκε.

- Οι καλύτερες τιμές των αγνώστων στον πίνακα X:

X=N-1*K=	1.0020
	1.9972
	5.0028
	7.9975
	14.0000
	19.9992
	-0.0158

Πίνακας 3.11: Πίνακας καλύτερων τιμών X αποτελέσματα για πρίσμα CCR 1.5''.

Από τον πίνακα x προκύπτει ότι η σταθερά του πρίσματος είναι ίση με -0.0158m όπως αυτό προκύπτει από την τελευταία γραμμή του πίνακα X. Επίσης προκύπτουν οι καλύτερες τιμές για τις αποστάσεις μεταξύ των βάθρων οι οποίες αν αθροιστούν προκύπτει η συνολική απόσταση do:

$$d_{12} + d_{23} + d_{34} + d_{45} + d_{56} + d_{67} = d_o \quad (3.3)$$

$$1.0020 + 1.9972 + 5.0028 + 7.9975 + 14.0 + 19.9992 = 49.9987m = d_o$$

- Το διάνυσμα των υπολοίπων είναι :

U=AX-DL	0.00028
	0.00018
	-0.00047
	-0.00002
	-0.00011
	0.00013
	0.00004
	-0.00022
	0.00013
	0.00034
	-0.00001
	0.00048
	-0.00037
	0.00033
	-0.00022
	-0.00012
	-0.00022
0.00013	
-0.00026	
-0.00012	
0.00008	

Πίνακας 3.12: : Πίνακας υπολοίπων. Αποτελέσματα για πρίσμα GMP 111.

- Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{u^T u}{n-m}} = 0.00030$$

- Ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων των αγνώστων είναι:

VX=	2.67E-08	-1.1E-08	1.44E-09	1.442E-09	1.44E-09	1.44E-09	-5E-09
	-1.1E-08	2.67E-08	-1.1E-08	1.442E-09	1.44E-09	1.44E-09	-5E-09
	1.44E-09	-1.1E-08	2.67E-08	-1.118E-08	1.44E-09	1.44E-09	-5E-09
	1.44E-09	1.44E-09	-1.1E-08	2.6676E-08	-1.1E-08	1.44E-09	-5E-09
	1.44E-09	1.44E-09	1.44E-09	-1.118E-08	2.67E-08	-1.1E-08	-5E-09
	1.44E-09	1.44E-09	1.44E-09	1.442E-09	-1.1E-08	2.67E-08	-5E-09
	-5E-09	-5E-09	-5E-09	-5.047E-09	-5E-09	-5E-09	1.77E-08

Πίνακας 3.13: Πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας.
Αποτελέσματα για πρίσμα GMP 111

Από τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας προκύπτουν τα σφάλματα για τους 7 αγνώστους τα οποία παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα :

σ d12	0.00016
σ d23	0.00016
σ d34	0.00016
σ d45	0.00016
σ d56	0.00016
σ d67	0.00016
σ c	0.0001

Πίνακας 3.14: Πίνακας καταγραφής σφαλμάτων d_0 και c όπως προκύπτει μετά τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας.

Προκύπτει λοιπόν ότι το σφάλμα υπολογισμού της σταθεράς c του πρίσματος είναι ίση με $\pm 0.0001m$.

$$C = -0.0158m \pm 0.0001m$$

Επίσης προκύπτει από τον πίνακα 3.9 ότι το σφάλμα του d_0 μπορεί να υπολογιστεί αν γίνει νόμος μετάδοσης σφαλμάτων στην σχέση (3.2) , όπου προκύπτει ότι :

$$\sigma_{d_0} = \sqrt{6} \cdot 0.00016 = 0.0004m$$

$$\text{Άρα } d_0 = B1 - B26 = 49.9987m \pm 0.0004m$$

3.4.1.2 Υπολογισμός σταθεράς c του πρίσματος 2^{ος} τρόπος

Οι σταθερές για τα δυο πρίσματα υπολογίστηκαν και με δεύτερο τρόπο , αφού κρίνεται σημαντικό να υπολογιστούν με μεγάλη ακρίβεια αλλιώς θα προκύπτει πρόβλημα στον προσδιορισμό των αποστάσεων και κατά συνέπεια προκύπτουν σφάλματα και κατά τη διάρκεια μιας τριδιάστατης χάραξης με χρήση γεωδαιτικού σταθμού.

Το δεύτερο πείραμα διεξήχθη και αυτό στην αίθουσα μετρολογικού ελέγχου της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Σε αυτό το πείραμα χρησιμοποιήθηκε η απόσταση $d_0=B26-B1$ που βρέθηκε στο προηγούμενο πείραμα. Τα δυο βάθρα B1 και B26 έχουν υλοποιηθεί από οπλισμένο σκυρόδεμα όπως όλα τα βάθρα στην αίθουσα μετρολογικού ελέγχου και στα οποία μπορεί να γίνει εξαναγκασμένη κέντρωση στόχων και γεωδαιτικών σταθμών με ακρίβεια της τάξης του 0.1mm. Μεταξύ των ακραίων βάθρων B1 και B26 χρησιμοποιούνται για το πείραμα άλλα 5 ενδιάμεσα βάθρα τα οποία έχουν κατανεμηθεί όσο το δυνατόν πιο ισόποσα μεταξύ της απόστασης των βάθρων B26-B1. Από τα 5 αυτά βάθρα γίνονται μετρήσεις απόστασης και προς το B1 και προς το B26.

- Τα 5 ενδιάμεσα βάθρα που επιλέχθηκαν είναι :

$$B26 - B20 - B16 - B13 - B8 - B5 - B1$$

- Η απόσταση μεταξύ B26-B21 λήφθηκε από τα αποτελέσματα του προηγούμενου πειράματος όπου προέκυψαν δυο τιμές από τις οποίες χρησιμοποιείται ο μέσος όρος τους.

$$d_0(\text{μέσο}) = B26-B1 = \frac{49.9986+49.9987}{2} = 49.9987\text{m}$$

➤ Τέλος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να ισχύουν τα ίδια με το προηγούμενο πείραμα δηλαδή:

1. Όλες οι αποστάσεις θα πρέπει αν μετρηθούν την ίδια μέρα.
2. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εξαναγκασμένες κεντρώσεις.
3. Η θερμοκρασία και η πίεση στο χώρο θα πρέπει να είναι μετρημένες και σταθερές για αυτό οι μετρήσεις γίνονται στο ειδικό μετρολογικό τούνελ.
4. Ο γεωδαιτικός σταθμός πρέπει να λαμβάνει αποστάσεις με τον κατακόρυφο άξονα πακτωμένο στους 100 βαθμούς ώστε να αποφεύγετε το σφάλμα κατακόρυφης γωνίας κατά την αναγωγή στην οριζόντια απόσταση.

5. Τόσο ο γεωδαιτικός σταθμός οστό και οι στόχοι πρέπει να είναι οριζοντιωμένοι και κεντρωμένοι στα βάθρα πολύ καλά.
6. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η σταθερά του πρίσματος θα πρέπει να έχει ρυθμιστεί να έχει την τιμή 0 εσωτερικά στο λογισμικό του οργάνου.

Σε αυτή τη μέθοδο ο υπολογισμός της σταθεράς c του εκάστοτε πρίσματος από ένα βάθρο i από το οποίο έχουν ληφθεί μετρήσεις αποστάσεων στα δυο ακραία βάθρα B26 και B21 υπολογίζεται από τον τύπο (3.4) :

$$\begin{aligned}
 D_{B26-B1} &= (D_{i-B26} + c) + (D_{i-B1} + c) \rightarrow \\
 D_{B26-B1} &= 2 \cdot c + (D_{i-B26} + D_{i-B1}) \rightarrow \\
 2 \cdot c &= D_{B26-B1} - (D_{i-B26} + D_{i-B1}) \rightarrow \\
 c &= \frac{D_{B26-B1} - (D_{i-B26} + D_{i-B1})}{2} \quad (3.4)
 \end{aligned}$$

Αποτελέσματα επίλυσης σταθεράς c για το πρίσμα CCR 1.5''

Τα πρωτογενή δεδομένα που λήφθηκαν στο τούνελ μετρολογικού ελέγχου με το πρίσμα CCR 1.5'' (Βλέπε εικόνα 3.10) παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πρωτογενή - CCR 1.5'' (ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΗΚΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ)		
	B26	B1
B20	7.9465	41.9405
B16	15.9437	33.943
B13	23.9457	25.9414
B8	31.9436	17.9431
B5	39.9419	9.9451

Πίνακας 3.14: Πρωτογενή δεδομένα μετρήσεων με το πρίσμα CCR 1.5''. (2^ο Πείραμα).



Εικόνα 3.10: Μέτρηση απόστασης από το Βάθρο B20 → B26 κατά την διεξαγωγή του 2^{ου} πειράματος.

➤ Αποτελέσματα σταθεράς c του πρίσματος CCR 1.5'' που προέκυψαν από την εξίσωση (3.4) για κάθε ένα από τα 5 βάθρα:

1. Βάθρο 20:

$$c = \frac{49.9987 - (7.9465 + 41.9405)}{2} = 0.0559m$$

2. Βάθρο 16:

$$c = \frac{49.9987 - (15.9437 + 33.9430)}{2} = 0.0560m$$

3. Βάθρο 13:

$$c = \frac{49.9987 - (23.9457 + 25.9414)}{2} = 0.0558m$$

4. Βάθρο 8:

$$c = \frac{49.9987 - (31.9436 + 17.9431)}{2} = 0.0560m$$

5. Βάθρο 5:

$$c = \frac{49.9987 - (39.9419 + 9.9451)}{2} = 0.0559m$$

- Η καλύτερη τιμή της σταθεράς c προκύπτει ως μέσος όρος των 5 παραπάνω τιμών που προκύπτει από την εξίσωση (3.5).

$$c_{\mu} = \frac{\sum c}{n} \quad (3.5)$$

, Όπου $n=5$

$$c_{\mu} = \frac{0.0559 + 0.0560 + 0.0558 + 0.0560 + 0.0559}{5} = 0.0559m$$

- Το τυπικό σφάλμα της καλύτερης τιμής προκύπτει από την εξίσωση (3.6):

$$\sigma_c = \pm \sqrt{\frac{\sum [u'u]}{n \cdot (n-1)}} \quad (3.6)$$

, Όπου

- $n = 5$ (Όσες και οι μετρήσεις)
 - $u_1 = c_1 - c_{\mu} = 0.0559 - 0.0559 = 0.0000m$
 - $u_2 = c_2 - c_{\mu} = 0.0560 - 0.0559 = 0.0001m$
 - $u_3 = c_3 - c_{\mu} = 0.0558 - 0.0559 = -0.0001m$
 - $u_4 = c_4 - c_{\mu} = 0.0559 - 0.0559 = 0.0000m$
 - $u_5 = c_5 - c_{\mu} = 0.0559 - 0.0559 = 0.0000m$

Οπότε

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum [u'u]}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{0.0001^2 + 0.0001^2 + 3 \cdot 0^2}{5 \cdot (5-1)}} = 0.0001m$$

Άρα έχουμε : $c = 0.0559 \pm 0.0001mm$

Αποτελέσματα επίλυσης σταθεράς c για το πρίσμα GMP 111

Τα πρωτογενή δεδομένα που πάρθηκαν στο τούνελ μετρολογικού ελέγχου με το πρίσμα CCR 1.5' (Βλέπε εικόνα 3.10) παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πρωτογενή - GMP 111 (ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΗΚΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ)		
	B26	B1
B20	7.9862	41.9807
B16	15.9839	33.9834
B13	23.985	25.9822
B8	31.9827	17.984
B5	39.9821	9.9854

Πίνακας 3.15: Πρωτογενή δεδομένα μετρήσεων με το πρίσμα GMP 111. (2^ο Πείραμα).

- Αποτελέσματα σταθεράς c του πρίσματος CCR 1.5'' που προέκυψαν από την εξίσωση (3.4) για κάθε ένα από τα 5 βάθρα:

6. Βάθρο 20:

$$c = \frac{49.9987 - (7.9862 + 41.9807)}{2} = 0.0159m$$

7. Βάθρο 16:

$$c = \frac{49.9987 - (15.9839 + 33.9834)}{2} = 0.0157m$$

8. Βάθρο 13:

$$c = \frac{49.9987 - (23.9850 + 25.9822)}{2} = 0.0158m$$

9. Βάθρο 8:

$$c = \frac{49.9987 - (31.9827 + 17.9840)}{2} = 0.0160m$$

10. Βάθρο 5:

$$c = \frac{49.9987 - (39.9821 + 9.9854)}{2} = 0.0156m$$

- Η καλύτερη τιμή της σταθεράς c προκύπτει ως τον μέσο όρο των 5 παραπάνω τιμών που προκύπτει από την εξίσωση (3.5).

$$c_{\mu} = \frac{\sum c}{n} \quad (3.5)$$

, Όπου $n=5$

$$c_{\mu} = \frac{0.0159 + 0.0157 + 0.0158 + 0.0160 + 0.0156}{5} = 0.0158m$$

- Το τυπικό σφάλμα της καλύτερης τιμής προκύπτει από την εξίσωση (3.6):

$$\sigma_c = \pm \sqrt{\frac{\sum [u' u]}{n \cdot (n-1)}} \quad (3.6)$$

, Όπου

- $n = 5$ (Όσες και οι μετρήσεις)
 - $u_1 = c_1 - c_{\mu} = 0.0159 - 0.0158 = 0.0001m$
 - $u_2 = c_2 - c_{\mu} = 0.0157 - 0.0158 = -0.0001m$
 - $u_3 = c_3 - c_{\mu} = 0.0158 - 0.0158 = 0.0000m$
 - $u_4 = c_4 - c_{\mu} = 0.0160 - 0.0158 = 0.0002m$
 - $u_5 = c_5 - c_{\mu} = 0.0156 - 0.0158 = -0.0002m$

Οπότε

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum [u' u]}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{0.0001^2 + (-0.0001)^2 + 0^2 + 0.0002^2 + (-0.0002)^2}{5 \cdot (5-1)}} = \pm 0.0001m$$

Άρα έχουμε : $c = 0.0158 \pm 0.0001mm$

3.4.1.3 Στατιστικός έλεγχος συγκρίσεις αποτελεσμάτων των 2 πειραμάτων.

- Καταγραφή των αποτελεσμάτων που προκύψαν από τα δυο πειράματα και τα σφάλματα παρατίθενται παρακάτω:

	GMP 111		CCR 1.5 "	
	c (mm)	σ_c	c (mm)	σ_c
1ο Πείραμα	15.8	0.1	56.0	0.1
2ο Πείραμα	15.8	0.1	55.9	0.1

Πίνακας 3.16: Αποτελέσματα των δυο πειραμάτων για τις τιμές σταθεράς πρίσματος c και τα σφάλματα τους.

Για τον έλεγχο μεταξύ των αποτελεσμάτων των δυο πειραμάτων κρίνεται σωστό να γίνει στατιστικός έλεγχος σύγκρισης των δυο αποτελεσμάτων για να ελεγχθεί αν η διαφορά του ενός αποτελέσματος με το άλλο είναι στατιστικά σημαντική.

Η διαφορά κρίνεται στατιστικά σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% όταν η διάφορα των δυο αποτελεσμάτων είναι μεγαλύτερη από το γινόμενο του $Z_{95\%}=1.96$ επί το σφαλμα της διαφοράς το οποίο προκύπτει από νόμο μετάδοσης σφαλμάτων, δηλαδή πρέπει να ισχύει η παρακάτω ανίσωση:

$$\Delta c > 1.96 \cdot \sigma_{\Delta c} \quad (3.7)$$

- Έλεγχος για πρίσμα GMP 111

- $\Delta c = 0.0158 - 0.0158 = 0$
- $\sigma_{\Delta c} = \sqrt{0.0001^2 + 0.0001^2} = \sqrt{2} \cdot 0.0001 = 0.00014 \cong 0.0002m$

Άρα από (3.7) $\rightarrow 0 > 1.96 \cdot 0.0002 \approx 0.0004$ **Άτοπο**

Άρα η διαφορά των δυο τιμών δεν είναι στατιστικά σημαντική.

- Έλεγχος για πρίσμα CCR 1.5''

- $\Delta c = 0.0560 - 0.0559 = 0.0001m$
- $\sigma_{\Delta c} = \sqrt{0.0001^2 + 0.0001^2} = \sqrt{2} \cdot 0.0001 = 0.00014 \cong 0.0002m$

Άρα από (3.7) $\rightarrow 0.0001 > 1.96 \cdot 0.0002 \approx 0.0004$ **Άτοπο**

Άρα η διαφορά των δυο τιμών δεν είναι στατιστικά σημαντική.

3.4.2 Διαδικασία υπολογισμού ύψους στόχου (Υ.Σ)

Το Υ.Σ θεωρητικά προκύπτει από τα μηχανολογικά σχέδια της σελίδας 71 αλλά όπως και για τον υπολογισμό της σταθεράς c του εκάστοτε πρίσματος η κατασκευή αυτή να ελεγχθεί μετρολογικά ώστε να διαπιστωθεί το αν το Υ.Σ αντιστοιχεί πράγματι με τα σχέδια.

Για τον υπολογισμό του ύψους στόχου (Υ.Σ) αρκεί να βρεθεί η απόσταση μεταξύ του κέντρου του πρίσματος και της ακίδας του στυλεού. Η διαδικασία υπολογισμού του Υ.Σ έγινε σε ειδικό χώρο της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής στην οποία λειτουργεί το laser tracker που διαθέτει το Εργαστήριο Γεωδαισίας (βλέπε εικόνα 3.11) και με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Εικόνα 3.11: Laser tracker της εταιρίας FARO

Το Laser tracker όπως και οι γεωδαιτικοί σταθμοί μετρούν δυο ειδών γωνιών κατακόρυφες, οριζόντιες και μήκη. Η κύρια διαφορά ωστόσο είναι στη μέτρηση μηκών όπου ο γεωδαιτικός σταθμός παίρνει αποστάσεις με αβεβαιότητα λίγων χιλιοστών ενώ ένα laser tracker μετράει μήκη με αβεβαιότητα λίγων μικρών μm . Σε συνδυασμό με τις μικρές αβεβαιότητες στα μετρημένα μεγέθη τα laser tracker χρησιμοποιούν τη λειτουργία ATR (Automatic Target Recognition) που έχει αναφερθεί στο 2^ο κεφάλαιο, ώστε να αποφευχθεί το σφάλμα του παρατηρητή από τις μετρήσεις .

Για τον υπολογισμό του Υ.Σ της κατασκευής λοιπόν αρκούσε να βρεθεί η απόσταση μεταξύ του κέντρου του πρίσματος και της ακίδας του στυλεού. Χρησιμοποιώντας τη λειτουργία ATR μετρήθηκε ένα σημείο στο κέντρο του πρίσματος του συστήματος στυλεού – πρίσματος που κατασκευάστηκε. Ο υπολογισμός των συντεταγμένων x,y,z για το κέντρο του πρίσματος γίνεται χρησιμοποιώντας το πρώτο θεμελιώδες πρόβλημα της γεωδαισίας για x,y και την εξίσωση τριγωνομετρικής υψομετρίας για το z. Γνωρίζοντας τις αβεβαιότητες που δίνει ο κατασκευαστής για τα μετρούμενα μεγέθη και εφαρμόζοντας προφανώς νόμος μετάδοσης σφαλμάτων στις εξισώσεις αυτές βρέθηκαν και τα σφάλματα για τις τιμές x,y,z.

Εν συνεχεία μετρήθηκαν σημεία στο έδαφος σε περιοχή γειτονική από εκεί που πατάει το μύτη του στυλεού. Τα σημεία αυτά παριστάνουν ένα επίπεδο το οποίο μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων η καλύτερη εξίσωση του επιπέδου (least squares fitting of plane).

Έπειτα απλώς υπολογίζεται η κάθετη απόσταση του κέντρου του κύκλου από το επίπεδο και η τιμή της απόσταση αυτής ταυτίζεται με το Υ.Σ του συστήματος πρίσματος στυλεού.

3.4.2.1 Υπολογισμός συντεταγμένων του κέντρου του πρίσματος.

Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων x,y,z τόσο του κέντρου το πρίσματος όσο και των σημείων που μετρήθηκαν γύρω από την ακίδα του στυλεού για τον υπολογισμό του επιπέδου κέντρου αρχικά θεωρήθηκε ότι το όργανο έχει οριζοντιωθεί και κεντρωθεί αυθαίρετα σε αυθαίρετο γεωδαιτικό σύστημα και μηδενίσει αυθαίρετα επίσης ,αφού αυτό που μας ένοιαζε στην ουσία είναι ο υπολογισμός των διανυσμάτων Δx,Δy,Δz όπου ως αρχή είχαν τον σκοπευτικό άξονα του laser tracker. Τα X_k , Y_k υπολογίστηκαν από το πρώτο θεμελιώδες και οι εξισώσεις παρατίθενται παρακάτω :

$$X_K = S_i \cdot \sin (a_i) \quad (3.8)$$

$$Y_K = S_i \cdot \cos(a_i) \quad (3.9)$$

Το Z υπολογίζεται από τον τύπο της τριγωνομετρικής υψομετρίας

$$Z_K = D_i \cdot \cos(\alpha_i) - \text{Υ.Σ} \quad (3.10)$$

- Σφάλμα για τις τιμές X,Y,Z προκύπτουν από νόμο μετάδοσης στις εξισώσεις (3.8),(3.9),(3.10) άρα προκύπτει ότι :

$$\sigma_{Xκ} = \sqrt{(\sigma_{Si} \cdot \sin(a_i))^2 + \left(\cos(a_i) \cdot S_i \cdot \frac{\sigma_{ai}}{\rho_{cc}}\right)^2} = \quad (3.11)$$

$$\sigma_{Yκ} = \sqrt{(\sigma_{Si} \cdot \cos(a_i))^2 + \left(\sin(a_i) \cdot S_i \cdot \frac{\sigma_{ai}}{\rho_{cc}}\right)^2} = \quad (3.12)$$

$$\sigma_{Zκ} = \sqrt{(\sigma_{Di} \cdot \cos(a_i))^2 + \left(\sin(a_i) \cdot D_i \cdot \frac{\sigma_{ai}}{\rho_{cc}}\right)^2} = \quad (3.13)$$

- **Αβεβαιότητες μηκών και διευθύνσεων χρησιμοποιώντας laser tracker**

Οι αβεβαιότητες που δίνονται από τον κατασκευαστή για το συγκεκριμένο laser tracker της εταιρίας FARO για τα μήκη S και τις διευθύνσεις δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

- Αβεβαιότητες για τα μήκη (ADM):

$$\sigma_s = 16(\mu\text{m}) + 0.5(\mu\text{m}/\text{m}) \cdot L(\text{m}) \quad (3.14)$$

, όπου

L η τιμή του μήκους που μετρήθηκε.

- Αβεβαιότητες για τις διευθύνσεις:

$$\sigma_\alpha = \tan\sigma_\alpha = \frac{d}{L} \quad (3.15)$$

, όπου

L η τιμή του μήκους που μετρήθηκε.

$$d = 20(\mu\text{m}) + 5(\mu\text{m}/\text{m}) \cdot L(\text{m})$$

3.4.2.2 Μαθηματικό μοντέλο επίλυσης Μ.Ε.Τ στο επίπεδο.

Ένα επίπεδο ορίζεται από 3 σημεία στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από 3 μπορεί να πραγματοποιηθεί συνόρθωση με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (least squares fitting of plane) , ώστε να προκύψουν οι καλύτερες τιμές των παραμέτρων που ορίζουν την εξίσωση του επιπέδου. Συγκεκριμένα η εξίσωση του επιπέδου είναι της μορφής:

$$ax + by + c = -z \quad (3.16)$$

➤ Το σύστημα για όλα τα σημεία γράφεται :

$$Ax_1 + By_1 + D = -z_1$$

$$Ax_2 + By_2 + D = -z_2$$

$$Ax_3 + By_3 + D = -z_3$$

...

$$Ax_n + By_n + D = -z_n$$

➤ Ο Πίνακας A έχει την μορφή:

	x_1	y_1	1
	x_2	y_2	1
A=	x_3	y_3	1
	1
	x_n	y_n	1

➤ Ο Πίνακας δy έχει την μορφή:

	$-z_1$
	$-z_2$
$\delta y=$	$-z_3$
	...
	$-z_n$

➤ Ενδιάμεσα γίνονται οι πράξεις :

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{A}$$

$$\mathbf{k} = \mathbf{A}^T \delta \mathbf{y}$$

- Προκύπτουν οι τιμές των αγνώστων μέσω της τελικής πράξης:

	A
$X=N^{-1}K=$	B
	D

- Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{u^T u}{n - m}}$$

,όπου

- $u = AX - dy$
- $n =$ πλήθος σημείων
- $m = 3$ άγνωστοι

- Ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων των αγνώστων είναι:

	σA^2		
$X=\sigma_0^2 N^{-1}K=$		σB^2	
			σD^2

3.4.2.3 Υπολογισμός απόστασης κέντρου πρίσματος από επίπεδο.

Τελικό στάδιο για τον υπολογισμό του Υ.Σ είναι να προσδιοριστεί η κάθετη απόσταση από το κέντρο του πρίσματος στον επίπεδο. Δηλαδή η κάθετη απόσταση από το κέντρο του κύκλου στο επίπεδο. Η απόσταση d αυτή υπολογίζεται από τον τύπο :

$$d = \frac{|A \cdot Xk + B \cdot Yk + C \cdot Zk - D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \quad (3.17)$$

- Εφαρμόζοντας το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στην εξίσωση (3.17) προκύπτει και η αβεβαιότητα με την οποία τελικά προσδιορίστηκε η τιμή του Υ.Σ.

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial A} \Delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial B} \Delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial C} \Delta C\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial D} \Delta D\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial x_o} \Delta x_o\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial y_o} \Delta y_o\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial z_o} \Delta z_o\right)^2} =$$

$$\sqrt{(A^2 + B^2 + C^2)^{-1} \cdot \left[(A\sigma_{x_o})^2 + (B\sigma_{y_o})^2 + (C\sigma_{z_o})^2 + \sigma_D^2 \right] + \left(\sigma_A \cdot \left(x_o - \frac{2 \cdot \omega \cdot A}{A^2 + B^2 + C^2} \right) \right)^2 + \left(\sigma_B \cdot \left(y_o - \frac{2 \cdot \omega \cdot B}{A^2 + B^2 + C^2} \right) \right)^2 + \left(\sigma_C \cdot \left(z_o - \frac{2 \cdot \omega \cdot C}{A^2 + B^2 + C^2} \right) \right)^2} =$$

(3.18)

,όπου

$$\omega = A \cdot x_o + B \cdot y_o + C \cdot z_o - D$$

3.4.2.4 Διαδικασία μετρήσεων στο εργαστήριο.

Με το μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό του Υ.Σ της κατασκευής έτοιμο όπως αυτό έχει περιγραφεί στα προηγούμενα 3 ΥΠΟ κεφάλαια υπήρχε η δυνατότητα να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις για τον υπολογισμό της τιμής του Υ.Σ. Το πείραμα επαναλήφθηκε δυο φορές ώστε να προκύψουν δυο τιμές για το Υ.Σ.

Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε ιδική επίπεδη τσιμεντένια επιφάνεια η οποία είναι ισοϋψείς σε όλο το μήκος της. Αρχικά πάνω στην επιφάνεια αυτή μετρήθηκαν με την χρήση του laser tracker σημεία πάνω στην επιφάνεια αυτή σε τοπικό αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων. Τα σημεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για τον υπολογισμό της καλύτερης εξίσωσης του επιπέδου. Έπειτα τοποθετήθηκε το σύστημα στυλεού – πρίσματος που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής σε περιοχή όπου μετρήθηκαν τα σημεία του επιπέδου και πάρθηκε ένα σημείο στο κέντρο του πρίσματος. Να σημειωθεί ότι επειδή η κατασκευή αυτή κατασκευάστηκε ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν πολλών ειδών πρίσματα αυτό δεν σημαίνει ότι μεταβάλλεται το Υ.Σ. Το Υ.Σ παραμένει αμετάβλητο ανεξάρτητα του πρίσματος που θα τοποθετηθεί.

Για τα σημεία που μετρήθηκαν με το laser tracker στην τσιμεντένια επιφάνεια τα οποία ορίζουν την εξίσωση του επιπέδου χρησιμοποιήθηκε SMR πρίσμα (εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12: Μέτρηση σημείων σε επίπεδη επιφάνεια με την χρήση laser tracker για τον υπολογισμό της εξίσωσης του επιπέδου.

Ακολουθώς το SMR πρίσμα τοποθετήθηκε πάνω στο σύστημα στυλεού – πρίσματος και αφού ο στυλεός βρέθηκε σε κατακόρυφη θέση με τη βοήθεια της φυσαλίδας κέντρωσης μετρήθηκε σημείο στο κέντρο του (εικόνα 3.13).



Εικόνα 3.13: Μέτρηση σημείου στο κέντρο του πρίσματος με την χρήση laser tracker.

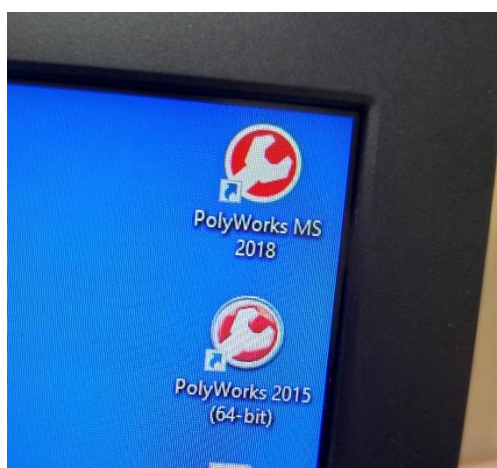
Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω το πείραμα επαναλήφθηκε δυο φορές κοινός έχουν παρθεί δυο ομάδες σημείων οι οποίες περιγράφουν το επίπεδο και δυο σημεία πάνω στο πρίσμα. Το laser tracker έχει την δυνατότητα μέσω του λογισμικού του PolyWorks να κάνει απευθείας επίλυση ταχυμετρίας και να δώσει στο χρήστη σε αρχείο .txt τις συντεταγμένες των σημείων που μετρήθηκαν. Συγκεκριμένα πάρθηκε ο εξής αριθμός σημείων:

Plane 1: 89 total points

Center of prism 1: 1 point

Plane 2: 102 total points

Center of prism 2: 1 point



Εικόνα 3.14: Λογισμικό PolyWorks με το οποίο διαχειρίζονται οι μετρήσεις του laser tracker.

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις που έγιναν και χρησιμοποιώντας το μαθηματικό μοντέλο που φτιάχτηκε μπορεί να προσδιοριστεί το ύψος στόχου (Υ.Σ).

Επίλυση πρώτου πειράματος.

Αρχικά υπολογίστηκε με τη MET για τα 89 σημεία η καλύτερη εξίσωση του επιπέδου. Ο πίνακας σχεδιασμού A κατά την επίλυση είναι μεγέθους 89×3 και ο πίνακας δy των μετρήσεων είναι 89×1 . Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του πίνακα καλύτερων τιμών X, το σ a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας και ο πίνακας V_x μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων.

- Οι καλύτερες τιμές των αγνώστων στον πίνακα X:

	-0.02812
X=	-0.01339
	0.81408

Πίνακας 3.17: Πίνακας καλύτερων τιμών X εξίσωσης επιπέδου πρώτου πειράματος.

- Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{u^T u}{n-m}} = \pm 6.33 \cdot 10^{-6}$$

- Ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων των αγνώστων είναι:

	2.85037E-09	1.4648E-09	-7.909E-10
VX=	1.46482E-09	1.7412E-09	-2.912E-09
	-7.90867E-10	-2.912E-09	6.5711E-09

Πίνακας 3.18: Πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας παραμέτρων εξίσωσης επιπέδου πρώτου πειράματος.

- Προκύπτει λοιπόν ότι η εξίσωση του επιπέδου είναι:

$$-0.02812 \cdot x - 0.01339 \cdot y + 1 \cdot z + 0.81408$$

- Τα σφάλματα των μεταβλητών της εξίσωσης του επιπέδου:

(Μέτρα)	Μεταβλητές	Σφάλματα
A	-0.02812	0.00005
B	-0.01339	0.00004
C	1.00000	0.00000
D	0.81408	0.00008

Πίνακας 3.19: Καλύτερες τιμές μεταβλητών εξίσωσης επιπέδου και τα σφάλματά τους - αποτελέσματα πρώτου πειράματος.

- Οι συντεταγμένες του κέντρου του πρίσματος προσδιορίστηκαν ίσες με:

$$x = -1.01232 \text{ m}$$

$$y = 2.51997 \text{ m}$$

$$z = -0.69718 \text{ m}$$

- Το σφάλμα των συντεταγμένων του κέντρου του πριμάτος βρίσκεται μέσω μιας σειράς πράξεων που παρατίθενται στον μαθηματικό μοντέλο της σελίδας 97.

- Αβεβαιότητες για τα μήκη (ADM) (απόσταση $L \approx 4\text{m}$)

$$\sigma_s = 16(\mu\text{m}) + 0.5(\mu\text{m}/\text{m}) \cdot L(\text{m}) = 16 + 0.5 \cdot 4 = 18\mu\text{m}$$

- Αβεβαιότητες για τις διευθύνσεις:

$$\sigma_\alpha = \tan \sigma_\alpha = \frac{d}{L} \rightarrow \sigma_\alpha = \frac{20+5 \cdot 4}{4} \rightarrow \sigma_\alpha = \frac{20(\mu\text{m})}{4(\text{m})} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{4}$$

- Τα σφάλματα των συντεταγμένων προκύπτουν από τις εξισώσεις (3.11), (3.12), (3.13), όπου τα αποτελέσματα παρατίθενται παρακάτω:

$$\sigma_{X\kappa} = \pm 18\mu\text{m}$$

$$\sigma_{Y\kappa} = \pm 19\mu\text{m}$$

$$\sigma_{Z\kappa} = \pm 19\mu\text{m}$$

- Προκύπτει λοιπόν ότι :

$$x = -1.01232\text{m} \pm 18\mu\text{m}$$

$$y = 2.51997 \text{ m} \pm 19\mu\text{m}$$

$$z = -0.69718 \text{ m} \pm 19\mu\text{m}$$

- Χρησιμοποιώντας την εξίσωση του επιπέδου που προέκυψε και τις συντεταγμένες του κέντρου του πρίσματος υπολογίζεται το Υ.Σ μέσω της εξίσωσης απόστασης σημείου από επίπεδο

$$d = \frac{|A \cdot X_k + B \cdot Y_k + C \cdot Z_k - D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

$$= \frac{|-0.02812 \cdot (-1.01232) + (-0.01339) \cdot 2.51997 + 1 \cdot (-0.69718) - 0.814075|}{\sqrt{(-0.02812)^2 + (-0.01339)^2 + (1)^2}} =$$

$$= 0.11157m$$

- Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.18) στην οποία εφαρμόζεται ο νόμος μετάδοσης σφαλμάτων στην εξίσωση απόστασης σημείου από επίπεδο υπολογίζεται το σφάλμα προσδιορισμού του Υ.Σ. Λόγω του μεγέθους της συγκεκριμένης εξίσωσης η οποία παρατίθεται στην σελίδα 100 δημιουργήθηκε λογισμικό σε υπολογιστικό φύλλο excel όπου υπολογίζεται το σφάλμα, το οποίο είναι ίσο με :

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial A} \Delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial B} \Delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial C} \Delta C\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial D} \Delta D\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial x_0} \Delta x_0\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial y_0} \Delta y_0\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial z_0} \Delta z_0\right)^2} = \pm 0.12mm$$

- Προκύπτει λοιπόν ότι για το πρώτο πείραμα η τιμή για το Υ.Σ :

$$Y.S = 11.157cm \pm 0.12mm$$

Αν και δεν έχει γίνει έλεγχος της τιμής του Υ.Σ και από το δεύτερο πείραμα ή οποία δεν αναμένεται να είναι και πολύ διαφορετική, αφού οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν με την χρήση του laser tracker είναι αρκετά καλές. Παρατηρείται ότι υπάρχει απόκλιση στο ύψος στόχου συγκριτικά με τα μηχανολογικά σχέδια της σελίδας 71 τα οποία δίνουν την απόσταση από την μύτη του στυλεού μέχρι το κέντρο του πρίσματος δηλαδή το Ύψος Στόχου ίσο με 11 cm. Η απόσταση που υπολογίστηκε είναι περίπου κατά 1.5 χιλιοστά μεγαλύτερη και η διαφορά αυτή ευθύνεται πιθανότατα οφείλεται σε κατασκευαστικό λάθος. Παρακάτω η διαδικασία υπολογισμού του Υ.Σ επαναλαμβάνεται και για τη δεύτερη σειρά μετρήσεων (δεύτερο πείραμα).

Επίλυση δεύτερου πειράματος.

Αρχικά υπολογίστηκε κάνοντας MET για τα 102 σημεία η καλύτερη εξίσωση του επιπέδου. Ο πίνακας σχεδιασμού A κατά την επίλυση είναι μεγέθους 102 x 3 και ο πίνακας δy των μετρήσεων είναι 102 x 1. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του πίνακα καλύτερων τιμών X, το σ_0 a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας και ο πίνακας Vx μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων.

- Οι καλύτερες τιμές των αγνώστων στον πίνακα X:

	-0.02800
X=	-0.01342
	0.81426

Πίνακας 3.20: Πίνακας καλύτερων τιμών X εξίσωσης επιπέδου δεύτερου πειράματος.

- Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{u^T u}{n-m}} = 7.9 \cdot 10^{-6}$$

- Ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων των αγνώστων είναι:

	2.5938E-09	1.38155E-09	-8.34275E-10
VX=	1.38155E-09	1.64073E-09	-2.73642E-09
	-8.34275E-10	-2.73642E-09	6.07476E-09

Πίνακας 3.21: Πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας παραμέτρων εξίσωσης επιπέδου δεύτερου πειράματος.

- Προκύπτει λοιπόν ότι η εξίσωση του επιπέδου είναι:

$$-0.02800 \cdot x - 0.01342 \cdot y + 1 \cdot z + 0.81426$$

- Τα σφάλματα των μεταβλητών της εξίσωσης του επιπέδου:

(Μέτρα)	Μεταβλητές	Σφάλματα
A	-0.02800	0.00005
B	-0.01342	0.00004
C	1.00000	0.00000
D	0.81426	0.00008

Πίνακας 3.22: Καλύτερες τιμές μεταβλητών εξίσωσης επιπέδου και τα σφάλματά τους - αποτελέσματα δεύτερου πειράματος.

- Η συντεταγμένη του κέντρου του πρίσματος μετρήθηκαν και είναι ίσες με:

$$x = -1.010087 \text{ m}$$

$$y = 2.519747 \text{ m}$$

$$z = -0.697113 \text{ m}$$

- Το σφάλμα της συντεταγμένης του κέντρου του πριμάτος για να βρίσκεται μέσω μιας σειράς πράξεων που παρατίθενται στον μαθηματικό μοντέλο της σελίδας 97.

- Αβεβαιότητες για τα μήκη (ADM) (απόσταση $L \approx 4\text{m}$)

$$\sigma_s = 16(\mu\text{m}) + 0.5(\mu\text{m}/\text{m}) \cdot L(\text{m}) = 16 + 0.5 \cdot 4 = 18\mu\text{m}$$

- Αβεβαιότητες για τις διευθύνσεις:

$$\sigma_\alpha = \tan \sigma_\alpha = \frac{d}{L} \rightarrow \sigma_\alpha = \frac{20+5 \cdot 4}{4} \rightarrow \sigma_\alpha = \frac{20(\mu\text{m})}{4(\text{m})} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{4}$$

- Τα σφάλματα των συντεταγμένων προκύπτουν από τις εξισώσεις (3.11), (3.12), (3.13), όπου τα αποτελέσματα παρατίθενται παρακάτω:

$$\sigma_{X\kappa} = 18\mu\text{m}$$

$$\sigma_{Y\kappa} = 19\mu\text{m}$$

$$\sigma_{Z\kappa} = 19\mu\text{m}$$

➤ Προκύπτει λοιπόν ότι :

$$x = -1.010087\text{m} \pm 18\mu\text{m}$$

$$y = 2.519747\text{ m} \pm 19\mu\text{m}$$

$$z = -0.697113\text{ m} \pm 19\mu\text{m}$$

➤ Χρησιμοποιώντας την εξίσωση του επιπέδου που προέκυψε και την συντεταγμένη του κέντρου του πριμάτος υπολογίζεται το Υ.Σ μέσω της εξίσωσης απόστασης σημείου από επίπεδο

$$d = \frac{|A \cdot X_k + B \cdot Y_k + C \cdot Z_k - D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

$$= \frac{|-0.02812 \cdot (-1.01232) + (-0.01339) \cdot 2.51997 + 1 \cdot (-0.69718) - 0.814075|}{\sqrt{(-0.02812)^2 + (-0.01339)^2 + (1)^2}} =$$

$$= 0.11158\text{m}$$

➤ Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3.18) στην οποία εφαρμόζεται ο νομός μετάδοσης σφαλμάτων στην εξίσωση απόστασης σημείου από επίπεδο υπολογίζεται το σφάλμα προσδιορισμού του Υ.Σ. Λόγω του μεγέθους της συγκεκριμένης εξίσωσης η οποία παρατίθεται στην σελίδα 100 δημιουργήθηκε λογισμικό σε υπολογιστικό φύλλο excel όπου υπολογίζεται την του σφάλματος η οποία είναι ίση με :

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial A} \Delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial B} \Delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial C} \Delta C\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial D} \Delta D\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial x_0} \Delta x_0\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial y_0} \Delta y_0\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial z_0} \Delta z_0\right)^2} = 0.12\text{mm}$$

➤ Προκύπτει λοιπόν ότι για το δεύτερο πείραμα η τιμή για το Υ.Σ :

$$\text{Υ.Σ} = 11.158\text{cm} \pm 0.12\text{mm}$$

Στατιστικός έλεγχος συγκρίσεις αποτελεσμάτων των 2 πειραμάτων.

- Καταγραφή των αποτελεσμάτων που προκύψαν από τα δυο πειράματα και τα σφάλματα παρατίθενται παρακάτω:

	Υ.Σ (cm)	σ_Υ.Σ (mm)
1ο Πείραμα	11.157	0.12
2ο Πείραμα	11.158	0.12

Πίνακας 3.23: Αποτελέσματα των δυο πειραμάτων για τις τιμές του Ύψους Στόχου.

Για τον έλεγχο μεταξύ των αποτελεσμάτων των δυο πειραμάτων κρίνεται σωστό να γίνει στατιστικός έλεγχος σύγκρισης των δυο αποτελεσμάτων για να ελεγχθεί αν η διαφορά του ενός αποτελέσματος με το άλλο είναι στατιστικά σημαντική.

Η διαφορά κρίνεται στατιστικά σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% όταν η διάφορα των δυο αποτελεσμάτων είναι μεγαλύτερη από το γινόμενο του $Z_{95\%}=1.96$ επί το σφάλμα της διαφοράς το οποίο προκύπτει από νόμο μετάδοσης σφαλμάτων, δηλαδή πρέπει να ισχύει η παρακάτω ανίσωση:

$$\Delta c > 1.96 \cdot \sigma_{\Delta c} \quad (3.7)$$

- Έλεγχος

- $\Delta c = 11.158 - 11.157 = 0.001 \text{ cm}$ ή $10 \mu\text{m}$

- $\sigma_{\Delta c} = \sqrt{0.12^2 + 0.12^2} = \sqrt{2} \cdot 0.12 \cong 0.17 \text{ mm}$ ή $170 \mu\text{m}$

Άρα από (3.7) $\rightarrow 10 \mu\text{m} > 1.96 \cdot 170 \mu\text{m} \approx 333 \mu\text{m}$ **Άτοπο**

Άρα η διαφορά των δυο τιμών δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Επομένως η τιμή του Υ.Σ προκύπτει από το μέσο όρο των δυο τιμών $Υ.Σ = (11.157 + 11.158) / 2 = 11.1575 \mu\text{m} \pm 0.12 \text{ mm}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΧΑΡΑΞΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

4.1 Εισαγωγή

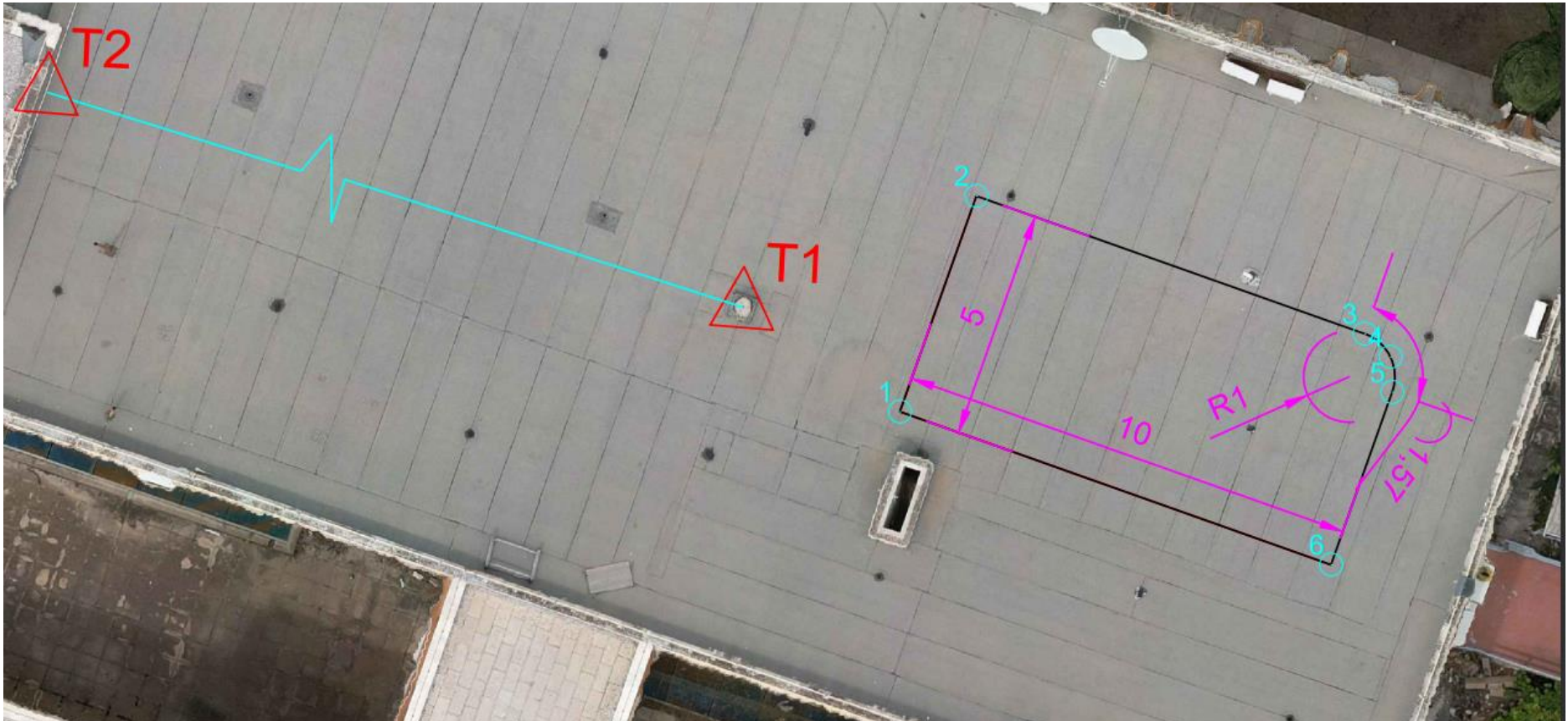
Μετά την κατασκευή της διάταξης στυλεός-ανακλαστήρας και τον μετρολογικό της έλεγχο, γνωρίζοντας τις τεχνικές διαδικασίες της χάραξης από το πρώτο κεφάλαιο και έχοντας καταγράψει τα σφάλματα που υπάρχουν κατά τη διαδικασία της χάραξης προτείνοντας λύσεις εκμηδενισμού τους ή ελαχιστοποίησής τους στο δεύτερο κεφάλαιο , δηλαδή έχοντας όλο αυτό το υπόβαθρο πραγματοποιήθηκαν 2 πειράματα χαράξεων ακρίβειας εντός του χώρου της Πολυτεχνειούπολης και συγκεκριμένα στην σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής .

4.2 1^ο Πείραμα

Το πρώτο πείραμα πραγματοποιήθηκε στην οροφή του κτιρίου Λαμπαδάριου όπου ζητούμενο ήταν τριδιάστατη χάραξη ακριβείας 6 σημείων σε κάποιο τοπικό αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων. Συγκεκριμένα τα σημεία αυτά παριστάνουν ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μεγέθους 5m x 10m με την μια κορυφή να μην είναι γωνιακή αλλά να παριστάνει τόξο μήκους 1.57m. Συνεπώς δηλαδή χαράζονται 3 γωνίες του παραλληλογράμμου και η αρχή η μέση και το τέλος του τόξου. Τα σημεία αυτά χαράζονται από βάθρο (T1) που βρίσκεται στην ταράτσα του κτιρίου του Λαμπαδάριου στο οποίο οριζοντιώνεται και κεντρώνεται γεωδαιτικός σταθμός ακριβείας . Τα 6 σημεία αυτά καθώς και οι μεταξύ της αποστάσεις καθώς και το βάθρο (T1) φαίνονται με υπέρθεση στην εικόνα 4.1 η οποία είναι απόσπασμα ορθοφωτοχάρτη του κτιρίου των τοπογράφων.

Στο βάθρο T1 όπου κεντρώνεται και οριζοντιώνεται ο γεωδαιτικός σταθμός με τη βοήθεια βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης θεωρούνται αυθαίρετα συντεταγμένες ($x=100, y=100$) και στην στέψη της βάσης της εξαναγκασμένης κέντρωσης θεωρείται αυθαίρετα υψομετρική αφετηρία 0. Τέλος ο γεωδαιτικός σταθμός μηδενίζει αυθαίρετα σε τυχαίο σημείο T2 συντεταγμένων ($x=100, y=50$).

Ο ορθοφωτοχάρτης είναι γεωαναφερμένος σε τοπικό αυθαίρετο γεωδαιτικό σύστημα και δημιουργήθηκε από τον συγγραφέα κατά τη διάρκεια των σπουδών του για λόγους εξάσκησης το παρακάτω σχήμα έχει γίνει export από σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD.



Σχήμα 4.1: Τμήμα Ορθοφωτοχάρτη του κτιρίου Λαμπαδάριου , όπου φαίνονται τα 6 σημεία που καλούνται να χαραχθούν και το βάθρο (T1) που κεντρώνεται ο γεωδαιτικός σταθμός και η διεύθυνση T2 που μηδενίζει το όργανο.

Η λήψη συντεταγμένων των 6 σημείων που καλούνται να χαραχθούν έγιναν χρησιμοποιώντας απλές εντολές σε σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD και οι συντεταγμένες αυτές είναι οι εξής :

Οι συντεταγμένες (x,y,z) (m) των 6 σημείων παρατίθενται παρακάτω:

- 1, (101,104,-1)
- 2, (96,104 -1)
- 3, (96,113,-1)
- 4, (96.2929,113.7071,-1)
- 5, (97,114,-1)
- 6, (101,114,-1)

Για την χάραξη των 6 αυτών σημείων χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός :

1. Γεωδαιτικός σταθμός ακριβείας (**LEICA TCRM 1201**)
2. Βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης
3. Ψηφιακός χωροβάτης (**Topcon DL-101C**)
4. Τρίποδας
5. 2 σταδίες
6. Χελώνα
7. Σύστημα στυλεού – πρίσματος που κατασκευάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο
8. Κόκκινη μπογιά (για υλοποίηση των σημείων)
9. Τέλος συνεργείο 3 ατόμων συμπεριλαμβανομένου και του συγγραφέα προφανώς ,ώστε να γίνουν οι εργασίες πεδίου.

4.2.1 Προκαταρκτικές εργασίες γραφείου πριν την έναρξη της χάραξης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 1.9 πλέον οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν λογισμικά με τα οποία μπορούν και υπολογίζουν μόνοι τους τα στοιχεία χάραξης αρκεί ο χρήστης να έχει μεταφέρει από τον υπολογιστή του στο γεωδαιτικό σταθμό τις συντεταγμένες των σημείων που καλούνται να χαραχθούν και προφανώς τις κορυφές του δικτύου οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την χάραξη.

Έτσι λοιπόν και στην περίπτωση αυτού του πειράματος στον γεωδαιτικό σταθμό εισήχθησαν οι συντεταγμένες των 6 σημείων που παρατίθενται στην προηγούμενη σελίδα και που καλούνται να χαραχθούν καθώς και οι συντεταγμένες T1 και T2 των κορυφών του δικτύου.

Επίσης στον γεωδαιτικό σταθμό τοποθετήθηκε σταθερά χαρτογραφικής παραμόρφωσης $K=1$ στο λογισμικό του.

Τέλος, στο λογισμικό του οργάνου τοποθετήθηκε σταθερά πρίσματος $c=15.8\text{mm}$, αφού ήταν γνωστό ότι θα χρησιμοποιηθεί το πρίσμα GMP111 το οποίο θα τοποθετούνταν στη διάταξη στυλεού – πρίσματος που κατασκευάστηκε στο κεφάλαιο 3.

4.2.2 Έναρξη εργασιών πεδίου – Κέντρωση γεωδαιτικού σταθμού πάνω στο βάθρο και υπολογισμός του Ύψους Στόχου.

Στο πεδίο συγκεντρώθηκε όλος ο απαραίτητος εξοπλισμός και πρώτη εργασία ήταν η οριζοντίωση και η κέντρωση του γεωδαιτικού σταθμού με τη βοήθεια της βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης πάνω στο βάθρο T1 (εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Γεωδαιτικός σταθμός LEICA TCRM 1201 τοποθετημένος πάνω στο βάθρο T1 συντεταγμένων ($x = 100$, $y = 100$).

Στο λογισμικό υπολογισμού στοιχείων χάραξης του γεωδαιτικού σταθμού πρώτη διαδικασία είναι να δηλωθεί στο λογισμικό σε ποια κορυφή του δικτύου έχει γίνει οριζοντίωση και κέντρωση του γεωδαιτικού σταθμού, δηλαδή στην κορυφή T1 και ταυτόχρονα να γίνει εισαγωγή του ύψους οργάνου.

Το ύψος οργάνου στην περίπτωση αυτού του πειράματος είναι το μήκος από την στέψη της βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης μέχρι τη σήμανση που φέρει ο γεωδαιτικός σταθμός. Το μήκος αυτό συνήθως μετράτε με μετροταινία αλλά για την αποφυγή σφαλμάτων τα οποία θα έχουν αντίκτυπο στην υψομετρική χάραξη των σημείων. Ο υπολογισμός του ύψους οργάνου στο πρώτο πείραμα γίνεται με την πρώτη μέθοδο υπολογισμού ύψους οργάνου που περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 2.4.2.2 και δίνει μικρές αβεβαιότητες στον υπολογισμό της τιμής αυτής.

Στην πρώτη φάση υπολογισμού του ύψους οργάνου τοποθετήθηκε η πρώτη σταδία στην στέψη της βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης (ο γεωδαιτικός σταθμός απομακρύνεται) έστω σε σημείο A (όλα τα σημεία στην στέψη της βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης είναι ισοϋψή , αφού η βάση έχει οριζοντιωθεί πρώτα..) και η δεύτερη σταδία πάνω σε χελώνα σε κάποιο τυχαίο σημείο B στο πεδίο. Ο χωροβάτης τοποθετείτε στην μεσοκάθετο μεταξύ των σημείων A και B και λαμβάνει αναγνώσεις στις σταδίες (εικόνα 4.2),(εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.2: Σταδία στην στέψη βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης έστω σε σημείο A και ο χωροβάτης λαμβάνει ανάγνωση.



Εικόνα 4.3: Σταδία πάνω σε χελώνα σε τυχαίο σημείο B στο πεδίο και ο χωροβάτης λαμβάνει ανάγνωση.

Στην επόμενη φάση υπολογισμού του ύψους οργάνου απομακρύνεται η σταδία από το σημείο A ο γεωδαιτικός σταθμός επανατοποθετείται στην βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης συνεπώς στο σημείο A και αφού ο κατακόρυφος άξονας του οργάνου πακτωθεί στους 100° λαμβάνει ανάγνωση e στην σταδία που βρίσκεται στο σημείο B. Για να ληφθεί ανάγνωση από το γεωδαιτικό σταθμό στην σταδία που βρίσκεται στο σημείο B η σταδία κάνει στροφή 180° πάνω στην χελώνα, ώστε να γυρίσει από την ψηφιακή ανάγνωση στην αναλογική. Η ίδια διαδικασία ανάγνωσης της τιμής e επαναλαμβάνεται και δεύτερη φορά με τον γεωδαιτικό σταθμό να έχει κάνει αναστροφή περιστροφή και να έχει πακτωθεί ο κατακόρυφος δίσκος στους 300° . Από τις δυο αναγνώσεις e_1 και e_2 βγαίνει ο μέσος όρος (εικόνα 4.4).

Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν στις δυο φασεις είναι :

1. Μέτρηση με χωροβάτη στο σημείο A : 0.3003m
2. Μέτρηση με χωροβάτη στο σημείο B : 1.1776m
3. $\Delta H = H_B - H_A = -0.8773m$
4. Ανάγνωση με total station στην σταδία στο σημείο B: $e_1 = 1.1242 m$
 $e_2 = 1.1232.$
5. $e = e_1 + e_2 = 1.1237m$



Εικόνα 4.4: Ανάγνωση στην σταδία στο σημείο B.

Το τελικό αποτέλεσμα για το ύψος οργάνου προκύπτει από την εξίσωση:

$$Υ.Ο = \Delta H_{AB} + e = -0.8773 + 1.1237 = 0.2464\text{m}$$

4.2.3 Έναρξη χάραξης των 6 σημείων.

Στο λογισμικό χάραξης του γεωδαιτικού σταθμού και εφόσον έχουν εισαχθεί από το γραφείο οι συντεταγμένες των 6 σημεία που καλούνται να χαραχθούν και οι στάσεις 2 στάσεις T1 και T2 ορίστηκε σε αρχικό στάδιο η στάση στην οποία είναι κεντρωμένος ο γεωδαιτικός σταθμός δηλαδή στο βάθρο T1 και το ύψος οργάνου. Σε δεύτερο στάδιο σκοπεύτηκε η στάση T2 και έτσι ο γεωδαιτικός σταθμός υπολόγισε την διεύθυνση αναφοράς. Ο γεωδαιτικός σταθμός σε αυτό το σημείο είχε όλα τα απαραίτητα δεδομένα για να υπολογίσει στοιχεία χάραξης για τα 6 σημεία που καλούνται να χαραχθούν. Τέλος ο χειριστής δηλώνει στον γεωδαιτικό σταθμό ποιο σημείο πρέπει να χαραχθεί και γεωδαιτικός σταθμός κατευθύνει τον χειριστή σε ποια διεύθυνση βρίσκεται το σημείο προς χάραξη και σε τι απόσταση από την στάση. Έχοντας αυτήν την πληροφορία ο χειριστής του οργάνου κατευθύνει τον στοχοφόρο, ώστε να εντοπίσει το σημείο χάραξης (εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5: Προσπάθεια χάραξης του 1^{ου} σημείου από τα 6

Ο στοχοφόρος όταν βρίσκει την θέση του σημείου που καλείται να χαραχθεί και χρησιμοποιώντας το σύστημα στυλεού – πρίσματος υλοποιεί το σημείο χάραξης τοποθετώντας μια σιδερένια λαβή σε κόκκινη μπογιά και περνώντας την λαβή αυτή μέσα από τον οπή που έγινε στο στυλεό. Με αυτό το τρόπο υλοποιείται οριζοντιογραφικά το σημείο με μεγάλη ακρίβεια. Όπως προκύπτει από τα μηχανολογικά σχέδια η οπή που έχει γίνει στον στυλεό είναι διαμέτρου 1mm χιλιοστού και έτσι αντίστοιχων διαστάσεων είναι και η κόκκινη τελεία στο πεδίο που παριστάνει την θέση του σημείου 1. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους του υλοποιημένου σημείου σχεδιάστηκε γύρω από αυτό ένας κόκκινος κύκλος ώστε να εντοπίζεται καλύτερα από τους ενδιαφερομένους και επίσης αναγράφεται το νούμερο του σημείου που χαραχθηκε λίγο πιο δίπλα (π.χ. N.1) (εικόνα 4.7).

Υψομετρικά γνωρίζοντας ότι η υψομετρική αφετηρία 0 είναι η στέψη της βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης , γνωρίζοντας ότι όλα τα σημεία που καλούνται να χαραχθούν πρέπει να βρίσκονται στο -1m , έχοντας υπολογίσει το ύψος οργάνου και τέλος έχοντας υπολογίσει το ύψος στόχου του συστήματος στυλεού – πρίσματος στο προηγούμενο κεφάλαιο το λογισμικό του οργάνου ήταν σε θέση να δώσει πόσο ψηλότερα ή χαμηλότερα από την πραγματικότητα βρίσκεται το σημείο που καλείται να χαραχθεί.

Για παράδειγμα το πρώτο σημείο αφού χαράχθηκε οριζοντιογραφικά το οργάνου έδειξε ένδειξη στον χειριστή ότι βρίσκεται σε αυτήν την θέση ως προς x,y και υψομετρικά 12.6 cm χαμηλότερα από ότι θα έπρεπε. Έτσι λοιπόν το νούμερο αυτό αναγράφεται και αυτό δίπλα από το υλοποιημένο σημάδι ως (-12.6cm) , ώστε να γνωρίζουν οι ενδιαφερόμενοί ότι το σημείο αυτό βρίσκεται αυτήν την απόσταση χαμηλότερα από ότι θα έπρεπε (εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.6: Υλοποιημένο σημείο οριζοντιογραφικής χάραξης του σημείου 1.



Εικόνα 4.7: Υλοποιημένο σημείο οριζοντιογραφικής και υψομετρικής χάραξης του σημείου 1 (τριδιάστατη) .

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα υπόλοιπα 5 σημεία στις επόμενες σελίδες παρατίθενται φωτογραφίες:



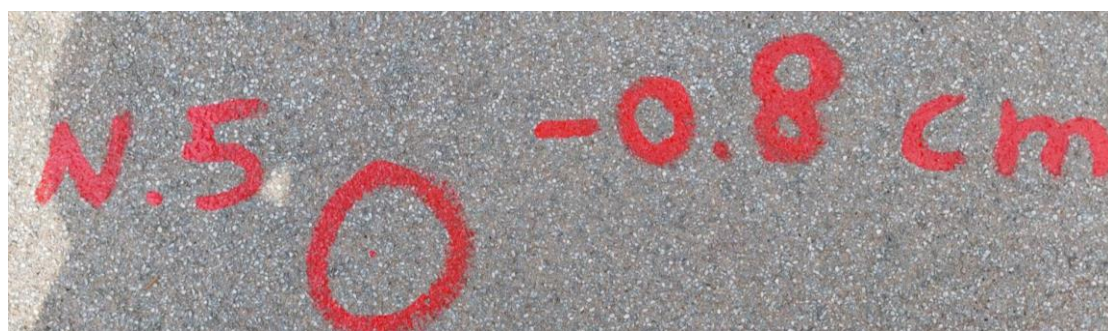
Εικόνα 4.8: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 2.



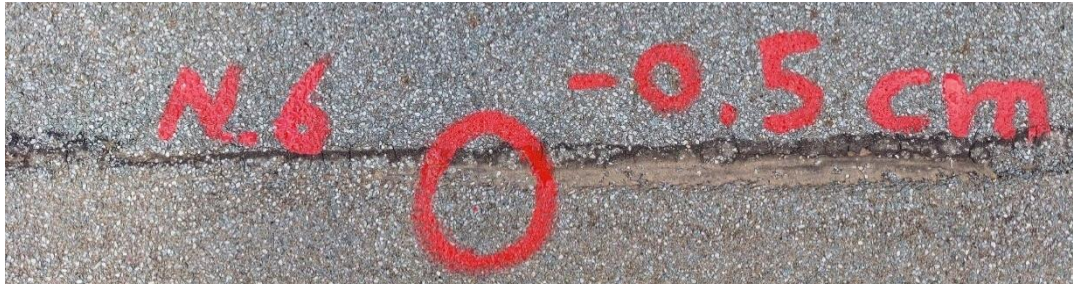
Εικόνα 4.9: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 3.



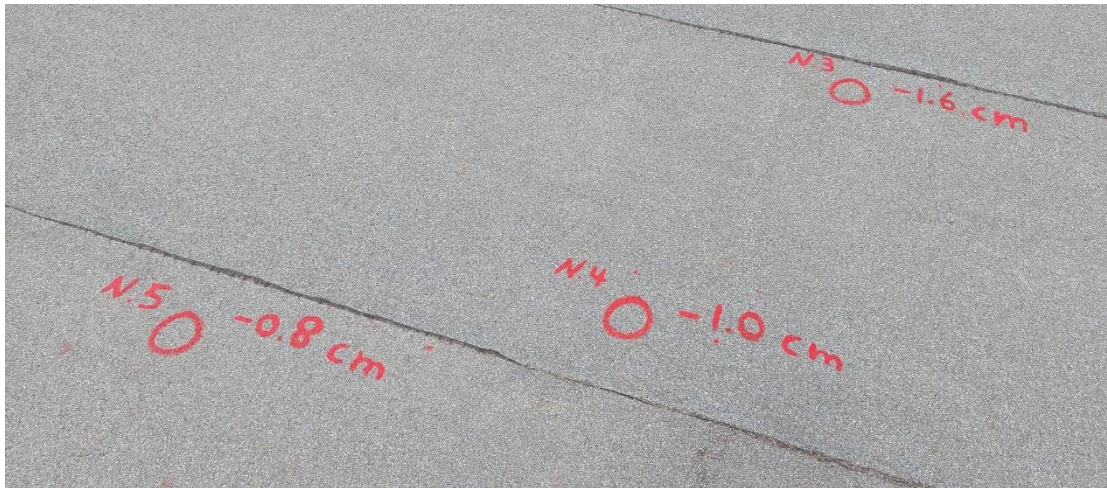
Εικόνα 4.10: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 4.



Εικόνα 4.11: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 5.



Εικόνα 4.12: Υλοποιημένο σημείο 3d χάραξης σημείου 6.



Εικόνα 4.13: Πανοραμική εικόνα των 3 σημείων του τόξου (Αρχή, μέση, τέλος).

4.2.4 Υψομετρική χάραξη των σημείων με δεύτερο τρόπο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο διαφοράς τριγωνομετρικής υψομετρίας (M.L.M).

Για να γίνει έλεγχος της υψομετρικής χάραξης που έγινε παραπάνω τα σημεία χάραχθηκαν υψομετρικά και με τη μέθοδο της διαφοράς τριγωνομετρικής υψομετρίας. Για την χάραξη με τη μέθοδο αυτή ο γεωδαιτικός σταθμός απομακρύνθηκε από το βάθρο T1 και οριζοντιώθηκε και κεντρώθηκε αυθαίρετα πάνω σε τρίποδα με κριτήριο να έχει ορατότητα σε όλα τα χαραγμένα σημεία. Το μαθηματικό μοντέλο για αυτήν της μέθοδο υψομετρικής χάραξης ορίζεται από την εξίσωση (1.9) και περιγράφεται ως διαδικασία στο κεφάλαιο (1.6.3).

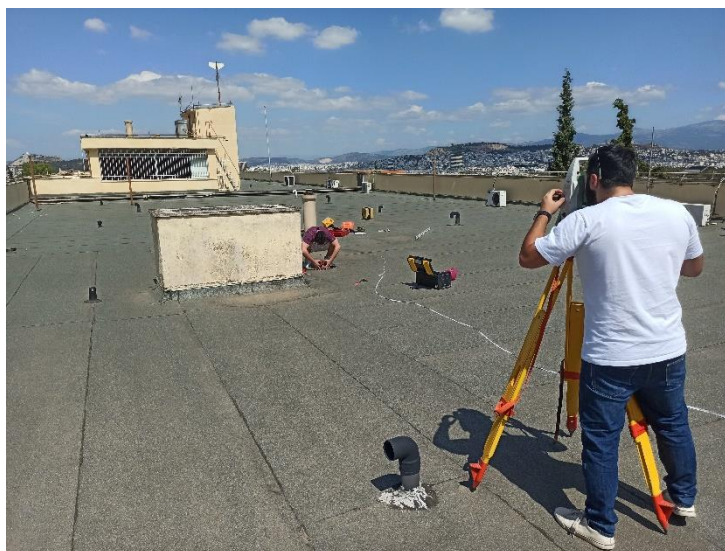
Έπειτα το σύστημα στυλεού – πρίσματος τοποθετείται στην στέψη της βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης όπου είναι η υψομετρική αφετηρία του πειράματος με τιμή 0. Ο γεωδαιτικός σταθμός λαμβάνει μέτρηση για το μήκος και για την ζενίθια γωνιά (εικόνα 4.12).



Εικόνα 4.14: Μέθοδος υψομετρικής χάραξης MLM γεωδαιτικός σταθμός σκοπεύει την υψομετρική αφετηρία.

Έπειτα ο στοχοφόρος πηγαίνει και τοποθετεί το σύστημα στυλεού – πρίσματος πάνω σε ένα από τα χαραγμένα σημάδια . Ο χειριστής του γεωδαιτικού σταθμού λαμβάνει μέτρηση μήκους και ζινίθειας γωνίας (π.χ για το σημείο 1)(εικόνα 4.13).

Τοποθετώντας τα μετρημένα μεγέθη στην εξίσωση (1.9) προκύπτει η υψομετρική διαφορά μεταξύ της υψομετρικής αφετηρίας και του σημείου 1.



Εικόνα 4.15: Υψομετρική χάραξη του σημείου 1 με τον δεύτερο τρόπο (MLM).

Για παράδειγμα τοποθετώντας τα μετρημένα μεγέθη στην εξίσωση (1.9) για το πρώτο σημείο προέκυψε ότι η υψομετρική διαφορά $\Delta H_{T1,1} = -1.125m$. Επειδή το σημείο 1 όπως και τα υπόλοιπα καλείται να χαραχθεί στο επίπεδο -1 προκύπτει ότι από την υψομετρική διαφορά $\Delta H_{T1,1}$ αφαιρείται 1m και έτσι προκύπτει ότι για το σημείο 1 βρίσκεται χαμηλότερα κατά 12.5cm από το επίπεδο -1. Θυμίζετε ότι με την πρώτη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων το αποτέλεσμα που είχε προκύψει ήταν 12.6cm δηλαδή για το σημείο 1 δηλαδή υπάρχει διαφορά μόλις 1mm χιλιοστού.

Η ίδια διαδικασία έγινε και για τα υπόλοιπα σημεία και τα αποτελέσματα παρατίθενται στην παρακάτω πίνακα 4.2 στον οποίο επίσης δίνονται και τα αποτελέσματα που προέκυψαν με την 1^η μέθοδο ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα.

Σημείο Χάραξης	1η Μέθοδος	2η Μέθοδος
	Πολικές (cm)	MLM (cm)
Σημείο 1	-12.6	-12.5
Σημείο 2	-7.2	-7.1
Σημείο 3	-1.6	-1.6
Σημείο 4	-1.0	-0.9
Σημείο 5	-0.8	-0.7
Σημείο 6	-0.5	-0.5

Πίνακας 4.1: Πίνακας σύγκρισης αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων υψομετρικής χάραξης.

Παρατηρείται ότι η διαφορές στα σημεία 1,2,4,5 είναι μόλις ενός χιλιοστού ενώ στα σημεία 3,6 δεν υπάρχουν διαφορές. Αυτό καθιστά την υψομετρική χάραξη των σημείων επιτυχημένη καθώς οι διαφορές είναι είτε ανύπαρκτες είτε μηδαμινές.

Σημειώνεται επίσης ότι η μέθοδος διαφοράς τριγωνομετρικής υψομετρίας (MLM) υπάρχει και αυτή σαν λογισμικό στους σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς, ώστε να αποφεύγεται η διαδικασία υπολογισμών στο πεδίο και συνεπώς να επιτυγχάνονται οι διαδικασίες της χάραξης. Ο χειριστής αρκεί να στοχεύσει την υψομετρική αφετηρία και έπειτα το σημείο που θέλει να χαράξει υψομετρικά και ο γεωδαιτικός σταθμός αυτόματα υπολογίζει την υψομετρική διάφορα μεταξύ των δυο.

4.2.5 Έλεγχος της χάραξης αποτυπώνοντας τα υλοποιημένα χαραγμένα σημάδια.

Προτού απομακρινή ο γεωδαιτικός σταθμός από το βάθρο T1 μια μέθοδος ελέγχου της ποιότητας της χάραξης όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 1.8.1 είναι η αποτύπωση των υλοποιημένων σημείων χάραξης. Έτσι λοιπόν με τον γεωδαιτικό σταθμό να βρίσκεται σε κέντρωση στο βάθρο T1 και γνωρίζοντας ότι έχει μηδενίσει τον οριζόντιο δίσκο του στο T2 ο στοχοφόρος παίρνει το σύστημα στυλεού – πρίσματος και το τοποθετεί στα υλοποιημένα σημάδια χάραξης και ο χειριστής του οργάνου παίρνει μετρήσεις κεκλιμένων μηκών, Οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών.

Τα πρωτογενή δεδομένα που πάρθηκαν κατά την αποτύπωση παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πρωτογενή δεδομένα αποτύπωσης υλοποιημένων σημείων χάραξης				
stakeout point	Hor.angle (g)	Ver.angle (g)	Slope distance (m)	Target height (m)
1	215.5740	118.7528	4.309	0.1115
2	149.9986	113.3827	5.784	0.1115
3	180.9926	105.3745	13.65	0.1115
4	183.1752	105.1223	14.246	0.1115
5	186.5544	105.0714	14.363	0.1115
6	204.5386	105.1594	14.082	0.1115

Πίνακας 4.2: Πίνακας Πρωτογενών δεδομένων αποτύπωσης υλοποιημένων σημείων χάραξης.

Έχοντας τα πρωτογενή δεδομένα χρησιμοποιήθηκε το πρώτο θεμελιώδες της τοπογραφίας για τα x,y και ο τύπος της τριγωνομετρικής υψομετρίας για τον υπολογισμό του z. Οι εξισώσεις παρατίθενται παρακάτω:

$$x_i = x_{T1} + SD_{T1,i} \cdot \sin(Z_{T1,i}) \cdot \sin(a_{T1,i}) \quad (4.1)$$

$$y_i = y_{T1} + SD_{T1,i} \cdot \sin(Z_{T1,i}) \cdot \cos(a_{T1,i}) \quad (4.2)$$

$$z_i = z_{T1} + SD_{T1,i} \cdot \cos(Z_{T1,i}) + Y.O - Y.\Sigma \quad (4.3)$$

Κάνοντας την επίλυση προκύπτουν οι παρακάτω συντεταγμένες:

stakeout point	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	100.999	104.001	-1.116
2	96.000	104.000	-1.072
3	95.999	113.000	-1.016
4	96.291	113.707	-1.010
5	96.999	113.999	-1.008
6	101.000	114.000	-1.005

Πίνακας 4.3: Συντεταγμένες αποτύπωσης των υλοποιημένων σημείων χάραξης.

Οι συντεταγμένες των 6 σημείων που καλούνταν να χαραχθούν βρίσκονται στην σελίδα 113 και συγκριτικά με τον πίνακα 4.3 παρατηρούνται ή μικρές διαφορές οριζοντιογραφικά ,δηλαδή διαφορές μέχρι $1^{ος}$ mm ή και καθόλου διαφορές όπως στην περίπτωση του 2^{ου} και του 6^{ου} σημείου. Γενικά λοιπόν θεωρείται ότι το πείραμα οριζοντιογραφικά πέτυχε.

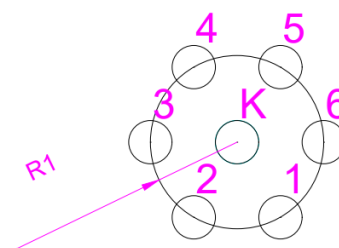
Υψομετρικά τα σημεία καλούνταν να χαραχθούν στο επίπεδο -1 , ωστόσο και τα 6 σημεία φαίνεται να βρίσκονταν χαμηλότερα από το επίπεδο αυτό όπως προκύπτει από την υψομετρική χάραξη που έγινε με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων και με την μέθοδο (MLM) όπου δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ή παρατηρήθηκαν πολύ μικρές διαφορές. Έτσι και κατά την αποτύπωση η υψομετρική διαφορά μεταξύ του T1 και των 6 σημείων φαίνεται να ταιριάζει επακριβώς χωρίς καμία διαφορά από τα αποτελέσματα που προέκυψαν με την υψομετρική χάραξη με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων. Συνεπώς και υψομετρικά το πείραμα θεωρείται επιτυχημένο.

4.3 2^ο Πείραμα

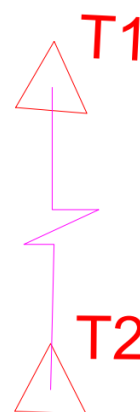
Το δεύτερο πείραμα πραγματοποιήθηκε σε ειδική αίθουσα της ΣΑΤΜ , όπου φυλάσσεται το laser tracker και ζητούμενο ήταν η χάραξη 6 σημείων που παριστάνουν κύκλο ακτίνας 1m καθώς επίσης και να χαραχθεί και το κέντρο του κύκλου αυτού.

Κύριος στόχος του πειράματος πέρα από την τριδιάστατη χάραξη των 7 αυτών σημείων ήταν η να ελεγχθεί η ποιότητα υλοποίησης των σημείων με τη χρήση της διάταξης. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με το πέρας της χάραξης, όπου τα υλοποιημένα σημεία χάραξης θα αποτυπώνονταν με το laser tracker. Έπειτα τα 6 σημεία που παριστάνουν τον κύκλο συνορθώνονται με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων, όπου από τη μέθοδο αυτή προκύπτουν οι καλύτερες τιμές των μεταβλητών της εξίσωσης του κύκλου και τα σφάλματα τους και κατά επέκταση προκύπτουν η καλύτερη τιμή της ακτίνας του κύκλου και οι καλύτερες τιμές των συντεταγμένων του κέντρου του κύκλου. Προφανώς για να θεωρηθεί πετυχημένο το πείραμα πρέπει μετά τη συνόρθωση η ακτίνα του κύκλου να προκύπτει 1m με μικρές αποκλίσεις ενδεχομένως όπως επίσης και το κέντρο του κύκλου που προκύπτει από τη συνόρθωση πρέπει να ταιριάζει με τις συντεταγμένες που προέκυψαν με την αποτύπωση του υλοποιημένου σημείου που παριστάνει το κέντρο του κύκλου στο πεδίο.

Για την χάραξη αυτών των σημείων ο γεωδαιτικός σταθμός οριζοντιώνεται και κεντρώνεται αυθαίρετα πάνω σε τρίποδα βιομηχανικής γεωδαισίας συντεταγμένων T1(1000,1000). Ο οριζόντιος δίσκος του οργάνου μηδενίζει σε στάση συντεταγμένων T2(1000,500). Υψομετρική αφετηρία 0 θεωρήθηκε η στέψη της βάσης του τρίποδα της βιομηχανικής γεωδαισίας. Τέλος θεωρήθηκε ότι τα σημεία θα χαραχθούν υψομετρικά στο επίπεδο -1m.



Σχήμα 4.2: Σκαρίφημα των 6 σημείων που βρίσκονται πάνω στον κύκλο ακτίνας 1 μέτρου, το κέντρου του κύκλου και οι κορυφές του δικτύου.



Η λήψη συντεταγμένων των 7 σημείων που καλούνται να χαραχθούν έγινε χρησιμοποιώντας απλές εντολές σε σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD και οι συντεταγμένες αυτές είναι οι εξής :

Συντεταγμένες (x,y,z) (m) των 7 σημείων παρατίθενται παρακάτω:

- 1, (999.9,1002.134,-1)
- 2, (998.8,1001.134 -1)
- 3, (998.3,1003.0,-1)
- 4, (998.8,1003.866,-1)
- 5, (998.8,1003.866,-1)
- 6, (1000.3,1003.0,-1)
- K, (999.3,1003.0,-1)

Για την χάραξη των 7 αυτών σημείων υπήρχε ανάγκη συγκέντρωσης του εξής εξοπλισμού:

- 1.Γεωδαιτικός σταθμός ακριβείας (**LEICA TCRM 1201**)
- 2.Τρίποδας βιομηχανικής γεωδαισίας
3. Σύστημα στυλεού – πρίσματος που κατασκευάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο
4. Κόκκινη μπογιά (για υλοποίηση των σημείων)
5. Laser tracker (**FARO**)
6. Συνεργείο 3 ατόμων

4.3.1 Έναρξη διαδικασίας χάραξης

Ο γεωδαιτικός σταθμός οριζοντιώθηκε και κεντρώθηκε σε τρίποδα βιομηχανικής γεωδαισίας σε αυθαίρετο σημείο το οποίο θεωρήθηκε ως T1. Αντίστοιχα και με το πρώτο πείραμα στο λογισμικό του οργάνου εισάγονται οι συντεταγμένες των σημείων που καλούνται να χαραχθούν καθώς και οι συντεταγμένες των στάσεων. Επίσης επειδή ήταν γνωστό ότι θα χρησιμοποιηθεί το πρίσμα CCR 1.5’’ έγινε εισαγωγή της σταθεράς c που υπολογίστηκε στο λογισμικό του οργάνου. Εισάγοντας το ύψος οργάνου στο λογισμικό το οποίο μετρήθηκε με μετροταινία και βρέθηκε ίσο με (0.247m) και εισάγοντας και την τιμή του ύψους στόχου του

συστήματος στυλεού – πρίσματος που υπολογίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο γεωδαιτικός σταθμός υπολόγισε αυτόματα τα στοιχεία χάραξης για τα 7 σημεία που καλούνται να χαραχθούν.

Η διαδικασία της χάραξης δεν έχει καμία διαφορά από αυτήν που ακολουθήθηκε στο πρώτο πείραμα παρακάτω παρατίθεται φωτογραφία με τον χειριστή του γεωδαιτικού σταθμού να κατευθύνει τον στοχοφόρο με σκοπό την χάραξη σημείου (εικόνα 4.14).



Εικόνα 4.16: Προσπάθεια χάραξης του σημείου 4 του κύκλου. Στην εικόνα φαίνεται ο χειριστής του γεωδαιτικού σταθμού να κατευθύνει τον στοχοφόρο.

Αντίστοιχα με το προηγούμενο πείραμα επειδή τα υλοποιημένα σημεία χάραξης είναι κυκλικής διαμέτρου 1 χιλιοστού και είναι δύσκολο να εντοπιστούν από τους ενδιαφερόμενος γύρω τους έχουν σχεδιαστεί κύκλοι μπλε χρώματος ώστε να είναι πιο ευδιάκριτα τα σημάδια. Επιπλέον πάνω αριστερά από το υλοποιημένο σημείο αναγράφεται η αρίθμηση του και

πάνω δεξιά αναγράφεται ο αριθμός του πόσο ψηλότερα η χαμηλότερα βρίσκεται το χαραγμένο σημείο αν υποθέσουμε ότι αυτό πρέπει να χαραχθεί στο υψομετρικό επίπεδο -1.

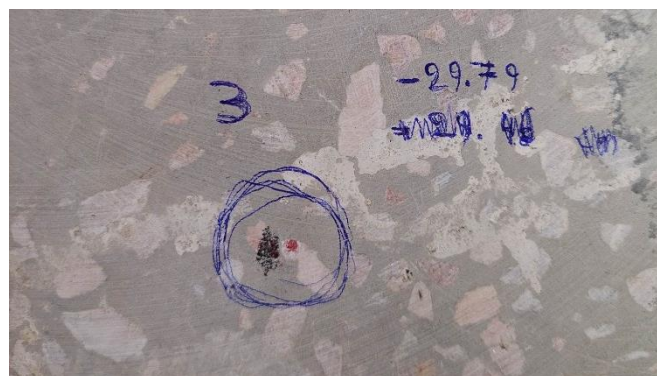
Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας της χάραξης υλοποιήθηκαν όλα τα σημεία σύμφωνα με τις διαδικασίες που περιεγράφηκαν παραπάνω και παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες με τα σημάδια αυτά:



Εικόνα 4.17: Υλοποιημένο σημείο 2^ο πειράματος N_1ο.



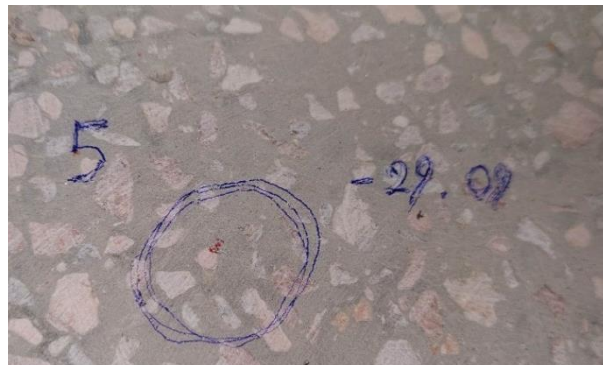
Εικόνα 4.18: Υλοποιημένο σημείο 2^ο πειράματος N_2ο.



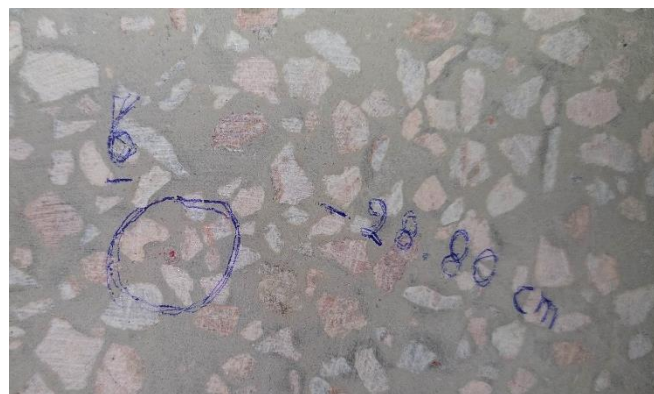
Εικόνα 4.19: Υλοποιημένο σημείο 2^ο πειράματος N_3ο.



Εικόνα 4.20: Υλοποιημένο σημείο 2^{οδ} πειράματος N_4ο.



Εικόνα 4.21: Υλοποιημένο σημείο 2^{οδ} πειράματος N_5ο.



Εικόνα 4.22: Υλοποιημένο σημείο 2^{οδ} πειράματος N_6ο.



Εικόνα 4.23: Υλοποιημένο σημείο 2^{οδ} πειράματος (K_Κέντρο κύκλου).

Όπως φαίνεται και από τις εικόνες παρατηρούμε ότι και τα 7 σημεία βρίσκονται χαμηλότερα από το επίπεδο -1. Το πόσο χαμηλότερα βρίσκονται αναγράφεται πάνω δεξιά από το υλοποιημένο σημείο ώστε να το γνωρίζουν οι ενδιαφερόμενοι και ταυτόχρονα παρατίθενται και στον παρακάτω πίνακα. Να σημειωθεί ότι τα σημεία χαράχθηκαν υψομετρικά με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων.

Πίνακας αποτελεσμάτων υψομετρικής χάραξης	
α/α	Πολικές (cm)
Σημείο 1	-29.7
Σημείο 2	-30.4
Σημείο 3	-29.8
Σημείο 4	-28.6
Σημείο 5	-29.1
Σημείο 6	-28.8
Σημείο K	-29.1

Πίνακας 4.4: Πίνακας αποτελεσμάτων υψομετρικής χάραξης 2^{ου} πειράματος.

4.3.2 Αποτύπωση υλοποιημένων σημείων με το Laser tracker και συνόρθωση κύκλου.

Με το τέλος της χάραξης τα υλοποιημένα σημεία αποτυπώθηκαν με τη χρήση του laser tracker (εικόνα 4.22). Συνολικά αποτυπώθηκαν 7 σημεία. Σημειώνεται ότι επειδή δεν υπήρχε δυνατότητα συσχέτισης των δυο γεωδαιτικών συστημάτων μεταξύ τους καθώς τα laser tracker λειτουργούν διαφορετικά από έναν γεωδαιτικό σταθμό τα σημεία αυτά αποτυπώθηκαν σε νέο τοπικό αυθαίρετο σύστημα το οποίο δεν είναι πρόβλημα, αφού για την ολοκλήρωση του πειράματος αρκεί τα σημεία αυτά μετά την συνόρθωση του κύκλου να παριστάνουν έναν κύκλο ακτίνας 1 m και το κέντρο που προκύπτει από την συνόρθωση να ταυτίζεται με το υλοποιημένο σημείο του κέντρου που αποτυπώθηκε στο πεδίο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί και από το κεφάλαιο 3 το laser tracker είναι συνδεδεμένο με το λογισμικό polyworks το οποίο κάνει απευθείας επίλυση της ταχυμετρίας και έτσι για τα 7 σημεία που αποτυπώθηκαν υπήρχε η δυνατότητα να γίνουν απευθείας export οι συντεταγμένες. Οι συντεταγμένες αυτές φαίνονται στον πίνακα (4.5) της επόμενης σελίδας.



Εικόνα 4.24: Αποτύπωση σημείων του κύκλου , του κέντρου του κύκλου με την χρήση laser tracker.

Οι συντεταγμένες των 7 σημείων δίνονται παρακάτω:

Αποτύπωση 7 σημείων με την χρήση laser tracker			
a/a	x (m)	y (m)	z (m)
1	1.472848	1.071046	-1.161499
2	0.487181	0.905762	-1.17008
3	-0.149451	1.671194	-1.171229
4	0.204669	2.612061	-1.161832
5	1.185423	2.778015	-1.162884
6	1.817542	2.011088	-1.158029
K	0.836091	1.842442	-1.162534

Πίνακας 4.5: Συντεταγμένες των υλοποιημένων σημείων χάραξης που αποτυπώθηκαν με το laser tracker.

Για τα 6 σημεία που βρίσκονται πάνω στο κύκλο θα γίνει συνόρθωση δυσδιάστατη χρησιμοποιώντας μόνο τα x,y , που αποτυπώθηκαν αφού μας ενδιαφέρει ο οριζοντιογραφικός έλεγχος της ποιότητας των υλοποιημένων σημείων χάραξης.

Μαθηματικό μοντέλο επίλυσης Μ.Ε.Τ στον κύκλο.

Αν οι συντεταγμένες n που πάρθηκαν περιμετρικά του κύκλου είναι περισσότερες από 3 που είναι ο ελάχιστος αριθμός τότε μπορεί να γίνει συνόρθωση με την μέθοδο ελάχιστων τετράγωνων ώστε να προκύψουν οι καλύτερες τιμές των παραμέτρων που ορίζουν την εξίσωση του κύκλου. Συγκεκριμένα η εξίσωση του κύκλου είναι της μορφής:

$$(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 = \rho^2 \quad (4.1)$$

- x_k είναι το x συντεταγμένη του κέντρου του κύκλου
- y_k είναι το y συντεταγμένη του κέντρου του κύκλου
- ρ είναι η ακτίνα του κύκλου.

➤ Για την επίλυση η εξίσωση (3.1) μετατρέπεται:

$$\begin{aligned} (x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 &= \rho^2 \rightarrow \\ x_i^2 + x_k^2 - 2x_i x_k + y_i^2 + y_k^2 - 2y_i y_k &= \rho^2 \rightarrow \\ 2x_i x_k + 2y_i y_k + \rho^2 - x_k^2 - y_k^2 &= x_i^2 + y_i^2 \rightarrow \\ ax_i + by_i + c &= x_i^2 + y_i^2 \end{aligned} \quad (4.2)$$

, όπου

- $a = 2x_k$
- $b = 2y_k$
- $c = \rho^2 - x_k^2 - y_k^2$

➤ Το σύστημα για όλα τα σημεία γράφεται :

$$\begin{aligned} ax_1 + by_1 + c &= x_1^2 + y_1^2 \\ ax_2 + by_2 + c &= x_2^2 + y_2^2 \\ ax_3 + by_3 + c &= x_3^2 + y_3^2 \\ &\dots \\ ax_n + by_n + c &= x_n^2 + y_n^2 \end{aligned}$$

- Ο Πίνακας A έχει την μορφή:

	x_1	y_1	1
	x_2	y_2	1
A=	x_3	y_3	1
	1
	x_n	y_n	1

- Ο Πίνακας δy έχει την μορφή:

	$x_1^2 + y_1^2$
	$x_2^2 + y_2^2$
$\delta y =$	$x_3^2 + y_3^2$
	...
	$x_n^2 + y_n^2$

- Ενδιάμεσα γίνονται οι πράξεις :

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{A}$$

$$\mathbf{k} = \mathbf{A}^T \delta \mathbf{y}$$

- Προκύπτουν οι καλύτερες τιμές των αγνώστων στον πίνακα X:

	a
$\mathbf{X} = \mathbf{N}^{-1} \mathbf{k} =$	b
	c

- Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{\mathbf{u}^T \mathbf{u}}{n-m}} \quad (4.3)$$

,όπου

- $\mathbf{u} = \mathbf{A}\mathbf{X} - \delta \mathbf{y}$
- $n =$ πλήθος σημείων
- $m = 3$ άγνωστοι

- Ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων των αγνώστων είναι:

	$\sigma\alpha^2$		
$V_x = \sigma\sigma^2 N^{-1} =$		σb^2	
			σc^2

- Εφόσον είχε γίνει μετατροπή στις μεταβλητές απομένει να γίνει αντικατάσταση για να υπολογιστούν x_k, y_k, ρ :

$$x_k = \frac{a}{2} \quad (4.4)$$

$$y_k = \frac{b}{2} \quad (4.5)$$

$$\rho = \frac{\sqrt{4c+a^2+b^2}}{2} \quad (4.6)$$

- Υπολογισμός αβεβαιότητας συντεταγμένων κέντρου κύκλου και της ακτίνας ρ :

Ο υπολογισμός της αβεβαιότητας κατά x και κατά y των συντεταγμένων του κέντρου του κύκλου και το ρ (ακτίνας του κύκλου) υπολογίζονται κάνοντας νόμο μετάδοσης σφάλματων στις σχέσεις (4.4) και (4.5) και (4.6) όπου προφανώς προκύπτει ότι:

- $\sigma_{x_k} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \sigma\alpha} =$

- $\sigma_{y_k} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \sigma\beta} =$

- $\sigma_\rho = \sqrt{\left(\frac{2}{2 \cdot \sqrt{4 \cdot c + a^2 + b^2}} \cdot \sigma c\right)^2 + \left(\frac{a}{2 \cdot \sqrt{4 \cdot c + a^2 + b^2}} \cdot \sigma\alpha\right)^2 + \left(\frac{b}{2 \cdot \sqrt{4 \cdot c + a^2 + b^2}} \cdot \sigma b\right)^2} =$

4.3.3 Αποτελέσματα συνόρθωσης κύκλου

Έχοντας αποτυπωμένα τα 6 σημεία περιμετρικά του κύκλου γίνεται συνόρθωση με την μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων (circle fit least squares method) τα αποτελέσματα των πράξεων παρατίθενται παρακάτω:

Ο πίνακας σχεδιασμού A περιέχει τους συντελεστές των αγνώστων στις εξισώσεις παρατήρησης και προκύπτει ίσος με :

A=	1.472848	1.071046	1
	0.487181	0.905762	1
	-0.149451	1.671194	1
	0.204669	2.612061	1
	1.185423	2.778015	1
	1.817542	2.011088	1

Πίνακας 4.6: Πίνακας σχεδιασμού (A) Μ.Ε.Τ στον κύκλο (2^ο πείραμα)

➤ Ο πίνακας των μετρήσεων dL=

DL=	3.316421
	1.05775
	2.815225
	6.864752
	9.122595
	7.347934

Πίνακας 4.7: Πίνακας των μετρήσεων dl Μ.Ε.Τ στον κύκλο (2^ο πείραμα)

➤ Προκύπτουν οι καλύτερες τιμές των αγνώστων στον πίνακα X:

X=N-1*K=	1.671061
	3.681384
	-3.08955

Πίνακας 4.8: Πίνακας καλύτερων τιμών X Μ.Ε.Τ στον κύκλο (2^ο πείραμα)

- Το διάνυσμα των υπολοίπων είναι :

U=	-0.00182
	0.001269
	-0.00221
	0.003714
	-0.00429
	0.00333

Πίνακας 4.9 : Πίνακας υπολοίπων M.E.T στον κύκλο (2^ο πείραμα).

- Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους είναι:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{u^T u}{n-m}} = 0.00728$$

- Ο a posteriori πίνακας μεταβλητοτήτων – συμμεταβλητοτήτων των αγνώστων είναι:

VX=	1.7791E-05	-6.402E-08	-1.476E-05	σα=	0.004218	
	-6.402E-08	1.77E-05	-3.254E-05		σβ=	0.004207
	-1.476E-05	-3.254E-05	8.1115E-05			σc=

Πίνακας 4.10: Πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας και σφάλματα των μεταβλητών a,b,c M.E.T στον κύκλο (2^ο πείραμα).

- Συνοψίζοντας από τις εξισώσεις (4.4),(4.5),(4.6) προκύπτουν τα x_k, y_k, r . Έπειτα χρησιμοποιώντας (4.7),(4.8),(4.9) προκύπτουν τα σφάλματα των 3 τιμών αυτών. Οι τιμές των συντεταγμένων του κέντρου του κύκλου και της ακτίνας του κύκλου και τα σφάλματα τους παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

	Τιμές (m)	Σφάλματα (m)
χκ=	0.835531	±0.002109
γκ=	1.840692	±0.002104
r=	0.998354	±0.006204

Πίνακας 4.11: Καλύτερες τιμές κέντρου του κύκλου και ακτίνας r του κύκλου.

4.3.4 Έλεγχος ορθότητας αποτελεσμάτων.

Προφανώς τα αποτελέσματα για το κέντρο του κύκλου και την ακτίνα του δεν ταυτίζονται επακριβώς με τα αναμενόμενα πράγμα λογικό. Ωστόσο με μια γρήγορη ματιά παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα αυτά δεν απέχουν και πολύ από τις ιδανικές τιμές. Για να θεωρηθεί το πείραμα πετυχημένο αρκεί η διαφορά μεταξύ των δυο τιμών (θεωρητικής και υπολογισμένης) να είναι μικρότερη από τα την διαφορά των μεταξύ τους σφάλματων για επίπεδο εμπιστοσύνης 68%.

- Έλεγχος ορθότητας ακτίνας του κύκλου :

Η ακτίνα του κύκλου θεωρητικά έπρεπε να είναι ακριβώς $1\text{ m} \pm 0\text{ m}$ και υπολογίστηκε $0.9984\text{ m} \pm 6.2\text{ mm}$. Άρα:

$$\Delta_{\rho} \leq \sigma \Delta_{\rho} \rightarrow 1 - 0.9984 = 0.0016 \leq \sqrt{0^2 + (0.0062)^2} = 0.0062$$

Η ανίσωση ισχύει άρα το αποτέλεσμα για την ακτίνα του κύκλου θεωρείται επιτυχημένο.

- Έλεγχος ορθότητας χκ (κέντρο του κύκλου) :

Η τετμημένη χκ του κέντρου του κύκλου θεωρητικά έπρεπε να είναι ακριβώς $0.836091\text{ m} \pm 0\text{ m}$ και υπολογίστηκε $0.835553\text{ m} \pm 2.109\text{ mm}$. Άρα:

$$\Delta_{\rho} \leq \sigma \Delta_{\rho} \rightarrow 0.836091 - 0.835553 \approx 0.00056 \leq \sqrt{0^2 + (0.002109)^2} = 0.002109$$

Η ανίσωση ισχύει άρα το αποτέλεσμα για τετμημένη χκ του κέντρου του κύκλου θεωρείται επιτυχημένο.

- Έλεγχος ορθότητας γκ (κέντρο του κύκλου) :

Η τεταγμένη γκ του κέντρου του κύκλου θεωρητικά έπρεπε να είναι ακριβώς $1.842442\text{ m} \pm 0\text{ m}$ και υπολογίστηκε $1.840692\text{ m} \pm 2.104\text{ mm}$. Άρα:

$$\Delta_{\rho} \leq \sigma \Delta_{\rho} \rightarrow 1.842442 - 1.840692 \approx 0.00056 \leq \sqrt{0^2 + (0.002104)^2} = 0.002104$$

Η ανίσωση ισχύει άρα το αποτέλεσμα για τεταγμένη γκ του κέντρου του κύκλου θεωρείται επιτυχημένο.

Άρα γενικά το πείραμα θεωρείται επιτυχημένο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αφενός οι τριδιάστατες χαράξεις ακρίβειας, όπου γίνεται η αναλυτική περιγραφή των τεχνικών χάραξης, των υπολογισμών και αφετέρου η υλοποίηση μιας διάταξης (στυλεού – ανακλαστήρα) με την οποία ελαχιστοποιείται ή ακόμα και εξαλείφεται το σφάλμα υλοποίησης του σημείου χάραξης.

Χάραξη ακριβείας καθίσταται η χάραξη όπου επιτυγχάνονται ακρίβειες λίγων χιλιοστών. Αξιοποιώντας τις ακρίβειες που μπορεί να πετύχει ο εκάστοτε γεωδαιτικός εξοπλισμός προκύπτει το συμπέρασμα ότι μόνο οι γεωδαιτικοί σταθμοί μπορούν να επιτύχουν χάραξη ακριβείας, αφού οι δέκτες GNSS δίνουν αποτελέσματα λίγων εκατοστών πράγμα απαγορευτικό και όσο για τους χωροβάτες έχουν πράγματι τη δυνατότητα να χαράζουν υψομετρικά με καλή ακρίβεια αλλά προφανώς είναι αδύνατο να πραγματοποιήσουν και οριζοντιογραφική χάραξη.

Για την επίτευξη αυτών των ακριβειών με γεωδαιτικούς σταθμούς καταγράφονται όλα τα σφάλματα συστηματικά και χονδροειδή για την καλύτερη κατανόηση των μεγεθών που μπορούν να επιτευχθούν. Σε αντίθεση με τα συστηματικά σφάλματα που εξαρτώνται από την ποιότητα του γεωδαιτικού σταθμού και τις ακρίβειες που παρέχει ο κατασκευαστής για τα χονδροειδή δόθηκαν λύσεις για την ελαχιστοποίηση τους χρησιμοποιώντας μετρητικές μεθόδους ή και τη χρήση διαφόρων παρελκόμενων.

Συγκεκριμένα το σφάλμα κέντρωσης του οργάνου κατά μια τιμή σ_k προσδίδει σφάλμα στην οριζόντια γωνία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και κατά συνέπεια και της χάραξης. Τη λύση στο σφάλμα κέντρωσης του οργάνου φέρνει η μέθοδος εξαναγκασμένης κέντρωσης με την οποία εξασφαλίζεται κέντρωση με σφάλμα $\pm 0.1\text{mm}$. Για την επίτευξη της εξαναγκασμένης κέντρωσης απαραίτητη είναι η κατασκευή συνήθως βάθρων από οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλικών κατασκευών με αυξημένη ακαμψία όπου στη στέψη τους φέρουν ακλόνητο μπουλόνι διαμέτρου 5/8 της ίντσας, ώστε να κεντρώνεται εκεί ο γεωδαιτικός σταθμός.

Για το σφάλμα προσδιορισμού του ύψους οργάνου προτάθηκαν δυο τρόποι για τον καλύτερο υπολογισμό του, διότι για λόγους ταχύτητας κυρίως, η τιμή του ύψους οργάνου προκύπτει με χρήση μετροταινίας, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αβεβαιοτήτων των υψομέτρων.

1. Η πρώτη μέθοδος υπολογισμού του Υ.Ο προκύπτει από τον συνδυασμό μετρήσεων γεωδαιτικού σταθμού και γεωμετρικής χωροστάθμησης επιτυγχάνοντας ακρίβειες μικρότερες του 1mm (βλέπε κεφάλαιο 2.4.2.2). Σημειώνεται επίσης ότι η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τον γεωδαιτικό σταθμό να βρίσκεται σε εξαναγκασμένη κέντρωση.
2. Δεύτερη μέθοδος προσδιορισμού του Υ.Ο πραγματοποιείται με την λειτουργία AutoHeight που πρόκειται για μια κατασκευαστική προσθήκη που υπάρχει στους σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα στο κάτω μέρος του οργάνου τοποθετείται ένα laser αποστασιόμετρο (EDM) όπου έτσι μετράται το Υ.Ο. Με την χρήση του AutoHeight επιτυγχάνονται ακρίβειες $\pm 1\text{mm}$.

Για το σφάλμα σκόπευσης με τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών προκύπτουν σφάλματα και στις οριζόντιες και στις κατακόρυφες γωνίες κοινώς κατά την σκόπευση υπάρχει μια οριζόντια και μια κατακόρυφη αποχή από το κέντρο του ανακλαστήρα. Λύση στο σφάλμα σκόπευσης δίνουν οι σύγχρονοι ρομποτικοί γεωδαιτικοί σταθμοί που διαθέτουν την λειτουργία Automatic Target Recognition (ATR).

Για το σφάλμα κατακορύφωσης του στόχου ισχύει ότι ο στοχοφόρος δεν μπορεί ποτέ να είναι σίγουρος για τη κατακορύφωση του στυλεού. Προκύπτει λοιπόν ότι από την θεωρητική κατακόρυφη θέση η πραγματική βρίσκεται σε μια ελαφριά κλίση κατά γωνία (θ) δημιουργώντας σφάλμα οριζοντιογραφικά (σ_0) και υψομετρικά (σ_u). Τα σφάλματα αυτά εξαρτώνται από την κλίση του στυλεού και το ύψος του στόχου και προκύπτουν από τους τύπους $\sigma_0 = \sin(\theta) \cdot Y.\Sigma$ και $\sigma_u = Y.\Sigma - \cos(\theta) \cdot Y.\Sigma$. Θέτοντας πειραματικές τιμές για την κλίση (θ) και το $Y.\Sigma$ στις δυο εξισώσεις παρατηρείται ότι όσο μικρότερος είναι ο στυλεός δηλαδή όσο μικρότερο είναι το ύψος στόχου τόσο περισσότερο ελαττώνονται τα σ_0 και σ_u .

Το σφάλμα της υλοποίησης του σημείου χάραξης είναι αυτό το οποίο αποτέλεσε το σημαντικότερο αντικείμενο σε αυτή τη διπλωματική. Κατά την υλοποίηση του σημείου χάραξης ο στοχοφόρος όταν βρίσκει τη θέση του σημείου που καλείται να χαραχθεί απομακρύνει το στυλεό από το έδαφος και έπειτα τοποθετεί στη θέση του συνήθως κάποιο καρφί. Με τη διαδικασία αυτή είναι σχεδόν αδύνατο το υλοποιημένο σημείο να βρίσκεται στην ιδανική θέση και συχνά αποκλίνει κάποια χιλιοστά. Για την ελαχιστοποίηση ή την εξάλειψη αυτού του σφάλματος πραγματοποιήθηκαν μηχανολογικά σχέδια μιας διάταξης ενός στυλεού – ανακλαστήρα.

Η ιδιαιτερότητα αυτής της κατασκευής βρίσκεται στο κορμό του στυλεού όπου διανοίχθηκε μια οπή κεντρικά σε αυτόν διαμέτρου 1mm από όπου θα μπορούσε μια βελόνα βουτηγμένη σε μελάνι να περάσει και να αφήσει στίγμα στο έδαφος. Η βελόνα αυτή περνάει από μια δεύτερη οπή που βρίσκεται στη πίσω όψη του στυλεού. Με την ευρεσιτεχνία αυτή κατά τη διάρκεια της χάραξης ο χρήστης με το που εντοπίζει το σημείο που καλείται να χαράξει δεν απομακρύνει το στυλεό από το έδαφος αλλά αφήνει στίγμα επί τόπου ολοκληρώνοντας έτσι τη διαδικασία της χάραξης εξαλείφοντας έτσι το σφάλμα υλοποίησης σημείου.

Δεύτερη ιδιαιτερότητα αυτής της διάταξης είναι πως στη βάση που τοποθετείται ο ανακλαστήρας υπάρχει τη δυνατότητα να τοποθετηθεί οποιοδήποτε πρίσμα σε αυτή (mini prism,SMR) , αφού έχουν κατασκευαστεί διάφοροι αντάπτορες.

Η διάταξη που κατασκευάστηκε ελέγχθηκε μετρολογικά. Συγκεκριμένα υπολογίστηκε η σταθερά c για δυο πρίσματα GMP111 και CCR 1.5'' αντίστοιχα . Η σταθερά υπολογίστηκε με δυο μεθόδους ώστε να υπάρχει μέτρο σύγκρισης και εξετάστηκε η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

1. Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της σταθεράς των δυο πρισμάτων ήταν η πλήρη διαδικασία πεδίου του ISO 17123-4. Η επίλυση της διαδικασίας έγινε με εφαρμογή M.E.T και έτσι υπολογίστηκαν οι 2 σταθερές c και οι αποστάσεις μεταξύ των βάθρων , καθώς και τα σφάλματά τους.
2. Για τη δεύτερη μέθοδο αξιοποιήθηκε η γνωστή απόσταση μιας βάσης και με πειράματα (μετρήσεις αποστάσεων) από 5 ενδιάμεσα βάθρα υπολογίστηκε η σταθερά c (μια για το εκάστοτε πρίσμα) (πίνακας 6.1).

	GMP 111		CCR 1.5"	
	c (mm)	σ_c	c (mm)	σ_c
1η Μέθοδος	15.8	0.1	56.0	0.1
2η Μέθοδος	15.8	0.1	55.9	0.1

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα για τις σταθερές c των δυο πρισμάτων και τα σφάλματα τους όπως αυτά προέκυψαν από τα δυο πειράματα.

Σε επόμενο στάδιο του μετρολογικού ελέγχου της διάταξης υπολογίστηκε το ύψος στόχου της κατασκευής το οποίο προφανώς είναι ίδιο ανεξαρτήτως του πρίσματος που χρησιμοποιείται. Για τον υπολογισμό του ύψους στόχου διεξήχθη πείραμα με τη χρήση laser tracker από το οποίο προέκυψε η τιμή του Υ.Σ και το σφάλμα της. Το πείραμα προέβλεπε στον υπολογισμό της απόσταση $d = \text{Υ.Σ}$ μεταξύ του κέντρου του πρίσματος και της αγκίδας του στυλεού και επαναλήφθηκε δυο φορές, ώστε τα αποτελέσματα να εξεταστούν για την αξιοπιστία τους για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (πίνακας 6.20).

	Υ.Σ (cm)	$\sigma_{\text{Υ.Σ}}$ (mm)
1ο Πείραμα	11.157	0.12
2ο Πείραμα	11.158	0.12

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα για το Ύψος Στόχου και σφάλματα όπως αυτά προέκυψαν από την διπλή επανάληψη του ίδιου πειράματος .

Με τον υπολογισμό της σταθεράς του πρίσματος και τον υπολογισμό της τιμής του ύψους στόχου ο μετρολογικός έλεγχος της διάταξης ολοκληρώθηκε. Με την ολοκλήρωση του μετρολογικού ελέγχου η διάταξη είναι έτοιμη για χρήση (χαράξεις), αφού υπήρχαν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζονται. Οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι απαραίτητες και δίνονται πάντα από τους κατασκευαστές των εταιριών πώλησης τοπογραφικού εξοπλισμού.

Εφόσον είχαν τεκμηριωθεί προτάσεις ελαχιστοποίησης σφαλμάτων κατά την χάραξη με γεωδαιτικούς σταθμούς πραγματοποιήθηκαν πειράματα εντός της Πολυτεχνειούπολης αφενός για την πραγματοποίηση τριδιάστατων χαράξεων ακριβείας και αφετέρου για τον έλεγχο της ποιότητας των υλοποιημένων σημείων χάραξης.

Στο πρώτο πείραμα ζητούμενο ήταν να χαραχθούν 6 σημεία χρησιμοποιώντας την διάταξη που κατασκευάστηκε. Για τη χάραξη των σημείων χρησιμοποιήθηκε γεωδαιτικός σταθμός πρώτης τάξης.

Ελαχιστοποίηση του σφάλματος κέντρωσης επιτεύχθηκε κάνοντας εξαναγκασμένη κέντρωση ενώ το ύψος οργάνου υπολογίστηκε με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας την πρώτη μέθοδο υπολογισμού που περιεγράφηκε στην σελίδα 141. Τα σημεία χάραχθηκαν τριδιάστατα και τα σημεία χάραξης υλοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας την διάταξη. Τέλος τα σημεία αποτυπώθηκαν και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις αρχικές συντεταγμένες των σημείων που καλούνταν να χαραχθούν. Οι διαφορές ήταν μικρές μέχρι 1mm και το πείραμα θεωρήθηκε πετυχημένο.

Στο δεύτερο πείραμα στόχος ήταν κυρίως να εξακριβωθεί η ποιότητα υλοποίησης των σημείων χάραξης όπως αυτή επιτυγχάνεται με την διάταξη που κατασκευάστηκε. Το πείραμα αφορούσε την χάραξη σημείων ενός κύκλου ακτίνας 1m καθώς και το κέντρο του κύκλου αυτού. Με την ολοκλήρωση της χάραξης τα υλοποιημένα σημεία χάραξης θα αποτυπώνονταν με την χρήση laser tracker. Από τα σημάδια του κύκλου που αποτυπώθηκαν και με την χρήση M.E.T προέκυψε η καλύτερη εξίσωση του και κατά συνέπεια οι συντεταγμένες του κέντρου του κύκλου και της ακτίνας r (πίνακας 6.3). Το αποτελέσματα ως προς την ακτίνα συγκρίθηκε με το αναμενόμενο (1m) και το αποτέλεσμα των συντεταγμένων για το κέντρο του κύκλου συγκρίθηκε με τις συντεταγμένες του σημείου που αποτυπώθηκε. Οι διαφορές αυτές εξετάστηκαν για επίπεδο εμπιστοσύνης 68% και δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις.

	Τιμές (m)	Σφάλματα (mm)
$x_k =$	0.835531	2.109
$y_k =$	1.840692	2.104
$r =$	0.998354	6.204

Πίνακας 6.3: Καλύτερες τιμές κέντρου του κύκλου και ακτίνας r του κύκλου (πείραμα 2°).

5.2 Προτάσεις

Η πρωταρχική εστίαση της παρούσας εργασίας επικεντρώθηκε στον προβληματισμό και την ανάλυση των προτάσεων που αποβλέπουν στην ελαχιστοποίηση και ακόμα και εξάλειψη των χονδροειδών σφαλμάτων, με στόχο την επίτευξη χαραξέων ακριβείας. Παρά το γεγονός ότι οι προτάσεις

αυτές αποτελούν σημαντικό κομμάτι της εργασίας, πρέπει να αναφερθεί ότι δεν αποτελούν κεντρική πρωτοτυπία αυτής της διπλωματικής.

Μία καίρια προσέγγιση που εισήχθη σε αυτή την διπλωματική είναι η ανάπτυξη της διάταξης Στυλεού-Ανακλαστήρα, η οποία σχεδιάστηκε με σκοπό την εξάλειψη του σφάλματος που προκύπτει από την υλοποίηση του σημείου χάραξης. Αν και η ιδέα πίσω από αυτή την κατασκευή είναι λογική και βελτιστοποιεί τα αποτελέσματα των χαράξεων, το αποτέλεσμα μπορεί να θεωρηθεί πειραματικό. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι αυτό δεν υποβαθμίζει τη λειτουργικότητα της διάταξης, αλλά υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω βελτιστοποίηση.

Ενόψει αυτού, προκύπτει η πρόταση για τις εταιρείες κατασκευής τοπογραφικού εξοπλισμού να εξετάσουν προσεκτικά την κατάσταση και να αναπτύξουν ειδικά παρελκόμενα που θα αποβλέπουν στην εξάλειψη του σφάλματος υλοποίησης σημείου. Παρόμοιες προσεγγίσεις έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές για την ελαχιστοποίηση άλλων χονδροειδών σφαλμάτων μέσω της κατασκευής ειδικών λειτουργιών εντός των γεωδαιτικών σταθμών και την κατασκευή κατάλληλων παρελκόμενων (βλέπε κεφάλαιο 2).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Evangelia Lambrou, George Pantazis and Konstantinos Nikolitsas, “Special Marking of 3D Networks’ Points for the Monitoring of Modern Constructions” , 2011
2. Leica Geosystems AutoHeight Feature White Paper
3. Γεωργόπουλος Γ., “ Μαθήματα Γεωδαισίας ” , Εκδοσεις Τζιόλα , 2019, ISBN 978-960-418-736-2
4. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., “Εφαρμοσμένη γεωδαισία”, εκδόσεις Ζήτη, ISBN 978-960-456-205-3, Αθήνα 2010
5. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Γεωργόπουλος Γ., Δογγούρης Σ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., “Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας”, Διδακτικές σημειώσεις 9ου εξαμήνου της ΣΑΤΜ, Αθήνα 2005
6. Μπαλοδήμου Α. , Πάνου Γ., “ Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων και Εφαρμογές ”, Εκδόσεις Τζιόλα ,2018, ISBN 978-960-418-767-6
7. Νικολίτσας Κ., «Ανάπτυξη Εργαστηριακών Μεθοδολογιών Διακρίβωσης Ψηφιακών Γεωδαιτικών Οργάνων», Διδακτορική Διατριβή, Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π., Αθήνα 2015
8. Σαββαΐδης Π., Δούκας Ι., Υφαντής Ι., “ Γεωδαισία 2.Τοπογραφικές Αποτυπώσεις – Χαράξεις ” , Εκδόσεις Κυριακίδη ,2015, ISBN 978-618-5105-93-8
9. Χρήστος Κ. ,Πικρίδας Α., “ GPS και γεωδαιτικές εφαρμογές ” , Εκδόσεις Ζήτη, 2006 , ISBN 978-960-456-346-3

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

- 10.<https://freecadfloorplans.com/survey-tripod-autocad-block/>