



**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ
ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ
ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ**



ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων: Γ. ΠΑΝΤΑΖΗΣ
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2008



**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ
ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ
ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2008

Εξώφυλλο: Τομή του γεωδαιτικού σταθμού Leica TPS 1200

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Δε 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 μεταπτυχιακής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γεώργιο Πανταζή, Λέκτορα της ΣΑΤΜ για την ανάθεση της μεταπτυχιακής εργασίας και τη συνεργασία του σε αυτή, για τον χρόνο που αφιέρωσε, αλλά και τη συνεχή καθοδήγηση και τις συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής εργασίας από το ξεκίνημα της, τον περασμένο Ιούνιο μέχρι και σήμερα.

Την κα. Ευαγγελία Λάμπρου, Λέκτορα της ΣΑΤΜ για τη συμμετοχή και τη βοήθειά της στις εργασίες υπαίθρου, για τις επισημάνσεις της και για το χρόνο που αφιέρωσε κατά την ενδελεχή διόρθωση των τελικών κειμένων.

Τους συμφοιτητές, συναδέλφους και πάνω απ' όλα πολύ καλούς μου φίλους Σπύρο Κονταλή, Γιώργο Καγκέλη και Δημήτρη Δήμα για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο χώρο του Γηπέδου Καραϊσκάκη.

Το συνάδελφο και φίλο Κωνσταντίνο Νικολίτσα, Υποψήφιο Διδάκτορα της ΣΑΤΜ, για τη συμμετοχή και την πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στη γερανογέφυρα της Χαλυβουργικής.

Το προσωπικό του γηπέδου Καραϊσκάκη για την καλή συμπεριφορά και την φιλική τους εξυπηρέτηση, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο χώρο του γηπέδου.

Τους υπεύθυνους και το προσωπικό της Χαλυβουργικής Α.Ε. για την άδεια τους για την πραγματοποίηση των μετρήσεων στο χώρο της γερανογέφυρας και την παύση των εργασιών σε αυτή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Στάθη και Αθανασία και την αδερφή μου, Κωνσταντίνα για τη συμπαράσταση τους όλα αυτά τα χρόνια, την υπομονή τους αλλά και για όλα όσα μου έχουν προσφέρει.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η έμφυτη τάση του ανθρώπου για γνώση και μάθηση έχει οδηγήσει από τις αρχές, ήδη, της ανθρώπινης ιστορίας σε μεγάλες ανακαλύψεις. Η περιέργεια για το φυσικό κόσμο και τα φαινόμενα που συνέβαιναν γύρω από τον άνθρωπο, του δημιούργησαν ερωτηματικά και τον έκαναν να αναζητήσει απαντήσεις σχετικές με το περιβάλλον του.

Κάπως έτσι ξεκίνησαν, δύο αιώνες πριν, και τα πρώτα πειράματα σχετικά με τη φύση του φωτός. Η μεγάλη απορία σχετικά με το αν το φως είναι σωματίδιο ή κύμα λύθηκε δύσκολα, ανακαλύπτοντας τελικά πως το φως έχει τόσο κυματική, όσο και σωματιδιακή φύση. Πλέον, φαινόμενα όπως η συμβολή του φωτός, η διάθλαση, η περίθλαση έβρισκαν φυσική εξήγηση. Από εκεί και έπειτα η εξέλιξη και ανάπτυξη της τεχνολογίας σε αυτό τον τομέα της φυσικής ήταν ραγδαία.

Ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε τις ιδιότητες του φωτός, στην καθημερινή του ζωή, ενώ η γνώση για αυτές βοήθησε την εξέλιξη και άλλων επιστημών. Κάπως έτσι κατασκευάστηκε – όχι πολλά χρόνια πριν – το πρώτο laser, ενώ λίγο αργότερα η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε και για τη μέτρηση μεγάλων αποστάσεων (χαρακτηριστική είναι η μέτρηση της απόστασης γης-σελήνης).

Καθόσον η γεωδαισία είναι επιστήμη που κατεξοχήν χρησιμοποιεί τη μέτρηση μηκών, δε θα μπορούσε να μην επηρεαστεί από αυτή την εξέλιξη. Σήμερα χάρη στην τεχνολογία αυτή, δίνεται η δυνατότητα να μετρώνται μικρά και μεγάλα μήκη με ακρίβεια. Έτσι ο Αγρονόμος – Τοπογράφος Μηχανικός καλείται να εκμεταλλευτεί τη νέα τεχνολογία και βασιζόμενος σε αυτή να αναπτύξει μεθόδους μέτρησης που θα του προσφέρουν την απαιτούμενη ακρίβεια σε εφαρμογές που μέχρι σήμερα ήταν δύσκολο ή ακόμα και αδύνατο να πραγματοποιηθούν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	IV
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	V
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	VI
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ

ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ	5
1.1 Ιστορική αναδρομή	5
1.2 Η ακτινοβολία Laser	7
1.2.1 Γενικά στοιχεία	7
1.2.2 Λειτουργία του Laser	7
1.2.3 Ιδιότητες της ακτινοβολίας Laser	9
1.3 Μέτρηση μήκους χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα	9
1.3.1 Η μέθοδος των παλμών (Time of flight)	10
1.3.2 Η μέθοδος της διαφοράς φάσης (Phase shift)	11
1.3.3 Χαρακτηριστικά της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα	12
1.3.3.1 Εμβέλεια μέτρησης του μήκους	13
1.3.3.2 Χρονική διάρκεια μέτρησης	17
1.3.3.3 Ακρίβεια μέτρησης	17
1.3.3.4 Μέγεθος και σχήμα δέσμης	18
1.3.3.5 Ασφάλεια της ακτινοβολίας Laser	20
1.3.3.6 Άλλα χαρακτηριστικά	23
1.3.4 Η νέα μέθοδος "System Analyzer"	23
1.3.5 Ενσωματωμένοι αλγόριθμοι των Reflectorless γεωδαιτικών σταθμών	27
1.3.6 Σύγκριση των μεθόδων	30
1.3.7 Καταγραφή γεωδαιτικών σταθμών	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΟ

ΧΩΡΟ	33
2.1 Γενικά	33
2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών	34
2.2.1 Τριγωνομετρική υψομετρία ακριβείας	37
2.3 Μέθοδοι προσδιορισμού θέσης σε 2 και 3 διαστάσεις	45
2.3.1 Μέθοδος των πολικών συντεταγμένων	45
2.3.2 Μέθοδος της εμπροσθοτομίας στο χώρο	48
2.3.2.1 Προσδιορισμός μήκους με χρήση δίμετρης βάσης	52
2.3.3 Προσδιορισμός θέσης με συστήματα G.N.S.S.	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	55
3.1 Ιστορικά στοιχεία.....	55
3.2 Η σύγχρονη κατασκευή του γηπέδου	56
3.3 Το υψομετρικό δίκτυο του γηπέδου Καραϊσκάκη	58
3.4 Βελτιστοποίηση του υψομετρικού δικτύου	60
3.4.1 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης	64
3.5 Μέτρηση του υψομετρικού δικτύου.....	65
3.5.1 Ημερολόγιο εργασιών υπαίθρου	68
3.6 Συνόρθωση του υψομετρικού δικτύου	69
3.7 Σύγκριση υψομετρικών διαφορών και υψομέτρων	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΡΗΣΗΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ

ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ	74
4.1 Η σημασία της ασφάλειας στον εργοταξιακό χώρο	74
4.2 Αντικείμενο της έρευνας	74
4.3 Θεσμοθετημένοι έλεγχοι γερανογέφυρας.....	76
4.3.1 Ευθυγράμμιση των σιδηροτροχιών	76
4.3.2 Σχετική ανύψωση των σιδηροτροχιών.....	77
4.3.3 Διαμήκης ανύψωση κάθε σιδηροτροχιάς.....	78
4.3.4 Στρέψη των σιδηροτροχιών.....	78
4.3.5 Οριζόντια καμπύλωση της σιδηροτροχιάς	79
4.4 Προτεινόμενη μεθοδολογία	80
4.5 Επιλογή εξοπλισμού	82
4.5.1 Μετρολογικός έλεγχος γεωδαιτικού σταθμού	83
4.6 Η διαδικασία των μετρήσεων	88
4.7 Επεξεργασία των μετρήσεων.....	91
4.8 Πραγματοποίηση ελέγχων	95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	104
5.1 Γενικά	104
5.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση καλωδίου	105
5.2.1 Δημιουργία όψης	107
5.3 Προσαρμογή καμπύλης	110
5.4 Δεύτερη φάση μετρήσεων	115

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	118
6.1 Συμπεράσματα	118
6.2 Προτάσεις	121

6.3 Χρονοδιάγραμμα εργασιών	123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	125
ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ	126
ABSTRACT	127
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	132
Πίνακας 1. Leica TPS 400	133
Πίνακας 2. Leica TPS 700	134
Πίνακας 3. Leica TPS 800	135
Πίνακας 4. Leica TPS 1200	136
Πίνακας 5. Topcon GPT 230W	137
Πίνακας 6. Topcon GPT 3000LW	138
Πίνακας 7. Topcon GPT 7000i	139
Πίνακας 8. Topcon GPT 7500	140
Πίνακας 9. Topcon GPT 8200A	141
Πίνακας 10. Topcon GPT 9000A	142
Πίνακας 11. Trimble 5600 DR 200+	143
Πίνακας 12. Trimble M3.....	144
Πίνακας 13. Trimble S6 DR 300+	145
Πίνακας 14. Sokkia SRX	146
Πίνακας 15. Pentax W800 NX.....	147
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	148
Πίνακας 1 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R6 – R1	149
Πίνακας 2 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R8 – R9.....	150
Πίνακας 3 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R1 – S10	151
Πίνακας 4 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S10 – R7	152
Πίνακας 5 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S7 – R9	153
Πίνακας 6 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S7 – R6	154
Πίνακας 7 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S7 – R4	155
Πίνακας 8 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S11 – S12	156
Πίνακας 9 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R7 – R8.....	157
Πίνακας 10 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R8 – S11	158
Πίνακας 11 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R6 – R7.....	159
Πίνακας 12 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R4 – R3.....	160
Πίνακας 13 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R5 – S11	161
Πίνακας 14 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R2 – R5.....	162
Πίνακας 15 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R9 – S9	163
Πίνακας 16 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R2 – S12	164
Πίνακας 17 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S12 – S8.....	165
Πίνακας 18 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S8 – R7	166

Πίνακας 19 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S9 – R2	167
Πίνακας 20 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R3 – R1	168
Πίνακας 21 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R3 – S10	169
Πίνακας 22 : Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S9 – R4	170
Πίνακας 23 : Ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας της συνόρθωσης του υψομετρικού δικτύου	171
Πίνακας 24 : Εργαστηριακές μετρήσεις προς διάφορα υλικά για απόσταση 50 m	172
Πίνακας 25 : Αποτελέσματα μετρολογικού ελέγχου για απόσταση σκόπευσης 50 m	173
Πίνακας 26 : Εργαστηριακές μετρήσεις προς διάφορα υλικά για απόσταση 15 m	174
Πίνακας 27 : Αποτελέσματα μετρολογικού ελέγχου για απόσταση σκόπευσης 15 m	175
Πίνακας 28 : Αποτελέσματα υπολογισμού καλύτερων ευθειών για τη γραμμή 1, σε όλο το μήκος της και για κάθε τμήμα της ξεχωριστά	176
Πίνακας 29 : Αποτελέσματα υπολογισμού καλύτερων ευθειών για τη γραμμή 2, σε όλο το μήκος της και για κάθε τμήμα της ξεχωριστά	177
Πίνακας 30 : Αποτελέσματα υπολογισμού καλύτερων ευθειών χρησιμοποιώντας 5 σημεία	178
Πίνακας 31 : Αποτελέσματα υπολογισμού καλύτερων ευθειών χρησιμοποιώντας 3 σημεία	179

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1. Μέγιστο βεληνεκές ενός οργάνου ανά επιφάνεια και είδος μεθόδου	14
Πίνακας 1.2. Ανακλασιμότητα χαρακτηριστικών υλικών	14
Πίνακας 1.3. Χαρακτηριστικά γεωδαιτικών σταθμών	32
Πίνακας 2.1. Σφάλμα στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς ως συνάρτηση του σφάλματος μέτρησης του μήκους και της ζενίθιας γωνίας	43
Πίνακας 2.2. Σφάλμα στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς ως συνάρτηση του σφάλματος μέτρησης γωνιών και της ζενίθιας γωνίας	43
Πίνακας 2.3. Σφάλμα στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς ως συνάρτηση του αριθμού των στάσεων	44
Πίνακας 2.4. Διαφορά των τελικών συντεταγμένων στην περίπτωση της διάταξης ισοσκελούς τριγώνου με ύψος 20 m	52

Πίνακας 3.1. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα συναρτήσει του αριθμού των συνδέσεων και της ακρίβειας του οργάνου.....	62
Πίνακας 3.2. Οι συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν	63
Πίνακας 3.3. Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των σημείων ελέγχου	67
Πίνακας 3.4. Στατιστικά στοιχεία των μετρήσεων.....	67
Πίνακας 3.5. Συνοπτική παρουσίαση εργασιών υπαίθρου.....	68
Πίνακας 3.6. Τελικά υψόμετρα και τα τυπικά τους σφάλματα	70
Πίνακας 3.7. Σύγκριση υψομετρικών διαφορών μετρημένων μεταξύ <i>rèpère</i> , με Γ.Χ. και ΤΡΥΑ	71
Πίνακας 3.8. Έλεγχος της μεθόδου στην ακρίβεια υπολογισμού των μετρημένων υψομετρικών διαφορών μεταξύ <i>rèpère</i> για επ.εμπ. 95%	72
Πίνακας 3.9. Έλεγχος της μεθόδου στην ακρίβεια υπολογισμού των τελικών υψομέτρων για επ.εμπ. 95%.....	72
Πίνακας 3.10. Σύγκριση υψομετρικών διαφορών μετρημένων μεταξύ απρόσιτων σημείων, με επίλυση δικτύου Γ.Χ. και ΤΡΥΑ .	73
Πίνακας 4.1. Διαφορά των μετρημένων μηκών, από το μήκος που μετρήθηκε με πρίσμα, σε απόσταση 50 m	85
Πίνακας 4.2. Διαφορά των μετρημένων μηκών, από το μήκος που μετρήθηκε με πρίσμα, σε απόσταση 15 m	87
Πίνακας 4.3. Μετρήσεις προς την κορυφή Σ2.....	90
Πίνακας 4.4. Οι συντεταγμένες των κορυφών	91
Πίνακας 4.5. Οι βέλτιστες ευθείες για τη γραμμή 1	93
Πίνακας 4.6. Οι βέλτιστες ευθείες για τη γραμμή 2.....	93
Πίνακας 4.7. Αποτελέσματα συνόρθωσης για διαφορετικό αριθμό σημείων στη γραμμή 1	94
Πίνακας 4.8. Αποτελέσματα συνόρθωσης για διαφορετικό αριθμό σημείων στη γραμμή 2	94
Πίνακας 4.9 Έλεγχος ευθυγράμμισης χρησιμοποιώντας τις βέλτιστες ευθείες	96
Πίνακας 4.10. Έλεγχος ευθυγράμμισης χρησιμοποιώντας τα μετρημένα σημεία.....	97
Πίνακας 4.11. Έλεγχος σχετικής ανύψωσης χρησιμοποιώντας τις βέλτιστες ευθείες	98
Πίνακας 4.12. Έλεγχος σχετικής ανύψωσης χρησιμοποιώντας τα μετρημένα σημεία	99
Πίνακας 4.13. Η τιμή του μεγέθους $ c $	100
Πίνακας 4.14. Έλεγχος στρέψης χρησιμοποιώντας τις καλύτερες ευθείες	101
Πίνακας 4.15. Έλεγχος στρέψης χρησιμοποιώντας τα υψόμετρα των σημείων	102
Πίνακας 4.16. Έλεγχος οριζόντιας καμπύλωσης για τη γραμμή 1.....	103
Πίνακας 4.17. Έλεγχος οριζόντιας καμπύλωσης για τη γραμμή 2.....	103

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα από την πρώτη προσαρμογή 2-βάθμιου πολυωνύμου.....	111
Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα από τη δεύτερη προσαρμογή 2-βάθμιου πολυωνύμου.....	112
Πίνακας 5.3. Αποτελέσματα από την προσαρμογή 3-βάθμιου πολυωνύμου.....	113
Πίνακας 5.4. Αποτελέσματα από την προσαρμογή πολυωνύμου στις νέες μετρήσεις.....	116
Πίνακας 5.5. Υψομετρικές διαφορές ανάμεσα στις δύο φάσεις μετρήσεων.....	117
Πίνακας 6.1. Χαρακτηριστικά των μεθόδων μέτρησης μήκους.....	118

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1. Παραγωγή ακτινοβολίας Laser	8
Σχήμα 1.2. Μέτρηση απόστασης με τη μέθοδο των παλμών	11
Σχήμα 1.3. Κατανομή των μοναδιαίων μετρήσεων του μήκους	11
Σχήμα 1.4. Μέτρηση απόστασης με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης.....	12
Σχήμα 1.5. Ο χρόνος μέτρησης ως συνάρτηση του μήκους.....	17
Σχήμα 1.6. Μέγεθος και σχήμα δέσμης ως συνάρτηση του μήκους.....	19
Σχήμα 1.7. Ένδειξη εκπομπής ακτινοβολίας Laser	20
Σχήμα 1.8. Ένδειξη κατηγορίας Laser.....	20
Σχήμα 1.9. Αδυναμία ακριβούς σκόπευσης γωνίας.....	28
Σχήμα 1.10. Υπολογισμός γωνίας με 3 σημεία	29
Σχήμα 1.11. Υπολογισμός γωνία με 4 σημεία.....	29
Σχήμα 1.12. Υπολογισμός κέντρου κυκλικού αντικειμένου	30
Σχήμα 2.1. Σχηματική παράσταση της γεωμετρικής χωροστάθμησης ...	34
Σχήμα 2.2. Σχηματική παράσταση της τριγωνομετρικής υψομετρίας ...	35
Σχήμα 2.3. Σχηματική παράσταση της Ειδικής Τριγωνομετρικής Υψομετρίας.....	36
Σχήμα 2.4. Σχηματική παράσταση της μοναδιαίας διαδικασίας ΤΡΥΑ..	38
Σχήμα 2.5. Σχηματική παράσταση της ΤΡΥΑ με 2 ενδιάμεσες στάσεις	39
Σχήμα 2.6. Σχηματική παράσταση της ΤΡΥΑ με εφαρμογή της μεθόδου τριών τριπόδων	41
Σχήμα 2.7. Σκόπευση προς υψομετρική αφετηρία (rèpère)	41
Σχήμα 2.8. Σφάλμα στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς ως συνάρτηση του αριθμού των στάσεων	44
Σχήμα 2.9. Προσδιορισμός θέσης με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων.....	45
Σχήμα 2.10. Σφάλμα στον προσδιορισμό του υψομέτρου σε συνάρτηση με τη ζενίθια γωνία και την απόσταση	47

Σχήμα 2.11. Σφάλμα στον προσδιορισμό της οριζοντιογραφικής θέσης σε συνάρτηση με την απόσταση.....	47
Σχήμα 2.12. Προσδιορισμός θέσης με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας .	48
Σχήμα 2.13. Δύο περιπτώσεις της θέσης του ζητουμένου σημείου για απόσταση 50 m μεταξύ των δύο στάσεων.....	50
Σχήμα 2.14. Γεωμετρική παράσταση της μεθόδου της δίμετρης βάσης .	53
Σχήμα 3.1. Σκαρίφημα της θέσης των κορυφών του υψομετρικού δικτύου ελέγχου.....	59
Σχήμα 3.2. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα συναρτήσει του αριθμού των συνδέσεων και της ακρίβειας του οργάνου	62
Σχήμα 3.3. Το υψομετρικό δίκτυο στο γήπεδο Καραϊσκάκη	64
Σχήμα 3.4. Σχηματική παράσταση μετρημένων υψομετρικών διαφορών	68
Σχήμα 4.1. Έλεγχος για ευθυγράμμιση των σιδηροτροχιών	76
Σχήμα 4.2. Έλεγχος για σχετική ανύψωση των σιδηροτροχιών.....	77
Σχήμα 4.3. Έλεγχος για διαμήκη ανύψωση των σιδηροτροχιών.....	78
Σχήμα 4.4. Έλεγχος για στροφή των σιδηροτροχιών	79
Σχήμα 4.5. Έλεγχος οριζόντιας καμπύλωσης σιδηροτροχιάς.	79
Σχήμα 4.6. Υπόγεια σήραγγα κτιρίου Λαμπαδαρίου	83
Σχήμα 4.7. Τα σημεία που λήφθηκαν ανά διατομή	88
Σχήμα 4.8. Η σειρά αρίθμησης των σημείων	88
Σχήμα 4.9. Σκαρίφημα της γερανογέφυρας.....	89
Σχήμα 4.10. Υπολογισμός υψομετρικής διαφοράς σκοπευτικών κέντρων με χρήση σταδίας	90
Σχήμα 4.11. Έλεγχος διαμήκους ανύψωσης στη γραμμή 1.....	100
Σχήμα 4.12. Έλεγχος διαμήκους ανύψωσης στη γραμμή 2.....	100
Σχήμα 5.1. Διάγραμμα κάτοψης καλωδίου	107
Σχήμα 5.2. Διάγραμμα όψης καλωδίου	109
Σχήμα 5.3. Θέση καλωδίου και προσαρμογή πολυωνύμου 2ου βαθμού	111
Σχήμα 5.4. Θέση καλωδίου και προσαρμογή πολυωνύμου 3ου βαθμού	114
Σχήμα 6.1. Χρονοδιάγραμμα εργασιών.....	123

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Φωτογραφία 1.1. Reg Elta 14	5
Φωτογραφία 1.2. Dior 3002S	6
Φωτογραφία 1.3. Kodak grey card	16
Φωτογραφία 1.4. Ο δίσκος 3 θέσεων του System Analyzer	24
Φωτογραφία 1.5. Αποτύπωμα δέσμης σε αποστάσεις 5, 35 και 55 m χρησιμοποιώντας την τεχνολογία System Analyzer ...	25
Φωτογραφία 3.1. Στάδιο « Γ. Καραϊσκάκης »	55
Φωτογραφία 3.2. Γήπεδο « Γ. ΚΑΡΑΪΣΚΑΚΗΣ »	58

Φωτογραφία 3.3. Υψομετρική αφετηρία τοποθετημένη στο μνημείο του Γ. Καραϊσκάκη (R1)	60
Φωτογραφία 3.4. Μαγνητικός στόχος βιομηχανικής γεωδαισίας	66
Φωτογραφία 4.1. Άποψη της γερανογέφυρας	75
Φωτογραφία 4.2. Το δεξί τμήμα της γερανογέφυρας.....	75
Φωτογραφία 4.3. Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201+	82
Φωτογραφία 4.4. Ειδική βάση στήριξης υλικών	84
Φωτογραφία 4.5. Σκόπευση σε μάρμαρο, μαύρο χαρτόνι και ξύλο.....	84
Φωτογραφία 5.1. Πυλώνες μεταφοράς ρεύματος υψηλής τάσης.....	104
Φωτογραφία 5.2. Ο πρώτος πυλώνας στήριξης του καλωδίου	105
Φωτογραφία 5.3. Ο δεύτερος πυλώνας στήριξης του καλωδίου.....	106

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων των γεωδαιτικών σταθμών, οι οποίοι μετρούν μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (Reflectorless), κατά τον προσδιορισμό της θέσης σημείων σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας.

Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η λειτουργία των reflectorless γεωδαιτικών σταθμών. Δίνονται ιστορικά στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών καθώς και τα χαρακτηριστικά της μέτρησης μηκών με ακτινοβολία laser όλων των τάξεων. Το κεφάλαιο επικεντρώνεται στις δύο μεθόδους που χρησιμοποιούν σήμερα τα όργανα αυτά για τη μέτρηση μηκών χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα και στη μεταξύ τους σύγκριση αλλά και στη νέα μέθοδο που συνδυάζει και αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα των δύο χρησιμοποιούμενων μεθόδων. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την καταγραφή των κυριότερων γεωδαιτικών σταθμών που χρησιμοποιούνται σήμερα και των χαρακτηριστικών τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι προσδιορισμού της θέσης σημείων, οι οποίες χωρίζονται σε μεθόδους προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών ($3^{\text{η}}$ διάσταση) και σε μεθόδους προσδιορισμού θέσης στο επίπεδο ή στο χώρο (2 και 3 διαστάσεις αντίστοιχα), όπου και αναλύονται η ακρίβεια κάθε μεθόδου και οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Γίνεται εκτεταμένη ανάλυση της μεθόδου της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας (ΤΡΥΑ) για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών προσιτών και απρόσιτων σημείων, η οποία χρησιμοποιείται στην πρώτη εφαρμογή με reflectorless γεωδαιτικούς σταθμούς (μέτρηση του υψομετρικού δικτύου του γηπέδου Καραϊσκάκη).

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου στη μέτρηση του υψομετρικού δικτύου του Γηπέδου Καραϊσκάκη. Το δίκτυο μετράται και συνορθώνεται καταλήγοντας έτσι στα υψόμετρα των σημείων ελέγχου. Πραγματοποιείται σύγκριση σε συγκεκριμένες υψομετρικές συνδέσεις που είχαν μετρηθεί σε προηγούμενη εργασία με τη διαδικασία της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται διεξοδικά η διαδικασία μέτρησης μιας γερανογέφυρας στο χώρο της Χαλυβουργικής. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων. Σκοπός της παρούσας εφαρμογής είναι η διερεύνηση των ακριβειών που

επιτυγχάνονται με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων (σε σχέση με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας που παραδοσιακά χρησιμοποιείται σε παρόμοιες εφαρμογές) και η καταλληλότητά της για τον έλεγχο των προδιαγραφών ασφαλείας της γερανογέφυρας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η διαδικασία προσδιορισμού της θέσης απρόσιτων σημείων (συγκεκριμένα ενός καλωδίου μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος). Αναπτύσσεται η διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του καλωδίου και η διερεύνηση προσαρμογής σε αυτό πολυωνυμικής καμπύλης, αλλά και η σύγκριση μεταξύ δύο διαφορετικών μετρήσεων σε διάστημα 3 μηνών.

Τέλος, το έκτο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο της εργασίας, καθώς αναφέρονται σε αυτό τα τελικά συμπεράσματα σχετικά με τη χρήση των reflectorless γεωδαιτικών σταθμών στις τρεις εφαρμογές που αναπτύχθηκαν, γίνεται μια ανακεφαλαίωση και αξιολόγηση των εργασιών και δίνονται ενδεικτικά ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω χρήση των αποτελεσμάτων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γεωπληροφορική, είναι η επιστήμη της συλλογής, επεξεργασίας και διαχείρισης χωρικών δεδομένων. Ένας από τους πλέον πρωταρχικούς και καθοριστικούς παράγοντες λοιπόν, αποτελεί η ορθή και ακριβής συλλογή των δεδομένων. Η μετέπειτα διαχείριση και ανάπτυξη μοντέλων μελέτης, εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία έχουν ληφθεί τα πρωτογενή στοιχεία. Η γεωδαισία καλείται να αναπτύξει μεθόδους τέτοιες που να διασφαλίζουν και να πιστοποιούν την απαιτούμενη ακρίβεια σε μικρής ή μεγάλης κλίμακας εργασίες.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει προσφέρει στον Αγρονόμο – Τοπογράφο Μηχανικό σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα που του παρέχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιεί μετρήσεις με μεγαλύτερη άνεση και λιγότερο κόπο.

Σήμερα εξάλλου παρέχεται η δυνατότητα τα γεωδαιτικά όργανα να μετρούν μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα. Αυτό έχει δώσει το πλεονέκτημα να σκοπεύονται σημεία απρόσιτα, λόγω φυσικών εμποδίων ή μεγάλης υψομετρικής διαφοράς. Το πρόβλημα των απρόσιτων σημείων γίνεται περισσότερο αντιληπτό, όταν αυτά είναι σημεία ελέγχου μιας κατασκευής ή ενός τμήματος της φυσικής γήινης επιφάνειας και για τα οποία απαιτείται ο προσδιορισμός των συντεταγμένων τους σε ένα τοπικό τρισσορθογώνιο σύστημα ή ο υπολογισμός της υψομετρικής τους διαφοράς ως προς κάποια άλλα.

Έτσι ο ρόλος του Αγρονόμου – Τοπογράφου Μηχανικού στην επιστημονική κοινότητα είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς κατέχει την απαραίτητη γνώση, αλλά και τα κατάλληλα εργαλεία για να δώσει απαντήσεις σε θέματα καθοριστικά για την ασφάλεια.

Τέτοιες περιπτώσεις είναι η μελέτη μικρομετακινήσεων κατασκευών ή τμημάτων του εδάφους, ο έλεγχος και η συμμόρφωση κατασκευών με συγκεκριμένα πρότυπα ασφαλείας κ.α.

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της αξιοπιστίας (ακρίβειας και ορθότητας) μέτρησης του μήκους χωρίς τη χρήση πρίσματος καθώς και η διερεύνηση της ακρίβειας των κλασικών μεθόδων προσδιορισμού θέσης σημείων. Εκτός από τη θεωρητική ανάλυση της διαδικασίας και την καταγραφή των χαρακτηριστικών της ιδιοτήτων, πραγματοποιήθηκαν τρεις ειδικές εφαρμογές.

- Μελετάται η δυνατότητα προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών στο χώρο του γηπέδου Καραϊσκάκη με τη μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας και η ευχρηστία της σε σχέση με άλλες μεθόδους.

- Πραγματοποιείται έλεγχος των προδιαγραφών ασφαλείας σε μια γερανογέφυρα στο χώρο της Χαλυβουργικής, με δύο διαφορετικές μεθόδους.
- Περιγράφεται η διαδικασία με την οποία μπορεί να προσδιοριστεί μαθηματικά, η θέση ενός καλωδίου μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος με τη χρήση σύγχρονων οργάνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη καταγραφή για μέτρηση μεγεθών που σχετίζονται με τη φυσική γήινη επιφάνεια, γίνεται από τον Ηρόδοτο. Αναφέρει ότι ο βασιλιάς της Αιγύπτου (3000 π.Χ.) έκανε αναδασμό στη γη για τους γεωργούς και προκειμένου αυτοί να ξαναβρίσκουν τα όριά τους μετά τις ετήσιες πλημμύρες του Νείλου επινοήθηκαν τα πρώτα όργανα μέτρησης μήκους. Αυτά ήταν σχοινιά που έφεραν κόμπους σε ίσα διαστήματα. [Ρωσσικόπουλος, 2006]

Η εξέλιξη του ανθρώπου από τότε και κυρίως η ανάγκη του για καθορισμό και προσδιορισμό της γης, δε μπορούσε να αφήσει ανεπηρέαστη και την εξέλιξη των μετρητικών οργάνων. Έτσι από τους ξύλινους μετρητικούς κανόνες των αρχών του 18^{ου} αιώνα περάσαμε στα σύρματα και στις σταδίες invar στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και στα οπτικομηχανικά θεοδόλιχα και τις σταδίες στις αρχές του 20ου αιώνα μέχρι και το 1960.

Η εφαρμογή των νόμων της φυσικής στα όργανα μέτρησης μηκών έφερε το 1960 όργανα που μπορούσαν να μετρήσουν μήκη χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτά ήταν όργανα βαριά, περιορισμένης εμβέλειας και προσαρμόζονταν σε θεοδόλιχα.

Η πρώτη γενιά οργάνων που λειτουργούσαν ως θεοδόλιχα και ως E.D.M. εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 70'. Τα όργανα αυτά λειτουργούσαν με μηχανικό θεοδόλιχο, είχαν μεγάλο βάρος και για την εξαγωγή των στοιχείων χρησιμοποιείτο ειδική διάτρητη ταινία (ηλεκτρονικό ταχύμετρο Reg Elta 14 της Zeiss – φωτ. 1.1).

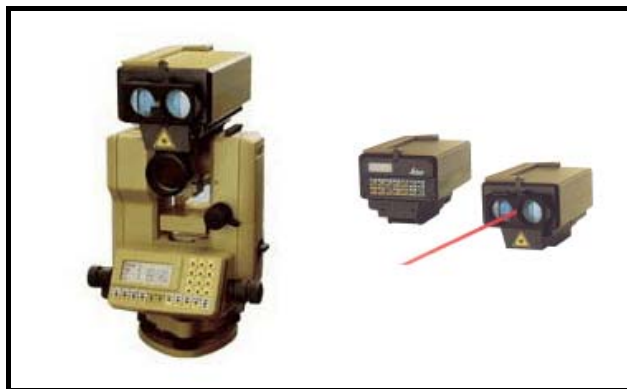


Φωτογραφία 1.1: Reg Elta 14

Τη δεκαετία του 1980, εμφανίστηκαν οι πρώτοι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί με ψηφιακό θεοδόλιχο. Το βάρος και ο όγκος τους μειώθηκαν αρκετά σε σχέση με τα προηγούμενα, ενώ αυξήθηκε η εμβέλεια τους με ένα κατάφωτο. Το αποστασιόμετρο είναι πλέον ενσωματωμένο σε ψηφιακό θεοδόλιχο και η καταγραφή των μετρημένων μεγεθών γίνεται σε εξωτερική καταγραφική μονάδα, έτσι αποφεύγονται τα χονδροειδή σφάλματα. Ο οριζόντιος και κατακόρυφος κύκλος των οργάνων είναι ψηφιακοί και έτσι αποφεύγονται τα σφάλματα ανάγνωσης του παρατηρητή (TC1600 της Leica).

Στη συνέχεια η εξέλιξη της τεχνολογίας και των υπολογιστών δε μπορούσε παρά να μην επηρεάσει και τους γεωδαιτικούς σταθμούς. Έτσι στις αρχές της δεκαετίας του '90 παρουσιάστηκε το αποστασιόμετρο DIOR 3002S της Wild, που έδινε τη δυνατότητα μέτρησης μηκών και χωρίς τη χρήση πρίσματος (φωτ. 1.2). Προσαρμοζόταν επιβατηγά σε θεοδόλιχο και η μέτρηση του μήκους γινόταν παράλληλα με το σκοπευτικό άξονα του θεοδολίχου γι αυτό και ήταν απαραίτητη η γεωμετρική αναγωγή της μετρούμενης απόστασης.

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασιζόταν στην εκπομπή ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας η οποία προσέπιπτε σε οποιαδήποτε επιφάνεια, ανακλάτο και επέστρεφε στο όργανο. Η εμβέλεια τότε έφθανε αρχικά τα 60 m και αργότερα τα 100 m. Η εξέλιξη σε αυτόν τον τομέα ήταν ραγδαία. Έτσι αργότερα οι γεωδαιτικοί σταθμοί ενσωμάτωσαν την δυνατότητα να μετρούν μήκη χωρίς πρίσμα, ενώ το βεληνεκές τους αυξανόταν συνεχώς. Από τα 150 m που ήταν στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, σήμερα (2008) έχει φθάσει τα 2000 m. [Μπαλοδήμος Δ.-Δ. κ.α., 2005]



Φωτογραφία 1.2. Το αποστασιόμετρο Dior 3002S

1.2 Η ακτινοβολία Laser

1.2.1 Γενικά στοιχεία

Η λέξη **Laser** προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation** (ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας) και ουσιαστικά αναφέρεται στην περίπτωση της συχνότητας ν που εμπίπτει στην ορατή ακτινοβολία. Παρόλ' αυτά η λέξη laser χρησιμοποιείται όχι μόνο για συχνότητες στην ορατή περιοχή αλλά για κάθε συχνότητα που εμπίπτει στο μακρό ή κοντινό υπέρυθρο, στο υπεριώδες και στην περιοχή των ακτίνων X.

Τα laser είναι διατάξεις παραγωγής (οπτικών) ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με τη μέθοδο της εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας. Ουσιαστικά είναι ένας ενισχυτής φωτός.

Ιστορικά πρώτη φορά αναφέρεται το 1917 από τον A. Einstein, ο οποίος απέδειξε τη δυνατότητα ύπαρξης της εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας.

Το 1958 υποδείχθηκε η αρχή λειτουργίας του laser από τους C. H. Towns και A.L. Schawlow, οπότε και δημοσίευσαν το πρώτο επιστημονικό άρθρο σχετικά με τα laser.

Το 1960 ο T.H. Mainman κατασκεύασε και έθεσε σε λειτουργία το πρώτο laser ρουβιδίου και το 1961 αναπτύχθηκε από τον A. Javan το πρώτο laser αερίου. Από τότε μέχρι και σήμερα η τεχνολογία των laser γνωρίζει αλματώδη ανάπτυξη. [Πάπυρος, Larouse, Britannica, 1996]

Σήμερα υπάρχουν πολλοί τύποι laser. Κάθε τύπος έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Όμως υπάρχουν ορισμένες βασικές αρχές στη λειτουργία τους, κοινές για όλους τους τύπους. Τα τμήματα που διακρίνονται σε μια διάταξη laser είναι:

- το ενεργό υλικό
- το οπτικό αντηχείο ή κοιλότητα συντονισμού
- το τμήμα διαδικασίας άντλησης

1.2.2 Λειτουργία του Laser

Προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή η διαδικασία λειτουργίας του laser κρίνεται σκόπιμο να δοθούν αρχικά ορισμένες έννοιες της φυσικής σχετικές με την εκπομπή ακτινοβολίας:

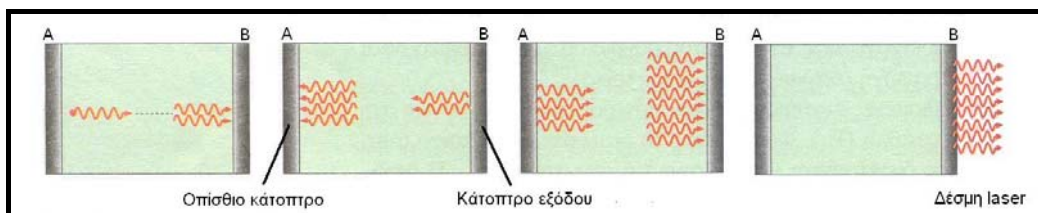
Εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας: Το φαινόμενο της εξαναγκασμένης εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας συνίσταται στην εκπομπή ενός φωτονίου από ένα άτομο (ή μόριο) το οποίο

μεταπίπτει από μια διεγερμένη κατάσταση (E_2) σε μια κατάσταση μικρότερης ενέργειας (E_1). Η εξαναγκασμένη εκπομπή προκαλείται όταν το σύστημα "χτυπηθεί" από ένα άλλο φωτόνιο. Το φωτόνιο που προκαλεί την αποδιέγερση και το φωτόνιο που εκπέμπεται κατά την αποδιέγερση προστίθενται και δημιουργούν κατά την έξοδό τους ακτινοβολία διπλάσιας έντασης από εκείνη που χρησιμοποιήθηκε για τη διέγερση. Έτσι επιτυγχάνεται ενίσχυση της ακτινοβολίας.

Άντληση: Μέσα σε ένα μέσο τα άτομα με χαμηλή ενέργεια είναι περισσότερα από τα άτομα με υψηλή ενέργεια. Προκειμένου να επιτευχθεί εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας πρέπει η αναλογία αυτή να αντιστραφεί (αντιστροφή πληθυσμών). Επειδή η διαδικασία δε μπορεί να γίνει φυσικά χρησιμοποιείται μια εξωτερική πηγή ενέργειας (pump source) για τη διέγερση. Η διαδικασία ονομάζεται άντληση.

Για την πραγματοποίηση του φαινομένου laser απαιτείται η ύπαρξη ενός ενεργού μέσου, οι δομικές μονάδες του οποίου να διαθέτουν ενεργειακές στάθμες που να επιτρέπουν μια εξαναγκασμένη εκπομπή. Το ενεργό μέσο υποβάλλεται σε άντληση, η οποία προκαλεί αναστροφή των πληθυσμών ανάμεσα σε δύο ενεργειακές στάθμες. Αν μια δέσμη φωτεινής μονοχρωματικής ακτινοβολίας προσπέσει στο ενεργό μέσον εξέρχεται στη συνέχεια από αυτό ενισχυμένη από την εξαναγκασμένη εκπομπή. Για το μετασχηματισμό του ενεργού μέσου σε γεννήτρια ακτίνων laser απαιτείται η τοποθέτησή του, στο εσωτερικό μιας κοιλότητας συντονισμού. Αυτή αποτελείται από δύο παράλληλα κάτοπτρα, τοποθετημένα κάθετα προς την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Το ένα από τα δύο κάτοπτρα πρέπει να είναι μερικά διαπερατό ώστε να επιτρέπει την έξοδο της ακτινοβολίας.

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται κάθετα προς τα δύο κάτοπτρα και κάθε φορά που προσπίπτει σε κάποιο από αυτά ανακλάται, ενώ κατά τη διέλευσή του από το ενεργό μέσο αποδιεγείρει άτομα και η ακτινοβολία διπλασιάζεται. Κατά την επαναληπτική αυτή διαδικασία η ισχύς αυξάνεται ώσπου ένα μέρος της καταφέρει να διαπεράσει το ημιδιαπερατό κάτοπτρο (σχήμα 1.1). [Πάπυρος, Larouse, Britannica, 1996]



Σχήμα 1.1. Παραγωγή ακτινοβολίας Laser

1.2.3 Ιδιότητες της ακτινοβολίας Laser

Η φωτεινή ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια διάταξη laser χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά **μεγάλη συνεκτικότητα** τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Τα φωτόνια εκπέμπονται σε φάση και έχουν όλα το ίδιο μήκος κύματος και την ίδια διεύθυνση διάδοσης.

Έτσι αντίθετα με τις συνήθεις μη συνεκτικές ακτινοβολίες, οι ακτίνες laser χαρακτηρίζονται από **υψηλή κατευθυντικότητα**. Η απόκλιση της δέσμης μπορεί να περιοριστεί σε μερικά δευτερόλεπτα της μοίρας. Έτσι είναι δυνατό σε μια πολύ μικρή στερεά γωνία να συγκεντρωθεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας ή πολύ υψηλή ποσότητα ακτινοβολίας. Η όποια απόκλιση προκύπτει οφείλεται στην περίθλαση.

Με εστίαση μιας δέσμης ακτίνων laser σχηματίζεται στην εστία της χρησιμοποιούμενης οπτικής διάταξης μια φωτεινή κηλίδα πολύ μικρών διαστάσεων, αποτελούμενη από ακτινοβολίες περιορισμένου αριθμού μηκών κύματος. Έτσι παρουσιάζεται μια εξαιρετικά **υψηλή συγκέντρωση ενέργειας ανά μονάδα επιφανείας**.

Οι ακτίνες laser χαρακτηρίζονται επίσης από **υψηλό βαθμό μονοχρωματικότητας** (το φως που εκπέμπεται από μια πηγή laser έχει συγκεκριμένη συχνότητα), λαμπρότητας και συμφωνίας φάσης. [Γεωργακάκος κ.α., 1999 & Τσακίρη 2006]

1.3 Μέτρηση μήκους χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα

Η εξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών που ενσωματώνουν τη δυνατότητα μέτρησης μηκών χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (reflectorless) είναι διαρκής τα τελευταία χρόνια.

Το βεληνεκές των σταθμών αυτών αυξάνει συνεχώς καθώς ξεκίνησε από τα 60 m το 1990 και σήμερα (2008) φθάνει τα 2000 m.

Παρόλ' αυτά μέχρι σήμερα οι μέθοδοι μέτρησης μηκών με reflectorless γεωδαιτικούς σταθμούς δεν έχουν αλλάξει. Οι δύο τεχνικές που χρησιμοποιούν όλες οι εταιρίες είναι:

- α) η μέθοδος της διαφοράς φάσης (phase shift) και
- β) η μέθοδος των παλμών (time of flight ή pulsed laser).

Κάθε μια μέθοδος παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στη συνέχεια πραγματοποιείται παρουσίαση και σύγκριση των δύο μεθόδων σε συγκεκριμένους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αγορά ή χρήση ενός τέτοιου οργάνου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι δύο αυτές μέθοδοι χρησιμοποιούνται και για τη μέτρηση του μήκους με πρίσμα στους κλασσικούς γεωδαιτικούς σταθμούς.

Τελευταία καινοτομία στο χώρο της εξέλιξης των reflectorless γεωδαιτικών σταθμών είναι μια τρίτη μέθοδος μέτρησης μηκών, η οποία αναπτύχθηκε από μια εταιρία κατασκευής οργάνων. Η εταιρία ονομάζει τη μέθοδο "System analyser" και όπως αναφέρεται συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο προηγούμενων μεθόδων. [Bayoud, 2006]

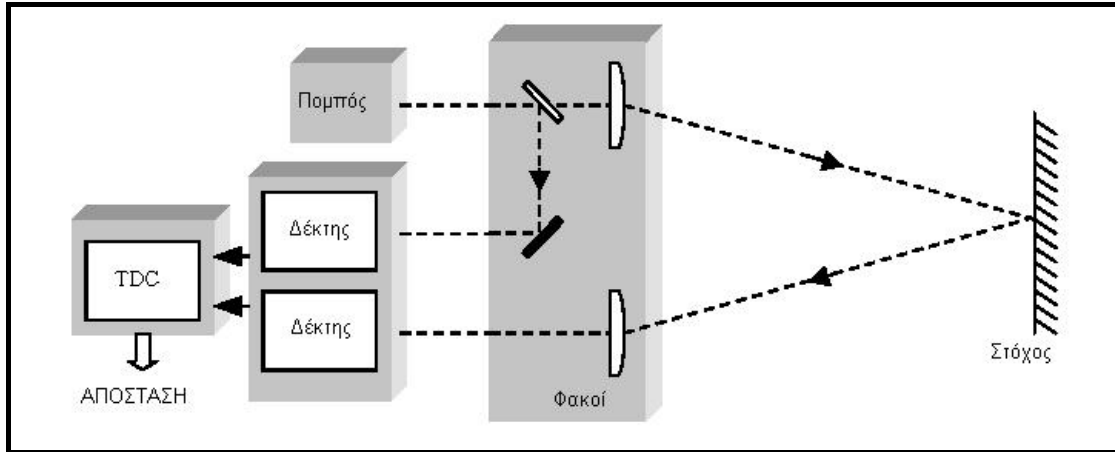
1.3.1 Η μέθοδος των παλμών (Time of flight)

Τα όργανα που λειτουργούν σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο βασίζονται στη μέτρηση της διαφοράς χρόνου μεταξύ του εκπεμπόμενου και του λαμβανόμενου παλμού. Τα όργανα που μετρούν με αυτή τη μέθοδο περιλαμβάνουν έναν πομπό, ένα δέκτη και μια μονάδα μέτρησης – υπολογισμού του χρόνου.

Ο πομπός του EDM παράγει πολλούς μικρούς ισχυρούς υπέρυθρους ή Laser παλμούς μικρής διάρκειας και σταθερής συχνότητας, οι οποίοι εκπέμπονται μέσω ενός συστήματος φακών προς την επιφάνεια. Ο χρόνος εκπομπής του παλμού προσδιορίζεται είτε οπτικά ανιχνεύοντας ένα μέρος του παλμού, είτε ηλεκτρικά, από το σήμα εκκίνησης της διόδου laser. Οι παλμοί αντανακλούνται στην επιφάνεια και επιστρέφουν προς το όργανο, όπου και καταγράφεται ο χρόνος εισόδου στον δέκτη. Από την επεξεργασία των δύο χρόνων υπολογίζεται το μήκος (σχήμα 1.2). Γνωρίζοντας την ταχύτητα του φωτός στην ατμόσφαιρα (c) και μετρώντας τη χρονική διαφορά από τη στιγμή της εκπομπής μέχρι τη στιγμή λήψης του παλμού (t) μπορεί να υπολογισθεί με μεγάλη ακρίβεια το μήκος S , μεταξύ του οργάνου και του στόχου (επιφάνειας). Τελικά το μήκος προκύπτει από τη σχέση:

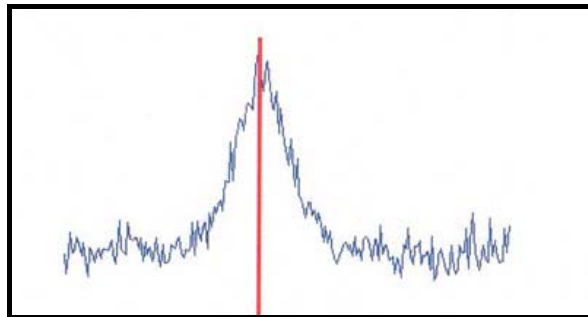
$$S = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t \quad (1.1)$$

Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η δυνατότητα εκπομπής υψηλής ενέργειας για σύντομο χρονικό διάστημα. Έτσι μειώνεται η επίδραση του περιβάλλοντος φωτισμού και η μέση ισχύς εκπομπής παραμένει χαμηλή προσφέροντας ικανοποιητική ασφάλεια.



Σχήμα 1.2. Μέτρηση μήκους με τη μέθοδο των παλμών

Κάθε δευτερόλεπτο εκπέμπονται περίπου 20.000 παλμοί. Κάθε παλμός αποτελεί μια μέτρηση μήκους. Από αυτούς προκύπτει η μέση τιμή του μήκους, η οποία και καταγράφεται στη μονάδα του οργάνου. Το σχήμα 1.3, απεικονίζει την κατανομή των μετρήσεων ενός μήκους και την εξαγωγή της μέσης τιμής από αυτές. Όπως είναι αναμενόμενο η μορφή που παρουσιάζουν οι διαφορετικές τιμές του μήκους που μετρήθηκε από κάθε παλμό, προσεγγίζει την κανονική κατανομή.



Σχήμα 1.3. Κατανομή των μοναδιαίων μετρήσεων του μήκους

1.3.2 Η μέθοδος της διαφοράς φάσης (Phase shift)

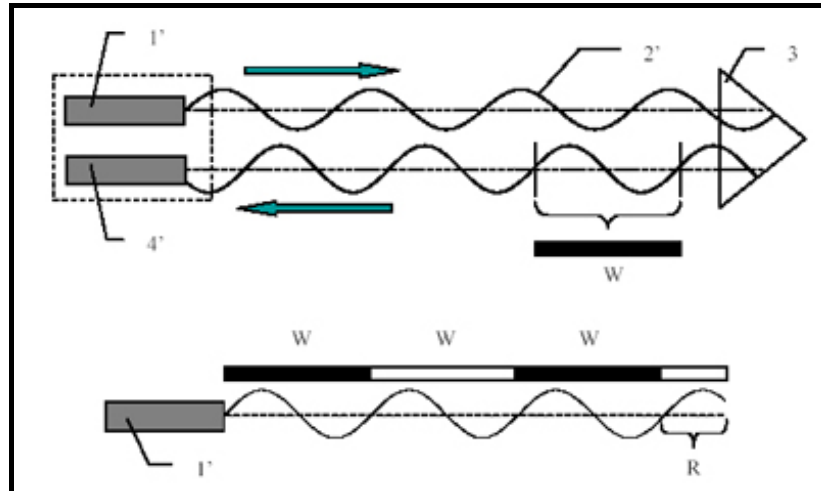
Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα στα όργανα μέτρησης μηκών είναι η μέθοδος της διαφοράς φάσης. Η μέθοδος βασίζεται στη σύγκριση της φάσης της εκπεμπόμενης και προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας.

Η μονάδα εκπέμπει ένα συνεχές κύμα laser, το οποίο διαμορφώνεται κατά πλάτος από ένα αρμονικό κύμα. Η εκπεμπόμενη δέσμη προσπίπτει στην μετρούμενη επιφάνεια, ανακλάται και επιστρέφει στη μονάδα (σχήμα 1.4).

Ο χρόνος μετάβασης – επιστροφής του σήματος είναι ευθέως ανάλογος της διαφοράς φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και

λαμβανόμενου σήματος και εξαρτάται από τη συχνότητα διαμόρφωσης και την απόσταση οργάνου – επιφάνειας [Τσακίρη, 2006].

Για τη μέτρηση της διαφοράς φάσης δεν απαιτείται η ύπαρξη χρονομέτρου μεγάλης ακρίβειας αλλά αρκεί μια ηλεκτρονική διάταξη για τη μέτρηση της διαφοράς φάσης.



Σχήμα 1.4. Μέτρηση μήκους με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα το μετρούμενο μήκος αποτελείται από ένα συγκεκριμένο αριθμό ακέραιων μηκών κύματος (W) και ένα υπόλοιπο (R) μέσα σε ένα μήκος κύματος (ακέραιο κύκλο). Αρχικά μπορεί να υπολογιστεί μόνο το μήκος που αντιστοιχεί στο υπόλοιπο R (με τη διαφορά φάσης) αφού είναι ένα συγκεκριμένο τμήμα του ακέραιου μήκους κύματος. Ο ακέραιος αριθμός μηκών κύματος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας περισσότερες από μια ακτινοβολίες (συνήθως 2 έως 5) με πολλαπλάσια μήκη κύματος [Bayoud, 2006]

1.3.3 Χαρακτηριστικά της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της παραγράφου οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα είναι δύο (μέθοδος παλμών και μέθοδος διαφοράς φάσης) και μόλις πρόσφατα έχει εφαρμοσθεί [Leica, 2007] μια νέα τρίτη μέθοδος μέτρησης.

Πριν γίνει αναφορά στη μέθοδο αυτή (η οποία αποτελεί συνδυασμό των προηγούμενων μεθόδων) γίνεται μια καταγραφή των χαρακτηριστικών παραμέτρων της μέτρησης της μέτρησης του μήκους χωρίς πρίσμα και παράλληλα η ανάδειξη των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κάθε μεθόδου, καθώς αυτά είναι που καθορίζουν την επιλογή και εφαρμογή μιας εκ των δύο μεθόδων στη μέτρηση μηκών και αντίστοιχα την επιλογή του οργάνου που υιοθετεί τη μία ή την άλλη

μέθοδο και τα οποία λήφθηκαν υπόψη κατά την ανάπτυξη της νέας μεθόδου.

Επίσης είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι υπάρχουν γεωδαιτικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν και τις δύο μεθόδους μέτρησης μήκους. Η επιλογή γίνεται σύμφωνα με την επιθυμία του χρήστη και τις δυνατότητες των δύο μεθόδων όπως θα αναφερθούν στα επόμενα.

1.3.3.1 Εμβέλεια μέτρησης του μήκους

Η απευθείας μέτρηση του μήκους, χωρίς τη χρήση πρίσματος, μπορεί να γίνει σε κάθε είδους επιφάνειες. Οι επιφάνειες αυτές διαφέρουν ως προς:

- το υλικό κατασκευής τους
- το χρώμα τους
- την τραχύτητά τους και
- την ανακλασιμότητά τους.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κάθε φορά να απορροφάται διαφορετικό ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και ως συνέπεια αυτού να επηρεάζεται το βεληνεκές μέτρησης σε κάθε επιφάνεια, το οποίο εξαρτάται από το ποσοστό της ακτινοβολίας που επιστρέφει στο δέκτη του οργάνου.

Άλλοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το βεληνεκές ενός οργάνου είναι:

- η μέθοδος μέτρησης που χρησιμοποιεί το όργανο
- η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας στην επιφάνεια
- οι καιρικές συνθήκες και
- ο φωτισμός του αντικειμένου.

→ Ο σημαντικότερος παράγοντας ως προς το βεληνεκές του οργάνου είναι η μέθοδος μέτρησης που χρησιμοποιείται. Η μέθοδος των παλμών χρησιμοποιεί εκπεμπόμενους παλμούς για την απευθείας μέτρηση μηκών, ενώ η μέθοδος της διαφοράς φάσης χρησιμοποιεί διαμορφωμένη ακτινοβολία. Οι παλμοί που χρησιμοποιεί η μέθοδος των παλμών, είναι πολύ πιο ισχυροί από την ενέργεια που χρησιμοποιείται στη διαμορφωμένη ακτινοβολία. Έτσι, σε πραγματικές συνθήκες εργασίας τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της διαφοράς φάσης έχουν μικρότερη εμβέλεια (4 έως 8 φορές) από τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των παλμών.

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζεται το βεληνεκές που επιτυγχάνεται συναρτήσει της μεθόδου που χρησιμοποιείται και του υλικού που μετράται. [Trimble, 2005]

Επιφάνεια	Μέθοδος παλμών	Διαφορά φάσης
Kodak 90%	>800 m	>70 m
Kodak 18%	>300 m	>50 m
Τσιμέντο	>400 m	>50 m
Ξύλο	>400 m	>60 m
Φωτεινός βράχος	>300 m	>50 m
Σκοτεινός βράχος	>200 m	>40 m

Πίνακας 1.1. Μέγιστο βεληνεκές ενός οργάνου ανά επιφάνεια και είδος μεθόδου [Trimble, 2005]

→ Ανακλασιμότητα ενός υλικού είναι το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται σε σχέση με την ποσότητα της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανακλασιμότητα ενός υλικού, τόσο μεγαλύτερο είναι και το μήκος το οποίο μπορεί να μετρηθεί πάνω σε αυτό. Επιπλέον η ένταση του επιστρεφόμενου σήματος εξαρτάται και από το χρώμα της επιφάνειας. Σε σκουρόχρωμες επιφάνειες η ανάκλαση είναι μικρότερη, ενώ σε λευκές είναι μεγαλύτερη. Η ανάκλαση σε έγχρωμες επιφάνειες εξαρτάται από τα φασματικά χαρακτηριστικά του laser. Επιπλέον το εύρος μειώνεται για σκόπευση σε κατοπτρικές επιφάνειες. Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα υλικά και η μέση ανακλασιμότητα αυτών.

Υλικό επιφάνειας	Ανακλασιμότητα
Αλουμίνιο	0.8-0.9
Άσφαλτος	0.2
Τσιμέντο	0.4
Χαλκός	0.9
Αμμώδες έδαφος	0.15-0.3
Χιόνι	0.25
Νερό	<0.01

Πίνακας 1.2. Ανακλασιμότητα χαρακτηριστικών υλικών [Λάμπρου, 2007]

→ Οι συνθήκες φωτισμού της επιφάνειας του αντικειμένου μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη μέγιστη μέτρηση μήκους ακόμα και για

ίδιες επιφάνειες. Συνήθως το βεληνεκές ελαττώνεται όταν το αντικείμενο που σκοπεύεται βρίσκεται υπό δυνατό φωτισμό.

→ Η τραχύτητα της επιφάνειας του αντικειμένου που σκοπεύεται αποτελεί και αυτή παράγοντα που διαμορφώνει το βεληνεκές που επιτυγχάνεται. Προκειμένου μια επιφάνεια να θεωρείται λεία όταν προσπίπτει σε αυτή ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος λ , πρέπει οι ανωμαλίες της επιφάνειας να είναι μικρότερες από την ποσότητα $\lambda/32$. (π.χ. όταν σε μια επιφάνεια προσπίπτει ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda = 1 \mu\text{m}$, αυτή θεωρείται λεία αν οι ανωμαλίες στο μέρος της επιφάνειας που προσπίπτει η ακτινοβολία είναι μικρότερες από 30 nm). Προφανώς, μία λεία επιφάνεια, συνεπάγεται και μεγαλύτερο μήκος σκόπευσης.

→ Οι προδιαγραφές που δίνουν οι κατασκευάστριες εταιρίες αναφέρονται και στις καιρικές συνθήκες (ή συνθήκες περιβάλλοντος) με τις οποίες επιτυγχάνεται το μέγιστο βεληνεκές. Συνήθως γίνεται αναφορά σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις καιρικών συνθηκών με αντίστοιχη περιγραφή αυτών και μια τιμή για κάθε περίπτωση. Έτσι οι καιρικές συνθήκες διακρίνονται σε:

Καλές: Περιβάλλον χωρίς ομίχλη, συννεφιά, ορατότητα 40 km και εσωτερικοί χώροι.

Μέσες: Περιβάλλον με ελαφρά ομίχλη, ορατότητα 20 km, μέτριος ήλιος.

Κακές: Πολύ ομίχλη, ορατότητα 5 km, δυνατός ήλιος.

Μεταβολές της θερμοκρασίας και της πίεσης επηρεάζουν την ισχύ, τη μορφή του παλμού, το μήκος κύματος του laser και την ένταση του επιστρεφόμενου σήματος.

Όπως είναι προφανές όσο καλύτερες είναι οι καιρικές συνθήκες, τόσο μεγαλύτερο γίνεται και το βεληνεκές, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις όπου οι καιρικές συνθήκες είναι ιδανικές, μπορεί να μετρηθεί μήκος μεγαλύτερο από την ονομαστική τιμή του κατασκευαστή.

→ Σε ότι αφορά στη γωνία σκόπευσης, ιδανική σκόπευση πραγματοποιείται όταν η ακτίνα προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια σκόπευσης. Όσο μικραίνει η γωνία αυτή, τόσο ελαττώνεται και το μέγιστο βεληνεκές για ίδιες επιφάνειες.

Προκειμένου οι διάφοροι κατασκευαστές, αλλά και οι χρήστες των γεωδαιτικών σταθμών να έχουν ένα κοινό μέτρο σύγκρισης του βεληνεκούς των reflectorless οργάνων ορίστηκε να χρησιμοποιείται ως

στόχος αναφοράς η πρότυπη άσπρη και γκρι κάρτα της Kodak (Kodak Grey and Kodak White Card).

Η κάρτα Kodak είναι εδώ και πολλά χρόνια διεθνές αναγνωρισμένο πρότυπο για την επαγγελματική φωτογραφία.

Είναι μια κάρτα μεγέθους 4'' x 5'' (10.2 cm x 12.7 cm) ή 8'' x 10'' (20.3 cm x 25.4 cm) και πάχους 1/8'' (3 mm), η οποία έχει μια πλευρά άσπρου και μια πλευρά γκριζου χρώματος (φωτ. 1.3).



Φωτογραφία 1.3. Kodak grey card

Η ιδιότητά της κάρτας αυτής είναι ότι η γκρι πλευρά (Kodak Grey) ανακλά ακριβώς το 18% του λευκού φωτός που προσπίπτει σε αυτή. Αντίστοιχα η λευκή πλευρά (Kodak White) ανακλά ακριβώς το 90% του λευκού φωτός που προσπίπτει σε αυτή. Καθώς οι κάρτες Kodak Grey και Kodak White αντανακλούν διαφορετική ποσότητα φωτός δεν έχει νόημα η σύγκριση μετρήσεων μεταξύ τους.

Ο λόγος που αρχικά χρησιμοποιήθηκε η γκρι κάρτα 18% ως πρότυπο για τις φωτογραφίες, είναι επειδή τα περισσότερα καθημερινά αντικείμενα που βρίσκονται στο περιβάλλον ανακλούν κατά μέσο όρο το 18% του φωτός που προσπίπτει σε αυτά. Για τον ίδιο λόγο η γκρι κάρτα 18% υιοθετήθηκε και από τη βιομηχανία κατασκευής γεωδαιτικών σταθμών.

Στην καθημερινή χρήση ελάχιστα αντικείμενα ανακλούν το 90% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Έτσι η γκρι κάρτα 18% αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη ως προς το βεληνεκές του οργάνου. Παρόλ' αυτά η λευκή κάρτα 90% δίνει το μέγιστο βεληνεκές του οργάνου σε εξαιρετικά ιδανικές συνθήκες.

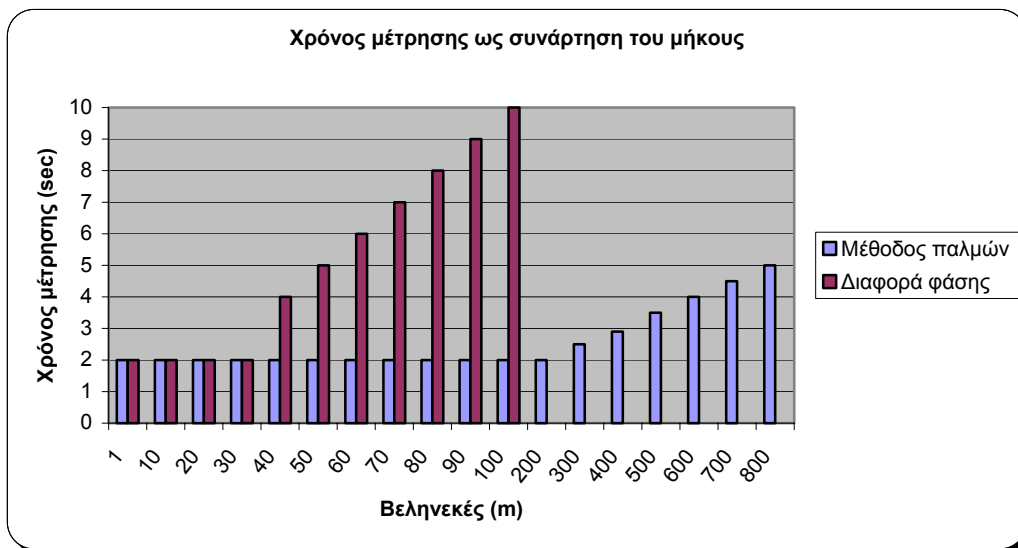
Γίνεται αντιληπτό ότι ο χρήστης θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός όταν γίνεται αναφορά στον έλεγχο αυτό. Μερικές προδιαγραφές κατασκευαστών αναφέρουν ότι στα μήκη μέτρησης

χρησιμοποιήθηκε κάρτα Kodak (Kodak card) χωρίς να διευκρινίζεται αν πρόκειται για τη γκρι ή τη λευκή πλευρά της.

1.3.3.2 Χρονική διάρκεια μέτρησης

Σημαντικό ρόλο επίσης διαδραματίζει και ο χρόνος που απαιτείται για τη μέτρηση ενός μήκους. Ο χρόνος έχει επίδραση στην παραγωγικότητα και όταν σε μια εφαρμογή απαιτείται η αποτύπωση μερικών εκατοντάδων ή χιλιάδων σημείων ο απαιτούμενος χρόνος της μοναδιαίας μέτρησης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Σε μεγαλύτερα μήκη η μέτρηση με τη μέθοδο των παλμών πραγματοποιείται πολύ ταχύτερα απ' ό τι με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης. Κατά τη μέτρηση με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης ο χρόνος μέτρησης είναι σταθερός μέχρι ένα συγκεκριμένο μήκος και στη συνέχεια αυξάνεται ως συνάρτηση του μετρούμενου μήκους. Ενδεικτικά παρατίθεται το σχήμα 1.5 [Trimble, 2005]. Όπως φαίνεται ο χρόνος μέτρησης που απαιτείται με τη μέθοδο των παλμών είναι εν γένει σταθερός και αυξάνεται ελάχιστα σε μεγάλα μήκη, που ούτως ή άλλως η μέθοδος της διαφοράς φάσης δε μπορεί να μετρήσει. Σε κάθε περίπτωση όμως, είναι μικρότερος (ή ίσος) με το χρόνο μέτρησης με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης.



Σχήμα 1.5. Ο χρόνος μέτρησης ως συνάρτηση του μήκους [Trimble, 2005]

1.3.3.3 Ακρίβεια μέτρησης

Τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των παλμών έχουν μειωμένη ακρίβεια στη μέτρηση μηκών σε σχέση με αυτά που

χρησιμοποιούν τη μέθοδο της διαφοράς φάσης. Η ακρίβεια τους μπορεί να φτάσει και τα ± 10 mm. Παρόλ' αυτά, με ειδικές τεχνικές επεξεργασίας σήματος που χρησιμοποιούνται σήμερα μπορεί κανείς να επιτύχει ίδια ακρίβεια και για τις δύο μεθόδους. [Trimble, 2005]

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι όργανα της που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των παλμών έχουν ακρίβεια ± 3 mm ± 3 ppm στη μέτρηση μηκών ενώ τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της διαφοράς φάσης έχουν ακρίβεια ± 3 mm ± 2 ppm.

Μέχρι σήμερα (Φεβρουάριος 2008) η καλύτερη ακρίβεια που έχει επιτευχθεί στη μέτρηση μήκους χωρίς χρήση πρίσματος είναι ± 2 mm.

1.3.3.4 Μέγεθος και σχήμα δέσμης

Από τη θεωρία της φυσικής προκύπτει ότι η οπτική δέσμη διαχέεται καθώς απομακρύνεται από την πηγή που την παράγει. Το μέγεθος της διάχυσης είναι διαφορετικό για το παλμικό laser στη μέθοδο των παλμών απ' ότι στη μέθοδο της διαφοράς φάσης.

Όταν η ακτινοβολία εκπέμπεται από το όργανο η διάμετρος της δέσμης του laser με τη μέθοδο των παλμών είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από τη δέσμη που εκπέμπεται με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης, αλλά σε κάθε περίπτωση αυτή αυξάνει με την απόσταση.

Καθώς το παλμικό laser μπορεί να έχει επιστροφή από αποστάσεις μεγαλύτερες από την ακτινοβολία διαφοράς φάσης, το ίχνος της δέσμης μπορεί να φτάσει και τα μερικά cm σε διάμετρο. Το μέγεθος του αποτυπώματος είναι ανεξάρτητο της τελικής ακρίβειας με την οποία προσδιορίζεται η θέση του σημείου. Το διαφορετικό αποτύπωμα δέσμης αφορά στην επιφάνεια από την οποία λαμβάνεται το δείγμα για τη μέτρηση του μήκους. Με άλλα λόγια ο κάθε παλμός μπορεί να έχει επιστροφή από οποιοδήποτε σημείο εντός του ίχνους, όσο μικρό η μεγάλο είναι αυτό.

Το μικρότερο ή μεγαλύτερο αποτύπωμα δέσμης μπορεί να έχει τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα.

Ένα μεγάλο αποτύπωμα δέσμης, σε μια μεγάλη απόσταση μπορεί να είναι καλύτερο στον εντοπισμό και σκόπευση μικρών αντικειμένων (π.χ. κεραίες ή καλώδια) σε ανοιχτό χώρο, τα οποία με μικρότερη δέσμη ίσως δεν ήταν δυνατό να σκοπευτούν (καθώς η δέσμη του παλμικού laser έχει μεγαλύτερη διάμετρο είναι πιο πιθανό να χτυπήσει σε έναν στενό στόχο και να το μετρήσει με ακρίβεια).

Το μικρό αποτύπωμα δέσμης είναι ιδιαίτερα χρήσιμο κατά τη σκόπευση γωνιών ή ακμών σε πολύ μικρές αποστάσεις, όπως π.χ. κατά την αποτύπωση εσωτερικών χώρων κτιρίων. Πάντως όσο μικρή και αν είναι η απόσταση και το αποτύπωμα της δέσμης δεν εξαλείφεται εντελώς

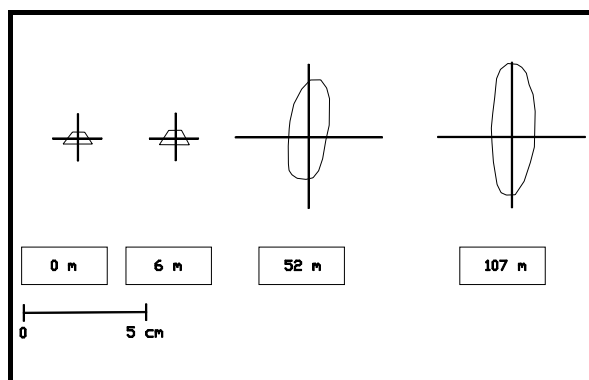
το σφάλμα σκόπευσης σε εσωτερικές ή εξωτερικές ακμές, δηλαδή σε γωνίες ή κορυφές. Ο πλέον ασφαλής τρόπος μέτρησης σε αυτή την περίπτωση είναι η χρήση κατάλληλου λογισμικού που διαθέτουν τα σύγχρονα όργανα, το οποίο περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο.

Η διάχυση της δέσμης μπορεί να έχει επίπτωση στη μέτρηση όταν η σκόπευση της επιφάνειας γίνεται υπό μεγάλη γωνία (πολύ πλάγια). Σε αυτή την περίπτωση η μέτρηση επηρεάζεται ανεξάρτητα από το ποια μέθοδος χρησιμοποιείται. Το σφάλμα μπορεί να μειωθεί σημαντικά με χρήση κατάλληλου λογισμικού.

Η παρουσία σκόνης ή ατμού στο περιβάλλον που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις επιδρούν παρόμοια με τη σκόπευση σε ακμές. Η υγρασία και η ύπαρξη διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια την αραίωσή της δέσμης, η οποία είναι πολύ μικρή για βεληνεκές της τάξης των μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων μέτρων σε κανονικές συνθήκες. Σε κακές συνθήκες ορατότητας τα μόρια που συνθέτουν τον καπνό, τη σκόνη και τη βροχή αναγκάζουν τη στενή δέσμη του laser σε σκέδαση. Η σκέδαση είναι συνάρτηση της συχνότητας της ακτινοβολίας, μπορεί να ελαττωθεί με αύξηση του μήκους κύματος του laser.

Όσο μεγαλύτερο είναι το βεληνεκές του οργάνου στη μέτρηση χωρίς ανακλαστήρα, τόσο μικρότερο είναι το αποτύπωμα της δέσμης στις κοντινές αποστάσεις. Έτσι όταν γίνονται μετρήσεις ακρίβειας σε κοντινές αποστάσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σταθμός με πολύ μεγαλύτερο βεληνεκές, καθώς αυτός θα δώσει πολύ μικρότερο αποτύπωμα δέσμης στην ίδια μικρή απόσταση, από έναν που κατασκευαστικά έχει μικρότερο βεληνεκές.

Παράλληλα με το μέγεθος του αποτυπώματος της δέσμης ενδιαφέρον παρουσιάζει και το σχήμα του. Στις περισσότερες περιπτώσεις έχει ελλειψοειδές ή κυκλικό σχήμα. Σε ορισμένα γεωδαιτικά όργανα το αποτύπωμα της δέσμης έχει τραπεζοειδές σχήμα. Παρόλ' αυτά μπορεί να παρουσιαστούν ανωμαλίες στο σχήμα, το οποίο έχει επίδραση στη μη ακριβή σκόπευση του επιθυμητού σημείου (σχήμα 1.6).



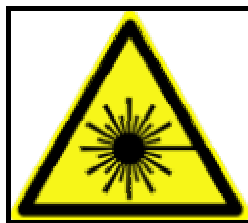
Σχήμα 1.6. Μέγεθος και σχήμα δέσμης ως συνάρτηση του μήκους [Leica, 2001]

1.3.3.5 Ασφάλεια της ακτινοβολίας laser

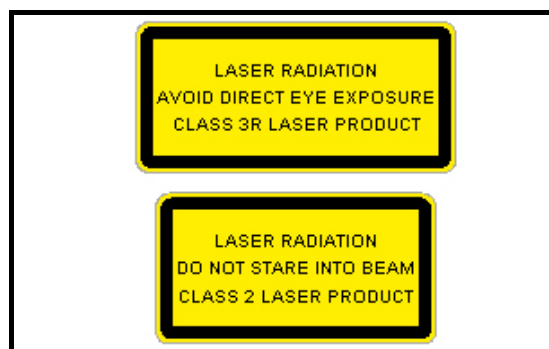
Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος των παλμών απαιτεί υψηλότερα ποσά ενέργειας είναι ασφαλέστερη από τη μέθοδο της διαφοράς φάσης. Ενώ οι παλμοί laser που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά ισχυροί για να μετρήσουν μήκη μερικών εκατοντάδων μέτρων είναι μικρής διάρκειας και έτσι η δέσμη δε συσσωρεύει ενέργεια. Οι συνεχείς δέσμες ακτινοβολίας laser που χρησιμοποιούνται από τη μέθοδο της διαφοράς φάσης συσσωρεύουν ενέργεια η οποία μερικές φορές μπορεί να είναι επικίνδυνη.

Τα laser ταξινομούνται με βάση την ισχύ τους και το μήκος κύματος τους. Η ταξινόμηση αυτή αποτελεί ουσιαστικά την πιθανότητα πρόκλησης βλάβης στα μάτια ή στο δέρμα. Προβλέπονται συνολικά τέσσερις κατηγορίες (classes) και ορισμένες υποκατηγορίες αυτών. Από τη χαμηλότερη κατηγορία 1 (κανένας κίνδυνος κατά τη διάρκεια κανονικής χρήσης), μέχρι την κατηγορία 4 (μεγάλος κίνδυνος για τα μάτια και το δέρμα). Η ταξινόμηση των laser περιγράφεται στο Διεθνές Πρότυπο περί Ασφάλειας Laser IEC 60825-1 (2001).

Τα laser που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι γεωδαιτικοί σταθμοί ανήκουν στις κατηγορίες 1 για τις μετρήσεις με πρίσμα και 2, 2M και 3R για τις μετρήσεις χωρίς πρίσμα. Είναι ευθύνη της κατασκευάστριας εταιρίας να φέρει εμφανώς πάνω στο γεωδαιτικό σταθμό την ειδική τριγωνική ένδειξη ακτινοβολίας laser όταν αυτό είναι κατηγορίας 2 ή μεγαλύτερο (σχήμα 1.7) και να αναφέρει επίσης πάνω στο όργανο την κατηγορία στην οποία εντάσσεται (σχήμα 1.8).



Σχήμα 1.7. Ένδειξη εκπομπής ακτινοβολίας laser



Σχήμα 1.8. Ένδειξη κατηγορίας laser

Η επιστροφή ακτινοβολίας από οποιαδήποτε επιφάνεια απαιτεί αύξηση της ισχύος της, έτσι όλοι οι reflectorless γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν ισχυρότερο laser από αυτό που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μήκους με χρήση ανακλαστήρα.

Επιπλέον η αύξηση του βεληνεκούς απαιτεί επίσης αύξηση της ισχύος της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται.

Η μέθοδος των παλμών είναι η καταλληλότερη για την ασφάλεια των ματιών, καθώς τα διαστήματα μεταξύ των παλμών laser εμποδίζουν τη συσσώρευση ενέργειας που θα μπορούσε να είναι επιβλαβής για τα μάτια.

Προκειμένου ο χρήστης του γεωδαιτικού σταθμού να έχει μια ολοκληρωμένη αντίληψη σχετικά με τα όρια ασφάλειας που έχει κάθε τύπος laser, αναφέρονται παρακάτω τα χαρακτηριστικά κάθε μιας κατηγορίας laser όπως αυτές καταγράφονται στο πρότυπο:

Class 1: Είναι ακτινοβολία laser πολύ χαμηλής ισχύος (<1mW) και υψηλής ασφάλειας. Είναι αόρατη ακτινοβολία και η μέγιστη επιτρεπόμενη έκθεση (Maximum Permissible Exposure – MPE) δε μπορεί να ξεπεραστεί, συνεπώς η έκθεση στην ακτίνα laser κατά τη διάρκεια της μέτρησης δε μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο δέρμα και στα μάτια ακόμα και αν χρησιμοποιηθούν οπτικά μέσα (π.χ. κιάλια, τηλεσκόπιο).

Class 1M: Είναι ακτινοβολία laser πολύ χαμηλής ισχύος. Τα προϊόντα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία παράγουν ακτινοβολία με μεγάλη διάμετρο δέσμης ή δέσμη με μεγάλη εκτροπή. Έτσι μόνο ένα μικρό μέρος της ακτινοβολίας μπορεί να εισέλθει στο μάτι. Παρόλ' αυτά μπορεί να αποδειχθούν επικίνδυνα για το μάτι αν η ακτίνα περάσει μέσα από μεγεθυντικό φακό ή κιάλια, οπότε και εστιάζεται. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν μερικά laser που χρησιμοποιούνται σε συστήματα επικοινωνιών με οπτικές ίνες. Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με οπτικά μέσα (π.χ. φακούς, τηλεσκόπια) απαιτείται σήμανση της περιοχής.

Class 2: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν χαμηλής ισχύος laser, ορατής ακτινοβολίας (400-700 nm). Χρησιμοποιείται στη λειτουργία της πλειοψηφίας των reflectorless γεωδαιτικών σταθμών καθώς και σε πολλές άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν ακτινοβολία laser (π.χ. ηλεκτρονικά αποστασιόμετρα). Οι φωτεινοί οδηγοί που διαθέτουν για τη χάραξη σχεδόν όλοι οι γεωδαιτικοί σταθμοί ανήκουν επίσης στην κατηγορία 2. Είναι ασφαλές για χρήση σε δημόσιους χώρους (όπου λαμβάνουν χώρα οι περισσότερες γεωδαιτικές εργασίες), χωρίς ειδικές προφυλάξεις. Είναι επιβλαβές για την όραση μόνο στην περίπτωση της απ' ευθείας σκόπευσης στο μάτι (πολύ περισσότερο δε εάν η απ' ευθείας

σκόπευση γίνει με κάποιο οπτικό όργανο – κιάλια, άλλο γεωδαιτικό σταθμό κ.α.). Παρόλ' αυτά τα βλέφαρα κλείνουν αντανακλαστικά συνεπώς η μέγιστη επιτρεπόμενη έκθεση δεν ξεπερνάται. Έχει ισχύ μέχρι 1 mW ή περισσότερο αν ο χρόνος εκπομπής είναι μικρότερος από 0.25 sec.

Class 2M: Είναι laser ορατής ακτινοβολίας (400-700 nm) και χαμηλής ισχύος. Αντίστοιχα με την κατηγορία 1M, σε αυτή την κατηγορία ανήκουν προϊόντα που παράγουν ακτινοβολία με μεγάλη διάμετρο δέσμης ή δέσμη με μεγάλη εκτροπή. Το μέρος που εισέρχεται στο μάτι περιορίζεται σε 1mW. Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με οπτικά μέσα (π.χ. φακούς, τηλεσκόπια) απαιτείται σήμανση της περιοχής.

Class 3R: Καθορίζεται πρώτη φορά στη δεύτερη έκδοση του διεθνούς προτύπου. Είναι ακτινοβολία laser χαμηλής ισχύος (μέχρι 5 mW). Είναι ασφαλής όταν χρησιμοποιείται προσεκτικά, αλλά μπορεί να προκληθεί μικρός κίνδυνος στα μάτια με κατά λάθος απευθείας έκθεση. Η μέγιστη επιτρεπόμενη έκθεση με τα μάτια ή με οπτικά μέσα μπορεί να ξεπεραστεί έως και 5 φορές.

Σε ότι αφορά τους γεωδαιτικούς σταθμούς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση του βεληνεκούς τους. Τα όργανα πρέπει να χρησιμοποιούνται από προσωπικό κατάλληλα ενημερωμένο και εκπαιδευμένο και η περιοχή που χρησιμοποιούνται να σημαίνονται με προειδοποιητικό σήμα. Όργανα της κατηγορίας αυτής δε πρέπει να χρησιμοποιούνται σε εκθέσεις και επιδείξεις. Επιπλέον απαιτείται οπτική και ηχητική προειδοποίηση όταν το laser είναι σε χρήση. Όργανα με τέτοιο laser είναι πολύ χρήσιμα για βιομηχανικούς και κατασκευαστικούς σκοπούς, αλλά δεν ενδείκνυται η χρήση τους σε ανοιχτούς χώρους.

Class 3B: Είναι laser μέσης ισχύος (μέχρι 500 mW). Έχουν αρκετή ισχύ για να προκαλέσουν βλάβη στα μάτια με απευθείας έκθεση. Η παρατήρηση της ακτίνας μετά από ανάκλασή της είναι συνήθως ασφαλής. Η μέγιστη επιτρεπόμενη έκθεση για τα μάτια μπορεί να ξεπεραστεί περισσότερο από 5 φορές. Το αντίστοιχο όριο για το δέρμα συνήθως δε ξεπερνιέται. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς της συσκευής, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο κίνδυνος πρόκλησης βλάβης. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν συσκευές για φυσιοθεραπεία και αρκετά ερευνητικά laser. Απαιτείται η χρήση προστατευτικών συσκευών για τα μάτια εάν είναι πιθανή η απευθείας έκθεση στην ακτινοβολία και η σήμανση της περιοχής. Τα προϊόντα αυτής της κατηγορίας πρέπει να διαθέτουν κλειδί ή ενδοασφάλεια.

Class 4: Είναι ακτινοβολία laser υψηλής ισχύος (>500 mW). Δεν υπάρχει άνω όριο στην ισχύ του laser. Η χρήση τους μπορεί να προκαλέσει μόνιμη βλάβη στα μάτια, ενώ μπορεί να προκαλέσει και κόψιμο του δέρματος ή εγκαύματα. Μπορεί να είναι επιβλαβής στο μάτι ακόμα και μετά από αντανάκλαση σε κάποια επιφάνεια. Επιπλέον μπορεί να πυρακτώσουν εύφλεκτα υλικά και να προκληθεί φωτιά. Χρησιμοποιείται για την κοπή μετάλλων και σε χειρουργικά εργαλεία. Τα προϊόντα αυτής της κατηγορίας πρέπει να διαθέτουν κλειδί ή ενδοασφάλεια.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_safety]

[<http://herkules.oulu.fi/isbn9514269667/html/c305.html>]

1.3.3.6 Άλλα χαρακτηριστικά

Η εστίαση στο αντικείμενο είναι απαραίτητη προτού ληφθεί η απόσταση, σε ορισμένα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της διαφοράς φάσης.

Η ανοχή σε διακοπές – παρεμβολές του οπτικού πεδίου κατά τη χρονική διάρκεια της σκόπευσης (π.χ. διερχόμενα οχήματα κατά τη διάρκεια της σκόπευσης). Γενικά, η μέθοδος των παλμών είναι περισσότερο ανεκτική σε παρεμβολές απ' ό τι η μέθοδος της διαφοράς φάσης. Κατά τη μέτρηση με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης μπορεί να χρειαστεί ο επαναπροσδιορισμός της ασάφειας κύκλου. Οι παρεμβολές ανιχνεύονται και οι λανθασμένες παρατηρήσεις δε λαμβάνονται υπόψη.

1.3.4 Η νέα μέθοδος "System analyzer"

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, οι γεωδαιτικοί σταθμοί εξελίσσονται συνεχώς και κάθε εταιρία κατασκευής οργάνων στο πλαίσιο του ανταγωνισμού προσπαθεί να παρουσιάσει κάτι καινοτόμο και πρωτοποριακό. Πρόσφατα ανακοινώθηκε [Leica, 2007] η εφαρμογή μιας νέας υβριδικής μεθόδου μέτρησης μηκών στους γεωδαιτικούς της σταθμούς. Η τεχνολογία ονομάζεται "System analyzer" και όπως αναφέρει η εταιρία συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο μεθόδων που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα.

Παρά το ότι η ίδια η εταιρία δεν έχει ανακοινώσει πολλές πληροφορίες για τον τρόπο λειτουργίας της μεθόδου, έγινε μια προσπάθεια συγκέντρωσης και καταγραφής ορισμένων στοιχείων, ώστε να γίνουν αντιληπτές οι βασικές αρχές στις οποίες βασίζεται η μέθοδος.

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί, οι οποίοι ενσωματώνουν τη νέα τεχνολογία διαφοροποιούνται τόσο στα οπτικομηχανικά μέρη, όσο και στο λογισμικό από τους υπόλοιπους. Στο εσωτερικό των νέων γεωδαιτικών σταθμών περιλαμβάνεται πλέον ένας ισχυρός επεξεργαστής (System analyzer).

Βασική του ενέργεια είναι η συνολική αξιολόγηση της πληροφορίας του σήματος για τον καθορισμό του μήκους και όχι απλά η μέτρηση της διαφοράς φάσης ή του χρόνου εκπομπής και λήψης της ακτινοβολίας. Η πληροφορία του σήματος περιλαμβάνει:

- ολόκληρο το σχήμα του σήματος στο χρονικό διάστημα εκπομπής-λήψης
- όλες τις χρησιμοποιούμενες συχνότητες
- την ενίσχυση και εξασθένηση του σήματος
- τον θόρυβο

Όλα τα παραπάνω μετρώνται και συνεκτιμώνται στον προσδιορισμό του μετρούμενου μήκους.

Επιπλέον σε ότι αφορά στα μηχανικά μέρη οι γεωδαιτικοί σταθμοί εφοδιάζονται με μια κοινή δίοδο εκπομπής ακτινοβολίας laser, τόσο για τις μετρήσεις με ανακλαστήρα, όσο και για αυτές χωρίς ανακλαστήρα.

Προκειμένου να επιτευχθούν μετρήσεις με και χωρίς ανακλαστήρα χρησιμοποιώντας μια και μόνο δίοδο εκπομπής έχει τοποθετηθεί, κάθετα στην πορεία της εκπεμπόμενης ακτίνας, ένας περιστρεφόμενος δίσκος με τρεις θέσεις (φωτ. 1.4):



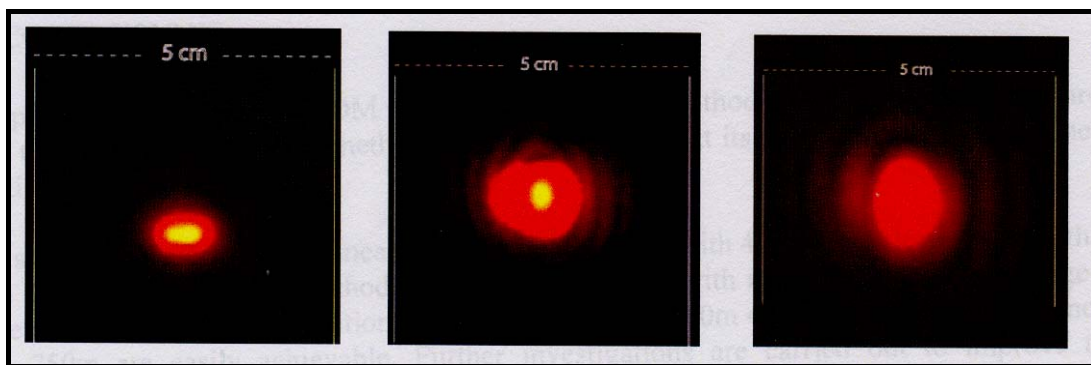
Φωτογραφία 1.4. Ο δίσκος 3 θέσεων του System Analyzer

- Για μετρήσεις με χρήση ανακλαστήρα, ο δίσκος περιστρέφεται στην αντίστοιχη θέση (θέση 2). Η ακτίνα διέρχεται από έναν αρνητικό φακό, ο οποίος διευρύνει την ακτίνα και την καθιστά κατάλληλη για μετρήσεις με χρήση ανακλαστήρα. Η ακτίνα διέρχεται επιπλέον από έναν δίσκο με κλιμακούμενο φίλτρο, ο οποίος περιστρέφεται αυτόματα ανάλογα με την ισχύ του ανακλώμενου σήματος και έτσι ρυθμίζεται η ένταση της εξερχόμενης ακτινοβολίας.

- Για μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα η θέση του δίσκου αλλάζει (θέση 3) και η δέσμη διέρχεται από αυτόν χωρίς να υποστεί καμία αλλαγή.
- Η πρώτη θέση του δίσκου είναι η πραγματική καινοτομία. Σε αυτήν πραγματοποιείται αυτοβαθμονόμηση του οργάνου για τις μετρήσεις μηκών. Όταν ο δίσκος βρίσκεται σε αυτή τη θέση, η δέσμη προσπίπτει σε ένα πρίσμα στην επιφάνεια αυτού και ανακλάται μέσα στο τηλεσκόπιο. Έτσι μπορεί να προσαρμόζεται κάθε φορά στις υφιστάμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούν στο πεδίο.

Με τη χρήση μιας και μόνο διόδου εκπομπής επιτυγχάνεται καλύτερη διαδρομή της οπτικής ακτίνας καθώς τα οπτικά μέρη είναι σαφώς λιγότερα. Επιπλέον η ακτίνα είναι πιο σταθερή εξαιτίας της απουσίας κινούμενων κατόπτρων που χρησιμοποιούνταν για να κατευθύνουν την ακτίνα. Έτσι δεν υπάρχει απόκλιση της δέσμης είτε αυτή χρησιμοποιείται για μετρήσεις με ανακλαστήρα, είτε για μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα και διατηρείται η ομοαξονικότητα θεοδόλιχου και EDM.

Επιπλέον εξαιτίας της συγκεκριμένης διάταξης το αποτύπωμα της δέσμης laser έχει καλύτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά: μικρότερο σχήμα, κυκλικό σχήμα, βέλτιστη κατανομή φωτός, περισσότερη ορατότητα κ.α. (φωτ. 1.5).



Φωτογραφία 1.5. Αποτύπωμα δέσμης σε αποστάσεις 5, 35 και 55 m χρησιμοποιώντας την τεχνολογία System Analyzer

Σε ότι αφορά στον τρόπο λειτουργίας της μεθόδου, αυτή:

- Χρησιμοποιεί ταυτόχρονα τόσο τη μέθοδο της διαφοράς φάσης, όσο και αυτή των παλμών.

- Χρησιμοποιείται η μέθοδος των παλμών για τον προσεγγιστικό προσδιορισμό του μήκους. Γίνεται μια γρήγορη εκτίμηση του μήκους (σε αντίθεση με τη μέθοδο της διαφοράς φάσης που απαιτεί περισσότερο χρόνο για τον προσδιορισμό του ακέραιου αριθμού κύκλων μέσα στην απόσταση).
- Κατόπιν προσδιορίζεται η διαφορά φάσης.
- Χρησιμοποιούνται ακτινοβολίες υψηλών συχνοτήτων – από 100 MHz έως 1 GHz (μήκος κύματος που κυμαίνεται από 3 m έως 30 cm)
- Ο αριθμός των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται κάθε φορά ποικίλει, ανάλογα με την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος:
 - i) Αν το επιστρεφόμενο σήμα έχει μεγάλη ισχύ, τότε 4 συχνότητες είναι επαρκείς για τον προσδιορισμό του μήκους με την απαιτούμενη ακρίβεια.
 - ii) Αν το σήμα είναι ασθενές εκπέμπονται και αναλύονται μέχρι και 10 διαφορετικές συχνότητες.

Κάθε μια συχνότητα συνυπολογίζεται στον προσδιορισμό των τελικών παραμέτρων και στον προσδιορισμό του μήκους (γεγονός που δε συμβαίνει με τη μέθοδο των παλμών), ενώ η υψηλή τιμή κάθε συχνότητας (και άρα το μικρό μήκος κύματος) έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ακρίβεια τον τελικό προσδιορισμό του μήκους. Στην περίπτωση χρησιμοποίησης πολλών διαφορετικών συχνοτήτων το σύστημα γίνεται ακριβέστερο αλλά πιο αργό.

Οι διαμορφωμένες συχνότητες διαφοροποιούνται από αυτές που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της διαφοράς φάσης. Υπάρχει δυνατότητα ψηφιακής σύνθεσης συχνοτήτων κάθε φορά, ανάλογα με τον αριθμό των στόχων και την απόστασή τους.

Η μέθοδος της διαφοράς φάσης δεν ξεχωρίζει τη διαφορετική επιστροφή σήματος από διαφορετικούς στόχους. Αντίθετα η μέθοδος των παλμών έχει αυτή τη δυνατότητα, αλλά παρουσιάζει και μειωμένη ακρίβεια και πολυπλοκότητα μέτρησης.

Η εξίσωση υπολογισμού του μήκους περιέχει όρους μέτρησης της διαφοράς φάσης και της μέτρησης του χρόνου, αλλά και άλλες παραμέτρους. Οι πληροφορίες της διαφοράς φάσης, του εύρους του κύματος από όλες τις συχνότητες, αλλά και του χρόνου υπεισέρχονται σε μια πολυπαραμετρική εξίσωση που υπολογίζει με τη μέγιστη πιθανότητα την τιμή του μετρούμενου μήκους.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα των υψηλών συχνοτήτων που εκπέμπονται είναι ότι το σύστημα γίνεται επιλεκτικό σε ότι αφορά τις σκληρές επιφάνειες και παραλείπει τους "μαλακούς" στόχους (όπως βροχή ή σκόνη).

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται ακριβείς μετρήσεις (της τάξης του mm) χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα προς αντικείμενα σε μεγάλες αποστάσεις (>1000 m) σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης καθίσταται εφικτή η μέτρηση μηκών ανεξάρτητα από τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες (σκόνη, καπνός, βροχή κ.α.) [Leica, 2007]

Η χρήση ταυτόχρονα πολλών συχνοτήτων ανάλογα με την επιφάνεια και την απόσταση, η επίλυση συστήματος εξισώσεων για τον υπολογισμό του μήκους, η αυτοβαθμονόμηση του οργάνου, η χρήση του ειδικού δίσκου είναι νέα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία παρέχουν ακρίβεια μέτρησης μέχρι και ± 2 mm, ταχύτητα κατά τη μέτρηση, μεγαλύτερη εμβέλεια και ανθεκτικότητα σε παρεμβολές.

1.3.5 Ενσωματωμένοι αλγόριθμοι των reflectorless γεωδαιτικών σταθμών

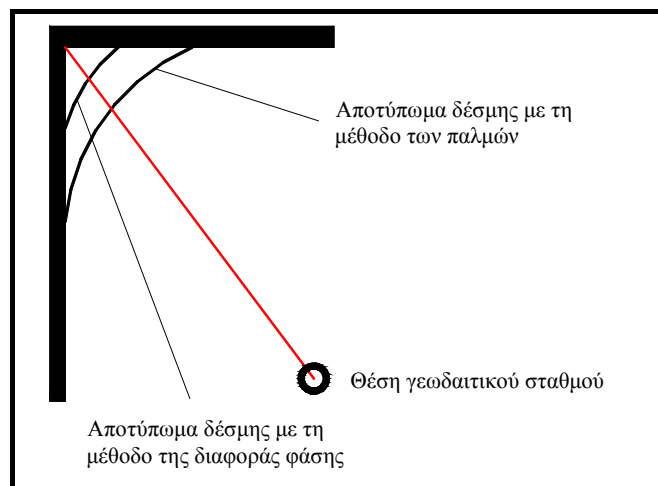
Όσο σημαντικές είναι οι δυνατότητες μέτρησης των reflectorless γεωδαιτικών σταθμών, εξίσου σημαντικές είναι οι διευκολύνσεις που παρέχουν με το ενσωματωμένο λογισμικό τους. Ο σωστός συνδυασμός κατάλληλης μεθόδου και δυνατοτήτων λογισμικού παρέχει στον τοπογράφο μηχανικό τα εφόδια για τη βέλτιστη χρήση των οργάνων. Οι αλγόριθμοι που ενσωματώνονται σήμερα στα σύγχρονα όργανα είναι:

Ορισμός εύρους μέτρησης: Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία reflectorless σε εργασίες πεδίου παρατηρείται συχνά το φαινόμενο το μήκος που καταγράφεται να μην ανταποκρίνεται στο πραγματικό μήκος μεταξύ οργάνου και αντικειμένου. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν μεταξύ οργάνου και αντικειμένου παρεμβάλλονται εμπόδια (π.χ. φύλλα, διερχόμενα αυτοκίνητα) ή όταν δυο αντικείμενα βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση (π.χ. στην οριακή σκόπευση της ακμής ενός κτιρίου η δέσμη μπορεί να περάσει πίσω από το αντικείμενο και να ανακλαστεί από άλλο πιο μακρινό).

Για το λόγο αυτό παρέχεται η δυνατότητα ορισμού του εύρους των επιθυμητών μηκών (π.χ. 100 m έως 120 m) ή μιας ελάχιστης τιμής (π.χ. 100 m). Σε κάθε περίπτωση οποιαδήποτε μετρημένο μήκος εκτός του δοσμένου εύρους (ή μικρότερη της ελάχιστης τιμής) απορρίπτεται και ο χρήστης ενημερώνεται να επαναλάβει τη μέτρηση.

Ορισμός τυπικής απόκλισης: Είναι δυνατό να ορισθεί η επιθυμητή τυπική απόκλιση του μετρημένου μήκους (π.χ. ± 0.001 m ή ± 0.01 m). Από το λογισμικό υπολογίζεται η τυπική απόκλιση της τιμής του μήκους και η μέτρηση επαναλαμβάνεται μέχρι αυτή να φτάσει την επιθυμητή ακρίβεια. Αν η ακρίβεια αυτή δεν επιτευχθεί μετά από συγκεκριμένο αριθμό μετρήσεων (το οποίο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προκαθορίσει), απεικονίζεται η τυπική απόκλιση μέχρι εκείνη τη στιγμή και ο χρήστης επιλέγει αν θα δεχτεί ή θα επαναλάβει τη μέτρηση.

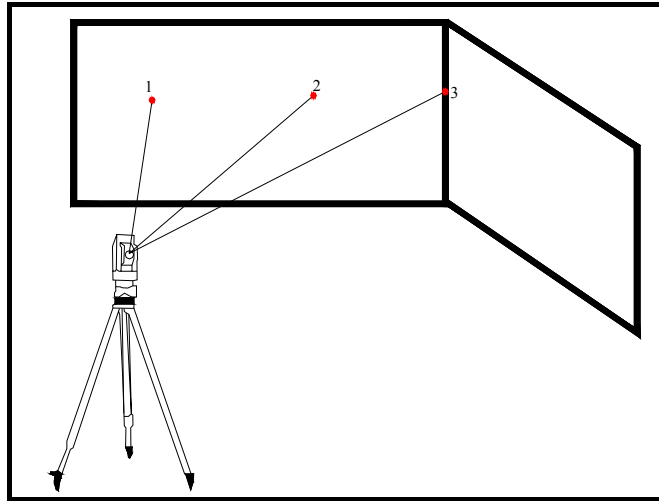
Ακριβής μέτρηση εσωτερικών ακμών κατασκευών: Οποιαδήποτε μέθοδος χρησιμοποιείται κατά τη μέτρηση, πάντα θα παρουσιάζεται σφάλμα μετρώντας μήκη προς γωνίες ή κορυφές λόγω του φαινομένου της εκτροπής της δέσμης, καθώς αυτή διαχέεται όσο απομακρύνεται από την πηγή. Όταν η δέσμη στοχεύει το εσωτερικό μιας ακμής, κάποιο μέρος αυτής θα ανακλαστεί από τους τοίχους πριν καν φτάσει σε αυτή (σχήμα 1.9).



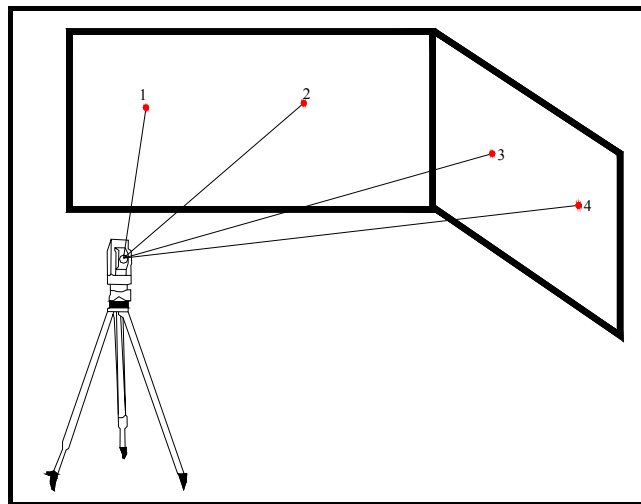
Σχήμα 1.9. Αδυναμία ακριβούς σκόπευσης γωνίας

Στο σχήμα φαίνεται ότι και οι δύο μέθοδοι (όπως έχει αναφερθεί έχουν διαφορετικό μέγεθος δέσμης) δε μπορούν να μετρήσουν επακριβώς ακριβώς στην ακμή την γωνίας. Μια εφαρμογή που παρέχεται είναι ένας συνδυασμός μετρήσεων γωνιών και μηκών. Αρχικά μετρώνται 2 σημεία πάνω στον έναν από τους δύο τοίχους, ορίζοντας έτσι το κατακόρυφο επίπεδο του τοίχου. Στη συνέχεια μετράται η οριζόντια γωνία προς τη συμβολή των τοίχων, οπότε και υπολογίζεται η ακριβής θέση της γωνίας (σχήμα 1.10).

Μια επιπλέον εφαρμογή περιλαμβάνει τη μέτρηση 2 σημείων σε κάθε τοίχο (ορίζοντας έτσι το ίχνος του κάθε ενός) και τον υπολογισμό του σημείου τομής των δύο ευθειών, δηλαδή την γωνία (σχήμα 1.11)

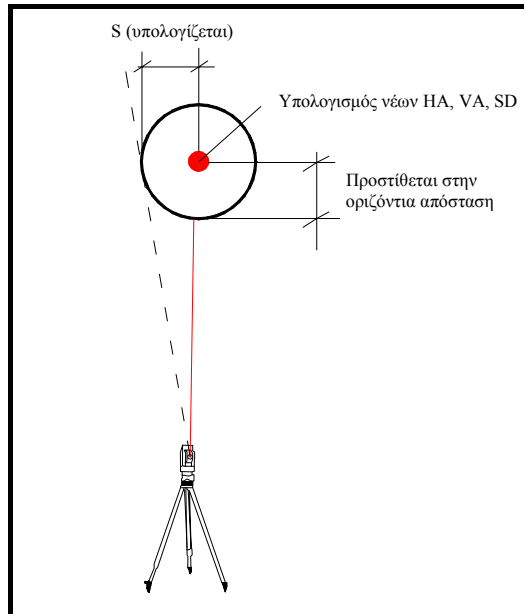


Σχήμα 1.10. Υπολογισμός γωνίας με 3 σημεία



Σχήμα 1.11. Υπολογισμός γωνίας με 4 σημεία

Μέτρηση κυκλικών αντικειμένων: Πολλές φορές χρειάζεται η εύρεση του κέντρου ενός κυκλικού αντικειμένου, το οποίο είναι αδύνατο να μετρηθεί απευθείας (π.χ. το κέντρο ενός σωλήνα ή το κέντρο ενός στύλου). Η διαδικασία υπολογισμού του κέντρου αναπαρίσταται στο σχήμα 1.12: Αρχικά μετράται ένα σημείο στην περιφέρεια του αντικειμένου στο μέσο του τμήματος που φαίνεται από το όργανο. Στη συνέχεια μετράται η εφαπτομένη γωνία όπως φαίνεται από το όργανο προς το αντικείμενο. Έτσι είναι δυνατό να υπολογιστεί η ακτίνα του αντικειμένου από την οποία υπολογίζεται και το κέντρο του.



Σχήμα 1.12. Υπολογισμός κέντρου κυκλικού αντικειμένου

Σάρωση επιφάνειας: Με τη συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να μετρηθεί αυτόματα μια επιφάνεια (π.χ. μέτωπα λατομείων, κατακόρυφα πρανή, σωροί αποθεμάτων), ορίζοντας μόνο το βήμα σάρωσης (σε γωνιακό ή γραμμικό μέγεθος) και τα όρια της περιοχής σάρωσης. Στη συνέχεια με κατάλληλο λογισμικό η σαρωμένη επιφάνεια μπορεί να αναπαρασταθεί ψηφιακά.

1.3.6 Σύγκριση των μεθόδων

Κλείνοντας το κεφάλαιο και έχοντας πραγματοποιήσει μια όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη παρουσίαση των χαρακτηριστικών των reflectorless γεωδαιτικών σταθμών, θεωρείται σκόπιμο να γίνει μια ανακεφαλαίωση των ιδιοτήτων των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μηκών.

Τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των παλμών έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια (4 – 8 φορές) από τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των παλμών.

Η μέθοδος των παλμών είναι ως και 4 φορές ταχύτερη από τη μέθοδο της διαφοράς φάσης. Ειδικότερα για μέτρηση μεγάλων μηκών η διαφορά γίνεται περισσότερο αισθητή. Για τη μέθοδο των παλμών ο χρόνος μέτρησης είναι σταθερός και αυξάνει ελάχιστα μόνο σε μεγάλα μήκη. Αντίθετα για τη μέθοδο της διαφοράς φάσης ο χρόνος παραμένει σταθερός μέχρι ένα συγκεκριμένο (μικρό) μήκος και στη συνέχεια αυξάνει με το μήκος. Η νέα μέθοδος "System analyzer" χρησιμοποιεί και

τις δύο μεθόδους για τον προσδιορισμό του μήκους συνεπώς δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα σε ταχύτερο χρόνο.

Τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της διαφοράς φάσης έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια από τα αντίστοιχα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των παλμών. Σύμφωνα με μελέτη [Trimble, 2005], η ακρίβεια την μεθόδου των παλμών μπορεί να αυξηθεί με ειδικές τεχνικές επεξεργασίας σήματος. Τα όργανα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο "System analyzer" διαθέτουν ειδικό επεξεργαστή για την ανάλυση του σήματος, οπότε η ακρίβεια βελτιώνεται περισσότερο.

Το αποτύπωμα της δέσμης και το σχήμα αυτής είναι μικρότερο στα όργανα που χρησιμοποιούν τη διαφορά φάσης. Γενικά το αποτύπωμα της δέσμης αυξάνει με την απόσταση. Τα οπτικομηχανικά μέρη που χρησιμοποιεί η νέα μέθοδος βελτιώνουν ακόμα περισσότερο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δέσμης.

Η μέθοδος των παλμών είναι ασφαλέστερη από τη μέθοδο της διαφοράς φάσης. Οι παλμοί laser που χρησιμοποιεί είναι αρκετά ισχυροί αλλά είναι μικρής διάρκειας και έτσι η δέσμη δε συσσωρεύει ενέργεια.

Σε ορισμένα όργανα που χρησιμοποιούν τη διαφορά φάσης απαιτείται η εστίαση στο αντικείμενο προτού ληφθεί το μήκος.

Η μέθοδος των παλμών είναι περισσότερο ανεκτική σε παρεμβολές απ' ότι η μέθοδος της διαφοράς φάσης. Παρόλ' αυτά, με τις υψηλές συχνότητες που χρησιμοποιεί η νέα μέθοδος το σύστημα γίνεται επιλεκτικό σε ότι αφορά τις σκληρές επιφάνειες και παραλείπει τους "μαλακούς" στόχους (όπως βροχή ή σκόνη).

1.3.7 Καταγραφή γεωδαιτικών σταθμών

Στο πλαίσιο της έρευνας σχετικά με τους γεωδαιτικούς σταθμούς που μετρούν μήκη χωρίς ανακλαστήρα, κρίθηκε σκόπιμη η καταγραφή ορισμένων από αυτούς.

Στον πίνακα 1.3 συμπεριλαμβάνονται γεωδαιτικοί σταθμοί που προέρχονται από διαφορετικές εταιρίες και χρησιμοποιούνται τόσο σε τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες, όσο και σε εργασίες περισσότερο εξειδικευμένες, όπου σε αυτές απαιτούνται και μεγαλύτερες ακρίβειες.

Καταγράφονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των γεωδαιτικών σταθμών (π.χ. εμβέλεια, ακρίβεια). Παρόλ' αυτά δε κατέστη δυνατό να προσδιοριστεί η μέθοδος μέτρησης που κάθε σταθμός χρησιμοποιεί.

Στο παράρτημα παρουσιάζονται αναλυτικοί πίνακες με τα χαρακτηριστικά κάθε γεωδαιτικού σταθμού. Οι περισσότεροι γεωδαιτικοί σταθμοί διατίθενται με διαφορετικές ακρίβειες στη μέτρηση μηκών ή γωνιών. Όπου υπάρχει ένδειξη με αστερισκό (*), δίνεται η ακρίβεια της καλύτερης έκδοσης του συγκεκριμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Γεωδαιτικός σταθμός	Κατασκευάστρια εταιρία	Απόδοση γωνιών (")	Ακρίβεια μέτρησης γωνιών (")	Βεληνεκές (RL) (m)	Ακρίβεια μέτρησης μηκών (RL)	Βάρος (Kg)
TPS 400	Leica (Ελβετία)	1	3	>500	± 3 mm ± 2 ppm	5.2
TPS 700	Leica (Ελβετία)	1	2	>500	± 3 mm ± 2 ppm	5.6
TPS 800	Leica (Ελβετία)	1	2	>500	± 3 mm ± 2 ppm	5.4
TPS 1200	Leica (Ελβετία)	0.1	1	500	± 2 mm ± 2 ppm	6
GPT 230W	Torcon (Ιαπωνία)	1	3	250	± 5 mm (3-25 m) ±10 mm (>25 m)	5.2
GPT 3000LW	Torcon (Ιαπωνία)	1	2	250m Long mode 1200 m	± 10 mm (3-25 m) ±3 mm ±2 ppm (>25 m) Long mode ± 10 mm ± 10 ppm	5.2
GPT 7000i	Torcon (Ιαπωνία)	0.5	1	250	± 5 mm	6.5
GPT 7500	Torcon (Ιαπωνία)	0.5	1	250m Long mode 5 - 1200 m	± 5 mm Long mode ± 10 mm ± 10 ppm	6.6
GPT 8200A	Torcon (Ιαπωνία)	0.5	1	120m Long mode 1200 m	± 10 mm (3-25m) ± 3 mm ± 2 ppm (>25 m) Long mode ± 10 mm ± 10 ppm	7.6
GPT 9000A	Torcon (Ιαπωνία)	0.5	1	120m Long mode 2000 m	± 5 mm (>25 m) Long mode ± 10 mm ± 10 ppm	6.9
5600 DR 200+	Trimble (ΗΠΑ)	1	3	>600	± 3 mm ± 3 ppm (5-200 m) ± 5 mm ± 3 ppm (>200 m)	7.7
M3	Trimble (ΗΠΑ)	1	3	210	± 5 mm ± 2 ppm	5.4
S6 DR 300+	Trimble (ΗΠΑ)	1	2	>800	± 3 mm ± 2 ppm ± 5 mm ± 2 ppm (>300 m)	6.6
SRX	Sokkia (Ιαπωνία)	0.5	1	500	± 3 mm ± 2 ppm (0.3-200 m) ± 5 mm ± 10 ppm (200-350 m) ± 10 mm ± 10 ppm (350-500 m)	-
W800 NX	Pentax (Ιαπωνία)	1	2	270	± 5 mm ± 2 ppm (>200 m) ± 7 mm ± 10 ppm (>200 m)	6.3

Πίνακας 1.3. Χαρακτηριστικά γεωδαιτικών σταθμών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ

2.1 Γενικά

Το πρόβλημα του προσδιορισμού της θέσης σημείων σε μία, δύο ή τρεις διαστάσεις απασχόλησε τον άνθρωπο από τα αρχαία χρόνια. Το ίδιο παλιές είναι και οι μέθοδοι που προτάθηκαν για τη λύση του προβλήματος. Για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών στην αρχαία Αίγυπτο εκμεταλλεύτηκαν τις ιδιότητες του νερού. Με τον τρόπο αυτό κατάφεραν να οριζοντιώσουν τη βάση της Μεγάλης Πυραμίδας στη Γκίζα. Παράλληλα αξιοποιώντας τα νερά του Νείλου ίδρυσαν και υψομετρικές αφετηρίες (Νειλόμετρα) για τη μεταφορά υψομέτρων. Λίγο αργότερα έγινε γνωστή και η μέθοδος της χωροστάθμησης με σταδία. Η ανάπτυξη της γεωμετρίας στην Κίνα και την Ινδία οδήγησε στην εφαρμογή μεθόδων για τον προσδιορισμό υψομέτρων απρόσιτων σημείων. Η μέθοδος βασιζόταν σε ορθογώνια τρίγωνα και στις ιδιότητες των όμοιων τριγώνων. Την ομοιότητα τριγώνων εκμεταλλεύτηκε και ο Θαλής ο Μιλήσιος, ο οποίος ανέπτυξε μια μέθοδο για τον υπολογισμό της απόστασης ενός πλοίου από την ακτή [Ρωσσικόπουλος, 2006]

Σήμερα ο προσδιορισμός της θέσης σημείων στο χώρο γίνεται με σύγχρονα όργανα και διαδικασίες οι οποίες εξασφαλίζουν ικανοποιητική ακρίβεια σε μικρό χρονικό διάστημα. Το πρόβλημα πλέον έγκειται στην επιλογή του κατάλληλου οργάνου και μεθόδου, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα στον ελάχιστο δυνατό χρόνο και με το μικρότερο κόστος.

Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα για τον προσδιορισμό της θέσης σημείων. Γίνεται σαφής διαχωρισμός μεταξύ των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών και μέσω αυτών υψομέτρων σημείων (προσδιορισμός θέσης σε μια διάσταση κατά την κατακόρυφη έννοια) και αυτών που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης σημείων στο επίπεδο ή στο χώρο (ταυτόχρονα σε δύο ή τρεις διαστάσεις).

2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών

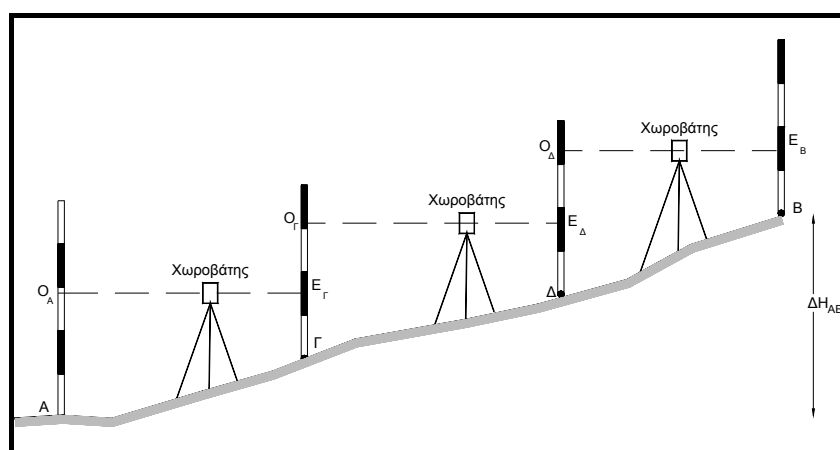
Οι περισσότερες τοπογραφικές εργασίες παράλληλα με τον προσδιορισμό των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων (x, y) σε κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων απαιτούν και τον υπολογισμό της τρίτης διάστασης (H ή Z). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σήμερα σε τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες είναι:

- Η γεωμετρική χωροστάθμηση και
- Η τριγωνομετρική υψομετρία

Γεωμετρική χωροστάθμηση: Εφαρμόζοντας τη γεωμετρική χωροστάθμηση είναι δυνατός ο άμεσος προσδιορισμός της υψομετρικής διαφοράς δυο σημείων. Τα υψόμετρα που υπολογίζονται είναι ορθομετρικά. Χρησιμοποιείται ένας χωροβάτης και δύο σταδίες (αριθμημένοι πήχεις) πάνω στις οποίες λαμβάνονται απευθείας οι αντίστοιχες ενδείξεις. Η βασική αρχή της μεθόδου είναι ότι η σκοπευτική γραμμή του χωροβάτη (αρχ. χώρος + βαίνω) μπορεί να διαγράψει ένα οριζόντιο επίπεδο περιστρεφόμενη γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του.

Στο σχήμα 2.1 απεικονίζεται σχηματικά η εφαρμογή της μεθόδου για τον προσδιορισμό της ορθομετρικής υψομετρικής διαφοράς δύο σημείων, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση 2.1:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = \sum \Delta H_{ij} = \sum (O - E) = \sum O - \sum E \quad (2.1)$$



Σχήμα 2.1. Σχηματική παράσταση της γεωμετρικής χωροστάθμησης

Η εμφάνιση των ψηφιακών χωροβατών και ψηφιακών σταδίων τα τελευταία χρόνια έχει συμβάλει στη μείωση του χρόνου εργασίας, στην αποφυγή χονδροειδών σφαλμάτων και στην αύξηση της ακρίβειας η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και $\pm 0.2 - 0.5 \text{ mm/km}$.

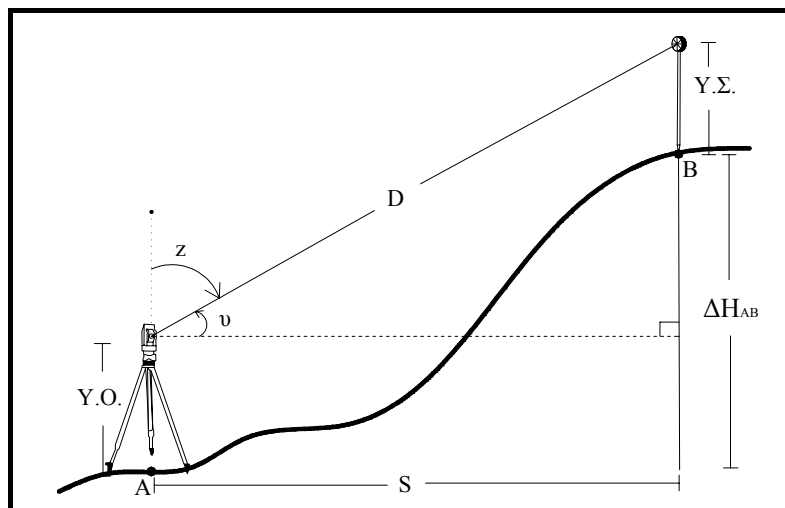
Στην περίπτωση που τα σημεία απέχουν μεγάλη απόσταση ή έχουν μεγάλη υψομετρική διαφορά πραγματοποιείται χωροσταθμική όδευση. Αυτό καθιστά τη μέθοδο χρονοβόρα καθώς απαιτούνται πολλές ενδιάμεσες στάσεις (δεδομένου ότι η απόσταση χωροβάτη – σταδίας δε πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 20-30 m για απλούς χωροβάτες και 100 m για ψηφιακούς).

Τριγωνομετρική Υψομετρία: Η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων μπορεί να πραγματοποιηθεί και έμμεσα με τη μέθοδο της τριγωνομετρικής υψομετρίας, με τη μέτρηση ζενίθιων γωνιών και μηκών μεταξύ των σημείων με ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς και πρίσματα. Και σε αυτή την περίπτωση προσδιορίζονται ορθομετρικές υψομετρικές διαφορές.

Η μέθοδος είναι λιγότερο ακριβής από τη γεωμετρική χωροστάθμηση (μερικά cm/km) καθώς στον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς εκτός από τα σφάλματα μέτρησης του μήκους και της γωνίας, υπεισέρχονται και τα σφάλματα μέτρησης του ύψους οργάνου και του ύψους στόχου (πρίσματος).

Στο σχήμα 2.2 απεικονίζεται σχηματικά η εφαρμογή της μεθόδου για τον προσδιορισμό της ορθομετρικής υψομετρικής διαφοράς δύο σημείων, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση 2.2:

$$\Delta H_{AB} = D \cdot \cos z + (1 - k) \cdot \frac{D^2}{2 \cdot R} \cdot \sin^2 z + Y.O. - Y.Σ. \quad (2.2)$$



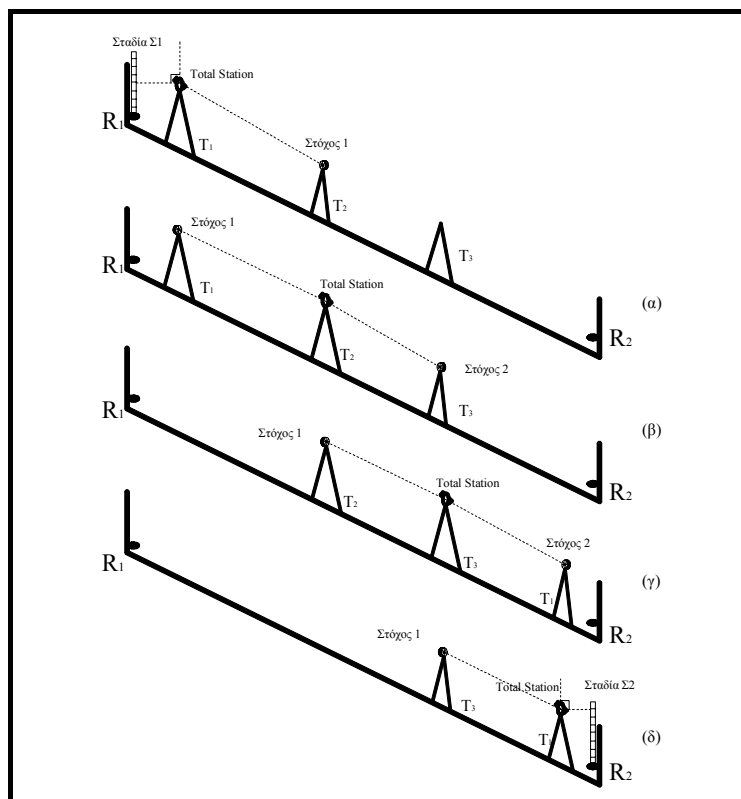
Σχήμα 2.2. Σχηματική παράσταση της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας

Ως μέθοδος είναι ταχύτερη σε σχέση με τη γεωμετρική χωροστάθμηση καθώς πρακτικά δεν υπάρχει περιορισμός στην απόσταση σκόπευσης (τα σύγχρονα όργανα έχουν εμβέλεια μερικών km με τη

χρήση ενός πρίσματος). Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνονται και οι απαραίτητες διορθώσεις λόγω καμπυλότητας της γης και ατμοσφαιρικής διάθλασης όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 500 m.

Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία: Για εργασίες υψηλής ακριβείας χρησιμοποιείται η Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία. Ουσιαστικά αποτελεί ένα συνδυασμό των δύο προηγούμενων μεθόδων και η οποία κάνει χρήση της μεθόδου των τριών τριπόδων και η ακρίβεια της οποίας μπορεί να φτάσει και τα ± 3 mm/km. Η αρχική και τελική σκόπευση (προς τα ζητούμενα σημεία) επιτυγχάνεται κάνοντας ανάγνωση σε σταδία και τοποθετώντας το γεωδαιτικό σταθμό σε θέση χωροβάτη (σκόπευση σε κατακόρυφη γωνία 100° και 300°). Για τις ενδιάμεσες στάσεις μετρώνται οι ζενίθιες γωνίες και κεκλιμένα μήκη προς τον ανακλαστήρα. Όπως γίνεται αντιληπτό δεν είναι απαραίτητη η ορατότητα μεταξύ αρχικού και τελικού σημείου.

Στο σχήμα 2.3 απεικονίζεται σχηματικά η εφαρμογή της μεθόδου για τον προσδιορισμό της ορθομετρικής υψομετρικής διαφοράς δύο σημείων, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση 2.3:



Σχήμα 2.3. Σχηματική παράσταση της Ειδικής Τριγωνομετρικής Υψομετρίας

$$\Delta H_{R_1 R_2} = (A_1 - A_2) + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H_{T_i T_j} - \Delta H_{T_j T_i}}{2}, \quad (2.3)$$

όπου:

A_1 = Η ανάγνωση στη σταδία στο αρχικό σημείο

A_2 = Η ανάγνωση στη σταδία στο τελικό σημείο

$\Delta H_{T_i T_j}$ = Η υψομετρική διαφορά από το σημείο i, προς το σημείο j

$\Delta H_{T_j T_i}$ = Η υψομετρική διαφορά από το σημείο j, προς το σημείο i

Επίσης με την εφαρμογή της μεθόδου των τριών τριπόδων το τελικό αποτέλεσμα είναι ανεξάρτητο από τα ύψη οργάνων και στόχου. Τέλος, επειδή οι μετρήσεις πραγματοποιούνται ταυτόχρονα σε μετάβαση και επιστροφή και οι ενδιάμεσες υψομετρικές διαφορές είναι ο μέσος όρος αυτών, η υψομετρική διαφορά είναι απαλλαγμένη από την καμπυλότητα της γης και την ατμοσφαιρική διάθλαση (αν η εναλλαγή οργάνου και ανακλαστήρων στους τρίποδες γίνει σε μικρό χρονικό διάστημα, ώστε η μεταβολή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης k, να θεωρείται μηδενική).

Κοινό χαρακτηριστικό των μεθόδων που περιγράφηκαν παραπάνω αποτελεί η απαίτηση για προσέγγιση/πρόσβαση στο αρχικό και τελικό σημείο. Ανεξάρτητα από το μέσο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση (σταδία ή κατάφωτο) αυτό θα πρέπει να τοποθετηθεί κατακόρυφα πάνω από το μετρούμενο σημείο.

Πρακτικά αυτό δημιουργεί εμφανείς δυσκολίες στην περίπτωση που η πρόσβαση στα σημεία είναι δύσκολη ή αυτά είναι απρόσιτα (λόγω μεγάλης υψομετρικής διαφοράς ή ύπαρξης ενδιάμεσων εμποδίων).

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σημαντικά η δυνατότητα των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών να μετρούν μήκη και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες από ότι αρχικά μπορούσαν να μετρήσουν και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Έτσι, πλέον, μπορούν να μετρώνται άμεσα τα μήκη προς σημεία απρόσιτα. Σε αυτό βασίζεται και η Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας (ΤΡΥΑ), η οποία περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

2.2.1 Τριγωνομετρική υψομετρία ακριβείας

Η Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας είναι μια νέα μέθοδος προσδιορισμού ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών μεταξύ προσιτών ή απρόσιτων σημείων. Όπως αναφέρθηκε κάνει χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών που μπορούν να μετρούν μήκη και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (reflectorless). Μπορεί να εφαρμοσθεί τόσο μεταξύ

υψομετρικών αφετηριών (rèpères), όσο και μεταξύ κορυφών τριγωνομετρικών ή πολυγωνομετρικών σημείων αλλά και οποιουδήποτε άλλου προσημασμένου ή μη σημείου, ενώ η ακρίβειά της, ανάλογα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, μπορεί να είναι αντίστοιχη της γεωμετρικής χωροστάθμησης.

Κατά τη μοναδιαία διαδικασία της μεθόδου (η οποία σχηματικά αναπαρίσταται στο σχήμα 2.4), για τον προσδιορισμό της ορθομετρικής υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων Α, Β, μετρώνται τα μήκη D_A και D_B και οι ζενίθιες γωνίες z_A και z_B . Να σημειωθεί εδώ ότι τα δύο σημεία πρέπει να είναι αμοιβαία ορατά και να βρίσκονται κατά το δυνατόν σε ίσες αποστάσεις από το γεωδαιτικό σταθμό.

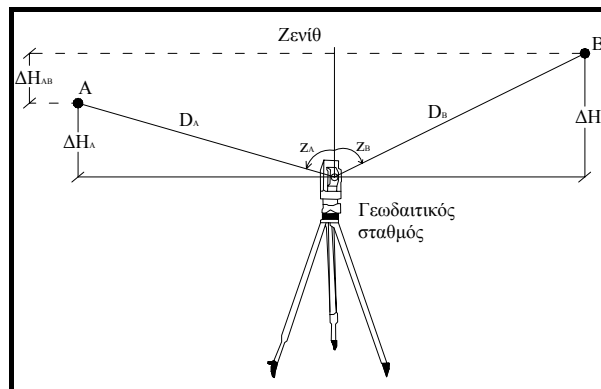
Έτσι υπολογίζονται οι υψομετρικές διαφορές ΔH_A και ΔH_B μεταξύ του κάθε σημείου και του κέντρου του γεωδαιτικού σταθμού. Η υψομετρική διαφορά των δύο σημείων προκύπτει ως διαφορά των δύο επιμέρους υψομετρικών διαφορών:

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A \quad (2.3)$$

όπου:

$$\Delta H_A = \cos z_A \cdot D_A + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_A^2}{2 \cdot R} \cdot \sin^2 z_A \quad (2.4)$$

$$\Delta H_B = \cos z_B \cdot D_B + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_B^2}{2 \cdot R} \cdot \sin^2 z_B \quad (2.5)$$



Σχήμα 2.4. Σχηματική αναπαράσταση της μοναδιαίας διαδικασίας ΤΡΥΑ

Όπου:

ΔH = ορθομετρική υψομετρική διαφορά

z = ζενίθια γωνία

D = μετρούμενο μήκος

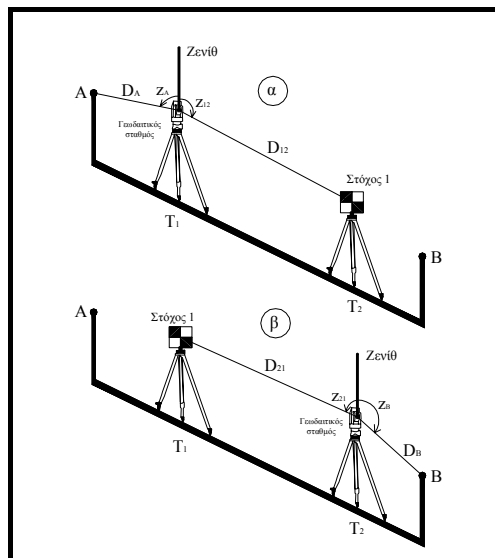
κ = συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης

R = ακτίνα καμπυλότητας της γης = 6371 Km

Αν τα σημεία δεν είναι αμοιβαία ορατά από κάποια θέση, ώστε ο γεωδαιτικός σταθμός να τοποθετηθεί σε αυτή τη θέση ή η μεταξύ τους απόσταση δεν επιτρέπει την απευθείας μέτρησή της, τότε μπορεί να εφαρμοσθεί η μέθοδος με δύο στάσεις του οργάνου (σχήμα 2.5):

Ο τρίποδας T1, με τρικόχλιο και τον γεωδαιτικό σταθμό, τοποθετείται σε κάποια θέση κοντά στο σημείο A, ενώ σε κάποια θέση κοντά στο σημείο B τοποθετείται τρίποδας T2 με τρικόχλιο και γωνιομετρικό στόχο. (Φυσικά απαραίτητη προϋπόθεση οι δύο θέσεις T1 και T2 να είναι αμοιβαία ορατές).

Ο γεωδαιτικός σταθμός που βρίσκεται στον τρίποδα T1 σκοπεύει αρχικά προς το σημείο A και μετράται το μήκος D_A και η ζενίθια γωνία z_A . Στη συνέχεια σκοπεύεται ο στόχος στον τρίποδα T2 και μετράται το μήκος D_{12} και η αντίστοιχη ζενίθια γωνία z_{12} . Στη συνέχεια ο γεωδαιτικός σταθμός και ο γωνιομετρικός στόχος αποσπώνται από τα τρικόχλιά τους και αλλάζουν θέση. Η διαδικασία αυτή απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς δε πρέπει να επέλθει καμία μεταβολή στη θέση του συστήματος τρίποδας – τρικόχλιο. Ο γεωδαιτικός σταθμός από τον τρίποδα T2 μετρά (σε επιστροφή) το μήκος D_{21} και η ζενίθια γωνία z_{21} , προς το στόχο που βρίσκεται στον τρίποδα T1. Στη συνέχεια σκοπεύεται το σημείο B, όπου και μετρώνται το μήκος D_B και η ζενίθια γωνία z_B .



Σχήμα 2.5. Σχηματική παράσταση της ΤΡΥΑ με 2 ενδιάμεσες στάσεις

Τελικά η υψομετρική διαφορά των σημείων AB προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A + \frac{\Delta H_{12} + \Delta H_{21}}{2} \quad (2.6)$$

όπου:

$$\Delta H_{12} = \cos z_{12} \cdot D_{12} + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_{12}^2}{2 \cdot R} \cdot \sin^2 z_{12} \quad (2.7)$$

$$\Delta H_{21} = \cos z_{21} \cdot D_{21} + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_{21}^2}{2 \cdot R} \cdot \sin^2 z_{21} \quad (2.8)$$

Στη γενική περίπτωση κατά την οποία απαιτούνται περισσότερες στάσεις για τον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς, εφαρμόζεται η μέθοδος των τριών τρίποδων (σχήμα 2.6). Και η τελική υψομετρική διαφορά δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H_{i,i+1} - \Delta H_{i+1,i}}{2} \quad (2.9)$$

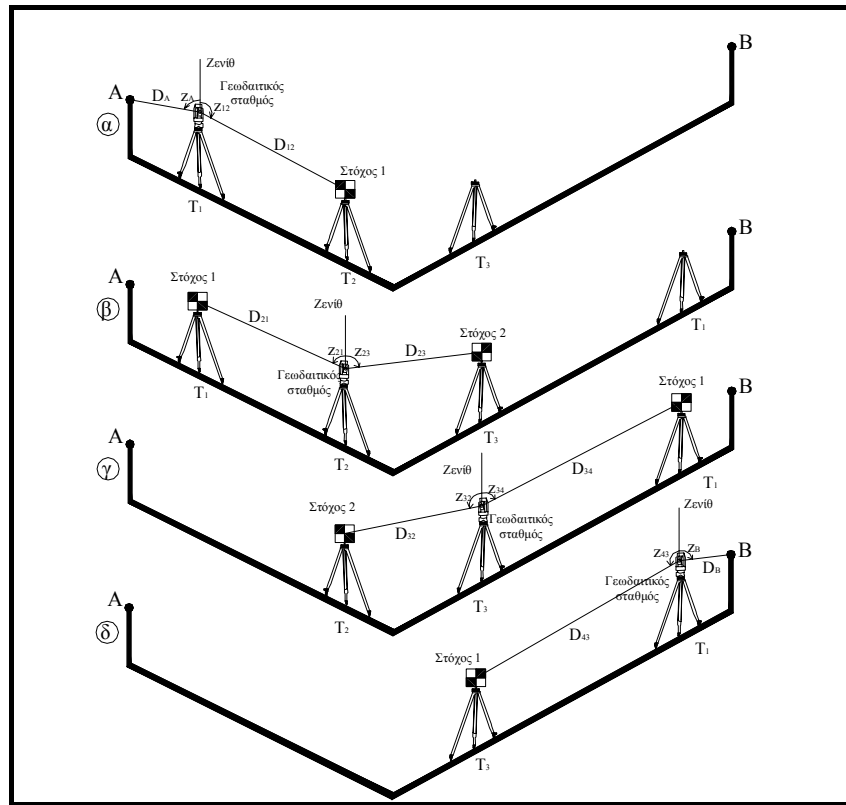
Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτούνται:

- Reflectorless γεωδαιτικός σταθμός (με δυνατότητα να αποσπάται από το τρικόχλιό του),
- Ένας, δύο ή τρεις τρίποδες κατά περίπτωση
- Δύο συστήματα γωνιομετρικού στόχου (στόχος, αντάπτορας τρικοχλίου, τρικόχλιο) ή ανακλαστήρα (ανακλαστήρας, αντάπτορας τρικοχλίου, τρικόχλιο). (Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου με δύο στάσεις οργάνου, απαιτείται ένα σύστημα γωνιομετρικού στόχου ή ανακλαστήρα).

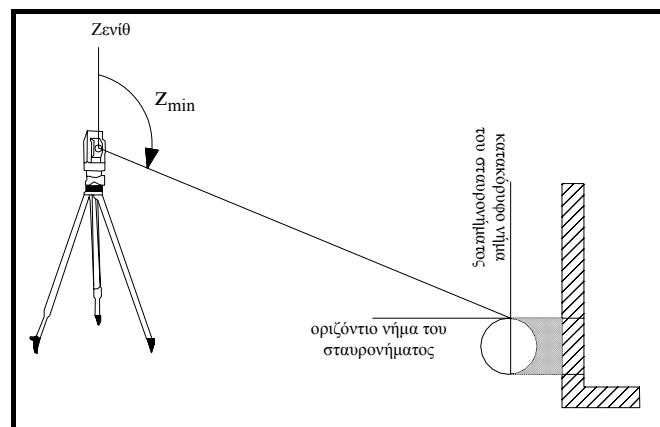
Η επιλογή του γεωδαιτικού σταθμού, είναι πολύ σημαντική για την εφαρμογή της μεθόδου και εξαρτάται από την ακρίβεια μέτρησης των ζενίθιων γωνιών ($\pm 1''$, $\pm 2''$, $\pm 3''$, $\pm 5''$) και των μηκών (± 2 mm, ± 3 mm, ± 5 mm) που παρέχει, το βεληνεκές του, που σήμερα κυμαίνεται από 100m – 2000m για μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα, το βάρος και το κόστος του.

Στην περίπτωση που το αρχικό και τελικό σημείο είναι υψομετρική αφετηρία (gèrère) η μέτρηση προς αυτή πρέπει να εκτελείται με μοναδικό και σωστό τρόπο. Όπως είναι γνωστό, σε υψομετρικά δίκτυα, οι υψομετρικές αφετηρίες υλοποιούνται με ειδικά ορειχάλκινα μπουλόνια. Η κατασκευή τους είναι τέτοια (κυλινδρική ή σφαιρική) ώστε να εξασφαλίζεται η έδραση της σταδίας σε αυτά σε μοναδικό σημείο. Η σκόπευση για τη μέτρηση της ζενίθιας γωνίας και του μήκους πρέπει να γίνει στο ίδιο μοναδικό σημείο. Το σημείο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.7 αυτό μπορεί να ορισθεί ως αυτό "όπου το οριζόντιο σταυρόνημα του τηλεσκοπίου του γεωδαιτικού σταθμού εφάπτεται στο πάνω μέρος της

ορειχάλκινης κατασκευής, έτσι ώστε η ένδειξη της ζενίθιας γωνίας να είναι η ελάχιστη". [Λάμπρου Ε., 2007]



Σχήμα 2.6. Σχηματική παράσταση της ΤΡΥΑ με εφαρμογή της μεθόδου τριών τριπόδων



Σχήμα 2.7. Σκόπευση προς υψομετρική αφετηρία (rèpère)

Επειδή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν λίγα λόγια για την ακρίβεια και τα σφάλματα της μεθόδου, καθώς αυτά επηρεάζουν και την επιλογή των οργάνων που θα χρησιμοποιηθούν.

Όπως προκύπτει από όσα περιγράφηκαν παραπάνω η μέθοδος είναι ανεξάρτητη από την αβεβαιότητα μέτρησης των υψών οργάνου και στόχου, τα οποία δε χρειάζεται να μετρηθούν. Επιπλέον καθόσον οι μετρήσεις πραγματοποιούνται ταυτόχρονα σε μετάβαση και επιστροφή οι επιμέρους υψομετρικές διαφορές προκύπτουν ως μέσος όρος των δύο τιμών. Έτσι είναι ανεξάρτητη της καμπυλότητας της γης και απαλείφεται η επίδραση της τιμής του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης (εφόσον οι μετρήσεις πραγματοποιηθούν σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα).

Αξίζει να αναφερθεί ότι ακόμα και στην περίπτωση κατά την οποία το κατασκευαστικό ύψος του γεωδαιτικού σταθμού και του στόχου (γωνιομετρικού ή ανακλαστήρα) είναι διαφορετικά, δεν επηρεάζεται η τελικά εξαγόμενη υψομετρική διαφορά.

Τελικά η ακρίβεια με την οποία προσδιορίζεται η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων Α και Β από μια και μόνο στάση οργάνου είναι:

$$\sigma_{\Delta H_{AB}} = \pm \sqrt{\sigma_{\Delta H_A}^2 + \sigma_{\Delta H_B}^2} \quad (2.10)$$

όπου με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων προκύπτει:

$$\sigma_{\Delta H_A}^2 = (\cos z_A)^2 \cdot \sigma_{D_A}^2 + (-\sin z_A)^2 \cdot D_A^2 \cdot \left(\frac{\sigma_{Z_A}}{\rho^{cc}}\right)^2 \quad (2.11)$$

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δύο ενδιάμεσες στάσεις οργάνου (με την παραδοχή ότι $\sigma_{\Delta H_{12}} = \sigma_{\Delta H_{21}}$ και $\sigma_{\Delta H_A} = \sigma_{\Delta H_B}$, τα οποία προκύπτουν από τη σχέση 2.10), προκύπτει:

$$\sigma_{\Delta H_{AB}} = \pm \sqrt{2 \cdot \sigma_{\Delta H_A}^2 + \frac{1}{2} \cdot \sigma_{\Delta H_{12}}^2} \quad (2.12)$$

Τέλος στη γενική περίπτωση που απαιτούνται η ενδιάμεσες στάσεις η τελική ακρίβεια είναι:

$$\sigma_{\Delta H_{AB}} = \pm \sqrt{2 \cdot \sigma_{\Delta H_A}^2 + \frac{n-1}{2} \cdot \sigma_{\Delta H_{ij}}^2} \quad (2.13)$$

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε περιπτώσεις τοπικών τρισδιάστατων δικτύων όπου οι αποστάσεις δε ξεπερνούν τα 100 m, κάνοντας χρήση γεωδαιτικού σταθμού ακρίβειας $\pm 1''$ ($\approx 3''$) στις μετρήσεις γωνιών και ± 3 mm στις μετρήσεις μηκών, η ακρίβεια προσδιορισμού της υψομετρικής διαφοράς μπορεί να φτάσει το ± 0.5 mm. [Λάμπρου Ε., 2007]

Καθοριστικό ρόλο στην τελική ακρίβεια της υψομετρικής διαφοράς παίζει η ακρίβεια μέτρησης του μήκους και της ζενίθιας γωνίας. Προκειμένου να γίνει περισσότερο αντιληπτή η επίδραση αυτή,

εφαρμόζοντας τη σχέση 2.10 και 2.11 για διαφορετικές ακρίβειες οργάνων και διαφορετικές ζενίθιες γωνίες, προκύπτει ο πίνακας 2.1.

Έχουν θεωρηθεί:

- Μία στάση οργάνου
- Μήκος σκόπευσης προς κάθε σημείο 100 m
- Σφάλμα $\pm 3^{\text{cc}}$ στις μετρήσεις κατακόρυφων γωνιών

Ακρίβεια οργάνου	Ζενίθια γωνία (g)	$\sigma_{\Delta H}$ (mm)
± 5 mm	80 ή 120	± 2.3 mm
	60 ή 140	± 4.2 mm
± 3 mm	80 ή 120	± 1.5 mm
	60 ή 140	± 2.6 mm
± 2 mm	80 ή 120	± 1.1 mm
	60 ή 140	± 1.7 mm

Πίνακας 2.1. Σφάλμα στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς ως συνάρτηση του σφάλματος μέτρησης του μήκους και της ζενίθιας γωνίας

Από την ίδια σχέση προκύπτει και ο πίνακας 2.2 θεωρώντας:

- Μία στάση οργάνου
- Μήκος σκόπευσης προς κάθε σημείο 100 m
- Σφάλμα ± 2 mm στις μετρήσεις των μηκών

Ακρίβεια οργάνου	Ζενίθια γωνία (g)	$\sigma_{\Delta H}$ (mm)
$\pm 3^{\text{cc}}$	60	± 1.7 mm
	100	± 0.7 mm
$\pm 10^{\text{cc}}$	60	± 2.4 mm
	100	± 2.2 mm

Πίνακας 2.2. Σφάλμα στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς ως συνάρτηση του σφάλματος μέτρησης γωνιών και της ζενίθιας γωνίας

Επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει την τελική ακρίβεια προσδιορισμού της υψομετρικής διαφοράς είναι και αριθμός των ενδιάμεσων στάσεων.

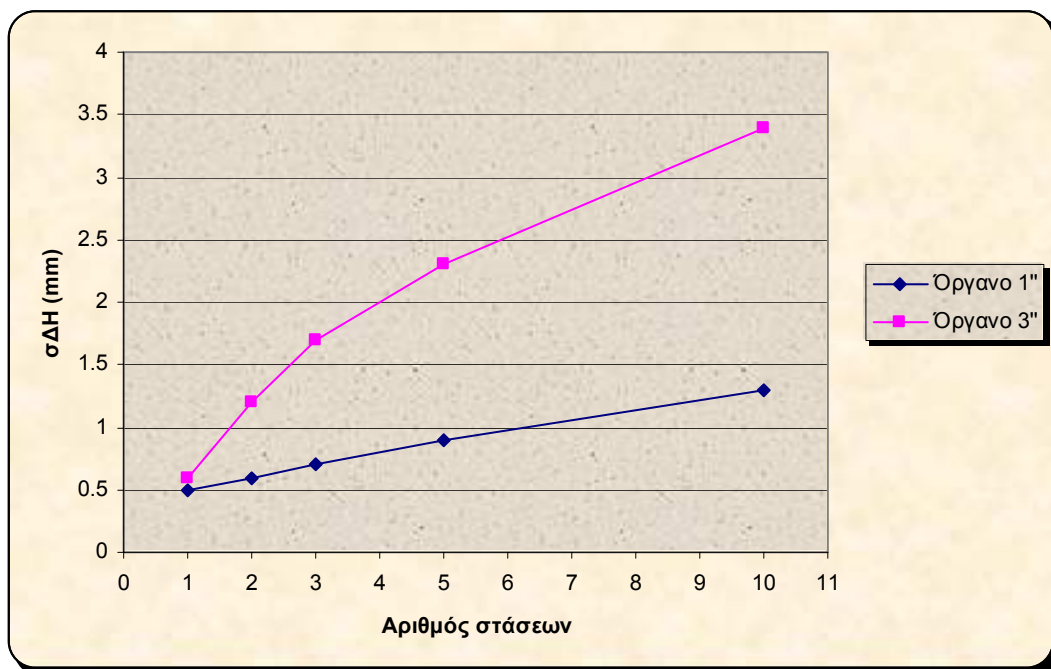
Στον πίνακα 2.3 και στο σχήμα 2.8 παρουσιάζεται η τελική ακρίβεια της υψομετρικής διαφοράς ως συνάρτηση του αριθμού των στάσεων και των γωνιακής ακρίβεια του οργάνου.

Έχουν θεωρηθεί:

- ακρίβεια μέτρησης μηκών ± 2 mm
- απόσταση σκόπευσης πρώτου και τελευταίου σημείου 15 m
- απόσταση σκόπευσης ενδιάμεσων στάσεων 100 m
- κατακόρυφη γωνία 90°

Στάσεις	Όργανο 1'' (3 ^{cc})	Όργανο 3'' (10 ^{cc})
	$\sigma_{\Delta H}$ (mm)	$\sigma_{\Delta H}$ (mm)
1	± 0.5 mm	± 0.6 mm
2	± 0.6 mm	± 1.2 mm
3	± 0.7 mm	± 1.7 mm
5	± 0.9 mm	± 2.3 mm
10	± 1.3 mm	± 3.4 mm

Πίνακας 2.3. Σφάλμα στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς ως συνάρτηση του αριθμού των στάσεων



Σχήμα 2.8. Σφάλμα στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς ως συνάρτηση του αριθμού των στάσεων

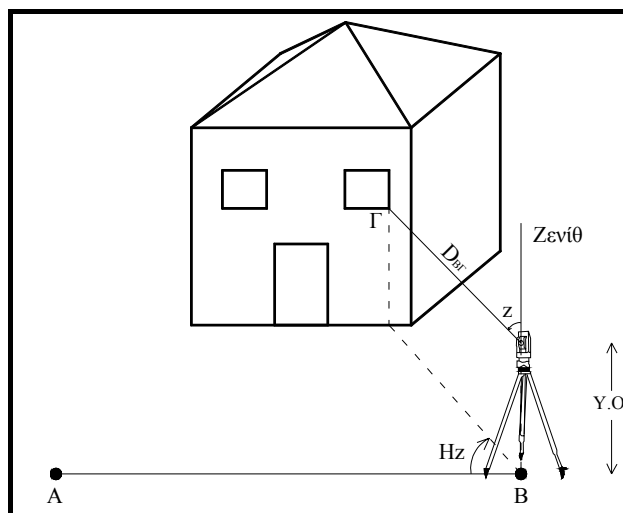
2.3 Μέθοδοι προσδιορισμού θέσης σε 2 και 3 διαστάσεις

2.3.1 Μέθοδος των πολικών συντεταγμένων

Η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων είναι η ταχύτερη και απλούστερη μέθοδος προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου στο επίπεδο. Για τον προσδιορισμό των οριζοντιογραφικών του συντεταγμένων απαιτείται μόνο η μέτρηση μιας οριζόντιας γωνίας από μια αρχική διεύθυνση αναφοράς, η ζενίθια γωνία και το κεκλιμένο μήκος προς το μετρούμενο σημείο. Παλαιότερα αυτό ήταν δυνατό με τη χρήση θεοδολίχου και μετροταινίας ή σταδίας. Αργότερα με τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών οριζόντιες γωνίες και μήκη μετρώνταν απευθείας. Σήμερα για εφαρμογές ακριβείας χρησιμοποιούνται mini ανακλαστήρες ή/και reflectorless γεωδαιτικοί σταθμοί. Έτσι είναι δυνατός ο υπολογισμός της θέσης απρόσιτων σημείων.

Για τον υπολογισμό του υψομέτρου ενός σημείου πρέπει να μετρηθεί επιπλέον το ύψος οργάνου και το ύψος στόχου. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στον προσδιορισμό του υψομέτρου όταν η μέτρηση πραγματοποιείται χωρίς τη χρήση πρίσματος. Τότε το υψόμετρο αναφέρεται στο σημείο σκόπευσης της δέσμης laser και το ύψος στόχου είναι μηδέν.

Επιπλέον κατά τη λήψη σημείων χωρίς χρήση πρίσματος θα πρέπει να δίνεται μέγιστη προσοχή στην αποτύπωση του σωστού σημείου. Ενδιάμεσα αντικείμενα ή άλλα εμπόδια είναι δυνατόν να οδηγήσουν στη λήψη λάθους σημείου. Η εφαρμογή της μεθόδου παρουσιάζεται στο σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.9. Προσδιορισμός θέσης με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y) και το υψόμετρο (z ή H) του άγνωστου σημείου προκύπτει από τις σχέσεις:

$$x_{\Gamma} = x_B + D \cdot \sin z \cdot \sin(a_{BA} + Hz) \quad (2.14)$$

$$y_{\Gamma} = y_B + D \cdot \sin z \cdot \cos(a_{BA} + Hz) \quad (2.15)$$

$$H_{\Gamma} = H_B + D \cdot \cos z + \text{Υ.Ο.} - \text{Υ.Σ.} \quad (2.16)$$

Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό η ακρίβεια στον υπολογισμό των τελικών συντεταγμένων εξαρτάται από την ακρίβεια των μετρούμενων μεγεθών. Για την οριζοντιογραφική ακρίβεια αυτά είναι η ζενίθια και οριζόντια γωνία και το κεκλιμένο μήκος, ενώ για την υψομετρική η ζενίθια γωνία, το κεκλιμένο μήκος και τα ύψη οργάνου και στόχου.

Εφαρμόζοντας το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στις σχέσεις 2.14 – 2.16 και θεωρώντας ότι:

- Οι αρχικές συντεταγμένες δεν έχουν σφάλμα
- $a_{BA} = 0^{\circ}$
- Όργανο ακρίβειας ± 2 mm στα μήκη
- $\pm 3''$ στις μετρήσεις γωνιών
- Ακρίβεια μέτρησης του ύψους οργάνου και του ύψους στόχου ± 1 mm,

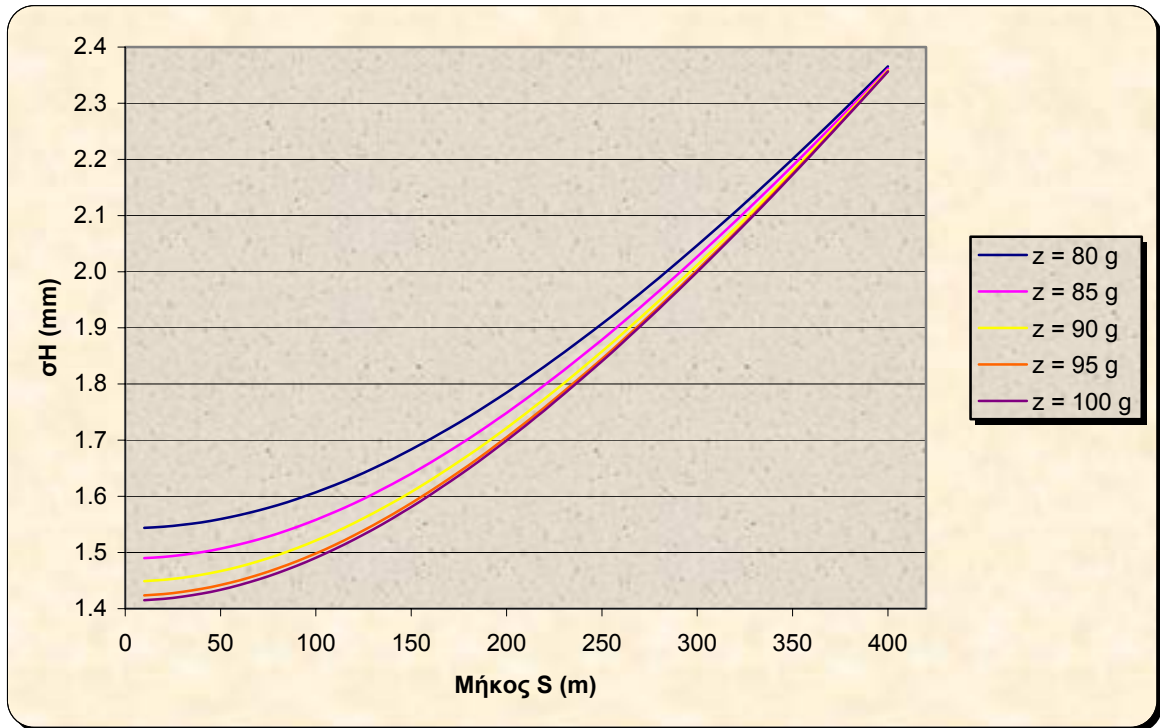
προκύπτει η αβεβαιότητα προσδιορισμού των τελικών συντεταγμένων:

$$\sigma_{x_{\Gamma}} = \pm \sqrt{(\sin z \cdot \sin Hz)^2 \cdot \sigma_D^2 + (D \cdot \cos z \cdot \sin Hz)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_z}{\rho^{cc}}\right)^2 + (D \cdot \sin z \cdot \cos Hz)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_{Hz}}{\rho^{cc}}\right)^2} \quad (2.17)$$

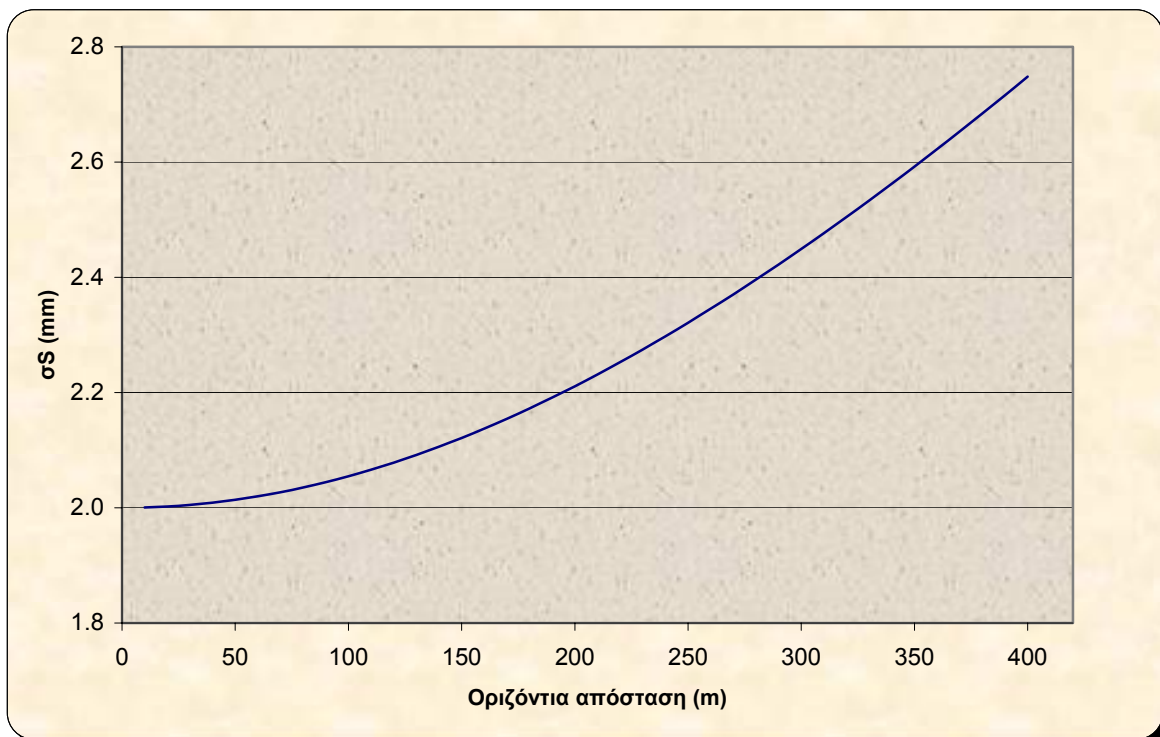
$$\sigma_{y_{\Gamma}} = \pm \sqrt{(\sin z \cdot \cos Hz)^2 \cdot \sigma_D^2 + (D \cdot \cos z \cdot \cos Hz)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_z}{\rho^{cc}}\right)^2 + (D \cdot \sin z \cdot \sin Hz)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_{Hz}}{\rho^{cc}}\right)^2} \quad (2.18)$$

$$\sigma_{H_{\Gamma}} = \pm \sqrt{(\sin z)^2 \cdot \sigma_D^2 + (D \cdot \sin z)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_z}{\rho^{cc}}\right)^2 + \sigma_{\text{Υ.Ο.}}^2 + \sigma_{\text{Υ.Σ.}}^2} \quad (2.19)$$

και από αυτές οι αντίστοιχες ακρίβειες, οι οποίες φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα (σχ. 2.9 και 2.10):



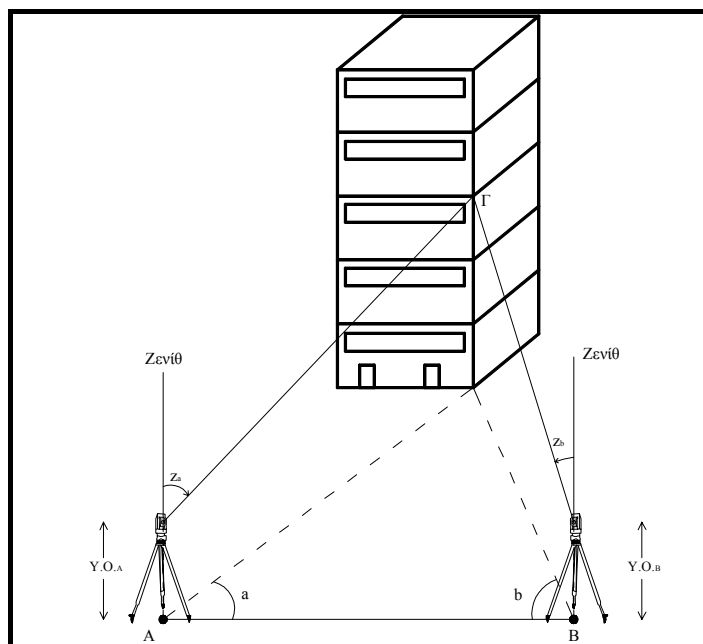
Σχήμα 2.10. Σφάλμα στον προσδιορισμό του υψομέτρου σε συνάρτηση με τη ζενίθια γωνία και την απόσταση



Σχήμα 2.11. Σφάλμα στον προσδιορισμό της οριζοντιογραφικής θέσης σε συνάρτηση με την απόσταση

2.3.2 Μέθοδος της εμπροσθοτομίας στο χώρο

Η μέθοδος χρησιμοποιείται παλαιότερα σε εφαρμογές ακριβείας, όπου δεν ήταν δυνατή η απευθείας μέτρηση του μήκους. Η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται μετρώντας μόνο τις οριζόντιες γωνίες και τις κατακόρυφες γωνίες από δύο σημεία με γνωστές συντεταγμένες (σχήμα 2.11). Από τις συντεταγμένες των σημείων προκύπτει και η μεταξύ τους απόσταση.



Σχήμα 2.12. Προσδιορισμός θέσης με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας

Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτούνται δύο γωνιομετρικά όργανα (θεοδόλιχα) και δύο τρίποδες. Σε αυτή την περίπτωση οι σχέσεις που δίνουν τη θέση του σημείου στο χώρο είναι:

$$x_{\Gamma} = \frac{y_B - y_A + x_A \cdot \cot b + x_B \cdot \cot a}{\cot a + \cot b} \quad (2.20)$$

$$y_{\Gamma} = \frac{x_B - x_A + y_A \cdot \cot b + y_B \cdot \cot a}{\cot a + \cot b} \quad (2.21)$$

$$z_{\Gamma(A)} = z_A + S_A \cdot \cot z_A + Y.O._A \quad (2.22)$$

$$z_{\Gamma(B)} = z_B + S_B \cdot \cot z_B + Y.O._B \quad (2.23)$$

Το τελικό υψόμετρο προκύπτει ως μέσος όρος των υψομετρικών διαφορών από τα γνωστά προς το άγνωστο σημείο. Όπως είναι προφανές η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από την ακρίβεια μέτρησης των οριζόντιων και ζενίθιων γωνιών, του ύψους των οργάνων, αλλά και τις γεωμετρίας του σχηματιζόμενου κάθε φορά τριγώνου.

Σήμερα η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως σε δίκτυα βιομηχανικής γεωδαισίας ή ελέγχου προϊόντων και κατασκευών σε εσωτερικούς χώρους με μεγάλες απαιτήσεις ακριβείας, καλύτερες του ± 1 mm στις συντεταγμένες, χρησιμοποιώντας γεωδαιτικούς σταθμούς ακρίβειας $\pm 1''$ ή $\pm 0.5''$ στις μετρήσεις γωνιών.

Η επιτυχία της μεθόδου έγκειται στη σκόπευση του ίδιου ακριβώς σημείου και από τα δύο όργανα. Αυτό επιτυγχάνεται με φωτεινούς οδηγούς ορατού laser ή με ειδικές σημάνσεις αν τα σημεία είναι προσβάσιμα.

Σήμερα η χρήση των reflectorless γεωδαιτικών σταθμών δίνει τη δυνατότητα να μετράται και το μήκος προς το σκοπευόμενο σημείο. Έτσι σχηματίζεται ένα σύστημα εξισώσεων με μετρημένα τα μήκη και οριζόντιες και ζενίθιες γωνίες από 2 γνωστά σημεία (6 παρατηρήσεις) και άγνωστους τις συντεταγμένες (x, y, z) του σημείου (3 άγνωστοι). Η διαδικασία αυτή πιθανόν να αυξήσει την ακρίβεια της μεθόδου. Το πρόβλημα έγκειται πλέον στον υπολογισμό των καλύτερων τιμών των συντεταγμένων και λύνεται με τη βοήθεια της M.E.T.

Όταν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατόν να προστεθούν παρατηρήσεις αυξάνοντας τους γεωδαιτικούς σταθμούς που μετρούν προς το άγνωστο σημείο.

Η μεγάλη ακρίβεια που απαιτείται σε μετρήσεις βιομηχανικής γεωδαισίας, παραδοσιακά επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας στο χώρο. Με θεοδόλιχα ακριβείας (απόδοσης $1''$) και ειδικές μεθόδους μέτρησης, η ακρίβεια των τελικών συντεταγμένων μπορεί να είναι καλύτερη του ± 0.5 mm. Η διαδικασία είναι επίπονη και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και οποιοδήποτε σφάλμα μπορεί να αποδειχθεί καθοριστικό για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας.

Προκειμένου να διαπιστωθεί η ακρίβεια των τελικών συντεταγμένων που προκύπτουν με τη συγκεκριμένη μέθοδο μελετήθηκαν διαφορετικά σενάρια.

Έτσι μελετήθηκε η επίδραση που έχει στις τελικές συντεταγμένες η απόσταση μεταξύ των δύο στάσεων, η θέση του σκοπευόμενου σημείου ως προς τις δύο στάσεις αλλά και η ακρίβεια μέτρησης των γωνιών και η ακρίβεια των συντεταγμένων της μίας εκ των δύο στάσεων (θεωρώντας την άλλη σταθερή και χωρίς σφάλμα).

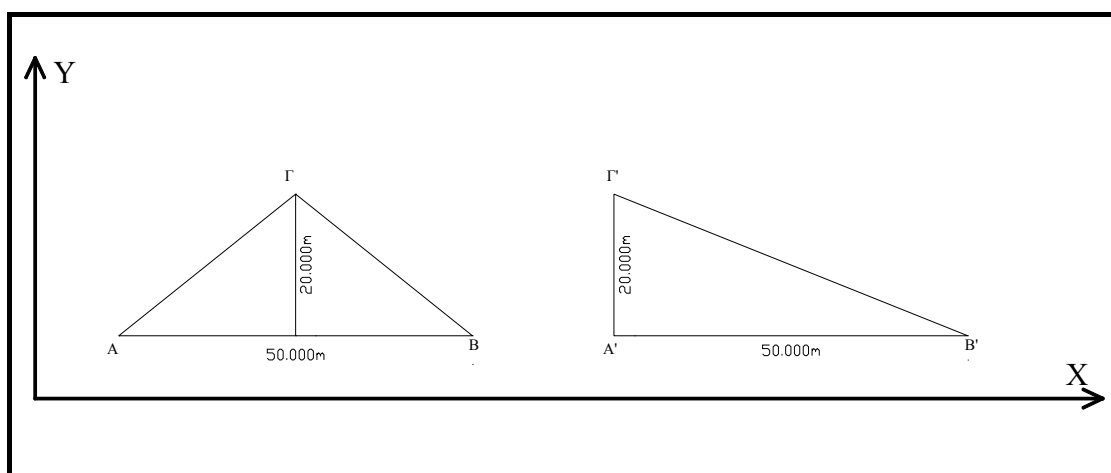
Έτσι η μοντελοποίηση του συστήματος έγινε ως εξής:

- Σε ότι αφορά στην απόσταση μεταξύ των δύο στάσεων μελετήθηκαν αποστάσεις από 1 m έως 50 m.
- Διερευνήθηκαν δύο διαφορετικές περιπτώσεις σκοπευόμενου σημείου, θεωρώντας α) ότι το σημείο βρίσκεται στη μεσοκάθετο του άξονα των δύο στάσεων και β) ότι το σημείο

και οι δύο στάσεις σχηματίζουν ορθογώνιο τρίγωνο. Σε κάθε περίπτωση διατηρήθηκε σταθερή και ίση με 20 m η απόσταση του σημείου από τον άξονα.

- Διακρίνονται δύο διαφορετικές περιπτώσεις στην ακρίβεια των γωνιών: α) οι γωνίες λαμβάνονται ψηφιακά με ακρίβεια 3 δεκαδικών, οπότε κατά τη στρογγυλοποίηση η μέγιστη απόκλιση είναι $\pm 5^{\text{cc}}$, β) κάθε γωνία έχει σφάλμα $\pm 20^{\text{cc}}$, σε σχέση με την πραγματική της τιμή.
- Τέλος οι συντεταγμένες του τελικού σημείου προσδιορίζονται θεωρώντας ότι α) οι δύο στάσεις δεν έχουν σφάλμα στον προσδιορισμό των συντεταγμένων τους και β) η δεύτερη στάση έχει σφάλμα ± 1 mm, στον προσδιορισμό συντεταγμένων της.

Έτσι για τις διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των δύο στάσεων προσδιορίστηκαν ψηφιακά οι σχηματιζόμενες γωνίες και από τις σχέσεις 2.20 και 2.21 οι συντεταγμένες του ζητούμενου σημείου (σχήμα 2.13).



Σχήμα 2.13. Δύο περιπτώσεις της θέσης του ζητούμενου σημείου για απόσταση 50 m μεταξύ των δύο στάσεων

Από τη διαδικασία της διερεύνησης προκύπτουν τα εξής:

α) Εάν θεωρηθεί ότι το ζητούμενο σημείο σκοπεύεται με πολύ μεγάλη ακρίβεια (καλύτερη των $\pm 5^{\text{cc}}$) και από τα δύο όργανα και οι συντεταγμένες των αρχικών σημείων δεν έχουν σφάλμα, οι τελικές συντεταγμένες προκύπτουν χωρίς σφάλμα κατά X και με σφάλμα μικρότερο του ± 0.5 mm κατά Y.

β) Έχοντας σφάλμα σκόπευσης $\pm 20^{\text{cc}}$, σε κάθε γωνία σκόπευσης, ακόμα και αν οι συντεταγμένες των αρχικών σημείων θεωρηθούν χωρίς

σφάλμα, η ακρίβεια των τελικών συντεταγμένων ελαττώνεται, όσο μικραίνει η απόσταση μεταξύ των αρχικών σημείων και μπορεί να φθάσει και τα ± 5 mm κατά Y , όταν αυτή γίνεται 5 m.

γ) Η ακρίβεια των τελικών συντεταγμένων επηρεάζεται σημαντικά όταν οι συντεταγμένες ενός εκ των δύο σημείων είναι γνωστές με αβεβαιότητα ακόμα και με ± 1 mm, ακόμα και στην περίπτωση που οι σκοπεύσεις των γωνιών είναι ιδανικές. Μπορεί δε να φτάσει και το ± 1 cm όταν η βάση γίνεται πολύ μικρή. Και σε αυτή την περίπτωση η ακρίβεια βελτιώνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των δύο γνωστών σημείων.

δ) Μεταξύ των δύο διαφορετικών διατάξεων που μελετήθηκαν (ορθογώνιο τρίγωνο και ισοσκελές τρίγωνο) μεταξύ των δύο γνωστών και του αγνώστου σημείου δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στον προσδιορισμό των τελικών συντεταγμένων. Στις περισσότερες περιπτώσεις μάλιστα οι διαφορές είναι καλύτερες του ± 1 mm.

Στον πίνακα 2.4 απεικονίζονται οι διαφορές που παρατηρήθηκαν τόσο κατά X , όσο και κατά Y για τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν, όταν το σημείο βρίσκεται στη μεσοκάθετο. Το γεγονός ότι το σφάλμα κατά X είναι πολύ μικρό ή ακόμα και μηδέν οφείλεται στη γεωμετρία του τριγώνου καθώς τα δύο γνωστά σημεία λήφθηκαν παράλληλα στον άξονα X .

Στη στήλη 1 φαίνεται η διαφορά στις συντεταγμένες όταν τα αρχικά σημεία δεν έχουν σφάλμα και οι δύο γωνίες σκοπεύονται με μεγάλη ακρίβεια ($\pm 5''$).

Στη στήλη 2 είναι η αντίστοιχη διαφορά με σφάλμα σκόπευσης ($\pm 20''$) στις δύο γωνίες και τα γνωστά σημεία χωρίς σφάλμα.

Η στήλη 3 δείχνει τη διαφορά όταν οι συντεταγμένες του ενός σημείου έχουν σφάλμα ± 1 mm, αλλά οι γωνίες σκοπεύονται με μεγάλη ακρίβεια.

Τέλος, στη στήλη 4 απεικονίζεται η διαφορά των τελικών συντεταγμένων, θεωρώντας σφάλμα τόσο στις δύο γωνίες ($\pm 20''$), όσο και στις συντεταγμένες των δύο γνωστών σημείων (± 1 mm).

Όπως προαναφέρθηκε αντίστοιχες ήταν και οι διαφορές για την περίπτωση του ορθογωνίου τριγώνου.

Βάση (m)	1		2		3		4	
	ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔX (mm)	ΔY (mm)
1	0.0	2.7	0.0	27.9	20.5	23.2	20.5	48.5
5	0.0	-0.8	0.0	4.3	4.5	3.7	4.5	8.8
10	0.0	-0.2	0.0	2.4	2.5	2.3	2.5	4.9
15	0.0	0.0	0.0	2.0	1.8	1.9	1.8	3.8
20	0.0	-0.2	0.0	1.4	1.5	1.3	1.5	2.9
25	0.0	-0.3	0.0	1.1	1.3	1.0	1.3	2.4
30	0.0	-0.3	0.0	1.0	1.2	0.9	1.2	2.2
35	0.0	0.1	0.0	1.4	1.1	1.2	1.1	2.4
40	0.0	0.0	0.0	1.3	1.0	1.0	1.0	2.3
45	0.0	-0.3	0.0	1.0	0.9	0.6	0.9	1.9
50	0.0	-0.2	0.0	1.1	0.9	0.7	0.9	2.0

Πίνακας 2.4. Διαφορά τελικών συντεταγμένων στην περίπτωση της διάταξης ισοσκελούς τριγώνου με ύψος 20 m

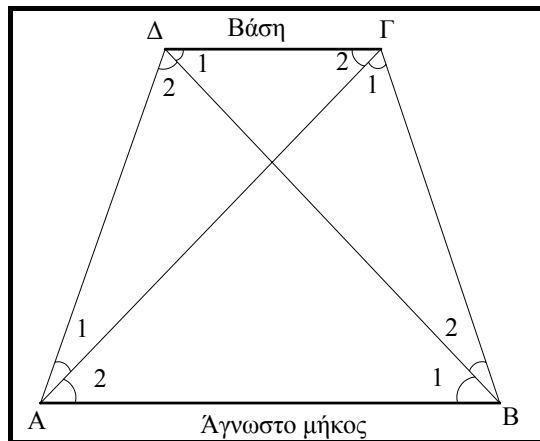
2.3.2.1 Προσδιορισμός μήκους με χρήση δίμετρης βάσης

Για τον προσδιορισμό συντεταγμένων στο χώρο με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας, είναι απαραίτητες οι συντεταγμένες των σημείων από τις οποίες πραγματοποιούνται οι μετρήσεις.

Σε εφαρμογές Βιομηχανικής γεωδαισίας (π.χ. έλεγχος βιομηχανικών προϊόντων, έλεγχος μεταλλικών κατασκευών) ο προσδιορισμός των ζητούμενων σημείων συχνά πρέπει να γίνεται με ακρίβεια καλύτερη του ± 1 mm. Για να επιτευχθεί αυτή η ακρίβεια, οι συντεταγμένες των γνωστών σημείων θα πρέπει να γίνεται με ακρίβεια τουλάχιστον μια τάξη μεγαλύτερη από τη ζητούμενη.

Έτσι το πρόβλημα ανάγεται στον προσδιορισμό της απόστασης μεταξύ των σημείων από τις οποίες πραγματοποιούνται οι μετρήσεις. Το πρόβλημα που παρουσιαζόταν μέχρι πρόσφατα ήταν η μειωμένη ακρίβεια που παρουσίαζαν οι γεωδαιτικοί σταθμοί στις μετρήσεις μηκών, καθώς αυτή δε μπορούσε να είναι καλύτερη από ± 2 mm. Έτσι ο προσδιορισμός της απόστασης γινόταν έμμεσα με τη μέθοδο Hansen και χρησιμοποιώντας βάση βιομηχανικής γεωδαισίας. Η μέθοδος αν εφαρμοσθεί σωστά μπορεί να δώσει ακρίβεια στον προσδιορισμό του μήκους καλύτερη από ± 1 mm. Περιορισμός στη διαδικασία προσδιορισμού μήκους με χρήση της βάσης είναι η καλή γεωμετρία του δικτύου.

Η μέθοδος βασίζεται μόνο στη μέτρηση γωνιών προς τα άκρα της βάσης (σε κάθε άκρο της οποίας βρίσκεται ένας στόχος) και τις άλλες κορυφές του δικτύου και η γεωμετρική της παράσταση δίνεται στο σχήμα 2.14. Μετρώνται οι γωνίες A_1, A_2, B_1 και B_2 , ενώ το μήκος της βάσης είναι γνωστό με ακρίβεια $\pm 10^{-6}$ m. Το ζητούμενο μήκος προκύπτει με εφαρμογή νόμων ημιτόνων και συνημιτόνων στα δημιουργούμενα τρίγωνα. [Μπαλοδήμος, κ.α., 2005]



Σχήμα 2.14. Γεωμετρική παράσταση της μεθόδου της δίμετρης βάσης

Η ακρίβεια της επίλυσης εξαρτάται από την ακρίβεια των οργάνων στις μετρήσεις γωνιών, τη σωστή σκόπευση των στόχων, την απόσταση μεταξύ των κορυφών του δικτύου, την απόσταση τοποθέτησης της βάσης από τις κορυφές και γενικότερα από την καλή γεωμετρία της διάταξης.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η τελική ακρίβεια προσδιορισμού του μήκους μεταξύ δύο στάσεων, πραγματοποιήθηκε σφαλματική ανάλυση της μεθόδου.

Συγκεκριμένα υπολογίσθηκε το τυπικό σφάλμα προσδιορισμού της απόστασης μεταξύ δύο στάσεων θεωρώντας πως η δίμετρη βάση είναι τοποθετημένη στη μεσοκάθετο των δύο στάσεων και παράλληλα με αυτές. Ο έλεγχος έγινε για διαφορετικές αποστάσεις της βάσης από τον άξονα των δύο στάσεων, θεωρώντας σταθερή την μεταξύ τους απόσταση στα 30 m και όργανο απόδοσης 1''. Σε κάθε περίπτωση ο προσδιορισμός της απόστασης των δύο στάσεων, δε θα μπορεί να γίνει καλύτερα από ± 2 mm.

Η συγκεκριμένη ακρίβεια είναι χειρότερη από την ακρίβεια που μπορούν να επιτύχουν οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί στις μετρήσεις με πρίσμα, έτσι εάν δεν είναι δυνατή η πύκνωση του δικτύου, ώστε οι στάσεις να βρίσκονται σε κοντινότερες αποστάσεις προτείνεται ο προσδιορισμός της απόστασης να γίνεται άμεσα με χρήση γεωδαιτικού σταθμού ακριβείας.

2.3.3 Προσδιορισμός θέσης με συστήματα G.N.S.S.

Τα Παγκόσμια Συστήματα Δορυφορικού Εντοπισμού (Global Navigation Satellite Systems – G.N.S.S.) αποτελούν το νεώτερο σύστημα εντοπισμού θέσης σημείων σε τρεις διαστάσεις. Η επιτυχία του αμερικάνικου συστήματος GPS (Global Positioning System) εδώ και αρκετά χρόνια, οδήγησε στην εφαρμογή του Ρωσικού δορυφορικού συστήματος εντοπισμού Glonass και στην ανάπτυξη του αντίστοιχου Ευρωπαϊκού, Galileo, το οποίο αναμένεται να τεθεί σύντομα σε λειτουργία.

Παρά του ότι οι μέθοδοι προσδιορισμού συντεταγμένων ποικίλουν, βασική αρχή του συστήματος αποτελεί η παρατήρηση από δύο γεωδαιτικούς δέκτες κοινών τεχνητών δορυφόρων για ορισμένο χρονικό διάστημα.

Το ένα σημείο είναι σταθερό και γνωστών συντεταγμένων (X_0, Y_0, Z_0) και για κάθε άγνωστο σημείο υπολογίζεται το διάνυσμα θέσης στο χώρο $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$, από το γνωστό προς αυτό. Έτσι η θέση του στο χώρο προσδιορίζεται από τη σχέση – διάνυσμα:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Με κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων των δεκτών προκύπτουν οι συντεταγμένες του σημείου (X, Y, Z) στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς WGS '84 και από αυτές οι γεωδαιτικές του συντεταγμένες (φ, λ, h) και οι καρτεσιανές σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα αναφοράς.

Τα υψόμετρα που προκύπτουν είναι γεωμετρικά, έτσι δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τρέχουσες γεωδαιτικές εργασίες. Τα υψόμετρα μπορούν να μετατραπούν σε ορθομετρικά, αν είναι γνωστή η αποχή, N , του γεωειδούς στα άγνωστα σημεία.

Οι ακρίβειες κυμαίνονται από λίγα mm έως μερικά cm, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Σε κάθε περίπτωση η ακρίβεια προσδιορισμού της οριζοντιογραφικής θέσης ενός σημείου είναι καλύτερη από την αντίστοιχη υψομετρική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 Ιστορικά στοιχεία

Το στάδιο Γεώργιος Καραϊσκάκης κατασκευάστηκε το 1895, ως ποδηλατοδρόμιο προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στους Ολυμπιακούς Αγώνες του 1896. Παραχωρήθηκε ως δωρεά στην Επιτροπή Ολυμπιακών Αγώνων από εταιρεία σιδηρόδρομων (ιδιοκτήτης του οικοπέδου).

Το ποδηλατοδρόμιο άρχισε να χρησιμοποιείται και ως ποδοσφαιρικό γήπεδο τη δεκαετία του 1920, όπου μετά από 40 έτη, το 1960 δηλαδή, ανακαινίστηκε πλήρως και μεταμορφώθηκε σε στάδιο, με την δημιουργία του στίβου (Φωτ. 3.1). Από τότε άλλαξε και η ονομασία του, σε «Στάδιο Γ. Καραϊσκάκης».



Φωτογραφία 3.1. Στάδιο « Γ. Καραϊσκάκης »

Η χωρητικότητα του σταδίου ήταν 31.032 θέσεις και σε αυτό διεξήχθησαν αγώνες της Εθνικής ΕΛΛΑΔΟΣ, Πανευρωπαϊκό Πρωτάθλημα Στίβου, τελικοί του Κυπέλλου Κυπελλούχων Ευρώπης, αλλά και η ιστορία του ποδοσφαιρικού συλλόγου της Π.Α.Ε ΟΛΥΜΠΙΑΚΟΥ γράφεται ως σήμερα στο Γ. Καραϊσκάκης.

Την Κυριακή 8 Φεβρουάριου 1981, καταγράφηκε στην ιστορία του γηπέδου και της Π.Α.Ε Ολυμπιακός γενικότερα, μια μεγάλη τραγωδία. Φίλαθλοι της θύρας 7 του σταδίου ήθελαν να αποθεώσουν την ομάδα του Ολυμπιακού μετά την θριαμβευτική νίκη με 6-0 στον αγώνα με την ομάδα της Π.Α.Ε ΑΕΚ για το Πρωτάθλημα Ελλάδος, και άρχισαν να

αποχωρούν γρήγορα από τις κερκίδες. Η θύρα 7 όμως του σταδίου ήταν κλειστή, και ο κόσμος κατέβαινε κατά δεκάδες, χωρίς δυστυχώς να έχει τη δυνατότητα να αντιληφθεί τι συνέβαινε παρακάτω, λόγω της διάταξης της σκάλας. Ένας φίλαθλος γλίστρησε με αποτέλεσμα να ποδοπατηθούν αρκετοί άλλοι. Ο θλιβερός απολογισμός ήταν δεκάδες τραυματίες και 21 νεκροί.

[http://www.karaiskaki.gr/history_gr.asp]

3.2 Η σύγχρονη κατασκευή του γηπέδου

Στις αρχές του 2003, και αφού το στάδιο «Γ. Καραϊσκάκης» βρισκόταν σε αχρηστία λόγω ακαταλληλότητας από το 1998, η ΓΓΑ με τον νόμο 3130/03 πήρε τη χρήση και λειτουργία του σταδίου από την Ελληνική Ολυμπιακή Επιτροπή (Ε.Ο.Ε.) για 50 χρόνια και με τον ίδιο νόμο το εκχώρησε στην Π.Α.Ε Ολυμπιακός για 49 χρόνια, με την υποχρέωση το σωματείο να κατεδαφίσει το παλαιό στάδιο και να κατασκευάσει με δικά του έξοδα ένα καινούργιο γήπεδο ποδοσφαίρου χωρητικότητας 30.000-35.000 θεατών με προδιαγραφές FIFA-UEFA. Η συνολική επένδυση ανήλθε περίπου σε 50 εκ. €.

Λόγω της ύπαρξης μαλακών στρώσεων σε ορισμένο βάθος, οι οποίες μπορεί να παρουσιάσουν καθιζήσεις τόσο σε στατικές συνθήκες (λόγω της υποστερεοποίησης) όσο και σε συνθήκες σεισμού (λόγω της διατμητικής συνίχισης), η θεμελίωση των κατακόρυφων στοιχείων του σταδίου πραγματοποιήθηκε με πάσσαλους οπλισμένου σκυροδέματος, μέσω εσχάρας συνδετήριων δοκών –κεφαλόδεσμων.

Οι πλάκες δαπέδου του ισογείου για τους παραπάνω λόγους και για να αποφευχθούν πιθανές αστοχίες που θα προέρχονται από την εκδήλωση καθιζήσεων προβλέπονται φέρουσες και στηρίζονται στην εσχάρα των συνδετήριων δοκών - κεφαλοδέσμων.

Οι πάσσαλοι διέρχονται από τις επιφανειακές αμμώδεις στρώσεις και τις υποκείμενες μαλακές αργιλικές στρώσεις και εδράζονται στο υποκείμενο βραχώδες υπόβαθρο.

Το μήκος διείδυσης των πασσάλων στο βραχώδες υπόβαθρο υπολογίσθηκε ώστε να παραλαμβάνονται με ασφάλεια τα αναπτυσσόμενα κατακόρυφα φορτία. Συγκεκριμένα εγκαταστήθηκαν 780 πάσσαλοι, διαμέτρου 1.20m και σε μέσο βάθος 28m.

Ο φέροντας οργανισμός της ανωδομής των κτιρίων αποτελείται γενικώς από χωρικά πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος. Οι πλάκες των κτιρίων είναι γενικώς συμπαγείς, πάχους 23cm, είτε μορφής sandwich πάχους 35cm.

Οι διαστάσεις των δοκών καθορίστηκαν με βάση απαιτήσεις αντοχής, οικονομικότητας και λειτουργικότητας. Καθοριστικό στοιχείο της επιλογής του ύψους των δοκών ήταν η εξασφάλιση πλαισιακής λειτουργίας.

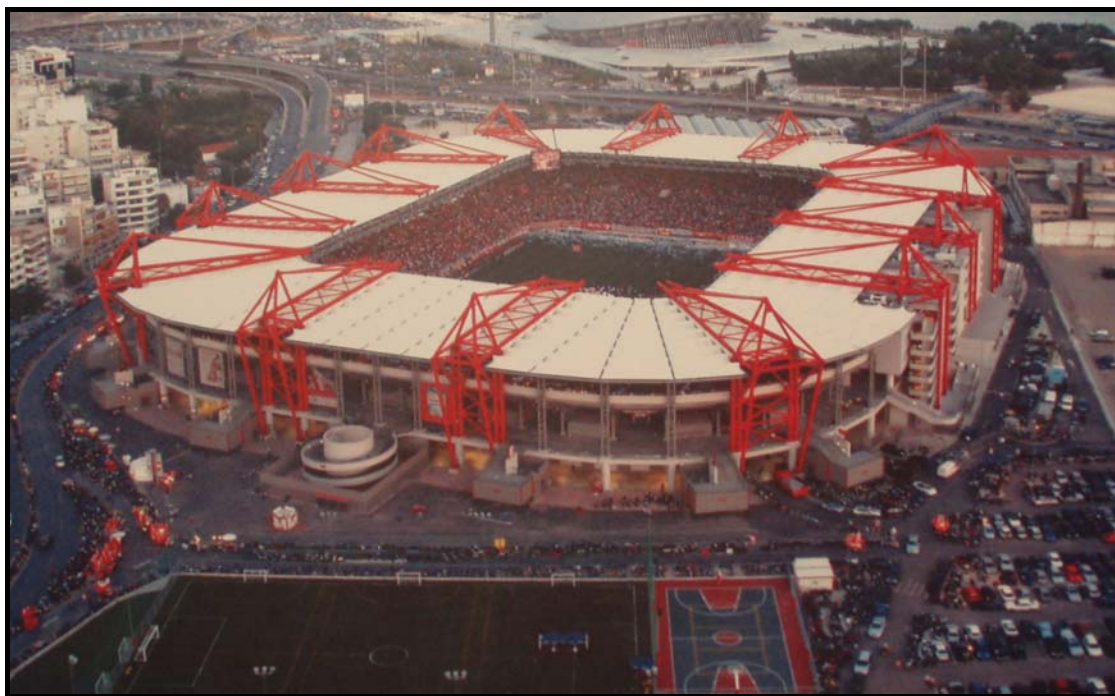
Τόσο τα κατακόρυφα όσο και τα οριζόντια φορτία παραλαμβάνονται από σύστημα τοιχίων συζευγμένων με πλαίσια στο χώρο, ενώ τα υποστυλώματα των κτιρίων είναι εν γένει κυκλικής και ορθογωνικής διατομής.

Ο φέρων οργανισμός των κερκίδων (κερκιδοφόροι) από τη στάθμη +6.35m και ψηλότερα, είναι μεταλλικός και αποτελείται από πλαίσια τοποθετημένα ακτινικά, ένα ανά τυπικό κάρναβο.

Οι κερκιδοφόροι αποτελούνται από κεκλιμένα χαλύβδινα στοιχεία κιβωτοειδούς διατομής μεταβλητού ύψους, τα οποία εδράζονται:

- στο ένα άκρο τους στη στάθμη +6.35m στους φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- στο άλλο άκρο τους σε δίδυμα σωληνωτά υποστυλώματα κυκλικής διατομής, τα οποία φέρουν και τις δευτερεύουσες δοκούς της στέγης και ενδιάμεσα σε επίσης χαλύβδινα υποστυλώματα σωληνωτής κυκλικής διατομής.

Στη φωτογραφία 3.2 παρουσιάζεται μια άποψη του γηπέδου Γ. Καραϊσκάκης όπως είναι σήμερα, και στο οποίο πανηγύρισαν οι φίλαθλοι του Ολυμπιακού την κατάκτηση του 34ου Πρωταθλήματος Ελλάδας (2006).



Φωτογραφία 3.2. Γήπεδο « Γ. ΚΑΡΑΪΣΚΑΚΗΣ »

3.3 Το υψομετρικό δίκτυο του γηπέδου Καραϊσκάκη

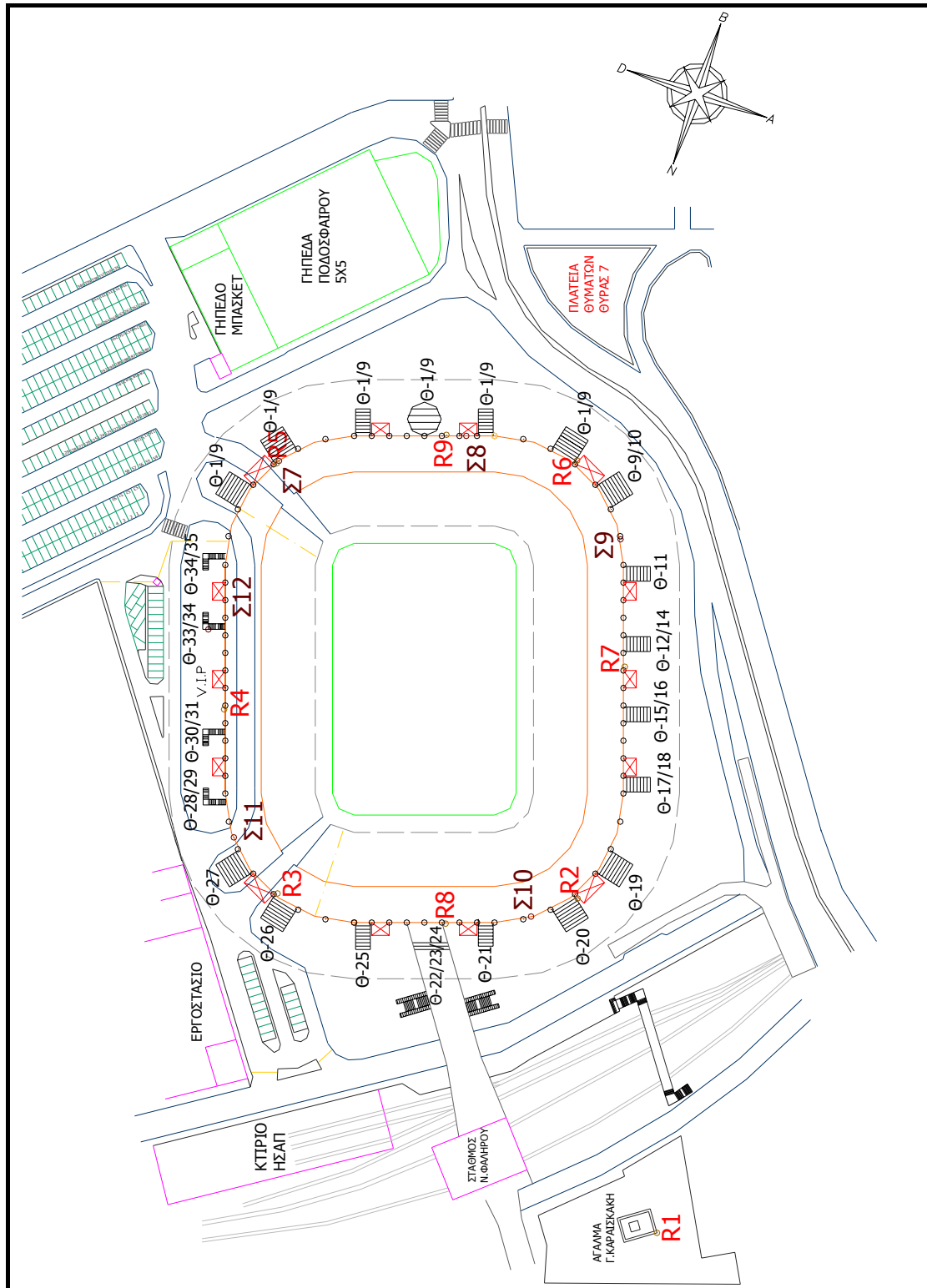
Η σημαντικότητα της κατασκευής, η θέση της και η χρήση της απαιτούν μέγιστη ασφάλεια. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε σκόπιμη η ίδρυση δικτύων παρακολούθησης των μετακινήσεων ή παραμορφώσεων του γηπέδου και στις 3 διαστάσεις [Μπισμπιλής Κ. 2007].

Το υψομετρικό δίκτυο του γηπέδου Καραϊσκάκη αποτελείται από 7 (επτά) υψομετρικές αφετηρίες (R1 – R7), οι οποίες βρίσκονται στα υποστυλώματα του γηπέδου και 2 (δύο) υψομετρικές αφετηρίες (R8, R9) στο πρώτο διάζωμα του γηπέδου.

Το τρισδιάστατο δίκτυο αποτελείται 6 (έξι) κορυφές (Σ1 – Σ6) τοποθετημένες περιμετρικά του γηπέδου και από 6 (έξι) ειδικούς στόχους (Σ7 – Σ12), τοποθετημένους εξωτερικά στο δεύτερο διάζωμα του γηπέδου.

Κρίθηκε ενδιαφέρον να γίνει σύνδεση των σημείων του υψομετρικού δικτύου με τα απρόσιτα σημεία του τρισδιάστατου δικτύου με τη μέθοδο της ΤΡΥΑ, προκειμένου να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα τη μεθόδου σε σχέση με τις μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους και να διερευνηθεί η ακρίβεια της σε μια τέτοια εφαρμογή.

Οι θέσεις που είναι τοποθετημένες οι υψομετρικές αφετηρίες και οι ειδικοί στόχοι παρουσιάζονται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Σκαρίφημα της θέσης των κορυφών του υψομετρικού δικτύου ελέγχου

3.4 Βελτιστοποίηση του υψομετρικού δικτύου

Ο σωστός σχεδιασμός αποτελεί βασική προϋπόθεση και σημαντικό παράγοντα σε κάθε περίπτωση εξωτερικών μετρήσεων, πολύ περισσότερο δε για μετρήσεις δικτύων. Στην περίπτωση μέτρησης του υψομετρικού δικτύου, η βελτιστοποίησή του, προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες, όπως το αναμενόμενο τυπικό σφάλμα, τον βέλτιστο αριθμό των συνδέσεων που πρέπει να πραγματοποιηθούν και μεταξύ ποιών κορυφών θα γίνουν αυτές, καθώς και μια εκτίμηση για το χρόνο και το κόστος που θα απαιτηθεί για την ολοκλήρωση των μετρήσεων.

Από τις 15 συνολικά κορυφές του δικτύου, κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης (αλλά και της επίλυσης αργότερα) θεωρήθηκε σταθερή η κορυφή R1, καθώς βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το χώρο του γηπέδου και συνεπώς θεωρείται σταθερή σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία ελέγχου (Φωτ. 3.3). Το υψόμετρο του σημείου είναι ίσο με 2.680m από την μ.σ.θ (μέση στάθμη θάλασσας) και έχει προκύψει από την επίλυση των υψομετρικών δικτύων με σταθερό το $R_{\text{Μυρτιδιώτισσα}}$ του ΥΠΕΧΩΔΕ. [Μπισμπιλής Κ. 2007]



Φωτογραφία 3.3. Υψομετρική αφετηρία τοποθετημένη στο μνημείο του Γ. Καραϊσκάκη (R1)

Για τη βελτιστοποίηση του δικτύου συντάχθηκε αλγόριθμος σε περιβάλλον MatLab, ο οποίος υπολογίζει το a priori τυπικό σφάλμα του δικτύου.

Δημιουργήθηκαν συνολικά 33 διαφορετικά σενάρια για τις απαιτούμενες υψομετρικές συνδέσεις του δικτύου. Τα σενάρια διαφοροποιούνται τόσο κατά τον συνολικό αριθμό συνδέσεων (15 έως 25 συνδέσεις), όσο και κατά το ποιες αφετηρίες συνδέονται κάθε φορά, αλλά και ως προς την ακρίβεια των οργάνων που χρησιμοποιούνται.

Μετά από επίσκεψη - αναγνώριση στο χώρο του γηπέδου εκτιμήθηκε ο αριθμός των στάσεων που απαιτούνται για κάθε υψομετρική σύνδεση. Σημειώνεται σε αυτό το σημείο πως κάθε κορυφή του δικτύου πρέπει να συνδέεται τουλάχιστον με άλλες δύο κορυφές, ενώ η σύνδεση με τρεις κορυφές θεωρείται ότι επιτυγχάνει την απαιτούμενη ακρίβεια και οι επιπλέον μετρήσεις δεν την αυξάνουν σημαντικά.

Ποσοτικά αυτό παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα συσχέτισης του μέσου τετραγωνικού σφάλματος με τον αριθμό των συνδέσεων (σχήμα 3.2), αλλά και από τον αντίστοιχο πίνακα που απεικονίζει τα σφάλματα, ανά αριθμό συνδέσεων και ανά τύπο οργάνου (πίνακας 3.1). Όπως φαίνεται (και όπως είναι αναμενόμενο άλλωστε) το σφάλμα είναι αντιστρόφως ανάλογο του αριθμού των συνδέσεων και ελαττώνεται όσο ο αριθμός αυτός μεγαλώνει. Πάραυτα όσο αυξάνονται οι μετρήσεις το σφάλμα τείνει να σταθεροποιείται και οποιαδήποτε περαιτέρω μείωση του σφάλματος θεωρείται αμελητέα. Συνεπώς οι πέραν αυτού του σημείου μετρήσεις επιβαρύνουν σε χρόνο και κόστος την εργασία, χωρίς να έχουν σημαντική επίδραση στην ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος.

Επιπλέον στο διάγραμμα απεικονίζεται και η παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης του σφάλματος (προς τα κάτω ή προς τα πάνω), ανάλογα με την ακρίβεια του οργάνου που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Τα 3 διαφορετικά όργανα που διερευνήθηκαν κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης είχαν ακρίβειες:

- ± 3 mm ακρίβεια μέτρησης μηκών – $\pm 15^{\text{cc}}$ ακρίβεια μέτρησης γωνιών
- ± 3 mm ακρίβεια μέτρησης μηκών – $\pm 10^{\text{cc}}$ ακρίβεια μέτρησης γωνιών
- ± 3 mm ακρίβεια μέτρησης μηκών – $\pm 3^{\text{cc}}$ ακρίβεια μέτρησης γωνιών

Το τρίτο όργανο όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1 και στο σχήμα 3.2 δίνει αποτελέσματα κατά πολύ καλύτερα από τα άλλα δύο όργανα, αλλά η χρήση του κρίνεται αντιοικονομική και ανώφελη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, όπου ζητούμενο είναι η αξιολόγηση και η ανάδειξη των δυνατοτήτων της μεθόδου της ΤΡΥΑ.

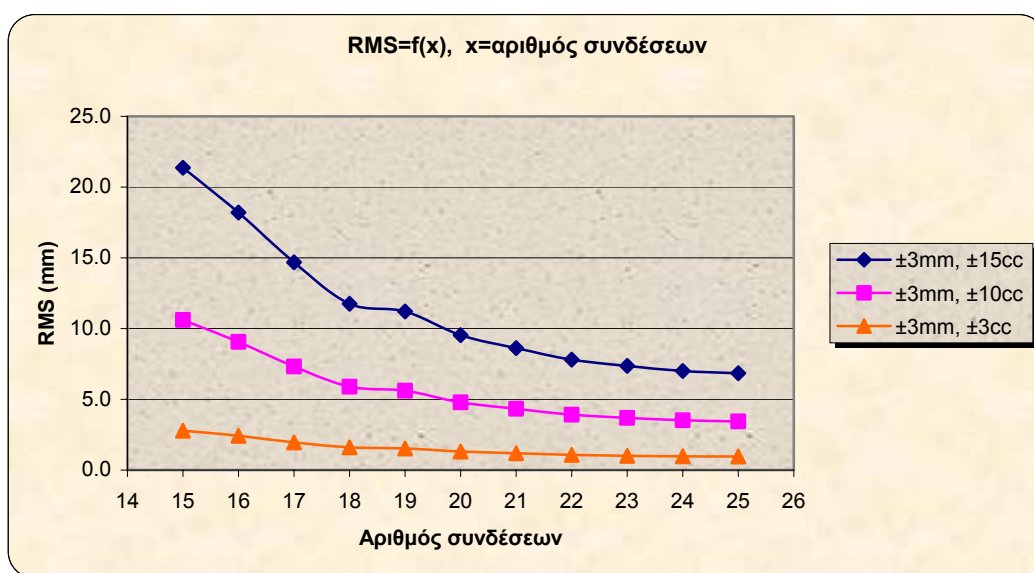
Τα αποτελέσματα της διερεύνησης δείχνουν ότι η ακρίβεια που δίνει η χρήση ενός τέτοιου γεωδαιτικού σταθμού καθιστά τη μέθοδο κατάλληλη για έλεγχο μικρομετακινήσεων κατασκευών. Από τα υπόλοιπα δύο

όργανα καθόσον έχουν την ίδια ακρίβεια στις μετρήσεις μηκών, προτιμήθηκε αυτό με τη μικρότερη γωνιομετρική ακρίβεια ($\pm 10^{\text{cc}}$).

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις είναι το GPT 3003LN της εταιρείας TOPCON.

	Όργανο Α	Όργανο Β	Όργανο Γ
Σφάλμα μηκών (mm)	± 3	± 3	± 3
Σφάλμα γωνιών (cc)	± 15	± 10	± 3
Αριθμός Συνδέσεων	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) σε mm		
15	± 21.4	± 10.6	± 2.8
16	± 18.2	± 9.1	± 2.4
17	± 14.7	± 7.3	± 2.0
18	± 11.8	± 5.9	± 1.6
19	± 11.2	± 5.6	± 1.5
20	± 9.5	± 4.8	± 1.3
21	± 8.6	± 4.3	± 1.2
22	± 7.8	± 3.9	± 1.1
23	± 7.4	± 3.7	± 1.0
24	± 7.0	± 3.5	± 1.0
25	± 6.8	± 3.4	± 1.0

Πίνακας 3.1. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα συναρτήσει του αριθμού των συνδέσεων και της ακρίβειας του οργάνου

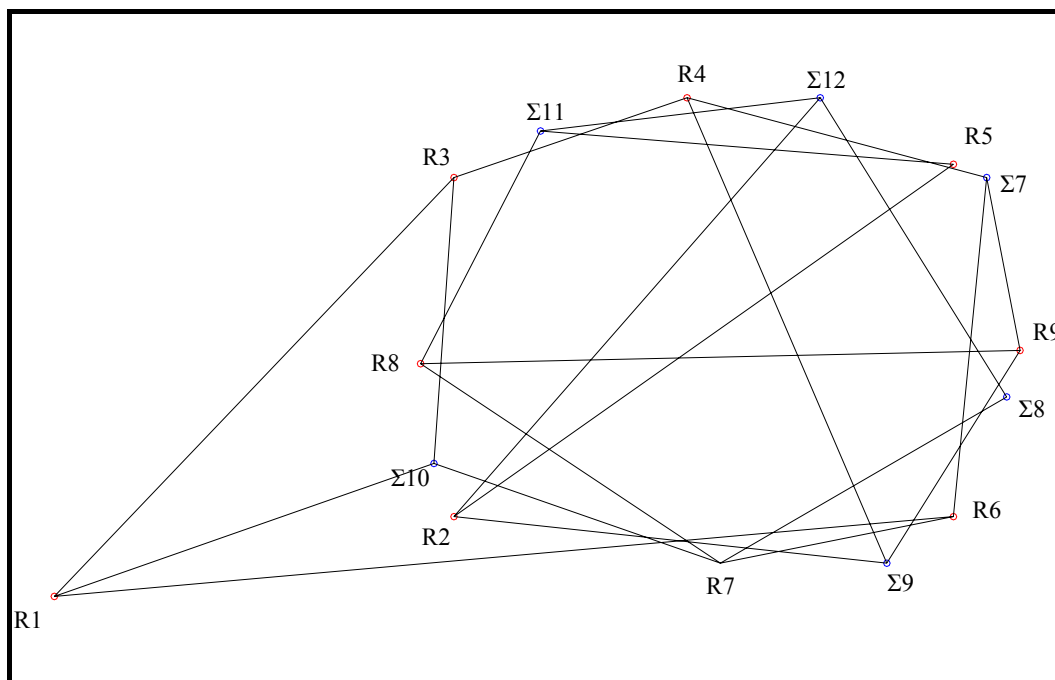


Σχήμα 3.2. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα συναρτήσει του αριθμού των συνδέσεων και της ακρίβειας του οργάνου

Η καμπύλη του μέσου τετραγωνικού σφάλματος τείνει να σταθεροποιηθεί μετά τις 22 συνδέσεις (στον πίνακα 3.1 φαίνεται πως αν προστεθεί μια επιπλέον υψομετρική σύνδεση το σφάλμα βελτιώνεται μόλις κατά 0.2 mm). Έτσι επιλέχθηκε να ακολουθηθεί το συγκεκριμένο σενάριο. Στον πίνακα 3.2 καταγράφονται οι συνδέσεις που θα πραγματοποιηθούν και ο πιθανός αριθμός στάσεων που θα απαιτηθεί για κάθε μια σύνδεση (ο αριθμός των στάσεων, χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του τυπικού σφάλματος κάθε υψομετρικής σύνδεσης), ενώ στο σχήμα 3.3 απεικονίζεται το σχήμα του υψομετρικού δικτύου.

α/α	Από	Προς	Εκτιμώμενος αριθμός στάσεων
1	R1	R3	3
2	R1	R6	4
3	R8	R9	2
4	R4	S9	4
5	R2	S12	4
6	R7	S10	3
7	R6	S7	3
8	S8	S12	3
9	R5	S11	3
10	R3	S10	3
11	R7	S8	4
12	R9	S9	3
13	R4	S7	4
14	R8	S11	4
15	R2	R5	5
16	R3	R4	3
17	R1	S10	2
18	R9	S7	2
19	R6	R7	3
20	R2	S9	3
21	S11	S12	3
22	R7	R8	3

Πίνακας 3.2. Οι συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν



Σχήμα 3.3. Το υψομετρικό δίκτυο στο γήπεδο Καραϊσκάκη

3.4.1 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης

Προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή η διαδικασία της βελτιστοποίησης περιγράφεται συνοπτικά ο αλγόριθμος ο οποίος την υλοποιεί:

Αρχικά ο αλγόριθμος ζητά από το χρήστη το αρχείο (μορφής ASCII) με τις μετρήσεις του δικτύου. Σε αυτό καταγράφονται η αφετηρία και το πέρας κάθε σύνδεσης καθώς και ο εκτιμώμενος αριθμός στάσεων που θα απαιτηθούν για την ολοκλήρωση αυτής. Επιπλέον εισάγεται και το αρχείο (μορφής ASCII επίσης) με το διάνυσμα των αγνώστων. Ο χρήστης επιλέγει την κορυφή που επιθυμεί ως σταθερή κατά τη συνόρθωση, το συνολικό αριθμό των κορυφών που θα συνορθωθούν και την ακρίβεια του οργάνου σε μήκη και γωνίες.

Ο αλγόριθμος υπολογίζει το τυπικό σφάλμα της μοναδιαίας μέτρησης, αλλά και το τυπικό σφάλμα για κάθε μια μέτρηση. Ο υπολογισμός των σφαλμάτων γίνεται με την εφαρμογή των σχέσεων (2.11 – 2.13). Για τον υπολογισμό του σφάλματος θεωρείται ότι η μέση απόσταση σκόπευσης αρχικού και τελικού σημείου είναι 15 m., ενώ η αντίστοιχη απόσταση κάθε ενδιάμεσης στάσης είναι 100 m.

Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο πίνακας A των συντελεστών των αγνώστων των εξισώσεων παρατήρησης και ο πίνακας βαρών P των παρατηρήσεων που σχηματίζεται με βάση τη σχέση:

$$P_i = \frac{\sigma_o^2}{\sigma_i^2} \quad (3.1)$$

όπου $\sigma_o = 1$ και σ_i το τυπικό σφάλμα της εκάστοτε μέτρησης.

Κατόπιν υπολογίζεται ο a priori πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας των ανεξάρτητων καθοριστικών παραμέτρων V_{apriori} με χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων, από τη σχέση:

$$V_{\text{Xapriori}} = \sigma_o^2 \cdot (A^T P A)^{-1} \quad (3.2)$$

και από αυτόν το ίχνος του, που αντιπροσωπεύει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του δικτύου, από τη σχέση:

$$\sigma_{\text{apriori}} = \sqrt{\frac{[V_{\text{Xapriori}}^2(i, i)]}{n}} \quad (3.3)$$

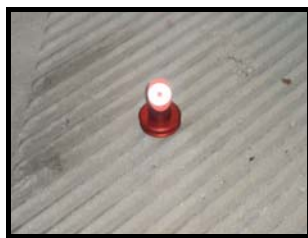
3.5 Μέτρηση του υψομετρικού δικτύου

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο γήπεδο Καραϊσκάκη, με τη μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας, όπως αυτή περιγράφηκε στην παράγραφο 2.2.1.

Συνολικά απαιτήθηκαν 6 ημέρες για την ολοκλήρωσή τους. Μετά τη συνόρθωση του υψομετρικού δικτύου 4 συνδέσεις παρουσίαζαν μεγάλο σφάλμα και επαναλήφθηκαν, έτσι απαιτήθηκε μια επιπλέον ημέρα.

Κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης είχε γίνει προεκτίμηση των απαιτούμενων ενδιάμεσων στάσεων για κάθε μία σύνδεση. Στις περισσότερες περιπτώσεις η εκτίμηση του αριθμού των στάσεων αποδείχθηκε ορθή. Σε ελάχιστες περιπτώσεις απαιτήθηκε μία επιπλέον στάση οργάνου για την ολοκλήρωση της σύνδεσης. Επίσης υπήρξαν περιπτώσεις που απαιτήθηκε μια στάση λιγότερη για την ολοκλήρωση της σύνδεσης. Δόθηκε προσοχή ώστε οι μετρήσεις σε μετάβαση και επιστροφή να πραγματοποιούνται σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρονικό διάστημα, ώστε αυτές να είναι ανεπηρέαστες ακόμα και από τη μεταβολή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης, k .

Για διευκόλυνση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί μαγνητικοί στόχοι βιομηχανικής γεωδαισίας (φωτ. 3.4), για τις σκοπεύσεις των κορυφών Σ7 – Σ12. Οι συγκεκριμένοι στόχοι λειτουργούν και ως ανακλαστήρες (σταθεράς 0 mm) και επιτρέπουν τη σκόπευση του σημείου κατά μοναδικό τρόπο, ακόμα και σε μικρές κατακόρυφες γωνίες.



Φωτογραφία 3.4. Μαγνητικός στόχος βιομηχανικής γεωδαισίας

Επιπλέον ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποτελείτο από:

- Το γεωδαιτικό σταθμό TOPCON GPT 3003LN
- 3 τρίποδες
- 3 τρικόγλια
- 2 στηλεουδάκια Wild
- 2 ανακλαστήρες

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι ο γεωδαιτικός σταθμός και τα 2 στηλεουδάκια που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από διαφορετικές κατασκευάστριες εταιρίες. Αυτό έχει ως συνέπεια να έχουν διαφορετικά ύψη. Συγκεκριμένα ο γεωδαιτικός σταθμός έχει ύψος 0.176 m (από τη βάση του τρικογλίου, μέχρι το μέσο του τηλεσκοπίου), ενώ τα στηλεουδάκια έχουν ύψος 0.196 m (από τη βάση του τρικογλίου, μέχρι το κέντρο του σταυρονήματος).

Στην περίπτωση που τα δύο αυτά ύψη είναι διαφορετικά, η διαφορά των δύο επιμέρους υψομετρικών διαφορών (σε μετάβαση και επιστροφή) είναι ίση με το διπλάσιο της διαφοράς μεταξύ του κατασκευαστικού ύψους του γεωδαιτικού σταθμού και του συστήματος στηλεουδάκι – ανακλαστήρας (στη συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή αυτή είναι 4 cm).

Κατά τον υπολογισμό της τελικής υψομετρικής διαφοράς, όμως, η οποία προκύπτει ως μέσος όρος των δύο τιμών μετάβασης και επιστροφής, η διαφορά αυτή εξαλείφεται.

Παρόλ' αυτά κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων γινόταν σχολαστικά έλεγχος των επιμέρους υψομετρικών διαφορών μεταξύ μετάβασης και επιστροφής για τον εντοπισμό πιθανών χονδροειδών σφαλμάτων.

Οι μετρήσεις παρατίθενται στο παράρτημα. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι υψομετρικές διαφορές με τα αντίστοιχα τυπικά τους σφάλματα, όπως προκύπτουν από τον υπολογισμό του σφάλματος για κάθε μετρημένη υψομετρική διαφορά (σχέση 2.9).

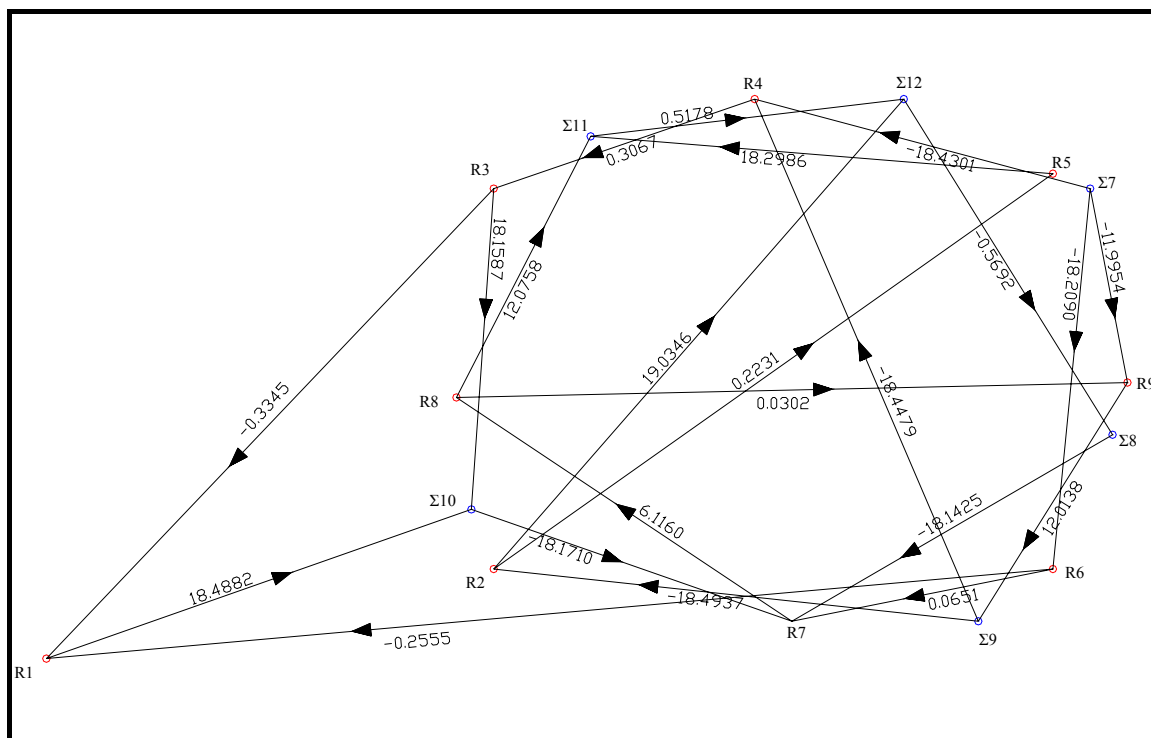
α/α	Από	Προς	στάσεις	ΔΗ (m)	σ _{ΔΗ} (mm)
1	R3	R1	3	-0.335	±0.7
2	R6	R1	4	-0.256	±0.9
3	R8	R9	2	0.030	±1.9
4	S9	R4	5	-18.448	±1.9
5	R2	S12	3	19.035	±1.8
6	S10	R7	3	-18.171	±1.4
7	S7	R6	3	-18.209	±1.6
8	S12	S8	3	-0.569	±2.2
9	R5	S11	3	18.299	±2.2
10	R3	S10	2	18.159	±1.5
11	S8	R7	3	-18.143	±1.2
12	R9	S9	3	12.014	±2.4
13	S7	R4	3	-18.430	±2.2
14	R8	S11	3	12.076	±1.9
15	R2	R5	5	0.223	±1.3
16	R4	R3	3	0.307	±0.5
17	R1	S10	2	18.488	±1.4
18	S7	R9	3	-11.995	±2.3
19	R6	R7	3	0.065	±0.5
20	S9	R2	3	-18.494	±2.3
21	S11	S12	2	0.518	±2.2
22	R7	R8	3	6.116	±1.0

Πίνακας 3.3. Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των σημείων ελέγχου

Ορισμένα στατιστικά στοιχεία σχετικά με τη διαδικασία μέτρησης δίνονται στον πίνακα 3.4, από τα οποία μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου. Τέλος, στο σχήμα 3.4 δίνονται σχηματικά οι υψομετρικές διαφορές για κάθε μια σύνδεση που πραγματοποιήθηκε:

Αριθμός συνδέσεων	22
Συνδέσεις με 2 στάσεις	4
Συνδέσεις με 3 στάσεις	15
Συνδέσεις με 4 στάσεις	1
Συνδέσεις με 5 στάσεις	2
Συνολική διάρκεια μετρήσεων	27 ώρες
Πραγματική διάρκεια μετρήσεων (ωφέλιμος χρόνος)	21 ώρες
Συνολικό μήκος συνδέσεων	5060.0 m
Συνολικός αριθμός στάσεων	67
Μέσος χρόνος ανά στάση	20 λεπτά

Πίνακας 3.4. Στατιστικά στοιχεία των μετρήσεων



Σχήμα 3.4. Σχηματική παράσταση μετρημένων ψυχομετρικών διαφορών

3.5.1 Ημερολόγιο εργασιών υπαίθρου

Κατά τη διάρκεια των εργασιών τηρήθηκε σχολαστικά, όλες τις μέρες που διήρκεσαν οι μετρήσεις, ημερολόγιο εργασιών υπαίθρου. Σε αυτό αναφέρονται οι εργασίες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν και στοιχεία που αφορούν τις καιρικές συνθήκες, ώρα και ημερομηνία της κάθε εργασίας. Στον πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα στοιχεία αυτά:

Ημερομηνία	Εργασία	Συνδέσεις	Διάρκεια (ώρες)	Άτομα	Καιρικές συνθήκες
13/10/2007	Αναγνώριση	-	2	2	Καλές
19/10/2007	Αναγνώριση	-	5	2	Καλές
28/10/2007	Μετρήσεις	4	5	2	Καλές
17/11/2007	Μετρήσεις	4	4	4	Βροχόπτωση
28/11/2007	Μετρήσεις	4	4.5	2	Καλές
29/11/2007	Μετρήσεις	3	4	3	Καλές
2/12/2007	Μετρήσεις	5	5	3	Καλές
6/12/2007	Μετρήσεις	4	4.5	3	Καλές
12/12/2007	Επαναληπτικές μετρήσεις	4	4.5	4	Καλές

Πίνακας 3.5. Συνοπτική παρουσίαση εργασιών υπαίθρου

3.6 Συνόρθωση του υψομετρικού δικτύου

Ο υπολογισμός των υψομέτρων κάθε κορυφής προσδιορίζεται με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.). Για τη συνόρθωση του υψομετρικού δικτύου συντάχθηκε αλγόριθμος σε περιβάλλον MatLAB. Το δίκτυο επιλύεται με τη μέθοδο των εμμέσων παρατηρήσεων.

Τα στοιχεία τα οποία απαιτούνται για την επίλυση και τα οποία ο χρήστης εισάγει στον αλγόριθμο είναι:

- Το αρχείο των μετρήσεων (έχει μορφή ASCII και περιέχει ανά γραμμή το αρχικό και τελικό σημείο της σύνδεσης, την μετρημένη υψομετρική διαφορά και το τυπικό της σφάλμα το οποίο χρησιμοποιείται ως βάρος).
- Το αρχείο του διανύσματος των αγνώστων (επίσης μορφής ASCII και με το οποίο καθορίζεται η σειρά με την οποία ο χρήστης επιθυμεί τα τελικά υψόμετρα).
- Η κορυφή που θα θεωρηθεί σταθερή κατά τη συνόρθωση και το υψόμετρο αυτής.
- Ο συνολικό αριθμός των κορυφών που συνορθώνονται

Στη συνέχεια από το πρόγραμμα προσδιορίζεται ο πίνακας A των συντελεστών των αγνώστων (πίνακας σχεδιασμού) και ο πίνακας δl . Επιπλέον υπολογίζεται και ο πίνακας βαρών P όπως υπολογίσθηκε και κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης από τη σχέση (3.1). Σε αυτή την περίπτωση ως βάρος κάθε μέτρησης χρησιμοποιήθηκε το πραγματικό τυπικό της σφάλμα και όχι η εκτίμηση που είχε υπολογισθεί κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί η επιλογή της επίλυσης του δικτύου θεωρώντας τις παρατηρήσεις ανισοβαρείς. Ανισοβαρείς θεωρούνται οι παρατηρήσεις οι οποίες πραγματοποιούνται υπό διαφορετικές συνθήκες (διαφορετικό όργανο, διαφορετικός παρατηρητής, διαφορετική μέθοδος, διαφορετικές συνθήκες εργασίας). Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι μετρήσεις διεξήχθησαν κάνοντας χρήση ίδιου οργάνου και μεθοδολογίας από τον ίδιο παρατηρητή. Επίσης όλες οι μετρήσεις διεξάγονταν τις ίδιες – πρωινές πάντα – ώρες. Παρ' όλ' αυτά όπως φαίνεται και από τον πίνακα 3.3 κάθε σύνδεση επιτυγχάνεται με διαφορετικό αριθμό στάσεων (από 2 έως 5 στάσεις ανά σύνδεση), με διαφορετικές γωνίες και μήκη σκόπευσης και συνεπώς οι συνθήκες εργασίας είναι διαφορετικές για κάθε μια από αυτές.

Το διάνυσμα των καλύτερων τιμών των υψομέτρων των σημείων ελέγχου προκύπτει από τη σχέση:

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P \delta \ell \quad (3.4)$$

Επιπλέον από τον αλγόριθμο υπολογίζονται:

α) το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους από τη σχέση:

$$\hat{\sigma}_0 = \pm \sqrt{\frac{u^T P u}{n - m}} \quad (3.5)$$

β) ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας των υψομέτρων των σημείων ελέγχου που δίνεται από τη σχέση:

$$\hat{V}_{\hat{x}} = \hat{\sigma}_0^2 N^{-1} = \hat{\sigma}_0^2 (A^T P A)^{-1} \quad (3.6)$$

Τελικά μετά από την επίλυση προκύπτουν:

Κορυφή	H (m)	σ_H (mm)
Σ7	21.141	±2.3
Σ8	21.141	±2.4
Σ9	21.159	±2.7
Σ10	21.170	±1.5
Σ11	21.191	±3.0
Σ12	21.707	±3.1
R2	2.670	±3.2
R3	3.015	±1.1
R4	2.708	±1.4
R5	2.893	±3.5
R6	2.934	±1.3
R7	2.999	±1.4
R8	9.115	±2.0
R9	9.146	±2.7

Πίνακας 3.6. Τελικά υψόμετρα και τα τυπικά τους σφάλματα

Το a posteriori τυπικό σφάλμα της συνόρθωσης προκύπτει ίσο με:

$$\sigma_{\text{a posteriori}} = \pm 1.8 \text{ mm}$$

3.7 Σύγκριση υψομετρικών διαφορών και υψομέτρων

Σε προηγούμενη Διπλωματική Εργασία (Μπισμπιλής, 2007), πραγματοποιήθηκαν υψομετρικές συνδέσεις μεταξύ των *rèpères* που εγκαταστάθηκαν στο χώρο του γηπέδου. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμισης (σε μετάβαση και επιστροφή) χρησιμοποιώντας ψηφιακό χωροβάτη Leica NA 2000 (ακρίβειας 1mm / Km).

Ορισμένες από αυτές τις υψομετρικές συνδέσεις πραγματοποιήθηκαν και με τη μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακρίβειας. Στον πίνακα 3.7 παρατίθενται οι υψομετρικές διαφορές με τις δύο διαφορετικές μεθόδους και οι διαφορές τους.

Ο έλεγχος αυτός, όπως και οι υπόλοιποι που παρατίθενται παρακάτω αφορούν στη συμβατότητα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις μετρήσεις με ΤΡΥΑ σε σχέση με αυτά που προέκυψαν με τις μετρήσεις γεωμετρικής χωροστάθμισης. Σε καμία περίπτωση δεν αφορούν στην ανίχνευση μικρομετακινήσεων, καθώς οι επιλύσεις αναφέρονται σε δύο διαφορετικά δίκτυα (αριθμός κορυφών, αριθμός συνδέσεων), μετρημένα με δύο διαφορετικές μεθόδους.

Από	Προς	$\Delta H_{\text{ΤΡ.Υ.Α.}}$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (mm)	$\Delta H_{\text{Γ.Χ.}}$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (mm)	$\Delta H_{\text{ΤΡ.Υ.Α.}} - \Delta H_{\text{Γ.Χ.}}$ (mm)
R3	R1	-0.3345	±0.7	-0.3394	±2.0	4.9
R8	R9	0.0302	±1.9	0.0292	±2.2	1.0
R2	R5	0.2231	±1.4	0.2218	±2.0	1.3
R4	R3	0.3067	±0.5	0.3064	±1.7	0.3
R6	R7	0.0651	±0.5	0.0648	±1.4	0.3

Πίνακας 3.7. Σύγκριση υψομετρικών διαφορών μετρημένων μεταξύ *rèpère*, με Γ.Χ. και ΤΡΥΑ

Η διαφορά που παρουσιάζουν οι κοινές υψομετρικές συνδέσεις ελέγχεται αν οφείλεται στα σφάλματα των οργάνων. Έτσι υπολογίζεται η τιμή $z_p \cdot \sqrt{\sigma_{\text{ΤΡ.Υ.Α.}}^2 + \sigma_{\text{Γ.Χ.}}^2}$, με $z_p = 1.96$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και συγκρίνεται με τη διαφορά $\Delta H_{\text{ΤΡ.Υ.Α.}} - \Delta H_{\text{Γ.Χ.}}$.

Σε περίπτωση που η πρώτη προκύψει μεγαλύτερη τότε η διαφοροποίηση που παρουσιάζουν οι μετρημένες υψομετρικές διαφορές δεν οφείλεται σε κάποιο σφάλμα αλλά είναι μέσα στα ανεκτά όρια. Πράγματι στον πίνακα 3.8 φαίνεται ότι σε τέσσερις από τις πέντε περιπτώσεις η διαφορά που προκύπτει από τις δύο μεθόδους δεν αποτελεί σφάλμα.

Από	Προς	$\Delta H_{TP.Y.A.} - \Delta H_{\Gamma.X.}$ (mm)	$z_p \cdot \sqrt{\sigma_{0_{TP.Y.A.}}^2 + \sigma_{0_{\Gamma.X.}}^2}$
R3	R1	4.9	2.1
R8	R9	1.0	2.9
R2	R5	1.3	2.4
R4	R3	0.3	1.8
R6	R7	0.3	1.5

Πίνακας 3.8. Έλεγχος της μεθόδου στην ακρίβεια υπολογισμού των μετρημένων υψομετρικών διαφορών μεταξύ *rèpère* για επ.εμπ. 95%

Τα αντίστοιχα υψόμετρα που προέκυψαν μετά από τις μετρήσεις με τις δύο διαφορετικές διαδικασίες και τη συνόρθωση παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Κορυφή	H_{TPYA} (m)	$\sigma_{H_{TPYA}}$ (mm)	$H_{\Gamma.X.}$ (m)	$\sigma_{H_{\Gamma.X.}}$ (mm)	$\Delta H_{TP.Y.A.} - \Delta H_{\Gamma.X.}$ (mm)	$z_p \cdot \sqrt{\sigma_{H_{TP.Y.A.}}^2 + \sigma_{H_{\Gamma.X.}}^2}$
R2	2.670	±3.2	2.670	±1.0	0	6.6
R3	3.015	±1.1	3.020	±1.2	-5	3.2
R4	2.708	±1.4	2.714	±1.3	-6	3.7
R5	2.893	±3.5	2.891	±1.3	2	7.3
R6	2.934	±1.3	2.933	±1.3	1	3.6
R7	2.999	±1.4	2.998	±1.1	1	3.5
R8	9.115	±2.0	9.129	±1.1	-14	4.5
R9	9.146	±2.7	9.162	±1.5	-16	6.0

Πίνακας 3.9. Έλεγχος της μεθόδου στην ακρίβεια υπολογισμού των τελικών υψομέτρων για επ.εμπ. 95%

Όπως φαίνεται σε τέσσερις περιπτώσεις η διαφορά ανάμεσα στα υψόμετρα που έχουν προκύψει από τις δύο περιπτώσεις μετρήσεων και συνόρθωσης, είναι μέσα στα ανεκτά όρια. Μεγάλες διαφορές (της τάξης των 15 mm) παρατηρούνται μόνο για τα *rèpère* R8 και R9, που βρίσκονται στο πρώτο διάζωμα και εσωτερικά του γηπέδου.

Επιπλέον στην Διπλωματική εργασία που αναφέρθηκε παραπάνω, το τρισδιάστατο δίκτυο του γηπέδου επιλύθηκε θεωρώντας σταθερό σημείο την κορυφή Σ1 με αρχικές τιμές (500, 500, 10). Για τις κορυφές αυτές δε μπορεί να γίνει έλεγχος των τελικών υψομέτρων (την πρώτη φορά η συνόρθωση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας αυθαίρετη τιμή στο σταθερό υψόμετρο), μπορεί όμως να ελεγχθεί η ακρίβεια των υψομετρικών συνδέσεων που αφορούν τις απρόσιτες υψομετρικές αφετηρίες (επ. εμπ. 95%):

Από	Προς	$\Delta H_{TP.Y.A.}$ (m)	σ_H (mm)	$\Delta H_{\text{Δικτύου}}$ (m)	$\sigma_{\text{Δικτύου}}$ (mm)	$\Delta H_{TP.Y.A.} - \Delta H_{Γ.X.}$ (mm)	$z_p \cdot \sqrt{\sigma_{H_{TP.Y.A.}}^2 + \sigma_{\text{Δικτύου}}^2}$
S12	S8	-0.569	±2.2	-0.568	±2.4	-1	6.4
S11	S12	0.518	±2.2	0.521	±2.3	3	6.2

Πίνακας 3.10. Σύγκριση υψομετρικών διαφορών μετρημένων μεταξύ απρόσιτων σημείων, με επίλυση δικτύου Γ.Χ. και ΤΡΥΑ

Όπως φαίνεται και στις δύο περιπτώσεις η διαφορά ανάμεσα στις υψομετρικές διαφορές είναι μέσα στην αβεβαιότητα υπολογισμού των υψομετρικών διαφορών.

Από τα παραπάνω μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι η ΤΡΥΑ ως μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών με ακρίβειες παραπλήσιες της γεωμετρικής χωροστάθμησης. Μπορεί επιπλέον να χρησιμοποιηθεί και για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών μεταξύ απρόσιτων σημείων, όπου είναι αδύνατη η εφαρμογή της γεωμετρικής χωροστάθμησης.

Μέσα από τη συγκεκριμένη εφαρμογή έγινε φανερό ότι η δυνατότητα των σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών να μετρούν μήκη και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, μπορεί να δώσει λύση σε εφαρμογές που μέχρι σήμερα ήταν αδύνατο να επιτευχθούν. Η ακρίβεια των σταθμών αυτών στις μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα (για μικρά μήκη), είναι αρκετή ώστε η επίλυση ενός δικτύου με τη συγκεκριμένη μέθοδο να δώσει την επιθυμητή ακρίβεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΡΗΣΗΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ

4.1 Η σημασία της ασφάλειας στον εργοταξιακό χώρο

Τα θέματα υγιεινής και ασφάλειας σε εργοταξιακούς και βιομηχανικούς χώρους έχουν ιδιαίτερη προτεραιότητα τα τελευταία χρόνια, κυρίως σε μεγάλες και οργανωμένες μονάδες. Πολλές εταιρίες έχουν εφοδιαστεί με το αντίστοιχο ISO 18001 OHSAS. Σήμερα ο θεσμός του τεχνικού ασφαλείας έχει θεσμοθετηθεί νομοθετικά. Επιπλέον σε εργοταξιακούς χώρους έχουν υιοθετηθεί σύγχρονα πρότυπα για τη μείωση των κινδύνων (Μέσα Ατομικής Προστασίας, εργασία σε ύψος, χρήση χημικών κ.α.). Στους στόχους των στελεχών συχνά μπαίνουν δείκτες και αριθμοί σχετικοί με τα ατυχήματα.

4.2 Αντικείμενο της έρευνας

Η εφαρμογή που περιγράφεται στο κεφάλαιο αυτό αφορά στον έλεγχο συμμόρφωσης μιας γερανογέφυρας (φωτ. 4.1) σε συγκεκριμένες προδιαγραφές ασφαλείας. Ο έλεγχος αναφέρεται στη μέτρηση σημείων στην κατασκευή, στον προσδιορισμό της θέσης τους και στη σύγκρισή τους με τα αντίστοιχα μεγέθη όπως αυτά καθορίζονται από τις προδιαγραφές.

Η γερανογέφυρα, μήκους περίπου 120 μέτρων βρίσκεται σε ύψος 15 περίπου μέτρων από τη βάση του κτιρίου που τη στεγάζει. Αποτελείται από δύο σιδηροτροχιές τοποθετημένες παράλληλα σε απόσταση περίπου 30 m. Κάθε σιδηροτροχιά αποτελείται από τμήματα μήκους 6 m – 12 m τοποθετημένα το ένα μετά το άλλο. Σε κάθε τμήμα της γερανογέφυρας υπάρχει ένας διάδρομος πλάτους περίπου 1 μέτρου για να διευκολύνεται η κίνηση σε αυτή (Φωτ. 4.2)

Αντίθετα με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας στο χώρο, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο βιομηχανικών προϊόντων και κατασκευών περιορισμένης έκτασης, ο προσδιορισμός των συντεταγμένων της συγκεκριμένης κατασκευής πραγματοποιείται με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων. Όπως θα αναλυθεί και παρακάτω η φύση της ίδιας της κατασκευής καθιστά απαγορευτική (για τις επιθυμητές ακρίβειες) τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας.

Έτσι λοιπόν διερευνάται αν η χρήση ενός σύγχρονου γεωδαιτικού σταθμού που μετρά μήκη και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, μπορεί να

είναι αποτελεσματική σε μια κατασκευή με τις συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες, όπου ακόμα και η ίδρυση ενός μικροτριγωνομετρικού δικτύου θα ήταν δαπανηρή, δύσκολη και ίσως ανέφικτη.



Φωτογραφία 4.1. Άποψη της γερανογέφυρας



Φωτογραφία 4.2. Το δεξί τμήμα της γερανογέφυρας

4.3 Θεσμοθετημένοι έλεγχοι γερανογέφυρας

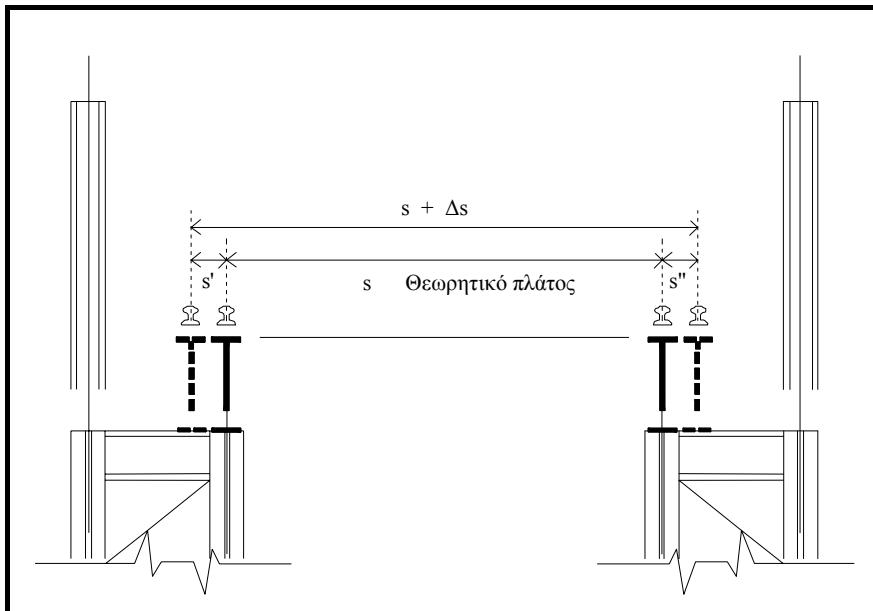
Η κατανόηση σε βάθος των ελέγχων που πρέπει να πραγματοποιηθούν, της επιθυμητής ακρίβειας αλλά και της μέχρι τώρα ακολουθούμενης διαδικασίας είναι αυτή η οποία θα καθοδηγήσει την έρευνα και θα καταδείξει την κατάλληλη μεθοδολογία εργασίας, αλλά και τα απαιτούμενα όργανα.

Έτσι στις επόμενες παραγράφους καταγράφονται οι διαφορετικοί έλεγχοι που πραγματοποιούνται σε μια γερανογέφυρα, ενώ παρατίθενται για τον κάθε έναν η κρίσιμη τιμή ασφάλειας, αλλά και ο τρόπος με τον οποίο μέχρι σήμερα γινόταν αυτός.

Να σημειωθεί ότι οι παράγοντες που ελέγχονται κατά την παρούσα εργασία, δεν αποτελούν το σύνολο των ελέγχων που καλύπτουν τις προδιαγραφές λειτουργίας μιας γερανογέφυρας (μολονότι πραγματοποιούνται οι περισσότεροι από αυτούς), αλλά κυρίως επιχειρείται να τονισθούν οι δυνατότητες των σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών σε εργασίες ακριβείας.

4.3.1 Ευθυγράμμιση των σιδηροτροχιών

Η τοποθέτηση των σιδηροτροχιών πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η εγκάρσια απόκλιση των απέναντι σημείων να είναι μικρότερη από το επιτρεπτό όριο (σχήμα 4.1)



Σχήμα 4.1. Έλεγχος για ευθυγράμμιση των σιδηροτροχιών

Τα όρια αυτά για τις σιδηροτροχιές είναι:

$$\text{για } s \leq 15m \rightarrow |\Delta s| \leq 3mm \quad (4.1)$$

$$\text{για } s > 15m \rightarrow |\Delta s| \leq [3 + 0.25 \cdot (s - 15)]mm, \text{ με } \Delta s_{\max} \leq 25mm \quad (4.2)$$

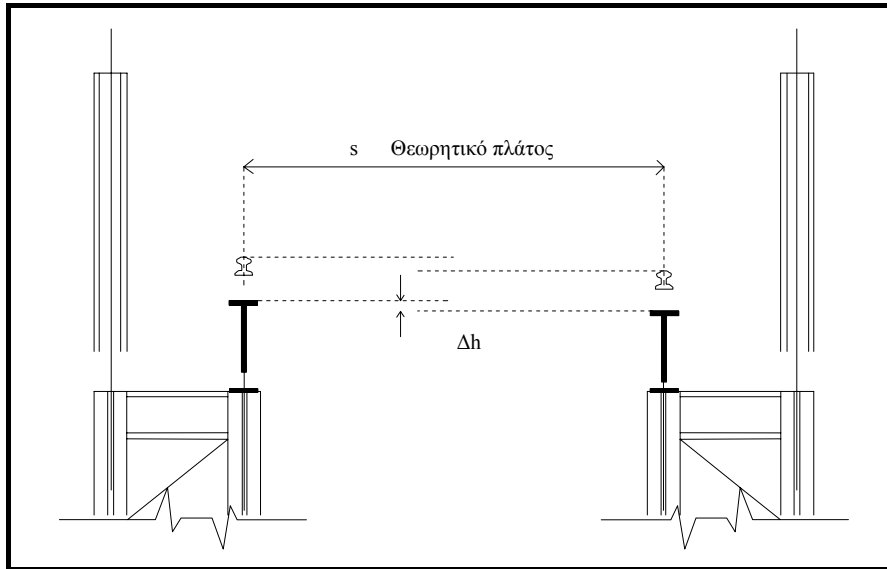
(στις παραπάνω σχέσεις το s εκφράζεται σε μέτρα, ενώ το Δs σε mm)

Ο έλεγχος για εγκάρσιες αποκλίσεις πρέπει να πραγματοποιείται για κάθε σιδηροτροχιά και στα δύο άκρα της και εάν το μήκος της είναι μεγαλύτερο από έξι (6) μέτρα ο έλεγχος πρέπει να γίνεται και για το μέσο της.

Η διαδικασία που ακολουθείται σήμερα αφορά στη μέτρηση του πλάτους με μεταλλική μετροταινία ή στη λήψη σημείων επί των σιδηροτροχιών με mini πρίσμα.

4.3.2 Σχετική ανύψωση των σιδηροτροχιών

Αντίστοιχα με τον έλεγχο ευθυγράμμισης των σιδηροτροχιών πρέπει να πραγματοποιείται και έλεγχος σχετικής ανύψωσης αυτών. Έτσι οι υψομετρικές αποκλίσεις για τα απέναντι σημεία των σιδηροτροχιών πρέπει να είναι μικρότερες από το επιθυμητό όριο που δίνεται από τη σχέση 4.3 και απεικονίζεται στο σχήμα 4.2:



Σχήμα 4.2. Έλεγχος για σχετική ανύψωση των σιδηροτροχιών

$$\frac{|\Delta h|}{s} \leq \frac{1}{1000}, \text{ με } |\Delta h| \leq 10mm \quad (4.3)$$

Ο έλεγχος για τις σχετικές υψομετρικές αποκλίσεις πρέπει να πραγματοποιείται για κάθε σιδηροτροχιά στα δύο άκρα και στο μέσο της.

Παραδοσιακά ο έλεγχος σχετικής ανύψωσης πραγματοποιείται με τη χρήση χωροβάτη και σταδίας, με τη μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμισης στα ζητούμενα σημεία.

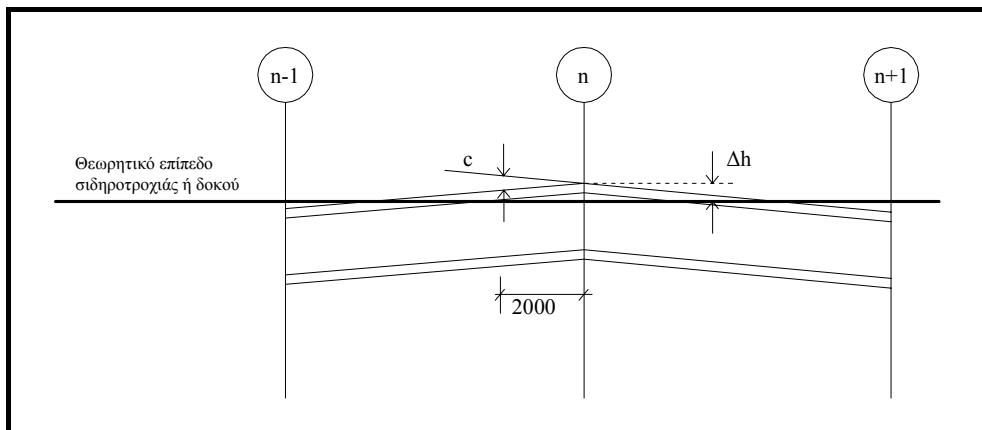
4.3.3 Διαμήκης ανύψωση κάθε σιδηροτροχιάς

Η ομαλή κίνηση του γερανοφόρου συνεπάγεται ελάχιστες καθ' ύψος αποκλίσεις κατά την πορεία της κίνησης του σε κάθε μια σιδηροτροχιά. Ο έλεγχος για υψομετρικές αποκλίσεις κατά μήκος κάθε σιδηροτροχιάς πρέπει να πραγματοποιείται για κάθε μια αυτές στα δύο άκρα τους και σε ένα μήκος δύο (2) μέτρων από την ένωση των επιμέρους τμημάτων. Τα επιτρεπτά όρια αποχής δίνονται από τις σχέσεις 4.4 και 4.5 και αναπαρίστανται στο σχήμα 4.3.

$$|\Delta h| \leq 10mm \quad (4.4)$$

$$|c| \leq 2mm, \text{ σε απόσταση } 2 \text{ m από την ένωση δύο σιδηροτροχιών} \quad (4.5)$$

Και αυτός ο έλεγχος πραγματοποιείται σήμερα με γεωμετρική χωροστάθμιση.

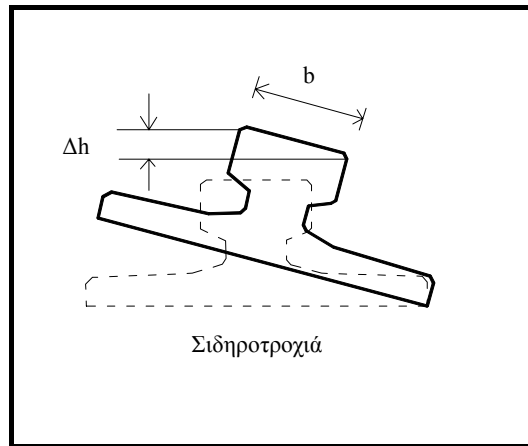


Σχήμα 4.3. Έλεγχος για διαμήκη ανύψωση των σιδηροτροχιών

4.3.4 Στρέψη των σιδηροτροχιών

Για κάθε σιδηροτροχιά η στρέψη της επιφάνειάς της σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο πρέπει να ελέγχεται και η αποχή της να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια (σχέση 4.6 και σχήμα 4.4):

$$\frac{|\Delta h|}{b} \leq 0.003 \quad (4.6)$$



Σχήμα 4.4. Έλεγχος για στρόφη των σιδηροτροχιών

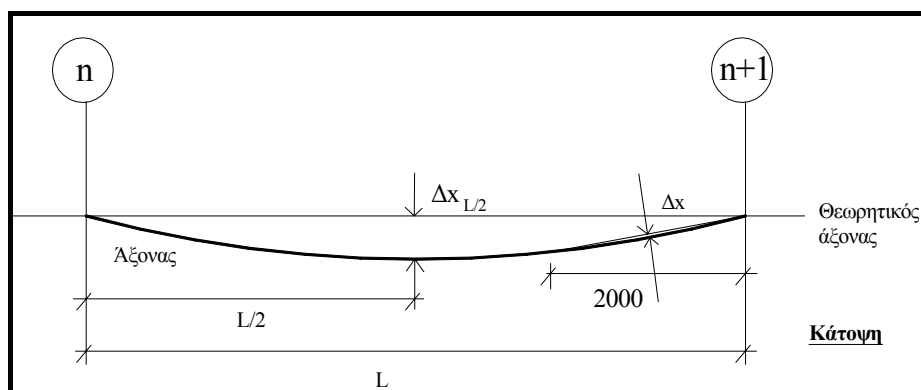
Ο έλεγχος για τη συγκεκριμένη απόκλιση πρέπει να πραγματοποιείται για κάθε σιδηροτροχιά στα δύο άκρα στο μέσο της.

4.3.5 Οριζόντια καμπύλωση της σιδηροτροχιάς

Για κάθε σιδηροτροχιά πρέπει να ελέγχεται η οριζόντια καμπύλωση της ράγας και αυτή να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια (σχέσεις 4.7, 4.8 και σχήμα 4.5).

$$|\Delta x_{L/2}| \leq 10mm \quad (4.7)$$

$$|\Delta x| \leq 1mm, \text{ σε τυχαία θέση για μήκος } 2 \text{ m} \quad (4.8)$$



Σχήμα 4.5. Έλεγχος οριζόντιας καμπύλωσης σιδηροτροχιάς

Ο έλεγχος για τη μέγιστη αποχή πρέπει να πραγματοποιείται για κάθε σιδηροτροχιά στο μέσο της. Επίσης πρέπει να ελέγχεται η καμπύλωση της σιδηροτροχιάς σε ένα μήκος 2 m, σε τυχαία θέση πάνω σε αυτή.

Η διαδικασία που ακολουθείται σήμερα είναι η εξής: έναγωνιομετρικό όργανο τοποθετείται στην προέκταση της γραμμής και μηδενίζει στο άλλο άκρο της και πακτώνεται η οριζόντια κίνηση. Στη συνέχεια ο στοχοφόρος τοποθετεί ένα χάρακα στα σημεία προς έλεγχο και σημειώνεται η αντίστοιχη ένδειξη στο χάρακα που αποτελεί και την αποχή από την ορθή θέση.

4.4 Προτεινόμενη μεθοδολογία

Η αναφορά που έγινε στην περιγραφή των προδιαγραφών ασφαλείας και των απαιτούμενων ακριβειών για αυτές θα οδηγήσει και στην κατάλληλη επιλογή της μεθοδολογίας που θα ακολουθηθεί για την επίτευξη των καλύτερων αποτελεσμάτων.

Όπως αναφέρθηκε η μεγάλη ακρίβεια που επιδιώκεται σε εφαρμογές βιομηχανικής γεωδαισίας επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας στο χώρο. Επιπλέον, επειδή σπάνια είναι γνωστές οι συντεταγμένες των γνωστών κορυφών με ακρίβεια, η κλίμακα στο δίκτυο δίνεται με εφαρμογή της μεθόδου Hansen και μετρήσεις προς βάση βιομηχανικής γεωδαισίας (δίμετρης βάσης).

Η κατασκευή της γερανογέφυρας παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη φάση σχεδιασμού των μετρήσεων, ώστε η μεθοδολογία και ο εξοπλισμός που τελικά θα χρησιμοποιηθεί να δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Συγκεκριμένα:

- Οι στάσεις πρέπει να είναι τοποθετημένες στα δύο άκρα της γερανογέφυρας, έτσι η μεταξύ τους απόσταση δε μπορεί να είναι μικρότερη από 30m.
- Η δίμετρη βάση μπορεί να τοποθετηθεί μόνο στο κάτω μέρος της γερανογέφυρας, περίπου 15 m, κάτω από τις κορυφές. Προκειμένου να είναι ορατοί οι στόχοι στα άκρα της βάσης, αυτή δε μπορεί να τοποθετηθεί κοντύτερα από 10 m, από τον άξονα που ορίζουν οι δύο κορυφές.
- Η μεγάλη απόσταση των κορυφών από τη βάση, δυσκολεύει την ακριβή σκόπευση του κέντρου των στόχων στα άκρα της βάσης.

Στην παράγραφο 2.3.2.1 αναπτύχθηκε η διαδικασία προσδιορισμού της απόστασης δύο στάσεων με χρήση δίμετρης βάσης. Όπως προέκυψε

η δίμετρη βάση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν οι στάσεις απέχουν μεταξύ τους μικρή απόσταση. Όσο η απόσταση μεγαλώνει, το σφάλμα στον προσδιορισμό της απόστασης αυξάνεται. Η επιπλέον δυσκολία προκύπτει από τη διάταξη της κατασκευής. Η τοποθέτηση της δίμετρης βάσης σε απόσταση άνω των 10 m από τις στάσεις, αλλά και αρκετά χαμηλότερα από αυτές θα επιφέρει επιπλέον σφάλμα στον προσδιορισμό της απόστασης. Όπως προέκυψε από τη διερεύνηση για τη δεδομένη γεωμετρία (και παραβλέποντας τη σκόπευση υπό μεγάλη κατακόρυφη γωνία) η ακρίβεια προσδιορισμού της απόστασης δε μπορεί να γίνει καλύτερα από ± 2 mm.

Έτσι η χρήση της κρίνεται απαγορευτική για την επιδιωκόμενη ακρίβεια. Εναλλακτικά η απόσταση μεταξύ των δύο στάσεων μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας ανακλαστήρα καθώς πλέον οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί μπορούν να το επιτύχουν με αβεβαιότητα καλύτερη του ± 1 mm.

Παρόλ' αυτά, προκειμένου να επαληθευτούν τα αποτελέσματα της σφαλματικής ανάλυσης, κατά τη διενέργεια των μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις επί της βάσης (τοποθετημένης επί του άξονα των δύο στάσεων, περίπου 25 m μακριά από αυτόν και σε ύψος αρκετά χαμηλότερο από το επίπεδο των δύο στάσεων, όπως προαναφέρθηκε), χωρίς όμως να προκύψει κάτι διαφορετικό από αυτό ακριβώς που αναμενόταν.

Η ίδια η γεωμετρία είναι αυτή που καθορίζει και τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων. Όπως αποδείχθηκε από τη σφαλματική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παράγραφο 2.3.2 για τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί με τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι μεγαλύτερη από ± 1 mm στις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες.

Η εναλλακτική επιλογή και αυτή που τελικά χρησιμοποιήθηκε, είναι η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται μόνο ένας γεωδαιτικός σταθμός ακριβείας, ενώ ως μέθοδος είναι ταχύτερη.

Επιπλέον οι παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν πιθανό σφάλμα (εκτός της αβεβαιότητας στις μετρήσεις γωνιών και μηκών) είναι λιγότεροι, καθώς οι τελικές συντεταγμένες εξαρτώνται μόνο από την ακρίβεια μηδενισμού του οργάνου και τη σκόπευση του σωστού σημείου. Αντίθετα με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας η τελική ακρίβεια επηρεάζεται από το μηδενισμό στη σωστή διεύθυνση δύο διαφορετικών οργάνων και τη σκόπευση του ίδιου σημείου και από τα δύο όργανα.

Παρόλ' αυτά ταυτόχρονα με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων εφαρμόστηκε και η μέθοδος της εμπροσθοτομίας στο χώρο. Οι συντεταγμένες των σημείων προσδιορίστηκαν και με τη συγκεκριμένη

μέθοδο προκειμένου να συγκριθούν με αυτές που προέκυψαν με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων.

4.5 Επιλογή εξοπλισμού

Ο γεωδαιτικός σταθμός που ικανοποιεί την απαιτούμενη ακρίβεια και χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ο TCRM 1201+ της εταιρείας Leica (φωτ. 4.3), ακρίβειας $\pm 1 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ ppm}$ στις μετρήσεις μηκών με ανακλαστήρα, $\pm 2 \text{ mm}$ στις μετρήσεις μηκών χωρίς ανακλαστήρα και $\pm 1''$ ($3''$) στις μετρήσεις γωνιών.

Ο συγκεκριμένος γεωδαιτικός σταθμός χρησιμοποιεί τη μέθοδο μέτρησης "System Analyzer". Είναι ο πρώτος και μοναδικός μέχρι στιγμής σταθμός, ο οποίος μπορεί να πετύχει την ακρίβεια των $\pm 2 \text{ mm}$ στις μετρήσεις μηκών χωρίς ανακλαστήρα.

Η συγκεκριμένη ακρίβεια είναι ίδιας τάξης μεγέθους ή και καλύτερη από αυτή που θα προέκυπτε αν ο προσδιορισμός του αρχικού μήκους γινόταν με δίμετρη βάση και ο μετέπειτα προσδιορισμός των συντεταγμένων των σημείων με εμπροσθοτομία στο χώρο.

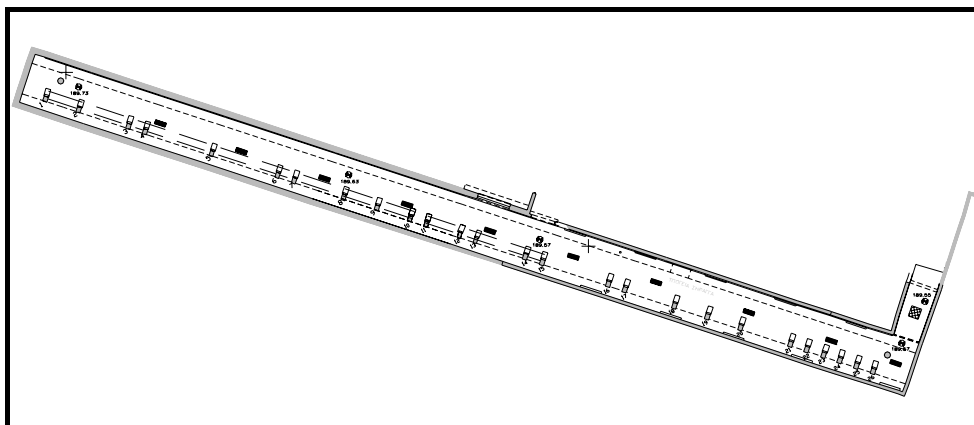


Φωτογραφία 4.3. Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201+

Παράλληλα, για τις μετρήσεις με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας χρησιμοποιήθηκε και ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCA 1800, ακρίβειας $\pm 1''$ ($3''$) στις μετρήσεις γωνιών. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν δύο τρίποδες, στηλεουδάκια και ανακλαστήρα για το μηδενισμό των οργάνων.

4.5.1 Μετρολογικός έλεγχος γεωδαιτικού σταθμού

Προκειμένου να ελεγχθεί η ακρίβεια του γεωδαιτικού σταθμού στις μετρήσεις μηκών, πραγματοποιήθηκε ο μετρολογικός έλεγχός του στην υπόγεια σήραγγα του κτιρίου Λαμπαδαρίου (σχήμα 4.6)



Σχήμα 4.6. Υπόγεια σήραγγα κτιρίου Λαμπαδαρίου

Κατά μήκος της σήραγγας βρίσκονται τοποθετημένα βάθρα μετρημένα με μεγάλη ακρίβεια, με εξαναγκασμένη κέντρωση. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον έλεγχο του σταθμού είναι η εξής:

Σε βάθρο στη μία άκρη της σήραγγας τοποθετήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός. Σε βάθρο που βρίσκεται στην άλλη άκρη της σήραγγας τοποθετήθηκε βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης, τρικόχλιο και ανακλαστήρα πάνω σε αυτό.

Μετρήθηκαν και καταγράφηκαν το κεκλιμένο μήκος και κατακόρυφη γωνία:

Κεκλιμένο μήκος = 49.9998 m

Κατακόρυφη γωνία = 100.1107^g

Στη συνέχεια το πρίσμα αντικαταστάθηκε από ειδική βάση (φωτ. 4.4). Η ιδιότητα της συγκεκριμένης βάσης είναι ότι μπορεί να στηρίξει υλικά διαφορετικού πάχους. Ταυτόχρονα με τον τρόπο που αυτά στηρίζονται, το επίπεδο της εμπρόσθιας επιφάνειάς τους, περιέχει την κατακόρυφο που διέρχεται από το σημείο της εξαναγκασμένης κέντρωσης (η ίδια κατακόρυφος εξάλλου περιέχει και το κέντρο του ανακλαστήρα που χρησιμοποιήθηκε νωρίτερα). Έτσι τα κεκλιμένα μήκη που προκύπτουν από τις μετρήσεις με και χωρίς ανακλαστήρα, είναι ίσα και μπορούν να συγκριθούν χωρίς περαιτέρω αναγωγές.



Φωτογραφία 4.4. Ειδική βάση στήριξης υλικών

Για τις μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υλικά (φωτ. 4.5), ενώ για κάθε υλικό η σκόπευση πραγματοποιήθηκε σε 3 διαφορετικές καταστάσεις:

- α) η επιφάνεια του υλικού τοποθετημένη κάθετα στον άξονα σκόπευσης,
- β) η επιφάνεια τοποθετημένη στραμμένη 45° αριστερά ως προς τον άξονα σκόπευσης,
- γ) η επιφάνεια τοποθετημένη στραμμένη 45° δεξιά ως προς τον άξονα σκόπευσης.

Η σκόπευση υπό στροφή δεξιά και αριστερά από την ορθή θέση πραγματοποιήθηκε λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούσαν, καθώς όταν το αντικείμενο ήταν στραμμένο δεξιά, η επιφάνειά του φωτιζόταν περισσότερο. Σε κάθε περίπτωση πραγματοποιήθηκαν 4 σκοπεύσεις – μετρήσεις και τελικά στον έλεγχο που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή αυτών. Τα αναλυτικά αποτελέσματα για κάθε υλικό παρατίθενται στο παράρτημα.



Φωτογραφία 4.5. Σκόπευση σε μάρμαρο, μαύρο χαρτόνι και ξύλο

Προκειμένου να ελεγχθεί αν η διαφορά ανάμεσα στο μήκος μετρημένο με ανακλαστήρα και σε αυτό που προκύπτει από τη μέτρηση χωρίς ανακλαστήρα στην επιφάνεια κάθε υλικού, είναι στατιστικά σημαντική πραγματοποιήθηκε έλεγχος χ^2 . Η διαφορά του μήκους που προκύπτει για κάθε ένα υλικό και το μήκος μετρημένο με ανακλαστήρα συγκρίνεται με την κρίσιμη τιμή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και 99%. Η τιμή αυτή είναι:

$$\text{Διαφορά} \leq \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{RL}^2} \cdot z_p$$

όπου:

$\sigma_R = \pm 1$ mm, η ακρίβεια του οργάνου στις μετρήσεις με ανακλαστήρα
 $\sigma_{RL} = \pm 2$ mm η ακρίβεια του οργάνου στις μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα

z_p = η τιμή της τυποποιημένης μεταβλητής (που είναι 1.96 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και 2.576 για επίπεδο εμπιστοσύνης 99%).

Τελικά:

$\sigma_{95\%} = \pm 4.4$ mm

$\sigma_{99\%} = \pm 5.8$ mm

Οι διαφορές ανάμεσα στα μήκη που προέκυψαν από τις μετρήσεις προς τα διάφορα υλικά, σε σχέση με αυτά που μετρήθηκαν με ανακλαστήρα φαίνονται στον πίνακα 4.1. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι διαφορές οι οποίες δε περνούν τον έλεγχο για επίπεδο 95%.

Υλικό	Διαφορά (mm)		
	Κέντρο	Αριστερά	Δεξιά
Αλουμίνιο	-0.4	-1.5	19.2
Μάρμαρο γκρι	-0.7	-7.9	7.5
Μάρμαρο λευκό	-1.5	-7.7	7.8
Ξύλο	-1.1	-5.7	7.6
Κεραμίδι	-0.3	-8.3	6.9
Χαρτόνι μαύρο	-0.4	-8.1	2.2
Χαρτόνι λευκό	0.3	-6.8	6.1
Σίδηρο	-0.8	-8.2	6.1
Γυαλί	-12.8	-19.3	-18.7
Kodak grey	0.2	-1.0	1.2
Kodak white	-0.7	-8.5	4.6

Πίνακας 4.1. Διαφορά των μετρημένων μηκών, από το μήκος που μετρήθηκε με πρίσμα, σε απόσταση 50 m

Όπως φαίνεται όταν η σκόπευση γινόταν κάθετα στο υλικό, δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στο μετρημένο με τον ανακλαστήρα μήκος για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Πρόβλημα παρουσιάζεται μόνο στο γυαλί καθώς η διαφορά που παρατηρήθηκε ισοδυναμεί περίπου με το πάχος του δοκιμίου (η δέσμη διαπέρασε το γυαλί και ανακλάστηκε από την επιφάνεια της βάσης στήριξης).

Μεγαλύτερα προβλήματα παρουσιάζονται όταν η δέσμη προσπίπτει στο υλικό υπό γωνία καθώς τα περισσότερα υλικά δεν ανταποκρίνονται στο στατιστικό έλεγχο (επίσης λίγα περνούν τον έλεγχο ακόμα και αν αυξηθεί το επίπεδο εμπιστοσύνης σε 99%).

Προκειμένου να ελεγχθεί η συμπεριφορά του οργάνου σε διαφορετικές αποστάσεις η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για βάθρο που βρίσκεται σε κοντινότερη απόσταση. Αυτή τη φορά προέκυψαν:

Κεκλιμένο μήκος = 15.0227 m

Κατακόρυφη γωνία = 100.3842^g

Τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση ήταν περισσότερο ικανοποιητικά. Για όλα τα υλικά (εκτός από το γυαλί), η διαφορά που παρατηρήθηκε από το μήκος που μετρήθηκε με τον ανακλαστήρα, είναι αποδεκτή σύμφωνα με την ακρίβεια μέτρησης των οργάνων, τόσο σε περίπτωση κάθετης σκόπευσης του υλικού, όσο και όταν το υλικό ήταν στραμμένο.

Οι διαφορές ανάμεσα στα μήκη που προέκυψαν από τις μετρήσεις προς τα διάφορα υλικά, σε σχέση με αυτά που μετρήθηκαν με ανακλαστήρα φαίνονται στον πίνακα 4.2. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι διαφορές οι οποίες δε περνούν τον έλεγχο για επίπεδο 95%.

Υλικό	Διαφορά (mm)		
	Κέντρο	Αριστερά	Δεξιά
Αλουμίνιο	1.0	1.6	1.2
Μάρμαρο γκρι	-0.5	-0.5	0.3
Μάρμαρο λευκό	-0.1	-0.2	0.6
Ξύλο	-0.6	-1.4	-0.6
Κεραμίδι	-0.1	-1.1	0.5
Χαρτόνι μαύρο	0.6	-0.9	0.6
Χαρτόνι λευκό	-0.8	-1.3	-0.9
Σίδερο	2.1	1.5	1.4
Γυαλί	-11.3	-11.8	-11.6
Kodak grey	0.4	-0.1	0.9
Kodak white	1.1	0.2	0.8

Πίνακας 4.2. Διαφορά των μετρημένων μηκών, από το μήκος που μετρήθηκε με πρίσμα, σε απόσταση 15 m

Συμπερασματικά μπορεί να καταγραφεί, πως πλέον η μέτρηση ενός μήκους με ένα γεωδαιτικό σταθμό χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα μπορεί να γίνει με ακρίβεια καλύτερη από ± 1 mm, αλλά και ορθότητα, όταν η σκόπευση προς την επιφάνεια γίνεται περίπου κάθετα, αλλά και υπό γωνία σε μικρές αποστάσεις

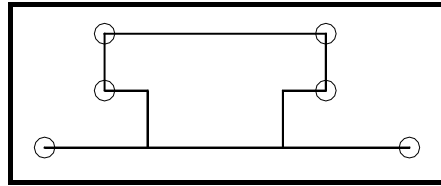
Όταν η απόσταση σκόπευσης αυξάνεται και η δέσμη προσπίπτει στην επιφάνεια υπό γωνία τότε απαιτείται προσοχή, καθώς το μήκος που προκύπτει μπορεί να διαφέρει λίγο ή πολύ από το πραγματικό.

4.6 Η διαδικασία των μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα μήκος 18 μέτρων στα δύο τμήματα της γερανογέφυρας. Κάθε ένα από τα τμήματα αυτά αποτελείται από δύο ράγες μήκους 6 m και 12 m αντίστοιχα. Σε κάθε μία ράγα επιλέχθηκαν και σημάνθηκαν με κιμωλία οι διατομές στις οποίες θα λαμβάνονταν αργότερα τα σημεία ελέγχου.

Υλοποιήθηκαν διατομές ανά δύο μέτρα σε κάθε ράγα και επιπλέον η διατομή στο μέσο (3 m) για τις ράγες των 6 m. Έτσι προέκυψαν συνολικά 12 διατομές.

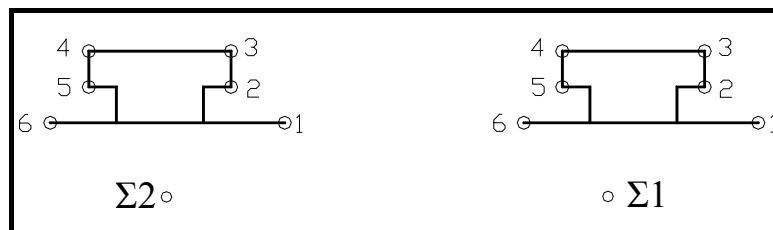
Σε κάθε διατομή αποτυπώνονται 6 σημεία (σχ. 4.7):



Σχήμα 4.7. Τα σημεία που λήφθησαν ανά διατομή

Η σωστή κωδικοποίηση των σημείων σε τέτοιες εφαρμογές είναι ιδιαίτερα σημαντική, ιδιαίτερα όταν απαιτείται διαφορετική επεξεργασία για κάθε ομάδα σημείων. Έτσι κάθε σημείο χαρακτηρίζεται από ένα τετραψήφιο κωδικό:

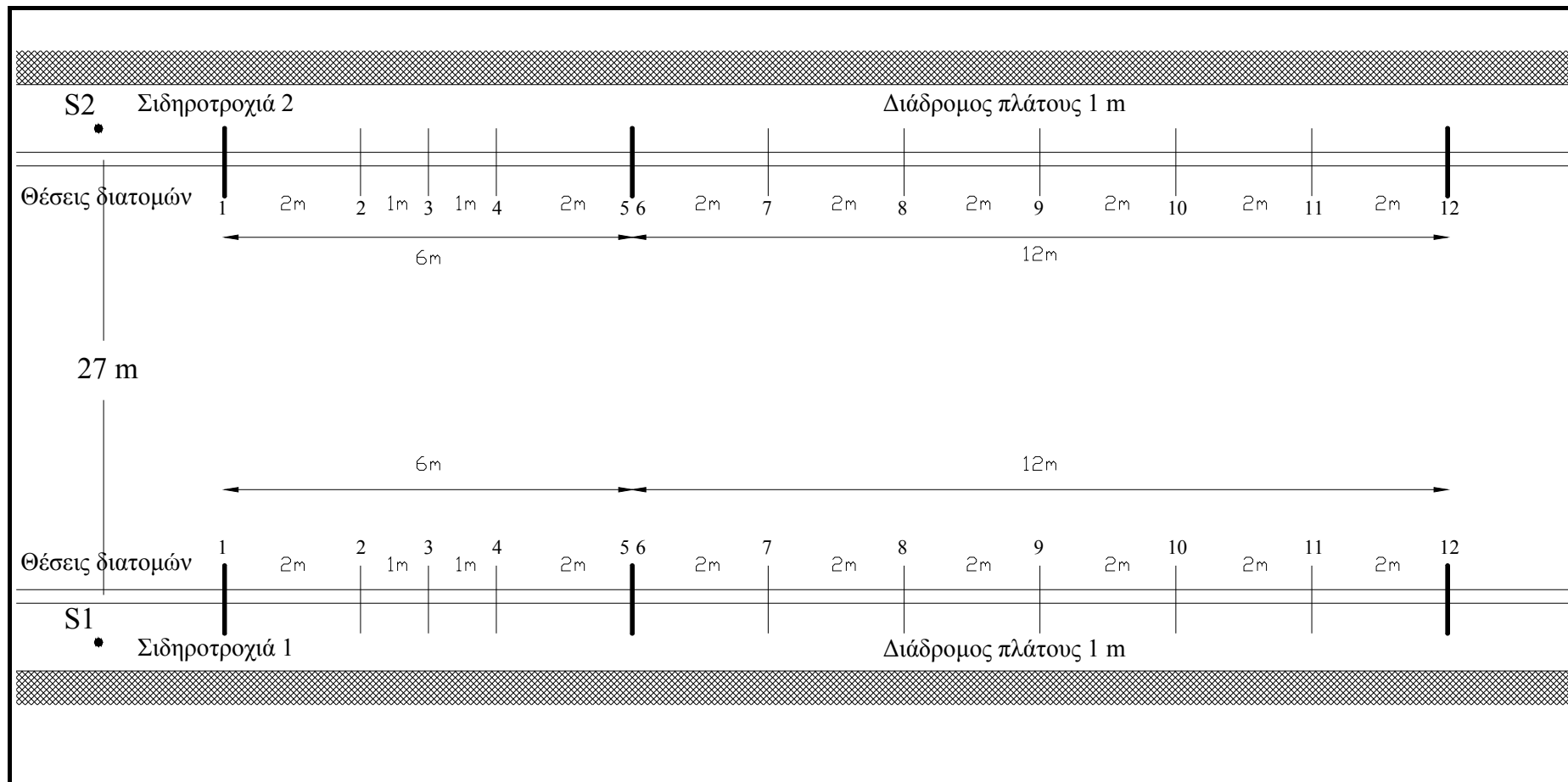
Το πρώτο ψηφίο είναι ο αριθμός της σιδηροτροχιάς (1 ή 2, οι πλευρές των στάσεων Σ1 και Σ2 αντίστοιχα), τα 2 επόμενα ο αριθμός της διατομής ξεκινώντας από αυτή που βρίσκεται πιο κοντά στα όργανα (01 – 12), και τέλος ο αριθμός του σημείου πάνω στη διατομή (1 – 6). Η αρίθμηση των σημείων σε κάθε διατομή φαίνεται στο σχήμα 4.8:



Σχήμα 4.8. Η σειρά αρίθμησης των σημείων

Οι δύο τρίποδες με τα όργανα τοποθετήθηκαν στην αρχή κάθε σιδηροτροχιάς. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως εφαρμόστηκε και η μέθοδος της εμπροσθοτομίας στο χώρο προκειμένου να διαπιστωθούν τα προβλήματα που θα δημιουργούσε η εφαρμογή της μεθόδου με δεδομένες τις συνθήκες στο χώρο της γερανογέφυρας. Προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια τα όργανα δεν κεντρώθηκαν σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο, διαδικασία η οποία θα προσέθετε επιπλέον σφάλμα κέντρωσης. Επιπλέον οι συνθήκες δεν επιτρέπουν την τοποθέτηση μόνιμων βάθρων ή βάσεων εγκατάστασης του οργάνου με μοναδικό τρόπο.

Στο σχήμα 4.9 απεικονίζεται η μορφή της γερανογέφυρας. Φαίνονται οι θέσεις που πραγματοποιήθηκαν οι τομές και η αρίθμηση και οι αποστάσεις μεταξύ αυτών καθώς και οι θέσεις των στάσεων που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 4.9. Σκαρίφημα της γερανογέφυρας

Οι συντεταγμένες αναφέρονται στην τομή του πρωτεύοντα και δευτερεύοντα άξονα στο κέντρο του γεωδαιτικού σταθμού. Πρέπει να τονισθεί εδώ ότι σε παρόμοιες περιπτώσεις η εργασία πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη επιμέλεια και προσοχή, καθώς αν για οποιοδήποτε λόγο ο τρίποδας μετακινηθεί από τη θέση του είναι αδύνατη η επανατοποθέτησή του και οι μετρήσεις πρέπει να γίνουν και πάλι από την αρχή.

Στην πρώτη κορυφή δόθηκαν αυθαίρετες συντεταγμένες:

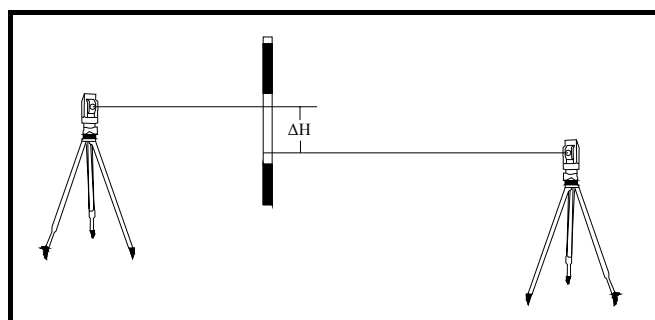
$$\Sigma 1(10.000, 10.000, 10.000)$$

Για να υπολογισθούν οι συντεταγμένες της δεύτερης κορυφής, το όργανο αποσπάστηκε από το τρικόχλιο, αντικαταστάθηκε με ανακλαστήρα και μετρήθηκε το μεταξύ τους μήκος:

Προς	Γωνίες		Κεκλιμένο μήκος	Οριζόντια απόσταση
	H _z	V		
S2	0 ^s .0000	100 ^s .3583	27.945 m	27.9446 m

Πίνακας 4.3. Μετρήσεις προς την κορυφή Σ2

Για τον ακριβή υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς των δύο σημείων χρησιμοποιήθηκε σταδία, η οποία κατακορυφώθηκε πλησίον του ενός οργάνου. Στη συνέχεια τα όργανα τοποθετήθηκαν σε κατακόρυφη γωνία 100.0000^s και λήφθηκαν οι αντίστοιχες αναγνώσεις στη σταδία (σχ. 4.9). Η διαδικασία επαναλήφθηκε και σε θέση II (300.0000^s) και υπολογίσθηκε ο μέσος όρος των αναγνώσεων.



Σχήμα 4.10. Υπολογισμός υψομετρικής διαφοράς σκοπευτικών κέντρων με χρήση σταδίας

Η υψομετρική διαφορά προέκυψε: $\Delta H_{\Sigma 1-\Sigma 2} = -0.1574 \text{ m}$

Τελικά, οι συντεταγμένες των δύο κορυφών είναι:

Κορυφή	x (m)	y (m)	z (m)
Σ1	10.000	10.000	10.000
Σ2	10.000	37.945	9.8426

Πίνακας 4.4. Οι συντεταγμένες των κορυφών

4.7 Επεξεργασία των μετρήσεων

Οι συντεταγμένες των σημείων προσδιορίστηκαν τόσο με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων, όσο και με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας στο χώρο. Πράγματι, όπως αναμενόταν παρουσιάζονται διαφορές στις συντεταγμένες των σημείων όπως αυτές προκύπτουν από τις δύο διαφορετικές μεθόδους.

Οι διαφορές που παρατηρούνται κυμαίνονται από λίγα mm μέχρι ± 2 cm κατά τη διεύθυνση του άξονα X (ο οποίος είναι παράλληλος στις δύο γραμμές). Παρόλ' αυτά σε ότι αφορά τις διαφορές που παρατηρούνται κατά τη διεύθυνση των αξόνων Y και Z, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις αυτές είναι καλύτερες από ± 1 mm. Η διαφορά που παρατηρείται κατά τη διεύθυνση του άξονα X, μπορεί να ερμηνευθεί από το μεγάλο μέγεθος της βάσης (περίπου 28 m), σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό του συστήματος αναφοράς. Επιπλέον οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στα σημεία που βρίσκονται στην αρχή κάθε ράγας, τα οποία άλλωστε βρίσκονται και κοντά στις δύο στάσεις οργάνων.

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι των προδιαγραφών ασφαλείας, χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων που προέκυψαν από τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων και από αυτές δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα κάτοψης. Επιπλέον για το άνω τμήμα κάθε ράγας (σημεία 3 και 4 στις διατομές) βρέθηκε το μέσον τους ψηφιακά.

Χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες των σημείων στο χώρο μπορεί να κατασκευασθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του συστήματος των σιδηροτροχιών. Έτσι ο προσδιορισμός της σχετικής θέσης δύο σημείων, μπορεί να γίνει τόσο αναλυτικά, όσο και ψηφιακά. Επιπλέον είναι δυνατή η δημιουργία οριζόντιων και κατακόρυφων τομών σε οποιαδήποτε θέση της γερανογέφυρας και επομένως ο έλεγχος αυτής σε οποιαδήποτε τυχαία θέση.

Κάθε έλεγχος πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικούς τρόπους:

1^{ος} τρόπος: Για κάθε ένα από τα 6 σημεία κάθε διατομής προσδιορίστηκε η βέλτιστη ευθεία που διέρχεται από τα αντίστοιχα σημεία των 12 διατομών. Επιπλέον υπολογίστηκαν οι βέλτιστες ευθείες για κάθε ένα από τα δύο τμήματα ράγας 6 m (διατομές 1 – 5) και 12 m (διατομές 6 – 12) ξεχωριστά. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για τις

καλύτερες ευθείες κάθε τμήματος ξεχωριστά. Για κάθε ευθεία υπολογίστηκαν οι συντελεστές a και b της εξίσωσής της ($y = ax+b$), το τυπικό σφάλμα της συνόρθωσης καθώς και το αζιμούθιο της βέλτιστης ευθείας με το τυπικό της σφάλμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου το υπόλοιπο κάποιου σημείου από τη βέλτιστη ευθεία ήταν σημαντικά πιο μεγάλο από τα υπόλοιπα (μεγαλύτερο των ± 5 mm) η ευθεία επαναπροσδιορίστηκε χωρίς να ληφθεί υπόψη το σημείο αυτό. (Κάτι τέτοιο μπορεί να σημαίνει ότι είτε υπήρξε λάθος σκόπευση της δέσμης του laser, είτε πως η ράγα παρουσιάζει κάποια ανωμαλία στη συγκεκριμένη θέση).

2^{ος} τρόπος: Κάθε ευθεία πάνω στη ράγα (σύνολο 6 ευθείες σε κάθε πλευρά) αντιμετωπίστηκε ως ένα σύνολο μεμονωμένων σημείων ενωμένα μεταξύ τους. Έτσι τα σημεία εισήχθησαν σε λογισμικό AutoCAD και σχεδιάστηκαν οι πολυγωνικές γραμμές (polylines) οι οποίες ενώνουν τα σημεία. Οι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τις γραμμές αυτές.

Ακολουθώντας τον πρώτο τρόπο και χρησιμοποιώντας τις βέλτιστες ευθείες που προέκυψαν και το αρχικό σημείο κάθε γραμμής, πραγματοποιήθηκε στροφή¹ των συντεταγμένων και απόδοσης του διαγράμματος της όψης κάθε σιδηροτροχιάς.

Οι αναλυτικοί πίνακες με όλα τα στοιχεία της συνόρθωσης παρατίθεται στο παράρτημα. Είναι χαρακτηριστικό (και αναμενόμενο άλλωστε) πως τα αζιμούθια των καλύτερων ευθειών διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους, ενώ το τυπικό σφάλμα κάθε συνόρθωσης είναι καλύτερο από ± 2 mm. Ακόμα και τα υπόλοιπα κάθε σημείου ξεχωριστά σε ελάχιστες περιπτώσεις είναι μεγαλύτερα από ± 3 mm.

Ένα επιπλέον στοιχείο που πρέπει να τονισθεί είναι ότι λόγω φθοράς των ραγών υπήρχε αβεβαιότητα σχετικά με την επιλογή της σωστής θέσης του σημείου. Ειδικότερα τα σημεία 3 και 4 που βρίσκονται στο πάνω τμήμα της διατομής και που στο σχήμα 4.7 φαίνεται να σχηματίζουν ορθή γωνία, στην πραγματικότητα σχηματίζουν ένα κοίλο τμήμα. Όπως όμως φαίνεται από τη συνόρθωση, η σήμανση του σημείου σε κάθε διατομή έγινε στην ίδια πάντα θέση.

Στους πίνακες 4.5 και 4.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συνόρθωσης:

¹ Περισσότερα στοιχεία σχετικά με τη διαδικασία της στροφής και τη δημιουργία όψης αναφέρονται στην παράγραφο 5.2.1 "Δημιουργία όψης"

Γραμμή 1	a	b	σ_0 (mm)	A^g	σ_0^{cc}
1	0.0031	10.3221	± 1.6	99.8027	± 96
2	0.0030	10.3811	± 2.0	99.8090	± 121
3	0.0030	10.3871	± 1.4	99.8084	± 86
4	0.0031	10.4520	± 2.6	99.8049	± 159
5	0.0030	10.4513	± 2.4	99.8109	± 143
6	0.0028	10.5215	± 3.0	99.8220	± 189
μέσο 3-4	0.0030	10.4213	± 2.0	99.8106	± 124

Πίνακας 4.5. Οι βέλτιστες ευθείες για τη γραμμή 1

Γραμμή 2	a	b	σ_0 (mm)	A^g	σ_0^{cc}
1	0.0034	37.3209	± 2.8	99.7853	± 171
2	0.0035	37.3852	± 2.4	99.7797	± 147
3	0.0032	37.3885	± 2.0	99.7932	± 126
4	0.0034	37.4494	± 1.3	99.7853	± 81
5	0.0030	37.4620	± 3.0	99.8070	± 181
6	0.0033	37.5159	± 3.3	99.7895	± 203
μέσο 3-4	0.0033	37.4202	± 1.4	99.7928	± 85

Πίνακας 4.6. Οι βέλτιστες ευθείες για τη γραμμή 2

Ένα ερώτημα που γεννάται από τον υπολογισμό των βέλτιστων ευθειών αφορά στον αριθμό των διατομών που πρέπει να ληφθούν, έτσι ώστε τα σημεία να επαρκούν για τον ικανοποιητικό προσδιορισμό της βέλτιστης ευθείας. Για τους ελέγχους στο τμήμα των 12 m οι βέλτιστες ευθείες προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας 7 σημεία (ή 6 σε ελάχιστες περιπτώσεις όπου κάποιο σημείο παρουσίαζε μεγάλο υπόλοιπο).

Για το τμήμα αυτό υπολογίστηκαν επιπλέον οι βέλτιστες ευθείες χρησιμοποιώντας 5 και 3 σημεία επί της ευθείας (πίνακες 4.7 και 4.8). Τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν:

Για τη συνόρθωση με τα 5 σημεία λήφθηκαν υπόψη το αρχικό, το μέσο και το τελευταίο σημείο της ράγας καθώς και δύο σημεία εκατέρωθεν του μεσαίου.

Για τη συνόρθωση με τα 3 σημεία λήφθηκαν υπόψη το αρχικό, το μέσο και το τελευταίο σημείο της ράγας.

Ευθεία	7 Σημεία		5 Σημεία		3 Σημεία	
	A	σ_0^{cc}	A	σ_0^{cc}	A	σ_0^{cc}
1	99.8027	±96	99.8028	±126	99.8059	±247
2	99.8090	±121	99.8095	±153	99.8002	±230
3	99.8084	±86	99.8060	±95	99.8058	±197
4	99.8049	±159	99.8000	±183	99.8008	±366
5	99.8109	±143	99.8124	±178	99.8221	±135
6	99.8220	±189	99.8296	±181	99.8341	±353

Πίνακας 4.7. Αποτελέσματα συνόρθωσης για διαφορετικό αριθμό σημείων στη γραμμή 1

Ευθεία	7 Σημεία		5 Σημεία		3 Σημεία	
	A	σ_0^{cc}	A	Ευθεία	A	σ_0^{cc}
1	99.7853	±28	99.7843	±173	99.7715	±274
2	99.7797	±24	99.7745	±129	99.7740	±267
3	99.7932	±20	99.7927	±132	99.7840	±143
4	99.7853	±13	99.7842	±89	99.7790	±158
5	99.8070	±30	99.8051	±194	99.7897	±281
6	99.7895	±33	99.7876	±225	99.7836	±401

Πίνακας 4.8. Αποτελέσματα συνόρθωσης για διαφορετικό αριθμό σημείων στη γραμμή 2

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τις 3 συνορθώσεις συμπεραίνονται τα εξής:

α) Η βέλτιστη ευθεία που προκύπτει από τα 7 σημεία διαφέρει μόλις λίγα cc, από την αντίστοιχη των 5 σημείων. Συνεπώς σε έναν αντίστοιχο έλεγχο για το δεδομένο μήκος ράγας θα μπορούσαν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα ακόμη και χρησιμοποιώντας δεδομένα από 5 διατομές.

β) Αντίθετα η συνόρθωση με τα 3 σημεία (αρχικό, μεσαίο, τελικό) δίνει μεγαλύτερα υπόλοιπα και διαφορές στο τελικό αζιμούθιο που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι κοντά ή και μεγαλύτερες από 1°. Συνεπώς ο έλεγχος χρησιμοποιώντας μόνο 3 σημεία (όπως μέχρι σήμερα ορίζουν οι προδιαγραφές) κρίνεται επισφαλής και είναι πιθανό να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα.

Στην περίπτωση που αποφασισθεί να χρησιμοποιηθούν 5 σημεία για τον υπολογισμό της βέλτιστης ευθείας θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη

προσοχή στη λήψη των σημείων, καθώς αν κάποιο σημείο, για οποιοδήποτε λόγο, αποδειχθεί ακατάλληλο για τον προσδιορισμό της βέλτιστης ευθείας, τότε η συνόρθωση θα πραγματοποιηθεί με 4 ή και 3 σημεία, οπότε και είναι πιθανό ο έλεγχος να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

4.8 Πραγματοποίηση ελέγχων

Έχοντας ολοκληρώσει όλους τους υπολογισμούς και την ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων και διαθέτοντας τα απαραίτητα στοιχεία και διαγράμματα είναι πλέον δυνατός ο έλεγχος συμμόρφωσης της γερανογέφυρας με τις προδιαγραφές.

Μια πρώτη παρατήρηση σχετικά με τις ήδη υπάρχουσες προδιαγραφές είναι ότι αυτές κατά τους περισσότερους ελέγχους απαιτούν μετρήσεις στο αρχικό, στο μεσαίο και στο τελικό σημείο κάθε τμήματος της γραμμής. Αυτό δημιουργεί τα εξής προβλήματα:

α) Όπως φάνηκε ο έλεγχος 3 σημείων μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα και ακόμα και αυτά τα 3 σημεία αποδειχθεί ότι δεν παρουσιάζουν κάποιο πρόβλημα, αυτό δεν αποκλείει το γεγονός να υπάρχει φθορά σε κάποιο άλλο τμήμα της σιδηροτροχιάς.

β) Οι μέγιστες αποκλίσεις από την ιδανική περίπτωση σε ορισμένους ελέγχους είναι ιδιαίτερος αυστηρές (για παράδειγμα, στον έλεγχο στρέψης ο υπολογισμός του $|\Delta H|$ πρέπει να γίνει με ακρίβεια καλύτερη του ± 0.2 mm). Θεωρείται δύσκολο έως ακατόρθωτο η επίτευξη τέτοιων διαφορών με συμβατικά όργανα και μεθόδους και χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία.

γ) Ορισμένοι έλεγχοι αφορούν στη θέση των δύο απέναντι σιδηροτροχιών μέσω του ελέγχου των απέναντι ομόλογων σημείων. Εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι η αρχή της σιδηροτροχιάς στη μια πλευρά της γερανογέφυρας, δεν ταυτίζεται με την αρχή της απέναντι σιδηροτροχιάς. Επιπλέον σε κάθε σιδηροτροχιά είναι πιθανό να υπάρχει αλληλουχία τμημάτων διαφορετικού μήκους σε σχέση με αυτά που συναντούνται στην απέναντι πλευρά. Έτσι και πάλι ο έλεγχος των τριών σημείων αποδεικνύεται αναποτελεσματικός, καθώς οι συγκρίσεις είναι αδύνατο να πραγματοποιηθούν στα ομόλογα σημεία.

Σε ότι αφορά στη διαδικασία των ελέγχων προκύπτουν τα παρακάτω:

1) Ευθυγράμμιση των σιδηροτροχιών

Για κάθε διατομή βρέθηκε ψηφιακά το μέσον των σημείων 3 και 4 (υπενθυμίζεται ότι αυτά ορίζουν το άνω μέρος κάθε ράγας) και από αυτά η βέλτιστη ευθεία που ορίζει το μέσον κάθε ράγας.

Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιήθηκε η βέλτιστη ευθεία που προέκυψε για το σύνολο κάθε γραμμής και αυτές που προέκυψαν για κάθε τμήμα τους ξεχωριστά, καθώς σε έναν τέτοιο έλεγχο ενδιαφέρει η παραλληλία των δύο γραμμών σε όλο το μήκος της σιδηροτροχιάς και όχι σε κάθε μεμονωμένο τμήμα αυτών.

Από τη βέλτιστη αυτή ευθεία φέρθηκαν κάθετες ευθείες προς την απέναντι αντίστοιχη ευθεία. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζονται επακριβώς τα απέναντι σημεία, όπως ορίζεται από τον έλεγχο. Μετρήθηκαν οι αποστάσεις (s') και συγκρίθηκαν με τη θεωρητική τιμή, η οποία από τα κατασκευαστικά σχέδια ορίζεται ίση με 27 m. Από την εφαρμογή της σχέσης 4.2 προκύπτει ότι η μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση είναι ± 6 mm. Τα αποτελέσματα στον πίνακα 4.9 δείχνουν ότι οι σιδηροτροχιές αποκλίνουν, όσο αυξάνει η απόσταση από την αρχή.

Διατομή στη γραμμή 1	s' (m)	Δs (mm)
1	26.9976	-2.4
2	26.9989	-1.1
3	26.9995	-0.5
4	27.0001	0.1
5	27.0013	1.3
6	27.0013	1.3
7	27.0026	2.6
8	27.0039	3.9
9	27.0051	5.1
10	27.0063	6.3
11	27.0074	7.4
12	27.0086	8.6

Πίνακας 4.9. Έλεγχος ευθυγράμμισης χρησιμοποιώντας τις βέλτιστες ευθείες

Θεωρώντας τις σιδηροτροχιές ως αλληλουχία μεμονωμένων σημείων ενωμένα μεταξύ τους, προκύπτουν τα σημεία εκείνα που πιθανώς να παρουσιάζουν πρόβλημα. Σε αυτή την περίπτωση το μέσο των κάθε μιας σιδηροτροχιάς, προέκυψε ψηφιακά συνδέοντας τα αντίστοιχα μέσα (των σημείων 3 και 4) με πολυγωνική γραμμή. Όπως και στην προηγούμενη

περίπτωση από τα σημεία της γραμμής 1, άγονται κάθετες στην απέναντι γραμμή και αφού μετρήθουν οι αποστάσεις (s'), συγκρίνονται με τη θεωρητική τιμή (πίνακας 4.10).

Διατομή στη γραμμή 1	s' (m)	Δs (mm)
1	26.9955	-4.5
2	27.0015	1.5
3	27.0001	0.1
4	27.0002	0.2
5	27.0007	0.7
6	27.0012	1.2
7	27.0068	6.8
8	27.0047	4.7
9	27.0095	9.5
10	27.0076	7.6
11	27.0063	6.3
12	27.0044	4.4

Πίνακας 4.10. Έλεγχος ευθυγράμμισης χρησιμοποιώντας τα μετρημένα σημεία

2) Έλεγχος σχετικής ανύψωσης των σιδηροτροχιών

Στο διάγραμμα της όψης απεικονίσθηκαν οι βέλτιστες ευθείες για τα σημεία 3 και 4 των σιδηροτροχιών. Από τα σημεία 3 της ράγας 1, υπολογίσθηκαν οι υψομετρικές διαφορές προς τα σημεία 4 της ράγας 2. (τα εξωτερικά σημεία κάθε ράγας). Από τα σημεία 4 της ράγας 1, υπολογίσθηκαν αντίστοιχα οι υψομετρικές διαφορές προς τα σημεία 4 (τα αντίστοιχα εσωτερικά σημεία κάθε ράγας).

Θεωρείται ότι τα σημεία αυτά σε κάθε πλευρά της γερανογέφυρας παραλαμβάνουν αντίστοιχες φορτίσεις, οπότε και η οποιαδήποτε φθορά θα γίνεται ομοιόμορφα για τα αντίστοιχα εσωτερικά και εξωτερικά τμήματα στις δύο πλευρά.

Οι υψομετρικές διαφορές συγκρίθηκαν με την μέγιστη τιμή που από τη σχέση 4.3 προκύπτει ίση με ± 10 mm. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.11 σε κάθε περίπτωση οι διαφορές είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια. Οι μικρές διαφορές που παρουσιάζονται ανάμεσα στα εσωτερικά και εξωτερικά σημεία της ίδιας διατομής μπορεί να οφείλονται στη σκόπευση του σημείου, στη φυσική φθορά της σιδηροτροχιάς ή σε μικρή στρέψη αυτής.

Διατομή	Εξωτερικά σημεία	Εσωτερικά σημεία
	h1-h2 (mm)	h1-h2 (mm)
1	5.8	10.4
2	8.4	9.5
3	9.7	9.1
4	10.8	8.7
5	13.3	5.0
6	5.7	5.0
7	5.8	5.2
8	5.9	5.4
9	6.0	5.5
10	6.1	5.7
11	6.2	5.8
12	6.2	6.0

Πίνακας 4.11. Έλεγχος σχετικής ανύψωσης χρησιμοποιώντας τις βέλτιστες ευθείες

Χρησιμοποιώντας μόνο τα μετρημένα σημεία και όχι τις καλύτερες ευθείες που διέρχονται από αυτά, η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

Στο διάγραμμα της όψης άγονται οι κάθετες από τα σημεία της γραμμής 1 προς τη γραμμή 2 και μετρούνται οι διαφορές αυτές. Η διαδικασία, όπως και προηγουμένως πραγματοποιήθηκε τόσο για τα εξωτερικά, όσο και για τα εσωτερικά σημεία.

Και σε αυτή την περίπτωση φαίνεται ότι για τα περισσότερα σημεία οι σιδηροτροχιές πληρούν τις προϋποθέσεις ασφαλείας. Σε ελάχιστες περιπτώσεις οι διαφορές είναι εκτός ορίων, ενώ μόνο μια υψομετρική διαφορά (εσωτερικά σημεία της διατομής 1) παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση (πίνακας 4.12)

Διατομή	Εξωτερικά σημεία	Εσωτερικά σημεία
	h1-h2 (mm)	h1-h2 (mm)
1	4.3	-15.0
2	10.4	8.4
3	10.8	7.8
4	12.7	8.7
5	10.9	7.7
6	9.9	7.7
7	6.3	5.3
8	2.3	-4.6
9	4.1	2.8
10	5.8	4.4
11	8.8	5.4
12	10.7	6.3

Πίνακας 4.12. Έλεγχος εγκάρσιας ανύψωσης χρησιμοποιώντας τα μετρημένα σημεία

3) Έλεγχος διαμήκους ανύψωσης των σιδηροτροχιών

Για τον έλεγχο αυτό ως θεωρητικό επίπεδο της σιδηροτροχιάς λήφθηκαν οι καλύτερες ευθείες που διέρχονται από τα σημεία της όψης. Ως Δh (σχήμα 4.3) θεωρούνται τα υπόλοιπα κάθε σημείου από την καλύτερη ευθεία. Ο προσδιορισμός του μεγέθους c έγινε ψηφιακά προεκτείνοντας το ένα τμήμα κάθε σιδηροτροχιάς κατά 2 m προς την μεριά του προηγούμενου. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν οι καλύτερες ευθείες κάθε ενός από τα δύο τμήματα ξεχωριστά.

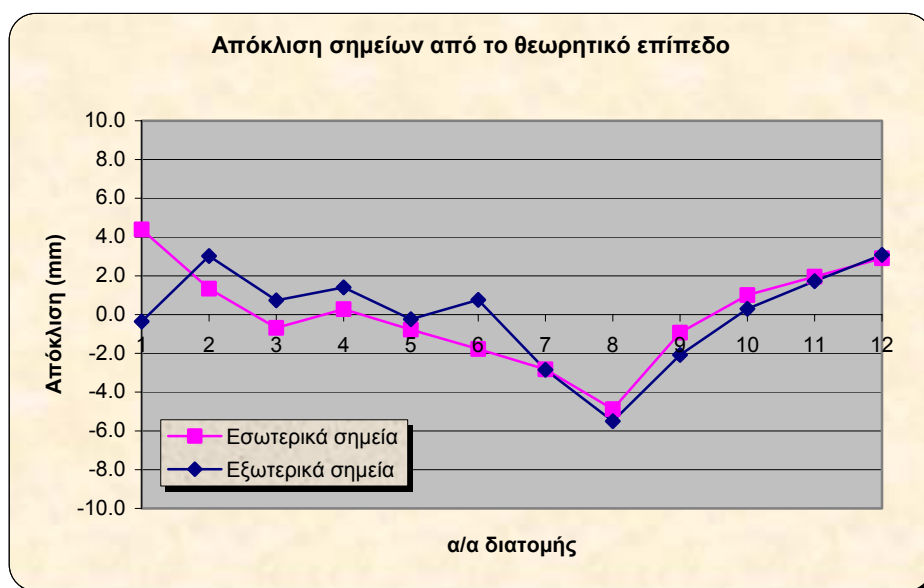
Οι μετρημένες τιμές συγκρίνονται με τις θεωρητικές (σχέσεις 4.4 και 4.5) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 4.10, 4.11 και στον πίνακα 4.13. Όπως φαίνεται οι υψομετρικές διαφορές στα σημεία της ίδιας ράγας είναι πολύ καλύτερες από το μέγιστο επιτρεπόμενο (που είναι ± 10 mm).

Το πρόβλημα που παρουσιάστηκε κατά τον προηγούμενο έλεγχο με την υψομετρική διαφορά των εσωτερικών σημείων της διατομής 1, παρουσιάζεται και εδώ. Το εσωτερικό σημείο της πρώτης διατομής φαίνεται να έχει απόκλιση κατά πολύ μεγαλύτερη από το επιτρεπτό όριο. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί είτε ως πραγματικό πρόβλημα του συγκεκριμένου σημείου, είτε ως αστοχία κατά τη σκόπευση.

Σε ότι αφορά στο μέγεθος c φαίνεται να παρουσιάζεται πρόβλημα στην ένωση των δύο τμημάτων στη γραμμή 2.



Σχήμα 4.11. Έλεγχος διαμήκους ανύψωσης στη γραμμή 1



Σχήμα 4.12. Έλεγχος διαμήκους ανύψωσης στη γραμμή 2

	Γραμμή 1 (mm)	Γραμμή 2 (mm)
Εξωτερικό	1.4	4.2
Εσωτερικό	0.5	5.1

Πίνακας 4.13. Η τιμή του μεγέθους $|c|$

4) Έλεγχος στρέψης των σιδηροτροχιών

Από το διάγραμμα της όψης με τις καλύτερες ευθείες προσδιορίστηκαν οι υψομετρικές διαφορές (Δh) μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών σημείων στην ίδια σιδηροτροχιά. Στη συνέχεια από το διάγραμμα κάτοψης προσδιορίστηκε το μέσο πλάτος b της σιδηροτροχιάς. Αυτό προέκυψε ίσο με 66 mm για τη γραμμή 1 και 64 mm για τη γραμμή 2. (Σημειώνεται ότι από τα κατασκευαστικά σχέδια το πλάτος της γραμμής προκύπτει ίσο με 65 mm).

Τέλος υπολογίστηκε ο λόγος $|\Delta h|/b$ και συγκρίθηκε με τη θεωρητική τιμή 0.003 (σχέση 4.6). Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.14 σε ελάχιστες περιπτώσεις τα σημεία είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

Αυτό δε προκαλεί ιδιαίτερη εντύπωση καθώς η συγκεκριμένη τιμή που δίνεται ως όριο κρίνεται υπερβολική. Για το κατασκευαστικό πλάτος της ράγας $b = 65$ mm, προκειμένου δύο σημεία μιας διατομής να είναι εντός των ορίων θα πρέπει να έχουν υψομετρική διαφορά μικρότερη από 0.2 mm. Συνεπώς ο προσδιορισμός του υψομέτρου κάθε σημείου θα πρέπει να γίνει με πλέον καλύτερη ακρίβεια.

Διατομή	Γραμμή 1		Γραμμή 2	
	$ \Delta h $ (mm)	$ \Delta h /b$	$ \Delta h $ (mm)	$ \Delta h /b$
1	0.5	0.008	5.7	0.089
2	1.8	0.027	3.7	0.058
3	2.5	0.038	2.7	0.042
4	3.1	0.047	1.6	0.025
5	4.4	0.067	0.4	0.006
6	1.0	0.015	0.4	0.006
7	0.8	0.012	0.2	0.003
8	0.5	0.008	0.0	0.000
9	0.3	0.005	0.1	0.002
10	0.1	0.002	0.3	0.005
11	0.2	0.003	0.5	0.008
12	0.4	0.006	0.7	0.011

Πίνακας 4.14. Έλεγχος στρέψης χρησιμοποιώντας τις καλύτερες ευθείες

Ο ίδιος έλεγχος πραγματοποιήθηκε, χρησιμοποιώντας τα υψόμετρα των σημείων, όπως αυτά προέκυψαν από την επίλυση. Για κάθε διατομή προσδιορίστηκε η υψομετρική διαφορά μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών σημείων της ράγας. Στη συνέχεια προσδιορίστηκε ο λόγος $|\Delta h|/b$ και συγκρίθηκε με τη θεωρητική τιμή. Ο πίνακας 4.15 δείχνει και

σε αυτή την περίπτωση πως η συγκεκριμένη τιμή είναι δύσκολο έως ακατόρθωτο να επιτευχθεί.

Διατομή	Γραμμή 1		Γραμμή 2	
	$ \Delta h $ (mm)	$ \Delta h /b$	$ \Delta h $ (mm)	$ \Delta h /b$
1	23.7	0.359	6.8	0.107
2	1.4	0.021	0.2	0.002
3	2.6	0.039	0.1	0.002
4	3.1	0.047	0.1	0.001
5	2.3	0.035	0.6	0.009
6	1.0	0.015	1.5	0.023
7	1.2	0.018	0.6	0.010
8	7.4	0.112	0.4	0.006
9	0.3	0.005	0.0	0.000
10	0.1	0.001	1.0	0.016
11	1.0	0.015	1.5	0.024
12	1.5	0.023	2.3	0.035

Πίνακας 4.15. Έλεγχος στρέψης χρησιμοποιώντας τα υψόμετρα των σημείων

5) Έλεγχος οριζόντιας καμπύλωσης των σιδηροτροχιών

Για την εύρεση του $\Delta x_{L/2}$ ενώθηκαν το πρώτο και τελευταίο σημείο κάθε τμήματος της σιδηροτροχιάς στο διάγραμμα της κάτοψης. Στη συνέχεια μετρήθηκε η απόκλιση στο μέσο της ράγας. Ο υπολογισμός του Δx για το τμήμα των 2 m πραγματοποιήθηκε και αυτός στο μέσο κάθε ράγας (ενώνοντας τα σημεία 1 m πριν το μέσο και 1m μετά το μέσο, θεωρώντας το ως τη δυσχερέστερη περίπτωση). Μετρήθηκαν οι αντίστοιχες αποστάσεις και συγκρίνονται με τις θεωρητικές τιμές που προκύπτουν από τις σχέσεις 4.7 (± 10 mm) και 4.8 (± 1 mm).

Σε κάθε περίπτωση η απόκλιση στο μέσο κάθε ράγας είναι κατά πολύ μικρότερη από την τιμή των ± 10 mm. Σε ότι αφορά στον έλεγχο για το τμήμα των 2 m, η τιμή του 1 mm κρίνεται υπερβολική και σίγουρα η απόκλιση είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στην ακρίβεια του οργάνου. (πίνακες 4.16 και 4.17).

Ευθεία	Τμήμα 1		Τμήμα 2	
	$\Delta x_{L/2}$ (mm)	Δx (mm)	$\Delta x_{L/2}$ (mm)	Δx (mm)
3	3.3	0.3	3.2	1.5
4	2.7	1.8	5.9	2

Πίνακας 4.16. Έλεγχος οριζόντιας καμπύλωσης για τη γραμμή 1

Ευθεία	Τμήμα 1		Τμήμα 2	
	$\Delta x_{L/2}$ (mm)	Δx (mm)	$\Delta x_{L/2}$ (mm)	Δx (mm)
3	4.5	0.8	1.8	0.9
4	4.3	0.3	2.5	0.1

Πίνακας 4.17. Έλεγχος οριζόντιας καμπύλωσης για τη γραμμή 2

Όπως γίνεται φανερό από τη διαδικασία που αναπτύχθηκε παραπάνω για τη διεξαγωγή των ελέγχων, το τμήμα της γερανογέφυρας που ελέγχθηκε δε φαίνεται να αντιμετωπίζει πρόβλημα λειτουργίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι τιμές είναι μικρότερες (ή οριακά μεγαλύτερες) από τα όρια που έχουν τεθεί. Μετά τη σχετική ανάλυση, πιθανό πρόβλημα παρουσιάζεται μόνο σε ένα σημείο της σιδηροτροχιάς 1.

Επιπλέον κρίνεται προτείνεται η αναθεώρηση των τιμών για τον έλεγχο στρέψης της γερανογέφυρας, καθώς η τιμή που δίνεται ως μέγιστη αποχή θεωρείται εκτός πραγματικότητας.

Παράλληλα η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων, αν εφαρμοσθεί με την κατάλληλη προσοχή και όργανα αποδεικνύεται ιδανική για την πραγματοποίηση των συγκεκριμένων μετρήσεων και την επίτευξη των προσδοκώμενων ακριβειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

5.1 Γενικά

Η δυνατότητα των σύγχρονων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών να μετρούν μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, καθιστά δυνατό τον υπολογισμό της θέσης στο χώρο, των σημείων μιας κατασκευής με ικανοποιητική ακρίβεια. Στην εφαρμογή που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα σημεία της κατασκευής ήταν προσιτά, αλλά αντίστοιχη διαδικασία μπορεί να ακολουθηθεί και στην περίπτωση που τα σημεία είναι απρόσιτα.

Στην εφαρμογή που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο, χρησιμοποιείται η reflectorless λειτουργία του γεωδαιτικού σταθμού για την αποτύπωση ενός καλωδίου μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος υψηλής τάσης (Φωτ. 5.1).

Οι λόγοι που επιλέχθηκε το καλώδιο ως αντικείμενο μελέτης επικεντρώνονται στο γεγονός ότι ως κατασκευή είναι απρόσιτη. Έτσι παρουσιάζεται αδυναμία σήμανσης των σημείων, ώστε να μπορούν να μετρηθούν με άλλη μέθοδο. Τέλος έχει ιδιαίτερα μικρή επιφάνεια (η διάμετρος υπολογίσθηκε ίση με 1 cm) και συνεπώς παρουσιάζει ενδιαφέρον η συμπεριφορά της δέσμης laser, όταν προσπίπτει σε μια τέτοια επιφάνεια.



Φωτογραφία 5.1. Πυλώνες μεταφοράς ρεύματος υψηλής τάσης

5.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση καλωδίου

Το καλώδιο που επιλέχθηκε βρίσκεται στην περιοχή Νεοκτίστων Ασπροπύργου. Όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες 5.2 και 5.3 ο περιβάλλον χώρος δεν παρουσιάζει εμπόδια ή άλλες δυσκολίες. Σημαντικός παράγοντας για την ολοκλήρωση των μετρήσεων στη συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελούν οι καιρικές συνθήκες. Απαιτείται άπνοια για τη σωστή σκόπευση των σημείων επί του καλωδίου, ενώ για λόγους ασφαλείας προτείνεται οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται μέρες με ηλιοφάνεια. Τέλος είναι χρήσιμο οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται ημέρες χωρίς έντονη ζέστη ή κρύο, ώστε να μην ασκούνται στο καλώδιο δυνάμεις συστολής ή διαστολής αντίστοιχα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 12-12-2007, οπότε και ικανοποιούνταν οι παραπάνω καιρικές συνθήκες.

Για τη γεωμετρική τεκμηρίωση του καλωδίου χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός GPT 3003LN της εταιρείας TOPCON. Η αποτύπωση έγινε από μία στάση του οργάνου. Οι πυλώνες οι οποίοι συγκρατούν το καλώδιο απέχουν περίπου 300 m. Η αποτύπωση έγινε από μια στάση οργάνου, σε απόσταση περίπου 15 m από τον άξονα που ορίζουν οι δύο πυλώνες. Οι αποστάσεις στις οποίες έγιναν οι σκοπεύσεις κυμαίνονταν από 20 m στα σημεία πάνω από το όργανο, μέχρι και 230 στα σημεία κοντά στο ένα άκρο του καλωδίου. (σχ. 5.1)



Φωτογραφία 5.2. Ο πρώτος πυλώνας στήριξης του καλωδίου

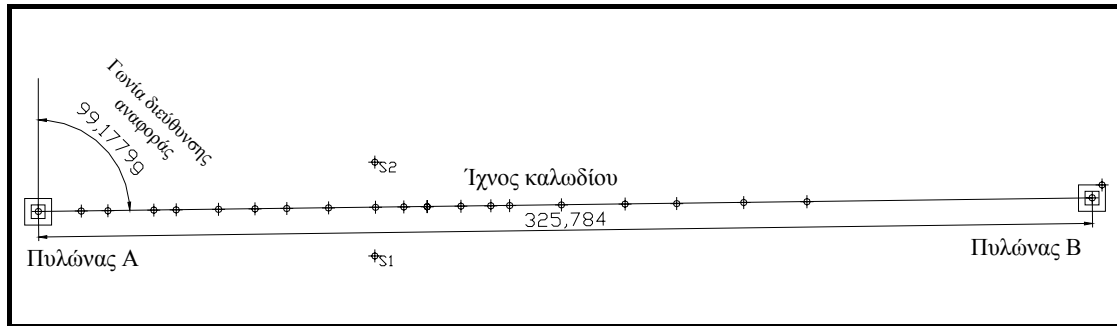


Φωτογραφία 5.3. Ο δεύτερος πυλώνας στήριξης του καλωδίου

Η αποτύπωση πραγματοποιήθηκε σε αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων με αρχή του συστήματος τη στάση Σ1 (1000, 1000, 100) που χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση. Προκειμένου να είναι δυνατή η επανάληψη των μετρήσεων και αυτές να αναφέρονται σε κοινό σύστημα αναφοράς, ο μηδενισμός πραγματοποιήθηκε σε μια δεύτερη στάση Σ2 σε διεύθυνση περίπου κάθετη στον άξονα των δύο πυλώνων. Τα σημεία λεπτομερειών που αποτυπώθηκαν αφορούν στην επιφάνεια του καλωδίου από το σημείο επαφής του με τον πρώτο πυλώνα μέχρι και το σημείο επαφής του με το δεύτερο πυλώνα. Αφού υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες τους x , y , z στο τοπικό σύστημα αναφοράς, αποδόθηκαν ηλεκτρονικά.

Στο σχήμα 5.1 απεικονίζεται η κάτοψη που προέκυψε. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα σημεία βρίσκονται σε ευθεία, ενώ στο μεγαλύτερο τμήμα του καλωδίου αυτά απέχουν ίσες αποστάσεις. Στο δεξιά τμήμα του καλωδίου η πυκνότητα των σημείων είναι μικρότερη, καθώς δεν κατέστη δυνατό να ληφθούν περισσότερα σημεία.

Αυτό μπορεί να οφείλεται, στη μικρή επιφάνεια του καλωδίου σε συνδυασμό με τη δυσμενή γωνία σκόπευσης (ήταν αδύνατη η επιστροφή της δέσμης), ή σε αστοχία της σκόπευσης καθώς ορισμένα σημεία βρέθηκαν σημαντικά εκτός της ευθείας που ορίζουν τα υπόλοιπα (η ανάκλαση της δέσμης προήλθε από αντικείμενο πίσω από το καλώδιο).



Σχήμα 5.1. Διάγραμμα κάτοψης καλωδίου

Για να γίνει οριζοντιογραφικός έλεγχος των μετρημένων σημείων πραγματοποιήθηκε προσαρμογή ευθείας σε αυτά. Η συνόρθωση έγινε με αλγόριθμο που κάνει χρήση της ΜΕΤ.

Η βέλτιστη ευθεία που περιγράφει τα σημεία είναι η:

$$y = 0.0129x + 1002.1117$$

Το τυπικό σφάλμα της συνόρθωσης προέκυψε ίσο με:

$$\sigma_0 = \pm 0.025 \text{ m}$$

Τα υπόλοιπα των σημείων που προκύπτουν από τη συνόρθωση κυμαίνονται από λίγα mm, μέχρι 5 cm.

Τέλος η γωνία διεύθυνσης της βέλτιστης ευθείας βρέθηκε:

$$\alpha = 99.1792^{\circ} \pm 0.0043^{\circ}$$

Τόσο το τυπικό σφάλμα της συνόρθωσης και τα υπόλοιπα των σημείων, όσο και το τυπικό σφάλμα του αζιμουθίου, φανερώνουν ότι τα σημεία προσαρμόζονται ικανοποιητικά σε ευθεία. Επιπλέον έλεγχος έγινε λαμβάνοντας τη γωνία διεύθυνσης από το ψηφιακό σχέδιο, ενώνοντας το πρώτο και το τελευταίο σημείο του καλωδίου. Η τιμή αυτής προέκυψε ίση με $\alpha = 99.1779^{\circ}$ και αυτή τελικά χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς για τη γωνία στροφής που περιγράφονται παρακάτω.

5.2.1 Δημιουργία όψης

Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες της επιφάνειας του καλωδίου πρέπει να υποβληθούν σε κατάλληλο μετασχηματισμό, έτσι ώστε να υπολογισθούν νέες συντεταγμένες για όλα τα σημεία σε ένα δεύτερο σύστημα αναφοράς. Στο νέο σύστημα αναφοράς ο ένας άξονας είναι παράλληλος με τον άξονα που ορίζει η αρχή και το τέλος του καλωδίου και ο

δεύτερος είναι κάθετος σε αυτόν και στο έδαφος. Ως αρχή του νέου συστήματος ορίζεται κάποιο σημείο που βρίσκεται πάνω στο επίπεδο της κατακόρυφης τομής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας στροφής των συντεταγμένων των σημείων από το ένα σύστημα στο άλλο και μιας μετάθεσης τους στην αρχή του συστήματος. [Πανταζής Γ., 2005]

Η στροφή αυτή είναι απαραίτητη προκειμένου να προκύψει ορθή προβολή των σημείων. Αρχικά ορίζεται το ίχνος του επιπέδου αναφοράς της απόδοσης. Ως επίπεδο αναφοράς ορίζεται το κατακόρυφο επίπεδο πάνω στο οποίο θα προβληθούν τα σημεία της επιφάνειας του καλωδίου. Από το διάγραμμα της κάτοψης που δημιουργήθηκε επιλέγεται το ίχνος του επιπέδου αναφοράς, δηλαδή μια ευθεία και το αρχικό σημείο.

Ως ευθεία επιλέγεται αυτή που ορίζουν το αρχικό και το τελικό σημείο της επιφάνειας του καλωδίου, από τα οποία και προκύπτει η αντίστοιχη γωνία διεύθυνσης. Για την επιλογή της σωστής γωνίας διεύθυνσης και την αποφυγή κατοπτρικού σχήματος ακολουθείται ο εξής πρακτικός κανόνας: Η γωνία διεύθυνσης επιλέγεται έτσι ώστε η όψη να αναπτύσσεται καθώς ο παρατηρητής κινείται από αριστερά προς τα δεξιά κοιτώντας τη. Παρατηρώντας τα ραπορταρισμένα σημεία φαίνεται πως η σωστή γωνία διεύθυνσης είναι:

$$\alpha_{\text{αναφοράς}} = 99.1779^{\circ}$$

Αντίστοιχα, επιλέγεται και το αρχικό σημείο από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της γωνίας διεύθυνσης, έτσι ώστε να βρίσκεται στην αρχή του ίχνους του επιπέδου αναφοράς. Το σημείο αυτό έχει καρτεσιανές συντεταγμένες:

Αρχικό σημείο (895.994, 1013.722)

Η στροφή συνήθως γίνεται προς τον άξονα που βρίσκεται πλησιέστερα στη γωνία διεύθυνσης. Επιλέγεται η στροφή να γίνει στον άξονα X. Για γωνία στροφής στον άξονα X, η τιμή της ϕ θα είναι:

$$\begin{aligned}\phi &= \alpha_{\text{αναφοράς}} - 100^{\circ} \\ \phi &= 399.1779^{\circ}\end{aligned}\tag{5.1}$$

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των συντεταγμένων των σημείων μετά τη στροφή συντάχθηκε αλγόριθμος σε περιβάλλον Matlab 6.5.1. Ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής:

Αρχικά ο χρήστης εισάγει τις παραμέτρους της στροφής:

- Τη γωνία διεύθυνσης του επιπέδου προβολής
- Συντεταγμένες του αρχικού σημείου

- Τον άξονα στον οποίο πραγματοποιείται η στροφή

Από αυτές υπολογίζεται η γωνία στροφής ϕ και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι σχέσεις μετασχηματισμού (5.2 και 5.3) για τον υπολογισμό των συντεταγμένων:

$$x'_i = x_A + \cos \phi \times (x_i - x_A) - \sin \phi \times (y_i - y_A) \quad (5.2)$$

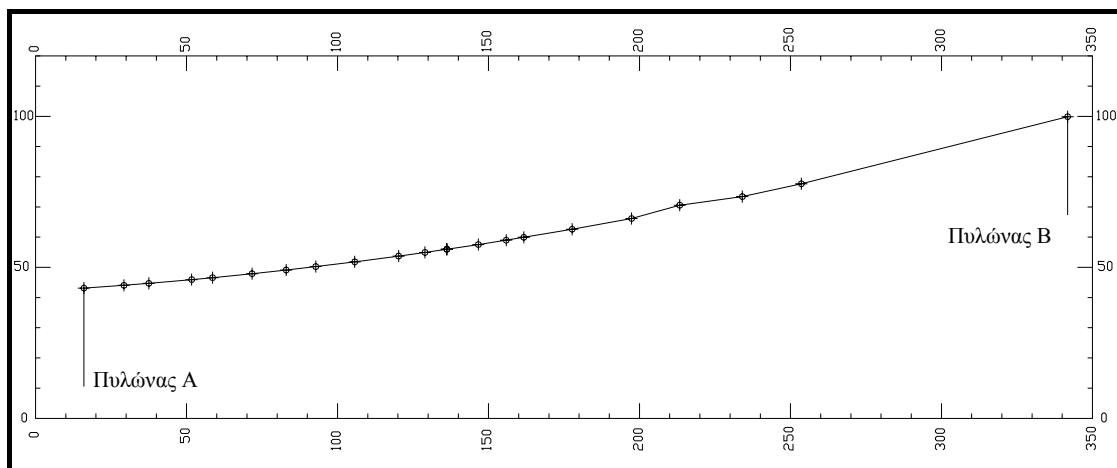
$$y'_i = y_A + \sin \phi \times (x_i - x_A) + \cos \phi \times (y_i - y_A) \quad (5.3)$$

όπου x_A, y_A οι συντεταγμένες της αρχής του νέου συστήματος $x'-y'$ στο σύστημα XOY και η γωνία στροφής $\phi = 399.1779^\circ$ στον άξονα X .

Τέλος υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων της κατακόρυφης οψητομής από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} x_{si} &= x'_i \\ y_{si} &= z_i = z'_i \\ z_{si} &= -y'_i \end{aligned} \quad (5.4)$$

Δημιουργείται πίνακας με τον αύξοντα αριθμό και τις τελικές συντεταγμένες κάθε σημείου, ο οποίος και αποθηκεύεται σε μορφή ASCII, ώστε να είναι εύκολο το ραπορτάρισμα των σημείων σε σχεδιαστικό περιβάλλον AutoCAD. Το σχέδιο της όψης όπως προκύπτει μετά την απόδοση απεικονίζεται στο σχήμα 5.2:



Σχήμα 5.2. Διάγραμμα όψης καλωδίου

5.3 Προσαρμογή καμπύλης

Η όψη που προέκυψε από τις μετρήσεις και παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2 αποτελεί την παρούσα κατάσταση του καλωδίου κατά τη χρονική στιγμή που διεξήχθησαν οι μετρήσεις. Το περιβάλλον μιας τέτοιας κατασκευής είναι δυναμικό και αυτή μπορεί να επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες. Τέτοιοι μπορεί να είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς:

α) Απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί συστολή και διαστολή του καλωδίου και συνεπώς φθορά στο σώμα αυτού.

β) Έντονος αέρας, βροχή ή χιονόπτωση ασκούν πιέσεις που επηρεάζουν την καμπυλότητα του καλωδίου ή ακόμα και τη σταθερότητα των πυλώνων.

Επιπλέον με την πάροδο του χρόνου ασκείται κατακόρυφη δύναμη από το ίδιο βάρος του καλωδίου, ενώ έντονες δυνάμεις μπορεί να προκαλέσουν ακόμα και την καταστροφή αυτού.

Προκειμένου να είναι δυνατός ο έλεγχος της κατασκευής διερευνάται η δυνατότητα προσαρμογής μιας πολυωνμικής καμπύλης. Η μελέτη της καμπύλης αυτής θα μπορούσε να δώσει χρήσιμα συμπεράσματα για την ασφάλεια της κατασκευής, ενώ από τη μελέτη των καμπύλων αυτών στο χρόνο πιθανόν να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη δυναμική μεταβολή της κατασκευής. Σε κάθε περίπτωση είναι δυνατός και ο υπολογισμός της αποχής κάθε μετρημένου σημείου από την ιδανική καμπύλη.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή υπολογίζονται πολυώνυμα 2ου και 3ου βαθμού με τη βοήθεια της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων (MET), στο λογισμικό MatLAB.

Έτσι, το πολυώνυμο 2ου βαθμού που περιγράφει καλύτερα τη μορφή του καλωδίου είναι το:

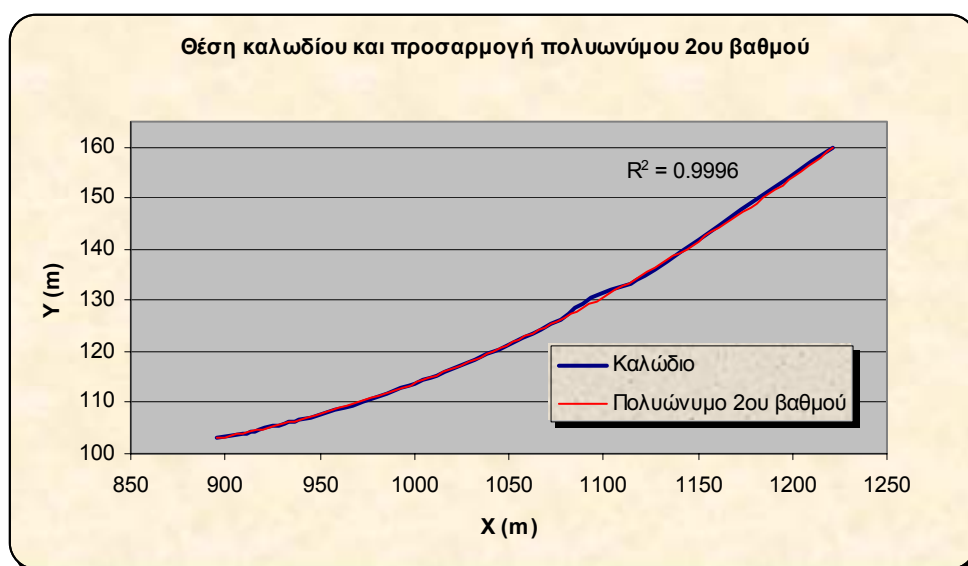
$$f(x) = 3.2214 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.5073 \cdot x + 298.9378 \quad (5.5)$$

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα μετρημένα και τα θεωρητικά μεγέθη καθώς και τα υπόλοιπα αυτών (οι αποχές των μετρημένων σημείων από την ιδανική καμπύλη), ενώ στο σχήμα 5.3 φαίνεται μια απεικόνιση αυτών:

Σημείο	X (m)	Y (m)	f(x) (m)	Υπόλοιπα (mm)
1	895.994	103.113	103.013	99.9
2	909.261	104.047	103.998	48.9
3	917.496	104.705	104.667	38.5
4	931.685	105.941	105.921	20.2
5	938.596	106.583	106.579	4.4
6	951.699	107.897	107.91	-13.4
7	962.982	109.117	109.146	-28.8
8	972.778	110.245	110.285	-39.9
9	985.707	111.823	111.883	-60.0
10	1000.229	113.73	113.806	-76.5
11	1008.97	114.946	115.03	-83.7
12	1016.196	115.987	116.078	-91.1
14	1026.634	117.548	117.652	-103.9
15	1035.86	118.991	119.101	-110.4
16	1041.689	119.935	120.045	-110.5
17	1057.706	122.621	122.752	-131.3
18	1077.378	126.166	126.303	-137.0
19	1093.325	130.579	129.364	1214.7
20	1114.042	133.423	133.586	-163.1
21	1133.604	137.663	137.826	-163.2
23	1221.778	159.885	159.999	-113.7

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα από την πρώτη προσαρμογή 2-βάθμιου πολωνύμου

Το τυπικό σφάλμα της επίλυσης προκύπτει ίσο με $\sigma_0 = \pm 287.6$ mm



Σχήμα 5.3. Θέση καλωδίου και προσαρμογή πολυωνύμου 2ου βαθμού

Όπως μπορεί κανείς να δει στον πίνακα το σημείο 19 της καμπύλης παρουσιάζει μεγάλο υπόλοιπο (1215 mm). Πράγματι τόσο στο σχήμα 5.2, όσο και στο σχήμα 5.3 παρουσιάζεται μια μικρή έξαρση στο "κανονικό" σχήμα του καλωδίου. Η έξαρση αυτή μπορεί να οφείλεται είτε σε αστοχία του σκοπευόμενου σημείου, είτε σε πραγματική ύπαρξη προβλήματος στο συγκεκριμένο σημείο.

Προκειμένου να καταδειχθεί η καταλληλότητα της μεθόδου και η ακρίβεια που παρέχει προτείνεται μια επιπλέον λύση, εξαιρώντας από την προσαρμογή του πολυωνύμου το συγκεκριμένο σημείο (σημείο 19). Σε αυτή την περίπτωση το νέο πολυώνυμο δευτέρου βαθμού δίνεται από τη σχέση 5.6, ενώ πίνακας 5.2 δίνει τα νέα υπόλοιπα για κάθε σημείο:

$$f(x) = 3.2642 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.5170 \cdot x + 304.2767 \quad (5.6)$$

Σημείο	X (m)	Y (m)	f(x) (m)	Υπόλοιπα (mm)
1	895.994	103.113	103.100	12.7
2	909.261	104.047	104.059	-12.1
3	917.496	104.705	104.712	-7.1
4	931.685	105.941	105.941	0
5	938.596	106.583	106.587	-4.1
6	951.699	107.897	107.898	-0.8
7	962.982	109.117	109.116	0.8
8	972.778	110.245	110.242	3.5
9	985.707	111.823	111.823	0.4
10	1000.229	113.73	113.729	1.4
11	1008.97	114.946	114.942	3.8
12	1016.196	115.987	115.983	3.9
14	1026.634	117.548	117.547	1.1
15	1035.86	118.991	118.988	2.6
16	1041.689	119.935	119.928	7.2
17	1057.706	122.621	122.623	-2.2
18	1077.378	126.166	126.163	3.2
20	1114.042	133.423	133.434	-11.1
21	1133.604	137.663	137.673	-9.7
23	1221.778	159.885	159.879	6.3

Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα από τη δεύτερη προσαρμογή 2-βάθμιου πολυωνύμου

Το τυπικό σφάλμα της επίλυσης αυτή τη φορά προκύπτει ίσο με:

$$\sigma_0 = \pm 6.3 \text{ mm}$$

Αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκε προσαρμογή πολυωνύμου 3ου βαθμού, τόσο για όλα τα σημεία της καμπύλης, όσο και εξαιρώντας το σημείο 19, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Οι σχέσεις 5.7 και 5.8 δίνουν το πολυώνυμο που περιγράφει καλύτερα τη μορφή του καλωδίου (με όλα τα σημεία και εξαιρώντας το σημείο 19 αντίστοιχα):

$$f(x) = -1.0731 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 6.6188 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.86387 \cdot x + 423.0071 \quad (5.7)$$

$$f(x) = 3.0829 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 + 3.1667 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.50678 \cdot x + 400.7242 \quad (5.8)$$

Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται η μετρημένη τιμή του Y και τα υπόλοιπα για κάθε μια από τις δύο περιπτώσεις μελέτης:

Σημείο	Y (m)	Υπόλοιπα (mm) (όλα τα σημεία)	Υπόλοιπα (mm) (πλην 19)
1	103.113	-45.0	16.7
2	104.047	-22.5	-10.2
3	104.705	4.2	-6.2
4	105.941	36.2	-0.5
5	106.583	38.8	-5.1
6	107.897	46.5	-2.5
7	109.117	43.8	-1.3
8	110.245	37.5	1.4
9	111.823	16.0	-1.6
10	113.73	-10.8	-0.3
11	114.946	-28.0	2.4
12	115.987	-45.3	2.8
14	117.548	-74.8	0.5
15	118.991	-97.8	2.5
16	119.935	-108.8	7.5
17	122.621	-161.0	-1
18	126.166	-204.3	5.4
19	130.579	1120.6	-
20	133.423	-282.1	-7.3
21	137.663	-291.1	-5.7
23	159.885	28.0	2.5

Πίνακας 5.3. Αποτελέσματα από την προσαρμογή 3-βάθμιου πολυωνύμου

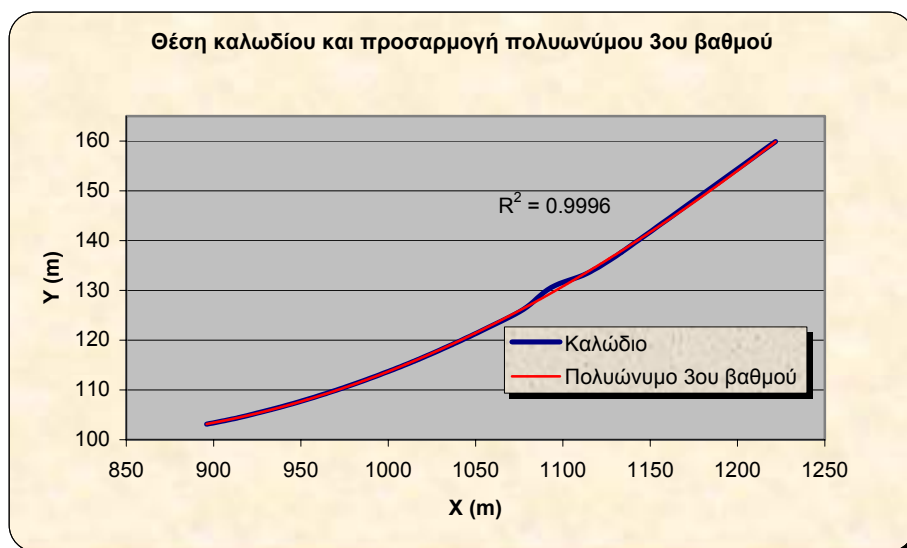
Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιώντας όλα τα σημεία το τυπικό σφάλμα της προσαρμογής προκύπτει:

$$\sigma_0 = \pm 276.6 \text{ mm}$$

Στη δεύτερη περίπτωση, εξαιρώντας το σημείο 19 που δείχνει να παρουσιάζει πρόβλημα το τυπικό σφάλμα προκύπτει:

$$\sigma_0 = \pm 5.9 \text{ mm}$$

Το σχήμα 5.4 παρουσιάζει την απεικόνιση της προσαρμογής, χρησιμοποιώντας όλα τα σημεία της καμπύλης



Σχήμα 5.4. Θέση καλωδίου και προσαρμογή πολυωνύμου 3ου βαθμού

Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα και πίνακες η θεωρητική καμπύλη προσαρμόζεται με ικανοποιητική ακρίβεια στα μετρημένα σημεία του καλωδίου. Ο συντελεστής συσχέτισης σε κάθε περίπτωση είναι σχεδόν ίσος με τη μονάδα.

Χρησιμοποιώντας όλα τα σημεία της καμπύλης η προσαρμογή του πολυωνύμου 3ου βαθμού δίνει μικρότερα υπόλοιπα σε σχέση με αυτό του 2ου βαθμού. Τα υπόλοιπα είναι της τάξης των μερικών cm και όπως αναφέρθηκε αυτό οφείλεται στην μεγάλη αποχή που παρουσιάζει το σημείο 19 από την ιδανική καμπύλη. Παρόλ' αυτά τα τυπικά σφάλματα κάθε επίλυσης διαφέρουν ελάχιστα (11 mm).

Εξαιρώντας το προαναφερθέν σημείο από τα σημεία βάση των οποίων γίνεται η προσαρμογή του πολυωνύμου τα αποτελέσματα είναι σαφώς βελτιωμένα. Τα υπόλοιπα είναι της τάξης των μερικών mm. Η διαφορά που προκύπτει στα τυπικά σφάλματα της προσαρμογής για τα αντίστοιχα πολυώνυμα 2^{ου} και 3^{ου} βαθμού είναι αμελητέα (μόλις 0.4 mm).

Πρακτικά αυτό σημαίνει πως η αρχική θεώρηση ότι πολυώνυμο μεγαλύτερου βαθμού θα αποδίδει καλύτερα τη μορφή του καλωδίου στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι εσφαλμένη.

Αντίστοιχα υπολογίστηκε και πολυώνυμο 4ου βαθμού το οποίο να περιγράφει την μορφή του καλωδίου. Όπως ήταν αναμενόμενο δεν

παρατηρείται σημαντική βελτίωση των αποτελεσμάτων καθώς ο πρώτος όρος του πολυωνύμου ήταν της τάξης του 10^{-11} , συνεπώς κρίνεται άσκοπο να γίνει οποιαδήποτε περαιτέρω ανάλυση και αναφορά.

5.4 Δεύτερη φάση μετρήσεων

Προκειμένου να διαπιστωθεί πιθανή μεταβολή της θέσης του καλωδίου στο χρόνο, οι μετρήσεις προς το καλώδιο επαναλήφθηκαν 3 μήνες αργότερα, στις 11 Μαρτίου 2008. Αυτή τη φορά παρά το γεγονός ότι επικρατούσε ηλιοφάνεια, η ένταση του ανέμου ήταν μεγαλύτερη, γεγονός που έκανε τις μετρήσεις δυσκολότερες. Σε ότι αφορά στα σημεία που ήταν κοντύτερα στο όργανο η κίνηση ήταν πιο έντονη, ενώ στα σημεία που βρίσκονταν μακρύτερα παρουσιάσθηκε και αυτή τη φορά η αδυναμία σκόπευσης υπό πολύ πλάγιες γωνίες.

Μετρήθηκαν συνολικά 18 σημεία στην επιφάνεια του καλωδίου και υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες τους στο ίδιο ανεξάρτητο σύστημα αναφοράς, όπου είχαν προσδιοριστεί και την πρώτη φορά και δημιουργήθηκε το διάγραμμα κάτοψης. Υπολογίσθηκε η καλύτερη ευθεία που διέρχεται από τα σημεία, η οποία αυτή τη φορά προέκυψε ίση με:

$$y = 0.0134x + 1001.6969$$

Το τυπικό σφάλμα της συνόρθωσης προέκυψε ίσο με:

$$\sigma_0 = \pm 0.072 \text{ m}$$

Τα υπόλοιπα των σημείων που προκύπτουν από τη συνόρθωση κυμαίνονται από λίγα mm, μέχρι 12 cm. Η διαφορά αυτή μπορεί να ερμηνευθεί από τον αέρα που επικρατούσε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Η γωνία διεύθυνσης της βέλτιστης ευθείας βρέθηκε:

$$\alpha = 99.1482^\circ \pm 0.0140^\circ$$

Η διαφορά από την αρχική γωνία διεύθυνσης είναι $3 \cdot 10^\circ$.

Με βάση τη συγκεκριμένη γωνία διεύθυνσης πραγματοποιήθηκε στροφή των συντεταγμένων στον άξονα X και δημιουργήθηκε το νέο διάγραμμα όψης. Από τις συντεταγμένες που προέκυψαν από τη στροφή του σημείου υπολογίσθηκε εκ νέου το πολώνυμο $2^{\text{ου}}$ βαθμού που

περιγράφει καλύτερα τη μορφή του καλωδίου. Έτσι, το πολυώνυμο 2ου βαθμού που περιγράφει καλύτερα τη μορφή του καλωδίου είναι το:

$$f(x) = 3.2871 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.5215 \cdot x + 306.6111 \quad (5.9)$$

Το τυπικό σφάλμα της επίλυσης αυτή τη φορά προκύπτει ίσο με:

$$\sigma_0 = \pm 10.8 \text{ mm}$$

Στον πίνακα 5.4 δίνονται τα υπόλοιπα για κάθε σημείο μετά τη συνόρθωση:

Σημείο	Y (m)	f(x) (m)	Υπόλοιπα (mm)
1	103.230	103.240	-11.1
2	107.400	107.380	14.0
3	107.930	107.920	1.4
4	110.000	110.000	-2.7
5	111.350	111.370	-19.4
6	112.450	112.440	13.4
7	114.340	114.320	17.1
8	116.850	116.850	5.8
9	119.100	119.090	2.7
10	122.130	122.130	-9.6
12	126.870	126.870	-4.9
13	129.260	129.270	-12.3
15	135.840	135.840	1.0
17	160.020	160.020	4.6

Πίνακας 5.4. Αποτελέσματα από την προσαρμογή πολυωνύμου στις νέες μετρήσεις

Τέλος παρουσιάζει ενδιαφέρον η σύγκριση των δύο μοντέλων που δημιουργήθηκαν για το καλώδιο, του μοντέλου δηλαδή που προέκυψε από τις μετρήσεις της πρώτης φάσης και του μοντέλου που προέκυψε από τις μετρήσεις της δεύτερης φάσης. Για κάθε ένα από τα δύο πολυώνυμα υπολογίστηκαν οι τιμές των Y, ανά 30 m, ξεκινώντας από X = 900 m (που είναι περίπου η τιμή του αρχικού σημείου στο τοπικό σύστημα αναφοράς).

Οι τιμές αυτές συγκρίνονται μεταξύ τους και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5:

	X (m)	f ₁ (X) (m)	f ₂ (X) (m)	f ₁ - f ₂ (mm)
1	900	103.380	103.513	-132.3
2	930	105.791	105.918	-127.3
3	960	108.789	108.915	-126.0
4	990	112.374	112.503	-128.4
5	1020	116.547	116.682	-134.4
6	1050	121.308	121.452	-144.1
7	1080	126.656	126.814	-157.4
8	1110	132.592	132.766	-174.4
9	1140	139.115	139.310	-195.0
10	1170	146.226	146.446	-219.3
11	1200	153.925	154.172	-247.2

Πίνακας 5.5. Υψομετρικές διαφορές ανάμεσα στις δύο φάσεις μετρήσεων

Όπως φαίνεται από τις διαφορές που παρουσιάζονται στις διάφορες θέσεις του καλωδίου, αυτές είναι συστηματικά μικρότερες κατά τη δεύτερη διάρκεια των μετρήσεων.

Η διαφορά αυτό μπορεί να ερμηνευτεί από το γεγονός ότι κατά τη δεύτερη φορά που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις επικρατούσε αέρας στην περιοχή, έτσι μεταβαλλόταν συνεχώς η θέση των σημείων (κάτι το οποίο φαίνεται εξάλλου και από τα υπόλοιπα της συνόρθωσης τη δεύτερη φορά.

Το γεγονός όμως ότι τα υψόμετρα τη δεύτερη φορά είναι συστηματικά μικρότερα, ερμηνεύεται και από την επίδραση των καιρικών φαινομένων. Στο διάστημα που μεσολάβησε μέχρι τη δεύτερη φάση μετρήσεων (κατά τη διάρκεια δηλαδή των χειμερινών μηνών), υπήρξαν έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως χιονόπτωση, βροχές και μεταβολές θερμοκρασίας που επέδρασαν πιθανώς στη μορφή του καλωδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της χρήσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών που μετρούν μήκη και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, στη συλλογή γεωμετρικής πληροφορίας και στην ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί.

Έγινε ανάλυση σε βάθος των δύο μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενων μεθόδων για τη μέτρηση μηκών χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (μέθοδος των παλμών και μέθοδος της διαφοράς φάσης). Παρουσιάστηκαν οι ιδιότητες των μεθόδων αυτών καθώς και η μεταξύ τους σύγκριση. Τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο μεθόδων συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Ιδιότητα	Διαφορά φάσης	Μέθοδος παλμών
Ακρίβεια	Μεγαλύτερη	Μικρότερη (4-8 φορές)
Εμβέλεια	Μικρότερη (4-8 φορές)	Μεγαλύτερη
Μέγεθος και σχήμα δέσμης	Μικρότερο	Μεγαλύτερο
Χρόνος μέτρησης	Μεγαλύτερος, ειδικά όσο αυξάνει η απόσταση	Ταχύτερη ως και 4 φορές
Ασφάλεια ακτινοβολίας	Λιγότερο ασφαλής	Ασφαλέστερη
Ευαισθησία σε παρεμβολές	Μεγάλη	Μικρή
Εστίαση στο αντικείμενο	Απαραίτητη σε ορισμένα όργανα	Όχι

Πίνακας 6.1. Χαρακτηριστικά των μεθόδων μέτρησης μήκους

Η νέα μέθοδος "System Analyzer" που αναπτύχθηκε από εταιρία κατασκευής γεωδαιτικών σταθμών παρουσιάστηκε και αναλύθηκε.

Η μέθοδος αυτή αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων μεθόδων και ενσωματώνει τα πλεονεκτήματα κάθε μιας, με αποτέλεσμα οι νέοι γεωδαιτικοί σταθμοί να πραγματοποιούν μετρήσεις σε μεγαλύτερες αποστάσεις, σε λιγότερο χρόνο και μεγαλύτερη ακρίβεια, υπό οποιεσδήποτε συνθήκες.

- Σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα αυτοβαθμονόμησης του αποστασιόμετρου του γεωδαιτικού σταθμού στις συνθήκες περιβάλλοντος πριν από κάθε μέτρηση.
 - Σημαντική διαφοροποίηση της μεθόδου αποτελεί ο τρόπος υπολογισμού της τιμής του μήκους μιας πολυπαραμετρικής εξίσωσης.
- Από την καταγραφή των κυριότερων χρησιμοποιούμενων σήμερα reflectorless γεωδαιτικών σταθμών (διάφορων κατασκευαστών), προκύπτει ότι:
- η συνήθης ακρίβεια που παρέχουν για απόσταση μικρότερη των 200 m, είναι ± 5 mm
 - για μεγαλύτερες αποστάσεις είναι ± 10 mm
 - η μέγιστη ακρίβεια που παρέχεται είναι ± 2 mm
 - η μέγιστη εμβέλεια είναι 2000 m
 - η συνήθης ισχύς της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται από τα όργανα αυτά είναι class 2 ή 2M.
- Έγινε αναλυτική μελέτη της ακρίβειας προσδιορισμού της θέσης σημείων στον τρισδιάστατο χώρο, χρησιμοποιώντας τις γνωστές μεθόδους των πολικών συντεταγμένων και της εμπροσθοτομίας.
- Σκοπός της μελέτης ήταν να καταγραφούν οι συνθήκες υπό τις οποίες θα μπορούσε η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων (με την προσθήκη της μέτρηση μήκους χωρίς ανακλαστήρα) να αντικαταστήσει τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας.
- Μελετήθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια των συντεταγμένων που προκύπτουν με μετρήσεις εμπροσθοτομίας. Μελετήθηκαν δύο περιπτώσεις γεωμετρίας για διαφορετικές αποστάσεις (1 m – 50 m) μεταξύ των 2 γνωστών σημείων:
- τα 3 σημεία να σχηματίζουν ορθογώνιο τρίγωνο
 - τα 3 σημεία να σχηματίζουν ισοσκελές τρίγωνο
- Η τελική ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων των άγνωστων σημείων επηρεάζεται:
- Από την ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων των γνωστών σημείων
 - Σφάλμα ± 1 mm στις συντεταγμένες των γνωστών σημείων, μπορεί να μεταβάλλει έως και 2 cm τις τελικές συντεταγμένες.
 - Για μικρές αποστάσεις μεταξύ των γνωστών σημείων σημαντική επίδραση έχει και το σφάλμα σκόπευσης.
 - Η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων με ακρίβεια σκόπευσης γωνιών $\pm 5^{\circ}$ και ακρίβεια συντεταγμένων των γνωστών σημείων ± 1 mm, κυμαίνεται από ± 0.5 mm έως ± 20 mm

→ Η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων με ακρίβεια σκόπευσης γωνιών $\pm 20''$ και ακρίβεια συντεταγμένων των γνωστών σημείων ± 1 mm, κυμαίνεται από ± 1 mm έως ± 48 mm

Από τις τρεις εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν προέκυψαν τα εξής:

▪ Η μέτρηση ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας για τη μέτρηση υψομετρικού δικτύου στο γήπεδο Καραϊσκάκη.

Ο προσδιορισμός των υψομέτρων των σημείων έγινε με ακρίβεια καλύτερη των ± 3 mm, ενώ το τυπικό σφάλμα της συνόρθωσης ήταν ίσο με $\sigma_0 = \pm 1.8$ mm.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα που έχουν προκύψει από μετρήσεις με γεωμετρική χωροστάθμηση κατέδειξαν την καταλληλότητα της μεθόδου και τη χρήση της τεχνολογίας reflectorless σε τέτοιου είδους εφαρμογές.

▪ Η χρήση της τεχνολογίας reflectorless δοκιμάστηκε στον έλεγχο τήρησης προδιαγραφών ασφαλείας μιας γερανογέφυρας. Εξετάστηκε υπό ποιες προϋποθέσεις μέτρησης και επεξεργασίας είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν 5 διαφορετικοί έλεγχοι.

Οι έλεγχοι που απαιτούνται και αφορούν στη γεωμετρική ορθότητα θέσης και σχήματος των σιδηροτροχιών μιας γερανογέφυρας είναι:

- Ευθυγράμμιση
- Σχετική ανύψωση
- Διαμήκης ανύψωση
- Στρέψη
- Οριζόντια καμπύλωση

Η απαιτούμενη ακρίβεια κυμαίνεται από ± 1 mm έως ± 10 mm. Από τη διαδικασία των μετρήσεων και της ανάλυσης προέκυψε ότι η μέθοδος των πολικών συντεταγμένων για τον προσδιορισμό της θέσης των σημείων και μέσω αυτών των απαιτούμενων για τον έλεγχο μεγεθών, είναι η πλέον κατάλληλη λόγω της συγκεκριμένης γεωμετρίας του αντικειμένου, τόσο από άποψη χρόνου, όσο και από άποψη ακρίβειας.

Η διαδικασία η οποία δομήθηκε για τον έλεγχο των γεωμετρικών προδιαγραφών μιας γερανογέφυρας είναι:

- Καθορισμός και σήμανση διατομών
- Τοποθέτηση τριπόδων και τρικοχλίων
- Μέτρηση με ανακλαστήρα της μεταξύ τους απόστασης με ακρίβεια ± 1 mm
- Προσδιορισμός της υψομετρικής τους διαφοράς με σκοπεύσεις σε στάδια σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου

- Λήψη σημείων στις επιλεγμένες διατομές χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων
- Υπολογισμός των συντεταγμένων των σημείων
- Υπολογισμός των καλύτερων ευθειών που διέρχονται από τα ομόλογα σημεία στο επίπεδο XY και στο επίπεδο YZ
- Στροφή των συντεταγμένων ως προς επίπεδο αναφοράς με γωνία διεύθυνσης αυτή που προέκυψε από την προσαρμογή της καλύτερης ευθεία στα σημεία
- Την δημιουργία των διαγραμμάτων κάτοψης και όψης των σιδηροτροχιών
- Την πραγματοποίηση των ελέγχων με αναλυτική ή ψηφιακή διαδικασία.

Ο εξοπλισμός για την εκτέλεση της εργασίας είναι:

- 1 ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό, που μετρά μήκη χωρίς ανακλαστήρα, ακρίβειας $\pm 3^{\text{cc}}$ ή καλύτερης στις γωνιομετρήσεις, $\pm 1 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ (ή καλύτερης) στις μετρήσεις μηκών με ανακλαστήρα και $\pm 2 \text{ mm}$ στις μετρήσεις χωρίς πρίσμα
- 2 τρίποδες
- 1 ανακλαστήρας
- 1 βάση στήριξης ανακλαστήρα
- 1 σταδία με υποδιαιρέσεις mm

Από την εφαρμογή για το συγκεκριμένο τμήμα της γερανογέφυρας της Χαλυβουργικής προέκυψε ότι:

→ Σφάλμα παρουσιάστηκε σε ένα μόνο σημείο και αυτό αποδίδεται είτε σε λανθασμένη σκόπευση του σημείου αυτού, είτε σε πραγματικό πρόβλημα της σιδηροτροχιάς στη συγκεκριμένη θέση.

→ Αποδεικνύεται πως η τιμή που δίνεται για τη μέγιστη στρέψη της δοκού είναι υπερβολικά μικρή και ουσιαστικά αδύνατο να ελεγχθεί.

→ Η διερεύνηση σχετικά με τον αριθμό των σημείων που επαρκούν για τον προσδιορισμό του μοντέλου του τμήματος 12 m της σιδηροτροχιάς απέδειξε ότι το μοντέλο περιγράφεται εξίσου καλά χρησιμοποιώντας 7 ή 5 σημεία. Αντίθετα τα 3 σημεία κρίνονται ανεπαρκή για τον σαφή προσδιορισμό του μοντέλου.

→ Ο χρόνος που απαιτείται για την εργασία υπαίθρου υπολογίζεται ότι είναι 1.5 ώρα ανά 20 m γερανογέφυρας. Η διαδικασία κρίνεται επιτυχής.

▪ Ο εργαστηριακός έλεγχος του γεωδαιτικού σταθμού TCRM 1201+ της εταιρίας Leica που χρησιμοποιήθηκε στην παραπάνω εφαρμογή και

μετρά με τη μέθοδο System Analyzer, αφορούσε στην επίδραση της reflectorless λειτουργίας του, σε διαφορετικά υλικά και διαφορετικές αποστάσεις.

→ Σε απόσταση 15m τα αποτελέσματα έδειξαν ότι επιτυγχάνεται η ακρίβεια των ± 2 mm για όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης της δέσμης

→ Σε απόσταση 50 m, αντίστοιχα, η κατασκευαστική ακρίβεια του οργάνου επιτυγχάνεται μόνο για την σκόπευση της δέσμης σε ορθή γωνία.

▪ Ο προσδιορισμός της θέσης ενός καλωδίου μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος μέσης τάσης, διαμέτρου περίπου 1 cm.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε είχε ακρίβεια $\pm 9^{\text{cc}}$ στις μετρήσεις γωνιών και $\pm 5\text{mm}$ στις μετρήσεις μηκών χωρίς πρίσμα.

Για τη διερεύνηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας της μέτρησης του μήκους χωρίς ανακλαστήρα, σε απρόσιτη επιφάνεια, μικρού εμβαδού δημιουργήθηκε το διάγραμμα κάτοψης και όψης του καλωδίου. Έγινε προσαρμογή καμπύλης πολωνυμικής μορφής 2^ο, 3^ο και 4^ο στο διάγραμμα όψης του καλωδίου και μέσω αυτών η περιγραφή της γεωμετρικής μορφής του καλωδίου.

Το πολυώνυμο 2^ο βαθμού περιγράφει ικανοποιητικά τη μορφή του καλωδίου με το τυπικό σφάλμα της αντίστοιχης συνόρθωσης να είναι ± 6.3 mm. Το πολυώνυμο 3^ο βαθμού βελτιώνει ελάχιστα ($\sigma_0 = \pm 5.9$ mm) την προσαρμογή στο πραγματικό σχήμα, ενώ το αντίστοιχο του 4^ο βαθμού δε βελτιώνει τα αποτελέσματα της συνόρθωσης. Το αποτέλεσμα είναι αντίστοιχο της ακρίβειας του γεωδαιτικού σταθμού.

Η τεχνολογία reflectorless εξελίσσεται συνεχώς τα τελευταία 15 χρόνια, οπότε και πρωτοεμφανίσθηκαν τα συγκεκριμένα όργανα. Οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί βελτιώνονται συνεχώς ως προς το βεληνεκές τους.

Παρόλ' αυτά υπάρχουν πολλά σημεία τα οποία χρήζουν μελέτης και έρευνας, προκειμένου να προσδιορισθούν οι παράγοντες εκείνοι που σχετίζονται και επηρεάζουν την ακρίβεια στη μέτρηση του μήκους.

6.2 Προτάσεις

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μπορεί να αποτελέσει την απαρχή για νέες εργασίες – μελέτες σε διάφορα πεδία. Συγκεκριμένα προτείνεται:

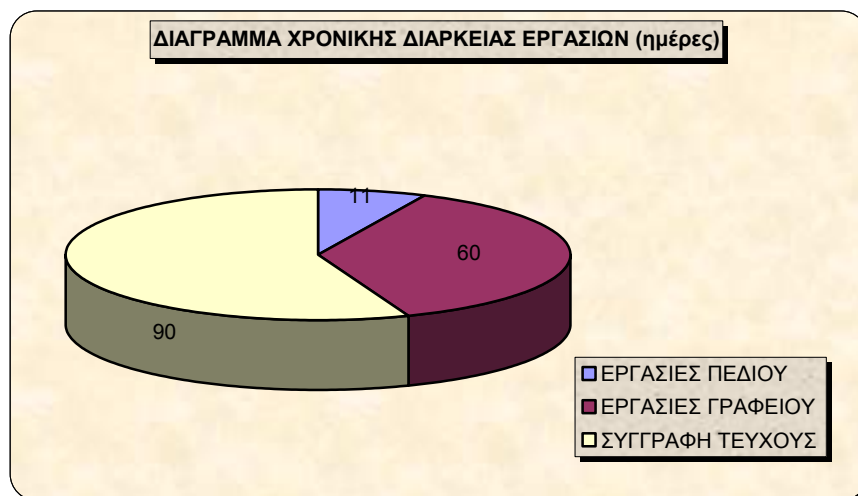
- Αναλυτική διερεύνηση της ακρίβειας και ορθότητας της μέτρησης με reflectorless γεωδαιτικούς σταθμούς ανά 10 m, σε διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης.

- Ανάπτυξη μεθόδου ελέγχου και διακρίβωσης των μετρήσεων χωρίς πρίσμα σε διαφορετικά υλικά και διαφορετικά χρώματα.
- Η διερεύνηση – πρόταση ενός νέου προτύπου αναφοράς της εμβέλειας μέτρησης χωρίς τη χρήση πρίσματος (υλικό, χρώμα, μέγεθος)
- Ο έλεγχος της εκκεντρότητας της δέσμης laser από το κέντρο του σταυρονήματος.
- Η διερεύνηση και ο έλεγχος της αξιοπιστίας των μετρήσεων μηκών χωρίς ανακλαστήρα, ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης που χρησιμοποιείται.
- Η διερεύνηση του μεγέθους της δέσμης εκπομπής του laser και η επίδρασή του στην ακρίβεια μέτρησης του μήκους.
- Ο προσδιορισμός της απαιτούμενης επιφάνειας πρόσπτωσης για μέτρηση, ανάλογα με την απόσταση σκόπευσης.
- Η διερεύνηση της επίδρασης του φωτισμού του περιβάλλοντος στην ακρίβεια και ορθότητα της μέτρησης, αλλά και στην εμβέλεια.
- Η διερεύνηση μεταβολής – προσαρμογής στις διαδικασίες μέτρησης της βιομηχανικής γεωδαισίας και ελέγχου βιομηχανικών παραγώγων και η υιοθέτηση της μεθόδου των πολικών συντεταγμένων με reflectorless μέτρηση του μήκους σε εφαρμογές που παραδοσιακά εκτελούνται με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας στο χώρο, καθώς η πρώτη μπορεί πλέον να επιτύχει σε ορισμένες εφαρμογές αντίστοιχες ακρίβειες σε συντομότερο χρόνο.
- Η διερεύνηση προσαρμογής διάφορων μαθηματικών καμπύλων (π.χ. εκθετικών ή τριγωνομετρικών συναρτήσεων ή συνδυασμού αυτών) στα μετρημένα μεγέθη για τον προσδιορισμό της μορφής αντικειμένων και οι αποκλίσεις που αυτές δίνουν.

6.3 Χρονοδιάγραμμα Εργασιών

Από τα τέλη Ιανουαρίου 2007 που έγιναν οι αρχικές συζητήσεις και ανταλλαγή απόψεων και ιδεών για το θέμα της μεταπτυχιακής εργασίας, η πρώτη οργανωμένη διαδικασία έρευνας και συγκέντρωσης βιβλιογραφικού υλικού πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2007. Μέχρι την ολοκλήρωσή της, αναπτύχθηκαν τόσο εργασίες υπαίθρου, όσο και εργασίες γραφείου. Παρακάτω παρουσιάζεται κατά προσέγγιση η διάρκεια των εργασιών αυτών:

- Εργασίες Υπαίθρου: Περιελάμβαναν τις μετρήσεις του υψομετρικού δικτύου του γηπέδου Καραϊσκάκη, τις μετρήσεις στη γερανογέφυρα της Χαλυβουργικής και τη μέτρηση του καλωδίου μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος. (Συνολική διάρκεια, 11 ημέρες)
- Εργασίες γραφείου: Περιελάμβαναν συγκέντρωση και μελέτη βιβλιογραφικού υλικού και υλικού μέσω του διαδικτύου σχετικά με την τεχνολογία laser και τον τρόπο λειτουργίας των reflectorless γεωδαιτικών σταθμών, μελέτη σχετική με τη μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας, επεξεργασία των δεδομένων, σύνταξη αλγορίθμων και εκτέλεση υπολογισμών. (Συνολική διάρκεια περίπου, 2 μήνες ή 60 ημέρες)
- Συγγραφή τεύχους: Περιελάμβανε τη συγγραφή του παρόντος τεύχους με συνεχείς ελέγχους, διορθώσεις και προσαρμογές, μέχρι την οριστική του μορφή και την προετοιμασία της παρουσίασής του. (Συνολική διάρκεια, περίπου 3 μήνες ή 90 ημέρες)



Σχήμα 6.1. Χρονοδιάγραμμα εργασιών

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία σφαλμάτων και συννορθώσεις I*, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2003
2. Bayoud F., *Leica's Pinpoint EDM Technology with modified signal processing and novel optomechanical features*, XXIII FIG Congress, Munich, Οκτώβριος 2006
3. Γεωργακάκος Π., Σκαλωμένος Α., κ.α., *Φυσική Γενικής Παιδείας Γ' Τάξης Ενιαίου Λυκείου*, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα 1999
4. Λάμπρου Ε., *Μέθοδος ακριβούς προσδιορισμού υψομετρικής διαφοράς μεταξύ προσιτών ή απρόσιτων σημείων*, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική έκδοση ΤΕΕ, Ι, τεύχος 1-2, 2007
5. Λάμπρου Ε., *Εφαρμοσμένα Θέματα Γεωδαισίας, Σημειώσεις για το μάθημα Ειδικά Θέματα Γεωδαισίας*, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2008
6. Λάμπρου Ε., *Μετρήσεις Ακρίβειας – Όργανα, Σημειώσεις για το μάθημα "Προχωρημένες μέθοδοι Τεχνικής & Βιομηχανικής Γεωδαισίας"*, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2007
7. Leica Geosystems, *TPS News 2001, Issue 11*, Monthly newsletter on Leica Geosystems TPS, Νοέμβριος 2001
8. Leica Geosystems, *System 1200 Newsletter – No 2*, Surveying & Engineering Division, Ιούνιος 2004
9. Leica Geosystems, *System 1200 Newsletter – No 17*, Surveying & Engineering Division, Ιανουάριος 2005
10. Leica Geosystems, *Leica TPS 1200+: A telescope with new opto-mechanical design*, White Paper, Heerbrugg Switzerland, 2007
11. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Αραμπατζή Ο., *Υψομετρία*, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2004
12. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ, Αραμπατζή Ο., *Γεωδαισία: Δίκτυα, αποτυπώσεις, Χαράξεις*, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2006
13. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ. κ.α., *Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας*, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2005

- 14.Μπαλοδήμος Δ. Δ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *Η εξέλιξη των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων τον 20ο αιώνα στην Ελλάδα*, Πρακτικά συνεδρίου "Η εξέλιξη των οργάνων, των μεθόδων και των συστημάτων μετρήσεων των επιστημών της αποτύπωσης στην Ελλάδα", σελ. 305-335, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2005
- 15.Μπισμπιλής Κ., *Παρακολούθηση μετακινήσεων των φερόντων στοιχείων του νέου γηπέδου Καραϊσκάκη. Ίδρυση δικτύου κατακόρυφου ελέγχου στο χώρο του γηπέδου*, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Οκτώβριος 2007
- 16.Πάπυρος, Larouse, Britannica, *Εγκυκλοπαίδεια*, Εκδοτικός οργανισμός Πάπυρος, Αθήνα 1996
- 17.Ρωσσικόπουλος Δ., *Μέτρον γεωμετρικόν: Η ιστορία των επιστημών της αποτύπωσης*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2006.
- 18.Trimble, *Direct reflex EDM technology for the surveyor and civil engineer*, Trimble survey White paper, USA, 2005.
- 19.Τσακίρη Μ., *Η τεχνολογία της επίγειας σάρωσης Laser, σημειώσεις μαθήματος*, Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2006

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_safety
2. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%AD%CE%B9%CE%B6%CE%B5%CF%81>
3. <http://herkules.oulu.fi/isbn9514269667/html/c305.html>
4. http://info.tuwien.ac.at/iflt/safety/section1/1_4.htm
5. <http://www.trimble.com>
6. <http://www.leica-geosystems.com>
7. <http://www.topconpositioning.com>

Analysis of the distance measurement using reflectorless total stations and research of the determination of points' coordinates

ABSTRACT

This postgraduate thesis deals with the investigation of the possibilities of the modern reflectorless total stations, at the determination of points' coordinates in precise applications.

The thesis consists of six chapters:

In the first chapter the operation of the modern reflectorless total stations is presented extensively. Historical elements with regard to the development of total stations, as well as the characteristics of the distance measurement using laser radiation are given. The chapter is focused in both used methods for the distance measurement by the total stations. The methods are compared. A brand new method that combines the advantages of the two previous methods is described. The chapter ends with a detailed list of the today widely used total stations including their characteristics.

In the second chapter some of the classical methods for the points' coordinates determination are described. Methods for the height determination (3rd dimension) and for 2D and 3D determination are referred. The precision of each one and the factors that affect them are also analyzed. Extensive analysis of the method of the Accurate Trigonometric Heighting (ATH) for the determination of the height differences between accessible or/and inaccessible points is attained. The precision of the intersection method is also analyzed.

The third chapter presents the use of the method of ATH for the vertical control network of the "Karaiskaki" Stadium. The network is measured and adjusted. The heights of the control points are calculated. The results are evaluated in reference to the precision succeeded and the time needed. Comparisons between specific height differences that had been measured using spirit levelling in a previous work is carried out.

The fourth chapter deals with the process of the measurement of a crane. The method of polar coordinates is used. The aim of the present application is the investigation of the precision could achieved using the polar coordinates' method (instead of the intersection method that is

traditionally used in similar applications) and its appropriateness for the control of the safety specifications of the crane.

In the fifth chapter the process for the determination of the position of the inaccessible points of an electric power transportation cable is developed. The process of the geometric documentation of the cable and the investigation of the best polynomial fitting curve are analyzed.

Finally, in the last chapter (6th) the conclusions and the proposals that were came out by this work are presented.

General conclusions

- The analysis of the two used methods for the distance measurement (the method of phase shift and the time of flight method) was carried out. The basic advantages and disadvantages of each method were analyzed and compared. The characteristics of the two methods are summarised in the following table:

Attribute	Phase shift	Time of flight
Precision	More precise	Less precise (4-8 times)
Measurement range	Shorter (4-8 times)	Longer
Size and shape of the mean	Smaller	Bigger
Measurement time	More time needed, especially when distance increases	Less (up to 4 times)
Laser safety	Less safe	Safe
Sensitivity to insertions	High	Low
Focus to the object	Necessary for some total stations	No

Table 1. Characteristics of the two distance measurement methods

- For this framework an analytical presentation – description of the new distance measurement method "System Analyzer", that was developed by Leica Geosystems, was carried out.

The new method is a combination of the two previous methods and it incorporates their advantages. As a result the new total stations can measure to longer distances, in less time and more precisely, under any atmospheric conditions.

The new method gives also the possibility of the auto calibration to the total stations. Finally, the distance is calculated using a multi-parametric equation.

▪ By the registration of the reflectorless total stations (of different manufacturers) that are today widely used the following must be underlined:

- the typical precision provided for distances shorter than 200 m, is ± 5 mm
- for distances longer than 200 m the precision is up to ± 10 mm
- the maximum available precision till today is ± 2 mm
- the maximum range is 2000 m
- the typical power of the radiation used for the reflectorless distance measurements is class 2 or 2M.

▪ It was carried out an analysis of the precision of the determination of points' coordinated using the well-known methods, namely the polar coordinates and the intersection method.

Aim of that study was to determine the conditions under which the method of polar coordinates (using the reflectorless technology) could replace the intersection method.

The investigation of the factors that affect the precision of the coordinates using the intersection method was attained. Two different cases of geometry and different distances (1 m - 50 m) between the 2 known points were considered;

- a) the 3 points shaping a rectangle triangle
- b) the 3 points shaping an isosceles triangle

As it was proved, the final precision is affected by the precision of the known points' coordinates and the aiming error of the unknown point, especially when the distance between the two known points is short.

The investigation of the use of reflectorless total stations includes three different applications;

▪ The first application deals with the measurement and the adjustment of a vertical control network, using the method of the Accurate Trigonometric Heighting (ATH), for a vertical control network at the "Karaiskaki" Stadium.

The height of the points were calculated with precision of ± 3 mm or better, while the standard deviation of the adjustment was $\sigma_0 = \pm 1.8$ mm.

The heights and the height differences were compared to the equivalentents that have been measured by spirit levelling, using a digital

level, so that the appropriateness of the method and the use of the reflectorless technology in similar applications to be proved.

▪ The second application deals with the use of reflectorless technology, in the check of compliance to specific safety standards of a girder. The measurement conditions and the processing are tested. Five different checks concerning the geometrical accuracy of the position and the shape of a girder, must be carried out.

The results from the process of the measurements and the analysis that followed, proves that the method of polar coordinates, is the most suitable, not only because of the time needed (1.5 hour per 20 m of rails), but also for the precision achieved, considering the specific geometry.

The procedure that is proposed for the check of the compliance to the geometrical specifications of the girder can be summarized as follows:

- Determination and marking of the cross-sections
- Placing of the tripods and the tribraches on the selected positions
- Measurement of the distance between them using a reflector with a precision of ± 1 mm
- Determination of their height difference using a staff
- Measurement of the points on the chosen cross-sections using reflectorless technology and the polar coordinates' method.
- Process of the results, namely the calculations of: the points' coordinates, the lines that fit better to the corresponding points at XY and YZ plane, the points' coordinates after their projection using the best fitting line.
- The drawing of the diagrams of the ground plan and the façade plan of the girder.
- The attainment of the checks using either the analytical or the digital procedure

The necessary instrumentation is:

- 1 reflectorless total station, with accuracy of $\pm 3''$ for the angle measurements, ± 1 mm ± 2 ppm (or better) for the distance measurements using a reflector and ± 2 mm for the reflectorless distance measurements
- 2 tripods
- 1 reflector
- 1 prism adaptor
- 1 staff

- The laboratorial check of the total station TCRM 1201+ (Leica Geosystems), which was used for this application and it uses the System Analyzer method was attained. The control concerned the behavior of its reflectorless operation in different materials and different distances. The test gave satisfactory results.
- The third application concerned the determination of the position of an electric power transportation cable (its diameter was about 1 cm).

The aim was to investigate the response of the reflectorless technology in such type of measurements (e.g. an object of small and inaccessible surface).


For this framework the diagram of the ground plan of the cable and the plan of its façade were created. The adjustment of a polynomial curve of 2nd, 3rd and 4th degree, in the diagram of the façade was carried out.

The polynomial of 2nd degree, which describes better the form of the cable has a standard error of ± 6.3 mm. The polynomial of 3rd reduces the standard error only for 0.4 mm ($s_0 = \pm 5.9$ mm), while the equivalent of 4th degree does not improve the results of the adjustment at all.

The reflectorless technology has been developed continuously the last 15 years improving the range of the reflectorless total stations.

Consequently, there are a lot of parameters, which require study and research, so that the factors that are related and influence the precision in the reflectorless distance measurement can be determined.


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Κατασκευαστής	Leica
Μοντέλο	TPS 400
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.70 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3500 m
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm*
Ελάχιστη ανάγνωση	1 mm
Χωρίς πρίσμα (μέσες καιρικές συνθήκες σε Kodak White)	170 m (έκδοση Power) >500 m (έκδοση Ultra)
Ακρίβεια	± 3 mm ± 2 ppm*
Χρόνος μέτρησης (normal)	3 sec
Μέγεθος δέσμης (100 m)	12 mm x 40 mm
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	3'', 5'', 7''
Ελάχιστη ανάγνωση	1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Βάρος (με μπαταρία)	5.2 kg
Διάρκεια μπαταρίας	~6 ώρες
Διπλός ηλεκτρονικός ισοσταθμιστής, κέντρωση laser	


Πίνακας 1. Leica TPS 400

Κατασκευαστής	Leica
Μοντέλο	TPS 700
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.70 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3000 m
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm
Ελάχιστη ανάγνωση	1 mm
Χωρίς πρίσμα (μέσες καιρικές συνθήκες σε Kodak White)	170 m (έκδοση Power) >500 m (έκδοση Ultra)
Ακρίβεια	± 3 mm ± 2 ppm
Χρόνος μέτρησης (normal)	3 sec – 6 sec
Μέγεθος δέσμης (100 m)	12 mm x 40 mm
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	2'', 3'', 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Βάρος (με μπαταρία)	5.6 kg
ATR, Διπλός ηλεκτρονικός ισοσταθμιστής, κέντρωση laser	


Πίνακας 2. Leica TPS 700

Κατασκευαστής	Leica
Μοντέλο	TPS 800
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.70 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3500 m
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm *
Ελάχιστη ανάγνωση	1 mm
Χωρίς πρίσμα (μέσες καιρικές συνθήκες σε Kodak White)	170 m (έκδοση Power) >500 m (έκδοση Ultra)
Ακρίβεια	± 3 mm ± 2 ppm *
Χρόνος μέτρησης (normal)	3 sec
Μέγεθος δέσμης (100 m)	12 mm x 40 mm
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	2'', 3'' ή 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Βάρος (με μπαταρία)	5.4 kg
Διάρκεια μπαταρίας	~6 ώρες
Διπλός ηλεκτρονικός ισοσταθμιστής, κέντρωση laser	


Πίνακας 3. Leica TPS 800

Κατασκευαστής	Leica
Μοντέλο	TPS 1200
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.50 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3000 m
Mini prism	1200 m
Ακρίβεια	±1 mm ± 1.5 ppm
Ελάχιστη ανάγνωση	0.1 mm
Χωρίς πρίσμα (μέσες καιρικές συνθήκες)	170 m/100 m (Kodak White/Grey) 500 m/300 m (Kodak White/Grey)
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm
Χρόνος μέτρησης (normal)	3-6 sec (max 12 sec)
Μέγεθος δέσμης	7 mm x 14 mm (20 m) 12 mm x 40 mm (100 m)
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	1'', 2'', 3'' ή 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	0.1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Μνήμη	32 Mb
Βάρος (με μπαταρία)	~6 kg
Διπλός ηλεκτρονικός ισοσταθμιστής, κέντρωση laser, σερβοκινούμενος, ATR, επεκτάσιμη μνήμη, μέθοδος μέτρησης System Analyzer	


Πίνακας 4. Leica TPS 1200

Κατασκευαστής	Topcon	
Μοντέλο	GTS 230W	
Φωτογραφία		
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ		
Μεγέθυνση	30x	
Εύρος πεδίου	1° 30'	
Ελάχιστη εστίαση	1.30 m	
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ		
1 πρίσμα	3000 m	
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm	
Ελάχιστη ανάγνωση	1 mm	
Χωρίς πρίσμα	1.5 - 250 m	
Ακρίβεια	± 5 mm (3-25 m) ± 10 mm (>25 m)	
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ		
Ακρίβεια	3''	
Ελάχιστη ανάγνωση	1''	
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ		
Βάρος (με μπαταρία)	5.2 kg	
Βάρος θήκης	3.4 kg	
Διάρκεια μπαταρίας	10 ώρες	
Διπλός ισοσταθμιστής		


Πίνακας 5. Topcon GPT 230W

Κατασκευαστής	Torcon
Μοντέλο	GPT 3000LW
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.30 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3000 m
Μini πρίσμα	1500 m
Ακρίβεια	± 3 mm ± 2 ppm
Ελάχιστη ανάγνωση	0.2 mm
Χωρίς πρίσμα Long mode	1.5 - 250 m 5 - 1200 m
Ακρίβεια	±10 mm (3-25m) ± 3 mm ± 2 ppm (>25 m)
Ακρίβεια Long mode	± 10 mm ± 10 ppm
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	Έως 2''
Ελάχιστη ανάγνωση	1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Βάρος (με μπαταρία)	5.2 kg
Διάρκεια μπαταρίας	~4.2 ώρες
Μονός ή διπλός ισοσταθμιστής, RL class 2 (690 μm)	


Πίνακας 6. Torcon GPT 3000LW

Κατασκευαστής	Topcon
Μοντέλο	GPT 7000i
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.30 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3000 m
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm
Ελάχιστη ανάγνωση	0.2 mm
Χωρίς πρίσμα	1.5 - 250 m
Ακρίβεια	±5 mm
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	1'', 2'', 3'' ή 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	0.5'' ή 1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Λειτουργικό	Windows CE.NET 4.2
Ταχύτητα Επεξεργαστή	177 MHz
Μνήμη RAM	64 MB
Βάρος (με μπαταρία)	6.5 kg
Βάρος θήκης	4.7 kg
Διάρκεια μπαταρίας	~5 ώρες
Διπλός ισοσταθμιστής, 2 ενσωματωμένες ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, επεκτάσιμη μνήμη, RL class 2 (690 μm)	


Πίνακας 7. Topcon GPT 7000i

Κατασκευαστής	Topcon
Μοντέλο	GPT 7500
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.3 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3000 m
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm
Χωρίς πρίσμα (Kodak white)	1.5 - 250 m
Long mode (Kodak white)	5-2000 m
Ακρίβεια	±5 mm
Ακρίβεια Long mode	± 10 mm ± 10 ppm
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	1'', 3'' ή 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	0.5''/1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Λειτουργικό	Windows CE.NET 4.2
Επεξεργαστής	Intel PXA255 400 MHz
Μνήμη RAM	64 MB
Βάρος (με μπαταρία)	6.6 kg
Βάρος θήκης	4.5 kg
Διάρκεια μπαταρίας	6 ώρες
Οθόνη LCD TFT, Διπλός ισοσταθμιστής, επεκτάσιμη μνήμη	


Πίνακας 8. Topcon GPT 7500

Κατασκευαστής	Topcon
Μοντέλο	GPT 8200A
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.30 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	7000 m
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm
Ελάχιστη ανάγνωση	0.2 mm
Χωρίς πρίσμα (λευκή επιφάνεια)	3 - 120 m
Long mode (λευκή επιφάνεια)	30 - 1200 m
Ακρίβεια	± 10 mm (3-25m) ± 3 mm ± 2 ppm (>25 m) ± 10 mm ± 10 ppm (Long mode)
Ακρίβεια Long mode	± 10 mm ± 10 ppm
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	1'', 2'', 3'', 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	0.5''/1'' *
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Λειτουργικό	MS-DOS Ver 3.22
Μνήμη RAM	640 KB
Βάρος (με μπαταρία)	7.6 kg
Βάρος θήκης	5.4 kg
Διάρκεια μπαταρίας	~4 ώρες
Διπλός ισοσταθμιστής, σερβοκινούμενος, οθόνη LCD, επεκτάσιμη μνήμη	


Πίνακας 9. Topcon GPT 8200A

Κατασκευαστής	Torcon
Μοντέλο	GPT 9000A
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.30 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3000 m
Μini πρίσμα	1000 m
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm
Ελάχιστη ανάγνωση	1 mm
Χωρίς πρίσμα	250 m
Long mode	2000 m
Ακρίβεια	± 5 mm (25+ m)
Ακρίβεια Long mode	± 10 mm ± 10 ppm
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	1''
Ελάχιστη ανάγνωση	0.5''/1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Λειτουργικό	Windows CE.NET 4.2
Μνήμη RAM	64 MB
Βάρος (με μπαταρία)	6.9 kg
Διάρκεια μπαταρίας	~4.5 ώρες
Σύνδεση με Bluetooth, σερβοκινούμενος, επεκτάσιμη μνήμη, RL class 2 (690 μm)	


Πίνακας 10. Torcon GPT 9000A

Κατασκευαστής	Trimble
Μοντέλο	5600 DR 200+
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	26x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.50 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3000 m
Ακρίβεια	± 3 mm ± 3 ppm
Χωρίς πρίσμα (καλές καιρικές συνθήκες)	>600 m/ >200 m (Kodak White/Grey)
Ακρίβεια	± 3 mm ± 3 ppm (5-200 m) ± 5 mm ± 3 ppm (>200 m)
Χρόνος μέτρησης (normal)	3-7 sec
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	3'', 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Βάρος (με μπαταρία)	7.7 kg
Διάρκεια μπαταρίας	~11 ώρες
Διπλός ισοσταθμιστής, RL Class 2, σερβοκινούμενος	


Πίνακας 11. Trimble 5600 DR 200+

Κατασκευαστής	Trimble
Μοντέλο	M3
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	26x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.60 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	5000 m
Ακρίβεια	± 3 mm ± 2 ppm
Χωρίς πρίσμα (καλές καιρικές συνθήκες)	210 m/ 85 m (Kodak White/Grey)
Ακρίβεια	± 5 mm ± 2 ppm
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	3'' ή 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Βάρος (με μπαταρία)	5.4 kg
Διάρκεια μπαταρίας	~7 ώρες
Διπλός ισοσταθμιστής	


Πίνακας 12. Trimble M3

Κατασκευαστής	Trimble
Μοντέλο	S6 DR300+
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.50 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	3000 m
Ακρίβεια	± 3 mm ± 2 ppm
Ελάχιστη ανάγνωση	0.1 mm
Χωρίς πρίσμα (καλές καιρικές συνθήκες)	>800 m/ >300 m (Kodak White/Grey)
Ακρίβεια	± 3 mm ± 2 ppm ± 5 mm ± 2 ppm (>300 m)
Χρόνος μέτρησης (normal)	1-5 sec
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	2'', 3'' ή 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Βάρος (με μπαταρία)	6.6 kg
Διάρκεια μπαταρίας	~6 ώρες
Σερβοκινούμενος με τεχνολογία MagDrive, RL Class 2, τεχνολογία Sure point	

Πίνακας 13. Trimble S6 DR 300+

Κατασκευαστής	Sokkia
Μοντέλο	SRX
Φωτογραφία	
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση	30x
Εύρος πεδίου	1° 30'
Ελάχιστη εστίαση	1.30 m
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
1 πρίσμα	5000 m
Ακρίβεια	± 1.5 mm ± 2 ppm
Χωρίς πρίσμα	0.30-500 m
Ακρίβεια	± 3 mm ± 2 ppm (0.3-200 m) ± 5 mm ± 10 ppm (200-350 m) ± 10 mm ± 10 ppm (350-500 m)
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια	1'', 2'', 3'', 5''
Ελάχιστη ανάγνωση	0.5'', 1''
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Ασύρματη σύνδεση Bluetooth, Τηλεχειριστήριο	

Πίνακας 14. Sokkia SRX

Κατασκευαστής	Pentax	
Μοντέλο	W800 NX	
Φωτογραφία		
ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ		
Μεγέθυνση	30x	
Εύρος πεδίου	3°	
Ελάχιστη εστίαση	1.30 m	
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ		
1 πρίσμα	3400 m	
Ακρίβεια	± 2 mm ± 2 ppm	
Χωρίς πρίσμα	1.5-270 m	
Ακρίβεια	± 5 mm ± 2 ppm (>200 m) * ± 7 mm ± 10 ppm (>200 m)	
ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ		
Ακρίβεια	2'', 3'', 5''	
Ελάχιστη ανάγνωση	1''	
ΆΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ		
Λειτουργικό	Windows CE.NET 4.2	
Επεξεργαστής	Intel Xscale 400 MHz	
Μνήμη RAM	SDRAM 64 MB	
Βάρος (με μπαταρία)	6.3 kg	
Διάρκεια μπαταρίας	~3 ώρες	
Laser κέντρωση, Αυτόματη εστίαση, Οθόνη αφής LCD 3.7', RL Class 2 ή 3R		

Πίνακας 15. Pentax W800 NX

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R6	104.7530	295.2470	400.0000	104.7530	104.7525	7.1	5	9.716	9.716	9.7160	9.717
	2	100.8740	299.1280	400.0020	100.8730	100.8723	10.6	8	19.555	19.555	19.5550	19.555
1	R6	104.7530	295.2490	400.0020	104.7520				9.718	9.718	9.7180	
	2	100.8720	299.1290	400.0010	100.8715				19.555	19.555	19.5550	
2	1	99.0020	300.9970	399.9990	99.0025	99.0023	3.5	3	19.555	19.555	19.5550	19.555
	3	97.8210	302.1790	400.0000	97.8210	97.8208	3.5	3	202.767	202.768	202.7675	202.768
2	1	99.0010	300.9970	399.9980	99.0020				19.555	19.555	19.5550	
	3	97.8210	302.1800	400.0010	97.8205				202.768	202.768	202.7680	
3	2	102.1690	297.8310	400.0000	102.1690	102.1688	3.5	2	202.765	202.765	202.7650	202.765
	4	103.8010	296.2000	400.0010	103.8005	103.8003	3.5	3	101.148	101.148	101.1480	101.148
3	2	102.1680	297.8310	399.9990	102.1685				202.765	202.765	202.7650	
	4	103.8010	296.2010	400.0020	103.8000				101.148	101.148	101.1480	
4	3	96.1810	303.8230	400.0040	96.1790	96.1790	0.0	0	101.148	101.148	101.1480	101.148
	R1	112.1420	287.8590	400.0010	112.1415	112.1420	7.1	5	8.256	8.255	8.2555	8.256
4	3	96.1810	303.8230	400.0040	96.1790				101.148	101.148	101.1480	
	R1	112.1440	287.8590	400.0030	112.1425				8.256	8.256	8.2560	

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R6 – R1

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R8	123.1880	276.8100	399.9980	123.1890	123.1893	3.5	2.5	4.242	4.242	4.2420	4.243
	2	100.0190	299.9820	400.0010	100.0185	100.0190	7.1	5	191.032	191.033	191.0325	191.032
1	R8	123.1880	276.8090	399.9970	123.1895				4.243	4.243	4.2430	
	2	100.0190	299.9800	399.9990	100.0195				191.032	191.032	191.0320	
2	1	99.9670	300.0320	399.9990	99.9675	99.9675	0.0	0	191.032	191.032	191.0320	191.032
	R9	125.1950	274.8010	399.9960	125.1970	125.1970	0.0	0	3.643	3.643	3.6430	3.642
2	1	99.9670	300.0320	399.9990	99.9675				191.032	191.032	191.0320	
	R9	125.1950	274.8010	399.9960	125.1970				3.641	3.641	3.6410	

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R8 – R9

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R1	109.1740	290.8260	400.0000	109.1740	109.1745	7.1	5	10.928	10.927	10.9275	10.926
	2	100.4070	299.5940	400.0010	100.4065	100.4068	3.5	2.5	84.990	84.990	84.9900	84.990
1	R1	109.1750	290.8250	400.0000	109.1750				10.925	10.925	10.9250	
	2	100.4070	299.5930	400.0000	100.4070				84.990	84.991	84.9905	
2	1	99.5650	300.4380	400.0030	99.5635	99.5635	0.0	1E-10	84.989	84.990	84.9895	84.989
	S10	72.3690	327.6340	400.0030	72.3675	72.3673	3.5	2.5	41.569	41.569	41.5690	41.569
2	1	99.5640	300.4370	400.0010	99.5635				84.989	84.989	84.9890	
	S10	72.3680	327.6340	400.0020	72.3670				41.569	41.569	41.5690	

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R1 – S10

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	S10	72.4100	327.5940	400.0040	72.4080	72.4078	3.5	2.5	41.574	41.574	41.5740	41.574
	2	95.8900	304.1120	400.0020	95.8890	95.8893	3.5	2.5	49.839	49.839	49.8390	49.839
1	S10	72.4090	327.5940	400.0030	72.4075				41.574	41.574	41.5740	
	2	95.8910	304.1120	400.0030	95.8895				49.839	49.839	49.8390	
2	1	104.0640	295.9330	399.9970	104.0655	104.0653	3.5	2.5	49.837	49.837	49.8370	49.837
	3	101.7850	298.2150	400.0000	101.7850	101.7853	3.5	2.5	102.024	102.024	102.0240	102.024
2	1	104.0650	295.9350	400.0000	104.0650				49.837	49.837	49.8370	
	3	101.7860	298.2150	400.0010	101.7855				102.024	102.024	102.0240	
3	2	98.1920	301.8060	399.9980	98.1930	98.1928	3.5	2.5	102.025	102.025	102.0250	102.026
	R7	105.8740	294.1230	399.9970	105.8755	105.8763	10.6	7.5	11.182	11.184	11.1830	11.183
3	2	98.1910	301.8060	399.9970	98.1925				102.026	102.026	102.0260	
	R7	105.8750	294.1210	399.9960	105.8770				11.182	11.182	11.1820	

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S10 – R7

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	S7	69.5200	330.4800	400.0000	69.5200	69.5195	7.1	5	36.709	36.708	36.7085	36.709
	2	100.2320	299.7690	400.0010	100.2315	100.2305	14.1	10	101.154	101.154	101.1540	101.154
1	S7	69.5190	330.4810	400.0000	69.5190				36.709	36.708	36.7085	
	2	100.2290	299.7700	399.9990	100.2295				101.154	101.154	101.1540	
2	1	99.7470	300.2540	400.0010	99.7465	99.7463	3.5	2.5	101.154	101.153	101.1535	101.154
	3	86.7320	313.2680	400.0000	86.7320	86.7313	10.6	7.5	32.842	32.842	32.8420	32.842
2	1	99.7470	300.2550	400.0020	99.7460				101.154	101.153	101.1535	
	3	86.7310	313.2700	400.0010	86.7305				32.842	32.842	32.8420	
3	2	113.2000	286.8000	400.0000	113.2000	113.2000	0.0	0	32.833	32.833	32.8330	32.833
	R9	132.7580	267.2380	399.9960	132.7600	132.7598	3.5	2.5	2.996	3.001	2.9985	2.999
3	2	113.2000	286.8000	400.0000	113.2000				32.833	32.833	32.8330	
	R9	132.7570	267.2380	399.9950	132.7595				2.996	3.001	2.9985	

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S7 – R9

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	S7	69.5200	330.4800	400.0000	69.5200	69.5195	7.1	5	36.709	36.708	36.7085	36.709
	2	100.2320	299.7690	400.0010	100.2315	100.2305	14.1	10	101.154	101.154	101.1540	101.154
1	S7	69.5190	330.4810	400.0000	69.5190				36.709	36.708	36.7085	
	2	100.2290	299.7700	399.9990	100.2295				101.154	101.154	101.1540	
2	1	99.7470	300.2540	400.0010	99.7465	99.7463	3.5	2.5	101.154	101.153	101.1535	101.154
	3	100.1930	299.8060	399.9990	100.1935	100.1935	0.0	0	54.743	54.743	54.7430	54.743
2	1	99.7470	300.2550	400.0020	99.7460				101.154	101.153	101.1535	
	3	100.1930	299.8060	399.9990	100.1935				54.742	54.742	54.7420	
3	2	99.7630	300.2390	400.0020	99.7620	99.7623	3.5	2.5	54.742	54.742	54.7420	54.742
	R6	103.7980	296.2020	400.0000	103.7980	103.7983	3.5	2.5	12.192	12.192	12.1920	12.192
3	2	99.7610	300.2360	399.9970	99.7625				54.742	54.742	54.7420	
	R6	103.7970	296.2000	399.9970	103.7985				12.192	12.192	12.1920	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S7 – R6

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	S7	68.1780	331.8200	399.9980	68.1790	68.1788	3.5	2.5	35.467	35.467	35.4670	35.467
	2	100.2490	299.7540	400.0030	100.2475	100.2485	14.1	10	57.171	57.171	57.1710	57.172
1	S7	68.1770	331.8200	399.9970	68.1785				35.467	35.467	35.4670	
	2	100.2520	299.7530	400.0050	100.2495				57.172	57.172	57.1720	
2	1	99.7110	300.2860	399.9970	99.7125	99.7108	24.7	17.5	57.171	57.171	57.1710	57.171
	3	99.9490	300.0440	399.9930	99.9525	99.9508	24.7	17.5	79.560	79.562	79.5610	79.561
2	1	99.7110	300.2930	400.0040	99.7090				57.171	57.171	57.1710	
	3	99.9480	300.0500	399.9980	99.9490				79.559	79.563	79.5610	
3	2	100.0160	299.9840	400.0000	100.0160	100.0160	0.0	1.4E-10	79.563	79.562	79.5625	79.563
	R4	115.7490	284.2490	399.9980	115.7500	115.7488	17.7	12.5	5.025	5.025	5.0250	5.025
3	2	100.0140	299.9820	399.9960	100.0160				79.563	79.562	79.5625	
	R4	115.7460	284.2510	399.9970	115.7475				5.025	5.025	5.0250	

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S7 – R4

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	S11	60.9840	339.0130	399.9970	60.9855	60.9855	0.0	0	18.098	18.101	18.0995	18.100
	2	104.4220	295.5730	399.9950	104.4245	104.4248	3.5	2.5	101.874	101.874	101.8740	101.874
1	S11	60.9840	339.0130	399.9970	60.9855				18.098	18.101	18.0995	
	2	104.4240	295.5740	399.9980	104.4250				101.874	101.874	101.8740	
2	1	95.5520	304.4460	399.9980	95.5530	95.5533	3.5	2.5	101.876	101.876	101.8760	101.877
	S12	61.4400	338.5570	399.9970	61.4415	61.4413	3.5	2.5	31.659	31.659	31.6590	31.660
2	1	95.5530	304.4460	399.9990	95.5535				101.877	101.877	101.8770	
	S12	61.4390	338.5570	399.9960	61.4410				31.659	31.662	31.6605	

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S11 – S12

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R7	103.8750	296.1200	399.9950	103.8775	103.8773	3.5	2.5	18.366	18.366	18.3660	18.366
	2	96.6980	303.3000	399.9980	96.6990	96.6993	3.5	2.5	121.498	121.499	121.4985	121.498
1	R7	103.8750	296.1210	399.9960	103.8770				18.365	18.365	18.3650	
	2	96.6990	303.3000	399.9990	96.6995				121.498	121.498	121.4980	
2	1	103.2820	296.7150	399.9970	103.2835	103.2838	3.5	2.5	121.497	121.497	121.4970	121.497
	3	99.8480	300.1520	400.0000	99.8480	99.8475	7.1	5	118.411	118.411	118.4110	118.412
2	1	103.2820	296.7140	399.9960	103.2840				121.497	121.497	121.4970	
	3	99.8460	300.1520	399.9980	99.8470				118.412	118.412	118.4120	
3	2	100.1310	299.8660	399.9970	100.1325	100.1323	3.5	2.5	118.412	118.412	118.4120	118.412
	R8	114.8070	285.1880	399.9950	114.8095	114.8100	7.1	5	6.710	6.710	6.7100	6.711
3	2	100.1310	299.8670	399.9980	100.1320				118.411	118.411	118.4110	
	R8	114.8080	285.1870	399.9950	114.8105				6.711	6.711	6.7110	

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R7 – R8

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R8	114.8070	285.1880	399.9950	114.8095	114.8098	3.5	2.5	6.711	6.711	6.7110	6.711
	2	99.9110	300.0860	399.9970	99.9125	99.9123	3.5	2.5	59.459	59.459	59.4590	59.459
1	R8	114.8070	285.1870	399.9940	114.8100				6.710	6.710	6.7100	
	2	99.9110	300.0870	399.9980	99.9120				59.459	59.459	59.4590	
2	1	100.0470	299.9510	399.9980	100.0480	100.0483	3.5	2.5	59.458	59.458	59.4580	59.458
	3	99.8480	300.1490	399.9970	99.8495	99.8495	0.0	1.4E-10	31.455	31.455	31.4550	31.455
2	1	100.0480	299.9510	399.9990	100.0485				59.458	59.458	59.4580	
	3	99.8470	300.1480	399.9950	99.8495				31.455	31.455	31.4550	
3	2	100.0730	299.9250	399.9980	100.0740	100.0738	3.5	2.5	31.455	31.455	31.4550	31.455
	S11	60.9840	339.0120	399.9960	60.9860	60.9858	3.5	2.5	18.098	18.098	18.0980	18.098
3	2	100.0720	299.9250	399.9970	100.0735				31.455	31.455	31.4550	
	S11	60.9840	339.0130	399.9970	60.9855				18.098	18.098	18.0980	

ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R8 – S11

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R6	103.3530	296.6400	399.9930	103.3565	103.3568	3.5	2.5	13.322	13.317	13.3195	13.320
	2	100.5960	299.3990	399.9950	100.5985	100.5988	3.5	2.5	24.656	24.655	24.6555	24.655
1	R6	103.3530	296.6390	399.9920	103.3570				13.319	13.322	13.3205	
	2	100.5960	299.3980	399.9940	100.5990				24.655	24.655	24.6550	
2	1	99.3000	300.6960	399.9960	99.3020	99.3018	3.5	2.5	24.656	24.656	24.6560	24.656
	3	99.4520	300.5400	399.9920	99.4560	99.4565	7.1	5	84.858	84.858	84.8580	84.859
2	1	99.2980	300.6950	399.9930	99.3015				24.656	24.656	24.6560	
	3	99.4540	300.5400	399.9940	99.4570				84.859	84.859	84.8590	
3	2	100.5130	299.4830	399.9960	100.5150	100.5153	3.5	2.5	84.859	84.859	84.8590	84.859
	R7	104.1880	295.8060	399.9940	104.1910	104.1908	3.5	2.5	16.590	16.590	16.5900	16.591
3	2	100.5140	299.4830	399.9970	100.5155				84.859	84.859	84.8590	
	R7	104.1890	295.8080	399.9970	104.1905				16.591	16.591	16.5910	

ΠΙΝΑΚΑΣ 11. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R6 – R7

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R4	105.9360	294.0600	399.9960	105.9380	105.9378	3.5	2.5	11.808	11.808	11.8080	11.808
	2	99.9070	300.0900	399.9970	99.9085	99.9085	0.0	0	44.760	44.760	44.7600	44.760
1	R4	105.9350	294.0600	399.9950	105.9375				11.808	11.808	11.8080	
	2	99.9070	300.0900	399.9970	99.9085				44.760	44.760	44.7600	
2	1	100.0360	299.9620	399.9980	100.0370	100.0365	7.1	5	44.760	44.760	44.7600	44.760
	3	99.2870	300.7100	399.9970	99.2885	99.2885	0.0	1E-10	27.894	27.894	27.8940	27.894
2	1	100.0340	299.9620	399.9960	100.0360				44.760	44.760	44.7600	
	3	99.2860	300.7090	399.9950	99.2885				27.894	27.894	27.8940	
3	2	100.6240	299.3730	399.9970	100.6255	100.6250	7.1	5	27.894	27.894	27.8940	27.894
	R3	108.8240	291.1730	399.9970	108.8255	108.8250	7.1	5	8.184	8.184	8.1840	8.184
3	2	100.6230	299.3740	399.9970	100.6245				27.894	27.894	27.8940	
	R3	108.8220	291.1730	399.9950	108.8245				8.184	8.184	8.1840	

ΠΙΝΑΚΑΣ 12. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R4 – R3

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R5	105.1660	294.8330	399.9990	105.1665	105.1660	7.1	5	15.774	15.774	15.7740	15.773
	2	100.1220	299.8750	399.9970	100.1235	100.1238	3.5	2.5	73.427	73.427	73.4270	73.427
1	R5	105.1640	294.8330	399.9970	105.1655				15.771	15.771	15.7710	
	2	100.1220	299.8740	399.9960	100.1240				73.427	73.427	73.4270	
2	1	99.8420	300.1580	400.0000	99.8420	99.8420	0.0	1.4E-10	73.428	73.428	73.4280	73.428
	3	100.2660	299.7340	400.0000	100.2660	100.2665	7.1	5	157.303	157.303	157.3030	157.304
2	1	99.8410	300.1570	399.9980	99.8420				73.428	73.428	73.4280	
	3	100.2670	299.7330	400.0000	100.2670				157.304	157.304	157.3040	
3	2	99.7190	300.2770	399.9960	99.7210	99.7213	3.5	2.5	157.303	157.303	157.3030	157.303
	S11	50.6940	349.3070	400.0010	50.6935	50.6933	3.5	2.5	25.532	25.532	25.5320	25.532
3	2	99.7200	300.2770	399.9970	99.7215				157.303	157.303	157.3030	
	S11	50.6930	349.3070	400.0000	50.6930				25.532	25.532	25.5320	

ΠΙΝΑΚΑΣ 13. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R5 – S11

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R2	104.6110	295.3860	399.9970	104.6125	104.6128	3.5	2.5	15.698	15.698	15.6980	15.706
	2	93.0750	306.9220	399.9970	93.0765	93.0775	14.1	10	60.233	60.233	60.2330	60.233
1	R2	104.6100	295.3840	399.9940	104.6130				15.714	15.714	15.7140	
	2	93.0780	306.9210	399.9990	93.0785				60.233	60.233	60.2330	
2	1	106.8830	293.1190	400.0020	106.8820	106.8825	7.1	5	60.229	60.229	60.2290	60.229
	3	101.8180	298.1780	399.9960	101.8200	101.8205	7.1	5	239.705	239.705	239.7050	239.705
2	1	106.8830	293.1170	400.0000	106.8830				60.229	60.229	60.2290	
	3	101.8200	298.1780	399.9980	101.8210				239.705	239.705	239.7050	
3	2	98.1710	301.8280	399.9990	98.1715	98.1718	3.5	2.5	239.707	239.707	239.7070	239.707
	4	99.6360	300.3590	399.9950	99.6385	99.6380	7.1	5	117.842	117.842	117.8420	117.842
3	2	98.1710	301.8270	399.9980	98.1720				239.706	239.706	239.7060	
	4	99.6350	300.3600	399.9950	99.6375				117.842	117.842	117.8420	
4	3	100.3390	299.6580	399.9970	100.3405	100.3405	0.0	0	117.841	117.841	117.8410	117.841
	5	99.8850	300.1090	399.9940	99.8880	99.8875	7.1	5	36.957	36.957	36.9570	36.957
4	3	100.3390	299.6580	399.9970	100.3405				117.841	117.841	117.8410	
	5	99.8850	300.1110	399.9960	99.8870				36.957	36.957	36.9570	
5	4	100.0440	299.9520	399.9960	100.0460	100.0458	3.5	2.5	36.957	36.957	36.9570	36.957
	R5	105.1970	294.7990	399.9960	105.1990	105.1983	10.6	7.5	15.269	15.269	15.2690	15.269
5	4	100.0430	299.9520	399.9950	100.0455				36.957	36.957	36.9570	
	R5	105.1950	294.8000	399.9950	105.1975				15.268	15.268	15.2680	

ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R2 – R5

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R9	119.9270	280.0670	399.9940	119.9300	119.9298	3.5	2.5	4.872	4.872	4.8720	4.871
	2	107.1440	292.8530	399.9970	107.1455	107.1453	3.5	2.5	65.129	65.129	65.1290	65.129
1	R9	119.9270	280.0680	399.9950	119.9295				4.869	4.869	4.8690	
	2	107.1440	292.8540	399.9980	107.1450				65.129	65.129	65.1290	
2	1	92.8180	307.1830	400.0010	92.8175	92.8175	0.0	0	65.133	65.133	65.1330	65.133
	3	99.6890	300.3120	400.0010	99.6885	99.6888	3.5	2.5	94.332	94.332	94.3320	94.332
2	1	92.8170	307.1820	399.9990	92.8175				65.133	65.133	65.1330	
	3	99.6880	300.3100	399.9980	99.6890				94.332	94.332	94.3320	
3	2	100.2830	299.7160	399.9990	100.2835	100.2838	3.5	2.5	94.330	94.330	94.3300	94.331
	S9	48.1450	351.8560	400.0010	48.1445	48.1445	0.0	0	23.902	23.902	23.9020	23.902
3	2	100.2840	299.7160	400.0000	100.2840				94.331	94.331	94.3310	
	S9	48.1450	351.8560	400.0010	48.1445				23.902	23.902	23.9020	

ΠΙΝΑΚΑΣ 15. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R9 – S9

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R2	104.9970	295.0030	400.0000	104.9970	104.9978	10.6	7.5	13.977	13.983	13.9800	13.980
	2	100.3380	299.6630	400.0010	100.3375	100.3375	0.0	0	150.516	150.516	150.5160	150.516
1	R2	104.9990	295.0020	400.0010	104.9985				13.978	13.981	13.9795	
	2	100.3380	299.6630	400.0010	100.3375				150.516	150.516	150.5160	
2	1	99.6470	300.3530	400.0000	99.6470	99.6468	3.5	2.5	150.516	150.516	150.5160	150.516
	3	99.7080	300.2900	399.9980	99.7090	99.7093	3.5	2.5	167.017	167.018	167.0175	167.018
2	1	99.6470	300.3540	400.0010	99.6465				150.516	150.516	150.5160	
	3	99.7080	300.2890	399.9970	99.7095				167.018	167.018	167.0180	
3	2	100.2680	299.7270	399.9950	100.2705	100.2703	3.5	2.5	167.018	167.018	167.0180	167.018
	S12	61.8590	338.1420	400.0010	61.8585	61.8583	3.5	2.5	31.950	31.948	31.9490	31.949
3	2	100.2700	299.7300	400.0000	100.2700				167.018	167.018	167.0180	
	S12	61.8590	338.1430	400.0020	61.8580				31.949	31.949	31.9490	

ΠΙΝΑΚΑΣ 16. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R2 – S12

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	S12	61.8590	338.1420	400.0010	61.8585	61.8583	3.5	2.5	31.950	31.950	31.9500	31.950
	2	99.6900	300.3090	399.9990	99.6905	99.6908	3.5	2.5	95.176	95.176	95.1760	95.176
1	S12	61.8590	338.1430	400.0020	61.8580				31.949	31.949	31.9490	
	2	99.6890	300.3070	399.9960	99.6910				95.176	95.176	95.1760	
2	1	100.2780	299.7220	400.0000	100.2780	100.2775	7.1	5	95.176	95.176	95.1760	95.176
	3	100.2470	299.7530	400.0000	100.2470	100.2475	7.1	5	101.544	101.544	101.5440	101.544
2	1	100.2780	299.7240	400.0020	100.2770				95.176	95.176	95.1760	
	3	100.2480	299.7520	400.0000	100.2480				101.544	101.544	101.5440	
3	2	99.7260	300.2740	400.0000	99.7260	99.7265	7.1	5	101.544	101.544	101.5440	101.544
	S8	73.9400	326.0590	399.9990	73.9405	73.9405	0.0	0	43.781	43.781	43.7810	43.781
3	2	99.7270	300.2730	400.0000	99.7270				101.544	101.544	101.5440	
	S8	73.9400	326.0590	399.9990	73.9405				43.781	43.781	43.7810	

ΠΙΝΑΚΑΣ 17. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S12 – S8

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	S8	73.9400	326.0590	399.9990	73.9405	73.9405	0.0	0	43.781	43.781	43.7810	43.781
	2	100.1650	299.8320	399.9970	100.1665	100.1665	0.0	0	95.501	95.501	95.5010	95.501
1	S8	73.9400	326.0590	399.9990	73.9405				43.781	43.781	43.7810	
	2	100.1650	299.8320	399.9970	100.1665				95.501	95.501	95.5010	
2	1	99.8060	300.1930	399.9990	99.8065	99.8065	0.0	0	95.501	95.501	95.5010	95.501
	3	99.6040	300.3950	399.9990	99.6045	99.6048	3.5	2.5	76.678	76.678	76.6780	76.678
2	1	99.8060	300.1930	399.9990	99.8065				95.501	95.501	95.5010	
	3	99.6040	300.3940	399.9980	99.6050				76.678	76.678	76.6780	
3	2	100.3590	299.6400	399.9990	100.3595	100.3595	0.0	0	76.678	76.678	76.6780	76.678
	R7	103.6880	296.3070	399.9950	103.6905	103.6898	10.6	7.5	15.573	15.567	15.5700	15.570
3	2	100.3590	299.6400	399.9990	100.3595				76.678	76.678	76.6780	
	R7	103.6870	296.3090	399.9960	103.6890				15.575	15.566	15.5705	

ΠΙΝΑΚΑΣ 18. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S8 – R7

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	S9	48.1450	351.8540	399.9990	48.1455	48.1448	10.6	7.5	23.901	23.901	23.9010	23.902
	2	97.4600	302.5400	400.0000	97.4600	97.4600	0.0	1.4E-10	159.215	159.215	159.2150	159.215
1	S9	48.1440	351.8560	400.0000	48.1440				23.902	23.902	23.9020	
	2	97.4590	302.5390	399.9980	97.4600				159.215	159.215	159.2150	
2	1	102.5250	297.4750	400.0000	102.5250	102.5245	7.1	5	159.214	159.214	159.2140	159.214
	3	106.8210	293.1790	400.0000	106.8210	106.8208	3.5	2.5	59.113	59.113	59.1130	59.113
2	1	102.5240	297.4760	400.0000	102.5240				159.214	159.214	159.2140	
	3	106.8210	293.1800	400.0010	106.8205				59.113	59.114	59.1135	
3	2	93.1390	306.8610	400.0000	93.1390	93.1388	3.5	2.5	59.118	59.118	59.1180	59.118
	R2	104.9990	295.0020	400.0010	104.9985	104.9985	0.0	1E-10	14.001	14.001	14.0010	14.002
3	2	93.1390	306.8620	400.0010	93.1385				59.118	59.118	59.1180	
	R2	104.9980	295.0010	399.9990	104.9985				14.003	14.002	14.0025	

ΠΙΝΑΚΑΣ 19. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S9 – R2

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R3	101.8320	298.1660	399.9980	101.8330	101.8338	10.6	7.5	37.651	37.641	37.6460	37.646
	2	100.3540	299.6440	399.9980	100.3550	100.3550	0.0	0	91.895	91.896	91.8955	91.896
1	R3	101.8340	298.1650	399.9990	101.8345				37.649	37.642	37.6455	
	2	100.3540	299.6440	399.9980	100.3550				91.896	91.896	91.8960	
2	1	99.6150	300.3850	400.0000	99.6150	99.6153	3.5	2.5	91.895	91.895	91.8950	91.895
	3	99.5370	300.4620	399.9990	99.5375	99.5380	7.1	5	82.918	82.918	82.9180	82.918
2	1	99.6150	300.3840	399.9990	99.6155				91.895	91.895	91.8950	
	3	99.5380	300.4610	399.9990	99.5385				82.918	82.918	82.9180	
3	2	100.4240	299.5670	399.9910	100.4285	100.4283	3.5	2.5	82.918	82.918	82.9180	82.918
	R1	107.4080	292.5850	399.9930	107.4115	107.4113	3.5	2.5	12.620	12.610	12.6150	12.610
3	2	100.4230	299.5670	399.9900	100.4280				82.918	82.918	82.9180	
	R1	107.4070	292.5850	399.9920	107.4110				12.600	12.610	12.6050	

ΠΙΝΑΚΑΣ 20. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R3 – R1

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	R3	101.8320	298.1660	399.9980	101.8330	101.8338	10.6	7.5	37.651	37.641	37.6460	37.646
	2	100.3540	299.6440	399.9980	100.3550	100.3550	0.0	0	91.895	91.896	91.8955	91.896
1	R3	101.8340	298.1650	399.9990	101.8345				37.649	37.642	37.6455	
	2	100.3540	299.6440	399.9980	100.3550				91.896	91.896	91.8960	
2	1	99.6150	300.3850	400.0000	99.6150	99.6153	3.5	2.5	91.895	91.895	91.8950	91.895
	S10	70.7380	329.2580	399.9960	70.7400	70.7393	10.6	7.5	39.693	39.693	39.6930	39.693
2	1	99.6150	300.3840	399.9990	99.6155				91.895	91.895	91.8950	
	S10	70.7370	329.2600	399.9970	70.7385				39.692	39.692	39.6920	

ΠΙΝΑΚΑΣ 21. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών R3 – S10

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Έλεγχος	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.	σο (cc)	σχ (cc)	D1	D2	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο.
1	S9	72.3500	327.6490	399.9990	72.3505	72.3513	10.6	7.5	43.298	43.298	43.2980	43.298
	2	99.5970	300.4040	400.0010	99.5965	99.5970	7.1	5	139.590	139.590	139.5900	139.591
1	S9	72.3520	327.6480	400.0000	72.3520				43.298	43.298	43.2980	
	2	99.5980	300.4030	400.0010	99.5975				139.591	139.591	139.5910	
2	1	100.3830	299.6160	399.9990	100.3835	100.3840	7.1	5	139.590	139.592	139.5910	139.591
	3	99.8350	300.1650	400.0000	99.8350	99.8340	14.1	10	106.763	106.763	106.7630	106.763
2	1	100.3840	299.6150	399.9990	100.3845				139.590	139.592	139.5910	
	3	99.8330	300.1670	400.0000	99.8330				106.762	106.763	106.7625	
3	2	100.1410	299.8560	399.9970	100.1425	100.1423	3.5	2.5	106.763	106.763	106.7630	106.763
	4	100.4380	299.5590	399.9970	100.4395	100.4390	7.1	5	36.173	36.174	36.1735	36.173
3	2	100.1410	299.8570	399.9980	100.1420				106.763	106.763	106.7630	
	4	100.4370	299.5600	399.9970	100.4385				36.173	36.173	36.1730	
4	3	99.4870	300.5120	399.9990	99.4875	99.4875	0.0	1E-10	36.174	36.174	36.1740	36.174
	5	99.8730	300.1260	399.9990	99.8735	99.8728	10.6	7.5	58.078	58.078	58.0780	58.078
4	3	99.4860	300.5110	399.9970	99.4875				36.174	36.174	36.1740	
	5	99.8720	300.1280	400.0000	99.8720				58.078	58.078	58.0780	
5	4	100.0800	299.9190	399.9990	100.0805	100.0803	3.5	2.5	58.078	58.078	58.0780	58.079
	R4	108.6990	291.3010	400.0000	108.6990	108.6983	10.6	7.5	8.624	8.623	8.6235	8.624
5	4	100.0800	299.9200	400.0000	100.0800				58.079	58.079	58.0790	
	R4	108.6970	291.3020	399.9990	108.6975				8.626	8.624	8.6250	

ΠΙΝΑΚΑΣ 22. Μετρήσεις για τη σύνδεση των κορυφών S9 – R4

$10^{-6} *$

5.21	1.25	1.54	0.60	1.45	1.39	1.45	0.59	0.91	1.45	1.20	1.20	1.50	2.64
1.25	5.67	1.45	0.78	2.70	3.57	2.74	0.35	0.48	2.73	1.48	1.93	2.02	1.63
1.54	1.45	7.10	0.60	2.61	2.88	4.06	0.85	1.35	3.69	0.82	1.00	1.66	3.07
0.60	0.78	0.60	2.33	0.74	0.73	0.70	0.49	0.50	0.71	0.62	0.80	0.77	0.67
1.45	2.70	2.61	0.74	9.06	5.80	5.62	0.46	0.67	6.50	1.34	1.71	3.19	2.50
1.39	3.57	2.88	0.73	5.80	9.52	6.70	0.48	0.70	6.47	1.31	1.68	2.53	2.28
1.45	2.74	4.06	0.70	5.62	6.70	10.21	0.58	0.89	9.03	1.17	1.49	2.43	2.56
0.59	0.35	0.85	0.49	0.46	0.48	0.58	1.26	1.19	0.55	0.26	0.31	0.38	0.57
0.91	0.48	1.35	0.50	0.67	0.70	0.89	1.19	1.94	0.83	0.35	0.41	0.54	0.87
1.45	2.73	3.69	0.71	6.50	6.47	9.03	0.55	0.83	12.11	1.22	1.55	2.62	2.55
1.20	1.48	0.82	0.62	1.34	1.31	1.17	0.26	0.35	1.22	1.68	1.54	1.44	1.20
1.20	1.93	1.00	0.80	1.71	1.68	1.49	0.31	0.41	1.55	1.54	2.01	1.85	1.43
1.50	2.02	1.66	0.77	3.19	2.53	2.43	0.38	0.54	2.62	1.44	1.85	4.07	2.64
2.64	1.63	3.07	0.67	2.50	2.28	2.56	0.57	0.87	2.55	1.20	1.43	2.64	7.21

ΠΙΝΑΚΑΣ 23. Ο πίνακας μεταβλητότητας – συµμεταβλητότητας της συνόρθωσης του υψομετρικού δικτύου

Κατακόρυφη γωνία z=	100.1107	g
Απόσταση με πρίσμα =	49.9998	m

Υλικό	Σκόπευση		
	Κέντρο	Αριστερά	Δεξιά
Αλουμίνιο	50.0001	50.0026	49.9806
	50.0001	49.9979	49.9804
	50.0002	50.0039	49.9810
	50.0003	50.0009	49.9806
M.O.	50.0002	50.0013	49.9806
Μάρμαρο γκρι	50.0005	50.0077	49.9921
	50.0005	50.0079	49.9924
	50.0006	50.0077	49.9925
	50.0004	50.0077	49.9923
M.O.	50.0005	50.0077	49.9923
Μάρμαρο λευκό	50.0011	50.0075	49.9919
	50.0014	50.0075	49.9920
	50.0013	50.0076	49.9920
	50.0014	50.0075	49.9920
M.O.	50.0013	50.0075	49.9920
Ξύλο	50.0009	50.0053	49.9923
	50.0010	50.0055	49.9923
	50.0010	50.0057	49.9921
	50.0008	50.0054	49.9922
M.O.	50.0009	50.0055	49.9922
Κεραμίδι	50.0001	50.0081	49.9927
	50.0001	50.0083	49.9929
	50.0000	50.0082	49.9929
	50.0001	50.0078	49.9930
M.O.	50.0001	50.0081	49.9929
Kodak white	50.0005	50.0082	49.9953
	50.0004	50.0083	49.9951
	50.0006	50.0084	49.9952
	50.0005	50.0083	49.9952
M.O.	50.0005	50.0083	49.9952

Υλικό	Σκόπευση		
	Κέντρο	Αριστερά	Δεξιά
Χαρτόνι μαύρο	50.0002	50.0079	49.9977
	50.0003	50.0080	49.9976
	50.0003	50.0079	49.9975
	50.0002	50.0080	49.9976
M.O.	50.0002	50.0079	49.9976
Χαρτόνι λευκό	49.9991	50.0066	49.9933
	49.9995	50.0065	49.9937
	49.9999	50.0072	49.9938
	49.9994	50.0063	49.9941
M.O.	49.9995	50.0066	49.9937
Σίδερο	50.0005	50.0082	49.9933
	50.0006	50.0077	49.9935
	50.0007	50.0084	49.9941
	50.0006	50.0077	49.9938
M.O.	50.0006	50.0080	49.9937
Γυαλί	50.0126	50.0192	50.0084
	50.0125	50.0189	50.0088
	50.0127	50.0194	50.0086
	50.0127	50.0191	50.0083
M.O.	50.0126	50.0191	50.0085
Kodak grey	49.9996	50.0009	49.9990
	49.9997	50.0006	49.9986
	49.9996	50.0009	49.9984
	49.9997	50.0007	49.9985
M.O.	49.9996	50.0008	49.9986

ΠΙΝΑΚΑΣ 24. Εργαστηριακές μετρήσεις προς διάφορα υλικά για απόσταση 50 m

Υλικό	Κέντρο				Αριστερά				Δεξιά			
	Απόσταση	Διαφορά	95%	99%	Απόσταση	Διαφορά	95%	99%	Απόσταση	Διαφορά	95%	99%
Αλουμίνιο	50.0002	-0.0004	OK	OK	50.0013	-0.0015	OK	OK	49.9806	0.0192	X	X
Μάρμαρο γκρι	50.0005	-0.0007	OK	OK	50.0077	-0.0079	X	X	49.9923	0.0075	X	X
Μάρμαρο λευκό	50.0013	-0.0015	OK	OK	50.0075	-0.0077	X	X	49.9920	0.0078	X	X
Ξύλο	50.0009	-0.0011	OK	OK	50.0055	-0.0057	X	OK	49.9922	0.0076	X	X
Κεραμίδι	50.0001	-0.0003	OK	OK	50.0081	-0.0083	X	X	49.9929	0.0069	X	X
Χαρτόνι μαύρο	50.0002	-0.0004	OK	OK	50.0079	-0.0081	X	X	49.9976	0.0022	OK	OK
Χαρτόνι λευκό	49.9995	0.0003	OK	OK	50.0066	-0.0068	X	X	49.9937	0.0061	X	X
Σίδερο	50.0006	-0.0008	OK	OK	50.0080	-0.0082	X	X	49.9937	0.0061	X	X
Γυαλί	50.0126	-0.0128	X	X	50.0191	-0.0193	X	X	50.0085	-0.0087	X	X
Kodak grey	49.9996	0.0002	OK	OK	50.0008	-0.0010	OK	OK	49.9986	0.0012	OK	OK
Kodak white	50.0005	-0.0007	OK	OK	50.0083	-0.0085	X	X	49.9952	0.0046	X	X

Κατακόρυφη γωνία z=	100.1107	g
Απόσταση με πρίσμα =	49.9998	m
Κρίσιμη τιμή για 95% =	0.0044	m
Κρίσιμη τιμή για 99% =	0.0058	m

ΠΙΝΑΚΑΣ 25. Αποτελέσματα μετρολογικού ελέγχου για απόσταση σκόπευσης 50 m

Κατακόρυφη γωνία z=	100.3842	g
Απόσταση με πρίσμα =	15.0227	m

Υλικό	Σκόπευση		
	Κέντρο	Αριστερά	Δεξιά
Αλουμίνιο	15.0216	15.0210	15.0215
	15.0217	15.0211	15.0214
	15.0216	15.0212	15.0219
	15.0218	15.0212	15.0213
M.O.	15.0217	15.0211	15.0215
Μάρμαρο γκρι	15.0232	15.0230	15.0223
	15.0233	15.0233	15.0225
	15.0232	15.0233	15.0223
	15.0231	15.0232	15.0224
M.O.	15.0232	15.0232	15.0224
Μάρμαρο λευκό	15.0228	15.0229	15.0221
	15.0227	15.0229	15.0221
	15.0227	15.0229	15.0222
	15.0228	15.0228	15.0222
M.O.	15.0228	15.0229	15.0222
Ξύλο	15.0234	15.0241	15.0234
	15.0232	15.0241	15.0234
	15.0233	15.0241	15.0232
	15.0234	15.0242	15.0233
M.O.	15.0233	15.0241	15.0233
Κεραμίδι	15.0229	15.0238	15.0222
	15.0228	15.0238	15.0223
	15.0228	15.0237	15.0223
	15.0228	15.0238	15.0222
M.O.	15.0228	15.0238	15.0223
Kodak white	15.0216	15.0225	15.0223
	15.0217	15.0225	15.0212
	15.0217	15.0226	15.0221
	15.0216	15.0225	15.0222
M.O.	15.0217	15.0225	15.0220

Υλικό	Σκόπευση		
	Κέντρο	Αριστερά	Δεξιά
Χαρτόνι μαύρο	15.0221	15.0236	15.0223
	15.0223	15.0237	15.0220
	15.0221	15.0237	15.0222
	15.0221	15.0233	15.0219
M.O.	15.0222	15.0236	15.0221
Χαρτόνι λευκό	15.0233	15.0242	15.0237
	15.0235	15.0241	15.0236
	15.0235	15.0240	15.0236
	15.0235	15.0239	15.0237
M.O.	15.0235	15.0241	15.0237
Σίδηρο	15.0206	15.0209	15.0211
	15.0207	15.0213	15.0214
	15.0207	15.0212	15.0213
	15.0206	15.0214	15.0213
M.O.	15.0207	15.0212	15.0213
Γυαλί	15.0339	15.0344	15.0343
	15.0338	15.0344	15.0344
	15.0340	15.0347	15.0343
	15.0341	15.0344	15.0343
M.O.	15.0340	15.0345	15.0343
Kodak grey	15.0224	15.0229	15.0219
	15.0223	15.0228	15.0218
	15.0224	15.0228	15.0218
	15.0223	15.0228	15.0218
M.O.	15.0224	15.0228	15.0218

ΠΙΝΑΚΑΣ 26. Εργαστηριακές μετρήσεις προς διάφορα υλικά για απόσταση 15 m

Υλικό	Κέντρο				Αριστερά				Δεξιά			
	Απόσταση	Διαφορά	95%	99%	Απόσταση	Διαφορά	95%	99%	Απόσταση	Διαφορά	95%	99%
Αλουμίνιο	15.0217	0.0010	OK	OK	15.0211	0.0016	OK	OK	15.0215	0.0012	OK	OK
Μάρμαρο γκρι	15.0232	-0.0005	OK	OK	15.0232	-0.0005	OK	OK	15.0224	0.0003	OK	OK
Μάρμαρο λευκό	15.0228	-0.0001	OK	OK	15.0229	-0.0002	OK	OK	15.0222	0.0006	OK	OK
Ξόλο	15.0233	-0.0006	OK	OK	15.0241	-0.0014	OK	OK	15.0233	-0.0006	OK	OK
Κεραμίδι	15.0228	-0.0001	OK	OK	15.0238	-0.0011	OK	OK	15.0223	0.0005	OK	OK
Χαρτόνι μαύρο	15.0222	0.0006	OK	OK	15.0236	-0.0009	OK	OK	15.0221	0.0006	OK	OK
Χαρτόνι λευκό	15.0235	-0.0008	OK	OK	15.0241	-0.0013	OK	OK	15.0237	-0.0009	OK	OK
Σίδερο	15.0207	0.0021	OK	OK	15.0212	0.0015	OK	OK	15.0213	0.0014	OK	OK
Γυαλί	15.0340	-0.0113	X	X	15.0345	-0.0118	X	X	15.0343	-0.0116	X	X
Kodak grey	15.0224	0.0004	OK	OK	15.0228	-0.0001	OK	OK	15.0218	0.0009	OK	OK
Kodak white	15.0217	0.0011	OK	OK	15.0225	0.0002	OK	OK	15.0220	0.0008	OK	OK

Κατακόρυφη γωνία z=	100.3842	g
Απόσταση με πρίσμα =	15.0227	m
Κρίσιμη τιμή για 95% =	0.0044	mm
Κρίσιμη τιμή για 99% =	0.0058	mm

ΠΙΝΑΚΑΣ 27. Αποτελέσματα μετρολογικού ελέγχου για απόσταση σκόπευσης 15 m

Γραμμή Ευθεία	1					Υπόλοιπα											
	α	β	s0 m	A	σ0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.0031	10.3226	0.0031	99.8038	0.0048	0.001	0.001	-0.002	-0.001	0.000	-0.002	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	-0.001
	0.0033	10.3194	0.0015	99.7897	0.0213	0.001	0.001	-0.002	-0.001	0.001							
	0.0031	10.3221	0.0016	99.8027	0.0096						-0.002	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	-0.001
2	0.0028	10.3860	0.0016	99.8211	0.0055	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	-0.001	0.002	-0.003
	0.0029	10.3858	0.0006	99.8183	0.0096	0.000	0.001	0.000	-0.001	0.000							
	0.0030	10.3811	0.0020	99.809	0.0121						-0.001	0.000	-0.001	0.002	-0.001	0.003	-0.002
3	0.0030	10.3884	0.0019	99.8110	0.0063	0.004	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	0.000	0.001	-0.001	0.003	0.001	0.000	-0.001
	0.0037	10.3774	0.0019	99.7620	0.0272	0.002	-0.001	-0.001	-0.001	0.002							
	0.0030	10.3871	0.0014	99.8084	0.0086						-0.001	0.000	-0.002	0.002	0.000	0.000	-0.001
4	0.0028	10.4590	0.0028	99.8225	0.0092	-0.005	0.003	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.003	-0.002	0.004	0.001	0.000	-0.004
	0.0023	10.4664	0.0030	99.8521	0.043	-0.003	0.004	0.000	0.000	-0.002							
	0.0031	10.4520	0.0026	99.8049	0.0159						-0.002	0.001	-0.002	0.004	0.002	0.000	-0.003
5	0.0030	10.4522	0.0019	99.8224	0.0086		0.002	-0.001	0.000	-0.002	-0.001	0.002	-0.002	0.003	0.000	-0.001	
	0.0030	10.4518	0.0024	99.8116	0.0079	0.004	-0.001	-0.003	-0.002	0.000	0.001	-0.001	0.002	0.000	0.001	-0.004	0.003
	0.0036	10.4419	0.0025	99.7685	0.0348	0.002	-0.001	-0.002	-0.001	0.002							
6	0.0030	10.4513	0.0024	99.8109	0.0143						0.001	-0.001	0.002	0.000	0.000	-0.004	0.003
	0.0029	10.5183	0.0023	99.814	0.0079	0.000	0.000	0.000	0.001		-0.005	0.000	0.004	0.002	-0.002	0.000	-0.001
	0.0028	10.5202	0.0003	99.8244	0.0059	0.000	0.000	0.000	0.000								
Μέσο 3-4	0.0028	10.5215	0.0030	99.822	0.0189						-0.004	0.000	0.004	0.003	-0.002	0.000	-0.002
	0.0029	10.4242	0.0016	99.8178	0.0054	-0.001	0.001	-0.001	-0.001	0.000	0.000	0.001	-0.002	0.003	0.002	0.000	-0.003
	0.0029	10.4235	0.0011	99.8134	0.0154	-0.001	0.002	0.000	-0.001	0.000							
	0.003	10.4213	0.002	99.8106	0.0124						-0.001	0.001	-0.002	0.003	0.002	0.000	-0.002

ΠΙΝΑΚΑΣ 28. Αποτελέσματα υπολογισμού καλύτερων ευθειών για τη γραμμή 1, σε όλο το μήκος της και για κάθε τμήμα της ξεχωριστά

Γραμμή Ευθεία	2		s0 m	Α	σ0	Υπόλοιπα											
	α	β				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.0035	37.3172	0.0022	99.776	0.0074	0.001	0.000	0.000	-0.001	0.002	0.003	-0.002	-0.003	-0.002	-0.002	0.003	0.002
	0.0033	37.3192	0.0014	99.7868	0.0193	0.001	0.000	0.000	-0.002	0.001							
	0.0034	37.3209	0.0028	99.7853	0.0171						0.004	-0.001	-0.003	-0.002	-0.002	0.002	0.001
2	0.0035	37.3845	0.0021	99.7785	0.0071	-0.002	0.001	0.001	0.000	0.003	0.002	0.001	-0.004	-0.003	0.000	0.000	0.001
	0.0027	37.3946	0.0011	99.8252	0.016	0.000	0.001	0.001	-0.001	0.000							
	0.0035	37.3852	0.0024	99.7797	0.0147						0.002	0.001	-0.004	-0.002	0.001	0.001	0.001
3	0.0035	37.3814	0.0023	99.7749	0.0077	0.003	-0.001	-0.001	-0.001	0.003	0.001	-0.003	-0.003	-0.001	-0.001	0.001	0.003
	0.0036	37.3804	0.0026	99.7738	0.0357	0.003	-0.001	-0.002	-0.001	0.002							
	0.0032	37.3885	0.002	99.7932	0.0126						0.003	-0.002	-0.002	0.000	-0.001	0.001	0.001
4	0.0035	37.4474	0.0018	99.7803	0.006	0.002	-0.001	-0.002	-0.002	0.003	0.001	-0.001	-0.002	-0.001	0.000	0.001	0.001
	0.0033	37.4486	0.0027	99.7867	0.0381	0.002	-0.001	-0.002	-0.002	0.003							
	0.0034	37.4494	0.0013	99.7853	0.0081						0.002	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.001	0.001
5	0.0033	37.4542	0.003	99.7868	0.0101	0.005	-0.001	-0.001	-0.002	0.002	0.001	-0.002	-0.004	-0.003	-0.001	0.004	0.002
	0.0038	37.4477	0.0032	99.7608	0.0451	0.003	-0.002	-0.002	-0.002	0.003							
	0.003	37.462	0.003	99.807	0.0181						0.004	0.000	-0.003	-0.003	-0.001	0.004	0.000
	0.0032	37.4577	0.0025	99.7966	0.0095		0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	-0.002	-0.004	-0.003	-0.001	0.004	0.001
6	0.0036	37.5093	0.0035	99.7721	0.0119	0.007	-0.003	-0.002	-0.002	0.002	0.003	-0.002	-0.004	-0.002	-0.001	0.000	0.005
	0.0043	37.4989	0.0043	99.7267	0.0616	0.004	-0.004	-0.002	-0.002	0.004							
	0.0033	37.5159	0.0033	99.7895	0.0203						0.005	-0.001	-0.003	-0.002	-0.001	0.000	0.004
	0.0034	37.5142	0.0027	99.7875	0.01		-0.001	0.000	0.000	0.003	0.004	-0.002	-0.004	-0.002	-0.002	0.000	0.004
μέσο 3-4	0.0035	37.4148	0.0016	99.7786	0.0054	0.003	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.000	-0.002	-0.002	0.000	-0.001	0.001	0.002
	0.0039	37.4084	0.0015	99.7514	0.021	0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.001							
	0.0033	37.4202	0.0014	99.7928	0.0085						0.002	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	0.000	0.001

ΠΙΝΑΚΑΣ 29. Αποτελέσματα υπολογισμού καλύτερων ευθειών για τη γραμμή 2, σε όλο το μήκος της και για κάθε τμήμα της ξεχωριστά

Γραμμή	1					ΥΠΟΛΟΨΗ				
Ευθεία	α	β	s0 m	A	σ0	6	7	9	11	12
1	0.0031	10.3219	0.0020	99.8028	0.0126	-0.002	0.001	0.002	0.000	-0.001
2	0.0030	10.3809	0.0024	99.8095	0.0153	-0.001	0.000	0.002	0.002	-0.003
3	0.0030	10.3860	0.0015	99.8060	0.0095	-0.001	0.000	0.002	0.000	-0.001
4	0.0031	10.4500	0.0029	99.8	0.0183	-0.002	0.001	0.003	0.001	-0.002
5	0.0029	10.4522	0.0028	99.8124	0.0178	0.001	-0.001	0.000	-0.003	0.003
6	0.0027	10.5248	0.0028	99.8296	0.0181	-0.003	0.001	0.003	0.000	-0.002
Γραμμή	2					ΥΠΟΛΟΨΗ				
Ευθεία	α	β	s0 m	A	σ0	6	7	9	11	12
1	0.0034	37.3195	0.0027	99.7843	0.0173	0.003	-0.002	-0.003	0.002	0.000
2	0.0035	37.3827	0.002	99.7745	0.0129	0.001	0.000	-0.003	0.000	0.001
3	0.0033	37.3876	0.0021	99.7927	0.0132	0.002	-0.002	-0.001	0.000	0.001
4	0.0034	37.4486	0.0014	99.7842	0.0089	0.001	-0.001	-0.002	0.001	0.000
5	0.0031	37.4604	0.0031	99.8051	0.0194	0.003	-0.001	-0.003	0.003	0.000
6	0.0033	37.5143	0.0035	99.7876	0.0225	0.004	-0.002	-0.003	-0.001	0.003

ΠΙΝΑΚΑΣ 30. Αποτελέσματα υπολογισμού καλύτερων ευθειών χρησιμοποιώντας 5 σημεία

Γραμμή	1					ΥΠΟΛΟΙΠΑ		
Ευθεία	α	β	s0 m	A	σ0	6	9	12
1	0.0030	10.3234	0.0032	99.8059	0.0247	-0.001	0.003	-0.001
2	0.0031	10.3781	0.0030	99.8002	0.023	-0.001	0.002	-0.001
3	0.0031	10.3858	0.0026	99.8058	0.0197	-0.001	0.002	-0.001
4	0.0031	10.4508	0.0048	99.8008	0.0366	-0.002	0.004	-0.002
5	0.0028	10.4544	0.0018	99.8221	0.0135	0.001	-0.001	0.001
6	0.0026	10.5270	0.0045	99.8341	0.0353	-0.002	0.004	-0.002
Γραμμή	2					ΥΠΟΛΟΙΠΑ		
Ευθεία	α	β	s0 m	A	σ0	6	9	12
1	0.0036	37.3147	0.0036	99.7715	0.0274	0.001	-0.003	0.001
2	0.0036	37.3826	0.0035	99.774	0.0267	0.001	-0.003	0.001
3	0.0034	37.3836	0.0019	99.784	0.0143	0.001	-0.002	0.001
4	0.0035	37.4466	0.0021	99.779	0.0158	0.001	-0.002	0.001
5	0.0033	37.4552	0.0037	99.7897	0.0281	0.002	-0.003	0.002
6	0.0034	37.5117	0.0051	99.7836	0.0401	0.002	-0.004	0.002

ΠΙΝΑΚΑΣ 31. Αποτελέσματα υπολογισμού καλύτερων ευθειών χρησιμοποιώντας 3 σημεία