



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

**ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΗΚΩΝ
ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ
ΣΤΑΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ
ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ISO 17123-4**



Διπλωματική Εργασία
Γεράσιμος – Αλέξανδρος Καραϊσκος

Επιβλέπουσα:
Ευαγγελία Λάμπρου
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2016



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

**ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΗΚΩΝ
ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ
ΣΤΑΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ
ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ISO 17123-4**

Διπλωματική Εργασία
Γεράσιμος – Αλέξανδρος Καραϊσκος

Επιβλέπουσα:
Ευαγγελία Λάμπρου
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Υπογραφή	Υπογραφή	Υπογραφή
.....
Ευαγγελία Λάμπρου	Γεώργιος Πανταζής	Ορθοδοξία Αραμπατζή
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π	Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π	Επικ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2016

(Υπογραφή)

.....

Καραϊσκος Γεράσιμος – Αλέξανδρος

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π

Copyright Καραϊσκος Γεράσιμος – Αλέξανδρος, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Είναι σημαντικό πριν την περαιτέρω ανάγνωση αυτής της διπλωματικής εργασίας να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στην εκπόνηση της.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής εργασίας *Ευαγγελία Λάμπρου*, κατ' αρχάς για την άψογη συνεργασία σε όλη τη διάρκεια εκπόνησής της καθώς και για την υπομονή και υποστήριξή της σε όλη τη διαδικασία.

Ευχαριστώ, επίσης, τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών *Γεώργιο Πανταζή*, για την βοήθειά του και την υποστήριξή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ πολύ, τον Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών *Ρωμόλο Κορακίτη*, για την αμέριστη υποστήριξή του αυτά τα χρόνια και την επιθυμία του να βοηθήσει στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής, κυρίως όσο αφορά την κατασκευή των προγραμμάτων.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου και κυρίως στην *Αργυρώ Μπίνη* που με βοήθησε τόσο στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, όσο και στην σταδιοδρομία μου στην Σχολή, αλλά πάνω απ' όλα γιατί πέρασα μαζί τους αξέχαστες στιγμές.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην Ευρώπη εδώ και αρκετά χρόνια έχει αναπτυχθεί ο τομέας ελέγχου της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και των συσκευών μέσω των οποίων ελέγχονται όλα τα προϊόντα.

Οι αντίστοιχες συσκευές παραγωγής προϊόντων για την εργασία του τοπογράφου μηχανικού είναι προφανώς τα πάσης φύσεως γεωδαιτικά και φωτογραμμετρικά όργανα μαζί με τον αναγκαίο παρελκόμενο εξοπλισμό τους.

Τα τελευταία χρόνια, με την ψήφιση ειδικού νόμου, εισήχθη και στην Ελλάδα ο υποχρεωτικός έλεγχος ποιότητας των προϊόντων. Το γεγονός αυτό βέβαια έχει ως αποτέλεσμα ανάμεσα στα υπό έλεγχο προϊόντα να συμπεριληφθούν και οι μετρήσεις μεγεθών όπως: γωνίες, μήκη, υψομετρικές διαφορές και εικονοσυντεταγμένες.

Αυτό σημαίνει ότι τα όργανα με τα οποία γίνονται οι μετρήσεις θα πρέπει να είναι ελεγμένα ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους και την ποιότητα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που γίνονται με αυτά. Δηλαδή ελέγχεται η **ακρίβεια** και η **αξιοπιστία** των μετρήσεων που γίνονται με τα όργανα αυτά. Οι έλεγχοι αυτοί ακολουθούν ορισμένες διεθνείς προδιαγραφές για τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να γίνονται χωρίς να αποκλείεται και η περίπτωση να εφαρμόζονται και άλλου είδους έλεγχοι αρκεί να έχουν εγκριθεί από τους αρμόδιους φορείς όπως π.χ. ο Ε.Λ.Ο.Τ. [[Δ.-Δ. Μπαλοδήμος, Δ. Σταθάς, 2012](#)]

Η **Μετρολογία** λοιπόν είναι η επιστήμη της ακρίβειας των μετρήσεων και έχει ως αντικείμενο τον ορισμό του θεωρητικού υπόβαθρου και την εφαρμογή συγκεκριμένων διαδικασιών ελέγχου, ανάλογα με το ελεγχόμενο όργανο.

Η εργασία αυτή, ασχολείται με τα τοπογραφικά ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών και τον μετρολογικό τους έλεγχο σε εξωτερική βάση ελέγχου, ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται στο πρότυπο ISO 17123-4 - εσωτερική ακρίβεια (Precision).

Επίσης προτείνεται μια μεθοδολογία διακρίβωσης προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη σφάλματος - εξωτερική ακρίβεια ορθότητα (Accuracy) στο σύστημα του οργάνου. Τέλος κατασκευάζονται τα αντίστοιχα λογισμικά διακρίβωσης και ελέγχου που υποστηρίζουν όλους τους υπολογισμούς που απαιτούνται και εκδίδουν τα απαραίτητα πιστοποιητικά.

Η εργασία αυτή ανατέθηκε τον Νοέμβρη του 2015 και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2016.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	III
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	V
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	VII
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	XI
ΕΙΚΟΝΕΣ.....	XIII
ΣΧΗΜΑΤΑ.....	XV
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	XVII
ABSTRACT.....	XIX
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΓΙΑ ΜΗΚΗ.....3

1.1 Γενικά.....	3
1.2 Βασικές έννοιες και ορισμοί.....	7
1.3 Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total Stations)	10
1.4 Μέθοδοι μέτρησης μηκών.....	16
1.5 Σφάλματα μετρούμενων μηκών.....	17
1.5.1 Σφάλματα του συστήματος ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός – ανακλαστήρας.....	18
1.5.2 Σφάλματα λόγω της επίδρασης της ατμόσφαιρας.....	20
1.6 Αντικείμενο της εργασίας.....	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ISO 17123-4.....31

2.1 Γενικά.....	31
2.2 Σκοπός και προϋποθέσεις εφαρμογής.....	32
2.3 Διαδικασίες ελέγχου.....	33
2.3.1 Απλουστευμένη διαδικασία ελέγχου (Simplified test procedure).33	
2.3.2 Πλήρης διαδικασία ελέγχου (Full test procedure)	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....47

3.1 Βάσεις μετρολογικού ελέγχου στο εξωτερικό.....47
3.2 Βάσεις μετρολογικού ελέγχου στην Ελλάδα.....58
3.3 Βαθμονόμηση βάσης ελέγχου.....65
 3.3.1 Ο σταθμός αναφοράς.....65
 3.3.2 Μετρήσεις - Υπολογισμοί.....72
 3.3.3 Υπολογισμός πρότυπων τιμών.....77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΓΙΑ
ΜΗΚΗ.....81

4.1 Γενικά.....81
4.2 Μεθοδολογία 1^η - Προσδιορισμός της εξίσωσης αβεβαιότητας του
 οργάνου.....81
4.3 Μεθοδολογία 2^η - Προσδιορισμός υπολοίπων.....85
4.4 Αξιολόγηση μεθοδολογιών.....85
4.5 Εφαρμογή.....86
 4.5.1 Επιλογή οργάνων.....87
 4.5.2 Έλεγχος κατά ISO.....88
 4.5.3 Διακρίβωση.....95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ.....99

5.1 Γενικά.....99
5.2 Λογισμικό ελέγχου κατά ISO 17123-4.....99
5.3 Λογισμικό διακρίβωσης.....99
5.4 Φόρμες αποτελεσμάτων.....109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	113
6.1 Συμπεράσματα.....	113
6.2 Προτάσεις.....	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	119
ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	125

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1: Ενδεικτικοί τύποι ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.	14
Πίνακας 1.2: Μήκος κύματος Leica TPS 1200.....	24
Πίνακας 1.3: Ευαισθησία του δείκτη διάθλασης από τις ατμοσφαιρικές παραμέτρους.....	26
Πίνακας 2.1: Στατιστικοί έλεγχοι.....	43
Πίνακας 3.1: Οι τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού Βο και D της βάσης του Αξιού (Ρωσσικόπουλος Δ., 1997).....	60
Πίνακας 3.2: Τα ενδιάμεσα τμήματα και το τελικό μήκος C της βάσης του Αξιού (Ρωσσικόπουλος Δ., 1997).....	60
Πίνακας 3.3: Οι αποστάσεις της εσωτερικής βάσης Αξιού (Ρωσσικόπουλος Δ., 1997).....	60
Πίνακας 3.4: Οι σχετικές αποστάσεις και υψομετρικές διαφορές των 9 διατάξεων.....	64
Πίνακας 3.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωδαιτικού σταθμού TDA 5005 Leica.....	67
Πίνακας 3.6: Ακρίβειες μηκών διακρίβωσης TDA 5005.....	67
Πίνακας 3.7: Μέτρηση της βάσης ελέγχου και τα μετεωρολογικά δεδομένα για το TDA 5005.....	75
Πίνακας 3.8: Τα μετεωρολογικά δεδομένα ημέρας 24/4/2016.....	78
Πίνακας 3.9: Έλεγχος πρότυπου οργάνου TDA 5005 σύμφωνα με το ISO 17123-4.....	78
Πίνακας 3.10: Πρότυπες τιμές βάσης ελέγχου στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά.....	79
Πίνακας 4.1: Έλεγχοι διακρίβωσης.....	84
Πίνακας 4.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων διακρίβωσης.....	86
Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά επιλεγμένων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (Μέρος I).....	87
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά επιλεγμένων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (Μέρος II).....	88

Πίνακας 4.5: Μετρήσεις και μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού TCR 405.....	90
Πίνακας 4.6: Μετρήσεις και μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού TCR 403.....	91
Πίνακας 4.7: Μετρήσεις και μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού GTS 226 – UN 4768.....	92
Πίνακας 4.8: Μετρήσεις και μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού GTS 226 – UN 5638.....	93
Πίνακας 4.9: Έλεγχος οργάνων σύμφωνα με το ISO 17123-4.....	94
Πίνακας 4.10: Μετρήσεις πριν και μετά την διόρθωση των ατμοσφαιρικών συνθηκών.....	96
Πίνακας 4.11: Αποτελέσματα διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.....	97
Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα ελέγχου του πρότυπου γεωδαιτικού σταθμού TDA 5005.....	114
Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα ελέγχου και διακρίβωσης των τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.....	116

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Μετροταινία.....	11
Εικόνα 1.2: Ηλεκτρονική μετροταινία.....	11
Εικόνα 1.3: Το οπτικό τηλέμετρο BRT 006 της Zeiss Jena.....	12
Εικόνα 1.4: Το Distomat DI 10.....	13
Εικόνα 1.5: Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί.....	15
Εικόνα 3.1: Τοποθεσία μετρολογικών βάσεων στην Νέα Νότια Ουαλία (Tony Watson, Volker Janssen., 2014).....	48
Εικόνα 3.2: Όργανο Leica TC2003 τοποθετημένο στο βάθρο 5 (Tony Watson, Volker Janssen., 2014).....	49
Εικόνα 3.3: Έντυπο μετρήσεων στην μετρολογική βάση ελέγχου Watson (Surveyor-General of the Australian Capital Territory.,2004).....	52
Εικόνα 3.4: Έντυπο σύγκρισης ατμοσφαιρικού εξοπλισμού (Surveyor General of the Australian Capital Territory.,2004).....	53
Εικόνα 3.5: Πιστοποιητικό Βαθμονόμησης I (Surveyor-General of the Australian Capital Territory.,2004).....	54
Εικόνα 3.6: Πιστοποιητικό Βαθμονόμησης II (Surveyor-General of the Australian Capital Territory.,2004).....	55
Εικόνα 3.7: Βάθρο 3 της βάσης στο Heerburg και σύστημα μέτρησης των καιρικών συνθηκών.....	57
Εικόνα 3.8: Βάση του Πανεπιστημίου του Bundeswehr στο Μόναχο (Google Earth).....	57
Εικόνα 3.9: Η βάση του Αξιού στην περιοχή του Αεροδρομίου Θεσσαλονίκης (Ρωσικόπουλος Δ., 1997).....	58
Εικόνα 3.10: Περιοχή εγκατάστασης της βάσης.....	62
Εικόνα 3.11: Το φρεάτιο και η διάταξη.....	63
Εικόνα 3.12: Ο ειδικός στυλεός.....	63
Εικόνα 3.13: Μήκος βάσης ελέγχου στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά.....	63

Εικόνα 3.14: Όργανο TDA 5005.....	66
Εικόνα 3.15: Έλεγχος και διακρίβωση του Leica TDA 5005 – Μέρος 1...	68
Εικόνα 3.16: Έλεγχος και διακρίβωση του Leica TDA 5005 – Μέρος 2...	69
Εικόνα 3.17: Κυκλικό πρίσμα Leica, τρικόγλιο και αντάπτορας.....	70
Εικόνα 3.18: Σύστημα συλλογής ατμοσφαιρικών δεδομένων ALMEMO 2290-8 (Πηγή: http://ps1.fce.vutbr.cz/katalog/metpok/76.pdf).....	71
Εικόνα 3.19: Tinytag Plus 2 TGP-4500 (Πηγή: http://www.geminidataloggers.com).....	71
Εικόνα 3.20: Πομποδέκτης ICOM IC-A15 VHF (Πηγή: http://www.smarttech.gr/Icom-IC-A15/S-VHF-Airband-Transceiver.html).....	72
Εικόνα 3.21: Βάση ελέγχου – Χώρος διεξαγωγής μετρήσεων.....	73
Εικόνα 3.22: Τοποθέτηση συστήματος συλλογής ατμοσφαιρικών δεδομένων.....	73
Εικόνα 3.23: Μέτρηση βάσης ελέγχου.....	74
Εικόνα 3.24: Μέτρηση βάσης ελέγχου.....	74
Εικόνα 4.1: Επιλεγμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί.....	87
Εικόνα 4.2: Μέτρηση βάσης ελέγχου με το όργανο TCR 303.....	88
Εικόνα 4.3: Μέτρηση βάσης ελέγχου με το όργανο GTS 226 - UN 4768..	89
Εικόνα 4.4: Μέτρηση βάσης ελέγχου με το όργανο GTS226 - UN 5638...	89
Εικόνα 5.1: Φόρμα αποτελεσμάτων ελέγχου σύμφωνα με το ISO 17123-4.....	109
Εικόνα 5.2: Φόρμα αποτελεσμάτων διακρίβωσης I.....	110
Εικόνα 5.2: Φόρμα αποτελεσμάτων διακρίβωσης II.....	111
Εικόνα 6.1: Πρότυπες τιμές βάσης ελέγχου.....	113

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1: Αρχή διάδοσης σήματος ηλεκτρομαγνητικού οργάνου (Afeni Thomas Busuyi, 2011).....	21
Σχήμα 1.2: Διόρθωση μήκους λόγω των ατμοσφαιρικών συνθηκών.....	27
Σχήμα 1.3: Μεταβολή μήκους 600m λόγω ατμόσφαιρας.....	28
Σχήμα 2.1: Σχηματική αναπαράσταση της απλουστευμένης διαδικασίας.....	34
Σχήμα 2.2: Προσωρινή βάση ελέγχου για τον έλεγχο της διόρθωσης μηδενικού σημείου.....	35
Σχήμα 2.3: Σχηματική αναπαράσταση της βάσης ελέγχου για την ολοκληρωμένη διαδικασία δοκιμών.....	36
Σχήμα 2.4: Μετρούμενα μήκη.....	37
Σχήμα 3.1: Διάγραμμα μετρολογικής βάσης στο Watson (Surveyor General of the Australian Capital Territory.,2004).....	48
Σχήμα 3.2: Η βάση όλων των συνδυασμών του Αξιού για τη βαθμονόμηση της προσθετικής σταθεράς και του κυκλικού σφάλματος των EDM (Ρωσσικόπουλος Δ., 1997).....	59
Σχήμα 3.3: Σχέδιο βάθρου μετρήσεων της βάσης (Bulletin Kern) καθώς και της βάσης του Αξιού (Ρωσσικόπουλος Δ., 1997).....	61
Σχήμα 3.4: Μετρούμενα μήκη κατά την βαθμονόμηση της βάσης.....	65
Σχήμα 3.5: Μεταβολή θερμοκρασίας.....	76
Σχήμα 3.6: Μεταβολή υγρασίας.....	76
Σχήμα 3.7: Χρόνος μέτρησης σε κάθε βάθρο.....	76
Σχήμα 4.1: Χρόνος μέτρησης κάθε οργάνου σε κάθε βάθρο.....	95
Σχήμα 4.2: Διάγραμμα αποχής μετρούμενης τιμής από την πρότυπη.....	98
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής αλγόριθμου λογισμικού ελέγχου.....	103
Σχήμα 5.2: Διάγραμμα ροής αλγόριθμου λογισμικού διακρίβωσης.....	108
Σχήμα 6.1: Κατανομή χρόνου εργασιών.....	117

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την πειραματική εφαρμογή ελέγχου και διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για μήκη, στη βάση ελέγχου που έχει κατασκευαστεί από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά.

Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου καθώς και έλεγχος τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.

Η βαθμονόμηση έγινε με το πρότυπο όργανο Leica TDA 5005 και τα όργανα που επιλέχθηκαν για μετρολογικό έλεγχο ήταν δύο όργανα της εταιρείας Leica και δύο της εταιρείας Topcon.

Πιο συγκεκριμένα, στο **πρώτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για την επιστήμη της μετρολογίας, καθώς επίσης και την ανάπτυξή της στον τομέα της Τοπογραφίας. Επίσης παρουσιάζονται κάποιες πληροφορίες για τον Διεθνή Οργανισμό ISO, ενώ στη συνέχεια γίνεται ανάπτυξη της αναγκαιότητας της διακρίβωσης των οργάνων. Προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η συγκεκριμένη εργασία παρατίθενται κάποιοι βασικοί ορισμοί και γίνεται μια ιστορική αναδρομή στα γεωδαιτικά όργανα μέτρησης μηκών, δίνοντας περισσότερη σημασία στους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς, για τους οποίους γίνεται αναλυτική περιγραφή. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου αναφέρονται οι μέθοδοι μέτρησης μηκών και οι διορθώσεις που γίνονται στα μετρούμενα μήκη και περιγράφεται πιο αναλυτικά το αντικείμενο της εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, γίνεται η ανάλυση του ISO 17123-4. Περιγράφονται αναλυτικά ο σκοπός και οι προϋποθέσεις εφαρμογής του συγκεκριμένου διεθνούς προτύπου, καθώς και οι μέθοδοι και οι έλεγχοι που αναφέρονται σε αυτό.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, γίνεται αρχικά μια περιήγηση σε βάσεις μετρολογικού ελέγχου σε χώρες του εξωτερικού, μερικές από τις οποίες λειτουργούν δίνοντας το απαραίτητο πιστοποιητικό βαθμονόμησης, ενώ άλλες βρίσκονται υπό κατασκευή. Στη συνέχεια του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στις βάσεις μετρολογικού ελέγχου που βρίσκονται στην Ελλάδα, μια από τις οποίες είναι και η βάση στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της συγκεκριμένης διπλωματικής. Τέλος, αναλύεται η διαδικασία βαθμονόμησης της βάσης

ελέγχου που βρίσκεται στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά και παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς και οι πρότυπες τιμές της βάσης.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, διερευνώνται κάποιες μεθοδολογίες διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για μήκη και αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθοδολογίας. Στη συνέχεια, γίνεται παρουσίαση των τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, που επιλέχθηκαν προκειμένου να γίνει η εφαρμογή της διακρίβωσης και του ελέγχου. Περιγράφονται οι μετρήσεις που έγιναν με τα όργανα αυτά καθώς και τα αποτελέσματα για την διαπίστευση της καταλληλότητας ή μη των συγκεκριμένων οργάνων ως προς την μέτρηση μηκών.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, περιγράφεται τόσο το λογισμικό του ελέγχου των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών όπως ορίζει το ISO 17123-4, όσο και το λογισμικό της διακρίβωσης των οργάνων αυτών που συντάχθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας. Μέσω αυτού του κεφαλαίου παρατίθενται πληροφορίες για την σωστή χρήση των συγκεκριμένων λογισμικών, ενώ στο τέλος παρουσιάζεται η φόρμα των αποτελεσμάτων.

Στο **έκτο κεφάλαιο**, το οποίο είναι και το τελευταίο, συγκεντρώνονται όλα τα συμπεράσματα, οι παρατηρήσεις και οι διαδικασίες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τέλος, γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σε σχέση με τον μετρολογικό έλεγχο των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.

ABSTRACT

GRADUATION OF AN EXTERNAL BASELINE FOR DISTANCE TEST TOTAL STATIONS' CALIBRATION FOR DISTANCES AND TEST ACCORDING TO ISO 17123-4

The present dissertation refers to the experimental application of accreditation and testing of total stations upon the testing base, which was established in Olympic Rowing Center of Schinia by the National Technical University of Athens.

In this application, took place a calibration of the testing base as well as tests of four total stations.

The graduations were made with the standard instrument Leica TDA 5005 and the instruments which were selected for the metrological testing were two of Leica company and two of Topcon company.

More specifically, in the **first chapter** general information about the science of metrology are presented as well as the development in the surveying field. Also some information about the International Organization for Standardization are presented as well as the need of the instruments's graduation. In order to make more understandable this diplomatic dissertation some basic definitions are mentioned and geodetic instruments of length measurement are being described. Total stations are analyzed, while the methods of length measurement and the corrections needed are mentioned. Finally, there is a reference to all the cases when a total station is requires verification and at the end of this chapter some details for the scope of this work are described.

The **second chapter** is focused on ISO 17123-4. All requirements, methods and tests mentioned in it are analyzed.

In **third chapter**, there is a reference to characteristic metrological bases of controlling length-measuring instruments located abroad, some of which operate by giving the necessary calibration certificate, while others are under construction. Then, there is a reference to characteristic metrological bases of controlling length-measuring instruments located in Greece, one of which is the basis in Olympic Rowing Center of Schinia at which the measurements of this diploma were performed. In addition, this

chapter analyzes the graduation procedure of the testing base, which is located in Olympic Rowing Center of Schinia. At the end of this chapter the results of the measurements are presented as well as the standard values of the base.

In the **fourth chapter** the calibration methods of total stations for distances are investigated and the advantages and disadvantages of each method are analyzed. Consequently, this chapter describes the appropriate calibration method, which must be selected for the calibration of the under control instruments. Then, a detailed presentation of the four total stations, which were chosen in order to make the implementation of calibration and testing, is taking place. So the measurements made by these instruments are described as well as the results for the suitability of these instruments in distance measurements.

The **fifth chapter** describes both the testing software of total stations as defined in ISO 17123-4 and the accreditation software of these instruments. Through this chapter some information are given in order to use these software correctly, while at the end of this chapter the form of the results is presented.

In the **sixth** and final chapter, all conclusions made during the process of this diplomatic thesis are assembled. At last, proposals for future research concerning the metrological control of total stations are being done.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η ανάπτυξη των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών αλλά και η αυξημένη ζήτηση και χρήση τους, έχει οδηγήσει στην ανάγκη του μετρολογικού τους ελέγχου και κατ' επέκταση στην διακρίβωση των οργάνων αυτών με ακρίβεια, ταχύτητα και αποτελεσματικότητα.

Γι' αυτό τον λόγο η Σχολή των Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου έχει κατασκευάσει μια εξωτερική βάση μετρολογικού ελέγχου ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση μηκών στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά. Είναι πολύ σημαντικό αυτή η βάση να βαθμονομηθεί και να εφαρμοστεί στην πράξη η μεθοδολογία ελέγχου και διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, προκειμένου να αναγνωριστεί ως επίσημη βάση μετρολογικού ελέγχου.

Η παρούσα διπλωματική ανατέθηκε με στόχο την ανάλυση του ISO 17123-4, το οποίο ασχολείται με τον έλεγχο ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης μηκών, για να ελεγχθούν τέσσερεις ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί. Επιπλέον διερευνά μεθοδολογίες διακρίβωσης τέτοιων οργάνων και εφαρμόζει στην πράξη την καταλληλότερη μέθοδο, προκειμένου να διακριβωθούν οι υπό διακρίβωση γεωδαιτικοί σταθμοί.

Η εξωτερική βάση αποτελείται από ειδικά φορητά μεταλλικά αποσπώμενα βάρη γεγονός που την κάνει να διαφέρει από τις υπόλοιπες μετρολογικές βάσεις του εξωτερικού ή και της Ελλάδας που χρησιμοποιούν βάρη, από οπλισμένο σκυρόδεμα. Μια επιπλέον εργασία είναι η δημιουργία λογισμικών που δίνουν την δυνατότητα σε κάθε χρήστη να επεξεργάζεται τις μετρήσεις εύκολα και γρήγορα.

Τέλος είναι γνωστό ότι οι μετρήσεις που συλλέγει ένας τοπογράφος μηχανικός στην βάση ελέγχου προκειμένου να ελέγξει τον προσωπικό του εξοπλισμό είναι πολλές και η επεξεργασία τους ιδιαίτερα πολύπλοκη και χρονοβόρα. Η χρήση όμως κατάλληλων προγραμμάτων όπως το *'matlab'* για την επεξεργασία των μετρήσεων διευκολύνει τον χρήστη να εξάγει εύκολα και γρήγορα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 1

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΓΙΑ ΜΗΚΗ

1.1 Γενικά

Η Μετρολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τις μετρήσεις, τα όργανα μέτρησης, την αξιοπιστία των οργάνων και των μετρήσεων, τις μονάδες μέτρησης και γενικότερα με ότι αφορά στον ακριβή και αποδεκτό προσδιορισμό των τιμών των μεγεθών που προσδιορίζουν τις ιδιότητες των σωμάτων ή των συστημάτων. Οι αρχές της βρίσκουν εφαρμογή σε όλες τις επιστήμες που χρησιμοποιούν τη μέτρηση αλλά και σε τομείς της καθημερινής ζωής, στις συναλλαγές, στη βιομηχανία, στην ασφάλεια, στην υγεία, στον έλεγχο ποιότητας κ.ά. Η μετρολογία μπορεί να χωριστεί σε τρεις γενικούς τομείς [Αθανασιάδης Κ.,2005]:

- Θεμελιώδης ή επιστημονική μετρολογία
- Εφαρμοσμένη ή βιομηχανική μετρολογία
- Νομική μετρολογία

Η *Επιστημονική μετρολογία*, ασχολείται με την οργάνωση και ανάπτυξη των προτύπων μέτρησης μαζί με την υποστήριξή τους σε ύψιστο επίπεδο.

Η *Θεωρητική μετρολογία* δεν έχει διεθνή ορισμό όμως σηματοδοτεί το ύψιστο επίπεδο για την αβεβαιότητα μέτρησης μέσα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο. Η θεωρητική μετρολογία μπορεί επίσης να περιγραφεί ως η επιστημονική μετρολογία εμπλουτισμένη με όλα εκείνα τα μέρη της Νομικής και Βιομηχανικής μετρολογίας που απαιτούν επιστημονική επάρκεια.

Η θεωρητική μετρολογία έχει ως αντικείμενό της τέσσερα κύρια τμήματα:

- τη σύσταση της μετρολογίας
- την ιχνηλασιμότητα των μετρήσεων
- τη θεωρία κατασκευής μετρητικών οργάνων
- τη θεωρία αβεβαιότητας μετρήσεων

Η *Βιομηχανική μετρολογία* εξασφαλίζει την επαρκή λειτουργία των μετρητικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία καθώς επίσης και στις διαδικασίες ελέγχου και παραγωγής.

Η **Νομική μετρολογία** έχει ως αντικείμενο τις μετρήσεις και την αβεβαιότητα των μετρήσεων όπως αυτές έχουν επίδραση στη διαφάνεια οικονομικών συναλλαγών, στην υγεία και την ασφάλεια. Στη νομική μετρολογία αναπτύσσονται οι μονάδες και οι μέθοδοι μέτρησης και μετρητικές συσκευές, που συσχετίζονται με υποχρεωτικές τεχνικές και νομικές απαιτήσεις. Ερευνάται επίσης το σύνολο των αλληλένδετων και αλληλοκαθοριζόμενων κοινών κανόνων, απαιτήσεων και νόμων, καθώς και θέματα που απαιτούν δημιουργία κανονισμών και ελέγχων από την πλευρά ενός κράτους έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ενότητα και η ομοιογένεια των μετρήσεων. [Αθανασιάδης Κ.,2005].

Όσο αφορά την μετρολογία στη γεωδαισία ισχύει το εξής:

Διεθνώς: Σχετικά με τα γεωδαιτικά όργανα, υπάρχει η ISO επιτροπή TC172/SC6, που είναι υπεύθυνη παραγωγής των νεότερων προτύπων ISO 17123.

Τα πρότυπα που επικρατούν για τα περισσότερα είδη γεωδαιτικών οργάνων πεδίου είναι τα αντίστοιχα τοπικά – εθνικά. Τα πρότυπα ISO 17123 (μέρος 1 έως 4) [www.iso.org] έχουν ως πηγή τα γερμανικά πρότυπα DIN 17823 (μέρος 1 έως 8), [Δούκας Ι, 2005], αποτελούν επί του παρόντος το βασικό σκελετό των γεωδαιτικών προτύπων και έχουν ως στόχο την πιστοποίηση της ποιότητας μέτρησης και εν γένει της καλής λειτουργίας των γεωδαιτικών οργάνων.

Η δημιουργία και η οριστικοποίηση των προτύπων είναι μία αρκετά μακροχρόνια διαδικασία. Το γεγονός αυτό πολλές φορές δημιουργεί διάφορα προβλήματα, αφού οι εξελίξεις στην επιστήμη και στην τεχνολογία είναι ραγδαίες και τα πρότυπα δεν μπορούν να τις ακολουθήσουν.

Ιδιαίτερα στον τομέα των γεωδαιτικών οργάνων η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη έχει φέρει επανάσταση τόσο στην κατασκευή όσο και στον τρόπο λειτουργίας τους.

Τα νέα πρότυπα ISO 9001:2000 λαμβάνουν υπόψη τους τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις νέες απαιτήσεις περί ποιότητας και τέλος την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των νεότερων μετρητικών συστημάτων.

Σήμερα πολλά από τα γεωδαιτικά όργανα ελέγχονται από τους κατασκευαστές τους και όποιες πιθανόν ατέλειες αποθηκεύονται στη μνήμη τους και διορθώνονται αυτόματα οι μετρήσεις που παράγουν χωρίς πολλές φορές ο εκάστοτε χρήστης να γνωρίζει γι' αυτές τις διορθώσεις.

Τα υπάρχοντα πρότυπα ISO 17123 εστιάζουν σε ελέγχους γεωδαιτικών οργάνων μόνον στο πεδίο και δεν άπτονται σε ενδοεργαστηριακούς ελέγχους με πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες.

Για το λόγο αυτό η Διεθνής Ομοσπονδία Τοπογράφων (FIG) δραστηριοποιήθηκε εντονότερα στο θέμα των προτύπων και της τυποποίησης, σε συνεργασία με τον ISO. Το αποτέλεσμα αυτής της συνεργασίας είναι η δημιουργία ομάδας εργασίας 5.1 (FIG Working Group

5.1). Οι τομείς στους οποίους δραστηριοποιείται η ομάδα εργασίας 5.1 είναι οι ακόλουθοι [Αθανασιάδης Κ.,2005]:

1. Πρότυπα σχετικά με προσδιορισμούς θέσης, όργανα και μεθόδους γεωδαιτικών μετρήσεων.
2. Έλεγχοι αποδοχής, εξασφάλιση ποιότητας, πιστοποίησης και η επίδρασή τους στο επάγγελμα του γεωδαίτη – τοπογράφου μηχανικού.
3. Έλεγχος και διακρίβωση των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιούνται.
4. Άσκηση επιρροής σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς για την ανάπτυξη των προτύπων.
5. Αποδοχή ελέγχων, διασφάλιση ποιότητας και πιστοποίησης και οι συνέπειές τους στο επάγγελμα του τοπογράφου μηχανικού.

Στην **Ελλάδα**, η μετρολογία επίσημα ξεκίνησε μόλις μετά την ενοποίηση της Ευρωπαϊκής Αγοράς το 1993.

Το **Εθνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας** (EIM) είναι η ανώτατη αρχή στον τομέα της μετρολογίας, στην Ελλάδα. Το EIM (ιδρυτικός νόμος Ν.2231/94 - Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου εποπτευόμενο από τη Γενική Γραμματεία Βιομηχανίας του Υπουργείου Ανάπτυξης) είναι σύμβουλος του ελληνικού κράτους σε όλα τα θέματα που αφορούν τη μετρολογία, τη διατήρηση των εθνικών προτύπων, την καθιέρωση διεργαστηριακών μετρήσεων (σε εθνικό και διεθνές επίπεδο), καθώς και τη συνεργασία με το Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης (Ε.Σ.Υ.Δ. Α Ε ιδιωτικού δικαίου, ιδρυτικός νόμος Ν. 3066/2002) σε ό,τι αφορά τις μεθόδους διακρίβωσης και τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων [www.eim.gr].

Για την τυποποίηση, υπάρχει ο ΕΛ.Ο.Τ. (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης), στον οποίο οι Ν 372/76, Ν. 1682/1997 και το Π.Δ. 155/97 αναθέτουν την ανάπτυξη δραστηριοτήτων πιστοποίησης. Με βάση το ΦΕΚ 708/Β 13-07-98, ο ΕΛ.Ο.Τ. εφαρμόζει διαδικασίες και συστήματα πιστοποίησης (π.χ. του Διεθνούς Οργανισμού ISO) [Σταμπουλόγλου Ε. κ.α, 2005].

Στην Ελλάδα υπάρχουν κανονισμοί και προδιαγραφές σχετικά με τη μεθοδολογία και την απαιτούμενη ακρίβεια εκτέλεσης των διαφόρων γεωδαιτικών, τοπογραφικών και κτηματολογικών εργασιών. Αλλά αυτές δεν συναρτώνται αυστηρά με θεσμικές απαιτήσεις ελέγχου και ρύθμισης των χρησιμοποιούμενων οργάνων. Εκτός από κάποιες προσπάθειες μικρής εμβέλειας και εφαρμογής (σε πανεπιστημιακούς χώρους ή σε κάποια εργαστήρια αντιπροσωπειών σχετικών οργάνων), δεν υπάρχουν συστηματικά εργαστήρια διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων.

Μία σοβαρή προσπάθεια για τη δημιουργία κέντρου μετρολογίας έχει γίνει στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Η δημιουργία, η διαπίστευση και η λειτουργία του

κέντρου μετρολογίας θα αποτελέσει ουσιαστικά τον μοναδικό επίσημο Δημόσιο φορέα διακρίβωσης των ψηφιακών και αναλογικών γεωδαιτικών οργάνων στην Ελλάδα.

Από το 2001, με την ΔΙΠΑΔ/οικ/611/24-7-01 απόφαση ΥΦ.ΠΕΧΩΔΕ (ΦΕΚ 1013 Β/2-8-01), η ελληνική νομοθεσία έβαλε τα πρώτα θεμέλια (για την εξασφάλιση της ποιότητας των τεχνικών έργων) σχετικά με "κοινά αποδεκτές διαδικασίες". Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία μιας θεσμοθετημένης μετρητικής και υπολογιστικής μεθόδου ελέγχου σύμφωνα με τα εθνικά ή διεθνή πρότυπα [Δούκας Ι, 2005].

Στην υπουργική απόφαση που αναφέρεται παραπάνω δίνονται οδηγίες υποχρεωτικής εφαρμογής για το περιεχόμενο, τον έλεγχο και την έγκριση Προγράμματος Ποιότητας Έργου.

Όσον αφορά στον μετρητικό εξοπλισμό, περιλαμβανομένου και του μη εργαστηριακού εξοπλισμού (π.χ. τοπογραφικά όργανα) πρέπει να:

1. Καταγράφεται το πρόγραμμα ποιότητας έργου
2. Τεκμηριώνεται ότι καλύπτει όλους τους ελέγχους και τις δοκιμές που προβλέπεται να γίνουν στο έργο (και που δεν θα εκτελεστούν από εξωτερικούς φορείς, π.χ. εργαστήρια)
3. Συντηρείται και να διακριβώνεται
4. Διακριβώνονται με βάση κοινά αποδεκτές διαδικασίες
5. Διακριβώνονται είτε από τον ανάδοχο είτε από εξωτερικούς φορείς, **ενώ η χρήση μη διακριβωμένων οργάνων δεν επιτρέπεται.** [ΦΕΚ 1013 Β/2-8-01]

Όσον αφορά στην μετρολογία στον τομέα της τοπογραφίας, *"Γεωδαιτική μετρολογία"* ονομάζεται ο κλάδος της γεωδαισίας ο οποίος έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο και την πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας των οργάνων μέτρησης, που χρησιμοποιούνται σε όλους τους κλάδους της Γεωδαισίας.

Η Μετρολογία, έχει μεγάλη εφαρμογή στην εργασία του Τοπογράφου Μηχανικού. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή μετρήσεων, είναι υποχρεωτικό να ελέγχονται ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και ως προς την ποιότητα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που γίνονται με αυτά. Οι έλεγχοι αυτοί γίνονται με βάση συγκεκριμένα πρότυπα που καθορίζονται από διεθνείς οργανισμούς.

Η Μετρολογία, με εφαρμογή στον τομέα της Τοπογραφίας, είναι η επιστήμη της ακρίβειας των μετρήσεων και έχει ως αντικείμενο το θεωρητικό υπόβαθρο και την εφαρμογή συγκεκριμένων διαδικασιών ελέγχου, ανάλογα με το ελεγχόμενο όργανο [Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., 2006].

Για τη σωστή λειτουργία και χρήση των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, είναι αναγκαία η σωστή γεωμετρία των αξόνων στο εσωτερικό τους. Όμως, η προϋπόθεση αυτή δεν πληροίτε εύκολα, αφού ακόμη και με

τη μεγαλύτερη δυνατή προσοχή κατά την κατασκευή του οργάνου, μικρές αποκλίσεις είναι δυνατό να προκύψουν. Ακόμη, η καθημερινή χρήση των οργάνων μπορεί να προκαλέσει μικρές κινήσεις των αξόνων μέσα σε αυτά. Λόγοι που οδηγούν σε αλλαγές στη γεωμετρία των οργάνων είναι οι μεταβολές θερμοκρασίας, οι δονήσεις αλλά και η καθημερινή χρήση [Αθανασιάδης Κ.,2005].

Επομένως, ο χρήστης είναι χρήσιμο να κάνει έλεγχο και διακρίβωση του γεωδαιτικού σταθμού του στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Πριν την πρώτη χρήση, αφού είναι πιθανό το όργανο να έχει υποστεί μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας κατά το ταξίδι.
- Μετά από μεγάλες περιόδους εργασίας.
- Μετά από μεγάλες περιόδους μη-χρήσης.
- Μετά από μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Μετά από σκληρό ή μεγάλης διάρκειας ταξίδι.
- Περιοδικά για εφαρμογές μεγάλης ακριβείας.

Ακόμα και οι πιο μικρές αποκλίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε μετρητικά λάθη, σημαντικότερα από την ακρίβεια του οργάνου.

Προκύπτει επομένως, ότι είναι σημαντική η συχνή και σωστή βαθμονόμηση/διακρίβωση των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Με τη διαδικασία της βαθμονόμησης τα σφάλματα του οργάνου ορίζονται στο μηδέν [Αθανασιάδης Κ.,2005].

1.2 Βασικές έννοιες και ορισμοί

Ορισμένες έννοιες που σχετίζονται με την επιστήμη της Μετρολογίας είναι οι: Βαθμονόμηση, Διακρίβωση, Διαπίστευση και οι ορισμοί τους δίνονται παρακάτω [Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., 2012].

- **Βαθμονόμηση (Graduation)**

Είναι η αναγραφή, στην κενή κλίμακα του οργάνου, των ενδείξεων με βάση ένα γνωστό και καθορισμένης ακριβείας μέγεθος της φυσικής ιδιότητας την οποία μετρά το όργανο.

- **Διακρίβωση (Calibration)**

Είναι η σύγκριση της μέτρησης ή του αποτελέσματος (output) ενός συστήματος ή οργάνου, με εκείνη ενός αντίστοιχου πολύ μεγαλύτερης ακριβείας, που καλείται σύστημα αναφοράς. Το σύστημα αναφοράς μπορεί να είναι εθνικό πρότυπο ή πρότυπο γνωστής ακριβείας η οποία έχει

μεταφερθεί σε αυτό από τα εθνικά πρότυπα. Με την παραπάνω σύγκριση βαθμονομείται το υπό έλεγχο όργανο και διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβεια του.

- **Πρότυπο (Standard)**

Η οδηγία ISO / IEC 2/1996 ορίζει ότι "πρότυπο είναι ένα κείμενο που έχει συνταχθεί και εγκαθιδρυθεί με ομοφωνία από ένα αναγνωρισμένο σώμα (οργανισμό) και που παρέχει για κοινή και επαναλαμβανόμενη χρήση κανόνες, οδηγίες ή χαρακτηριστικά για δραστηριότητες ή τα αποτελέσματά τους, στοχεύοντας στην επίτευξη σε βέλτιστο βαθμό της τυποποίησης στο πλαίσιο ενός δεδομένου περιεχομένου".

- **Εθνικό πρότυπο (National Standard)**

Είναι το εθνικά αναγνωρισμένο πρότυπο προκειμένου να χρησιμοποιείται σε μία χώρα ως βάση για τον καθορισμό τιμών σε άλλα πρότυπα του μεγέθους που αφορά. Το πρότυπο είναι μία συλλογική εργασία. Το Εθνικό πρότυπο προγραμματίζεται και μελετάται υπό την αιγίδα του Εθνικού Οργανισμού προτύπων ο οποίος και το δημοσιεύει. Έτσι προστατεύεται από την αρχική του μορφή με το δικαίωμα αναπαραγωγής (copyright) του Εθνικού Οργανισμού.

- **Διεθνή πρότυπα (International Standard)**

Τα διεθνή πρότυπα προστατεύονται με το δικαίωμα αναπαραγωγής (copyright) του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO, IEC). Η άδεια εκμετάλλευσης του δικαιώματος αναπαραγωγής μεταφέρεται αυτόματα στους εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης που είναι μέλη των ISO, IEC για την περίπτωση της σχεδίασης εθνικών προτύπων. Οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης είναι υπεύθυνοι για την προστασία των ISO, IEC στην αντίστοιχη χώρα.

- **Πρωτεύον πρότυπο**

Είναι το πρότυπο το οποίο έχει καθοριστεί ή αναγνωρίζεται ευρέως ότι έχει τις υψηλότερες μετρολογικές ιδιότητες και η τιμή του είναι αποδεκτή χωρίς να γίνεται αναφορά σε άλλα πρότυπα του ίδιου μεγέθους.

- **Δευτερεύον πρότυπο**

Είναι το πρότυπο του οποίου η τιμή καθορίζεται μέσω σύγκρισης με ένα πρωτεύον πρότυπο για το ίδιο μέγεθος.

- **Πιστοποίηση (Certification)**

Είναι η διαδικασία με την οποία ένα τρίτο πρόσωπο δίνει γραπτή εγγύηση ότι το προϊόν, η επεξεργασία ή η υπηρεσία συμμορφώνονται με

καθορισμένες απαιτήσεις [ISO / IEC οδηγία 2:1996]. Σε εθνικό επίπεδο είναι η πράξη του Εθνικού Ιδρύματος Μετρολογίας (ΕΙΜ) ή οποιουδήποτε άλλου διαπιστευμένου φορέα με την οποία πιστοποιείται η τεκμηρίωση της ακρίβειας σύμφωνα με προκαθορισμένες απαιτήσεις.

- **Τυποποίηση (Standardization)**

Αναγνωρίζεται σήμερα ως η διαδικασία με την οποία καθιερώνονται προδιαγραφές, δηλαδή κανονισμοί, οι οποίοι θέτουν τους απαραίτητους κανόνες για την παραγωγή, τη σύνθεση και τις ιδιότητες που πρέπει να έχει ένα προϊόν ή μία υπηρεσία.

- **Ακρίβεια μέτρησης (Precision)**

Δείχνει την προσοχή και την λεπτομέρεια με την οποία εκτελέστηκαν οι μετρήσεις, το πόσο καλά συμφωνούν κάποιες ανεξάρτητες μεταξύ τους μετρήσεις του ίδιου συγκεκριμένου μεγέθους. Είναι ουσιαστικά ο βαθμός αμοιβαίας συμφωνίας των μετρήσεων αυτών (εσωτερική ακρίβεια). Έχει άμεση σχέση με την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου οργάνου, την προσοχή – ικανότητα – εμπειρία του παρατηρητή. Η ακρίβεια μπορεί να εκτιμηθεί από μία σειρά μετρήσεων. Η υψηλή ακρίβεια μετρήσεων δεν εγγυάται το ότι η ορθότητα - ποιότητα θα είναι επίσης υψηλή, η δε ακρίβεια μέτρησης δεν πρέπει να συγχέεται με την ποιότητα μέτρησης.

- **Ορθότητα - Ποιότητα μέτρησης (Accuracy)**

Σε ανεξάρτητες μεταξύ τους, επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ενός μεγέθους (που γίνονται υπό τις ίδιες συνθήκες), είναι ο βαθμός "ταύτισης" μεταξύ της εκτιμημένης (ή μετρημένης) τιμής και της αντίστοιχης "αληθούς τιμής" (εξωτερική ακρίβεια). Η ορθότητα δεν μπορεί να εκτιμηθεί από μια σειρά μετρήσεων με το ίδιο σύστημα "όργανο – παρατηρητής – συνθήκες".

- **Διαπίστευση (Accreditation)**

Διαπίστευση είναι η διαδικασία με την οποία ένας αρμόδιος φορέας παρέχει επίσημη αναγνώριση ότι ένας φορέας ή πρόσωπο είναι ικανός να πραγματοποιεί ειδικά έργα.

- **Αξιοπιστία (Reliability)**

Η δυνατότητα ενός προσώπου, ενός οργανισμού ή ενός συστήματος να εκτελέσει τις απαραίτητες λειτουργίες του υπό τους δηλωμένους όρους για μια καθορισμένη χρονική περίοδο. Εκφράζει και το συνδυασμό ορθότητας και ακρίβειας μιας τιμής.

- **Αβεβαιότητα (Uncertainty)**

Πρόκειται για την ποσοτική μέτρηση της ποιότητας του αποτελέσματος μετρήσεων. Δίνεται με δύο τρόπους, π.χ. για μέτρηση μήκους, είτε ως $(1.256\text{m} \pm 0.001\text{m})$ είτε ως $[1.256\text{m} \pm 0.001\text{m}$, για επίπεδο εμπιστοσύνης π.χ. 95.0% (το επίπεδο εμπιστοσύνης 95.0% χρησιμοποιείται σε όλους τους στατιστικούς ελέγχους που διενεργούνται στους ελέγχους κατά ISO)]. Σε κάθε περίπτωση, μέτρηση χωρίς την αντίστοιχη της αβεβαιότητα, δεν έχει καμία αξία.

- **Ιχνηλασιμότητα (Traceability)**

Πρόκειται για μία διαδικασία μέσω της οποίας διασφαλίζεται η συνοχή και η συνέχεια της μετρολογικής πυραμίδας. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται κυρίως σε διαδοχικές συσχετίσεις των ενδείξεων μιας διάταξης μέτρησης με τις ενδείξεις μιας άλλης διάταξης αναφοράς, υψηλότερης μετρολογικής ποιότητας, αποκαθιστώντας με τον τρόπο αυτό μια μετρολογική ιεραρχία.

1.3 Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total Stations)

Η μέτρηση του μήκους μεταξύ σημείων, είναι μια εργασία που αποβλέπει στον καθορισμό της κλίμακας του γεωμετρικού σχήματος που αυτά ορίζουν.

Σήμερα για μετρήσεις μηκών που πραγματοποιούνται με την χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, όπου γίνεται μέτρηση του χρόνου της διαδρομής μιας ακτινοβολίας ή της φάσης του φέροντος κύματός της.

Ιστορικά τα γεωδαιτικά όργανα που χρησιμοποιούνταν για τις μετρήσεις μηκών μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]:

- Απλά όργανα μέτρησης μηκών.
- Οπτικομηχανικά όργανα μέτρησης μηκών.
- Ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών μεγάλου βεληνεκούς.
- Ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών μικρού βεληνεκούς.

Η βασική αρχή λειτουργίας των οργάνων διαφοροποιείται ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται η μέτρηση του μήκους. Διαφοροποιείται της και η επιτυγχανόμενη ακρίβεια, ο χρόνος διάρκειας της μέτρησης, ο απαιτούμενος εξοπλισμός αλλά και το κόστος του [Δ.-Δ. Μπαλοδήμος, κ.ά., 2005].

Κάποιες φορές, για τη άμεση μέτρηση μικρών μηκών, χρησιμοποιούνται μετροταινίες (εικόνα 1.1) οι οποίες μπορεί να είναι

κατασκευασμένες από χάλυβα, λινό ή Fiberglass, αλλά και ηλεκτρονικές μετροταινίες.

Οι ηλεκτρονικές μετροταινίες (εικόνα 1.2) έχουν τη δυνατότητα μέτρησης μέχρι 200m με αβεβαιότητα $\pm 1.5\text{mm}$ και εξαγωγή του αποτελέσματος της μέτρησης σε ψηφιακή οθόνη [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].



Εικόνα 1.1 Μετροταινία



Εικόνα 1.2 Ηλεκτρονική μετροταινία

Για την έμμεση μέτρηση μηκών χρησιμοποιήθηκαν από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι και την δεκαετία του 60 οπτικομηχανικά θεοδόλιχα σε συνδυασμό με σταδίες (μετρητικούς πήγεις), αλλά και αυτοαναγωγικά ταχύμετρα, με αναγνώσεις σε βαθμονομημένο μετρητικό πήχη.

Τα μήκη που μετρούνταν ήταν της τάξης των μερικών δεκάδων μέτρων. Προϋπόθεση για την μέτρηση του μήκους είναι να μπορεί ο παρατηρητής να διαβάσει απευθείας την ένδειξη στη σταδία, στη συγκεκριμένη απόσταση. Επίσης το βελινεκές των αυτοαναγωγικών ταχύμετρων, δεν ξεπερνούσε τις μερικές δεκάδες μέτρα.

Κατά τη δεκαετία του 1960, για μετρήσεις μηκών σε απρόσιτα σημεία, χρησιμοποιήθηκαν οι ερευνητές αποστάσεων και τα οπτικά τηλέμετρα (εικόνα 1.3). Η εφαρμογή τους όμως γινόταν σε περιορισμένο αριθμό και χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ακριβείας.

Μια επιπλέον μέθοδος έμμεσης μέτρησης μήκους είναι η μέθοδος της δίμετρης βάσης, η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της κλίμακας μικρών γεωδαιτικών δικτύων αλλά και για τη μέτρηση πλευρών οδύσεων. Η μέθοδος αυτή, εφαρμόζεται και σήμερα, κυρίως σε εφαρμογές βιομηχανικής γεωδαισίας, παρέχοντας αβεβαιότητες της τάξης του $\pm 10^{-5}\text{m}$ [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].



Εικόνα 1.3 Το οπτικό τηλέμετρο BRT 006 της Zeiss Jena

Αργότερα εμφανίστηκαν τα ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών μεγάλου βεληνεκούς. Η λειτουργία των οργάνων αυτών βασίζεται στη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ένα όργανο αυτής της κατηγορίας υπολογίζει το μετρούμενο μήκος με βάση το χρόνο που απαιτείται ώστε ένας μεμονωμένος παλμός να διατρέξει ένα μήκος.

Η πρώτη φορά που τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση μήκους, ήταν μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο με τη συσκευή Radar, η οποία αν και καλύπτει τις στρατιωτικές, ναυτικές και αεροπορικές ανάγκες, δεν φτάνει τις ακρίβειες που απαιτούνται στις τοπογραφικές εφαρμογές.

Δύο χαρακτηριστικά όργανα που βασίζονται στην αρχή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι το τελλουρόμετρο (1957) και το γεωδίμετρο AGA (1965).

Περίπου στα τέλη της δεκαετίας του 1960, κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα τα όργανα μέτρησης μήκους με την εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας, τα γνωστά EDM.

Τα όργανα EDM είχαν, αρχικά, τη δυνατότητα προσαρμογής σε θεοδόλιχα και το βεληνεκές τους έφτανε τα 3Km, με ακρίβεια της τάξης του $\pm 1\text{cm}$, ανάλογα με τους χρησιμοποιούμενους ανακλαστήρες. Τα όργανα αυτά βρήκαν μεγάλο πεδίο εφαρμογής λόγω του μικρού βάρους τους, της ευκολίας και ταχύτητας χρήσης τους, της μεγάλης ποικιλίας του εμπορίου αλλά και του προσιτού κόστους τους.

Τα πιο ενδεικτικά όργανα αυτής της κατηγορίας είναι τα: Distomat DI 10 (εικόνα 1.4), Distomat DI3S, Mekometer ME 3000, AGA 12 [Δ.-Δ. Μπαλοδήμος, κ.ά., 2005].

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, κάνουν την εμφάνισή τους τα πρώτα όργανα μέτρησης μήκους με τη δυνατότητα μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα (DIOR 3002S της εταιρείας Leica).



Εικόνα 1.4 Το Distomat DI 10

Το όργανο αυτό προσαρμόζοταν σε οπτικομηχανικό ή ψηφιακό θεοδολίχο και λειτουργούσε με βάση την εκπομπή ορατής κόκκινης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (laser). Η εμβέλειά του έφτανε τα 60m χωρίς ανακλαστήρα και τα 2Km με τη χρήση του, με ακρίβεια $\pm 3\text{mm} \pm 3\text{ppm}$.

Σήμερα, η πλειοψηφία των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών της αγοράς, έχει τη δυνατότητα μέτρησης μήκους και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα.

Η άμεση μέτρηση μηκών και γωνιών γίνεται ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (total stations). Τα όργανα αυτά, αποτελούν έναν συνδυασμό ψηφιακών θεοδολίχων και ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης μηκών (EDM) μαζί με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Το EDM είναι τοποθετημένο ομοαξονικά στο κέντρο του τηλεσκοπίου του ψηφιακού θεοδολίχου. Με τον τρόπο αυτό, οι μετρήσεις μηκών αναφέρονται στο κέντρο του σταθμού, που είναι και το σημείο τομής των αξόνων του. Στο ίδιο σημείο αναφέρονται και οι μετρήσεις οριζοντίων και κατακόρυφων γωνιών. Ως όργανα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευχρηστία. Οι αβεβαιότητες που παρέχουν κυμαίνονται από $\pm 1.5''$ έως $\pm 30''$ στη μέτρηση γωνιών και $\pm 0.5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ έως $\pm 5\text{mm} \pm 5\text{ppm}$ στη μέτρηση μηκών [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ. 2010].

Το βασικό χαρακτηριστικό των οργάνων αυτών είναι ότι οι δίσκοι τους είναι κατασκευασμένοι από γυαλί με ψηφιακά χαραγμένο πρότυπο γραμμικό κώδικα (barcode) και παρουσιάζουν άμεσα κάθε παρατήρηση στην ψηφιακή οθόνη που διαθέτουν. Οι μετρήσεις λαμβάνονται αυτόματα με το πάτημα ενός πλήκτρου και παράλληλα αποθηκεύονται στην ενσωματωμένη καταγραφική μονάδα του οργάνου.

Όλες οι διευκολύνσεις που δίνουν οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, οδηγούν στην αποφυγή των χονδροειδών σφαλμάτων ανάγνωσης και καταγραφής [Ε. Λάμπρου, Γ. Πανταζής, 2010].

Τα βασικά κριτήρια επιλογής του κατάλληλου ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού ανάλογα με τις απαιτήσεις της εργασίας στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί είναι:

- Η αβεβαιότητα μέτρησης των μηκών ($\pm a \text{ mm} \pm b \text{ ppm}$) και μέτρησης των διευθύνσεων ($\pm a^{cc}$).
- Το βεληνεκές στη μέτρηση του μήκους.
- Η ποιότητα, το είδος (γυαλί, πλαστικό, φωσφορίζουσα ταινία) και ο αριθμός των ανακλαστήρων που απαιτούνται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση του μήκους.
- Η διάρκεια της μοναδιαίας μέτρησης ενός μήκους.
- Το βάρος και ο όγκος του.
- Η δυνατότητα προσαρμογής άλλων παρελκομένων.
- Ο τρόπος αποθήκευσης και διαχείρισης των μετρήσεων (απευθείας σύνδεση με H/Y, εσωτερική μνήμη, χρήση κάρτας, χρήση USB, ασύρματη σύνδεση, ευχρηστία λογισμικού επεξεργασίας των μετρήσεων, κ.α).
- Το κόστος του.

Σήμερα υπάρχουν μερικές δεκάδες εταιρείες παγκοσμίως που κάθε μία κατασκευάζει μερικές δεκάδες τύπους γεωδαιτικών σταθμών με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Στον πίνακα 1.1 και στην εικόνα 1.5 παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένοι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί και τα βασικά χαρακτηριστικά τους [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ. 2010].

Τύπος γεωδαιτικού σταθμού	Κατασκευάστρια εταιρεία	Σφάλμα μέτρησης διευθύνσεων (cc)	Σφάλμα μέτρησης μηκών (RL)	Βεληνεκές (RL)	Χρόνος μέτρησης μήκους (sec)	Βάρος (Kg)
TDM 5000	Leica (Ελβετία)	1.5	$\pm 1 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$	500	2	7.5
TPS 1201	Leica (Ελβετία)	3	$\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$	500	3	4.7
TCR 303	Leica (Ελβετία)	9	$\pm 3 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$	170	3-6	5.6
MS05A	Torcon (Ιαπωνία)	1.5	$\pm 0.8 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$	100	2.4	7.1
GPT 9001 A	Torcon (Ιαπωνία)	3	$\pm 5 \text{ mm} \pm 5 \text{ ppm}$	2000	3	9.7
GPT8001	Torcon (Ιαπωνία)	3	$\pm 5 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$	120	1.2	7.7
GPT 3002 LN	Torcon (Ιαπωνία)	6	$\pm 5 \text{ mm}$	1200	3	5.3
5601 DR200	Trimble (ΗΠΑ)	3	$\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$	800	5-10	6.3
TM30	Leica (Ελβετία)	1.5	$\pm 0.6 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$	3500	7	7.25

Πίνακας 1.1 Ενδεικτικοί τύποι ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών



Leica Nova TS50



Trimble S5



Topcon GPT-7500



Topcon Gowin TKS-202

Εικόνα 1.5 Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί

1.4 Μέθοδοι μέτρησης μηκών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αρχή λειτουργίας των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης μήκους βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται ώστε ένα σήμα να διανύσει μια συγκεκριμένη απόσταση από το σημείο Α όπου βρίσκεται το όργανο (πομπός) μέχρι το σημείο Β που βρίσκεται ο δέκτης και να επιστρέψει στο σημείο Α. Το μέγεθος που μετράται σε αυτήν την περίπτωση είναι ο χρόνος μετάβασης και επιστροφής του σήματος. Το σφάλμα μέτρησης του χρόνου καθορίζει το σφάλμα μέτρησης του μήκους. Επιπλέον είναι απαραίτητο να είναι γνωστά η συχνότητα και το μήκος κύματος τις ακτινοβολίας [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

Προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη ακρίβεια του μετρούμενου μήκους, τόσο αυξάνεται η ακρίβεια με την οποία πρέπει να μετράται ο χρόνος.

Για τη μέτρηση του μήκους χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μέθοδοι:

- **Η μέθοδος μέτρησης της διαφοράς φάσης.**

Στη μέθοδο αυτή, το διαμορφωμένο φως εκπέμπεται από το όργανο, στο σημείο Α. Η ένταση του διαμορφωμένου σήματος δίνεται από τη σχέση 1.1 [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

$$I = I_0 \cdot \sin(\omega_m \cdot t + \varphi_0) \quad (1.1)$$

Όπου ω_m η γωνιακή συχνότητα διαμόρφωσης του φωτός η οποία υπολογίζεται από την σχέση:

$$\omega_m = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f_m \quad (1.2)$$

f_m η συχνότητα διαμόρφωσης του φωτός

T η περίοδος της διαμόρφωσης.

Το σήμα μεταβαίνει στο σημείο Β όπου βρίσκεται ανακλαστήρας και επιστρέφει πάλι στο σημείο Α, διανύοντας μήκος $2D$, όπου D το μετρούμενο μήκος.

Η ένταση του φωτός όταν επιστρέφει στον πομπό είναι [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]:

$$I' = I'_0 \cdot \sin(\omega_m \cdot t + \varphi_0 + \Delta\varphi) \quad (1.3)$$

Όπου $\Delta\varphi$ η διαφορά φάσης μεταξύ εκπομπής και λήψης.

Ισχύει $I'_o \neq I_o$, αφού η ακτινοβολία υφίσταται αλλοιώσεις κατά την ανάκλαση και τη διαδρομή τις μέσα στην ατμόσφαιρα.

Η ποσότητα $\Delta\varphi$ είναι το μοναδικό μέγεθος που μπορεί να μετρηθεί άμεσα ή έμμεσα στην περίπτωση αυτή [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

Στην έμμεση περίπτωση ουσιαστικά μετράται ο χρόνος Δt οπότε,

$$\Delta\varphi = \omega_m \cdot \Delta t \quad (1.4)$$

και καθώς είναι

$$\Delta t = \kappa \times T + \Delta T, \text{ όπου } \kappa \text{ ακέραιος αριθμός} \quad (1.5)$$

$$\Delta\varphi = \kappa \cdot 2\pi + \frac{2\pi}{T} \Delta T \quad (1.6)$$

Η οποία αν πολλαπλασιασθεί με $\frac{\lambda_m}{2\pi}$, προκύπτει

$$2D = \kappa \cdot \lambda_m + \lambda_m \cdot \frac{\Delta T}{T} \Rightarrow D = \kappa \cdot \frac{\lambda_m}{2} + \frac{\Delta\lambda_m}{2} \quad (1.7)$$

- **Η μέθοδος των παλμών**

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, μια συγκεντρωμένη φωτεινή ενέργεια, ορισμένης χρονικής διάρκειας εκπέμπεται σε τακτά χρονικά διαστήματα από τον πομπό, ανακλάται στον ανακλαστήρα και επιστρέφει στο δέκτη [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

Στην περίπτωση αυτή μετράται ο χρόνος Δt μετάβασης και επιστροφής τις παλμού και από την παρακάτω σχέση προκύπτει με έμμεσο τρόπο το μήκος D :

$$D = c \cdot \frac{\Delta t}{2} \quad (1.8)$$

Όπου c η ταχύτητα του φωτός στην ατμόσφαιρα.

Για κάθε μέτρηση μήκους εκπέμπεται μεγάλος αριθμός παλμών και ως τελικό αποτέλεσμα λαμβάνεται ο μέσος όρος των υπολογισμένων τιμών του μήκους από τις μετρήσεις αυτές.

1.5 Σφάλματα μετρούμενων μηκών

Τα μήκη που μετρώνται με ηλεκτρομαγνητικά όργανα (EDM), απαιτείται να υποστούν ορισμένες διορθώσεις, προκειμένου να προκύψει η τελική τιμή τους. Οι διορθώσεις αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- i. Σε αυτές που οφείλονται σε σφάλματα του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού και του ανακλαστήρα.
- ii. Σε αυτές που οφείλονται σε επιδράσεις της ατμόσφαιρας.

1.5.1 Σφάλματα του συστήματος ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός – ανακλαστήρας

Το μήκος που μετράται με το σύστημα ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός – ανακλαστήρας διορθώνεται λόγω σταθεράς του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού, λόγω σταθεράς του ανακλαστήρα, λόγω κυκλικού σφάλματος και λόγω αλλαγής της συχνότητας διαμόρφωσης.

- **Η σταθερά ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού**

Κάθε μήκος το οποίο μετράται με τη χρήση ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού αναφέρεται στο κέντρο του οργάνου, δηλαδή στο σημείο τομής των αξόνων του.

Όμως, η συσκευή εκπομπής ακτινοβολίας τοποθετείται σε κάποια άλλη θέση στο εσωτερικό του τηλεσκοπίου του οργάνου. Έτσι, το σημείο εκπομπής-λήψης της ακτινοβολίας δεν ταυτίζεται με το κέντρο του γεωδαιτικού σταθμού. Το σημείο εκπομπής-λήψης βρίσκεται συνήθως πάνω στο σκοπευτικό άξονα ΣΣ', λίγο πιο πίσω ή πιο μπροστά από το κέντρο του γεωδαιτικού σταθμού. Η θέση του σημείου αυτού εξαρτάται από το είδος της μέτρησης που εκτελείται (με ή χωρίς ανακλαστήρα) [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη συσκευή ακολουθεί μια διαδρομή μέσα στο τηλεσκόπιο του οργάνου, διερχόμενη από μια σειρά φακών, πρισμάτων και διαφραγμάτων, αλλάζοντας διεύθυνση κίνησης μέχρι τη στιγμή εξόδου από το κατάλληλο σημείο.

Η ακτινοβολία μετά την ανάκλασή της, ακολουθεί την αντίθετη διαδρομή κατά την επιστροφή της και την είσοδό της μέσα στο τηλεσκόπιο, με τελικό σκοπό την μέτρηση του μήκους. Το μήκος της διαδρομής που ακολουθεί κάθε φορά η ακτινοβολία μέσα στο όργανο, ονομάζεται σταθερά του γεωδαιτικού σταθμού.

Η τιμή της σταθεράς αυτής υπολογίζεται κάθε φορά από την κατασκευάστρια εταιρεία και αποθηκεύεται στη μνήμη κάθε γεωδαιτικού σταθμού, προκειμένου να διορθώνονται με αυτή τα μετρούμενα μήκη και τελικώς, να ανάγεται κάθε μήκος στο κέντρο του γεωδαιτικού σταθμού.

Οι τιμές της σταθεράς του οργάνου, εξαρτώνται από τον τύπο του, την κατασκευάστρια εταιρεία, τις δυνατότητές του και το είδος της μέτρησης που πραγματοποιείται. Μπορεί να είναι της τάξης μερικών mm έως λίγα cm και διαφέρει για κάθε γεωδαιτικό σταθμό, ακόμα και του ίδιου τύπου, σειράς και ακρίβειας [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

- **Η σταθερά του ανακλαστήρα**

Κάθε μήκος το οποίο μετράται με τη χρήση ανακλαστήρα ορίζεται από το κέντρο του γεωδαιτικού σταθμού έως το κέντρο του ανακλαστήρα. Κάθε μήκος περιέχει ένα σφάλμα λόγω της καθυστέρησης της ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της μέσα στα πρίσματα του ανακλαστήρα. Με άλλα λόγια, κάθε μήκος μετράται μεγαλύτερο, επειδή η ακτινοβολία δεν σταματά στο κέντρο του ανακλαστήρα, αλλά καθυστερεί στη διαδρομή της μέσα στο σώμα του. Έτσι, ο χρόνος εκπομπής-λήψης του σήματος μετράται μεγαλύτερος [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

Το σφάλμα αυτό είναι συστηματικό, πάντα αφαιρετικό και διαφορετικό για κάθε τύπο ανακλαστήρα και ονομάζεται σταθερά ανακλαστήρα.

Η τιμή της σταθεράς του ανακλαστήρα είναι συνήθως -35mm ή -30mm ή -17mm, δίνεται από τον κατασκευαστή του ανακλαστήρα ή αναγράφεται στο εξωτερικό περίβλημα του.

Η διόρθωση που πρέπει να γίνεται κάθε φορά στην τιμή του μήκους λόγω σταθεράς ανακλαστήρα ενσωματώνεται κάθε φορά από το χρήστη στο πρόγραμμα εκτέλεσης των μετρήσεων μηκών. Έτσι τα μήκη διορθώνονται αυτόματα από τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό [Ε. Λάμπρου, Γ. Πανταζής, 2010].

- **Το κυκλικό σφάλμα**

Κατά τη διαδικασία μέτρησης μηκών με τη χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, μπορεί τις περισσότερες φορές να εμφανιστεί ένα άλλο συστηματικό σφάλμα περιοδικής μορφής που ονομάζεται κυκλικό σφάλμα. Η ύπαρξή του οφείλεται στη συμβολή του κύριου σήματος με δευτερεύοντα σήματα μικρότερης έντασης που υπάρχουν στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα του EDM, του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Εφόσον πρόκειται για περιοδικό σφάλμα μπορεί η αντίστοιχη διόρθωση να εκφρασθεί, στην πιο απλή περίπτωση με τη μορφή [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]:

$$y = A + B \cdot \sin\left(\frac{4\pi}{\lambda_m} D_o - \varphi_o\right) \quad (1.9)$$

Όπου A είναι σταθερός προσδιορισθείς όρος.

B προσδιορισθείς συντελεστής.

φ_o προσδιορισθείσα φάση.

D_o το μήκος που μετρήθηκε.

λ_m το μήκος κύματος της διαμορφωμένης ακτινοβολίας με την οποία το όργανο μετρά το μήκος.

- **Η αλλαγή της συχνότητας διαμόρφωσης**

Ο κρύσταλλος χαλαζία που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της ακτινοβολίας για διάφορους λόγους όπως λόγω γήρανσης, απορρύθμισης ή επίδρασης της θερμοκρασίας, λειτουργεί με μία συχνότητα $f'_m \neq f_m$.

Υπάρχει δηλαδή μια διαφορά Δf που ως διόρθωση είναι:

$$\Delta f = f_m - f'_m \quad (1.10)$$

Έτσι δημιουργείται ένα νέο μήκος κύματος της ακτινοβολίας λ'_m με το οποίο συγκρίνεται το μετρούμενο μήκος αντί του ορθού λ_m και προφανώς υπάρχει ένα λάθος στο μήκος και απαιτείται μια διόρθωση δD .

$$\Delta \lambda_m = \lambda_m - \lambda'_m \quad (1.11)$$

$$\delta D = -\frac{\Delta f}{f_m} L_o \quad (1.12)$$

Η ποσότητα Δf μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας τη συχνότητα f_m με ειδικές συσκευές κατά τον εργαστηριακό έλεγχο του σταθμού και η διόρθωση δD ενσωματώνεται στον Η/Υ του σταθμού ώστε να διορθώνονται τα μήκη [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

1.5.2 Σφάλματα λόγω της επίδρασης της ατμόσφαιρας

Το μήκος που μετράται με το σύστημα ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός – ανακλαστήρας διορθώνεται λόγω μείωσης της ισχύος της ακτινοβολίας καθώς επίσης και από την επίδραση της ατμόσφαιρας στην ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

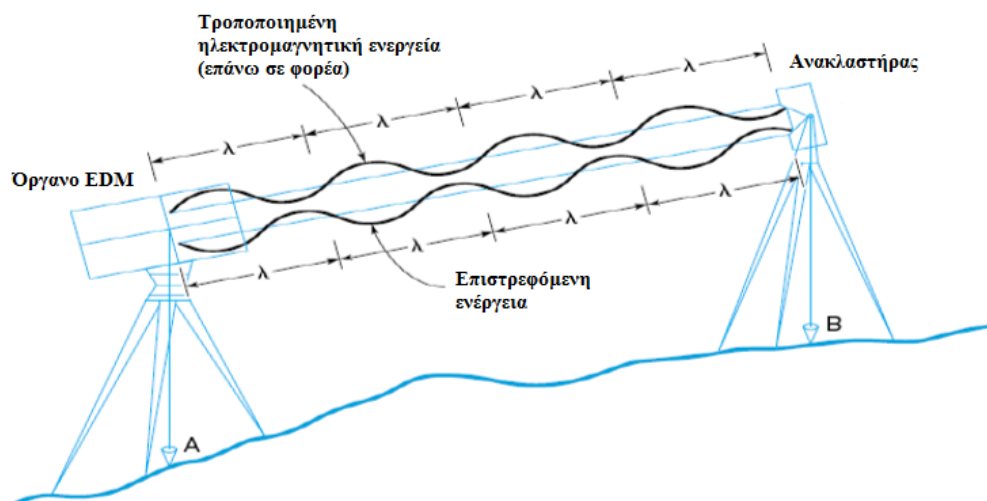
- **Η μείωση της ισχύος της ακτινοβολίας**

Η μείωση της ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας οφείλεται σε διάφορες αιτίες. Αυτές είναι η απορρόφηση λόγω της ατμόσφαιρας που είναι η σημαντικότερη, η απώλεια κατά την ανάκλαση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και οι μικρές επιφάνειες του δέκτη και του ανακλαστήρα.

Γενικά η μείωση της ισχύος επιφέρει μεγάλη αβεβαιότητα στις μετρήσεις ή συστηματικές μεταβολές στην τιμή του κυκλικού σφάλματος. Στην πράξη χρησιμοποιείται μεγαλύτερος αριθμός ανακλαστήρων, όσο το μήκος αυξάνεται ή όσο οι συνθήκες ορατότητας στην ατμόσφαιρα επιβαρύνονται όπως π.χ. σε περιοχές με ατμοσφαιρική ρύπανση ή έντονη ατμοσφαιρική υγρασία [Γεωργοπουλος Γ. κ.α, 2011].

- **Πρώτη διόρθωση ταχύτητας C₁**

Είναι γνωστό πώς οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επιδρούν στην ταχύτητα διάδοσης του σήματος από την στιγμή που ξεκινά από το όργανο, χτυπά τον ανακλαστήρα και επιστρέφει πίσω [Afeni Thomas Busuyi, 2011]. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αρχή της διάδοσης του σήματος από τον γεωδαιτικό σταθμό για την μέτρηση του μήκους.



Σχήμα 1.1 Αρχή διάδοσης σήματος ηλεκτρομαγνητικού οργάνου (Afeni Thomas Busuyi, 2011)

Επομένως το μετρούμενο μήκος, μετά τις διορθώσεις λόγω των σφάλματων του συστήματος ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός - ανακλαστήρας, απαιτείται να διορθωθεί εξαιτίας των ατμοσφαιρικών συνθηκών που επικρατούν κατά τον χρόνο των μετρήσεων. Σε αντίθετη

περίπτωση παρουσιάζεται συστηματικό σφάλμα [Γεωργοπουλος Γ. κ.α, 2011].

Βασική παράμετρος της διόρθωσης είναι ο δείκτης διάθλασης n κατά την διαδρομή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Με βάση το δείκτη n , που είναι ο μέσος όρος των δεικτών διάθλασης n_A και n_B στα σημεία A (σχήμα 1.1) και B (σχήμα 1.1), προσδιορίζεται η διαθλασιμότητα N από τη σχέση:

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 \quad (1.13)$$

Η διαθλασιμότητα N είναι η διόρθωση του μετρούμενου μήκους σε rpm. Στην περίπτωση που το ηλεκτρονικό όργανο χρησιμοποιεί ορατή ή υπέρυθη ακτινοβολία, η διαθλασιμότητα N_g για τις κανονικές συνθήκες ατμόσφαιρας (θερμοκρασία $t = 0^\circ\text{C}$, πίεση ξηρού αέρα $P = 1013.25 \text{ mbar}$ και περιεκτικότητα $0.03\% \text{ CO}_2$) υπολογίζεται από την επόμενη σχέση 1.14 των Barrel και Sears:

$$N_g = 287.604 + \frac{3 \cdot 1.6288}{\lambda^2} + \frac{5 \cdot 0.0136}{\lambda^4} \quad (1.14)$$

όπου: λ το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε μm .

Επομένως κατά τη μέτρηση του μήκους D_{AB} , και με βάση την διαθλασιμότητα N_g στις κανονικές συνθήκες ατμόσφαιρας, υπολογίζεται η διαθλασιμότητα N'_g κατά μήκος του D_{AB} . Πιο συγκεκριμένα η διαθλασιμότητα N'_g , η οποία προκύπτει ως συνάρτηση της N_g και των μέσων όρων των τιμών των μετεωρολογικών στοιχείων των άκρων A και B , προκύπτει ως εξής [Γεωργοπουλος Γ. κ.α, 2011]:

$$N'_g = \frac{N_g \cdot Q \cdot P}{T} - \frac{V \cdot e}{T} \quad (1.15)$$

όπου: $T = 273.15 + t$ σε $^\circ\text{K}$, t η θερμοκρασία ξηρού αέρα σε $^\circ\text{C}$

P η ατμοσφαιρική πίεση και e η πίεση των υδρατμών

Για P και e σε mbar , $Q = 0.2696$ και $V = 11.27$

Για P και e σε mmHg , $Q = 0.3594$ και $V = 15.02$

Η πίεση των υδρατμών e υπολογίζεται από την σχέση:

$$e = e_s - 0.000662 \cdot P \cdot (t - t_w) \quad (1.16)$$

όπου: t_w η θερμοκρασία υγρού αέρα σε °C και e_s η πίεση των κορεσμένων υδρατμών σε mbars που δίνεται από την σχέση:

$$\log e_s = \frac{7.5 \cdot t_w}{t_w + 273.3} + 0.7857 \quad (1.17)$$

Σύμφωνα με τη σχέση 1.16 είναι σημαντικό να αναφερθεί πώς χρειάζεται να είναι γνωστή η θερμοκρασία του υγρού αέρα t_w για τον υπολογισμό της πίεσης των υδρατμών e . Όμως, εάν είναι γνωστή η σχετική υγρασία h , τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την πίεση των υδρατμών ως εξής [Afeni Thomas Busuyi, 2011]:

$$e = \frac{e_s h}{100} \quad (1.18)$$

όπου h η υγρασία (%) και

$$e_s = 10^{\left(\frac{7.5 \cdot t}{t + 273.3} + 0.7857\right)} \quad (1.19)$$

Επιπλέον από την σχέση 1.15 γίνεται αντιληπτό πώς η διαθλασιμότητα N'_g εξαρτάται από το μήκος κύματος του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού. Επομένως η διαθλασιμότητα N'_g διαφέρει από όργανο σε όργανο καθώς επίσης και από την χρήση υπέρυθρου EDM (IR) ή ορατού κόκκινου Laser (RL), εφόσον το μήκος κύματος μπορεί να αλλάζει.

Στα σύγχρονα ηλεκτρονικά όργανα δίνονται σχετικά νομογραφήματα από τον κατασκευαστή με βάση τα οποία, με στοιχεία εισόδου τη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση κατά τον χρόνο των μετρήσεων, υπολογίζεται η πρώτη διόρθωση ταχύτητας C_1 σε ppm.

Επομένως εάν N''_g και N'_g οι διαθλασιμότητες κατά την βαθμονόμηση του οργάνου και κατά την μέτρηση του μήκους D_{AB} (km) αντίστοιχα, τότε η πρώτη διόρθωση της ταχύτητας C_1 δίνεται από τις σχέσεις [Γεωργοπουλος Γ. κ.α, 2011]:

$$C_1 = (N''_g - N'_g) \text{ σε ppm} \quad (1.20)$$

$$C_1 = \left(N''_g - N'_g \right) \times D_{AB} \text{ σε mm} \quad (1.21)$$

Για θερμοκρασία 25°C, πίεση 1018mbar και σχετική υγρασία 50%, η διόρθωση ενός μήκους 600m είναι 3mm.

Η διαθλασιμότητα N_g'' κατά τη βαθμονόμηση του οργάνου υπολογίζεται σύμφωνα με την φόρμουλα των Barrel και Sears (σχέση 1.15) στις ατμοσφαιρικές συνθήκες $P=1013.25 \text{ mbar}$, θερμοκρασία $t=12^\circ\text{C}$ και σχετική υγρασία $h=60\%$ [TPS300 Basic Series, User Manual]. Επομένως όταν ο γεωδαιτικός σταθμός μετρά σε αυτές τις συνθήκες η πρώτη διόρθωση της ταχύτητας είναι μηδενική, εφόσον η διαθλασιμότητα N_g'' κατά τη βαθμονόμηση του οργάνου ταυτίζεται με την διαθλασιμότητα N_g' του οργάνου κατά την μέτρηση του μήκους D_{AB} (km). Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα όργανα όπως παρατηρείται από τα αντίστοιχα User Manual.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για την μελέτη της επίδρασης των ατμοσφαιρικών δεδομένων στη μέτρηση του μήκους, είναι οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το γεωδαιτικό σταθμό Leica TPS 1200 [Afeni Thomas Busuyi, 2011].

Πιο συγκεκριμένα το παραπάνω όργανο έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Τύπος	Δείκτης n	Δείκτης διαθλασιμότητας κατά την βαθμονόμηση του οργάνου N_g''	Μήκος κύματος (nm)
Υπέρυθρο EDM	1.00028305	283.05	780
Ορατό κόκκινο	1.00028593	285.93	670

Πίνακας 1.2 Μήκος κύματος Leica TPS 1200

Ο δείκτης διάθλασης n του πίνακα 1.2 κατά την βαθμονόμηση του οργάνου, υπολογίστηκε υπό τις ακόλουθες ατμοσφαιρικές συνθήκες: πίεση (P) = 1013.25 mb, θερμοκρασία αέρα (t) = 12°C και σχετική υγρασία (h) = 60%.

Επομένως σύμφωνα με την σχέση 1.20 προσδιορίζεται η πρώτη διόρθωση της ταχύτητας ως εξής [Afeni Thomas Busuyi, 2011]:

- Για το υπέρυθρο EDM:

$$C_1 = 283.05 - \left[\frac{0.29196P}{(1+at)} - \frac{4.126 \cdot 10^{-4}h}{(1+at)} 10^x \right] \quad (1.22)$$

- Για το ορατό κόκκινο Laser:

$$C_1 = 285.93 - \left[\frac{0.29493P}{(1+at)} - \frac{4.126 \cdot 10^{-4}h}{(1+at)} 10^x \right] \quad (1.23)$$

όπου:

ΔD_1 = ατμοσφαιρική διόρθωση, σε ppm

P = πίεση του αέρα, σε mb

t = θερμοκρασία του αέρα, σε °C

h = σχετική υγρασία, σε %

$$\alpha = \frac{1}{273.15}$$

$$x = \left[\left(\frac{7.5t}{237.3 + t} \right) + 0.7858 \right]$$

Ύστερα λοιπόν από ανάλυση των σχέσεων η τελική τους μορφή είναι η εξής [Afeni Thomas Busuyi, 2011]:

- **Για το υπέρυθρο EDM:**

$$C_1 = \left[283.05 - \frac{79.7489P}{(273.15+t)} + \frac{11.27e}{(273.15+t)} \right] 10^{-6} \quad (1.24)$$

- **Για το ορατό κόκκινο Leaser:**

$$C_2 = \left[285.93 - \frac{80.5601P}{(273.15+t)} + \frac{11.27e}{(273.15+t)} \right] 10^{-6} \quad (1.25)$$

Όπου: t = θερμοκρασία του αέρα, σε °C

Οι επιδράσεις των σφαλμάτων στις μεταβλητές t , P και e (δηλαδή θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση και πίεση των υδρατμών) στην τελική αβεβαιότητα της τιμής του δείκτη διαθλασιμότητας N'_g μπορούν να υπολογιστούν, π.χ για θερμοκρασία $t=12^\circ\text{C}$, ατμοσφαιρική πίεση $P=1013.25$ mb, πίεση υδρατμών $e=8.4$ mb και μήκος κύματος $\lambda=670$ nm ως εξής:

$$\frac{\partial N'_g}{\partial T} = - \left(\frac{273.15 N_g P}{1013.25 T^2} \right) + \frac{11.27e}{T^2} \quad (1.26)$$

$$\frac{\partial N'_g}{\partial P} = - \frac{273.15 N_g}{1013.25 T} \quad (1.27)$$

$$\frac{\partial N'_g}{\partial e} = -11.27 \frac{1}{T} \quad (1.28)$$

$$\sigma_{N'_g} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial N'_g}{\partial T} \cdot \sigma_T\right)^2 + \left(\frac{\partial N'_g}{\partial P} \cdot \sigma_P\right)^2 + \left(\frac{\partial N'_g}{\partial e} \cdot \sigma_e\right)^2} \quad (1.29)$$

Ορατό και Υπέρυθρο φως		
$\frac{\partial N'_g}{\partial T}$	$\frac{\partial N'_g}{\partial P}$	$\frac{\partial N'_g}{\partial e}$
1 ppm/°K ή 1 unit/°C	0.28 ppm/mb	0.04 ppm/mb

Πίνακας 1.3 Ευαισθησία του δείκτη διάθλασης από τις ατμοσφαιρικές παραμέτρους

Επομένως από τον πίνακα 1.3 γίνεται κατανοητό το εξής:

1. Ένα σφάλμα ή μια μεταβολή της θερμοκρασίας κατά 1°C επηρεάζει τον δείκτη διάθλασης έτσι ώστε η διορθωμένη απόσταση να έχει σφάλμα της τάξης του 1 ppm. Επομένως για ένα μήκος 600m το σφάλμα είναι στα 0.6mm.
2. Ένα σφάλμα ή μια μεταβολή της πίεσης κατά 1 mb επηρεάζει τον δείκτη διάθλασης έτσι ώστε η διορθωμένη απόσταση να έχει σφάλμα της τάξης των 0.28 ppm. Επομένως για ένα μήκος 600m το σφάλμα είναι στα 0.2mm.
3. Ένα σφάλμα ή μια μεταβολή στην πίεση των υδρατμών κατά 1 mb επηρεάζει τον δείκτη διάθλασης έτσι ώστε η διορθωμένη απόσταση να έχει σφάλμα της τάξης των 0.04 ppm. Επομένως για ένα μήκος 600m το σφάλμα είναι στα 0.02mm.

[Afeni Thomas Busuyi, 2011]

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορεί να γίνει αντιληπτό πως η θερμοκρασία T ασκεί την μεγαλύτερη επιρροή στην κίνηση των κυμάτων του φωτός, ενώ στην συνέχεια ακολουθεί με λιγότερη επιρροή η ατμοσφαιρική πίεση P .

Αντίθετα παρατηρούμε ότι η πίεση των υδρατμών e έχει την μικρότερη επιρροή στην πορεία του κύματος.

Ως εκ τούτου, η πίεση των υδρατμών e δεν χρειάζεται να είναι γνωστή με ακρίβεια ειδικά όταν οι μετρήσεις των αποστάσεων γίνονται σε μικρή εμβέλεια. Από την άλλη όμως όταν πραγματοποιούνται μετρήσεις αποστάσεων μεγάλου βεληνεκούς, κάθε ατμοσφαιρική παράμετρος παίζει σημαντικό ρόλο [Rueger, J.M., 1996].

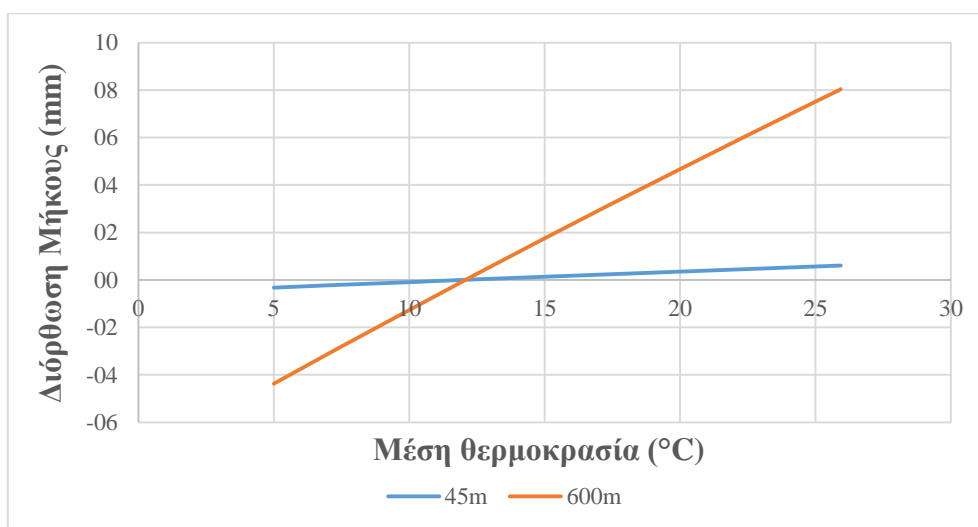
Στην σχέση (1.15) που αποτελεί την καταλληλότερη σχέση για τον υπολογισμό του δείκτη διαθλασιμότητας, ως θερμοκρασία (t) χρησιμοποιείται ο μέσος όρος της θερμοκρασίας μεταξύ του οργάνου και του ανακλαστήρα όπως ακριβώς συμβαίνει και για την πίεση (P) και την υγρασία (h).

Τέλος στο πλαίσιο αυτής της εργασίας έγινε έλεγχος της επίδρασης της θερμοκρασίας σε δύο από τα μετρούμενα μήκη της βάσης ελέγχου στο Σχοινιά. Επιλέχθηκε ένα από τα ελάχιστα μήκη καθώς επίσης και το μέγιστο μήκος της βάσης ελέγχου, διότι είναι γνωστό πως η επίδραση της ατμόσφαιρας στο μήκος και συνεπώς η διόρθωση, είναι μεγαλύτερη όσο το μήκος αυξάνεται. Το ελάχιστο μήκος που επιλέχθηκε είναι τα 45 m, ενώ το μέγιστο μήκος που επιλέχθηκε είναι τα 600 m.

Η σχέση η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή των Barrel και Sears (σχέση 1.15) για ένα συγκεκριμένο όργανο (Leica TCR 303) με μήκος κύματος $\lambda=780\text{nm}$ για υπέρυθη ακτινοβολία.

Επιπλέον εφόσον οι μετρήσεις θα πραγματοποιηθούν σε πολύ χαμηλό υψόμετρο, η πίεση λαμβάνεται $P = 1013.25\text{mbar}$. Σχετικά με την υγρασία στην Ελλάδα, είναι γνωστό πως κυμαίνεται από $h=33\%$ μέχρι $h=50\%$.

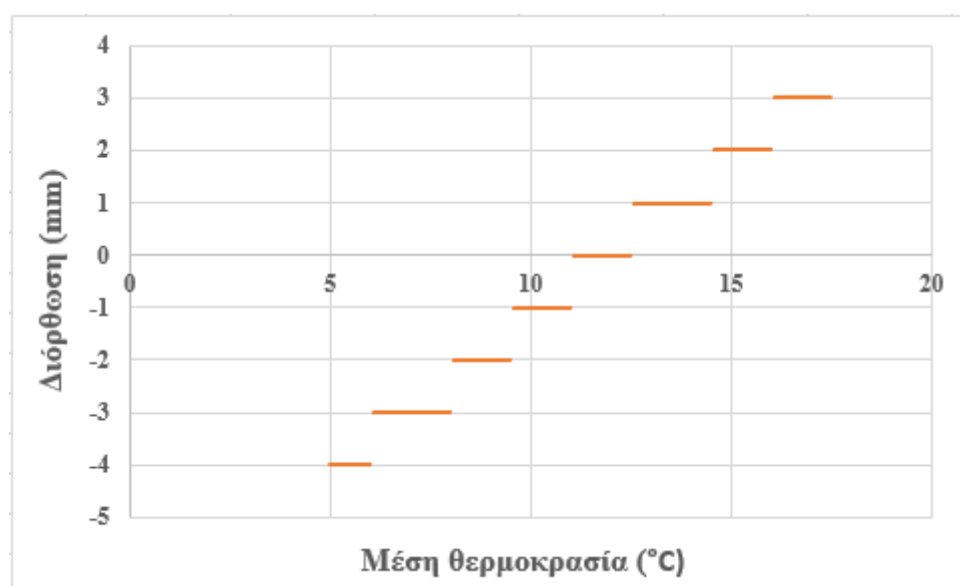
Επομένως ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε είναι εκείνος της σχέσης 1.24 για σχετική υγρασία $h=50\%$ και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας φαίνονται στο παρακάτω σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2 Διόρθωση μήκους λόγω των ατμοσφαιρικών συνθηκών

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 1.2) μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό πως η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την ελάχιστη απόσταση (45m). Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι καθώς η μέση θερμοκρασία αυξάνεται από τους 5°C μέχρι τους 25°C η απόσταση παραμένει ίδια. Όταν ξεπεραστεί το όριο των 25°C τότε αλλάζει κατά 1mm.

Αντίθετα σχετικά με την μέγιστη απόσταση (600m) παρατηρούμε πως η μεταβολή της θερμοκρασίας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο όπως δείχνει και το παρακάτω σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3 Μεταβολή μήκους 600m λόγω ατμοσφαιρικών διορθώσεων

Τέλος σχετικά με τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται κατανοητό πως καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, η διόρθωση του μήκους λόγω της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών αυξάνεται και εκείνη συνεχώς. Αρχικά ξεκινά έχοντας αρνητικές τιμές, μηδενίζεται όταν φτάνει περίπου στους 12°C (διότι σε αυτήν την θερμοκρασία έχει βαθμονομηθεί το όργανο, βλ. σχέση 1.20) και στη συνέχεια η διόρθωση γίνεται θετική.

- Δεύτερη διόρθωση ταχύτητας C_2

Στην προηγούμενη ενότητα για τον προσδιορισμό της πρώτης διόρθωσης της ταχύτητας C_1 , στην μέτρηση του μήκους D_{AB} χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος του δείκτη διάθλασης n μεταξύ των άκρων A και B . Αυτή η τιμή είναι προσεγγιστική. Η ακριβέστερη τιμή του δείκτη

διάθλασης εισάγει την δεύτερη διόρθωση ταχύτητας C_2 . Η C_2 είναι πάντοτε αφαιρετική και δίνεται από την επόμενη σχέση [Γεωργοπουλος Γ. κ.α, 2011]:

$$C_2 = -(k - k^2) \times \frac{D_{AB}^3}{12 \times R^2} \quad (1.30)$$

όπου: k ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης, D_{AB} το μήκος που έχει μετρήσει το ηλεκτρονικό όργανο και R η μέση ακτίνα καμπυλότητας του ελλειψοειδούς αναφοράς κατά το μήκος της γραμμής AB , η οποία για τον Ελληνικό χώρο μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι της τάξης $R \approx 6371 \text{ km}$.

Έτσι με βάση τις διορθώσεις C_1 και C_2 το τελικό μήκος D'_{AB} δίνεται από την σχέση:

$$D'_{AB} = D_{AB} + C_1 + C_2 \quad (1.31)$$

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η C_2 για μήκη τάξης μεγέθους των 15 km και $k \approx 0.16$ είναι $C_2 \approx -1 \text{ mm}$ επομένως μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι αμελητέα για μήκη μικρότερα από αυτή. Άρα στην συγκεκριμένη εργασία δεν επρόκειτο να ληφθεί υπόψιν διότι το μέγιστο μετρούμενο μήκος της βάσης ελέγχου είναι στα 600m.

1.6 Αντικείμενο της εργασίας

Αρχικά θα γίνει βαθμονόμηση της εξωτερικής βάσης ελέγχου που βρίσκεται στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά. Πρόκειται για μια βάση που αποτελείται από 9 βάθρα σε μήκος 2 km όπως ακριβώς ορίζει ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης ISO 17123-4 και πρόκειται να βαθμονομηθεί με το πρότυπο όργανο Leica TDA 5005. Πιο συγκεκριμένα κάθε μέτρηση λαμβάνεται τρεις φορές προκειμένου να υπολογιστούν οι καλύτερες τιμές των μετρήσεων μέσω του μέσου όρου. Αφού λοιπόν διορθωθούν αυτές οι μετρήσεις λόγω της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών, θα αποτελέσουν τις πρότυπες τιμές της βάσης.

Στη συνέχεια ακολούθησε ο έλεγχος κάποιων συγκεκριμένων γεωδαιτικών οργάνων (*Total Station*) προκειμένου να εξεταστεί εάν ακολουθούν την ακρίβεια του κατασκευαστή τους ή όχι. Η διαδικασία διεξαγωγής των μετρήσεων εφαρμόστηκε έτσι όπως ορίζει ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης ISO 17123-4. Η επεξεργασία όμως των μετρήσεων έγινε σύμφωνα με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων,

διότι η διαδικασία αυτή είναι πιο εύκολη. Επιπλέον είναι εφικτός και ο υπολογισμός των καλύτερων τιμών των 6 αποστάσεων μεταξύ των 7 βάρων.

Όταν ολοκληρώθηκε και ο έλεγχος των γεωδαιτικών οργάνων πραγματοποιήθηκε και η διακρίβωση τους δηλαδή η σύγκριση της μέτρησης ή του αποτελέσματος (output) των οργάνων αυτών, με εκείνη ενός αντίστοιχου πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας, που καλείται σύστημα αναφοράς. Με αυτόν τον τρόπο ανιχνεύεται τυχόν σφάλμα στο σύστημα του οργάνου και στην συνέχεια να βαθμονομείται προκειμένου να επαναφερθεί με ρύθμιση η ακρίβεια του.

Τέλος, η επεξεργασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε μέσω των λογισμικών ελέγχου και διακρίβωσης που συντάχθηκαν στο πλαίσιο αυτής της εργασίας στο περιβάλλον του *matlab*. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εφικτή η άμεση διεξαγωγή των αποτελεσμάτων για κάθε γεωδαιτικό σταθμό σε ειδικές φόρμες πιστοποίησης.

Κεφάλαιο 2

ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ISO 17123-4

2.1 Γενικά

Ο ISO (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης) είναι μια παγκόσμια ομοσπονδία των εθνικών φορέων τυποποίησης. Η προετοιμασία του έργου των Διεθνών Προτύπων κανονικά διεξάγεται μέσα από τις τεχνικές επιτροπές του ISO. Κάθε μέλος του οργανισμού που ενδιαφέρεται για ένα θέμα και για το οποίο έχει συσταθεί τεχνική επιτροπή έχει το δικαίωμα να εκπροσωπείται σε αυτήν. Επίσης Διεθνείς κυβερνητικοί και μη κυβερνητικοί οργανισμοί, μπορούν να λαμβάνουν μέρος σε αυτές τις εργασίες σε συνεργασία πάντα με τον ISO. Επιπλέον ο ISO συνεργάζεται στενά με τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) για όλα τα θέματα της Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης.

Τα σχέδια των Διεθνών Προτύπων που εγκρίθηκαν από τις τεχνικές επιτροπές διανεμήθηκαν στα μέλη του οργανισμού για ψηφοφορία. Η δημοσίευση ως διεθνές πρότυπο απαιτεί την έγκριση από το 75% τουλάχιστον των μελών του οργανισμού που δικαιούνται ψήφο [ISO 17123-4., 2001].

Το Διεθνές Πρότυπο του ISO 17123-4 δημιουργήθηκε από την τεχνική επιτροπή του ISO / TC 172, την Οπτική και τα οπτικά μέσα και από την Υποεπιτροπή SC 6 [ISO 17123-4., 2001].

Η πρώτη αυτή έκδοση του ISO (17123-4) ακυρώνει και παράλληλα αντικαθιστά το πρότυπο ISO 8322-8: 1992 και το ISO 12857-3: 1997, τα οποία έχουν τεχνικά αναθεωρηθεί [ISO 17123-4., 2001].

Το ISO 17123, υπό τον γενικό τίτλο Οπτική και οπτικά μέσα – Διαδικασίες πεδίου για τον έλεγχο γεωδαιτικών και τοπογραφικών οργάνων, αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη [ISO 17123-4., 2001]:

- Μέρος 1: Θεωρία
- Μέρος 2: Επίπεδα
- Μέρος 3: Θεοδόλιχοι
- Μέρος 4: Ηλεκτροπτικά όργανα μέτρησης απόστασης (όργανα EDM)
- Μέρος 5: Ηλεκτρονικά ταχύμετρα
- Μέρος 6: Περιστρεφόμενα λείζερ
- Μέρος 7: Οπτικά όργανα υδραυλικών εγκαταστάσεων

2.2 Σκοπός και προϋποθέσεις εφαρμογής

Το ISO 17123-4 καθορίζει τις διαδικασίες πεδίου για τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση της ακρίβειας (επαναληψιμότητα) των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης απόστασης (όργανα EDM) καθώς και του βοηθητικού εξοπλισμού τους, όταν χρησιμοποιούνται σε κατασκευαστικές και τοπογραφικές εργασίες. Αρχικά, οι έλεγχοι αυτοί σκοπό έχουν να επιβεβαιώσουν την καταλληλότητα κάποιου οργάνου για την συγκεκριμένη εργασία και να εξασφαλίσουν τις απαιτήσεις που τίθενται, με τον έλεγχο αποδοχής των ακριβειών απόδοσης στο ύπαιθρο.

Το ISO 17123-4 μπορεί να θεωρηθεί ως ένα από τα πρώτα βήματα στη διαδικασία της αξιολόγησης της αβεβαιότητας μίας μέτρησης μήκους.

Η αβεβαιότητα του αποτελέσματος της μέτρησης εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων. Αυτοί περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων: την επαναληψιμότητα (ακρίβεια), την επανεκτέλεση (την επανάληψη των μετρήσεων μέσα στην ημέρα), την ανιχνευσιμότητα και μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση όλων των πιθανών πηγών σφάλματος, όπως ορίζεται από τον Οδηγό του ISO για την έκφραση της αβεβαιότητας στις μετρήσεις (GUM).

Οι εν λόγω διαδικασίες πεδίου έχουν αναπτυχθεί ειδικά για επιτόπου εφαρμογές από κάθε χρήστη, χωρίς την ανάγκη ειδικού βοηθητικού εξοπλισμού και έχουν σκόπιμα σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις [ISO 17123-4., 2001].

Πριν από την έναρξη μιας εργασίας, είναι σημαντικό ο χρήστης να ερευνά εάν είναι επαρκής η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιούνται, για την προβλεπόμενη εργασία μέτρησης.

Το όργανο EDM και ο βοηθητικός εξοπλισμός του πρέπει να είναι σε γνωστές και αποδεκτές καταστάσεις της μόνιμης ρύθμισης σύμφωνα με τις μεθόδους που καθορίζονται στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή. Επιπλέον θα πρέπει να τοποθετούνται πάνω σε τρίποδα, διότι με αυτόν τον τρόπο εξαναγκάζεται η κέντρωση τους, όπως συνιστάται από τον κατασκευαστή.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών επηρεάζονται από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Στις συνθήκες αυτές περιλαμβάνονται διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του αέρα και στην ατμοσφαιρική πίεση. Επομένως πρέπει να μετρούνται τα πραγματικά μετεωρολογικά δεδομένα, προκειμένου να συλλεχθούν οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις και να διορθωθούν οι αρχικές μετρήσεις των αποστάσεων. Οι μετεωρολογικές συνθήκες εξαρτώνται από το μέρος στο οποίο πρέπει να γίνονται οι μετρήσεις και μέσα σε αυτές περιλαμβάνονται μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα, της ταχύτητας του ανέμου, της νεφοκάλυψης και της ορατότητας [ISO 17123-4., 2001].

Επιπρόσθετα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο τύπος της επιφάνειας πάνω στην οποία γίνονται οι μετρήσεις, στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται

ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που έχουν την δυνατότητα μέτρησης μηκών χωρίς την χρήση ανακλαστήρα. Έτσι συλλέγονται οι πραγματικές συνθήκες κατά τη χρονική στιγμή της μέτρησης. Συνεπώς οι συνθήκες που επιλέγονται για τις δοκιμές πρέπει να ταιριάζουν με τις αναμενόμενες, όταν διεξάγεται η προβλεπόμενη εργασία μέτρησης.

Εργαστηριακές δοκιμές θα έδιναν αποτελέσματα ελάχιστα επηρεασμένα από ατμοσφαιρικές επιρροές, αλλά το κόστος τους είναι μεγάλο και ουσιαστικά είναι μη εφαρμόσιμες για τους περισσότερους χρήστες. Επιπλέον οι εργαστηριακές δοκιμές αποδίδουν αβεβαιότητες πολύ μικρότερες από αυτές που μπορούν να επιτευχθούν στις πραγματικές εργασίες πεδίου.

2.3 Διαδικασίες ελέγχου

Δύο είναι οι διαδικασίες ελέγχου που προτείνει το ISO 17123-4. Παρακάτω παραθέτονται οι διαδικασίες ελέγχου όπως ακριβώς τις αναλύει το ISO 17123-4.

2.3.1 Απλουστευμένη διαδικασία ελέγχου (Simplified test procedure)

Σύμφωνα με το ISO 17123-4, στις σελίδες 3 και 4, η απλουστευμένη διαδικασία παρέχει μια εκτίμηση κατά πόσο η ακρίβεια ενός οργάνου στη μέτρηση μηκών (EDM) βρίσκεται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια που ορίζονται από το πρότυπο ISO 4463-1. Δηλαδή εξετάζεται η εσωτερική ακρίβεια του οργάνου και κατά πόσο οι μετρήσεις πλησιάζουν μεταξύ τους [ISO 17123-4., 2001].

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής προέρχονται από περιορισμένο αριθμό μετρήσεων και επομένως δεν είναι δυνατόν να αποδίδουν πλήρως την αβεβαιότητα στη μέτρηση μηκών.

Οι μετρήσεις βασίζονται στην ύπαρξη ενός πεδίου δοκιμών, όπου τα μήκη θεωρούνται "αληθείς τιμές" (δηλαδή είναι γνωστές οι πρότυπες τιμές με μικρή αβεβαιότητα) [ISO 17123-4., 2001]. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό, είναι αναγκαίο τα άγνωστα μήκη να μετρώνται με όργανο μεγαλύτερης ακρίβειας.

Το πεδίο ελέγχου αποτελείται από:

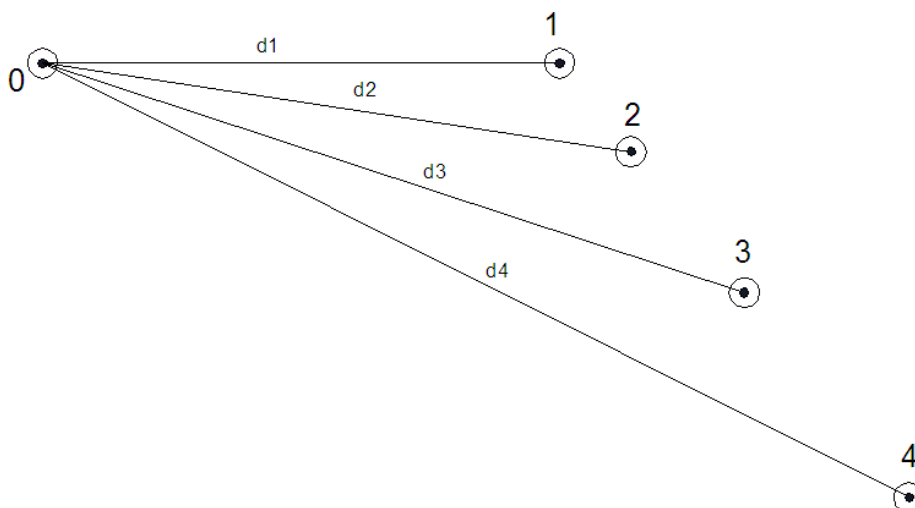
- Μια μόνιμη βάση οργάνου
- Μόνιμους ανακλαστήρες σε τυπικές αποστάσεις για τη συνήθη εργασία ενός οργάνου μέτρησης μηκών (σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η μόνιμη τοποθέτηση των ανακλαστήρων, πρέπει να σημειωθούν οι θέσεις τους στο έδαφος με μόνιμο τρόπο)

Προκειμένου να εγκατασταθεί το πεδίου ελέγχου, πρέπει κάθε μήκος να μετρηθεί τουλάχιστον 3 φορές και να υπολογιστεί η καλύτερη τιμή. Οι μέσες τιμές που θα προκύψουν για κάθε μήκος διορθώνονται για μεταβολές στη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση. Για το σκοπό αυτό είναι αναγκαίο να γίνουν μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη, ώστε να καθοριστούν οι απαραίτητες διορθώσεις για τα τέσσερα μήκη όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.

Η μέση τιμή κάθε μήκους θα διορθωθεί κατά 1ppm για κάθε απόκλιση θερμοκρασίας 1°C ή/και απόκλιση πίεσης 3hPa (3 mbar) [ISO 17123-4., 2001].

Οι διορθωμένες μέσες τιμές των τεσσάρων μηκών θεωρούνται οι αληθείς:

$$\bar{x}_1 = d_1, \bar{x}_2 = d_2, \bar{x}_3 = d_3, \bar{x}_4 = d_4 \quad (2.1)$$



Σχήμα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση της απλουστευμένης διαδικασίας

Όλες οι διαφορές $\bar{x}_j - x_j$, όπου \bar{x}_j είναι η μέση τιμή του κάθε μήκους διορθωμένη από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις και x_j η μέτρηση του μήκους, πρέπει να βρίσκονται μέσα στα όρια συγκεκριμένης επιτρεπόμενης παρέκκλισης $\pm p$, η οποία καθορίζεται από το ISO 4463-1, για την συγκεκριμένη εργασία για την οποία προορίζεται. Στην περίπτωση που η τιμή του p δεν δίνεται, πρέπει $|\bar{x}_j - x_j| \leq 2.5 s$ [ISO 17123-4., 2001].

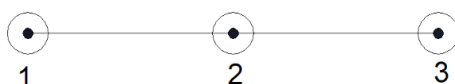
Όπου s είναι η πειραματική τυπική απόκλιση της μιας μέτρησης, υπολογισμένη σύμφωνα με την ολοκληρωμένη διαδικασία ελέγχου (που περιγράφεται παρακάτω) με τη χρήση οργάνου EDM για τον καθορισμό μηκών στο πεδίο.

Εάν οι διαφορές $|\bar{x}_j - x_j|$ είναι πολύ μεγάλες για την συγκεκριμένη εργασία, είναι ανάγκη να γίνουν έλεγχοι για την εύρεση της πηγής των σφαλμάτων.

Όταν όλες οι διαφορές $\bar{x}_j - x_j$ έχουν το ίδιο πρόσημο, τότε είναι προφανές ότι υπάρχει συστηματικό σφάλμα. Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα σφάλματος κατά τη διόρθωση του μηδενικού σφάλματος (zero point correction) ή σφάλματος κλίμακας [ISO 17123-4., 2001].

Εάν πρόκειται για σφάλμα κλίμακας, τότε είναι υποχρεωτικό να γίνει έλεγχος της συχνότητας μέτρησης του οργάνου EDM με τη χρήση μετρητή συχνότητας.

Προκειμένου να γίνει έλεγχος της διόρθωσης του μηδενικού σημείου δ , δημιουργείται μια προσωρινή βάση μέτρησης (περί τα 50m) με τη χρήση τριών τριπόδων εξαναγκασμένης κέντρωσης οι οποίοι τοποθετούνται στην ευθυγραμμία, σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Προσωρινή βάση ελέγχου για τον έλεγχο της διόρθωσης μηδενικού σημείου

Από τις αποστάσεις που μετρώνται μεταξύ των τριών τριπόδων, υπολογίζεται η διόρθωση του μηδενικού σφάλματος [ISO 17123-4., 2001]:

$$\delta = \overline{1,3} - \overline{1,2} - \overline{2,3} \quad (2.2)$$

Όπου, δ : η διόρθωση μηδενικού σφάλματος
 $\overline{1,3}$, $\overline{1,2}$, $\overline{2,3}$: είναι οι μετρημένες τιμές μηκών μεταξύ των τριπόδων.

2.3.2 Πλήρης διαδικασία ελέγχου (Full test procedure)

Η πλήρης διαδικασία ελέγχου εφαρμόζεται ώστε να προσδιοριστεί η ακρίβεια που μπορεί να πετύχει ένα όργανο μέτρησης μηκών (EDM) και ο βοηθητικός εξοπλισμός του σε συνθήκες πεδίου. Βασίζεται σε μετρήσεις μηκών με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, σε μια υλοποιημένη βάση ελέγχου, χωρίς ονομαστικές αξίες.

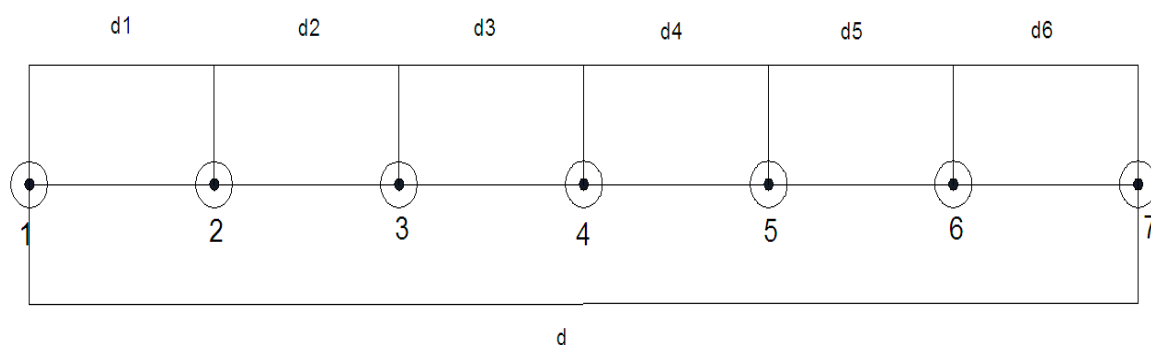
Η πειραματική τυπική απόκλιση της μιας μέτρησης υπολογίζεται από την επίλυση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιώντας τα μήκη με όλους τους συνδυασμούς.

Κατά τη διαδικασία αυτή, δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν σφάλματα κλίμακας ενός οργάνου EDM. Εξάλλου, τα σφάλματα αυτά δεν έχουν επιρροή ούτε στην πειραματική τυπική απόκλιση s , ούτε στη διόρθωση του μηδενικού σημείου δ . Προκειμένου, όμως, να εξασφαλιστεί η σταθερότητα της κλίμακας, είναι επιθυμητό να μετρηθεί η συχνότητα του οργάνου με μετρητή συχνότητας δηλαδή να έχει γίνει εργαστηριακός έλεγχος.

Επιπλέον, η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για να προσδιοριστούν:

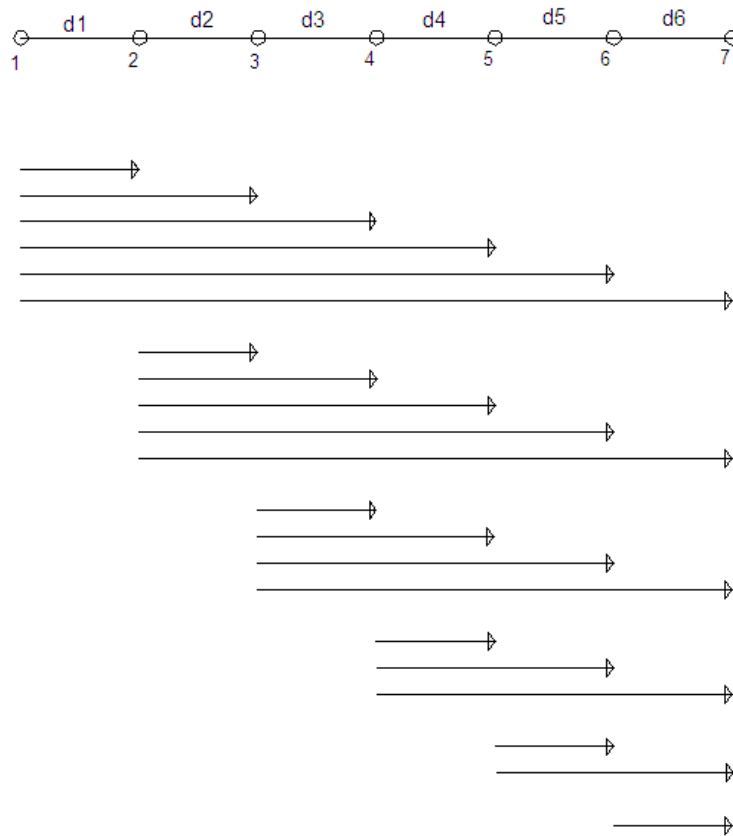
- Η αβεβαιότητα μέτρησης ενός οργάνου EDM από ένα συνεργείο, με το όργανο και τον εξοπλισμό του σε συγκεκριμένο χρόνο
- Η ακρίβεια στη χρήση ενός οργάνου με την πάροδο του χρόνου
- Η ακρίβεια στη χρήση καθενός μιας σειράς οργάνων EDM, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των σχετικών ακριβειών τους σε παρόμοιες συνθήκες πεδίου.

Για την διαδικασία αυτή, απαιτείται να ιδρυθεί βάση ελέγχου, μήκους περίπου 600m, αποτελούμενη από 7 σημεία, σε έδαφος, είτε οριζόντιο, είτε με σταθερή μικρή κλίση σε ευθεία γραμμή (σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Σχηματική αναπαράσταση της βάσης ελέγχου για την ολοκληρωμένη διαδικασία δοκιμών

Τα σημεία πρέπει να παραμείνουν σταθερά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Προκειμένου να προκύψουν αντιπροσωπευτικές τιμές της πειραματικής τυπικής απόκλισης s και της διόρθωσης του μηδενικού σημείου, τα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να επιλεγούν με τρόπο τέτοιο ώστε τα μέρη των μετρημένων μηκών που καθορίζονται από μετρήσεις φάσης να είναι ισοκαταναμημένα στη μονάδα μήκους του οργάνου [ISO 17123-4., 2001].



Σχήμα 2.4 Μετρούμενα μήκη

Μια καλή χωροθέτηση της βάσης ελέγχου μπορεί να επιτευχθεί αν τα έξι μήκη $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ ανάμεσα στα 7 σημεία, ικανοποιούν τις παρακάτω συνθήκες [ISO 17123-4., 2001]:

- Η ευθεία έχει μήκος περίπου $d_0=600\text{m}$.
- Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας του οργάνου είναι λ .
- Η μονάδα μέτρησης (κλίμακα μέτρησης) του οργάνου είναι $\lambda/2$.

$$\beta_0 = \frac{d_0 - 6.5\lambda}{15} \quad (2.3)$$

όπου το β_0 στρογγυλοποιείται στον κοντινότερο ακέραιο αριθμό:

$$\beta = \mu \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (2.4)$$

όπου το μ είναι ακέραιος αριθμός.

Τα έξι μήκη και η συνολική απόσταση d_0 , υπολογίζονται από τις σχέσεις [ISO 17123-4., 2001]:

$$d_1 = \lambda + \beta + 3\gamma \quad (2.5)$$

$$d_2 = \lambda + 3\beta + 7\gamma \quad (2.6)$$

$$d_3 = \lambda + 5\beta + 11\gamma \quad (2.7)$$

$$d_4 = \lambda + 4\beta + 9\gamma \quad (2.8)$$

$$d_5 = \lambda + 2\beta + 5\gamma \quad (2.9)$$

$$d_6 = \lambda + \gamma \quad (2.10)$$

$$d_0 = 6\lambda + 15\beta + 36\gamma \quad (2.11)$$

Όπου: $\gamma = \frac{\lambda}{72}$

Όλα τα μήκη που σχηματίζονται ανάμεσα στα 7 σημεία πρέπει να μετρηθούν την ίδια μέρα.

Είναι ανάγκη να χρησιμοποιηθούν εξαναγκασμένες κεντρώσεις, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα κέντρωσης. Επίσης, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας ικανοποιητικός αριθμός ανακλαστήρων, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι όλα τα μήκη θα μετρηθούν με καλή επιστροφή σήματος.

Οι μετρήσεις των μηκών θα ξεκινήσουν όταν η ορατότητα είναι καλή και ηλιακή ακτινοβολία χαμηλή.

Η θερμοκρασία και ατμοσφαιρική πίεση είναι χρήσιμο να μετρώνται για τον υπολογισμό των ατμοσφαιρικών διορθώσεων και τη διόρθωση των μετρούμενων τιμών.

Οι μετρήσεις $\widetilde{x}_{p,q}$, δηλαδή οι αρχικές μετρήσεις/αναγνώσεις από το όργανο EDM, πρέπει να διορθωθούν από συστηματικές επιρροές, όπως είναι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και η κλίση του εδάφους.

Οι διορθωμένες τιμές των μηκών υπολογίζονται με ενιαία επίλυση των εξισώσεων παρατήρησης.

Οι άγνωστοι παράμετροι είναι οι έξι αποστάσεις $\overline{x}_{1,2}, \overline{x}_{2,3}, \dots, \overline{x}_{6,7}$ και η διόρθωση μηδενικού σφάλματος δ . Όλες οι μετρήσεις θεωρούνται ισοβαρείς.

Τα αποτελέσματα βρίσκονται ως εξής [ISO 17123-4., 2001]:

$$a_p = \sum_{q=1}^{7-p} x_{q,p+1} - \sum_{q=1}^p x_{q,7-p+q} \quad \text{με } p = 4,5,6 \quad (2.12)$$

$$b_p = \frac{1}{7} \left(\sum_{q=p+1}^7 x_{p,q} - \sum_{q=1}^{p-1} x_{q,p} \right), \quad \text{με } p = 1, \dots, 7 \quad (2.13)$$

$$\delta = \frac{1}{35} \sum_{p=4}^6 (2p - 7) a_p \quad (2.14)$$

$$r_{p,q} = b_p - b_q - \frac{7 + 2(p - q)}{7} \delta - x_{p,q} \quad (2.15)$$

όπου δ η διόρθωση μηδενικού σφάλματος και $r_{p,q}$ τα υπόλοιπα των 21 μετρημένων αποστάσεων $x_{p,q}$.

Ακολούθως υπολογίζεται το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων $\sum r^2$:

$$\sum r^2 = \sum_{p=1}^6 \sum_{q=p+1}^7 r_{p,q} = r_{1,2}^2 + r_{2,3}^2 + \dots + r_{6,7}^2 \quad (2.16)$$

Ακόμη,

$$v = n - u = 14 \quad (2.17)$$

όπου

- v ο βαθμός ελευθερίας
- n ο αριθμός των μετρήσεων (21)
- u ο βαθμός των άγνωστων παραμέτρων (6+1=7)

Η πειραματική τυπική απόκλιση της μιας μέτρησης προκύπτει από τη σχέση [ISO 17123-4., 2001]:

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum r^2}{14}} \quad (2.18)$$

Και

$$s_{ISO-EDM} = s \quad (2.19)$$

Η πειραματική τυπική απόκλιση της διόρθωσης μηδενικού σημείου βρίσκεται ως εξής:

$$s_\delta = s \frac{1}{\sqrt{5}} = s \cdot 0.45 \quad (2.20)$$

Ύστερα από ανάλυση των σχέσεων που δίνονται από το ISO 17123-4 για τον έλεγχο γεωδαιτικών και τοπογραφικών οργάνων μέτρησης μηκών, στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας [Αλεξίου Α, 2011], φαίνεται ότι οι σχέσεις που προκύπτουν είναι οι εξισώσεις παρατήρησης που χρησιμοποιούνται για την επίλυση με τη Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων (MET). Επομένως:

Οι μετρήσεις είναι:

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

$$x_{2,3}, x_{2,4}, x_{2,5}, x_{2,6}, x_{2,7}$$

$$x_{3,4}, x_{3,5}, x_{3,6}, x_{3,7}$$

$$x_{4,5}, x_{4,6}, x_{4,7}$$

$$x_{5,6}, x_{5,7}$$

$$x_{6,7}$$

$$n=21 \text{ μετρήσεις}$$

Οι άγνωστοι $m = 7$ του συστήματος είναι:

$$\overline{x_{1,2}}, \overline{x_{2,3}}, \overline{x_{3,4}}, \overline{x_{4,5}}, \overline{x_{5,6}}, \overline{x_{6,7}}, \delta$$

Ο βαθμός ελευθερίας του συστήματος είναι:

$$r = n - m \Rightarrow r = 14$$

Ο πίνακας των αγνώστων είναι:

$$x = \begin{pmatrix} \overline{x_{1,2}} \\ \overline{x_{2,3}} \\ \overline{x_{3,4}} \\ \overline{x_{4,5}} \\ \overline{x_{5,6}} \\ \overline{x_{6,7}} \\ \delta \end{pmatrix}$$

Οι εξισώσεις παρατήρησης του συστήματος είναι:

$$\overline{x_{1,2}} + \tilde{\delta} = x_{1,2} \quad (2.21)$$

$$\overline{x_{1,2}} + \overline{x_{2,3}} + \tilde{\delta} = x_{1,3} \quad (2.22)$$

$$\overline{x_{1,2}} + \overline{x_{2,3}} + \overline{x_{3,4}} + \tilde{\delta} = x_{1,4} \quad (2.23)$$

$$\overline{x_{1,2}} + \overline{x_{2,3}} + \overline{x_{3,4}} + \overline{x_{4,5}} + \tilde{\delta} = x_{1,5} \quad (2.24)$$

$$\overline{x_{1,2}} + \overline{x_{2,3}} + \overline{x_{3,4}} + \overline{x_{4,5}} + \overline{x_{5,6}} + \tilde{\delta} = x_{1,6} \quad (2.25)$$

$$\overline{x_{1,2}} + \overline{x_{2,3}} + \overline{x_{3,4}} + \overline{x_{4,5}} + \overline{x_{5,6}} + \overline{x_{6,7}} + \tilde{\delta} = x_{1,7} \quad (2.26)$$

$$\overline{x_{2,3}} + \tilde{\delta} = x_{2,3} \quad (2.27)$$

$$\overline{x_{2,3}} + \overline{x_{3,4}} + \tilde{\delta} = x_{2,4} \quad (2.28)$$

$$\overline{x_{2,3}} + \overline{x_{3,4}} + \overline{x_{4,5}} + \tilde{\delta} = x_{2,5} \quad (2.29)$$

$$\overline{x_{2,3}} + \overline{x_{3,4}} + \overline{x_{4,5}} + \overline{x_{5,6}} + \tilde{\delta} = x_{2,6} \quad (2.30)$$

$$\overline{x_{2,3}} + \overline{x_{3,4}} + \overline{x_{4,5}} + \overline{x_{5,6}} + \overline{x_{6,7}} + \tilde{\delta} = x_{2,7} \quad (2.31)$$

$$\overline{x_{3,4}} + \tilde{\delta} = x_{3,4} \quad (2.32)$$

$$\overline{x_{3,4}} + \overline{x_{4,5}} + \tilde{\delta} = x_{3,5} \quad (2.33)$$

$$\overline{x_{3,4}} + \overline{x_{4,5}} + \overline{x_{5,6}} + \tilde{\delta} = x_{3,6} \quad (2.34)$$

$$\overline{x_{3,4}} + \overline{x_{4,5}} + \overline{x_{5,6}} + \overline{x_{6,7}} + \tilde{\delta} = x_{3,7} \quad (2.35)$$

$$\overline{x_{4,5}} + \tilde{\delta} = x_{4,5} \quad (2.36)$$

$$\overline{x_{4,5}} + \overline{x_{5,6}} + \tilde{\delta} = x_{4,6} \quad (2.37)$$

$$\overline{x_{4,5}} + \overline{x_{5,6}} + \overline{x_{6,7}} + \tilde{\delta} = x_{3,6} \quad (2.38)$$

$$\overline{x_{5,6}} + \tilde{\delta} = x_{5,6} \quad (2.39)$$

$$\overline{x_{5,6}} + \overline{x_{6,7}} + \tilde{\delta} = x_{5,7} \quad (2.40)$$

$$\overline{x_{6,7}} + \tilde{\delta} = x_{6,7} \quad (2.41)$$

Ο πίνακας των μετρήσεων l είναι:

$$l = \begin{array}{|c} x_{1,2} \\ x_{1,3} \\ x_{1,4} \\ x_{1,5} \\ x_{1,6} \\ x_{1,7} \\ x_{2,3} \\ x_{2,4} \\ x_{2,5} \\ x_{2,6} \\ x_{2,7} \\ x_{3,4} \\ x_{3,5} \\ x_{3,6} \\ x_{3,7} \\ x_{4,5} \\ x_{4,6} \\ x_{4,7} \\ x_{5,6} \\ x_{5,7} \\ x_{6,7} \end{array}$$

Για την επίλυση του συστήματος χρησιμοποιείται η σχέση:

$$A^T A \bar{x} = A^T l \Rightarrow \bar{x} = (A^T A)^{-1} A^T l \quad (2.42)$$

Από την επίλυση προκύπτουν οι καλύτερες τιμές των $\overline{x_{1,2}}, \overline{x_{2,3}}, \overline{x_{3,4}}, \overline{x_{4,5}}, \overline{x_{5,6}}, \overline{x_{6,7}}$, δ και στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός των υπολοίπων και της τυπικής απόκλισης s από τη σχέση:

$$s = \pm \sqrt{\frac{U^T U}{n-m}} \quad (2.43)$$

Οι στατιστικοί έλεγχοι προτείνεται να γίνονται μόνο κατά την ολοκληρωμένη διαδικασία των δοκιμών.

Για την κατανόηση των αποτελεσμάτων, οι στατιστικοί έλεγχοι πρέπει να γίνονται με τη χρήση [ISO 17123-4., 2001]:

- Της πειραματικής τυπικής απόκλισης s της κάθε μέτρησης στη βάση.
- Της διόρθωσης του μηδενικού σφάλματος δ του οργάνου και της πειραματικής τυπικής απόκλισης s_δ .

Τίθενται τα παρακάτω ερωτήματα:

1. Είναι η υπολογισμένη πειραματική τυπική απόκλιση s μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή σ που δίνεται από τον κατασκευαστή ή από κάποια άλλη προκαθορισμένη τιμή σ ;
2. Μπορούν δύο διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις s και \tilde{s} δύο διαφορετικών δειγμάτων (σειρών) μετρήσεων, να ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, υποθέτοντας ότι τα δύο δείγματα έχουν τον ίδιο βαθμό ελευθερίας;

Οι δύο τυπικές αποκλίσεις s και \tilde{s} μπορούν να προκύψουν από:

- Δύο δείγματα (σειρές) μετρήσεων του ίδιου οργάνου σε διαφορετικές στιγμές
 - Δύο δείγματα μετρήσεων διαφορετικών οργάνων.
3. Είναι η διόρθωση του μηδενικού σφάλματος δ ίση με το μηδέν, όπως θεωρείται από τον κατασκευαστή ($\delta_0 = 0$) ή, εάν χρησιμοποιείται ανακλαστήρας με σταθερά δ_0 , είναι $\delta = \delta_0$;

Οι έλεγχοι αυτοί, πραγματοποιούνται για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, όπου $1-\alpha=0.95$ και βαθμός ελευθερίας $\nu=14$.

Ερωτήματα	Μηδενική υπόθεση	Εναλλακτική υπόθεση
1	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
2	$s = \tilde{s}$	$s \neq \tilde{s}$
3	$\delta \leq \delta_0$	$\delta \neq \delta_0$

Πίνακας 2.1 Στατιστικοί έλεγχοι

Ερώτημα 1

Η μηδενική υπόθεση, δηλαδή ότι η πειραματική τυπική απόκλιση s είναι μικρότερη ή ίση από μια θεωρητική ή προκαθορισμένη τιμή σ , δεν απορρίπτεται εάν ικανοποιείται η παρακάτω υπόθεση:

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi_{1-a}^2(\nu)}{\nu}} \quad (2.44)$$

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2(14)}{14}}, \text{ όπου } \chi_{0.95}^2(14)=23.68 \quad (2.45)$$

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{23.68}{14}} \quad (2.46)$$

$$s \leq \sigma \cdot 1.30 \quad (2.47)$$

Σε διαφορετική περίπτωση, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Ερώτημα 2

Στην περίπτωση δύο διαφορετικών δειγμάτων, ένας στατιστικός έλεγχος αποδεικνύει αν οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις s και \tilde{s} ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό. Η αντίστοιχη μηδενική υπόθεση $s = \tilde{s}$ δεν απορρίπτεται αν ισχύει η παρακάτω συνθήκη:

$$\frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(\nu, \nu)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(\nu, \nu) \quad (2.48)$$

$$\frac{1}{F_{0.975}(14,14)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{0.975}(14,14), \text{ όπου } F_{0.975}(14,14)=2.98 \quad (2.49)$$

$$0.34 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 2.98 \quad (2.50)$$

Σε διαφορετική περίπτωση, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Ερώτημα 3

Η υπόθεση της ισότητας των διορθώσεων μηδενικού σφάλματος δ και δ_0 δεν απορρίπτεται αν ικανοποιείται η παρακάτω συνθήκη:

$$|\delta - \delta_0| \leq s_\delta \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}}(v) \quad (2.51)$$

$$|\delta - \delta_0| \leq s_\delta \cdot t_{0,975}(14) \quad (2.52)$$

$$s_\delta = \frac{s}{\sqrt{5}} = s \cdot 0.45, \text{ όπου } t_{0,975}(14)=2.14 \quad (2.53)$$

$$|\delta - \delta_0| \leq \frac{s}{\sqrt{5}} \cdot 2.14 \quad (2.54)$$

Σε διαφορετική περίπτωση, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Κεφάλαιο 3

ΒΑΘΜΟΝΟΜΙΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1 Βάσεις μετρολογικού ελέγχου στο εξωτερικό

Αυστραλία - περιοχή Νέα Νότια Ουαλία

Στην Αυστραλία, δίνεται πολλή μεγάλη σημασία στο μετρολογικό έλεγχο οργάνων μέτρησης μήκους και υπάρχουν πολλές μετρολογικές βάσεις για τον έλεγχο τους, τις οποίες οι χρήστες έχουν στη διάθεσή τους.

Υπάρχει ένας ειδικός οργανισμός, το Εθνικό Ινστιτούτο Μετρήσεων (*National Measurement Institute – NMI*), το οποίο έχει δημοσιεύσει ορισμένες προτάσεις - προτροπές που αφορούν στον έλεγχο ηλεκτροπτικών οργάνων μέτρησης μηκών. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι οι εξής [Αλεξίου Α., 2011]:

- Προκειμένου να χαρακτηριστεί μια βάση μετρολογικού ελέγχου ως επίσημη, είναι αναγκαίο η αβεβαιότητα βαθμονόμησης της για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% να είναι της τάξης των

$$\pm(1.5 + 20 \cdot 10^{-3}D)mm \quad (3.1)$$

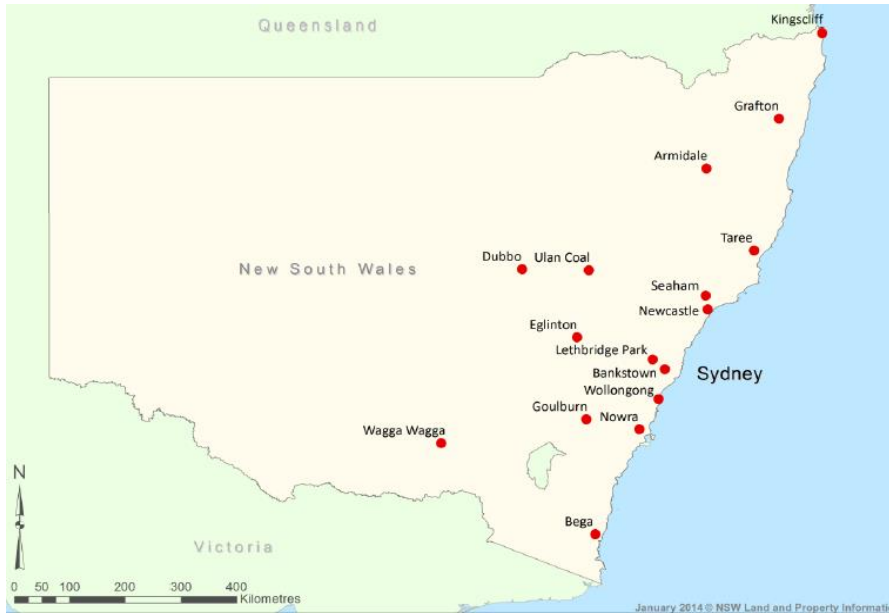
Όπου D είναι το ενδιάμεσο μήκος σε μέτρα.

- Προτείνεται, όταν γίνεται χρήση μιας επίσημης βάσης μέτρησης μηκών, η ελάχιστη αβεβαιότητα για την διακρίβωση ηλεκτροπτικών οργάνων μέτρησης μηκών, να είναι, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, της τάξης των

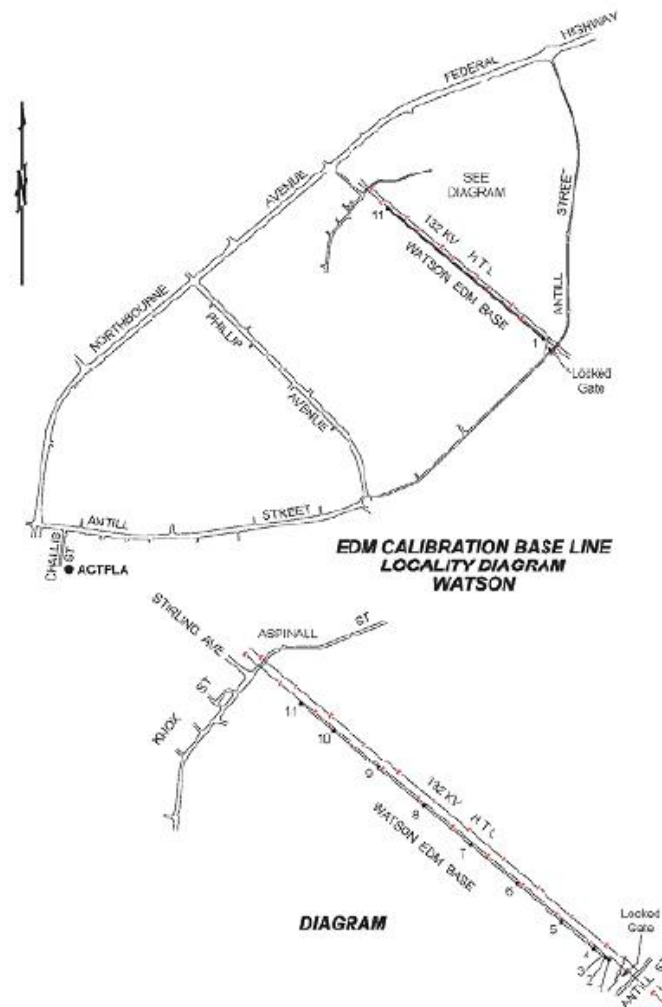
$$\pm(5 + 30 \cdot 10^{-3}D)mm \quad (3.2)$$

Όπου D είναι το ενδιάμεσο μήκος σε μέτρα.

Στην περιοχή της Νέας Νότιας Ουαλίας έχουν δημιουργηθεί αρκετές βάσεις ελέγχου EDM που αποτελούνται από τέσσερα έως και επτά βάρη (εικόνα 3.1). Πρόσφατες εφαρμογές απέδειξαν ότι οι βάσεις ελέγχου θα πρέπει να αποτελούνται από τουλάχιστον πέντε (και κατά προτίμηση έξι ή επτά) βάρη για την αύξηση του αριθμού των αποστάσεων που πρόκειται να παρατηρηθούν. Με αυτόν τον τρόπο διεξάγονται περισσότερες μετρήσεις και ως αποτέλεσμα επιτυγχάνεται ένας πιο αξιόπιστος έλεγχος ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών [Tony Watson, Volker Janssen., 2014].



Εικόνα 3.1 Τοποθεσία μετρολογικών βάσεων στην Νέα Νότια Ουαλία
(Tony Watson, Volker Janssen., 2014)



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα μετρολογικής βάσης στο Watson
(Surveyor-General of the Australian Capital Territory.,2004)

Η βάση μετρολογικού ελέγχου *Watson* (σχήμα 3.1), είναι σχεδιασμένη με βάση το σχέδιο των *Sprent - Zwart*. Αποτελείται από 11 βάρθρα εξαναγκασμένης κέντρωσης, τα οποία καλύπτουν μήκος 1117m. Στην κορυφή του βάρθρου υπάρχει ένας ορειχάλκινος δίσκος με την κατασκευή της εξαναγκασμένης κέντρωσης, ο οποίος προφυλάσσεται με ένα κάλυμμα. Σε όλο το μήκος της βάσης έχουν τοποθετηθεί βαθιά τρεις σειρές βεργών, προκειμένου να εντοπιστεί οποιαδήποτε μικρομετακίνηση των βάρθρων [Tony Watson, Volker Janssen., 2014].

Τα τρία πρώτα βάρθρα της βάσης έχουν τοποθετηθεί σε αποστάσεις 5 και 2.5m. Αυτός ο σχεδιασμός βοηθά στην διακρίβωση οργάνων με διαφορετικό μήκος κύματος. Για παράδειγμα, όργανα μέτρησης με μήκος κύματος ίσο με 3 χρησιμοποιούν τα βάρθρα 1 και 4, ενώ όργανα με μήκος κύματος 4 τα βάρθρα 1 και 2 [Tony Watson, Volker Janssen., 2014].

Αξίζει να αναφερθεί ότι η βάση έχει κατασκευαστεί κοντά σε καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος υψηλής τάσης, γεγονός το οποίο δεν έχει επίδραση στα μήκη που μετρώνται από τα ηλεκτροπτικά όργανα μέτρησης (εικόνα 3.2). Επίσης, επισημαίνεται ότι όσα οχήματα εισέρχονται στο χώρο της βάσης πρέπει να διατηρούν χαμηλές ταχύτητες και να κρατούν αποστάσεις από τα βάρθρα.



Εικόνα 3.2 Όργανο *Leica TC2003* τοποθετημένο στο βάρθρο 5 (Tony Watson, Volker Janssen., 2014)

Η βάση *Watson* είναι διαθέσιμη σε κάθε ιδιώτη προκειμένου να γίνει διακρίβωση του ηλεκτροπτικού οργάνου μέτρησης μηκών που έχει στην κατοχή του. Δίνονται τρεις επιλογές χρήσης της βάσης [Tony Watson, Volker Janssen., 2014]:

- **Συνήθης διακρίβωση EDM από τον πελάτη:** Ο πελάτης λαμβάνει τα κλειδιά του χώρου της βάσης και των καλυμμάτων των βάρθρων καθώς επίσης και οδηγίες για τη διακρίβωση οργάνων, φυλλάδια για

την σημείωση των μετρήσεων και ομπρέλες. Εάν ο πελάτης το επιθυμεί, μπορεί να δανειστεί εξοπλισμό μέτρησης ατμοσφαιρικών συνθηκών ή να χρησιμοποιήσει το δικό του.

- **Συνήθης διακρίβωση EDM υποβοηθούμενη από προσωπικό της ομάδας Τοπογραφικών και Χωρικών Δεδομένων:** Σε αυτή τη διαδικασία ο πελάτης μαθαίνει να χρησιμοποιεί τη βάση μετρολογικού ελέγχου υπό την επίβλεψη ειδικά εκπαιδευμένου προσωπικού.
- **Διακρίβωση EDM με μεγάλη ακρίβεια:** Σε περίπτωση υψηλών απαιτήσεων ακριβείας ακολουθείται μια διαφορετική διαδικασία (π.χ. παρακολούθηση φραγμάτων και γεφυρών, διακρίβωση μετρολογικών βάσεων). Η διακρίβωση γίνεται αποκλειστικά από ειδικό προσωπικό.

Για τα τελικά αποτελέσματα της διακρίβωσης των οργάνων με τη χρήση της βάσης του Watson, χρησιμοποιείται το πρόγραμμα *BASELINE*. Το πρόγραμμα αυτό υπολογίζει τις αποστάσεις μεταξύ των σημείων που μετρήθηκαν και τις σχετικές αβεβαιότητές τους και στη συνέχεια πραγματοποιεί μια συνόρθωση με τη μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων.

Παρόμοιες βάσεις μετρολογικού ελέγχου ηλεκτροπτικών οργάνων μέτρησης μηκών βρίσκονται σε όλη την ήπειρο, με τον ίδιο σχεδιασμό, με παρόμοιες συνθήκες χρήσης και παραγωγής αποτελεσμάτων.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής:

- *Braeside* – 11 βάθρα, συνολικό μήκος 1160m
- *Geelong* – 7 βάθρα, συνολικό μήκος 882m
- *Hamilton* – 11 βάθρα, συνολικό μήκος 1160m
- *Loy Yang* – 10 βάθρα, συνολικό μήκος 1000m
- *Mitcham* – 8 βάθρα, συνολικό μήκος 600m

Όλες οι βάσεις EDM στη Νέα Νότια Ουαλία και αυτές που λειτουργούν αλλά και εκείνες που είναι υπό κατασκευή ακολουθούν τον ίδιο σχεδιασμό με εκείνο της βάσης μετρολογικού ελέγχου στο *Heerbrugg* της Ελβετίας. Οι βάσεις αυτές διαθέτουν ίση κατανομή των αποστάσεων που μετρώνται με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς σε όλο το μήκος βάσης και επιτρέπει την ανίχνευση όλων των σφαλμάτων που επηρεάζουν την απόσταση, συμπεριλαμβανομένων του κυκλικού σφάλματος [Schwendener H.R., 1972, Rüeger J.M.R., 1996]. Ανάλογα με την θέση της βάσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν πρόσθετες περιβαλλοντικές πτυχές [Janssen V., 2012].

Φυσικά, η επεξεργασία της διακρίβωσης των γεωδαιτικών σταθμών μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους και με διαφορετικά εργαλεία [Rüeger J.M.R., 1996, Harvey B.R. 2009] όπως το πρόγραμμα EDMCAL. Εναλλακτικά, ένας αριθμός τοπογράφων χρησιμοποιεί ένα υπολογιστικό φύλλο που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Νέας Νότιας Ουαλίας (UNSW). Η τρέχουσα έκδοση 5.1 του προγράμματος EDMCAL δημιουργήθηκε το Δεκέμβριο του 2013.

Προκειμένου ένας τοπογράφος να κάνει κράτηση για να χρησιμοποιήσει κάποια από τις παραπάνω βάσεις ελέγχου στην Νέα Νότια Ουαλία έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα κρατήσεων. Η διαδικασία κράτησης είναι απλή και άμεση και αποτελείται από τα ακόλουθα τρία απλά βήματα. Πρώτον γίνεται επιλογή της ημερομηνίας κράτησης, στην συνέχεια γίνεται επιλογή της βάσης και τέλος ο διαθέσιμος χρόνος κράτησης.

Τελικά, ο χρήστης μετά το τέλος των μετρήσεων στην βάση παραλαμβάνει ένα πιστοποιητικό διακρίβωσης, στο οποίο αναγράφονται:


- Πληροφορίες σχετικά με τη βάση μετρολογικού ελέγχου
- Πληροφορίες του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε
- Παρατηρήσεις
- Συνορθωμένες παρατηρήσεις
- Διόρθωση δείκτη (index correction)
- Συντελεστή κλίμακας (scale factor)
- Κυκλικό σφάλμα
- Δείκτης μεταβλητότητας (*variance factor*)

Σύμφωνα με τους κανόνες που επικρατούν εάν προβλέπονται αντίξοες καιρικές συνθήκες, τότε δεν θα πρέπει να δανείζεται στους χρήστες τυποποιημένος μετεωρολογικός εξοπλισμός. Τέλος οι χρήστες θα πρέπει να συγκρίνουν το δικό τους εξοπλισμό με τον τυποποιημένο, πριν και μετά από τις μετρήσεις.

Παρακάτω τίθεται έντυπο των μετρήσεων (εικόνα 3.3) και της σύγκρισης του ατμοσφαιρικού εξοπλισμού (εικόνα 3.4) που χρησιμοποιείται στην βάση Watson στην Αυστραλία. σύμφωνα με τα έντυπα αυτά μπορούμε να λάβουμε υπόψιν και τον τρόπο μέτρησης των ατμοσφαιρικών δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την εικόνα 3.3 παρατηρούμε πως οι μετρήσεις των ατμοσφαιρικών δεδομένων (θερμοκρασία, πίεση και σχετική υγρασία), θα πρέπει να μετρούνται τόσο στη θέση του οργάνου όσο και στη θέση του ανακλαστήρα για κάθε μέτρηση.

Στην συνέχεια παρατίθεται ένα χαρακτηριστικό δείγμα πιστοποιητικού βαθμονόμησης (εικόνα 3.5 και εικόνα 3.6) της βάσης μετρολογικού ελέγχου Watson.


ACT
Government
Environment and Planning

EDM CALIBRATION SHEET – WATSON BASE

DATE	OBSERVER	ASSISTANT	ORGANISATION	INSTR. MAKE	INSTRUMENT MODEL	SERIAL No.	REFL. MAKE	REFLECTOR MODEL	SERIAL No.	CONSTANT

(SEE OVER FOR ADDITIONAL REQUIRED EDM DETAILS)

THERMOMETERS		BAROMETER		WEATHER CONDITIONS	
INSTR.	SERIAL No.	CORRM	INSTRUMENT	SERIAL No.	CORRM
		± °C	TERRA MB-S	3099GE	± mb
REFL.		± °C			

CHECKLIST

Instrument shaded
 Met. Equipment shaded
 Index constant set to ZERO
 Instr. Re-pointed for each meas.
 SLOPE DISTANCES

Is the EDM a Pulse Distance Meter?
 NO: PFM set to ZERO
 YES: Enter Temperature and Pressure into EDM for each inter-pillar distance

FROM PILLAR	TO PILLAR	Ht. of Inst.	Ht. of Reflector	INSTR. TEMP. (°C)	REFL. TEMP. (°C)	MEAN TEMP. (°C)	PRESSURE (mb)	SLOPE DISTANCES					TIME	COMMENTS
								(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		
								*	*	*	*	*		

Signed: Postal Address: Page of

EDM Calibration Booking Sheet v4. Office of the Surveyor-General 24/11/2011

Εικόνα 3.3 Έντυπο μετρήσεων στην μετρολογική βάση ελέγχου Watson (Surveyor-General of the Australian Capital Territory.,2004)

EDM CALIBRATION SHEET (continued)

Please complete the following EDM details required for the calibration software. These values can be found in the instrument documentation, or can be obtained from the dealer where the instrument was purchased, or may be available from the instrument maker's Website.

EDM DETAILS

Make		Carrier Wave Length	mm
Model		Pulse Distance Meter?	Y / N
Serial No.		Manufacturer's Std. Dev. Additive Constant	mm
Unit Length	m	Manufacturer's Std. Dev. PPM	
Frequency	MHz	Comments	

THERMOMETER COMPARISON
BEFORE FIELDWORK

THERMOMETER	SERIAL No.	OBSERVED TEMP. (°C)	CORR'N	ADJUSTED TEMP. (°C)
FLUKE 51 II Digital	12130032			
FLUKE 51 II Digital	12130033			
FLUKE 51 II Digital	27380453			
FLUKE 51 II Digital	27490154			
Ames-Digit ad 15 th	3			

AFTER FIELDWORK

THERMOMETER	SERIAL No.	OBSERVED TEMP. (°C)	CORR'N	ADJUSTED TEMP. (°C)
FLUKE 51 II Digital	12130032			
FLUKE 51 II Digital	12130033			
FLUKE 51 II Digital	27380453			
FLUKE 51 II Digital	27490154			
Ames-Digit ad 15 th	3			

BAROMETER COMPARISON
BEFORE FIELDWORK

BAROMETER	SERIAL No.	OBSERVED PRESSURE (mb)	CORR'N	ADJUSTED PRESSURE (mb)
Wallace & Tieman (office standard)	13507			
Wallace & Tieman (office standard)	13508			
(a) Mean =				

AFTER FIELDWORK

BAROMETER	SERIAL No.	OBSERVED PRESSURE (mb)	CORR'N	ADJUSTED PRESSURE (mb)
Wallace & Tieman (office standard)	13507			
Wallace & Tieman (office standard)	13508			
(a) Mean =				

TERRA MB-5 (field unit)	30220E	(1)	
		(2)	
		(3)	
(b) Mean =			
CORRECTION =			
(a) - (b)			mb

TERRA MB-5 (field unit)	30220E	(1)	
		(2)	
		(3)	
(b) Mean =			
CORRECTION =			
(a) - (b)			mb

Εικόνα 3.4 Έντυπο σύγκρισης ατμοσφαιρικού εξοπλισμού (Surveyor-General of the Australian Capital Territory.,2004)

EDM Calibration Certificate

This report has been generated by program Baseline Version 5.3.0.4, developed by the Department of Land Information, Western Australia. Use of this application elsewhere should rely on baseline distances certified by the relevant authority.

Date of Calibration: 20/10/2004 Computation Date: 21/10/2004
Instrument Operator: Gavin Evans Computation Time: 15:47:52

Equipment Details

Instrument Owner: ACTGSO
Owner Address: 16 Challis St Dickson ACT Reflector Make: Sokkia
EDM Instrument Make: Sokkia Reflector Model: APS12
EDM Instrument Model: 2220 Serial Number: No. 1
EDM Serial Number: 33183 Reflector Constant: -30 mm

Baseline Details

Name: Watson Location: Stirling Avenue, Watson ACT
Authority: ACTGSO Last calibration Date: 14/11/2003

This baseline consists of known lengths, which are the certified distances between the pillars of the baseline. All certified distances are on the same horizontal plane and on the same vertical plane running through the first and last stations.

The baseline has been calibrated in accordance with the NATA requirements, which include the requirements of ISO/IEC 17025. This document shall not be produced, except in full.

Instrument Correction (IC) in mm (to be added to the instrument reading)

$$IC = -28.54 - 0.00460 D + 1.44 \sin(36D) - 0.52 \cos(36D) \\ - 0.08 \sin(72D) - 0.07 \cos(72D) \\ + \text{Reflector Constant(mm)}$$

Where D = distance in metres

The reflector constant has been entered into the instrument

CYCLIC ERRORS ARE SIGNIFICANT

Calibration Parameters	Value	Uncertainty(95%)
Index	-28.54 mm	0.86 mm
Scale	-4.60 ppm	1.94 ppm
1 - Cyclic	1.44 mm	0.47 mm
2 - Cyclic	-0.52 mm	0.31 mm
3 - Cyclic	-0.08 mm	0.38 mm
4 - Cyclic	-0.07 mm	0.42 mm

The instrument correction has been determined from measurements in the range of 47 to 1001 metres



The tests, calibrations or measurements covered by this document have been performed in accordance with the NATA requirements which include the requirements of ISO/IEC 17025 and are traceable to Australian national standards for measurements. This document shall not be produced except in full.

NATA Accredited Laboratory
Number 15005

© Crown copyright reserved
21/10/2004 8:34:05

Εικόνα 3.5 Πιστοποιητικό Βαθμονόμησης I (Surveyor-General of the Australian Capital Territory.,2004)

Job Identification: Example 1

EDM Calibration Certificate

This report has been generated by program Baseline Version 5.3.0.4, developed by the Department of Land Information, Western Australia.

Use of this application elsewhere should rely on baseline distances certified by the relevant authority.

Uncertainty of the Instrument Correction

Minimum standard for the uncertainty of calibration of an EDM instrument is 4.00 mm + 20.00 ppm as described in terms of Recommendation No.8 of the Working Party of the National Standards Commission on the calibration of EDM Equipment of 1 February, 1983. All uncertainties are specified at the 95% confidence level. A coverage factor of 2 has been used for the uncertainty computations.

Uncertainty of instrument correction : 0.86 mm + 1.94 ppm

Distance (metres)	Instrument Uncertainty (mm)	Minimum Standard (mm)	Comparison Test
50	0.92	5.00	PASS
100	0.83	6.00	PASS
200	0.66	8.00	PASS
300	0.58	10.00	PASS
400	0.55	12.00	PASS
600	0.73	16.00	PASS
1000	0.80	20.00	PASS

This instrument satisfies the National Standards Commission standards.

First Velocity Correction (Atmospheric Correction)

$$\text{Correction} = \left[279.43 - \frac{79.35P}{(273.15 + T_D)} + \frac{11.27e}{(273.15 + T_D)} \right] \text{distance}/1000000$$

Where T_D = Dry Temperature(Celsius), P = Barometric pressure(hectapascals)
 e = partial Vapour Pressure (hectapascals)

The first velocity correction is based on a velocity of light of 299792458.00 m/s and on the refractive index formulae recommended by the International Association of Geodesy in 1999.

Data entry by:..... Results checked by:.....

Position:..... Position:.....

Signature: Signature:.....



The tests, calibrations or measurements covered by this document have been performed in accordance with the NATA requirements which include the requirements of ISO/IEC 17025 and are traceable to Australian national standards for measurements. This document shall not be produced, except in full.

NATA Accredited Laboratory
Number 15005

© Crown copyright reserved
21/10/2004 8:34:05

Εικόνα 3.6 Πιστοποιητικό Βαθμονόμησης II (Surveyor-General of the Australian Capital Territory.,2004)

Βάση της εταιρείας Leica Geosystems στο Heerburg

Η εταιρεία *Leica Geosystems* είναι μια από τις λίγες, παγκοσμίως, εταιρείες κατασκευής τοπογραφικών οργάνων, στην οποία επιτρέπεται η έκδοση πιστοποιητικών βαθμονόμησης, όπως ακριβώς και σε ένα εθνικό διαπιστευμένο σώμα. Η πρωτοπορία αυτή, σημαίνει αυξημένη διαφάνεια και μεγαλύτερη δυνατότητα σύγκρισης, άρα και περισσότερη εμπιστοσύνη από τους πελάτες. Προκειμένου να διεξάγονται με επιτυχία οι δοκιμές που απαιτούνται για την έκδοση των πιστοποιητικών, η εταιρεία προχώρησε στην κατασκευή μιας εξωτερικής βάσης ελέγχου μηκών [Αλεξίου Α., 2011].

Η βάση βρίσκεται στην κοίτη του ποταμού Ρήνου κοντά στο *Heerburg*, στα σύνορα Ελβετίας - Γερμανίας. Στο σημείο αυτό, η όχθη του ποταμού είναι ευθεία για τρία χιλιόμετρα, χωρίς εμπόδια στην σκοπευτική γραμμή, πράγμα το οποίο είναι σχετικά σπάνιο, αφού η περιοχή είναι πυκνοκατοικημένη.

Το έδαφος στο οποίο βρίσκεται η βάση αποτελείται από πέτρες και βράχους. Η βάση αποτελείται από ειδικά βάθρα κατασκευασμένα από τσιμέντο (μπετόν), με το μέρος που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους να είναι καλυμμένο με πλαστικό κύλινδρο, προκειμένου να προστατεύεται από την θερμότητα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (εικόνα 3.7).

Στην κεφαλή κάθε βάθρου είναι μόνιμα τοποθετημένο τρικόχλιο, στο οποίο τοποθετείται κάθε φορά το υπό έλεγχο όργανο και αντίστοιχα αντάπτορας με ανακλαστήρα. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται όχι μόνο η μοναδικότητα στην κέντρωση, αλλά και στην οριζοντίωση του οργάνου. Ακόμη, πάνω σε κάθε βάθρο τοποθετείται σύστημα μέτρησης των ατμοσφαιρικών συνθηκών με μικρό ανεμιστήρα (εικόνα 3.7).

Οι ατμοσφαιρικές παράμετροι που είναι αναγκαίο να μετρώνται είναι οι [Αλεξίου Α., 2011]:

- Θερμοκρασία
- Ατμοσφαιρική Πίεση
- Υγρασία

Η βάση είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται από το ISO 17123 – 4 και η βαθμονόμηση γίνεται με τη μέτρηση μηκών 500m, 1000m, 2000m και 3000m. Το τυπικό εύρος βαθμονόμησης είναι τα 500m, με ένα συνδυασμό μετρήσεων 21 μηκών. Τα μεγαλύτερα μήκη των 1000, 2000 και 3000m χρησιμοποιούνται κατόπιν αιτήσεως [Αλεξίου Α., 2011].



Εικόνα 3.7 Βάθρο 3 της βάσης στο Heerburg και σύστημα μέτρησης των καιρικών συνθηκών

Στον αρχικό σχεδιασμό της βάσης, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στη σωστή κατανομή των μηκών με βάση τα μήκη κύματος των EDM, προκειμένου να ανιχνευθούν πιθανά κυκλικά σφάλματα.

Βάση του Universität der Bundeswehr München

Το πανεπιστήμιο *Bundeswehr* (εικόνα 3.8) βρίσκεται στο Μόναχο της Γερμανίας και στις εγκαταστάσεις του έχει πρόσφατα κατασκευαστεί μια εξωτερική βάση βαθμονόμησης οργάνων [Αλεξίου Α., 2011].



Εικόνα 3.8 Βάση του Πανεπιστημίου του Bundeswehr στο Μόναχο (Google Earth)

Το πανεπιστήμιο *Bundeswehr* ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1973, με το σκοπό να παρέχει σε αξιωματικούς και υποψήφιους αξιωματικούς, μια πανεπιστημιακή εκπαίδευση, αλλά και να τους προετοιμάσει για πολιτική καριέρα.

Η βάση είναι κατασκευασμένη σε μια θεμελιωμένη όχθη ποταμού όπου δεν υπάρχει καμία σκιά, ενώ παράλληλα υπάρχει καλός αερισμός.

Οι μετρήσεις της βάσης διήρκεσαν από τον Οκτώβριο του 2009 έως τον Οκτώβριο του 2010, ενώ μέχρι τον Ιανουάριο του 2011 γινόταν εκτίμηση των αποτελεσμάτων [Αλεξίου Α., 2011].

3.2 Βάσεις μετρολογικού ελέγχου στην Ελλάδα

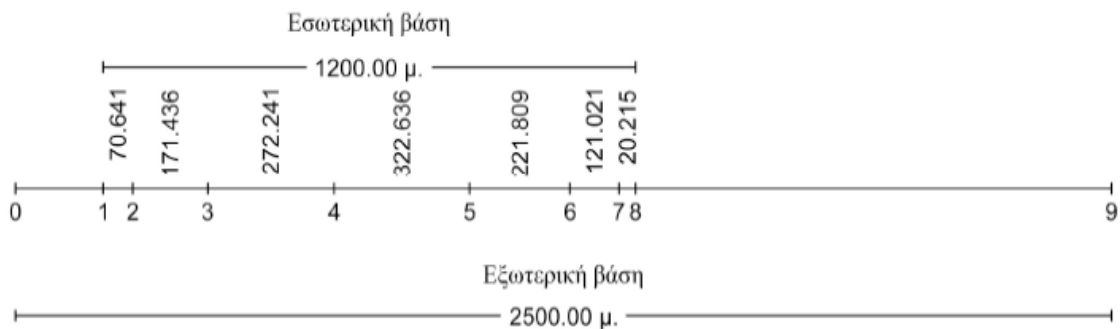
Βάση Αξιού - Θεσσαλονίκη

Στη συνέχεια περιγράφεται η βάση ελέγχου και βαθμονόμησης ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης αποστάσεων του Τομέα Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του ΤΑΤΜ που εγκαταστάθηκε στο ανατολικό ανάχωμα του ποταμού Αξιού στην περιοχή Χαλάστρας Θεσσαλονίκης (εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9 Η βάση του Αξιού στην περιοχή του Αεροδρομίου Θεσσαλονίκης (Ρωσσικόπουλος Δ., 1997)

Η βάση αποτελείται από δύο τμήματα (σχήμα 3.2): το εσωτερικό τμήμα, ειδικά σχεδιασμένο για τη βαθμονόμηση συνήθων ηλεκτρομαγνητικών οργάνων (εμβέλεια με ένα πρίσμα έως 1200 μέτρα) και το εξωτερικό τμήμα, για τη βαθμονόμηση οργάνων μεγαλύτερης εμβέλειας (έως 2000 μέτρα) [Ρωσσικόπουλος Δ., 1997].



Σχήμα 3.2 Η βάση όλων των συνδυασμών του Αξιού για τη βαθμονόμηση της προσθετικής σταθεράς και του κυκλικού σφάλματος των EDM (Ρωσσικόπουλος Δ., 1997)

Η βάση Αξιού βασίζεται στις τέσσερις ακόλουθες αρχικές παραμέτρους:

$U (= \lambda / 2)$: Η μονάδα μέτρησης των οργάνων που πρόκειται να βαθμονομηθούν

A : Το μικρότερο τμήμα της βάσης, πολλαπλάσιο του U

C : Το ολικό μήκος της βάσης

N : Αριθμός των βάρων

Ο αριθμός των βάρων N επιλέγεται με βάση την ακρίβεια προσδιορισμού της προσθετικής σταθεράς z και των συνιστωσών του κυκλικού σφάλματος. Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται κάτω από μέσες ατμοσφαιρικές συνθήκες του πεδίου εργασίας του οργάνου.

Επίσης, για λόγους καθαρά υπολογιστικούς, πρέπει να αγνοούνται τα τμήματα από τα άκρα της βάσης, ώστε το τελικό της μήκος να καλύπτεται από την εμβέλεια του οργάνου. Με αυτή τη λογική χωρίστηκε η βάση του Αξιού σε εσωτερικό και εξωτερικό τμήμα.

Ο σχεδιασμός της βάσης έγινε με τον υπολογισμό των παραμέτρων σχεδιασμού που είναι: η παράμετρος B_0 , D , η τελική τιμή B που προκύπτει από τη στρογγυλοποίηση της B_0 στην πιο κοντινή τιμή της A και τέλος το τελικό μήκος της βάσης C . Στον πίνακα 3.1 δίνονται οι τιμές των παραμέτρων B_0 και D , ενώ στο πίνακα 3.2 τα τμήματα της βάσης καθώς και το τελικό της μήκος. Στον πίνακα 3.3 δίνονται οι τελικές τιμές των τμημάτων της Βάσης του Αξιού.

Αριθμός σημείων	B ₀	D
5	$\frac{1}{6} (C_0 - 4A - U)$	$\frac{1}{16} U$
6	$\frac{1}{10} (C_0 - 5A - U)$	$\frac{1}{25} U$
7	$\frac{1}{15} (C_0 - 6A - U)$	$\frac{1}{36} U$
8	$\frac{1}{21} (C_0 - 7A - U)$	$\frac{1}{49} U$

Πίνακας 3.1 Οι τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού B₀ και D της βάσης του Αξιού (Ρωσικόπουλος Δ., 1997)

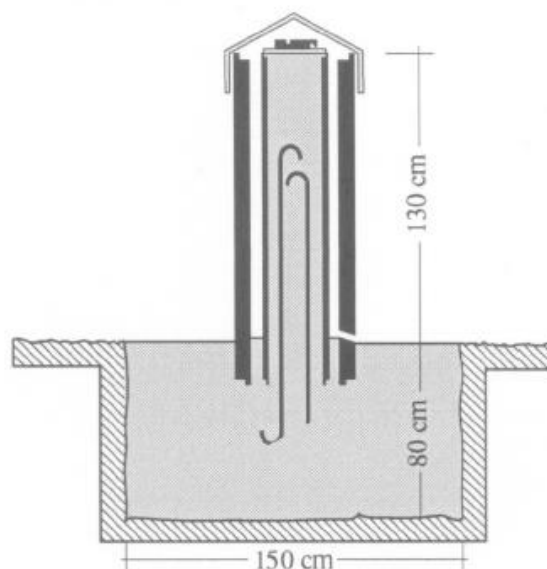
Τμήμα	Βάση με:			
	5 σημεία	6 σημεία	7 σημεία	8 σημεία
1	A+B+3D	A+B+3D	A+B+3D	A+B+3D
2	A+3B+7D	A+3B+7D	A+3B+7D	A+3B+7D
3	A+2B+5D	A+4B+9D	A+5B+11D	A+5B+11D
4	A+D	A+2B+5D	A+4B+9D	A+6B+13D
5		A+D	A+2B+5D	A+4B+9D
6			A+D	A+2B+5D
7				A+D
C=	4A+6B+16D	5A+10B+25D	6A+15B+36D	7A+21B+49D

Πίνακας 3.2 Τα ενδιάμεσα τμήματα και το τελικό μήκος C της βάσης του Αξιού (Ρωσικόπουλος Δ., 1997)

Σημεία	1	2	3	4	5	6	7
2	70.642						
3	242.078	171.43					
4	514.318	443.67	272.24				
5	836.953	766.33	594.90	322.25			
6	1058.762	988.16	816.73	544.49	221.84		
7	1179.782	1109.18	937.76	665.51	342.86	121.02	
8	1200.000	1129.39	957.96	685.71	363.06	141.22	20.20

Πίνακας 3.3 Οι αποστάσεις της εσωτερικής βάσης Αξιού (Ρωσικόπουλος Δ., 1997)

Η κατασκευή των βάθρων της βάσης ακολουθούν τις προδιαγραφές των δικτύων υψηλής ακρίβειας, δηλαδή κατασκευάστηκαν από οπλισμένο σκυρόδεμα με καλή θεμελίωση, έχουν ύψος 1.30 m., κυκλική διατομή διαμέτρου 0.35 m. και περιβάλλονται από προστατευτικό σωλήνα από σκυρόδεμα (σχήμα 3.3). Το διάκενο ανάμεσα στον προστατευτικό αυτόν σωλήνα και το βάθρο γεμίζεται συνήθως με μονωτικό υλικό.



Σχήμα 3.3 Σχέδιο βάθρου μετρήσεων της βάσης (Bulletin Kern) καθώς και της βάσης του Αζιού (Ρωσικόπουλος Δ., 1997)

Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το όργανο θα αρχίσει να μετράει περίπου σε 30 λεπτά αφού τοποθετηθεί στο βάθρο και θα βρίσκεται σε σκιά, ώστε να αποφευχθεί αλλαγή συχνότητας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων εξαιτίας της μεταβολής της θερμοκρασίας του οργάνου.

Τα θερμομέτρα υγρού και ξηρού αέρα και τα βαρόμετρα που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα στα δύο άκρα της απόστασης που μετριέται, θεωρούνται πρότυπα όργανα και θα πρέπει προηγουμένως να έχουν ελεγχθεί [Ρωσικόπουλος Δ., 1997].

Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο Σχοινιά

Σύμφωνα με τις οδηγίες που περιγράφονται στο ISO 17123-4 ιδρύθηκε μία βάση σε εξωτερικό χώρο για την πιστοποίηση οργάνων μέτρησης μηκών. Ο σχεδιασμός της βάσης και η κατασκευή της άρχισε τον Μάρτιο του 2013 και ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2014. Επιλέχθηκε ο χώρος των εγκαταστάσεων του Ολυμπιακού Κωπηλατοδρομίου στο Σχοινιά μετά από σχετική άδεια της Εταιρείας Ακινήτων Δημοσίου ΑΕ [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Μπαλλής Β., 2016]. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε αυτός ο

χώρος διότι απαιτείται μια ευθεία, μήκους περίπου 600m, με μικρή ή μηδενική κλίση και προσανατολισμό Βορρά - Νότου. Παρακάτω φαίνεται ξεκάθαρα η περιοχή που επιλέχθηκε καθώς και το μήκος της βάσης με κόκκινο χρώμα (εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.10 Περιοχή εγκατάστασης της βάσης

Για την υλοποίηση των σημείων που αποτελούν τη βάση χρησιμοποιήθηκε ειδική διάταξη (εικόνα 3.11) μεταλλικό φορητό βάθρο το οποίο τοποθετήθηκε σε φρεάτιο διαστάσεων 40cm x 40cm και βάθους 0.50m. Η κάθε διάταξη πακτώθηκε στο φρεάτιο με ειδικές μεταλλικές βέργες στις άκρες των οποίων υπήρχαν ειδικές βίδες, ώστε να είναι δυνατή η ακριβής οριζοντίωση της διάταξης, με τη βοήθεια επιβατηγών αεροσταθμών.

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση κάθε σημείου της βάσης είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο βαρέως τύπου. Πάνω σε αυτή τη διάταξη προσαρμόζεται - βιδώνεται ειδικά κατασκευασμένος και εργαστηριακά ελεγμένος στυλεός (εικόνα 3.12), ο οποίος φέρει κεφαλή με ενσωματωμένο κοχλία 5/8, ώστε να προσαρτάται κατά μοναδικό τρόπο (εξαναγκασμένη κέντρωση) τρικόχλιο και να τοποθετείται πάνω του ανακλαστήρας ή ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός ή δέκτης του δορυφορικού συστήματος GNSS [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Μπαλλής Β., 2016].



Εικόνα 3.11 Το φρεάτιο και η διάταξη



Εικόνα 3.12 Ο ειδικός στυλός

Τοποθετήθηκαν συνολικά 9 τέτοιες διατάξεις. Οι 7 τοποθετήθηκαν σε αποστάσεις όπως αυτές ορίζονται από το ISO 17123-4 για τον έλεγχο των μηκών, σε ανάπτυγμα 590m. Οι άλλες 2 διατάξεις τοποθετήθηκαν σε αποστάσεις 1000m και 2000m αντίστοιχα με σκοπό να χρησιμοποιηθούν για την έρευνα της μεθοδολογίας πιστοποίησης δεκτών του δορυφορικού συστήματος GNSS [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Μπαλλής Β., 2016]. Το μήκος στο οποίο εκτείνεται η βάση ελέγχου φαίνεται με κόκκινο χρώμα στην εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13 Μήκος βάσης ελέγχου στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά

Η βάση αυτή έχει μετρηθεί με πρότυπο όργανο για τον υπολογισμό των πρότυπων τιμών καθώς επίσης και με χωροβάτη για τον προσδιορισμό των ορθομετρικών υψομέτρων του κάθε βάθρου, με την μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμησης. Στον πίνακα 3.4 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι σχετικές θέσεις των 9 βάθρων καθώς και οι μεταξύ τους ορθομετρικές υψομετρικές διαφορές.

Σημείο	Μήκος από αρχή θεωρητικό D(m)	Μήκος από αρχή πραγματικό D(m)	Μήκος μεταξύ ΔDij(m)	Σχετικό υψόμετρο H(m)	Ορθομετρική υψομετρική διαφορά μεταξύ ΔH(m)	Ορθομετρικό υψόμετρο H(m)	
B1	0.000	0.0000	d1=45.4109	0.000	+0.005	1.410	
B2	45.420	45.4109		d2=115.9701		0.005	+0.003
B3	161.390	161.3810	d3=186.5408		0.008	1.418	
B4	347.920	347.9218			d4=151.2310	0.008	
B5	499.170	499.1528	d5=80.6964	0.010		+0.002	1.420
B6	579.860	579.8492		d6=10.1393	0.009	-0.001	1.419
B7	590.000	589.9885	d7=410.0271		0.008	-0.001	1.418
B8	1000.000	1000.0156		d8=999.9993	0.021	+0.013	1.431
B9	2000.000	2000.0149	0.010		-0.011	1.420	

Πίνακας 3.4 Οι σχετικές αποστάσεις και υψομετρικές διαφορές των 9 διατάξεων

Η χάραξη της βάσης ελέγχου μηκών, δηλαδή της θέσης των 9 διατάξεων έγινε χρησιμοποιώντας τον πρότυπο γεωδαιτικό σταθμό Leica TDA 5005 και ειδικό πρίσμα ακριβείας.

Η διεύθυνση εγκατάσταση της βάσης είναι Βορράς - Νότος. Το αστρονομικό αζιμούθιο της ευθείας B9 - B1, που προσδιορίστηκε με αστρονομικές παρατηρήσεις στον Πολικό Αστέρα είναι ίσο με:

$$A_{B9-B1} = 396.9000^g \pm 2.6^{cc} = 357^\circ 12' 36'' \pm 0.8'' \quad (3.3)$$

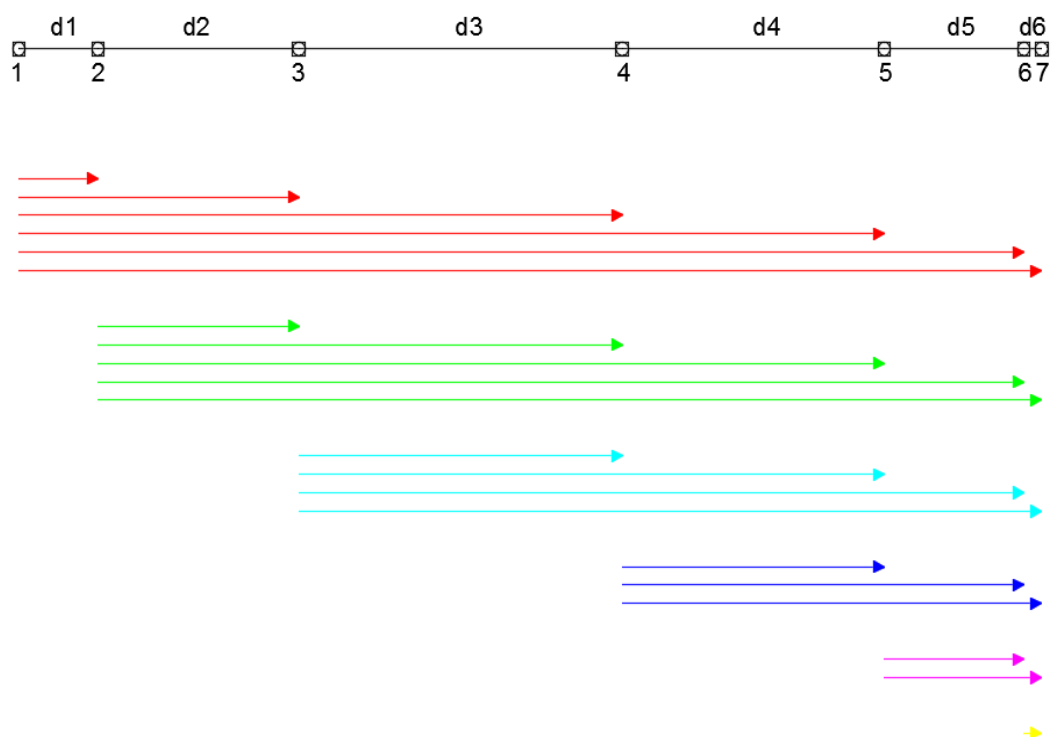
Το αντίστοιχο γεωδαιτικό αζιμούθιο, το οποίο προσδιορίστηκε με μετρήσεις με δέκτες του δορυφορικού συστήματος, είναι ίσο με:

$$AG_{B9-B1} = 396.8963^g \pm 0.1^{cc} = 357^\circ 12' 24'' \pm 0.1'' \quad (3.4)$$

3.3 Βαθμονόμηση βάσης ελέγχου

Η βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου στο Σχοινιά θα γίνει με σκοπό τον προσδιορισμό των ακριβών τιμών των 21 μηκών όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4. Για να υπολογιστούν λοιπόν οι πρότυπες αυτές τιμές πρέπει να γίνουν μετρήσεις στην εξωτερική βάση ελέγχου με την χρήση οργάνου αναφοράς. Ως όργανο αναφοράς θα χρησιμοποιηθεί ο σταθμός **TDA 5005 της εταιρίας Leica**.

Αρχικά θα μετρηθούν όλα τα μήκη που σχηματίζονται ανάμεσα στα 7 βάθρα όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.4 Μετρούμενα μήκη κατά την βαθμονόμηση της βάσης

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων λαμβάνονται δεδομένα θερμοκρασίας T ($^{\circ}\text{C}$), ατμοσφαιρικής πίεσης P (atm) και υγρασίας (%) για τον υπολογισμό των ατμοσφαιρικών διορθώσεων και τη διόρθωση των μετρούμενων τιμών.

3.3.1 Ο σταθμός αναφοράς

Το όργανο το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως σύστημα αναφοράς για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών της βάσης ελέγχου είναι το **TDA 5005 της Leica** (εικόνα 3.14), ενώ τα παρελκόμενα περιγράφονται παρακάτω.



Εικόνα 3.14 Όργανο TDA 5005

Εξωτερικά χαρακτηριστικά

Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TDA 5005 της εταιρείας Leica είναι όργανο υψηλής ακρίβειας για ειδικές εφαρμογές, διαθέτει πληκτρολόγιο και οθόνη και από τις δύο όψεις, γεγονός που διευκολύνει την εργασία του χρήστη, αφού ο χειρισμός του οργάνου μπορεί να γίνει μπροστά του ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του τηλεσκοπίου. Στην οθόνη εμφανίζονται όλες οι λειτουργίες του οργάνου, καθώς και οι εντολές που δίνονται κάθε φορά από το πληκτρολόγιο.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου TDA 5005, όπως αυτό δίνονται από την κατασκευάστρια εταιρεία Leica, φαίνονται στον πίνακα 3.5.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΩΝΙΩΝ	
Ακρίβεια Οριζοντίων και Κατακορύφων Γωνιών (DIN 18723)	$\pm 1.5''$ (0.5")
ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΩΝ	
Εύρος: 1 - 3 πρίσματα	
Άσχημες Συνθήκες	1200/1500m
Μέτριες Συνθήκες	2500/3500m
Άριστες Συνθήκες	3500/5000m
ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΩΝ	
Standar Mode	
Τυπικό Σφάλμα	$\pm 1\text{mm} \pm 2\text{ppm}$
Χρόνος Μέτρησης	2 sec
Tracking Mode	
Τυπικό Σφάλμα	$\pm 1\text{mm} \pm 2\text{ppm}$
Χρόνος Μέτρησης	0.3sec
Repeat Measurement	
Χρόνος Μέτρησης	0.3sec
Rapid Tracking	
Τυπικό Σφάλμα	$\pm 10\text{mm} \pm 2\text{ppm}$
Χρόνος Μέτρησης	0.15sec
Precision Measurement	
Τυπικό Σφάλμα	$\pm 1\text{mm} \pm 2\text{ppm}$
Χρόνος Μέτρησης	3sec

ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΟ	
Μεγέθυνση / Εικόνα	32X / ορθή
Διάμετρος αντικειμενικού φακού	42mm
Ελάχιστη απόσταση εστίασης	1.7m
Εστίαση	γρήγορη / ακριβείας
Οπτικό πεδίο	1ο 33"
Μεταφορά	πλήρης
ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΤΗΣ	
Τύπος	υγρού
Αριθμός Αξόνων / Εναλλαγή on/off	δύο / ναι
Εύρος (+/-)	0,07 grad (5' 47")
Ακρίβεια	0,1cc (≤0,3")
ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΗΣ ΑΕΡΟΣΤΑΘΜΗΣ	
Σφαιρική αεροστάθμη	4' / 2mm
ΟΠΤΙΚΗ ΚΕΝΤΡΩΣΗ	
Θέση	τρικόγλιο
Μεγέθυνση (X)	2
ΜΠΑΤΑΡΙΑ (ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ)	
Τύπος / Βόλτ	NiCd / 12V
Χωρητικότητα	1,1 Ah
Μετρήσεις	600 γωνίες & αποστάσεις
Χρόνος φόρτισης	14 hr
Άλλες μπαταρίες	εξωτερική (προαιρετική), μπαταρία αυτοκινήτου
ΒΑΡΟΣ	
Όργανο	7.5 kg
Τρικόγλιο	0.9 kg
Μπαταρία εσωτερική	0.3 kg

*Πίνακας 3.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωδαιτικού σταθμού
TDA 5005 Leica*

Διακρίβωση οργάνου

Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TDA 5005, διακριβώθηκε για το εργαστήριο Γενική Γεωδαισία της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, στο εργοστάσιο της Leica Geosystems στην Ελβετία. Τα έντυπα της διακρίβωσης (εικόνα 3.15 και εικόνα 3.16) φαίνονται παρακάτω. Το όργανο αυτό, διακριβώθηκε μαζί με το ειδικά κατασκευασμένο κατάφωτο CCR 1,5", το οποίο περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω. Το πιστοποιητικό διακρίβωσης του γεωδαιτικού σταθμού TDA 5005 παρατίθεται στις επόμενες σελίδες.

Η τελική ακρίβεια του οργάνου που προέκυψε από τη διακρίβωση φαίνονται στον πίνακα 3.6 και είναι:

Διακρίβωση TDA 5005		
Με το πρίσμα CCR 1.5"	Τυπική απόκλιση μιας μέτρησης για μήκη ως 120m	±0.1mm
Με κυκλικό πρίσμα	Τυπική Απόκλιση μηκών (μήκη από 19.5 έως 501.5)	±0.4mm

Πίνακας 3.6 Ακρίβειες μηκών διακρίβωσης TDA 5005

Producer Inspection Certificate M

in accordance with DIN 55350-18-4.2.2

Product / Article No: TDA5005 / 575673
Serial no.: 439142
Inspection date: October 09, 2013
Ordered by: METRICA AE, 14452 ATHENS, GREECE
Your order number: --
Customer:

1. Specifications: a) Distance Measurement to reflector (CCR 1.5")
Maximum Deviation (MPE) 0.5 mm

2. Test results: a) Distance Measurement to reflector (CCR 1.5")
Maximum Deviation ± 0.5 mm
Standard Deviation (1 σ) of a single measurement 0.2 mm
Additive Constant (AC) 35.4 mm

3. Certificate: We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.
The test equipment used is traceable to national standards or to recognized procedures. This is established by our Quality Management System, audited to ISO 9001:2008 by an independent national accredited body.

Leica Geosystems AG

October 18, 2013




Andre Hug
Central Technical Service


Manfred Hofer
Central Technical Service

Leica Geosystems AG
Heinrich-Wild-Strasse
CH-8435 Heerbrugg
Switzerland
www.leica-geosystems.com
Page 1/2 500758258-1.doc

- when it has to be right



Εικόνα 3.15 Έλεγχος και διακρίβωση του Leica TDA 5005 – Μέρος 1

Measurement Report

Distance Measurement to reflector (CCR 1.5")

Distance Deviation

Product	: TDA5005	Temperature	: 22.6 °C
Serial no.	: 439142	Pressure	: 973.8 hPa
Inspection date	: October 09, 2013	Humidity	: 54 % r.h.
Inspected by	: LMART	Target	: Corner cube reflector (Leica CCR 1.5")

No.	True distance [mm]	Measured distance (\bar{x} , n=3) [mm]	Difference [mm]	Distance linearity (measured distance minus true distance)
				[mm]
1	2184.2	2183.7	-0.5	
2	3684.2	3684.1	-0.1	
3	4434.2	4434.0	-0.2	
4	5134.0	5133.7	-0.3	
5	5934.0	5934.0	0.0	
6	6684.5	6684.5	0.0	
7	11934.6	11934.9	0.3	
8	26734.6	26734.8	0.2	
9	30934.7	30935.0	0.3	
10	48534.6	48534.7	0.1	
11	56185.0	56185.0	0.0	
12	60034.9	60035.0	0.1	
13	63811.2	63811.3	0.1	
14	67661.2	67661.4	0.2	
15	75311.5	75311.6	0.1	
16	92911.4	92911.5	0.1	
17	97111.5	97111.6	0.1	
18	111911.5	111911.6	0.1	
19	117161.6	117161.5	-0.1	
20	117912.1	117912.0	-0.1	
21	118712.1	118712.0	-0.1	
22	119411.9	119411.8	-0.1	
23	120161.9	120161.7	-0.2	
24	121662.0	121661.9	-0.1	

• single measurement
◇ mean of three measurements

Maximum Deviation	: ± 0.5 mm
Standard deviation of a single measurement m_0	: 0.2 mm
Additive Constant	: 35.4 mm

Εικόνα 3.16 Έλεγχος και διακρίβωση του Leica TDA 5005 – Μέρος 2

Ο σταθμός TDA 5005 της εταιρείας Leica διαθέτει τη δυνατότητα ηλεκτρονικού ελέγχου και αυτόματης διόρθωσης ορισμένων βασικών συνθηκών, απαραίτητων για τη σωστή λειτουργία τους. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγονται συστηματικά σφάλματα στις μετρήσεις, που οφείλονται στη μη πλήρωση των συνθηκών αυτών. Τα σφάλματα αυτά περιγράφονται παρακάτω.

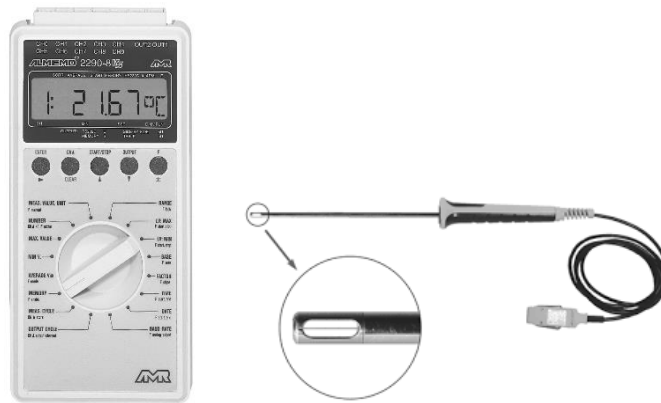
- Σφάλμα μη κατακορύφωσης του πρωτεύοντος άξονα (ΠΠ΄)
- Σφάλμα δείκτη του κατακόρυφου κύκλου
- Σφάλμα σκοπευτικού άξονα
- Σφάλμα δευτερεύοντος άξονα

Ο ανακλαστήρας που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου, είναι ένας απλός κυκλικός ανακλαστήρας της εταιρείας Leica (εικόνα 3.17). Απαραίτητη ήταν και η χρήση του αντάπτορα αλλά και των τρικοχλίων (εικόνα 3.17) προκειμένου να γίνει σωστά η οριζοντίωση του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού και των καταφώτων.



Εικόνα 3.17 Κυκλικό πρίσμα Leica, τρικόχλιο και αντάπτορας

Επιπλέον για τον έλεγχο των ατμοσφαιρικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα συλλογής ατμοσφαιρικών συνθηκών ALMEMO 2290-8 (εικόνα 3.18) καθώς επίσης και ο αισθητήρας Tinytag Plus 2 TGP-4500 (εικόνα 3.19).



Εικόνα 3.18 Σύστημα συλλογής ατμοσφαιρικών δεδομένων ALMEMO 2290-8 (Πηγή: <http://ps1.fce.vutbr.cz/katalog/metpok/76.pdf>)

Το σύστημα ALMEMO 2290-8 αποτελείται από δύο μέρη: από τη συσκευή ρυθμίσεων και προβολής των ενδείξεων και από τον εξωτερικό αισθητήρα. Τα δύο αυτά μέρη συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο.

Κατά τη χρήση του συστήματος, δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στο να βρίσκεται ο εξωτερικός αισθητήρας χαμηλά, κοντά στο έδαφος, αλλά να μην ακουμπά σε αυτό.

Τα δεδομένα που αφορούν στην διαδικασία των μετρήσεων στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και δίνονται από το θερμόμετρο είναι η Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$), η Πίεση (mbar) και η Υγρασία (%).

Το Tinytag Plus 2 TGP-4500 είναι μια ανθεκτική και αδιάβροχη συσκευή με ενσωματωμένους αισθητήρες καταγραφής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Καταγράφει θερμοκρασίες από -25°C έως 85°C και σχετική υγρασία από 0% RH έως 100% RH.



Εικόνα 3.19 Tinytag Plus 2 TGP-4500 (Πηγή: <http://www.geminidataloggers.com>)

Για να γίνει εφικτή λοιπόν η μέτρηση των ατμοσφαιρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν 2 συστήματα, όπου το ένα (Tinytag Plus 2 TGP-4500) ήταν τοποθετημένο δίπλα στον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό και το δεύτερο (ALMEMO 2290-8) στο ύψος του στόχου-ανακλαστήρα.

Τέλος προκειμένου να γίνει πιο εύκολη η διαδικασία μέτρησης χρησιμοποιήθηκαν και 4 ασύρματοι (εικόνα 3.20). Αυτό βοήθησε αρκετά στον χρόνο διεξαγωγής των μετρήσεων εφόσον η επικοινωνία μεταξύ του παρατηρητή και του στοχοφόρου ήταν άμεση.



Εικόνα 3.20 Πομποδέκτης ICOM IC-A15 VHF (Πηγή: <http://www.smart-tech.gr/Icom-IC-A15/S-VHF-Airband-Transceiver.html>)

3.3.2 Μετρήσεις - Υπολογισμοί

Το πρώτο στάδιο των μετρήσεων ήταν η μέτρηση της βάσης ελέγχου με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TDA 5005 όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.21, προκειμένου να αποκτήσουμε πρότυπες τιμές μέσω της βαθμονόμησης της.

Η βαθμονόμηση της βάσης έγινε στις 23 Απριλίου του 2016 και μετρήθηκαν όλα τα μήκη που σχηματίζονται ανάμεσα στα 7 σημεία και με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4.

Οι παραπάνω μετρήσεις οι οποίες έγιναν, υλοποιήθηκαν εφόσον είχε απενεργοποιηθεί η διόρθωση τους από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση και υγρασία). Αυτό έγινε προκειμένου να γίνει ακριβής καταγραφή των παραπάνω ατμοσφαιρικών δεδομένων για κάθε μέτρηση μήκους.



Εικόνα 3.21 Βάση ελέγχου – Χώρος διεξαγωγής μετρήσεων

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως το σύστημα συλλογής ατμοσφαιρικών δεδομένων τόσο στον Ο.Γ.Σ. όσο και στον στόχο, έπρεπε να είναι τοποθετημένο στην σκιά, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.22.



Εικόνα 3.22 Τοποθέτηση συστήματος συλλογής ατμοσφαιρικών δεδομένων

Για την μέτρηση της βάσης ήταν απαραίτητη η ύπαρξη τουλάχιστον 2 ατόμων καθώς επίσης και η χρήση του ασυρμάτου. Αυτό φαίνεται στις εικόνες 3.23 και 3.24.



Εικόνα 3.23 Μέτρηση βάσης ελέγχου με πρότυπο όργανο



Εικόνα 3.24 Μέτρηση βάσης ελέγχου με πρότυπο όργανο

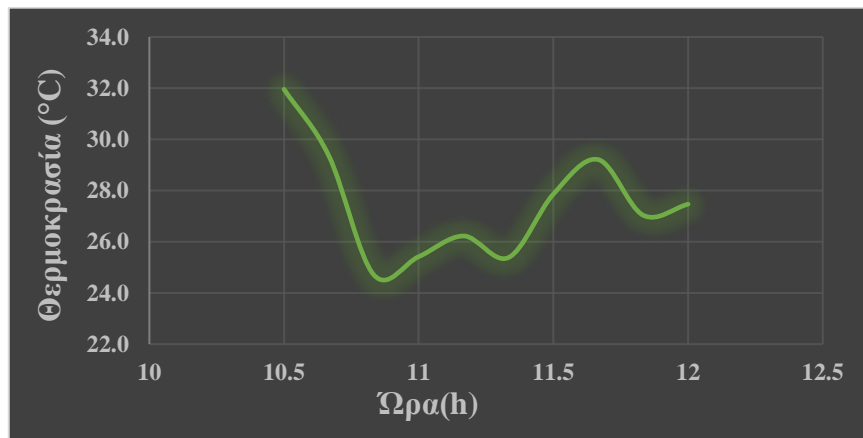
Στον πίνακα 3.7 που ακολουθεί παρατίθενται οι μετρήσεις της βάσης ελέγχου από τον πρότυπο γεωδαιτικό σταθμό TDA 5005 καθώς και οι μετρήσεις των ατμοσφαιρικών δεδομένων .

ΗΜΕΡΑ: 23/4/2016

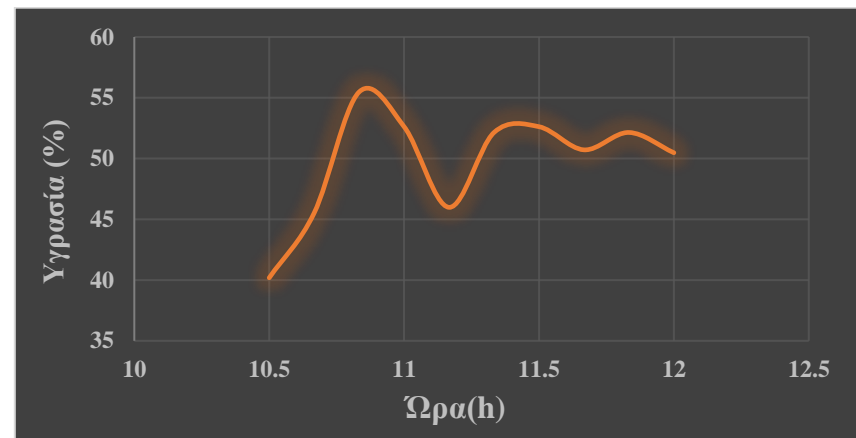
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: ΤΔΑ 5005

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΤΟΧΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (°C)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΟΧΟΥ (°C)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ (mbar)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ (mbar)	ΜΕΣΗ ΠΙΕΣΗ (mbar)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (%)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	ΩΡΑ (h)
1	2	32.0	24.6	28.3	1018	1018	1018	40	45.4118	10:32
	3	32.0	28.1	30.0	1018	1018	1018	40	161.3834	10:30
	4	32.0	27.2	29.6	1018	1018	1018	40	347.9129	10:28
	5	30.2	28.1	29.1	1018	1018	1018	47	499.1491	10:25
	6	30.2	28.6	29.4	1018	1018	1018	47	579.8469	10:23
	7	26.9	25.8	26.3	1018	1018	1018	49	589.9867	10:15
2	3	29.3	27.5	28.4	1018	1018	1018	46	115.9712	10:37
	4	29.3	26.2	27.8	1018	1018	1018	46	302.5003	10:39
	5	29.3	25.2	27.3	1018	1018	1018	46	453.7362	10:40
	6	24.7	26.7	25.7	1018	1018	1018	55	534.4343	10:47
	7	24.7	26.0	25.4	1018	1018	1018	55	544.5743	10:52
3	4	27.5	24.8	26.1	1018	1018	1018	50	186.5285	12:03
	5	27.5	23.3	25.4	1018	1018	1018	50	337.7653	12:05
	6	27.4	23.8	25.6	1018	1018	1018	59	418.4591	12:06
	7	27.4	24.7	26.0	1018	1018	1018	59	428.6023	12:08
4	5	27.9	22.7	25.3	1018	1018	1018	53	151.2367	11:30
	6	27.9	22.7	25.3	1018	1018	1018	53	231.9297	11:28
	7	27.9	23.0	25.4	1018	1018	1018	53	242.0728	11:27
5	6	27.0	23.5	25.3	1018	1018	1018	52	80.6930	11:49
	7	27.0	24.6	25.8	1018	1018	1018	52	90.8362	11:53
6	7	27.0	27.0	27.0	1018	1018	1018	52	10.1426	11:55

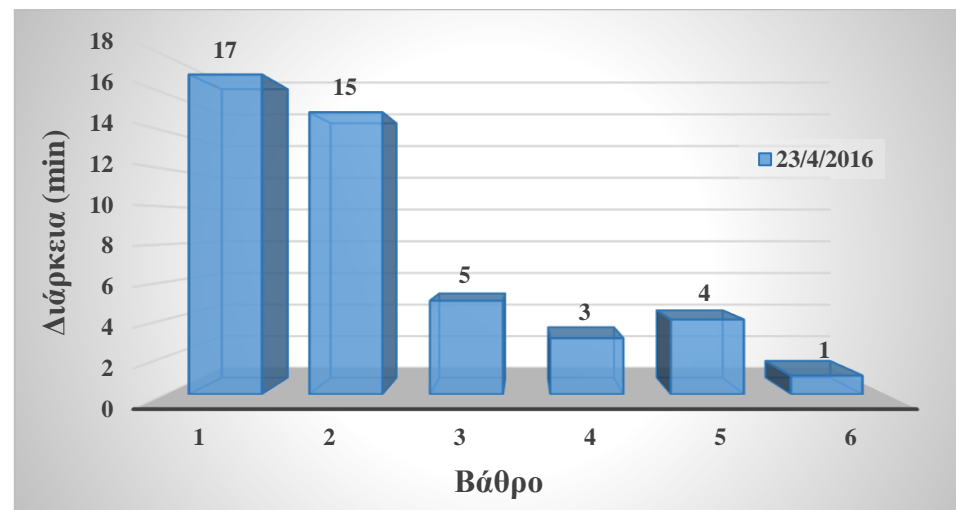
Πίνακας 3.7 Μέτρηση της βάσης ελέγχου και τα μετεωρολογικά δεδομένα για το ΤΔΑ 5005



Σχήμα 3.5 Μεταβολή θερμοκρασίας



Σχήμα 3.6 Μεταβολή υγρασίας



Σχήμα 3.7 Χρόνος μέτρησης σε κάθε βάθρο

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας και της σχετική υγρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, είναι ιδιαίτερα αισθητή. Τα παραπάνω διαγράμματα αφορούν την μεταβολή στις ατμοσφαιρικές παραμέτρους όσο αφορά το σύστημα συλλογής ατμοσφαιρικών δεδομένων (*Tinytag Plus 2 TGP-4500*) που ήταν τοποθετημένο στο όργανο. Το σύστημα αυτό μετρούσε κάθε 10 λεπτά από τις 10:30h μέχρι τις 12:00h.

Πιο συγκεκριμένα στο σχήμα 3.5 παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία ξεκινά από τους 32°C στις 10:30h και στην συνέχεια, μετά από κάποιες διακυμάνσεις καταλήγει στους 27.5°C στις 12:00h. Αντίθετα παρατηρούμε ότι η μεταβολή της σχετικής υγρασίας (σχήμα 3.6) λειτουργεί αντιστρόφως ανάλογα με την μεταβολή της θερμοκρασίας. Στις 10:30h ξεκινά με ποσοστό 40% και μετά αυξάνεται φτάνοντας στο 50% στις 12:00h ύστερα από κάποιες διακυμάνσεις.

Σύμφωνα με το σχήμα 3.7 η μέτρηση της βάσης διήρκησε 45 λεπτά. Είναι σημαντικό όμως να αναφερθεί πως η βάση πρέπει να μετράται με πρότυπο όργανο, όταν πνέουν άνεμοι λιγότεροι του ενός με δύο μποφόρ ώστε να μην ενοχλείτε η λειτουργία του οργάνου.

3.3.3 Υπολογισμός πρότυπων τιμών

Κάθε μια από τις 21 αποστάσεις μετρήθηκε 3 φορές με το πρότυπο όργανο. Επομένως στα ειδικά έντυπα των μετρήσεων καταγράφηκε ο μέσος όρος για κάθε μέτρηση. Για να θεωρηθούν όμως οι μετρήσεις πρότυπες έπρεπε να διορθωθούν πρώτα λόγω της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών.

Συνεπώς, σύμφωνα με την σχέση των Barrel και Sears (σχέση 1.15) διορθώθηκαν οι μετρήσεις όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα 3.8.

Στην συνέχεια έγινε έλεγχος του πρότυπου οργάνου σύμφωνα με το ISO 17123-4 προκειμένου να ελεγχθεί εάν ακολουθεί την ακρίβεια του κατασκευαστή ή όχι. Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, με αποτέλεσμα να προσδιοριστούν και οι καλύτερες τιμές των 6 αποστάσεων μεταξύ των 7 βάθρων. Τα αποτελέσματα του ελέγχου φαίνονται ξεκάθαρα στον παρακάτω πίνακα 3.9.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ	TDA 5005	
	Πριν την διόρθωση (m)	Μετά την διόρθωση (m)
1-2	45.4118	45.4121
1-3	161.3834	161.3847
1-4	347.9129	347.9157
1-5	499.1491	499.1534
1-6	579.8469	579.8521
1-7	589.9867	589.9911
2-3	115.9712	115.9721
2-4	302.5003	302.5024
2-5	453.7362	453.7392
2-6	534.4343	534.4370
2-7	544.5743	544.5769
3-4	186.5285	186.5295
3-5	337.7653	337.7669
3-6	418.4591	418.4611
3-7	428.6023	428.6045
4-5	151.2367	151.2374
4-6	231.9297	231.9308
4-7	242.0728	242.0739
5-6	80.6930	80.6934
5-7	90.8362	90.8367
6-7	10.1426	10.1427

Πίνακας 3.8 Διόρθωση μετρήσεων πρότυπου οργάνου λόγω της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών

ΑΠΟΣΤΑΣΗ		ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (mm)	σ ₀ (a posteriori)	σ(οργάνου) (mm)	σ _{95%} (mm)	ΕΛΕΓΧΟΣ ακρίβειας κατασκευαστή	ΕΛΕΓΧΟΣ μηδενικού σφάλματος
α/α	ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΤΙΜΗ (m)						
X12	45.4138	0.66	1.2	1	1.3	Ισχύει	Δεν ισχύει
X23	115.9732	0.66					
X34	186.5304	0.66					
X45	151.2377	0.66					
X56	80.6953	0.66					
X67	10.1424	0.66					
δ	-0.0014	0.54					

Πίνακας 3.9 Έλεγχος πρότυπου οργάνου TDA 5005 σύμφωνα με το ISO 17123-4

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.9, ο σταθμός TDA 5005 περνά τον έλεγχο έτσι όπως ορίζει το ISO 17123-4 και συνεπώς ακολουθεί την ακρίβεια του κατασκευαστή του. Επομένως οι πρότυπες τιμές της βάσης φαίνονται στον πίνακα 3.10 και είναι:

ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΑΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ 23/4/2016		
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	D(m)
1	2	45.4121
1	3	161.3847
1	4	347.9157
1	5	499.1534
1	6	579.8521
1	7	589.9911
2	3	115.9721
2	4	302.5024
2	5	453.7392
2	6	534.4370
2	7	544.5769
3	4	186.5295
3	5	337.7669
3	6	418.4611
3	7	428.6045
4	5	151.2374
4	6	231.9308
4	7	242.0739
5	6	80.6934
5	7	90.8367
6	7	10.1427

Πίνακας 3.10 Πρότυπες τιμές βάσης ελέγχου στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά

Κεφάλαιο 4

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΟΥΣ

4.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1, διακρίβωση (Accreditation) είναι η σύγκριση της μέτρησης ή του αποτελέσματος (output) ενός συστήματος ή οργάνου, με εκείνη ενός αντίστοιχου πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας, που καλείται σύστημα αναφοράς.

Το σύστημα αναφοράς μπορεί να είναι εθνικό πρότυπο ή πρότυπο γνωστής ακρίβειας η οποία έχει μεταφερθεί σε αυτό από τα εθνικά πρότυπα. Με την παραπάνω σύγκριση διακριβώνεται το υπό έλεγχο όργανο και διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβεια του.

Η εξέλιξη των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών και το υψηλό επίπεδο ακρίβειας των μετρήσεων που παρέχουν, καθιστά απαραίτητη την ανάλυση όλων των σφαλμάτων που υπεισέρχονται στη μοναδιαία μέτρηση – ανάγνωση. Η μέτρηση του μήκους σε ανακλαστήρα έχει φτάσει σε υψηλό επίπεδο ακρίβειας με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών συστημάτων που συμμετέχουν σε αυτή, ενώ ελάχιστα εξαρτάται από την αβεβαιότητα της σκόπευσης και άρα από τον παρατηρητή και τον στόχο [Καραγεώργου Μ.,2011].

Στη συνέχεια θα αναπτυχθούν μεθοδολογίες προσδιορισμού της αβεβαιότητας της μοναδιαίας μέτρησης στο μήκος για κάθε τέτοιο σύστημα.

4.2 Μεθοδολογία 1^η - Προσδιορισμός της εξίσωσης αβεβαιότητας του οργάνου

Λαμβάνονται μετρήσεις μηκών σε μία αλληλουχία στόχων από μία συγκεκριμένη θέση και οι αληθείς τιμές των αναγνώσεων αυτών θεωρούνται γνωστές, αφού προκύπτουν από ένα σύστημα ανώτερης τάξης.

Με τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας ενός οργάνου μέσω μιας εξίσωσης υπολογίζεται και η κλίμακά του. Η κλίμακα εκφράζει τον βαθμό της ταύτισής του με το πρότυπο ή την ομοιομορφία του. Ταυτόχρονα υπολογίζεται το συστηματικό σφάλμα και προσεγγίζεται το τυχαίο σφάλμα του οργάνου.

Ο προσδιορισμός της εξίσωσης της αβεβαιότητας ενός οργάνου είναι εξαιρετικά χρήσιμος, ώστε αφενός να διορθώνονται οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται από το συγκεκριμένο κάθε φορά όργανο και αφ' ετέρου να εκτιμάται το μέγεθός της σε σχέση με την ονομαστική κατασκευαστική ακρίβεια του οργάνου που χρησιμοποιείται.

Ακόμη κρίνεται η καταλληλότητα του συστήματος για κάποια συγκεκριμένη εργασία.

Η βασική ιδέα της σύγκρισης της τιμής που παρέχει ένα όργανο με αυτή που παρέχεται από ένα πρότυπο όργανο και θεωρείται αληθής - πραγματική τιμή διέπει αρκετούς μετρολογικούς ελέγχους και συναντάται σε διάφορα μετρητικά συστήματα.

Είναι γνωστό ότι η αληθής - πραγματική τιμή δεν μπορεί να είναι ποτέ γνωστή. Έτσι οι τιμές που προέρχονται από διατάξεις ή όργανα αναφοράς συμπεριλαμβάνουν και αυτές νομοτελειακά μία αβεβαιότητα. Τέτοια όργανα λοιπόν είναι θεμελιωδώς μη ικανά να μας παρέχουν τις αληθείς - πραγματικές τιμές.

Οι πρότυπες τιμές - μετρήσεις αναφοράς ενός πεδίου ελέγχου είναι τιμές που θεωρούνται αληθείς ή απόλυτα ακριβείς (χωρίς αβεβαιότητα). Αυτές προκύπτουν από πάρα πολλές (θεωρητικά άπειρες) μετρήσεις με σύστημα ανώτερης τάξης ή από κάποιο άλλο σύστημα χωρίς παρατηρητή και σκόπευση με αβεβαιότητα εκατό ή χίλιες φορές μικρότερη από τα προς έλεγχο συστήματα (Laser tracker). Πρακτικά όμως, όταν επαναληφθούν πολλές φορές οι μετρήσεις με τα πρότυπα όργανα ώστε ο αριθμός τους να θεωρείται πρακτικά άπειρος, τότε η μέση τιμή θεωρείται ακριβής ή αληθής τιμή ,ενώ η τυπική απόκλιση της τείνει στο μηδέν.

Επομένως για να είναι αξιόπιστος ο έλεγχος πρέπει να δημιουργηθεί ένα πρότυπο, του οποίου η αβεβαιότητα να είναι αρκετά πιο μικρή από το όργανο ή το σύστημα που πρόκειται να ελεγχθεί. Ένας κανόνας που ισχύει είναι ότι το πρότυπο θα πρέπει να είναι 10 φορές πιο ακριβές από το όργανο ή το σύστημα που θα ελεγχθεί [Λάμπρου Ε., 2012].

Προκειμένου λοιπόν να ανιχνευθεί η αβεβαιότητα ενός οργάνου συγκρίνονται οι πρότυπες τιμές μέτρησης ενός πεδίου ελέγχου με τις μετρήσεις του συστήματος στο ίδιο πεδίο ελέγχου. Το πρότυπο στη συγκεκριμένη περίπτωση ορίζεται από τις τιμές των μηκών προς συγκεκριμένους στόχους ενός πεδίου ελέγχου.

Η εξίσωση θεωρείται ότι έχει τη μορφή:

$$y = \alpha x + \beta \quad (4.1)$$

όπου:

y : είναι οι μετρήσεις με κάθε υπό έλεγχο όργανο σε ένα πεδίο ελέγχου

x : είναι οι αντίστοιχες πρότυπες μετρήσεις ή μετρήσεις αναφοράς

β : είναι το συστηματικό σφάλμα του οργάνου

α : είναι η κλίμακα του οργάνου (μαθηματικά εκφράζει την κλίση της ευθείας προσαρμογής)

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων [Δερμάνης Α., 1992, Αγατζα-Μπαλοδήμου, 2004] προσδιορίζονται οι άγνωστοι α , β της εξίσωσης, η αβεβαιότητα προσδιορισμού τους καθώς και η αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής, που εκφράζει το τυχαίο σφάλμα του οργάνου.

Για να οριστεί μια αξιόπιστη εκτίμηση των τυχαίων σφαλμάτων υποθέτουμε ότι η φύση τους και η αριθμητική τους τιμή είναι ίδια για όλο το εύρος της διαδικασίας ελέγχου. Έτσι η τυπική απόκλιση των "πραγματικών" τιμών εκφράζεται από την αβεβαιότητα σ_0 της προσαρμογής των μετρήσεων στη σχέση (4.1). Το σ_0 πρέπει να είναι πάντοτε μικρότερο της ονομαστικής αβεβαιότητας του γεωδαιτικού σταθμού για την μοναδιαία μέτρηση του μήκους.

Η κλίμακα α ενός συστήματος εκφράζει την ομοιομορφία της κατανομής του σφάλματος σε όλο το εύρος των μετρήσεων. Η κλίμακα στην περίπτωση αυτή έχει τιμή 1. Στην περίπτωση που υπάρχει χονδροειδές σφάλμα σε ένα ή περισσότερα σημεία κατά τη μέτρηση του μήκους, τότε η τιμή της κλίμακας αποκλίνει της μονάδας. Αντίστοιχα η τιμή του σ_0 της προσαρμογής, είναι μεγαλύτερη της ονομαστικής αβεβαιότητας του σταθμού.

Ο προσδιορισμός λοιπόν της εξίσωσης αβεβαιότητας και της κλίμακας με την προτεινόμενη μεθοδολογία έχει διπλή σημασία αφού ο χρήστης:

- μπορεί να πληροφορηθεί την αβεβαιότητα που μπορεί να επιτύχει στη μέτρηση των μηκών με το συγκεκριμένο όργανο
- μπορεί άμεσα να εντοπίζει τυχόν συστηματικά σφάλματα τα οποία πιθανόν να οφείλονται σε μηχανική ή ηλεκτρονική βλάβη ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Αφού προσδιοριστούν οι μεταβλητές α , β και σ_0 θα πρέπει στην συνέχεια να ελεγχθεί εάν είναι στατιστικά σημαντικές. Συνεπώς εάν οι μεταβλητές θεωρηθούν ότι είναι στατιστικά σημαντικές και κατ' επέκταση ότι το μαθηματικό μοντέλο της εξίσωσης αβεβαιότητας λειτουργεί, τότε γίνεται εφικτός ο προσδιορισμός του χονδροειδούς, του συστηματικού και του τυχαίου σφάλματος. Ο έλεγχος για το εάν οι μεταβλητές είναι στατιστικά σημαντικές ακολουθεί την εξής διαδικασία:

➤ Έλεγχος μεταβλητής α

$$\alpha > \sigma_\alpha \quad (4.2)$$

Εάν ισχύει η παραπάνω ανισότητα τότε η μεταβλητή α θεωρείται στατιστικά σημαντική.

➤ Έλεγχος μεταβλητής β

$$|\beta| > \sigma_\beta \quad (4.3)$$

Εάν ισχύει η παραπάνω ανισότητα τότε η μεταβλητή β θεωρείται στατιστικά σημαντική.

➤ Έλεγχος μεταβλητής σ_o

Τέλος, ελέγχεται το σ_o που προκύπτει από την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων με την ακρίβεια που δίνει ο κατασκευαστής του γεωδαιτικού σταθμού.

$$\sigma_o \leq \sigma_{\text{κατασκευαστή}} \quad (4.4)$$

Εάν ισχύει η παραπάνω ανισότητα τότε η μεταβλητή σ_o θεωρείται στατιστικά σημαντική.

Επίσης όταν το συστηματικό ή τυχαίο σφάλμα του συστήματος είναι μεγαλύτερο της ονομαστικής αβεβαιότητας του σταθμού είναι προφανές πως δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με το όργανο αυτό. Σ' αυτή την περίπτωση ένας τουλάχιστον από τους παράγοντες του συστήματος επηρεάζει δυσμενώς την επιτυγχανόμενη αβεβαιότητα του συστήματος.

Ένα όργανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια εργασία όταν η απαιτούμενη αβεβαιότητά της σ_ϵ είναι μεγαλύτερη από την αβεβαιότητα που συνολικά προσδίδουν το συστηματικό και το τυχαίο σφάλμα του συστήματος.

Στον πίνακα 4.1, παρουσιάζονται συνοπτικά οι έλεγχοι.

Έλεγχοι	Μηδενική υπόθεση	Εναλλακτική υπόθεση
1 ^{ος}	$\alpha = 1$	$\alpha \neq 1$
2 ^{ος}	$\beta = 0$	$\beta \neq 0$
3 ^{ος}	$\sigma_o \leq \sigma_{\text{κατασκευαστή}}$	$\sigma_o > \sigma_{\text{κατασκευαστή}}$
4 ^{ος}	$\sqrt{\sigma_o^2 + \beta^2} \leq \sigma_\epsilon$	$\sqrt{\sigma_o^2 + \beta^2} > \sigma_\epsilon$

Πίνακας 4.1 Έλεγχοι διακρίβωσης

4.3 Μεθοδολογία 2^η - Προσδιορισμός υπολοίπων

Μετρούνται οι 21 αποστάσεις της βάσης με το υπό έλεγχο όργανο και έχοντας παράλληλα τις αντίστοιχες πρότυπες τιμές υπολογίζονται οι διαφορές των μετρήσεων v μεταξύ τους.

Οι πρότυπες τιμές των αποστάσεων προσδιορίζονται μετρώντας τις με το πρότυπο όργανο τρεις φορές και υπολογίζοντας το μέσο όρο από αυτές. Στη συνέχεια μετρώνται οι ίδιες μετρήσεις με το υπό διακρίβωση όργανο (Measured distance) και αφαιρούνται από αυτές οι αντίστοιχες πρότυπες τιμές (True distance) για να υπολογιστούν τα υπόλοιπα καθώς και η μέγιστη τιμή των υπολοίπων.

$$v = x_{\text{Measured}} - x_{\text{True}} \quad (4.5)$$

$$v_{\max} = \max v \quad (4.6)$$

Στην συνέχεια υπολογίζει το τυπικό σφάλμα της μιας μέτρησης χ_i το οποίο δίνεται από την σχέση [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]:

$$\sigma_{x_i} = \pm \sqrt{\frac{[vu]}{n-1}} \quad (4.7)$$

όπου

$$[vu] = \sum_{i=1}^n v_i^2 = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 \quad (4.8)$$

είναι το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων (πιθανά ή φαινόμενα σφάλματα).

Η ποσότητα $n - 1$ ονομάζεται βαθμός ελευθερίας και δηλώνει πόσες μετρήσεις περισσότερες από τις απαραίτητες έγιναν.

4.4 Αξιολόγηση μεθοδολογιών

Η διαδικασία του *υπολογισμού των υπολοίπων* έχει το πλεονέκτημα, ότι δεν εμπλέκει τις μετρήσεις μεταξύ τους και επιπλέον προσδιορίζει το τυπικό σφάλμα της μιας μέτρησης και το μέγιστο υπόλοιπο. Αυτή η διαδικασία είναι καλύτερη από τη διαδικασία της *εξίσωσης αβεβαιότητας*, διότι η επεξεργασία των μετρήσεων είναι άμεση, εφόσον συγκρίνονται κατευθείαν οι πρότυπες τιμές με τις μετρημένες.

Από την άλλη η *εξίσωση αβεβαιότητας* μπορεί να προσδιορίζει το σφάλμα στο σύστημα του οργάνου (χονδροειδές, συστηματικό ή τυχαίο) μέσω της μεθόδου της συνόρθωσης, αλλά μόνο εάν το μαθηματικό μοντέλο είναι σωστό.

Συνεπώς δεν γίνεται εφικτή η χρήση της πρώτης μεθοδολογίας (*εξίσωση αβεβαιότητας*) εάν πρώτα δεν έχει διεξαχθεί η διαδικασία της δεύτερης μεθοδολογίας (*υπολογισμός υπολοίπων*), για να θεωρηθούν οι μετρήσεις αξιόπιστες. Άρα η καταλληλότερη μεθοδολογία διακρίβωσης ενός σταθμού είναι η μεθοδολογία των υπολοίπων. Όμως η διαδικασία της εξίσωσης αβεβαιότητας παρότι δεν αποτελεί μέθοδο διακρίβωσης είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό χονδροειδούς, συστηματικού και τυχαίου σφάλματος.

Στον παρακάτω πίνακα 4.2 φαίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε διαδικασίας.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	ΕΞΙΣΩΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ	ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΧΟΝΔΡΕΙΔΟΥΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	✓	✗	✓
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	✓	✗	✓
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΥΧΑΙΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	✓	✗	✓
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΕΣΦΑΛΜΕΝΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	✗	✓	✓
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	✗	✓	✓
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΚΑΛΥΤΕΡΗΣ ΤΙΜΗΣ	✓	✓	✓
ΕΥΚΟΛΙΑ ΣΤΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ	✗	✓	✓
ΓΡΗΓΟΡΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΣΩ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	✓	✓	✓

Πίνακας 4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων διακρίβωσης

Επομένως εάν εφαρμοστούν και οι δύο διαδικασίες θα γίνει εφικτός ο έλεγχος της εσωτερικής ακρίβειας του οργάνου και κατ' επέκταση ο προσδιορισμός τυχόν χονδροειδούς, συστηματικού ή τυχαίου σφάλματος.

4.5 Εφαρμογή

Εφόσον βαθμονομήθηκε η βάση ελέγχου με το πρότυπο γεωδαιτικό σταθμό Leica TDA 5005, ως αποτέλεσμα έχει αποκτήσει πρότυπες τιμές. Συνεπώς η βάση ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να διεξαχθούν μετρήσεις από απλούς ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς

σταθμούς και στη συνέχεια να ελεγχθούν ως προς την ορθή λειτουργία τους σύμφωνα με το ISO και να διακριβωθούν σε σχέση με τις αληθείς τιμές.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η εφαρμογή του ελέγχου όπως ορίζει το διεθνές ISO 17123-4 σε συγκεκριμένους γεωδαιτικούς σταθμούς, με σκοπό να ελεγχθούν εάν ακολουθούν την ακρίβεια του κατασκευαστή ή όχι (*έλεγχος εσωτερικής ακρίβειας*) και της διακρίβωσης τους ελέγχοντας εάν παρουσιάζουν κάποιο σφάλμα στο σύστημα τους (*έλεγχος εξωτερικής ακρίβειας*).

4.5.1 Επιλογή οργάνων

Οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που επιλέχθηκαν είναι 4 και είναι ο Ο.Γ.Σ Leica TCR 405 με S/N: 754169 (εικόνα 4.1α), δύο Ο.Γ.Σ Topcon GTS 226 με S/N: UN 4768 και UN 5638 (εικόνα 4.1β) και ο Ο.Γ.Σ Leica TCR 303 με S/N: 667189 (εικόνα 4.1γ).



Εικόνα 4.1 Επιλεγμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί

Στους πίνακες 4.3 και 4.4 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Τύπος γεωδαιτικού σταθμού	Κατασκευάστρια εταιρεία	Σφάλμα μέτρησης διευθύνσεων (cc)	Σφάλμα μέτρησης μηκών (IR)	Βεληνεκές (IR)	Χρόνος μέτρησης μήκους (sec)	Βάρος (Kg)
TCR 405	Leica (Ελβετία)	15	$\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$	3500	2.4	5.2
GPS 226	Topcon (Ιαπωνία)	18	$\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$	3500	1.2	4.9
TCR 303	Leica (Ελβετία)	9	$\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$	3500	1	5.6

Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικά επιλεγμένων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (Μέρος Ι)

Τύπος γεωδαιτικού σταθμού	Δείκτης διαθλασιμότητας N ^g (ppm)	Σταθερά καταφώτου (mm)	Μηδενικό σφάλμα κατασκευαστή δ ₀ (mm)	Μήκος κύματος λ για υπέρυθρο EDM (nm)
TCR 405	283.04	-34,4	0	658
GPS 226	279.67	-30	0	633
TCR 303	283.04	-34,4	0	780

Πίνακας 4.4 Χαρακτηριστικά επιλεγμένων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (Μέρος II)

4.5.2 Έλεγχος κατά ISO

Μετά την επιλογή των οργάνων και τη βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου, έγινε προγραμματισμός των μετρήσεων προκειμένου να μετρηθεί η βάση και από τα 4 παραπάνω όργανα (εικόνα 4.2, εικόνα 4.3 και εικόνα 4.4). Οι μετρήσεις έγιναν ακριβώς όπως αναφέρει το ISO 17123-4.



Εικόνα 4.2 Μέτρηση βάσης ελέγχου με το όργανο TCR 303

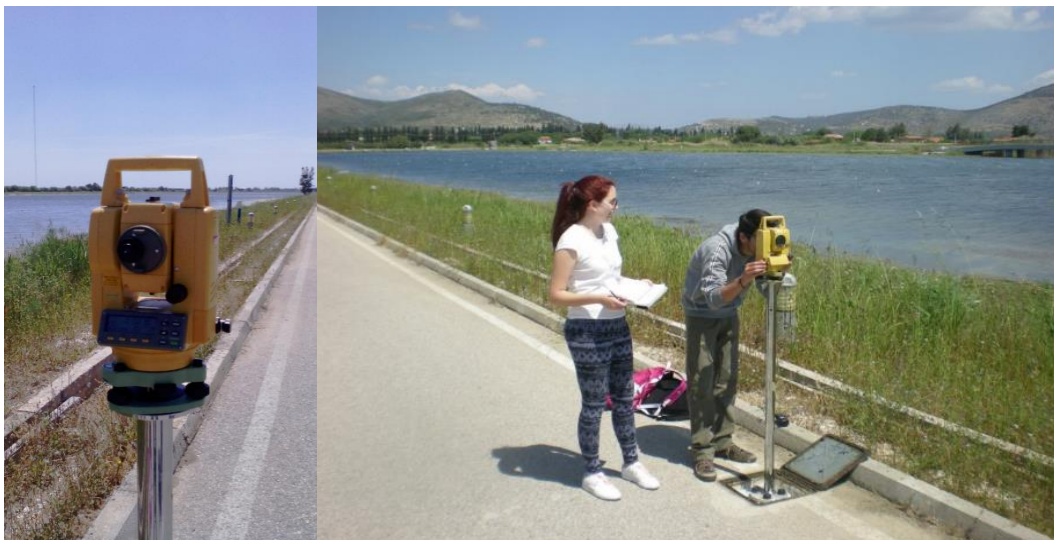
Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο κατά ISO είναι ακριβώς ο ίδιος με εκείνον που χρησιμοποιήθηκε για τη βαθμονόμηση της βάσης με το Leica TDA 5005 και φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4.3 Μέτρηση βάσης ελέγχου με το όργανο GTS 226 - UN 4768

Χρησιμοποιήθηκαν:

- 6 Ειδικά αποσπώμενοι στυλεοί (εικόνα 6.5)
- 1 Θερμόμετρο ALMEMO 2290-8 (εικόνα 6.3) και ένας αισθητήρας Tinytag Plus 2 TGP-4500 (εικόνα 6.4).
- 5 Τρικόγλια (εικόνα 6.2)
- 4 Αντάπτορες (εικόνα 6.2)
- 4 Ασύρματοι (εικόνα 6.6)



Εικόνα 4.4 Μέτρηση βάσης ελέγχου με το όργανο GTS226 - UN 5638

Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται οι μετρήσεις της βάσης και τα μετεωρολογικά δεδομένα των τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.

ΗΜΕΡΑ: 23/4/2016

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: TCR 405

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΤΟΧΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (°C)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΟΧΟΥ (°C)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ (mbar)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ (mbar)	ΜΕΣΗ ΠΙΕΣΗ (mbar)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (%)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟΧΟΥ (%)	ΜΕΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	ΩΡΑ (h)
1	2	30.5	30.5	30.5	1016	1016	1016	43	43	43	45.411	13:29
	3	30.5	22.3	26.4	1016	1016	1016	43	44	44	161.383	13:31
	4	30.5	23.3	26.9	1016	1016	1016	43	52	48	347.912	13:35
	5	30.8	23.3	27.0	1016	1016	1016	44	50	47	499.148	13:36
	6	30.8	25.3	28.0	1016	1016	1016	44	46	45	579.847	13:41
	7	30.8	23.5	27.1	1016	1016	1016	44	53	48	589.985	13:38
2	3	32.6	32.6	32.6	1016	1016	1016	43	43	43	115.971	13:23
	4	32.6	32.6	32.6	1016	1016	1016	43	43	43	302.500	13:21
	5	32.6	32.6	32.6	1016	1016	1016	43	43	43	453.737	13:20
	6	32.6	32.6	32.6	1016	1016	1016	43	43	43	534.431	13:17
	7	32.6	32.6	32.6	1016	1016	1016	43	43	43	544.574	13:15
3	4	29.7	29.7	29.7	1016	1016	1016	52	52	52	186.529	13:07
	5	29.7	29.7	29.7	1016	1016	1016	52	52	52	337.766	13:10
	6	29.7	29.7	29.7	1016	1016	1016	52	52	52	418.460	13:12
	7	29.7	29.7	29.7	1016	1016	1016	52	52	52	428.603	13:13
4	5	31.0	31.0	31.0	1016	1016	1016	54	54	54	151.236	13:05
	6	31.0	31.0	31.0	1016	1016	1016	54	54	54	231.930	13:04
	7	31.0	31.0	31.0	1016	1016	1016	54	54	54	242.073	13:02
5	6	31.0	31.0	31.0	1016	1016	1016	54	54	54	80.693	12:58
	7	31.0	31.0	31.0	1016	1016	1016	54	54	54	90.836	13:00
6	7	31.0	31.0	31.0	1016	1016	1016	54	54	54	10.143	12:55

Πίνακας 4.5 Μετρήσεις και μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού TCR 405

ΗΜΕΡΑ: 23/4/2016

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: TCR 303

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΤΟΧΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (°C)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΟΧΟΥ (°C)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ (mbar)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ (mbar)	ΜΕΣΗ ΠΙΕΣΗ (mbar)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (%)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟΧΟΥ (%)	ΜΕΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	ΩΡΑ (h)
1	2	30.7	23.2	26.9	1016	1016	1016	47	52	50	45.412	13:55
	3	30.7	25.3	28.0	1016	1016	1016	47	44	45	161.383	13:53
	4	30.7	23.3	27.0	1016	1016	1016	47	47	47	347.912	13:51
	5	30.7	25.3	28.0	1016	1016	1016	47	45	46	499.149	13:49
	6	30.8	24.1	27.4	1016	1016	1016	44	51	47	579.847	13:42
	7	30.7	24.4	27.5	1016	1016	1016	47	37	42	589.986	13:46
2	3	30.4	22.3	26.3	1018	1018	1018	47	47	47	115.971	12:25
	4	30.4	22.2	26.3	1018	1018	1018	47	47	47	302.500	12:24
	5	30.4	22.5	26.4	1018	1018	1018	47	47	47	453.737	12:21
	6	30.4	22.9	26.6	1018	1018	1018	47	47	47	534.431	12:19
	7	30.4	23.0	26.7	1018	1018	1018	47	47	47	544.574	12:15
3	4	29.1	22.3	25.7	1018	1018	1018	47	47	47	186.539	12:30
	5	29.1	22.1	25.6	1018	1018	1018	47	47	47	337.766	12:32
	6	29.1	22.0	25.6	1018	1018	1018	47	47	47	418.460	12:35
	7	28.2	22.3	25.2	1018	1018	1018	51	51	51	428.603	12:37
4	5	28.2	28.2	28.2	1018	1018	1018	51	51	51	151.237	12:45
	6	28.2	28.2	28.2	1018	1018	1018	51	51	51	231.931	12:44
	7	28.2	28.2	28.2	1018	1018	1018	51	51	51	242.074	12:42
5	6	30.1	30.1	30.1	1018	1018	1018	44	44	44	80.694	12:50
	7	30.1	30.1	30.1	1018	1018	1018	44	44	44	90.837	12:49
6	7	30.1	30.1	30.1	1018	1018	1018	44	44	44	10.143	12:53

Πίνακας 4.6 Μετρήσεις και μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού TCR 403

ΗΜΕΡΑ: 24/4/2016

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: GTS 226 – UN 4768

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΤΟΧΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (°C)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΟΧΟΥ (°C)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ (mbar)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ (mbar)	ΜΕΣΗ ΠΙΕΣΗ (mbar)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (%)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟΧΟΥ (%)	ΜΕΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	ΩΡΑ (h)
1	2	35.0	26.5	30.8	1008	1008	1008	26	35	31	45.402	15:21
	3	35.0	27.2	31.1	1008	1008	1008	26	35	31	161.372	15:24
	4	35.0	27.5	31.3	1008	1008	1008	26	36	31	347.906	15:25
	5	33.4	28.5	31.0	1008	1008	1008	27	35	31	499.120	15:26
	6	33.4	28.5	31.0	1008	1008	1008	27	36	32	579.831	15:27
	7	31.1	28.4	29.8	1008	1008	1008	30	35	32	589.968	15:46
2	3	40.9	32.0	36.5	1008	1008	1008	22	25	24	115.972	13:45
	4	40.9	31.5	36.2	1008	1008	1008	22	26	24	302.504	13:43
	5	40.9	31.5	36.2	1008	1008	1008	22	26	24	453.713	13:41
	6	40.9	31.5	36.2	1008	1008	1008	22	25	24	534.429	13:40
	7	40.9	30.5	35.7	1006	1006	1006	22	35	29	544.574	13:38
3	4	33.2	28.7	30.9	1008	1008	1008	31	35	33	186.535	12:22
	5	33.2	27.9	30.5	1008	1008	1008	31	36	34	337.748	12:25
	6	31.8	26.1	28.9	1008	1008	1008	34	36	35	418.460	12:27
	7	31.8	25.5	28.6	1008	1008	1008	34	41	37	428.605	12:29
4	5	30.2	29.2	29.7	1007	1007	1007	34	33	33	151.215	12:44
	6	30.2	28.4	29.3	1007	1007	1007	34	36	35	231.926	12:42
	7	30.2	26.6	28.4	1007	1007	1007	34	37	35	242.070	12:40
5	6	31.7	29.6	30.6	1005	1005	1005	31	35	33	80.713	12:48
	7	31.7	29.5	30.6	1006	1006	1006	31	36	33	90.858	12:51
6	7	31.7	29.7	30.7	1006	1006	1006	31	32	31	10.146	12:53

Πίνακας 4.7 Μετρήσεις και μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού GTS 226 – UN 4768

ΗΜΕΡΑ: 24/4/2016

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: GTS 226 - UN 5638

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΤΟΧΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (°C)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΟΧΟΥ (°C)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ (mbar)	ΠΙΕΣΗ ΣΤΟΧΟΥ (mbar)	ΜΕΣΗ ΠΙΕΣΗ (mbar)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ (%)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟΧΟΥ (%)	ΜΕΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	ΩΡΑ (h)
1	2	32.0	27.5	29.8	1008	1008	1008	30	36	33	45.403	15:43
	3	32.0	27.5	29.8	1008	1008	1008	30	37	33	161.375	15:41
	4	32.0	26.5	29.3	1008	1008	1008	30	35	32	347.910	15:39
	5	32.0	26.5	29.3	1008	1008	1008	30	36	33	499.125	15:38
	6	33.4	27.6	30.5	1008	1008	1008	27	35	31	579.836	15:30
	7	32.0	27.5	29.8	1008	1008	1008	30	35	32	589.973	15:36
2	3	37.7	30.5	34.1	1008	1008	1008	25	36	30	115.972	13:30
	4	37.7	29.8	33.7	1008	1008	1008	25	35	30	302.506	13:32
	5	37.7	29.5	33.6	1008	1008	1008	25	32	28	453.722	13:34
	6	37.7	30.5	34.1	1008	1008	1008	25	36	30	534.433	13:35
	7	40.9	31.5	36.2	1008	1008	1008	22	26	24	544.579	13:36
3	4	34.7	30.5	32.6	1008	1008	1008	28	36	32	186.536	13:21
	5	34.7	29.5	32.1	1008	1008	1008	28	35	31	337.750	13:19
	6	34.7	29.5	32.1	1008	1008	1008	28	31	29	418.463	13:18
	7	34.7	30.5	32.6	1008	1008	1008	28	35	31	428.608	13:17
4	5	31.0	29.5	30.2	1008	1008	1008	32	35	33	151.215	13:12
	6	31.0	29.5	30.2	1007	1007	1007	32	30	31	231.928	13:10
	7	31.0	30.5	30.7	1007	1007	1007	32	32	32	242.072	13:07
5	6	31.1	28.1	29.6	1006	1006	1006	32	36	34	80.713	13:03
	7	31.1	27.5	29.3	1006	1006	1006	32	35	34	90.858	13:00
6	7	31.1	30.5	30.8	1006	1006	1006	32	35	34	10.145	12:58

Πίνακας 4.8 Μετρήσεις και μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού GTS 226 – UN 5638

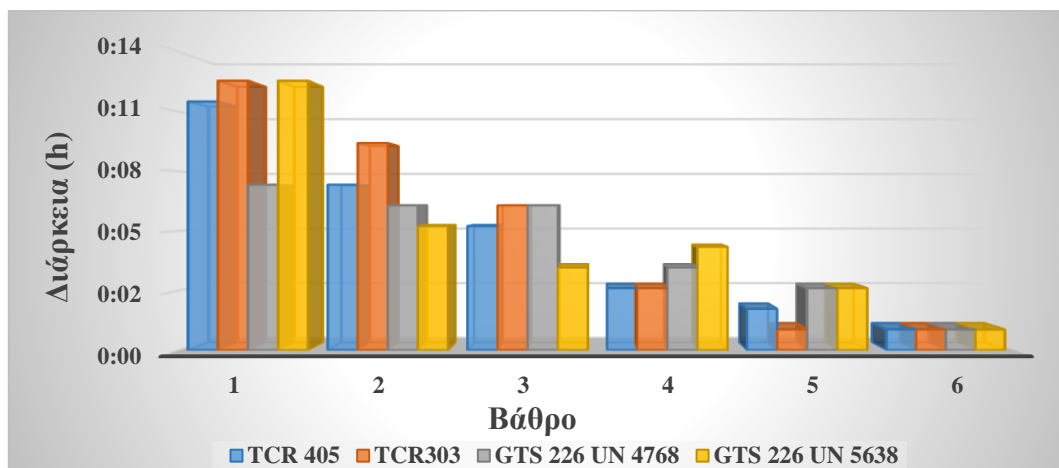
Στη συνέχεια η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε χρησιμοποιώντας το λογισμικό ελέγχου που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας και τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα 4.9.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΗΜΕΡΑ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ		ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ (mm)	σο	σ(οργάνου) (mm)	σ _{95%} (mm)	ΕΛΕΓΧΟΣ ακρίβειας κατασκευαστή	ΕΛΕΓΧΟΣ μηδενικού σφάλματος
		α/α	ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΤΙΜΗ (m)						
TCR 405	23/4/2016	X12	45.411	±0.66	±1.2	±2	±2.6	Ισχύει	Ισχύει
		X23	115.973	±0.66					
		X34	186.531	±0.66					
		X45	151.238	±0.66					
		X56	80.695	±0.66					
		X67	10.142	±0.66					
		δ	-0.001	±0.54					
TCR 303	23/4/2016	X12	45.413	±1.35	±2.4	±2	±2.6	Ισχύει	Ισχύει
		X23	115.970	±1.35					
		X34	186.533	±1.35					
		X45	151.237	±1.35					
		X56	80.695	±1.35					
		X67	10.142	±1.35					
		δ	0.001	±1.10					
GTS 226 UN 4768	24/4/2016	X12	45.400	±1.17	±2.1	±2	±2.6	Ισχύει	Δεν ισχύει
		X23	115.972	±1.17					
		X34	186.536	±1.17					
		X45	151.214	±1.17					
		X56	80.713	±1.17					
		X67	10.143	±1.17					
		δ	-0.002	±0.95					
GTS 226 UN 5638	24/4/2016	X12	45.401	±1.18	±2.1	±2	±2.6	Ισχύει	Ισχύει
		X23	115.973	±1.18					
		X34	186.537	±1.18					
		X45	151.216	±1.18					
		X56	80.713	±1.18					
		X67	10.144	±1.18					
		δ	0.002	±0.96					

Πίνακας 4.9 Έλεγχος οργάνων σύμφωνα με το ISO 17123-4

Από την επεξεργασία γίνεται αντιληπτό ότι οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί λειτουργούν σύμφωνα με την ακρίβεια του κατασκευαστή ως προς την μέτρηση μηκών (η εσωτερική ακρίβεια).

Η μέτρηση της βάσης ελέγχου με το όργανο TCR 405 διήρκησε 32 λεπτά ενώ με το όργανο TCR 303 διήρκησε 35 λεπτά. Επίσης οι μετρήσεις με το GTS 226 - UN 4768 διήρκησαν 30 λεπτά και με το GTS 226 - UN 5638 32 λεπτά. Πιο συγκεκριμένα η διάρκεια μέτρησης των οργάνων σε κάθε βάθρο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Χρόνος μέτρησης κάθε οργάνου σε κάθε βάθρο

4.5.3 Διακρίβωση

Αφού ολοκληρωθεί ο έλεγχος των Ο.Γ.Σ κατά ISO 17123-4 στη συνέχεια ακολουθεί η διακρίβωση τους. Η μέθοδος διακρίβωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος με τον υπολογισμό των υπολοίπων. Εκτός όμως από αυτό εφαρμόστηκε και η μέθοδος της εξίσωσης αβεβαιότητας προκειμένου να υπολογιστεί το χονδροειδές, το συστηματικό και το τυχαίο σφάλμα του κάθε Ο.Γ.Σ.

Για τη διακρίβωση των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών πρέπει να συγκριθούν οι τιμές που προέκυψαν από κάθε εξεταζόμενο σταθμό με αυτές που βρέθηκαν από τις μετρήσεις του σταθμού αναφοράς.

Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε χρησιμοποιώντας το λογισμικό της διακρίβωσης που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας.

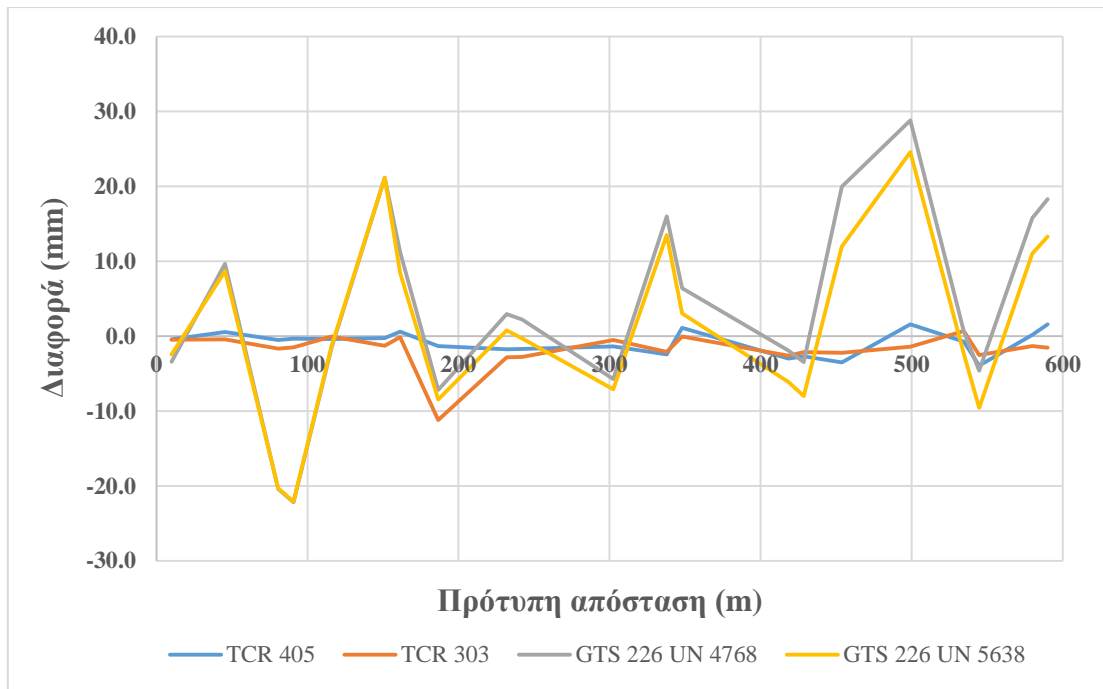
Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 4.10 με τις μετρήσεις των γεωδαιτικών σταθμών πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση καθώς και ο πίνακας 4.11 με τα αποτελέσματα της διακρίβωσης των τεσσάρων γεωδαιτικών σταθμών.

ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΠΡΟΤΥΠΟ		ΥΠΟ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ							
	TDA 5005		TCR 405		TCR 303		GTS 226 UN 4768		GTS 226 UN 5638	
	Πριν την διόρθωση (m)	Μετά την διόρθωση (m)	Πριν την διόρθωση (m)	Μετά την διόρθωση (m)	Πριν την διόρθωση (m)	Μετά την διόρθωση (m)	Πριν την διόρθωση (m)	Μετά την διόρθωση (m)	Πριν την διόρθωση (m)	Μετά την διόρθωση (m)
1-2	45.4118	45.4121	45.411	45.411	45.412	45.412	45.402	45.403	45.403	45.403
1-3	161.3834	161.3847	161.383	161.384	161.383	161.385	161.372	161.374	161.375	161.377
1-4	347.9129	347.9157	347.912	347.914	347.912	347.915	347.906	347.910	347.910	347.913
1-5	499.1491	499.1534	499.148	499.151	499.149	499.154	499.120	499.126	499.125	499.130
1-6	579.8469	579.8521	579.847	579.851	579.847	579.853	579.831	579.838	579.836	579.842
1-7	589.9867	589.9911	589.985	589.989	589.986	589.992	589.968	589.974	589.973	589.979
2-3	115.9712	115.9721	115.971	115.972	115.971	115.972	115.972	115.974	115.972	115.974
2-4	302.5003	302.5024	302.500	302.503	302.500	302.503	302.504	302.509	302.506	302.510
2-5	453.7362	453.7392	453.737	453.742	453.737	453.741	453.713	453.720	453.722	453.728
2-6	534.4343	534.4370	534.431	534.437	534.431	534.436	534.429	534.437	534.433	534.440
2-7	544.5743	544.5769	544.574	544.580	544.574	544.579	544.574	544.583	544.579	544.588
3-4	186.5285	186.5295	186.529	186.531	186.539	186.540	186.535	186.537	186.536	186.538
3-5	337.7653	337.7669	337.766	337.769	337.766	337.769	337.748	337.752	337.750	337.754
3-6	418.4591	418.4611	418.460	418.464	418.460	418.463	418.460	418.464	418.463	418.468
3-7	428.6023	428.6045	428.603	428.607	428.603	428.606	428.605	428.609	428.608	428.613
4-5	151.2367	151.2374	151.236	151.237	151.237	151.239	151.215	151.217	151.215	151.217
4-6	231.9297	231.9308	231.930	231.932	231.931	231.933	231.926	231.928	231.928	231.931
4-7	242.0728	242.0739	242.073	242.075	242.074	242.076	242.070	242.072	242.072	242.075
5-6	80.6930	80.6934	80.693	80.694	80.694	80.695	80.713	80.714	80.713	80.714
5-7	90.8362	90.8367	90.836	90.837	90.837	90.838	90.858	90.859	90.858	90.859
6-7	10.1426	10.1427	10.143	10.143	10.143	10.143	10.146	10.146	10.145	10.145

Πίνακας 4.10 Μετρήσεις πριν και μετά την διόρθωση των ατμοσφαιρικών συνθηκών

No	TDA 5005	TCR 405		TCR 303		GTS 226 UN 4768		GTS 226 UN 5638	
	Πρότυπη απόσταση (m)	Μετρημένη απόσταση (m)	Υπόλοιπα (mm)	Μετρημένη απόσταση (m)	Υπόλοιπα (mm)	Μετρημένη απόσταση (m)	Υπόλοιπα (mm)	Μετρημένη απόσταση (m)	Υπόλοιπα (mm)
1-2	45.4121	45.411	-0.6	45.412	0.3	45.403	-9.6	45.403	-8.6
1-3	161.3847	161.384	-0.8	161.385	0.0	161.374	-10.9	161.377	-8.0
1-4	347.9157	347.914	-1.5	347.915	-0.4	347.910	-5.7	347.913	-2.3
1-5	499.1534	499.151	-2.2	499.154	0.8	499.126	-27.7	499.130	-23.5
1-6	579.8521	579.851	-0.9	579.853	0.6	579.838	-14.5	579.842	-9.8
1-7	589.9911	589.989	-2.3	589.992	0.8	589.974	-17.0	589.979	-12.0
2-3	115.9721	115.972	0.2	115.972	-0.1	115.974	1.8	115.974	1.5
2-4	302.5024	302.503	1.0	302.503	0.1	302.509	6.4	302.510	7.7
2-5	453.7392	453.742	3.0	453.741	1.6	453.720	-19.0	453.728	-11.0
2-6	534.4370	534.437	0.1	534.436	-1.4	534.437	0.5	534.440	3.5
2-7	544.5769	544.580	3.3	544.579	1.9	544.583	5.7	544.588	10.7
3-4	186.5295	186.531	1.1	186.540	11.0	186.537	7.6	186.538	8.9
3-5	337.7669	337.769	2.0	337.769	1.7	337.752	-15.2	337.754	-12.7
3-6	418.4611	418.464	2.5	418.463	2.1	418.464	2.9	418.468	7.1
3-7	428.6045	428.607	2.2	428.606	1.7	428.609	4.4	428.613	9.0
4-5	151.2374	151.237	0.1	151.239	1.1	151.217	-20.8	151.217	-20.8
4-6	231.9308	231.932	1.5	231.933	2.5	231.928	-2.5	231.931	-0.3
4-7	242.0739	242.075	1.4	242.076	2.5	242.072	-1.6	242.075	0.8
5-6	80.6934	80.694	0.4	80.695	1.5	80.714	20.6	80.714	20.5
5-7	90.8367	90.837	0.2	90.838	1.4	90.859	22.3	90.859	22.2
6-7	10.1427	10.143	0.4	10.143	0.4	10.146	3.4	10.145	2.4
 U_{max} (mm)		3.3 > 2	FAIL	11 > 2	FAIL	27.7 > 2	FAIL	23.5 > 2	FAIL
σ_{xi} (mm)		1.7 < 2	PASS	2.8 > 2	FAIL	13.5 > 2	FAIL	12.2 > 2	FAIL
ΧΟΝΔΡΟΕΙΔΕΣ ΣΦΑΛΜΑ ΣΤΑ 600m		± 0.1mm		± 1mm		± 16.6mm		± 10.5mm	
α		1.00000018		0.99999840		0.99997227		0.99998250	
σ_α		± 1.9 e-06		± 2.9 e-06		± 1.4 e-05		± 1.4 e-05	
ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ		± 0.5mm		± 1.9mm		± 5.1mm		± 4.6mm	
β (mm)		0.5		1.9		5.1		4.6	
σ_β (mm)		± 0.7		± 1		± 5.2		± 5	
σ_ο (mm)		± 1.6		± 2.4		± 12.3		± 12	

Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα αποχής μετρούμενης τιμής από την πρότυπη

Σύμφωνα με τον πίνακα της διακρίβωσης των τεσσάρων γεωδαιτικών σταθμών (πίνακας 4.11) και το διάγραμμα των υπολοίπων (σχήμα 4.2), γίνεται κατανοητό ότι το TCR 405 εμφανίζει πολύ μικρό χονδροειδές, συστηματικό και τυχαίο σφάλμα αλλά παρόλα αυτά δεν "περνά" την διακρίβωση. Από την άλλη ο Ο.Γ.Σ TCR 303 και οι Ο.Γ.Σ GTS 226, εμφανίζουν πολύ μεγάλο χονδροειδές, συστηματικό και τυχαίο σφάλμα και συνεπώς δεν "περνάνε" ούτε αυτά την διακρίβωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ

5.1 Γενικά

Η υποστήριξη όλων των υπολογισμών γίνεται με την σύνταξη κατάλληλων προγραμμάτων.

Είναι γνωστό ότι οι μετρήσεις που συλλέγει ένας τοπογράφος μηχανικός στην βάση ελέγχου προκειμένου να ελέγξει τον προσωπικό του εξοπλισμό είναι πολλές και η επεξεργασία τους ιδιαίτερα πολύπλοκη και χρονοβόρα. Η χρήση όμως κατάλληλων προγραμμάτων όπως το *'matlab'* για την επεξεργασία των μετρήσεων διευκολύνει τον χρήστη να εξάγει εύκολα και γρήγορα αποτελέσματα.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής κρίθηκε σκόπιμο και αναγκαίο να δημιουργηθεί ένα λογισμικό το οποίο θα πραγματοποιεί τον έλεγχο ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών κατά ISO 17123-4 και την διακρίβωσή τους.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στο κεφάλαιο 4 είναι πολύ σημαντικό να γίνει έλεγχος του οργάνου όχι μόνο για το εάν λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή αλλά και για το εάν παρουσιάζει κάποιο χονδροειδές ή συστηματικό σφάλμα στις μετρήσεις. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό με τη διαδικασία της διακρίβωσης, ελέγχοντας τις 21 μετρήσεις του υπό έλεγχο οργάνου με εκείνες του πρότυπου.

Επομένως για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ύπαρξη σφάλματος των οργάνων έπρεπε να γίνει ένας κατάλληλος προγραμματισμός όλων εκείνων των απαραίτητων υπολογισμών στο περιβάλλον του *matlab*. Ένα πολύ σημαντικό μέρος αυτού του λογισμικού είναι ότι τα αποτελέσματα του ελέγχου και της διακρίβωσης θα εξάγονται σε κάποιες φόρμες αποτελεσμάτων.

Παρακάτω παρατίθενται τα λογισμικά ελέγχου και διακρίβωσης και με κάποιες οδηγίες για την σωστή χρήση τους.

5.2 Λογισμικό ελέγχου κατά ISO 17123-4

Βήμα 1 – Ανάγνωση μετρήσεων (INPUT)

Πριν την έναρξη του προγράμματος ο χρήστης θα πρέπει να έχει συμπληρώσει ένα αρχείο excel με το όνομα *general_data.xls* που περιέχει

κάποιες βασικές παραμέτρους του υπό ελέγχου οργάνου για την μετέπειτα επεξεργασία, όπως:

- Product ⇒ Όνομα γεωδαιτικού σταθμού
- Serial Number ⇒ Κωδικός γεωδαιτικού σταθμού
- Manufacturer ⇒ Όνομα κατασκευαστή
- Ordered by ⇒ Όνομα χρήστη
- Specifications Directions in cc ⇒ Ακρίβεια μέτρησης οργάνου ως προς τις διευθύνσεις
- Specifications Distances in mm ⇒ Σταθερό σφάλμα ως προς τα μήκη σε mm
- Specifications Distances in ppm ⇒ Αναλογικό σφάλμα οργάνου ως προς τα μήκη σε ppm
- wave length in μm ⇒ Μήκος κύματος υπό ελέγχου οργάνου σε μικρόμετρα

Στη συνέχεια θα πρέπει να το ονομάσει ως εξής: *'TotalStation_SerialNumbergd.xls'*. Πιο συγκεκριμένα το *TotalStation* υποδηλώνει το όνομα του σταθμού, το *SerialNumber* υποδηλώνει τον κωδικό που έχει ο κάθε σταθμός και το *gd* υποδηλώνει τα αρχικά των λέξεων *general data*. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι: *TCR405_754169gd.xls*.

Με την έναρξη του προγράμματος, το πρόγραμμα ζητά από τον χρήστη να πληκτρολογήσει, σύμφωνα με την εντολή *'TotalStation_SerialNumber'* το όνομα του σταθμού που θέλει να ελέγξει και το *SerialNumber*. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι: *TCR405_754169*.

Έπειτα ο χρήστης πληκτρολογεί το όνομα του αρχείου στο οποίο θέλει να εξάγονται τα αποτελέσματα σύμφωνα με την εντολή *'Specify files' name for output'*.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα ρωτά τον χρήστη εάν θέλει να πραγματοποιήσει έλεγχο και διακρίβωση του οργάνου σύμφωνα με την εντολή *'Do you want to carry out the test and the accreditation of TS?'* Εάν ο χρήστης πληκτρολογήσει *Y* τότε έχει την δυνατότητα να ελέγξει και να διακριβώσει τον προσωπικό του εξοπλισμό και η διαδικασία αυτή επεξηγείται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 5.3 του λογισμικού της διακρίβωσης.

Σε αντίθετη περίπτωση το πρόγραμμα ρωτά τον χρήστη εάν θέλει να πραγματοποιήσει μόνο έλεγχο σύμφωνα με την εντολή *'Do you want to carry out only the test of TS?'*. Εάν ο χρήστης πληκτρολογήσει *Y* τότε θα κάνει μόνο έλεγχο του οργάνου. Σε αυτήν την περίπτωση εισάγονται τα αρχεία, τα οποία θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένη μορφή, όνομα και να βρίσκονται σε συγκεκριμένο φάκελο. Πιο συγκεκριμένα:

Τα αρχεία πρέπει να είναι σε μορφή *txt*. Εδώ πρέπει ο χρήστης να προσέχει το αρχείο των μετρήσεων να έχει μια συγκεκριμένη μορφή όσο αφορά τις γραμμές και τις στήλες:

Στήλες

- Στην πρώτη στήλη δηλώνεται το βάθρο στο οποίο τοποθετείται ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός
- Στη δεύτερη στήλη δηλώνεται το βάθρο στο οποίο τοποθετείται ο στόχος
- Στην τρίτη στήλη δηλώνεται η αντίστοιχη μέτρηση του μήκους σε μέτρα (*m*)

Επομένως γίνεται κατανοητό πως οι στήλες θα πρέπει να είναι **3** και να έχουν ένα κενό μεταξύ τους, ενώ η υποδιαστολή στους αριθμούς θα πρέπει να υποδηλώνεται με τελεία.

Γραμμές

- Οι πρώτες 6 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 1
- Οι επόμενες 5 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 2
- Οι επόμενες 4 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 3
- Οι επόμενες 3 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 4
- Οι επόμενες 2 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 5
- Η τελευταία γραμμή αφορά στη μέτρηση από το βάθρο 6

Επομένως γίνεται κατανοητό πως οι γραμμές θα πρέπει να είναι **21**.

Το όνομα του αρχείου θα πρέπει να είναι *TCR405_754169dis.txt* και θα πρέπει να βρίσκεται σε φάκελο με το όνομα *distances*.

Αφού εισάγει τα αρχεία με τις μετρήσεις για επεξεργασία, το πρόγραμμα εισάγει και τα αρχεία που περιέχουν τα ατμοσφαιρικά δεδομένα του υπό ελέγχου οργάνου. Όσο αφορά την μορφή, το όνομα και το που θα πρέπει να βρίσκονται τα αρχεία αυτά ο χρήστης θα πρέπει να γνωρίζει τα εξής:

Το αρχείο και σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να είναι σε μορφή *txt*. Όσο αφορά τις στήλες και τις γραμμές του αρχείου αυτού, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο εξής:

Στήλες

- Στην πρώτη στήλη δηλώνεται η μέση θερμοκρασία *T* (°C)
- Στη δεύτερη στήλη δηλώνεται η μέση πίεση *P* (*mbar*)
- Στην τρίτη στήλη δηλώνεται η μέση σχετική υγρασία *h* (%)

Και σε αυτήν την περίπτωση οι στήλες είναι **3** και θα πρέπει να έχουν ένα κενό μεταξύ τους. Επίσης η υποδιαστολή θα πρέπει να υποδηλώνεται με τελεία.

Γραμμές

- Ισχύει ότι ακριβώς ισχύει και για το αρχείο των μετρήσεων των μηκών. Ξεκινάμε με τις μετρήσεις από το πρώτο βάθρο μέχρι να καταλήξουμε στο βάθρο 6. Επομένως και εδώ οι γραμμές είναι **21**.

Το όνομα του αρχείου θα πρέπει να είναι **TCR405_754169atm.txt** και θα πρέπει να βρίσκεται σε φάκελο με το όνομα **distances**.

Βήμα 2 – Διαδικασία (PROCEDURE)

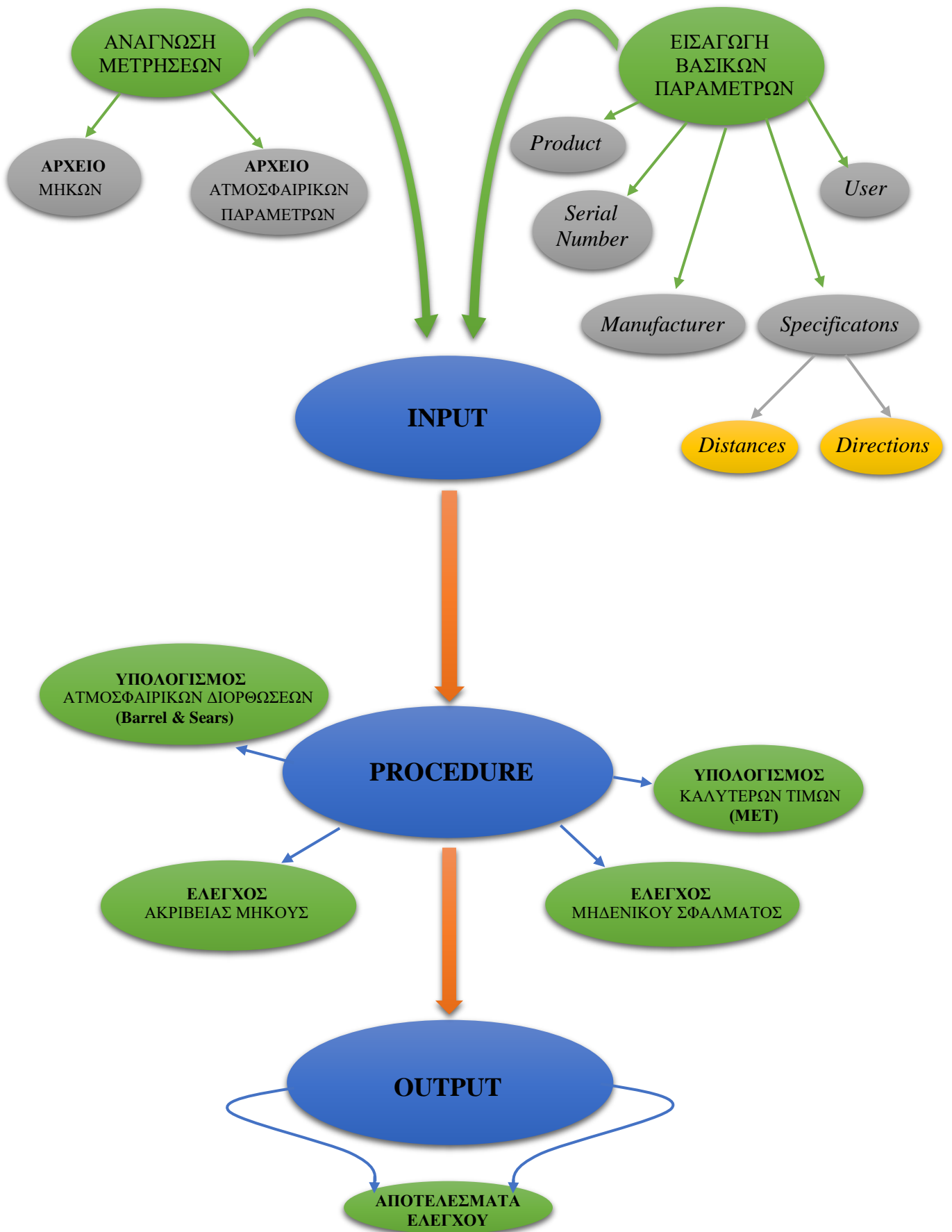
Εφόσον το πρόγραμμα εισάγει όλα τα αρχεία του οργάνου στην συνέχεια υπολογίζει σύμφωνα με την μέθοδο των *Barrel και Sears*, την διόρθωση των μετρήσεων που οφείλεται στην επίδραση των ατμοσφαιρικών παραμέτρων. Επομένως διορθώνει τα μήκη σύμφωνα με τις μετρήσεις που έχουν γίνει στο πεδίο, εφόσον η διόρθωση κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είχε απενεργοποιηθεί.

Στην συνέχεια σύμφωνα με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (έμμεσες παρατηρήσεις) προσδιορίζονται οι καλύτερες τιμές των 7 άγνωστων παραμέτρων.

Επομένως το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας είναι ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας του οργάνου. Το πρόγραμμα ελέγχει τόσο το εάν το όργανο ακολουθεί την ακρίβεια του κατασκευαστή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, όσο και το εάν το μηδενικό σφάλμα της προσαρμογής είναι ίδιο με του κατασκευαστή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Βήμα 3 – Αποτελέσματα (OUTPUT)

Ως αποτέλεσμα, το λογισμικό εξάγει ένα αρχείο *excel* και ένα αρχείο *pdf* τα οποία περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το εάν το όργανο ακολουθεί την ακρίβεια του κατασκευαστή ή όχι. Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί εύκολα να εκτυπώσει σε ειδικές φόρμες τα αποτελέσματα αυτά και να βγάλει τα απαραίτητα συμπεράσματα.



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα ροής αλγόριθμου λογισμικού ελέγχου

5.3 Λογισμικό διακρίβωσης

Βήμα 1 – Ανάγνωση μετρήσεων (INPUT)

Πριν την έναρξη του προγράμματος ο χρήστης θα πρέπει να έχει συμπληρώσει ένα αρχείο *excel* με το όνομα *general_data.xls* που περιέχει κάποιες βασικές παραμέτρους του υπό ελέγχου οργάνου για την μετέπειτα επεξεργασία, όπως αναφέρθηκε και στο λογισμικό του ελέγχου.

Με την έναρξη του προγράμματος, το πρόγραμμα ζητά από τον χρήστη να πληκτρολογήσει, σύμφωνα με την εντολή *'TotalStation_SeriarNumber'* το όνομα του σταθμού που θέλει να ελέγξει και το *SeriarNumber*. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι: *TCR405_754169*.

Έπειτα ο χρήστης πληκτρολογεί το όνομα του αρχείου στο οποίο θέλει να εξάγονται τα αποτελέσματα σύμφωνα με την εντολή *'Specify files' name for output'*. Αυτό το αρχείο θα πρέπει να είναι σε μορφή *excel (.xls)*.

Ακολουθώς το λογισμικό ρωτά τον χρήστη εάν θέλει να πραγματοποιήσει έλεγχο και διακρίβωση του οργάνου σύμφωνα με την εντολή *'Do you want to carry out the test and the accreditation of TS?'*. Εάν ο χρήστης πληκτρολογήσει **Y** τότε έχει την δυνατότητα να ελέγξει και να διακριβώσει τον προσωπικό του εξοπλισμό.

Στην περίπτωση που ο χρήστης θελήσει να κάνει έλεγχο και διακρίβωση του σταθμού το πρόγραμμα ρωτά τον χρήστη εάν έχει αρχεία πρότυπων μετρήσεων για επεξεργασία σύμφωνα με την εντολή *'Do you have files with standard measurements for elaboration?'*. Σε αυτήν την περίπτωση εισάγονται τα αρχεία τα οποία θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένη μορφή, όνομα και να βρίσκονται σε συγκεκριμένο φάκελο.

Πιο συγκεκριμένα τα αρχεία πρέπει να είναι σε μορφή *txt*. Εδώ πρέπει ο χρήστης να προσέχει το αρχείο των μετρήσεων να έχει μια συγκεκριμένη μορφή όσο αφορά στις γραμμές και στις στήλες:

Στήλες

- Στην πρώτη στήλη δηλώνεται το βάθρο στο οποίο τοποθετείται ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός
- Στην δεύτερη στήλη δηλώνεται το βάθρο στο οποίο τοποθετείται ο στόχος
- Στην τρίτη στήλη δηλώνεται η αντίστοιχη μέτρηση του μήκους σε μέτρα (*m*)

Επομένως γίνεται κατανοητό πως οι στήλες θα πρέπει να είναι **3** και να έχουν ένα κενό μεταξύ τους, ενώ η υποδιαστολή στους αριθμούς θα πρέπει να υποδηλώνεται με τελεία.

Γραμμές

- Οι πρώτες 6 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 1
- Οι επόμενες 5 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 2
- Οι επόμενες 4 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 3
- Οι επόμενες 3 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 4
- Οι επόμενες 2 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 5
- Η τελευταία γραμμή αφορά στη μέτρηση από το βάθρο 6

Επομένως γίνεται κατανοητό πως οι γραμμές θα πρέπει να είναι **21**.

Το όνομα των αρχείων θα πρέπει να είναι *standardn*dis.txt. Το γράμμα *n* υποδηλώνει τα αρχεία των μετρήσεων, το οποίο ξεκινά από το **1** και καταλήγει στον αριθμό των αρχείων *n*. Για παράδειγμα εάν ο χρήστης έχει **5** αρχεία πρότυπων μετρήσεων για επεξεργασία τότε πρέπει να τα ονομάζει:

- Standard1dis.txt ⇒ το πρώτο αρχείο
- Standard2dis.txt ⇒ το δεύτερο αρχείο
- Standard3dis.txt ⇒ το τρίτο αρχείο
- Standard4dis.txt ⇒ το τέταρτο αρχείο
- Standard5dis.txt ⇒ το πέμπτο αρχείο

Τέλος τα αρχεία αυτά θα πρέπει να βρίσκονται σε φάκελο με το όνομα *standard*.

Αφού εισάγει τα αρχεία με τις πρότυπες μετρήσεις για επεξεργασία, το πρόγραμμα εισάγει και τα αρχεία που περιέχουν τα ατμοσφαιρικά δεδομένα του πρότυπου οργάνου. Όσο αφορά στη μορφή, στο όνομα και στο που θα πρέπει να βρίσκονται τα αρχεία αυτά ο χρήστης θα πρέπει να γνωρίζει τα εξής:

Το αρχείο και σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να είναι σε μορφή *txt*. Όσο αφορά στις στήλες και στις γραμμές του αρχείου αυτού, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο εξής:

Στήλες

- Στην πρώτη στήλη δηλώνεται η μέση θερμοκρασία T ($^{\circ}C$)
- Στη δεύτερη στήλη δηλώνεται η μέση πίεση P (*mbar*)
- Στην τρίτη στήλη δηλώνεται η μέση σχετική υγρασία h (%)

Και σε αυτήν την περίπτωση οι στήλες είναι **3** και θα πρέπει να έχουν ένα κενό μεταξύ τους. Επίσης η υποδιαστολή θα πρέπει να υποδηλώνεται με τελεία.

Γραμμές

- Ισχύει ότι ακριβώς ισχύει και για το αρχείο των μετρήσεων των μηκών. Ξεκινάμε με τις μετρήσεις από το πρώτο βάθρο μέχρι να καταλήξουμε στο βάθρο 6. Επομένως και εδώ οι γραμμές είναι **21**.

Το όνομα των αρχείων θα πρέπει να είναι *standardn*atm.txt. Το γράμμα *n* υποδηλώνει τα αρχεία των μετρήσεων το οποίο ξεκινά από το **1** και καταλήγει στον αριθμό των αρχείων *n*. Για παράδειγμα εάν ο χρήστης έχει **5** αρχεία ατμοσφαιρικών δεδομένων τότε πρέπει να τα ονομάζει:

- Standard1atm.txt ⇒ το πρώτο αρχείο
- Standard2atm.txt ⇒ το δεύτερο αρχείο
- Standard3atm.txt ⇒ το τρίτο αρχείο
- Standard4atm.txt ⇒ το τέταρτο αρχείο
- Standard5atm.txt ⇒ το πέμπτο αρχείο

Τα αρχεία αυτά θα πρέπει να βρίσκονται σε φάκελο με το όνομα *standard*.

Τέλος το πρόγραμμα ρωτά τον χρήστη εάν έχει παλαιότερες πρότυπες μετρήσεις σύμφωνα με την εντολή *'Do you have a file with standard measurements that it doesn't need to be elaborated?'*. Εάν ο χρήστης πληκτρολογήσει **Y** τότε το πρόγραμμα εισάγει το αρχείο των μετρήσεων το οποίο θα πρέπει να έχει την εξής χαρακτηριστικά:

Το αρχείο πρέπει να είναι σε μορφή *txt*. Εδώ πρέπει ο χρήστης να προσέχει το αρχείο των μετρήσεων να έχει μια συγκεκριμένη μορφή όσο αφορά τις γραμμές και τις στήλες:

Στήλες

- Στην πρώτη στήλη δηλώνεται το βάθρο στο οποίο τοποθετείται ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός
- Στη δεύτερη στήλη δηλώνεται το βάθρο στο οποίο τοποθετείται ο στόχος
- Στην τρίτη στήλη δηλώνεται η αντίστοιχη μέτρηση του μήκους σε μέτρα (*m*)
- Στην τέταρτη στήλη δηλώνεται το τυπικό σφάλμα της πρότυπης τιμής σε (mm)

Επομένως γίνεται κατανοητό πως οι στήλες θα πρέπει να είναι **4** και να έχουν ένα κενό μεταξύ τους, ενώ η υποδιαστολή στους αριθμούς θα πρέπει να υποδηλώνεται με τελεία.

Γραμμές

- Οι πρώτες 6 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 1
- Οι επόμενες 5 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 2
- Οι επόμενες 4 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 3
- Οι επόμενες 3 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 4
- Οι επόμενες 2 γραμμές αφορούν στις μετρήσεις από το βάθρο 5
- Η τελευταία γραμμή αφορά στη μέτρηση από το βάθρο 6

Επομένως γίνεται κατανοητό πως οι γραμμές θα πρέπει να είναι **21**.

Το όνομα του αρχείου θα πρέπει να είναι *standard_distances.txt*. Το αρχείο αυτό θα πρέπει να βρίσκεται στον αρχικό φάκελο με το όνομα *GeoCal*.

Βήμα 2 – Διαδικασία (PROCEDURE)

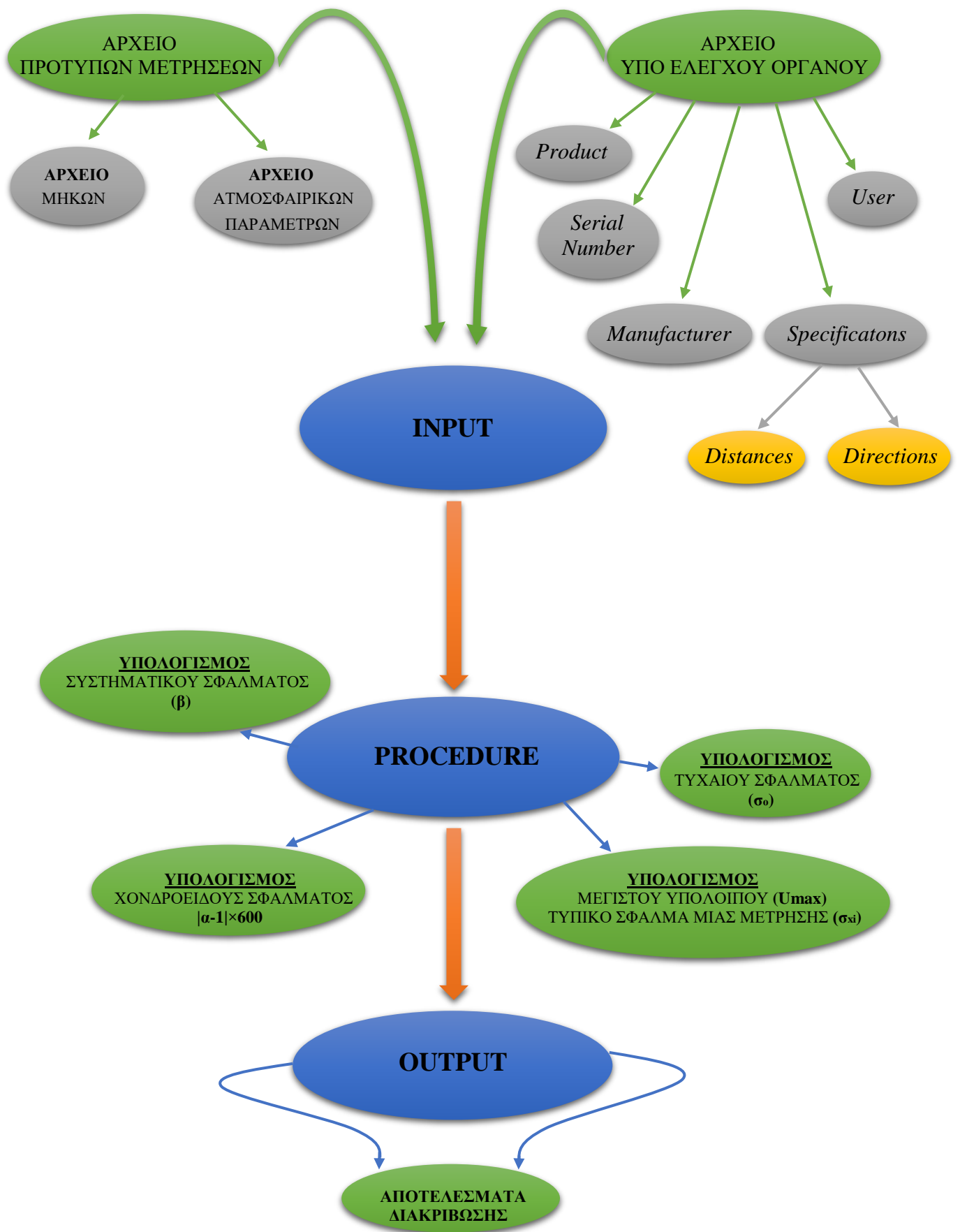
Το πρόγραμμα έχοντας εισάγει όλα τα απαραίτητα αρχεία, επεξεργάζεται τις πρότυπες μετρήσεις, προκειμένου να διορθωθούν από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψιν και τυχόν προηγούμενες πρότυπες τιμές της βάσης και υπολογίζει τον μέσο όρο και κατ' επέκταση τις καλύτερες πρότυπες τιμές με τα αντίστοιχα τυπικά τους σφάλματα.

Στην συνέχεια συγκρίνει τις πρότυπες τιμές με εκείνες του υπό ελέγχου οργάνου και υπολογίζει την μέγιστη διαφορά, το τυπικό σφάλμα της μιας μέτρησης του οργάνου και σύμφωνα με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων την καλύτερη ευθεία.

Επομένως το πρόγραμμα ελέγχει τις παραπάνω τιμές (U_{max} , σ_{xi}) με την ακρίβεια του οργάνου και κατ' επέκταση υπολογίζει το χονδροειδές, το συστηματικό και το τυχαίο σφάλμα.

Βήμα 3 – Αποτελέσματα (OUTPUT)

Ως αποτέλεσμα το πρόγραμμα εξάγει ένα αρχείο *excel* και ένα αρχείο *pdf* τα οποία περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το εάν το όργανο λειτουργεί σωστά. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται ένας πίνακας με τις πρότυπες τιμές της βάσης, τις αντίστοιχες του υπό ελέγχου οργάνου και τις διαφορές μεταξύ τους. Επιπλέον φαίνεται η μέγιστη διαφορά (U_{max}), το τυπικό σφάλμα της μιας μέτρησης του οργάνου (σ_{xi}) και το χονδροειδές, συστηματικό και τυχαίο σφάλμα που παρουσιάζει. Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί εύκολα να εκτυπώσει σε ειδικές φόρμες τα αποτελέσματα αυτά και να βγάλει τα απαραίτητα συμπεράσματα.



Σχήμα 5.2 Διάγραμμα ροής αλγόριθμου λογισμικού διακρίβωσης

5.4 Φόρμες αποτελεσμάτων



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product:

Serial Number:

Manufacturer :

Inspection date :

Ordered by :

Specifications Directions: ± cc
Distances: ± mm ± ppm

TEST ACCORDING TO ISO 17123 - 4 FOR DISTANCES

Typical error according to ISO : $S_{iso} = \pm$ mm

Manufacturer's precision for confidence level 95% : $\sigma_{95\%} = \pm$ mm

S_{iso} $\sigma_{95\%}$

Zero point correction : d= mm

Certificate : We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.
The test has been established according to ISO 17123 - 4, 2001.

STAMP

SIGNATURE

Εικόνα 5.1 Φόρμα αποτελεσμάτων ελέγχου σύμφωνα με το ISO 17123-4



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product:

Serial

Number:

Manufacturer:

Inspection date :

Ordered by:

Specifications

Directions: \pm μm

Distances: \pm mm \pm ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

No	True distance (m)	Measured distance (m)	Difference (m)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			

Maximum deviation $U_{\max} =$ \pm mm

Standard deviation of a single measurement $\sigma_{xi} =$ \pm mm

STAMP

SIGNATURE

Εικόνα 5.2 Φόρμα αποτελεσμάτων διακρίβωσης I



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product:
 Serial Number:
 Manufacturer :
 Inspection date :
 Ordered by :

Specifications	Directions:	\pm			cc	
	Distances:	\pm		mm	\pm	ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

SUPPLEMENT: $y = \alpha x + \beta$

$\alpha =$	\pm			gross error at 600m:	mm	
$\beta =$	\pm	mm	\pm	mm	systematic error:	mm
$\sigma_0 =$	\pm	mm			random error:	mm

STAMP

SIGNATURE

Εικόνα 5.3 Φόρμα αποτελεσμάτων διακρίβωσης II

Κεφάλαιο 6

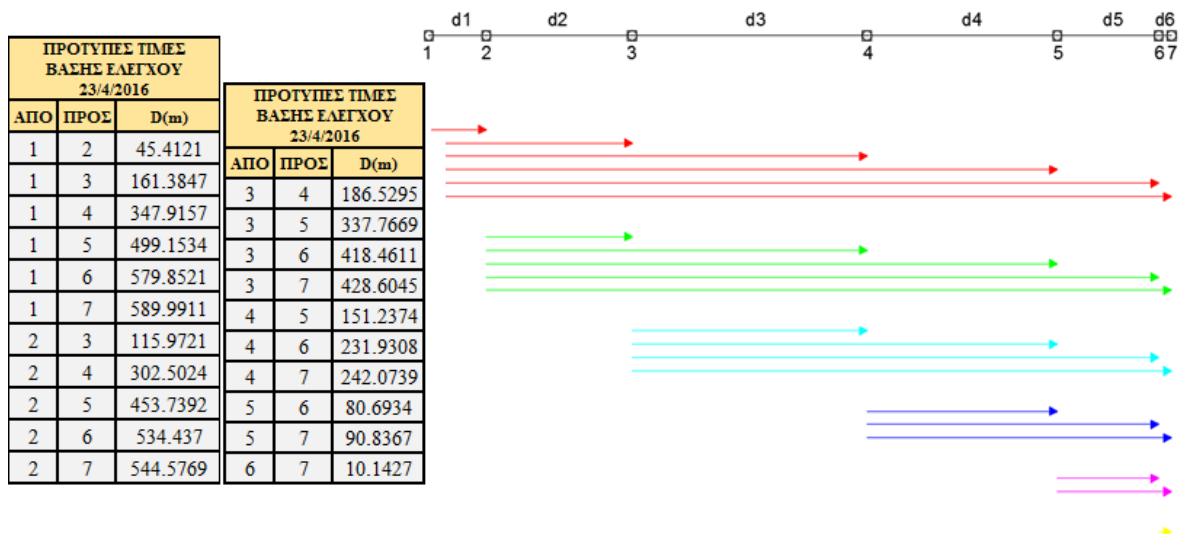
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί:

- ✓ η βαθμονόμηση της εξωτερικής βάσης ελέγχου ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους, που είναι εγκατεστημένη στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά
- ✓ η εφαρμογή του ISO 17123-4 για μήκη για τον έλεγχο τεσσάρων (4) ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών
- ✓ η διερεύνηση μεθοδολογιών διακρίβωσης
- ✓ η διακρίβωση τεσσάρων (4) ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών στη μέτρηση του μήκους
- ✓ η σύνταξη λογισμικού που πραγματοποιεί τον έλεγχο και την διακρίβωση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών ως προς τη μέτρηση του μήκους

Η βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου έγινε στις 23/4/2016, με τον πρότυπο γεωδαιτικό σταθμό Leica TDA 5005. Πιο συγκεκριμένα η βάση ελέγχου μετρήθηκε έτσι όπως ορίζει το ISO 17123 - 4 και στη συνέχεια διορθώθηκαν οι μετρήσεις λόγω της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίστηκαν οι πρότυπες τιμές της βάσης, οι οποίες παρουσιάζονται στην εικόνα 6.1 που ακολουθεί.



Εικόνα 6.1 Πρότυπες τιμές βάσης ελέγχου

Η βάση έχει κατασκευαστεί με έναν ευέλικτο και αρκετά οικονομικό τρόπο προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιοδήποτε χρήστη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν αποτελείται από τιμεντένιους πυλώνες, αλλά από 9 φορητά μεταλλικά βάρη σε απόσταση 2 km.

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων απαιτούνται 2 άτομα, ενώ είναι ιδιαίτερα σημαντική τόσο η χρήση οχήματος, όσο και η χρήση ασυρμάτων για την άμεση επικοινωνία παρατηρητή και στοχοφόρου, προκειμένου να λαμβάνονται κατά τη στιγμή της μέτρησης οι αντίστοιχες μετεωρολογικές συνθήκες.

Επίσης η βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου διήρκεσε 45 λεπτά. Ταυτόχρονα οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν και για τον έλεγχο του πρότυπου γεωδαιτικού σταθμού. Αποδείχθηκε ότι το όργανο ακολουθεί την ακρίβεια του κατασκευαστή του.

Ο.Γ.Σ	ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ISO 17123-4
TDA 5005	ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα ελέγχου του πρότυπου γεωδαιτικού σταθμού *Leica TDA 5005*

Επίσης είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονιστεί πως η βαθμονόμηση της βάσης με το πρότυπο όργανο θα πρέπει να προγραμματίζεται σε μέρες με καλές καιρικές συνθήκες, όπου η ένταση του ανέμου στην περιοχή δεν ξεπερνά τα 2 μποφόρ.

Στη συνέχεια ακολούθησε ο έλεγχος τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών κατά ISO 17123 - 4. Από τη διπλωματική εργασία γίνεται αντιληπτό ότι το ISO 17123 - 4, έχει οργανώσει και μεθοδεύσει μια διαδικασία ελέγχου προσιτή στον χρήστη, χωρίς περίπλοκες διαδικασίες μετρήσεων.

Επομένως η διαδικασία ελέγχου ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού αναλύεται στα εξής βήματα:

- ✓ Μετρήσεις με τον υπό έλεγχο ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό ⇒ $x_{measured}$
- ✓ Επεξεργασία μετρήσεων, ώστε να διορθωθούν από την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών ⇒ θερμοκρασία T , πίεση P , υγρασία h

- ✓ Υπολογισμός των 6 καλύτερων τιμών των αποστάσεων μεταξύ των 7 βάθρων $\Rightarrow \overline{x_{1,2}}, \overline{x_{2,3}}, \overline{x_{3,4}}, \overline{x_{4,5}}, \overline{x_{5,6}}, \overline{x_{6,7}}$
- ✓ Υπολογισμός μηδενικού σφάλματος $\Rightarrow \delta$
- ✓ Υπολογισμός τυπικού σφάλματος της προσαρμογής $\Rightarrow s$
- ✓ Έλεγχος εσωτερικής ακρίβειας του υπό έλεγχου οργάνου $\Rightarrow s \leq \sigma \cdot 1.30$
- ✓ Έλεγχος μηδενικού σφάλματος $\Rightarrow |\delta - \delta_0| \leq \frac{s}{\sqrt{5}} \quad 2.14$

Η διεξαγωγή των μετρήσεων για τον έλεγχο των τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών έγινε όπως ορίζει το ISO 17123 – 4, ενώ η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων είναι πιο αξιόπιστη, αρκετά προσιτή στον χρήστη και οδηγεί στον προσδιορισμό των καλύτερων τιμών των 6 αποστάσεων μεταξύ των 7 βάθρων.

Από τις μετρήσεις στα πεδία συμπεραίνεται ότι η ένταση του ανέμου δεν επηρεάζει τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, όπως επηρεάζει τον σταθμό αναφοράς. Επιπλέον, συμπεραίνεται ότι ο χρόνος που απαιτείται για τη συλλογή των μετρήσεων στη βάση για κάθε ένα υπό έλεγχο γεωδαιτικό σταθμό είναι περίπου στα 30 λεπτά.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου των τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, ως προς την εσωτερική ακρίβεια, παρουσιάζονται στον πίνακα 6.2. Από αυτόν προκύπτει ότι και οι τέσσερις γεωδαιτικοί σταθμοί ακολουθούν την ακρίβεια του κατασκευαστή τους.

Στη συνέχεια ακολούθησε η διακρίβωση των τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Η διακρίβωση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών και κατ' επέκταση ο έλεγχος της εξωτερικής ακρίβειας, αποτελεί το ερευνητικό κομμάτι της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πιο συγκεκριμένα διερευνήθηκαν 2 πιθανές μεθοδολογίες διακρίβωσης, αυτής του προσδιορισμού των υπολοίπων και εκείνης του προσδιορισμού της εξίσωσης αβεβαιότητας.

Ως μεθοδολογία διακρίβωσης επιλέγεται εκείνη που ακολουθεί τον **προσδιορισμό των υπολοίπων**, αλλά η διαδικασία του προσδιορισμού της εξίσωσης αβεβαιότητας δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού τυχόν χονδροειδούς συστηματικού και τυχαίου σφάλματος στο σύστημα του γεωδαιτικού σταθμού.

Η διαδικασία της διακρίβωσης περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- ✓ Βαθμονόμηση εξωτερικού πεδίου ελέγχου με πρότυπο ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό $\Rightarrow \mathbf{x}_{standard}$
- ✓ Μετρήσεις με τον υπό διακρίβωση ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό $\Rightarrow \mathbf{x}_{measured}$
- ✓ Επεξεργασία μετρήσεων ώστε να διορθωθούν από την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών \Rightarrow θερμοκρασία \mathbf{T} , πίεση \mathbf{P} , υγρασία \mathbf{h}
- ✓ Υπολογισμός υπολοίπων, που προκύπτουν αφαιρώντας τις πρότυπες τιμές από τα μετρούμενα μεγέθη $\Rightarrow \mathbf{u}$
- ✓ Εύρεση του μέγιστου υπολοίπου $\Rightarrow \mathbf{u}_{max}$
- ✓ Υπολογισμός του τυπικού σφάλματος της μιας μέτρησης σ_{xi}
- ✓ Έλεγχος εξωτερικής ακρίβειας του υπό διακρίβωση γεωδαιτικού σταθμού $\Rightarrow \mathbf{u}_{max} \leq \sigma_{κατασκευαστή}$ και $\sigma_{xi} \leq \sigma_{κατασκευαστή}$
- ✓ Προσδιορισμός παραμέτρων εξίσωσης αβεβαιότητας (σχέση 4.1):
 - χονδροειδές σφάλμα στα 600m $\Rightarrow |\alpha - 1| \cdot 600$
 - συστηματικό σφάλμα β
 - τυχαίο σφάλμα σ_o

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τις ίδιες μετρήσεις για τον έλεγχο της εσωτερικής ακρίβειας των τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, εφαρμόστηκε η διαδικασία της διακρίβωσης και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.2.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΛΕΓΧΟΣ	ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ
TCR 405	✓	✗
TCR 303	✓	✗
GTS 226 S/N: UN4768	✓	✗
GTS 226 S/N: UN5638	✓	✗

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα ελέγχου και διακρίβωσης των τεσσάρων ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

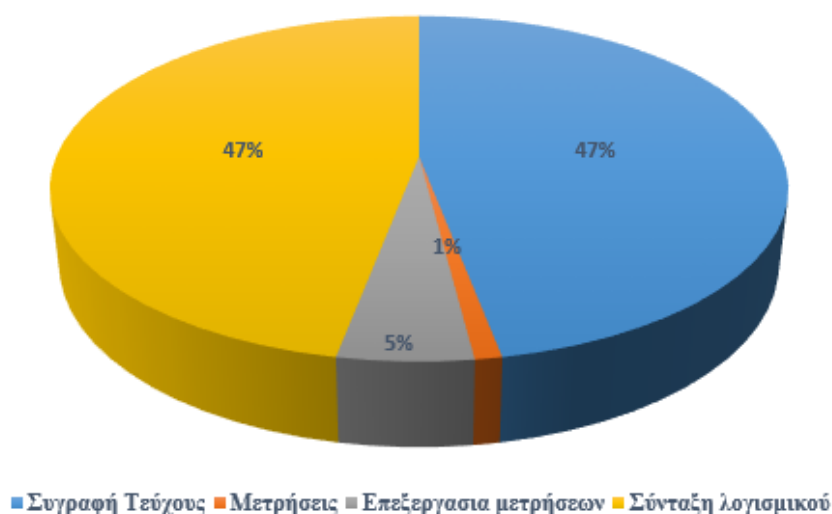
Προκύπτει ότι και οι τέσσερις ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί δεν “περνάνε” τη διακρίβωση και κατ’ επέκταση πρέπει να σταλούν άμεσα για εργαστηριακό έλεγχο και βαθμονόμηση.

Επιπλέον, οι διαδικασίες ελέγχου και διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών βελτιστοποιούνται με τη χρήση του λογισμικού που προγραμματίστηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ο προγραμματισμός επιταχύνει τη διαδικασία επεξεργασίας των απαραίτητων μετρήσεων και πραγματοποιεί τους απαιτούμενους ελέγχους (έλεγχος εσωτερικής και εξωτερικής ακρίβεια).

Επομένως όσο αφορά στον προγραμματισμό του λογισμικού της διακρίβωσης και του ελέγχου, αποτελεί μια ολοκληρωμένη επεξεργασία μετρήσεων με αποτέλεσμα να εξάγονται τα αποτελέσματα άμεσα προς τον χρήστη. Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα εξάγονται σε μορφή *excel* και σε μορφή *pdf*, σε ειδικές φόρμες πιστοποίησης.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει έλεγχο κατά ISO 17123 - 4 και διακρίβωση ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού ή εάν το επιθυμεί μόνο έλεγχο.

Τέλος στο σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η κατανομή των εργασιών εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 6.1 Κατανομή χρόνου εργασιών

6.2 Προτάσεις

Εφαρμόζοντας τις διαδικασίες που περιγράφονται στο ISO 17123-4 μπορούν να γίνουν κάποιες προτάσεις - επισημάνσεις που θα διευκόλυναν σημαντικά τη διαδικασία των μετρήσεων αλλά ταυτόχρονα θα έδιναν σωστά αποτελέσματα.

Πιο συγκεκριμένα, προτείνονται τα ακόλουθα:

- Βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου με τη χρήση περισσότερων του ενός πρότυπου γεωδαιτικού σταθμού, προκειμένου να μπορέσουν τα αποτελέσματα να αξιολογηθούν καλύτερα και να βελτιωθεί η ακρίβεια προσδιορισμού των πρότυπων τιμών της βάσης.
- Κατασκευή έβδομου ειδικά αποσπώμενου μεταλλικού βάρου, προκειμένου να διεξάγονται οι μετρήσεις πιο γρήγορα και πιο εύκολα. Με αυτόν τον τρόπο θα μειωθεί, τόσο η χρήση οχήματος για τη μεταφορά κάποιου από τα υπόλοιπα μεταλλικά βάρη στην έβδομη διάταξη, όσο και η κόπωση λόγω της εγκατάστασης και της επανεγκατάστασης του.
- Κατασκευή ειδικής φορητής κατασκευής που να μπορεί να τοποθετείται σε κάθε μεταλλικό βάρη προκειμένου να περιορίζεται η επίδραση του ανέμου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με πρότυπο γεωδαιτικό σταθμό, ιδιαίτερα όταν είναι ισχυρός.
- Να πραγματοποιηθεί η πιστοποίηση της βάσης ελέγχου από τον υπεύθυνο οργανισμό τυποποίησης ΕΛ.Ο.Τ. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσει η βάση αυτή να χρησιμοποιείται από το ΕΜΠ, αλλά και από οποιοδήποτε εξειδικευμένο χρήστη προκειμένου να ελέγξει τον προσωπικό του εξοπλισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.-Μ., *"Θεωρία σφαλμάτων και συνιορθώσεις I"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2009
2. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.-Μ., *"Θεωρία σφαλμάτων και συνιορθώσεις II"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2009
3. Αθανασιάδης Κ., *"Μέτρηση, μετρολογία και αξιώματα της μετρολογίας"*, Τεχνικά Χρονικά, τεύχος 2/2006, σελ 1-16.
4. Αλεξίου Α., *"Εφαρμογή του προτύπου ISO 17123-4 σε εσωτερική βάση Δημιουργία ευέλικτης εξωτερικής βάσης μετρολογικού ελέγχου μηκών"*, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2011
5. Bertacchini Eleonora, Capra Alessandro, Castagnetti Cristina, Corsini Alessandro, *"Atmospheric corrections for topographic monitoring systems in landslides"*, Italy 2011
6. Γεωργοπουλος Γ., Γκίκας Β., Τελειώνη Ε., Τσακίρη Μ., *"Γεωδαισία Μετρήσεις – διορθώσεις – αναγωγές Προσδιορισμός θέσης"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2011
7. Γλυνός Λ., *"Έλεγχος και διακρίβωση χωροσταθμικών συστημάτων"*, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2015
8. Δούκας Ι.Δ., *"Η Ιστορική εξέλιξη της Επιστήμης της Μετρολογίας, Επιστημονικό συνέδριο "Η εξέλιξη των οργάνων, των μεθόδων και των συστημάτων μετρήσεων των επιστημών της αποτύπωσης στη Ελλάδα"*, σελ 133-156, 15-16 Απριλίου 2005, Θεσσαλονίκη
9. Harvey B.R. (2009) *"Practical least squares and statistics for surveyors"*, Monograph 13 (3rd edition), School of Surveying and Spatial Information Systems, University of New South Wales, Sydney, Australia, 332pp.
10. International standard ISO 17123-4 *"Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments)"*, 2001

11. Janssen V. (2012) *"Indirect tracking of drop bears using GNSS technology"*, Australian Geographer, 43(4), 445-452.
12. Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., *"Ανίχνευση της αβεβαιότητας του συστήματος ανάγνωσης διευθύνσεων"*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 4ο Τακτικό εθνικό συνέδριο μετρολογίας, Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012
13. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Μπαλλής Β., *"Το πρότυπο εξωτερικό πεδίο ελέγχου & Διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών"*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Geotech ΕΠΕ– Λύσεις Γεωπληροφορικής, 6ο Τακτικό εθνικό συνέδριο μετρολογίας, Αθήνα, 13-14 Μαΐου 2016
14. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *"Εφαρμοσμένη γεωδαισία"*, εκδόσεις Ζήτη, ISBN 978-960-456-205-3, Αθήνα 2010
15. Μαδενίδης Ε. *"Ανάπτυξη Διαδικασίας Διακρίβωσης 5m μετροταινίας γενικής χρήσης στο Εργαστήριο Διαστατικών Μεγεθών της ΥΠΗΔ, υπολογισμού αβεβαιότητας και έκδοσης πιστοποιητικού διακρίβωσης"*, Αθήνα 2015
16. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Γεωργόπουλος Γ., Δογγούρης Σ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *"Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας"*, Διδακτικές σημειώσεις 9ου εξαμήνου της ΣΑΤΜ, Αθήνα 2005
17. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., *"Σημειώσεις μαθήματος: Μετρολογία, Βασικές έννοιες και ορισμοί – Στατιστικοί έλεγχοι για την αξιοπιστία των οργάνων"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2006
18. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., *"Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 1993
19. Πανταζής Γ., *"Τα εργαστήρια διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων στην Ελλάδα το παρόν και το μέλλον"*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, 6ο Τακτικό εθνικό συνέδριο μετρολογίας, Αθήνα, 13-14 Μαΐου 2016
20. Rueger, J.M. (1998). *"Refractive index formulae for electr-optical distance measurement. Proceeding of International Federation of Surveyors (FIG'98)"*, Paper TS28/1: 191 – 208.

21. Rüeger J.M.R. (1996) *"Electronic distance measurement: An introduction"* (4th edition), Springer, Berlin, 300pp.
22. Ρωσσικόπουλος Δ. *"Τοπογραφικά δίκτυα και υπολογισμοί"*, εκδόσεις Ζήτη, ISBN 960-960-431-128-X, Θεσσαλονίκη 1992
23. Ρωσσικόπουλος Δ. *"Η βαθμονόμηση των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης αποστάσεων"*, Θεσσαλονίκη 1997
24. Schwendener H.R. (1972) *"Electronic distancers for short ranges: Accuracy and Checking procedures"*, Survey Review, 21(164), 273-281.
25. Σταμπουλόγλου Ε., Καραντζαλος Κ., Γεωργόπουλος Α., *"Συστήματα διαχείρισης ποιότητας Πρότυπα – Τυποποίηση - Πιστοποίηση"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2005
26. Surveyor-General of the Australian Capital Territory, *"EDM Calibration Handbook"*, Australia 2004
27. Thomas Busuyi AFENI, *"An approach to eradicate the effects of atmospheric variations on total station distance measurement in a surface mine environment. The impact of taking measurement through a glass medium "*, Johannesburg 2011
28. Tony Watson, Volker Janssen *"Current Status of EDM Calibration Procedures in NSW"*, Australia 2014

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/Metrology>
2. <http://www.eim.gr>
3. <http://marathoninfo.gr/index.php/simeia-endiaferontos-nea-makri-marathonas/item/%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%BC%CF%80%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C-%CE%BA%CF%89%CF%80%CE%B7%CE%BB%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%B4%CF%81%CF%8C%CE%BC%CE%B9%CE%BF-%CF%83%CF%87%CE%B9%CE%BD%CE%B9%CE%AC>
4. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/scient_tpopoiisi/organismoi#A1
5. https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub09/FIG-Publication_Nr9_english.pdf
6. <http://gserver.civil.auth.gr/glab/indexgr-research.htm#f7>
7. http://www.lpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0007/196576/2014_Janssen_and_Watson_APAS2014_EDM_calibration_procedures_in_NSW.pdf
8. www.iso.org
9. <http://ps1.fce.vutbr.cz/katalog/metpok/76.pdf>
10. <http://www.geminidataloggers.com>
11. <http://www.smart-tech.gr/Icom-IC-A15/S-VHF-Airband-Transceiver.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: TCR405
Serial Number: 754169
Manufacturer : Leica
Inspection date : 03 September 2016
Ordered by : GERY KAR
Specifications Directions: ± 15 ^{cc}
 Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

TEST ACCORDING TO ISO 17123 - 4 FOR DISTANCES

Typical error according to ISO : $S_{iso} = \pm 1.2$ mm

Manufacturer's precision for confidence level 95% : $\sigma_{95\%} = \pm 2.6$ mm

$S_{iso} < \sigma_{95\%}$ **PASS**

Zero point correction : **PASS** $d = 0.0$ mm

Certificate : We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.
The test has been established according to ISO 17123 - 4, 2001.

STAMP

SIGNATURE

Π.1 Πιστοποιητικό ελέγχου γεωδαιτικού σταθμού TCR 405 S/N:754169



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: TCR405
Serial Number: 754169
Manufacturer : Leica
Inspection date : 05 October 2016
Ordered by: Argy_Gery
Specifications Directions: ± 15 ^{cc}
Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

No	True distance (m)	Measured distance (m)	Difference (m)
1	45.4121	45.411	-0.0011
2	161.3847	161.384	-0.0007
3	347.9157	347.914	-0.0017
4	499.1534	499.151	-0.0024
5	579.8521	579.851	-0.0011
6	589.9911	589.989	-0.0021
7	115.9721	115.972	-0.0001
8	302.5024	302.503	0.0006
9	453.7392	453.742	0.0028
10	534.4370	534.437	0.0000
11	544.5769	544.580	0.0031
12	186.5295	186.531	0.0015
13	337.7669	337.769	0.0021
14	418.4611	418.464	0.0029
15	428.6045	428.607	0.0025
16	151.2374	151.237	-0.0004
17	231.9308	231.932	0.0012
18	242.0739	242.075	0.0011
19	80.6934	80.694	0.0006
20	90.8367	90.837	0.0003
21	10.1427	10.143	0.0003

Maximum deviation $U_{\max} = \pm 3.1$ mm **FAIL**
Standard deviation of a single measurement $\sigma_{xi} = \pm 1.7$ mm **PASS**

STAMP

SIGNATURE

*Π.2 Πιστοποιητικό διακρίβωσης γεωδαιτικού σταθμού TCR 405
S/N:754169*



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: TCR405
Serial Number: 754169
Manufacturer : Leica
Inspection date : 03 September 2016
Ordered by : GERY KAR
Specifications Directions: ± 15 $^{\circ}$
 Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

SUPPLEMENT: $y = \alpha x + \beta$

$\alpha =$	1.000000	\pm	0.000002	gross error at 600m:	0.1	mm
$\beta =$	± 0.5	mm	± 0.7	systematic error:	0.5	mm
$\sigma_0 =$	± 1.6	mm		random error:	1.6	mm

STAMP

SIGNATURE

Π.3 Πιστοποιητικό διακρίβωσης γεωδαιτικού σταθμού TCR 405
S/N:754169



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: TCR303
Serial Number: 667189
Manufacturer : Leica
Inspection date : 03 September 2016
Ordered by : GERY KAR
Specifications Directions: $\pm 15^{\text{cc}}$ $^{\text{cc}}$
Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

TEST ACCORDING TO ISO 17123 - 4 FOR DISTANCES

Typical error according to ISO : $S_{\text{iso}} = \pm 2.5$ mm

Manufacturer's precision for confidence level 95% : $\sigma_{95\%} = \pm 2.6$ mm

$S_{\text{iso}} < \sigma_{95\%}$ **PASS**

Zero point correction : **PASS** $d = 0.0$ mm

Certificate : We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.
The test has been established according to ISO 17123 - 4, 2001.

STAMP

SIGNATURE

Π.4 Πιστοποιητικό ελέγχου γεωδαιτικού σταθμού TCR 303 S/N:667189



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: **TCR303**
 Serial Number: **667189**
 Manufacturer : **Leica**
 Inspection date : **05 October 2016**
 Ordered by: **Argy_Gery**
 Specifications Directions: ± 15 cc
 Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

No	True distance (m)	Measured distance (m)	Difference (m)
1	45.4121	45.412	-0.0001
2	161.3847	161.385	0.0003
3	347.9157	347.915	-0.0007
4	499.1534	499.154	0.0006
5	579.8521	579.853	0.0009
6	589.9911	589.992	0.0009
7	115.9721	115.972	-0.0001
8	302.5024	302.503	0.0006
9	453.7392	453.741	0.0018
10	534.4370	534.436	-0.0010
11	544.5769	544.579	0.0021
12	186.5295	186.540	0.0105
13	337.7669	337.769	0.0021
14	418.4611	418.463	0.0019
15	428.6045	428.606	0.0015
16	151.2374	151.239	0.0016
17	231.9308	231.933	0.0022
18	242.0739	242.076	0.0021
19	80.6934	80.695	0.0016
20	90.8367	90.838	0.0013
21	10.1427	10.143	0.0003

Maximum deviation $U_{\max} = \pm 10.5$ mm **FAIL**
 Standard deviation of a single measurement $\sigma_{xi} = \pm 2.7$ mm **FAIL**

STAMP

SIGNATURE

Π.5 Πιστοποιητικό ελέγχου γεωδαιτικού σταθμού TCR 303 S/N:667189



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: TCR303
Serial Number: 667189
Manufacturer : Leica
Inspection date : 03 September 2016
Ordered by : GERY KAR
Specifications Directions: ± 15 cc
 Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

SUPPLEMENT: $y = \alpha x + \beta$

$\alpha =$	0.999998	±	0.000003	gross error at 600m:	1.0 mm
$\beta =$	± 1.9 mm	±	1.0 mm	systematic error:	1.9 mm
$\sigma_0 =$	± 2.4 mm			random error:	2.4 mm

STAMP

SIGNATURE

Π.6 Πιστοποιητικό ελέγχου γεωδαιτικού σταθμού TCR 303 S/N:667189



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: GTS226
Serial Number: UN4768
Manufacturer : Leica
Inspection date : 03 September 2016
Ordered by : GERY KAR
Specifications Directions: ± 15 ^{cc}
 Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

TEST ACCORDING TO ISO 17123 - 4 FOR DISTANCES

Typical error according to ISO : $S_{iso} = \pm 2.1 \text{ mm}$

Manufacturer's precision for confidence level 95% : $\sigma_{95\%} = \pm 2.6 \text{ mm}$

$S_{iso} < \sigma_{95\%}$ **PASS**

Zero point correction : **FAIL** $d = 0.0 \text{ mm}$

Certificate : We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.
The test has been established according to ISO 17123 - 4, 2001.

STAMP

SIGNATURE

Π.7 Πιστοποιητικό ελέγχου γεωδαιτικού σταθμού GTS 226 405
S/N:UN4768



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: **GTS226**
Serial Number: **UN4768**
Manufacturer : **Leica**
Inspection date : **05 October 2016**
Ordered by: **Argy_Gery**
Specifications Directions: ± 15 cc
Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

No	True distance (m)	Measured distance (m)	Difference (m)
1	45.4121	45.403	-0.0091
2	161.3847	161.374	-0.0107
3	347.9157	347.910	-0.0057
4	499.1534	499.126	-0.0274
5	579.8521	579.838	-0.0141
6	589.9911	589.974	-0.0171
7	115.9721	115.974	0.0019
8	302.5024	302.509	0.0066
9	453.7392	453.720	-0.0192
10	534.4370	534.437	0.0000
11	544.5769	544.583	0.0061
12	186.5295	186.537	0.0075
13	337.7669	337.752	-0.0149
14	418.4611	418.464	0.0029
15	428.6045	428.609	0.0045
16	151.2374	151.217	-0.0204
17	231.9308	231.928	-0.0028
18	242.0739	242.072	-0.0019
19	80.6934	80.714	0.0206
20	90.8367	90.859	0.0223
21	10.1427	10.146	0.0033

Maximum deviation $U_{\max} = \pm 27.4$ mm **FAIL**
Standard deviation of a single measurement $\sigma_{xi} = \pm 13.4$ mm **FAIL**

STAMP

SIGNATURE

*Π.8 Πιστοποιητικό διακρίβωσης γεωδαιτικού σταθμού GTS 226 405
S/N:UN4768*



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: GTS226
Serial Number: UN4768
Manufacturer : Leica
Inspection date : 03 September 2016
Ordered by : GERY KAR
Specifications Directions: ± 15 cc
Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

SUPPLEMENT: $y = \alpha x + \beta$

$\alpha =$	0.999972	±	0.000015	gross error at 600m:	16.6 mm
$\beta =$	± 5.1 mm	±	5.2 mm	systematic error:	5.1 mm
$\sigma_0 =$	± 12.3 mm			random error:	12.3 mm

STAMP

SIGNATURE

*Π.9 Πιστοποιητικό διακρίβωσης γεωδαιτικού σταθμού GTS 226 405
S/N:UN4768*



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: GTS226
Serial Number: UN5638
Manufacturer : Leica
Inspection date : 03 September 2016
Ordered by : GERY KAR
Specifications Directions: ± 15 ^{cc}
Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

TEST ACCORDING TO ISO 17123 - 4 FOR DISTANCES

Typical error according to ISO : $S_{iso} = \pm 2.1$ mm

Manufacturer's precision for confidence level 95% : $\sigma_{95\%} = \pm 2.6$ mm

$S_{iso} < \sigma_{95\%}$ **PASS**

Zero point correction : **PASS** $d = 0.0$ mm

Certificate : We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.
The test has been established according to ISO 17123 - 4, 2001.

STAMP

SIGNATURE

Π.10 Πιστοποιητικό ελέγχου γεωδαιτικού σταθμού GTS 226 S/N:UN5638



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: **GTS226**
Serial Number: **UN5638**
Manufacturer : **Leica**
Inspection date : **05 October 2016**
Ordered by: **Argy_Gery**
Specifications Directions: ± 15 cc
Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

No	True distance (m)	Measured distance (m)	Difference (m)
1	45.4121	45.403	-0.0091
2	161.3847	161.377	-0.0077
3	347.9157	347.913	-0.0027
4	499.1534	499.130	-0.0234
5	579.8521	579.842	-0.0101
6	589.9911	589.979	-0.0121
7	115.9721	115.974	0.0019
8	302.5024	302.510	0.0076
9	453.7392	453.728	-0.0112
10	534.4370	534.440	0.0030
11	544.5769	544.588	0.0111
12	186.5295	186.538	0.0085
13	337.7669	337.754	-0.0129
14	418.4611	418.468	0.0069
15	428.6045	428.613	0.0085
16	151.2374	151.217	-0.0204
17	231.9308	231.931	0.0002
18	242.0739	242.075	0.0011
19	80.6934	80.714	0.0206
20	90.8367	90.859	0.0223
21	10.1427	10.145	0.0023

Maximum deviation $U_{\max} = \pm 23.4$ mm **FAIL**
Standard deviation of a single measurement $\sigma_{xi} = \pm 12.2$ mm **FAIL**

STAMP

SIGNATURE

*Π.11 Πιστοποιητικό διακρίβωσης γεωδαιτικού σταθμού GTS 226
S/N:UN5638*



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
SECTION OF TOPOGRAPHY
METROLOGY CENTER

Product: GTS226
Serial Number: UN5638
Manufacturer : Leica
Inspection date : 03 September 2016
Ordered by : GERY KAR
Specifications Directions: ± 15 cc
Distances: ± 2 mm ± 2 ppm

CALIBRATION FOR DISTANCES

SUPPLEMENT: $y = \alpha x + \beta$

$\alpha =$	0.999982	±	0.000014	gross error at 600m:	10.5 mm
$\beta =$	± 4.6 mm	±	5.0 mm	systematic error:	4.6 mm
$\sigma_0 =$	± 12.0 mm			random error:	12.0 mm

STAMP

SIGNATURE

Π.12 Πιστοποιητικό διακρίβωσης γεωδαιτικού σταθμού GTS 226
S/N:UN5638