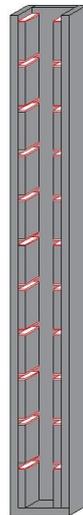




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**

## **ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΛΟΡΕΝΤΖΟΣ ΓΛΥΝΟΣ**

**Επιβλέπουσα:**  
**Ευαγγελία Λάμπρου**  
**Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.**

Αθήνα Σεπτέμβριος 2015





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

## **ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ** **ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

### **Διπλωματική εργασία**

του

**Λορέντζου Γλυνού**

**Επιβλέπουσα:**  
**Ευαγγελία Λάμπρου**  
**Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.**

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.

Αθήνα Σεπτέμβριος 2015

(Υπογραφή)

.....

**Λορέντζος Γλυνός**

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Λορέντζος Γλυνός, 2015

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 στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα κα. **Ευαγγελία Λάμπρου**, Αν. Καθηγήτρια της Σ.Α.Τ.Μ. του Ε.Μ.Π., για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας. Την ευχαριστώ για τη συνεργασία της, για τον χρόνο που αφιέρωσε, αλλά και τη συνεχή καθοδήγηση και τις συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. **Γεώργιο Πανταζή**, Αν. Καθηγητή της Σ.Α.Τ.Μ. του Ε.Μ.Π., για τη συμμετοχή του και την ανεκτίμητη βοήθειά του στις εργασίες, για τις επισημάνσεις του και για το χρόνο που αφιέρωσε.

Ευχαριστώ, ακόμη, τον **Κωνσταντίνο Νικολίτσα**, Δρ. Αγρονόμο και Τοπογράφο Μηχανικό Ε.Μ.Π., καθώς η διδακτορική του διατριβή, αποτέλεσε πηγή έμπνευσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ θερμά και για τις καθοριστικές συμβουλές και παρεμβάσεις του στο σύνολο της εργασίας.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον **Αθανάσιο Ηλιοδρομίτη**, Αγρονόμο και Τοπογράφο Μηχανικό Ε.Μ.Π., Υπ. Διδάκτορα της Σ.Α.Τ.Μ. του Ε.Μ.Π., για τη στήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και για τις πολύτιμες συμβουλές για τη σταδιοδρομία μου στη σχολή. Τον ευχαριστώ ακόμη και για την ανιδιοτελή βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Πάνω απ' όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου **Νίκο** και **Μαρία**, όπως και την αδερφή μου **Λουκία** για τη συμπαράσταση, την ψυχολογική στήριξη, και ενθάρρυνση που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου **Αθηνά**, **Αποστόλη**, **Βάγια**, **Βάσια**, **Γιάννη**, **Γιώργο**, **Δημήτρη**, **Κική** και **Χρόνη** αλλά και σε όλους όσους με βοήθησαν, τόσο στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, όσο και στη συνολική σταδιοδρομία μου στη Σχολή, αλλά πάνω απ' όλα γιατί πέρασα μαζί τους αξέχαστες στιγμές!



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο όρος μέτρηση μπορεί να σημαίνει είτε απαρίθμηση με χρήση των φυσικών αριθμών, είτε σύγκριση της ποσότητας ενός φυσικού μεγέθους με ένα πρότυπο. Με άλλα λόγια, σύγκριση του φυσικού μεγέθους, με κάποια σταθερή ποσότητα που αυθαίρετα έχει συμφωνηθεί (κατά «σύμβαση», δηλαδή κατά κοινή συμφωνία) να χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης.

Οι μετρήσεις είναι εξαιρετικά σημαντικές στην επιστήμη, την τεχνολογία και τη βιομηχανία. Η ανάπτυξη τεχνικών για την ακριβή μέτρηση μεγεθών όπως η μάζα και ο χρόνος αποτέλεσε προϋπόθεση για τη λεπτομερή και προσεκτική παρατήρηση της φύσης και την ανάπτυξη της επιστήμης της φυσικής. [<https://el.wikipedia.org/>]

Η Μετρολογία είναι η επιστήμη που έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο και την εξασφάλιση της ακρίβειας και της ορθότητας όλων των ειδών των μετρήσεων.

Οι επιδόσεις των μετρητικών οργάνων στη διάρκεια της χρήσης τους δεν είναι σταθερές, με αποτέλεσμα τη μεταβολή των μετρολογικών τους χαρακτηριστικών. Αυτές οι μεταβολές μπορεί να οφείλονται είτε στις καταπονήσεις που υποβάλλονται κατά τη χρήση τους, είτε κατά τη χρήση τους σε «δύσκολες» περιβαλλοντικές συνθήκες είτε, ακόμα, και στις φυσιολογικές φθορές και αλλοιώσεις που υφίστανται στην πορεία του χρόνου.

Για το λόγο αυτό τα μετρητικά όργανα πρέπει να ελέγχονται και να επαναδιακριβώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Κάθε αποτέλεσμα μίας μέτρησης αποτελεί μία εκτίμηση της μετρούμενης φυσικής ποσότητας, της οποίας η πραγματική τιμή ήταν και παραμένει άγνωστη. Θα πρέπει, επίσης, να συνοδεύεται και από μία παράμετρο που να δίνει την πληροφορία του πόσο καλή θεωρείται η εκτίμηση (μέτρηση) αυτή.

Στη μετρολογία, την επιστήμη των μετρήσεων, η παράμετρος αυτή ονομάζεται αβεβαιότητα της μέτρησης. Έτσι, το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα μιας μέτρησης αποτελείται από τη μετρούμενη τιμή και την αβεβαιότητα της μέτρησης.

Ο μετρολογικός έλεγχος οργάνων μέτρησης επιβάλλεται:

1. Από την εθνική νομοθεσία για όλα τα όργανα και τις μετρητικές διατάξεις που εμπλέκονται στην ασφάλεια και

προστασία του καταναλωτή, στις εμπορικές συναλλαγές και τη λειτουργία των κανόνων της αγοράς. Οι μετρολογικές αυτές νομικές διατάξεις χαρακτηρίζονται με τον γενικό όρο «Νομική Μετρολογία».

Ο μετρολογικός έλεγχος στη Νομική Μετρολογία καθορίζεται από εθνικές διατάξεις που είναι εναρμονισμένες σε ευρωπαϊκό επίπεδο και σε συμφωνία με τις συστάσεις του Διεθνούς Οργανισμού Νομικής Μετρολογίας (OIML).

2. Από την εφαρμογή προτύπων για συστήματα ISO 9001, ISO 14001, ISO 17025, OHSAS 18001, HACCP, προτύπων πιστοποίησης προϊόντων καθώς και απαιτήσεις ελέγχου κόστους και λειτουργίας φορέων και επιχειρήσεων.

Ο μετρολογικός έλεγχος στα πλαίσια αυτά δεν έχει νομικά υποχρεωτικό χαρακτήρα και φέρει τον όρο «Βιομηχανική Μετρολογία».

Όλες οι μετρήσεις και οι μετρολογικοί έλεγχοι που πραγματοποιούνται στο πλαίσιο είτε της Νομικής είτε της Βιομηχανικής Μετρολογίας είναι απαραίτητο να έχουν ιχνηλασιμότητα στα εθνικά πρότυπα. [<http://www.eim.gr/>]

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b>	<b>I</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	<b>III</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>V</b>
<b>ΠΙΝΑΚΕΣ</b>	<b>IX</b>
<b>ΣΧΗΜΑΤΑ</b>	<b>XII</b>
<b>ΕΙΚΟΝΕΣ</b>	<b>XIII</b>
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ</b>	<b>XIV</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XVII</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΠΕΡΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΚΑΙ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....3**

1.1	Βασικοί ορισμοί.....	3
1.2	Προσδιορισμός υψομετρικών διαφορών ( $\Delta H$ ).....	5
1.3	Το χωροσταθμικό σύστημα .....	5
1.3.1	Χωροβάτης.....	5
1.3.1.1	Κατηγορίες χωροβατών ανάλογα με τον τρόπο που λαμβάνονται οι μετρήσεις.....	6
1.3.1.2	Κατηγορίες χωροβατών ανάλογα με τον τρόπο που οριζοντιώνεται ο σκοπευτικός άξονα $\Sigma\Sigma'$ .....	8
1.3.1.3	Κατηγορίες χωροβατών ανάλογα με την ακρίβεια που παρέχουν .....	8
1.3.2	Χωροσταθμικοί πήχεις (σταδίες).....	9
1.4	Έλεγχος χωροσταθμικών συστημάτων κατά ISO .....	11
1.4.1	Απλουστευμένη διαδικασία ελέγχου .....	13
1.4.1.1	Μετρήσεις .....	14
1.4.1.2	Υπολογισμοί.....	15
1.4.2	Διαδικασία πλήρους ελέγχου.....	17
1.4.2.1	Μετρήσεις .....	19
1.4.2.2	Υπολογισμοί.....	19
1.4.3	Στατιστικοί έλεγχοι.....	20

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>25</b>
2.1	Γενικά.....	25
2.2	Μεθοδολογία βαθμονόμησης της βάσης ελέγχου .....	26
2.3	Μεθοδολογία ελέγχου – διακρίβωσης χωροσταθμικών συστημάτων .....	30
2.3.1	Στατιστικοί έλεγχοι.....	33
2.3.1.1	Το σφάλμα $\sigma_{\theta}$ της μοναδιαίας ανάγνωσης του χωροβάτη.....	35
2.4	Μετρήσεις θερμοκρασίας – υγρασίας .....	36
2.5	Βαθμονόμηση βάσης ελέγχου.....	38
2.5.1	Αξιολόγηση της βαθμονόμησης της βάσης ελέγχου .....	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>45</b>
3.1	Γενικά.....	45
3.2	Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	45
3.2.1	Διακρίβωση του συστήματος με τη σταδία σε τμήματα .....	46
3.2.2	Διακρίβωση του συστήματος με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας .....	52
3.3	Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095) .....	58
3.3.1	Διακρίβωση του συστήματος με τη σταδία σε τμήματα .....	58
3.3.2	Διακρίβωση του συστήματος με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας .....	61
3.4	Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	66
3.4.1	Διακρίβωση του συστήματος με τη σταδία σε τμήματα .....	67
3.4.2	Διακρίβωση του συστήματος με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας .....	71
3.5	Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	76
3.5.1	Διακρίβωση του συστήματος με τη σταδία σε τμήματα .....	76
3.5.2	Διακρίβωση του συστήματος με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας .....	80

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>87</b>
4.1	Συμπεράσματα .....	87
4.2	Προτάσεις.....	94
4.3	Χρονοδιάγραμμα εργασιών .....	95
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	.....	<b>97</b>
<b>ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ</b>	.....	<b>99</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	.....	<b>101</b>
	Συνόρθωση βαθμονομήσεων βάσης ελέγχου .....	101
	Συνόρθωση διακρίβωσης Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) – τμήματα .....	104
	Συνόρθωση διακρίβωσης Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) – σύνολο σταδίας .....	106
	Συνόρθωση διακρίβωσης Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095) – τμήματα .....	107
	Συνόρθωση διακρίβωσης Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095) – σύνολο σταδίας .....	109
	Συνόρθωση διακρίβωσης Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) – τμήματα .....	110
	Συνόρθωση διακρίβωσης Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) – σύνολο σταδίας .....	112
	Συνόρθωση διακρίβωσης Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) – τμήματα .....	113
	Συνόρθωση διακρίβωσης Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) – σύνολο σταδίας .....	115



## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1: Ενδεικτική παρουσίαση ψηφιακών χωροβατών .....	9
Πίνακας 1.2: Στατιστικοί έλεγχοι .....	21
Πίνακας 2.1: Αποτελέσματα 1ης βαθμονόμησης .....	40
Πίνακας 2.2: Αποτελέσματα 2ης βαθμονόμησης .....	40
Πίνακας 2.3: Αποτελέσματα βαθμονόμησης.....	42
Πίνακας 2.4: Αποτελέσματα βαθμονομήσεων .....	43
Πίνακας 2.5: Στατιστικός έλεγχος διαφορών .....	44
Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	50
Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα επεξεργασίας – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	50
Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	51
Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	52
Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	56
Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	56
Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	57
Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	58
Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095) .....	59
Πίνακας 3.10: Αποτελέσματα επεξεργασίας – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095) .....	60
Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095).....	60
Πίνακας 3.12: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501- 4095).....	61
Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095).....	64
Πίνακας 3.14: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095).....	64
Πίνακας 3.15: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095).....	65
Πίνακας 3.16: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095).....	66

Πίνακας 3.17: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	69
Πίνακας 3.18: Αποτελέσματα επεξεργασίας – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882).....	69
Πίνακας 3.19: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	70
Πίνακας 3.20: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882).....	71
Πίνακας 3.21: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	74
Πίνακας 3.22: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882).....	74
Πίνακας 3.23: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	75
Πίνακας 3.24: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	76
Πίνακας 3.25: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	77
Πίνακας 3.26: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882).....	78
Πίνακας 3.27: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	79
Πίνακας 3.28: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882).....	79
Πίνακας 3.29: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	83
Πίνακας 3.30: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882).....	84
Πίνακας 3.31: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	85
Πίνακας 3.32: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	85
Πίνακας 4.1: Συγκριτικός πίνακας μεθοδολογιών.....	87
Πίνακας 4.2: Αξιολόγηση Βαθμονόμησης .....	88
Πίνακας 4.3: Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα μεθόδων διακρίβωσης.....	91
Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα μετρήσεων Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091).....	91
Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα μετρήσεων Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095).....	92

Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα μετρήσεων Leica Sprinter 150M (2102227, 741882).....	92
Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα μετρήσεων Leica Sprinter 150M (2102205, 741882).....	92
Πίνακας 4.8: Στατιστικοί έλεγχοι χωροσταθμικών συστημάτων.....	93
Πίνακας 4.9: Δυσλειτουργίες χωροσταθμικών συστημάτων .....	94
Πίνακας Π.1: Βαθμονομήσεις – πίνακας σχεδιασμού Α.....	101
Πίνακας Π.2: 1η βαθμονόμηση – πίνακας δl και u .....	102
Πίνακας Π.3: 2η βαθμονόμηση – πίνακας δl και u .....	103
Πίνακας Π.4: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091), 1 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και δl.....	104
Πίνακας Π.5: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091), 2 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl.....	104
Πίνακας Π.6: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091), 3 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl.....	104
Πίνακας Π.7: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091), 4 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl.....	105
Πίνακας Π.8: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091), σύνολο σταδίας – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl.....	106
Πίνακας Π.9: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095), 1 <sup>ο</sup> τμήμα – σχεδιασμού Α και πίνακας δl.....	107
Πίνακας Π.10: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095), 2 <sup>ο</sup> τμήμα – σχεδιασμού Α και πίνακας δl .....	107
Πίνακας Π.11: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095), 3 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl .....	107
Πίνακας Π.12: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095), 4 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl .....	108
Πίνακας Π.13: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095), σύνολο σταδίας – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl .....	109
Πίνακας Π.14: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882), 1 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl.....	110
Πίνακας Π.15: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882), 2 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl.....	110
Πίνακας Π.16: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882), 3 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl.....	110
Πίνακας Π.17: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882), 4 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl.....	111
Πίνακας Π.18: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882), σύνολο σταδίας – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δl .....	112

Πίνακας Π.19: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882), 1 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δι.....	113
Πίνακας Π.20: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882), 2 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δι.....	113
Πίνακας Π.21: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882), 3 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δι.....	113
Πίνακας Π.22: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882), 4 <sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δι.....	114
Πίνακας Π.23: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882), σύνολο σταδίας – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δι .....	115

## ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1: Πρώτη διαμόρφωση της γραμμής ελέγχου για την απλουστευμένη διαδικασία ελέγχου .....	15
Σχήμα 1.2: Δεύτερη διαμόρφωση της γραμμής ελέγχου για την απλουστευμένη διαδικασία ελέγχου .....	15
Σχήμα 1.3: Διαμόρφωση της γραμμής ελέγχου για την πλήρη διαδικασία ελέγχου.....	18
Σχήμα 2.1: Σκαρίφημα βάσης ελέγχου .....	25
Σχήμα 2.2: Προσδιοριζόμενες υψομετρικές διαφορές βαθμονόμησης....	29
Σχήμα 2.3: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων .....	39
Σχήμα 3.1: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων – τμήματα σταδίας.....	47
Σχήμα 3.2: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091).....	53
Σχήμα 3.3: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων, – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095).....	63
Σχήμα 3.4: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882).....	73
Σχήμα 3.5: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882).....	82
Σχήμα 4.1: Σκαρίφημα βάσης ελέγχου με τις πρότυπες τιμές υψομετρικών διαφορών .....	89

## EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Ψηφιακός χωροβάτης.....	6
Εικόνα 1.2: Οπτικομηχανικός χωροβάτης Leica NAK2 .....	7
Εικόνα 1.3: Ψηφιακός χωροβάτης Topcon DL-501 .....	7
Εικόνα 1.4: (Αριστερά) Η ψηφιακή σταδία GSS111 της Leica, (Δεξιά) Η Invar ψηφιακή σταδία GPCL2 της Leica.....	10
Εικόνα 2.1: Η σταδία Invar GPCL2 της Leica στη στάθμη 3 της βάσης ελέγχου .....	26
Εικόνα 2.2: Tinytag PLUS 2 TGP-4500.....	37
Εικόνα 2.3: Το Tinytag PLUS 2 TGP-4500 τοποθετημένο στην πίσω πλευρά της βάσης ελέγχου .....	37
Εικόνα 2.4: Μετρήσεις βαθμονόμησης με τον Leica DNA03 .....	38
Εικόνα 3.1: Topcon DL-102C .....	46
Εικόνα 3.2: Θέση 1 χωροβάτη – τμήματα σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	47
Εικόνα 3.3: Μέτρηση δεύτερου τμήματος σταδίας Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) στη στάθμη 10 .....	49
Εικόνα 3.4: Θέση 1 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	53
Εικόνα 3.5: Θέση 3 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	54
Εικόνα 3.6: Θέση 2 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095) .....	62
Εικόνα 3.7: Leica SPRINTER 150M .....	66
Εικόνα 3.8: Μέτρηση δεύτερου τμήματος σταδίας Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) στη στάθμη 10 .....	67
Εικόνα 3.9: Θέση 1 χωροβάτη – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882).....	68
Εικόνα 3.10: Θέση 3 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	72
Εικόνα 3.11: Θέση 1 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	80
Εικόνα 3.12: Θέση 2 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	81
Εικόνα 3.13: Θέση 3 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	81

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 2.1: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία (Βαθμονόμηση) .....	41
Διάγραμμα 3.1: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – τμήματα σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	49
Διάγραμμα 3.2: Γραφική παράσταση $y=m \cdot x+b$ – 1ο τμήμα σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	51
Διάγραμμα 3.3: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	55
Διάγραμμα 3.4: Γραφική παράσταση $y=m \cdot x+b$ – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) .....	57
Διάγραμμα 3.5: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – τμήματα σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095) .....	59
Διάγραμμα 3.6: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095) .....	63
Διάγραμμα 3.7: Γραφική παράσταση $y=m \cdot x+b$ – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095) .....	65
Διάγραμμα 3.8: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	68
Διάγραμμα 3.9: Γραφική παράσταση $y=m \cdot x+b$ – 1ο τμήμα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	70
Διάγραμμα 3.10: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	73
Διάγραμμα 3.11: Γραφική παράσταση $y=m \cdot x+b$ – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) .....	75
Διάγραμμα 3.12: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	77
Διάγραμμα 3.13: Γραφική παράσταση $y=m \cdot x+b$ – 1ο τμήμα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	78
Διάγραμμα 3.14: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	83
Διάγραμμα 3.15: Γραφική παράσταση $y=m \cdot x+b$ – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) .....	84
Διάγραμμα 4.1: Κατανομή χρόνου εργασιών .....	96

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την πειραματική εφαρμογή ελέγχου και διακρίβωσης χωροσταθμικών συστημάτων στη βάση ελέγχου, η οποία κατασκευάστηκε στο πλαίσιο εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής «Ανάπτυξη Εργαστηριακών Μεθοδολογιών Διακρίβωσης Ψηφιακών Γεωδαιτικών Οργάνων» του Δρ. Κωνσταντίνου Νικολίτσα.

Στο πλαίσιο της εφαρμογής πραγματοποιήθηκαν δύο βαθμονομήσεις της βάσης ελέγχου καθώς και έλεγχοι και διακριβώσεις τεσσάρων χωροσταθμικών συστημάτων.

Οι βαθμονομήσεις έγιναν με τον ψηφιακό χωροβάτη ακριβείας Leica DNA03. Οι διακριβώσεις έγιναν δύο σε ψηφιακούς χωροβάτες Topcon DL-102C και δύο σε ψηφιακούς χωροβάτες Leica Sprinter 150M.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε 4 κύρια κεφάλαια.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τα χωροσταθμικά συστήματα και τη διακριβώσή τους. Αναφέρονται οι βασικοί ορισμοί που περιλαμβάνονται στην εργασία καθώς και τα γενικά χαρακτηριστικά των χωροσταθμικών συστημάτων (χωροβάτης – σταδία). Παρουσιάζεται ακόμη το δεύτερο μέρος του Διεθνούς Προτύπου ISO 17123–2 το οποίο σχεδιάστηκε ειδικά για τον έλεγχο των χωροσταθμικών συστημάτων.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** αναλύεται η μεθοδολογία της διακριβωσης. Περιγράφεται η διαδικασία βαθμονόμησης της βάσης ελέγχου καθώς και η διαδικασία που ακολουθείται για τη διακριβωση των χωροσταθμικών συστημάτων.

Παρουσιάζονται οι δύο βαθμονομήσεις της βάσης ελέγχου, όπως αυτές πραγματοποιήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές.

Στο  **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται αναλυτική παρουσίαση των τεσσάρων ελέγχων – διακριβώσεων. Περιγράφονται οι διαδικασίες των μετρήσεων, οι θέσεις που χρησιμοποιήθηκαν, οι χρόνοι εκτέλεσης, οι συνθήκες του περιβάλλοντος, τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν καθώς και το πώς αυτά αντιμετωπίστηκαν.

Γίνονται ακόμη υπολογισμοί των μετρήσεων διακριβωσης και δημιουργείται η γραμμική σχέση  $y=m \cdot x+b$  η οποία παρέχει την κλίμακα του συστήματος και το συστηματικό του σφάλμα. Διαπιστώνεται η

καταλληλότητα, ή μη, για μετρήσεις του κάθε χωροσταθμικού συστήματος που ελέγχεται, και γίνεται επισήμανση των περιοχών της σταδίας που παρουσιάζουν πρόβλημα.

Τέλος, το **τέταρτο κεφάλαιο** αποτελεί τον επίλογο της εργασίας, καθώς αναφέρονται σε αυτό τα τελικά συμπεράσματα σχετικά με τον έλεγχο και τη διακρίβωση των χωροσταθμικών συστημάτων στη βάση ελέγχου, γίνεται μια ανακεφαλαίωση και αξιολόγηση των εργασιών και δίνονται ενδεικτικά ορισμένες προτάσεις για τους μελλοντικούς ελέγχους στη βάση ελέγχου.

# **CHECK AND CALIBRATION OF LEVELLING SYSTEMS**

## **ABSTRACT**

The present diploma thesis refers to the experimental application of checking and calibrating levelling systems upon the testing base, which was developed during the doctoral dissertation “Development of Laboratory Methodologies for the Calibration of Digital Geodetic Instruments” by Dr. Konstantinos Nikolitsas.

For the application of the method, two graduations of the testing base took place as well as four calibration of levelling systems.

Graduations that took place were made with the digital level Leica DNA03. Calibrations were made of two Topcon DL-102C digital levels and another two of Leica Sprinter 150M digital levels.

This thesis is divided in four major chapters.

In the first chapter, general data of levelling systems and their calibration are presented. Basic definitions that exist throughout the thesis are mentioned and explained as well as the general characteristics of the levelling systems (levels – levelling staff). In addition, the second part of the International Standard ISO 17123-2 is presented which was designed especially for testing the levelling systems.

In the second chapter, the process of calibration is detailed. The processes of graduation of the testing base and the calibration process of the levelling systems are described. The two graduations of the control base are presented as well as the results exported from them.

In the third chapter, a detailed presentation of the four calibrations is taking place. There is a description of the processes of the measurements, the set up spots that were used, the performing time, the environmental conditions, the problems that occurred and the ways they have been dealt with.

Moreover, calculations of the calibration measurements are made and the linear relation " $y=m \cdot x+b$ " is developed which provides the scale of the system and its systematic error. The suitability for measurements of the levelling systems is ascertained as well as which parts of the levelling staffs seem to have a problem.

In the fourth and last chapter that constitutes the epilogue of the thesis, the final conclusions about the test and the calibration of the levelling systems in the testing base are mentioned, a revision and evaluation of the processes are taking place and some proposals for future testing in a similar testing base are indicated.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μετρήσεις είναι εξαιρετικά σημαντικές σε διάφορες πτυχές της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου όπως στην επιστήμη, στην τεχνολογία και στη βιομηχανία. Για το λόγο αυτό όλο και περισσότερες τεχνικές αναπτύσσονται για την μέτρηση διαφόρων μεγεθών.

Η Μετρολογία αποτελεί την επιστήμη που έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο και την εξασφάλιση της ακρίβειας και της ορθότητας όλων των ειδών των μετρήσεων.

Οι επιδόσεις των οργάνων μέτρησης δεν είναι σταθερές στη διάρκεια της χρήσης τους και για το λόγο θα πρέπει να ελέγχονται και να επαναδιακρίβώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Στη μετρολογία το αποτέλεσμα κάθε μέτρησης θα πρέπει να συνοδεύεται και από την αβεβαιότητά του.

Ο υπολογισμός των ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών και ο προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων των σημείων της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας γίνεται με διάφορες μεθόδους, η ακριβέστερη των οποίων είναι η γεωμετρική χωροστάθμιση. Στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιείται ως βασικό όργανο ο χωροβάτης και ως κύριο βοηθητικό όργανο ο χωροσταθμικός πήχης ή σταδία. Ο συνδυασμός των οργάνων αυτών ορίζεται ως χωροσταθμικό σύστημα.

Έως και σήμερα, για τον έλεγχο των ψηφιακών χωροσταθμικών συστημάτων χρησιμοποιούνται μεθοδολογίες που είχαν αναπτυχθεί αποκλειστικά για τους οπτικομηχανικούς χωροβάτες οι οποίες δεν αξιοποιούν τις δυνατότητες των σύγχρονων ψηφιακών χωροσταθμικών συστημάτων. Επίσης χωροσταθμικά παρελκόμενα, όπως οι σταδίες, έχουν αλλάξει μορφή και από την αναλογική έχουν περάσει σε αυτή του γραμμικού κώδικα με αποτέλεσμα οι προγενέστερες μεθοδολογίες ελέγχου τους, να μη βρίσκουν εφαρμογή στις σύγχρονες ψηφιακές σταδίες.

Βασικό αντικείμενο της εργασίας είναι η πειραματική εφαρμογή ενός νέου αυτοματοποιημένου προτύπου ελέγχου και διακρίβωσης των ψηφιακών χωροσταθμικών συστημάτων αξιοποιώντας τη σύγχρονη τεχνολογία στους ψηφιακούς χωροβάτες και στις ψηφιακές σταδίες γραμμικού κώδικα.

Στόχος της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι να παρέχει μία αξιόπιστη, εύκολη, γρήγορη και οικονομική διαδικασία ελέγχου και διακρίβωσης ψηφιακών χωροσταθμικών συστημάτων.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΠΕΡΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ

### ΚΑΙ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

#### 1.1 Βασικοί ορισμοί

Η **Μετρολογία (Metrology)** 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:

- Θεμελιώδης ή επιστημονική μετρολογία
- Εφαρμοσμένη ή βιομηχανική μετρολογία
- Νομική μετρολογία [<https://el.wikipedia.org/>]

**Διακρίβωση (Calibration)** είναι ο καθορισμός της σχέσης μεταξύ των τιμών μίας ποσότητας όπως αυτή προσδιορίζεται από ένα πρότυπο αναφοράς και των αντίστοιχων τιμών που προκύπτουν από τις ενδείξεις του υπό διακρίβωση οργάνου ή συστήματος.

Ο προσδιορισμός αυτής της σχέσης (και της διόρθωσης στην ένδειξη του υπό διακρίβωση οργάνου) πραγματοποιείται με την χρήση κατάλληλης μετρητικής μεθόδου και συμπεριλαμβάνει τον υπολογισμό της αβεβαιότητας της μέτρησης.

**Βαθμονόμηση (Graduation)** είναι η αναγραφή, στην κενή κλίμακα του οργάνου, των ενδείξεων με βάση ένα γνωστό και καθορισμένης ακρίβειας μέγεθος της φυσικής ιδιότητας την οποία μετρά το όργανο. [ΦΕΚ 139/Α/31.08.94]

**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. [ΦΕΚ 139/Α/31.08.94]

**Διαπίστευση (Accreditation)** είναι η διαδικασία με την οποία ένας αρμόδιος φορέας παρέχει επίσημη αναγνώριση ότι ένας φορέας ή πρόσωπο είναι ικανός να πραγματοποιεί ειδικά έργα. [ΦΕΚ 139/Α/31.08.94]

Η **Ακρίβεια μέτρησης (Precision)** παρουσιάζει 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 – χρήστη. 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. [BIMP, JCGM 200:2012]

**Ορθότητα – Ποιότητα μέτρησης (Accuracy)** είναι, σε ανεξάρτητες μεταξύ τους, επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ενός μεγέθους (που γίνονται υπό τις ίδιες συνθήκες), ο βαθμός «ταύτισης» μεταξύ της εκτιμημένης (ή μετρημένης) τιμής και της αντίστοιχης «αληθούς τιμής» (εξωτερικής ακρίβεια). Η ορθότητα δεν μπορεί να εκτιμηθεί από μια σειρά μετρήσεων με το ίδιο σύστημα «όργανο – παρατηρητής – συνθήκες». [BIMP, JCGM 200:2012]

**Αξιοπιστία (Reliability)** είναι 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. [Μαθιουλάκης Ε., 2004]

**Αβεβαιότητα (Uncertainty)** είναι η 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 κατά ISO)]. Σε κάθε περίπτωση, μέτρηση χωρίς της αντίστοιχη αβεβαιότητά της, δεν έχει καμία αξία. [Πανταζής Γ., Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., 2007]

## 1.2 Προσδιορισμός υψομετρικών διαφορών ( $\Delta H$ )

Ο υπολογισμός των ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών και ο προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων των σημείων της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας γίνεται με διάφορες μεθόδους. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι είναι:

- η Γεωμετρική χωροστάθμηση
- η Τριγωνομετρική υψομετρία
- η Βαρομετρική υψομετρία
- η Υδροστατική ή Υδραυλική χωροστάθμηση

Η γεωμετρική χωροστάθμηση, η οποία είναι η ακριβέστερη μέθοδος, προσδιορίζει άμεσα τις ορθομετρικές υψομετρικές διαφορές χρησιμοποιώντας ως βασικό όργανο το χωροβάτη (οπτικομηχανικός ή ψηφιακός) και ως κύριο βοηθητικό όργανο τον χωροσταθμικό πήχη ή σταδία (αναλογική ή ψηφιακή).

## 1.3 Το χωροσταθμικό σύστημα

Ως **χωροσταθμικό σύστημα** ορίζεται το σύστημα χωροβάτη – χωροσταθμικού πήχη (σταδίας) που χρησιμοποιείται κάθε φορά για τον προσδιορισμό μιας ορθομετρικής υψομετρικής διαφοράς.

### 1.3.1 Χωροβάτης

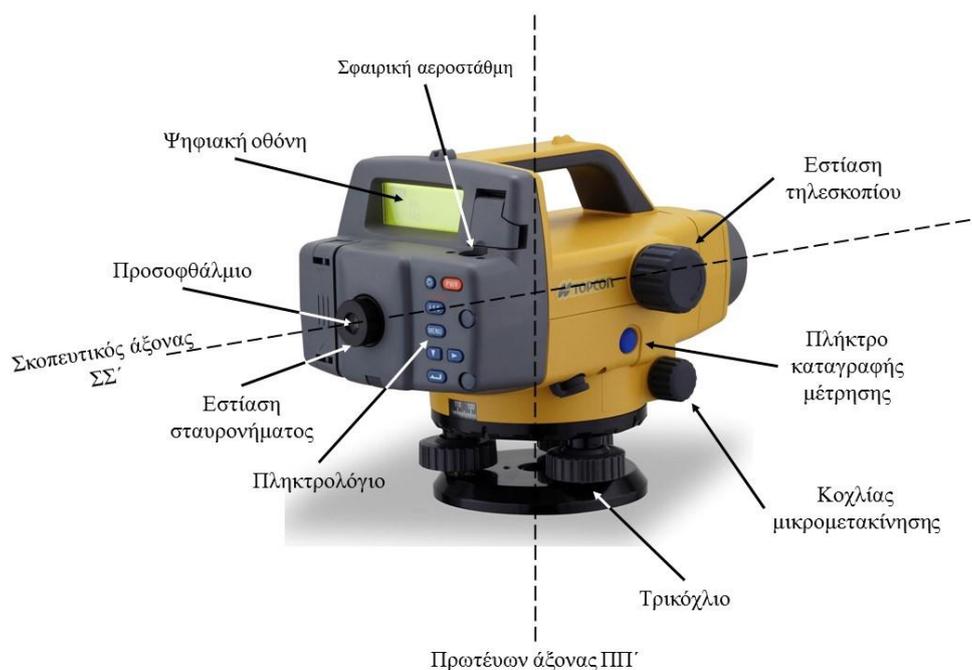
Ο χωροβάτης αποτελεί το κύριο όργανο που χρησιμοποιείται στη γεωμετρική χωροστάθμηση και μπορεί να είναι οπτικομηχανικός ή ψηφιακός. Αποτελείται από το τηλεσκόπιο, που ορίζει τον σκοπευτικό άξονα ( $\Sigma\Sigma'$ ) το οποίο μπορεί να περιστρέφεται γύρω από τον πρωτεύοντα άξονα ( $\Pi\Pi'$ ).

Ο σκοπευτικός άξονας ( $\Sigma\Sigma'$ ) υλοποιείται από το κέντρο του σταυρονήματος που είναι χαραγμένο στο τηλεσκόπιο του χωροβάτη και το οπτικό κέντρο του αντικειμενικού φακού του τηλεσκοπίου. Η οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα ( $\Sigma\Sigma'$ ) γίνεται με τη βοήθεια αεροστάθμης που ορίζει την κανονική ευθεία ( $ΚΚ'$ ) του χωροβάτη.

Για το λόγο αυτό η κανονική ευθεία ( $ΚΚ'$ ) θα πρέπει να είναι παράλληλη με τον σκοπευτικό άξονα ( $\Sigma\Sigma'$ ) και κάθετη στον πρωτεύοντα

άξονα (ΠΠ΄). [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2011] [Μπαλοδήμος Δ. – Δ., Αραμπατζή Ο., 2004]

Στην εικόνα 1.1 παρουσιάζεται ο ψηφιακός χωροβάτης με τους βασικούς άξονές του, τους κοχλίες και τα διάφορα πλήκτρα λειτουργίας του.



*Εικόνα 1.1: Ψηφιακός χωροβάτης [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2011]*

### **1.3.1.1 Κατηγορίες χωροβατών ανάλογα με τον τρόπο που λαμβάνονται οι μετρήσεις**

Οι οπτικομηχανικοί χωροβάτες (εικόνα 1.2), στους οποίους η ανάγνωση λαμβάνεται από τον παρατηρητή απ' ευθείας πάνω στον αριθμημένο χωροσταθμικό πήχη (σταδία) μέσω του τηλεσκοπίου.



*Εικόνα 1.2: Οπτικομηχανικός χωροβάτης Leica NAK2 (Πηγή:  
<http://www.allenprecision.com/>)*

Οι ψηφιακοί χωροβάτες (εικόνα 1.3), στους οποίους η λήψη της ανάγνωσης πραγματοποιείται στις ειδικά κωδικοποιημένες σταδίες (barcode), μέσω μιας CCD κάμερας που βρίσκεται ενσωματωμένη στο τηλεσκόπιο τους. Οι ψηφιακοί χωροβάτες έχουν τη δυνατότητα καταγραφής των αναγνώσεων αυτών σε ενσωματωμένη καταγραφική μονάδα. Διαθέτουν, επίσης, και άλλα προγράμματα, που περιλαμβάνει ο μικροϋπολογιστής που ενσωματώνουν και μπορούν να διευκολύνουν το χρήστη.



*Εικόνα 1.3: Ψηφιακός χωροβάτης Topcon DL-501 (Πηγή:  
<http://www.geotop.it>)*

### **1.3.1.2 Κατηγορίες χωροβατών ανάλογα με τον τρόπο που οριζοντιώνεται ο σκοπευτικός άξονα ΣΣ΄**

Οι χωροβάτες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με βάση τον τρόπο οριζοντίωσης του σκοπευτικού άξονα ΣΣ΄, στους απλούς χωροβάτες και τους χωροβάτες αυτόματης οριζοντίωσης. Οι απλοί χωροβάτες οριζοντιώνονται με τη βοήθεια μιας σωληνωτής αεροστάθμης. Τέτοιοι χωροβάτες είναι μόνο οπτικομηχανικοί χωροβάτες, οι οποίοι πλέον δεν χρησιμοποιούνται και τείνουν να εξαλειφθούν.

Οι χωροβάτες αυτόματης οριζοντίωσης επιτυγχάνουν την οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα ΣΣ΄ με τη βοήθεια ενός ισοσταθμητή και μπορεί να είναι οπτικομηχανικοί και ψηφιακοί χωροβάτες.

### **1.3.1.3 Κατηγορίες χωροβατών ανάλογα με την ακρίβεια που παρέχουν**

Οι χωροβάτες, ανάλογα με την ακρίβεια που παρέχουν χωρίζονται στους απλούς χωροβάτες και στους χωροβάτες ακριβείας.

Οι απλοί χωροβάτες μπορεί να είναι οπτικομηχανικοί ή και ψηφιακοί και χρησιμοποιούνται σε τρέχουσες εργασίες. Μπορούν να οριζοντιώσουν τον σκοπευτικό τους άξονα ΣΣ΄ με ακρίβεια  $\pm 0''.5 - \pm 1''.0$  και διαθέτουν τηλεσκόπια με μεγέθυνση από 20x έως 40x. Το άνοιγμα του αντικειμενικού φακού είναι της τάξης των 30mm ή και καλύτερο και η ακρίβεια που παρέχουν μπορεί να είναι της τάξης των  $\pm 5 - 1\text{mm/km}$ .

Οι χωροβάτες ακριβείας είναι ψηφιακοί και χρησιμοποιούνται σε γεωδαιτικές εργασίες υψηλής ακριβείας, σε ελέγχους παραμορφώσεων και καθιζήσεων τεχνικών έργων και περιοχών του στερεού φλοιού της γης καθώς και για εγκαταστάσεις μηχανημάτων με υψηλές απαιτήσεις ακριβείας στην οριζοντίωση.

Απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στην οριζοντίωση του σκοπευτικού τους άξονα ΣΣ΄ ( $\pm 0''.2$ ) αλλά και στις αναγνώσεις στη σταδία (συστήματα αναγνώσεων ακριβείας). Διαθέτουν τηλεσκόπια με μεγέθυνση της τάξης του 40x και το άνοιγμα του αντικειμενικού φακού είναι της τάξης των 50mm. Η ακρίβεια που παρέχουν μπορεί να φθάσει τα  $\pm 0.5 - 0.2\text{mm/km}$ . [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2011] [Μπαλοδήμος Δ. – Δ., Αραμπατζή Ο., 2004]

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται ενδεικτικά σύγχρονοι ψηφιακοί χωροβάτες, απλοί και ακριβείας, συνοδευόμενοι από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Τύπος χωροβάτη	Κατασκευάστρια εταιρία	Ηλεκτρονική ανάγνωση (mm)	Αβεβαιότητα μέτρησης (mm/km)	min/max απόστασης μέτρησης (m)	Βάρος (Kg)
Sprinter 50	Leica (Ελβετία)	0.1	±2.0 (απλή σταδία)	2/100	2.5
Sprinter 150/150M	Leica (Ελβετία)	0.1	±1.5 (απλή σταδία)	2/100	2.5
Sprinter 250M	Leica (Ελβετία)	0.1	±1.0 (απλή σταδία) ±0.7 (σταδία Invar)	2/100	2.5
DNA03	Leica (Ελβετία)	0.01	±1.0 (απλή σταδία) ±0.3 (σταδία Invar)	1.8/110	2.8
DNA10	Leica (Ελβετία)	0.1	±1.5 (απλή σταδία) ±0.9 (σταδία Invar)	1.8/110	2.8
SDL1X	Sokkia (Ιαπωνία)	0.01	±1.0 (απλή σταδία) ±0.2 (σταδία Invar)	1.6/100	3.7
SDL30	Sokkia (Ιαπωνία)	0.1	±1.0 (απλή σταδία)	1.6/100	2.4
SDL50	Sokkia (Ιαπωνία)	0.1	±1.5 (απλή σταδία)	1.6/100	2.4
DL-501	Topcon (Ιαπωνία)	0.01	±1.0 (απλή σταδία) ±0.2 (σταδία Invar)	1.6/100	3.5
DL-502	Topcon (Ιαπωνία)	0.1	±1.0 (απλή σταδία) ±0.6 (σταδία Invar)	1.6/100	2.4
DL-503	Topcon (Ιαπωνία)	0.1	±2.0 (απλή σταδία) ±0.8 (σταδία Invar)	1.6/100	2.4
DiNi 0.3	Trimble (Η.Π.Α.)	0.01	±1.0 (απλή σταδία) ±0.3 (σταδία Invar)	1.5/100	3.5
DiNi 0.7	Trimble (Η.Π.Α.)	0.1	±1.3 (απλή σταδία) ±0.7 (σταδία Invar)	1.5/100	3.5

*Πίνακας 1.1: Ενδεικτική παρουσίαση ψηφιακών χωροβατών*

### 1.3.2 Χωροσταθμικοί πήχεις (σταδίες)

Ανάλογα με την κατηγορία του χωροβάτη (οπτικομηχανικό ή ψηφιακό) και την απαιτούμενη ακρίβεια προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών

χρησιμοποιούνται ειδικοί αριθμημένοι χωροσταθμικοί πήχεις ή σταδίες διαφόρων ειδών. Μπορεί να είναι αναλογικές ή ψηφιακές (εικόνα 1.4).

Οι αναλογικές σταδίες έχουν μήκος 3m ή 4m, είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο και είναι τηλεσκοπικές. Έχουν υποδιαίρέσεις ανά 1mm ή 10mm και διαθέτουν ενσωματωμένη σφαιρική αεροστάθμη για να τοποθετούνται κατακόρυφα κατά τη διάρκεια της μέτρησης.



*Εικόνα 1.4: (Αριστερά) Η ψηφιακή σταδία GSS111 της Leica,  
(Δεξιά) Η Invar ψηφιακή σταδία GPCL2 της Leica  
(Πηγή: <http://www.metrica.gr/>)*

Οι ψηφιακές σταδίες έχουν μήκος 3m, 4m, ή 5m, είναι κατασκευασμένες από συνθετικό υλικό fiber-glass ή αλουμίνιο και είναι τηλεσκοπικές. Διαθέτουν χαραγμένο ψηφιακό ραβδοκώδικα (bar code) και αναλογική κλίμακα με υποδιαίρέσεις ανά 1mm στην πίσω όψη για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αναλογικές. Διαθέτουν και αυτές ενσωματωμένη σφαιρική αεροστάθμη για να τοποθετούνται κατακόρυφα κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Σήμερα οι ψηφιακές σταδίες κατασκευάζονται και από υλικό invar [κράμα νικελίου (36%) και σιδήρου (64%)] το οποίο επηρεάζεται πολύ λίγο από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και έχει πολύ μικρό συντελεστή γραμμικής διαστολής, έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται σε χωροσταθμίσεις ακριβείας.

Σε εργασίες ακριβείας οι σταδίες invar χρησιμοποιούνται πάντα με αντηρίδες ώστε να παραμένουν σε κατακόρυφη θέση κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης. [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2011] [Μπαλοδήμος Δ. – Δ., Αραμπατζή Ο., 2004]

#### **1.4 Έλεγχος χωροσταθμικών συστημάτων κατά ISO**

Οι Διεθνείς Οργανισμοί Μετρολογίας είναι διακρατικοί οργανισμοί που ως σκοπό έχουν το συντονισμό των κρατικών ινστιτούτων μετρολογίας, την ανάπτυξη και εφαρμογή των αρχών της μετρολογίας, την εξασφάλιση της ομοιομορφίας των μετρήσεων παγκοσμίως, την προώθηση του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI), παροχή συστάσεων για νομικά θέματα που έχουν σχέση με τις μετρήσεις και τα όργανα μετρήσεων, την πιστοποίηση των διαδικασιών συναλλαγής-λειτουργίας-οργάνωσης στους τομείς του εμπορίου, των υπηρεσιών, και της παραγωγής.

Ο ISO (International Organization for Standardization – Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης) είναι μια παγκόσμια ομοσπονδία εθνικών οργανισμών τυποποίησης (μέλη ISO).

Ο οργανισμός ιδρύθηκε στις 23 Φεβρουαρίου του 1947 και παράγει τα παγκόσμια βιομηχανικά και εμπορικά πρότυπα, τα επονομαζόμενα πρότυπα ISO.

Το έργο της προετοιμασίας των διεθνών προτύπων διεξάγεται από τις τεχνικές επιτροπές του ISO. Κάθε οργανισμός που ενδιαφέρεται για ένα θέμα για το οποίο έχει συσταθεί τεχνική επιτροπή έχει το δικαίωμα να εκπροσωπείται στην επιτροπή. Στις εργασίες λαμβάνουν επίσης μέρος διεθνείς οργανισμοί, κυβερνητικοί και μη κυβερνητικοί, σε συνεργασία με τον ISO. Ο ISO συνεργάζεται στενά και με τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission – IEC) για όλα τα θέματα της Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης.

Το Διεθνές Πρότυπο ISO 17123 σχεδιάστηκε από την Υποεπιτροπή SC 6 «Γεωδαιτικά και Τοπογραφικά όργανα» της Τεχνικής Επιτροπής ISO/TC 172, «Οπτική και οπτικά όργανα».

Η πρώτη αυτή έκδοση του ISO 17123 ακυρώνει και αντικαθιστά τα πρότυπα ISO 8322-3:1989 και ISO 12857-1:1997, τα οποία έχουν τεχνικά αναθεωρηθεί.

Υπό τον γενικό τίτλο «Οπτική και οπτικά όργανα – διαδικασίες πεδίου για τον έλεγχο γεωδαιτικών και τοπογραφικών οργάνων», το ISO 17123 αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Μέρος 1: Θεωρία
- Μέρος 2: Χωροβάτες
- Μέρος 3: Θεοδόλιχα
- Μέρος 4: Ηλεκτρο-οπτικά αποστασιόμετρα (όργανα EDM)
- Μέρος 5: Ηλεκτρικά ταχύμετρα
- Μέρος 6: Περιστρεφόμενα λείζερ
- Μέρος 7: Οπτικά όργανα υδραυλικών

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα αναλυθεί το «Μέρος 2: Χωροβάτες».

Σκοπός του ISO 17123-2 είναι να καθορίζει τις διαδικασίες πεδίου που πρέπει να υιοθετηθούν κατά τον καθορισμό και την αξιολόγηση της ακρίβειας των χωροβατών και του βοηθητικού εξοπλισμού τους όταν χρησιμοποιούνται σε κατασκευαστικά έργα και τοπογραφικές μετρήσεις.

Αυτό το διεθνές πρότυπο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα από τα πρώτα βήματα στη διαδικασία αξιολόγησης της αβεβαιότητας μίας μέτρησης (ή καλύτερα ενός μετρούμενου μεγέθους). Η αβεβαιότητα του αποτελέσματος της μέτρησης εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων. Μεταξύ άλλων τέτοιοι παράγοντες είναι η επαναληψιμότητα και η αναπαραγωγιμότητα (μεταξύ ημερήσιας επαναληψιμότητας) Θα πρέπει, ακόμη, να γίνεται ολοκληρωμένη αξιολόγηση όλων των πιθανών πηγών σφάλματος.

Οι εν λόγω διαδικασίες έχουν αναπτυχθεί ειδικά για επί τόπου εφαρμογές, χωρίς την ανάγκη ειδικού βοηθητικού εξοπλισμού και έχουν σκόπιμα σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιηθούν οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις.

Όπως αναφέρεται στο ISO 17123-2, πριν από την έναρξη κάθε τοπογραφικής εργασίας, είναι σημαντικό να ερευνηθεί αν η ακρίβεια του εξοπλισμού μέτρησης είναι κατάλληλη για την προβλεπόμενη εργασία μέτρησης.

Ο χωροβάτης και ο βοηθητικός εξοπλισμός του πρέπει να είναι σε γνωστή και αποδεκτή κατάσταση καθώς και να χρησιμοποιούνται με

τρίποδα και τα κατάλληλα παρελκόμενα, όπως συνιστάται από τον κατασκευαστή.

Τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών επηρεάζονται από τις μετεωρολογικές συνθήκες, κυρίως από την μεταβολή της θερμοκρασίας. Ένας συννεφιασμένος ουρανός και η χαμηλή ταχύτητα του ανέμου αποτελούν τις πιο ευνοϊκές καιρικές συνθήκες. Οι ιδιαίτερες συνθήκες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με το πού έχει καθοριστεί να γίνουν οι εργασίες. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται σημειώσεις των πραγματικών καιρικών συνθηκών κατά τη στιγμή της μέτρησης και τον τύπο της επιφάνειας πάνω στην οποία γίνονται οι μετρήσεις. Οι συνθήκες που επιλέγονται για τους ελέγχους πρέπει να ταιριάζουν με αυτές που αναμένονται όταν διεξάγεται η προβλεπόμενη εργασία μέτρησης.

Οι έλεγχοι που διενεργούνται στα εργαστήρια παρέχουν αποτελέσματα που είναι σχεδόν ανεπηρέαστα από ατμοσφαιρικές επιρροές, αλλά το κόστος για τέτοιου είδους ελέγχους είναι πολύ υψηλό, και ως εκ τούτου δεν είναι εφικτό για τους περισσότερους χρήστες. Επιπλέον, οι εργαστηριακοί έλεγχοι δίνουν ακρίβεια πολύ υψηλότερη από εκείνες που μπορούν να επιτευχθεί υπό συνθήκες πεδίου.

#### **1.4.1 Απλουστευμένη διαδικασία ελέγχου**

Η απλοποιημένη διαδικασία ελέγχου παρέχει μία εκτίμηση ως προς το αν η ακρίβεια ενός χωροσταθμικού συστήματος βρίσκεται εντός των καθορισμένων επιτρεπόμενων ορίων, σύμφωνα με το ISO 4463-1.

Αυτή η διαδικασία κανονικά προορίζεται για τον έλεγχο της ακρίβειας ενός οπτικομηχανικού χωροβάτη που χρησιμοποιείται για εφαρμογές χωροστάθμησης.

Αυτή η απλοποιημένη διαδικασία ελέγχου βασίζεται σε έναν περιορισμένο αριθμό μετρήσεων. Ως εκ τούτου, δεν μπορεί υπολογιστεί μία σημαντικά ικανοποιητική τυπική απόκλιση. Αν απαιτείται μια πιο ακριβής εκτίμηση υπό συνθήκες πεδίου, συνιστάται να υιοθετηθεί η πιο αυστηρή διαδικασία του πλήρους ελέγχου, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 1.3.4.

Η διαδικασία βασίζεται στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων, που απέχουν περίπου 60m μεταξύ τους, η οποία γίνεται αποδεκτή ως πραγματική τιμή. Η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης υψομετρικής διαφοράς και της αποδεχομένης πραγματικής τιμής μεταξύ

των ίδιων μετρούμενων σημείων, τα οποία έχουν σκοπευθεί από ίση απόσταση, δείχνει αν ο χωροβάτης ανταποκρίνεται στα καθορισμένα επιτρεπόμενα όρια (σύμφωνα με το ISO 4463-1) για την προβλεπόμενη εργασία.

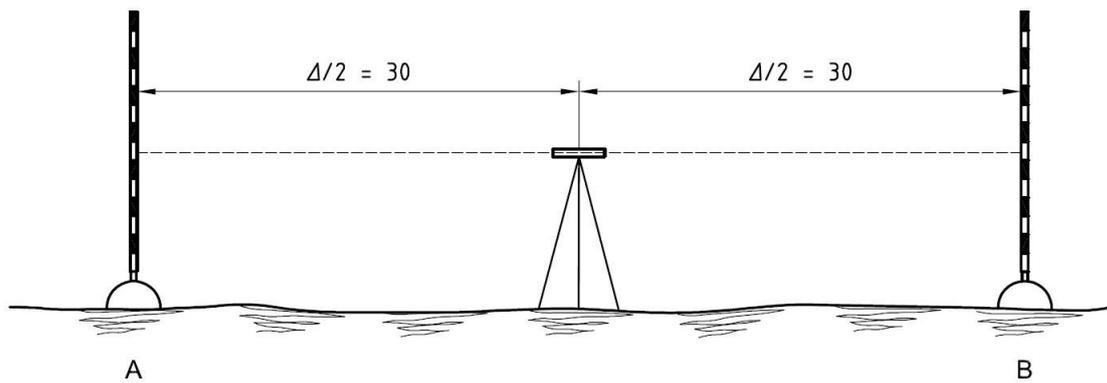
Για να διατηρηθεί η επίδραση της διάθλασης σε όσο το δυνατόν μικρότερο επίπεδο, θα πρέπει να επιλέγεται μια αρκετά οριζόντια επιφάνεια ελέγχου. Θα πρέπει να επιλεγούν δύο υψομετρικά σημεία, Α και Β, σε απόσταση  $\Delta=60\text{m}$ . Για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, οι σταδίες θα πρέπει να τοποθετηθούν σε σταθερές θέσεις, αξιόπιστα ακίνητες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ελέγχου, συμπεριλαμβανομένων των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.

#### 1.4.1.1 Μετρήσεις

Πριν από την έναρξη των μετρήσεων, επιτρέπεται στο όργανο να εγκλιματιστεί στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο χρόνος προσαρμογής που απαιτείται για διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κελσίου είναι περίπου δύο λεπτά. Επιπλέον, ο χρήστης ελέγχει την οριζοντίωση πριν από τον έλεγχο.

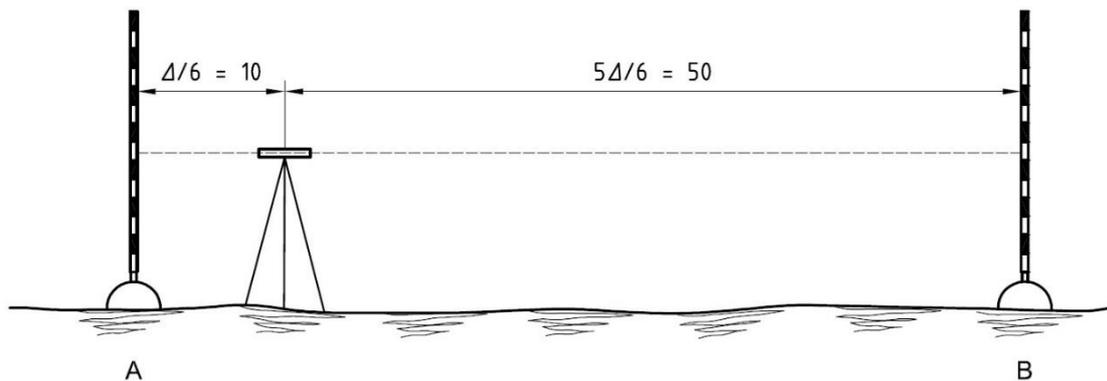
Πραγματοποιούνται δύο σειρές μετρήσεων.

Για την πρώτη σειρά, ο χωροβάτης θα πρέπει να τοποθετηθεί μεταξύ των υψομετρικών σημείων Α και Β σε περίπου ίση απόσταση ( $\Delta/2=30\text{m}$ ). Έτσι, ελαχιστοποιείται η επίδραση της διάθλασης και της μετατόπισης του σκοπευτικού άξονα (σχήμα 1.1). Εκτελείται μία σειρά 10 μετρήσεων, με κάθε μέτρηση να περιλαμβάνει μία όπισθεν ανάγνωση,  $x_{A,j}$ , στη σταδία που βρίσκεται στο σημείο Α και μία εμπροσθεν ανάγνωση,  $x_{B,j}$ , στη σταδία που βρίσκεται στο σημείο Β, ( $j=1,\dots,10$ ). Μεταξύ των ζευγών αναγνώσεων, το όργανο πρέπει να ανυψώνεται και να τοποθετείται σε μια ελαφρώς διαφορετική θέση. Μετά από 5 μετρήσεις ( $x_{A,1}, x_{B,1}, \dots, x_{A,5}, x_{B,5}$ ), οι όπισθεν και οι εμπροσθεν μετρήσεις αντιστρέφονται για άλλες 5 μετρήσεις ( $x_{B,6}, x_{A,6}, \dots, x_{B,10}, x_{A,10}$ ).



Σχήμα 1.1: Πρώτη διαμόρφωση της γραμμής ελέγχου για την απλουστευμένη διαδικασία ελέγχου

Για τη δεύτερη σειρά μετρήσεων, ο χωροβάτης θα πρέπει να τοποθετηθεί σε απόστασή περίπου  $\Delta/6=10\text{m}$  από το σημείο A και  $5\Delta/6=50\text{m}$  από το σημείο B (σχήμα 1.2). Στη συνέχεια, λαμβάνονται άλλες δέκα μετρήσεις με τον ίδιο τρόπο όπως και στην πρώτη σειρά μετρήσεων.



Σχήμα 1.2: Δεύτερη διαμόρφωση της γραμμής ελέγχου για την απλουστευμένη διαδικασία ελέγχου

#### 1.4.1.2 Υπολογισμοί

$$d_j = x_{A,j} - x_{B,j} \text{ με } (j=1, \dots, 20) \quad (1.1)$$

Όπου το  $d_j$  είναι η διαφορά μεταξύ του όπισθεν  $x_{A,j}$  και του έμπροσθεν  $x_{B,j}$ .

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{10} d_j}{10} \quad (1.2)$$

Όπου το  $\bar{d}_1$  είναι η μέση τιμή των υψομετρικών διαφορών,  $d_j$ , της πρώτης σειράς μετρήσεων.

Η τιμή του  $\bar{d}_1$  αντιπροσωπεύει την πραγματική υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων A και B.

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j \text{ με } (j=1, \dots, 20) \quad (1.3)$$

Όπου το  $r_j$  είναι το υπόλοιπο της αντίστοιχης μετρούμενης υψομετρικής διαφοράς  $d_j$  μεταξύ των σημείων A και B από την πρώτη σειρά μετρήσεων.

Για έλεγχο, το άθροισμα των υπολοίπων της πρώτης σειράς πρέπει να είναι ίσο με 0:

$$\sum_{j=1}^{10} r_j = 0 \quad (1.4)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} r_j^2}{v}} \quad (1.5)$$

Όπου:

- $\sum_{j=1}^{10} r_j^2$  το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων  $r_j$  της πρώτης σειράς
- $v=10-1=9$  ο βαθμός ελευθερίας
- $s$  η πειραματική τυπική απόκλιση της υψομετρικής διαφοράς,  $d_j$ , που προέρχεται από τις μετρήσεις της πρώτης σειράς.

Ακόμη,

$$\bar{d}_2 = \frac{\sum_{j=11}^{20} d_j}{10} \quad (1.6)$$

Όπου το  $\bar{d}_2$  είναι η μέση τιμή των υψομετρικών διαφορών,  $d_j$ , της δεύτερης σειράς μετρήσεων.

Η διαφορά  $\bar{d}_1 - \bar{d}_2$  πρέπει να είναι εντός της επιτρεπόμενης απόκλισης  $\pm p$  (σύμφωνα με το ISO 4463-1). Εάν το  $p$  δε δίνεται, η διαφορά πρέπει να είναι  $|\bar{d}_1 - \bar{d}_2| < 2.5 \cdot s$ , όπου το  $s$  είναι η πειραματική τυπική απόκλιση που υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση (1.6).

Αν η διαφορά  $|\bar{d}_1 - \bar{d}_2|$  είναι πολύ μεγάλη, αυτό φανερώνει υπέρβαση στην αβεβαιότητα της μέτρησης κατά τη μεγάλη απόσταση (50m), η οποία

μπορεί να είναι αποτέλεσμα σφάλματος ανάγνωσης, διάθλασης ή και εσφαλμένης οριζοντίωσης του σκοπευτικού άξονα.

#### 1.4.2 Διαδικασία πλήρους ελέγχου

Για τον προσδιορισμό της καλύτερης δυνατής της ακρίβειας μέτρησης ενός συγκεκριμένου χωροβάτη και του βοηθητικού του εξοπλισμού σε πραγματικές συνθήκες πρέπει να εφαρμοστεί η πλήρης διαδικασία ελέγχου, η οποία απαιτεί ίσα μήκη σκόπευσης (μέγιστη διακύμανση 10%). Η συγκεκριμένη διαδικασία προορίζεται για ελέγχους χωροβατών ακριβείας, γραμμικές εφαρμογές και άλλες μεγάλες εργασίες.

Τα συνιστώμενα μήκη σκόπευσης είναι 30m. Μήκη σκόπευσης άνω των 30m μπορεί υιοθετηθούν για συγκεκριμένη ακρίβεια ελέγχου η οποία απαιτείται από τις προδιαγραφές του έργου, ή για να καθοριστεί το εύρος ακρίβειας της μέτρησης ενός χωροβάτη σε αντίστοιχες αποστάσεις.

Η ολοκληρωμένη διαδικασία ελέγχου βασίζεται μόνο σε ίσα μήκη σκόπευσης. Με αυτή τη διαδικασία δεν μπορεί να ανιχνευθεί ενδεχόμενη μετατόπιση του σκοπευτικού άξονα του χωροβάτη. Αυτό, όμως, το σφάλμα οριζοντίωσης του σκοπευτικού άξονα δεν έχει καμία επίδραση ούτε στην πειραματική τυπική απόκλιση ούτε στο σφάλμα του μηδενός των σταδίων χρησιμοποιώντας ίσα μήκη σκόπευσης. Προκειμένου να προσδιοριστεί το σφάλμα οριζοντίωσης του σκοπευτικού άξονα, το όργανο πρέπει να ελέγχεται πριν την έναρξη της χωροστάθμησης, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

Η διαδικασία ελέγχου προορίζεται για τον προσδιορισμό της ακρίβειας μέτρησης κατά τη χρήση ενός συγκεκριμένου χωροβάτη. Αυτή η ακρίβεια μέτρησης της εκφράζεται σε όρους πειραματικής τυπικής απόκλισης χωροστάθμησης ενός 1km:

$$S_{ISO-LEV} = \text{ακρίβεια μέτρησης/km χωροστάθμησης} \quad (1.7)$$

Αυτή η διαδικασία μπορεί, επιπλέον, να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό:

- Της ακρίβειας στη χρήση των χωροβατών από μια ενιαία ομάδα με ένα όργανο και τον βοηθητικό εξοπλισμό του σε μια δεδομένη στιγμή
- Της ακρίβειας στη χρήση ενός οργάνου στην πάροδο του χρόνου

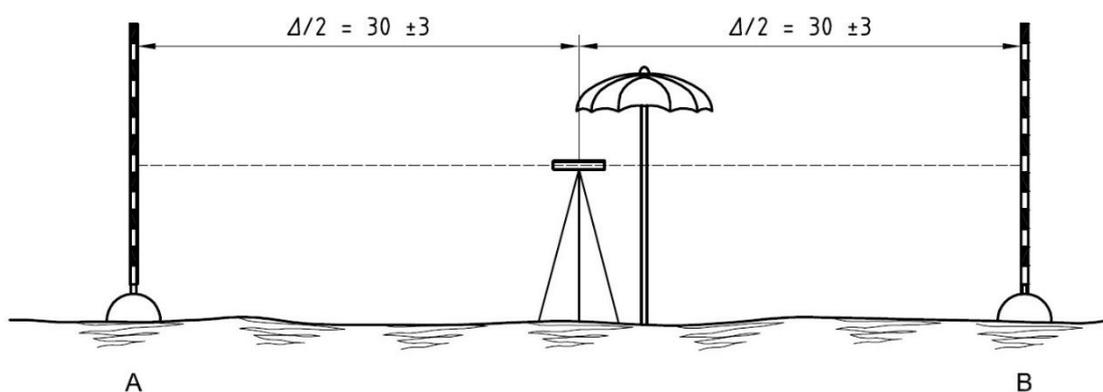
- Της ακρίβειας στη χρήση πολλών χωροβατών προκειμένου να καταστεί δυνατή η σύγκριση των αντίστοιχων εφικτών ακριβειών τους υπό παρόμοιες συνθήκες.

Πρέπει να εφαρμοστούν στατιστικοί έλεγχοι για να προσδιοριστεί κατά πόσο η πειραματική τυπική απόκλιση,  $s$ , που λαμβάνεται ανήκει στον πληθυσμό της θεωρητικής τυπικής απόκλισης,  $\sigma$ , εάν δύο δείγματα που εξετάστηκαν ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό και αν η διαφορά,  $\delta$ , του σημείου μηδέν των σταδίων είναι ίση με το μηδέν.

Για να διατηρηθεί η επίδραση της διάθλασης σε όσο το δυνατόν μικρότερο επίπεδο, θα πρέπει να επιλέγεται μία λογικά οριζόντια περιοχή ελέγχου. Το έδαφος πρέπει να είναι συμπαγές και η επιφάνεια ομοιόμορφη. Πρέπει να αποφεύγονται οι δρόμοι που καλύπτονται με άσφαλτο ή σκυρόδεμα. Αν υπάρχει άμεση ηλιακή ακτινοβολία, το όργανο πρέπει να σκιάζεται, για παράδειγμα, από μια ομπρέλα.

Τα δύο υψομετρικά σημεία, A και B, θα πρέπει να απέχουν περίπου  $\Delta=60\text{m}$ . Για να εξασφαλισθούν αξιόπιστα αποτελέσματα, οι σταδίες θα πρέπει να τοποθετηθούν σε σταθερές θέσεις, ακίνητες κατά τη διάρκεια του ελέγχου, συμπεριλαμβανομένων των επαναληπτικών μετρήσεων.

Ο χωροβάτης θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ίση περίπου απόσταση μεταξύ των υψομετρικών σημείων, A και B ( $\Delta/2=30\text{m}\pm 3\text{m}$ ), έτσι ώστε να μειωθεί η επίδραση της διάθλασης και του σφάλματος μετατόπισης του σκοπευτικού άξονα (σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Διαμόρφωση της γραμμής ελέγχου για την πλήρη διαδικασία ελέγχου

### 1.4.2.1 Μετρήσεις

Πριν από την έναρξη των μετρήσεων, επιτρέπεται στο όργανο να εγκλιματιστεί στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο χρόνος προσαρμογής που απαιτείται για διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κελσίου είναι περίπου δύο λεπτά. Επιπλέον, ο χρήστης ελέγχει την οριζοντίωση πριν από τον έλεγχο.

Πραγματοποιούνται δύο σειρές μετρήσεων.

Η πρώτη σειρά αποτελείται από είκοσι ζεύγη αναγνώσεων, με κάθε μέτρηση να περιλαμβάνει ένα όπισθεν στη σταδία στο σημείο A,  $x_{A,j}$  και ένα έμπροσθεν στη σταδία στο σημείο B,  $x_{B,j}$ ,  $j=1,\dots,20$ . Μεταξύ των ζευγών αναγνώσεων, το όργανο πρέπει να ανυψώνεται και να τοποθετείται σε μια ελαφρώς διαφορετική θέση. Μετά από 10 μετρήσεις ( $x_{A,1}, x_{B,1}, \dots, x_{A,10}, x_{B,10}$ ), οι όπισθεν και οι έμπροσθεν μετρήσεις αντιστρέφονται για άλλες 10 μετρήσεις ( $x_{B,11}, x_{A,11}, \dots, x_{B,20}, x_{A,20}$ ).

Στη συνέχεια, οι δύο σταδίες στα σημεία A και B θα πρέπει να εναλλάσσονται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες είκοσι φορές ( $x_{A,21}, x_{B,21}, \dots, x_{A,30}, x_{B,30}, x_{B,31}, x_{A,31}, \dots, x_{B,40}, x_{A,40}$ ), με τον ίδιο τρόπο όπως περιγράφεται για την πρώτη σειρά μετρήσεων.

### 1.4.2.2 Υπολογισμοί

$$d_j = x_{A,j} - x_{B,j} \text{ με } j=1, \dots, 40 \quad (1.8)$$

όπου το  $d_j$  η διαφορά μεταξύ του όπισθεν  $x_{A,j}$  και του έμπροσθεν  $x_{B,j}$ .

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{20} d_j}{20} \quad (1.9)$$

όπου  $\bar{d}_1$  ο μέσος όρος των υψομετρικών διαφορών,  $d_j$ , της πρώτης σειράς μετρήσεων.

$$\bar{d}_2 = \frac{\sum_{j=21}^{40} d_j}{20} \quad (1.10)$$

όπου  $\bar{d}_2$  ο μέσος όρος των υψομετρικών διαφορών,  $d_j$ , της δεύτερης σειράς μετρήσεων.

Η διαφορά

$$\delta = \bar{d}_1 - \bar{d}_2 \quad (1.11)$$

δεν επηρεάζει την πειραματική τυπική απόκλιση, αλλά είναι ένας δείκτης διαφοράς της μετατόπισης τους σημείου 0 των δύο σταδίων.

Τα υπόλοιπα υπολογίζονται ως εξής:

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j \text{ με } j=1, \dots, 20 \quad (1.12)$$

$$r_j = \bar{d}_2 - d_j \text{ με } j=21, \dots, 40 \quad (1.13)$$

όπου  $r_j$  το υπόλοιπο της αντίστοιχης μετρημένης υψομετρικής διαφοράς,  $d_j$ , μεταξύ των υψομετρικών σημείων A και B.

Για αριθμητικό έλεγχο, τα αθροίσματα των υπολοίπων της πρώτης και δεύτερης σειράς θα πρέπει να είναι ίσα με 0.

$$\sum_{j=1}^{20} r_j = 0 \quad (1.14)$$

$$\sum_{j=21}^{40} r_j = 0 \quad (1.15)$$

$$\sum_{j=1}^{40} r_j^2 = \sum_{j=1}^{20} r_j^2 + \sum_{j=21}^{40} r_j^2 \quad (1.16)$$

οπού το  $\sum_{j=1}^{20} r_j^2$  είναι το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων  $r_j$ .

$$v = 2 \cdot (20 - 1) = 38 \quad (1.17)$$

όπου  $v$  είναι ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας.

Η πειραματική τυπική απόκλιση,  $s$ , είναι αποδεκτή για μία υψομετρικές διαφορές σε απόσταση της τάξης των 60m:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{38}} \quad (1.18)$$

$$s_{\text{ISO-LEV}} = \frac{s}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{1000\text{m}}{60\text{m}}} = s \cdot 2.89 \quad (1.19)$$

όπου το  $s_{\text{ISO-LEV}}$  είναι η πειραματική τυπική απόκλιση ανά 1km χωροστάθμησης.

### 1.4.3 Στατιστικοί έλεγχοι

Οι στατιστικοί έλεγχοι συνιστώνται μόνο για την πλήρη διαδικασία ελέγχου. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, οι στατιστικοί έλεγχοι θα πρέπει να διενεργούνται με τη χρήση:

- της πειραματικής τυπικής απόκλισης,  $s$ , μιας υψομετρικής διαφοράς που μετρείται στη γραμμή ελέγχου, και
- της διαφοράς,  $\delta$ , του σφάλματος του μηδενός των δύο σταδίων και την πειραματική τυπική απόκλισή του,  $s_\delta$ .

Θα πρέπει να βεβαιωθεί ότι:

A) η υπολογιζόμενη πειραματική τυπική απόκλιση,  $s$ , είναι μικρότερη από μία αντίστοιχη τιμή,  $\sigma$ , καθορισμένη από τον κατασκευαστή ή μικρότερη από μία άλλη προκαθορισμένη τιμή,  $\sigma$

B) οι δύο τυπικές αποκλίσεις,  $s$  και  $\tilde{s}$ , όπως καθορίζονται από δύο διαφορετικά δείγματα μετρήσεων, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, θεωρώντας ότι και τα δύο δείγματα έχουν τον ίδιο βαθμό ελευθερίας,  $\nu$ . Οι δύο τυπικές αποκλίσεις,  $s$  και  $\tilde{s}$ , θα πρέπει να προέρχονται από:

- δύο σειρές μετρήσεων από το ίδιο όργανο αλλά με διαφορετικό παρατηρητή
- δύο σειρές μετρήσεων από το ίδιο όργανο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές
- δύο σειρές μετρήσεων από διαφορετικό όργανο

Γ) Η διαφορά  $\delta$  είναι ίση με το μηδέν ή επηρεάζεται από το σφάλμα του μηδενός των σταδίων.

Για τους παρακάτω ελέγχους, θεωρείται ένα επίπεδο εμπιστοσύνης  $1-\alpha=0,95$  και, σύμφωνα με το σχεδιασμό των μετρήσεων, ένας βαθμός ελευθερίας  $\nu=38$ .

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων αυτών θα πρέπει να διενεργηθούν οι παρακάτω έλεγχοι:

Ερώτημα	Υπόθεση του μηδενός	Εναλλακτική υπόθεση
A	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
B	$\sigma = \tilde{\sigma}$	$\sigma \neq \tilde{\sigma}$
Γ	$\delta = 0$	$\delta \neq 0$

Πίνακας 1.2: Στατιστικοί έλεγχοι

## Ερώτημα Α

Η υπόθεση του μηδενός η οποία δηλώνει ότι η πειραματική τυπική απόκλιση,  $s$ , είναι μικρότερη η ίση με μία θεωρητική ή προκαθορισμένη τιμή,  $\sigma$ , δεν απορρίπτεται αν πληρούνται τα παρακάτω:

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-a}^2(v)}{v}} \quad (1.20)$$

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(38)}{38}}$$

$$\chi_{0,95}^2(38) = 53.38$$

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{53.38}{38}}$$

$$s \leq \sigma \cdot 1.19$$

Σε αντίθετη περίπτωση η υπόθεση του μηδενός απορρίπτεται.

## Ερώτημα Β

Στην περίπτωση δύο διαφορετικών δειγμάτων, ο έλεγχος υποδηλώνει αν η πειραματικές τυπικές αποκλίσεις,  $s$  και  $\tilde{s}$ , ανήκουν στο ίδιο σύνολο. Η αντιστοιχία της υπόθεσης του μηδενός,  $\sigma = \tilde{\sigma}$ , δεν απορρίπτεται αν πληρούνται τα παρακάτω:

$$\frac{1}{F_{1-a/2}(v,v)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{1-a/2}(v,v) \quad (1.21)$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(38,38)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{0,975}(38,38)$$

$$F_{0,975}(38,38) = 1.91$$

$$0.52 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 1.91$$

Σε αντίθετη περίπτωση η υπόθεση του μηδενός απορρίπτεται.

## Ερώτημα Γ

Η υπόθεση της ισότητας των μέσων τιμών  $\bar{d}_1$  και  $\bar{d}_2$  (υπόθεση του μηδενός του  $\delta$ ) δεν απορρίπτεται αν πληρούνται τα παρακάτω:

$$|\delta| \leq s_\delta \cdot t_{1-a/2}(v) \quad (1.22)$$

$$|\delta| \leq s_\delta \cdot t_{0.975}(38)$$

$$s_\delta = \frac{s}{\sqrt{10}}$$

$$t_{0.975}(38) = 2.02$$

$$|\delta| \leq \frac{s}{\sqrt{10}} \cdot 2.02$$

$$|\delta| \leq s \cdot 0.64$$

Σε αντίθετη περίπτωση η υπόθεση του μηδενός απορρίπτεται.

Ο βαθμός ελευθερίας και, συνεπώς, οι αντίστοιχοι έλεγχοι  $\chi^2_{1-a}(v)$ ,  $F_{1-a/2}(v, v)$  και  $t_{1-a/2}(v)$  αλλάζουν αν αναλύεται διαφορετικός αριθμός μετρήσεων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

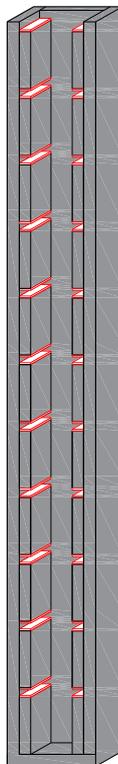
#### 2.1 Γενικά

Η διαδικασία διακρίβωσης πραγματοποιείται στην ειδική βάση ελέγχου που έχει κατασκευαστεί και τοποθετηθεί στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π. [Νικολίτσας Κ., 2015]

Σκαρίφημα της κατασκευής παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1.

Η συγκεκριμένη κατασκευή έχει ύψος 112.4cm, πλάτος 13.2cm και βάθος 7cm. Ορίζονται 12 στάθμες εκ των οποίων η πρώτη (στάθμη 0) είναι η βάση της ξύλινης επιφάνειας και οι υπόλοιπες υλοποιούνται με την προσθήκη γυάλινης επιφάνειας στις διαμορφωμένες ειδικές θέσεις (ράγες) της κατασκευής (ανά 10cm περίπου).

Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η σταδία Invar GPCL2 της Leica τοποθετημένη στη στάθμη 3 της βάσης ελέγχου



Σχήμα 2.1: Σκαρίφημα βάσης ελέγχου

Αντικείμενο της διαδικασίας είναι ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας και η διακρίβωση των χωροσταθμικών συστημάτων καθώς επίσης και ο υπολογισμός των αβεβαιοτήτων τους. Προκειμένου να γίνει η διακρίβωση ενός χωροσταθμικού συστήματος γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων του, με συγκεκριμένες πρότυπες τιμές.

Για να υπολογιστούν αυτές οι πρότυπες τιμές πρέπει να προηγηθεί βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου.



*Εικόνα 2.1: Η σταδία Invar GPCL2 της Leica στη στάθμη 3 της βάσης ελέγχου*

## **2.2 Μεθοδολογία βαθμονόμησης της βάσης ελέγχου**

Όπως προαναφέρθηκε, η μεθοδολογία του ελέγχου – διακρίβωσης περιλαμβάνει την εξαγωγή των υψομετρικών διαφορών για τις στάθμες της βάσης ελέγχου και τη σύγκρισή τους με τις αντίστοιχες πρότυπες της βαθμονόμησης.

Για τη διαδικασία της βαθμονόμησης χρησιμοποιείται χωροβάτης ακριβείας και ψηφιακή σταδία Invar έτσι ώστε οι μετρήσεις να έχουν τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια.

Η τοποθέτηση του χωροβάτη θα πρέπει να γίνει σε θέση για την οποία επιτυγχάνεται η βέλτιστη απόσταση μεταξύ χωροβάτη και σταδίας. Η βέλτιστη απόσταση προσδιορίζεται από την επαναληψιμότητα του χωροβάτη αναφοράς.

Η αβεβαιότητα της ψηφιακής ανάγνωσης ως συνάρτηση της απόστασης ακολουθεί μία γραμμική σχέση που περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$y=0.745x+0.07 \quad (2.1)$$

όπου:

- $x$ : η απόσταση μεταξύ χωροβάτη και σταδίας (m)
- $y$ : η επαναληψιμότητα ( $\mu\text{m}$ )

Για παράδειγμα, λαμβάνοντας υπόψη την επαναληψιμότητα του χωροβάτη αναφοράς Leica DNA03 προτείνεται η απόσταση μεταξύ του χωροβάτη και της σταδίας κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης της βάσης να είναι μεταξύ 5m και 10m ώστε η τυπική απόκλιση της μέτρησης να είναι μικρότερη από  $\pm 10\mu\text{m}$ . Έτσι η επίδραση της επαναληψιμότητας του χωροβάτη στις τελικές τιμές των σταθμών της βάσης ελέγχου είναι αμελητέα.

Εκτός της απόστασης χωροβάτη – σταδίας, παράγοντας ο οποίος επηρεάζει τη βαθμονόμηση είναι και ο αριθμός των αναγνώσεων που λαμβάνονται σε κάθε στάθμη.

Αναφέρεται ότι σε εργαστηριακούς ελέγχους που έγιναν η τυπική απόκλιση της καλύτερης τιμής...σταθεροποιείται μετά τις 10 μετρήσεις. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να επιλέγεται ο αριθμός των 10 μετρήσεων ως βέλτιστος αριθμός για τον προσδιορισμό της καλύτερης τιμής της ανάγνωσης σε κάθε στάθμη, ή διαφορετικά ο αριθμός των αναγνώσεων μετά από τον οποίο σταθεροποιείται η τυπική απόκλιση της καλύτερης τιμής. [Νικολίτσας Κ., 2015]

Από τις 10 αναγνώσεις που λαμβάνονται σε κάθε στάθμη,  $d_{i,j}$ , (με  $i=a/a$  στάθμης και  $j=a/a$  ανάγνωσης) υπολογίζεται η καλύτερη (μέση) τιμή τους και το τυπικό της σφάλμα.

Για τη μέση τιμή:

$$\bar{d}_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} d_{i,j}}{10} \quad (2.2)$$

όπου:

- $\bar{d}_i$ : η μέση τιμή των αναγνώσεων σε κάθε στάθμη
- $i$ : ο αύξων αριθμός της στάθμης
- $j$ : ο αύξων αριθμός της ανάγνωσης (1,...,10)
- $d_{i,j}$ : η τιμή της ανάγνωσης στη σταδία

Για το τυπικό σφάλμα:

$$\sigma_{\bar{d}_i} = \pm \sqrt{\frac{[uv]}{(n-1) \cdot n}} \quad (2.3)$$

όπου:

- $\sigma_{\bar{d}_i}$ : το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής
- $[uv]$ : το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων ( $[uv] = \sum_{j=1}^{10} (\bar{d}_i - d_{i,j})^2$ )
- $n$ : ο αριθμός των αναγνώσεων ( $n=10$ )

Αφού υπολογιστούν οι καλύτερες τιμές και τα τυπικά σφάλματα για όλες τις στάθμες, θα πρέπει να προσδιοριστούν οι μοναδιαίες υψομετρικές διαφορές,  $\Delta H_i$  με ( $i=1, \dots, 11$ ), της βάσης ελέγχου. Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται με συνόρθωση των υψομετρικών διαφορών,  $\delta H_v$  με ( $v=1, \dots, 55$ ), μεταξύ των σταθμών εξαιρουμένων των μοναδιαίων.

Ο αριθμός των εξισώσεων παρατήρησης υπολογίζεται ως συνδυασμός του αριθμού των σταθμών ανά 2, αφαιρώντας τις μοναδιαίες υψομετρικές διαφορές:

$$v = \frac{m!}{(m-2)! \cdot 2!} - (m-1) \quad (2.4)$$

όπου:

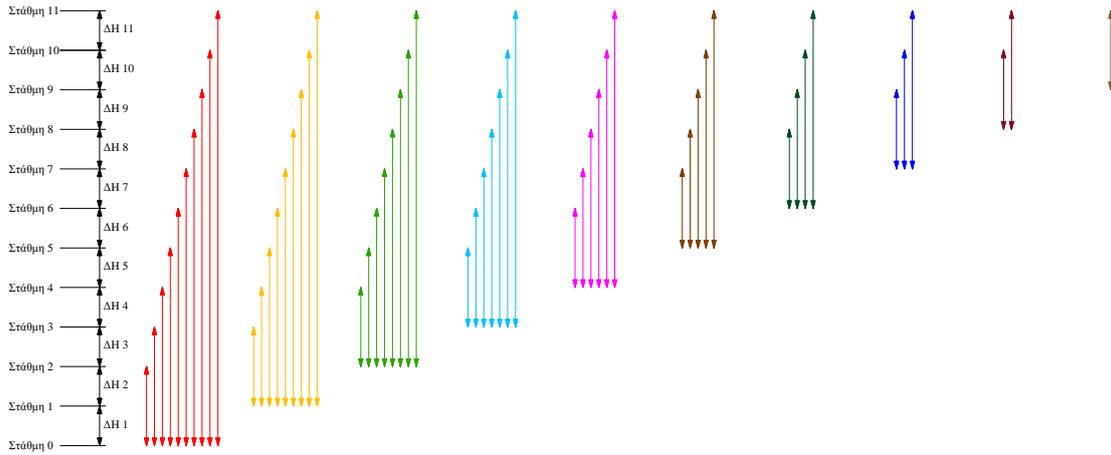
- $v$ : ο αριθμός των εξισώσεων παρατήρησης
- $m$ : ο αριθμός των σταθμών της βάσης ελέγχου
- $(m-1)$ : ο αριθμός των μοναδιαίων υψομετρικών διαφορών

Για παράδειγμα, σε βάση ελέγχου με 12 στάθμες ο αριθμός των εξισώσεων παρατήρησης είναι:

$$v = \frac{12!}{(12-2)! \cdot 2!} - 11 = 55$$

Οι υψομετρικές διαφορές,  $\Delta H_v$ , που συνορθώνονται (σχήμα 2.2), προκύπτουν ως εξής:

$$\Delta H_v, (v=1, \dots, 55) \begin{cases} \Delta H_{i-0} = \bar{d}_i - \bar{d}_0, (i=2, \dots, 11) \\ \Delta H_{i-1} = \bar{d}_i - \bar{d}_1, (i=3, \dots, 11) \\ \dots \\ \Delta H_{i-9} = \bar{d}_i - \bar{d}_9, (i=11) \end{cases} \quad (2.5)$$



Σχήμα 2.2: Προσδιοριζόμενες υψομετρικές διαφορές βαθμονόμησης, [Νικολίτσας Κ., 2015]

Η αβεβαιότητα για κάθε υψομετρική διαφορά που υπολογίζεται προκύπτει με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων.

$$\sigma_{\Delta H_v}, (v=1, \dots, 55) \begin{cases} \sigma_{\Delta H_{i-0}} = \pm \sqrt{\sigma_{d_i}^2 - \sigma_{d_0}^2}, (i=2, \dots, 11) \\ \sigma_{\Delta H_{i-1}} = \pm \sqrt{\sigma_{d_i}^2 - \sigma_{d_1}^2}, (i=3, \dots, 11) \\ \dots \\ \sigma_{\Delta H_{i-9}} = \pm \sqrt{\sigma_{d_i}^2 - \sigma_{d_9}^2}, (i=11) \end{cases} \quad (2.6)$$

Χρησιμοποιώντας τις 55 εξισώσεις των  $\Delta H_v$  και τις αβεβαιότητες τους πραγματοποιείται συνόρθωση με αγνώστους τις καλύτερες τιμές των μοναδιαίων υψομετρικών διαφορών,  $\Delta H_i$ .

Έτσι από το κανονικό σύστημα που σχηματίζεται προκύπτει ότι:

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T \delta l \quad (2.7)$$

Υπολογίζεται, τέλος, ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας:

$$V_{\bar{x}} = \sigma_0^2 (A^T A)^{-1} \quad (2.8)$$

από τον οποίο προκύπτουν και οι αβεβαιότητες των καλύτερων τιμών των μοναδιαίων υψομετρικών διαφορών,  $\Delta H_i$ .

### 2.3 Μεθοδολογία ελέγχου – διακρίβωσης χωροσταθμικών συστημάτων

Για τη βάση ελέγχου είναι γνωστές οι πρότυπες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των σταθμών της.

Ο έλεγχος και η διακρίβωση χωροσταθμικών συστημάτων περιλαμβάνει τη σύγκριση των μετρήσεων του υπό έλεγχο συστήματος με τις πρότυπες τιμές.

Η διακρίβωση ακολουθεί περίπου την ίδια διαδικασία με τη βαθμονόμηση και μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

- να ελεγχθεί κάθε τμήμα της σταδίας ξεχωριστά
- να ελεγχθεί το σύνολο της σταδίας.

Η διαφορά στις μετρήσεις ελέγχου του συνόλου της σταδίας είναι ότι απαιτείται να τοποθετηθεί ο χωροβάτης σε επιπλέον θέσεις, έτσι ώστε να ληφθούν αναγνώσεις σε όλο το μήκος της σταδίας.

Όπως και στη βαθμονόμηση:

- οι μετρήσεις γίνονται με τοποθέτηση του χωροβάτη σε απόσταση 5m έως 10m από τη σταδία
- σε κάθε στάθμη της βάσης γίνονται 10 αναγνώσεις τη σταδίας.

Από τις 10 αναγνώσεις που λαμβάνονται από κάθε θέση σε κάθε στάθμη,  $d_{i,j}$ , (με  $i=a/a$  στάθμης και  $j=a/a$  ανάγνωσης) υπολογίζεται η καλύτερη (μέση) τιμή τους (σχέση 2.2) και το τυπικό της σφάλμα (σχέση 2.3).

Για τον έλεγχο των τμημάτων αλλά και του συνόλου της σταδίας χρησιμοποιείται η γραμμική εξίσωση της μορφής:

$$y_i = m \cdot x_i + b \quad (2.9)$$

όπου:

- $y$ : οι παρατηρήσεις του υπό έλεγχο συστήματος

- $x$ : οι πρότυπες τιμές
- $m$ : η κλίμακα του συστήματος
- $b$ : το συστηματικό σφάλμα

Η επίλυση της εξίσωσης 2.9 γίνεται με συνόρθωση, όπου το διάνυσμα  $\hat{x}$  των αγνώστων περιλαμβάνει την κλίμακα του συστήματος,  $m$ , και το συστηματικό σφάλμα,  $b$ .

Οι εξισώσεις παρατήρησης δημιουργούνται με χρήση της σχέσης 2.9 και ο αριθμός τους ποικίλει ανάλογα με το υπό έλεγχο σύστημα.

Η διαδικασία της συνόρθωσης είναι διαφορετική για τις δύο περιπτώσεις ελέγχων (τμήματα σταδίας, σύνολο σταδίας).

Για τις μετρήσεις των τμημάτων της σταδίας, η πρώτη στήλη του πίνακα σχεδιασμού  $A[n \times 2]$  ( $n$ : ο αριθμός των υψομετρικών διαφορών που προέκυψαν από τις παρατηρήσεις σε κάθε τμήμα) αποτελείται από τις πρότυπες υψομετρικές διαφορές και η δεύτερη από μονάδες.

Για τον πίνακα  $dl[n]$  υπολογίζονται οι υψομετρικές διαφορές των σταθμών 1-11 με την πρώτη στάθμη. Εφόσον δεν έχει μετρηθεί η πρώτη στάθμη υπολογίζονται οι υψομετρικές διαφορές των υπολοίπων σταθμών με αυτή που μετρήθηκε πρώτη.

Για παράδειγμα, αν μετρήθηκε πρώτη η στάθμη 2, υπολογίζονται οι υψομετρικές διαφορές των σταθμών 3-11 με την στάθμη 2. Είναι προφανές ότι αν δεν έχει μετρηθεί η τελευταία στάθμη δεν υπολογίζεται η αντίστοιχη υψομετρική διαφορά.

Στα τμήματα πέραν του πρώτου οι υπολογιζόμενες τιμές της διακρίβωσης προσαρμόζονται έτσι ώστε να δώσουν υψομετρικές διαφορές με αρχή το 0. Δηλαδή το  $H_0$  (υψόμετρο στάθμης 0) αφαιρείται από τα υψόμετρα όλων των σταθμών. Έτσι:

$$H'_i = H_i - H_0 \text{ με } (i=1, \dots, 11) \quad (2.10)$$

όπου:

- $H'_i$ : το προσαρμοσμένο υψόμετρο κάθε στάθμης για το υπό έλεγχο όργανο
- $H_i$ : το αρχικό υψόμετρο κάθε στάθμης για το υπό έλεγχο όργανο
- $H_0$ : το αρχικό υψόμετρο της στάθμης 0

Έτσι, σχηματίζεται το κανονικό σύστημα και προκύπτει η σχέση 2.5.

Υπολογίζεται το  $\sigma_0$  της προσαρμογής:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{[uv]}{n-1}} \quad (2.11)$$

όπου:

- $[uv]$ : το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων από τη σχέση  $y=m \cdot x+b$
- $n$ : ο αριθμός των υψομετρικών διαφορών που υπολογίζονται.

Τέλος, υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας – συµμεταβλητότητας κάνοντας χρήση της σχέσης 2.8 από τον οποίο προκύπτουν και οι αβεβαιότητες των καλύτερων τιμών της κλίµακας του συστήµατος,  $\sigma_m$ , και του συστηµατικού σφάλµατος,  $\sigma_b$ .

Για τις µετρήσεις του συνόλου της σταδίας, η πρώτη στήλη του πίνακα σχεδιασµού  $A[n \times 2]$  ( $n$ : ο αριθµός των υψομετρικών διαφορών που προέκυψαν από τις παρατηρήσεις) αποτελείται από τις πρότυπες υψομετρικές διαφορές και η δεύτερη από µονάδες. Σε αντίθεση µε τη διαδικασία που ακολουθήθηκε προηγουµένως, οι πρότυπες τιµές πρέπει να προσαρµοστούν στα ανώτερα υψόμετρα. Έτσι, στο υψόμετρο  $H_0$  της κάθε θέσης του υπό έλεγχο οργάνου προστίθενται οι πρότυπες υψομετρικές διαφορές. Συνεπώς η αβεβαιότητα που προκύπτει από το υψόμετρο της πρώτης στάθµης εξαλείφεται αφού συµµετέχει και στις πρότυπες τιµές. Οι προσαρµοσµένες πρότυπες υψομετρικές διαφορές προκύπτουν ως εξής:

$$H'_i = H_0 + \Delta H_{0-i} \quad \text{µε } (i=1, \dots, 11) \quad (2.12)$$

όπου:

- $H'_i$ : το προσαρµοσµένο πρότυπο υψόμετρο
- $H_0$ : το υψόμετρο της στάθµης 0 κάθε θέσης τοποθέτησης του οργάνου
- $\Delta H_{0-i}$ : οι πρότυπες υψομετρικές διαφορές

Στον πίνακα  $\delta I[n]$  εισάγονται τα υψόμετρα των σταθµών 1-11.

Έτσι, σχηµατίζεται το κανονικό σύστηµα και προκύπτει η σχέση 2.7.

Υπολογίζεται το  $\sigma_0$  της προσαρµογής

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{[uv]}{n-1}} \quad (2.13)$$

όπου:

- $[uv]$  το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων από τη σχέση  $y=m \cdot x+b$
- $n$ : ο αριθμός των υψομετρικών διαφορών που υπολογίζονται.

Τέλος, υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας χρησιμοποιώντας τη σχέση 2.8 από τον οποίο προκύπτουν και οι αβεβαιότητες των καλύτερων τιμών της κλίμακας του συστήματος,  $\sigma_m$ , και του συστηματικού σφάλματος,  $\sigma_b$ .

### 2.3.1 Στατιστικοί έλεγχοι

Η κλίμακα του συστήματος όπως προαναφέρθηκε εκφράζει το βαθμό ταύτισης του υπό έλεγχο χωροσταθμικού συστήματος με το πρότυπο σύστημα, χωρίς όμως να προδιαγράφεται η απορριπτική για την ορθή λειτουργία του υπό έλεγχο συστήματος τιμή της κλίμακας.

Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι μεθοδολογίες εκείνες με τις οποίες η κλίμακα του υπό έλεγχο συστήματος μπορεί να αποτελέσει «εργαλείο» διακρίβωσης.

Γνωρίζοντας τους συντελεστές  $m$  και  $b$  (σχέση 2.9) μπορούν να διορθωθούν οι μετρήσεις του υπό έλεγχο συστήματος ( $y_i$ ) σε «αληθείς» τιμές (διορθωμένες τιμές των αναγνώσεων) ( $y'_i$ ) χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

$$y'_i = \frac{y_i - b}{m} \quad (2.14)$$

Έτσι ο πρώτος έλεγχος για τη διακρίβωση του υπό έλεγχο συστήματος περιλαμβάνει το στατιστικό έλεγχο των διαφορών μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών όπως δίνονται από την παρακάτω σχέση:

$$\delta y_i = y'_i - y_i \quad (2.15)$$

Από το νόμο μετάδοσης των σφαλμάτων στη σχέση 2.15 οι αβεβαιότητες των διαφορών των μετρημένων τιμών από τις διορθωμένες δίνονται από τη σχέση 2.16.

$$\sigma_{\delta y_i} = \pm \sqrt{\left(\frac{m-1}{m}\right) \cdot \sigma_{y_i}^2 + \left(\frac{1}{m}\right) \cdot \sigma_b^2 \left(\frac{y_i - b}{m^2}\right) \cdot \sigma_m^2} \quad (2.16)$$

όπου:

- $\sigma_{\delta y_i}$ : η αβεβαιότητα της διαφοράς μεταξύ της μετρούμενης και διορθωμένης τιμής
- $\sigma_{y_i}$ : η αβεβαιότητα της μέτρησης με το υπό έλεγχο σύστημα
- $\sigma_m$ : η αβεβαιότητα της κλίμακας του υπό έλεγχο συστήματος

- $\sigma_b$ : η αβεβαιότητα της σταθεράς μετάθεσης πάνω στον άξονα Y

Εξαιτίας του πλήθους των παρατηρήσεων από τις οποίες προκύπτουν οι συντελεστές  $m$ ,  $b$  και κατά συνέπεια οι διορθωμένες τιμές, και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες (σχέση 2.16), θεωρείται ότι αυτές ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Επομένως, από όλα τα προηγούμενα μπορούν να πραγματοποιηθούν οι στατιστικοί έλεγχοι των διαφορών της σχέσης 2.15, ώστε να διαπιστωθεί αν αυτές είναι στατιστικά σημαντικές. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η σχέση 2.17. Στην περίπτωση που η ανισότητα της σχέσης 2.17 ισχύει, τότε στο συγκεκριμένο σημείο ανάγνωσης του χωροσταθμικού συστήματος έχει εντοπιστεί δυσλειτουργία, η οποία προκαλεί λανθασμένες αναγνώσεις.

$$\delta y_i \geq z_p \cdot \sigma_{\delta y_i} \quad (2.17)$$

όπου  $z_p = 1.96$  για επίπεδο εμπιστοσύνης ( $p=95\%$ ). [Νικολίτσας Κ., 2015]

Μετά τον αρχικό έλεγχο του χωροσταθμικού συστήματος, για τον εντοπισμό χονδροειδών και συστηματικών σφαλμάτων λόγω δυσλειτουργίας του συστήματος, ακολουθεί ο δεύτερος στατιστικός έλεγχος. Αυτός περιλαμβάνει τη σύγκριση της επίδοσης του συστήματος με τις αντίστοιχες τεχνικές προδιαγραφές του, όπως παρέχονται από τις κατασκευάστριες εταιρείες. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί οι έλεγχοι αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των διεθνών προτύπων ISO για τα γεωδαιτικά όργανα και δε θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση και το ISO 17123–2, που αναφέρεται στους ελέγχους των χωροβατών. [ISO 17123–2, 2001]

Από τον προσδιορισμό της κλίμακας του συστήματος από τη γραμμική εξίσωση (σχέση 2.9) με τη χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων, μετά την ολοκλήρωση της συνόρθωσης προκύπτει η τυπική απόκλιση της ( $\hat{\sigma}_0$ ).

Η τυπική απόκλιση ( $\hat{\sigma}_0$ ) σε αυτήν την περίπτωση εκφράζει τη μέση απόκλιση της μετρούμενης τιμής που παρέχεται από το υπό έλεγχο σύστημα από αυτή της πρότυπης τιμής που παρέχεται από την πρότυπη βάση ελέγχου.

Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται ο στατιστικός έλεγχος, σύμφωνα με τις ακόλουθες υποθέσεις.

$$H_0 \rightarrow \hat{\sigma}_0 \leq \sigma_\theta \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha, r\beta}^2}{r\beta}} \quad (2.18)$$

$$H_1 \rightarrow \hat{\sigma}_0 \geq \sigma_\theta \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha, r_\beta}^2}{r_\beta}} \quad (2.19)$$

όπου:

- $\sigma_\theta$ : η τυπική απόκλιση της μοναδιαίας ανάγνωσής του
- $r_\beta$ : ο βαθμός ελευθερίας
- $\chi_{1-\alpha, r_\beta}^2$ : η τιμή που προκύπτει από τους στατιστικούς πίνακες της  $\chi^2$  κατανομής για επίπεδο εμπιστοσύνης  $p=1-\alpha$ .

Έτσι, για μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) δηλώνεται ότι η υπολογιζόμενη τυπική απόκλιση της συνόρθωσης ( $\hat{\sigma}_0$ ) είναι μικρότερη ή ίση με την θεωρητική ή επιτρεπόμενη τιμή  $\sigma_\theta$ , η οποία ορίζεται από τον κατασκευαστή και δεν απορρίπτεται (γίνεται δεκτή) για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης (σύμφωνα με το ISO, οι έλεγχοι γίνονται για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και χρησιμοποιώντας για τη  $\chi^2$  κατανομή), εάν επιβεβαιώνεται η σχέση 2.18.

Στην περίπτωση που ισχύει η σχέση 2.19, δηλαδή η εναλλακτική υπόθεση, αυτό σημαίνει ότι το υπό έλεγχο χωροσταθμικό σύστημα δε λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. [Νικολίτσας Κ., 2015]

### 2.3.1.1 Το σφάλμα $\sigma_\theta$ της μοναδιαίας ανάγνωσής του χωροβάτη

Η επιτρεπόμενη τιμή ( $\sigma_\theta$ ) των σχέσεων 2.18 και 2.19, ταυτίζεται με την τυπική απόκλιση της μοναδιαίας ανάγνωσής του χωροβάτη ( $\sigma_{\text{reading}}$ ). Αυτή σπάνια δίνεται απ' ευθείας από τον κατασκευαστή, γι' αυτό προτείνεται ο έμμεσος υπολογισμός της, αφού από τις προδιαγραφές τους κατασκευαστή είναι γνωστό το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ανά χιλιόμετρο διπλής χωροστάθμησης σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-2. [ISO 17123-2:2001]

Σύμφωνα με το πρότυπο σε μια διπλή χωροστάθμηση 1km απαιτείται η απόσταση μεταξύ των σταδίων να είναι 60m. Το τελικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα ανά χιλιόμετρο χωροστάθμησης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση (σχέση 18 του διεθνούς προτύπου ISO 17123-2:2001):

$$\sigma_{\text{ISO-LEV}} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{1000}{60}} \quad (2.20)$$

όπου  $\sigma$  η τυπική απόκλιση, όπως υπολογίζεται από τη διαδικασία που προτείνει το ISO 17123-2:2001 από τη σχέση  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{38}}$ , για μία μοναδιαία υψομετρική διαφορά μεταξύ σημείων που απέχουν 60m.

Επομένως για κάθε χωροβάτη ισχύει:

$$\sigma_{\text{ISO-LEV}} = \sigma \cdot 2.89 \rightarrow \sigma = \frac{\sigma_{\text{ISO-LEV}}}{2.89} \quad (2.21)$$

όπου:

- $\sigma_{\text{ISO-LEV}}$ : η τυπική απόκλιση για μια διπλή χωροστάθμηση 1km, όπως υπολογίζεται από τη διαδικασία που προτείνει το ISO 17123-2:2001 από τη σχέση 2.20.
- $\sigma$ : η τυπική απόκλιση της μοναδιαίας υψομετρικής διαφοράς όπως υπολογίζεται από τη διαδικασία που προτείνει το ISO 17123-2:2001.

Τελικά, η επιτρεπόμενη τιμή  $\sigma_\theta$ , η οποία ταυτίζεται με την τυπική απόκλιση της μοναδιαίας ανάγνωσης του χωροβάτη δίνεται από τη σχέση 2.22, με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση υπολογισμού μιας μοναδιαίας υψομετρικής διαφοράς, λαμβάνοντας υπόψη και τη σχέση 2.21:

$$\sigma^2 = \sigma_{\text{reading}}^2 + \sigma_{\text{reading}}^2 \rightarrow \sigma^2 = 2 \cdot \sigma_{\text{reading}}^2 \rightarrow \sigma_{\text{reading}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{2}} \quad (2.22)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_{\text{reading}} = \pm \frac{\sigma_{\text{ISO-LEV}}}{2.89 \cdot \sqrt{2}} \quad (2.23)$$

όπου:

- $\sigma_\theta$ : η τυπική απόκλιση της μοναδιαίας ανάγνωσης του χωροβάτη όπως δίνεται από τους κατασκευαστές
- $\sigma_{\text{reading}}$ : η τυπική απόκλιση της μοναδιαίας ανάγνωσης του χωροβάτη όταν ο κατασκευαστής παρέχει μόνο την τυπική απόκλιση ανά χιλιόμετρο διπλής χωροστάθμησης σύμφωνα με το πρότυπο. [ISO 17123-2:2001]

## 2.4 Μετρήσεις θερμοκρασίας – υγρασίας

Καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων της βαθμονόμησης και των διακριβώσεων κρίθηκε απαραίτητο να καταγραφούν οι συνθήκες του περιβάλλοντος και οι μεταβολές τους. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με τον αισθητήρα Tinytag Plus 2 TGP-4500.

Το Tinytag Plus 2 TGP-4500 (εικόνα 2.2) είναι μία ανθεκτική και αδιάβροχη συσκευή με ενσωματωμένους αισθητήρες καταγραφής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Καταγράφει θερμοκρασίες από  $-25^{\circ}\text{C}$  έως  $+85^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία από 0% RH έως 100% RH.



*Εικόνα 2.2: Tinytag PLUS 2 TGP-4500 (Πηγή: <http://www.gemini dataloggers.com/>)*

Στην εικόνα 2.3 παρουσιάζεται ο αισθητήρας Tinytag Plus 2 TGP-4500 προσαρμοσμένος πάνω στη βάση ελέγχου.



*Εικόνα 2.3: Το Tinytag PLUS 2 TGP-4500 τοποθετημένο στην πίσω πλευρά της βάσης ελέγχου*

Ο επικαλυμμένος αισθητήρας προσφέρει αντοχή στην υγρασία και τη συμπύκνωση και καθιστά τη συσκευή κατάλληλη και αξιόπιστη για την

παρακολούθηση των συνθηκών του περιβάλλοντος σε υπαίθριες και βιομηχανικές εφαρμογές.

Διαθέτει ειδικό λογισμικό (Tinytag Explorer) και ειδικό καλώδιο σύνδεσης USB.

## 2.5 Βαθμονόμηση βάσης ελέγχου

Η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε στις 19/03/2015 σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 2.3.

Για τη βαθμονόμηση της βάσης χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός χωροβάτης ακριβείας Leica DNA03 (S/N: 340140) και η αντίστοιχη ψηφιακή σταδία Invar GPCL2 της Leica (S/N: 54228).

Η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε δύο φορές, με κάθε μία από αυτές να περιλαμβάνει αναγνώσεις σε άνοδο και κάθοδο.

Λόγω της ολισθηρότητας του δαπέδου αλλά και για την επίτευξη απόλυτης ακινησίας χρησιμοποιήθηκε τρίποδας βαρέως τύπου (εικόνα 2.4).

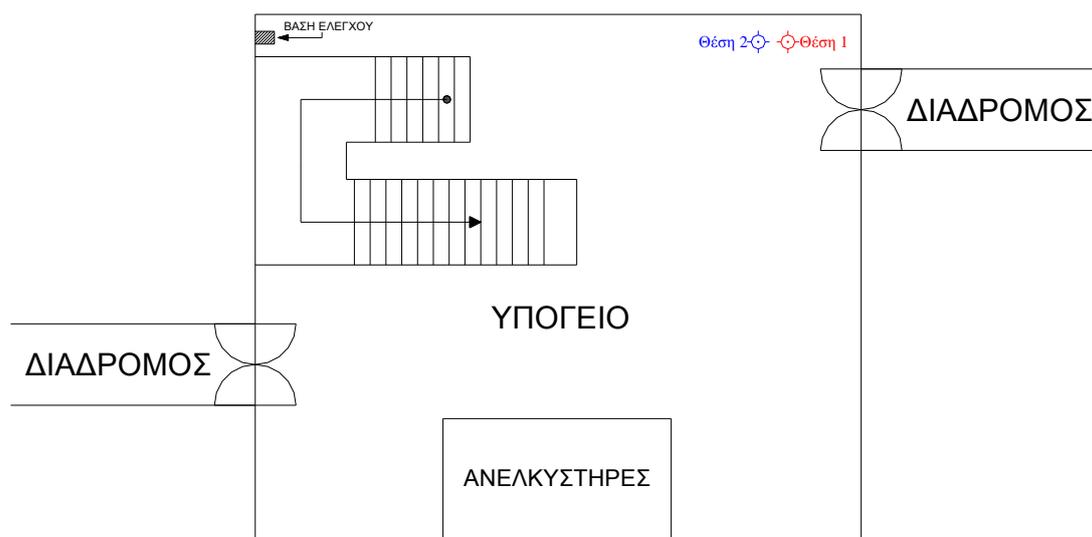


*Εικόνα 2.4: Μετρήσεις βαθμονόμησης με τον Leica DNA03*

Ο ψηφιακός χωροβάτης τοποθετήθηκε στη θέση 1 για την πρώτη βαθμονόμηση και στη θέση 2 για τη δεύτερη βαθμονόμηση (όπως αυτές φαίνονται στο σχήμα 2.3).

Η θέση 1 βρίσκεται σε απόσταση περίπου 10.44m από τη σταδία με τον χωροβάτη να τοποθετείται σε ύψος 1.59m περίπου.

Η θέση 2 είχε απόσταση περίπου 9.77m από τη σταδία με ίδιο ύψος οργάνου.



Σχήμα 2.3: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων

Κάθε βαθμονόμηση περιλάμβανε δύο περιόδους μετρήσεων, μία κατά τη φορά της ανόδου και μία κατά της καθόδου, δηλαδή με αρχή τη στάθμη 0 και τέλος τη στάθμη 11 αλλά και αντίστροφα. Σε κάθε μία από τις 12 στάθμες της βάσης λήφθηκαν 10 αναγνώσεις.

Ο χρόνος που απαιτήθηκε για τις μετρήσεις ήταν:

- 1<sup>η</sup> βαθμονόμηση (άνοδος)→34 min
- 1<sup>η</sup> βαθμονόμηση (κάθοδος)→36 min
- 2<sup>η</sup> βαθμονόμηση (άνοδος)→24 min
- 2<sup>η</sup> βαθμονόμηση (κάθοδος)→27 min

Συνολικά ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων για τις 4 περιόδους βαθμονόμησης ήταν 2 ώρες και 1 λεπτό, δηλαδή περίπου 30 λεπτά διήρκεσε η κάθε περίοδος κατά μέσο όρο.

Απαιτήθηκε η συμβολή τεσσάρων ατόμων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, αριθμός ο οποίος δείχνει ιδανικός. Πιο συγκεκριμένα, ένα

άτομο βρισκόταν στο χωροβάτη για τις απαραίτητες σκοπεύσεις. Απαιτήθηκαν δύο άτομα για την κατακορύφωση της σταδίας και άλλο ένα για την καταγραφή των μετρήσεων στο ειδικό έντυπο.

Με χρήση των σχέσεων 2.2 και 2.3 υπολογίσθηκαν οι καλύτερες τιμές σε κάθε στάθμη και τα τυπικά σφάλματά τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 2.1 και 2.2.

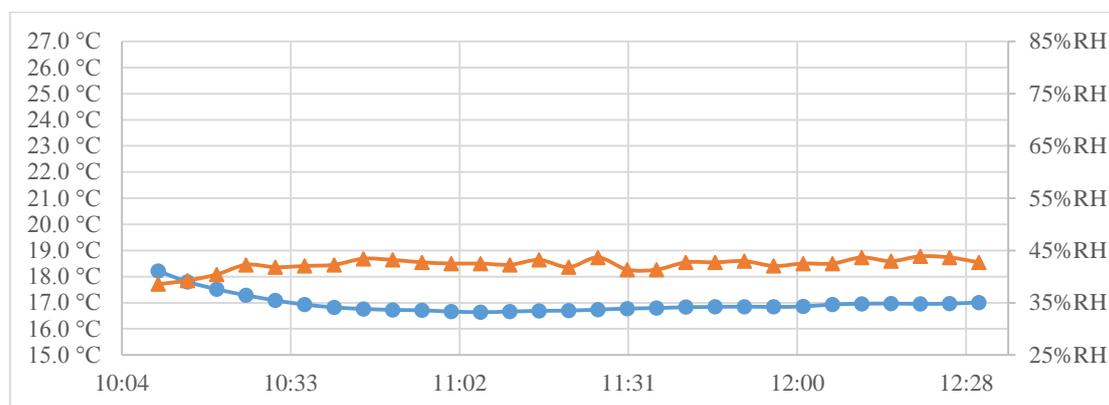
Στάθμη	Άνοδος		Κάθοδος	
	Μέση τιμή (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)	Μέση τιμή (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)
0	1.48120	±0.004	1.48121	±0.005
1	1.38102	±0.003	1.38105	±0.004
2	1.28087	±0.005	1.28090	±0.004
3	1.18070	±0.007	1.18072	±0.004
4	1.08049	±0.003	1.08052	±0.007
5	0.98020	±0.006	0.98023	±0.004
6	0.87991	±0.005	0.87995	±0.005
7	0.77948	±0.004	0.77962	±0.007
8	0.67921	±0.004	0.67934	±0.006
9	0.57888	±0.005	0.57893	±0.006
10	0.47845	±0.005	0.47849	±0.005
11	0.37817	±0.007	0.37820	±0.006

Πίνακας 2.1: Αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> βαθμονόμησης

Στάθμη	Άνοδος		Κάθοδος	
	Μέση τιμή (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)	Μέση τιμή (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)
0	1.48032	±0.005	1.48031	±0.005
1	1.38016	±0.004	1.38017	±0.002
2	1.28000	±0.006	1.27999	±0.003
3	1.17982	±0.002	1.17982	±0.004
4	1.07966	±0.003	1.07965	±0.005
5	0.97938	±0.003	0.97938	±0.005
6	0.87906	±0.006	0.87907	±0.004
7	0.77864	±0.006	0.77865	±0.003
8	0.67841	±0.004	0.67837	±0.004
9	0.57803	±0.005	0.57801	±0.007
10	0.47759	±0.004	0.47762	±0.003
11	0.37731	±0.006	0.37737	±0.005

Πίνακας 2.2: Αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> βαθμονόμησης

Παράλληλα γίνονται μετρήσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας με τον αισθητήρα Tinytag έτσι ώστε να παρακολουθούνται οι συνθήκες του χώρου. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 2.1. με τη θερμοκρασία να κυμαίνεται από 16.6°C έως 18.2°C και τη σχετική υγρασία από 39%RH έως 44%RH, ουσιαστικά σταθερές.



Διάγραμμα 2.1: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία (Βαθμονόμηση)

Για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών, υπολογίστηκαν οι μοναδιαίες υψομετρικές διαφορές. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με συνόρθωση των υψομετρικών διαφορών (σχέση 2.7), μεταξύ των σταθμών εξαιρουμένων των μοναδιαίων.

Οι άγνωστες υψομετρικές διαφορές που υπολογίστηκαν είναι οι εξής:

- Στάθμη 0 – Στάθμη 1  $\rightarrow \Delta H_1$
- Στάθμη 1 – Στάθμη 2  $\rightarrow \Delta H_2$
- Στάθμη 2 – Στάθμη 3  $\rightarrow \Delta H_3$
- Στάθμη 3 – Στάθμη 4  $\rightarrow \Delta H_4$
- Στάθμη 4 – Στάθμη 5  $\rightarrow \Delta H_5$
- Στάθμη 5 – Στάθμη 6  $\rightarrow \Delta H_6$
- Στάθμη 6 – Στάθμη 7  $\rightarrow \Delta H_7$
- Στάθμη 7 – Στάθμη 8  $\rightarrow \Delta H_8$
- Στάθμη 8 – Στάθμη 9  $\rightarrow \Delta H_9$
- Στάθμη 9 – Στάθμη 10  $\rightarrow \Delta H_{10}$
- Στάθμη 10 – Στάθμη 11  $\rightarrow \Delta H_{11}$

Ο αριθμός των εξισώσεων παρατήρησης είναι 55 (σύμφωνα με τη σχέση 2.4) και το μαθηματικό μοντέλο της συνόρθωσης έχει 44 βαθμούς ελευθερίας (55 υψομετρικές διαφορές – 11 άγνωστες υψομετρικές διαφορές).

Δίνονται ενδεικτικά ορισμένες από τις εξισώσεις παρατήρησης:

- $\Delta H_2 + \Delta H_1 = \delta H_{0-2}$
- $\Delta H_{11} + \Delta H_{10} + \Delta H_9 + \Delta H_8 + \Delta H_7 + \Delta H_6 + \Delta H_5 = \delta H_{4-11}$
- ...

Με χρήση της σχέσης 2.8 υπολογίζονται και οι αβεβαιότητες των 55 υψομετρικών διαφορών.

Τέλος, με χρήση των σχέσεων 2.7 και 2.8 υπολογίζεται το διάνυσμα  $\hat{x}$  που περιλαμβάνει τις καλύτερες τιμές των αγνώστων και ο πίνακας  $V_{\hat{x}}$  μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας από τον οποίο προκύπτουν οι αβεβαιότητες τους

Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της βάσης ελέγχου.

	1 <sup>η</sup> βαθμονόμηση		2 <sup>η</sup> βαθμονόμηση		Μέσος Όρος	
	Μέση Τιμή (mm)	$\sigma$ (mm)	Μέση Τιμή (mm)	$\sigma$ (mm)	Μέση Τιμή (mm)	$\sigma$ (mm)
$\Delta H_1$	100.17	$\pm 0.007$	100.15	$\pm 0.007$	100.16	$\pm 0.010$
$\Delta H_2$	100.15		100.17		100.16	
$\Delta H_3$	100.18		100.17		100.18	
$\Delta H_4$	100.20		100.16		100.18	
$\Delta H_5$	100.29		100.28		100.29	
$\Delta H_6$	100.28		100.31		100.30	
$\Delta H_7$	100.38		100.42		100.40	
$\Delta H_8$	100.28		100.26		100.27	
$\Delta H_9$	100.36		100.36		100.36	
$\Delta H_{10}$	100.44		100.41		100.43	
$\Delta H_{11}$	100.28		100.27		100.28	

Πίνακας 2.3: Αποτελέσματα βαθμονόμησης

### 2.5.1 Αξιολόγηση της βαθμονόμησης της βάσης ελέγχου

Στο πλαίσιο εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής (Νικολίτσας Κ., 2015) είχε πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση της συγκεκριμένης βάσης ελέγχου κατά την περίοδο 07/2010 – 02/2011. Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των βαθμονομήσεων.

Υπολογίσθηκαν οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης βαθμονόμησης και του μέσου όρου των αποτελεσμάτων των βαθμονομήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα σφάλματα.

$$\delta_{\Delta H_i} = \Delta H_{i_{\Lambda\Gamma}} - \Delta H_{i_{\text{KN}}} \quad (2.24)$$

$$\sigma_{\delta_{\Delta H_i}} = \sqrt{\sigma_{\Delta H_{i\text{AG}}}^2 + \sigma_{\Delta H_{i\text{KN}}}^2} \quad (2.25)$$

	Γλυνός (2015)		Νικολίτσας (2010–2011)	
	Μέση Τιμή (mm)	σ (mm)	Μέση Τιμή (mm)	σ (mm)
$\Delta H_1$	100.16	±0.01	100.08	±0.10
$\Delta H_2$	100.16	±0.01	100.13	±0.01
$\Delta H_3$	100.18	±0.01	100.23	±0.04
$\Delta H_4$	100.18	±0.01	100.20	±0.02
$\Delta H_5$	100.29	±0.01	100.25	±0.03
$\Delta H_6$	100.30	±0.01	100.32	±0.05
$\Delta H_7$	100.40	±0.01	100.31	±0.04
$\Delta H_8$	100.27	±0.01	100.28	±0.06
$\Delta H_9$	100.36	±0.01	100.42	±0.05
$\Delta H_{10}$	100.43	±0.01	100.36	±0.04
$\Delta H_{11}$	100.28	±0.01	100.34	±0.08

Πίνακας 2.4: Αποτελέσματα βαθμονομήσεων

Έγινε σύγκριση των διαφορών,  $\delta_{\Delta H_i}$ , με το αντίστοιχο σφάλμα τους,  $\sigma_{\delta_{\Delta H_i}}$ , έτσι ώστε να αξιολογηθούν κατά το πόσο αυτές είναι στατιστικά σημαντικές για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Γίνονται, δηλαδή, οι ακόλουθες υποθέσεις:

$$H_0 \rightarrow \delta_{\Delta H_i} \leq \sigma_{\delta_{\Delta H_i}} \cdot z_p^{95\%} = \sigma_{\delta_{\Delta H_i}} \cdot 1.96 \quad (2.26)$$

$$H_1 \rightarrow \delta_{\Delta H_i} > \sigma_{\delta_{\Delta H_i}} \cdot z_p^{95\%} = \sigma_{\delta_{\Delta H_i}} \cdot 1.96 \quad (2.27)$$

όπου:

- $\delta_{\Delta H_i}$ : οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων των βαθμονομήσεων
- $\sigma_{\delta_{\Delta H_i}}$ : το σφάλμα των διαφορών.

Έτσι για μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ), η διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των βαθμονομήσεων δεν είναι στατιστικά σημαντικές, ενώ στην περίπτωση όπου ισχύει η εναλλακτική περίπτωση ( $H_1$ ), η εκάστοτε διαφορά παρουσιάζει στατιστικά μια σημαντικότητα.

Ως παράδειγμα αναφέρεται ο έλεγχος της πρώτης υψομετρικής διαφοράς,  $\Delta H_1$ :

$$\delta_{\Delta H_1} = \Delta H_{1\text{AG}} - \Delta H_{1\text{KN}} = 100.16 - 100.08 = 0.08 \text{mm}$$

$$\sigma_{\delta_{\Delta H_1}} \cdot z_p^{95\%} = \sqrt{\sigma_{\Delta H_{1\Delta\Gamma}}^2 + \sigma_{\Delta H_{1KN}}^2} \cdot z_p^{95\%} = \sqrt{0.01^2 + 0.10^2} \cdot 1.96 = 0.20 \text{ mm}$$

Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ), αφού  $\delta_{\Delta H_1} \leq \sigma_{\delta_{\Delta H_1}} \cdot z_p^{95\%}$

Τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 2.5.

	$\delta_{\Delta H_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta_{\Delta H_i}} \cdot z_p^{95\%}$ (mm)	$H_0$
$\Delta H_1$	0.08	$\pm 0.20$	Δεκτή
$\Delta H_2$	0.03	$\pm 0.03$	Δεκτή
$\Delta H_3$	-0.05	$\pm 0.08$	Δεκτή
$\Delta H_4$	-0.02	$\pm 0.05$	Δεκτή
$\Delta H_5$	0.04	$\pm 0.07$	Δεκτή
$\Delta H_6$	-0.02	$\pm 0.10$	Δεκτή
$\Delta H_7$	0.09	$\pm 0.08$	Απορρίπτεται
$\Delta H_8$	-0.01	$\pm 0.12$	Δεκτή
$\Delta H_9$	-0.06	$\pm 0.10$	Δεκτή
$\Delta H_{10}$	0.07	$\pm 0.08$	Δεκτή
$\Delta H_{11}$	-0.06	$\pm 0.16$	Δεκτή

Πίνακας 2.5: Στατιστικός έλεγχος διαφορών

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα όλες οι υψομετρικές διαφορές περνούν το στατιστικό έλεγχο εκτός από την υψομετρική διαφορά  $\Delta H_7$  η οποία εμφανίζει οριακή αστοχία για 0.01mm.

Ανεξάρτητα από το αποτέλεσμα της αξιολόγησης της βαθμονόμησης, για τις διακριβώσεις που θα ακολουθήσουν θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης που πραγματοποιήθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ

## ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

### 3.1 Γενικά

Τα χωροσταθμικά συστήματα που διακριβώθηκαν ήταν 4:

- Το Topcon DL-102C με S/N: UH0192, ψηφιακή σταδία Topcon με S/N Ε.Μ.Π.: 501-4091, με αβεβαιότητα μέτρησης  $\pm 1.0\text{mm/km}$  και ηλεκτρονική ανάγνωση  $0.1\text{mm}$
- Το Topcon DL-102C με S/N: UH1181, ψηφιακή σταδία Topcon με S/N Ε.Μ.Π.: 501-4095, με αβεβαιότητα μέτρησης  $\pm 1.0\text{mm/km}$  και ηλεκτρονική ανάγνωση  $0.1\text{mm}$
- Το Leica Sprinter 150M με S/N: 2102227, ψηφιακή σταδία Leica GSS 111 με Art.No.: 741882, με αβεβαιότητα μέτρησης  $\pm 1.5\text{mm/km}$  και ηλεκτρονική ανάγνωση  $0.1\text{mm}$
- Το Leica Sprinter 150M με S/N 2102205, ψηφιακή σταδία Leica GSS 111 με Art.No.: 741882, με αβεβαιότητα μέτρησης  $\pm 1.5\text{mm/km}$  και ηλεκτρονική ανάγνωση  $0.1\text{mm}$ .

Οι ψηφιακές σταδίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι τηλεσκοπικές. Προκειμένου να αποκτήσουν το συνολικό τους μήκος διαθέτουν αρμούς με τους οποίους το κάθε τμήμα εφαρμόζει στο προηγούμενο.

Επειδή οι σύγχρονες σταδίες είναι τηλεσκοπικές και η συναρμογή των τμημάτων της γίνεται με ειδικά συνδετικά κλειδιά που φθείρονται με το χρόνο. Ο έλεγχος του κάθε συστήματος έγινε με τη σταδία κατά τμήματα αλλά και με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη. Σκοπός της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι να διαπιστωθεί αν η συναρμογή των τηλεσκοπικών σταδίων είναι σωστή ή αν υπάρχουν φθορές που δημιουργούν σφάλμα στις μετρήσεις μετά από κάποιες χρήσεις.

### 3.2 Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Η διακρίβωση του συστήματος Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091) έγινε στις 24/03/2015 και στις 26/03/2015.

Το συγκεκριμένο σύστημα κατασκευάζεται στην Ιαπωνία. Διαθέτει ηλεκτρονική ανάγνωση  $0.1\text{mm}$  και αβεβαιότητα μέτρησης  $\pm 1.0\text{mm/km}$ . Η ελάχιστη απόσταση μέτρησης είναι  $2\text{m}$  και η μέγιστη  $100\text{m}$ . Η μάζα του

είναι 2.8kg. Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ο χωροβάτης Topcon DL-102C.

Λόγω της ολισθηρότητας του δαπέδου αλλά και για την επίτευξη απόλυτης ακινησίας χρησιμοποιήθηκε τρίποδας βαρέως τύπου.



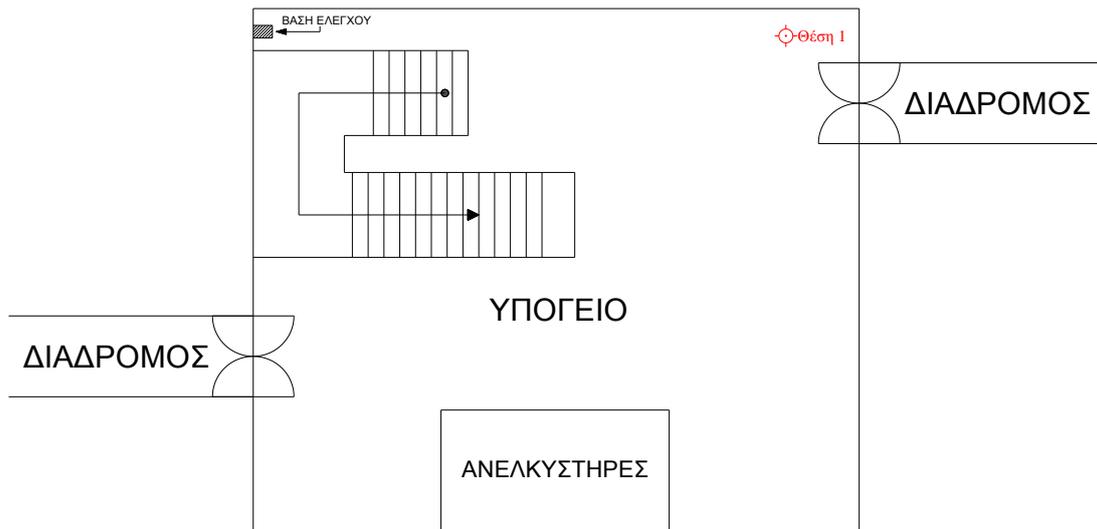
*Εικόνα 3.1: Topcon DL-102C (Πηγή: <http://perm.all.biz>)*

### **3.2.1 Διακρίβωση του συστήματος με τη σταδία σε τμήματα**

Για τις μετρήσεις του κάθε τμήματος της σταδίας ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Ο ψηφιακός χωροβάτης τοποθετήθηκε στη θέση 1 του παρακάτω σκαριφήματος (σχήμα 3.1) στο ελάχιστο δυνατό ύψος οργάνου (περίπου 1.29m) και σε απόσταση περίπου 10m από τη σταδία (εικόνα 3.2).

Πραγματοποιήθηκε μία ανοδική περίοδος μετρήσεων (δηλαδή με αρχή τη στάθμη 0 και τέλος τη στάθμη 11) κατά την οποία λήφθηκαν 10 αναγνώσεις σε κάθε στάθμη. Υπολογίστηκε ο μέσος όρος των αναγνώσεων αυτών και οι τυπικές τους αποκλίσεις.

Στη συνέχεια, αφαιρώντας από την τιμή της πρώτης στάθμης τις τιμές των υπολοίπων σταθμών υπολογίζονται οι επιμέρους υψομετρικές διαφορές.



Σχήμα 3.1: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων – τμήματα σταδίας



Εικόνα 3.2: Θέση 1 χωροβάτη – τμήματα σταδίας,  
Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αυτών παρουσιάστηκαν ορισμένα προβλήματα τα οποία και αντιμετωπίστηκαν. Πιο συγκεκριμένα:

- Υπήρξε αδυναμία λήψης ανάγνωσης στη στάθμη 0 για όλα τα τμήματα καθώς κανένα από αυτά δεν ξεπερνάει σε ύψος το 1.10m και συνεπώς κρύβεται εξ' ολοκλήρου από την ξύλινη κατασκευή. Συνεπώς δεν λήφθηκε καμία ανάγνωση για τη στάθμη 0 για κανένα τμήμα της σταδίας.
- Αδυναμία λήψης ανάγνωσης στη στάθμη 11 για τα τμήματα 2, 3 και 4 της σταδίας καθώς τα πρώτα 10cm περίπου του κάθε τμήματος είναι κενά (αφού ενσωματώνονται στο προηγούμενο τμήμα της σταδίας). Συνεπώς σε κανένα από τα τμήματα 2, 3 και 4 δε λήφθηκε ανάγνωση για τη στάθμη 11.
- Αδυναμία λήψης ανάγνωσης στη στάθμη 1 για όλα αφού το ορατό τμήμα της σταδίας δεν επαρκούσε (error 70, error 71). Προστέθηκε το επόμενο τμήμα της σταδίας σε κάθε περίπτωση για τη λήψη ανάγνωσης στη στάθμη 1. Παρά την προσθήκη η ανάγνωση αφορά στο χαμηλότερο τμήμα.
- Δεν ήταν δυνατή η κατακορύφωση των τμημάτων 2, 3 και 4 αφού μόνο το πρώτο τμήμα της σταδίας διαθέτει αεροστάθμη. Έτσι χρησιμοποιήθηκε φορητή αεροστάθμη για την κατακορύφωση των τμημάτων 2, 3 και 4. Στην εικόνα 3.3 φαίνεται η μέτρηση του δεύτερου τμήματος με χρήση φορητής αεροστάθμης.

Ο χρόνος που απαιτήθηκε για τις μετρήσεις ήταν:

- 1<sup>ο</sup> τμήμα→30 min
- 2<sup>ο</sup> τμήμα→23 min
- 3<sup>ο</sup> τμήμα→27 min
- 4<sup>ο</sup> τμήμα→21 min

Συνολικά ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων για τα τμήματα της σταδίας ήταν 1 ώρα και 41 λεπτά.

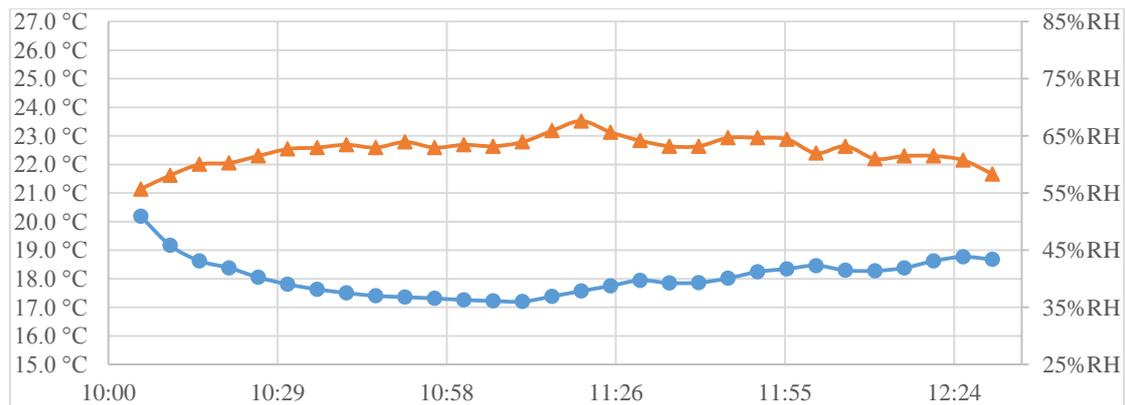
Απαιτήθηκε η συμβολή τριών ατόμων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, ένα άτομο βρισκόταν στο χωροβάτη για τις απαραίτητες σκοπεύσεις, ένα άτομο χειριζόταν την κατακορύφωση των τμημάτων της σταδίας και άλλο ένα κατέγραφε τις μετρήσεις στο ειδικό έντυπο.

Στην εικόνα 3.3 παρουσιάζεται η μέτρηση του δεύτερου τμήματος της σταδίας.



*Εικόνα 3.3: Μέτρηση δεύτερου τμήματος σταδίας  
Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) στη στάθμη 10*

Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, με τη θερμοκρασία να κυμαίνεται από 17.2°C έως 20.2°C και τη σχετική υγρασία από 56%RH έως 68%RH.



*Διάγραμμα 3.1: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – τμήματα σταδίας,  
Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)*

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στάθμη	1ο τμήμα		2ο τμήμα		3ο τμήμα		4ο τμήμα	
	Μέσος όρος (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)						
0	Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε	
1	1.0773	±0.02	1.9574	±0.01	2.9733	±0.02	Δε μετρήθηκε	
2	0.9771	±0.02	1.8573	±0.01	2.8732	-	3.8744	±0.01
3	0.8768	±0.01	1.7570	±0.01	2.7730	±0.01	3.7741	±0.01
4	0.7768	±0.02	1.6566	-(*)	2.6726	±0.01	3.6736	±0.01
5	0.6763	±0.02	1.5564	-	2.5724	±0.01	3.5734	-
6	0.5762	±0.02	1.4559	±0.02	2.4720	-	3.4729	-
7	0.4757	±0.02	1.3558	±0.02	2.3717	±0.01	3.3726	-
8	0.3752	±0.01	1.2553	±0.01	2.2712	-	3.2723	±0.01
9	0.2747	±0.01	1.1549	±0.01	2.1708	±0.01	3.1719	±0.01
10	0.1743	±0.01	1.0545	±0.01	2.0707	±0.01	3.0715	±0.02
11	0.0741	±0.01	Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε	

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – τμήματα σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

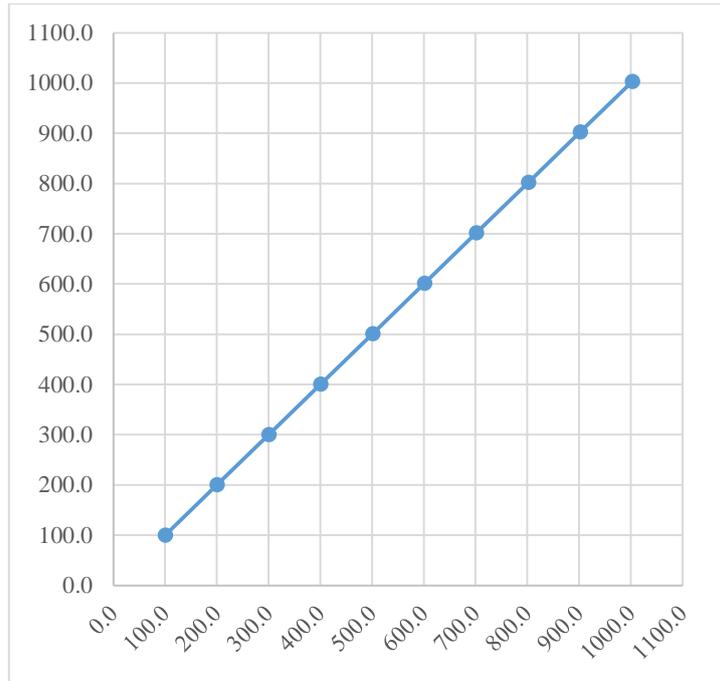
Η διακρίβωση και ο έλεγχος του συστήματος με τις μετρήσεις των τμημάτων της σταδίας έγινε χρησιμοποιώντας τις πρότυπες τιμές και την εξίσωση  $y=m \cdot x+b$ . Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης.

	m	1-m	$\sigma_m$	$\sigma_m \cdot 1.96$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_b \cdot 1.96$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
1 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00049	0.00049	±0.00012	±0.00023	-0.05	±0.07	±0.15	±0.11
2 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00039	0.00039	±0.00012	±0.00023	0.04	±0.07	±0.13	±0.09
3 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00029	0.00029	±0.00015	±0.00030	0.02	±0.09	±0.17	±0.12
4 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00042	0.00042	±0.00014	±0.00027	0.22	±0.07	±0.14	±0.09

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα επεξεργασίας – τμήματα σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Στο διάγραμμα 3.2 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της εξίσωσης  $y=m \cdot x+b$  που δημιουργήθηκε.

(\*) Το σύμβολο (-) αντικαθιστά την τιμή του τυπικού σφάλματος όταν είναι μικρότερο από 0.001 mm



Διάγραμμα 3.2: Γραφική παράσταση  $y=m \cdot x+b$  – 1<sup>ο</sup> τμήμα σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Οι διαφορές που παρουσιάζονται ανάμεσα στα διαγράμματα των τμημάτων της σταδίας είναι αμελητέες και ως εκ τούτου το διάγραμμα του πρώτου τμήματος είναι αντιπροσωπευτικό και των υπολοίπων.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι δύο στατιστικοί έλεγχοι (όπως αυτοί περιγράφονται στην παράγραφο 2.3.1.).

Ο πρώτος περιλαμβάνει το στατιστικό έλεγχο των διαφορών μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών για τις υψομετρικές διαφορές (πίνακας 3.3).

	$\delta y_i$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i} \cdot z_p$ (mm)	$\delta y_i \geq z_p \cdot \sigma_{\delta y_i}$
1 <sup>ο</sup> τμήμα	0.00	±0.07	±0.15	Δεν είναι στατιστικά σημαντική
2 <sup>ο</sup> τμήμα	-0.08	±0.07	±0.13	Δεν είναι στατιστικά σημαντική
3 <sup>ο</sup> τμήμα	-0.05	±0.09	±0.17	Δεν είναι στατιστικά σημαντική
4 <sup>ο</sup> τμήμα	-0.26	±0.07	±0.14	Είναι στατιστικά σημαντική

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εμφανές ότι οι διορθώσεις που απαιτούνται για το 4<sup>ο</sup> τμήμα της σταδίας είναι στατιστικά σημαντικές, συνεπώς δεν δίνει αναγνώσεις σύμφωνα με τις πρότυπες υψομετρικές διαφορές. Για τα τμήματα 1, 2 και 3 οι διορθώσεις είναι στατιστικά ασήμαντες.

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις του προς έλεγχο οργάνου με αυτές της διακρίβωσης διαπιστώνεται ότι στο 4<sup>ο</sup> τμήμα της σταδίας τα κύρια προβλήματα παρουσιάζονται στο διάστημα μεταξύ 3.47m – 3.67m καθώς και στο ανώτερο σημείο της σταδίας.

Ο δεύτερος και πιο ουσιαστικός στατιστικός έλεγχος περιλαμβάνει τη σύγκριση της επίδοσης του συστήματος με τις τεχνικές προδιαγραφές του όπως παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρία (πίνακας 3.4).

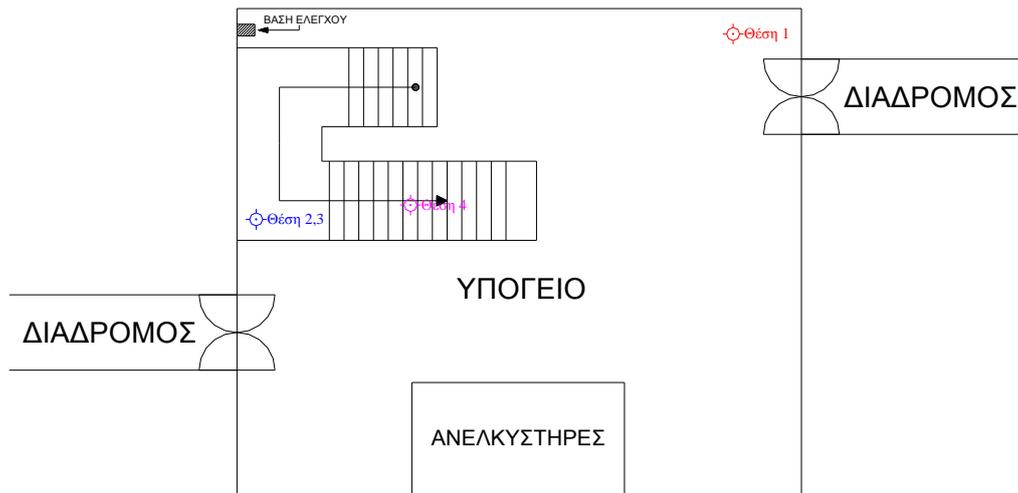
	$\sigma_{\text{ISO-LEV}}$ (mm)	$\sigma_{\theta}$ (mm)	$r_{\beta}$	$\chi_{0.95, r_{\beta}}^2$	$\sigma_{\theta} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0.95, r_{\beta}}^2}{r_{\beta}}}$ (mm)	$\sigma_{\theta}$ (mm)	$H_0$
<b>1<sup>ο</sup> τμήμα</b>	1	±0.24	9	16.92	±0.34	±0.11	<b>Δεκτή</b>
<b>2<sup>ο</sup> τμήμα</b>	1	±0.24	8	15.51	±0.34	±0.09	<b>Δεκτή</b>
<b>3<sup>ο</sup> τμήμα</b>	1	±0.24	8	15.51	±0.34	±0.12	<b>Δεκτή</b>
<b>4<sup>ο</sup> τμήμα</b>	1	±0.24	7	14.07	±0.35	±0.09	<b>Δεκτή</b>

*Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)*

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι το συγκεκριμένο χωροσταθμικό σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

### **3.2.2 Διακρίβωση του συστήματος με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας**

Στη συνέχεια έγιναν οι μετρήσεις του συστήματος με τη σταδία συναρμολογημένη. Το σύνολο της σταδίας δεν μπορούσε να είναι ορατό από τη θέση 1. Έτσι, ο ψηφιακός χωροβάτης τοποθετήθηκε και στις θέσεις 2, 3 και 4 όπως παρουσιάζονται στο σκαρίφημα της σχήματος 3.2.



*Σχήμα 3.2: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)*

Η θέση 1 βρίσκεται στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου, σε ύψος 1.80m και σε οριζόντια απόσταση 10m από τη σταδία (εικόνα 3.4).



*Εικόνα 3.4: Θέση 1 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)*

Η θέση 2 βρίσκεται στο πλατύσκαλο της σκάλας υπογείου – ισογείου του κτιρίου Λαμπαδαρίου, σε ύψος 1.30m και σε απόσταση της τάξης των 3m από τη σταδία.

Η θέση 3 είναι η ίδια με την 2, στο πλατύσκαλο της σκάλας υπογείου – ισογείου του κτιρίου Λαμπαδαρίου, αλλάζει όμως το ύψος οργάνου σε 2.20m με την απόσταση να παραμένει στα 3m από τη σταδία (εικόνα 3.5).

Τέλος, η θέση 4 βρίσκεται στη σκάλα υπογείου – ισογείου του κτιρίου Λαμπαδαρίου, σε ύψος 3m με αρχή το πλατύσκαλο και σε απόσταση περίπου 4m από τη σταδία.

Σε κάθε θέση πραγματοποιήθηκε μία ανοδική περίοδος μετρήσεων (δηλαδή με αρχή τη στάθμη 0 και τέλος τη στάθμη 11) κατά την οποία λήφθηκαν 10 αναγνώσεις σε κάθε στάθμη. Υπολογίστηκαν ο μέσος όρος των αναγνώσεων αυτών και οι τυπικές τους αποκλίσεις.



*Εικόνα 3.5: Θέση 3 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)*

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του συνόλου της σταδίας παρουσιάστηκαν συγκεκριμένα προβλήματα τα οποία και αντιμετωπίστηκαν:

- Ένδειξη «error» σε ορισμένες περιπτώσεις αφού ο φωτισμός δεν ήταν ομοιόμορφος και σε κάποια σημεία της σταδίας το barcode ήταν φθαρμένο. Έτσι, χρειάστηκε η σταδία να φωτιστεί με εξωτερική πηγή (φακός κινητού τηλεφώνου).
- Δεν ήταν δυνατή η κατακορύφωση της σταδίας σε μεγάλο ύψος με τη χρήση της αεροστάθμης της. Συνεπώς χρησιμοποιήθηκε φορητή αεροστάθμη για την κατακορύφωση της σταδίας σε μεγάλο ύψος.

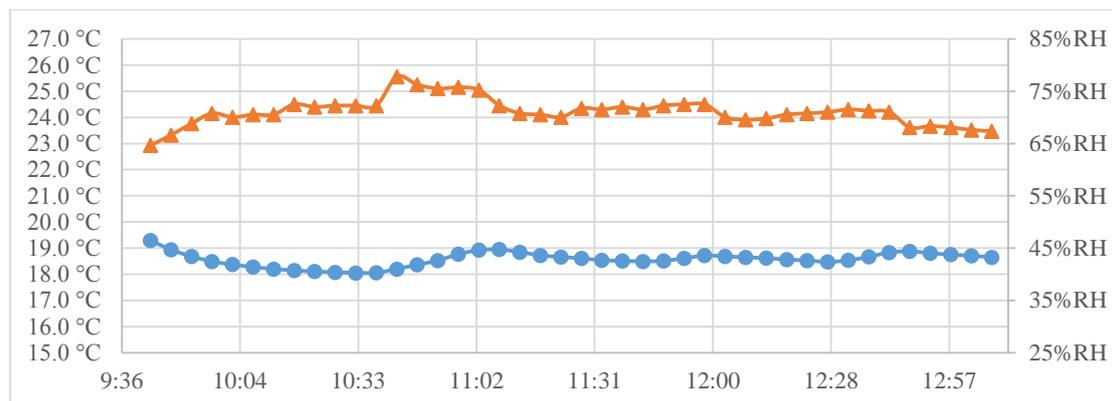
Ο χρόνος που απαιτήθηκε για τις μετρήσεις ήταν:

- 1<sup>η</sup> θέση → 38 min
- 2<sup>η</sup> θέση → 35 min
- 3<sup>η</sup> θέση → 34 min
- 4<sup>η</sup> θέση → 34 min

Συνολικά ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη ήταν 2 ώρες και 21 λεπτά.

Απαιτήθηκε η συμβολή τεσσάρων ατόμων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, ένα άτομο βρισκόταν στο χωροβάτη για τις απαραίτητες σκοπεύσεις, δύο άτομα χειρίζονταν την κατακορύφωση της σταδίας και άλλο ένα κατέγραφε τις μετρήσεις στο ειδικό έντυπο.

Στο διάγραμμα 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, με τη θερμοκρασία να κυμαίνεται από 18.1°C έως 19.3°C και τη σχετική υγρασία από 65%RH έως 78%RH.



Διάγραμμα 3.3: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Στον πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στάθμη	1 <sup>η</sup> θέση		2 <sup>η</sup> θέση		3 <sup>η</sup> θέση		4 <sup>η</sup> θέση	
	Μέσος όρος (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)						
0	1.6877	±0.02	2.2294	-	3.1594	±0.02	3.9934	±0.01
1	1.5876	-	2.1289	-	3.0590	-	3.8929	±0.01
2	1.4873	±0.02	2.0287	-	2.9593	±0.01	3.7928	±0.02
3	1.3868	±0.01	1.9286	±0.01	2.8589	-	3.6924	-
4	1.2865	±0.02	1.8284	±0.01	2.7587	±0.01	3.5920	±0.02
5	1.1861	-	1.7281	-	2.6585	±0.02	3.4918	±0.01
6	1.0856	±0.01	1.6276	-	2.5582	±0.01	3.3914	±0.02
7	0.9852	±0.01	1.5271	-	2.4576	-	3.2910	±0.02
8	0.8850	±0.01	1.4268	-	2.3573	±0.01	3.1906	±0.01
9	0.7846	±0.01	1.3263	±0.01	2.2568	±0.01	3.0901	±0.02
10	0.6842	±0.02	1.2260	±0.01	2.1564	±0.01	2.9901	±0.02
11	0.5841	-	1.1256	±0.02	2.0562	±0.02	2.8899	±0.01

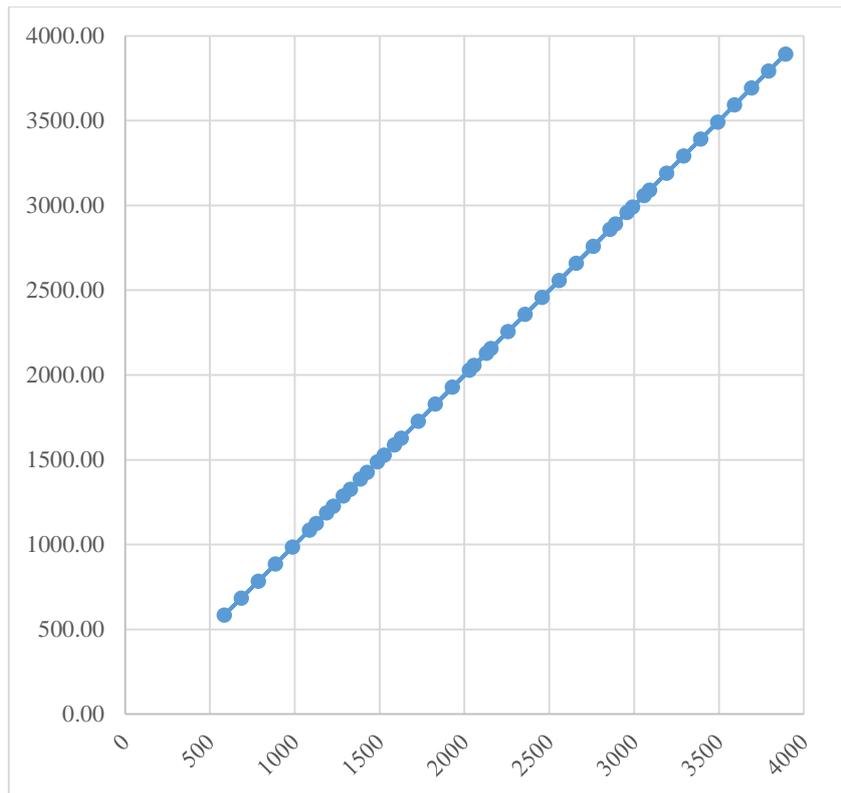
Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Η διακρίβωση και ο έλεγχος του συστήματος με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη έγινε χρησιμοποιώντας τις πρότυπες τιμές και την εξίσωση  $y=m \cdot x+b$ . Στον πίνακα 3.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης.

	m	1-m	$\sigma_m$	$\sigma_m \cdot 1.96$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_b \cdot 1.96$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
Σε πλήρη ανάπτυξη	1.00008	0.00008	±0.00005	±0.00009	-0.66	±0.11	±0.21	±0.28

Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Στο διάγραμμα 3.4 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της εξίσωσης  $y=m \cdot x+b$  που δημιουργήθηκε.



Διάγραμμα 3.4: Γραφική παράσταση  $y=m \cdot x+b$  – σύνολο σταδίας, *Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)*

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι δύο στατιστικοί έλεγχοι για τις διαφορές μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών για τις υψομετρικές διαφορές (πίνακας 3.7) και για τη σύγκριση της επίδοσης του συστήματος με τις τεχνικές προδιαγραφές του όπως παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρία (πίνακας 3.8).

	$\delta y_i$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i} \cdot z_p$ (mm)	$\delta y_i \geq z_p \cdot \sigma_{\delta y_i}$
Σε πλήρη ανάπτυξη	0.65	$\pm 0.11$	$\pm 0.21$	Είναι στατιστικά σημαντική

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, *Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)*

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εμφανές ότι οι διορθώσεις που απαιτούνται για τις μετρήσεις με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη είναι στατιστικά σημαντικές, συνεπώς δεν δίνει αναγνώσεις σύμφωνα με τις πρότυπες υψομετρικές διαφορές

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις του προς έλεγχο οργάνου με αυτές της διακρίβωσης διαπιστώνεται ότι το κύριο πρόβλημα της σταδίας παρουσιάζεται στη συναρμογή 3<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> τμήματος.

	σ <sub>ISO-LEV</sub> (mm)	σ <sub>θ</sub> (mm)	r <sub>β</sub>	χ <sub>0.95,r<sub>β</sub></sub> <sup>2</sup>	σ <sub>θ</sub> · √ $\frac{\chi_{0.95,r_{\beta}}^2}{r_{\beta}}$ (mm)	σ <sub>θ</sub> (mm)	H <sub>0</sub>
Σε πλήρη ανάπτυξη	1	±0.24	43	59.30	±0.29	±0.28	Δεκτή

Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι το συγκεκριμένο χωροσταθμικό σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

### 3.3 Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Η διακρίβωση του συστήματος Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095) έγινε στις 05/05/2015 και στις 07/05/2015.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται στην παράγραφο 3.2.

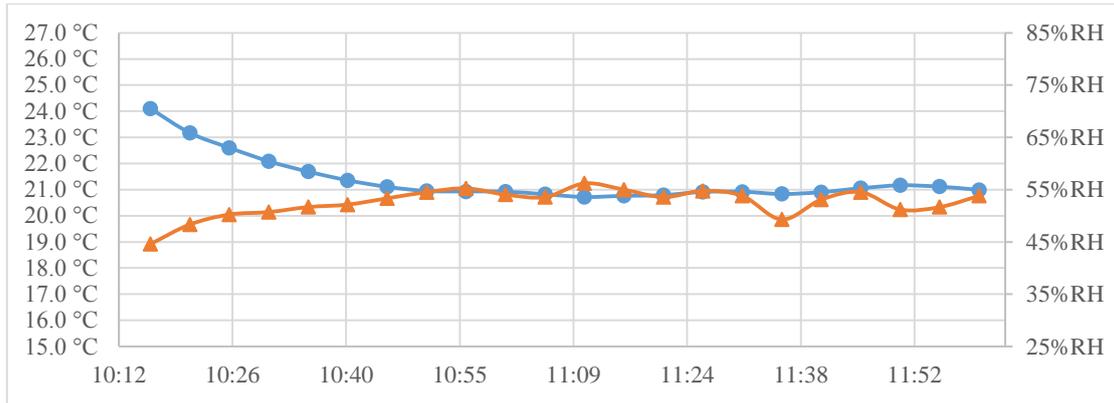
#### 3.3.1 Διακρίβωση του συστήματος με τη σταδία σε τμήματα

Ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων ήταν:

- 1<sup>ο</sup> τμήμα→30 min
- 2<sup>ο</sup> τμήμα→21 min
- 3<sup>ο</sup> τμήμα→26 min
- 4<sup>ο</sup> τμήμα→24 min

Συνολικά ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων για τα τμήματα της σταδίας ήταν 1 ώρα και 41 λεπτά.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που γίνονταν παράλληλα με τις μετρήσεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα 3.5. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 20.7°C έως 24.1°C και η σχετική υγρασία από 45%RH έως 56%RH.



Διάγραμμα 3.5: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Στον πίνακα 3.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στάθμη	1ο τμήμα		2ο τμήμα		3ο τμήμα		4ο τμήμα	
	Μέσος όρος (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)						
0	Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε	
1	1.0789	±0.01	1.9587	±0.01	2.9746	-	Δε μετρήθηκε	
2	0.9788	±0.02	1.8585	-	2.8743	±0.01	3.8753	-
3	0.8784	±0.02	1.7581	±0.01	2.7743	±0.01	3.7750	±0.02
4	0.7783	±0.02	1.6578	±0.02	2.6739	±0.02	3.6748	±0.02
5	0.6779	±0.01	1.5575	±0.01	2.5736	±0.02	3.5745	±0.02
6	0.5776	±0.02	1.4571	±0.02	2.4733	±0.02	3.4741	±0.02
7	0.4771	±0.02	1.3569	-	2.3730	-	3.3739	±0.01
8	0.3766	±0.02	1.2566	±0.02	2.2723	±0.01	3.2736	-
9	0.2762	±0.02	1.1561	±0.02	2.1719	-	3.1731	-
10	0.1759	±0.02	1.0557	±0.02	2.0714	±0.02	3.0725	±0.01
11	0.0754	±0.01	Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε		Δε μετρήθηκε	

Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – τμήματα σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Η διακρίβωση και ο έλεγχος του συστήματος με τις μετρήσεις των τμημάτων της σταδίας έγινε χρησιμοποιώντας τις πρότυπες τιμές και την εξίσωση  $y=m \cdot x+b$ . Στον πίνακα 3.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης.

	m	1-m	$\sigma_m$	$\sigma_m \cdot 1.96$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_b \cdot 1.96$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
<b>1ο τμήμα</b>	1.00070	0.00070	±0.00005	±0.00010	-0.08	±0.03	±0.06	±0.05
<b>2ο τμήμα</b>	1.00031	0.00031	±0.00014	±0.00027	0.17	±0.08	±0.15	±0.11
<b>3ο τμήμα</b>	1.00077	0.00077	±0.00016	±0.00032	-0.11	±0.09	±0.18	±0.13
<b>4ο τμήμα</b>	1.00023	0.00023	±0.00014	±0.00028	0.07	±0.07	±0.14	±0.09

Πίνακας 3.10: Αποτελέσματα επεξεργασίας – τμήματα σταδίας, *Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095)*

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης  $y=m \cdot x+b$  που δημιουργήθηκε για κάθε τμήμα της σταδίας είναι πανομοιότυπη με αυτή των τμημάτων της σταδίας για το σύστημα *Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)* όπως αυτή παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.2.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι δύο στατιστικοί έλεγχοι (όπως αυτοί περιγράφονται στην παράγραφο 2.3.1.).

Ο πρώτος περιλαμβάνει το στατιστικό έλεγχο των διαφορών μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών για τις υψομετρικές διαφορές (πίνακας 3.11).

	$\delta y_i$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i} \cdot z_p$ (mm)	$\delta y_i \geq z_p \cdot \sigma_{\delta y_i}$
<b>1° τμήμα</b>	0.01	±0.03	±0.07	Δεν είναι στατιστικά σημαντική
<b>2° τμήμα</b>	-0.21	±0.08	±0.15	Είναι στατιστικά σημαντική
<b>3° τμήμα</b>	0.04	±0.09	±0.18	Δεν είναι στατιστικά σημαντική
<b>4° τμήμα</b>	-0.09	±0.07	±0.15	Δεν είναι στατιστικά σημαντική

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, *Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095)*

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εμφανές ότι οι διορθώσεις που απαιτούνται για το 2° τμήμα της σταδίας είναι στατιστικά σημαντικές, συνεπώς δεν δίνει αναγνώσεις σύμφωνα με τις πρότυπες υψομετρικές διαφορές. Για τα τμήματα 1, 3 και 4 οι διορθώσεις είναι στατιστικά ασήμαντες.

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις του προς έλεγχο οργάνου με αυτές της διακρίβωσης διαπιστώνεται ότι στο 2° τμήμα της σταδίας το κύριο

πρόβλημα παρουσιάζεται στο ανώτερο σημείο της σταδίας, δηλαδή στο διάστημα 1.85m – 1.95m.

Ο δεύτερος και πιο ουσιαστικός στατιστικός έλεγχος περιλαμβάνει τη σύγκριση της επίδοσης του συστήματος με τις τεχνικές προδιαγραφές του όπως παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρία (πίνακας 3.12).

	$\sigma_{\text{ISO-LEV}}$ (mm)	$\sigma_{\theta}$ (mm)	$r_{\beta}$	$\chi_{0.95,r_{\beta}}^2$	$\sigma_{\theta} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0.95,r_{\beta}}^2}{r_{\beta}}}$ (mm)	$\sigma_{\theta}$ (mm)	$H_0$
<b>1° τμήμα</b>	1	±0.24	9	16.92	±0.34	±0.05	<b>Δεκτή</b>
<b>2° τμήμα</b>	1	±0.24	8	15.51	±0.34	±0.11	<b>Δεκτή</b>
<b>3° τμήμα</b>	1	±0.24	8	15.51	±0.34	±0.13	<b>Δεκτή</b>
<b>4° τμήμα</b>	1	±0.24	7	14.07	±0.35	±0.09	<b>Δεκτή</b>

Πίνακας 3.12: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι το συγκεκριμένο χωροσταθμικό σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

### 3.3.2 Διακρίβωση του συστήματος με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας

Η διακρίβωση του πρώτου συστήματος έδειξε ότι οι απαραίτητες μετρήσεις για την κάλυψη του συνολικού μήκους της σταδίας ήταν λιγότερες από αυτές που πραγματοποιήθηκαν. Συνεπώς, για να υπάρξει ομοιομορφία στην πυκνότητα των μετρήσεων στη δεύτερη διακρίβωση ο αριθμός τους περιορίστηκε.

Για τον περιορισμό των μετρήσεων κρίθηκε αποτελεσματικότερο να ακολουθηθεί η αντίστροφη διαδικασία σε σχέση με την πρώτη διακρίβωση.

Πιο συγκεκριμένα, η θέση 1 βρίσκεται στη σκάλα υπογείου – ισογείου του κτιρίου Λαμπαδαρίου, σε ύψος 2.90m από το πλατύσκαλο και σε απόσταση 4.68 από τη σταδία.

Η θέση 2 (εικόνα 3.6) βρίσκεται και αυτή στη σκάλα υπογείου – ισογείου του κτιρίου Λαμπαδαρίου, σε ύψος 1.95m από το πλατύσκαλο και σε απόσταση 3.82m από τη σταδία.

Η θέση 3 βρίσκεται στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου, σε ύψος 2.00m και σε απόσταση 10.07m από τη σταδία.

Τέλος, η θέση 4 είναι η ίδια με την 3, στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου, αλλάζει όμως το ύψος οργάνου σε 1.27m. Στη συγκεκριμένη θέση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις 8 από τις 11 στάθμες της βάσης ελέγχου, διότι κάλυπταν το συνολικό μήκος της σταδίας.



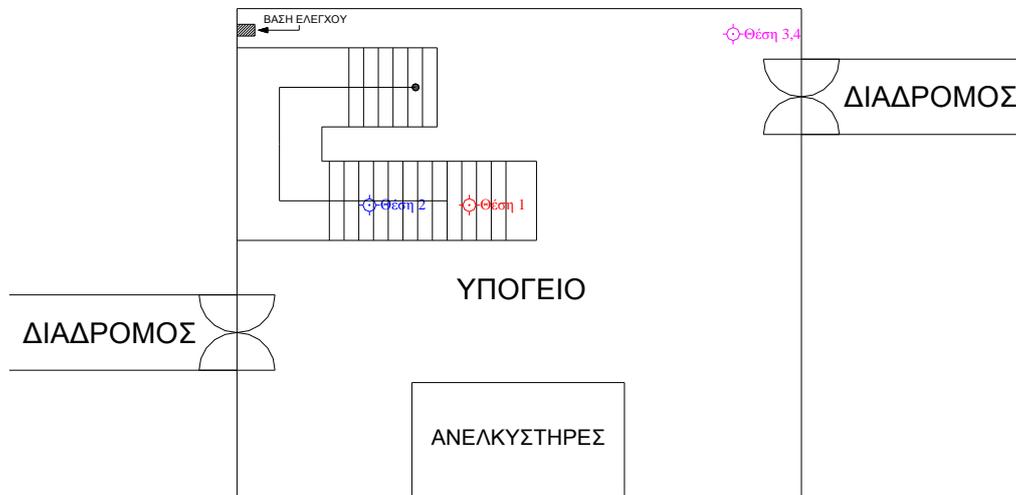
*Εικόνα 3.6: Θέση 2 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)*

Οι θέσεις τοποθέτησης του χωροβάτη φαίνονται στο σκαρίφημα του σχήματος 3.3.

Ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων ήταν:

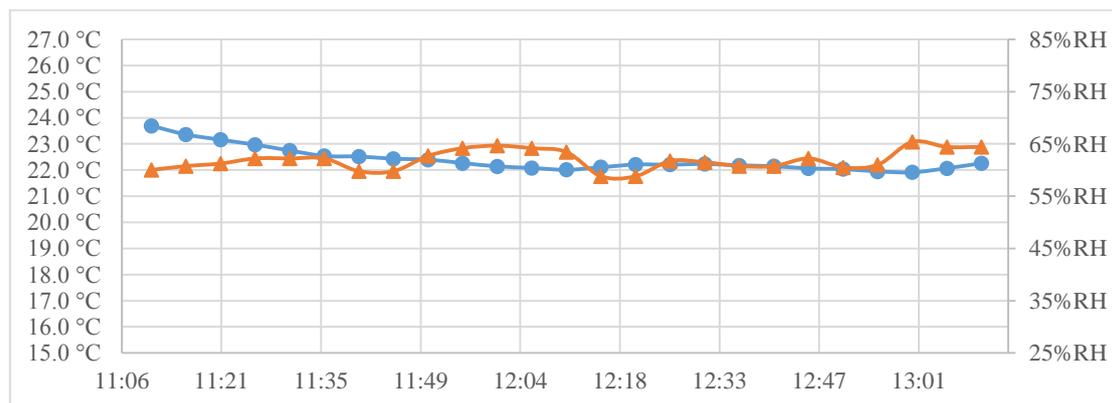
- 1<sup>η</sup> θέση → 27 min
- 2<sup>η</sup> θέση → 25 min
- 3<sup>η</sup> θέση → 27 min
- 4<sup>η</sup> θέση → 16 min

Συνολικά ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη ήταν 1 ώρα και 35 λεπτά.



Σχήμα 3.3: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων, – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που γίνονταν παράλληλα με τις μετρήσεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα 3.6. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 21.9°C έως 23.7°C και η σχετική υγρασία από 59%RH έως 65%RH.



Διάγραμμα 3.6: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – σύνολο σταδίας, Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Στον πίνακα 3.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων

Στάθμη	1η θέση		2η θέση		3η θέση		4η θέση	
	Μέσος όρος (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)						
0	3.9811	±0.01	2.9386	±0.02	1.8847	±0.01	Δε μετρήθηκε	
1	3.8806	±0.01	2.8381	±0.01	1.7844	±0.02	Δε μετρήθηκε	
2	3.7803	±0.01	2.7379	±0.02	1.6842	±0.01	Δε μετρήθηκε	
3	3.6801	-	2.6377	±0.01	1.5840	±0.02	0.8670	±0.01
4	3.5800	±0.02	2.5375	±0.02	1.4836	±0.02	0.7668	±0.02
5	3.4795	±0.02	2.4371	±0.01	1.3834	±0.01	0.6664	-
6	3.3794	-	2.3368	±0.02	1.2829	±0.02	0.5662	±0.01
7	3.2789	-	2.2363	±0.01	1.1825	±0.02	0.4657	±0.02
8	3.1785	±0.01	2.1360	±0.01	1.0824	±0.02	0.3652	±0.02
9	3.0781	±0.02	2.0356	-	0.9820	±0.02	0.2648	±0.01
10	2.9779	±0.02	1.9355	±0.02	0.8815	±0.02	0.1645	±0.02
11	2.8777	±0.01	1.8350	-	0.7812	±0.02	0.0641	±0.02

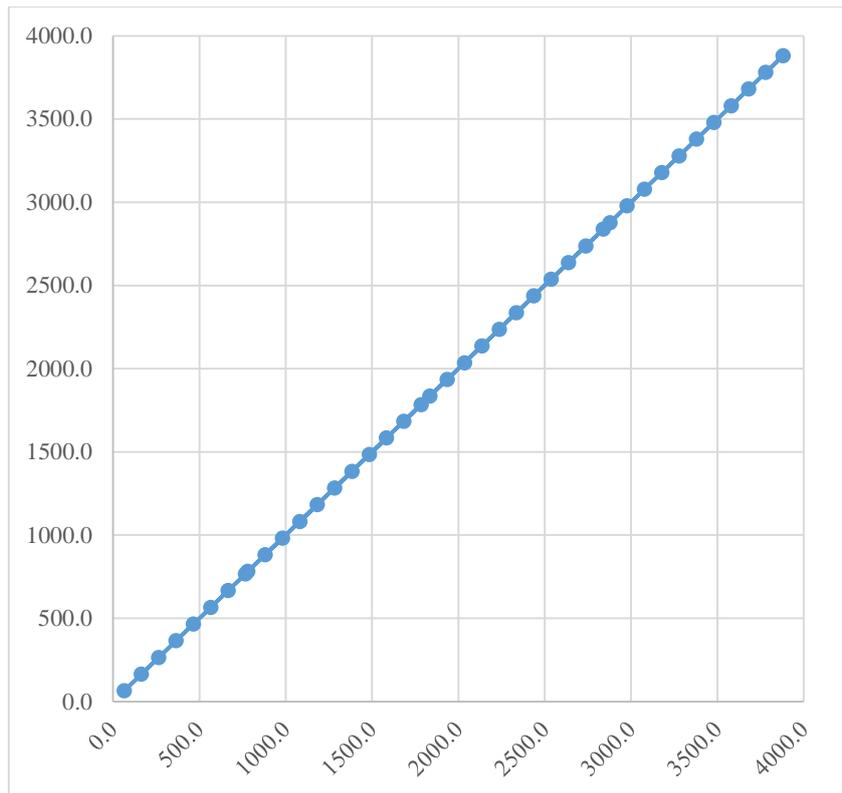
Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Η διακρίβωση και ο έλεγχος του συστήματος έγινε χρησιμοποιώντας τις πρότυπες τιμές και την εξίσωση  $y=m \cdot x+b$ . Στον πίνακα 3.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης.

	m	1-m	$\sigma_m$	$\sigma_m \cdot 1.96$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_b \cdot 1.96$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
Σε πλήρη ανάπτυξη	0.99999	0.00001	±0.00002	±0.00004	-0.03	±0.04	±0.08	±0.13

Πίνακας 3.14: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο αριθμός των αναγνώσεων περιορίστηκε έτσι ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στην πυκνότητα τους. Για το λόγο αυτό η γραφική παράσταση της εξίσωσης  $y=m \cdot x+b$  που δημιουργήθηκε (διάγραμμα 3.7) για το σύνολο της σταδίας διαφέρει από την αντίστοιχη του συστήματος Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091).



Διάγραμμα 3.7: Γραφική παράσταση  $y=m \cdot x+b$  – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι δύο στατιστικοί έλεγχοι για τις διαφορές μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών για τις υψομετρικές διαφορές (πίνακας 3.15) και για τη σύγκριση της επίδοσης του συστήματος με τις τεχνικές προδιαγραφές του όπως παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρία (πίνακας 3.16).

	$\delta y_i$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i} \cdot z_p$ (mm)	$\delta y_i \geq z_p \cdot \sigma_{\delta y_i}$
<b>Σε πλήρη ανάπτυξη</b>	0.03	$\pm 0.04$	$\pm 0.09$	<b>Δεν είναι στατιστικά σημαντική</b>

Πίνακας 3.15: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εμφανές ότι οι διορθώσεις που απαιτούνται για τις μετρήσεις με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη δεν είναι στατιστικά σημαντικές. συνεπώς δίνει αναγνώσεις σύμφωνα με τις πρότυπες υψομετρικές διαφορές

	ISO-LEV (mm)	$\sigma_0$ (mm)	$r_\beta$	$\chi^2_{0.95,r_\beta}$	$\sigma_0 \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{0.95,r_\beta}}{r_\beta}}$ (mm)	$\sigma_0$ (mm)	$H_0$
Σε πλήρη ανάπτυξη	1	±0.24	40	55.76	±0.29	±0.14	Δεκτή

Πίνακας 3.16: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι το συγκεκριμένο χωροσταθμικό σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

### 3.4 Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Η διακρίβωση του συστήματος Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) πραγματοποιήθηκε στις 21/04/2015 και στις 22/04/2015.

Το συγκεκριμένο σύστημα κατασκευάζεται στη Γερμανία. Διαθέτει ηλεκτρονική ανάγνωση 0.1mm και αβεβαιότητα μέτρησης ±1.5mm/km. Η ελάχιστη απόσταση μέτρησης είναι 2m και η μέγιστη 100m. Η μάζα του είναι 2.5kg.

Στην εικόνα 3.7 παρουσιάζεται ο Leica SPRINTER 150M.



Εικόνα 3.7: Leica Sprinter 150M (Πηγή: <http://www.vpcivil.co.in>)

### 3.4.1 Διακρίβωση του συστήματος με τη σταδία σε τμήματα

Οι μετρήσεις για το κάθε τμήμα της σταδίας ήταν πανομοιότυπες με τα άλλα 2 συστήματα, με τη μόνη διαφορά ότι λήφθηκαν αναγνώσεις για όλες τις στάθμες, αφού τα τμήματα ξεπερνούσαν το 1.10m της κατασκευής και ήταν ορατά.

Στην εικόνα 3.8 παρουσιάζεται η μέτρηση του δεύτερου τμήματος της σταδίας.

Αναλυτικότερα, ο χωροβάτης τοποθετήθηκε στη θέση 1 στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου (εικόνα 3.9), σε ύψος περίπου 1.35m και σε απόσταση 10.54m από τη σταδία.

Ο χρόνος που απαιτήθηκε για τις μετρήσεις ήταν:

- 1<sup>ο</sup> τμήμα→35 min (με παύση 15 λεπτών περίπου για αλλαγή μπαταριών του χωροβάτη)
- 2<sup>ο</sup> τμήμα→20 min
- 3<sup>ο</sup> τμήμα→19 min
- 4<sup>ο</sup> τμήμα→18 min

Συνολικά ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων για τα τμήματα της σταδίας ήταν 1 ώρα και 32 λεπτά.

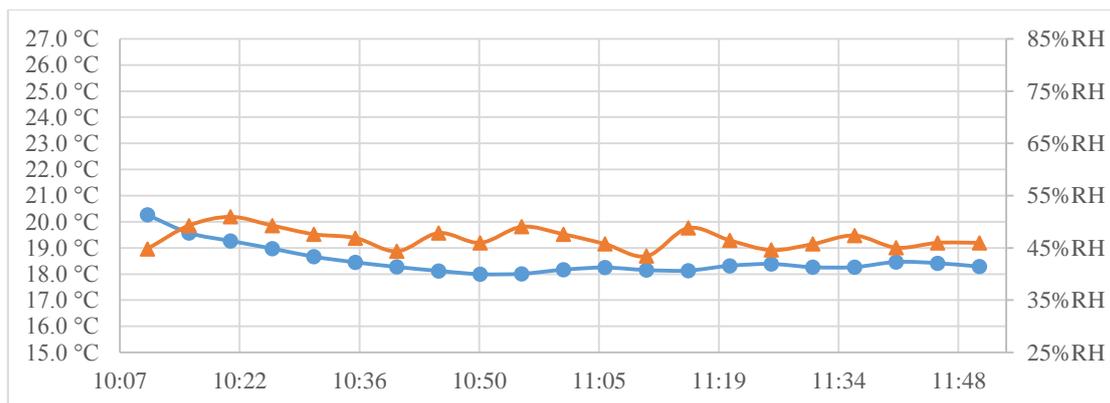


*Εικόνα 3.8: Μέτρηση δεύτερου τμήματος σταδίας Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) στη στάθμη 10*



*Εικόνα 3.9: Θέση 1 χωροβάτη – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)*

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που γίνονται παράλληλα με τις μετρήσεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα 3.8. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 18.0°C έως 20.3°C και η σχετική υγρασία από 43%RH έως 51%RH.



*Διάγραμμα 3.8: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)*

Στον πίνακα 3.17 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στάθμη	1ο τμήμα		2ο τμήμα		3ο τμήμα		4ο τμήμα	
	Μέσος όρος (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)						
0	1.264	-	2.414	-	3.664	-	4.900	-
1	1.164	-	2.314	-	3.563	±0.1	4.799	-
2	1.064	±0.2	2.214	±0.2	3.463	-	4.699	-
3	0.963	±0.2	2.113	-	3.363	-	4.599	-
4	0.863	±0.1	2.013	-	3.263	-	4.498	±0.2
5	0.763	-	1.913	-	3.163	±0.1	4.398	-
6	0.663	±0.2	1.813	-	3.062	-	4.298	-
7	0.562	-	1.712	-	2.962	-	4.198	±0.1
8	0.462	-	1.612	-	2.862	-	4.098	±0.2
9	0.362	±0.1	1.511	±0.2	2.761	-	3.997	-
10	0.262	±0.1	1.411	±0.1	2.661	-	3.897	-
11	0.161	-	1.311	-	2.561	-	3.796	-

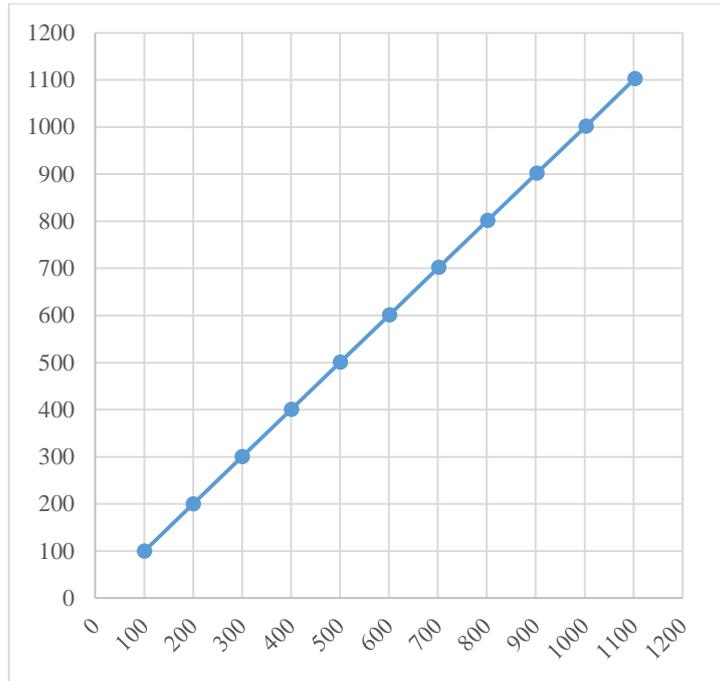
Πίνακας 3.17: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Η διακρίβωση και ο έλεγχος του συστήματος έγινε χρησιμοποιώντας τις πρότυπες τιμές και την εξίσωση  $y=m \cdot x+b$ . Στον πίνακα 3.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης.

	m	1-m	$\sigma_m$	$\sigma_m \cdot 1.96$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_b \cdot 1.96$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
1 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00019	0.00019	±0.00023	±0.00045	-0.14	±0.16	±0.31	±0.24
2 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00004	0.00004	±0.00023	±0.00045	-0.13	±0.16	±0.31	±0.24
3 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00042	0.00042	±0.00022	±0.00043	-0.66	±0.15	±0.29	±0.23
4 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00014	0.00014	±0.00024	±0.00046	-0.78	±0.16	±0.32	±0.25

Πίνακας 3.18: Αποτελέσματα επεξεργασίας – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Στο διάγραμμα 3.9 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της εξίσωσης  $y=m \cdot x+b$  για τα τμήματα της σταδίας. Όπως και στα προηγούμενα συστήματα, το διάγραμμα του πρώτου τμήματος είναι αντιπροσωπευτικό και των υπολοίπων.



Διάγραμμα 3.9: Γραφική παράσταση  $y=m \cdot x+b$  – 1<sup>ο</sup> τμήμα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι δύο στατιστικοί έλεγχοι (όπως αυτοί περιγράφονται στην παράγραφο 2.3.1.).

Ο πρώτος περιλαμβάνει το στατιστικό έλεγχο των διαφορών μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών για τις υψομετρικές διαφορές (πίνακας 3.19).

	$\delta y_i$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i} \cdot Z_p$ (mm)	$\delta y_i \geq Z_p \cdot \sigma_{\delta y_i}$
1 <sup>ο</sup> τμήμα	-0.12	$\pm 0.15$	$\pm 0.29$	Δεν είναι στατιστικά σημαντική
2 <sup>ο</sup> τμήμα	-0.13	$\pm 0.15$	$\pm 0.30$	Δεν είναι στατιστικά σημαντική
3 <sup>ο</sup> τμήμα	-0.62	$\pm 0.14$	$\pm 0.28$	Είναι στατιστικά σημαντική
4 <sup>ο</sup> τμήμα	-0.77	$\pm 0.15$	$\pm 0.30$	Είναι στατιστικά σημαντική

Πίνακας 3.19: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εμφανές ότι οι διορθώσεις που απαιτούνται για το 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> τμήμα της σταδίας είναι στατιστικά σημαντικές, συνεπώς δεν δίνουν αναγνώσεις σύμφωνα με τις πρότυπες

υψομετρικές διαφορές. Για τα τμήματα 1 και 2 οι διορθώσεις είναι στατιστικά ασήμαντες.

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις του προς έλεγχο οργάνου με αυτές της διακρίβωσης διαπιστώνεται ότι πρόβλημα παρουσιάζεται στα διαστήματα 2.66m – 2.76m και 2.86m – 2.96m του 3<sup>ου</sup> τμήματος. Αντίστοιχα στο 4<sup>ο</sup> τμήμα της σταδίας πρόβλημα διακρίνεται στο διάστημα 3.79m – 3.89m.

Ο δεύτερος και πιο ουσιαστικός στατιστικός έλεγχος περιλαμβάνει τη σύγκριση της επίδοσης του συστήματος με τις τεχνικές προδιαγραφές του όπως παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρία (πίνακας 3.20).

	ISO-LEV (mm)	$\sigma_0$ (mm)	$r_B$	$\chi^2_{0.95,r_B}$	$\sigma_0 \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{0.95,r_B}}{r_B}}$ (mm)	$\sigma_0$ (mm)	H <sub>0</sub>
1 <sup>ο</sup> τμήμα	1.5	±0.37	10	18.31	±0.50	±0.23	Δεκτή
2 <sup>ο</sup> τμήμα	1.5	±0.37	10	18.31	±0.50	±0.23	Δεκτή
3 <sup>ο</sup> τμήμα	1.5	±0.37	10	18.31	±0.50	±0.22	Δεκτή
4 <sup>ο</sup> τμήμα	1.5	±0.37	10	18.31	±0.50	±0.24	Δεκτή

Πίνακας 3.20: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι το συγκεκριμένο χωροσταθμικό σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

### 3.4.2 Διακρίβωση του συστήματος με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας

Η σταδία GSS 111 του χωροσταθμικού συστήματος Leica Sprinter έχει μήκος 5m.

Έτσι για τον έλεγχο του συστήματος με τη σταδία συναρμολογημένη απαιτήθηκε οι θέσεις τοποθέτησης του οργάνου να γίνουν 5 από 4 που ήταν στα προηγούμενα συστήματα (σχήμα 3.4).

Η θέση 1 βρίσκεται στο ισόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου, σε ύψος περίπου 1.85m και σε απόσταση 8.85m από τη σταδία.

Η θέση 2 βρίσκεται στις σκάλες υπογείου – ισογείου του κτιρίου Λαμπαδαρίου. Το ύψος οργάνου είναι περίπου 2.85m από το πλατύσκαλο και η απόσταση από τη σταδία 4.91m.

Η θέση 3 (εικόνα 3.10) βρίσκεται επίσης στις σκάλες υπογείου – ισογείου του κτιρίου Λαμπαδαρίου, σε ύψος περίπου 1.95m από το πλατύσκαλο και σε απόσταση 3.87m από τη σταδία.



*Εικόνα 3.10: Θέση 3 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)*

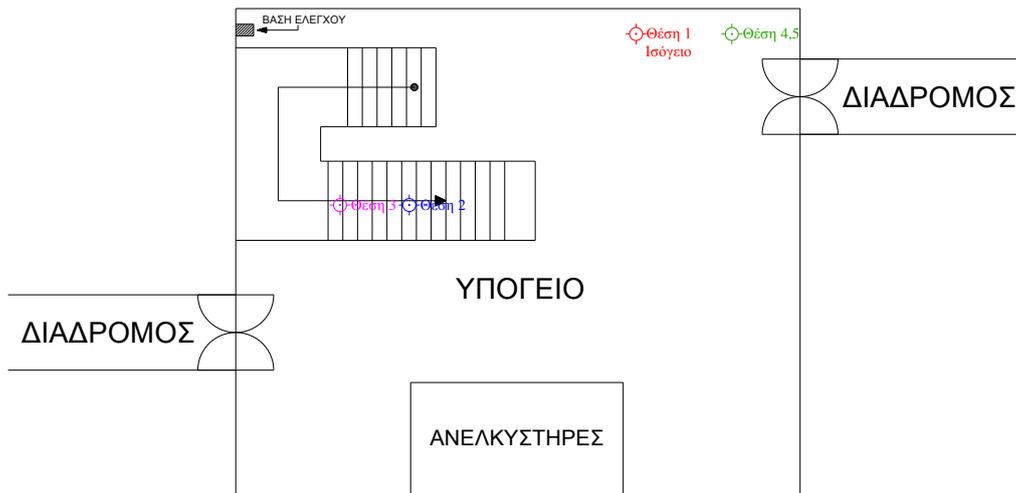
Στην θέση 4 το όργανο τοποθετήθηκε στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου. Το ύψος οργάνου ήταν περίπου 2.00m και η απόσταση από τη σταδία 10.17m.

Η θέση 5 είναι η ίδια με την 4, στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου, με τη διαφορά ότι το ύψος οργάνου αλλάζει από 2.00m σε 1.30m.

Ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων ήταν:

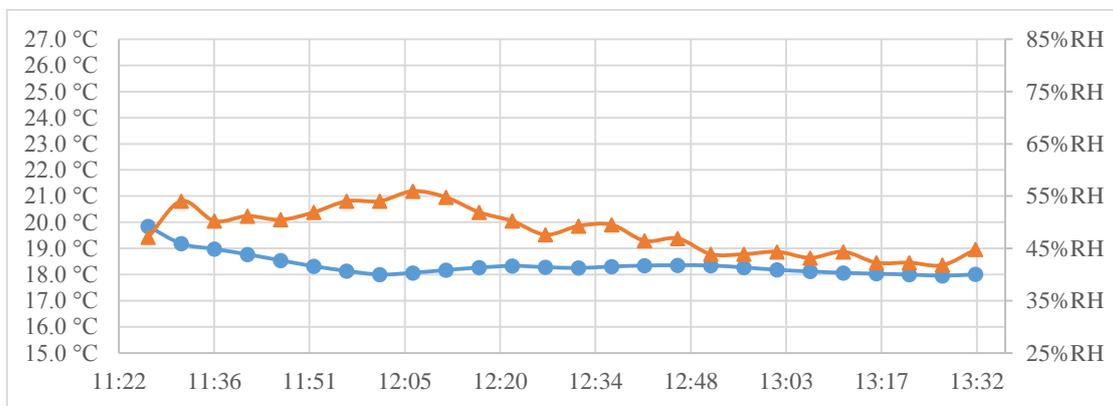
- 1<sup>η</sup> θέση → 21 min
- 2<sup>η</sup> θέση → 24 min
- 3<sup>η</sup> θέση → 22 min
- 4<sup>η</sup> θέση → 17 min
- 5<sup>η</sup> θέση → 12 min

Συνολικά ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη ήταν 1 ώρα και 36 λεπτά.



Σχήμα 3.4: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που γίνονται παράλληλα με τις μετρήσεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα 3.10. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 18.0°C έως 19.8°C και η σχετική υγρασία από 42%RH έως 56%RH.



Διάγραμμα 3.10: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Στον πίνακα 3.21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στάθμη	1η θέση		2η θέση		3η θέση		4η θέση		5η θέση	
	Μέσος όρος (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)								
0	4.988	-	3.932	-	2.888	-	1.837	-	Δε μετρήθηκε	
1	4.887	-	3.831	-	2.788	-	1.736	-	Δε μετρήθηκε	
2	4.787	-	3.731	-	2.687	-	1.636	-	Δε μετρήθηκε	
3	4.687	-	3.631	-	2.587	-	1.536	-	Δε μετρήθηκε	
4	4.587	-	3.530	-	2.487	-	1.436	-	0.783	±0.2
5	4.487	±0.2	3.430	-	2.386	-	1.335	-	0.682	-
6	4.386	-	3.330	-	2.286	-	1.235	-	0.582	-
7	4.286	-	3.229	-	2.186	-	1.134	±0.1	0.482	-
8	4.186	-	3.129	-	2.085	-	1.034	-	0.382	±0.2
9	4.086	±0.2	3.029	-	1.985	-	0.934	-	0.281	-
10	3.985	-	2.928	-	1.885	±0.1	0.834	±0.2	0.181	±0.2
11	3.885	±0.1	2.828	-	1.784	-	0.733	-	0.080	-

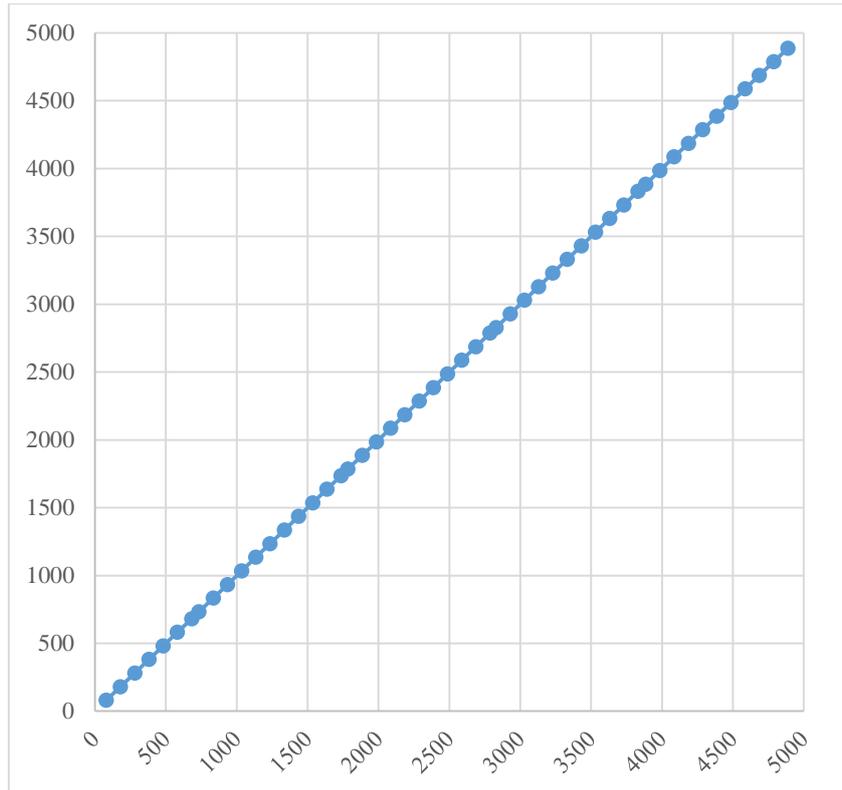
Πίνακας 3.21: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Η διακρίβωση και ο έλεγχος του συστήματος έγινε χρησιμοποιώντας τις πρότυπες τιμές και την εξίσωση  $y=m \cdot x+b$ . Στον πίνακα 3.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης.

	m	1-m	$\sigma_m$	$\sigma_m \cdot 1.96$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_b \cdot 1.96$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
Σε πλήρη ανάπτυξη	1.00005	0.00005	±0.00004	±0.00009	0.47	±0.13	±0.25	±0.20

Πίνακας 3.22: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Στο διάγραμμα 3.11 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της εξίσωσης  $y=m \cdot x+b$  που δημιουργήθηκε για τις μετρήσεις με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη.



*Διάγραμμα 3.11: Γραφική παράσταση  $y=m \cdot x+b$  – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)*

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι δύο στατιστικοί έλεγχοι για τις διαφορές μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών για τις υψομετρικές διαφορές (πίνακας 3.23) και για τη σύγκριση της επίδοσης του συστήματος με τις τεχνικές προδιαγραφές του όπως παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρία (πίνακας 3.24).

	$\delta y_i$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i} \cdot z_p$ (mm)	$\delta y_i \geq z_p \cdot \sigma_{\delta y_i}$
<b>Σε πλήρη ανάπτυξη</b>	0.47	$\pm 0.12$	$\pm 0.23$	<b>Είναι στατιστικά σημαντική</b>

*Πίνακας 3.23: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)*

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εμφανές ότι οι διορθώσεις που απαιτούνται για τις μετρήσεις με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη είναι στατιστικά σημαντικές, συνεπώς δεν δίνει αναγνώσεις σύμφωνα με τις πρότυπες υψομετρικές διαφορές.

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις του προς έλεγχο οργάνου με αυτές της διακρίβωσης διαπιστώνεται ότι τα προβλήματα της σταδίας βρίσκονται στα τμήματα 3 και 4 (όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.4.1.) αλλά και στη συναρμογή των τμημάτων της.

	ISO-LEV (mm)	$\sigma_0$ (mm)	$r_B$	$\chi^2_{0.95,r_B}$	$\sigma_0 \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{0.95,r_B}}{r_B}}$ (mm)	$\sigma_0$ (mm)	H <sub>0</sub>
Σε πλήρη ανάπτυξη	1.5	±0.37	50	67.50	±0.43	±0.42	Δεκτή

Πίνακας 3.24: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι το συγκεκριμένο χωροσταθμικό σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

### 3.5 Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)

Η διακρίβωση του συστήματος Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) πραγματοποιήθηκε στις 01/07/2015 και 02/07/2015.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται στην παράγραφο 3.4.

#### 3.5.1 Διακρίβωση του συστήματος με τη σταδία σε τμήματα

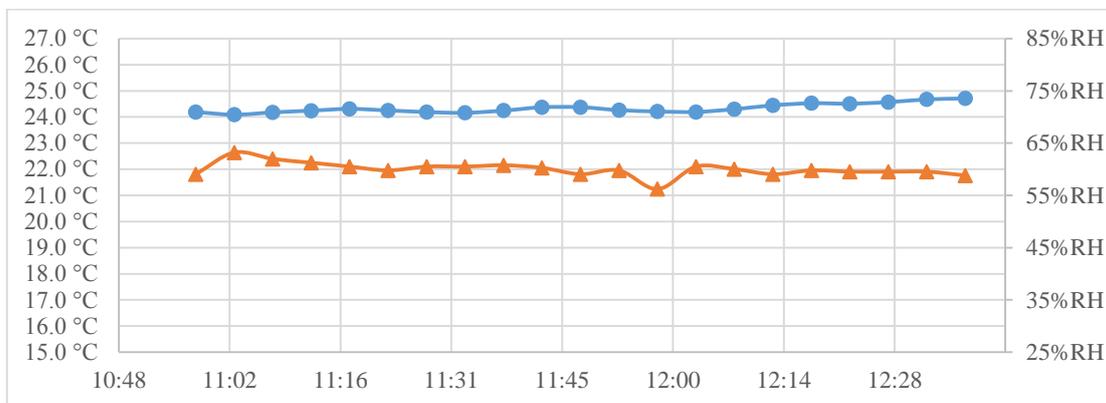
Αναλυτικότερα, ο χωροβάτης τοποθετήθηκε στη θέση 1 στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου (εικόνα 3.9), σε ύψος περίπου 1.42m και σε απόσταση 10.27m από τη σταδία.

Ο χρόνος που απαιτήθηκε για τις μετρήσεις ήταν:

- 1<sup>ο</sup> τμήμα → 25 min
- 2<sup>ο</sup> τμήμα → 21 min
- 3<sup>ο</sup> τμήμα → 19 min
- 4<sup>ο</sup> τμήμα → 16 min

Συνολικά ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων για τα τμήματα της σταδίας ήταν 1 ώρα και 21 λεπτά.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που γίνονταν παράλληλα με τις μετρήσεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα 3.12. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 24.1°C έως 24.7°C και η σχετική υγρασία από 56%RH έως 63%RH.



Διάγραμμα 3.12: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)

Στον πίνακα 3.25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στάθμη	1ο τμήμα		2ο τμήμα		3ο τμήμα		4ο τμήμα	
	Μέσος όρος (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)						
0	1.295	-	2.444	±0.2	3.694	±0.1	4.930	-
1	1.194	-	2.344	-	3.594	-	4.829	±0.2
2	1.094	-	2.244	-	3.494	-	4.729	±0.2
3	0.994	-	2.143	±0.1	3.393	±0.2	4.629	-
4	0.894	-	2.043	-	3.293	-	4.529	-
5	0.793	±0.1	1.943	-	3.193	-	4.429	-
6	0.693	-	1.843	-	3.093	-	4.329	±0.2
7	0.593	-	1.743	±0.1	2.993	-	4.228	-
8	0.493	-	1.643	±0.2	2.892	-	4.128	-
9	0.392	±0.2	1.542	-	2.792	-	4.027	±0.1
10	0.292	-	1.442	-	2.691	±0.1	3.927	-
11	0.192	-	1.341	±0.1	2.591	-	3.827	-

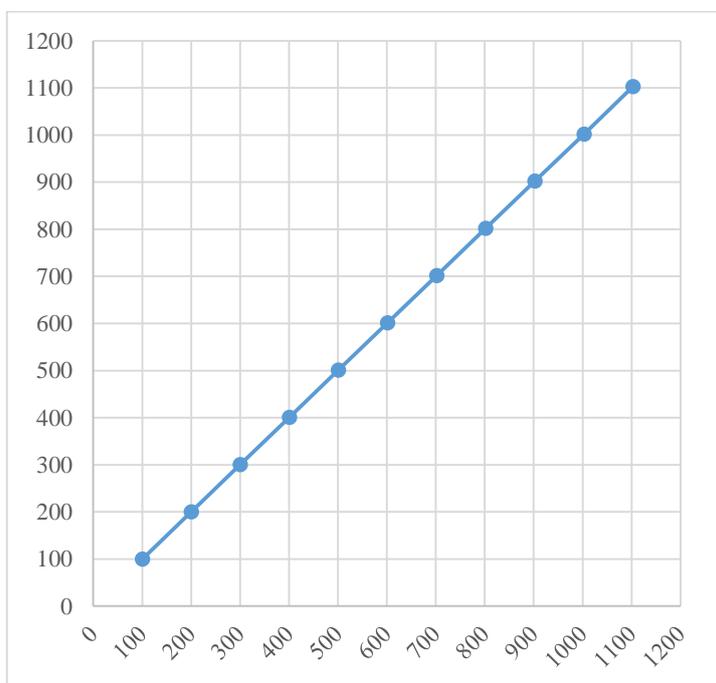
Πίνακας 3.25: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)

Η διακρίβωση και ο έλεγχος του συστήματος έγινε χρησιμοποιώντας τις πρότυπες τιμές και την εξίσωση  $y=m \cdot x+b$ . Στον πίνακα 3.26 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης.

	<b>m</b>	<b> 1-m </b>	<b><math>\sigma_m</math></b>	<b><math>\sigma_m \cdot 1.96</math></b>	<b>b (mm)</b>	<b><math>\sigma_b</math> (mm)</b>	<b><math>\sigma_b \cdot 1.96</math> (mm)</b>	<b><math>\sigma_0</math> (μίας παρατήρησης) (mm)</b>
<b>1° τμήμα</b>	0.99933	0.00067	$\pm 0.00018$	$\pm 0.00036$	0.85	$\pm 0.12$	$\pm 0.24$	$\pm 0.19$
<b>2° τμήμα</b>	0.99945	0.00055	$\pm 0.00028$	$\pm 0.00054$	0.41	$\pm 0.19$	$\pm 0.37$	$\pm 0.29$
<b>3° τμήμα</b>	1.00000	0.00000	$\pm 0.00026$	$\pm 0.00051$	0.00	$\pm 0.18$	$\pm 0.34$	$\pm 0.27$
<b>4° τμήμα</b>	0.99970	0.00030	$\pm 0.00016$	$\pm 0.00031$	0.46	$\pm 0.11$	$\pm 0.21$	$\pm 0.17$

*Πίνακας 3.26: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)*

Οι γραφικές παραστάσεις της εξίσωσης  $y=m \cdot x+b$  που δημιουργήθηκαν για κάθε τμήμα της σταδίας είναι πανομοιότυπες με τις αντίστοιχες του συστήματος Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.13.



*Διάγραμμα 3.13: Γραφική παράσταση  $y=m \cdot x+b$  – 1° τμήμα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)*

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι δύο στατιστικοί έλεγχοι (όπως αυτοί περιγράφονται στην παράγραφο 2.3.1.).

Ο πρώτος περιλαμβάνει το στατιστικό έλεγχο των διαφορών μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών για τις υψομετρικές διαφορές (πίνακας 3.27).

	$\delta y_i$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i} \cdot Z_p$ (mm)	$\delta y_i \geq Z_p \cdot \sigma_{\delta y_i}$
<b>1° τμήμα</b>	-0.78	±0.13	±0.25	<b>Είναι στατιστικά σημαντική</b>
<b>2° τμήμα</b>	-0.35	±0.19	±0.37	<b>Δεν είναι στατιστικά σημαντική</b>
<b>3° τμήμα</b>	0.00	±0.18	±0.35	<b>Δεν είναι στατιστικά σημαντική</b>
<b>4° τμήμα</b>	-0.43	±0.11	±0.22	<b>Είναι στατιστικά σημαντική</b>

Πίνακας 3.27: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εμφανές ότι οι διορθώσεις που απαιτούνται για το 1° και 4° τμήμα της σταδίας είναι στατιστικά σημαντικές, συνεπώς δεν δίνουν αναγνώσεις σύμφωνα με τις πρότυπες υψομετρικές διαφορές. Για τα τμήματα 2 και 3 οι διορθώσεις είναι στατιστικά ασήμαντες.

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις του προς έλεγχο οργάνου με αυτές της διακρίβωσης διαπιστώνεται ότι στο 1° τμήμα της σταδίας το κύριο πρόβλημα εντοπίζεται στο διάστημα 0.89m – 0.99m. Στο 4° τμήμα το σημαντικότερο πρόβλημα διακρίνεται στο διάστημα 4.02m – 4.12m.

Ο δεύτερος και πιο ουσιαστικός στατιστικός έλεγχος περιλαμβάνει τη σύγκριση της επίδοσης του συστήματος με τις τεχνικές προδιαγραφές του όπως παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρία (πίνακας 3.28).

	$\sigma_{\text{ISO-LEV}}$ (mm)	$\sigma_{\theta}$ (mm)	$r_{\beta}$	$\chi^2_{0.95, r_{\beta}}$	$\sigma_{\theta} \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{0.95, r_{\beta}}}{r_{\beta}}}$ (mm)	$\sigma_{\theta}$ (mm)	$H_0$
<b>1° τμήμα</b>	1.5	±0.37	10	18.31	±0.50	±0.19	<b>Δεκτή</b>
<b>2° τμήμα</b>	1.5	±0.37	10	18.31	±0.50	±0.29	<b>Δεκτή</b>
<b>3° τμήμα</b>	1.5	±0.37	10	18.31	±0.50	±0.27	<b>Δεκτή</b>
<b>4° τμήμα</b>	1.5	±0.37	10	18.31	±0.50	±0.17	<b>Δεκτή</b>

Πίνακας 3.28: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – τμήματα σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι το συγκεκριμένο χωροσταθμικό σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

### 3.5.2 Διακρίβωση του συστήματος με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας

Όπως και στις μετρήσεις της διακρίβωσης του συστήματος με τη σταδία σε τμήματα, η διαδικασία των μετρήσεων με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας ήταν η ίδια με την αντίστοιχη του προηγούμενου συστήματος Leica Sprinter 150M.

Πιο συγκεκριμένα, η θέση 1 (εικόνα 3.11) βρίσκεται στο ισόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου, σε ύψος περίπου 1.85m και σε απόσταση 10.43m από τη σταδία.

Η θέση 2 (εικόνα 3.12) βρίσκεται στις σκάλες υπογείου – ισογείου του κτιρίου Λαμπαδαρίου. Το ύψος οργάνου είναι περίπου 2.70m από το πλατύσκαλο και η απόσταση από τη σταδία 4.92m.



*Εικόνα 3.11: Θέση 1 χωροβάτη – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)*



*Εικόνα 3.12: Θέση 2 χωροβάτη – σύνολο σταδίας,  
Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)*

Η θέση 3 (εικόνα 3.13) βρίσκεται στο πλατύσκαλο της σκάλας υπογείου – ισογείου του κτιρίου Λαμπαδαρίου, με ύψος οργάνου περίπου 1.70m (μετρώντας από το πλατύσκαλο) και σε απόσταση 3.48m από τη σταδία.



*Εικόνα 3.13: Θέση 3 χωροβάτη – σύνολο σταδίας,  
Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)*

Στην θέση 4 το όργανο τοποθετήθηκε στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου. Το ύψος οργάνου ήταν περίπου 1.55m και η απόσταση από τη σταδία 10.19m.

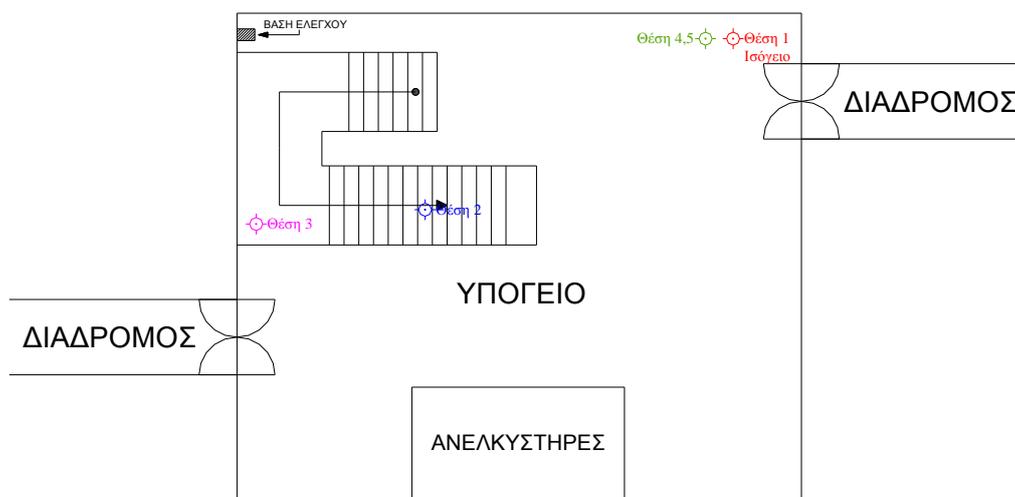
Η θέση 5 είναι η ίδια με την 4, στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου, με τη διαφορά ότι το ύψος οργάνου αλλάζει από 2.00m σε 1.30m.

Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζεται σκαρίφημα με τις θέσεις τοποθέτησης του χωροβάτη.

Ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων ήταν:

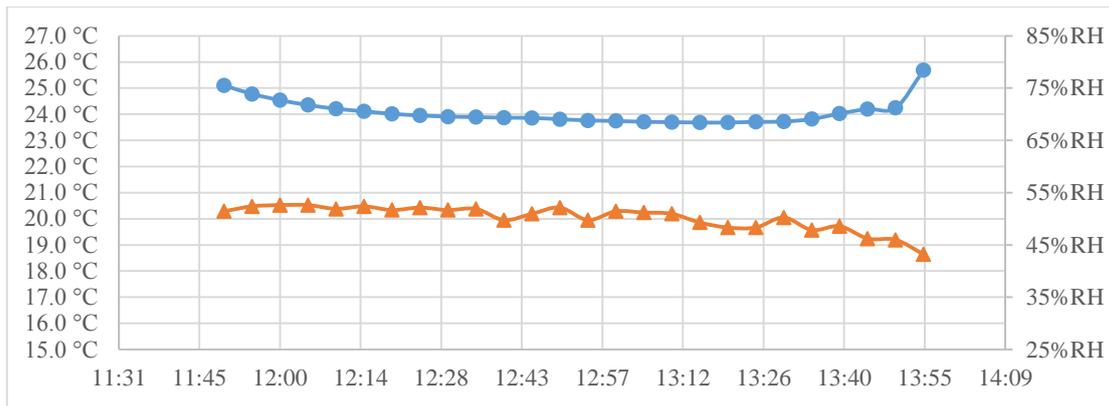
- 1<sup>η</sup> θέση → 30 min
- 2<sup>η</sup> θέση → 32 min
- 3<sup>η</sup> θέση → 22 min
- 4<sup>η</sup> θέση → 15 min
- 5<sup>η</sup> θέση → 4 min

Συνολικά ο χρόνος διάρκειας των μετρήσεων με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη ήταν 1 ώρα και 43 λεπτά.



Σχήμα 3.5: Σκαρίφημα χώρου μετρήσεων – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που γίνονταν παράλληλα με τις μετρήσεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα 3.14. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 23.7°C έως 25.7°C και η σχετική υγρασία από 43%RH έως 52%RH.



Διάγραμμα 3.14: Θερμοκρασία και σχετική υγρασία – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)

Στον πίνακα 3.29 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στάθμη	1η θέση		2η θέση		3η θέση		4η θέση		5η θέση	
	Μέσος όρος (m)	Τυπικό σφάλμα (mm)								
0	4.990	-	3.788	-	2.585	-	1.382	-	Δε μετρήθηκε	
1	4.890	-	3.688	-	2.484	-	1.281	±0.1	Δε μετρήθηκε	
2	4.790	-	3.588	-	2.384	-	1.181	-	Δε μετρήθηκε	
3	4.689	±0.2	3.487	-	2.284	-	1.081	-	Δε μετρήθηκε	
4	4.589	±0.2	3.387	-	2.183	-	0.981	-	Δε μετρήθηκε	
5	4.489	-	3.287	-	2.083	-	0.881	±0.2	Δε μετρήθηκε	
6	4.389	-	3.187	-	1.983	-	0.780	-	Δε μετρήθηκε	
7	4.289	±0.1	3.086	-	1.883	-	0.680	-	Δε μετρήθηκε	
8	4.188	-	2.986	-	1.782	-	0.580	-	Δε μετρήθηκε	
9	4.088	-	2.886	-	1.682	-	0.480	-	Δε μετρήθηκε	
10	3.988	±0.2	2.785	-	1.582	-	0.379	-	0.180	-
11	3.887	-	2.685	-	1.481	-	0.279	-	0.079	±0.2

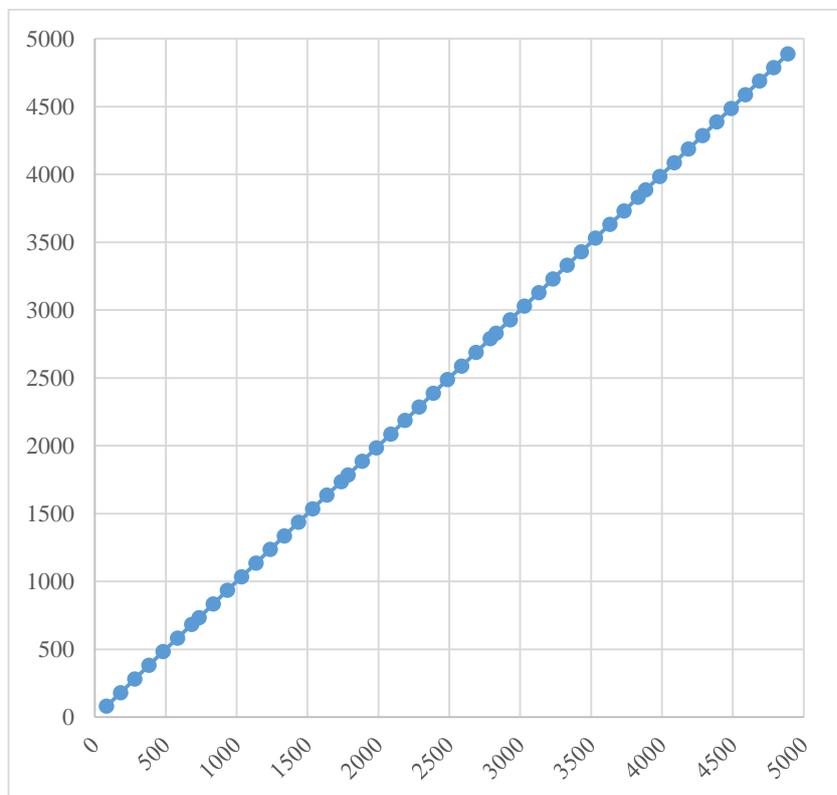
Πίνακας 3.29: Αποτελέσματα μετρήσεων διακρίβωσης – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)

Η διακρίβωση και ο έλεγχος του συστήματος έγινε χρησιμοποιώντας τις πρότυπες τιμές και την εξίσωση  $y=m \cdot x+b$ . Στον πίνακα 3.30 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης.

	<b>m</b>	<b> 1-m </b>	<b><math>\sigma_m</math></b>	<b><math>\sigma_m \cdot 1.96</math></b>	<b>b (mm)</b>	<b><math>\sigma_b</math> (mm)</b>	<b><math>\sigma_b \cdot 1.96</math> (mm)</b>	<b><math>\sigma_0</math> (μίας παρατήρησης) (mm)</b>
<b>Σε πλήρη ανάπτυξη</b>	1.00015	0.00015	±0.00004	±0.00008	-0.63	±0.12	±0.23	±0.38

*Πίνακας 3.30: Αποτελέσματα επεξεργασίας – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)*

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης  $y=m \cdot x+b$  που δημιουργήθηκαν για τις μετρήσεις της σταδίας σε πλήρη ανάπτυξη είναι πανομοιότυπη με την αντίστοιχη του συστήματος Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) όπως αυτή παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.15.



*Διάγραμμα 3.15: Γραφική παράσταση  $y=m \cdot x+b$  – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)*

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι δύο στατιστικοί έλεγχοι για τις διαφορές μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών για τις υψομετρικές διαφορές (πίνακας 3.31) και για τη σύγκριση της επίδοσης

του συστήματος με τις τεχνικές προδιαγραφές του όπως παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρία (πίνακας 3.32).

	$\delta y_i$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta y_i} \cdot Z_p$ (mm)	$\delta y_i \geq Z_p \cdot \sigma_{\delta y_i}$
<b>Σε πλήρη ανάπτυξη</b>	0.61	±0.12	±0.23	<b>Είναι στατιστικά σημαντική</b>

*Πίνακας 3.31: Αποτελέσματα πρώτου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)*

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εμφανές ότι οι διορθώσεις που απαιτούνται για τις μετρήσεις με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη είναι στατιστικά σημαντικές, συνεπώς δεν δίνει αναγνώσεις σύμφωνα με τις πρότυπες υψομετρικές διαφορές.

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις του προς έλεγχο οργάνου με αυτές της διακρίβωσης διαπιστώνεται ότι τα προβλήματα της σταδίας βρίσκονται στα τμήματα 1 και 4 (όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.5.1.) αλλά και στη συναρμογή των τμημάτων της.

	$\sigma_{\text{ISO-LEV}}$ (mm)	$\sigma_0$ (mm)	$r_\beta$	$\chi^2_{0.95, r_\beta}$	$\sigma_0 \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{0.95, r_\beta}}{r_\beta}}$ (mm)	$\sigma_0$ (mm)	$H_0$
<b>Σε πλήρη ανάπτυξη</b>	1.5	±0.37	44	60.48	±0.43	±0.38	<b>Δεκτή</b>

*Πίνακας 3.32: Αποτελέσματα δεύτερου στατιστικού ελέγχου, – σύνολο σταδίας, Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)*

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι το συγκεκριμένο χωροσταθμικό σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 4.1 Συμπεράσματα

Αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε η πειραματική εφαρμογή ενός νέου αυτοματοποιημένου προτύπου για τον έλεγχο και τη διακρίβωση χωροσταθμικών συστημάτων.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία στοχεύει στο να παρέχει μία αξιόπιστη, εύκολη, γρήγορη και οικονομική διαδικασία ελέγχου και διακρίβωσης χωροσταθμικών συστημάτων.

Η μεθοδολογία αντιμετωπίζει το χωροβάτη και τη σταδία ως ένα ενιαίο σύνολο (σύστημα). Η βάση ελέγχου είναι, οικονομική, κατασκευασμένη από υλικά που μπορούν να προμηθευτούν με ευκολία και εύκολη στη βαθμονόμησή της.

Ο έλεγχος και η διακρίβωση χωροσταθμικών συστημάτων στη βάση ελέγχου παρουσιάζουν και δύο καινοτομίες σε σχέση με τον έλεγχο ISO 17123-2.

Το αποτέλεσμα της διακρίβωσης στηρίζεται στην αβεβαιότητα της μοναδιαίας μέτρησης του συστήματος και όχι στο μέσο τετραγωνικό σφάλμα ανά χιλιόμετρο διπλής χωροστάθμησης. Είναι δυνατή η διόρθωση των μετρήσεων του συστήματος κάνοντας χρήση των αποτελεσμάτων τους.

Συγκριτικά με τον έλεγχο του ISO 17123-2 που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 1.4, ο έλεγχος και διακρίβωση χωροσταθμικών συστημάτων στη βάση ελέγχου δείχνει να είναι μία πιο ευέλικτη διαδικασία με συγκεκριμένα πλεονεκτήματα (πίνακας 4.1).

	Πρότυπο ISO 17123-2	Νέα μεθοδολογία
Έλεγχος ως σύστημα	OXI	NAI
Χρήση πρότυπων τιμών	OXI	NAI
Έλεγχος μοναδιαίας μέτρησης	OXI	NAI
Στατιστικοί έλεγχοι	NAI	NAI
Δυνατότητα διόρθωσης μετρημένων τιμών	OXI	NAI
Εργαστηριακός έλεγχος	OXI	NAI
Τυπική απόκλιση μοναδιαίας σκόπευσης	OXI	NAI

*Πίνακας 4.1: Συγκριτικός πίνακας μεθοδολογιών*

Πέρα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάστηκαν στον παραπάνω πίνακα, η συγκεκριμένη διαδικασία διακρίβωσης και ελέγχου μπορεί να χαρακτηριστεί ως αρκετά γρήγορη και ευέλικτη. Οι μετρήσεις δεν έχουν μεγάλη διάρκεια και υπάρχει απαίτηση για το ελάχιστο συνεργείο. Τόσο η επεξεργασία των μετρήσεων όσο και οι στατιστικοί έλεγχοι γίνονται με σχετικά απλούς υπολογισμούς.

Πιο συγκεκριμένα, για τη διαδικασία της βαθμονόμησης της βάσης ελέγχου απαιτούνται (κατ' ελάχιστον) τρία ή (ιδανικά) τέσσερα άτομα.

Ο μέσος χρόνος διάρκειας μίας περιόδου μετρήσεων βαθμονόμησης είναι 30 λεπτά.

Η επεξεργασία των μετρήσεων μπορεί να γίνει σε ένα υπολογιστικό φύλλο ή με υπολογισμούς σε περιβάλλον MATLAB.

Για την αξιολόγηση της βαθμονόμησης της βάσης ελέγχου υπολογίσθηκαν οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης που είχε πραγματοποιηθεί την περίοδο 2010 – 2011 [Νικολίτσας Κ. 2015] και του μέσου όρου των αποτελεσμάτων των βαθμονομήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

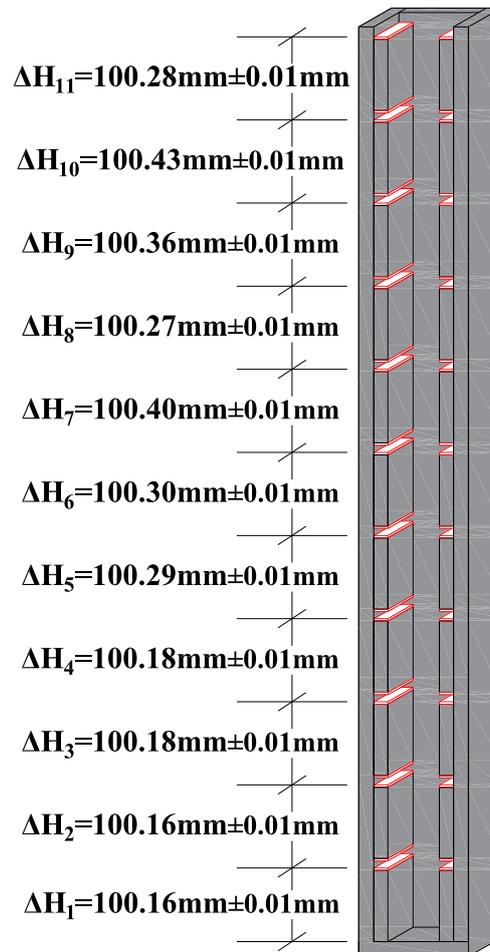
Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα.

	Γλυνός (2015)		Νικολίτσας (2010–2011)		Αξιολόγηση διαφοράς		
	Μέση Τιμή (mm)	$\sigma$ (mm)	Μέση Τιμή (mm)	$\sigma$ (mm)	$\delta_{\Delta H_i}$ (mm)	$\sigma_{\delta_{\Delta H_i}} \cdot z_p^{95\%}$ (mm)	$H_0$
$\Delta H_1$	100.16	$\pm 0.01$	100.08	$\pm 0.10$	0.08	$\pm 0.20$	Δεκτή
$\Delta H_2$	100.16	$\pm 0.01$	100.13	$\pm 0.01$	0.03	$\pm 0.03$	Δεκτή
$\Delta H_3$	100.18	$\pm 0.01$	100.23	$\pm 0.04$	-0.05	$\pm 0.08$	Δεκτή
$\Delta H_4$	100.18	$\pm 0.01$	100.20	$\pm 0.02$	-0.02	$\pm 0.05$	Δεκτή
$\Delta H_5$	100.29	$\pm 0.01$	100.25	$\pm 0.03$	0.04	$\pm 0.07$	Δεκτή
$\Delta H_6$	100.30	$\pm 0.01$	100.32	$\pm 0.05$	-0.02	$\pm 0.10$	Δεκτή
$\Delta H_7$	100.40	$\pm 0.01$	100.31	$\pm 0.04$	0.09	$\pm 0.08$	Απορρίπτεται
$\Delta H_8$	100.27	$\pm 0.01$	100.28	$\pm 0.06$	-0.01	$\pm 0.12$	Δεκτή
$\Delta H_9$	100.36	$\pm 0.01$	100.42	$\pm 0.05$	-0.06	$\pm 0.10$	Δεκτή
$\Delta H_{10}$	100.43	$\pm 0.01$	100.36	$\pm 0.04$	0.07	$\pm 0.08$	Δεκτή
$\Delta H_{11}$	100.28	$\pm 0.01$	100.34	$\pm 0.08$	-0.06	$\pm 0.16$	Δεκτή

Πίνακας 4.2: Αξιολόγηση Βαθμονόμησης

Διαπιστώθηκε ότι οριακά στατιστικά σημαντική είναι μόνο η διαφορά της υψομετρικής διαφοράς  $\Delta H_7$ .

Για τις διακριβώσεις που ακολούθησαν χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία (σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Σκαρίφημα βάσης ελέγχου με τις πρότυπες τιμές υψομετρικών διαφορών

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τον έλεγχο και τη διακρίβωση τεσσάρων χωροσταθμικών συστημάτων.

Ο έλεγχος του κάθε συστήματος έγινε με τη σταδία κατά τμήματα αλλά και με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη.

Ο χρόνος που απαιτήθηκε τόσο για τη διαδικασία της διακρίβωσης των συστημάτων είτε με τη σταδία σε τμήματα είτε με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη κυμάνθηκε από 1 ώρα και 20 λεπτά έως 1 ώρα και 40 λεπτά.

Τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας με τις μετρήσεις της σταδίας σε τμήματα είναι κυρίως τρία.

Υπάρχει ευκολία στην κατακορύφωση της σταδίας. Για το σκοπό αυτό μόνο ένα άτομο αρκεί, γεγονός το οποίο μπορεί να περιορίσει τον αριθμό των μελών του συνεργείου εργασίας σε 2. Απαιτείται μόνο μία θέση τοποθέτησης του οργάνου. Έτσι, αποφεύγεται η διαδικασία επανατοποθέτησης του χωροβάτη σε άλλες θέσεις. Ο έλεγχος και η διακρίβωση γίνεται ξεχωριστά για κάθε τμήμα, γεγονός που επιτρέπει τον περιορισμό των συμπερασμάτων για κάθε ένα ξεχωριστά.

Κύριο μειονέκτημα της συγκεκριμένης διαδικασίας φαίνεται να αποτελεί το γεγονός ότι ο τμηματικός έλεγχος δεν μπορεί να ελέγξει αν η συναρμογή των τμημάτων είναι η επιθυμητή, ή αν προκύπτουν σφάλματα.

Επίσης, εφόσον οι μετρήσεις πεδίου γίνονται με τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη, κρίνεται ορθότερο να γίνεται και ο έλεγχός της με τον ίδιο τρόπο.

Η διαδικασία των μετρήσεων με τη σταδία συναρμολογημένη έχει ως κύριο πλεονέκτημα το γεγονός ότι ο χρήστης μπορεί να αντιληφθεί εάν η συναρμογή των τηλεσκοπικών σταδίων είναι σωστή ή αν δημιουργεί σφάλματα στις μετρήσεις.

Παρ' όλα αυτά, μειονεκτεί στο γεγονός ότι απαιτούνται περισσότερες θέσεις τοποθέτησης του οργάνου, έτσι ώστε να μπορέσει να μετρηθεί το σύνολο του μήκους της. Υπάρχει, ακόμη το μειονέκτημα ότι για τη σωστή κατακορύφωση της σταδίας απαιτούνται 2 άτομα και κατά συνέπεια το ελάχιστο μέγεθος του συνεργείου αυξάνεται στα 3 άτομα.

Επισημαίνεται ότι αν υπήρχε η δυνατότητα τοποθέτησης σφικτήρων σε όλο το μήκος της σταδίας, έτσι ώστε να μην απαιτείται κάποιο άτομο για την κατακορύφωσή της, οι μετρήσεις της διακρίβωσης και με τις δύο διαδικασίες θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν με μόνο ένα άτομο.

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο διαδικασιών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.9.

	Διακρίβωση συστημάτων με τη σταδία σε τμήματα	Διακρίβωση συστημάτων με πλήρη ανάπτυξη της σταδίας
<b>Πλεονεκτήματα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ευκολία στην κατακορύφωση της σταδίας</li> <li>• Εξαγωγή συμπερασμάτων για κάθε τμήμα ξεχωριστά</li> <li>• Μια θέση τοποθέτησης χωροβάτη</li> <li>• Συνεργείο δύο ατόμων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έλεγχος σωστής συναρμογής τμημάτων σταδίας</li> </ul>
<b>Μειονεκτήματα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αδυναμία ελέγχου σωστής συναρμογής τμημάτων σταδίας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Περισσότερες θέσεις τοποθέτησης του οργάνου</li> <li>• Συνεργείο τριών ατόμων</li> </ul>

Πίνακας 4.3: Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα μεθόδων διακρίβωσης

Παρά το γεγονός ότι η διαδικασία διακρίβωσης με τη σταδία σε τμήματα είναι πιο εύκολη και ευέλικτη, κρίνεται προτιμότερη η διαδικασία της διακρίβωσης με τη σταδία συναρμολογημένη, διότι ο έλεγχος της σωστής συναρμογής των τμημάτων της είναι σημαντικός και κρίνεται ως απαραίτητος για τον πλήρη έλεγχο του συστήματος.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στους πίνακες 4.3 – 4.6.

Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)	m	$\sigma_m$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
1 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00049	±0.00012	-0.05	±0.07	±0.11
2 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00039	±0.00012	0.04	±0.07	±0.09
3 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00029	±0.00015	0.02	±0.09	±0.12
4 <sup>ο</sup> τμήμα	1.00042	±0.00014	0.22	±0.07	±0.09
Σταδία σε πλήρη ανάπτυξη	1.00008	±0.00005	-0.66	±0.11	±0.28

Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα μετρήσεων Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091)

Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)	m	$\sigma_m$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
1ο τμήμα	1.00070	±0.00005	-0.08	±0.03	±0.05
2ο τμήμα	1.00031	±0.00014	0.17	±0.08	±0.11
3ο τμήμα	1.00077	±0.00016	-0.11	±0.09	±0.13
4ο τμήμα	1.00023	±0.00014	0.07	±0.07	±0.09
Σταδία σε πλήρη ανάπτυξη	0.99999	±0.00002	-0.03	±0.04	±0.14

Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα μετρήσεων Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)

Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)	m	$\sigma_m$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
1ο τμήμα	0.99981	±0.00022	0.14	±0.15	±0.23
2ο τμήμα	0.99996	±0.00022	0.13	±0.15	±0.23
3ο τμήμα	0.99958	±0.00021	0.66	±0.14	±0.22
4ο τμήμα	0.99986	±0.00022	0.78	±0.15	±0.24
Σταδία σε πλήρη ανάπτυξη	0.99995	±0.00004	-0.47	±0.12	±0.42

Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα μετρήσεων Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)

Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)	m	$\sigma_m$	b (mm)	$\sigma_b$ (mm)	$\sigma_0$ (μίας παρατήρησης) (mm)
1ο τμήμα	0.99933	±0.00018	0.85	±0.12	±0.19
2ο τμήμα	0.99945	±0.00028	0.41	±0.19	±0.29
3ο τμήμα	1.00000	±0.00026	0.00	±0.18	±0.27
4ο τμήμα	0.99970	±0.00016	0.46	±0.11	±0.17
Σταδία σε πλήρη ανάπτυξη	1.00015	±0.00004	-0.63	±0.12	±0.38

Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα μετρήσεων Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)

Για τον έλεγχο και τη διακρίβωση των χωροσταθμικών συστημάτων πραγματοποιήθηκαν δύο στατιστικοί έλεγχοι (πίνακας 4.7).

Ο πρώτος περιλαμβάνει το στατιστικό έλεγχο των διαφορών μεταξύ των μετρημένων τιμών και των διορθωμένων τιμών για τις υψομετρικές διαφορές, δηλαδή τη συμφωνία του συστήματος με τις πρότυπες τιμές.

Ο δεύτερος και πιο ουσιαστικός στατιστικός έλεγχος περιλαμβάνει τη σύγκριση της επίδοσης του συστήματος με τις τεχνικές προδιαγραφές του όπως παρέχονται από τον κατασκευαστή.

		Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)	Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)	Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)	Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)
1 <sup>ο</sup> τμήμα	1 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✓	✓	✓	✗
	2 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✓	✓	✓	✓
2 <sup>ο</sup> τμήμα	1 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✓	✗	✓	✓
	2 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✓	✓	✓	✓
3 <sup>ο</sup> τμήμα	1 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✓	✓	✗	✓
	2 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✓	✓	✓	✓
4 <sup>ο</sup> τμήμα	1 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✗	✓	✗	✗
	2 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✓	✓	✓	✓
Σταδία σε πλήρη ανάπτυξη	1 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✗	✓	✗	✗
	2 <sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος	✓	✓	✓	✓

Πίνακας 4.8: Στατιστικοί έλεγχοι χωροσταθμικών συστημάτων

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα, αν και τα χωροσταθμικά συστήματα δεν ικανοποιούν πλήρως τις συνθήκες του 1<sup>ου</sup> στατιστικού ελέγχου, περνούν με επιτυχία τον 2<sup>ο</sup>.

Δηλαδή, οι επιδόσεις τους είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές που ορίζει η κατασκευάστρια εταιρία.

Στον πίνακα 4.8 παρουσιάζονται οι δυσλειτουργίες των υπό έλεγχο χωροσταθμικών συστημάτων.

Topcon DL-102C (UH0192, 501-4091)	Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095)	Leica Sprinter 150M (2102227, 741882)	Leica Sprinter 150M (2102205, 741882)
Δυσλειτουργία σταδίας στα τμήματα 3.47m – 3.67m 3.85m – 4.00m	Δυσλειτουργία σταδίας στο τμήμα 1.85m – 1.95m	Δυσλειτουργία σταδίας στα τμήματα 2.66m – 2.76m 2.86m – 2.96m 3.79m – 3.89m	Δυσλειτουργία σταδίας στα τμήματα 0.89m – 0.99m 4.02m – 4.12m
Προβληματική συναρμογή 3 <sup>ου</sup> και 4 <sup>ου</sup> τμήματος		Προβληματική συναρμογή των τμημάτων της σταδίας	Προβληματική συναρμογή των τμημάτων της σταδίας

Πίνακας 4.9: Δυσλειτουργίες χωροσταθμικών συστημάτων

Τα συγκεκριμένα χωροσταθμικά συστήματα παρουσιάζουν δυσλειτουργίες, όπως έδειξε ο 2<sup>ος</sup> στατιστικός έλεγχος, επειδή είναι απλά συστήματα εργοταξίου και όχι συστήματα ακριβείας. Παρόλο που δεν υπάρχει ταύτιση με το πρότυπο σύστημα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες, εφόσον καλύπτουν τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

## 4.2 Προτάσεις

Με την ολοκλήρωση των εργασιών της διπλωματικής εργασίας κρίνεται σκόπιμο να γίνουν συγκεκριμένες προτάσεις οι οποίες θα μπορούσαν να διευκολύνουν παρόμοιες διαδικασίες στο μέλλον.

Η εγκατάσταση της βάσης ελέγχου καλό είναι να γίνει σε χώρο ο οποίος δεν θα επέβαλε περιορισμούς ύψους για την τοποθέτηση του χωροβάτη. Έτσι, για τη μέτρηση της σταδίας σε πλήρη ανάπτυξη, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας μηχανισμός ο οποίος θα αυξομείωνε το ύψος του χωροβάτη, χωρίς να απαιτείται επανατοποθέτησή του. Τέτοιος χώρος, θα μπορούσε να αποτελέσει ένα ειδικό εργαστήριο με μεγάλο ύψος (5m – 6m).

Κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη γυάλινης επιφάνειας και στη στάθμη 0 της βάσης ελέγχου αφού το ξύλο δείχνει να επηρεάζει αρκετά το τυπικό σφάλμα των μετρήσεων.

Η διαδικασία των μετρήσεων θα γινόταν αρκετά πιο εύκολη με την εγκατάσταση βοηθητικού φωτισμού κοντά στη βάση ελέγχου στην περίπτωση που ο φωτισμός του χώρου δεν είναι επαρκής ή / και ομοιόμορφος.

Για την ορθότητα των αποτελεσμάτων προτείνεται η βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Προτείνεται οι μετρήσεις της βαθμονόμησης και της διακρίβωσης να γίνονται ημέρες και ώρες που οι συνθήκες του περιβάλλοντος είναι ήπιες και δεν παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές κατά την εξέλιξη της διαδικασίας.

Τέλος, με την εισαγωγή ενός μηχανισμού στήριξης της σταδίας σε όλο το μήκος της οι μετρήσεις τόσο για τη βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου όσο και των διακριβώσεων θα μπορούσαν να γίνουν από ένα μόνο άτομο.

### **4.3 Χρονοδιάγραμμα εργασιών**

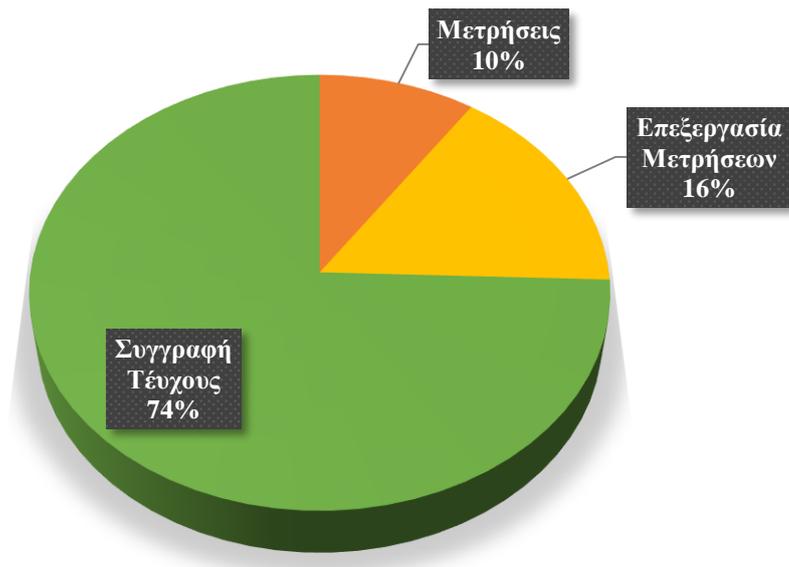
Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τον Μάρτιο του 2015 έως και το Σεπτέμβριο του 2015. Απαιτήθηκαν, δηλαδή, συνολικά 7 μήνες εργασιών. Κατά το πρώτο τρίμηνο πραγματοποιήθηκε η πλειοψηφία των μετρήσεων καθώς και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί. Η συγγραφή του τεύχους ξεκίνησε λίγο πριν την ολοκλήρωση των μετρήσεων και διήρκησε όλο το επόμενο τετράμηνο. Παράλληλα με τη συγγραφή γίνονταν αξιολογήσεις των αποτελεσμάτων της διακρίβωσης καθώς και οι απαραίτητες διορθώσεις.

Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις της βαθμονόμησης απαιτήσαν μία μέρα εργασιών (19/03/2015). Οι μετρήσεις για τα υπό έλεγχο όργανα απαιτήσαν δύο μέρες εργασιών για το κάθε ένα, μία για τις μετρήσεις των τμημάτων της σταδίας και μία για τη σταδία σε πλήρη ανάπτυξη (24/03/2015, 26/03/2015, 21/04/2015, 22/04/2015, 05/05/2015, 07/05/2015, 01/07/2015, 02/07/2015). Συνολικά, για την ολοκλήρωση των μετρήσεων απαιτήθηκαν συνολικά, 9 ημέρες.

Για την επεξεργασία των μετρήσεων, τη δημιουργία σχημάτων, πινάκων και διαγραμμάτων απαιτήθηκαν περίπου μία έως δύο ημέρες για κάθε σειρά μετρήσεων. Συνολικά, η επεξεργασία διήρκησε περίπου 15 ημέρες.

Για την συγγραφή του τεύχους και τις απαραίτητες διορθώσεις απαιτήθηκαν περίπου 70 ημέρες.

Η κατανομή των εργασιών παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.1.



*Διάγραμμα 4.1: Κατανομή χρόνου εργασιών*

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α. – Μ., «Θεωρία Σφαλμάτων & Συνορθώσεις I», Διδακτικές σημειώσεις, Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π., Αθήνα 2009
2. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α. – Μ., «Θεωρία Σφαλμάτων & Συνορθώσεις II», Διδακτικές σημειώσεις, Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π., Αθήνα 2009
3. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., «Εφαρμοσμένη Γεωδαισία», ISBN 978–960–456–205–3, Μάρτιος 2010
4. Μαθιουλάκης Ε., «Μέτρηση, ποιότητα μέτρησης και αβεβαιότητα», Εκδόσεις: Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων, Αθήνα 2004
5. Μπαλοδήμος Δ. – Δ., Αραμπατζή Ο., «Υψομετρία», Διδακτικές σημειώσεις, Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004
6. Ν.2231/94 (ΦΕΚ 139/Α/31.08.94), «Σύσταση και Λειτουργία Εθνικού Ινστιτούτου Μετρολογίας, Εθνικού Συμβουλίου Διαπίστευσης και άλλες διατάξεις»
7. Νικολίτσας Κ., «Ανάπτυξη Εργαστηριακών Μεθοδολογιών Διακρίβωσης Ψηφιακών Γεωδαιτικών Οργάνων», Διδακτορική Διατριβή, Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π., Αθήνα 2015
8. Πανταζής Γ., Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., «Η σχέση αβεβαιότητας μέτρησης και αβεβαιότητας αποτελέσματος στις γεωδαιτικές εφαρμογές», Δημοσίευση στο 2<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Θεσσαλονίκη 2007
9. BIMP, JCGM 200:2012, «International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)», 3<sup>η</sup> έκδοση, 2008
10. International Standard ISO 17123–2, «Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 2: Levels», Switzerland 2001
11. ISO/IEC Guide 2:1996, «Standardization and related activities -- General vocabulary», 1996

12. Leica Geosystems, Leica DNA03 / Leica DNA10, εγχειρίδιο χρήσης, Leica Geosystems AG, Heerbrugg Switzerland 2006
13. Leica Geosystems, Leica Sprinter 150(M) / 250M, εγχειρίδιο χρήσης, Leica Geosystems AG, Heerbrugg Switzerland 2009
14. Topcon Corporation, DL-101C / DL-102C, εγχειρίδιο χρήσης, Topcon Corporation, Tokyo Japan 1997

## **ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ**

1. <http://global.topcon.com/> (last access: 06/2015)
2. <http://www.eim.gr/> (last access: 06/2015)
3. <http://www.geminidataloggers.com/> (last access: 05/2015)
4. <http://www.geotech.gr/> (last access: 06/2015)
5. <http://www.leica-geosystems.com/> (last access: 06/2015)
6. <http://www.metraca.gr/> (last access: 06/2015)
7. <http://www.treecomp.gr/> (last access: 06/2015)
8. <http://www.trimble.com/> (last access: 06/2015)
9. <https://el.wikipedia.org/> (last access: 07/2015)



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Συνόρθωση βαθμονομήσεων βάσης ελέγχου

		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11			
0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
	4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
	5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0			
	6	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0			
	7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0			
	8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0			
	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0			
	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0			
	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
4		0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0			
5		0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0			
6		0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0			
7		0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0			
8		0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0			
9		0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0			
10		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0			
11		0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
2		4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0		
		5	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0		
	6	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0			
	7	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0			
	8	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0			
	9	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0			
	10	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0			
	11	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	3	5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0		
		6	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0		
		7	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0		
8		0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0			
9		0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0			
10		0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0			
11		0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1			
4		6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0		
		7	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0		
		8	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0		
		9	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0		
	10	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0			
	11	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1			
	5	7	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
		8	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0		
		9	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0		
		10	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0		
		11	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1		
6		8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0		
		9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0		
		10	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0		
		11	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
		7	9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
			10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
	11		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1		
	8		10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
			11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
			9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

*Πίνακας Π.1: Βαθμονομήσεις – πίνακας σχεδιασμού Α*

200.49
300.66
400.87
501.16
601.44
701.82
802.10
902.47
1002.90
1103.19
200.33
300.53
400.82
501.10
601.49
701.76
802.13
902.57
1002.85
200.38
300.67
400.95
501.33
601.61
701.98
802.42
902.70
200.49
300.77
401.16
501.44
601.80
702.24
802.52
200.57
300.95
401.23
501.60
602.04
702.32
200.66
300.94
401.31
501.75
602.03
200.66
301.03
401.47
501.75
200.65
301.08
401.37
200.81
301.09
200.75

0.0044
0.0049
0.0048
0.0046
0.0045
0.0036
0.0045
0.0049
0.0046
0.0053
0.0047
0.0046
0.0044
0.0042
0.0049
0.0042
0.0047
0.0044
0.0051
0.0049
0.0047
0.0046
0.0052
0.0046
0.0050
0.0048
0.0054
0.0052
0.0051
0.0056
0.0051
0.0055
0.0052
0.0058
0.0050
0.0056
0.0050
0.0054
0.0052
0.0058
0.0054
0.0044
0.0052
0.0049
0.0056
0.0047
0.0051
0.0048
0.0055
0.0056
0.0054
0.0060
0.0049
0.0055
0.0058

*Πίνακας Π.2: 1<sup>η</sup> βαθμονόμηση – πίνακας δl και u*

200.32	0.0049
300.50	0.0042
400.66	0.0046
500.94	0.0046
601.25	0.0051
701.67	0.0046
801.93	0.0045
902.29	0.0057
1002.71	0.0044
1102.97	0.0053
200.35	0.0032
300.51	0.0037
400.79	0.0037
501.10	0.0043
601.52	0.0040
701.78	0.0036
802.14	0.0050
902.56	0.0034
1002.83	0.0046
200.33	0.0045
300.62	0.0045
400.93	0.0049
501.35	0.0047
601.61	0.0043
701.97	0.0055
802.39	0.0042
902.65	0.0052
200.44	0.0037
300.75	0.0042
401.17	0.0039
501.43	0.0035
601.80	0.0049
702.21	0.0033
802.48	0.0046
200.59	0.0046
301.01	0.0043
401.27	0.0040
501.64	0.0053
602.05	0.0038
702.32	0.0049
200.73	0.0043
300.99	0.0035
401.36	0.0053
501.77	0.0038
602.04	0.0049
200.68	0.0045
301.04	0.0057
401.46	0.0043
501.73	0.0053
200.63	0.0054
301.04	0.0041
401.31	0.0051
200.78	0.0037
301.04	0.0048
200.68	0.0059

*Πίνακας Π.3: 2<sup>η</sup> βαθμονόμηση – πίνακας δl και u*

**Συνόρθωση διακρίβωσης Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) – τμήματα**

100.2	1
200.3	1
300.5	1
400.8	1
501.1	1
601.5	1
701.8	1
802.1	1
902.6	1
1002.8	1

100.2
200.5
300.5
401.0
501.2
601.6
702.1
802.6
903.1
1003.2

*Πίνακας Π.4: Διακρίβωση Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091), 1<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και δl*

100.2	1
200.3	1
300.5	1
400.8	1
501.1	1
601.5	1
701.8	1
802.1	1
902.6	1

100.1
200.4
300.8
401.0
501.5
601.7
702.1
802.5
902.9

*Πίνακας Π.5: Διακρίβωση Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091), 2<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δl*

100.2	1
200.3	1
300.5	1
400.8	1
501.1	1
601.5	1
701.8	1
802.1	1
902.6	1

100.1
200.3
300.7
400.9
501.3
601.7
702.1
802.5
902.6

*Πίνακας Π.6: Διακρίβωση Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091), 3<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δl*

100.2	1
200.4	1
300.6	1
400.9	1
501.3	1
601.6	1
702.0	1
802.4	1

100.3
200.8
301.0
401.5
501.8
602.1
702.5
802.9

*Πίνακας Π.7: Διακρίβωση Τορσον DL-102C (UH0192, 501-4091), 4<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δl*

**Συνόρθωση διακρίβωσης Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091) –  
σύνολο σταδίας**

1587.6	1
1487.4	1
1387.2	1
1287.1	1
1186.8	1
1086.5	1
986.1	1
885.8	1
785.4	1
685.0	1
584.7	1
2129.2	1
2029.1	1
1928.9	1
1828.7	1
1728.4	1
1628.1	1
1527.7	1
1427.5	1
1327.1	1
1226.7	1
1126.4	1
3059.3	1
2959.1	1
2858.9	1
2758.8	1
2658.5	1
2558.2	1
2457.8	1
2357.5	1
2257.1	1
2156.7	1
2056.4	1
3893.3	1
3793.1	1
3692.9	1
3592.7	1
3492.5	1
3392.2	1
3291.8	1
3191.5	1
3091.1	1
2990.7	1
2890.4	1

1587.6
1487.3
1386.8
1286.5
1186.1
1085.6
985.2
885.0
784.6
684.2
584.1
2128.9
2028.7
1928.6
1828.4
1728.1
1627.6
1527.1
1426.8
1326.3
1226.0
1125.6
3059.0
2959.3
2858.9
2758.7
2658.5
2558.2
2457.6
2357.3
2256.8
2156.4
2056.2
3892.9
3792.8
3692.4
3592.0
3491.8
3391.4
3291.0
3190.6
3090.1
2990.1
2889.9

*Πίνακας Π.8: Διακρίβωση Torcon DL-102C (UH0192, 501-4091),  
σύνολο σταδίας – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δι*

**Συνόρθωση διακρίβωσης Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095) – τμήματα**

100.2	1
200.3	1
300.5	1
400.8	1
501.1	1
601.5	1
701.8	1
802.1	1
902.6	1
1002.8	1

100.1
200.5
300.6
401.0
501.3
601.8
702.3
802.7
903.0
1003.5

*Πίνακας Π.9: Διακρίβωση Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095), 1<sup>ο</sup> τμήμα – σχεδιασμού A και πίνακας δl*

100.2	1
200.3	1
300.5	1
400.8	1
501.1	1
601.5	1
701.8	1
802.1	1
902.6	1

100.2
200.6
300.9
401.2
501.6
601.8
702.1
802.6
903.0

*Πίνακας Π.10: Διακρίβωση Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095), 2<sup>ο</sup> τμήμα – σχεδιασμού A και πίνακας δl*

100.2	1
200.3	1
300.5	1
400.8	1
501.1	1
601.5	1
701.8	1
802.1	1
902.6	1

100.3
200.3
300.7
401.0
501.3
601.6
702.3
802.7
903.2

*Πίνακας Π.11: Διακρίβωση Torcon DL-102C (UH1181, 501-4095), 3<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δl*

100.2	1
200.4	1
300.6	1
400.9	1
501.3	1
601.6	1
702.0	1
802.4	1

100.3
200.6
300.8
401.2
501.4
601.7
702.2
802.8

*Πίνακας Π.12: Διακρίβωση Τορσον DL-102C (UH1181, 501-4095), 4<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δl*

**Συνόρθωση διακρίβωσης Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095) –  
σύνολο σταδίας**

766.8	1
666.6	1
566.1	1
465.8	1
365.4	1
264.9	1
164.4	1
64.2	1
1784.6	1
1684.2	1
1584.0	1
1483.8	1
1383.3	1
1283.1	1
1182.5	1
1082.2	1
982.0	1
881.6	1
781.2	1
2838.4	1
2737.9	1
2637.8	1
2537.5	1
2437.2	1
2336.8	1
2236.4	1
2136.0	1
2035.6	1
1935.2	1
1835.2	1
3881.0	1
3780.4	1
3680.1	1
3579.9	1
3479.7	1
3379.2	1
3279.0	1
3178.6	1
3078.1	1
2977.7	1
2877.7	1

766.8
666.4
566.2
465.7
365.2
264.8
164.5
64.1
1784.4
1684.2
1584.0
1483.6
1383.4
1282.9
1182.5
1082.4
982.0
881.5
781.2
2838.1
2737.9
2637.7
2537.5
2437.1
2336.8
2236.3
2136.0
2035.6
1935.5
1835.0
3880.6
3780.3
3680.1
3580.0
3479.5
3379.4
3278.9
3178.5
3078.1
2977.9
2877.7

*Πίνακας Π.13: Διακρίβωση Topcon DL-102C (UH1181, 501-4095),  
σύνολο σταδίας – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δι*

**Συνόρθωση διακρίβωσης Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) – τμήματα**

100	1
200	1
300	1
401	1
501	1
601	1
702	1
802	1
902	1
1003	1
1103	1

100
200
301
401
501
602
702
802
902
1002
1103

*Πίνακας Π.14: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882), 1<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δl*

100	1
200	1
300	1
401	1
501	1
601	1
702	1
802	1
902	1
1003	1
1103	1

100
200
301
401
501
601
702
802
903
1003
1103

*Πίνακας Π.15: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882), 2<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δl*

100	1
200	1
300	1
401	1
501	1
601	1
702	1
802	1
902	1
1003	1
1103	1

101
201
301
401
501
602
702
802
903
1003
1103

*Πίνακας Π.16: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882), 3<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δl*

100	1
200	1
300	1
401	1
501	1
601	1
702	1
802	1
902	1
1003	1
1103	1

101
201
301
402
502
602
702
802
903
1003
1104

*Πίνακας Π.17: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882), 4<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δι*

**Συνόρθωση διακρίβωσης Leica Sprinter 150M (2102227, 741882) –  
σύνολο σταδίας**

4888	1
4788	1
4688	1
4587	1
4487	1
4387	1
4286	1
4186	1
4086	1
3985	1
3885	1
3832	1
3732	1
3632	1
3531	1
3431	1
3331	1
3230	1
3130	1
3030	1
2929	1
2829	1
2788	1
2688	1
2588	1
2487	1
2387	1
2287	1
2186	1
2086	1
1986	1
1885	1
1785	1
1737	1
1637	1
1537	1
1436	1
1336	1
1236	1
1135	1
1035	1
935	1
834	1
734	1
682	1
582	1
482	1
381	1
281	1
181	1
80	1

4887
4787
4687
4587
4487
4386
4286
4186
4086
3985
3885
3831
3731
3631
3530
3430
3330
3229
3129
3029
2928
2828
2788
2687
2587
2487
2386
2286
2186
2085
1985
1885
1784
1736
1636
1536
1436
1335
1235
1134
1034
934
834
733
682
582
482
382
281
181
80

*Πίνακας Π.18: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102227, 741882),  
σύνολο σταδίας – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δι*

**Συνόρθωση διακρίβωσης Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) – τμήματα**

100	1
200	1
300	1
401	1
501	1
601	1
702	1
802	1
902	1
1003	1
1103	1

101
201
301
401
502
602
702
802
903
1003
1103

*Πίνακας Π.19: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882), 1<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δλ*

100	1
200	1
300	1
401	1
501	1
601	1
702	1
802	1
902	1
1003	1
1103	1

100
200
301
401
501
601
701
802
902
1002
1103

*Πίνακας Π.20: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882), 2<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δλ*

100	1
200	1
300	1
401	1
501	1
601	1
702	1
802	1
902	1
1003	1
1103	1

100
200
301
401
501
601
701
802
902
1003
1103

*Πίνακας Π.21: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882), 3<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δλ*

100	1
200	1
300	1
401	1
501	1
601	1
702	1
802	1
902	1
1003	1
1103	1

101
201
301
401
501
601
702
802
903
1003
1104

*Πίνακας Π.22: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882), 4<sup>ο</sup> τμήμα – πίνακας σχεδιασμού A και πίνακας δι*

**Συνόρθωση διακρίβωσης Leica Sprinter 150M (2102205, 741882) –  
σύνολο σταδίας**

4890	1
4790	1
4690	1
4589	1
4489	1
4389	1
4288	1
4188	1
4088	1
3987	1
3887	1
3688	1
3588	1
3488	1
3387	1
3287	1
3187	1
3086	1
2986	1
2886	1
2785	1
2685	1
2485	1
2385	1
2285	1
2184	1
2084	1
1984	1
1883	1
1783	1
1683	1
1582	1
1482	1
1282	1
1182	1
1082	1
981	1
881	1
781	1
680	1
580	1
480	1
379	1
279	1
80	1

4890
4790
4689
4589
4489
4389
4289
4188
4088
3988
3887
3688
3588
3487
3387
3287
3187
3086
2986
2886
2785
2685
2484
2384
2284
2183
2083
1983
1883
1782
1682
1582
1481
1281
1181
1081
981
881
780
680
580
480
379
279
79

*Πίνακας Π.23: Διακρίβωση Leica Sprinter 150M (2102205, 741882),  
σύνολο σταδίας – πίνακας σχεδιασμού Α και πίνακας δι*