



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας

Μετρολογικός Έλεγχος Δεκτών GNSS κατά ISO για RTK μετρήσεις

Διπλωματική Εργασία
Πέτρος Πουλίδης

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Μαρία Τσακίρη
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2014

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, την επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα. Μαρία Τσακίρη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, για την εμπιστοσύνη της στην ανάθεση της, την άψογη συνεργασία, την καθοδήγηση και την υπομονή της, κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών.

Επίσης, εκφράζω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Γιώργο Πηνιώτη, Αγρονόμο και Τοπογράφο Μηχανικό και Ι.Δ.Α.Χ. της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, για την πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διαδικασία εξοικείωσης με τους δέκτες GNSS και την επεξεργασία των μετρήσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την ακλόνητη υποστήριξη τους, τα τελευταία 25 χρόνια και όλους εκείνους με τους οποίους υπήρξαμε συνοδοιπόροι κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μας χρόνων και, πιο πολύ, τη Δέσποινα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη των GNSS (Global Navigation Satellite Systems), και ιδιαίτερα οι τεχνικές τους, που δίνουν αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο, όπως ο Κινηματικός Εντοπισμός σε Πραγματικό Χρόνο (RTK) και η επέκτασή του, που περιλαμβάνει δίκτυα Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς (RTN), έχουν επιφέρει μία επανάσταση στη Τοπογραφία, καθώς έχουν επιταχύνει και διευκολύνει τη μέτρηση και την ένταξη τριγωνομετρικών σημείων σε κρατικά ή/και διεθνή συστήματα αναφοράς.

Κάθε εταιρία κατασκευής δεκτών GNSS, παρέχει την ακρίβεια των μετρήσεων που μπορεί να επιτύχει κάθε δέκτης. Αυτές οι τιμές πρέπει να είναι σε θέση να επιβεβαιωθούν περιοδικά, μέσω της βαθμονόμησης των δεκτών, για την εξασφάλιση αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Λόγω του ότι δεν έχει διατυπωθεί μία παγκοσμίως αποδεκτή μεθοδολογία βαθμονόμησης δεκτών GNSS, ο Οργανισμός ISO επιχειρεί την κάλυψη αυτού του κενού.

Το πρότυπο ISO 17123-8, που μελετάται στην παρούσα εργασία, επιχειρεί να προσδιορίσει την ακρίβεια που μπορεί να επιτύχει ένας δέκτης που διεξάγει μετρήσεις RTK και να συγκρίνει τα μεγέθη που υπολογίζει, με εκείνα που προδιαγράφονται από την εταιρία κατασκευής των δεκτών. Η διαδικασία που ακολουθείται δεν αποτελεί βαθμονόμηση αλλά μία διαδικασία προσδιορισμού, κυρίως, της εσωτερικής ακρίβειας των δεκτών.

Έτσι, στην εργασία αυτή πραγματοποιούνται μετρήσεις RTK και RTN, με βάση το πρότυπο αυτό, ώστε να μελετηθεί εν πρώτοις το ίδιο το πρότυπο και εν συνεχεία να διαπιστωθεί η συμμόρφωση των δεκτών που χρησιμοποιούνται με το αυτό. Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται είναι των εταιριών Leica, της σειράς 1200+, και της Trimble, τύπου 5800, και είναι ίδιων προδιαγραφών ακριβείας, ενώ το δίκτυο στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις είναι το δίκτυο της MetricaNet, με τη μέθοδο MAX.

Τα πειράματα αφορούν μετρήσεις διαφορετικής χρονικής διάρκειας και επιλύσεις με διαφορετικό αλλά και με το ίδιο πλήθος παρατηρήσεων, από αυτό που ορίζεται από το πρότυπο, για να διαπιστωθεί η σημασία τους. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.

Τα συμπεράσματα της εργασίας, είναι η μη σημαντική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων λόγω των διαφορετικών χρόνων παρατήρησης και η ορθή υιοθέτηση αριθμού παρατηρήσεων για την εξαγωγή αποτελέσματος από το πρότυπο. Επίσης, αποδεικνύεται η έλλειψη ουσίας στη διεξαγωγή μετρήσεων RTN με βάση το πρότυπο, καθώς έτσι ελέγχεται η ποιότητα του δικτύου και όχι του δέκτη, που είναι και το ζητούμενο. Τέλος, συμπεραίνεται η συμμόρφωση των δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν, με το πρότυπο και τις προδιαγραφές των κατασκευαστών τους.

Λέξεις Κλειδιά: GNSS, GPS, RTK, Δικτυακό RTK, RTN, βαθμονόμηση, ISO 17123-8, Πρότυπα Αναφοράς

ABSTRACT

The last decades, the development of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and the techniques that are used to produce Real-Time solutions, like the Real-Time Kinematic (RTK) technique and its expansion to Real-Time Networks (RTN), have greatly accelerated and made much easier, the field procedures for the Surveying Engineers.

Each GNSS Antenna Developer, provides the precision of the measurements that an Antenna can achieve. These values have to be examined periodically, through the procedure of the Antenna Calibration, to make sure that the gaining results are reliable. Due to the absence of a worldwide accepted GNSS calibration procedure, the ISO tries the filling of this gap.

The ISO Standard 17123-8, that is examined in the present Diploma Thesis, intends to determine the precision of an Antenna that conducts RTK observations and to compare the results with the ones that are provided by the manufacturers. The procedure itself is not a calibration method, but a procedure through which can be estimated, mainly, the precision of the Antennas.

In this Thesis, RTK and RTN measurements are conducted, according to the Standard, to study the Standard itself and then to find if the Antennas that are used, are conformed with it. The Antennas used are a pair of Leica series 1200+ and a pair of Trimble 5800 and the RTN is conducted through the Network of MetricaNet, using MAX technique.

The experiments included measurements with different time of observation and solutions with varied number of observations than the stated one on the Standard, to determine their importance. The measurements where conducted in the Campus of the National Technical University of Athens.

The conclusions were that the time of observation is of no big significance to the results and that the correct number of observations is adopted by the Standard. Also, the lack of sense in the use of RTN is concluded, as through that procedure is examined the quality of the Network used and not of the Antennas, which is the one needed. Finally, it is concluded that the Antennas used, are conformed with the ISO Standard and the specifications of their manufacturers.

Key Words: GNSS, GPS, RTK, Network RTK, RTN, calibration, ISO 17123-8, Standards

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Σκοπός της Εργασίας	2
1.3 Δομή της Εργασίας	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΕΡΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ	5
2.1 Γενικά.....	5
2.2 Τα Συστήματα Δορυφορικού Εντοπισμού Σήμερα	5
2.2.1 Σύστημα NAVSTAR/GPS.....	6
2.2.2 Σύστημα Glonass	7
2.2.3 Σύστημα Galileo.....	7
2.2.4 Σύστημα BeiDou - Compass.....	8
2.3 Μέθοδοι Δορυφορικού Εντοπισμού	9
2.3.1 Διαφορικός Εντοπισμός (Differential GPS - DGPS).....	11
2.3.2 Στατικός Εντοπισμός.....	12
2.3.3 Κινηματικός Εντοπισμός.....	12
2.3.4 Κινηματικός Εντοπισμός σε Πραγματικό Χρόνο (Real Time Kinematic - RTK)	13
2.3.5 Κινηματικός Εντοπισμός με χρήση Δικτύων Μόνιμων Σταθμών (Network RTK – RTN)	14
2.4 Βαθμονόμηση Δεκτών GNSS	20
2.4.1 Απόλυτη Βαθμονόμηση Εργαστηρίου	22
2.4.2 Απόλυτη Βαθμονόμηση Πεδίου	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΕΡΙ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	25
3.1 Γενικά.....	25
3.2 Λεξιλόγιο και Όροι Μετρολογίας	26
3.3 Ο Οργανισμός ISO	28
3.4 Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας	28
3.5 Η σειρά προτύπων 17123.....	29
3.6 Το Πρότυπο 17123 - 8	30
3.6.1 Συσχέτιση με άλλα διεθνή πρότυπα	30
3.6.2 Διαδικασίες μέτρησης.....	31
3.6.3 Απλοποιημένο τεστ (Simplified test).....	32
3.6.4 Σύνθετο τεστ (Full test procedure).....	34
3.6.5 Στατιστικά τεστ	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ	39
4.1 Γενικά.....	39
4.2 Γεωδαιτικός Εξοπλισμός	39

4.2.1	Πλήρης γεωδαιτικός σταθμός.....	39
4.2.2	Δέκτες GNSS	40
4.3	Πεδίο Μετρήσεων – Περιοχή Μελέτης.....	42
4.4	Εργασίες Πεδίου.....	45
4.4.1	Στατικός Εντοπισμός.....	45
4.4.2	Επίγειες Μετρήσεις	47
4.4.3	Πείραμα 1 - RTK Leica.....	48
4.4.4	Πείραμα 2 - RTK Trimble	49
4.4.5	Πείραμα 3 - RTN - MetricaNet.....	51
4.5	Σύνοψη Μετρήσεων.....	52
4.6	Προβλήματα – Δυσκολίες	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ		55
5.1	Γενικά.....	55
5.2	Επίλυση Στατικού Εντοπισμού	55
5.3	Επίλυση Επίγειων Μετρήσεων – Συνόρθωση Δικτύου	57
5.3.1	Οριζοντιογραφικό δίκτυο	57
5.3.2	Υψομετρικό δίκτυο	60
5.4	Πείραμα 1 - RTK Leica.....	62
5.4.1	Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test).....	62
5.4.2	Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure).....	65
5.4.3	Ποιότητα Μετρήσεων	67
5.5	Πείραμα 2 - RTK Trimble	68
5.5.1	Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test).....	68
5.5.2	Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure).....	71
5.5.3	Ποιότητα Μετρήσεων	73
5.6	Πείραμα 3 – RTN – MetricaNet	75
5.6.1	Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test).....	75
5.6.2	Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure).....	77
5.6.3	Ποιότητα Μετρήσεων	79
5.7	Στατιστικά Τεστ.....	80
5.7.1	Πείραμα 1 - RTK Leica.....	81
5.7.2	Πείραμα 2 - RTK Trimble	84
5.7.3	Πείραμα 3 – RTN – MetricaNet	86
5.7.4	Συγκρίσεις Μεταξύ των Διαφορετικών Πειραμάτων.....	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ		89
6.1	Γενικά.....	89
6.2	Συμπεράσματα	89
6.3	Προτάσεις.....	91

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	97
Μετρήσεις Πεδίου.....	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	107
Απλοποιημένα Τεστ.....	107
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	119
Σύνθετα Τεστ	119

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 2-1. Το Σύστημα NAVSTAR/GPS	6
Εικόνα 2-2. Απεικόνιση Γωνίας Αποκοπής, με $a > b$	10
Εικόνα 2-3. Διαφορικό GPS	11
Εικόνα 2-4. Απεικόνιση RTK (Πηγή : Donahue et al., 2012)	14
Εικόνα 2-5. Η Μέθοδος VRS (Πηγή : Δεληκαράογλου, 2006)	15
Εικόνα 2-6. Πολυωνυμική Παραμετροποίηση Σφαλμάτων μέσω της Τεχνικής FKP	16
Εικόνα 2-7. Σχηματική Αναπαράσταση Ομαδοποίησης ενός Δικτύου σε Cells και Clusters..	17
Εικόνα 2-8. Το Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών του Hepos (Πηγή : www.hepos.gr)	18
Εικόνα 2-9. Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών MetricaNet (Πηγή : www.metricanet.gr).....	19
Εικόνα 2-10. Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών Uranus (Πηγή : www.treecomp.gr).....	19
Εικόνα 2-11. Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών JGC (Πηγή : www.jgc.gr).....	20
Εικόνα 2-12. Μεταβολή Κέντρου Φάσης Δέκτη (Πηγή : Chen et al., 2012).....	22
Εικόνα 2-13. Απεικόνιση Ανηχοϊκού Θαλάμου	23
Εικόνα 2-14. Απεικόνιση του Ρομπότ-Βάσης Βαθμονόμησης	24
Εικόνα 3-1. Ο Ορισμός της Ακρίβειας και της Ορθότητας (Πηγή: Armstrong, 2013)	27
Εικόνα 3-2. Το Πεδίο Μετρήσεων κατά το Πρότυπο ISO 17123-8.....	31
Εικόνα 4-1. Ο Γεωδαιτικός Σταθμός Leica 1201	39
Εικόνα 4-2. Ο Δέκτης GNSS GX1230 της Leica και το Χειριστήριο RX1250.....	41
Εικόνα 4-3. Ο Δέκτης R8 GNSS/R6/5800 της Trimble	41
Εικόνα 4-4. Οι Αποστάσεις Μεταμόρφωση - Λαμπαδάριο και Μεταμόρφωση - Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου	43
Εικόνα 4-5. Επισήμανση των Σημείων του Δικτύου στη Ταράτσα του Λαμπαδάριου κτιρίου	44
Εικόνα 4-6. Παρουσίαση των Θέσεων των Σημείων του Τριγωνομετρικού Δικτύου	44
Εικόνα 4-7. Αυτοσχέδιο Υπαιθρου που δείχνει τις Σχετικές Θέσεις των Σημείων της Ταράτσας του Λαμπαδάριου (Πηγή : Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας)	45
Εικόνα 4-8. Φωτεινές Ενδείξεις του Δέκτη R8 GNSS/R6/5800 της Trimble.....	46
Εικόνα 4-9. Στήσιμο Δέκτη GNSS σε Τρίποδο.....	47
Εικόνα 4-10. Στιγμιότυπο Μέτρησης της Βάσης 4-9	47
Εικόνα 4-11. Η Μέθοδος των Τριών Τριπόδων.....	47
Εικόνα 4-12. Συνδεσμολογία Σταθερού Δέκτη Leica	48
Εικόνα 4-13. Μέτρηση Σημείου με Κινητό Δέκτη Leica	48
Εικόνα 4-14. Συνδεσμολογία Σταθερού Δέκτη Trimble	50
Εικόνα 4-15. Μέτρηση Σημείου με τη Μέθοδο RTN.....	52
Εικόνα 5-1. Οπτικοποίηση των Βάσεων στο Λογισμικό TBC.....	55
Εικόνα 5-2. Επεξεργασία Εισαγόμενων Δεδομένων στο Λογισμικό TBC.....	56
Εικόνα 5-3. Αποτελέσματα Επεξεργασίας Βάσεων στο Λογισμικό TBC	56
Εικόνα 5-4. Απεικόνιση Δικτύου και Ελλείψεων Σφάλματος στο Λογισμικό TBC	57
Εικόνα 5-5. 3D Ποιότητα των Μετρήσεων των Δεκτών Leica	68
Εικόνα 5-6. 3D Ποιότητα των Μετρήσεων των Δεκτών Trimble.....	75
Εικόνα 5-7. 3D Ποιότητα των Μετρήσεων στο Δίκτυο της MetricaNet.....	80

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 3-1. Αλληλουχία Μετρήσεων σε κάθε Σετ	33
Πίνακας 3-2. Στατιστικά Τεστ	36
Πίνακας 4-1. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Γεωδαιτικού Σταθμού Leica 1201.....	40
Πίνακας 4-2. Ακρίβειες Μέτρησης του Δέκτη GX 1230 της Leica σε Στατικό και Κινηματικό Εντοπισμό.....	40
Πίνακας 4-3. Τα RMS Ακρίβειας Μέτρησης του Δέκτη GX 1230, για Μετρήσεις Φέροντος Κύματος και Διαφοράς Φάσης (Πηγή: http://www.leica-geosystemssolutionscenters.com).....	40
Πίνακας 4-4. Ακρίβειες Μέτρησης του Δέκτη R8 GNSS/R6/5800 της Trimble σε Στατικό και Κινηματικό Εντοπισμό (Πηγή: http://www.sitechsw.com)	42
Πίνακας 4-5. Οι Συντεταγμένες των Σημείων του Τριγωνομετρικού Δικτύου στο ΕΓΣΑ '87, όπως έχουν υπολογιστεί από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας του ΕΜΠ.....	44
Πίνακας 4-6. Σύνοψη Μετρήσεων	52
Πίνακας 5-1. Πίνακας Συντεταγμένων Υπολογισμένων από το Λογισμικό TBC	56
Πίνακας 5-2. Τα Δεδομένα της Συνόρθωσης του Οριζοντιογραφικού Δικτύου	58
Πίνακας 5-3. Ακρίβειες Υπολογισμού Οριζοντιογραφικών Συντεταγμένων των Κορυφών του Δικτύου	60
Πίνακας 5-4. Τα Δεδομένα της Συνόρθωσης του Υψομετρικού Δικτύου	61
Πίνακας 5-5. Ακρίβεια Προσδιορισμού των Υψομέτρων των Κορυφών του Δικτύου	62
Πίνακας 5-6. Σύνοψη Συντεταγμένων και Ακρίβειών των Κορυφών του Δικτύου.....	62
Πίνακας 5-7. Ονομαστικές Τιμές Απλοποιημένου Τεστ.....	63
Πίνακας 5-8. Σύνοψη Αποτελεσμάτων Σύνθετου Τεστ για τους Δέκτες Leica.....	66
Πίνακας 5-9. Αποτελέσματα Σύνθετου Τεστ, του Αρχικού Συνόλου Μετρήσεων, με Δέκτες Trimble	71
Πίνακας 5-10. Σύνοψη Αποτελεσμάτων Σύνθετου Τεστ για τους Δέκτες Trimble	72
Πίνακας 5-11. Σύνοψη Αποτελεσμάτων Σύνθετου Τεστ για τους Δέκτες Leica με Μετρήσεις στο Δίκτυο της MetricaNet.....	78
Πίνακας 5-12. Συγκεντρωτική Παρουσίαση Τιμών f της Κατανομής Fischer, $F(0.975, \nu_1, \nu_2)$. ..	81
Πίνακας 5-13. Σύνοψη Απαντήσεων για τα Ερωτήματα (γ) και (δ), των Δεκτών Leica	83
Πίνακας 5-14. Σύνοψη Απαντήσεων για τα Ερωτήματα (γ) και (δ), των Δεκτών Trimble.....	85
Πίνακας 5-15. Οριακές Τιμές Ακρίβειας που Επιτυγχάνεται για κάθε Επίλυση, μέσω του MetricaNet	86
Πίνακας 5-16. Σύνοψη Απαντήσεων για τα Ερωτήματα (γ) και (δ),	87
Πίνακας 5-17. Σύνοψη Εφαρμογής Ερωτημάτων (γ) και (δ) μεταξύ των δειγμάτων Trimble και Leica.....	88
Πίνακας 1. Μετρήσεις Γεωδαιτικού Σταθμού.....	98
Πίνακας 2. Μετρήσεις Δεκτών Leica, για $\Delta t=30\text{sec}$	99
Πίνακας 3. Μετρήσεις Δεκτών Leica, για $\Delta t=60\text{sec}$	100
Πίνακας 4. Μετρήσεις Δεκτών Trimble, για $\Delta t=30\text{sec}$	101
Πίνακας 5. Μετρήσεις Δεκτών Trimble, για $\Delta t=60\text{sec}$	102
Πίνακας 6. Μετρήσεις στο Δίκτυο της MetricaNet, για $\Delta t=30\text{sec}$	103
Πίνακας 7. Μετρήσεις στο Δίκτυο της MetricaNet, για $\Delta t=60\text{sec}$	104
Πίνακας 8. Επεξεργασία Οριζοντίων Γωνιών	105
Πίνακας 9. Επεξεργασία Κατακόρυφων Γωνιών.....	106
Πίνακας 10. Αποστάσεις και Υψομετρικές Διαφορές ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 1, των 30sec	108
Πίνακας 11. Διαφορές Μετρήσεων και Ονομαστικών Τιμών ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 1, των 30sec.....	109
Πίνακας 12. Αποστάσεις και Υψομετρικές Διαφορές ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 1, των 60sec	110

Πίνακας 55. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2, του Πειράματος 3, για $\Delta t=60\text{sec}$	133
Πίνακας 56. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3, του Πειράματος 3, για $\Delta t=60\text{sec}$	134
Πίνακας 57. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3, του Πειράματος 3, για $\Delta t=60\text{sec}$	134

Περιεχόμενα Γραφημάτων

Γράφημα 5-1. Διαφορές Αποστάσεων - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 30sec με Δέκτες Leica.....	63
Γράφημα 5-2. Διαφορές Υψομετρικών Διαφορών - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 30sec με Δέκτες Leica.....	64
Γράφημα 5-3. Διαφορές Αποστάσεων - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 60sec με Δέκτες Leica.....	64
Γράφημα 5-4. Διαφορές Υψομετρικών Διαφορών - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 60sec με Δέκτες Leica.....	65
Γράφημα 5-5. Απεικόνιση Πειραματικών Τυπικών Αποκλίσεων για τους δέκτες Leica.....	66
Γράφημα 5-6. Ποιότητα Θέσης PDoP Συναρτήσσει του Αριθμού Παρατηρούμενων Δορυφόρων, για τα μετρημένα σημεία από τους Δέκτες Leica	68
Γράφημα 5-7. Διαφορές Αποστάσεων - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 30sec με Δέκτες Trimble	69
Γράφημα 5-8. Διαφορές Υψομετρικών Διαφορών - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 30sec με Δέκτες Trimble	69
Γράφημα 5-9. Διαφορές Αποστάσεων - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 60sec με Δέκτες Trimble	70
Γράφημα 5-10. Διαφορές Υψομετρικών Διαφορών - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 60sec με Δέκτες Trimble	70
Γράφημα 5-11. Απεικόνιση Πειραματικών Τυπικών Αποκλίσεων για τους Δέκτες Trimble ..	72
Γράφημα 5-12. Σύγκριση Ατμοσφαιρικών Συνθηκών, για τις δύο μέρες Παρατηρήσεων των Δεκτών Trimble.....	74
Γράφημα 5-13. Ποιότητα Θέσης PDoP Συναρτήσσει του Αριθμού Παρατηρούμενων Δορυφόρων, για τα μετρημένα σημεία από τους Δέκτες Trimble	75
Γράφημα 5-14. Διαφορές για το Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 30 sec στο Δίκτυο της MetricaNet	76
Γράφημα 5-15. Διαφορές για το Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 60 sec στο Δίκτυο της MetricaNet	77
Γράφημα 5-16. Απεικόνιση Πειραματικών Τυπικών Αποκλίσεων για τους δέκτες Leica, με Μετρήσεις στο Δίκτυο MetricaNet	79
Γράφημα 5-17. Ποιότητα Θέσης PDoP Συναρτήσσει του Αριθμού Παρατηρούμενων Δορυφόρων, για τα μετρημένα σημεία στο Δίκτυο της MetricaNet.....	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Τις τελευταίες δεκαετίες, μέσω της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας, όλες οι επιστημονικές εφαρμογές έχουν κάνει τεράστια πρόοδο. Ο κλάδος της Τοπογραφίας και της Γεωδαισίας δεν υστερεί σε αυτό, καθώς τα Συστήματα Δορυφορικού Εντοπισμού έχουν φτάσει σε σημείο να ανταγωνίζονται τις επίγειες μετρήσεις, από την άποψη της ακρίβειας που επιτυγχάνεται, για τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες. Επιπλέον, ο μικρός χρόνος παρατηρήσεων που απαιτείται για τη μέτρηση τριγωνομετρικών και ταχυμετρικών σημείων, έχει καταστήσει τη χρήση των δεκτών GNSS (Global Navigation Satellite Systems) εξαιρετικά ανταγωνιστική.

Διάφορες μεθοδολογίες και τεχνικές μέτρησης έχουν αναπτυχθεί, που επιτυγχάνουν διαφορετικές ακρίβειες εντοπισμού, ανάλογα με το χρόνο παρατήρησης, τον αριθμό των δεκτών που χρησιμοποιούνται, το αν οι μετρήσεις γίνονται με στατικό τρόπο ή εν κινήσει και από το τρόπο που αποκτώνται οι συντεταγμένες. Έτσι, έχουν προκύψει τεχνικές εντοπισμού που περιλαμβάνουν ένα ή δύο δέκτες, ο απόλυτος και ο σχετικός εντοπισμός, αντίστοιχα, ο στατικός και ο κινηματικός εντοπισμός και οι μέθοδοι μετεπεξεργασίας και επίλυσης πραγματικού χρόνου.

Από αυτές τις τεχνικές, οι πιο διαδεδομένες είναι ο στατικός εντοπισμός, που επιτυγχάνει ακρίβειες της τάξης των λίγων χιλιοστών αλλά απαιτεί μεγάλους χρόνους παρατήρησης και ο Κινηματικός Εντοπισμός Πραγματικού Χρόνου (Real Time Kinematic - RTK), που επιτυγχάνει ακρίβειες της τάξης του εκατοστού και πλεονεκτεί έναντι του στατικού, λόγω του μικρού χρόνου παρατήρησης, της τάξης των μερικών δεκάδων δευτερολέπτων.

Όμως, αν απαιτούνται καλύτερες ακρίβειες, ειδικά σε μεθόδους μέτρησης πραγματικού χρόνου, είναι απαραίτητη η εκ των προτέρων γνώση στοιχείων που αφορούν στους δέκτες που χρησιμοποιούνται, τα οποία πρέπει να μπορούν να προσδιοριστούν κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης τους. Τη στιγμή σύνταξης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η εξεύρεση και η ανάπτυξη μίας δομημένης και αυστηρά καθορισμένης διαδικασίας, που να προσδιορίζει τα κατάλληλα στοιχεία δεν έχει καταστεί ακόμα δυνατή. Αντίθετα, η φύση πολλών παραγόντων που εισάγουν σφάλματα στις μετρήσεις και σχετίζονται με τους δέκτες και το εγγύς περιβάλλον τους, δεν είναι ακόμα γνωστή και μελετάται από πολλούς μελετητές και ομάδες μελέτης, παγκοσμίως. Παρόλα αυτά, διάφορες προσεγγίσεις έχουν γίνει, τόσο εργαστηριακές όσο και υπαίθρου, και έχει συμφωνηθεί ότι κατά τη βαθμονόμηση, το στοιχείο που πρέπει να υπολογίζεται είναι, η Μεταβολή Κέντρου Φάσης (PCV), αφού προηγουμένως έχουν απαλειφθεί οι επιδράσεις του Φαινομένου Πολλαπλών Διαδρομών (Multipath).

Προς αυτή τη κατεύθυνση, με σκοπό να διαπιστωθεί σε ποιο βαθμό εξασφαλίζεται η ομοιογένεια των μετρήσεων και να υπάρχει μία *a priori* εκτίμηση της ικανότητας ενός δέκτη να επιτύχει αποτελέσματα συγκεκριμένης ακρίβειας, αναπτύχθηκε, το 2007, από τον οργανισμό ISO, ένα πρότυπο που αφορά στους δέκτες GNSS και, πιο συγκεκριμένα, στο RTK. Το πρότυπο αυτό ονομάζεται 17123-8 και περιγράφει μία διαδικασία μετρήσεων υπαίθρου και επεξεργασίας, η οποία σαν τελικό αποτέλεσμα δίνει την εσωτερική ακρίβεια των μετρήσεων αυτών και κατ' επέκταση την καταλληλότητα χρήσης ενός δέκτη, για την εκτέλεση μίας τοπογραφικής εργασίας συγκεκριμένων προδιαγραφών.

1.2 Σκοπός της Εργασίας

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, πραγματοποιούνται μετρήσεις Single Base RTK, για ζευγάρια δεκτών των εταιριών Leica και Trimble, ίδιων προδιαγραφών ακριβείας. Επίσης πραγματοποιούνται μετρήσεις Δικτυακού RTK (Real Time Network - RTN), με τη μέθοδο MAX, στο δίκτυο της MetricaNet. Οι μετρήσεις αυτές, γίνονται σύμφωνα με τα όσα περιγράφονται στο πρότυπο 17123-8 και πραγματοποιούνται στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.

Για την επίτευξη του ελέγχου ορθότητας των μετρήσεων αυτών, πραγματοποιούνται, επίσης, μετρήσεις στατικού εντοπισμού και επίγειες μετρήσεις με γεωδαιτικό σταθμό, με στόχο τον προσδιορισμό των στοιχείων ενός δικτύου τριών κορυφών, στο οποίο αναφέρονται οι μετρήσεις RTK.

Ο βασικός σκοπός της εργασίας, είναι διττός. Από τη μία, αποσκοπεί στην εφαρμογή και στην αξιολόγηση του προτύπου και από την άλλη, αποσκοπεί στην εφαρμογή του για Δικτυακό RTK, προκειμένου να διαπιστωθεί η αναγκαιότητα και η σημασία τέτοιων μετρήσεων, δεδομένου ότι στη διεθνή βιβλιογραφία δεν υπάρχουν αναφορές σε εφαρμογές του προτύπου σε RTN, παρ' όλο που το ίδιο το πρότυπο αναφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής του σε τέτοιου είδους μετρήσεις.

Επιμέρους στόχοι της εργασίας, είναι η εξαγωγή συμπεράσματος για τη συμμόρφωση ή μη των δεκτών του Εργαστηρίου Γενικής Γεωδαισίας με το πρότυπο, η μελέτη επίδρασης του χρόνου παρατήρησης και του διαφορετικού αριθμού σειρών μετρήσεων στα τελικά αποτελέσματα, αξιολόγηση της ποιότητας των μετρήσεων με βάση δείκτες DoP (Dilution of Precision) και τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων, καθώς και η εκμάθηση των δεκτών GNSS, Leica της σειράς 1200+ και Trimble 5800 και των διαδικασιών μέτρησης RTK.

1.3 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία, διαρθρώνεται ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται συνοπτική περιγραφή των Συστημάτων Δορυφορικού Εντοπισμού, που λειτουργούν αυτή τη στιγμή ή αναμένεται να λειτουργήσουν τα προσεχή χρόνια και στις διαφορετικές μεθόδους μέτρησης, που χρησιμοποιούνται στις γεωδαιτικές και μη, εφαρμογές. Επίσης, περιγράφονται οι τεχνικές εντοπισμού και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στις τοπογραφικές εφαρμογές, καθώς και η τρόπος λειτουργίας των Δικτύων Μόνιμων Σταθμών και τα ίδια τα Δίκτυα Μόνιμων Σταθμών της Ελλάδας. Τέλος, περιγράφονται οι, επί του παρόντος, αναπτυγμένες διαδικασίες βαθμονόμησης και το σημείο των μελετών σήμερα.

Στο Κεφάλαιο 3, παρατίθενται βασικοί ορισμοί που χρησιμοποιούνται στη Μετρολογία, ενώ παρουσιάζονται τα πρότυπα αναφοράς και οι κυριότεροι φορείς που τα συντάσσουν. Επιπλέον, περιγράφεται η σειρά προτύπων ISO 17123 και, τελικά, αναπτύσσεται το πρότυπο 17123-8, που αφορά στις μετρήσεις RTK και RTN.

Το Κεφάλαιο 4, περιλαμβάνει τις τεχνικές προδιαγραφές των οργάνων, τόσο του γεωδαιτικού σταθμού, όσο και των δεκτών GNSS Trimble και Leica, που χρησιμοποιήθηκαν. Ακόμα, παρουσιάζεται το πεδίο, στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και παρατίθενται οι λόγοι επιλογής του συγκεκριμένου πεδίου. Τέλος, παρουσιάζονται οι διαδικασίες και οι μέθοδοι μέτρησης που πραγματοποιήθηκαν και αποτέλεσαν τα τρία πειράματα αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται οι εργασίες που έγιναν για την επεξεργασία των μετρήσεων. Οπότε, παρατίθενται οι συνορθώσεις και οι επιλύσεις των μετρήσεων των δικτύων μέσω στατικού εντοπισμού και επίγειων μετρήσεων, ενώ για τα πειράματα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας και τα στατιστικά τεστ στα οποία υπόκεινται.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, γίνεται μία σύνοψη των όσων προηγήθηκαν και διατυπώνονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την εργασία αυτή, ενώ διατυπώνονται ιδέες, παρατηρήσεις και προτάσεις, που αποσκοπούν στην περαιτέρω μελέτη του προτύπου και στην εξέλιξη της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΕΡΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

2.1 Γενικά

Από τα αρχαία χρόνια είχε επισημανθεί η χρησιμότητα των ουράνιων σωμάτων για την πλοήγηση και τη ναυσιπλοΐα και γενικότερα για τον προσανατολισμό. Κατά τον 20^ο αιώνα και λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας, κατέστη δυνατό, τα ουράνια αυτά σώματα να αντικατασταθούν από τεχνητούς δορυφόρους, που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη, τα οποία θα μπορούν να αποστέλλουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα σε κατάλληλους δέκτες στη Γη και όχι μόνο να παρατηρούνται, όπως συνέβαινε παλαιότερα, με τα άστρα.

Έτσι, δημιουργήθηκαν τα πρώτα συστήματα δορυφορικού εντοπισμού, που ο τρόπος λειτουργίας τους βασίστηκε σε ήδη υπάρχουσες μεθόδους λειτουργίας των ραντάρ. Μέχρι σήμερα, πολλές αλλαγές έχουν επέλθει στις εφαρμογές που γίνεται χρήση αυτών των συστημάτων και στο εύρος χρήσης τους, από ειδικούς και μη. Σε σχέση, όμως, με τις γεωδαιτικές και τοπογραφικές εργασίες, τις έχουν καταστήσει πολύ πιο εύκολες και γρήγορες σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια.

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται περιγραφή των συστημάτων και των μεθόδων μέτρησης που επικρατούν σήμερα, καθώς και του εξοπλισμού που απαιτείται για τις γεωδαιτικές εφαρμογές. Επίσης, αναπτύσσεται το ζήτημα της βαθμονόμησης των δεκτών GNSS, που βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο, κάνοντας ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας και παρουσιάζοντας το σημείο των ερευνών, σήμερα.

2.2 Τα Συστήματα Δορυφορικού Εντοπισμού Σήμερα

Επί του παρόντος, τα Συστήματα Δορυφορικού Εντοπισμού ή, όπως είναι πλέον γνωστά διεθνώς, GNSS (Global Navigation Satellite Systems), έχουν αναπτυχθεί πολύ, σε σχέση με ό, τι συνέβαινε τις τελευταίες δύο δεκαετίες.

Μέχρι πρόσφατα, ο όρος αυτός δεν υπήρχε διότι το μόνο σύστημα που βρισκόταν σε λειτουργία ήταν το σύστημα GPS, των ΗΠΑ. Με την πάροδο των χρόνων, όμως, ολοένα και περισσότερα κράτη τείνουν να αναπτύσσουν δικά τους συστήματα δορυφορικού εντοπισμού και ήταν απαραίτητη η ανάπτυξη ενός όρου που να μπορεί να περιγράψει γενικά τον τρόπο εντοπισμού και όχι το σύστημα που χρησιμοποιείται.

Οι λόγοι που τα οικονομικά δυνατά κράτη επενδύουν σε τέτοια συστήματα είναι πολλοί. Τα συστήματα GNSS, έχουν εισχωρήσει στην καθημερινή ζωή και χρησιμοποιούνται από πολλούς χρήστες, είτε επιστήμονες είτε όχι, και συνεπώς είναι μέσο κερδοφορίας. Χρησιμοποιούν στην πλοήγηση, στη σύνταξη και στην ενημέρωση χαρτών, σε τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές, σε τεχνικά έργα και σε γεωδυναμικές εφαρμογές. Από την άλλη, μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο στις στρατιωτικές επιχειρήσεις και να δώσει πλεονέκτημα η κτήση και διαχείριση ενός τέτοιου συστήματος, στη μία εκ των αντιμαχόμενων πλευρών.

Τη στιγμή σύνταξης της παρούσας εργασίας, βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία τα συστήματα GPS και Glonass, ενώ μέσα στα επόμενα χρόνια αναμένεται και η έναρξη της λειτουργίας του Galileo και η πλήρης λειτουργία, με παγκόσμια κάλυψη, του BeiDou - Compass. Παρακάτω, περιγράφονται συνοπτικά, τα τέσσερα αυτά βασικά συστήματα.

2.2.1 Σύστημα NAVSTAR/GPS

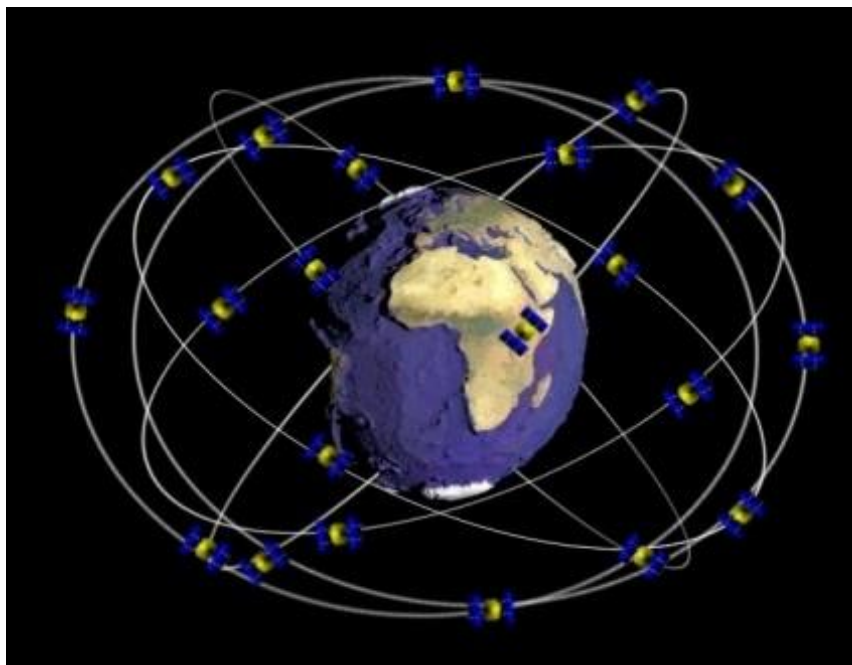
Το σύστημα NAVSTAR/ GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System) ή πιο απλά GPS, αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, για στρατιωτικούς λόγους, τη δεκαετία του 1960. Στα επόμενα χρόνια, αναπτύχθηκε περαιτέρω και έγινε διαθέσιμο και για πολιτικούς σκοπούς.

Βασίζεται στις αρχές λειτουργίας των παθητικών δορυφορικών συστημάτων ναυσιπλοΐας και εξασφαλίζει συνεχή και παγκόσμια πλοήγηση σε απεριόριστο αριθμό χρηστών, ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών. Μπορεί να αποδώσει πληροφορίες τρισδιάστατων συντεταγμένων, ταχύτητας και χρόνου, με την προϋπόθεση λήψης σήματος από τέσσερις τουλάχιστον δορυφόρους.

Αποτελείται από τρία λειτουργικά τμήματα, το λειτουργικό τμήμα διαστήματος, το λειτουργικό τμήμα εδάφους και το λειτουργικό τμήμα χρηστών.

Το λειτουργικό τμήμα διαστήματος, αποτελείται από 24 δορυφόρους, που είναι κατανομημένοι ανά τέσσερις, σε έξι τροχιακά επίπεδα, που σχηματίζουν γωνία 55° με το επίπεδο του Ισημερινού, ώστε να επιτυγχάνεται η ομοιόμορφη κάλυψη του πλανήτη (Εικόνα 2-1). Η τροχιά των δορυφόρων είναι σχεδόν κυκλική, με περίοδο περιστροφής τις 12 ώρες. Το ύψος πτήσης τους από την επιφάνεια της Γης είναι 20.200 km (www.gps.gov).

Τα σήματα των δορυφόρων είναι μοναδικά για κάθε έναν από αυτούς και διαμορφώνονται πάνω στις συχνότητες των μικροκυμάτων $L1= 1575.42$ MHz και $L2= 1227.60$ MHz. Η ακρίβεια του συστήματος για στιγμιαίο εντοπισμό είναι καλύτερη από 10 m, η ακρίβεια της ταχύτητας είναι της τάξης των 0.05 m/sec και 14 nanosecond, στον προσδιορισμό χρόνου (Karlan, 2006).



Εικόνα 2-1. Το Σύστημα NAVSTAR/GPS
(Πηγή : <http://www.alradhigroup.com>)

Το λειτουργικό τμήμα εδάφους αποτελείται από πέντε απομακρυσμένους σταθμούς παρακολούθησης του τμήματος διαστήματος, τρεις σταθμούς επικοινωνίας και ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου. Οι σταθμοί παρακολούθησης παρατηρούν σε συνεχή βάση όλους τους δορυφόρους και στέλνουν δεδομένα στον κεντρικό σταθμό, ο οποίος υπολογίζει

διορθώσεις εφημερίδων και χρονομέτρων. Ο κεντρικός σταθμός αυτός έχει τη δυνατότητα επέμβασης στη θέση και στη λειτουργία των δορυφόρων. Όλη η διαδικασία αυτή, είναι πλήρως αυτοματοποιημένη.

Τέλος, το τμήμα χρηστών, περιλαμβάνει όλους τους χρήστες του συστήματος, δηλαδή όλους εκείνους που λαμβάνουν τα σήματα των δορυφόρων, για οποιαδήποτε χρήση.

Λόγω, της αρχικής στρατιωτικής χρήσης του συστήματος GPS, υπάρχει η δυνατότητα της Μη – Εξαπάτησης, κατά την οποία ο γνωστός, ακριβής κώδικας P, που εκπέμπουν οι δορυφόροι, μετατρέπονται στον άγνωστο κώδικα Y, για να αποφευχθούν παρεμβολές στο σύστημα. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας (Selective Availability – S/A) και της υποβάθμισης της ακρίβειας του κώδικα C/A, εισάγοντας θόρυβο στο εκπεμπόμενο σήμα και υποβαθμίζοντας την ακρίβεια της εκπεμπόμενης τροχιάς. Και, οι δύο επιλογές, είναι σε αδράνεια και το σύστημα εκπέμπει στην πλήρη ακρίβεια του, κατόπιν προεδρικής οδηγίας του αμερικανού προέδρου. Η δυνατότητα υποβιβασμού της ακρίβειας όμως εξακολουθεί να υπάρχει και σε καιρούς πολέμου ή για πειραματικούς σκοπούς, μπορεί να εφαρμοστεί, καθιστώντας το σύστημα άχρηστο για πολιτικούς σκοπούς.

2.2.2 Σύστημα Glonass

Το σύστημα Glonass (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema ή Global Navigation Satellite System) είναι σύστημα παγκόσμιου δορυφορικού εντοπισμού, που αναπτύχθηκε, αρχικά, από την Πρώην Σοβιετική Ένωση τη δεκαετία του 1970. Περιελάμβανε έναν ικανό αριθμό δορυφόρων, αλλά έπειτα παρήκμασε. Τη δεκαετία του 2000, η Ρώσικη Κυβέρνηση ξεκίνησε τον εκσυγχρονισμό του συστήματος και από τα τέλη του 2011 είναι το μόνο, σε πλήρη επιχειρησιακή λειτουργία, σύστημα, μαζί με το πρωτοπόρο GPS. Ο διαχειριστής του συστήματος είναι η Πολεμική Αεροπορία της Ρωσίας (Russian Aerospace Defense Forces).

Αποτελείται από 24 δορυφόρους (21 + 3 εφεδρικούς), που κινούνται ανά 8, σε τρία τροχιακά επίπεδα. Η τροχιά τους είναι σχεδόν κυκλική με κλίση 64.8° ως προς το ισημερινό επίπεδο, με περίοδο περιστροφής 11 ώρες και 25 λεπτά και βρίσκονται σε ύψος 19.100 km πάνω από την επιφάνεια της Γης (www.russianspacweb.com).

Οι δορυφόροι εκπέμπουν σε συχνότητες που διαμορφώνονται με βάση τις βασικές συχνότητες L1 και L2, ενώ οι αντιδιαμετρικοί δορυφόροι εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα, λόγω περιορισμένου εύρους εκπομπής, που οφείλεται στον ανταγωνισμό κατάληψης συχνοτήτων με τις εταιρίες τηλεπικοινωνιών (Καρπουζιάς, 2008).

Η ακρίβεια του συστήματος για εφαρμογές πλοήγησης είναι της τάξης των 4-7 m, που είναι λίγο καλύτερη από αυτή του GPS. Στις περιοχές κοντά στους Πόλους η ακρίβεια του είναι καλύτερη, λόγω των τροχιών των δορυφόρων.

Το τμήμα εδάφους αποτελείται από σταθμούς ελέγχου που βρίσκονται κυρίως σε εδάφη της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, εκτός από ένα σταθμό στη Μπραζιλία, της Βραζιλίας. Ο κεντρικός σταθμός ελέγχου βρίσκεται στη Μόσχα.

2.2.3 Σύστημα Galileo

Το σύστημα Galileo, είναι παγκόσμιο σύστημα δορυφορικού εντοπισμού που αναπτύσσεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος. Σκοπός του είναι να παρέχει ένα σύστημα αποκλειστικά για πολιτικές εφαρμογές, ανεξάρτητο από τα άλλα

συστήματα, που σε καιρό πολέμου μπορούν να τεθούν εκτός λειτουργίας. Η έναρξη της πλήρους λειτουργία του, αναμένεται το 2019.

Το σύστημα θα αποτελείται από 30 δορυφόρους (27 + 3 εφεδρικούς), που θα κινούνται σε τρία τροχιακά επίπεδα με γωνία κλίσης 56° ως προς τον Ισημερινό. Η τροχιά τους θα είναι Μέση Γήινη Τροχιά, με περίοδο περιστροφής 14 ωρών και ύψος πτήσης τα 23.600 km (www.esa.int).

Τα σήματα των δορυφόρων θα παράγονται με βάση τις συχνότητες L1, E5=1207.14 MHz και E6= 1278.75 MHz, που θα διαμορφώνονται από σήματα πλοήγησης θα εξυπηρετούν πολλούς διαφορετικούς χρήστες και εφαρμογές (Καρπουζάς, 2008).

Αναμένεται να παρέχει ακρίβεια της τάξης των 4 m στην οριζοντιογραφία και 8 m στην υψομετρία και καλύτερη ακρίβεια εντοπισμού από τα υπόλοιπα συστήματα κοντά στους Πόλους. Επίσης, σε συνδυασμό με το σύστημα GPS αναμένεται να παρέχει κάλυψη αστικών περιοχών της τάξης του 95%, βελτιώνοντας σε μεγάλο βαθμό τις αστικές εφαρμογές (Φωτίου, 2006).

Είναι το μόνο σύστημα που θα παρέχει λειτουργία έρευνας και διάσωσης. Οι δορυφόροι θα είναι εξοπλισμένοι με αναμεταδότη που θα προωθεί τα σήματα από τους πομπούς των χρηστών στο Κέντρο Συντονισμού Διάσωσης, το οποίο θα ξεκινά την επιχείρηση διάσωσης. Αυτή η λειτουργία, είναι ιδιαίτερης σημασίας γιατί είναι η πρώτη λειτουργία που επιτρέπει την αποστολή σήματος από τους χρήστες στο σύστημα.

Θα διαθέτει δικό του πλαίσιο αναφοράς, το GTRF, (Galileo Terrestrial Reference Frame), που θα διαφέρει λίγα εκατοστά από το WGS '84.

Το τμήμα εδάφους θα αποτελείται από 20 σταθμούς παρακολούθησης και από 2 κέντρα ελέγχου, με έδρα το Μόναχο της Γερμανίας και το Fucino της Ιταλίας.

2.2.4 Σύστημα BeiDou - Compass

Το σύστημα BeiDou (BeiDou Navigation Satellite System, BDS), είναι ένα νέο σύστημα που αναπτύσσεται από τη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας και επί του παρόντος, υποστηρίζει, τοπικά, τις χώρες της Νοτιοανατολικής Ασίας.

Αποτελείται από δύο ξεχωριστές ομάδες δορυφόρων. Το πρώτο, που ονομάζεται BeiDou 1 (BeiDou Satellite Navigation Experimental System), είναι ένα σύστημα μικρής κλίμακας που λειτουργεί πειραματικά από το 2000. Αποτελείται από τρεις δορυφόρους που κινούνται σε Γεωστατική Τροχιά και έχει περιορισμένες δυνατότητες και εφαρμογές. Υποστηρίζει κυρίως χρήστες στην Κίνα, και δευτερευόντως στις γείτονες χώρες.

Αντίθετα, η δεύτερη ομάδα δορυφόρων που επισήμως ονομάζεται BDS αλλά επίσης BeiDou 2 ή Compass, είναι η επόμενη γενιά του συστήματος, που θα παρέχει παγκόσμια κάλυψη. Θα αποτελείται από 35 δορυφόρους και αναμένεται να λειτουργήσει το 2020. Οι πέντε από τους δορυφόρους αυτούς, θα κινούνται και πάλι σε Γεωστατική Τροχιά, τρεις σε Γεωσύγχρονη Τροχιά και οι υπόλοιποι είκοσι επτά σε Μέση Γήινη Τροχιά (Medium Earth Orbit - MEO), με περίοδο περιστροφής γύρω από τη Γη, περίπου 12 ωρών (en.beidou.gov.cn).

Από άποψη ακρίβειας, θα υπάρχουν δύο υπηρεσίες. Η μία θα αφορά πολιτικές εφαρμογές και θα είναι διαθέσιμη σε όλους τους χρήστες, φτάνοντας ακρίβειες εντοπισμού της τάξης των 10 μέτρων, ακρίβεια μέτρησης χρόνου, τα 10 nanosecond και ταχύτητας, τα 0.2 m/sec. Η δεύτερη θα αφορά στρατιωτικές εφαρμογές με ακρίβεια εντοπισμού θέσης, τα 10 cm.

Σήμερα, έχουν ήδη μπει σε λειτουργία 10 δορυφόροι και παρέχουν δεδομένα στην Κίνα από το 2011 και στις γείτονες χώρες, από το τέλος του 2012.

2.3 Μέθοδοι Δορυφορικού Εντοπισμού

Κατά τη διαδικασία του δορυφορικού εντοπισμού, έχουν αναπτυχθεί δύο βασικοί τρόποι παραγωγής αποτελεσμάτων. Ο πρώτος αφορά στον εντοπισμό θέσης με μέτρηση της ψευδοαπόστασης και ο δεύτερος στον εντοπισμό με μέτρηση διαφοράς φάσης.

Η μέτρηση της **ψευδοαπόστασης** βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται από την εκπομπή του σήματος από έναν δορυφόρο μέχρι τη λήψη του από τον δέκτη. Θεωρώντας γνωστή τη ταχύτητα του φωτός και άρα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, μπορεί να υπολογιστεί η μεταξύ τους απόσταση.

Όμως, επειδή το μήκος κύματος του σήματος αυτού είναι αρκετά μεγάλο, όπως για παράδειγμα του κώδικα C/A, του συστήματος GPS, που είναι της τάξης των 300 m, η ακρίβεια της μέτρησης μπορεί να γίνει με αβεβαιότητα περίπου ± 3 m ή για τον κώδικα P, του ίδιου συστήματος, που έχει μήκος κύματος 30m, η αβεβαιότητα ανέρχεται στα 0.3m. Αυτό προκύπτει, επειδή υπάρχει δυνατότητα μέτρησης με ακρίβεια 1/100 του κύκλου. Τα μήκη κύματος των εκπεμπόμενων κωδίκων των υπολοίπων συστημάτων είναι της ίδιας τάξης μεγέθους και παρέχουν παρόμοιες ακρίβειες εντοπισμού. Στα παραπάνω, αν συνυπολογιστούν και οι παράγοντες που εισάγουν σφάλματα στη μέτρηση, όπως οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας στην ακτινοβολία, οι αποκλίσεις της πραγματικής από τη θεωρητική τροχιά των δορυφόρων, τα σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων και του δέκτη, καθώς και το γεγονός ότι οι δορυφόροι βρίσκονται σε διαρκή κίνηση, η τελική αβεβαιότητα του προσδιορισμού θέσης είναι της τάξης των μερικών μέτρων, όπως φαίνεται από την περιγραφή που προηγήθηκε.

Αντίθετα, η μέτρηση της **διαφοράς φάσης** των σημάτων, που είναι η κατεξοχήν μέθοδος που εφαρμόζεται για γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές, έχει πολύ μικρότερη αβεβαιότητα, λόγω της υψηλότερης συχνότητας των σημάτων και άρα του μικρότερου μήκους κύματος. Έτσι, για τις βασικές συχνότητες L1 και L2, με μήκη κύματος 0.19 m και 0.24 m, αντίστοιχα, η αβεβαιότητα είναι περίπου ± 2 mm (Leick, 2004).

Η μέθοδος αυτή, λειτουργεί με τον εγκλωβισμό ενός δορυφόρου από τον δέκτη και την ταύτιση της φάσης του ημιτονοειδούς και σταθερής ονομαστικής συχνότητας, φέροντος κύματος, που λαμβάνει, με τα εσωτερικά σήματα που παράγει ο ίδιος ο δέκτης, για αυτό το σκοπό. Η πρώτη ανάγνωση που θα γίνει δεν είναι αναγκαίο να αποτελεί και την πρώτη μέτρηση που θα καταγραφεί.

Το κύριο και κρίσιμο ζήτημα της εν λόγω μεθόδου, είναι το ζήτημα της **επίλυσης των ασαφειών φάσης (Initialization)**. Την πρώτη στιγμή κλειδώματος του σήματος ο δέκτης μετρά το κλασματικό μέρος του κύκλου αλλά δεδομένου ότι δεν υπάρχει τρόπος για να ξεχωρίσει τον έναν κύκλο από τον άλλον, δεν μπορεί να γνωρίζει τον ακέραιο αριθμό κύκλων που αντιστοιχούν στην απόσταση μεταξύ δέκτη και δορυφόρου. Ο αριθμός αυτός ακέραιων κύκλων ονομάζεται ασάφεια φάσης και παραμένει σταθερός για κάθε ζεύγος δορυφόρου και δέκτη καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων, υπό την προϋπόθεση ότι δεν θα υπάρχει απώλεια σήματος (Φωτίου, 2006).

Ο προσδιορισμός τους μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο είτε με εκ των υστέρων επεξεργασία. Στην πρώτη περίπτωση, γίνεται με βάση λογισμικά που αναπτύσσονται από την κάθε εταιρία κατασκευής δεκτών, ενώ στην δεύτερη περίπτωση γίνεται με επίλυση με εφαρμογή μεθόδων συνόρθωσης, όπως της Μεθόδου Ελαχίστων Τετραγώνων ή φίλτρου

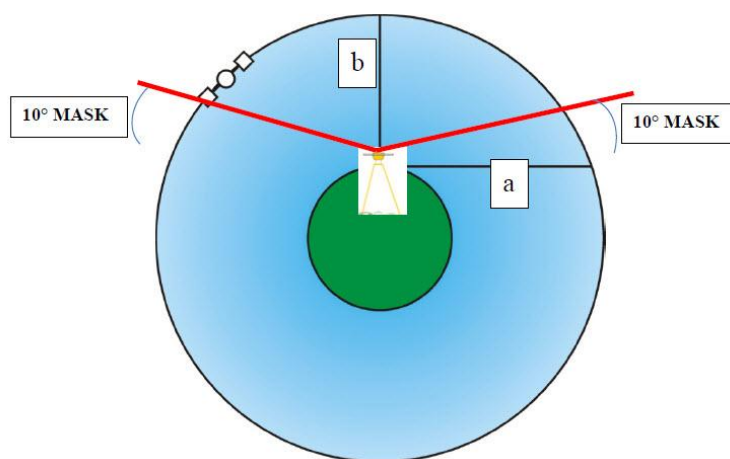
Kalman. Έτσι, υπολογίζονται δεκαδικές τιμές των ασαφειών και εν συνεχεία μετατρέπονται σε ακέραιες τιμές, με διάφορες διαδικασίες, με πιο συνήθη αυτή της λεγόμενης Γενικής Έρευνας.

Από πρακτικής άποψης, μπορεί να γίνει με τέσσερις τρόπους. Με μέτρηση γνωστής βάσης, με μέτρηση άγνωστης βάσης, με εναλλαγή κεραιών και με εν κινήσει επίλυση (On the Fly).

Ο πιο διαδεδομένος και ο πιο εύκολος τρόπος, είναι ο τελευταίος. Απαιτεί δέκτες δύο συχνοτήτων, κάτι που δεν είναι πρόβλημα, καθώς πλέον οι περισσότεροι γεωδαιτικοί δέκτες, είναι δύο συχνοτήτων. Είναι όμοιος με την επίλυση ασαφειών με τη τεχνική της μέτρησης άγνωστης βάσης, μόνο που στη συγκεκριμένη περίπτωση, αντί ο κινητός δέκτης να είναι σταθερός, μπορεί να κινείται και να μετράει σημεία, παράλληλα με τη μέτρηση της βάσης που υλοποιούν οι δύο δέκτες. Αν για κάποιο λόγο, υπάρξει απώλεια δορυφόρων, πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία της αρχικοποίησης, τα σημεία που έχουν μετρηθεί χάνονται και πρέπει να μετρηθούν ξανά.

Σημαντικά στοιχεία που επηρεάζουν την ποιότητα μέτρησης με συστήματα GNSS είναι η **γωνία αποκοπής (Cut – Off Angle ή Elevation Mask)** και οι **δείκτες DoP**.

Η Γωνία Αποκοπής είναι ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τα σήματα των δορυφόρων που βρίσκονται χαμηλά στον ορίζοντα εμπεριέχουν μεγάλο ποσοστό θορύβου, εξ' αιτίας της μεγάλης γωνίας πρόσπτωσης τους στα στρώματα της ατμόσφαιρας και στη μεγάλη διαδρομή που διανύουν μέσα σε αυτή. Επομένως, είναι προτιμότερο να μην καταγράφονται στους δέκτες GNSS κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, για να αποφευχθεί υποβάθμιση της ποιότητας των αποτελεσμάτων. Γι' αυτό το λόγο, επιλέγεται μία γωνία αποκοπής, που κυμαίνεται μεταξύ 10° και 15° , μετρούμενη από τον ορίζοντα του δέκτη, προκειμένου από τη μία να αποκλείονται μετρήσεις με μεγάλο ποσοστό θορύβου και από την άλλη, να μην αποκλείεται μεγάλος αριθμός δορυφόρων και τελικά δεν μπορέσει να παραχθεί αποτέλεσμα (Εικόνα 2-2).



Εικόνα 2-2. Απεικόνιση Γωνίας Αποκοπής, με $a > b$
(Πηγή : Henning, 2011)

Αντίθετα, οι δείκτες DoP, αποτελούν ένα εργαλείο ελέγχου της ποιότητας των μετρήσεων. Από τους διάφορους δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, οι πιο σημαντικοί είναι οι HDOP, VDoP και PDoP, με τον τελευταίο να αποτελεί συνδυασμό στις τρεις διαστάσεις των δύο προηγούμενων, που αναφέρονται στον προσδιορισμό οριζόντιων και κατακόρυφων συντεταγμένων, αντίστοιχα.

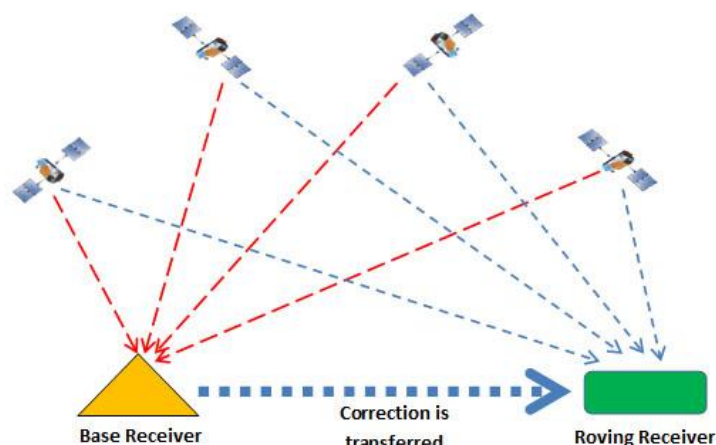
Ο δείκτης **PDOP (Position Dilution of Precision)**, είναι ένας αδιάστατος δείκτης που εκφράζει την επίδραση του γεωμετρικού σχηματισμού των δορυφόρων στον ουράνιο θόλο, τη στιγμή της μέτρησης, στη τριδιάστατη ακρίβεια. Τα σφάλματα από τις παρατηρούμενες ποσότητες ουσιαστικά πολλαπλασιάζονται με τον δείκτη και αποδίδουν μία τιμή σφάλματος που σχετίζεται με τη γεωμετρία των δορυφόρων. Εξ' ου και η σημασία του δείκτη, που όσο παίρνει τιμές κοντά στο 1, τόσο καλύτερη η ποιότητα των συντεταγμένων, αφού δεν εισάγονται επιπλέον σφάλματα. Κάτω από εξαιρετικές συνθήκες και με παρατηρήσεις μεγάλου αριθμού δορυφόρων, ο δείκτης μπορεί να είναι μικρότερος από 1, και αυτό σημαίνει ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) των συντεταγμένων είναι μικρότερο από τη τυπική απόκλιση των μετρήσεων. Σχετίζεται με τους οριζόντιους και τους κατακόρυφους δείκτες DoP, με τη σχέση $PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$.

2.3.1 Διαφορικός Εντοπισμός (Differential GPS - DGPS)

Η αρχή του διαφορικού εντοπισμού βασίζεται στο γεγονός ότι τα περισσότερα σφάλματα που υφίστανται και επιδρούν στις μετρήσεις GNSS, είναι σε μεγάλο βαθμό κοινά για τους χρήστες που δραστηριοποιούνται στην ίδια γεωγραφική περιοχή και παρατηρούν τους ίδιους δορυφόρους.

Για την πραγματοποίηση αυτής της μεθόδου, απαιτούνται, τουλάχιστον, δύο δέκτες GNSS. Ο ένας από αυτούς, καταλαμβάνει ένα σταθερό σημείο, με, εκ των προτέρων, γνωστές συντεταγμένες. Συνεπώς, είναι δυνατόν με βάση τις γνωστές θέσεις των δορυφόρων, όπως αποστέλλονται από την εκπεμπόμενη εφημερίδα, να υπολογιστούν οι αποστάσεις που θα έπρεπε να μετρά ο εν λόγω δέκτης προς κάθε δορυφόρο του συστήματος. Αυτές οι αποστάσεις, συγκρίνονται με τις πραγματικά μετρούμενες αποστάσεις προς τους ίδιους δορυφόρους και η διαφορά τους είναι τα σφάλματα της ψευδοαπόστασης (Εικόνα 2-3).

Τα σφάλματα αυτά μεταδίδονται, σε πραγματικό χρόνο, δια μέσω ενεργού ραδιοζεύξης, στους υπόλοιπους δέκτες που δραστηριοποιούνται στην ίδια περιοχή και που μπορεί να είναι, είτε σταθεροί είτε κινητοί. Αν οι δέκτες χρησιμοποιούν τους ίδιους ή τουλάχιστον τέσσερις κοινούς δορυφόρους με τον σταθερό, οι διαφορές αυτές χρησιμοποιούνται ως διορθώσεις των μετρήσεων και βελτιώνουν την ακρίβεια του εντοπισμού (Ζησόπουλος, 2006).



Εικόνα 2-3. Διαφορικό GPS
(Πηγή : www.engineeringsall.com)

Όταν, οι μετρήσεις δεν αναφέρονται σε ψευδοαπόσταση αλλά σε μέτρηση φάσης, δεν χρησιμοποιείται ο όρος Διαφορικό GPS αλλά ο όρος **Σχετικός Εντοπισμός**. Είναι όμοιος με

το Διαφορικό GPS, από άποψη φιλοσοφίας, όμως ανάλογα με τη μέθοδο των μετρήσεων μπορεί να διαφοροποιηθεί.

Όπως και προηγουμένως, χρησιμοποιούνται δύο δέκτες, εκ των οποίων ο ένας καταλαμβάνει σημείο γνωστών συντεταγμένων. Έτσι είναι δυνατός ο υπολογισμός του διανύσματος (ΔX , ΔY , ΔZ), των δύο σημείων, που ονομάζεται βάση, και όχι οι απόλυτες συντεταγμένες (X , Y , Z), όπως συμβαίνει στην περίπτωση του Απόλυτου Εντοπισμού, που χρησιμοποιείται ένας δέκτης.

Ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης και κυρίως με τη μέθοδο επεξεργασίας, δηλαδή αν θα υπάρξει εκ των υστέρων επίλυση ή αν απαιτείται επίλυση σε πραγματικό χρόνο, είναι δυνατό να παραληφθεί η ραδιοζεύξη που αναφέρθηκε προηγουμένως. Κάτι τέτοιο συμβαίνει στην περίπτωση της επεξεργασίας εκ των υστέρων.

2.3.2 Στατικός Εντοπισμός

Αποτελεί μία μεθοδολογία κατά την οποία δύο δέκτες καταλαμβάνουν, ο ένας ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων και ο άλλος το σημείο που απαιτείται ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του, και παραμένουν ακίνητοι για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Αν η μετρούμενη βάση είναι μεγαλύτερη από 15 – 20 km ή, για μικρότερες βάσεις, αν υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις ακριβείας, της τάξης των λίγων χιλιοστών, τότε ενδείκνυται η χρήση του **Απλού Στατικού Εντοπισμού**, όπου ο χρόνος κατάληψης των σημείων είναι αρκετά μεγάλος, της τάξης των 40 – 90 λεπτών της ώρας.

Αν, οι βάσεις είναι μικρότερες, και η ακρίβεια που απαιτείται είναι της τάξης των μερικών εκατοστών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο λεγόμενος **Ταχύς Στατικός Εντοπισμός** (Fast Static), κατά τον οποίο διαφοροποιείται ο χρόνος παρατηρήσεων, που ανέρχεται στα 5 – 20 λεπτά.

2.3.3 Κινηματικός Εντοπισμός

Ο κινηματικός εντοπισμός είναι εξ ορισμού μία μέθοδος σχετικού εντοπισμού. Χρησιμοποιείται για αποτυπώσεις και μετρήσεις σημείων σε περιοχές σχετικά μικρών εκτάσεων, με λίγα φυσικά και τεχνητά εμπόδια, ώστε το σήμα των δορυφόρων να μην εμποδίζεται. Ο χρόνος παρατήρησης των σημείων είναι πολύ μικρός και κυμαίνεται από λίγες δεκάδες δευτερόλεπτα μέχρι 2 λεπτά.

Κατά τον κινηματικό εντοπισμό, απαιτούνται ένας Σταθερός Δέκτης ή Δέκτης Αναφοράς (Base ή Reference), που τοποθετείται στο γνωστό σημείο και, τουλάχιστον, ένας Κινητός Δέκτης (Rover), που επισκέπτεται τα προς αποτύπωση σημεία.

Η λογική της μεθόδου, είναι ότι από τη στιγμή που θα επιλυθούν οι ασάφειες φάσης, ο κινητός δέκτης είναι σε θέση να μετακινείται και να επισκέπτεται σημεία, υπό την προϋπόθεση της κοινής παρακολούθησης, τουλάχιστον, τεσσάρων ίδιων δορυφόρων, από τους δύο δέκτες.

Στην περίπτωση που χαθεί το σήμα κάποιων δορυφόρων και ο παρατηρούμενος αριθμός πέσει κάτω από τους τέσσερις, πρέπει να γίνει εκ νέου η επίλυση των ασαφειών και έπειτα μπορεί να συνεχιστεί η μέτρηση των σημείων, χωρίς κανένα πρόβλημα.

Η σύγχρονη και πιο διαδεδομένη εφαρμογή του, είναι ο Κινηματικός Εντοπισμός σε Πραγματικό Χρόνο, που παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω, ενώ επίσης εφαρμόζεται και ο Συνεχής Κινηματικός Εντοπισμός, κατά τον οποίο δεν απαιτείται κατάληψη ενός σημείου

αλλά λόγω της μεγάλης συχνότητας καταγραφής, μπορεί να υπάρχει καταγραφή της συνεχούς κίνησης του δεκτή. Συνέπεια αυτού είναι η απόδοση της πορείας του δέκτη που μπορεί να βρίσκεται σε κινούμενο όχημα ή να μεταφέρεται από το χρήστη.

2.3.4 Κινηματικός Εντοπισμός σε Πραγματικό Χρόνο (Real Time Kinematic - RTK)

Αποτελεί την ταχύτερη και την ακριβέστερη εφαρμογή των συστημάτων δορυφορικού εντοπισμού, που παράγει αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο, έχοντας αβεβαιότητα περίπου 1 cm. Ο συνήθης χρόνος μετρήσεων που χρησιμοποιείται είναι τα 15 – 30 sec, αν και μπορεί να είναι και μεγαλύτερος.

Η διαφορά του από την γενική περίπτωση του κινηματικού εντοπισμού, είναι ότι για να υπάρξουν αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο, απαιτείται υλοποίηση μία ραδιοζεύξης μεταξύ των δύο δεκτών. Η ραδιοζεύξη αυτή μπορεί να είναι είτε από ένα ραδιομόντεμ (συνήθως UHF- Ultra High Frequency) είτε μέσω συστημάτων GSM (κινητής τηλεφωνίας), είτε έμμεσα μέσω Διαδικτύου. Μέσω αυτής, αποστέλλονται διορθώσεις από τον σταθερό δέκτη στον κινητό, ο οποίος τις χρησιμοποιεί για την παραγωγή αποτελεσμάτων την ίδια στιγμή (Εικόνα 2-4). Η μετάδοση των διορθώσεων γίνεται με τη χρήση διαφόρων τύπων μηνύματος RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services), που υποστηρίζονται από όλους τους τύπους των δεκτών που διαθέτουν το απαραίτητο λογισμικό (Κατσουγιαννόπουλος, 2010).

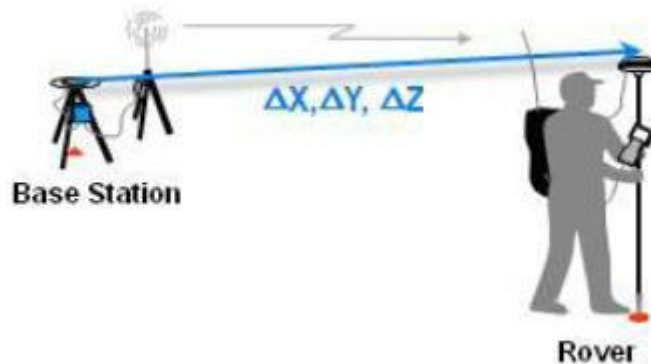
Τελικά, ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι:

- Δύο δέκτες GNSS (κατά προτίμηση της ίδιας κατασκευάστριας εταιρίας)
- Ένα τρίποδο και ένα τρικόχλιο ή μία βάση κέντρωσης σε βάθρο, για χρήση του από τον σταθερό δέκτη
- Ένας στυλαίος για προσαρμογή του κινητού δέκτη σε αυτόν
- Ένα σύστημα ραδιοζεύξης

Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι ο χρήστης είναι ανά πάσα χρονική στιγμή σε θέση να ελέγξει την ποιότητα των μετρήσεων που συλλέγει και είναι σίγουρος τη στιγμή που αποχωρεί από το πεδίο ότι έχει τα επαρκή δεδομένα, κάτι που δεν συμβαίνει σε εργασίες με εκ των υστέρων επεξεργασία, που μπορεί να χαθεί το σήμα των δορυφόρων και ο χρήστης δεν θα είναι ενήμερος. Επίσης, δεν απαιτείται συνεργείο για τις μετρήσεις και μπορεί να εφαρμοστεί από ένα άτομο.

Ο κύριος περιορισμός της, είναι το γεγονός ότι δεν πρέπει να υπάρχει μεγάλη απόσταση μεταξύ των δύο δεκτών, διότι η ακρίβεια του συστήματος είναι αντιστρόφως ανάλογη με αυτή. Στη διεθνή βιβλιογραφία, αναφέρεται ότι η απόσταση μεταξύ σταθερού και κινητού δέκτη δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10 km, ενώ όσο μικρότερη είναι τόσο καλύτερα αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν (Rizos, 2003, Παραδείσης 2000).

Γενικά, η ακρίβεια καθορίζεται από όρους που σχετίζονται με την απόσταση, όπως τις αποκλίσεις των θεωρητικών τροχιών των δορυφόρων από τις πραγματικές, και διαταραχές τις ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας, που επηρεάζουν το σήμα, και από όρους που σχετίζονται με τους δέκτες, όπως το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών (multipath) και οι Μεταβολές του Κέντρου Φάσης (PCV) (Wübbena, 2001).



Εικόνα 2-4. Απεικόνιση RTK (Πηγή : Donahue et al., 2012)

2.3.5 Κινηματικός Εντοπισμός με χρήση Δικτύων Μόνιμων Σταθμών (Network RTK – RTN)

Τα τελευταία χρόνια, λόγω της ταχύτατης διάδοσης και χρήσης του RTK, έγινε αντιληπτή η χρησιμότητα των δικτύων μόνιμων σταθμών αναφοράς, δημόσιων ή ιδιωτικών, για διευκόλυνση της τεχνικής αυτής. Συνεπώς, αναπτύχθηκε μία νέα προσέγγιση του κλασσικού Single Base RTK, που ονομάστηκε Δικτυακό RTK (Network RTK ή RTN).

Με αυτό τον τρόπο, είναι δυνατή η παράκαμψη του περιορισμού της απόστασης μεταξύ σταθμού αναφοράς και κινητού δέκτη, διότι μέσω της ύπαρξης δικτύων μόνιμων σταθμών, ο χρήστης είναι σε θέση να χρησιμοποιεί αυτούς, αντί για το δικό του base station, που παρέχουν βελτιωμένη ακεραιότητα, συνοχή και ακρίβεια, με χρήση αραιότερου δικτύου μόνιμων σταθμών, που μπορεί να παρέχει αποτελέσματα της ίδιας τάξης ακρίβειας με το RTK, για βάσεις της τάξης των 50-70 km (Λαϊνάς, 2009).

Η λογική του συστήματος, είναι ότι σε μία γεωγραφική περιοχή, που μπορεί να είναι μεγέθους νομού, χώρας, ηπείρου ή και παγκόσμια, εγκαθίστανται δέκτες GNSS και πραγματοποιούν παρατηρήσεις συνεχώς, με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει πλήρης κάλυψη της περιοχής. Οι παρατηρήσεις αυτές, από όλους τους δέκτες, αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο σε ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου, ο οποίος τις συγκεντρώνει, τις επεξεργάζεται και παράγει ένα ενιαίο αποτέλεσμα επίλυσης του δικτύου αυτού. Έπειτα, ο κάθε χρήστης είναι σε θέση, όπως και στο RTK, να λάβει διορθώσεις και σφάλματα παρατήρησης, υπό την προϋπόθεση ότι βρίσκεται εντός των ορίων του δικτύου.

Με αυτό τον τρόπο, παράγεται ομοιογενές και αξιόπιστο αποτέλεσμα, σε πραγματικό χρόνο. Ο χρήστης απαιτείται, συνήθως, να πληρώσει μία ετήσια συνδρομή για την απεριόριστη χρήση του συστήματος και στη συνέχεια μπορεί να πραγματοποιεί μετρήσεις πεδίου ίδια ακρίβειας με του Single Base RTK, με χρήση μόνο ενός κινητού δέκτη. Αυτό προσφέρει ταχύτητα και ευκολία στις μετρήσεις, αφού μπορούν να πραγματοποιηθούν από ένα άτομο και δεν απαιτείται συνεργείο, ενώ προσφέρει και οικονομία λόγω του ότι δεν απαιτείται ενοίκιο ή αγορά δεύτερου δέκτη για να χρησιμοποιηθεί ως σταθερός.

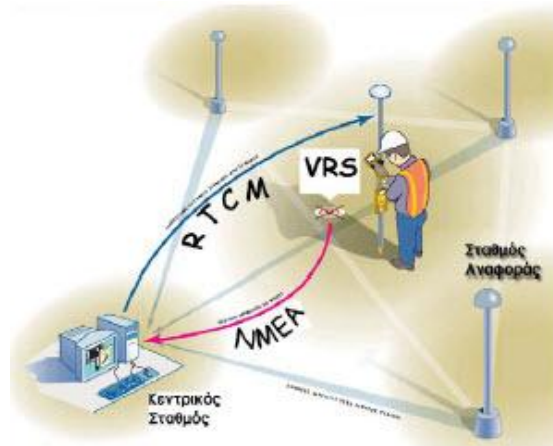
❖ Τεχνικές Μέτρησης σε Δίκτυα Μόνιμων Σταθμών

Σήμερα, υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι δικτύωσης των σταθμών και διανομής των διορθώσεων σε ένα δίκτυο RTN:

- Οι **Εικονικοί Σταθμοί Αναφοράς** ή **VRS** (Virtual Reference Stations) που για την εφαρμογή της, απαιτείται αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του κέντρου ελέγχου του

δικτύου και του κινητού δέκτη, χωρίς να απαιτείται κανένας νέος τύπος μηνυμάτων (διορθώσεων), δεδομένου ότι η διαδικασία λειτουργεί με τα ίδια τυποποιημένα μηνύματα όπως στο συμβατικό RTK και το DGPS.

Ένας εικονικός σταθμός είναι ουσιαστικά μία προσομοίωση ενός σταθμού αναφοράς. Για να μπορέσει να δημιουργηθεί, το δίκτυο πρέπει να αριθμεί τουλάχιστον τρεις σταθμούς αναφοράς (Εικόνα 2-5). Σε οποιαδήποτε θέση στην περιοχή κάλυψης του δικτύου, το κέντρο ελέγχου μπορεί, με βάση τις παραμέτρους των υπολογισμένων μοντέλων των σφαλμάτων από τις παρατηρήσεις όλων των



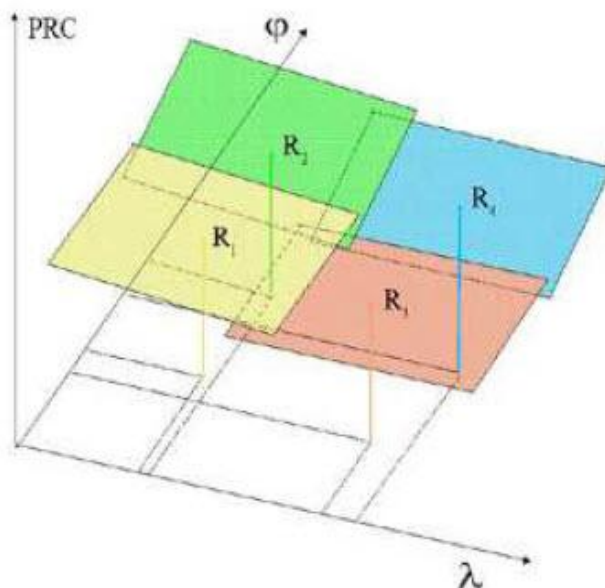
Εικόνα 2-5. Η Μέθοδος VRS (Πηγή : Δεληκαράογλου, 2006)

παρακείμενων πραγματικών σταθμών αναφοράς και με βάση την προσεγγιστική θέση του κάθε χρήστη, να υπολογίσει τα στοιχεία των διορθώσεων που θα έστειλε κανονικά ένας πραγματικός σταθμός αναφοράς που θα δραστηριοποιούταν στην περιοχή. Οι διορθώσεις αυτές αποστέλλονται στους χρήστες, επιτρέποντας τον διαφορικό εντοπισμό σημείων, με μεγάλη ακρίβεια (Δεληκαράογλου, 2006).

- Η **Μετάδοση Παραμέτρων Επιφανειακών Διορθώσεων** ή **FKP** (από το γερμανικό όρο FlächenKorrekturParameter) που εφαρμόζει και χρησιμοποιεί μία πολυωνυμική παραμετροποίηση για να περιγράψει την επιρροή των σφαλμάτων GNSS, για οποιαδήποτε θέση ενός χρήστη σε μία ορισμένη περιοχή. Ουσιαστικά, θεωρείται μία επιφάνεια που εκφράζεται από μία σειρά πολυωνυμικών συντελεστών και που προσεγγίζει τις διακυμάνσεις των εν λόγω σφαλμάτων από σημείο σε σημείο, σε μία περιοχή ενδιαφέροντος (Δεληκαράογλου, 2006).

Ανάλογα με τη χρονική και τη χωρική παραλλαγή των επιμέρους σφαλμάτων, μπορεί να καθοριστεί και η ανάλογη πολυπλοκότητα ή αλλιώς, ο βαθμός, του πολυωνύμου που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την επιφάνεια (Εικόνα 2-6). Κατά τη διαδικασία αποστολής των όρων του πολυωνύμου, απαιτείται μονόδρομη επικοινωνία μεταξύ κέντρου ελέγχου και δέκτη, όπου το πρώτο στέλνει το πολυώνυμο και ο δέκτης το λαμβάνει. Τότε ο χρήστης, ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται υπολογίζει τις τιμές των σφαλμάτων και εφαρμόζει τις αντίστοιχες διορθώσεις (Γιαννίου, 2008).

Σημαντικό είναι ότι σε μία περιοχή, ο κάθε χρήστης εφαρμόζει διαφορετικά μοντέλα, για παράδειγμα ιονόσφαιρας, αφού το διορθωτικό μήνυμα περιλαμβάνει μεταβλητές παραμέτρους για κάτι τέτοιο. Επίσης, η τεχνική αυτή εφαρμόζεται μόνο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, ενώ η VRS μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε εφαρμογές μετεπεξεργασίας.



Εικόνα 2-6. Πολυωνυμική Παραμετροποίηση Σφαλμάτων μέσω της Τεχνικής FKP
(Πηγή : Wübbena et al, 2001)

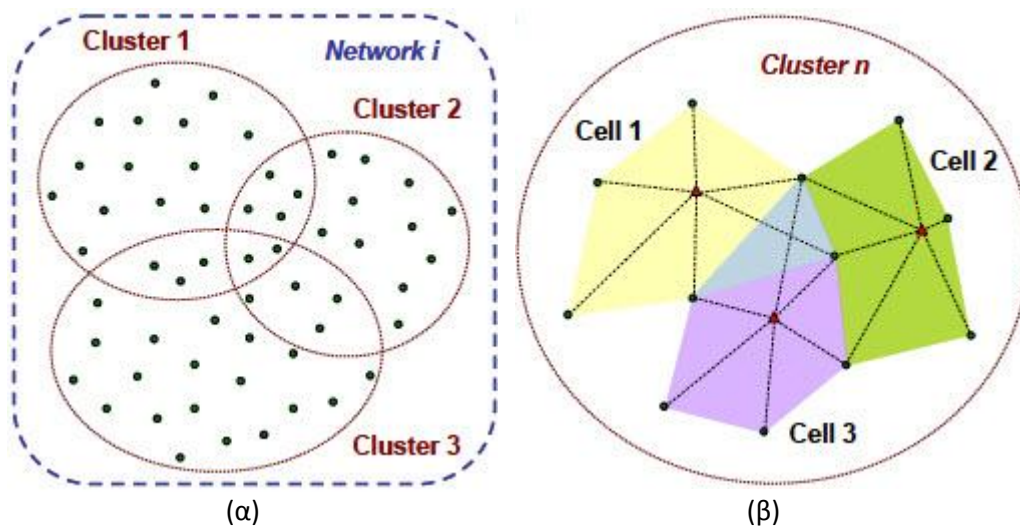
- Η **Τεχνική MAC** (Master – Auxiliary Concept) βασίζεται στην αποστολή διορθώσεων από έναν Κύριο Σταθμό Αναφοράς (Master) και διαφορές διορθώσεων από γειτονικούς Βοηθητικούς Σταθμούς (Auxiliary). Όπως και η FKP, μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Σύμφωνα με τη φιλοσοφία της εν λόγω τεχνικής, ο χρήστης λαμβάνει όλη τη, σχετική με τα σφάλματα, πρωτογενή πληροφορία χωρίς την εισαγωγή κάποιου είδους μοντελοποίηση από το δίκτυο. Έτσι, είναι σε θέση να εφαρμόσει προηγμένους αλγόριθμους για να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις των σφαλμάτων και να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ακρίβεια (Γιαννίου, 2008).

Οι διορθώσεις που στέλνονται είναι επιπέδου ασάφειας φάσης. Δύο δέκτες είναι στο ίδιο επίπεδο ασάφειας φάσης, όταν οι ακέραιοι αριθμοί τους αλληλοαναιρούνται κατά την εφαρμογή διπλών διαφορών. Το λογισμικό επεξεργασίας των παρατηρήσεων του δικτύου προσδιορίζει τις ασάφειες φάσης και τις φέρνει στο ίδιο επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο οι παρατηρήσεις μένουν ανέπαφες από εισαγωγή μοντέλων ατμόσφαιρας και εφημερίδων και εισάγονται μόνο ακέραιοι αριθμοί. Οι διαφορές διορθώσεων που λαμβάνονται είναι ελεύθερες από την ασάφεια φάσης. Επομένως, είναι δυνατή η αλλαγή Κύριου Σταθμού κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, χωρίς την εκ νέου αρχικοποίηση. Λόγω του ότι ο τελευταίος χρησιμεύει μόνο ως προς την αποστολή διορθώσεων και δεν συμμετέχει στον υπολογισμό τους, γι' αυτό το λόγο είναι άνευ σημασίας το αν είναι ο κοντινότερος στον Rover ή όχι.

Στα μεγάλα δίκτυα, οι σταθμοί αναφοράς ομαδοποιούνται σε Cells και Clusters, προκειμένου να αποφεύγεται η συμφόρηση του δικτύου, που θα συνέβαινε αν για κάθε χρήστη συμμετείχαν ως βοηθητικοί σταθμοί όλοι οι σταθμοί του δικτύου (Εικόνα 2-7). Τα διαφορετικά Clusters μπορούν να είναι διαφορετικού επιπέδου ασάφειας.

Το δίκτυο, δεν χρειάζεται να γνωρίζει τη θέση του δέκτη, ωστόσο αν αυτό συμβαίνει, τότε η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται για την καλύτερη ένταξη του κινητού δέκτη σε cell και cluster.



Εικόνα 2-7. Σχηματική Αναπαράσταση Ομαδοποίησης ενός Δικτύου σε Cells και Clusters
(Πηγή : Janssen, 2009)

Με βάση αυτή τη τεχνική, έχουν υπάρξει δύο διαφοροποιήσεις της. Η μία είναι η λεγόμενη MAX και η άλλη η i-MAX.

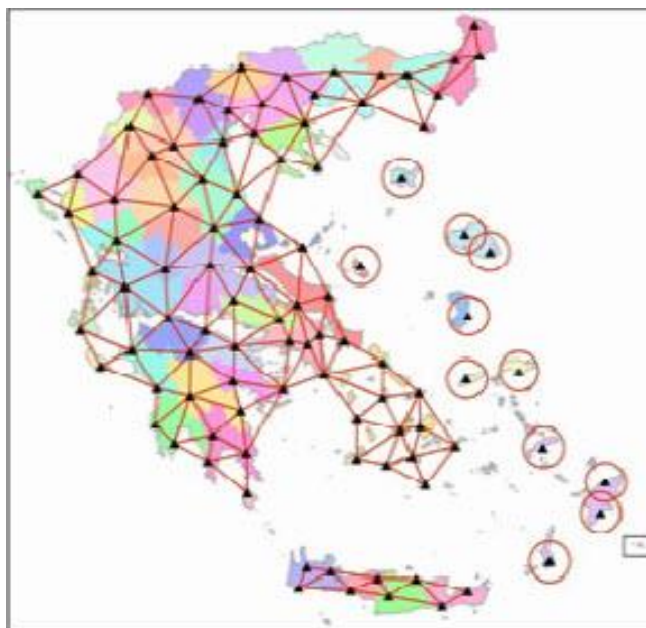
Η πρώτη, μπορεί να λειτουργήσει είτε με μονόδρομη είτε με αμφίδρομη επικοινωνία του Rover με το δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση, τα cells και τα clusters είναι προκαθορισμένα από το κέντρο ελέγχου του δικτύου και γι' αυτό ο χρήστης πρέπει να επιβεβαιώσει ότι έχει συνδεθεί στο κατάλληλο cell. Στην αμφίδρομη επικοινωνία, ο κινητός δέκτης στέλνει τη θέση του και επιλέγεται ένα cell που αντιστοιχεί σε αυτή και επιλέγεται ως Κύριος Σταθμός ο κοντινότερος και ως βοηθητικοί οι σταθμοί που θα δώσουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Τέλος, η i-MAX λειτουργεί μόνο με αμφίδρομη επικοινωνία. Ο τρόπος λειτουργίας της είναι όμοιος με της αμφίδρομης MAX, με τη διαφορά ότι στην πρώτη, οι διορθώσεις εφαρμόζονται και στον Κύριο Σταθμό. Συνεπώς, προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό τη λογική και τον τρόπο λειτουργίας του VRS και φέρει πολλά από τα μειονεκτήματα του (Janssen, 2009).

❖ Δίκτυα Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς στην Ελλάδα

Σήμερα, είναι διαδεδομένα τα εθνικά και τα ιδιωτικά δίκτυα, ενώ δεν είναι λίγα και τα διηπειρωτικά δίκτυα που έχουν αναπτυχθεί στην Ευρώπη, την Αυστραλία, τις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά.

Στην Ελλάδα, τα εθνικά δίκτυα είναι του Herpos (Hellenic Positioning System) και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Τα πρώτο αποτελείται από 98 μόνιμους σταθμούς, που καλύπτουν πλήρως τον ελλαδικό χώρο, ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο και ένα κέντρο ελέγχου (Εικόνα 2-8). Ο φορέας διαχείρισης του είναι η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. Αξιοποιεί τους δορυφόρους GPS, αλλά όχι και τους Glonass και Galileo. Υποστηρίζει εφαρμογές μετεπεξεργασίας αλλά και πραγματικού χρόνου. Αναπτύχθηκε για να καλύψει τις ανάγκες σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου. Το σύστημα αναφοράς του Herpos είναι το HTRS '07, που αποτελεί υλοποίηση του ευρωπαϊκού ETRS '87, στον ελλαδικό χώρο (Δήμου, 2011).



Εικόνα 2-8. Το Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών του Hepos (Πηγή : www.hepos.gr)

Το δεύτερο, είναι πολύ πιο περιορισμένο και αποτελείται από 12 μόνιμους σταθμούς, που βρίσκονται ως επί το πλείστον στο Ιόνιο Πέλαγος, για μελέτη των σεισμικών δονήσεων της περιοχής. Συνεπώς δεν εξυπηρετεί τις τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές αφού το ίδιο το Αστεροσκοπείο, δεν ασχολείται με αυτές αλλά με ερευνητικά προγράμματα αστρονομίας, φυσικής και γεωδυναμικής.

Από άποψη ιδιωτικών δικτύων, έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα από τους αντιπροσώπους των προϊόντων των αντίστοιχων κατασκευαστών τοπογραφικών οργάνων. Έτσι, έχουν συσταθεί τα εξής δίκτυα (Δήμου, 2011):

- **MetricaNet:** αναπτύχθηκε από την εταιρία Metrica, που είναι ο αντιπρόσωπος της Leica, στην Ελλάδα. Είναι το πιο διαδεδομένο και μέχρι πρόσφατα αποτελούσε το μεγαλύτερο ιδιωτικό δίκτυο, μέχρι που το ξεπέρασε το Uranus της Topcon. Αριθμεί 75 μόνιμους σταθμούς σε όλη τη χώρα καλύπτοντας τη πλήρως, με ακρίβεια προσδιορισμού συντεταγμένων 1 – 3 cm (Εικόνα 2-9). Υποστηρίζει τους δορυφόρους όλων των συστημάτων GNSS και παρέχει δεδομένα πραγματικού χρόνου όσο και μετεπεξεργασίας. Οι μετρήσεις των σημείων του δικτύου έγιναν στο ITRF, όμως μετρήθηκαν και σημεία της ΓΥΣ και του ΟΚΧΕ και προέκυψαν παράμετροι μετασχηματισμού από το WGS '84 στο ΕΓΣΑ '87 (Γενική ΕΓΣΑ). Με την εφαρμογή αυτών των παραμέτρων, διαπιστώθηκε η απόκλιση των σημείων της ΓΥΣ κατά μερικές δεκάδες εκατοστά. Για την επίλυση αυτού του ζητήματος, εφαρμόστηκε και δεύτερος μετασχηματισμός, ώστε οι συντεταγμένες σχεδόν να συμπίπτουν με αυτές της ΓΥΣ (Τοπική ΕΓΣΑ_MetricaNet).



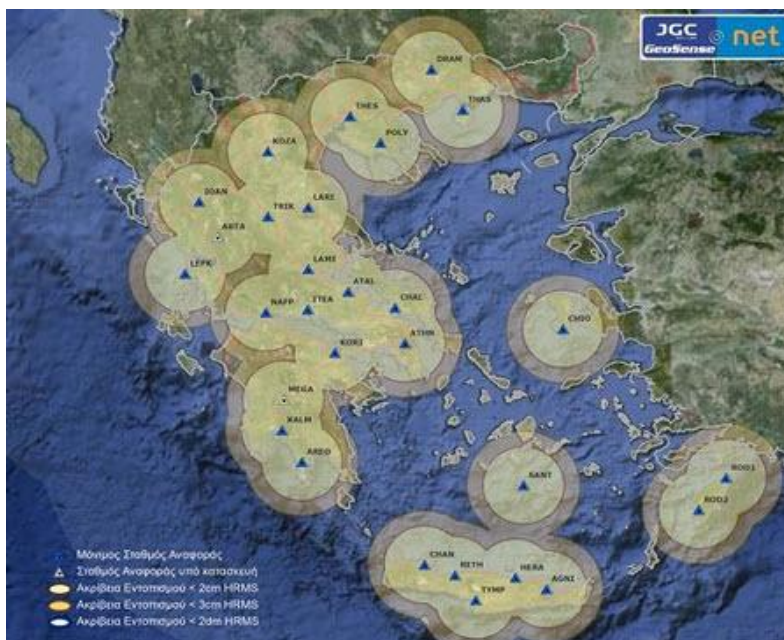
Εικόνα 2-9. Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών MetricaNet (Πηγή : www.metricanet.gr)

- Uranus:** αναπτύχθηκε από την εταιρία Tree Company που αντιπροσωπεύει τα προϊόντα Topcon. Αριθμεί 86 σταθμούς αναφοράς σε Ελλάδα και Κύπρο και πλέον είναι το μεγαλύτερο ιδιωτικό δίκτυο στην Ελλάδα, μετά το Heros (Εικόνα 2-10). Υποστηρίζει δορυφόρους GPS και Glonass ενώ είναι δυνατή η υποστήριξη Galileo και Compass, όταν αυτά τεθούν σε λειτουργία. Προσφέρει δεδομένα τόσο για μετεπεξεργασία όσο και πραγματικού χρόνου, ενώ υποστηρίζει και DGPS. Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο είναι της εταιρίας Topcon όμως ο χρήστης μπορεί να συνδεθεί με δέκτη οποιασδήποτε εταιρίας (www.uranus.gr).



Εικόνα 2-10. Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών Uranus (Πηγή : www.treecomp.gr)

- **JGC:** αποτελεί δίκτυο που αναπτύχθηκε από την ομώνυμη εταιρία που αντιπροσωπεύει τα προϊόντα Geomax. Αποτελείται από 27 σταθμούς, της ίδιας εταιρίας (Εικόνα 2-11), τύπου Pro Flex 500 που ενσωματώνουν τη τεχνολογία BLADE Asshtech. Υποστηρίζει τους δορυφόρους GPS και Glonass και προσφέρει διορθώσεις μετεπεξεργασίας και πραγματικού χρόνου. Οι συντεταγμένες του συστήματος δίνονται στο HTRF 07 για να υπάρχει ταύτιση με το Herpos (www.jgc.gr).



Εικόνα 2-11. Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών JGC (Πηγή : www.jgc.gr)

- **Geotech:** Η εταιρία αυτή αντιπροσωπεύει τα προϊόντα Trimble. Το δίκτυο της αποτελείται από 4 σταθμούς αναφοράς, που βρίσκονται στην Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη, την Καρδίτσα και το Αγρίνιο. Υποστηρίζει δορυφόρους GPS και Glonass και παρέχει δεδομένα και διορθώσεις πραγματικού χρόνου και εκ των υστέρων επεξεργασίας. Οι συντεταγμένες των σταθμών αναφοράς προκύπτουν από συνόρθωση με τους γειτονικούς σταθμούς του Herpos. Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται είναι της εταιρίας Trimble (www.geotech.gr).
- **CivilShop:** Το δίκτυο αυτό διαχειρίζεται η εταιρία Civilshop που προωθεί τα προϊόντα South και STONEX. Οι βάσεις αναφοράς είναι της ίδιας κατασκευάστριας εταιρίας ενώ οι σταθμοί ανέρχονται στους 63. Το 90% των δεκτών υποστηρίζουν και δορυφόρους Glonass και σε αρκετούς από αυτούς δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης Compass και Galileo.

2.4 Βαθμονόμηση Δεκτών GNSS

Οι τοπογραφικές και οι γεωδαιτικές μετρήσεις, ανεξαρτήτως της μεθόδου που ακολουθείται, πρέπει να συνοδεύονται και από την τελική ακρίβεια των αποτελεσμάτων, που έχει επιτευχθεί. Για να εξαχθεί αυτό το συμπέρασμα, είναι αναγκαία η γνώση των χαρακτηριστικών των οργάνων που χρησιμοποιούνται.

Η χρήση των δεκτών GNSS πρέπει να υπόκειται στους ίδιους κανόνες και δεν αποτελεί εξαίρεση ως προς τα παραπάνω. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας που διέπει τη διαδικασία μετρήσεων και τους πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις, δεν

έχει αναπτυχθεί μία συγκεκριμένη μεθοδολογία βαθμονόμησης των δεκτών αυτών που να εξασφαλίζει ιχνηλασιμότητα (βλ. Κεφάλαιο 3) των παρατηρήσεων ενώ υπάρχει παγκόσμιο ερευνητικό ενδιαφέρον, τα τελευταία 10 περίπου χρόνια, για την ανάπτυξη της.

Σύμφωνα με τους Fernandez και de Vicente (2012), τα σφάλματα που υπεισέρχονται κατά τις μετρήσεις GNSS οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι είναι:

- Απώλεια σήματος δορυφόρων
- Τροποσφαιρικές και Ιονοσφαιρικές επιρροές του σήματος
- Εσφαλμένη επίλυση των Ασαφειών Φάσης
- Μεταβολές Κέντρου Φάσης (PCV)
- Γεωμετρία των δορυφόρων και Επιλεκτική Διαθεσιμότητα, σε περίπτωση που βρίσκεται σε ισχύ
- Μεγάλο μήκος βάσεων
- Έλλειψη πλεονασμού παρατηρήσεων
- Χρήση συντεταγμένων και/ή datum, χαμηλής μετρολογικής ποιότητας
- Φαινόμενο Πολλαπλών Διαδρομών (Multipath) και παρεμβολές ξένων σημάτων
- Εσφαλμένη λειτουργία του εξοπλισμού
- Ανθρώπινα λάθη λόγω άγνοιας ή εσφαλμένης χρήσης

Όμως, οι περισσότεροι παράγοντες συμμετέχουν κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων και δεν είναι συγκεκριμένου μεγέθους. Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης, πρέπει να προσδιοριστούν οι παράγοντες που αφορούν τους δέκτες και τις κεραίες. Οι κύριοι παράγοντες, λοιπόν, είναι το PCV και το Multipath. Στην πραγματικότητα είναι μόνο το PCV, όμως είναι δύσκολο να διαχωριστούν οι δύο αυτοί όροι (Wübbena et al, 2000).

Το **φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών (Multipath)** είναι ένα φαινόμενο το οποίο είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί και επιδρά πάντα στις μετρήσεις GNSS, είτε σε μεγάλο είτε σε μικρότερο βαθμό. Οφείλεται στην ανάκλαση του σήματος που στέλνεται από τους δορυφόρους, πάνω σε διάφορα αντικείμενα ή και στο έδαφος και στην λήψη τους από τους δέκτες, μετά από αυτήν. Το αποτέλεσμα είναι να λαμβάνεται σήμα που έχει διανύσει μεγαλύτερη απόσταση από την πραγματική, σε μεγαλύτερο χρόνο, να ερμηνεύεται ως κεκλιμένη απόσταση δέκτη – δορυφόρου και άρα να υπολογίζεται λάθος η ψευδοαπόσταση ή να γίνεται λάθος επίλυση των ασαφειών φάσης. Τελικά, αυτό εισάγει θόρυβο και σφάλματα στα τελικά αποτελέσματα, και κυρίως στη τρίτη διάσταση, μέχρι και 2 dm, που δεν είναι επιθυμητά. Το φαινόμενο αυτό είναι κυκλικό και η επίδραση του στις μετρήσεις αλλάζει κάθε 20-25 λεπτά. Για να διατηρείται σε όσο το δυνατόν πιο χαμηλά επίπεδα, πρέπει να αποφεύγονται οι μετρήσεις σε περιοχές με αντικείμενα που έχουν μεγαλύτερο ύψος από τους δέκτες, όπως βλάστηση, κτίρια, μεταλλικές κατασκευές και κοντά σε υδάτινες επιφάνειες.

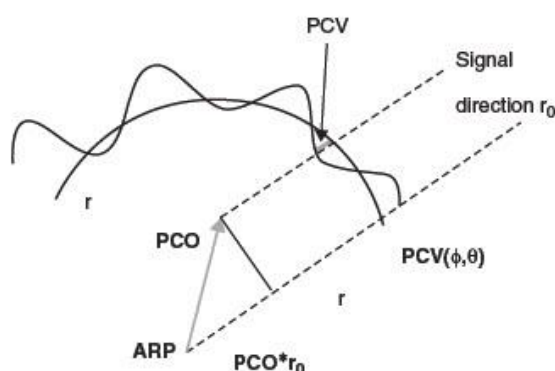
Το **κέντρο φάσης (Phase Center)** ενός δέκτη, είναι ένα θεωρητικό σημείο ή, καλύτερα, μία σφαίρα, μέσα ή και έξω από ένα δέκτη GNSS, στην οποία καταλήγει το σήμα που στέλνει ένας δορυφόρος και διαφέρει για τις συχνότητες L1 και L2. Η περιοχή αυτή δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί φυσικά. Αντίθετα, καθορίζεται μέσω διορθώσεων των Μεταβολών Κέντρου Φάσης (Phase Center Variations - PCV). Λόγω του ότι στη φύση τίποτα δεν είναι ιδανικό, η επιφάνεια της σφαίρας δεν είναι ομαλή, αλλά μεταβάλλεται συναρτήσει του αζιμουθίου και της ζενίθιας γωνίας, από την οποία παρατηρείται ο δορυφόρος (Henning, 2011).

Αναλυτικότερα, το **σημείο αναφοράς (Antenna Reference Point - ARP)** ενός δέκτη, είναι το γεωμετρικό κέντρο μίας συγκεκριμένης κεραίας, με βάση το οποίο γίνονται όλες οι εργασίες πεδίου. Το **μέσο κέντρο φάσης (Average Antenna Phase Center - APC)**, είναι η

μέση τιμή της τοποθεσίας του Κέντρου Φάσης ενός δέκτη, για ένα συγκεκριμένο εύρος κατευθύνσεων και για διαφορετικές συχνότητες ακτινοβολίας.

Η διαφορά των δύο αυτών σημείων, του ARP και του APC, ονομάζεται **μετατόπιση κέντρου φάσης (Phase Center Offset - PCO)**. Θεωρητικά και υπό ιδανικές συνθήκες, θα έπρεπε το σημείο αυτό να ταυτίζεται με το Σημείο Αναφοράς, ωστόσο κάτι τέτοιο σπάνια ισχύει στην πραγματικότητα (Chen et al, 2012).

Τελικά, η **μεταβολή του κέντρου φάσης (Phase Center Variation ή PCV)**, είναι η διαφορά μεταξύ του πραγματικού Κέντρου Φάσης, σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, και του Μέσου Κέντρου Φάσης (Εικόνα 2-12). Κάθε σήμα που λαμβάνεται από ένα δέκτη, υφίσταται μία αλλαγή φάσης εξ' αιτίας του PCV, η οποία πρέπει να διορθωθεί, για εφαρμογές ακρίβειας χιλιοστού. Έτσι, επιτυγχάνεται ακριβής, ηλεκτρική τοποθέτηση του δέκτη, με ακρίβεια καλύτερη από χιλιοστό (Waldemar, 2010).



Εικόνα 2-12. Μεταβολή Κέντρου Φάσης Δέκτη (Πηγή : Chen et al., 2012)

Με βάση αυτά, έχουν αναπτυχθεί τέσσερις βασικές προσεγγίσεις της βαθμονόμησης, η **σχετική βαθμονόμηση σε εργαστήριο**, η **σχετική βαθμονόμηση στο ύπαιθρο**, η **απόλυτη βαθμονόμηση σε εργαστήριο** και η **απόλυτη βαθμονόμηση στο ύπαιθρο**.

Οι σχετικές βαθμονομήσεις, περίπου από το 2006 και μετά, έχουν σταματήσει να εφαρμόζονται (Wanninger, 2007), γιατί η φιλοσοφία τους ήταν ότι ο προς βαθμονόμηση δέκτης, βαθμονομούταν χρησιμοποιώντας έναν άλλο δέκτη ως πρότυπο αναφοράς. Για να πραγματοποιηθεί, όμως αυτό, το PCV του προτύπου θεωρούνταν μηδενικό, αφού δεν υπήρχε κάποιος τρόπος να προσδιοριστεί.

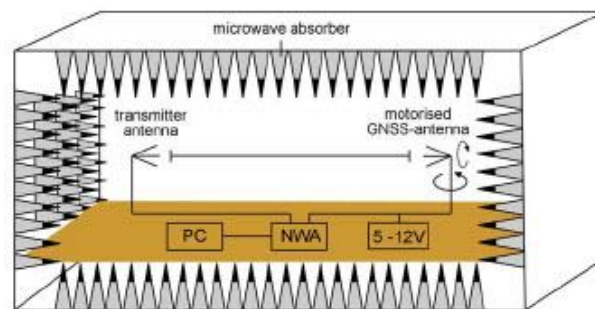
Λόγω του Multipath και της ελλιπούς κάλυψης του θόλου του δέκτη με παρατηρήσεις, ο τελευταίος δεν βαθμονομείται πλήρως, αλλά ένα τμήμα του κοντά στον ορίζοντα, ανάλογα με την ορισμένη γωνία αποκοπής, δεν μπορεί να μελετηθεί. Επίσης, κατά αυτή την προσέγγιση, οι διορθώσεις που υπολογίζονταν ήταν μόνο συνάρτηση της γωνιάς ύψους και όχι του αζιμουθίου. Εξ αυτού, δεν μπορούσε να δώσει αποτελέσματα για μεγάλα δίκτυα, καθώς τότε θα υπήρχε διαφορετικός προσανατολισμός των δεκτών και άρα διαφορετικές διορθώσεις (www.scwehps.igs.org). Τελικά, λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας και της έρευνας που γίνεται όλα αυτά τα χρόνια για την κατανόηση της φύσης του PCV, αναπτύχθηκαν οι απόλυτες βαθμονομήσεις.

2.4.1 Απόλυτη Βαθμονόμηση Εργαστηρίου

Με τον όρο εργαστήριο, γίνεται αναφορά σε έναν ανηχοϊκό θάλαμο. Ο θάλαμος αυτός είναι ένας ειδικά μονωμένος χώρος, ο οποίος απορροφά τις ακτινοβολίες που ανακλώνται, είτε

αυτές είναι ηχητικές είτε είναι ηλεκτρομαγνητικές. Προφανώς, η απορρόφηση τους δεν μπορεί να είναι πλήρης, καθώς αυτό θα σήμαινε ιδανικές συνθήκες, κάτι που δεν είναι ποτέ δυνατό να συμβεί στη φύση και στην πραγματικότητα. Συνέπεια της μόνωσης του θαλάμου είναι η ελαχιστοποίηση του Multipath, σε τέτοιο βαθμό που μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος.

Η βαθμονόμηση αυτή πραγματοποιείται, εφαρμόζοντας τεχνητά σήματα μέσα στο θάλαμο, από πομπούς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, συγκεκριμένου εύρους συχνότητας και με περιστροφή του προς βαθμονόμηση δέκτη (Εικόνα 2-13). Στην πραγματικότητα, αυτό που περιγράφεται δίνει μία προσέγγιση ως προς τα μέσα που χρησιμοποιούνται, όμως δεν έχει διατυπωθεί συγκεκριμένη μεθοδολογία για τον τρόπο που πρέπει να πραγματοποιούνται τα πειράματα.



Εικόνα 2-13. Απεικόνιση Ανηχοϊκού Θαλάμου
(Πηγή : Zeimetz, 2011)

Σε αυτή τη διαδικασία, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τις συντεταγμένες του πομπού και, λόγω του περιορισμένου χώρου και της διάταξης του συστήματος, είναι δύσκολη η καλή και ομοιόμορφη κάλυψη του άνω ημισφαιρίου του δέκτη, χωρίς την έλλειψη νεκρών σημείων.

Το μεγάλο μειονέκτημα, όμως, της εργαστηριακής βαθμονόμησης είναι το γεγονός ότι απομονώνονται εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις κατά σημαντικό τρόπο. Άρα, υπάρχει απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης και τα πραγματικά αποτελέσματα που προκύπτουν στο πεδίο, που οφείλονται από τη μία στο Multipath και από την άλλη στις συνθήκες που επικρατούν εκτός εργαστηρίου (Near-Field Effects), συμπεριλαμβανομένου παρεμβολών στο σήμα, οι οποίες δεν είναι δυνατό να μοντελοποιηθούν και επί του παρόντος γίνεται προσπάθεια αντίληψης της φύσης τους και των κανόνων που τις διέπουν (Zeimetz, 2011).

2.4.2 Απόλυτη Βαθμονόμηση Πεδίου

Η πιο διαδεδομένη τεχνική απόλυτης βαθμονόμησης πεδίου που εφαρμόζεται σήμερα είναι εκείνη που διατυπώθηκε από τους Wübbena et al (1996). Σύμφωνα με αυτή, το PCV μελετάται, αφού προηγουμένως απομονωθεί η επίδραση του Multipath στις μετρήσεις.

Αυτό πραγματοποιείται, διότι έχει παρατηρηθεί ότι οι επιδράσεις του Multipath, σε μία συγκεκριμένη περιοχή, επαναλαμβάνονται κάθε Μέση Αστρική Ημέρα. Η Μέση Αστρική Ημέρα διαρκεί 23 ώρες, 56 λεπτά και 4 δευτερόλεπτα, περίπου. Συνεπώς, η επίδραση του Multipath, επαναλαμβάνεται κάθε μέρα, 3 λεπτά και 56 δευτερόλεπτα νωρίτερα από την προηγούμενη. Συνεπώς, αν γίνουν μετρήσεις σε δύο διαδοχικές ημέρες, λαμβάνοντας υπ' όψιν αυτό το χρονικό περιορισμό, η επίδραση του, καθώς και όλη η γεωμετρική πληροφορία, όπως το PCV, αλληλοαναιρούνται ή μειώνονται σε μεγάλο βαθμό.

Με βάση αυτά, αν εφαρμοζόταν σχετικός εντοπισμός και εν συνεχεία, διπλές διαφορές, τότε απαλείφονται και οι επιδράσεις τις ατμόσφαιρας και των εφημερίδων. Αν λοιπόν, άλλαζε ο προσανατολισμός της προς βαθμονόμησης κεραίας, κατά 180° , μεταξύ των μετρήσεων της πρώτης και της δεύτερης μέρας, διαπιστώθηκε ότι μπορούσε να διατηρηθεί η πληροφορία της Μεταβολής του Κέντρου Φάσης. Σημειώνεται ότι οι μεταβολές που παρατηρούνται είναι εντελώς ανεξάρτητες από το σταθερό δέκτη, αν ο προσανατολισμός του είναι σταθερός τόσο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων όσο και μεταξύ των δύο ημερών.

Τελικά, η διαδικασία βαθμονόμησης διατυπώθηκε ως εξής. Ο δέκτης που βαθμονομείται, στρέφεται δεξιόστροφα μέχρι να συμπληρωθεί ένας πλήρης κύκλος και στη συνέχεια, πραγματοποιούνται κλίσεις του. Με αυτό τον τρόπο, μοντελοποιούνται οι PCV, συναρτήσει τόσο της κατακόρυφης γωνίας παρατήρησης όσο και κατά το αζιμούθιο.

Η ιδέα αυτή επεκτάθηκε και βελτιώθηκε, μέχρι που η ίδια ομάδα μελέτης, το 2000, δημοσίευσε ότι έχει κατασκευάσει ένα ρομπότ-βάση, το οποίο βαθμονομείται και στο οποίο προσαρμόζεται ο δέκτης (Εικόνα 2-14). Έτσι, η διαδικασία αυτοματοποιήθηκε, οι αλλαγές της θέσης του δέκτη γίνονται γύρω από ένα συγκεκριμένο σημείο και με μεγάλη ταχύτητα, ενώ οι θέσεις και οι γωνίες κατά τις οποίες στρέφεται ο δέκτης, είναι καθορισμένες εκ των προτέρων. Το αποτέλεσμα είναι ότι παράγονται αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο, με πλήρη και ομοιογενή κάλυψη του άνω ημισφαιρίου του δέκτη και με παρατηρήσεις μέχρι και στον ορίζοντα του.



Εικόνα 2-14. Απεικόνιση του Ρομπότ-Βάσης Βαθμονόμησης
(Πηγή : Wübbena et al, 2000)

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της διαδικασίας αυτής, είναι ότι παρατηρούνται μόνο οι PCV, ενώ εξαλείφεται πλήρως το Multipath. Συνεπώς, η διαδικασία αυτή είναι ανεξάρτητη του πεδίου μετρήσεων και μπορεί να πραγματοποιηθεί οπουδήποτε. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι τα αποτελέσματα, όταν εφαρμοστούν σε δίκτυα, αποδίδουν τα ίδια αποτελέσματα, ανεξάρτητα του μεγέθους τους.

Το πρότυπο ISO 17123-8, που μελετάται στην εργασία αυτή, δεν αποτελεί διαδικασία βαθμονόμησης δεκτών, αφού όπως φαίνεται και στην περιγραφή του εν λόγω προτύπου στο επόμενο κεφάλαιο, δεν καταπιάνεται με τον προσδιορισμό των PCV και Multipath. Αντίθετα, η προσέγγιση του είναι πιο πρακτική και βασίζεται στη λήψη μετρήσεων για σημεία γνωστών συντεταγμένων και στον υπολογισμό, κυρίως, της εσωτερικής ακρίβειας αυτών. Η αξιολόγηση τους, γίνεται με σκοπό την εξαγωγή συμπεράσματος σε σχέση με το αν η ακρίβεια των αποτελεσμάτων των μετρήσεων βρίσκεται σε συμφωνία με αυτή που προσδίδεται στους δέκτες από τις κατασκευάστριες εταιρίες τους. Αναλυτικά, το πρότυπο περιγράφεται στο ακόλουθο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΕΡΙ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

3.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται κάποιοι βασικοί ορισμοί που αφορούν τη μετρολογία και αναφέρονται τα πρότυπα αναφοράς, οι λόγοι ύπαρξής τους και οι βασικοί φορείς που τους συντάσσουν. Ακόμα, παρουσιάζεται το πρότυπο 17123 του οργανισμού ISO και, πιο εκτενώς, το πρότυπο 17123-8, που αφορά στους δέκτες GSP για μετρήσεις RTK.

Από τους αρχαίους χρόνους, κατέστη εμφανής η ανάγκη εξασφάλισης και ελέγχου της ποιότητας και του δίκαιου προσδιορισμού της αξίας των ανταλλασσόμενων προϊόντων στο πλαίσιο της εμπορικής δραστηριότητας. Εξ' άλλου, αυτή ήταν και η ανάγκη που προσπάθησε ικανοποιήσει η χρήση των νομισμάτων, που αντικατέστησε το αυθαίρετο και άναρχο σύστημα του ανταλλακτικού εμπορίου, έτσι ώστε να υπάρχει μία κοινή βάση αναφοράς προς αυτή την αξιολόγηση των εμπορευμάτων.

Ωστόσο, από τις αρχές του 20ού αιώνα και με τη βιομηχανική επανάσταση και τη μαζικοποίηση της παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών, η ανάγκη ανάπτυξης προτύπων για την εξασφάλιση της ποιότητας έγινε επιτακτική.

Η πρώτες κινήσεις προς αυτή την κατεύθυνση που γίνονταν μέχρι τη δεκαετία του 1960 ήταν αποσπασματικές και γίνονταν μέσα στις ίδιες της επιχειρήσεις που εφάρμοζαν έλεγχοι ποιότητας στα προϊόντα τους. Αργότερα, και μέχρι το 1990, είχαν αρχίσει να αναπτύσσονται τα πρώτα Συστήματα Διαχείρισης και Διασφάλισης Ποιότητας (ΣΔΠ), που διατύπωναν κανόνες και απαιτήσεις ποιότητας για προϊόντα και υπηρεσίες.

Στη σημερινή εποχή, η ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών ελέγχεται και διασφαλίζεται από κανόνες και διαδικασίες που διατυπώνονται από φορείς διεθνείς, ευρωπαϊκούς, εθνικούς και ιδιωτικούς, με σημαντικότερο διεθνή οργανισμό τον ISO (International Organization for Standardization), ο οποίος θα παρουσιαστεί παρακάτω.

Όσον αφορά στους Μηχανικούς, και πιο συγκεκριμένα τους Τοπογράφους, η ποιότητα των υπηρεσιών και των προϊόντων που παρέχουν είναι ιδιαίτερης σημασίας καθώς είναι ο κατεξοχήν μετρητικός μηχανικός που τα αποτελέσματα που παράγει, εμπεριέχουν την έννοια της ακρίβειας των μετρήσεων, που είναι, ενδεχομένως, το σημαντικότερο κομμάτι του παραγώγου του. Με άλλα λόγια, δηλαδή, εμπεριέχουν την έννοια της ποιότητας.

Αυτή η ποιότητα των μετρήσεων, μπορεί να αναλυθεί και να θεωρηθεί ότι καθορίζεται από τις εξής τρεις παραμέτρους:

- Τις διαδικασίες και μεθόδους μέτρησης
- Τις ικανότητες και την εμπειρία των παρατηρητών
- Τα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιούνται

Από τα παραπάνω, τα δύο πρώτα δεν θα αναλυθούν, καθώς συμβάλουν στην ποιότητα του τελικού προϊόντος σε ένα βαθμό που μπορεί να προβλεφθεί και να ελαχιστοποιηθεί, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εργασίας. Είναι θέματα που επαφίενται στο μηχανικό, ο οποίος κάνοντας χρήση κατάλληλων τεχνικών και μεθόδων μπορεί να επιτύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Το τρίτο, όμως, είναι ένας παράγοντας που έχει να κάνει αποκλειστικά και μόνο με τα όργανα αυτά καθαυτά, των οποίων οι προδιαγραφές είναι δεδομένες και δεν επιδέχονται

τροποποιήσεις από τους χρήστες τους. Έτσι, είναι αναγκαίο να γνωρίζει κανείς τις δυνατότητες που έχει ένα όργανο, για να ξέρει τί προσδοκίες έχει από αυτό.

Για παράδειγμα, ένα όργανο Total Station ακρίβειας 10^c είναι ποιοτικά χειρότερο από ένα άλλο όργανο 5^{cc}. Όμως και τα δύο όργανα, πρέπει να είναι σε θέση να πιστοποιηθούν σε σχέση με την ακρίβεια που μπορούν να πετύχουν και σε σχέση με τη συνέπεια των αποτελεσμάτων τους ως προς την ακρίβεια που τα χαρακτηρίζει, δηλαδή τις τιμές 10^c και 5^{cc}, αντίστοιχα. Η διαφορά τους έγκειται στο μέτρο σύγκρισης τους. Το ζητούμενο είναι ο βαθμός πλήρωσης των απαραίτητων κριτηρίων ποιότητας για το καθένα από αυτά, ξεχωριστά (Σταμπουλόγλου και λοιποί, 2005).

Η διαδικασία που καθιστά δυνατή την αξιολόγηση των μετρητικών οργάνων, είναι η βαθμονόμηση. Μέσω αυτής, προσδιορίζονται τα απαραίτητα στοιχεία, ανάλογα με το όργανο και τα μεγέθη που αυτό μπορεί να μετρήσει, για να μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα, συνυπολογίζοντας και την ποιότητα των εργασιών, για τη τελική ακρίβεια – ποιότητα του τελικού αποτελέσματος.

3.2 Λεξιλόγιο και Όροι Μετρολογίας

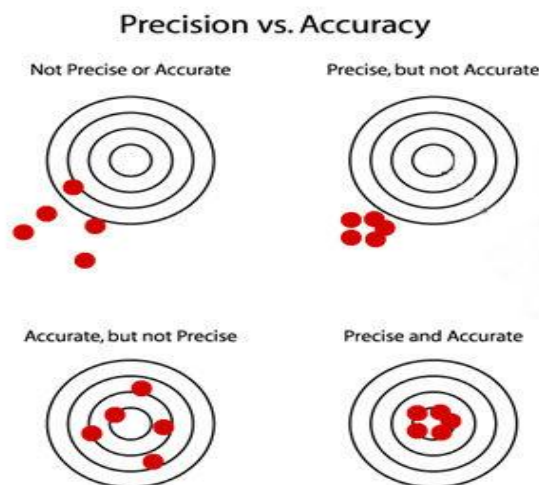
Παρακάτω επεξηγούνται όροι που σχετίζονται με την μετρολογία (Μπαλοδήμος, 2006) και αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση της παρούσας εργασίας.

- **Βαθμονόμηση (Calibration)** 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.
- **Διακρίβωση (Accreditation)** είναι η σύγκριση μεταξύ δύο οργάνων ή συσκευών μέτρησης, από τα οποία το ένα είναι το εθνικό πρότυπο ή πρότυπο γνωστής ακρίβειας, η οποία έχει μεταφερθεί σε αυτό από τα εθνικά πρότυπα. Με τη σύγκριση αυτή βαθμονομείται το υπό έλεγχο όργανο και διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβεια του.
- **Διαπίστευση (Accreditation)** είναι η διαδικασία κατά την οποία ένας εξουσιοδοτημένος φορέας χορηγεί επίσημη αναγνώριση για την ικανότητα άλλου φορέα ή ατόμου να εκτελεί συγκεκριμένα καθήκοντα.
- **Ιχνηλασιμότητα (Traceability)** είναι ιδιότητα του αποτελέσματος μίας μέτρησης μέσω της οποίας το αποτέλεσμα μπορεί να συσχετιστεί με ένα πρότυπο, μέσω μίας τεκμηριωμένης, αδιάσπαστης αλυσίδας βαθμονομήσεων, η κάθε μία των οποίων συνεισφέρει στην αβεβαιότητα της μέτρησης (JCGM 200, 2012).

Για να γίνει τεκμηρίωση της ιχνηλασιμότητας απαιτείται ένα ακριβώς προσδιορισμένο μέγεθος, το οποίο θα μετρηθεί, η μέτρηση συνοδευόμενη από το σφάλμα της, περιγραφή της μεθόδου μέτρησης, προσδιορισμός του προτύπου με το οποίο γίνεται η σύγκριση και πιστοποιητικά σωστής λειτουργίας και των δύο οργάνων στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (www.l-a-b.com).

- **Πρότυπο (Standard)** είναι η υλοποιημένη μονάδα μέτρησης, τα υλικά αναφοράς ή συστήματα μέτρησης, προορισμένα να ορίσουν, να πραγματοποιήσουν, να συντηρήσουν ή να αναπαραγάγουν μία μονάδα μέτρησης ή μία ή και περισσότερες αξίες ενός μεγέθους για να χρησιμοποιήσουν ως βάση αναφοράς.

- **Πρωτεύον Πρότυπο (Primary Standard)** είναι το πρότυπο το οποίο έχει καθοριστεί ή αναγνωρίζεται ευρέως ότι έχει τις υψηλότερες μετρολογικές ιδιότητες και η τιμή του είναι αποδεκτή χωρίς να γίνεται αναφορά σε άλλα πρότυπα του ίδιου μεγέθους.
- **Δευτερεύον Πρότυπο (Secondary Standard)** είναι το πρότυπο του οποίου η τιμή καθορίζεται μέσω σύγκρισης με ένα πρωτεύον πρότυπο για το ίδιο μέγεθος.
- **Εθνικό Πρότυπο (National Standard)** είναι το εθνικά αναγνωρισμένο πρότυπο προκειμένου να χρησιμοποιείται σε μια χώρα ως βάση για τον καθορισμό τιμών σε άλλα πρότυπα του μεγέθους που αφορά.
- **Διεθνές Πρότυπο (International Standard)** είναι το πρότυπο εκείνο το οποίο κατόπιν έγγραφης, διακρατικής συμφωνίας μπορεί να αποτελεί το σημείο αναφοράς οργάνων που μετρούν τις ίδιες ποσότητες με αυτό, παγκοσμίως.
- **Ακρίβεια ή Εσωτερική Ακρίβεια (Precision)** είναι έννοια που αναφέρεται στο πόσο πλησιάζουν οι μετρήσεις μεταξύ τους και στην πράξη αναφέρεται στο πόσο συνεπές είναι το όργανο σε σχέση με τον εαυτό του (Εικόνα 3-1).
- **Ορθότητα ή Εξωτερική Ακρίβεια (Accuracy)** είναι έννοια που αναφέρεται στο πόσο προσεγγίζουν οι μετρήσεις την αληθή τιμή του μεγέθους, που είναι θεωρητική και πρακτικά δεν την γνωρίζουμε. Ουσιαστικά, εκφράζει την συνέπεια του οργάνου με την πραγματικότητα (Εικόνα 3-1).



Εικόνα 3-1. Ο Ορισμός της Ακρίβειας και της Ορθότητας (Πηγή: Armstrong, 2013)

- **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. Επίσης, αξιοπιστία είναι ο συνδυασμός ορθότητας και ακρίβειας ενός οργάνου (Αλεξίου, 2011).

3.3 Ο Οργανισμός ISO

Ο οργανισμός ISO, είναι ένας διεθνής, ανεξάρτητος, μη κυβερνητικός οργανισμός που αποτελεί ένα δίκτυο εθνικών οργανισμών τυποποίησης 164 χωρών και που σκοπός του είναι η τυποποίηση απαιτήσεων προϊόντων και υπηρεσιών, καλύπτοντας επιχειρηματικές και τεχνολογικές δραστηριότητες, από την ασφάλεια τροφίμων μέχρι τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και από τη γεωργία μέχρι το χώρο της υγείας. Στόχος είναι η διευκόλυνση του διεθνούς συντονισμού και η ενοποίηση της τυποποίησης προϊόντων και υπηρεσιών.

Ιδρύθηκε το 1947 με την συμμετοχή 25 χωρών και αποτελούταν από 67 τεχνικές επιτροπές, οι οποίες αποτελούν ομάδες ειδικών που επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους σε συγκεκριμένα θέματα. Σήμερα ο αριθμός αυτός των τεχνικών επιτροπών ανέρχεται σε 3368 και κάθε μία από αυτές είναι επιφορτισμένη με το έργο να δημιουργεί τυποποιήσεις για μία συγκεκριμένη επιστημονική ή βιομηχανική περιοχή, σε άμεση συνεργασία με ειδικούς του συγκεκριμένου κλάδου και κυβερνητικούς ή μη - κυβερνητικούς φορείς των χωρών-μελών του Οργανισμού. Τα προσχέδια της τυποποίησης αποστέλλονται προς ψήφιση στους Κρατικούς Φορείς που συνεργάζονται με τον ISO και, εφόσον υπερψηφιστεί από το 75% αυτών, δημοσιεύεται ως επίσημο Διεθνές Πρότυπο. Ο Οργανισμός, εδράζεται στη Γένοβα της Ελβετίας.

Η εφαρμογή ενός συστήματος ποιότητας ISO παρέχει οφέλη, διαβεβαιώνοντας ότι τα προϊόντα είναι ασφαλή, αξιόπιστα και καλής ποιότητας. Σε μία επιχείρηση, η εφαρμογή τους προσφέρει μείωση κόστους παραγωγής, μειώνοντας τα απόβλητα και τα λάθη και αυξάνει την παραγωγικότητα. Επίσης, βοηθά της επιχειρήσεις να αποκτήσουν πρόσβαση σε νέες αγορές, να αυξήσουν την ζώνη επιρροής τους και να πραγματοποιούν ελεύθερο, δίκαιο και διεθνές εμπόριο (www.iso.org).

3.4 Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας, είναι νομικό πρόσωπο ιδιωτικού δικαίου, που εποπτεύεται από τη Γενική Γραμματεία Βιομηχανίας του Υπουργείου Ανάπτυξης και είναι ο εθνικός φορέας μετρολογίας και ο επίσημος τεχνικός σύμβουλος του κράτους σε θέματα μετρολογίας. Έχει αρμοδιότητα και σκοπό να καθορίζει τις μονάδες μέτρησης των διαφόρων φυσικών μεγεθών, τις μεθόδους και τις προδιαγραφές εκτέλεσης των μετρήσεων, την προώθηση εγκρίσεων τύπου στα όργανα μέτρησης, διατήρηση και φύλαξη των προτύπων αναφοράς των οργάνων μέτρησης των επτά βασικών μονάδων του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI), την ανάπτυξη, τη διάδοση της γνώσης και την εκπαίδευση σε θέματα μετρολογίας, τη χορήγηση και ανάκληση πιστοποιητικών διακρίβωσης, τη λειτουργία μετρολογικού εργαστηρίου, την εκπροσώπηση της χώρας στο εξωτερικό σε θέματα μετρολογίας και το σχεδιασμό και την προετοιμασία εφαρμογής εθνικού συστήματος μετρήσεων.

Ιδρύθηκε το 1994, μέσω του Ν. 2231/94 που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 139Α/1994. Από το 2001, εδράζεται στη Βιομηχανική Περιοχή της Θεσσαλονίκης στη Σίνδο.

Συμμετέχει από το 2001 στη Συνθήκη του Μέτρου που υπογράφηκε αρχικά το 1875, κατά την οποία ιδρύθηκε το Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών (Bureau International des Poids et Mesures - BIPM) και αποτελεί ιδρυτικό μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Εθνικών Ινστιτούτων Μετρολογίας (EURAMET).

3.5 Η σειρά προτύπων 17123

Το πρότυπο 17123 είναι το πρότυπο που ασχολείται με θέματα τοπογραφίας, γεωδαισίας και μετρολογίας. Έχει συνταχθεί από την Τεχνική Επιτροπή TC 172, που τιτλοφορείται «Οπτική και Φωτονική» και από την Υποεπιτροπή SC 6, που ονομάζεται «Γεωδαιτικά και Τοπογραφικά Όργανα».

Αποτελείται από οκτώ μέρη, υπό τον γενικό τίτλο, «Οπτική και Οπτικά Όργανα».

- Μέρος 1^ο: Θεωρία (Theory)

Παρέχει καθοδήγηση και γενικούς κανόνες για την αξιολόγηση και την έκφραση της αβεβαιότητας στις επόμενες ενότητες του προτύπου.

- Μέρος 2^ο: Χωροβάτες (Levels)

Καθορίζει διαδικασίες πεδίου για τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση της ακρίβειας της υψομετρίας, συμπεριλαμβάνοντας όργανα, παρελκόμενα και αεροστάθμες.

- Μέρος 3^ο: Θεοδόλιχα (Theodolites)

Ασχολείται με τους ελέγχους πεδίου των θεοδολίχων.

- Μέρος 4^ο: Ηλεκτρο-οπτικοί Μετρητές Μηκών (EDM)

Ασχολείται με τα όργανα μέτρησης αποστάσεων (EDM). Βασική σημείωση είναι ότι ασχολείται μόνο με τις μετρήσεις αποστάσεων με ανακλαστήρα και δεν περιλαμβάνει τις μετρήσεις χωρίς αυτούς (reflectorless).

- Μέρος 5^ο: Ολοκληρωμένοι Γεωδαιτικοί Σταθμοί (Electronic Tacheometers)

Καθορίζει διαδικασίες για τον προσδιορισμό της ακρίβειας και της επαναληψιμότητας των μετρήσεων συντεταγμένων σε Total Stations.

- Μέρος 6^ο: Περιστροφικοί Χωροβάτες Laser (Rotating Lasers)

Καθορίζει διαδικασίες πεδίου για τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση της ακρίβειας των περιστροφικών χωροβατών laser.

- Μέρος 7^ο: Οπτικά Όργανα Κέντρωσης (Optical Plumbing Instruments)

Καθορίζει διαδικασίες για τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση της ακρίβειας των Οπτικών Οργάνων Κέντρωσης και των παρελκόμενων τους. Οι διαδικασίες αυτές δεν είναι εφαρμόσιμες σε οπτικά συστήματα κέντρωσης που βρίσκονται πάνω σε τρικόχλια και τοπογραφικά όργανα.

- Μέρος 8^ο: Συστήματα Μέτρησης Πεδίου GNSS στον Κινηματικό Εντοπισμό Πραγματικού Χρόνου (RTK)

Το συγκεκριμένο μέρος, αναλύεται διεξοδικά στην επόμενη παράγραφο, αφού αποτελεί και τον κορμό της παρούσας εργασίας.

Όλες οι παράγραφοι καθορίζουν διαδικασίες ελέγχου των γεωδαιτικών οργάνων στο πεδίο και δεν αποτελούν διαδικασίες βαθμονόμησης ούτε την αντικαθιστούν. Συνεπώς, δεν

μπορούν, απαραίτητα, να παρέχουν ιχνηλασιμότητα (*metrological traceability*). Για να υπάρχει ιχνηλασιμότητα των μετρήσεων των οργάνων είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση τους, εκ των προτέρων, σε ένα εξουσιοδοτημένο, μετρολογικό εργαστήριο. Οι έλεγχοι που περιγράφονται είναι έτσι σχεδιασμένοι για να ελαχιστοποιείται η επίδραση της ατμόσφαιρας στις μετρήσεις.

3.6 Το Πρότυπο 17123 - 8

Το παρών πρότυπο, όπως και τα προηγούμενα, παρουσιάζει μεθόδους και διαδικασίες υπαίθρου που αποσκοπούν στον προσδιορισμό και την αξιολόγηση της ακρίβειας των μετρήσεων των δεκτών GNSS σε κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου. Δηλαδή, αποσκοπούν στο να αξιολογήσουν την επαναληψιμότητα (*repeatability*) των μετρήσεων. Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, είναι διαδικασίες υπαίθρου που στοχεύουν στο να προσφέρουν εργαλεία για τη λήψη απόφασης, σχετικά με το αν ο συγκεκριμένος δέκτης είναι κατάλληλος, από άποψη ακρίβειας, για τη συγκεκριμένη εργασία.

Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως, τους δορυφόρους που παρατηρούνται, από το λόγο DoP, ιονοσφαιρικές και τροποσφαιρικές συνθήκες, το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών(*multipath*), την ποιότητα των δεκτών, το λογισμικό που τρέχει στο rover και το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την αποστολή των διορθώσεων μεταξύ των base και rover δεκτών.

3.6.1 Συσχέτιση με άλλα διεθνή πρότυπα

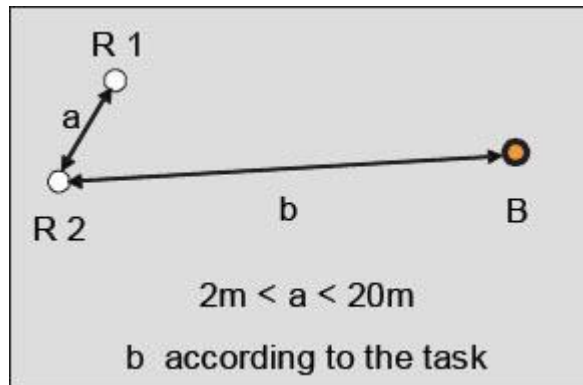
Στο πλαίσιο του συγκεκριμένου προτύπου αναφέρονται όροι, μέθοδοι και διαδικασίες που αναφέρονται στα εξής άρθρα:

- ISO 3534-1, Στατιστική – Λεξιλόγιο και Σύμβολα – Μέρος 1: Γενικοί όροι στατιστικής και όροι που χρησιμοποιούνται στις Πιθανότητες
- ISO 9849, Οπτική και οπτικά όργανα – Γεωδαιτικά και Τοπογραφικά Όργανα – Γλωσσάριο
- ISO 17123-1, Οπτική και οπτικά όργανα – Διαδικασίες υπαίθρου για έλεγχο γεωδαιτικών και τοπογραφικών οργάνων – Μέρος 1: Θεωρία
- ISO 17123-2, Οπτική και οπτικά όργανα – Διαδικασίες υπαίθρου για έλεγχο γεωδαιτικών και τοπογραφικών οργάνων – Μέρος 2: Χωροβάτες
- ISO 17123-5, Οπτική και οπτικά όργανα – Διαδικασίες υπαίθρου για έλεγχο γεωδαιτικών και τοπογραφικών οργάνων – Μέρος 5: Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί
- GUM, Οδηγός για την έκφραση της αβεβαιότητας στις μετρήσεις, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML 1993, διορθωμένος και ανατυπωμένος 1995
- VIM, Διεθνές γλωσσάριο βασικών και γενικών όρων στη Μετρολογία, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML 1993

3.6.2 Διαδικασίες μέτρησης

Στο πρότυπο που μελετάται, ακολουθούνται δύο διαφορετικές διαδικασίες μετρήσεων, η απλοποιημένη διαδικασία (Simplified Test Procedure) και η σύνθετη (Full Test Procedure), οι οποίες θα περιγραφούν, ακολούθως, αναλυτικά. Και οι δύο, πραγματοποιούνται σε κοινό πεδίο μετρήσεων, που αποτελείται από ένα δίκτυο τριών σημείων.

Το σημείο B του δικτύου (Εικόνα 3-2) είναι αυτό που κατά τη διάρκεια του τεστ θα καταλαμβάνει ο σταθερός δέκτης (base) και η απόσταση του από τα άλλα δύο σημεία δεν είναι συγκεκριμένη. Έτσι, δεν αποτελεί περιορισμό, παρά μόνο στο βαθμό εκείνο, που λόγω μεγάλης απόστασης base – rover μπορούν να εισαχθούν σφάλματα που είναι ευθέως ανάλογα της απόστασης, όπως οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας, τα σφάλματα τροχιών των δορυφόρων και σφαλμάτων χρόνου. Συνεπώς η απόσταση αυτή καλό θα ήταν να μην υπερβαίνει το 1 km (Uradzinski, 2011), δεδομένου ότι δεν παρεμβάλλονται σημαντικά εμπόδια και/ή βλάστηση μεταξύ των δύο δεκτών.



Εικόνα 3-2. Το Πεδίο Μετρήσεων κατά το Πρότυπο ISO 17123-8 (Πηγή: Heister, 2008)

Τα δύο σημεία, R1 και R2 (βλ. Εικόνα 3-3) είναι αυτά που κατά τη διάρκεια των μετρήσεων θα καταλαμβάνει ο κινούμενος δέκτης (rover) διαδοχικά. Η μεταξύ τους απόσταση, σύμφωνα με το πρότυπο, πρέπει να είναι μεταξύ δύο (2) και είκοσι (20) μέτρων.

Οι σχετικές θέσεις των σημείων, τόσο οι οριζοντιογραφικές όσο και οι υψομετρικές, πρέπει να είναι προσδιορισμένες με ακρίβεια καλύτερη από 3 mm, με μεθόδους διαφορετικές από εκείνη του RTK. Επομένως, είναι γνωστές οι αποστάσεις των σημείων και οι υψομετρικές τους διαφορές. Αυτές οι ποσότητες αποτελούν τις ονομαστικές τιμές, με τις οποίες θα συγκρίνονται οι μετρήσεις του RTK, για ανίχνευση χονδροειδών σφαλμάτων, όμως δεν χρησιμοποιούνται στα στατιστικά τεστ.

Οι πρωτογενείς μετρήσεις των δεκτών GNSS, γίνονται σε ένα επιλεγμένο ελλειψοειδές αναφοράς και δίνουν ως αποτέλεσμα (ϕ , λ), αρκεί το σύστημα αναφοράς στο οποίο θα αναφέρεται το εν λόγω ελλειψοειδές να είναι παγκόσμιο. Έτσι οι μετρήσεις μπορούν να αναφέρονται στο WGS 84, στο ITRF κλπ. Ωστόσο, επειδή οι μετρήσεις αυτές συνήθως δεν εξυπηρετούν στις τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες, υπάρχει η επιλογή, να καταγράφονται από τους δέκτες και καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y, h), με γεωμετρικά υψόμετρα, στο προβολικό επίπεδο ενός συγκεκριμένου συστήματος αναφοράς. Η επιλογή του συγκεκριμένου συστήματος βασίζεται στις ανάγκες της εργασίας, στη χώρα που γίνεται η εργασία και στο ποια συστήματα χρησιμοποιούνται σε αυτή και, τέλος, από το ποια συστήματα υποστηρίζονται από τους δέκτες.

Οι μετρήσεις γίνονται, όπως αναφέρθηκε ήδη, με διαδοχικές καταλήψεις των σημείων rover. Μία μέτρηση των δύο αυτών σημείων, αποτελεί ένα σετ μετρήσεων. Σε κάθε μέτρηση, λοιπόν, καταγράφονται (x, y, h) και σε κάθε σετ καταγράφονται (x_{R1}, y_{R1}, h_{R1}) και (x_{R2}, y_{R2}, h_{R2}). Τέλος, πέντε (5) σετ μετρήσεων αποτελούν μία σειρά μετρήσεων.

Αν γενικευθεί ο τρόπος καταγραφής των μετρήσεων, μία μέτρηση περιγράφεται από τρεις αριθμούς και είναι $(x_{i,j,k}, y_{i,j,k}, h_{i,j,k})$,

όπου το i , αναφέρεται στη σειρά,
το j , αναφέρεται στο σετ και
το k αναφέρεται στον αριθμό του σημείου rover, δηλαδή (R)1 και (R)2.

Ο χρόνος κατάληψης κάθε σημείου δεν ορίζεται από τον οργανισμό ISO και στην παρούσα εργασία γίνεται κατάληψη για διαφορετικές χρονικές διάρκειες, για να διαπιστωθεί η επίδραση που έχει αυτή στο τελικό αποτέλεσμα.

Τα διαδοχικά σετ, ορίζεται ότι πρέπει να διαφέρουν μεταξύ τους, περίπου πέντε (5) λεπτά. Συνολικά, λοιπόν, μία σειρά διαρκεί περίπου εικοσιπέντε (25) λεπτά με ισοκατανεμημένες μετρήσεις και στα δύο σημεία στο χρονικό αυτό διάστημα. Αυτός ο χρόνος είναι μεγαλύτερος από τα είκοσι λεπτά, που σύμφωνα με έρευνες, είναι η διάρκεια του κύκλου μεταβολής του φαινομένου πολλαπλών διαδρομών. Επομένως, η διαδικασία μετρήσεων καλύπτει επαρκώς αυτό τον παράγοντα.

Τέλος, οι σειρές πρέπει να διαφέρουν μεταξύ τους τουλάχιστον ενενήντα (90) λεπτά. Αυτό, σε συνδυασμό με το μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων, επιτρέπει την ανάδειξη επιδράσεων που οφείλονται στην αλλαγή θέσης των δορυφόρων στον ουράνιο θόλο και στις διαφοροποιήσεις των ιονοσφαιρικών και τροποσφαιρικών συνθηκών.

Τελικά, οι τυπικές αποκλίσεις που θα προκύψουν από το σύνολο των μετρήσεων, θα προκύψουν έχοντας συνυπολογίσει σχεδόν όλους τους τυπικούς παράγοντες που συμβάλλουν στην αβεβαιότητα των μετρήσεων και θα αποτελούν μία αξιόπιστη αξιολόγηση της ακρίβειας που επιτυγχάνει ο δέκτης που εξετάζεται.

Στο Απλοποιημένο Τεστ συντελείται η ανίχνευση χονδροειδών σφαλμάτων και δεν συνεισφέρει στα στατιστικά αποτελέσματα, αν και εφαρμόζεται, ή μπορεί και πρέπει να εφαρμοστεί, σε κάθε σειρά μετρήσεων. Η στατιστική επεξεργασία γίνεται στο Σύνθετο Τεστ, αφού αποτελείται από τρεις σειρές μετρήσεων, που επιτρέπουν την ύπαρξη περίσσειας παρατηρήσεων και τον υπολογισμό τυπικών αποκλίσεων.

3.6.3 Απλοποιημένο τεστ (Simplified test)

Το Απλοποιημένο Τεστ, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελείται ή χωρίζεται σε μεμονωμένες σειρές μετρήσεων. Κάθε σειρά από αυτές που υποβάλλονται στο Απλοποιημένο Τεστ, είναι αυτόνομη. Σκοπός του Τεστ είναι να γίνει ανίχνευση χονδροειδών σφαλμάτων σε κάθε σειρά και παρέχει εκτίμηση για το κατά πόσο η ακρίβεια του συγκεκριμένου δέκτη είναι εντός καθορισμένων ορίων, τα οποία είναι η τυπική απόκλιση του οργάνου, όπως δίνεται από τον κατασκευαστή ή όπως έχει προκύψει από προηγούμενο Σύνθετο Τεστ, του οποίου τα αποτελέσματα ανατροφοδοτούν τη διαδικασία ελέγχου.

Η τυπική απόκλιση, με βάση την οποία γίνεται η αξιολόγηση της σειράς, είναι προφανές ότι θα ήταν ορθότερο να έχει προκύψει από μία πλήρη διαδικασία βαθμονόμησης του δέκτη ή των δεκτών που χρησιμοποιούνται. Ωστόσο, δίνεται λίγο παραπάνω έμφαση σε αυτό, λόγω του ότι σήμερα στην διεθνή βιβλιογραφία, δεν υπάρχει ακόμα συμφωνία σχετικά με τον τρόπο που πρέπει να γίνεται η βαθμονόμηση τους και η διατύπωση της εν λόγω διαδικασίας είναι ακόμα στο στάδιο της έρευνας.

❖ Μετρήσεις

Μία σειρά μετρήσεων, αποτελείται από δέκα (10) μετρήσεις ή αλλιώς από πέντε (5) σετ. Ο ακόλουθος πίνακας δείχνει από τι είδους μετρήσεις αποτελείται μία σειρά.

Αύξων Αριθμός Μέτρησης	Σειρά i	Σετ J	Σημείο Rover K	Μετρήσεις		
				x	y	h
1	1	1	1	$X_{1,1,1}$	$Y_{1,1,1}$	$h_{1,1,1}$
2	1	1	2	$X_{1,1,2}$	$Y_{1,1,2}$	$h_{1,1,2}$
3	1	2	1	$X_{1,2,1}$	$Y_{1,2,1}$	$h_{1,2,1}$
4	1	2	2	$X_{1,2,2}$	$Y_{1,2,2}$	$h_{1,2,2}$
5	1	3	1	$X_{1,3,1}$	$Y_{1,3,1}$	$h_{1,3,1}$
6	1	3	2	$X_{1,3,2}$	$Y_{1,3,2}$	$h_{1,3,2}$
7	1	4	1	$X_{1,4,1}$	$Y_{1,4,1}$	$h_{1,4,1}$
8	1	4	2	$X_{1,4,2}$	$Y_{1,4,2}$	$h_{1,4,2}$
9	1	5	1	$X_{1,5,1}$	$Y_{1,5,1}$	$h_{1,5,1}$
10	1	5	2	$X_{1,5,2}$	$Y_{1,5,2}$	$h_{1,5,2}$

Πίνακας 3-1. Αλληλουχία Μετρήσεων σε κάθε Σετ

❖ Επεξεργασία Μετρήσεων

Για κάθε σετ, δηλαδή για κάθε ζεύγος σημείων, υπολογίζεται η οριζόντια απόσταση των σημείων rover $D_{i,j}$ και η υψομετρική τους διαφορά, $\Delta h_{i,j}$. Συνεπώς, προκύπτουν πέντε (5) αποστάσεις και πέντε (5) υψομετρικές διαφορές.

Από αυτές, υπολογίζονται οι διαφορές από τις ονομαστικές τιμές, D^* και Δh^* , όπως μετρήθηκαν στην κατασκευή του δικτύου.

$$D_{i,j} = \sqrt{(x_{i,j,2} - x_{i,j,1})^2 + (y_{i,j,2} - y_{i,j,1})^2}$$

$$\Delta h_{i,j} = h_{i,j,2} - h_{i,j,1} \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_{D_{i,j}} = D_{i,j} - D^*$$

$$\varepsilon_{\Delta h_{i,j}} = \Delta h_{i,j} - \Delta h^* \quad (3.2)$$

Οι διαφορές αυτές, υποβάλλονται σε ένα υποτυπώδες στατιστικό τεστ, το οποίο πρέπει να πληρούν για να θεωρηθεί ότι δεν εμπεριέχουν χονδροειδή σφάλματα. Σε αυτό το σημείο, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με την οριζοντιογραφική και την υψομετρική ακρίβεια του δέκτη, s_{xy} και s_h , όπως αυτές δίνονται από τον κατασκευαστή, από βαθμονόμηση ή από προηγούμενη εφαρμογή του Σύνθετου Τεστ. Το στατιστικό αυτό τεστ είναι:

$$\left| \varepsilon_{D_{i,j}} \right| \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_{xy}$$

$$\left| \varepsilon_{h_{i,j}} \right| \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_h \quad (3.3)$$

Αν ο στατιστικός έλεγχος αποτύχει για κάποια μέτρηση ή για κάποια από τις δύο ανισώσεις της (3), τότε πιθανόν υπάρχει χονδροειδές ή συστηματικό σφάλμα στις μετρήσεις και απαιτείται η επανάληψη του συνόλου του Απλοποιημένου Τεστ, συμπεριλαμβανομένων νέων μετρήσεων.

3.6.4 Σύνθετο τεστ (Full test procedure)

Το Σύνθετο Τεστ, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ακρίβειας μέτρησης που μπορεί να επιτύχει ο δέκτης που χρησιμοποιείται. Στοχεύει στον υπολογισμό δύο μεγεθών, που ονομάζονται *πειραματικές τυπικές αποκλίσεις* οριζοντιογραφίας και υψομετρίας, στις οποίες εφαρμόζονται τελικά τα στατιστικά τεστ.

Το εν λόγω τεστ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί:

- το μέγεθος της ακρίβειας του εξοπλισμού κάτω από δεδομένες συνθήκες (συμπεριλαμβανόμενων βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιρροών)
- το μέγεθος της ακρίβειας του εξοπλισμού σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και σε διαφορετικές συνθήκες μέσω των πολλαπλών δειγμάτων και
- η ικανότητα σύγκρισης μεταξύ οργάνων διαφορετικής ακρίβειας κάτω από παρόμοιες συνθήκες.

Αποτελείται από τρεις σειρές μετρήσεων, η οποίες, πριν από τη στατιστική επεξεργασία, πρέπει να ελεγχθούν, και οι τρεις, για χονδροειδή σφάλματα σύμφωνα με το Απλοποιημένο Τεστ.

❖ Μετρήσεις

Οι μετρήσεις γίνονται όπως περιγράφηκαν και στο Απλοποιημένο Τεστ, μόνο που οι τρεις σειρές πρέπει να διαφέρουν, χρονικά, ενενήντα (90) λεπτά μεταξύ τους.

Προφανώς, στις μετρήσεις του Σύνθετου Τεστ εμπεριέχονται και οι μετρήσεις του Απλοποιημένου Τεστ. Στην πράξη, λοιπόν, οι μετρήσεις που αφορούν στο Απλοποιημένο Τεστ δεν μπορούν να διαχωριστούν από αυτές του Σύνθετου, αφού κάθε σειρά υποβάλλεται στην επεξεργασία του πρώτου. Άρα, κάνοντας μετρήσεις για το Σύνθετο Τεστ, ουσιαστικά, πραγματοποιούνται και οι μετρήσεις για το Απλοποιημένο.

❖ Επεξεργασία

Η επεξεργασία των μετρήσεων χωρίζεται σε δύο στάδια. Το πρώτο είναι το στάδιο εφαρμογής του Απλοποιημένου Τεστ στις μετρήσεις, ενώ το δεύτερο είναι η στατιστική επεξεργασία όλων των μετρήσεων. Έχοντας αναλύσει την επεξεργασία για το Απλοποιημένο Τεστ, έχει αναλυθεί και το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας.

Στο δεύτερο στάδιο, εφαρμόζεται συνόρθωση με τη Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων (ΜΕΤ) για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης των συντεταγμένων. Αρχικά, υπολογίζονται οι μέσες τιμές $\bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{h}_1, \bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{h}_2$ από τις ακόλουθες σχέσεις.

$$\begin{aligned}\bar{x}_k &= \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 x_{i,j,k} \\ \bar{y}_k &= \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 y_{i,j,k} \\ \bar{h}_k &= \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 h_{i,j,k}\end{aligned}\quad \text{όπου } k=1,2 \quad (3.4)$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα υπόλοιπα.

$$\begin{aligned} r_{x_{i,j,k}} &= \bar{x}_k - x_{i,j,k} && \text{όπου } i=1, \dots, 3 \\ r_{y_{i,j,k}} &= \bar{y}_k - y_{i,j,k} && j=1, \dots, 5 \\ r_{h_{i,j,k}} &= \bar{h}_k - h_{i,j,k} && k=1, 2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Υψώνονται στο τετράγωνο και προστίθενται, ανεξάρτητα σε ποιο σημείο αναφέρονται, ξεχωριστά για το x, το y και το h.

$$\begin{aligned} \sum r_x^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{x_{i,j,k}}^2 \\ \sum r_y^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{y_{i,j,k}}^2 \\ \sum r_h^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{h_{i,j,k}}^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Με βάση το βαθμό ελευθερίας, που είναι ο ίδιος και για τα τρία μεγέθη, $v = (m \times n - 1) \times p = (3 \times 5 - 1) \times 2 = 28$, όπου m είναι ο αριθμός των σειρών και είναι ίσος με τρία (3), n ο αριθμός των σετ και ίσος με πέντε (5) και p ο αριθμός των σημείων, δηλαδή δύο (2), υπολογίζονται οι τυπικές αποκλίσεις.

$$\begin{aligned} s_x &= \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{v}} \\ s_y &= \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{v}} \\ s_h &= \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{v}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Από αυτές τις ποσότητες, έχουμε:

$$S_{ISO-GNSS\ RTK-xy} = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad \text{και}$$

$$S_{ISO-GNSS\ RTK-h} = s_h \quad ,$$

οι οποίες είναι οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις για την οριζοντιογραφία και την υψομετρία, αντίστοιχα. Πάνω σε αυτές εφαρμόζονται τα στατιστικά τεστ για την εξαγωγή του τελικού συμπεράσματος.

3.6.5 Στατιστικά τεστ

Τα στατιστικά τεστ που πραγματοποιούνται σε αυτό το στάδιο επιδιώκουν την απάντηση στα ακόλουθα τέσσερα ερωτήματα.

- Αν η υπολογισμένη πειραματική τυπική απόκλιση $S_{ISO-GNSS\ RTK-xy}$, μίας οριζοντιογραφικής θέσης, είναι μικρότερη ή ίση με τη τυπική απόκλιση σ_{xy} , όπως δίνεται από τον κατασκευαστή ή όπως προέκυψε από προηγούμενα τεστ ή βαθμονόμηση.
- Αν η υπολογισμένη πειραματική τυπική απόκλιση $S_{ISO-GNSS\ RTK-h}$, μίας υψομετρικής θέσης, είναι μικρότερη ή ίση με τη τυπική απόκλιση σ_h , όπως δίνεται από τον κατασκευαστή ή όπως προέκυψε από προηγούμενα τεστ ή βαθμονόμηση.
- Αν δύο πειραματικές τυπικές αποκλίσεις $S_{ISO-GNSS\ RTK-xy}$ και $\hat{S}_{ISO-GNSS\ RTK-xy}$, μίας οριζοντιογραφικής θέσης, που προκύπτουν από δύο διαφορετικά δείγματα μετρήσεων, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, δεδομένου ότι τα δύο δείγματα έχουν τον ίδιο βαθμό ελευθερίας, $\nu_x + \nu_y$ και $\hat{\nu}_x + \hat{\nu}_y$, αντίστοιχα.
- Αν δύο πειραματικές τυπικές αποκλίσεις $S_{ISO-GNSS\ RTK-h}$ και $\hat{S}_{ISO-GNSS\ RTK-h}$, μίας υψομετρικής θέσης, που προκύπτουν από δύο διαφορετικά δείγματα μετρήσεων, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, δεδομένου ότι τα δύο δείγματα έχουν τον ίδιο βαθμό ελευθερίας, ν_h και $\hat{\nu}_h$, αντίστοιχα.

Ανάλογα με το κάθε ερώτημα που τίθεται, χρησιμοποιείται και αντίστοιχη κατανομή, σύμφωνα με τους κανόνες της MET. Συνεπώς, στα συγκεκριμένα τεστ, χρησιμοποιούνται οι κατανομές χ^2 και Fischer. Η χ^2 χρησιμοποιείται στα δύο πρώτα ερωτήματα, δεδομένου ότι εφαρμόζεται εξ' ορισμού σε μεταβλητότητες ενός δείγματος και στη σύγκριση τους με μεταβλητότητες πληθυσμού, δηλαδή σε μεταβλητότητες που προκύπτουν από μεγάλα δείγματα, όπως αυτά που εφαρμόζονται στις διαδικασίες βαθμονόμησης ή που παρέχονται από τους κατασκευαστές των οργάνων. Αντίστοιχα, η κατανομή Fischer εφαρμόζεται στα δύο επόμενα, αφού χρησιμοποιείται για σύγκριση a posteriori μεταβλητοτήτων δύο δειγμάτων.

Για τα στατιστικά τεστ, χρησιμοποιείται επίπεδο εμπιστοσύνης $1-\alpha=0,95$ στα ερωτήματα (α) και (β) και στα ερωτήματα (γ) και (δ) $1-\alpha=0,975$, ενώ οι βαθμοί ελευθερίας είναι , $\nu_x + \nu_y = 56$ και $\nu_h = 28$, όπως προέκυψε λόγω της διαδικασίας μετρήσεων που ακολουθείται.

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα στατιστικά τεστ, συγκεντρωτικά.

Ερώτημα	Μηδενική Υπόθεση (H_0)	Εναλλακτική Υπόθεση (H_1)
α	$S_{ISO-GNSS\ RTK-xy} \leq \sigma_{xy}$	$S_{ISO-GNSS\ RTK-xy} > \sigma_{xy}$
β	$S_{ISO-GNSS\ RTK-h} \leq \sigma_h$	$S_{ISO-GNSS\ RTK-h} > \sigma_h$
γ	$\sigma_{xy} = \hat{\sigma}_{xy}$	$\sigma_{xy} \neq \hat{\sigma}_{xy}$
δ	$\sigma_h = \hat{\sigma}_h$	$\sigma_h \neq \hat{\sigma}_h$

Πίνακας 3-2. Στατιστικά Τεστ

❖ Ερώτημα α

Το ερώτημα αυτό, αποσκοπεί στο να απαντήσει στο αν η πειραματική τυπική απόκλιση που υπολογίστηκε μέσω των μετρήσεων, είναι μικρότερη ή ίση από την προκαθορισμένη τυπική απόκλιση του οργάνου, για την οριζοντιογραφία, όπως καθορίζεται από τον κατασκευαστή

ή από βαθμονόμηση. Η μηδενική υπόθεση στο παρόν ερώτημα γίνεται αποδεκτή αν πληρείται η συνθήκη (11), που προκύπτει, συνεπαγωγικά, από τις ανισότητες που διέπουν τα στατιστικά τεστ για την κατανομή χ^2 .

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq \sigma_{xy} \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(v_x + v_y)}{v_x + v_y}} \leftrightarrow \quad (3.8)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq \sigma_{xy} \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(56)}{56}} \left. \vphantom{\sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(56)}{56}}} \right\} \leftrightarrow \quad (3.9)$$

$$\chi_{0,95}^2(56) = 74,47$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq \sigma_{xy} \times \sqrt{\frac{74,47}{56}} \leftrightarrow \quad (3.10)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq \sigma_{xy} \times 1,15 \quad (3.11)$$

Αν δεν ισχύει, τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και είναι αποδεκτή η εναλλακτική υπόθεση.

❖ **Ερώτημα β**

Όπως και το προηγούμενο ερώτημα, έτσι και αυτό, αποσκοπεί στο να απαντήσει στο αν η πειραματική τυπική απόκλιση που υπολογίστηκε μέσω των μετρήσεων, είναι μικρότερη ή ίση από την προκαθορισμένη τυπική απόκλιση του οργάνου, για την υψομετρία, όπως καθορίζεται από τον κατασκευαστή ή από βαθμονόμηση. Οι σχέσεις ακολουθούν την κατανομή χ^2 . Η μηδενική συνθήκη ικανοποιείται, όταν ικανοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις. Αν συμβαίνει αυτό τότε γίνεται αποδεκτή. Σε αντίθετη περίπτωση, απορρίπτεται και γίνεται αποδεκτή η εναλλακτική υπόθεση.

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq \sigma_h \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(v_h)}{v_h}} \leftrightarrow \quad (3.12)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq \sigma_h \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(28)}{28}} \left. \vphantom{\sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(28)}{28}}} \right\} \leftrightarrow \quad (3.13)$$

$$\chi_{0,95}^2(28) = 41.34$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq \sigma_h \times \sqrt{\frac{41.34}{28}} \leftrightarrow \quad (3.14)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq \sigma_h \times 1.22 \quad (3.15)$$

❖ **Ερώτημα γ**

Το ερώτημα αυτό ασχολείται με το αν δύο δείγματα μετρήσεων οριζοντιογραφίας μπορούν να θεωρηθούν ότι ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό. Η μηδενική υπόθεση γίνεται αποδεκτή με την ικανοποίηση των σχέσεων που ακολουθούν, ενώ απορρίπτεται στην αντίθετη περίπτωση και γίνεται δεκτή η εναλλακτική υπόθεση.

$$\frac{1}{F_{1-a/2}(\hat{v}_x + \hat{v}_y, v_x + v_y)} \leq \frac{S_{ISO-GNSS RTK-xy}^2}{S_{ISO-GNSS RTK-xy}^2} \leq F_{1-a/2}(v_x + v_y, \hat{v}_x + \hat{v}_y) \leftrightarrow \quad (3.16)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{F_{0.975}(56,56)} \leq \frac{S_{ISO-GNSS RTK-xy}^2}{S_{ISO-GNSS RTK-xy}^2} \leq F_{0.975}(56,56) \\ F_{0.975}(56,56) = 1.70 \end{aligned} \right\} \leftrightarrow \quad (3.17)$$

$$0.59 \leq \frac{S_{ISO-GNSS RTK-xy}^2}{S_{ISO-GNSS RTK-xy}^2} \leq 1.70 \quad (3.18)$$

❖ **Ερώτημα δ**

Τέλος, το ερώτημα αυτό, παρέχει συμπέρασμα σχετικά με το αν δύο δείγματα υψομετρικών μετρήσεων, μπορεί να θεωρηθούν ότι ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό. Αν η ανισότητα (21) ικανοποιείται, τότε ικανοποιείται και η μηδενική συνθήκη. Αν δεν ικανοποιείται, τότε είναι αποδεκτή η εναλλακτική υπόθεση.

$$\frac{1}{F_{1-a/2}(\hat{v}_h, v_h)} \leq \frac{S_{ISO-GNSS RTK-h}^2}{S_{ISO-GNSS RTK-h}^2} \leq F_{1-a/2}(v_h, \hat{v}_h) \leftrightarrow \quad (3.19)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{F_{0.975}(28,28)} \leq \frac{S_{ISO-GNSS RTK-h}^2}{S_{ISO-GNSS RTK-h}^2} \leq F_{0.975}(28,28) \\ F_{0.975}(28,28) = 2.13 \end{aligned} \right\} \leftrightarrow \quad (3.20)$$

$$0.59 \leq \frac{S_{ISO-GNSS RTK-h}^2}{S_{ISO-GNSS RTK-h}^2} \leq 1.70 \quad (3.21)$$

Πρακτικά, μέσω των δύο τελευταίων ερωτημάτων, καλείται κάποιος να αποδείξει ότι τα δύο διαφορετικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την απόκτηση των δύο διαφορετικών δειγμάτων που συγκρίνονται, είναι όμοιας ή παρεμφερούς ακρίβειας. Αν αυτό συμβαίνει, τότε λέγεται ότι τα δύο αυτά δείγματα ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

4.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται οι εργασίες υπαίθρου που εκτελέστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το πεδίο μετρήσεων και τα κριτήρια που καθόρισαν την επιλογή του, καθώς και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται. Στο τέλος, γίνεται αναφορά στα προβλήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και στο τρόπο επίλυσης τους.

Οι εργασίες υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν, αποσκοπούν αφενός στον επακριβή προσδιορισμό του δικτύου τριών σημείων, που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τόσο όσον αφορά στις σχετικές όσο και στις απόλυτες τους θέσεις, τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά. Αφετέρου, οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν στο κύριο σώμα της παρούσας εργασίας και στα τρία πειράματα που αυτή περιλαμβάνει, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

Σε σχέση με το δίκτυο και τον προσδιορισμό των στοιχείων του, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τόσο με δέκτες GNSS και κάνοντας χρήση του στατικού εντοπισμού με εκ των υστέρων επεξεργασία όσο και με επίγειες μεθόδους, με τη χρήση πλήρους γεωδαιτικού σταθμού, υψηλής ακρίβειας.

Αντίστοιχα, για τα πειράματα, χρησιμοποιήθηκαν οι διαθέσιμοι δέκτες GNSS και με αυτούς πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τη μέθοδο του κινηματικού εντοπισμού με επίλυση σε πραγματικό χρόνο.

4.2 Γεωδαιτικός Εξοπλισμός

4.2.1 Πλήρης γεωδαιτικός σταθμός

Για τη μέτρηση του δικτύου με επίγειες μεθόδους, έγινε επιλογή, από τα διαθέσιμα όργανα του Εργαστηρίου Γενικής Γεωδαισίας, της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, ενός γεωδαιτικού σταθμού της εταιρίας Leica, της σειράς 1200+, και, συγκεκριμένα, του Leica 1201 (Εικόνα 4-1).



Εικόνα 4-1. Ο Γεωδαιτικός Σταθμός Leica 1201

Το συγκεκριμένο όργανο επιλέχθηκε λόγω της υψηλής ακρίβειας που απαιτείται στις μετρήσεις του δικτύου, αφού πρέπει να προσδιοριστούν οι αποστάσεις και οι υψομετρικές διαφορές των σημείων με ακρίβεια καλύτερη από 3mm. Στον Πίνακα που ακολουθεί,

φαίνονται οι ακρίβειες που πετυχαίνει ο σταθμός αυτός, σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία.

Γωνιομετρική Ακρίβεια	1'' ($\approx 3^{\text{cc}}$)
Ακρίβεια Μέτρησης Απόστασης	1mm \pm 1.5ppm
Εμβέλεια (για RoundPrism)	3000m

Πίνακας 4-1. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Γεωδαιτικού Σταθμού Leica 1201
(Πηγή: <http://www.surveyequipment.com>)

Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι:

- Τρίποδες
- Βάσεις κέντρωσης σε βάθρο
- Τρικόχλια
- Μετροταινία
- Ανακλαστήρες της ίδιας εταιρίας, τύπου Round Prism, με σταθερά οργάνου – ανακλαστήρα ίση με μηδέν.

4.2.2 Δέκτες GNSS

Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής, έγινε χρήση και των δύο ζευγών δεκτών GNSS που είναι διαθέσιμα από το Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, για να ελεγχθούν σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-8.

Οι δέκτες αυτοί, είναι οι δέκτες της Leica της σειράς 1200+ και οι δέκτες Trimble τύπου R8 GNSS/R6/5800.

❖ Δέκτες Leica

Το ζεύγος δεκτών της εταιρίας Leica που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στη σειρά 1200+. Συγκεκριμένα, πρόκειται για το μοντέλο GX1230 GNSS. Είναι κεραία που έχει ενσωματωμένο δέκτη. Το χειριστήριο που συνοδεύει τους δέκτες αυτούς είναι το RX 1250 (Εικόνα 4-2).

Η ακρίβειες που επιτυγχάνει ο εν λόγω δέκτης, τόσο στο στατικό εντοπισμό όσο και στον κινηματικό, φαίνονται στον Πίνακα 4-2. Επίσης, ο Πίνακας 4-3, δείχνει τα RMS (Root Mean Square) της ακρίβειας μέτρησης, για μετρήσεις διαφοράς φάσης και φέροντος κύματος.

	Στατικός Εντοπισμός	Κινηματικός Εντοπισμός
Οριζοντιογραφική Ακρίβεια	5 mm \pm 0.5 ppm	10 mm \pm 1 ppm
Υψομετρική Ακρίβεια	10 mm \pm 0.5 ppm	20 mm \pm 1 ppm

Πίνακας 4-2. Ακρίβειες Μέτρησης του Δέκτη GX 1230 της Leica σε Στατικό και Κινηματικό Εντοπισμό
(Πηγή: <http://www.leica-geosystemssolutionscenters.com>)

	Συχνότητα L1	Συχνότητα L2
Ψευδοαπόσταση – Φέρον Κύμα	2 cm	2 cm
Διαφορά Φάσης	0.2 mm	0.2 mm

Πίνακας 4-3. Τα RMS Ακρίβειας Μέτρησης του Δέκτη GX 1230, για Μετρήσεις Φέροντος Κύματος και Διαφοράς Φάσης (Πηγή: <http://www.leica-geosystemssolutionscenters.com>)



(α)



(β)

Εικόνα 4-2. Ο Δέκτης GNSS GX1230 της Leica και το Χειριστήριο RX1250

Οι δέκτες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για μετρήσεις RTK και RTN στο δίκτυο της MetricaNet. Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- Βάση κέντρωσης σε βάθρο
- Στυλαίος
- Μετροταινία
- Κινητό με δυνατότητα σύνδεσης Bluetooth και κάρτα SIM για την υποστήριξη της δυνατότητας GPRS (General Packet Radio Service)

❖ **Δέκτες Trimble**

Το δεύτερο ζεύγος δεκτών που χρησιμοποιήθηκε, όπως προαναφέρθηκε, είναι δέκτες της Trimble, τύπου R8 GNSS/R6/5800 και συνοδεύονται από το χειριστήριο TSC 2 (Εικόνα 4-3).



(α)



(β)

Εικόνα 4-3. Ο Δέκτης R8 GNSS/R6/5800 της Trimble

Στον Πίνακα 4-4 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι ακρίβειες που μπορεί να επιτύχει ο συγκεκριμένος δέκτης, σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία.

	Στατικός Εντοπισμός	Κινηματικός Εντοπισμός
Οριζοντιογραφική Ακρίβεια	5 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm
Υψομετρική Ακρίβεια	5 mm + 1 ppm	20 mm + 1 ppm

Πίνακας 4-4. Ακρίβειες Μέτρησης του Δέκτη R8 GNSS/R6/5800 της Trimble σε Στατικό και Κινηματικό Εντοπισμό (Πηγή: <http://www.sitechsw.com>)

Οι δέκτες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για μετρήσεις RTK, αλλά επίσης με αυτούς πραγματοποιήθηκε και ο στατικός εντοπισμός. Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- Βάση κέντρωσης σε βάθρο
- Στυλαιός
- Τρίποδες
- Τρικόχλια
- Μετροταινία

4.3 Πεδίο Μετρήσεων – Περιοχή Μελέτης

Οι μετρήσεις που απαιτούνταν πραγματοποιήθηκαν εξ' ολοκλήρου στην ταράτσα του Λαμπαδάριου κτιρίου, της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, στη Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου.

Το συγκεκριμένο πεδίο επιλέχθηκε ως το καταλληλότερο σε σχέση με άλλες πιθανές τοποθεσίες, καθώς έπρεπε να πληροί ορισμένα κριτήρια, τα οποία τέθηκαν.

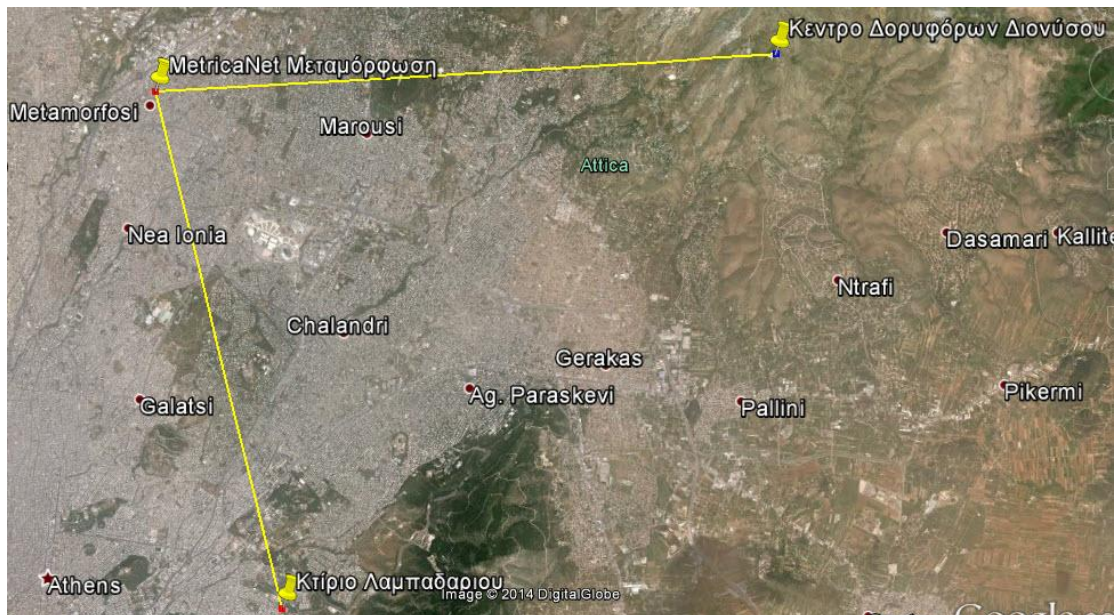
Αρχικά, δεδομένου ότι οι μετρήσεις σχετίζονται κυρίως με δέκτες και μετρήσεις με συστήματα GNSS, το πεδίο μετρήσεων έπρεπε να έχει ανοιχτό ορίζοντα και να μην υπάρχουν σημαντικά εμπόδια, μεγάλου ύψους, όπως δένδρα και κτίρια, γύρω από τα σημεία, από τη μία για να αποφευχθεί απόκρυψη δορυφόρων και από την άλλη για να ελαχιστοποιηθεί όσο αυτό είναι δυνατόν, το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών (multipath). Επίσης, το πεδίο έπρεπε να βρίσκεται εντός του εύρους κάλυψης των μόνιμων σταθμών της εταιρίας MetricaNet στην Αττική, που βρίσκονται στη Μεταμόρφωση και στην Ανάβυσσο.

Τέλος, ρόλο στην επιλογή του πεδίου μετρήσεων, έπαιξε η ύπαρξη σημείων γνωστών συντεταγμένων, το είδος της σήμανσης αυτών, δηλαδή το αν είναι μόνιμη ή όχι, και στην περίπτωση των δευτέρων κατά πόσο αυτά θα ήταν ασφαλή και κατά πόσο θα υπήρχε κίνδυνος καταστροφής τους ή μετακίνησης τους από εξωγενείς παράγοντες.

Προφανώς, το πεδίο έπρεπε να μπορεί να πληροί και τις προϋποθέσεις αποστάσεων που θέτει το πρότυπο ISO 17123-8, δηλαδή τα σημεία να απέχουν ικανοποιητικές αποστάσεις μεταξύ τους και να συνδυάζουν και όλα τα υπόλοιπα κριτήρια.

Πιθανές τοποθεσίες αποτέλεσαν η ευρύτερη περιοχή του Κέντρου Δορυφόρων Διονύσου (ΚΔΔ), λόγω του ανοιχτού ορίζοντα της περιοχής και διάφορες περιοχές εντός της Πολυτεχνειούπολης.

Το ΚΔΔ απορρίφθηκε λόγω της δυσκολίας μετάβασης στο πεδίο και λόγω του ότι το κριτήριο του ανοιχτού ορίζοντα μπορούσε να ικανοποιηθεί και σε περιοχές εντός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Επίσης, το γεγονός ότι οι αποστάσεις από τον σταθμό αναφοράς της Μεταμόρφωσης του ΚΔΔ και της Πολυτεχνειούπολης δεν διαφέρουν σημαντικά, όντας περίπου 9.5 και 12 km, αντίστοιχα (Εικόνα 4-4), συνέβαλλε στην απόρριψη του πεδίου αυτού.



Εικόνα 4-4. Οι Αποστάσεις Μεταμόρφωση - Λαμπαδάριο και Μεταμόρφωση - Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου

Στην Πολυτεχνειούπολη, πολλές περιοχές ήταν πιθανές, όμως μετά τη σύνταξη διαγραμμάτων ορίζοντα και επιτόπιας αναγνώρισης θεωρήθηκε καταλληλότερη η περιοχή μπροστά από το κτίριο της Κεντρικής Βιβλιοθήκης.

Στην πορεία, όμως, λόγω των ήδη γνωστών συντεταγμένων των σημείων του δικτύου στη ταράτσα του κτιρίου Λαμπαδαρίου, της μονιμότερης σήμανσης των σημείων, που περιελάμβαναν ένα βάθρο και μπουλόνια συνδυασμένα με μαρμάρινα πλακάκια (Εικόνα 4-5), και της ευκολίας πρόσβασης, επιλέχθηκε αυτό ως καταλληλότερο πεδίο μετρήσεων.

Οι διαθέσιμες συντεταγμένες των σημείων του δικτύου, που αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς του ΕΓΣΑ '87, προέρχονται από μετρήσεις που έχει πραγματοποιήσει το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, ωστόσο δεν είναι γνωστές ούτε οι μέθοδοι με τις οποίες προσδιορίστηκαν ούτε και η ακρίβεια προσδιορισμού τους.

Είναι όμως χρήσιμες, τόσο για χρήση ως προσεγγιστικές τιμές και επιπλέον έχει γίνει χωροστάθμιση από το Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, με βάση το Repper που βρίσκεται στη βάση του Λαμπαδαρίου κτιρίου και, συνεπώς, είναι γνωστά και τα ορθομετρικά και τα γεωμετρικά υψόμετρα των σημείων.

Η γνώση και των ορθομετρικών και των γεωμετρικών υψομέτρων των σημείων είναι ένα στοιχείο που είναι βοηθητικό, καθώς μπορεί έτσι να προσδιοριστεί η απόκλιση της κατακορύφου, στην περιοχή των μετρήσεων. Ωστόσο, αυτό δεν είναι απαραίτητο για τον έλεγχο κατά ISO, καθώς τα υψομετρικά στοιχεία ενδιαφέροντος είναι οι υψομετρικές διαφορές των σημείων, οι οποίες, λόγω της παραλληλίας των υψομετρικών συστημάτων αναφοράς και της μικρής έκτασης του πεδίου μετρήσεων, είναι ίδιες τόσο στο σύστημα που αναφέρεται στο ελλειψοειδές αναφοράς (WGS '84), όσο και στο γεωειδές (ΕΓΣΑ '87).



(α)



(β)

Εικόνα 4-5. Επισήμανση των Σημείων του Δικτύου στη Ταράτσα του Λαμπαδαρίου κτιρίου

Με βάση τις προδιαγραφές του προτύπου 17123-8, επιλέχθηκαν τρία σημεία από τα διαθέσιμα, τα οποία τις πληρούσαν και στα οποία έγιναν οι μετρήσεις. Τα σημεία αυτά είναι το σημείο Β, το οποίο είναι επισημασμένο με ένα βάθρο και τα σημεία 4 και 9, τα οποία είναι επισημασμένα με πλακάκια. Οι συντεταγμένες τους, όπως έχουν μετρηθεί από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, φαίνονται στον Πίνακα 4-5.

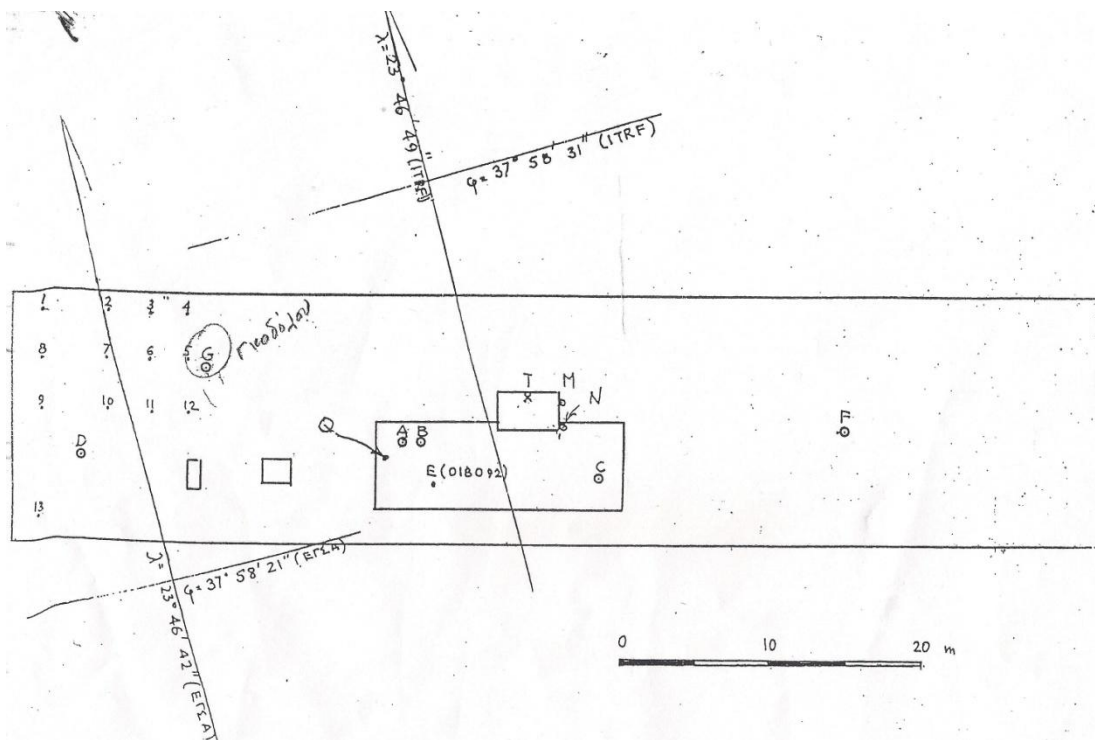
	X [m]	Y [m]	H [m]
B	480548.908	4202791.749	210.754
4	480537.129	4202804.316	207.097
9	480526.068	4202801.634	207.092

Πίνακας 4-5. Οι Συντεταγμένες των Σημείων του Τριγωνομετρικού Δικτύου στο ΕΓΣΑ '87, όπως έχουν υπολογιστεί από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας του ΕΜΠ

Στην Εικόνα 4-6, που ακολουθεί, φαίνονται οι θέσεις των σημείων που αποτέλεσαν τα σημεία του δικτύου. Η Εικόνα 4-7, δείχνει ένα αυτοσχέδιο υπαίθρου που έχει συνταχθεί από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και δείχνει τις σχετικές θέσεις όλων των σημείων που βρίσκονται στη ταράτσα του Λαμπαδαρίου.



Εικόνα 4-6. Παρουσίαση των Θέσεων των Σημείων του Τριγωνομετρικού Δικτύου



Εικόνα 4-7. Αυτοσχέδιο Υπαίθρου που δείχνει τις Σχετικές Θέσεις των Σημείων της Ταράτσας του Λαμπαδάριου (Πηγή : Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας)

4.4 Εργασίες Πεδίου

Οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν σε πέντε μέρες. Την πρώτη μέρα, έγινε χρήση των δεκτών της Leica και έγιναν μετρήσεις με τη τεχνική RTN στο δίκτυο της MetricaNet. Τη δεύτερη μέρα έγιναν μετρήσεις με τους ίδιους δέκτες, με χρήση της τεχνικής Single Base RTK. Τη τρίτη μέρα έγιναν οι επίγειες μετρήσεις του τριγωνομετρικού δικτύου και τη τέταρτη μέρα έγιναν οι μετρήσεις με τους δέκτες της Trimble και ο στατικός εντοπισμός. Κατόπιν επεξεργασίας των μετρήσεων διαπιστώθηκε η ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων στις μετρήσεις με τους δέκτες της Trimble και αποφασίστηκε η επανάληψη τους, που πραγματοποιήθηκαν την πέμπτη μέρα μετρήσεων, περίπου δύο μήνες αργότερα.

Στη συνέχεια, οι μετρήσεις αναλύονται με διαφορετική σειρά, από αυτή με την οποία πραγματοποιήθηκαν. Πρώτα θα περιγραφούν οι διαδικασίες μέτρησης του στατικού εντοπισμού και των επίγειων μετρήσεων και έπειτα οι μετρήσεις RTK.

Όλες οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται με τους δέκτες GNSS αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς του WGS '84. Ωστόσο, από το λογισμικό του κινητού δέκτη, υπάρχει η δυνατότητα μετασχηματισμού τους στο ΕΓΣΑ '87, την ώρα των μετρήσεων και απόδοση αποτελεσμάτων στο κρατικό σύστημα αναφοράς σε πραγματικό χρόνο. Για αυτό το λόγο γίνεται και η ένταξη του δικτύου στο κρατικό σύστημα, ώστε να υπάρχει κοινή αναφορά και δυνατότητα σύγκρισης των γνωστών συντεταγμένων των σημείων και των μετρημένων συντεταγμένων τους με τη μέθοδο του κινηματικού εντοπισμού.

4.4.1 Στατικός Εντοπισμός

Ο στατικός εντοπισμός πραγματοποιήθηκε με τους δέκτες της Trimble και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αυτών μετρήθηκαν οι βάσεις B-4, B-9, 4-9, για 17 λεπτά της ώρας, η κάθε μία από αυτές.

Ο λόγος που μετρήθηκαν και οι τρεις βάσεις του τριγώνου, είναι για να μετρηθεί κλειστό σχήμα και έτσι να υπάρχει περίσσεια παρατηρήσεων και να υπάρχει η δυνατότητα συνόρθωσης και ελέγχου της λύσης.

Οι συγκεκριμένοι δέκτες έχουν ρυθμιστεί έτσι, ώστε μόλις ανοίξουν, αρχίζουν και μετράνε με στατικό εντοπισμό. Ο χρήστης δεν έχει καμία εργασία να κάνει και κανένα έλεγχο. Ο μόνος έλεγχος παρέχεται από τη φωτεινή ένδειξη του δέκτη, ο οποίος όταν καταγράφει, αναβοσβήνει η λυχνία της μπαταρίας, κάθε τρία δευτερόλεπτα, που είναι η πρώτη λυχνία από δεξιά (Εικόνα 4-8).



Εικόνα 4-8. Φωτεινές Ενδείξεις του Δέκτη R8 GNSS/R6/5800 της Trimble

Για τη μέτρηση της βάσης Β - 4, λοιπόν, ο ένας δέκτης κατέλαβε το σημείο Β, κεντρώθηκε με βάση κέντρωσης κατάλληλη για βάθρο και μετρήθηκε το ύψος οργάνου, από τη στέψη του βάθρου. Ομοίως, ο δεύτερος δέκτης κατέλαβε το σημείο 4, κεντρώθηκε με τρίποδο και τρικόχλιο και μετρήθηκε το ύψος οργάνου (Εικόνα 4-9). Από τη στιγμή που ξεκίνησε να καταγράφει και ο δέκτης στο σημείο 4 αφέθηκαν να καταγράψουν για δεκαεπτά λεπτά.

Στη συνέχεια, για τη μέτρηση της βάσης Β – 9, ο δέκτης του σημείου 4 μεταφέρθηκε στο 9 και επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία και, τέλος, για τη βάση 4 – 9 (Εικόνα 4-10), ο δέκτης από το Β μεταφέρθηκε στο 4 και έγινε καταγραφή για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση δύο τριπόδων και τρικοχλίων, οι οποίοι στήθηκαν στα σημεία 4 και 9 και παρέμειναν εκεί. Έτσι, κατά τη μεταφορά των δεκτών από το σημείο 4 στο σημείο 9 και από το σημείο Β στο σημείο 4, οι τρίποδες δεν μετακινήθηκαν και οι μεταφορά των δεκτών έγινε αφήνοντας σταθερό το τρικόχλιο στους τρίποδες. Αυτό έγινε για να μην συσσωρευτούν επιπλέον σφάλματα κέντρωσης που θα υποβάθμιζαν την ποιότητα της επίλυσης.

Στο διάστημα μεταφοράς και στησίματος του δέκτη από το ένα σημείο στο άλλο, ο δεύτερος δέκτης συνέχιζε την καταγραφή, η οποία όμως δεν λαμβάνεται υπ' όψιν στην επεξεργασία και χρησιμοποιούνται μόνο οι παρατηρήσεις που πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα.

Σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων παρατηρούνταν οι λυχνίες και, συγκεκριμένα, εκείνη της μπαταρίας, για την περίπτωση που έχει σταματήσει για κάποιο λόγο η καταγραφή.

Εκ των υστέρων, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, διαπιστώθηκε ότι οι δέκτες έχουν ρυθμιστεί ώστε να λαμβάνουν μετρήσεις μόνο από δορυφόρους του συστήματος GPS. Έτσι, οι αριθμοί των παρατηρούμενων δορυφόρων ήταν 9 για τις βάσεις Β – 9 και Β – 4, ενώ για

τη βάση 4 – 9, ήταν 8. Ο αριθμός αυτός είναι αρκετός και η επιλογή του να μην συμμετέχουν στις μετρήσεις δορυφόροι Glonass, δεν υποβίβασε το τελικό αποτέλεσμα, όπως φαίνεται στο Κεφάλαιο 5.



Εικόνα 4-9. Στήσιμο Δέκτη GNSS σε Τρίποδο



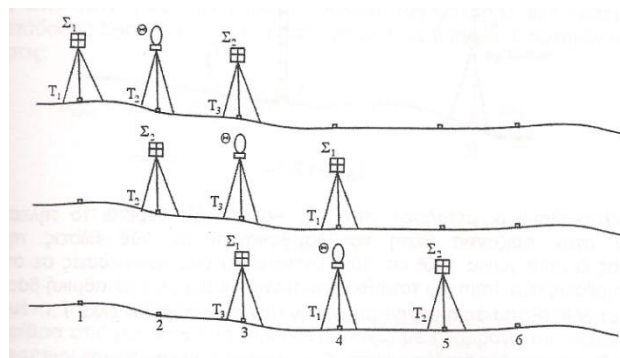
Εικόνα 4-10. Στιγμιότυπο Μέτρησης της Βάσης 4-9

4.4.2 Επίγειες Μετρήσεις

Η μέτρηση του δικτύου πραγματοποιήθηκε τη τρίτη μέρα μετρήσεων, με το γεωδαιτικό σταθμό Leica 1201.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη «μέθοδο των τριών τριπόδων», έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ακρίβεια.

«Μέθοδος τριών τριπόδων» ονομάζεται η μέθοδος, μέσω της οποίας, μετρώνται τα στοιχεία ενός τριγώνου, έχοντας σταθερούς τρεις τρίποδες, κεντρωμένους και οριζοντιωμένους πάνω από τις κορυφές του τριγώνου, με τη βοήθεια τριχοκλίων που διαθέτουν σύστημα οπτικής κέντρωσης. Έτσι, μεταφέροντας το όργανο από κορυφή σε κορυφή, αφήνοντας σταθερό το τρικόκλιο πάνω στο τρίποδο, ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα κέντρωσης και επιτυγχάνονται πολύ καλές ακρίβειες, ανάλογα με το όργανο που διατίθεται (Εικόνα 4-11).



Εικόνα 4-11. Η Μέθοδος των Τριών Τριπόδων
(Πηγή: Μπαλοδήμος και λοιποί, 2006)

Στο συγκεκριμένο δίκτυο, μετρήθηκαν όλα τα στοιχεία του, δηλαδή οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και κεκλιμένες αποστάσεις. Οι μετρήσεις αυτών των στοιχείων έγιναν σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου και σε δύο περιόδους.

Αρχικά, κεντρώθηκαν και οριζοντιώθηκαν οι τρίποδες με χρήση του οργάνου και σε αυτούς τοποθετήθηκαν οι στόχοι, των οποίων μετρήθηκαν τα ύψη τους από το σημείο. Το όργανο μεταφέρθηκε, κεντρώθηκε και οριζοντιώθηκε στο σημείο Β και μετρήθηκε το ύψος του. Πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις και, εν συνεχεία, το όργανο μεταφέρθηκε στη σημείο 4 και ο αντίστοιχος στόχος στο σημείο Β, μετρώντας και πάλι τα ύψη οργάνου και στόχου. Μετά τις μετρήσεις, το όργανο μεταφέρθηκε στο σημείο 9 και πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία.

Οι μέσοι όροι των στοιχείων του δικτύου υπολογίστηκαν κατά τα γνωστά. Δηλαδή, για τα μήκη, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τεσσάρων μετρήσεων που έγιναν. Για τις κατακόρυφες γωνίες υπολογίστηκε η μέση τιμή των μετρήσεων από τη σχέση:

$$MT = (\theta_1 - \theta_2 + 400)/2 \quad (4.1)$$

και ο Γενικός Μέσος Όρος από τη σχέση:

$$ΓΜΟ = (MT_1 + MT_2)/2 \quad (4.2)$$

Όσο για τις οριζόντιες γωνίες, η μέση τιμή υπολογίζεται κρατώντας το ακέραιο μέρος της πρώτης θέσης τηλεσκοπίου και το δεκαδικό μέρος είναι ο μέσος όρος των δεκαδικών των δύο θέσεων τηλεσκοπίου. Η μέση ανηγμένη τιμή υπολογίζεται προσθέτοντας ή αφαιρώντας τη τιμή της μέτρησης του πρώτου σημείου από τη τιμή της μέτρησης του δεύτερου, ανάλογα με το αν η πρώτη είναι μικρότερη από 400 βαθμούς ή μεγαλύτερη από 0 βαθμούς, αντίστοιχα. Τέλος, ο γενικός μέσος όρος υπολογίζεται, όπως και στις κατακόρυφες γωνίες από τη σχέση (4.2).

4.4.3 Πείραμα 1 - RTK Leica

Το πρώτο πείραμα, αποτελεί εφαρμογή του προτύπου ISO 17123-8, για το ζεύγος δεκτών Leica. Σκοπός του είναι η διαπίστωση του κατά πόσο συνάδουν οι ακρίβειες που προκύπτουν από τις μετρήσεις, με εκείνες του κατασκευαστή και επίσης να μελετηθεί η επίδραση του χρόνου παρατήρησης στην ακρίβεια των μετρήσεων.

Κατά τη διάρκεια των εργασιών ο δέκτης base στήθηκε στο βάθρο του σημείου Β και ρυθμίστηκε ώστε να στέλνει διορθώσεις στο rover (Εικόνα 4-12). Ο τελευταίος, τοποθετήθηκε στο στυλαίο και εφαρμόστηκαν διαδοχικές παρατηρήσεις στα σημεία 4 και 9 (Εικόνα 4-13). Τόσο στην αρχή όσο και στο τέλος των μετρήσεων, με χρήση μετροταινίας, μετρείται το ύψος του οργάνου. Στους συγκεκριμένους δέκτες η μέτρηση γίνεται μέχρι τη στέψη του στυλαιού, δηλαδή στο σημείο ένωσης του στυλαιού με το δέκτη.



Εικόνα 4-12. Συνδεσμολογία Σταθερού Δέκτη Leica



Εικόνα 4-13. Μέτρηση Σημείου με Κινητό Δέκτη Leica

Ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι αυτός που περιγράφεται στο πρότυπο. Κάθε σετ αποτελείται από μία μέτρηση του κάθε σημείου. Μία σειρά μετρήσεων αποτελείται από πέντε σετ. Το πείραμα ολοκληρώνεται με την πραγματοποίηση τριών σειρών μετρήσεων.

Κάθε σετ πρέπει να διαφέρει χρονικά από το προηγούμενο περίπου 5 λεπτά, ενώ η αρχή της μίας σειράς από την αρχή της δεύτερης πρέπει να διαφέρει τουλάχιστον 90 λεπτά. Συνεπώς, η κάθε σειρά, διαρκεί περίπου 25 λεπτά, θεωρώντας χρόνο παρατήρησης ανά σημείο τα 30 δευτερόλεπτα. Συνολικά οι μετρήσεις υπολογίζεται ότι διαρκούν περίπου 3.5 ώρες.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις διαφορετικής χρονικής διάρκειας για κάθε σημείο, με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ τους, για να διαπιστωθεί η σημασία του χρόνου παρατήρησης στην ακρίβεια που επιτυγχάνεται.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, έγινε συνδυασμός των μετρήσεων διαφορετικής χρονικής διάρκειας σε ένα πείραμα, παρατηρώντας το ίδιο σημείο για 60 δευτερόλεπτα και μετά για 30 δευτερόλεπτα. Ο συγκεκριμένος δέκτης δίνει τη δυνατότητα να γίνει καταγραφή της μέτρησης τη στιγμή που θα το επιλέξει ο χρήστης, διότι την ώρα της μέτρησης υπάρχει στην οθόνη του χειριστηρίου ένδειξη χρονομέτρου.

Άρα το κάθε σετ αποτελούνταν από 4 μετρήσεις, δύο για κάθε σημείο. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβούσε μεταξύ των σετ ήταν 4 – 4.5 λεπτά, αφού, αν θεωρηθεί ότι γίνονταν δύο αυτόνομα πειράματα ταυτόχρονα, όταν τελείωνε η μέτρηση των 60 δευτερολέπτων στο σημείο 9, έπρεπε να μεσολαβήσουν 5 λεπτά αναμονής, εκ των οποίων, όμως, τα 30 δευτερόλεπτα, ήταν ο χρόνος μέτρησης του σετ των 30 δευτερολέπτων.

Τελικά, ο χρόνος μέτρησης του κάθε σετ στο συγκεκριμένο πείραμα, διαρκούσε περίπου 35 λεπτά. Το σύνολο των τριών σετ διήρκησε περίπου 3 ώρες και 40 λεπτά.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, παρατηρούνταν δορυφόροι τόσο του συστήματος GPS, όσο και του συστήματος Glonass, και ο αριθμός τους, όπως φαίνεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5, είναι μεταξύ 15 και 17.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, παρόλο που το πρότυπο ISO αναφέρει τρεις σειρές μετρήσεων, αποφασίστηκε η μέτρηση τεσσάρων σειρών. Αυτό αποσκοπεί στο να εξεταστεί η σημασία του αριθμού σειρών που χρησιμοποιούνται στην επίλυση, συγκρίνοντας αποτελέσματα που προκύπτουν από την επίλυση με τρεις σειρές με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία δύο ή τεσσάρων σειρών (βλ. Κεφάλαιο 5).

4.4.4 Πείραμα 2 - RTK Trimble

Το δεύτερο πείραμα δεν διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από το πρώτο. Σκοπό έχει και αυτό, να αποδείξει ότι η ακρίβεια του κατασκευαστή του ζεύγους δεκτών της Trimble, είναι σε αρμονία με αυτή που προκύπτει από τις μετρήσεις. Και σε αυτό το πείραμα μελετάται η επίδραση του χρόνου παρατήρησης στην ακρίβεια των μετρήσεων.

Και αυτό το πείραμα πραγματοποιείται όπως περιγράφει το πρότυπο 17123-8 και ισχύουν τα ίδια με προηγουμένως για τον αριθμό των μετρήσεων και τους χρόνους μέτρησης. Η διαδικασία είναι ότι το σημείο B καταλαμβάνεται από το δέκτη base (Εικόνα 4-14), ο οποίος στέλνει ρυθμίσεις στο δέκτη rover, ο οποίος καταλαμβάνει διαδοχικά τα σημεία 4 και 9, όπως και προηγουμένως. Το ύψος του δέκτη μετριέται και εδώ πριν τις μετρήσεις αλλά και μετά το τέλος τους. Το ύψος μετριέται μέχρι τη χαρακτηριστική κίτρινη γραμμή που υπάρχει περιμετρικά, στο πλάι του δέκτη.

Και εδώ οι μετρήσεις γίνονταν για χρόνο παρατήρησης 30 και 60 δευτερολέπτων, ωστόσο επειδή οι δέκτες Trimble καταγράφουν μετρήσεις που γίνονται σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, δεν ήταν δυνατή η μέτρηση όπως περιγράφηκε στο πρώτο πείραμα.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, οι μετρήσεις που αφορούν τα 60 δευτερόλεπτα προηγούνταν και πρώτα γινόταν μέτρηση ενός σετ σε αυτό το χρόνο παρατήρησης και αμέσως μετά, γινόταν αλλαγή του χρόνου παρατήρησης και γινόταν η μέτρηση του σετ των 30 δευτερολέπτων.

Το χρονικό διάστημα που παρεμβαλλόταν μεταξύ του σετ των 30 δευτερολέπτων από το σετ των 60 δευτερολέπτων ήταν 3 – 3.5 λεπτά, έτσι ώστε να διατηρείται η απόσταση των σετ των δύο πειραμάτων περίπου στα 5 λεπτά. Ο τελικός χρόνος που διήρκησαν οι μετρήσεις του κάθε σετ είναι περίπου 35 - 40 λεπτά ενώ ο συνολικός χρόνος μετρήσεων είναι, όπως και προηγουμένως, περίπου 3 ώρες και 40 λεπτά.



Εικόνα 4-14. Συνδεσμολογία Σταθερού Δέκτη Trimble

Το κάθε σετ αποτελείται, λοιπόν, από 4 μετρήσεις, οι οποίες είναι δύο μετρήσεις για κάθε σημείο, εναλλάξ, δηλαδή η σειρά καταγραφής είναι: σημείο 4, σημείο 9, σημείο 4 και πάλι σημείο 9.

Στο εν λόγω πείραμα, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, που αναλύεται στο Κεφάλαιο 5, διαπιστώθηκε η ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων σε δύο σειρές μετρήσεων, με αποτέλεσμα την απόρριψη τους από την περαιτέρω επεξεργασία και προκαλώντας την αδυναμία μελέτης των ζητημάτων με τα οποία καταπιάνεται η παρούσα εργασία. Τελικά επιλέχθηκε η επανάληψη των μετρήσεων με τον ίδιο τρόπο, οι οποίες δεν είχαν τα ίδια προβλήματα.

Κατά τη διάρκεια και των δύο ημερών μετρήσεων, παρατηρούνταν μόνο δορυφόροι GPS και γι' αυτό, ο αριθμός τους είναι μεταξύ 7 και 11, την πρώτη μέρα και 8 και 11, τη δεύτερη. Η ποιότητα των μετρήσεων αναλύεται εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 5.

Όπως και στο προηγούμενο πείραμα, μετρήθηκαν και εδώ τέσσερις σειρές, παρ' όλο που το πρότυπο ISO κάνει λόγο για τρεις. Η αιτία αυτού είναι για να υπάρξει περίσσεια παρατηρήσεων και να μπορέσει να μελετηθεί ο ρόλος του πλήθους των σειρών στη τελική ακρίβεια (βλ. Κεφάλαιο 5).

4.4.5 Πείραμα 3 - RTN - MetricaNet

Το τελευταίο πείραμα αποτελεί μία προσπάθεια επέκτασης του προτύπου ISO 17123-8, σε μετρήσεις μέσω RTN, δηλαδή δικτυακού RTK, με τη τεχνική MAX. Ταυτόχρονα, όπως και στα προηγούμενα, έγινε μελέτη σχετικά με τη σημασία του χρόνου παρατήρησης στην ακρίβεια των μετρήσεων. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε ο ένας εκ των δύο δεκτών της Leica, συγκεκριμένα, εκείνος που έχει ρυθμιστεί για να λειτουργεί ως κινητός δέκτης, και το δίκτυο μόνιμων σταθμών που έχει αναπτυχθεί από τη συγκεκριμένη εταιρία στην ελληνική επικράτεια, το δίκτυο της MetricaNet.

Ο λόγος που στις μετρήσεις επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η τεχνική MAX, είναι επειδή, όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 2, είναι η μόνη τεχνική στην οποία δεν εφαρμόζονται μοντελοποιήσεις των παρατηρήσεων από το δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο θα αποθηκεύονταν RAW μετρήσεις, που δεν θα εμπεριείχαν κανένα επιπλέον σφάλμα, από εφαρμογές μοντέλων, τα οποία ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Από άποψη ακρίβειας, και οι τρεις τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί, αποδίδουν αποτελέσματα ίδιας ακρίβειας, οπότε αυτό το κριτήριο δεν επηρέασε την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου (Janssen, 2009).

Από άποψη σχεδιασμού των μετρήσεων, δεν χρειάστηκαν ιδιαίτερες προσαρμογές του προτύπου για να εξαχθούν οι αντίστοιχες πληροφορίες από τη μέθοδο αυτή. Συνεπώς, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν όπως και στο πείραμα 1, δεδομένου ότι χρησιμοποιήθηκαν και οι ίδιοι δέκτες.

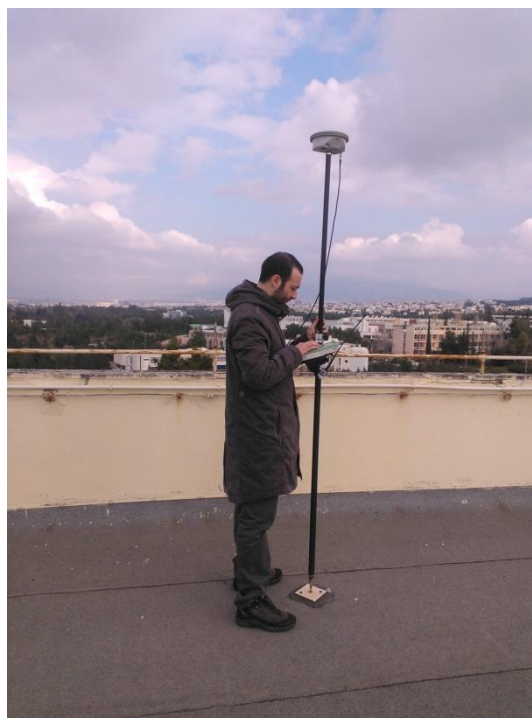
Ο χρόνος παρατήρησης ήταν και πάλι 30 και 60 δευτερόλεπτα, ενώ μετρήθηκαν, όπως και προηγουμένως, 5 σετ και 3 σειρές. Τα δύο σύνολα μετρήσεων που ενυπάρχουν στο συγκεκριμένο πείραμα, δηλαδή το σύνολο των 30 και το σύνολο των 60 δευτερολέπτων, συνδυάστηκαν όπως και στο πείραμα 1. Δηλαδή, πρώτα γινόταν μέτρηση του κάθε σημείου για 60 δευτερόλεπτα και έπειτα, αμέσως, για 30 δευτερόλεπτα. Μετά το τέλος του κάθε σετ, ακολουθούσε αναμονή 4 – 4.5 λεπτών, με αποτέλεσμα το κάθε σετ να αποτελείται από 4 μετρήσεις και να διαρκεί περίπου 35 λεπτά. Ο συνολικός χρόνος μετρήσεων ήταν περίπου 3 ώρες και 40 λεπτά.

Από πρακτικής άποψης, η διαδικασία των μετρήσεων διαφέρει καθώς με αυτή τη μέθοδο δεν απαιτείται σταθερός δέκτης που να παρέχεται από το χρήστη, αλλά χρησιμοποιούνται οι μόνιμοι σταθμοί του δικτύου.

Οπότε, δεν γίνεται κατάληψη του σημείου B από σταθερό δέκτη. Το μόνο που απαιτείται είναι η προσαρμογή του κινητού δέκτη στο στυλαίο και κατάληψη των σημείων για τους χρόνους που απαιτείται (Εικόνα 4-15). Το ύψος του δέκτη μετριέται, και εδώ, μέχρι το σημείο ένωσης στυλαιού – δέκτη, πριν την αρχή των μετρήσεων και μετά το πέρας τους.

Οι διορθώσεις στη συγκεκριμένη περίπτωση, αποστέλλονταν στο δέκτη μέσω κινητού τηλεφώνου, συνδεδεμένο μέσω Bluetooth με αυτόν. Το κινητό διαθέτει κάρτα SIM, η οποία έχει καταχωρηθεί στο σύστημα της MetricaNet και συνεπώς μπορεί να λάβει διορθώσεις από το server της εταιρίας και να τις προωθήσει στο δέκτη ώστε να ληφθούν υπ' όψιν για την εξαγωγή των τελικών συντεταγμένων.

Στο πείραμα αυτό, συμμετέχουν, και πάλι, δορυφόροι και από τα δύο συστήματα, GPS Glonass, και ο αριθμός τους ανέρχεται στους 13 με 17, πλησιάζοντας πολύ τον αριθμό των δορυφόρων του πειράματος 1. Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται κατά τις μετρήσεις αυτές, σύμφωνα με τους διαχειριστές του δικτύου, κυμαίνονται από 1-3 cm, για τρισδιάστατη επίλυση (www.metricanet.gr). Οι ακρίβειες αυτές και οι περιορισμοί που θέτει η χρήση του δικτύου, λαμβάνονται υπ' όψιν κατά την επεξεργασία των μετρήσεων (βλ. Κεφάλαιο 5).



Εικόνα 4-15. Μέτρηση Σημείου με τη Μέθοδο RTN

4.5 Σύνοψη Μετρήσεων

Στον Πίνακα 4-6, γίνεται σύνοψη των μετρήσεων υποδομής και των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής. Φαίνονται οι Ημερολογιακές Ημέρες που πραγματοποιήθηκε η κάθε εργασία, οι χρόνοι παρατήρησης, οι μετρούμενες ποσότητες κάθε μεθόδου και ο αριθμός των σετ και των σειρών ή περιόδων που περιελάμβανε κάθε διαδικασία μέτρησης.

	Μέθοδος Μέτρησης	Ημέρα Μετρήσεων	Χρόνος Παρατήρησης	Αριθμός Σετ & Σειρών	Μετρούμενες Ποσότητες
Επίγειες Μετρήσεις	Μέθοδος Τριών Τριπόδων	Ημέρα 3 17/1/2014	-	2 Θέσεις Τηλεσκοπίου - 2 Περίοδοι	Κεκλιμένες Αποστάσεις – Κατακόρυφες Γωνίες – Οριζόντιες Γωνίες
Στατικός Εντοπισμός	-	Ημέρα 4 23/1/2014	17 min	-	Βάση 4 - 9 Βάση Β - 9 Βάση Β - 4
Πείραμα 1 - Leica	Single Base RTK	Ημέρα 2 14/1/2014	30sec 60sec	5 Σετ & 4 Σειρές	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87 (Χ,Υ,Η) των Κορυφών 4 και 9
Πείραμα 2 - Trimble	Single Base RTK	Ημέρα 4 23/1/2014	30sec 60sec	5 Σετ & 4 Σειρές	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87 (Χ,Υ,Η) των Κορυφών 4 και 9
Πείραμα 3 – RTN - MetricaNet	MAX RTN	Ημέρα 1 13/1/2014	30sec 60sec	5 Σετ & 3 Σειρές	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87 (Χ,Υ,Η) των Κορυφών 4 και 9
Πείραμα 2 – Trimble (Επανάληψη)	Single Base RTK	Ημέρα 5 2/4/2014	30sec 60sec	5 Σετ & 4 Σειρές	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87 (Χ,Υ,Η) των Κορυφών 4 και 9

Πίνακας 4-6. Σύνοψη Μετρήσεων

4.6 Προβλήματα – Δυσκολίες

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, δεν αντιμετωπίστηκαν ουσιαστικές δυσκολίες.

Στο πείραμα 2, κατά την εγκατάσταση του σταθερού δέκτη, απαιτείται η χρήση ειδικής μπαταρίας 12 Volt για την υποστήριξη του modem, που μέσω της οποίας τροφοδοτείται και ο δέκτης παρακάμπτοντας τις εσωτερικές του μπαταρίες. Έτσι, κατά την πρώτη μέρα μετρήσεων με αυτούς τους δέκτες, διαπιστώθηκε ότι παρόλη τη φόρτιση που είχε προηγηθεί την προηγούμενη μέρα, η μπαταρία δεν απέδιδε. Το πρόβλημα παρακάμφθηκε χρησιμοποιώντας διαφορετική μπαταρία του εργαστηρίου, ωστόσο μέχρι να εντοπιστεί το πρόβλημα και η νέα μπαταρία, υπήρξε καθυστέρηση πολύ μεγαλύτερη των 90 λεπτών μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης σειράς μετρήσεων, που έφτανε περίπου τις 3 ώρες. Στο διάστημα αυτό και μέχρι την εξεύρεση λύσης στο θέμα της μπαταρίας, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις του στατικού εντοπισμού.

Σε κάθε περίπτωση, λόγω του ότι το πρότυπο αναφέρει ρητά ότι ο χρόνος από την αρχή μίας σειράς μετρήσεων μέχρι την αρχή της επόμενης πρέπει να παρεμβάλλονται τουλάχιστον 90 λεπτά, οι 3 ώρες που παρεμβάλλονται δεν αποτελούν πρόβλημα ούτε αλλοίωση των μετρήσεων. Επίσης, το γεγονός ότι, τελικά, οι μετρήσεις αυτές δεν χρησιμοποιήθηκαν, αλλά πραγματοποιήθηκαν εκ νέου μετρήσεις, καθιστά το εν λόγω πρόβλημα αδιάφορο.

Στο πείραμα 3 που αποτελείται από μετρήσεις RTN, και μόνο σε αυτό, αρκετές φορές κατά τη διάρκεια που μετρούνταν σημεία, σημειώθηκε απώλεια σήματος. Ο λόγος που συνέβαινε κάτι τέτοιο δεν είναι γνωστός, καθώς η περιοχή μετρήσεων είναι προσεκτικά επιλεγμένη και δεν είναι ούτε σε πυκνοδομημένη περιοχή ούτε υπάρχει πυκνή βλάστηση, γύρω από αυτή. Οι παράγοντες που θα τη δικαιολογούσαν είναι πολλοί, όπως παρεμβολή σήματος από τις κεραιές που βρίσκονται στην Υμηττό, απώλεια σήματος του κινητού τηλεφώνου ή ταυτόχρονη λήψη δύο ή περισσότερων παλμών που προέρχονται από ανάκλαση του σήματος και αδυναμία επιλογής ενός από αυτούς για καταγραφή.

Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε ακυρώνοντας τη μέτρηση, περιμένοντας την αρχικοποίηση (initialization) και την επίλυση των ασαφειών φάσης του συστήματος εκ νέου και νέα προσπάθεια μέτρησης του εκάστοτε σημείου. Στην περίπτωση που παρουσιαζόταν απώλεια σήματος, επαναλαμβανόταν η διαδικασία που περιγράφηκε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 Γενικά

Το τελευταίο στάδιο, περιλαμβάνει την επεξεργασία των μετρήσεων προκειμένου να παραχθούν να τελικά συμπεράσματα της παρούσας μελέτης. Όλες οι συντεταγμένες των σημείων αναφέρονται στην προβολή του ΕΓΣΑ '87, προκειμένου να μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους.

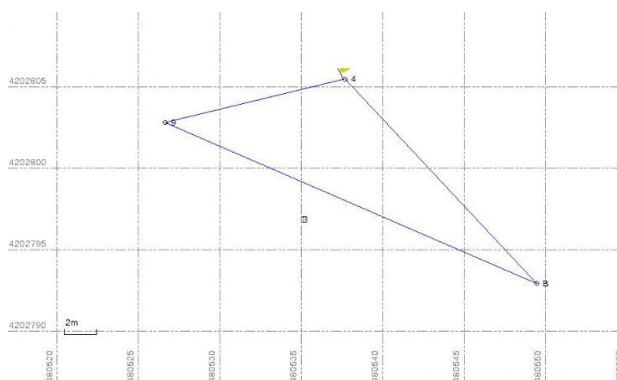
Το μεγαλύτερο μέρος της επεξεργασίας γίνεται σε υπολογιστικά φύλλα, τύπου Excel, εκτός από την επίλυση των μετρήσεων του στατικού εντοπισμού, όπου γίνεται σε εξειδικευμένο λογισμικό της εταιρίας κατασκευής των δεκτών, που ονομάζεται Trimble Business Center.

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται όλες οι διαδικασίες που εφαρμόστηκαν προκειμένου να επιλυθεί το δίκτυο, έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα τα απαραίτητα στοιχεία για την εφαρμογή του ελέγχου ορθότητας των μετρήσεων, μέσω του Απλοποιημένου Τεστ. Επίσης, παρουσιάζονται τα ίδια τα Τεστ, Απλοποιημένο και Σύνθετο, για κάθε πείραμα ξεχωριστά, και γίνεται ερμηνεία των αποτελεσμάτων αυτών. Τέλος, γίνεται εφαρμογή των Στατιστικών Τεστ, όπως τα διατυπώνει το πρότυπο ISO 17123-8.

5.2 Επίλυση Στατικού Εντοπισμού

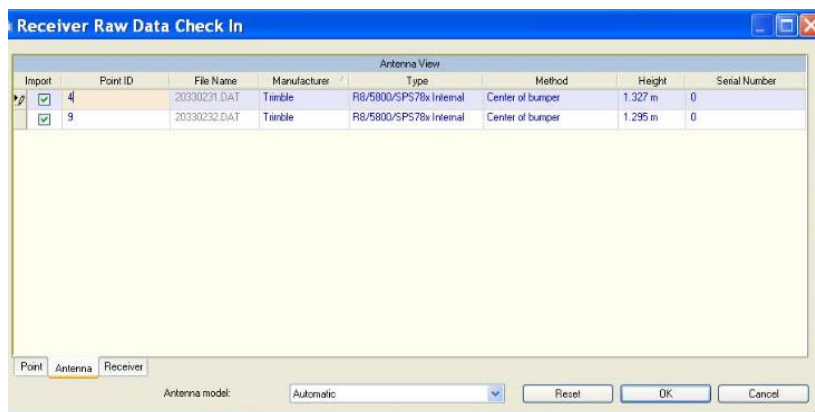
Ο στατικός εντοπισμός επιλύθηκε στο λογισμικό Trimble Business Center (TBC), στις τρεις διαστάσεις, θεωρώντας ως σταθερό σημείο το Β, για να αρθεί η ατέλεια θέσης. Οι συντεταγμένες που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό, είναι εκείνες που προέρχονται από τις μετρήσεις και την επίλυση του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας, θεωρώντας τες με μηδενικό σφάλμα.

Αρχικά, έγινε εισαγωγή των μετρήσεων των τριών βάσεων στο λογισμικό, το οποίο τις σχεδιάζει στο διδιάστατο χώρο, παρουσιάζοντας τες μέσα σε κάναβο (Εικόνα 5-1). Σε αυτό το σημείο, επιλέγεται ο τύπος του δέκτη, εισάγεται το ύψος των δεκτών πάνω από το μετρούμενο σημείο και επιλέγεται ο τρόπος που μετρήθηκαν τα ύψη αυτών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέγεται από το πτυσσόμενο μενού η επιλογή



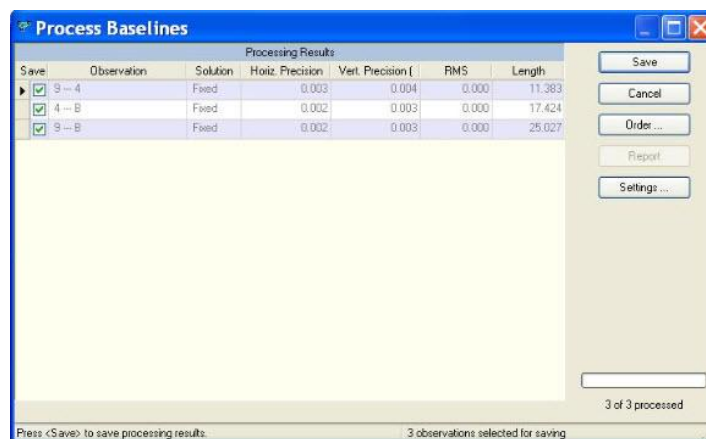
Εικόνα 5-1. Οπτικοποίηση των Βάσεων στο Λογισμικό TBC

“Bottom of Antenna Mount” για το ύψος του δέκτη που κατέλαβε το σημείο Β, αφού η μέτρηση γίνεται κατακόρυφα, ενώ για τα σημεία 4 και 9 επιλέγεται η επιλογή “Center of Bumper” διότι μετριέται η κεκλιμένη απόσταση και το λογισμικό ανάγει τη μέτρηση της κεκλιμένης απόστασης σε κατακόρυφη, έχοντας γνωστές τις διαστάσεις του δέκτη (Εικόνα 5-2).



Εικόνα 5-2. Επεξεργασία Εισαγόμενων Δεδομένων στο Λογισμικό TBC

Στη συνέχεια, από την επιλογή Survey → Process Baselines γίνεται μία πρώτη επίλυση του δικτύου. Είναι πιθανό, κάποια από τις μετρήσεις να μη βρίσκεται σε συμφωνία με τις υπόλοιπες και άρα σε αυτό το σημείο θα εμφανιστεί με μία σημαία είτε κίτρινη είτε κόκκινη ανάλογα με τη σημαντικότητα του λάθους, σύμφωνα με τα όρια που έχουν τεθεί. Σε αυτό το στάδιο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ακόμα δεν έχει γίνει άρση των ατελειών και δεν έχει τελειώσει η επίλυση, παρόλο που έχουν παραχθεί κάποια αποτελέσματα (Εικόνα 5-3).



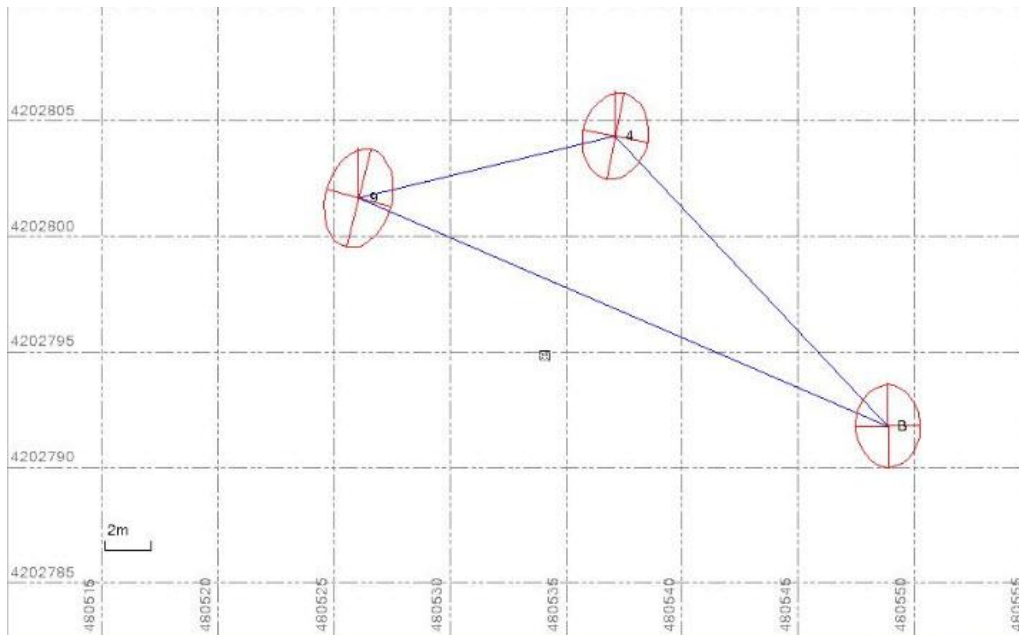
Εικόνα 5-3. Αποτελέσματα Επεξεργασίας Βάσεων στο Λογισμικό TBC

Έπειτα, επιλέγεται το σημείο που ορίζεται ως σταθερό, εισάγονται οι συντεταγμένες του και επιλύονται οι βάσεις ξανά, έχοντας άρει την ατέλεια θέσης και τοποθετώντας το δίκτυο, στην ορθή θέση του, στο τρισδιάστατο χώρο.

Τέλος, πραγματοποιείται η συνόρθωση του δικτύου. Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων και τα σφάλματα τους φαίνονται στον Πίνακα 5-1 ενώ η τελική οπτική απεικόνιση του συνορθωμένου δικτύου με τις ελλείψεις σφάλματος κάθε κορυφής φαίνεται στην Εικόνα 5-4.

	X [m]	Y [m]	H [m]	σ_x [m]	σ_y [m]	σ_H [m]
B	480548.908	4202791.749	210.754	0.000	0.000	0.000
4	480537.126	4202804.320	207.105	0.003	0.003	0.004
9	480526.068	4202801.637	207.108	0.003	0.003	0.004

Πίνακας 5-1. Πίνακας Συντεταγμένων Υπολογισμένων από το Λογισμικό TBC



Εικόνα 5-4. Απεικόνιση Δικτύου και Ελλείψεων Σφάλματος στο Λογισμικό TBC

Από άποψη ποιότητας των μετρήσεων, αξιολογείται ως αρκετά καλή. Οι παρατηρούμενοι δορυφόροι είναι 8 κατά τη μέτρηση του διανύσματος 4 – 9 και 9 κατά τη μέτρηση των διανυσμάτων B – 9 και B – 4. Αντίστοιχα, οι μέγιστοι δείκτες PDoP που σημειώνονται, είναι 2.5, 2.6 και 2.4.

Κατά το πρότυπο ISO που μελετάται, πρέπει οι υψομετρικές διαφορές των σημείων και οι οριζόντιες αποστάσεις τους να είναι προσδιορισμένες με ακρίβεια καλύτερη των 3 χιλιοστών. Τα υψόμετρα των σημείων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5-1, είναι προσδιορισμένα με ακρίβεια 4 χιλιοστών, που μέσω Νόμου Μετάδοσης Σφαλμάτων, είναι προφανές ότι δεν μπορεί να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, από αυτές τις μετρήσεις. Το ίδιο ισχύει και για τις οριζόντιες αποστάσεις των σημείων, όπου οι αποστάσεις B - 9 και B - 4, υπολογίζονται με ακρίβεια 4 χιλιοστών ενώ η απόσταση 4 - 9, με ακρίβεια 6 χιλιοστών, όπως προκύπτει και πάλι, από το Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων. Συνεπώς, ο στατικός εντοπισμός που πραγματοποιήθηκε δεν είναι σε θέση να παρέχει τα επιθυμητά αποτελέσματα που θα αποτελέσουν τη βάση σύγκρισης και ελέγχου των μετρήσεων RTK.

5.3 Επίλυση Επίγειων Μετρήσεων – Συνόρθωση Δικτύου

Η συνόρθωση του δικτύου, με βάση τις επίγειες παρατηρήσεις, πραγματοποιήθηκε σε υπολογιστικό φύλλο Excel. Δεν αφορά στο τρισδιάστατο χώρο αλλά εφαρμόζεται χωριστά για την οριζοντιογραφία και την υψομετρία. Η παράγραφος αυτή ακολουθεί την ίδια δομή, παρουσιάζοντας χωριστά τις δύο συνορθώσεις.

5.3.1 Οριζοντιογραφικό δίκτυο

Όπως περιγράφηκε και στο κεφάλαιο 4, οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την οριζοντιογραφία, επεξεργάστηκαν και έδωσαν αποτελέσματα για τις τρεις οριζόντιες γωνίες και τις τρεις οριζόντιες αποστάσεις, καθώς και για τη τυπική απόκλιση των μετρήσεων μεταξύ τους (Πίνακας 5-2). Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τα δεδομένα της συνόρθωσης.

	Μέτρηση (l)	Τυπική Απόκλιση Μετρήσεων (σ_x)
β_{B49} [grad]	132.7778	5 ^{cc}
β_{49B} [grad]	41.1605	7 ^{cc}
β_{9B4} [grad]	26.0630	1 ^{cc}
D_{B4} [m]	17.231	0.000 m
D_{B9} [m]	24.895	0.000 m
D_{49} [m]	11.386	0.000 m

Πίνακας 5-2. Τα Δεδομένα της Συνόρθωσης του Οριζοντιογραφικού Δικτύου

Το δίκτυο, δεδομένου ότι έχει τρεις κορυφές και αίροντας τις ατέλειες θέσης και προσανατολισμού, θεωρώντας σταθερή τη κορυφή Β και τη γωνία διεύθυνσης, α_{B4} , έχει ανεξάρτητες καθοριστικές παραμέτρους, m , ίσες με 2 συντεταγμένες $\times 3$ κορυφές $- 3$ ατέλειες = 3. Οι μετρήσεις, n , είναι 6 και ο βαθμός ελευθερίας, r , είναι $m-n=3$.

Λόγω του ότι οι σχέσεις που διέπουν την επίλυση του δικτύου δεν είναι γραμμικές, απαιτούνται προσεγγιστικές τιμές. Οι συντεταγμένες του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας που φαίνονται στον Πίνακα 4.5, χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό.

Από τον ίδιο πίνακα εξάγονται τα στοιχεία για την άρση των ατελειών. Από τις συντεταγμένες των σημείων Β και 4 και από τις σχέσεις του Δεύτερου Θεμελιώδους Προβλήματος της Γεωδαισίας, υπολογίζεται ότι η γωνία διεύθυνσης, α_{B4} , είναι 352.0598 grad. Αντίστοιχα, οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες του σημείου Β είναι (480548.908, 4202791.749) [m].

Το διάνυσμα $x = \begin{bmatrix} x_9 \\ y_9 \\ D_{B4} \end{bmatrix}$ αποτελείται από τα στοιχεία που προκύπτουν μετά από τη συνόρθωση. Όπως φαίνεται στο διάνυσμα, η κορυφή 4 θεωρείται ως ημισταθερή λόγω του ότι οι ανεξάρτητες καθοριστικές παράμετροι δείχνουν πόσα ακριβώς στοιχεία μπορούν να υπολογιστούν από τη συνόρθωση αυτή και πόσα στοιχεία περιλαμβάνει το διάνυσμα x .

Η σειρά με την οποία διατυπώνονται οι εξισώσεις παρατήρησης είναι η ίδια με τη σειρά που παρουσιάζονται οι μετρήσεις στον προηγούμενο πίνακα. Το σ_0 αργότερα θεωρείται ίσο με 1 και έτσι, για ακρίβεια μέτρησης γωνιών 4^{cc} και μηκών 1 mm, διαμορφώνεται ο εξής πίνακας βαρών:

$$P = \begin{bmatrix} 0.0625 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0625 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0625 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1000000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1000000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1000000 \end{bmatrix}$$

Αντίστοιχα, ο πίνακας Α που περιέχει τους συντελεστές των αγνώστων στις γραμμικοποιημένες σχέσεις, έχοντας λάβει υπ' όψιν τις μονάδες μέτρησης της κάθε εξίσωσης παρατήρησης, φαίνεται παρακάτω.

$$A = \begin{bmatrix} -13180.712 & 54359.380 & -48675.013 \\ 23340.870 & -30883.609 & 48675.013 \\ -10160.158 & -23475.771 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.918 & 0.397 & 0 \\ -0.972 & -0.236 & -0.493 \end{bmatrix}$$

Ακόμα, ο πίνακας δl , που περιέχει τις διαφορές των μετρήσεων με τις αντίστοιχες ποσότητες όπως προκύπτουν από τις προσεγγιστικές τιμές, είναι

$$\delta l = \begin{bmatrix} -183.1964 \\ 134.9636 \\ 60.7328 \\ 0.0001 \\ -0.0022 \\ -0.0001 \end{bmatrix} \begin{matrix} [\beta \text{ σε cc}] \\ [D \text{ σε m}] \end{matrix}$$

Τελικά, από τη σχέση

$$\delta x = (A^T P A)^{-1} A^T P \delta l \quad (5.1)$$

προκύπτουν οι διορθώσεις των προσωρινών συντεταγμένων, σε μέτρα, που είναι:

$$\delta x = \begin{bmatrix} 0.001 \\ -0.003 \\ 0.0004 \end{bmatrix} [\text{m}]$$

Και προσθέτοντας αλγεβρικά τις διορθώσεις και τις προσεγγιστικές τιμές, ο πίνακας x είναι:

$$x = \begin{bmatrix} 480526.069 \\ 4202801.631 \\ 17.225 \end{bmatrix} [\text{m}]$$

Ο πίνακας Μεταβλητότητας – Συμμεταβλητότητας του διανύσματος x υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_x = \widehat{\sigma}_0^2 (A^T P A)^{-1} \quad (5.2)$$

όπου

$$\widehat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{u^T P u}{r}} \quad (5.3)$$

και

$$u = Ax - \delta l \quad (5.4)$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

$$V_x = \begin{bmatrix} 0.00000059 & -0.00000025 & -0.00000044 \\ -0.00000025 & 0.00000013 & 0.00000020 \\ -0.00000044 & 0.00000020 & 0.00000034 \end{bmatrix} [m^2]$$

Τελικά, λόγω του ότι τα επιθυμητά αποτελέσματα είναι οι συντεταγμένες και των δύο κορυφών και όχι η απόσταση, εφαρμόζεται το Πρώτο Θεμελιώδες Πρόβλημα της Γεωδαισίας και υπολογίζονται οι συντεταγμένες του σημείου 4, κάνοντας χρήση της απόστασης του διανύσματος x και της σταθερής γωνίας διεύθυνσης, α_{B4} . Επίσης, εφαρμόζεται ο Νόμος Μετάδοσης Μεταβλητοτήτων στον πίνακα Μεταβλητότητας – Συμμεταβλητότητας και υπολογίζεται ένας νέος πίνακας Μεταβλητότητας – Συμμεταβλητότητας για τις συντεταγμένες των κορυφών. Οπότε προκύπτει το αντίστοιχο

$$\text{διάνυσμα } y = \begin{bmatrix} x_9 \\ y_9 \\ x_4 \\ y_4 \end{bmatrix} \text{ και ο αντίστοιχος } V_y.$$

$$y = \begin{bmatrix} 480526069 \\ 4202801631 \\ 480537.129 \\ 4202804316 \end{bmatrix} [m]$$

$$V_y = \begin{bmatrix} 0.000000589 & -0.000000247 & 0.000000298 & -0.000000318 \\ -0.000000247 & 0.000000125 & -0.000000138 & 0.000000147 \\ 0.000000298 & -0.000000138 & 0.000000161 & -0.000000171 \\ -0.000000318 & 0.000000147 & -0.000000171 & 0.000000183 \end{bmatrix} [m^2]$$

Το $\widehat{\sigma}_0$ ισούται με 1.08. Αυτό σημαίνει ότι ο λόγος $\widehat{\sigma}_0/\sigma_0$ είναι κι αυτός ίσος με 1.08, αφού το σ_0 είχε θεωρηθεί αρχικά ίσο με 1. Επομένως, η λύση αυτή είναι αξιόπιστη και δεν έχει γίνει ούτε υπερεκτίμηση της ποιότητας της συνόρθωσης και της ακρίβειας που επιτυγχάνεται αλλά ούτε και υποεκτίμηση.

Αντίστοιχα, από το τελικό πίνακα Μεταβλητότητας – Συμμεταβλητότητας, αν υπολογιστεί η τετραγωνική ρίζα των τιμών της κυρίας διαγωνίου, τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα.

	Τυπική Απόκλιση (σ) [m]
x_9	0.0007
y_9	0.0003
x_4	0.0004
y_4	0.0004

Πίνακας 5-3. Ακρίβειες Υπολογισμού Οριζοντιογραφικών Συντεταγμένων των Κορυφών του Δικτύου

Συνεπώς, εφαρμόζοντας Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων, προκύπτει ότι η ακρίβεια με την οποία είναι γνωστές οι αποστάσεις του δικτύου είναι καλύτερες από 1mm, με τιμές που κυμαίνονται από 0.7 – 0.8mm, και πληρούνται τα κριτήρια του προτύπου ISO 17123-8, που μελετάται.

5.3.2 Υψομετρικό δίκτυο

Αντίστοιχη είναι και η διαδικασία συνόρθωσης του υψομετρικού δικτύου, ωστόσο στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι εξισώσεις παρατήρησης είναι γραμμικές και γι' αυτό το λόγο δεν απαιτούνται προσωρινές τιμές.

Τα δεδομένα, όπως και στην περίπτωση του οριζοντιογραφικού δικτύου, προήλθαν από τις μετρήσεις του γεωδαιτικού σταθμού και είναι οι τρεις υψομετρικές διαφορές των σημείων. Προήλθαν από τον υπολογισμό των Γενικών Μέσων Όρων των κατακόρυφων γωνιών και τον υπολογισμό των Μέσων Όρων των κεκλιμένων αποστάσεων που μετρήθηκαν και στη συνέχεια από την εφαρμογή βασικών σχέσεων υψομετρίας. Ακολουθως, υπολογίστηκε ο μέσος όρος του aller και του retour και οι τυπικές αποκλίσεις των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών είναι τα στοιχεία εισόδου της συνόρθωσης και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-4.

	Μέτρηση (l) [m]	Τυπική Απόκλιση Μετρήσεων (σ_x) [m]
Δh_{B4}	-3.649	0.0003
Δh_{B9}	-3.652	0.0006
Δh_{49}	-0.004	0.0021

Πίνακας 5-4. Τα Δεδομένα της Συνόρθωσης του Υψομετρικού Δικτύου

Το δίκτυο αυτό παρουσιάζει ατέλεια θέσης, η οποία αίρεται θεωρώντας σταθερό και χωρίς σφάλμα το ορθομετρικό υψόμετρο του σημείου Β, που έχει υπολογιστεί από Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, ίσο με 210.754 m. Ο αριθμός των μετρήσεων, n, είναι 3. Ο αριθμός των ανεξάρτητων καθοριστικών παραμέτρων, m, είναι 3 κορυφές \times 1 συντεταγμένη – 1 ατέλεια = 2. Οπότε, ο βαθμός ελευθερίας, r, είναι n-m=1.

Το διάνυσμα x, διαμορφώνεται με βάση τον αριθμό των ανεξάρτητων καθοριστικών παραμέτρων, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 2. Επομένως, το διάνυσμα θα έχει δύο στοιχεία και είναι $x = \begin{bmatrix} H_4 \\ H_9 \end{bmatrix}$. Οι εξισώσεις παρατήρησης καταστρώνονται με την ίδια σειρά με την οποία παρατίθενται στον Πίνακα 5-4. Λαμβάνοντας αυτό υπ' όψιν, διαμορφώνονται με την ίδια σειρά ο πίνακας βαρών, P, και ο πίνακας σχεδιασμού, A.

Θεωρείται και πάλι, σ_0 arbiriri ίσο με 1. Η ακρίβεια μέτρησης των υψομετρικών διαφορών, θεωρητικά είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση των κορυφών του δικτύου, ωστόσο δεδομένου ότι δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους θεωρούνται ισοβαρείς οι παρατηρήσεις και δεν έχει νόημα η διατύπωση του πίνακα βαρών, αφού είναι μοναδιαίος.

Ο πίνακας σχεδιασμού περιέχει τους συντελεστές των αγνώστων του διανύσματος x. Δεν απαιτείται έλεγχος και επέμβαση στις μονάδες μέτρησης των στοιχείων του πίνακα αφού τόσο τα ζητούμενα αποτελέσματα όσο και τα δεδομένα, περιγράφονται από κοινές μονάδες μέτρησης.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας dl, που τα στοιχεία του είναι οι διαφορές των μετρήσεων με το σταθερό όρο, δηλαδή το υψόμετρο του σημείου Β, διαμορφώνεται όπως φαίνεται παρακάτω.

$$dl = \begin{bmatrix} 207.105 \\ 207.102 \\ -0.004 \end{bmatrix} \text{ [m]}$$

Το διάνυσμα x τελικά δίνεται από τη σχέση

$$x = (A^T A)^{-1} A^T \delta l \quad (5.5)$$

και είναι

$$x = \begin{bmatrix} 207.105 \\ 207.102 \end{bmatrix} \text{ [m]}$$

Το σφάλμα της μονάδας βάρους για ισοβαρείς παρατηρήσεις δίνεται από τη σχέση

$$\widehat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{u^T u}{r}} \quad (5.6)$$

ενώ το διάνυσμα των υπολοίπων υπολογίζεται όπως και στην προηγούμενη παράγραφο, από τη σχέση (5.4).

Τελικά, το $\widehat{\sigma}_0$ είναι ίσο με 0,0006 m, που εκφράζει το πόσο ακριβείς είναι οι μετρήσεις που έγιναν, και ο Πίνακας Μεταβλητότητας – Συμμεταβλητότητας είναι

$$V_x = \begin{bmatrix} 0.000000222 & 0.000000111 \\ 0.000000111 & 0.000000222 \end{bmatrix} \text{ [m}^2\text{]}$$

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5-5), παρουσιάζονται οι ακρίβειες προσδιορισμού των υψομετρικών συντεταγμένων των κορυφών.

	Τυπική Απόκλιση (σ) [m]
H ₄	0.0005
H ₉	0.0005

Πίνακας 5-5. Ακρίβεια Προσδιορισμού των Υψομέτρων των Κορυφών του Δικτύου

Με βάση αυτά, από Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων, υπολογίζεται ότι οι υψομετρικές διαφορές των σημείων προσδιορίζονται με ακρίβεια $\pm 0,5\text{mm}$ αν το ένα εκ των δύο σημείων είναι η σταθερή κορυφή και $\pm 0,7\text{mm}$ για την υψομετρική διαφορά Δh_{49} . Προφανώς, πληρείται η προϋπόθεση του προτύπου ISO, για προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών με ακρίβεια καλύτερη των 3mm.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5-6), συνοψίζονται τα αποτελέσματα και των δύο συνορθώσεων.

	X [m]	Y [m]	H [m]	σ_x [m]	σ_y [m]	σ_H [m]
Κορυφή 4	480537.129	4202804.316	207.105	0.0004	0.0004	0.0005
Κορυφή 9	480526.069	4202801.631	207.102	0.0007	0.0003	0.0005
Κορυφή B	480548.908	4202791.749	210.754	0	0	0

Πίνακας 5-6. Σύνοψη Συντεταγμένων και Ακριβειών των Κορυφών του Δικτύου

5.4 Πείραμα 1 - RTK Leica

5.4.1 Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test)

Το Απλοποιημένο Τεστ πραγματοποιείται όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3 και με βάση τις σχέσεις που παρατίθενται σε αυτό. Οι αρχικές μετρήσεις βρίσκονται στο Παράρτημα Α.

Ως Ονομαστικές Τιμές θεωρούνται η απόσταση 4-9, D^* και η υψομετρική διαφορά 4-9, Δh^* , όπως υπολογίζονται από τα στοιχεία του Πίνακα 5-6. Οι τιμές τους φαίνονται στον Πίνακα 5-7.

	Ονομαστικές Τιμές [m]
D_{49}^*	11.381
Δh_{49}^*	-0.003

Πίνακας 5-7. Ονομαστικές Τιμές Απλοποιημένου Τεστ

Υπολογίζονται οι αποστάσεις, D_{49} , και οι υψομετρικές διαφορές, Δh_{49} , για κάθε σειρά και κάθε σετ. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι διαφορές των ονομαστικών τιμών με τις τιμές που προκύπτουν από κάθε σετ των μετρήσεων. Τέλος, από τις σχέσεις (3.3), ελέγχονται οι μετρήσεις ως προς την ορθότητα τους και ανιχνεύονται χονδροειδή ή συστηματικά σφάλματα. Οι ακρίβειες του κατασκευαστή που δίνονται στον Πίνακα 4.2, τροφοδοτούν τις σχέσεις (3.3) και έτσι είναι:

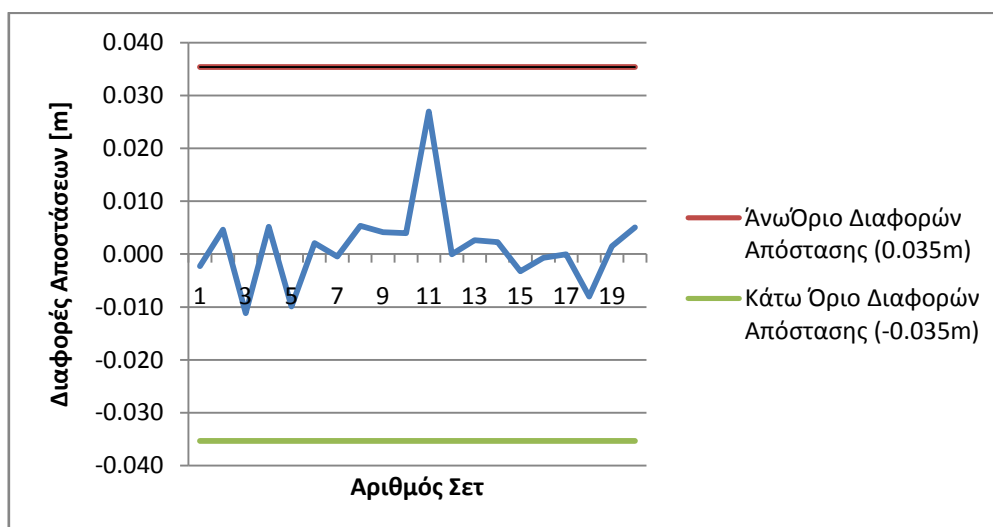
$$\begin{aligned} |\varepsilon_{D_{i,j}}| &\leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_{xy} = 3.5 \text{ cm} \\ |\varepsilon_{h_{i,j}}| &\leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s_h = 7 \text{ cm} \end{aligned} \quad (5.7)$$

Αναλυτικά, οι αποστάσεις, οι υψομετρικές διαφορές και οι διαφορές τους με τις ονομαστικές τιμές, φαίνονται στο Παράρτημα Β.

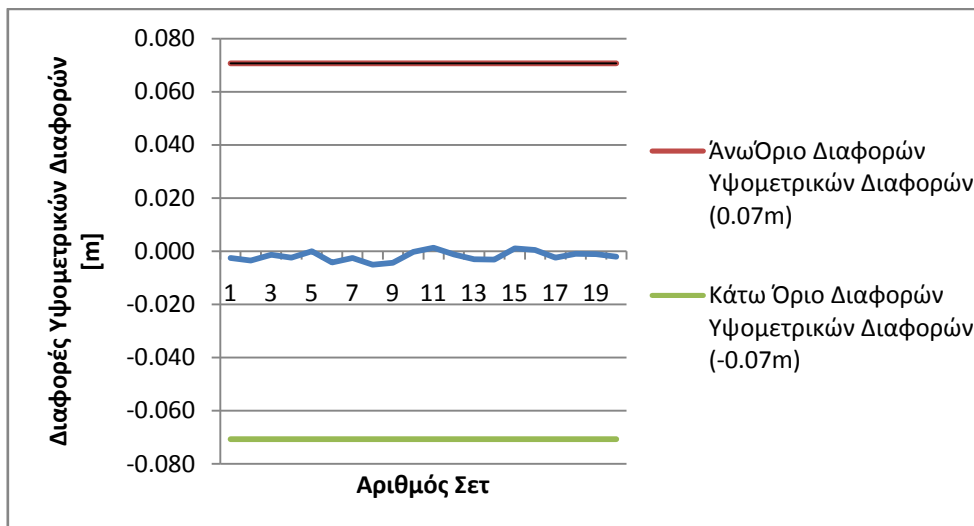
❖ Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 30sec

Με βάση τις σχέσεις (5.7), συμπεραίνεται ότι οι μετρήσεις είναι ορθές και δεν εμπεριέχουν χονδροειδή ή συστηματικά σφάλματα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για την εφαρμογή του Σύνθετου Τεστ (Full Test Procedure).

Οι διαφορές για τις αποστάσεις κυμαίνονται από -0.011 m έως 0.027 m, που είναι εντός των αποδεκτών ορίων των ± 0.035 m και, αντίστοιχα, για τις υψομετρικές διαφορές από -0.005 m έως 0.001 m που είναι και αυτές μικρότερες από το κατώφλι των 0.07 m. Τα Γραφήματα 5-1 και 5-2, παρουσιάζουν, το εύρος των τιμών των διαφορών, [-0.035, 0.035] m και [-0.07, 0.07] m, και τις διαφορές που υπολογίστηκαν, για τις αποστάσεις και τις υψομετρικές διαφορές αντίστοιχα.



Γράφημα 5-1. Διαφορές Αποστάσεων - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 30sec με Δέκτες Leica

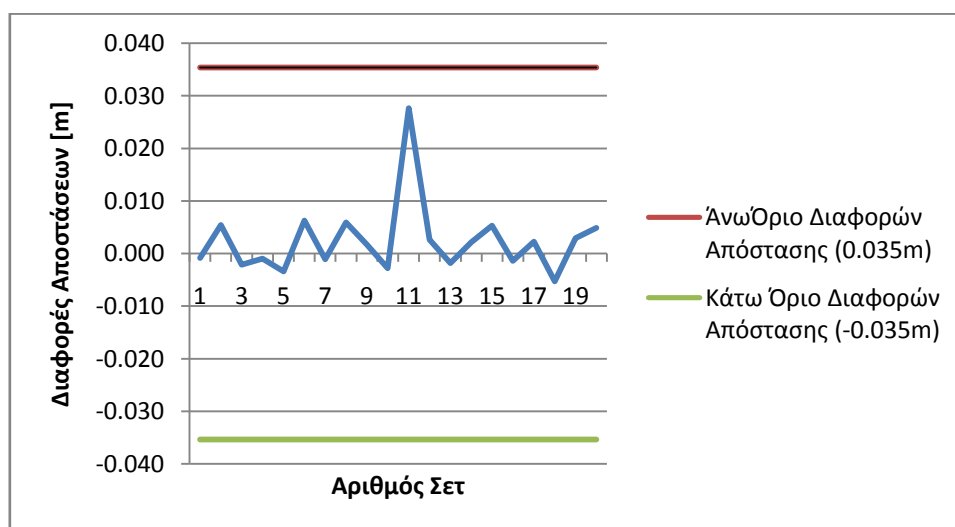


Γράφημα 5-2. Διαφορές Υψομετρικών Διαφορών - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 30sec με Δέκτες Leica

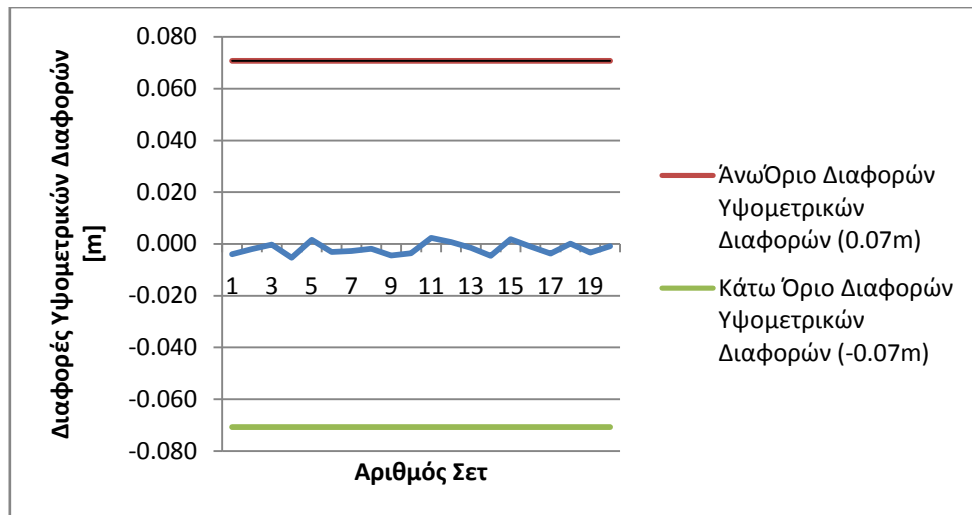
❖ **Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 60sec**

Και σε αυτό το πείραμα, αφού χρησιμοποιείται το ίδιο ζεύγος δεκτών, ισχύουν οι σχέσεις (5.7), και τα όρια αυτά. Κάνοντας τις ίδιες διεργασίες όπως και προηγουμένως, συμπεραίνεται ότι και οι μετρήσεις που έγιναν με αυτή τη χρονική διάρκεια είναι εντός των απαιτούμενων ορίων και είναι απαλλαγμένες από χονδροειδή ή συστηματικά σφάλματα και δύνανται να χρησιμοποιηθούν στο Σύνθετο Τεστ.

Οι τιμές των διαφορών που σημειώνονται, δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από τις τιμές των μετρήσεων χρονικής διάρκειας 30sec. Για τις αποστάσεις οι τιμές βρίσκονται μεταξύ -0.005 m και 0.28 m ενώ για τις υψομετρικές διαφορές μεταξύ -0.005 m και 0.002 m. Και τα δύο σύνολα μετρήσεων είναι εντός των τιμών [-0.035, 0.035] m και [-0.07, 0.07] m, που αντιστοιχούν στις διαφορές των αποστάσεων και των υψομετρικών διαφορών αντίστοιχα (Γραφήματα 5-3, 5-4).



Γράφημα 5-3. Διαφορές Αποστάσεων - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 60sec με Δέκτες Leica



Γράφημα 5-4. Διαφορές Υψομετρικών Διαφορών - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 60sec με Δέκτες Leica

5.4.2 Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure)

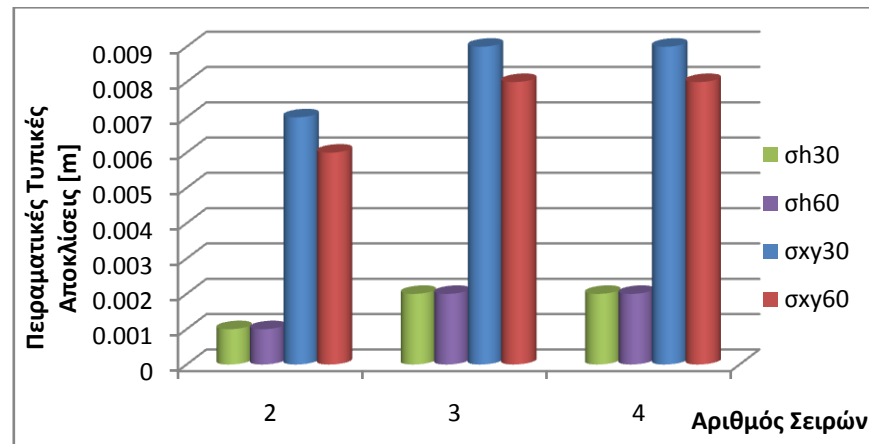
Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν υπόκεινται σε επεξεργασία σύμφωνα με τα όσα περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3. Η επεξεργασία πραγματοποιείται ξεχωριστά για τα πειράματα διαφορετικής χρονικής διάρκειας παρατηρήσεων (Δt). Επομένως, προκύπτουν ξεχωριστά αποτελέσματα ανάλογα με το χρόνο παρατήρησης.

Ταυτόχρονα, για να διαπιστωθεί η σημασία του πλήθους των σειρών μετρήσεων που χρησιμοποιούνται, στο παραγόμενο αποτέλεσμα, γίνεται επίλυση, για δύο, για τρεις και για τέσσερις σειρές μετρήσεων. Επίσης, για να εντοπιστούν πιθανές διαφορές στα αποτελέσματα, ανάλογα με τις σειρές που συμμετέχουν στην επίλυση, γίνονται επιλύσεις με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, με την προϋπόθεση ότι οι σειρές που συμμετέχουν, είναι διαδοχικές. Στον Πίνακα 5-8, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των επιλύσεων αυτών. Στο Γράφημα 5-5, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή διαγράμματος, για καλύτερη κατανόηση τους. Αναλυτικά, η επεξεργασία των μετρήσεων μπορεί να απαντηθεί στο Παράρτημα Γ της εργασίας αυτής.

Σημειώνεται ότι οι ποσότητες που είναι σημαντικές για τα στατιστικά τεστ που θα ακολουθήσουν, είναι η πειραματική τυπική απόκλιση της οριζοντιογραφίας, $S_{ISO-GNSS RTK-xy}$, και η πειραματική τυπική απόκλιση της υψομετρίας, $S_{ISO-GNSS RTK-h}$.

Πλήθος Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση Αύξων Αριθμός Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση	2 Σειρές						3 Σειρές				4 Σειρές		Μέσος Όρος
	1,2	1,2	2,3	2,3	3,4	3,4	1,2,3	1,2,3	2,3,4	2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	
	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	
σ_x [m]	0.005	0.003	0.008	0.007	0.008	0.007	0.007	0.006	0.007	0.006	0.007	0.005	
σ_y [m]	0.005	0.006	0.004	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	
$S_{ISO-GNSS RTK-xy}$ [m]	0.007	0.006	0.009	0.008	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.009	0.008	0.008
$S_{ISO-GNSS RTK-h}$ [m]	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002

Πίνακας 5-8. Σύνοψη Αποτελεσμάτων Σύνθετου Τεστ για τους Δέκτες Leica



Γράφημα 5-5. Απεικόνιση Πειραματικών Τυπικών Αποκλίσεων για τους δέκτες Leica

Από την επισκόπηση του παραπάνω Πίνακα, προκύπτει ότι η σημασία του χρόνου παρατήρησης δεν συμβάλει με καθοριστικό τρόπο στα τελικά αποτελέσματα. Οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις που παράγονται από τις μετρήσεις με διαφορετικό Δt διαφοροποιούνται μόνο κατά 1 mm στην οριζοντιογραφία, και στην υψομετρία από 0 έως 1 mm, που δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι διαφοροποιεί τα τελικά αποτελέσματα, σημαντικά.

Επιπλέον, εξάγοντας συμπέρασμα για την υψομετρία, με βάση τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τους συγκεκριμένους δέκτες, τα αποτελέσματα δείχνουν να είναι εντελώς ανεξάρτητα του χρόνου παρατήρησης με βάση όλες τις επιλύσεις, εκτός από την επίλυση των σειρών 3 και 4.

Όσο για τη σημασία του αριθμού των σειρών μετρήσεων που χρησιμοποιούνται, παρατηρείται ότι η επίλυση με τις σειρές 1 και 2 έχει αποδώσει αποτελέσματα καλύτερης ακρίβειας απ' ό,τι οι υπόλοιπες επιλύσεις. Η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων είναι της τάξης των 2 mm, για την οριζοντιογραφία και 1 mm, για την υψομετρία. Η διαφορά των αποτελεσμάτων δεν είναι μεγάλη, δεν ξεπερνά καμία από τις δύο τιμές τα όρια του κατασκευαστή και η διακύμανση των αποτελεσμάτων είναι πέντε φορές μικρότερη από την ακρίβεια του δέκτη. Συνεπώς, είναι σχεδόν ανάξια λόγου, ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί και να αξιολογηθεί. Αυτό γίνεται μέσω των Ερωτημάτων (γ) και (δ) των στατιστικών τεστ, που φαίνονται σε επόμενη παράγραφο. Σε αυτά τα ερωτήματα μελετάται η σχέση του κάθε δείγματος με τα υπόλοιπα και το αν ανήκουν σε κοινό πληθυσμό.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η πειραματική τυπική απόκλιση της υψομετρίας, παρόλο που αναμένεται χειρότερη από εκείνη της οριζοντιογραφίας, αποδεικνύεται πολύ καλύτερη. Μάλιστα, φτάνει στο σημείο να είναι τέσσερις φορές καλύτερη από την οριζοντιογραφική ακρίβεια.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις είναι ένδειξη της εσωτερικής ακρίβειας των μετρήσεων και όχι της εξωτερικής. Οι τυπικές αποκλίσεις αυτές, το μόνο που εκφράζουν είναι το πόσο κοντά βρίσκονται μεταξύ τους οι μετρήσεις, χωρίς να τίθεται θέμα ορθότητας, το οποίο έχει μελετηθεί στο Απλοποιημένο Τεστ. Συνεπώς, αυτό το αποτέλεσμα δεν βρίσκεται σε αντίφαση με τα στοιχεία που παρέχει ο κατασκευαστής και με την, εξ' ορισμού, υστέρησης των μετρήσεων μέσω συστημάτων GNSS, στον προσδιορισμό υψομέτρων έναντι των οριζόντιων συντεταγμένων, όπως θα μπορούσε να θεωρηθεί εσφαλμένα.

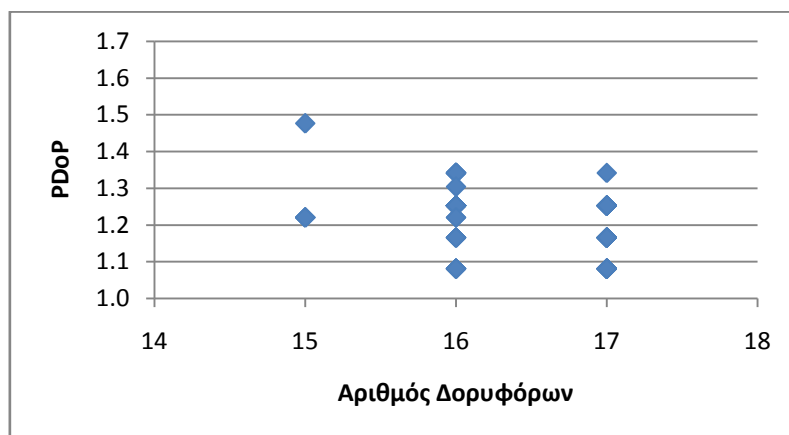
5.4.3 Ποιότητα Μετρήσεων

Μελετώντας τους δείκτες DoP, τους αριθμούς των μετρούμενων δορυφόρων και τα RMS που καταγράφονται από τους δέκτες, παρατηρείται ότι, σε γενικές γραμμές, δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις αυτών των στοιχείων καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

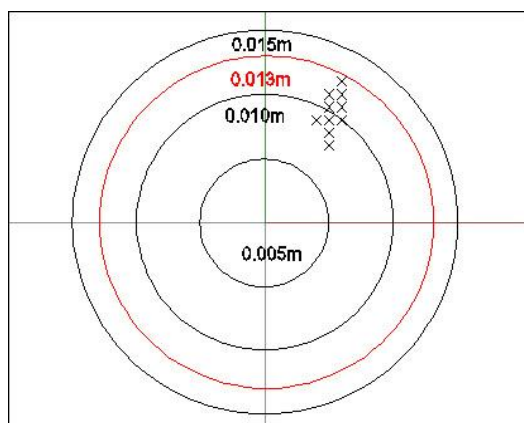
Οι δείκτες VDoP, κυμαίνονται από 0.9 – 1.2 ενώ οι δείκτες HDoP κυμαίνονται από 0.6 - 0.7. Τελικά, οι δείκτες PDoP, παίρνουν τιμές από 1.1 – 1.5. Αντίστοιχα, οι δέκτες λαμβάνουν δεδομένα από δορυφόρους τόσο του συστήματος GPS όσο και του Glonass. Συνεπώς, ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων είναι αρκετά υψηλός και κυμαίνεται μεταξύ 15 και 17.

Το Γράφημα 5-6, που συσχετίζει την ποιότητα θέσης, μέσω του δείκτη PDoP, με τον αριθμό των δορυφόρων, υποδεικνύει το αναμενόμενο. Ότι δηλαδή, όσο περισσότεροι δορυφόροι είναι υπό παρατήρηση, τόσο καλύτερη είναι και η ποιότητα των δεικτών. Ωστόσο, από κάποιο αριθμό δορυφόρων και πάνω, λόγω του πλήθους τους, δεν συμβάλουν σημαντικά

στη βελτίωση της ποιότητας, κάτι που προκύπτει από την έλλειψη διαφορών των δεικτών PDoP, κατά την παρατήρηση 16 και 17 δορυφόρων.



Γράφημα 5-6. Ποιότητα Θέσης PDoP συναρτήσει του Αριθμού Παρατηρούμενων Δορυφόρων, για τα μετρημένα σημεία από τους Δέκτες Leica



Εικόνα 5-5. 3D Ποιότητα των Μετρήσεων των Δεκτών Leica

Τα RMS των σημείων ήταν μεταξύ 0.008 έως 0.011m (Εικόνα 5-5). Οι τιμές αυτές είναι δείκτες της τριδιάστατης ακρίβειας προσδιορισμού των συντεταγμένων ανά μέτρηση. Προέρχονται από το συνδυασμό των, ανεξάρτητων, οριζόντιων και κατακόρυφων τιμών. Είναι στα όρια της δυνατότητας του δέκτη και άρα κρίνονται ικανοποιητικά.

5.5 Πείραμα 2 - RTK Trimble

5.5.1 Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test)

Όπως και στο προηγούμενο πείραμα, η επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται σύμφωνα με την περιγραφή του προτύπου ISO, που έχει παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 3. Οι ονομαστικές τιμές είναι εκείνες που φαίνονται στον Πίνακα 5-7 και έχουν προέλθει από τις συντεταγμένες του Πίνακα 5-6. Οι σχέσεις που διέπουν την επίλυση είναι οι σχέσεις (3.3).

Από τον Πίνακα 4.4, παρατηρείται ότι οι ακρίβειες του κατασκευαστή συμπίπτουν με εκείνες των δεκτών Leica. Επομένως, οι σχέσεις (3.3) μετασχηματίζονται στις σχέσεις (5.7), και τα όρια για το Τεστ είναι κοινά για τα Πειράματα 1 και 2.

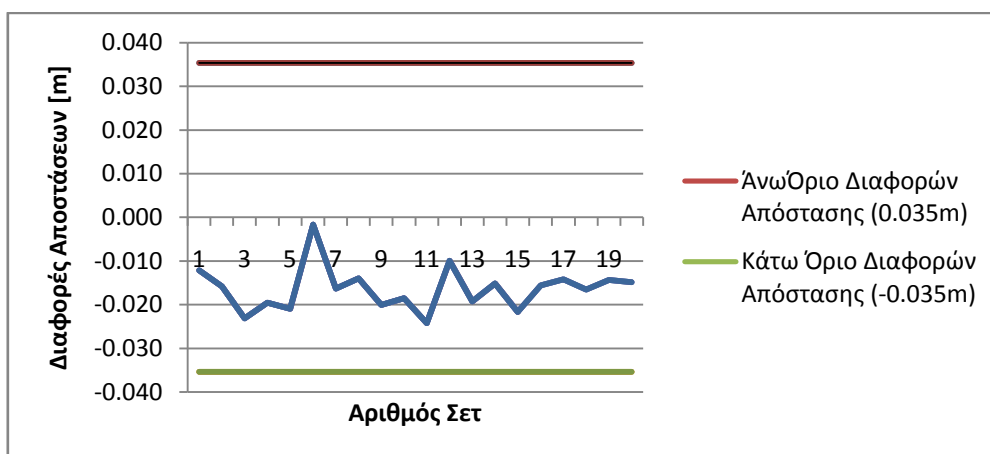
Οι αρχικές μετρήσεις, οι αποστάσεις, οι υψομετρικές διαφορές και οι διαφορές τους από τις ονομαστικές τιμές, βρίσκονται στο Παράρτημα Β, αναλυτικά.

❖ Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 30sec

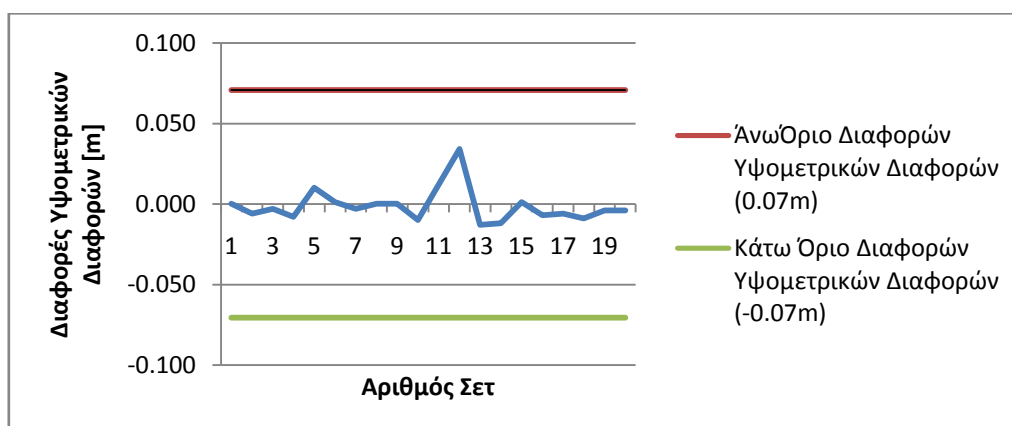
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με αυτό το ζεύγος δεκτών, κρίθηκε αναγκαίο να επαναληφθούν. Αυτό συνέβη επειδή κατά την επεξεργασία των αρχικών μετρήσεων, διαπιστώθηκε η ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων στην πρώτη σειρά, της τάξης των 2 m. Το αποτέλεσμα ήταν η απόρριψη της συγκεκριμένης σειράς και το Σύνθετο Τεστ πραγματοποιήθηκε με τις υπόλοιπες. Αν το πρόβλημα εντοπιζόταν μόνο σε αυτό το σημείο, θα παρακαμπτόταν και θα ακολουθούσε η προβλεπόμενη διαδικασία. Όμως, όπως θα περιγραφεί και αργότερα, εμφανίστηκαν και άλλα προβλήματα, που κρίθηκε αναγκαία η εκ νέου πραγματοποίηση μετρήσεων.

Οι τέσσερις, νέες σειρές μετρήσεων που αποκτήθηκαν, υπόκεινται σε επεξεργασία και έλεγχο ως προς την ορθότητα τους και ως προς το αν περιέχουν χονδροειδή ή συστηματικά σφάλματα. Όλες οι σειρές περνούν με επιτυχία το Απλοποιημένο Τεστ και χρησιμοποιούνται ως δεδομένα για το Σύνθετο Τεστ. Οι διαφορές των αποστάσεων είναι μεταξύ των τιμών -0.024 m και -0.002 m, ενώ οι διαφορές των υψομετρικών διαφορών κυμαίνονται μεταξύ -0.013 m και 0.034 m. Όλες οι τιμές αυτές είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων [-0.035, 0.035] m και [-0.07, 0.07]m , αντίστοιχα.

Στα Γράφηματα 5-7 και 5-8, που ακολουθούν παρουσιάζονται οι διαφορές αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών, αντίστοιχα, των σειρών, που έγιναν αποδεκτές και θεωρήθηκαν ελεύθερες χονδροειδών σφαλμάτων.



Γράφημα 5-7. Διαφορές Αποστάσεων - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 30sec με Δέκτες Trimble

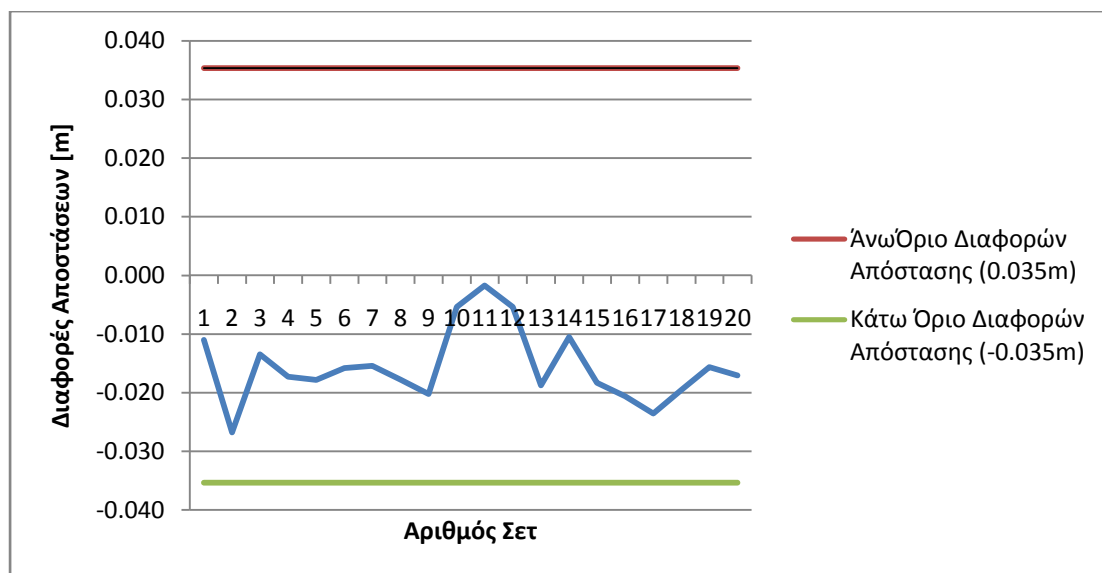


Γράφημα 5-8. Διαφορές Υψομετρικών Διαφορών - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 30sec με Δέκτες Trimble

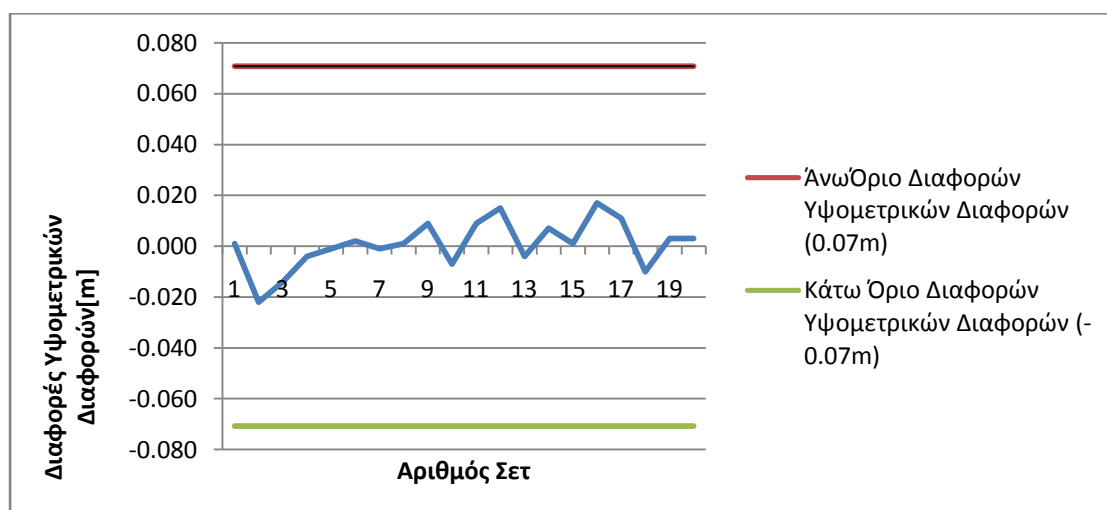
❖ Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 60sec

Πραγματοποιώντας και πάλι, την ίδια μεθοδολογία, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3, ελέγχονται οι αρχικές, τέσσερις σειρές μετρήσεων του εν λόγω πειράματος. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων ίδιας τάξης μεγέθους με προηγουμένως, στη τέταρτη σειρά αυτή τη φορά, η οποία και απορρίπτεται από την επεξεργασία των μετρήσεων. Οι υπόλοιπες, τροφοδότησαν το Σύνθετο Τεστ, κατά το οποίο αποφασίστηκε η επανάληψη των μετρήσεων, για λόγους που παρουσιάζονται παρακάτω.

Σε σχέση με το δεύτερο σύνολο μετρήσεων, όλες οι σειρές παρουσιάζουν διαφορές αποστάσεων που βρίσκονται στο διάστημα $[-0.027, -0.002]$ m και διαφορές υψομετρικών διαφορών στο διάστημα $[-0.022, 0.017]$ m. Τα όρια μεταξύ των οποίων πρέπει να βρίσκονται αυτές οι διαφορές είναι οι ίδιες με όλα τα προηγούμενα, δηλαδή ± 0.035 m και ± 0.07 m, αντίστοιχα. Επομένως, θεωρείται ότι δεν εμπεριέχουν χονδροειδή ή συστηματικά λάθη και αποτελούν τα δεδομένα του Σύνθετου Τεστ. Τα Γραφήματα 5-9 και 5-10, αποτελούν απεικόνιση των διαφορών αυτών.



Γράφημα 5-9. Διαφορές Αποστάσεων - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 60sec με Δέκτες Trimble



Γράφημα 5-10. Διαφορές Υψομετρικών Διαφορών - Ονομαστικής Τιμής, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος των 60sec με Δέκτες Trimble

5.5.2 Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure)

Με βάση τα όσα έχουν ήδη αναφερθεί και στο παραπάνω πείραμα αλλά και στο Κεφάλαιο 3, γίνεται η εφαρμογή του Σύνθετου Τεστ επί των αρχικών μετρήσεων και προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας.

Πλήθος Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση Αύξων Αριθμός Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση	2 Σειρές				3 Σειρές	
	2,3	1,2	3,4	2,3	2,3,4	1,2,3
	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec
σ_x [m]	0.004	0.006	0.005	0.005	0.004	0.005
σ_y [m]	0.005	0.012	0.006	0.004	0.006	0.011
$S_{ISO-GNSS RTK-xy}$ [m]	0.006	0.013	0.007	0.006	0.007	0.012
$S_{ISO-GNSS RTK-h}$ [m]	0.006	0.008	0.01	0.008	0.009	0.008

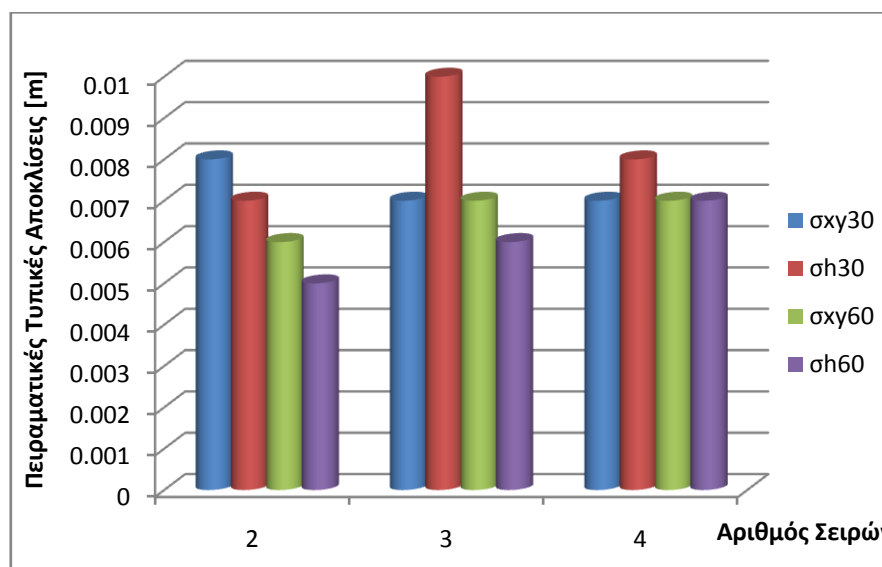
Πίνακας 5-9. Αποτελέσματα Σύνθετου Τεστ, του Αρχικού Συνόλου Μετρήσεων, με Δέκτες Trimble

Όπως παρατηρείται, τα αποτελέσματα αυτά δεν παρουσιάζουν καμία συνοχή και δεν επιτρέπουν τη δυνατότητα σύγκρισης τους, πόσο μάλλον την εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με τη σημασία του χρόνου παρατηρήσεων και του αριθμού των σειρών που συμμετέχουν στην επίλυση. Επιπροσθέτως, με βάση κάποια από τα αποτελέσματα αυτά, αν αποτελέσουν αντικείμενα πάνω στα οποία εφαρμόζονται τα στατιστικά τεστ που απαιτούνται, οι δέκτες αποτυγχάνουν να ικανοποιήσουν τις ακρίβειες που οι κατασκευαστές τους δηλώνουν ότι καλύπτουν, κάτι που όπως φαίνεται από το δεύτερο σύνολο μετρήσεων, δεν ισχύει.

Για τους λόγους αυτούς, οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν και από τις νέες αυτές μετρήσεις προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 5-10 και στο Γράφημα 5-11. Η επεξεργασία τους γίνεται με τον ίδιο τρόπο που έγινε και η επεξεργασία των παρατηρήσεων των δεκτών Leica. Δηλαδή, οι σειρές που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς χρόνους παρατήρησης επεξεργάζονται χωριστά και γίνεται επίλυση για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς διαδοχικών σειρών, για 2,3 και 4 σειρές παρατηρήσεων.

Πλήθος Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση Αύξων Αριθμός Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση	2 Σειρές						3 Σειρές				4 Σειρές		Μέσος Όρος
	1,2	1,2	2,3	2,3	3,4	3,4	1,2,3	1,2,3	2,3,4	2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	
	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	
σ_x [m]	0.004	0.004	0.005	0.006	0.004	0.006	0.004	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	
σ_y [m]	0.006	0.004	0.006	0.004	0.004	0.005	0.006	0.004	0.006	0.005	0.005	0.005	
$S_{ISO-GNSS RTK-xy}$ [m]	0.007	0.006	0.008	0.007	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
$S_{ISO-GNSS RTK-h}$ [m]	0.004	0.005	0.010	0.006	0.010	0.007	0.008	0.006	0.008	0.006	0.007	0.007	0.007

Πίνακας 5-10. Σύνοψη Αποτελεσμάτων Σύνθετου Τεστ για τους Δέκτες Trimble



Γράφημα 5-11. Απεικόνιση Πειραματικών Τυπικών Αποκλίσεων για τους Δέκτες Trimble

Στον προηγούμενο πίνακα, παρατηρείται σταθερότητα ως προς τις πειραματικές τυπικές αποκλίσεις της οριζοντιογραφίας, παίρνοντας τιμές από 0.006m έως 0.008m. Στην πλειονότητα τους όμως έχουν αποδώσει σταθερά αποτελέσματα ίσα με 0.007m. Το εύρος τιμών των 2mm είναι πολύ μικρό σε σχέση με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που αναμένονται από τους δέκτες αυτούς, της τάξης του εκατοστού. Το εύρος αυτό είναι πέντε φορές μικρότερο από την παρεχόμενη ακρίβεια των δεκτών ενώ η απόκλιση των πειραματικών αποκλίσεων από τη μέση τιμή είναι 1mm, που την καθιστά αμελητέα.

Ως προς τις πειραματικές τιμές της υψομετρίας, το εύρος τιμών των 0.006m είναι αρκετά μεγαλύτερο από της οριζοντιογραφίας, με τιμές μεταξύ 0.004m και 0.010m. Τα εύρος αυτό είναι περίπου τρεις φορές μικρότερο από την ακρίβεια του κατασκευαστή και σε κάθε περίπτωση τα αποτελέσματα είναι εντός αυτής της ακρίβειας. Η απόκλιση των αποτελεσμάτων από τη μέση τιμή, φτάνει σε κάποιες επιλύσεις μέχρι τα 3mm, δηλαδή είναι τρεις φορές χειρότερη από της οριζοντιογραφίας. Σημειώνεται ότι οι μέγιστες τιμές αυτές εμφανίζονται σε επιλύσεις δύο σειρών.

Τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος δεν επιβεβαιώνουν την υπόθεση για ανεξαρτησία των πειραματικών τυπικών αποκλίσεων υψομετρίας από το χρόνο παρατήρησης, που έγινε στο προηγούμενο πείραμα. Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται είναι της τάξης του 1mm, με εξαίρεση τις επιλύσεις των σειρών 2,3 και 3,4, που δίνουν διαφορές 4 και 3 mm, αντίστοιχα.

Αντίθετα, στην οριζοντιογραφία, οι διαφορές μεταξύ των επιλύσεων διαφορετικού χρόνου είναι πολύ μικρότερες και ανέρχονται στο 1mm για όλες τις επιλύσεις, ενώ κατά τις επιλύσεις τριών και τεσσάρων σειρών είναι μηδενικές. Εξ' αυτών, συμπεραίνεται η σημαντικότητα του αριθμού των σειρών που συμμετέχουν στην επίλυση, καθώς οι μεγάλες αποκλίσεις, και στις τρεις διαστάσεις, εμφανίζονται σε επιλύσεις δύο σειρών.

Σημειώνεται, ότι σε αυτό το πείραμα, η ακρίβεια των μετρήσεων της τρίτης διάστασης είναι ίδιας τάξης ακρίβειας με αυτή της οριζοντιογραφίας, κάτι που είναι πιο αναμενόμενο απ' ό, τι το αποτέλεσμα του πειράματος 1.

5.5.3 Ποιότητα Μετρήσεων

Για το πρώτο σύνολο μετρήσεων με τους δέκτες αυτούς, έγινε προσπάθεια ερμηνείας των κακών αποτελεσμάτων και εντοπισμού του λόγου ύπαρξης των χονδροειδών σφαλμάτων. Κάτι τέτοιο τελικά δεν κατέστη δυνατό.

Οι αριθμοί των παρατηρούμενων δορυφόρων ήταν από 8 έως 11 και οι δείκτες PDoP από 1 έως 2.3. Τα RMS για τις τρεις διαστάσεις είναι μεταξύ 1cm και 2cm. Στις μετρήσεις με τους δέκτες αυτούς, ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων είναι αισθητά μικρότερος από αυτούς των άλλων δύο πειραμάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι παρατηρούνται μόνο δέκτες GPS, καθώς οι δέκτες αυτοί δεν υποστηρίζουν μετρήσεις Glonass. Γενικά, τα παραπάνω στοιχεία δεν είναι κακής ποιότητας και δεν δικαιολογούν την ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων της τάξης των 2m, τα RMS όμως μπορούν να δικαιολογήσουν τα αποτελέσματα του Σύνθετου Τεστ.

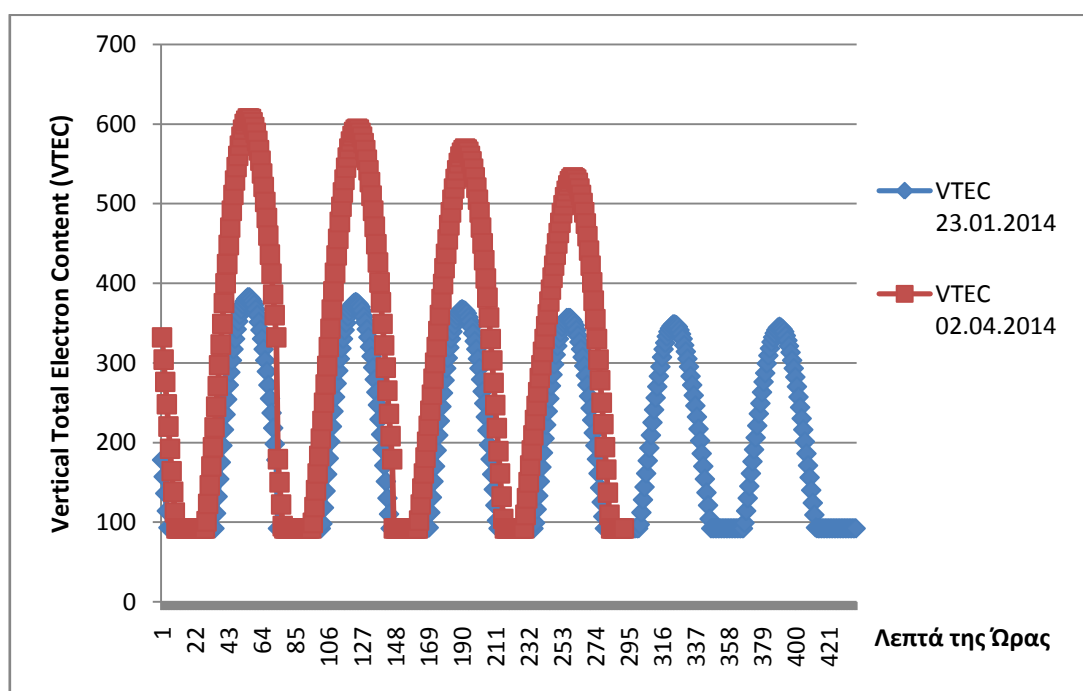
Εν συνεχεία, προκειμένου να εντοπιστεί η αιτία των χονδροειδών σφαλμάτων, έγινε έλεγχος, για κάθε σημείο, ότι κατά τη μέτρηση του είχε γίνει ακέραια επίλυση των ασαφειών φάσης (Fixed) και όχι δεκαδική (Float), κάτι που ίσχυε. Η πιθανότητα εσφαλμένης επίλυσης των ασαφειών απορρίφθηκε, διότι τα προηγούμενα και τα επόμενα σημεία είχαν ορθά μετρημένες συντεταγμένες, ενώ δεν σημειώνεται αλλαγή στον αριθμό

παρατηρούμενων δορυφόρων και άρα δεν έγινε εκ νέου επίλυση ασαφειών, λόγω πιθανής αλλαγής παρατηρούμενων δορυφόρων.

Τέλος, έγινε έλεγχος για επίδραση της ιονόσφαιρας στις μετρήσεις δεδομένου ότι τα σημαντικότερα σφάλματα στο RTK οφείλονται σε επιδράσεις της τροπόσφαιρας και της ιονόσφαιρας. Την εποχή των μετρήσεων, υπήρχε εντονότερη ιονοσφαιρική επίδραση παγκοσμίως και συνεπώς διερευνήθηκε αν η επίδραση της είναι τέτοια που να μπορεί να προκαλέσει σφάλμα στον εντοπισμό θέσης.

Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε μέσω σύγκρισης των τιμών της παραμέτρου VTEC (Vertical Total Electron Content), για τις δύο διαφορετικές μέρες μετρήσεων, με τους δέκτες αυτούς. Η παράμετρος αυτή ορίζεται ως ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρονίων που συγκεντρώνονται μεταξύ κάθε δορυφόρου και δέκτη. Είναι ένας δείκτης της ιονοσφαιρικής μεταβολής και επηρεάζεται από την ηλιακή δραστηριότητα (Norsuzila et al, 2010).

Τα δεδομένα VTEC, που χρησιμοποιήθηκαν, περισυλλέχθηκαν από το διαδικτυακό τόπο του Αστρονομικού Ινστιτούτου του Πανεπιστημίου της Βέρνης (www.aiub.unibe.ch). Απεικονίστηκαν σε γράφημα και τα αποτελέσματα δεν παρουσίαζαν έντονες και απότομες διακυμάνσεις, παρόλο που οι απόλυτες τιμές διαφέρουν (Γράφημα 5-12). Συνεπώς, απορρίφθηκε και η πιθανότητα ατμοσφαιρικής καταιγίδας. Τελικά η ύπαρξη των χονδροειδών σφαλμάτων δεν μπόρεσε να δικαιολογηθεί.



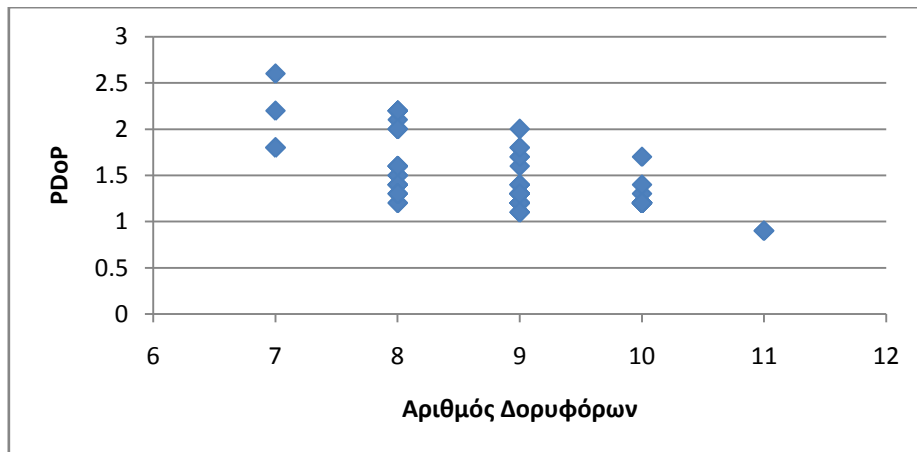
Γράφημα 5-12. Σύγκριση Ατμοσφαιρικών Συνθηκών, για τις δύο μέρες Παρατηρήσεων των Δεκτών Trimble

Σχετικά με το δεύτερο σύνολο μετρήσεων, ο αριθμός των δορυφόρων κυμαίνεται μεταξύ 7 και 11, μετρώντας και πάλι στο σύστημα GPS και μόνο.

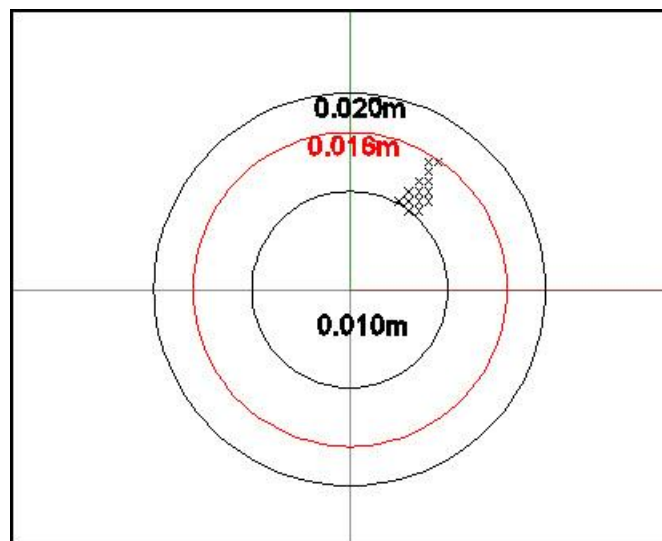
Οι δείκτες PDOP που καταγράφονται παίρνουν τιμές μεταξύ 0.9 και 2.6, που θεωρούνται ικανοποιητικές. Είναι μεγαλύτερες από αυτές του Πειράματος 1, αλλά η μετρήσεις θεωρούνται απορριπτές αν η τιμή PDOP είναι πάνω από 7. Το μεγάλο εύρος των τιμών, οφείλεται στον μικρό αριθμό παρατηρούμενων δορυφόρων. Δεν είναι τυχαίο ότι οι μεγαλύτερες τιμές του PDOP, αυτές που είναι μεγαλύτερες από 2, σημειώνονται σε περιόδους παρατήρησης 7 ή 8 δορυφόρων. Γενικά, η μέση τιμή του δείκτη, καθ' όλη τη

διάρκεια των μετρήσεων είναι 1.5. Η σχέση των τιμών του δείκτη PDOP με τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων φαίνεται στο Γράφημα 5-13.

Τελικά, τα RMS ήταν μεταξύ 0.010 και 0.016m (Εικόνα 5-6). Παρατηρείται ότι σε αυτό το πείραμα τα RMS είναι λίγο χειρότερα από αυτά του προηγούμενου πειράματος. Η παρατήρηση μειωμένου αριθμού δορυφόρων, λόγω της χρήσης μόνο του συστήματος GPS, είναι η πιθανότερη αιτία αυτού. Όμως, δεν αποκλείεται και η επίδραση άλλων παραγόντων που έχουν αναφερθεί προηγουμένως, όπως Multipath και επίδραση της ατμόσφαιρας.



Γράφημα 5-13. Ποιότητα Θέσης PDOP Συναρτήσει του Αριθμού Παρατηρούμενων Δορυφόρων, για τα μετρημένα σημεία από τους Δέκτες Trimble



Εικόνα 5-6. 3D Ποιότητα των Μετρήσεων των Δεκτών Trimble

5.6 Πείραμα 3 – RTN – MetricaNet

5.6.1 Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test)

Το Απλοποιημένο Τεστ που πραγματοποιείται για τις μετρήσεις αυτού του πειράματος, πραγματοποιείται με τους δέκτες της Leica, που μελετήθηκαν και κατά το Πείραμα 1. Όμως, εδώ, εισέρχονται και άλλες παράμετροι στις μετρήσεις που αφορούν στο δίκτυο της MetricaNet. Συνεπώς, δεν είναι δυνατό να επεξεργαστούν με βάση τις ακρίβειες που δίνονται από το κατασκευαστή των δεκτών, αλλά περισσότερο με βάση τις ακρίβειες που

δίνονται από τους διαχειριστές του δικτύου. Η διαδικασία που ακολουθείται, όμως, είναι η ίδια με αυτή που ακολουθείται σε όλα τα πειράματα και έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 3.

Οι ονομαστικές τιμές που χρησιμοποιούνται είναι αυτές του Πίνακα 5-7. Οι σχέσεις (3.3), όμως, που δίνουν τα όρια για την ανίχνευση των χονδροειδών σφαλμάτων δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα, λόγω των διαφορετικών περιορισμών ακρίβειας του δικτύου, που δεν είναι σταθεροί. Οι τιμές της ακρίβειας που επιτυγχάνονται με τη χρήση του δικτύου της MetricaNet κυμαίνονται μεταξύ 1 και 3 cm. Οπότε δίνουν:

$$|\varepsilon| \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s = 3.5 \text{ cm} \quad (5.8)$$

$$|\varepsilon| \leq 2,5 \times \sqrt{2} \times s = 10.6 \text{ cm} \quad (5.9)$$

για $s=1\text{cm}$ και $s=3\text{cm}$, αντίστοιχα.

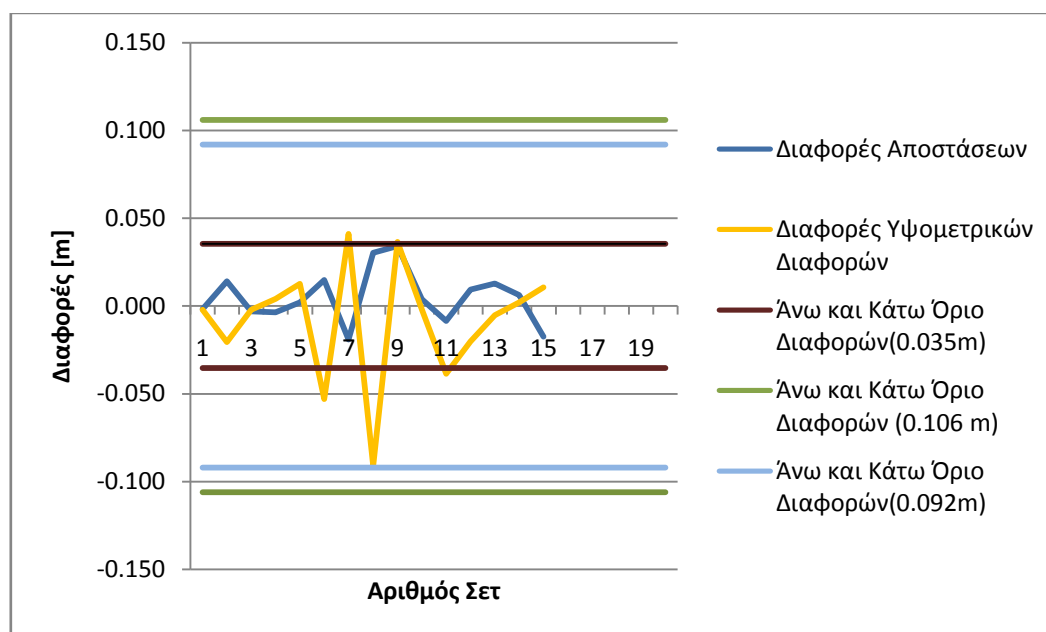
Αναλυτικά, οι αποστάσεις και οι υψομετρικές διαφορές, καθώς και οι διαφορές τους, παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

❖ Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 30sec

Οι διαφορές που υπολογίζονται, ελέγχονται με βάση τα όρια των σχέσεων (5.8) και (5.9), τα οποία, σε αυτό το πείραμα, είναι κοινά για τις αποστάσεις και τις υψομετρικές διαφορές.

Τα αποτελέσματα των διαφορών παίρνουν τιμές μεταξύ -0.019 και 0.034 m, για τις αποστάσεις και -0.091 και 0.041 m, για τις υψομετρικές διαφορές. Προφανώς, αν θεωρηθεί ότι τα όρια που πρέπει να πληρούνται είναι τα $\pm 3.5 \text{ cm}$, τότε οι αποστάσεις είναι απαλλαγμένες από χονδροειδή σφάλματα ενώ οι υψομετρικές διαφορές όχι. Άρα, οι μετρήσεις θεωρούνται κακής ποιότητας και δεν μπορεί να προχωρήσει περαιτέρω η επεξεργασία τους. Αντίθετα, αν τα όρια τεθούν στα $\pm 10.6 \text{ cm}$, τότε οι μετρήσεις τόσο της οριζοντιογραφίας όσο και της υψομετρίας είναι ελεύθερες χονδροειδών σφαλμάτων και είναι δυνατή η επεξεργασία σύμφωνα με το Σύνητο Τεστ (Γράφημα 5-14).

Η οριακή τιμή, εντός του εύρους 3.5 – 10.6 cm, με βάση τις μετρήσεις, που υπολογίζεται προκειμένου οι τελευταίες να είναι καθαρές από χονδροειδή και συστηματικά σφάλματα, υπολογίζεται, μέσω της αντίστροφης επίλυσης των σχέσεων (5.8) ή (5.9), ότι είναι $s=\pm 2.6 \text{ cm}$.



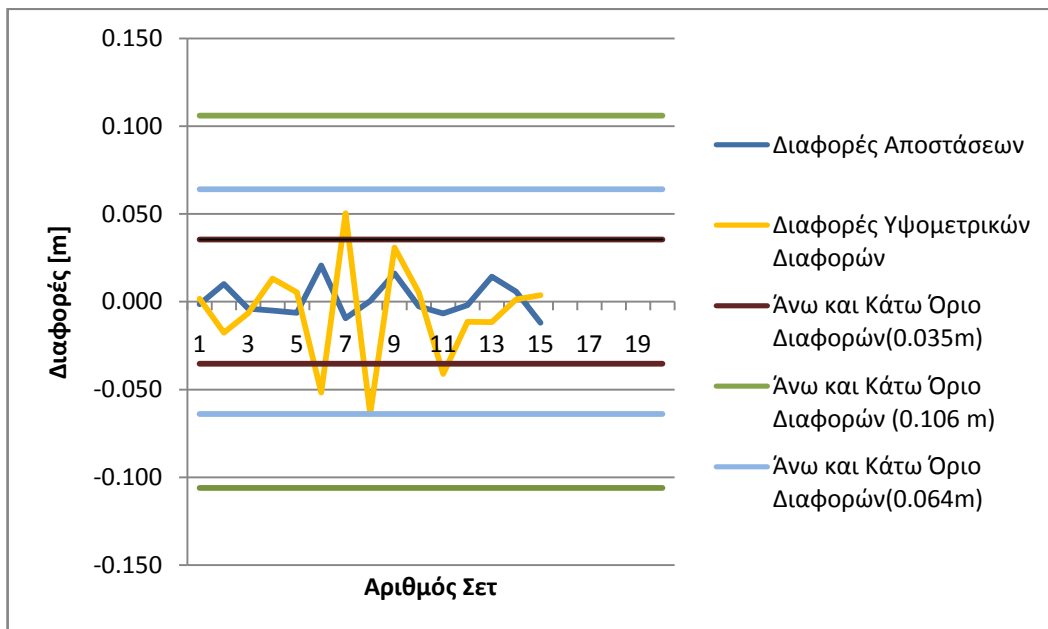
Γράφημα 5-14. Διαφορές για το Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 30 sec στο Δίκτυο της MetricaNet

❖ Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 60sec

Αντίστοιχα, και στο πείραμα με χρονική διάρκεια μετρήσεων 60 sec, τα όρια είναι ίδια με προηγουμένως, δηλαδή αυτά που δίνονται από τις σχέσεις (5.8) και (5.9).

Τα αποτελέσματα των διαφορών για τις αποστάσεις είναι μεταξύ των τιμών -0.012 και 0.021 m ενώ για τις υψομετρικές διαφορές μεταξύ -0.064 και 0.050 m. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ακόμα και τα όρια του δέκτη να θεωρούνταν σε σχέση με τις αποστάσεις, το τεστ θα ήταν επιτυχές. Ωστόσο, όπως λέχθηκε και προηγουμένως, δεν έχει νόημα κάτι τέτοιο.

Έτσι, για όρια ίσα με ± 0.035 m, το τεστ αποτυγχάνει λόγω των τιμών των διαφορών στην υψομετρία. Αντίθετα, για όρια ίσα με ± 0.106 m το τεστ είναι επιτυχές και οι μετρήσεις μπορούν να θεωρηθούν απαλλαγμένες από χονδροειδή σφάλματα. Η οριακή τιμή για την οποία το τεστ θεωρείται επιτυχές, προκύπτει, όπως και προηγουμένως, επιλύοντας αντίστροφα τις σχέσεις (5.8) και (5.9). Τελικά, η οριακή τιμή είναι $s = \pm 0.018$ m (Γράφημα 5-15).



Γράφημα 5-15. Διαφορές για το Πείραμα Χρονικής Διάρκειας 60 sec στο Δίκτυο της MetricaNet

5.6.2 Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure)

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του Σύνθετου Τεστ στις μετρήσεις, σύμφωνα με τις διαδικασίες του προτύπου ISO, φαίνονται στον Πίνακα 5-11. Τα πειράματα διαφορετικής χρονικής διάρκειας παρατηρήσεων, επεξεργάζονται χωριστά, δίνοντας διαφορετικά αποτελέσματα. Επίσης, γίνεται επίλυση για 2 και 3 σειρές μετρήσεων.

Λόγω των διαφορετικών συνδυασμών που μπορούν να γίνουν κατά την επεξεργασία των 2 σειρών, πραγματοποιούνται όλες οι δυνατές επιλύσεις, με την προϋπόθεση οι σειρές που συμμετέχουν σε αυτή να είναι διαδοχικές, ώστε να διατηρείται η συνθήκη του προτύπου που καθορίζει το χρόνο αναμονής μεταξύ τους, στα 90 λεπτά της ώρας.

Στο Παράρτημα Γ της εργασίας, παρατίθενται αναλυτικά όλες οι διαδικασίες που απέδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πλήθος Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση	2 Σειρές				3 Σειρές		Μέσος Όρος
	1,2	1,2	2,3	2,3	1,2,3	1,2,3	
Αύξων Αριθμός Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	
σ_x [m]	0.020	0.019	0.019	0.018	0.017	0.016	
σ_y [m]	0.020	0.019	0.012	0.011	0.019	0.019	
$S_{ISO-GNSS RTK-xy}$ [m]	0.028	0.027	0.023	0.021	0.025	0.025	0.025
$S_{ISO-GNSS RTK-h}$ [m]	0.032	0.031	0.030	0.028	0.030	0.029	0.030

Πίνακας 5-11. Σύνοψη Αποτελεσμάτων Σύνθετου Τεστ για τους Δέκτες Leica με Μετρήσεις στο Δίκτυο της MetricaNet

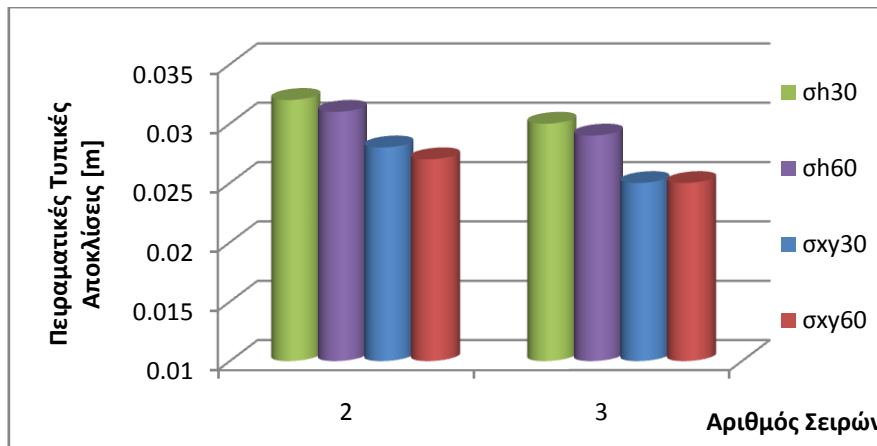
Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρείται και πάλι, συγκρίνοντας τις επιλύσεις των ίδιων σειρών, για τους διαφορετικούς χρόνους παρατήρησης ότι δεν συμβάλουν σημαντικά στα τελικά αποτελέσματα.

Στην επίλυση των 60 sec, φαίνεται ότι βελτιώνει τα αποτελέσματα κατά 1 mm, σε σχέση με αυτά της επίλυσης των 30 sec. Στην επίλυση των σειρών 2 και 3, η διαφορά φτάνει τα 2 mm, στην υψομετρία, που και πάλι είναι αμελητέο σε σχέση με την ακρίβεια εκατοστού που επιτυγχάνεται από τις μετρήσεις RTK, πόσο μάλλον από τις μετρήσεις RTN, που αναμένονται παρόμοιες ή ελαφρώς χειρότερες. Όσο για την επίλυση των τριών σειρών, παρατηρείται ότι η πειραματική τυπική απόκλιση της οριζοντιογραφίας, δεν διαφοροποιείται καθόλου, λόγω του χρόνου παρατήρησης.

Σχετικά με τις διαφορές των αποτελεσμάτων ως προς το διαφορετικό πλήθος των σειρών που συμμετέχουν στην επίλυση, φαίνεται ότι η επίλυση με τις δύο σειρές είναι ασταθής ανάλογα με το ποιες δύο σειρές θα συμμετάσχουν στην επεξεργασία. Επίσης, η επίλυση με τις τρεις σειρές τείνει να αποδίδει τιμές, που προσεγγίζουν τη μέση τιμή των άλλων δύο επιλύσεων.

Εξ' αυτών, συμπεραίνεται, η αστάθεια και η ανεπάρκεια της επίλυσης με δύο σειρές παρατηρήσεων. Ταυτόχρονα, αναδεικνύεται η τάση της επίλυσης τριών σειρών να προσεγγίσει τη μέση τιμή των άλλων δύο επιλύσεων. Το τελευταίο, είναι κάτι το απόλυτα αναμενόμενο, αφού η επίλυση αυτή, συνδυάζει τις δύο επιλύσεις δύο σειρών, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα της, τα δεδομένα και των δύο άλλων ομαδοποιήσεων.

Στο Γράφημα 5-16, παρουσιάζονται, σε μορφή στηλών, οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις που προκύπτουν για πιο πλήρη και κατανοητή επισκόπηση τους.



Γράφημα 5-16. Απεικόνιση Πειραματικών Τυπικών Αποκλίσεων για τους δέκτες Leica, με Μετρήσεις στο Δίκτυο MetricaNet

5.6.3 Ποιότητα Μετρήσεων

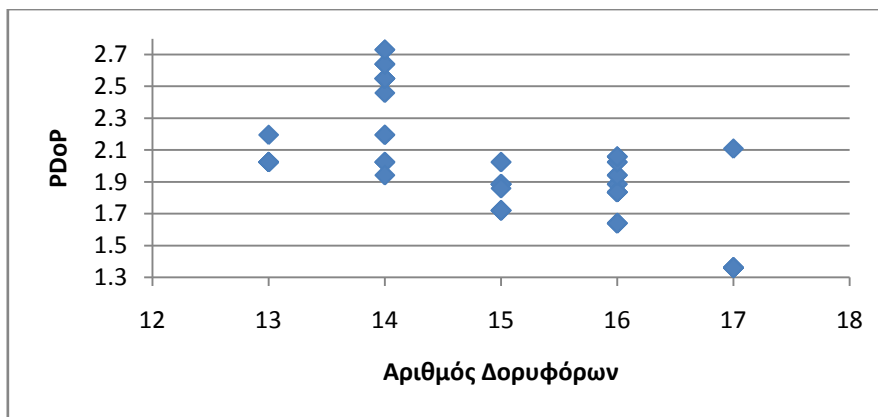
Κατά τη διάρκεια του πειράματος αυτού, οι αριθμοί των δορυφόρων που παρατηρούνταν κυμαίνονταν μεταξύ 13 και 17. Προφανώς, οι μετρήσεις αυτού του πειράματος, περιλαμβάνουν και τα δύο ενεργά, επί του παρόντος, συστήματα GNSS, και το GPS και το Glonass. Εξ' ου και το μεγάλο πλήθος δορυφόρων που παρατηρούνται.

Αντίστοιχα, οι δείκτες DoP είναι αρκετά χειρότεροι από εκείνους των άλλων δύο πειραμάτων. Ο δείκτης HDOP, παίρνει τιμές από 0.8 μέχρι 1.1 και ο δείκτης VDoP, από 1.1 μέχρι 2.5. Συνεπώς, ο δείκτης PDoP κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1.4 και 2.7.

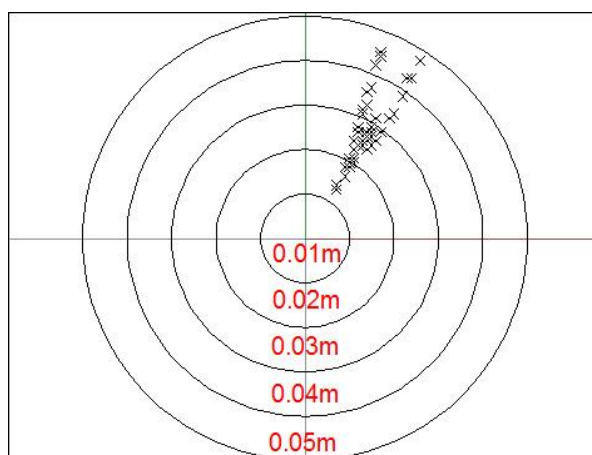
Στο Πείραμα 2, αντίστοιχες τιμές DoP σημειώνονται για παρατηρήσεις με τον μισό αριθμό δορυφόρων, γεγονός που υποδεικνύει τον χαμηλότερης ακρίβειας εντοπισμό δια μέσου μετρήσεων RTN, στη συγκεκριμένη περιοχή. Πραγματικά, κάτι τέτοιο αντικατοπτρίζεται στις πειραματικές τυπικές αποκλίσεις που προέκυψαν. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στη μεγάλη απόσταση από τον κοντινότερο σταθμό αναφοράς και στο γεγονός ότι δεν χρησιμοποιήθηκαν, εκ των υστέρων, αλγόριθμοι διόρθωσης των αποτελεσμάτων του RTN, αφού ότι οι μετρήσεις δεν υποβλήθηκαν σε καμία μοντελοποίηση δεδομένου ότι έγιναν με τη τεχνική MAX.

Όσο για τις τιμές του RMS, κυμαίνονται σε ένα ιδιαίτερα μεγάλο εύρος, από 0.013 μέχρι 0.045m, αποδεικνύοντας τον, χαμηλότερης ακρίβειας, εντοπισμό μέσω του δικτυακού RTK σε σχέση με το Single Base RTK.

Στο Γράφημα 5-17, παρουσιάζεται η διασπορά του δείκτη PDoP σε συνάρτηση με τον αριθμό των δορυφόρων. Η Εικόνα 5-7, δείχνει τη διασπορά των δεικτών RMS, σε σχέση με την αληθή τιμή.



Γράφημα 5-17. Ποιότητα Θέσης PDOP Συνάρτησι του Αριθμού Παρατηρούμενων Δορυφόρων, για τα μετρημένα σημεία στο Δίκτυο της MetricaNet



Εικόνα 5-7. 3D Ποιότητα των Μετρήσεων στο Δίκτυο της MetricaNet

5.7 Στατιστικά Τεστ

Τα στατιστικά τεστ, στα οποία υποβάλλονται οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις, για να διαπιστωθεί η συμφωνία της ακρίβειας των μετρήσεων με εκείνη που δηλώνεται από τον κατασκευαστή των οργάνων, είναι αυτά που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3.

Δεδομένου όμως, της διαφοροποίησης, ως προς τον αριθμό των σειρών, κατά τη διάρκεια της επίλυσης, που έχει γίνει στην παρούσα εργασία, μεταβάλλονται ο αριθμός των μετρήσεων και άρα ο βαθμός ελευθερίας. Τελικά, διαφοροποιούνται και τα όρια των στατιστικών τεστ.

Έτσι, για το Ερώτημα (α) και για επίλυση δύο σειρών, ο βαθμός ελευθερίας είναι $\nu_x = \nu_y = \nu_h = 18$ και η σχέση (3.8) γίνεται:

$$(3.8) \leftrightarrow \left. \begin{aligned} S_{ISO-GNSS RTK-xy} &\leq \sigma_{xy} \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(36)}{36}} \\ \chi^2_{0,95}(36) &= 50.96 \end{aligned} \right\} \leftrightarrow (5.10)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq \sigma_{xy} \times 1.19 \quad (5.11)$$

Ενώ για τέσσερις σειρές, ο βαθμός ελευθερίας είναι $\nu_x = \nu_y = \nu_h = 38$ και η σχέση (3.8) είναι:

$$(3.8) \leftrightarrow \left. \begin{aligned} S_{ISO-GNSS\ RTK-xy} &\leq \sigma_{xy} \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(76)}{76}} \\ \chi_{0,95}^2(76) &= 97,08 \end{aligned} \right\} \leftrightarrow (5.12)$$

$$S_{ISO-GNSS\ RTK-xy} \leq \sigma_{xy} \times 1.13 \quad (5.13)$$

Αντίστοιχα, για το Ερώτημα (β) και για δύο σειρές, η σχέση (3.12) δίνει:

$$(3.12) \leftrightarrow \left. \begin{aligned} S_{ISO-GNSS\ RTK-h} &\leq \sigma_h \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(18)}{18}} \\ \chi_{0,95}^2(18) &= 28.87 \end{aligned} \right\} \leftrightarrow (5.14)$$

$$S_{ISO-GNSS\ RTK-h} \leq \sigma_h \times 1.27 \quad (5.15)$$

Και για τέσσερις σειρές μετρήσεων:

$$(3.12) \leftrightarrow \left. \begin{aligned} S_{ISO-GNSS\ RTK-h} &\leq \sigma_h \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(38)}{38}} \\ \chi_{0,95}^2(38) &= 53.36 \end{aligned} \right\} \leftrightarrow (5.16)$$

$$S_{ISO-GNSS\ RTK-h} \leq \sigma_h \times 1.18 \quad (5.17)$$

Όσο για τα Ερωτήματα (γ) και (δ), ανάλογα με το βαθμό ελευθερίας του κάθε δείγματος που συμμετέχει στη σύγκριση αυτή, τα όρια των σχέσεων (3.16) και (3.19) παίρνουν τις αντίστοιχες τιμές που φαίνονται στον Πίνακα που ακολουθεί, και εξ' αυτού διαμορφώνονται τα όρια, κατά περίπτωση.

ν_2/ν_1	18	28	38	36	56	76
18	2.60	2.46	2.39	-	-	-
28	2.27	2.13	2.06	-	-	-
38	2.13	1.98	1.91	-	-	-
36	-	-	-	1.94	1.86	1.82
56	-	-	-	1.79	1.70	1.65
76	-	-	-	1.71	1.62	1.57

Πίνακας 5-12. Συγκεντρωτική Παρουσίαση Τιμών f της Κατανομής Fischer, $F(0.975, \nu_1, \nu_2)$
(Πηγή : www.stat Trek.com)

5.7.1 Πείραμα 1 - RTK Leica

Με βάση όλα τα παραπάνω και δεδομένης της ακρίβειας των δεκτών, που ανέρχεται σε 10mm κατά την οριζοντιογραφία και 20mm κατά την υψομετρία, όπως παρέχεται από τον κατασκευαστή τους, οι σχέσεις (3.11), (5.11) και (5.13) της οριζοντιογραφίας και οι (3.15), (5.15), (5.17) της υψομετρίας, μετασχηματίζονται, αντίστοιχα, σε:

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq 0.0115 \quad (5.18)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq 0.0119 \quad (5.19)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq 0.0113 \quad (5.20)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq 0.0244 \quad (5.21)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq 0.0254 \quad (5.22)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq 0.0236 \quad (5.23)$$

Οι σχέσεις (5.18) και (5.21), αντιστοιχούν σε επιλύσεις τριών σειρών, οι (5.19) και (5.22), σε δύο σειρές και οι (5.20) και (5.23), σε τέσσερις.

Τα Ερωτήματα (α) και (β) απαντώνται, συγκρίνοντας τις πειραματικές τιμές του Πίνακα 5-8, μία προς μία, με τα αντίστοιχα όρια των παραπάνω σχέσεων, και παρατηρείται η ικανοποίηση των συνθηκών αυτών και άρα, είναι δυνατή η επίτευξη των ακριβειών που παρουσιάζει η εταιρία Leica.

Για τα Ερωτήματα (γ) και (δ), που αφορούν στην οριζοντιογραφία και στην υψομετρία, αντίστοιχα, η διαδικασία που ακολουθείται είναι ότι συγκρίνονται οι πειραματικές τιμές που έχουν προκύψει από κάθε επίλυση 30 sec με την επίλυση 60 sec, των ίδιων σειρών, για να αποδειχθεί ότι οι μετρήσεις διαφορετικού χρόνου ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό. Με βάση τις σχέσεις (3.16) και (3.19), τις τιμές της κατανομής Fischer για επίπεδο εμπιστοσύνης 97.5% και τους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας, ικανοποιούνται όλες οι συνθήκες και συμπεραίνεται ότι οι επιλύσεις διαφορετικού χρόνου, που περιλαμβάνουν τις ίδιες σειρές, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό μεταξύ τους.

Στη συνέχεια, μελετάται αν όλες οι μετρήσεις ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, συγκρίνοντας τους αντίστοιχους λόγους, με τα αντίστοιχα όρια, όπως προκύπτουν από τους βαθμούς ελευθερίας των σειρών που συμμετέχουν. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας, φαίνονται στον Πίνακα 5-13, που, στη τομή δύο επιλύσεων, γράφεται ΝΑΙ, αν ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό και ΟΧΙ, αν δεν ανήκουν.

Παρατηρείται ότι κάποια από τα αποτελέσματα, κυρίως της υψομετρίας, που προκύπτουν από την επίλυση των σειρών 1 και 2 δεν ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό με τα υπόλοιπα αποτελέσματα. Αυτό πρακτικά σημαίνει τη μη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων αυτής της επίλυσης, υποδηλώνοντας ότι αν είχαν γίνει μόνο οι μετρήσεις των σειρών 1 και 2, τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν δεν θα απέδιδαν τα πρόβοντα, με κίνδυνο την εξαγωγή εσφαλμένων συμπερασμάτων.

Συνεπώς, με βάση αυτό το δείγμα, συμπεραίνεται ότι η επίλυση δύο σειρών μπορεί να αποδώσει παραπλανητικά αποτελέσματα και γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποφεύγεται. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι μέσω της επίλυσης δύο σειρών, οι παρατηρήσεις που συμμετέχουν είναι αρκετά μειωμένες ως προς τον αριθμό τους, κάτι που καθιστά την επίλυση επισφαλής.

Από την άλλη, η επίλυση με τέσσερις σειρές απαιτεί επιπλέον χρόνο πεδίου, χωρίς να αποδίδει διαφορετικά αποτελέσματα. Οπότε, δεν έχει λόγο ύπαρξης, ειδικά αν ληφθεί υπ' όψιν το γεγονός ότι το πρότυπο αυτό εφαρμόζεται για την εξαγωγή συμπεράσματος καταλληλότητας του συγκεκριμένου ζεύγους δεκτών GNSS για μία συγκεκριμένη εφαρμογή που πρέπει να γίνει. Δηλαδή επειδή η διαδικασία εφαρμόζεται για λόγους αξιοπιστίας πριν από τις απαραίτητες, για την εφαρμογή, μετρήσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και το κόστος της εφαρμογής, ανάλογα με το χρόνο παραμονής στο πεδίο. Συνεπώς, απαιτείται η εφαρμογή των λιγότερων δυνατών παρατηρήσεων, έτσι ώστε να εξάγεται αξιόπιστο αποτέλεσμα.

		1,2		1,2		2,3	2,3	3,4	3,4	1,2,3	1,2,3	2,3,4	2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4
		30 sec		60 sec		30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec
1,2	30 sec	NAI													
1,2	60 sec	NAI		NAI											
2,3	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} OXI	S _h OXI	NAI									
2,3	60 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI	NAI								
3,4	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} OXI	S _h OXI	NAI	NAI	NAI							
3,4	60 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} OXI	S _h OXI	NAI	NAI	NAI	NAI						
1,2,3	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} OXI	S _h OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI					
1,2,3	60 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI				
2,3,4	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI			
2,3,4	60 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI		
1,2,3,4	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} OXI	S _h OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	
1,2,3,4	60 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} OXI	S _h OXI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI

Πίνακας 5-13. Σύνοψη Απαντήσεων για τα Ερωτήματα (γ) και (δ), των Δεκτών Leica

5.7.2 Πείραμα 2 - RTK Trimble

Τα Ερωτήματα (α) και (β), απαντώνται όπως και στο Πείραμα 1. Τα όρια με βάση τα οποία εξάγονται τα συμπεράσματα είναι αυτά που φαίνονται στις σχέσεις (5.18) και (5.21), για επιλύσεις τριών σειρών, στις (5.19) και (5.22), για δύο σειρές και στις (5.20) και (5.23), για επίλυση τεσσάρων. Οι σχέσεις αυτές παραμένουν όμοιες με προηγουμένως, λόγω των κοινών ακριβειών των δεκτών, έτσι όπως παρέχονται από τους κατασκευαστές τους.

Εξ' αυτών, γίνονται οι απαραίτητες συγκρίσεις των στοιχείων του Πίνακα 5-10 με τις αντίστοιχες σχέσεις και προκύπτει ότι όλες οι τιμές του πίνακα αυτού, είναι μικρότερες ή ίσες με τις ακρίβειες που παρέχονται από τη Trimble και άρα γίνεται αποδεκτή η μηδενική υπόθεση. Αυτό σημαίνει τελικά, ότι οι εν λόγω δέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές RTK που απαιτούν ακρίβεια οριζοντιογραφίας 1cm και υψομετρίας 2cm.

Σχετικά με τα Ερωτήματα (γ) και (δ), απαντώνται με βάση τις σχέσεις (3.16) και (3.19), τον Πίνακα 5-12, που περιλαμβάνει τις τιμές της κατανομής Fischer για επίπεδο εμπιστοσύνης 97,5% και με βάση τους βαθμούς ελευθερίας του κάθε μεγέθους που συμμετέχει στον λόγο.

Αρχικά, γίνεται σύγκριση των πειραματικών τιμών που αντιστοιχούν στις επιλύσεις ίδιων σειρών αλλά διαφορετικών χρόνων παρατήρησης. Οι τιμές τους συμπεραίνεται ότι ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, εκτός από την επίλυση των σειρών 2,3, όπου το Ερώτημα (δ) αποτυγχάνει και γίνεται αποδεκτή η εναλλακτική υπόθεση που δεν αποδέχεται τις τιμές αυτές στον ίδιο πληθυσμό.

Σε δεύτερο χρόνο, επιχειρείται η ενοποίηση όλων των πειραματικών τιμών μεταξύ τους, ξεχωριστά για την υψομετρία και την οριζοντιογραφία. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5-14, όπου σημειώνεται ΝΑΙ όπου γίνεται αποδεκτή η μηδενική υπόθεση και ΟΧΙ, όπου γίνεται αποδεκτή η εναλλακτική.

Αποδεικνύεται και πάλι, όπως και στο προηγούμενο πείραμα, η αστάθεια και η ασυμφωνία των επιλύσεων δύο σειρών σε σχέση με τις υπόλοιπες, μέσω της αποδοχής της εναλλακτικής υπόθεσης, όταν το Ερώτημα τίθεται για επίλυση δύο σειρών έναντι τριών ή τεσσάρων. Φαίνεται ότι οι πειραματικές τιμές αυτές δεν είναι πάντα διαφορετικού πληθυσμού, όμως η πιθανότητα να συμβαίνει κάτι τέτοιο είναι αρκετά μεγάλη.

Συνεπώς, αποδεικνύεται και από αυτό το δείγμα μετρήσεων, ότι για εφαρμογές όπου παίζει ρόλο η τεκμηρίωση των ακριβειών, δεν μπορούν να βασιστούν σε επιλύσεις δύο σειρών. Και αυτό διότι μπορεί να αποδώσει μη αληθή αποτελέσματα, που δεν ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό με τα αποτελέσματα επίλυσης τριών σειρών.

		1,2		1,2		2,3		2,3		3,4		3,4		1,2,3		1,2,3		2,3,4		2,3,4		1,2,3,4		1,2,3,4	
		30 sec		60 sec		30 sec		60 sec		30 sec		60 sec		30 sec		60 sec		30 sec		60 sec		30 sec		60 sec	
1,2	30 sec	NAI																							
1,2	60 sec	NAI		NAI																					
2,3	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI																			
2,3	60 sec	NAI		NAI		S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI																	
3,4	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI															
3,4	60 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		NAI		NAI		NAI		NAI													
1,2,3	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		NAI		NAI		NAI		NAI											
1,2,3	60 sec	NAI		NAI		S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		NAI		NAI									
2,3,4	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI							
2,3,4	60 sec	NAI		NAI		S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		NAI		NAI		NAI		NAI					
1,2,3,4	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI			
1,2,3,4	60 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI		NAI	

Πίνακας 5-14. Σύνοψη Απαντήσεων για τα Ερωτήματα (γ) και (δ), των Δεκτών Trimble

5.7.3 Πείραμα 3 – RTN – MetricaNet

Όπως και προηγουμένως, δεδομένης της ακρίβειας που μπορεί να επιτευχθεί δια μέσου των μετρήσεων του δικτύου της MetricaNet, οι σχέσεις (3.11), (5.11) και (5.13) της οριζοντιογραφίας και οι (3.15), (5.15), (5.17) της υψομετρίας, αφορούν στα Ερωτήματα (α) και (β), μετασχηματίζονται, αντίστοιχα, για ακρίβειες που κυμαίνονται μεταξύ 1 και 3 cm, σε:

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq 0.0115 \text{ έως } 0.0345 \quad (5.30)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq 0.0119 \text{ έως } 0.0339 \quad (5.31)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-xy} \leq 0.0113 \text{ έως } 0.0357 \quad (5.32)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq 0.0244 \text{ έως } 0.0366 \quad (5.33)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq 0.0254 \text{ έως } 0.0381 \quad (5.34)$$

$$S_{ISO-GNSS RTK-h} \leq 0.0236 \text{ έως } 0.0354 \quad (5.36)$$

Μέσω της σύγκρισης των τιμών του Πίνακα 5-11, εύκολα συμπεραίνεται η μη ικανοποίηση των παραπάνω συνθηκών, αν θεωρηθεί ότι μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια της τάξης του 1cm, μέσω του δικτύου της MetricaNet. Συνεπώς, για την κάλυψη των απαιτούμενων αναγκών ακρίβειας, δεν ενδείκνυνται οι μετρήσεις μέσω αυτής της μεθόδου. Αντίθετα, στην περίπτωση που θεωρείται η ακρίβεια του δικτύου, η χειρότερη δυνατή και ίση με 3 cm, ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες και επιτρέπεται η χρήση του δικτύου για εργασίες τέτοιας ακρίβειας.

Στην πραγματικότητα, οι οριακές τιμές που επιτυγχάνονται στην κάθε επίλυση φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί, όπως έχουν υπολογιστεί εκτελώντας την αντίστροφη επίλυση των σχέσεων (5.30) έως (5.36).

Πλήθος Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση	2 Σειρές				3 Σειρές	
	1,2	1,2	2,3	2,3	1,2,3	1,2,3
Αύξων Αριθμός Σειρών που Συμμετέχουν στην Επίλυση						
	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec
σ_{xy}	0.024	0.023	0.019	0.018	0.022	0.022
σ_h	0.025	0.024	0.024	0.022	0.025	0.024

Πίνακας 5-15. Οριακές Τιμές Ακρίβειας που Επιτυγχάνεται για κάθε Επίλυση, μέσω του MetricaNet

Όμοια με τα προηγούμενα, απαντώνται και τα Ερωτήματα (γ) και (δ), αρχικά συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τις επιλύσεις των ίδιων σειρών με διαφορετικό χρόνο μέτρησης και στη συνέχεια, επιχειρώντας να συσχετιστούν όλες οι μετρήσεις μεταξύ τους, στον ίδιο πληθυσμό μετρήσεων.

Τελικά, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα, στην περίπτωση αυτή, όχι μόνο οι μετρήσεις διαφορετικού χρόνου ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, αλλά συμβαίνει το ίδιο και για το σύνολο τους.

		1,2	1,2	2,3	2,3	1,2,3	1,2,3
		30 sec	60 sec	30 sec	60 sec	30 sec	60 sec
1,2	30 sec	NAI					
1,2	60 sec	NAI	NAI				
2,3	30 sec	NAI	NAI	NAI			
2,3	60 sec	NAI	NAI	NAI	NAI		
1,2,3	30 sec	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	
1,2,3	60 sec	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI

Πίνακας 5-16. Σύνοψη Απαντήσεων για τα Ερωτήματα (γ) και (δ), για τις Μετρήσεις στο Δίκτυο της MetricaNet

5.7.4 Συγκρίσεις Μεταξύ των Διαφορετικών Πειραμάτων

Τελικά, εφαρμόζονται τα Ερωτήματα (γ) και (δ), μεταξύ των διαφορετικών πειραμάτων για να διαπιστωθεί η μεταξύ τους σχέση.

Εφαρμόζοντας τα Ερωτήματα αυτά, μεταξύ του τρίτου πειράματος, που αναφέρεται στο δίκτυο της MetricaNet και των άλλων δύο πειραμάτων, παρατηρείται το αναμενόμενο. Ότι δηλαδή, δεν μπορούν να συσχετιστούν κάτω από τον ίδιο πληθυσμό, δεδομένης της μεγάλης διαφοράς των πειραματικών τιμών.

Αντίθετα, η εφαρμογή των Ερωτημάτων αυτών στα Πειράματα 1 και 2, είναι αρκετά πιο πολύπλοκη, δεδομένης της ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ τους και της ανάγκης εντοπισμού του ορίου αυτής. Λόγω της διαπίστωσης ότι οι επιλύσεις δύο σειρών δεν αποδίδουν αξιόπιστα αποτελέσματα, τα Ερωτήματα εξετάζονται μόνο για τις επιλύσεις τριών και τεσσάρων σειρών.

Στην οριζοντιογραφία, λόγω της μικρής διαφοράς των πειραματικών τιμών, οι περισσότερες συσχετίσεις φανερώνουν ότι οι μετρήσεις ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό (Πίνακας 5-17). Πιο συγκεκριμένα, όταν οι πειραματικές τιμές διαφέρουν 1mm, γίνεται αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης. Όμως, όταν η διαφορά είναι 2mm, το αποτέλεσμα καθορίζεται από τους βαθμούς ελευθερίας των δειγμάτων, που όσο μεγαλύτεροι είναι, τόσο πιο αυστηρά γίνονται τα όρια. Έτσι, για τη σύγκριση πειραματικών τιμών που αναφέρονται σε τρεις σειρές, γίνεται αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης, ενώ για σύγκριση πειραματικών τιμών που η μία εκ των δύο ή και οι δύο αναφέρονται σε τέσσερις σειρές, αποδεκτή γίνεται η εναλλακτική υπόθεση.

Σε σχέση με την υψομετρία, λόγω της μεγάλης διαφοράς των πειραματικών τιμών, αποδεικνύεται ότι δεν είναι δυνατό να συσχετιστούν τα δύο δείγματα, ανεξαρτήτως βαθμών ελευθερίας (Πίνακας 5-17). Το αποτέλεσμα αυτό, είναι αναμενόμενο με βάση τις διατιθέμενες μετρήσεις, ωστόσο προκαλεί το ενδιαφέρον, καθώς λόγω των κοινών προδιαγραφών των δεκτών, αναμενόταν να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο δειγμάτων.

Πιθανή αιτία αυτής της διαφοράς, μπορεί να αποτελεί το γεγονός ότι στις μετρήσεις με τους δέκτες Trimble, παρατηρούνταν μόνο δορυφόροι GPS, με αποτέλεσμα τον περιορισμό του αριθμού τους. Δεδομένου λοιπόν, ότι η επαρκής κάλυψη του ουράνιου θόλου από δορυφόρους επηρεάζει τα αποτελέσματα της υψομετρίας, είναι πιθανό η αιτία να μπορεί να εντοπιστεί εκεί. Για την εξαγωγή ασφαλούς συμπεράσματος, απαιτείται η περαιτέρω μελέτη αυτού.

Trimble/Leica		1,2,3		1,2,3		2,3,4		2,3,4		1,2,3,4		1,2,3,4	
		30 sec		60 sec		30 sec		60 sec		30 sec		60 sec	
1,2,3	30 sec	NAI											
1,2,3	60 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI									
2,3,4	30 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI							
2,3,4	60 sec	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h	NAI					
1,2,3,4	30 sec	S _{xy} OXI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	NAI			
1,2,3,4	60 sec	S _{xy} OXI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} NAI	S _h OXI	S _{xy} OXI	S _h OXI	NAI	

Πίνακας 5-17. Σύνοψη Εφαρμογής Ερωτημάτων (γ) και (δ) μεταξύ των δειγμάτων Trimble και Leica

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Γενικά

Στη διάρκεια της διπλωματικής αυτής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν εργασίες υποδομής, που απέδωσαν τις συντεταγμένες των κορυφών του αρχικού δικτύου, με μεθόδους στατικού εντοπισμού και επίγειων μετρήσεων.

Σε σχέση με το πρότυπο ISO 17123-8, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις Single Base RTK με δέκτες Leica και Trimble, ίδιων προδιαγραφών ακριβείας, και μετρήσεις RTN στο δίκτυο της MetricaNet, με τη τεχνική MAX. Τα πειράματα που επιτελέστηκαν περιελάμβαναν διάρκειες παρατηρήσεων $\Delta t=30\text{sec}$ και $\Delta t=60\text{sec}$, ενώ οι σειρές που μετρήθηκαν, στα δύο πρώτα πειράματα, ήταν τέσσερις.

Οι μετρήσεις αυτές επεξεργάστηκαν σύμφωνα με τις διαδικασίες που ορίζει το πρότυπο και απέδωσαν πειραματικές τυπικές αποκλίσεις, για την οριζοντιογραφία και την υψομετρία. Ταυτόχρονα, έγιναν επιλύσεις που περιελάμβαναν δύο και τέσσερις σειρές και παρήχθησαν επιπλέον πειραματικές τιμές, προκειμένου να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους.

Σκοπός ήταν η αξιολόγηση του προτύπου, υπό το πρίσμα του χρόνου παρατήρησης και του αριθμού των σειρών μετρήσεων που συμμετέχουν στις επιλύσεις, ενώ ταυτόχρονα γίνεται έλεγχος των δύο ζευγαριών δεκτών, με βάση το πρότυπο. Επίσης, η εφαρμογή του σε μετρήσεις RTN, αποσκοπούσε στο να συμπεραθεί αν είναι δόκιμη τέτοιου είδους χρήση του.

Τελικά, όλοι οι στόχοι επετεύχθησαν και στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εργασία αυτή, ενώ ταυτόχρονα διατυπώνονται προτάσεις για την περαιτέρω μελέτη του εν λόγω προτύπου.

6.2 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της εργασίας αυτής και από τη μελέτη του προτύπου ISO 17123-8 είναι τα ακόλουθα:

- Για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου μέσω στατικού εντοπισμού, φαίνεται ότι δεν είναι δυνατό να απαντήσουν τις προδιαγραφές που τίθενται από το πρότυπο, για προσδιορισμό αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών με ακρίβεια καλύτερη από 3mm. Οι συντεταγμένες προσδιορίστηκαν με ακρίβεια 3mm, στην οριζοντιογραφία και 4mm, στην υψομετρία. Από το Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων, οι ακρίβειες των αποστάσεων και των υψομετρικών διαφορών είναι μεγαλύτερες από τις απαιτούμενες. Οι ακρίβειες του στατικού εντοπισμού, βρίσκονται στα όρια αυτών που μπορούν να επιτύχουν οι δέκτες αυτοί και άρα η βελτίωση τους δεν είναι δυνατή. Επομένως, η ενδεδειγμένη μέθοδος προσδιορισμού των συντεταγμένων του δικτύου, είναι μέσω επίγειων μετρήσεων.
- Μέσω της εφαρμογής του Απλοποιημένου Τεστ στις μετρήσεις, είναι δυνατός ο εντοπισμός χονδροειδών σφαλμάτων. Όμως, το γεγονός ότι το τεστ αυτό βασίζεται στον έλεγχο των οριζοντίων αποστάσεων και των υψομετρικών διαφορών των σημείων, σε περίπτωση μη ορθής μέτρησης και των δύο σημείων του σετ, από τα οποία υπολογίζονται τα παραπάνω μεγέθη, είναι πιθανή η ανικανότητα του προτύπου να εντοπίσει τέτοιου είδους σφάλματα. Οπότε, επί της ουσίας, το

πρότυπο εστιάζει στην εσωτερική ακρίβεια των δεκτών και όχι και στην εξωτερική τους ακρίβεια.

- Από την επεξεργασία των δειγμάτων που συλλέχθηκαν, συμπεραίνεται η εύστοχη υιοθέτηση των τριών σειρών μετρήσεων από το πρότυπο. Από τη μία, οι επιλύσεις τεσσάρων σειρών δίνουν σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα με αυτά των τριών επιλύσεων και άρα κρίνεται ασύμφορη η πραγματοποίηση τέτοιων επιλύσεων, δεδομένου του επιπλέον χρόνου παραμονής που συνεπάγεται αυτό. Από την άλλη, οι επιλύσεις δύο σειρών δίνουν ασταθή αποτελέσματα, πολλά από τα οποία δεν ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό με αυτά των επιλύσεων τριών σειρών, με αποτέλεσμα τον κίνδυνο εξαγωγής εσφαλμένων συμπερασμάτων.
- Οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις της οριζοντιογραφίας, για διαφορετικούς χρόνους παρατήρησης, διαφέρουν το πολύ 1mm στις μετρήσεις RTK και το πολύ 2mm για RTN. Ο μέσος όρος των διαφορών είναι για το πρώτο πείραμα είναι 1mm, για το δεύτερο 0.5mm και για το τρίτο 0.7. Ο γενικός μέσος όρος είναι 0.7mm. Σε κάθε περίπτωση, οι μετρήσεις αυτές, όπως αποδεικνύεται από τα στατιστικά τεστ, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό και αποδεικνύουν ότι ο χρόνος παρατήρησης δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα της οριζοντιογραφίας.
- Οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις της υψομετρίας, για διαφορετικούς χρόνους παρατήρησης, διαφέρουν από 1 έως 4mm, για RTK και από 1 έως 2mm, για RTN. Οι μεγαλύτερες τιμές σημειώνονται στο πείραμα 2, όμως κατά βάση οι διαφορές είναι της τάξης του 1mm. Οι μέσοι όροι των διαφορών των πειραματικών τυπικών αποκλίσεων ανά πείραμα είναι 0.2mm για το πείραμα 1, 1.3mm για το πείραμα 2 και 2mm για το πείραμα 3. Ο γενικός μέσος όρος είναι 1.2mm. Για την εξαγωγή συμπεράσματος σε αυτή τη περίπτωση, γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και με βάση τον αριθμό των σειρών από τις οποίες προήλθαν. Παρατηρείται το γεγονός ότι οι μέγιστες τιμές που παρατηρούνται και οι οποίες αποτυγχάνουν στο Ερώτημα (δ) και άρα δεν ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό με τις υπόλοιπες, σημειώνονται σε επιλύσεις δύο σειρών, που όπως έχει λεχθεί, δεν είναι αξιόπιστες. Συνεπώς, συμπεραίνεται και πάλι ότι ο χρόνος παρατήρησης δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα, υπό την προϋπόθεση ότι οι επιλύσεις βασίζονται σε τρεις ή περισσότερες σειρές μετρήσεων.
- Οι επιλύσεις που γίνονται, δίνουν αποτελέσματα που βρίσκονται σε συμφωνία με τα στοιχεία των εταιριών κατασκευής των δεκτών. Το πείραμα 1 δίνει πειραματικές τυπικές αποκλίσεις οριζοντιογραφίας από 6mm μέχρι 9mm, ο μέσος όρος των οποίων είναι 8mm ενώ το πείραμα 2 δίνει τιμές από 6mm έως 8mm και μέση τιμή 7mm. Οι τυπικές αποκλίσεις της υψομετρίας είναι από 1 έως 3mm, με το μέσο όρο τους να είναι 2mm, για το πείραμα 1 και 4 ως 10mm και μέσο όρο 7mm, για το πείραμα 2. Όλες οι τιμές είναι κάτω από τα 10 και 20mm, που είναι οι ακρίβειες των εταιριών.
- Το πείραμα 3, δίνει τιμές από 21 ως 28mm και μέση τιμή 25mm στην οριζοντιογραφία και 28 ως 32mm, με μέσο όρο 30mm στην υψομετρία. Το δίκτυο της MetricaNet μπορεί να παρέχει ακρίβειες εντοπισμού 1-3cm. Αν θεωρηθούν τα όρια στο 1cm, τότε οι μετρήσεις δεν είναι ικανοποιητικής ακρίβειας. Αν θεωρηθούν τα όρια στα 3cm, τότε είναι δυνατή η χρήση του δικτύου για εφαρμογές με τέτοιες απαιτήσεις ακριβείας. Η τιμή για την οποία το δίκτυο είναι οριακά κατάλληλο για μία εργασία είναι 0.022m στην οριζοντιογραφία και 0.025m στην υψομετρία.

- Δεδομένου ότι το πρότυπο αυτό μελετά την ακρίβεια που επιτυγχάνει ένας δέκτης, συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή του δεν έχει νόημα για RTN. Αυτό γιατί, όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα του πειράματος 3, οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις που υπολογίζονται δεν αναφέρονται στους δέκτες, αλλά στο δίκτυο και στις προδιαγραφές που τίθενται από αυτό. Η εφαρμογή του έχει νόημα μόνο αν επιχειρείται η μελέτη των προδιαγραφών του δικτύου.
- Από άποψη ποιότητας προσδιορισμού συντεταγμένων, παρατηρείται η σχέση του αριθμού των παρατηρούμενων δορυφόρων με τον δείκτη PDOP. Ωστόσο, επίσης επισημαίνεται η ύπαρξη κάποιων ορίων ως προς τον αριθμό των δορυφόρων, πάνω από τα οποία ο δείκτης δεν βελτιώνεται, πράγμα που αποδεικνύει ότι το πλήθος των δορυφόρων δεν μπορεί να μειώνει αναλογικά και επ' άπειρον τη τιμή των δεικτών.

6.3 Προτάσεις

Το πρότυπο αυτό είναι εγχειρίδιο διατυπωμένο από επίσημο φορέα που αποσκοπεί στην περιγραφή συγκεκριμένων διαδικασιών, προσφέροντας μία προσέγγιση προς το θέμα της βαθμονόμησης. Η τροποποίηση του δεν είναι κάτι που μπορεί να γίνει από εξωτερικούς φορείς, αλλά μόνο από τον οργανισμό ISO και από την αρμόδια Επιτροπή. Όμως προτάσεις βελτίωσης του είναι δυνατό να διατυπωθούν.

Σε αυτή τη παράγραφο αναφέρονται προτάσεις για την περαιτέρω μελέτη του προτύπου ISO 17123-8 και την επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

- Εφαρμογή του προτύπου για τα ίδια ζεύγη δεκτών, σε διαφορετικό πεδίο μετρήσεων, προκειμένου να μελετηθεί η σημασία του πεδίου και των συνθηκών που επικρατούν σε αυτό, στα τελικά αποτελέσματα. Μέσω μία τέτοιας εφαρμογής είναι δυνατό να αναδειχθεί η επίδραση του Multipath στις πειραματικές τυπικές αποκλίσεις.
- Εφαρμογή του προτύπου, καθορίζοντας εκ των προτέρων το ποια συστήματα GNSS θα συμμετέχουν στις μετρήσεις και διατήρηση της ίδιας επιλογής σε κάθε πείραμα, για να διαπιστωθούν τυχόν αποκλίσεις μεταξύ μετρήσεων με GPS, με Glonass και με τη συμμετοχή και των δύο συστημάτων, στα ίδια ζεύγη δεκτών.
- Πιθανή διόρθωση του προτύπου, θα έπρεπε να περιλαμβάνει αλλαγή του Απλοποιημένου Τεστ, ώστε ο έλεγχος ορθότητας να γίνεται επί των συντεταγμένων των μετρούμενων σημείων και όχι επί των διαφορών των οριζοντίων αποστάσεων και των υψομετρικών διαφορών, ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή θέση του δικτύου στο χώρο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Έντυπη Ξενόγλωσση

1. Armstrong, M. L. (2013), *RTK/RTN Precision vs. Accuracy & Occupation Time*, NOAA, Oregon, USA
2. Chen, X., Parini, C., Collins, B., Yao, Y., Rehman, M. (2012), *Antennas for Global Navigation Satellite Systems*, John Wiley & Sons Ltd.
3. Donahue, B., Wentzel, J., Berg, R. (2012), *Guidelines for RTK/RTN GNSS Surveying in Canada*, Ontario Ministry of Transportation, Ontario, Canada
4. Fernandez, T., de Vicente, J. (2012), *Metrological Control of Global Navigation Satellite System (GNSS) Equipment*, The 4th Manufacturing Engineering Society International Conference of American Institute of Physics
5. Henning, W. (2011), *User Guidelines for Single Base Real Time GNSS Positioning v.2.1*, National Oceanic and Atmospheric Administration - National Geodetic Survey
6. Janssen, V. (2009), *A Comparison of the VRS and MAC principles for Network RTK*, International Global Navigation Satellite Systems Society Symposium, Queensland, Australia
7. JCGM(2012), *International Vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*, BIPM, Sevres, France
8. Kaplan, E., Hegarty, C. J. (2006), *Understanding GPS, Principles and Applications*, ARTECH HOUSE Inc., Norwood Ma, Usa
9. Leick, A. (2004), *GPS Satellite Surveying 3d Edition*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, USA
10. Norsuzila, Y., Mardina, A., Mahamod, I. (2010), *GPS Total Electron Content (TEC) Prediction at Ionosphere Layer over the equatorial Region*, Trends in Telecommunications Technologies, In Tech
11. Rizos, C. (2003), *Network RTK Research and Implementation – A Geodetic Perspective*, Journal of Global Positioning Systems, Vol.1 - No.2, pg. 144-150
12. Uradzinski, M., (2011), *Range Analysis of RTK Base Station in Urban Environment*, FIG Working Week 2011 : Bridging the Gap between Cultures, Marrakesh, Morocco
13. Waldemar, K. (2010), *Antenna Phase Center Effects and Measurements in GNSS Ranging Applications*, 14th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics, American Electromagnetics Conference
14. Wanninger, L., Schön, S. (2007), *National Report of the Federal Republic of Germany on the Geodetic Activities in the years 2003-2007*, XXIV General Assembly of the International Union for Geodesy and Geophysics (IUGG), Perugia, Italy
15. Wübbena, G., Bagge, A., Schmitz, M. (2001), *Network – Based Techniques for RTK Applications*, GPS Symposium Japan Institute of Navigation, Tokyo, Japan
16. Wübbena, G., Schmitz, M., Menge, F., Böder, V., Seeber, G. (2000), *Automated Absolute Field Calibration of GPS Antennas in Real-Time*, ION GPS, Utah, USA
17. Wübbena, G., Menge, F., Schmitz, M., Seeber, G., Völkens, C. (1996), *A New Approach for Field Calibration of Absolute Phase Center Variations*, ION GPS, Kansas City, USA
18. Zeimetz, P., Kuhlmann, H. (2011), *Validation of the Laboratory Calibration of Geodetic Antennas based on GPS Measurements*, International Federation of Surveyors

Έντυπη Ελληνική

1. Αλεξίου, Α. (2011), *Εφαρμογή του Προτύπου ISO 17123-4 σε Εσωτερική Βάση*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα

2. Γιαννίου, Μ. (2008), *Hepos και Σύγχρονες Δικτυακές Τεχνικές GPS*, Hepos και Σύγχρονα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς: Θεωρία και υλοποίηση - προοπτικές και εφαρμογές, Θεσσαλονίκη
3. Δεληκαράογλου, Δ. (2006), *Διαφαινόμενες Προοπτικές από τη Δικτυακή Υποδομή του Hepos για τη Μετάδοση Χωρικών Πληροφοριών μέσω Υπηρεσιών WEB και Ασύρματων Κινητών Συσκευών*, 9^ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας, Χανιά
4. Δήμου, Μ. (2011), *Εφαρμογή Τεχνικών RTK σε Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών GNSS για Τρέχουσες Τοπογραφικές Εργασίες*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
5. Ζησόπουλος, Α., Παραδείσης, Δ. (2006), *Διαφορικός Εντοπισμός (DGPS)*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
6. Καρπουζάς, Η. (2008), *Εφαρμογές Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS)*, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
7. Κατσουγιαννόπουλος, Σ. (2010), *Μετάδοση Δεδομένων GNSS για Προσδιορισμό Θέσης σε Πραγματικό Χρόνο: Εφαρμογές στην Ελληνικό Χώρο*, Περιοδικό ΧΩΡΟΓΡΑΦΙΕΣ, Τόμος 1 – Αρ 1, σελ. 9-15
8. Λαϊνάς, Ι. (2009), *Αξιολόγηση Ακρίβειας Εντοπισμού της Τεχνικής RTK με Χρήση GNSS Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
9. Μπαλοδήμος, Δ.-Δ., Σταθάς, Δ. (2006), *Βασικές Έννοιες και Ορισμοί, Στατιστικοί Έλεγχοι για την Αξιοπιστία των Οργάνων*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
10. Μπαλοδήμος, Δ.-Δ., Σταθάς, Δ., Αραμπατζή, Ο., (2006), *Γεωδαισία: Δίκτυα – Αποτυπώσεις – Χαράξεις*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
11. Παραδείσης, Δ. (2000), *Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
12. Σταμπουλόγλου, Ε. , Καράτζαλος, Κ. , Γεωργόπουλος, Α. (2005), *Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
13. Φωτίου, Α., Πικριδάς, Χ. (2006), *GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Διαδικτυακοί Τόποι

1. Astronomisches Institut of Universität Bern, Center for Orbit Determination in Europe (CODE), Ανασύρθηκε στις 4/4/2014 από : <http://www.aiub.unibe.ch>
2. BeiDou Navigation Satellite System, System Introduction , Ανασύρθηκε στις 21/3/2014 από : en.beidou.gov.cn
3. Engineering's All, Differential GPS, Ανασύρθηκε στις 23/3/2014 από : www.engineeringsall.com
4. European Space Agency, What is Galileo, Ανασύρθηκε στις 22/3/2014 από : www.esa.int
5. Geotech, Δίκτυο Σταθμών Αναφοράς Geotech Ε.Π.Ε., Ανασύρθηκε στις 27/03/2014 από : www.geotech.gr
6. GPS.gov, What is GPS, Ανασύρθηκε στις 22/3/2014 από : www.gps.gov
7. Hepos – Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού, Περιγραφή του Συστήματος, Ανασύρθηκε στις 27/03/2014 από : www.hepos.gr
8. Industrial Resources Arabia, GPS, Ανασύρθηκε στις 21/3/2014 από : www.alradhigroup.com
9. International GNSS Service, From Relative to Absolute Antenna Phase Center Corrections, Ανασύρθηκε στις 30/03/2014 από : www.scwehps.igs.org
10. ISO, Ανασύρθηκε στις 21/12/2013 από: www.iso.org
11. JGC, Δίκτυο Σταθμών Αναφοράς, Ανασύρθηκε στις 27/03/2014 από : www.jgc.gr
12. Laboratory Accreditation Bureau, Measurement Traceability, Ανασύρθηκε στις 26/12/2013 από: www.l-a-b.com
13. Leica Geosystems Solutions Center, Leica GPS 1200 Series Technical Data, Ανασύρθηκε στις 7/2/2014 από: <http://www.leica-geosystemssolutionscenters.com>

14. MetricaNet, Περιγραφή Συστήματος, Ανασύρθηκε στις 27/03/2014 από : www.metricanet.gr
15. Opti - cal Survey Equipment, Leica TPS1200+ User Manual, Ανασύρθηκε στις 6/2/2014 από : www.surveyequipment.com
16. Russian Space Web, Glonass Network, Ανασύρθηκε στις 22/3/2014 από : www.russianspaceweb.com
17. Sitech, Trimble R8 GNSS Receiver User Guide, Ανασύρθηκε στις 6/2/2014 από : <http://www.sitechsw.com/>
18. Stat Trek, F Distribution Calculator: Online Statistical Table, Ανασύρθηκε στις 18/3/2014 από : www.stattrek.com
19. Tree Corpany, Περιγραφή Συστήματος, Ανασύρθηκε στις 27/03/2014 από : www.treecomp.gr
20. Uranus, Το Δίκτυο Uranus, Ανασύρθηκε στις 27/03/2014 από : www.uranus.gr
21. Wikipedia, BeiDou Navigation Satellite System, Ανασύρθηκε στις 21/3/2014 από : www.wikipedia.com
22. Wikipedia, Galileo Navigation Satellite System, Ανασύρθηκε στις 22/3/2014 από : www.wikipedia.com
23. Wikipedia, Glonass Navigation Satellite System, Ανασύρθηκε στις 22/3/2014 από : www.wikipedia.com
24. Wikipedia, International Bureau of Weights and Measures, Ανασύρθηκε το Δεκέμβριο του 2013 από : www.en.wikipedia.org

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
Μετρήσεις Πεδίου

Στάση	Σημείο Σκόπευσης	Σημείο Δικτύου	Οριζόντια Γωνία (g)	Κατακόρυφη Γωνία (g)	Κεκλιμένη Απόσταση (m)	Ύψος Στόχου (m)	Ύψος Οργάνου (m)
B	01	4	0.0007	108.8211	17.39800	1.614	0.368
	02	9	373.9362	106.106	25.01000	1.625	0.368
	03	9	173.9383	293.8993	25.01000	1.625	0.368
	04	4	199.9997	291.1816	17.39800	1.614	0.368
	05	4	399.9991	108.8239	17.39800	1.614	0.368
	06	9	373.9278	106.1048	25.01000	1.625	0.368
	07	9	173.9351	293.8979	25.01000	1.625	0.368
	08	4	199.9994	291.1817	17.39800	1.614	0.368
4	17	B	399.9996	91.1811	17.398	0.368	1.614
	18	9	132.7766	99.9487	11.386	1.625	1.614
	19	9	332.7769	300.0496	11.386	1.625	1.614
	20	B	199.9996	308.8243	17.398	0.368	1.614
	21	B	0.0018	91.1767	17.398	0.368	1.614
	22	9	132.7793	99.9514	11.386	1.625	1.614
	23	9	332.7817	300.0522	11.386	1.625	1.614
	24	B	200.0023	308.8234	17.398	0.368	1.614
9	25	B	0.0004	93.8977	25.01	0.368	1.626
	26	4	358.8391	100.0504	11.386	1.611	1.626
	27	4	158.8375	299.9523	11.386	1.611	1.626
	28	B	199.9974	306.1057	25.01	0.368	1.626
	29	B	399.9981	93.897	25.01	0.368	1.626
	30	4	358.8352	100.0506	11.386	1.611	1.626
	31	4	158.8353	299.9506	11.386	1.611	1.626
	32	B	199.9952	306.1057	25.01	0.368	1.626

Πίνακας 18. Μετρήσεις Γεωδαιτικού Σταθμού

Αριθμός Σημείου	X [m]	Y [m]	h [m]	Σημείο Δικτύου
1	480537.1441	4202804.3216	207.1082	4
3	480526.0855	4202801.6414	207.1026	9
5	480537.1537	4202804.3205	207.1088	4
7	480526.0874	4202801.6429	207.1023	9
9	480537.1419	4202804.3208	207.1088	4
11	480526.0922	4202801.6418	207.1044	9
13	480537.1505	4202804.3192	207.1096	4
15	480526.0825	4202801.6464	207.1041	9
17	480537.1469	4202804.3239	207.1068	4
19	480526.0975	4202801.6382	207.1038	9
21	480537.1429	4202804.3203	207.1085	4
23	480526.0832	4202801.6263	207.1013	9
25	480537.1437	4202804.3243	207.1077	4
27	480526.0839	4202801.6414	207.1021	9
30	480537.1459	4202804.3166	207.1095	4
32	480526.0790	4202801.6383	207.1014	9
34	480537.1459	4202804.3236	207.1106	4
36	480526.0840	4202801.6300	207.1032	9
38	480537.1493	4202804.3240	207.1081	4
40	480526.0879	4202801.6289	207.1048	9
42	480537.1415	4202804.3189	207.1079	4
44	480526.0521	4202801.6417	207.1062	9
46	480537.1401	4202804.3212	207.1099	4
48	480526.0809	4202801.6341	207.1057	9
50	480537.1472	4202804.3249	207.1125	4
52	480526.0870	4202801.6306	207.1064	9
54	480537.1453	4202804.3189	207.1069	4
56	480526.0846	4202801.6283	207.1007	9
58	480537.1413	4202804.3188	207.1086	4
60	480526.0860	4202801.6293	207.1066	9
62	480537.1461	4202804.3204	207.1045	4
64	480526.0870	4202801.6387	207.1005	9
66	480537.1374	4202804.3221	207.1078	4
68	480526.0752	4202801.6376	207.1010	9
70	480537.1406	4202804.3283	207.1066	4
72	480526.0877	4202801.6375	207.1037	9
74	480537.1454	4202804.3328	207.1052	4
76	480526.0890	4202801.6217	207.0988	9
78	480537.1494	4202804.3177	207.1081	4
80	480526.0863	4202801.6260	207.1042	9

Πίνακας 19. Μετρήσεις Δεκτών Leica, για Δt=30sec

Αριθμός Σημείου	X [m]	Y [m]	h [m]	Σημείο Δικτύου
2	480537.1416	4202804.3220	207.1107	4
4	480526.0811	4202801.6438	207.1037	9
6	480537.1455	4202804.3231	207.1081	4
8	480526.0779	4202801.6475	207.1030	9
10	480537.1444	4202804.3185	207.1095	4
12	480526.0847	4202801.6422	207.1062	9
14	480537.1465	4202804.3163	207.1101	4
16	480526.0848	4202801.6435	207.1017	9
18	480537.1421	4202804.3253	207.1060	4
20	480526.0861	4202801.6394	207.1045	9
22	480537.1437	4202804.3262	207.1088	4
24	480526.0809	4202801.6273	207.1026	9
26	480537.1432	4202804.3281	207.1084	4
28	480526.0852	4202801.6404	207.1026	9
31	480537.1476	4202804.3169	207.1090	4
33	480526.0803	4202801.6381	207.1041	9
35	480537.1459	4202804.3207	207.1086	4
37	480526.0850	4202801.6333	207.1011	9
39	480537.1425	4202804.3248	207.1084	4
41	480526.0885	4202801.6281	207.1018	9
43	480537.1450	4202804.3209	207.1068	4
45	480526.0561	4202801.6390	207.1061	9
47	480537.1482	4202804.3192	207.1103	4
49	480526.0862	4202801.6325	207.1080	9
51	480537.1443	4202804.3232	207.1107	4
53	480526.0864	4202801.6383	207.1061	9
55	480537.1432	4202804.3226	207.1086	4
57	480526.0841	4202801.6260	207.1010	9
59	480537.1466	4202804.3173	207.1095	4
61	480526.0825	4202801.6278	207.1083	9
63	480537.1471	4202804.3206	207.1058	4
65	480526.0879	4202801.6363	207.1032	9
67	480537.1425	4202804.3184	207.1064	4
69	480526.0818	4202801.6375	207.1009	9
71	480537.1354	4202804.3310	207.1083	4
73	480526.0865	4202801.6353	207.1043	9
75	480537.1385	4202804.3301	207.1064	4
77	480526.0826	4202801.6231	207.1023	9
79	480537.1449	4202804.3209	207.1082	4
81	480526.0823	4202801.6263	207.1031	9

Πίνακας 20. Μετρήσεις Δεκτών Leica, για Δt=60sec

Αριθμός Σημείου	X [m]	Y [m]	h [m]	Σημείο Δικτύου
5	480537.123	4202804.333	207.107	4
4	480526.076	4202801.647	207.104	9
9	480537.12	4202804.33	207.105	4
8	480526.077	4202801.65	207.096	9
12	480537.12	4202804.33	207.104	4
13	480526.086	4202801.64	207.098	9
16	480537.123	4202804.34	207.106	4
17	480526.087	4202801.64	207.095	9
20	480537.122	4202804.33	207.098	4
21	480526.085	4202801.64	207.105	9
24	480537.13	4202804.33	207.103	4
25	480526.07	4202801.65	207.101	9
28	480537.121	4202804.33	207.108	4
29	480526.081	4202801.64	207.102	9
32	480537.121	4202804.33	207.104	4
33	480526.081	4202801.63	207.101	9
36	480537.117	4202804.34	207.107	4
37	480526.083	4202801.63	207.104	9
40	480537.12	4202804.34	207.106	4
41	480526.083	4202801.64	207.093	9
44	480537.113	4202804.33	207.095	4
45	480526.077	4202801.65	207.104	9
48	480537.129	4202804.33	207.068	4
49	480526.08	4202801.65	207.099	9
52	480537.12	4202804.34	207.109	4
53	480526.084	4202801.63	207.093	9
56	480537.125	4202804.34	207.102	4
57	480526.084	4202801.64	207.087	9
60	480537.117	4202804.33	207.107	4
61	480526.081	4202801.64	207.105	9
64	480537.125	4202804.34	207.104	4
65	480526.084	4202801.64	207.094	9
68	480537.118	4202804.33	207.107	4
69	480526.076	4202801.63	207.098	9
72	480537.12	4202804.33	207.105	4
73	480526.079	4202801.64	207.093	9
76	480537.123	4202804.34	207.107	4
77	480526.079	4202801.65	207.1	9
80	480537.123	4202804.33	207.113	4
81	480526.081	4202801.64	207.106	9

Πίνακας 21. Μετρήσεις Δεκτών Trimble, για Δt=30sec

Αριθμός Σημείου	X [m]	Y [m]	h [m]	Σημείο Δικτύου
1	480537.125	4202804.336	207.099	4
2	480526.078	4202801.645	207.097	9
6	480537.115	4202804.332	207.117	4
7	480526.084	4202801.642	207.092	9
10	480537.122	4202804.332	207.106	4
11	480526.079	4202801.635	207.089	9
14	480537.125	4202804.330	207.105	4
15	480526.083	4202801.645	207.098	9
18	480537.122	4202804.335	207.106	4
19	480526.084	4202801.636	207.102	9
22	480537.125	4202804.327	207.099	4
23	480526.081	4202801.644	207.098	9
26	480537.122	4202804.332	207.107	4
27	480526.082	4202801.631	207.103	9
30	480537.121	4202804.326	207.105	4
31	480526.081	4202801.635	207.103	9
34	480537.119	4202804.326	207.101	4
35	480526.082	4202801.633	207.107	9
38	480537.122	4202804.329	207.110	4
39	480526.069	4202801.639	207.100	9
42	480537.119	4202804.332	207.093	4
43	480526.061	4202801.647	207.099	9
46	480537.130	4202804.331	207.088	4
47	480526.076	4202801.645	207.100	9
50	480537.122	4202804.330	207.105	4
51	480526.082	4202801.643	207.098	9
54	480537.130	4202804.331	207.090	4
55	480526.082	4202801.642	207.094	9
58	480537.121	4202804.332	207.104	4
59	480526.082	4202801.639	207.102	9
62	480537.118	4202804.332	207.095	4
63	480526.077	4202801.657	207.109	9
66	480537.116	4202804.324	207.093	4
67	480526.080	4202801.641	207.101	9
70	480537.118	4202804.335	207.111	4
71	480526.080	4202801.643	207.098	9
74	480537.123	4202804.335	207.109	4
75	480526.081	4202801.643	207.109	9
78	480537.123	4202804.328	207.106	4
79	480526.083	4202801.634	207.106	9

Πίνακας 22. Μετρήσεις Δεκτών Trimble, για Δt=60sec

Αριθμός Σημείου	X [m]	Y [m]	h [m]	Σημείο Δικτύου
2	480537.1559	4202804.2972	217.2554	4
4	480526.0992	4202801.6074	217.2503	9
6	480537.1433	4202804.3101	217.2287	4
8	480526.0839	4202801.5647	217.2052	9
10	480537.1405	4202804.2757	217.2030	4
12	480526.0948	4202801.5465	217.1979	9
14	480537.1470	4202804.2716	217.1724	4
17	480526.0972	4202801.5614	217.1735	9
19	480537.1573	4202804.3119	217.1857	4
21	480526.1058	4202801.5851	217.1954	9
23	480537.1830	4202804.2783	217.2479	4
25	480526.1073	4202801.5965	217.1920	9
27	480537.1370	4202804.2930	217.1980	4
30	480526.1022	4202801.5866	217.2361	9
32	480537.1359	4202804.2781	217.2418	4
34	480526.0434	4202801.5998	217.1477	9
36	480537.1526	4202804.3235	217.1522	4
39	480526.0650	4202801.6089	217.1857	9
41	480537.1197	4202804.2981	217.1827	4
43	480526.0574	4202801.6071	217.1778	9
45	480537.1503	4202804.2958	217.2228	4
47	480526.0981	4202801.6160	217.1813	9
49	480537.1500	4202804.2958	217.1839	4
51	480526.0805	4202801.6118	217.1608	9
53	480537.1556	4202804.3111	217.2053	4
55	480526.0848	4202801.6174	217.1971	9
57	480537.1546	4202804.2981	217.1537	4
59	480526.0876	4202801.6165	217.1527	9
61	480537.1482	4202804.2951	217.1990	4
63	480526.1039	4202801.6207	217.2066	9

Πίνακας 23. Μετρήσεις στο Δίκτυο της MetricaNet, για $\Delta t=30\text{sec}$

Αριθμός Σημείου	X [m]	Y [m]	h [m]	Σημείο Δικτύου
3	480537.1559	4202804.2928	217.2528	4
5	480526.0985	4202801.6046	217.2515	9
7	480537.1422	4202804.3043	217.2225	4
9	480526.0873	4202801.5569	217.2018	9
11	480537.1420	4202804.2785	217.2003	4
13	480526.0971	4202801.5495	217.1907	9
16	480537.1467	4202804.2808	217.1673	4
18	480526.0995	4202801.5661	217.1774	9
20	480537.1544	4202804.3158	217.1956	4
22	480526.1124	4202801.5849	217.1978	9
24	480537.1778	4202804.2813	217.2300	4
26	480526.0950	4202801.6035	217.1753	9
28	480537.1496	4202804.2925	217.2082	4
31	480526.1040	4202801.5893	217.2555	9
33	480537.1150	4202804.2818	217.2023	4
35	480526.0522	4202801.6075	217.1353	9
38	480537.1374	4202804.3152	217.1699	4
40	480526.0653	4202801.6128	217.1977	9
42	480537.1203	4202804.2989	217.1866	4
44	480526.0652	4202801.6061	217.1887	9
46	480537.1503	4202804.2968	217.2146	4
48	480526.0961	4202801.6176	217.1704	9
50	480537.1445	4202804.2959	217.1743	4
52	480526.0865	4202801.6123	217.1598	9
54	480537.1570	4202804.3126	217.2070	4
56	480526.0848	4202801.6182	217.1923	9
58	480537.1524	4202804.2991	217.1600	4
60	480526.0852	4202801.6209	217.1582	9
62	480537.1544	4202804.2991	217.2052	4
64	480526.1037	4202801.6280	217.2059	9

Πίνακας 24. Μετρήσεις στο Δίκτυο της MetricaNet, για $\Delta t=60\text{sec}$

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ	Θέση 1 [grad]	Θέση 2 [grad]	Μέση Τιμή [grad]	Μέση Ανηγγμένη Τιμή [grad]	Γενικός Μέσος Όρος [grad]	σ_0 [grad]	σ_x [grad]
B								
	4	0.0007	199.9997	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	9	373.9362	173.9383	373.9373	373.9371	373.9371	0.0001	0.0001
	4	399.9981	199.9972	399.9977	0.0000			
	9	373.9331	173.9366	373.9349	373.9372			
4								
	B	399.9996	199.9996	399.9996	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	9	132.7766	332.7769	132.7768	132.7772	132.7778	0.0009	0.0006
	B	0.0018	200.0023	0.0021	0.0000			
	9	132.7793	332.7817	132.7805	132.7785			
9								
	B	0.0004	199.9974	399.9989	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	4	358.8391	158.8375	358.8384	358.8395	358.8391	0.0006	0.0005
	B	399.9981	199.9952	399.9967	0.0000			
	4	358.8352	158.8353	358.8353	358.8386			

Πίνακας 25. Επεξεργασία Οριζοντίων Γωνιών

ΣΤΑΣΗ	ΣΚΟΠΕΥΣΗ	Θέση 1 [grad]	Θέση 2 [grad]	Μέση Τιμή [grad]	Γενικός Μέσος Όρος [grad]	σ_0 [grad]	σ_x [grad]
B							
	4	108.8211	291.1816	108.8198	108.8203	0.0008	0.0006
	9	106.106	293.8993	106.1034	106.1037	0.0005	0.0003
	4	108.8234	291.1816	108.8209			
	9	106.1059	293.8978	106.1041			
4							
	B	91.1811	308.8243	91.1784	91.1775	0.0012	0.0009
	9	99.9487	300.0496	99.9496	99.9496	0.0000	0.0000
	B	91.1767	308.8234	91.1767			
	9	99.9514	300.0522	99.9496			
9							
	B	93.8977	306.1057	93.8960	93.8958	0.0002	0.0002
	4	100.0504	299.9523	100.0491	100.0495	0.0007	0.0005
	B	93.897	306.1057	93.8957			
	4	100.0506	299.9506	100.0500			

Πίνακας 26. Επεξεργασία Κατακόρυφων Γωνιών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
Απλοποιημένα Τεστ

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	D_{49}	Δh_{49}
Σειρά 1	Σετ 1	11.379	-0.006
	Σετ 2	11.386	-0.006
	Σετ 3	11.370	-0.004
	Σετ 4	11.386	-0.006
	Σετ 5	11.371	-0.003
Σειρά 2	Σετ 1	11.383	-0.007
	Σετ 2	11.381	-0.006
	Σετ 3	11.386	-0.008
	Σετ 4	11.385	-0.007
	Σετ 5	11.385	-0.003
Σειρά 3	Σετ 1	11.408	-0.002
	Σετ 2	11.381	-0.004
	Σετ 3	11.384	-0.006
	Σετ 4	11.383	-0.006
	Σετ 5	11.378	-0.002
Σειρά 4	Σετ 1	11.380	-0.003
	Σετ 2	11.381	-0.006
	Σετ 3	11.373	-0.004
	Σετ 4	11.383	-0.004
	Σετ 5	11.386	-0.005

Πίνακας 27. Αποστάσεις και Υψομετρικές Διαφορές ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 1, των 30sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	ϵ_{D49}	$\epsilon_{\Delta h49}$
Σειρά 1	Σετ 1	-0.002	-0.003
	Σετ 2	0.005	-0.003
	Σετ 3	-0.011	-0.001
	Σετ 4	0.005	-0.003
	Σετ 5	-0.010	0.000
Σειρά 2	Σετ 1	0.002	-0.004
	Σετ 2	0.000	-0.003
	Σετ 3	0.005	-0.005
	Σετ 4	0.004	-0.004
	Σετ 5	0.004	0.000
Σειρά 3	Σετ 1	0.027	0.001
	Σετ 2	0.000	-0.001
	Σετ 3	0.003	-0.003
	Σετ 4	0.002	-0.003
	Σετ 5	-0.003	0.001
Σειρά 4	Σετ 1	-0.001	0.000
	Σετ 2	0.000	-0.003
	Σετ 3	-0.008	-0.001
	Σετ 4	0.001	-0.001
	Σετ 5	0.005	-0.002

Πίνακας 28. Διαφορές Μετρήσεων και Ονομαστικών Τιμών ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 1, των 30sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	D ₄₉	Δh ₄₉
Σειρά 1	Σετ 1	11.380	-0.007
	Σετ 2	11.386	-0.005
	Σετ 3	11.379	-0.003
	Σετ 4	11.380	-0.008
	Σετ 5	11.378	-0.001
Σειρά 2	Σετ 1	11.387	-0.006
	Σετ 2	11.380	-0.006
	Σετ 3	11.387	-0.005
	Σετ 4	11.383	-0.007
	Σετ 5	11.378	-0.007
Σειρά 3	Σετ 1	11.409	-0.001
	Σετ 2	11.384	-0.002
	Σετ 3	11.379	-0.005
	Σετ 4	11.383	-0.008
	Σετ 5	11.386	-0.001
Σειρά 4	Σετ 1	11.380	-0.004
	Σετ 2	11.383	-0.007
	Σετ 3	11.376	-0.003
	Σετ 4	11.384	-0.006
	Σετ 5	11.386	-0.004

Πίνακας 29. Αποστάσεις και Υψομετρικές Διαφορές ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 1, των 60sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	ϵ_{D49}	$\epsilon_{\Delta H49}$
Σειρά 1	Σετ 1	-0.001	-0.004
	Σετ 2	0.005	-0.002
	Σετ 3	-0.002	0.000
	Σετ 4	-0.001	-0.005
	Σετ 5	-0.003	0.002
Σειρά 2	Σετ 1	0.006	-0.003
	Σετ 2	-0.001	-0.003
	Σετ 3	0.006	-0.002
	Σετ 4	0.002	-0.004
	Σετ 5	-0.003	-0.004
Σειρά 3	Σετ 1	0.028	0.002
	Σετ 2	0.003	0.001
	Σετ 3	-0.002	-0.002
	Σετ 4	0.002	-0.005
	Σετ 5	0.005	0.002
Σειρά 4	Σετ 1	-0.001	-0.001
	Σετ 2	0.002	-0.004
	Σετ 3	-0.005	0.000
	Σετ 4	0.003	-0.003
	Σετ 5	0.005	-0.001

Πίνακας 30. Διαφορές Μετρήσεων και Ονομαστικών Τιμών ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 1, των 60sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	D ₄₉	Δh ₄₉
Σειρά 1	Σετ 1	11.369	-0.003
	Σετ 2	11.365	-0.009
	Σετ 3	11.358	-0.006
	Σετ 4	11.361	-0.011
	Σετ 5	11.360	0.007
Σειρά 2	Σετ 1	11.379	-0.002
	Σετ 2	11.365	-0.006
	Σετ 3	11.367	-0.003
	Σετ 4	11.361	-0.003
	Σετ 5	11.362	-0.013
Σειρά 3	Σετ 1	11.357	0.009
	Σετ 2	11.371	0.031
	Σετ 3	11.362	-0.016
	Σετ 4	11.366	-0.015
	Σετ 5	11.359	-0.002
Σειρά 4	Σετ 1	11.365	-0.010
	Σετ 2	11.367	-0.009
	Σετ 3	11.364	-0.012
	Σετ 4	11.3666	-0.007
	Σετ 5	11.366	-0.007

Πίνακας 31. Αποστάσεις και Υψομετρικές Διαφορές ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 2, των 30sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σειτ	ϵ_{D49}	$\epsilon_{\Delta h49}$
Σειρά 1	Σειτ 1	-0.012	0.000
	Σειτ 2	-0.016	-0.006
	Σειτ 3	-0.023	-0.003
	Σειτ 4	-0.020	-0.008
	Σειτ 5	-0.021	0.010
Σειρά 2	Σειτ 1	-0.002	0.001
	Σειτ 2	-0.016	-0.003
	Σειτ 3	-0.014	0.000
	Σειτ 4	-0.020	0.000
	Σειτ 5	-0.019	-0.010
Σειρά 3	Σειτ 1	-0.024	0.012
	Σειτ 2	-0.010	0.034
	Σειτ 3	-0.019	-0.013
	Σειτ 4	-0.015	-0.012
	Σειτ 5	-0.022	0.001
Σειρά 4	Σειτ 1	-0.016	-0.007
	Σειτ 2	-0.014	-0.006
	Σειτ 3	-0.017	-0.009
	Σειτ 4	-0.014	-0.004
	Σειτ 5	-0.015	-0.004

Πίνακας 32. Διαφορές Μετρήσεων και Ονομαστικών Τιμών ανά Σειρά και Σειτ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 2, των 30sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	D_{49}	Δh_{49}
Σειρά 1	Σετ 1	11.370	-0.002
	Σετ 2	11.354	-0.025
	Σετ 3	11.368	-0.017
	Σετ 4	11.364	-0.007
	Σετ 5	11.363	-0.004
Σειρά 2	Σετ 1	11.365	-0.001
	Σετ 2	11.366	-0.004
	Σετ 3	11.363	-0.002
	Σετ 4	11.361	0.006
	Σετ 5	11.376	-0.010
Σειρά 3	Σετ 1	11.379	0.006
	Σετ 2	11.376	0.012
	Σετ 3	11.362	-0.007
	Σετ 4	11.371	0.004
	Σετ 5	11.363	-0.002
Σειρά 4	Σετ 1	11.360	0.014
	Σετ 2	11.357	0.008
	Σετ 3	11.362	-0.013
	Σετ 4	11.3654	0.000
	Σετ 5	11.364	0.000

Πίνακας 33. Αποστάσεις και Υψομετρικές Διαφορές ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 2, των 60sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	ϵ_{D49}	$\epsilon_{\Delta h49}$
Σειρά 1	Σετ 1	-0.011	0.001
	Σετ 2	-0.027	-0.022
	Σετ 3	-0.013	-0.014
	Σετ 4	-0.017	-0.004
	Σετ 5	-0.018	-0.001
Σειρά 2	Σετ 1	-0.016	0.002
	Σετ 2	-0.015	-0.001
	Σετ 3	-0.018	0.001
	Σετ 4	-0.020	0.009
	Σετ 5	-0.005	-0.007
Σειρά 3	Σετ 1	-0.002	0.009
	Σετ 2	-0.005	0.015
	Σετ 3	-0.019	-0.004
	Σετ 4	-0.010	0.007
	Σετ 5	-0.018	0.001
Σειρά 4	Σετ 1	-0.021	0.017
	Σετ 2	-0.024	0.011
	Σετ 3	-0.019	-0.010
	Σετ 4	-0.016	0.003
	Σετ 5	-0.017	0.003

Πίνακας 34. Διαφορές Μετρήσεων και Ονομαστικών Τιμών ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 2, των 60sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	D_{49}	Δh_{49}
Σειρά 1	Σετ 1	11.379	-0.005
	Σετ 2	11.395	-0.024
	Σετ 3	11.378	-0.005
	Σετ 4	11.377	0.001
	Σετ 5	11.383	0.010
Σειρά 2	Σετ 1	11.396	-0.056
	Σετ 2	11.362	0.038
	Σετ 3	11.411	-0.094
	Σετ 4	11.415	0.034
	Σετ 5	11.385	-0.005
Σειρά 3	Σετ 1	11.372	-0.042
	Σετ 2	11.390	-0.023
	Σετ 3	11.394	-0.008
	Σετ 4	11.387	-0.001
	Σετ 5	11.363	0.008

Πίνακας 35. Αποστάσεις και Υψομετρικές Διαφορές ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 3, των 30sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	ϵ_{D49}	$\epsilon_{\Delta h49}$
Σειρά 1	Σετ 1	-0.002	-0.002
	Σετ 2	0.014	-0.021
	Σετ 3	-0.003	-0.002
	Σετ 4	-0.004	0.004
	Σετ 5	0.002	0.013
Σειρά 2	Σετ 1	0.015	-0.053
	Σετ 2	-0.019	0.041
	Σετ 3	0.030	-0.091
	Σετ 4	0.034	0.037
	Σετ 5	0.004	-0.002
Σειρά 3	Σετ 1	-0.009	-0.039
	Σετ 2	0.009	-0.020
	Σετ 3	0.013	-0.005
	Σετ 4	0.006	0.002
	Σετ 5	-0.018	0.011

Πίνακας 36. Διαφορές Μετρήσεων και Ονομαστικών Τιμών ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 3, των 30sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	D_{49}	Δh_{49}
Σειρά 1	Σετ 1	11.379	-0.001
	Σετ 2	11.391	-0.021
	Σετ 3	11.377	-0.010
	Σετ 4	11.376	0.010
	Σετ 5	11.375	0.002
Σειρά 2	Σετ 1	11.402	-0.055
	Σετ 2	11.372	0.047
	Σετ 3	11.381	-0.067
	Σετ 4	11.397	0.028
	Σετ 5	11.378	0.002
Σειρά 3	Σετ 1	11.374	-0.044
	Σετ 2	11.379	-0.014
	Σετ 3	11.395	-0.015
	Σετ 4	11.387	-0.002
	Σετ 5	11.369	0.001

Πίνακας 37. Αποστάσεις και Υψομετρικές Διαφορές ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 3, των 60sec

Αύξων Αριθμός Σειράς	Αύξων Αριθμός Σετ	ϵ_{D49}	$\epsilon_{\Delta h49}$
Σειρά 1	Σετ 1	-0.002	0.002
	Σετ 2	0.010	-0.018
	Σετ 3	-0.004	-0.007
	Σετ 4	-0.005	0.013
	Σετ 5	-0.006	0.005
Σειρά 2	Σετ 1	0.021	-0.052
	Σετ 2	-0.009	0.050
	Σετ 3	0.000	-0.064
	Σετ 4	0.016	0.031
	Σετ 5	-0.003	0.005
Σειρά 3	Σετ 1	-0.007	-0.041
	Σετ 2	-0.002	-0.011
	Σετ 3	0.014	-0.012
	Σετ 4	0.006	0.001
	Σετ 5	-0.012	0.004

Πίνακας 38. Διαφορές Μετρήσεων και Ονομαστικών Τιμών ανά Σειρά και Σετ, για το Απλοποιημένο Τεστ του Πειράματος 3, των 60sec

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Σύνθετα Τεστ

❖ Πείραμα 1 – Δέκτες Leica

- Μετρήσεις Χρονικής Διάρκειας 30 sec

Σειρές	\bar{x}_4 [m]	\bar{y}_4 [m]	\bar{h}_4 [m]	\bar{x}_9 [m]	\bar{y}_9 [m]	\bar{h}_9 [m]
1, 2	480537.147	4202804.322	207.109	480526.086	4202801.638	207.103
2, 3	480537.144	4202804.321	207.109	480526.081	4202801.633	207.104
3, 4	480537.143	4202804.322	207.108	480526.082	4202801.633	207.103
1, 2, 3	480537.145	4202804.321	207.109	480526.084	4202801.636	207.104
2, 3, 4	480537.144	4202804.322	207.108	480526.082	4202801.633	207.103
1, 2, 3, 4	480537.145	4202804.322	207.108	480526.084	4202801.635	207.103

Πίνακας 39. Μέσες Συντεταγμένες Σημείων 4 και 9, για το Πείραμα 1, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	0.002	0.000	0.000	0.001	-0.004	0.000
	Σετ 2	-0.007	0.001	0.000	-0.001	-0.005	0.001
	Σετ 3	0.005	0.001	0.000	-0.006	-0.004	-0.001
	Σετ 4	-0.004	0.002	-0.001	0.004	-0.009	-0.001
	Σετ 5	0.000	-0.002	0.002	-0.011	-0.001	-0.001
Σειρά 2	Σετ 1	0.004	0.001	0.000	0.003	0.011	0.002
	Σετ 2	0.003	-0.003	0.001	0.002	-0.004	0.001
	Σετ 3	0.001	0.005	-0.001	0.007	-0.001	0.002
	Σετ 4	0.001	-0.002	-0.002	0.002	0.008	0.000
	Σετ 5	-0.003	-0.003	0.001	-0.002	0.009	-0.002
$[u_x u_x]$				0.0004			
$[u_y u_y]$				0.0005			
$[u_h u_h]$				0.0000			

Πίνακας 40. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2, του Πειράματος 1, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	0.001	0.002	0.001	0.029	-0.009	-0.002
	Σετ 2	0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.001	-0.002
	Σετ 3	-0.002	-0.004	-0.003	-0.006	0.002	-0.003
	Σετ 4	-0.002	0.002	0.002	-0.004	0.005	0.003
	Σετ 5	-0.005	0.002	0.000	-0.005	0.004	-0.003
Σειρά 3	Σετ 1	0.003	0.001	0.001	-0.002	0.007	0.003
	Σετ 2	0.004	-0.003	0.001	-0.003	-0.009	0.002
	Σετ 3	-0.003	0.005	0.000	0.002	-0.005	0.002
	Σετ 4	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	0.003	0.001
	Σετ 5	0.003	-0.003	0.001	-0.007	0.004	-0.001
$[u_x u_x]$				0.0011			
$[u_y u_y]$				0.0004			
$[u_h u_h]$				0.0001			

Πίνακας 41. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3, του Πειράματος 1, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 3	Σετ 1	0.002	0.002	0.003	-0.005	-0.006	0.003
	Σετ 2	0.003	0.000	0.000	0.006	-0.005	0.002
	Σετ 3	-0.004	-0.006	0.001	-0.006	-0.005	0.000
	Σετ 4	-0.002	-0.010	0.003	-0.007	0.011	0.005
	Σετ 5	0.002	0.005	0.000	-0.005	0.007	-0.001
Σειρά 4	Σετ 1	-0.003	0.003	0.000	0.029	-0.009	-0.003
	Σετ 2	0.006	0.001	-0.002	0.001	-0.002	-0.002
	Σετ 3	0.003	-0.003	-0.005	-0.005	0.002	-0.003
	Σετ 4	-0.002	0.003	0.001	-0.003	0.004	0.003
	Σετ 5	-0.006	0.004	-0.001	-0.004	0.003	-0.003
$[u_x u_x]$				0.0012			
$[u_y u_y]$				0.0006			
$[u_h u_h]$				0.0001			

Πίνακας 42. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 3, 4, του Πειράματος 1, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	0.001	0.000	0.001	-0.002	-0.005	0.001
	Σετ 2	-0.008	0.001	0.000	-0.004	-0.007	0.001
	Σετ 3	0.003	0.000	0.000	-0.009	-0.006	-0.001
	Σετ 4	-0.005	0.002	-0.001	0.001	-0.010	0.000
	Σετ 5	-0.002	-0.003	0.002	-0.014	-0.002	0.000
Σειρά 2	Σετ 1	0.002	0.001	0.000	0.000	0.010	0.002
	Σετ 2	0.002	-0.003	0.001	0.000	-0.005	0.002
	Σετ 3	-0.001	0.005	-0.001	0.005	-0.002	0.002
	Σετ 4	-0.001	-0.002	-0.002	0.000	0.006	0.001
	Σετ 5	-0.004	-0.003	0.001	-0.004	0.007	-0.001
Σειρά 3	Σετ 1	0.004	0.002	0.001	0.031	-0.006	-0.002
	Σετ 2	0.005	0.000	-0.001	0.003	0.002	-0.002
	Σετ 3	-0.002	-0.004	-0.004	-0.003	0.005	-0.003
	Σετ 4	0.000	0.002	0.002	-0.001	0.008	0.003
	Σετ 5	0.004	0.002	0.000	-0.002	0.007	-0.003
$[u_x u_x]$				0.0015			
$[u_y u_y]$				0.0007			
$[u_h u_h]$				0.0001			

Πίνακας 43. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3, του Πειράματος 1, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	0.001	0.002	0.000	-0.001	0.006	0.002
	Σετ 2	0.000	-0.002	0.000	-0.002	-0.009	0.001
	Σετ 3	-0.002	0.006	-0.001	0.003	-0.006	0.002
	Σετ 4	-0.002	-0.001	-0.002	-0.002	0.003	0.000
	Σετ 5	-0.005	-0.002	0.000	-0.006	0.004	-0.002
Σειρά 3	Σετ 1	0.003	0.003	0.000	0.030	-0.009	-0.003
	Σετ 2	0.004	0.001	-0.002	0.001	-0.001	-0.003
	Σετ 3	-0.003	-0.003	-0.004	-0.005	0.002	-0.003
	Σετ 4	-0.001	0.003	0.001	-0.002	0.004	0.002
	Σετ 5	0.003	0.003	0.000	-0.004	0.003	-0.003
Σειρά 4	Σετ 1	-0.002	0.002	0.004	-0.005	-0.006	0.003
	Σετ 2	0.007	0.000	0.000	0.007	-0.005	0.002
	Σετ 3	0.004	-0.006	0.002	-0.005	-0.005	-0.001
	Σετ 4	-0.001	-0.011	0.003	-0.007	0.011	0.004
	Σετ 5	-0.005	0.004	0.000	-0.004	0.007	-0.001
$[u_x u_x]$				0.0013			
$[u_y u_y]$				0.0008			
$[u_h u_h]$				0.0001			

Πίνακας 44. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3,4, του Πειράματος 1, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	0.001	0.000	0.000	-0.002	-0.006	0.001
	Σετ 2	-0.009	0.001	-0.001	-0.003	-0.008	0.001
	Σετ 3	0.003	0.001	-0.001	-0.008	-0.007	-0.001
	Σετ 4	-0.006	0.003	-0.001	0.001	-0.011	-0.001
	Σετ 5	-0.002	-0.002	0.001	-0.014	-0.003	-0.001
Σειρά 2	Σετ 1	0.002	0.002	0.000	0.001	0.009	0.002
	Σετ 2	0.001	-0.002	0.001	0.000	-0.006	0.001
	Σετ 3	-0.001	0.005	-0.001	0.005	-0.003	0.002
	Σετ 4	-0.001	-0.002	-0.002	0.000	0.005	0.000
	Σετ 5	-0.004	-0.002	0.000	-0.004	0.006	-0.002
Σειρά 3	Σετ 1	0.003	0.003	0.000	0.032	-0.007	-0.003
	Σετ 2	0.005	0.001	-0.002	0.003	0.001	-0.003
	Σετ 3	-0.002	-0.003	-0.004	-0.003	0.004	-0.003
	Σετ 4	0.000	0.003	0.001	-0.001	0.007	0.002
	Σετ 5	0.004	0.003	0.000	-0.002	0.006	-0.003
Σειρά 4	Σετ 1	-0.001	0.002	0.004	-0.003	-0.004	0.003
	Σετ 2	0.008	0.000	0.000	0.009	-0.003	0.002
	Σετ 3	0.004	-0.006	0.002	-0.004	-0.002	-0.001
	Σετ 4	0.000	-0.011	0.003	-0.005	0.013	0.004
	Σετ 5	-0.004	0.004	0.000	-0.002	0.009	-0.001
$[u_x u_x]$				0.0018			
$[u_y u_y]$				0.0012			
$[u_h u_h]$				0.0002			

Πίνακας 45. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3,4, του Πειράματος 1, για $\Delta t=30\text{sec}$

- Μετρήσεις Χρονικής Διάρκειας 60 sec

Σειρές	\bar{x}_4 [m]	\bar{y}_4 [m]	\bar{h}_4 [m]	\bar{x}_9 [m]	\bar{y}_9 [m]	\bar{h}_9 [m]
1, 2	480537.144	4202804.322	207.109	480526.083	4202801.638	207.103
2, 3	480537.145	4202804.322	207.109	480526.082	4202801.633	207.104
3, 4	480537.144	4202804.322	207.108	480526.082	4202801.632	207.104
1, 2, 3	480537.145	4202804.322	207.109	480526.082	4202801.636	207.104
2, 3, 4	480537.144	4202804.323	207.108	480526.082	4202801.633	207.104
1, 2, 3, 4	480537.144	4202804.322	207.108	480526.083	4202801.635	207.104

Πίνακας 46. Μέσες Συντεταγμένες Σημείων 4 και 9, για το Πείραμα 1, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	0.003	0.000	-0.002	0.002	-0.005	-0.001
	Σετ 2	-0.001	-0.001	0.001	0.006	-0.009	0.000
	Σετ 3	0.000	0.004	-0.001	-0.001	-0.004	-0.003
	Σετ 4	-0.002	0.006	-0.001	-0.001	-0.005	0.001
	Σετ 5	0.002	-0.003	0.003	-0.003	-0.001	-0.001
Σειρά 2	Σετ 1	0.001	-0.004	0.000	0.003	0.011	0.001
	Σετ 2	0.001	-0.006	0.000	-0.002	-0.002	0.001
	Σετ 3	-0.003	0.005	0.000	0.003	0.000	-0.001
	Σετ 4	-0.002	0.001	0.000	-0.002	0.005	0.002
	Σετ 5	0.002	-0.003	0.000	-0.005	0.010	0.001
$[u_x u_x]$				0.0001			
$[u_y u_y]$				0.0006			
$[u_h u_h]$				0.0000			

Πίνακας 47. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2, του Πειράματος 1, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	0.001	0.001	0.002	0.025	-0.006	-0.002
	Σετ 2	0.002	0.003	-0.001	-0.005	0.001	-0.004
	Σετ 3	-0.003	-0.001	-0.002	-0.005	-0.005	-0.002
	Σετ 4	-0.001	-0.001	0.000	-0.003	0.007	0.003
	Σετ 5	0.003	0.005	-0.001	-0.001	0.005	-0.004
Σειρά 3	Σετ 1	0.000	-0.004	0.000	0.001	0.006	0.002
	Σετ 2	-0.003	-0.006	0.001	-0.004	-0.007	0.002
	Σετ 3	0.001	0.005	0.000	0.001	-0.005	0.000
	Σετ 4	0.002	0.001	0.000	-0.003	0.000	0.003
	Σετ 5	-0.002	-0.003	0.001	-0.007	0.005	0.002
$[u_x u_x]$				0.0008			
$[u_y u_y]$				0.0004			
$[u_h u_h]$				0.0001			

Πίνακας 48. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3, του Πειράματος 1, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 3	Σετ 1	-0.001	0.002	0.002	-0.006	-0.004	0.001
	Σετ 2	-0.005	0.004	0.002	0.000	-0.005	0.003
	Σετ 3	-0.001	-0.009	0.000	-0.005	-0.003	0.000
	Σετ 4	0.000	-0.008	0.002	-0.001	0.009	0.002
	Σετ 5	-0.003	0.002	0.000	-0.001	0.006	0.001
Σειρά 4	Σετ 1	-0.004	0.002	0.001	0.026	-0.007	-0.002
	Σετ 2	0.001	0.003	-0.002	-0.005	0.000	-0.004
	Σετ 3	0.008	-0.001	-0.003	-0.005	-0.006	-0.002
	Σετ 4	0.005	0.000	0.000	-0.002	0.006	0.003
	Σετ 5	-0.001	0.005	-0.001	-0.001	0.004	-0.004
$[u_x u_x]$				0.0009			
$[u_y u_y]$				0.0005			
$[u_h u_h]$				0.0001			

Πίνακας 49. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 3, 4, του Πειράματος 1, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	0.003	0.000	-0.002	0.001	-0.007	0.000
	Σετ 2	-0.001	-0.001	0.001	0.004	-0.011	0.001
	Σετ 3	0.000	0.003	-0.001	-0.003	-0.006	-0.002
	Σετ 4	-0.002	0.005	-0.001	-0.003	-0.007	0.002
	Σετ 5	0.003	-0.004	0.003	-0.004	-0.003	0.000
Σειρά 2	Σετ 1	0.001	-0.005	0.000	0.001	0.009	0.001
	Σετ 2	0.001	-0.006	0.001	-0.003	-0.004	0.001
	Σετ 3	-0.003	0.005	0.000	0.002	-0.002	0.000
	Σετ 4	-0.001	0.001	0.000	-0.003	0.003	0.003
	Σετ 5	0.002	-0.003	0.001	-0.007	0.008	0.002
Σειρά 3	Σετ 1	0.000	0.001	0.002	0.026	-0.003	-0.002
	Σετ 2	-0.004	0.002	-0.001	-0.004	0.004	-0.004
	Σετ 3	0.000	-0.002	-0.002	-0.004	-0.002	-0.002
	Σετ 4	0.001	-0.001	0.000	-0.002	0.010	0.003
	Σετ 5	-0.002	0.004	-0.001	-0.001	0.009	-0.004
$[u_x u_x]$				0.0009			
$[u_y u_y]$				0.0008			
$[u_h u_h]$				0.0001			

Πίνακας 50. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3, του Πειράματος 1, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	0.000	-0.003	-0.001	0.002	0.005	0.001
	Σετ 2	0.001	-0.005	0.000	-0.003	-0.008	0.001
	Σετ 3	-0.004	0.006	-0.001	0.002	-0.005	0.000
	Σετ 4	-0.002	0.002	0.000	-0.003	-0.001	0.003
	Σετ 5	0.001	-0.002	0.000	-0.006	0.005	0.002
Σειρά 3	Σετ 1	-0.001	0.002	0.001	0.026	-0.006	-0.002
	Σετ 2	-0.004	0.004	-0.002	-0.004	0.000	-0.004
	Σετ 3	0.000	0.000	-0.002	-0.004	-0.006	-0.002
	Σετ 4	0.001	0.000	0.000	-0.002	0.007	0.003
	Σετ 5	-0.003	0.005	-0.001	0.000	0.005	-0.005
Σειρά 4	Σετ 1	-0.003	0.002	0.002	-0.005	-0.004	0.000
	Σετ 2	0.001	0.004	0.002	0.001	-0.005	0.003
	Σετ 3	0.009	-0.008	0.000	-0.004	-0.003	-0.001
	Σετ 4	0.005	-0.007	0.002	0.000	0.010	0.001
	Σετ 5	-0.001	0.002	0.000	0.000	0.006	0.001
$[u_x u_x]$				0.0010			
$[u_y u_y]$				0.0007			
$[u_h u_h]$				0.0001			

Πίνακας 51. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3,4, του Πειράματος 1, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	0.002	0.000	-0.002	0.001	-0.009	0.000
	Σετ 2	-0.002	-0.001	0.000	0.005	-0.012	0.001
	Σετ 3	0.000	0.004	-0.001	-0.002	-0.007	-0.002
	Σετ 4	-0.003	0.006	-0.002	-0.002	-0.008	0.002
	Σετ 5	0.002	-0.003	0.002	-0.004	-0.004	-0.001
Σειρά 2	Σετ 1	0.000	-0.004	0.000	0.002	0.008	0.001
	Σετ 2	0.001	-0.006	0.000	-0.003	-0.005	0.001
	Σετ 3	-0.004	0.005	-0.001	0.002	-0.003	0.000
	Σετ 4	-0.002	0.002	0.000	-0.002	0.002	0.003
	Σετ 5	0.001	-0.002	0.000	-0.006	0.007	0.002
Σειρά 3	Σετ 1	-0.001	0.001	0.002	0.026	-0.004	-0.002
	Σετ 2	-0.004	0.003	-0.002	-0.004	0.003	-0.004
	Σετ 3	0.000	-0.001	-0.002	-0.004	-0.003	-0.002
	Σετ 4	0.001	0.000	0.000	-0.002	0.009	0.003
	Σετ 5	-0.003	0.005	-0.001	0.000	0.007	-0.005
Σειρά 4	Σετ 1	-0.003	0.002	0.003	-0.005	-0.001	0.001
	Σετ 2	0.001	0.004	0.002	0.001	-0.002	0.003
	Σετ 3	0.009	-0.009	0.000	-0.004	0.000	-0.001
	Σετ 4	0.005	-0.008	0.002	0.000	0.012	0.001
	Σετ 5	-0.001	0.001	0.000	0.000	0.009	0.001
$[u_x u_x]$				0.0011			
$[u_y u_y]$				0.0013			
$[u_h u_h]$				0.0001			

Πίνακας 52. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3,4, του Πειράματος 1, για $\Delta t=60\text{sec}$

❖ Πείραμα 3 – Δέκτες Trimble

- Μετρήσεις Χρονικής Διάρκειας 30 sec

Σειρές	\bar{x}_4 [m]	\bar{y}_4 [m]	\bar{h}_4 [m]	\bar{x}_9 [m]	\bar{y}_9 [m]	\bar{h}_9 [m]
1, 2	480537.122	4202804.333	207.105	480526.081	4202801.639	207.100
2, 3	480537.121	4202804.334	207.101	480526.080	4202801.639	207.099
3, 4	480537.121	4202804.333	207.102	480526.081	4202801.640	207.098
1, 2, 3	480537.121	4202804.333	207.102	480526.081	4202801.640	207.099
2, 3, 4	480537.121	4202804.333	207.103	480526.080	4202801.639	207.099
1, 2, 3, 4	480537.122	4202804.333	207.103	480526.081	4202801.639	207.099

Πίνακας 53. Μέσες Συντεταγμένες Σημείων 4 και 9, για το Πείραμα 2, για Δt=30sec

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.001	0.000	-0.002	0.005	-0.008	-0.004
	Σετ 2	0.002	0.001	0.000	0.004	-0.006	0.004
	Σετ 3	0.002	0.002	0.001	-0.005	0.001	0.002
	Σετ 4	-0.001	-0.002	-0.001	-0.006	0.004	0.005
	Σετ 5	0.000	0.005	0.007	-0.004	0.001	-0.005
Σειρά 2	Σετ 1	-0.008	0.002	0.002	0.011	-0.015	-0.001
	Σετ 2	0.001	0.000	-0.003	0.000	0.003	-0.002
	Σετ 3	0.001	0.000	0.001	0.000	0.013	-0.001
	Σετ 4	0.005	-0.006	-0.002	-0.002	0.006	-0.004
	Σετ 5	0.002	-0.003	-0.001	-0.002	0.003	0.007
$[u_x u_x]$				0.0004			
$[u_y u_y]$				0.0006			
$[u_h u_h]$				0.0002			

Πίνακας 54. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2, του Πειράματος 2, για Δt=30sec

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	-0.009	0.002	0.006	0.003	-0.012	-0.005
	Σετ 2	0.000	0.001	0.033	0.000	-0.006	0.000
	Σετ 3	0.000	-0.002	-0.008	-0.004	0.005	0.006
	Σετ 4	0.004	-0.002	-0.001	-0.004	0.002	0.012
	Σετ 5	0.001	0.003	-0.006	-0.001	0.000	-0.006
Σειρά 3	Σετ 1	0.008	0.002	-0.002	0.010	-0.015	-0.002
	Σετ 2	-0.008	0.001	-0.007	-0.001	0.003	-0.003
	Σετ 3	0.001	0.001	-0.003	-0.001	0.013	-0.002
	Σετ 4	-0.004	-0.005	-0.006	-0.003	0.006	-0.005
	Σετ 5	0.004	-0.003	-0.005	-0.003	0.003	0.006
$[u_x u_x]$				0.0004			
$[u_y u_y]$				0.0007			
$[u_h u_h]$				0.0017			

Πίνακας 55. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3, του Πειράματος 2, για Δt=30sec

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 3	Σετ 1	0.008	-0.003	-0.002	-0.003	0.000	0.004
	Σετ 2	-0.008	0.002	-0.005	0.004	0.007	0.000
	Σετ 3	0.001	0.004	-0.003	0.001	0.003	0.005
	Σετ 4	-0.004	-0.002	-0.005	0.001	-0.006	-0.002
	Σετ 5	0.004	0.002	-0.011	-0.001	0.004	-0.008
Σειρά 4	Σετ 1	-0.004	0.002	0.007	0.003	-0.011	-0.006
	Σετ 2	0.003	0.001	0.034	0.000	-0.005	-0.001
	Σετ 3	0.001	-0.002	-0.007	-0.003	0.006	0.005
	Σετ 4	-0.002	-0.002	0.000	-0.003	0.003	0.011
	Σετ 5	-0.002	0.003	-0.005	-0.001	0.001	-0.007
$[u_x u_x]$				0.0003			
$[u_y u_y]$				0.0004			
$[u_h u_h]$				0.0018			

Πίνακας 56. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 3, 4, του Πειράματος 2, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.002	0.000	-0.005	0.005	-0.007	-0.005
	Σετ 2	0.001	0.001	-0.003	0.004	-0.005	0.003
	Σετ 3	0.001	0.002	-0.002	-0.005	0.002	0.001
	Σετ 4	-0.002	-0.002	-0.004	-0.006	0.005	0.004
	Σετ 5	-0.001	0.005	0.004	-0.004	0.002	-0.006
Σειρά 2	Σετ 1	-0.009	0.002	-0.001	0.011	-0.014	-0.002
	Σετ 2	0.000	0.000	-0.006	0.000	0.004	-0.003
	Σετ 3	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.014	-0.002
	Σετ 4	0.004	-0.006	-0.005	-0.002	0.007	-0.005
	Σετ 5	0.001	-0.003	-0.004	-0.002	0.004	0.006
Σειρά 3	Σετ 1	0.008	0.002	0.007	0.004	-0.011	-0.005
	Σετ 2	-0.008	0.001	0.034	0.001	-0.005	0.000
	Σετ 3	0.001	-0.002	-0.007	-0.003	0.006	0.006
	Σετ 4	-0.004	-0.002	0.000	-0.003	0.003	0.012
	Σετ 5	0.004	0.003	-0.005	0.000	0.001	-0.006
$[u_x u_x]$				0.0005			
$[u_y u_y]$				0.0009			
$[u_h u_h]$				0.0018			

Πίνακας 57. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3, του Πειράματος 2, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	-0.009	0.002	0.000	0.010	-0.015	-0.002
	Σετ 2	0.000	0.000	-0.005	-0.001	0.003	-0.003
	Σετ 3	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.013	-0.002
	Σετ 4	0.004	-0.006	-0.004	-0.003	0.006	-0.005
	Σετ 5	0.001	-0.003	-0.003	-0.003	0.003	0.006
Σειρά 3	Σετ 1	0.008	0.002	0.008	0.003	-0.012	-0.005
	Σετ 2	-0.008	0.001	0.035	0.000	-0.006	0.000
	Σετ 3	0.001	-0.002	-0.006	-0.004	0.005	0.006
	Σετ 4	-0.004	-0.002	0.001	-0.004	0.002	0.012
	Σετ 5	0.004	0.003	-0.004	-0.001	0.000	-0.006
Σειρά 4	Σετ 1	-0.004	-0.003	-0.001	-0.004	-0.001	0.005
	Σετ 2	0.003	0.002	-0.004	0.004	0.006	0.001
	Σετ 3	0.001	0.004	-0.002	0.001	0.002	0.006
	Σετ 4	-0.002	-0.002	-0.004	0.001	-0.007	-0.001
	Σετ 5	-0.002	0.002	-0.010	-0.001	0.003	-0.007
$[u_x u_x]$				0.0005			
$[u_y u_y]$				0.0009			
$[u_h u_h]$				0.0020			

Πίνακας 58. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3,4, του Πειράματος 2, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.002	0.000	-0.004	0.005	-0.008	-0.005
	Σετ 2	0.001	0.001	-0.002	0.004	-0.006	0.003
	Σετ 3	0.001	0.002	-0.001	-0.005	0.001	0.001
	Σετ 4	-0.002	-0.002	-0.003	-0.006	0.004	0.004
	Σετ 5	-0.001	0.005	0.005	-0.004	0.001	-0.006
Σειρά 2	Σετ 1	-0.009	0.002	0.000	0.011	-0.015	-0.002
	Σετ 2	0.000	0.000	-0.005	0.000	0.003	-0.003
	Σετ 3	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.013	-0.002
	Σετ 4	0.004	-0.006	-0.004	-0.002	0.006	-0.005
	Σετ 5	0.001	-0.003	-0.003	-0.002	0.003	0.006
Σειρά 3	Σετ 1	0.008	0.002	0.008	0.004	-0.012	-0.005
	Σετ 2	-0.008	0.001	0.035	0.001	-0.006	0.000
	Σετ 3	0.001	-0.002	-0.006	-0.003	0.005	0.006
	Σετ 4	-0.004	-0.002	0.001	-0.003	0.002	0.012
	Σετ 5	0.004	0.003	-0.004	0.000	0.000	-0.006
Σειρά 4	Σετ 1	-0.004	-0.003	-0.001	-0.003	-0.001	0.005
	Σετ 2	0.003	0.002	-0.004	0.005	0.006	0.001
	Σετ 3	0.001	0.004	-0.002	0.002	0.002	0.006
	Σετ 4	-0.002	-0.002	-0.004	0.002	-0.007	-0.001
	Σετ 5	-0.002	0.002	-0.010	0.000	0.003	-0.007
$[u_x u_x]$				0.0006			
$[u_y u_y]$				0.0010			
$[u_h u_h]$				0.0021			

Πίνακας 59. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3,4, του Πειράματος 2, για $\Delta t=30\text{sec}$

- Μετρήσεις Χρονικής Διάρκειας 60 sec

Σειρές	\bar{x}_4 [m]	\bar{y}_4 [m]	\bar{h}_4 [m]	\bar{x}_9 [m]	\bar{y}_9 [m]	\bar{h}_9 [m]
1, 2	480537.122	4202804.331	207.106	480526.080	4202801.639	207.099
2, 3	480537.123	4202804.330	207.100	480526.078	4202801.640	207.100
3, 4	480537.122	4202804.331	207.099	480526.078	4202801.643	207.102
1, 2, 3	480537.123	4202804.331	207.102	480526.079	4202801.640	207.099
2, 3, 4	480537.122	4202804.330	207.101	480526.079	4202801.641	207.102
1, 2, 3, 4	480537.122	4202804.331	207.102	480526.079	4202801.641	207.100

Πίνακας 60. Μέσες Συντεταγμένες Σημείων 4 και 9, για το Πείραμα 2, για Δt=60sec

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.003	-0.006	0.006	0.002	-0.006	0.002
	Σετ 2	0.007	-0.002	-0.012	-0.004	-0.003	0.007
	Σετ 3	0.000	-0.002	-0.001	0.001	0.004	0.010
	Σετ 4	-0.003	0.000	0.000	-0.003	-0.006	0.001
	Σετ 5	0.000	-0.005	-0.001	-0.004	0.003	-0.003
Σειρά 2	Σετ 1	-0.003	0.003	0.006	-0.001	-0.005	0.001
	Σετ 2	0.000	-0.002	-0.002	-0.002	0.008	-0.004
	Σετ 3	0.001	0.004	0.000	-0.001	0.004	-0.004
	Σετ 4	0.003	0.004	0.004	-0.002	0.005	-0.008
	Σετ 5	0.000	0.001	-0.005	0.011	-0.001	-0.001
$[u_x u_x]$				0.0003			
$[u_y u_y]$				0.0004			
$[u_h u_h]$				0.0005			

Πίνακας 61. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2, του Πειράματος 2, για Δt=60sec

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	-0.002	-0.002	0.007	0.017	-0.007	0.001
	Σετ 2	0.001	-0.001	0.012	0.002	-0.005	0.000
	Σετ 3	0.002	0.000	-0.005	-0.004	-0.003	0.002
	Σετ 4	0.004	-0.001	0.010	-0.004	-0.002	0.006
	Σετ 5	0.001	-0.002	-0.004	-0.004	0.001	-0.002
Σειρά 3	Σετ 1	0.004	0.003	0.001	-0.003	-0.004	0.002
	Σετ 2	-0.007	-0.002	-0.007	-0.004	0.009	-0.003
	Σετ 3	0.001	0.004	-0.005	-0.003	0.005	-0.003
	Σετ 4	-0.007	0.004	-0.001	-0.004	0.007	-0.007
	Σετ 5	0.002	0.001	-0.010	0.009	0.001	0.000
$[u_x u_x]$				0.0006			
$[u_y u_y]$				0.0003			
$[u_h u_h]$				0.0006			

Πίνακας 62. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3, του Πειράματος 2, για Δt=60sec

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 3	Σετ 1	0.003	-0.001	0.004	0.001	-0.014	-0.007
	Σετ 2	-0.008	0.007	0.006	-0.002	0.002	0.001
	Σετ 3	0.000	-0.004	-0.012	-0.002	0.000	0.004
	Σετ 4	-0.008	-0.004	-0.010	-0.003	0.000	-0.007
	Σετ 5	0.001	0.003	-0.007	-0.005	0.009	-0.004
Σειρά 4	Σετ 1	0.004	-0.001	0.006	0.017	-0.004	0.003
	Σετ 2	0.006	0.000	0.011	0.002	-0.002	0.002
	Σετ 3	0.004	0.001	-0.006	-0.004	0.000	0.004
	Σετ 4	-0.001	0.000	0.009	-0.004	0.001	0.008
	Σετ 5	-0.001	-0.001	-0.005	-0.004	0.004	0.000
$[u_x u_x]$				0.0006			
$[u_y u_y]$				0.0004			
$[u_h u_h]$				0.0009			

Πίνακας 63. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 3, 4, του Πειράματος 2, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.002	-0.005	0.003	0.001	-0.005	0.002
	Σετ 2	0.008	-0.001	-0.015	-0.005	-0.002	0.007
	Σετ 3	0.001	-0.001	-0.004	0.000	0.005	0.010
	Σετ 4	-0.002	0.001	-0.003	-0.004	-0.005	0.001
	Σετ 5	0.001	-0.004	-0.004	-0.005	0.004	-0.003
Σειρά 2	Σετ 1	-0.002	0.004	0.003	-0.002	-0.004	0.001
	Σετ 2	0.001	-0.001	-0.005	-0.003	0.009	-0.004
	Σετ 3	0.002	0.005	-0.003	-0.002	0.005	-0.004
	Σετ 4	0.004	0.005	0.001	-0.003	0.007	-0.008
	Σετ 5	0.001	0.002	-0.008	0.010	0.001	-0.001
Σειρά 3	Σετ 1	0.004	-0.001	0.009	0.018	-0.007	0.000
	Σετ 2	-0.007	0.000	0.014	0.003	-0.005	-0.001
	Σετ 3	0.001	0.001	-0.003	-0.003	-0.003	0.001
	Σετ 4	-0.007	0.000	0.012	-0.003	-0.002	0.005
	Σετ 5	0.002	-0.001	-0.002	-0.003	0.001	-0.003
$[u_x u_x]$				0.0008			
$[u_y u_y]$				0.0005			
$[u_h u_h]$				0.0011			

Πίνακας 64. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3, του Πειράματος 2, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	-0.003	0.003	0.002	-0.002	-0.003	0.004
	Σετ 2	0.000	-0.002	-0.006	-0.003	0.010	-0.001
	Σετ 3	0.001	0.004	-0.004	-0.002	0.006	-0.001
	Σετ 4	0.003	0.004	0.000	-0.003	0.008	-0.005
	Σετ 5	0.000	0.001	-0.009	0.010	0.002	0.002
Σειρά 3	Σετ 1	0.003	-0.002	0.008	0.018	-0.006	0.003
	Σετ 2	-0.008	-0.001	0.013	0.003	-0.004	0.002
	Σετ 3	0.000	0.000	-0.004	-0.003	-0.002	0.004
	Σετ 4	-0.008	-0.001	0.011	-0.003	-0.001	0.008
	Σετ 5	0.001	-0.002	-0.003	-0.003	0.002	0.000
Σειρά 4	Σετ 1	0.004	-0.002	0.006	0.002	-0.016	-0.007
	Σετ 2	0.006	0.006	0.008	-0.001	0.000	0.001
	Σετ 3	0.004	-0.005	-0.010	-0.001	-0.002	0.004
	Σετ 4	-0.001	-0.005	-0.008	-0.002	-0.002	-0.007
	Σετ 5	-0.001	0.002	-0.005	-0.004	0.007	-0.004
$[u_x u_x]$				0.0007			
$[u_y u_y]$				0.0007			
$[u_h u_h]$				0.0011			

Πίνακας 65. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3,4, του Πειράματος 2, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.003	-0.005	0.003	0.001	-0.004	0.003
	Σετ 2	0.007	-0.001	-0.015	-0.005	-0.001	0.008
	Σετ 3	0.000	-0.001	-0.004	0.000	0.006	0.011
	Σετ 4	-0.003	0.001	-0.003	-0.004	-0.004	0.002
	Σετ 5	0.000	-0.004	-0.004	-0.005	0.005	-0.002
Σειρά 2	Σετ 1	-0.003	0.004	0.003	-0.002	-0.003	0.002
	Σετ 2	0.000	-0.001	-0.005	-0.003	0.010	-0.003
	Σετ 3	0.001	0.005	-0.003	-0.002	0.006	-0.003
	Σετ 4	0.003	0.005	0.001	-0.003	0.008	-0.007
	Σετ 5	0.000	0.002	-0.008	0.010	0.002	0.000
Σειρά 3	Σετ 1	0.003	-0.001	0.009	0.018	-0.006	0.001
	Σετ 2	-0.008	0.000	0.014	0.003	-0.004	0.000
	Σετ 3	0.000	0.001	-0.003	-0.003	-0.002	0.002
	Σετ 4	-0.008	0.000	0.012	-0.003	-0.001	0.006
	Σετ 5	0.001	-0.001	-0.002	-0.003	0.002	-0.002
Σειρά 4	Σετ 1	0.004	-0.001	0.007	0.002	-0.016	-0.009
	Σετ 2	0.006	0.007	0.009	-0.001	0.000	-0.001
	Σετ 3	0.004	-0.004	-0.009	-0.001	-0.002	0.002
	Σετ 4	-0.001	-0.004	-0.007	-0.002	-0.002	-0.009
	Σετ 5	-0.001	0.003	-0.004	-0.004	0.007	-0.006
$[u_x u_x]$				0.0009			
$[u_y u_y]$				0.0009			
$[u_h u_h]$				0.0016			

Πίνακας 66. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3,4, του Πειράματος 2, για $\Delta t=60\text{sec}$

❖ Πείραμα 3 – Δίκτυο MetricaNet

- Μετρήσεις Χρονικής Διάρκειας 30 sec

Σειρές	\bar{x}_4 [m]	\bar{y}_4 [m]	\bar{h}_4 [m]	\bar{x}_9 [m]	\bar{y}_9 [m]	\bar{h}_9 [m]
1, 2	480537.147	4202804.294	217.207	480526.086	4202801.586	217.196
2, 3	480537.149	4202804.297	217.199	480526.083	4202801.608	217.184
1, 2, 3	480537.149	4202804.296	217.202	480526.087	4202801.596	217.191

Πίνακας 67. Μέσες Συντεταγμένες Σημείων 4 και 9, για το Πείραμα 3, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.009	-0.003	-0.049	-0.014	-0.021	-0.054
	Σετ 2	0.004	-0.016	-0.022	0.002	0.022	-0.009
	Σετ 3	0.007	0.018	0.004	-0.009	0.040	-0.002
	Σετ 4	0.000	0.022	0.034	-0.012	0.025	0.023
	Σετ 5	-0.010	-0.018	0.021	-0.020	0.001	0.001
Σειρά 2	Σετ 1	-0.036	0.015	-0.041	-0.022	-0.010	0.004
	Σετ 2	0.010	0.001	0.009	-0.017	0.000	-0.040
	Σετ 3	0.011	0.016	-0.035	0.042	-0.013	0.048
	Σετ 4	-0.005	-0.030	0.055	0.021	-0.022	0.010
	Σετ 5	0.028	-0.004	0.024	0.028	-0.021	0.018
$[u_x \ u_x]$				0.0071			
$[u_y \ u_y]$				0.0072			
$[u_h \ u_h]$				0.0190			

Πίνακας 68. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2, του Πειράματος 3, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	-0.034	0.001	-0.024	-0.015	-0.008	0.002
	Σετ 2	0.012	0.001	0.015	0.003	-0.004	0.023
	Σετ 3	0.013	-0.014	-0.007	-0.002	-0.009	-0.013
	Σετ 4	-0.004	-0.001	0.045	-0.005	-0.008	0.031
	Σετ 5	0.029	0.002	0.000	-0.021	-0.013	-0.023
Σειρά 3	Σετ 1	-0.002	0.018	-0.049	-0.024	0.012	-0.008
	Σετ 2	-0.001	0.004	0.001	-0.019	0.022	-0.052
	Σετ 3	-0.007	0.019	-0.043	0.040	0.008	0.036
	Σετ 4	-0.006	-0.027	0.047	0.018	-0.001	-0.002
	Σετ 5	0.000	-0.001	0.016	0.026	0.001	0.006
$[u_x \ u_x]$				0.0066			
$[u_y \ u_y]$				0.0027			
$[u_h \ u_h]$				0.0159			

Πίνακας 69. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3, του Πειράματος 3, για $\Delta t=30\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.007	-0.002	-0.053	-0.012	-0.011	-0.060
	Σετ 2	0.005	-0.015	-0.027	0.004	0.032	-0.015
	Σετ 3	0.008	0.020	-0.001	-0.007	0.050	-0.007
	Σετ 4	0.002	0.024	0.030	-0.010	0.035	0.017
	Σετ 5	-0.009	-0.016	0.016	-0.018	0.011	-0.005
Σειρά 2	Σετ 1	-0.034	0.017	-0.046	-0.020	0.000	-0.001
	Σετ 2	0.012	0.003	0.004	-0.015	0.010	-0.045
	Σετ 3	0.013	0.017	-0.040	0.044	-0.003	0.043
	Σετ 4	-0.004	-0.028	0.050	0.022	-0.012	0.005
	Σετ 5	0.029	-0.003	0.019	0.030	-0.011	0.013
Σειρά 3	Σετ 1	-0.002	0.000	-0.021	-0.011	-0.020	0.009
	Σετ 2	-0.001	0.000	0.018	0.007	-0.015	0.030
	Σετ 3	-0.007	-0.016	-0.003	0.003	-0.021	-0.006
	Σετ 4	-0.006	-0.003	0.048	0.000	-0.020	0.038
	Σετ 5	0.001	0.000	0.003	-0.016	-0.024	-0.016
$[u_x u_x]$				0.0077			
$[u_y u_y]$				0.0105			
$[u_h u_h]$				0.0253			

Πίνακας 70. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3, του Πειράματος 3, για $\Delta t=30\text{sec}$

- Μετρήσεις Χρονικής Διάρκειας 60 sec

Σειρές	\bar{x}_4 [m]	\bar{y}_4 [m]	\bar{h}_4 [m]	\bar{x}_9 [m]	\bar{y}_9 [m]	\bar{h}_9 [m]
1, 2	480537.146	4202804.297	217.196	480526.084	4202801.612	217.184
2, 3	480537.144	4202804.294	217.204	480526.088	4202801.588	217.197
1, 2, 3	480537.147	4202804.296	217.200	480526.089	4202801.599	217.191

Πίνακας 71. Μέσες Συντεταγμένες Σημείων 4 και 9, για το Πείραμα 3, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.012	0.001	-0.049	-0.011	-0.016	-0.054
	Σετ 2	0.002	-0.010	-0.019	0.000	0.031	-0.005
	Σετ 3	0.002	0.016	0.003	-0.009	0.039	0.006
	Σετ 4	-0.003	0.013	0.036	-0.012	0.022	0.020
	Σετ 5	-0.010	-0.022	0.008	-0.025	0.003	-0.001
Σειρά 2	Σετ 1	-0.034	0.013	-0.026	-0.007	-0.015	0.022
	Σετ 2	-0.005	0.002	-0.005	-0.016	-0.001	-0.058
	Σετ 3	0.029	0.012	0.001	0.035	-0.019	0.062
	Σετ 4	0.007	-0.021	0.034	0.022	-0.025	-0.001
	Σετ 5	0.024	-0.005	0.017	0.022	-0.018	0.008
$[u_x u_x]$				0.0064			
$[u_y u_y]$				0.0066			
$[u_h u_h]$				0.0175			

Πίνακας 72. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2, του Πειράματος 3, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 2	Σετ 1	-0.032	0.001	-0.019	-0.012	-0.006	0.014
	Σετ 2	-0.004	0.001	0.022	-0.003	-0.001	0.024
	Σετ 3	0.031	-0.015	-0.011	-0.001	-0.007	-0.008
	Σετ 4	0.008	-0.002	0.036	-0.001	-0.009	0.026
	Σετ 5	0.026	-0.002	-0.009	-0.020	-0.016	-0.022
Σειρά 3	Σετ 1	-0.004	0.016	-0.034	-0.011	0.008	0.009
	Σετ 2	0.001	0.005	-0.012	-0.020	0.022	-0.072
	Σετ 3	-0.011	0.016	-0.006	0.032	0.004	0.049
	Σετ 4	-0.007	-0.018	0.026	0.019	-0.001	-0.014
	Σετ 5	-0.009	-0.002	0.009	0.019	0.006	-0.005
$[u_x u_x]$				0.0058			
$[u_y u_y]$				0.0021			
$[u_h u_h]$				0.0142			

Πίνακας 73. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 2,3, του Πειράματος 3, για $\Delta t=60\text{sec}$

		u_{x4} [m]	u_{y4} [m]	u_{h4} [m]	u_{x9} [m]	u_{y9} [m]	u_{h9} [m]
Σειρά 1	Σετ 1	-0.009	0.004	-0.053	-0.010	-0.006	-0.061
	Σετ 2	0.004	-0.008	-0.023	0.002	0.042	-0.011
	Σετ 3	0.005	0.018	-0.001	-0.008	0.049	0.000
	Σετ 4	0.000	0.016	0.032	-0.011	0.032	0.013
	Σετ 5	-0.008	-0.019	0.004	-0.024	0.014	-0.007
Σειρά 2	Σετ 1	-0.031	0.015	-0.030	-0.006	-0.005	0.015
	Σετ 2	-0.003	0.004	-0.008	-0.015	0.009	-0.065
	Σετ 3	0.032	0.015	-0.003	0.037	-0.009	0.055
	Σετ 4	0.009	-0.019	0.030	0.024	-0.014	-0.007
	Σετ 5	0.026	-0.003	0.013	0.024	-0.008	0.002
Σειρά 3	Σετ 1	-0.004	0.000	-0.015	-0.007	-0.019	0.020
	Σετ 2	0.002	0.000	0.025	0.002	-0.014	0.031
	Σετ 3	-0.010	-0.016	-0.007	0.004	-0.020	-0.002
	Σετ 4	-0.006	-0.003	0.040	0.004	-0.022	0.032
	Σετ 5	-0.008	-0.003	-0.005	-0.015	-0.029	-0.015
$[u_x u_x]$				0.0070			
$[u_y u_y]$				0.0103			
$[u_h u_h]$				0.0233			

Πίνακας 74. Υπόλοιπα Επίλυσης Σειρών 1,2,3, του Πειράματος 3, για $\Delta t=60\text{sec}$