



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας

*Έλεγχος Δεκτών GNSS για την χρήση του σε τοπογραφικές
εργασίες Σχετικού Στατικού Εντοπισμού*

Διπλωματική Εργασία

Δημήτριος Παχουνδάκης

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Μαρία Τσακίρη

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Αφιερωμένη στην Οικογένεια μου

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Τσακίρη Μαρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Εξεταστική Επιτροπή

Τσακίρη Μαρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Σταθάς Δημοσθένης, Καθηγητής Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Λάμπρου Ευαγγελία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους τους ανθρώπους που με βοήθησαν στην εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Πιο συγκεκριμένα:

Την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Μαρία Τσακίρη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, η οποία μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το παρόν θέμα και να διευρύνω τις γνώσεις μου στον Τομέα της Γεωδαισίας. Επίσης, την ευχαριστώ θερμά για την αμέριστη βοήθεια, συμπαράσταση και υπομονή που διέθετε σε όλο το διάστημα της συνεργασίας μας.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Πηνιώτη, Ι.Δ.Α.Χ. της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, για την πολύτιμη βοήθεια του και το χρόνο που αφιέρωσε κατά τη διαδικασία εξοικείωσης μου με τους δέκτες GNSS και στην μετατροπή των συντεταγμένων.

Στη συνέχεια, ευχαριστώ τον κ. Ευάγγελο Ζαχαρή, Ι.Δ.Α.Χ της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, για τη σημαντική βοήθεια του και το χρόνο που διέθεσε για την εκμάθηση των λογισμικών επεξεργασίας και την επεξεργασία των μετρήσεων.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στην οικογένεια μου, για τη διαρκή υποστήριξη και εμπιστοσύνη που μου επέδειξαν σε όλες μου τις προσπάθειες. Δεν πρέπει να παραληφθεί, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους καλούς μου φίλους Ιωάννη Παγιαζήτη, Νικόλαο Κυδώνη και Μαρίνα Σαλλίαρη, αφού χωρίς την πολύτιμη βοήθεια τους η ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας δε θα ήταν εφικτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρόοδος της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των τεχνικών παρατήρησης, έχουν επιφέρει τη σταδιακή βελτίωση της μεθόδου του σχετικού εντοπισμού θέσης. Οι πιο ευρέως διαδεδομένες τεχνικές παρατήρησης με τη χρήση GNSS δεδομένων, είναι ο σχετικός στατικός εντοπισμός (Static), που μπορεί να επιτύχει ακρίβεια λίγων χιλιοστών, αλλά απαιτεί μεγάλα χρονικά διαστήματα παρατήρησης και ο σχετικός κινηματικός εντοπισμός (Real Time Kinematic), ο οποίος μειονεκτεί έναντι του στατικού ως προς της ακρίβεια (λίγα εκατοστά), αλλά χρειάζεται μονάχα μερικά δέκατα του δευτερολέπτου. Παρόλα αυτά, ο σχετικός στατικός εντοπισμός αποτελεί θεμελιώδη τεχνική προσδιορισμού θέσης για εργασίες που επιζητούν μεγάλη ακρίβεια. Μεγάλο μέρος τοπογραφικών εφαρμογών χρησιμοποιούν τον σχετικό στατικό εντοπισμό για την ίδρυση δικτύων, οπότε απαιτείται αυστηρός έλεγχος των δεκτών GNSS.

Ο οργανισμός ISO (International Organization for Standardization) αν και έχει δημοσιεύσει συγκεκριμένες οδηγίες για τον μετρολογικό έλεγχο των δεκτών GNSS σε κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου (RTK), δεν έχει προτείνει μια δομημένη και αυστηρά καθορισμένη διαδικασία για τον έλεγχο των δεκτών GNSS στο σχετικό στατικό εντοπισμό. Ορισμένες χώρες έχουν θεσπίσει τις δικές τους αναλυτικές οδηγίες, όπως ο Καναδάς, η Αυστραλία και η Αμερική, για την ορθή χρήση των δεκτών στην ύπαιθρο, αλλά οι συγκεκριμένες κατευθύνσεις δεν είναι πρωτοτυποποιημένες.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο καθορισμός κατάλληλων μεθόδων ελέγχου δεκτών GNSS (Παγκόσμιου Συστήματος Δορυφορικής Πλοήγησης) για σχετικό στατικό εντοπισμό σε τοπογραφικές εργασίες. Όλοι οι έλεγχοι αποβλέπουν εντοπισμό της αξιοπιστίας του τοπογραφικού δικτύου και στον προσδιορισμό της ακρίβειας των μετρήσεων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με συγκεκριμένους γεωδαιτικούς δέκτες.

Οι προτεινόμενες διαδικασίες χρησιμοποιούν τις Αυστραλιανές οδηγίες για την ανάπτυξη κανόνων στον έλεγχο των GNSS δεκτών, κάτω από συγκεκριμένες διεργασίες υπαίθρου και υπό καθορισμένη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Η μέθοδος περιλαμβάνει τη μέτρηση μίας βάσης σε επαναλαμβανόμενες σειρές, καθώς και τη μέτρηση ενός δικτύου τεσσάρων κορυφών της τάξης των μερικών εκατοντάδων μέτρων. Η ανάλυση των μετρήσεων περιέχει τον τοπικό έλεγχο (Local Test), μια τεχνική ελέγχου μεμονωμένων βάσεων για την αξιολόγηση της ποιότητας της μέτρησης και τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνει τον ολικό έλεγχο (Global Test), που αφορά τη στατιστική αξιολόγηση της ποιότητας του δικτύου με έναν ή δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς, βασισμένη στη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Τα πειράματα έγιναν σύμφωνα με συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τους γεωδαιτικούς δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS. Όλες οι παρατηρήσεις έγιναν στα βάθρα της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Οι έλεγχοι έδειξαν ότι οι συγκεκριμένοι δέκτες κατά τη χρήση του σχετικού στατικού εντοπισμού θέσης είναι σύμφωνοι με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών και η ακρίβεια του δικτύου είναι εντός των επιτρεπτών ορίων για τις τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες.

ABSTRACT

In the three decades that Global Navigation Satellite Systems (GNSS) have been employed for precise positioning work, the technology has profoundly influenced the practice of land surveying. The use of GNSS static positioning is fundamental for tasks which demand high accuracy. A large number of surveying applications use static positioning for the establishment of control networks. Although the International Organization for Standardization (ISO) has published specific guidelines for the precision assessment of GNSS receivers for Real Time Kinematic (RTK) positioning, there is a lack of structured and strictly defined procedures for the assessment of the GNSS receivers in the static mode. A number of countries have established national guidelines, such as Canada, Australia and USA, for the correct usage of GNSS receivers in static positioning, but these guidelines are not yet standardized.

The aim of this thesis is to present appropriate guidelines for field and data processing for the assessment of the receivers for geodetic control surveying applications using static GNSS positioning. The presented procedures follow the Australian guidelines for developing standards on the use of GNSS. The field work comprises best practice guidelines which are widely recognized as capable of achieving stated levels of accuracy as defined. The statistical assessment comprises the local test and global test. The local test is performed on individual baseline measurements to assess the quality of a measurement and its assumed (or a-priori) uncertainty. The global test is performed on a least squares adjustment of the measurements to assess the quality of the survey as a whole.

The experimental part of this work involved GNSS measurements that were carried out using the geodetic receivers Trimble 5800 and Leica 1200+GNSS on a number of permanent pillars located on the roofs of buildings in the University Campus. GNSS data from GPS and GLONASS satellites were collected and processed using scientific software. The statistical analysis of the surveys showed that the specific receivers using the static method comply with the quoted precision of the manufacturers and the accuracy of the network is within the permissible limits for the current surveying jobs.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας.....	2
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	3
Κεφάλαιο 2 : Θεωρητικό Πλαίσιο.....	4
2.1 Εισαγωγή	4
2.1.1 Το Παγκόσμιο Σύστημα Δορυφορικής Πλοήγησης, GNSS.....	4
2.1.2 Αρχή λειτουργίας συστημάτων GNSS.....	5
2.1.3 Σφάλματα GNSS.....	6
2.1.4 Σχετικός Εντοπισμός Θέσης	7
2.1.5 Σχετικός Στατικός Εντοπισμός.....	7
2.1.6 Συστήματα Αναφοράς.....	8
2.1.6.1 Το Διεθνές Γήινο Σύστημα Αναφοράς ITRS	8
2.1.6.2 Το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84.....	9
2.1.6.3 Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ87(GR87)	10
2.1.7 Συχνότητα Ελέγχου Εξοπλισμού GNSS.....	10
2.1.8 Προτεινόμενες Διαδικασίες Προσδιορισμού Ακρίβειας GNSS.....	11
2.1.8.1 Ποσοτικοποίηση της Ποιότητας της Τοπογραφικής Εργασίας.....	11
2.1.8.2 Εργασίας Υπαίθρου	14
2.1.9 Μηδενική Δοκιμή (Zero - Baseline Test).....	14
2.1.10 Σύγκριση των Δορυφορικών Βάσεων	16
2.1.11 Στατική/ Γρήγορη Στατική Επαλήθευση	17
2.1.12 Στατικές Μελέτες (Static Surveys).....	20
2.1.13 Αξιολόγηση της Αβεβαιότητας της Τοπογραφικής Εργασίας.....	21
2.1.13.1 Τοπικός Έλεγχος (Local Test).....	21
2.1.13.2 Ολικός Έλεγχος (Global Test)	21
2.2 Απλοποιημένο – Σύνθετο Τεστ.....	22
2.2.1 Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test)	22
2.2.2 Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure)	22
Κεφάλαιο 3 : Εργασία Πεδίου	24
3.1 Εισαγωγή	24
3.2 Περιοχή Μελέτης.....	24
3.3 Αναγνώριση Περιοχής Μελέτης.....	25

3.4 Μέθοδος Σχετικού Στατικού Εντοπισμού	26
3.5 Εξοπλισμός Σχετικού Στατικού Εντοπισμού	26
3.5.1 Δέκτες Leica 1200+GNSS.....	26
3.5.2 Δέκτες Trimble 5800	27
3.6 Γεωδαιτικά Δίκτυα.....	29
3.7 Καταγραφή Δεδομένων για Σχετικό Στατικό Εντοπισμό.....	30
3.8 Πληροφορίες Εντύπου Καταγραφής.....	31
3.9 Σύγκριση ITRF08 - ΕΓΣΑ87	31
3.10 Λογισμικό Επεξεργασίας GrafNav	32
3.11 Λογισμικό Επεξεργασίας GrafNet	32
3.12 Πρώτο Πείραμα – Μέτρηση Επαναλαμβανόμενων Βάσεων Διάρκειας 40min.....	33
3.13 Δεύτερο Πείραμα-Μέτρηση Βάσεων Διάρκειας 20min.....	34
Κεφάλαιο 4 : Επεξεργασία & Ανάλυση Μετρήσεων	37
4.1 Εισαγωγή	37
4.2 Αρχικές Συντεταγμένες.....	37
4.2.1 Αρχικές Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84	38
4.2.2 Αρχικές Προβολικές Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87.....	39
4.3 Επαναλαμβανόμενες Βάσεις Για Χρόνο Παρατήρησης 40min	39
4.3.1 Σύγκριση Επαναλαμβανόμενων Βάσεων WGS84.....	39
4.3.2 Σύγκριση Επαναλαμβανόμενων Βάσεων ΕΓΣΑ87	42
4.4 Τοπικός Έλεγχος (Local Test)	46
4.4.1 Σύγκριση με στοιχεία γνωστών βάσεων.....	46
4.4.2 Επαναλαμβανόμενες Βάσεις Για Χρόνο Παρατήρησης 20min	47
4.4.3 Ανάλυση κλεισίματος βρόχων	49
4.5 Ολικός Έλεγχος Δικτύων (Global Test)	52
4.5.1 Έλεγχος Του Δικτύου Με Έναν Σταθερό Σταθμό Για Κατανομή χ^2	52
4.5.2 Συντεταγμένες Και Σφάλματα Με Έναν Σταθερό Σταθμό	53
4.5.3 Σύγκριση Των Βάσεων Του Δικτύου Με Έναν Σταθερό Σταθμό.....	55
4.5.4 Έλεγχος Βάσεων Για Διάστημα Εμπιστοσύνης 95%	56
4.5.5 Έλεγχος Του Δικτύου Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς.....	59

4.5.6 Συντεταγμένες Και Σφάλματα Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς.....	60
4.5.7 Σύγκριση Των Βάσεων Του Δικτύου Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς	62
4.5.8 Προσδιορισμός της Ακτίνας (r) Κυκλικής Περιοχής Εμπιστοσύνης.....	63
4.6 Απλοποιημένος Και Σύνθετο Έλεγχος	65
4.6.1 Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test)	65
4.6.2 Σύνθετο Τεστ (Full test procedure).....	66
4.6.3 Στατιστικά Τεστ	68
Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	71
5.1 Εισαγωγή	71
5.2 Πρακτικά Προβλήματα και Αντιμετώπιση τους.....	71
5.2.1 Συλλογή Δορυφορικών Δεδομένων.....	71
5.2.2 Επεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων.....	72
5.3 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα.....	73
5.4 Προτάσεις.....	78
Βιβλιογραφία	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α Θεωρητικό Πλαίσιο	82
Ορισμοί- Ορολογία.....	83
Λογισμικό Επεξεργασίας GrafNav.....	84
Λογισμικό Επεξεργασίας GrafNet	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β Επεξεργασία & Ανάλυση Μετρήσεων.....	94
Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS85.....	95
Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84.....	96
Προβολικές Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87	99
Διαφορές Μετρημένων-Αρχικών Συνιστωσών WGS84.....	100
Έλεγχος Βάσεων Για Διάστημα Εμπιστοσύνης 95%.....	105
Γεωδαιτικές Συντεταγμένες Με Έναν Σταθερό Σταθμό (Lamg)	107
Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστωσών Με Έναν Σταθερό Σταθμό	108
Γεωδαιτικές Συντεταγμένες Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς.....	112
Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστωσών Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς.....	113
Ακτίνας (r) Κυκλικής Περιοχής Εμπιστοσύνης.....	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ Απλοποιημένο-Σύνθετο Τεστ	128
Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test).....	129
Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure).....	131

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 2-1: Περιοχές Προέλευσης Δορυφορικών Συστημάτων	5
Εικόνα 2-2: Αρχή Λειτουργίας Συστημάτων GNSS	6
Εικόνα 2-3: Στατικός εντοπισμός θέσης.....	8
Εικόνα 2-4: Το γεωδαιτικό πλαίσιο αναφοράς ITRF 2008	9
Εικόνα 2-5: Το Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84.....	10
Εικόνα 2-6: Τεχνικές Έρευνας GNSS.....	14
Εικόνα 2-7: Μηδενική Δοκιμή- Zero - Baseline Test	15
Εικόνα 3-1: Περιοχή Μελέτης, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου	24
Εικόνα 3-2: Κορυφές Δικτύου GNSS.....	25
Εικόνα 3-3: Δέκτης Leica 1200+GNSS.....	27
Εικόνα 3-4: Δέκτες Trimble 5800.....	28
Εικόνα 3-5: Τιμεντένιο Βάθρο	28
Εικόνα 3-6: Μετρητική Διαδικασία Για να Δοθούν Συντεταγμένες Σε Όλα τα Βάθρα	29
Εικόνα 4-1: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , ΔZ] Για Κάθε Σειρά Μετρήσεων	42
Εικόνα 4-2: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , Δh] Για Κάθε Σειρά Μετρήσεων	45
Εικόνα 4-3: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , ΔZ] Για Κάθε Βάθρο	49
Εικόνα 4-4:Κλεισίματα Βρόγχων Trimble5800/Leica 1200+GNSS	51

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2-1: Προτεινόμενες προδιαγραφές για έρευνες Σχετικού Στατικού εντοπισμού	19
Πίνακας 2-2: Οι Ελάχιστες Προδιαγραφές του Λογισμικό Επεξεργασίας GNSS.....	20
Πίνακας 3-1: Ονομαστική Ακρίβεια Δεκτών Leica 1200+GNSS.....	27
Πίνακας 3-2: Ονομαστική Ακρίβεια Δεκτών Trimble 5800 (Static).....	27
Πίνακας 3-3: Μετρητική Διαδικασία- Χρόνοι Καταγραφής	30
Πίνακας 3-4: Διαδικασία Μέτρησης Σαραντάλεπτων Βάεων.....	34
Πίνακας 3-5: Μετρητική Διαδικασία Leica 1200+GNSS	36
Πίνακας 3-6: Μετρητική Διαδικασία Trimble 5800	36
Πίνακας 4-1: Αρχικές Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS84	38
Πίνακας 4-2: Αρχικές Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84	39
Πίνακας 4-3: Αρχικές Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87.....	39
Πίνακας 4-4: Διαφορές Συνιστωσών ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ (WGS84/Trimble 5800)	40
Πίνακας 4-5: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ] (WGS84/Trimble 5800)	41
Πίνακας 4-6: Διαφορές Συνιστωσών ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ (WGS84/Leica 1200+GNSS).....	41
Πίνακας 4-7:Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ] (WGS84/Leica 1200+GNSS).....	42
Πίνακας 4-8: Διαφορές Συνιστωσών ΔΧ, ΔΥ, Δh (ΕΓΣΑ87/Trimble 5800)	43
Πίνακας 4-9: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔΧ, ΔΥ, Δh] (ΕΓΣΑ87/Trimble 5800)	44
Πίνακας 4-10: Διαφορές Συνιστωσών ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ (ΕΓΣΑ87/Leica 1200+GNSS)	44
Πίνακας 4-11: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔΧ, ΔΥ, Δh] (ΕΓΣΑ87/Leica 1200+GNSS).....	45
Πίνακας 4-12: Διαφορές Συνιστωσών ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS).....	46
Πίνακας 4-13: Διαφορές Συνιστωσών ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ Μεταξύ Trimble 5800 - Leica 1200+GNSS	47
Πίνακας 4-14: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ] (Trimble 5800/WGS84)	48
Πίνακας 4-15: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ] (Leica 1200+GNSS/WGS84).....	48
Πίνακας 4-16: Κλείσιμο Βρόγχων [Lamg-Fys-Gen-Est] (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS).....	50
Πίνακας 4-17: Κλείσιμο Βρόγχων [Lamg-Est-Gen-Fys] (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS).....	50
Πίνακας 4-18: Κλείσιμο Βρόγχων [Lamg-Gen-Fys-Est] (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS).....	51
Πίνακας 4-19: Παράμετροι Συνόρθωσης Με Έναν Σταθερό Σταθμό.....	53
Πίνακας 4-20: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84/ Συνόρθωση Με Έναν Στ. Σταθμό.....	53
Πίνακας 4-21: Τυπικά Σφάλματα Καρτεσιανών Συντεταγμένων WGS84/ Lamg	54
Πίνακας 4-22: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84/ Lamg	54
Πίνακας 4-23: Τυπικά Σφάλματα Καρτεσιανών Συντεταγμένων WGS84/ Lamg	55
Πίνακας 4-24: Διαφορές Συντεταγμένων Χ, Υ, Ζ (Trimble 5800-Leica 1200)	55
Πίνακας 4-25: Διαφορές Συντεταγμένων Χ, Υ, Ζ, Συνορθωμένων - Αρχικών.....	56
Πίνακας 4-26: Έλεγχος Οριζοντιογραφικών Συνιστωσών-Lamg	58
Πίνακας 4-27: Έλεγχος Υψομετρικών Συνιστωσών-Lamg	59
Πίνακας 4-28: Παράμετροι Συνόρθωσης Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς	60
Πίνακας 4-29: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84/ Συνόρθωση Με Δύο Σταθ. Σταθμούς. 60	
Πίνακας 4-30: Τυπικά Σφάλματα Καρτεσιανών Συντεταγμένων WGS84/Lamg-Est.....	61
Πίνακας 4-31: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84/ Lamg-Est	61
Πίνακας 4-32: Τυπικά Σφάλματα Καρτεσιανών Συντεταγμένων WGS84/Lamg-Est.....	62
Πίνακας 4-33: Διαφορές Συντεταγμένων Χ, Υ, Ζ (Trimble 5800-Leica 1200)	62
Πίνακας 4-34: Διαφορές Συντεταγμένων Χ, Υ, Ζ, Συνορθωμένων - Αρχικών.....	63
Πίνακας 4-35: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης Για Βάση Μετρημένη 40 min	64
Πίνακας 4-36: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης Για Βάση Μετρημένη 20 min	64

Πίνακας 4-37: Στατιστικοί Έλεγχοι	69
---	----

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Οι GNSS δέκτες αποτελούν ένα εργαλείο στα χέρια του τοπογράφου μηχανικού. Η πιο ακριβής μέθοδος παρατήρησης GNSS (Global Navigation Satellite System) είναι ο σχετικός εντοπισμός θέσης. Η εφαρμογή του σχετικού εντοπισμού θέσης μπορεί να προσφέρει ακρίβεια προσδιορισμού του διανύσματος μεταξύ δύο δεκτών της τάξης $\pm 5-10\text{mm} \pm 1\text{ppm}$. Ο σχετικός εντοπισμός θέσης αφορά τον προσδιορισμό των συντεταγμένων ενός δέκτη σε σχέση με κάποιον άλλο που συνήθως είναι σταθερός και βρίσκεται σε γνωστό σημείο. Η συγκεκριμένη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γεωδαιτικές εφαρμογές που επιζητούν μεγάλη ακρίβεια, αλλά απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα παρακολούθησης.

Ο σχετικός στατικός εντοπισμός μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε τοπογραφικές εργασίες δικτύων μεγάλης τάξης (Διακρατικά, Δηπειρωτικά κ.α.), όσο και σε τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες (Τριγωνισμός, Μέτρηση δικτύου παρακολούθησης τεχνικού έργου κ.α.). Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται δίκτυα μόνιμων σταθμών αναφοράς και ο μηχανικός μπορεί να διαθέτει μόνο έναν δέκτη, ωστόσο σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να μην υπάρχει η δυνατότητα χρήσης του δικτύου, λόγω αδυναμίας επικοινωνίας τους και έλλειψης μόνιμων σταθμών στην περιοχή. Ανεξάρτητα από τη χρήση των δεδομένων από μόνιμο δίκτυο σταθμών αναφοράς ή από την ίδρυση ενός δικτύου με κλασσικό σχετικό στατικό εντοπισμό, απαιτείται αυστηρός έλεγχος των δεκτών GNSS.

Οι σύγχρονες γεωδαιτικές και τοπογραφικές εργασίες απαιτούν υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας των παρατηρήσεων, έτσι είναι αναγκαία η διασφάλιση της ποιότητας των μετρήσεων. Ο οργανισμός ISO (International Organization for Standardization) αν και έχει προτείνει συγκεκριμένες κατευθυντήριες οδηγίες για τον εντοπισμό της εσωτερικής ακρίβειας των δεκτών GNSS για σχετικό κινηματικό εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο (RTK), με το πρότυπο ISO 17123-8, το οποίο ανήκει στην σειρά πρότυπων 17123 «Οπτική και Οπτικά Όργανα», δεν έχει αναπτύξει μια δομημένη και αυστηρά καθορισμένη διαδικασία για την πιστοποίηση της ακρίβειας των οργάνων στο κλασσικό σχετικό στατικό εντοπισμό. Πολλές χώρες, όπως η Αμερική, ο Καναδάς και η Αυστραλία, έχουν δημοσιεύσει κανόνες για την καλή χρήση των δεκτών και την αξιολόγηση των δικτύων, χωρίς ωστόσο να υπάρχει προτυποποίηση. Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα ακολουθηθούν οι πλέον πρόσφατες οδηγίες από την ISCM της Αυστραλίας (<http://www.iscm.org>). Ακολουθώντας τις διαδικασίες που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2, επιτυγχάνεται οι τοπογράφοι μηχανικοί να συμπορεύονται με τις μετρολογικές οδηγίες που εκδόθηκαν το 2014.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση ενός δορυφορικού δικτύου, που έχει μετρηθεί από δέκτες GNSS με τη μέθοδο του σχετικού στατικού

εντοπισμού. Η αξιολόγηση του δικτύου περιλαμβάνει έμμεσα και τον προσδιορισμό της ακρίβειας των δεκτών. Κάθε μέθοδος εντοπισμού GNSS απαιτεί διαφορετικά πειράματα ελέγχου. Η μέθοδος στατικού/γρήγορου στατικού εντοπισμού απαιτεί την ύπαρξη ενός δικτύου σταθερών σταθμών με διαφορετικά μήκη βάσεων μεταξύ των σημείων. Οι διαδικασίες υπαίθρου, οι τεχνικές συλλογής δορυφορικών δεδομένων, όπως και οι μέθοδοι επεξεργασίας των παρατηρήσεων είναι συγκεκριμένες και προτείνονται από τα Αυστραλιανά πρότυπα.

Οι πειραματικοί έλεγχοι θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε ετήσια βάση ή ύστερα από αναβάθμιση του εξοπλισμού και του λογισμικού επεξεργασίας, ώστε να μπορεί να εξακριβωθεί η ακρίβεια των οργάνων. Ο προτεινόμενος έλεγχος βασίζεται σε δύο επιμέρους ελέγχους: τον τοπικό και τον ολικό έλεγχο, που περιλαμβάνουν διαδικασίες υπαίθρου, όπως και τεχνικές ανάλυσης των μετρήσεων. Ο τοπικός έλεγχος (Local Test) είναι μια διαδικασία ελέγχου μεμονωμένων βάσεων βασισμένη στις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, για την αξιολόγηση της ποιότητας της μέτρησης και τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της. Ο ολικός έλεγχος (Global Test) είναι μια διαδικασία ελέγχου βασισμένη στη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για την αξιολόγηση της ποιότητας του δικτύου με έναν ή δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς. Οι έλεγχοι δεν περιορίστηκαν εκεί, καθώς διερευνήθηκε και η εφαρμογή επιλεγμένων τεστ του προτύπου ISO 17123-8, για τον μετρολογικό έλεγχο των δεκτών GNSS στο σχετικό στατικό εντοπισμό σε τοπογραφικές εργασίες. Όλοι οι έλεγχοι αποδεικνύουν ότι τα σφάλματα κυμαίνονται εντός των επιτρεπτών ορίων για τα τοπογραφικά δίκτυα και επίσης εντός των ορίων του κατασκευαστή.

1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σχετικού στατικού εντοπισμού θέσης με τους δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS, οι οποίοι είναι παρόμοιων προδιαγραφών ακρίβειας. Οι μετρήσεις έγιναν από δύο τύπους δεκτών για συγκριτικούς λόγους. Το δίκτυο ελέγχου δημιουργήθηκε στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε τύπο δεκτών, επειδή τα βάθρα δίνουν την επιλογή εξαναγκασμένης κέντρωσης τόσο δεκτών GNSS, όσο και γεωδαιτικών σταθμών.

Οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις δορυφορικών βάσεων από τις δύο ομάδες δεκτών, το διαφοροποιημένο χρονικό διάστημα καταγραφής ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε πειράματος, προσφέρουν τη δυνατότητα προσδιορισμού των διαφορών ανάμεσα στις τιμές που προκύπτουν από την επίλυση ξεχωριστά κάθε βάσης, τις συνορθωμένες μετρήσεις και τις γνωστές συντεταγμένες. Επιπλέον δίνουν την ευκαιρία επαλήθευσης της ονομαστικής ακρίβειας του κατασκευαστή.

Ο βασικός στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι διττός. Κατά κύριο λόγο, αποσκοπεί στην αξιολόγηση της αξιοπιστίας ενός δορυφορικού δικτύου και δευτερευόντως στην εξακρίβωση της ακρίβειας των GNSS δεκτών. Η διεθνής βιβλιογραφία δεν αναφέρει επακριβώς τις οδηγίες που απαιτούνται για τον έλεγχο

των εφαρμογών του σχετικού στατικού εντοπισμού, οπότε γίνεται προσπάθεια δημιουργίας κατευθυντήριων γραμμών.

Συνοπτικά ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο ακόλουθως:

- Διερεύνηση των κατευθυντήριων οδηγιών της ISCM Αυστραλίας για τις εργασίες πεδίου σχετικού στατικού εντοπισμού και εφαρμογή τους
- Καθορισμός οδηγιών επεξεργασίας και ανάλυσης GNSS δεδομένων
- Αξιολόγηση της ακρίβειας του δικτύου
- Εξακρίβωση της αξιοπιστίας των GNSS δεκτών

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα Εργασία, δομείται από πέντε κεφάλαια, που περιγράφονται παρακάτω:

Κεφάλαιο 2: Πραγματοποιείται σύντομη περιγραφή του Παγκόσμιου Συστήματος Δορυφορικής Πλοήγησης και της μεθόδου του Σχετικού Στατικού Εντοπισμού που εφαρμόστηκαν για τον προσδιορισμό της ακρίβειας του εξοπλισμού GNSS. Παραθέτονται τρεις ομάδες πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την επαλήθευση της εσωτερικής ακρίβειας των δεκτών. Επίσης, προτείνονται διαδικασίες αξιολόγησης του δορυφορικού δικτύου.

Κεφάλαιο 3: Περιλαμβάνει πληροφορίες για την Περιοχή Μελέτης. Επιπλέον, αναφέρει τις τεχνικές προδιαγραφές για τον εξοπλισμό των μετρήσεων. Στη συνέχεια, παρουσιάζει τα λογισμικά GrafNav και GrafNet που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των παρατηρήσεων. Τέλος, αναλύει τις διαδικασίες και τις μεθόδους μέτρησης που εφαρμόστηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Κεφάλαιο 4: Εμφανίζονται τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων όπως προέκυψαν μετά την επεξεργασία των μετρήσεων. Οπότε, παρουσιάζονται οι συντεταγμένες και τα οριζοντιογραφικά, υψομετρικά σφάλματα που προήλθαν από την επίλυση της κάθε βάσης ξεχωριστά και οι συνορθωμένες μετρήσεις. Έπειτα, προτείνονται διαδικασίες για την αξιολόγηση του δικτύου μέσω της σύγκρισης των δορυφορικών βάσεων, τη χρήση στατιστικών ελέγχων επαλήθευσης και την εφαρμογή του Απλοποιημένου – Σύνθετου Τεστ.

Κεφάλαιο 5: Παρουσιάζονται προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά την εργασία πεδίου, δυσκολίες που συναντήθηκαν στην επεξεργασία των παρατηρήσεων, τα συμπεράσματα που προήλθαν από την ανάλυση των μετρήσεων και δημοσιεύονται προτάσεις που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην περεταίρω μελέτη του ζητήματος.

Επιπλέον, η Εργασία διαθέτει Παράρτημα και Βιβλιογραφικό Σημείωμα

Κεφάλαιο 2 : Θεωρητικό Πλαίσιο

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη περιγραφή του Παγκόσμιου Συστήματος Δορυφορικής Πλοήγησης (GNSS). Επιπλέον, δίνονται συνοπτικά οι βασικές αρχές λειτουργίας των GNSS, όπως και αναφέρονται οι τεχνικές μέτρησης με έμφαση στο σχετικό στατικό εντοπισμό. Τέλος, παρουσιάζονται τα κύρια σφάλματα των παρατηρήσεων.

Εγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για τον προσδιορισμό της θέσης με την τεχνική του Σχετικού Στατικού Εντοπισμού δεν έχει καθοριστεί ακόμα από κάποιο επίσημο παγκόσμιο φορέα, όπως για παράδειγμα τον οργανισμό ISO (International Standards Organization). Ορισμένες χώρες έχουν θεσπίσει τις δικές τους αναλυτικές οδηγίες, όπως ο Καναδάς, η Αυστραλία και η Αμερική. Στη Διπλωματική αυτή θα ακολουθηθούν οι πλέον πρόσφατες οδηγίες από την ISCM της Αυστραλίας (<http://www.iso.org/iso/home.html>). Ακολουθώντας τις διαδικασίες που περιγράφονται παρακάτω, επιτυγχάνεται οι τοπογράφοι μηχανικοί να συμπορεύονται με τις μετρολογικές οδηγίες που εκδόθηκαν το 2014.

Στη συνέχεια, το κεφάλαιο αναφέρεται σε οδηγίες που χρησιμοποιούνται για να διαπιστωθεί η ακρίβεια του εξοπλισμού GNSS και περιγράφονται διαδικασίες για τον έλεγχο των οργάνων προκειμένου να διερευνηθεί η αξιοπιστία του δικτύου για τοπογραφικές εφαρμογές.

2.1.1 Το Παγκόσμιο Σύστημα Δορυφορικής Πλοήγησης, GNSS

Το Παγκόσμιο Σύστημα Δορυφορικής Πλοήγησης GPS (Global Positioning System), αρχικά χρησιμοποιήθηκε στην Αμερική για στρατιωτικούς κυρίως λόγους, όμως έπειτα εφαρμόστηκε για πολιτικούς σκοπούς. Πλέον υπάρχουν πολλά Δορυφορικά Συστήματα, όπως το Ρώσικο GLONASS, το Ευρωπαϊκό GALILEO και το Κινέζικο BDS (BeiDou Navigation Satellite System). Όλα μαζί τα Δορυφορικά Συστήματα αναφέρονται ως GNSS.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 2-1) απεικονίζονται οι περιοχές προέλευσης των δορυφορικών συστημάτων. Μετά το 2008 έχουν κατασκευαστεί δέκτες, όπως ο Leica 1200+GNSS που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία και έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει σήματα τόσο από το σύστημα GPS όσο και από GLONASS, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η λειτουργία των συστημάτων. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι ο δέκτης Trimble 5800.00, που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει σήματα μόνο από το σύστημα GPS.



Εικόνα 2-1: Περιοχές Προέλευσης Δορυφορικών Συστημάτων (Πηγή: http://users.ntua.gr/ddeli/GSE/3_GSE_GNSS.html)

2.1.2 Αρχή λειτουργίας συστημάτων GNSS

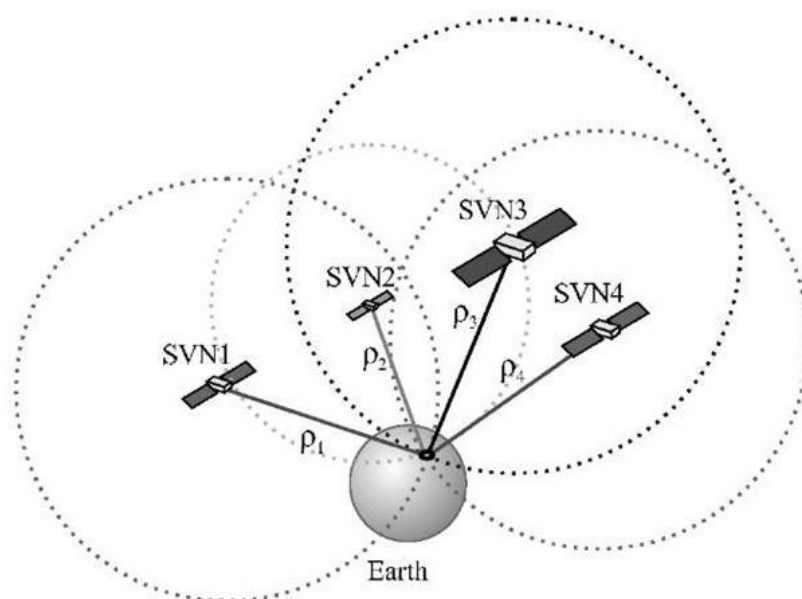
Η λειτουργία των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης, στηρίζεται στα εκπεμπόμενα σήματα των δορυφόρων προς τους δέκτες. Το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα βρίσκεται σε συνεχή τροχιά γύρο από τη Γη και οι δέκτες GNSS τοποθετούνται κοντά στην επιφάνεια της Γης, λαμβάνοντας το εκπεμπόμενο σήμα των δορυφόρων. Η μέτρηση των σημάτων πραγματοποιείται με τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη. Η ταυτόχρονη παρακολούθηση των αποστάσεων ως προς τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους μπορεί να δώσει τον προσδιορισμό της θέσης στην επιφάνεια της Γης με στιγμιαία ακρίβεια στην τάξη των 10m. Η παρακάτω εικόνα οπτικοποιεί τη διαδικασία. Η μέθοδος αναφέρεται στον απόλυτο εντοπισμό θέσης και παρουσιάζει συστηματικά σφάλματα, λόγω του μη συγχρονισμού ανάμεσα στο χρονόμετρο του δέκτη και του δορυφόρου. Έτσι, εισάγεται μια νέα άγνωστη παράμετρος, που είναι το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη. Το σφάλμα του χρονομέτρου του δορυφόρου υπολογίζεται από το δέκτη, αφού πάρει την απαιτούμενη πληροφορία του μηνύματος πλοήγησης από το εκπεμπόμενο σήμα.

Επίσης, πρέπει να προστεθούν τα σφάλματα που οφείλονται στην επίδραση της ιονόσφαιρας, της τροπόσφαιρας και το σφάλμα της πολυανάκλασης, σύμφωνα με το οποίο το σήμα ακολουθεί μεγαλύτερη διαδρομή ανακλώντας σε γειτονικές επιφάνειες (π.χ. επιφάνειες κτηρίων). Εφόσον, βέβαια μετρηθούν και οι φάσεις του φέροντος κύματος, τότε μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στις τάξεις του 1ppm και λιγότερο.

Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές παρατήρησης είναι ο κινηματικός εντοπισμός πραγματικού χρόνου (Real Time Kinematic – RTK) που απαιτεί μικρό χρονικό διάστημα καταγραφής (μερικά δευτερόλεπτα) και μπορεί να επιτύχει ακρίβειες μερικών εκατοστών (cm). Επίσης υπάρχει, ο σχετικός στατικός εντοπισμός που

επιτυγχάνει ακρίβειες μερικών χιλιοστών (mm) αλλά μειονεκτεί σε σχέση με τον κινηματικό ως προς το χρόνο παρακολούθησης επειδή χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα σταθεροποίησης και των δύο δεκτών.

Πρότυπα μετρολογικού ελέγχου έχουν κατασκευαστεί για δέκτες που χρησιμοποιούνται στον κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου (RTK), όμως αντίστοιχοι κανόνες δεν έχουν συσταθεί για δέκτες που συμμετέχουν στον σχετικό στατικό εντοπισμό (Static). Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στις διαδικασίες αξιολόγησης των δεκτών GNSS μέσω των αποτελεσμάτων τους σε μετρήσεις τοπογραφικού δικτύου.



Εικόνα 2-2: Αρχή Λειτουργίας Συστημάτων GNSS (Πηγή: <http://what-when-how.com/a-software-defined-gps-and-galileo-receiver/gnss-receiver-operation-overview-gps-and-galileo-receiver>)

2.1.3 Σφάλματα GNSS

Η επιλογή της περιοχής μελέτης και ο προγραμματισμός των παρατηρήσεων αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση της επίδρασης των εσωτερικών και εξωτερικών επιδράσεων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν συνήθως τις GNSS μετρήσεις περιλαμβάνουν:

- Επιπτώσεις του συστήματος GNSS, όπως τα σφάλματα των εφημερίδων (ephemeris), η διαθεσιμότητα των δορυφόρων και η γεωμετρία της περιοχής μελέτης.
- Ατμοσφαιρικές επιδράσεις λόγω της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας.
- Αποτελέσματα εξαρτώμενα από την περιοχή μελέτης, όπως εμπόδια, πολλαπλές διαδρομές και παρεμβολές από μη-GNSS ραδιο-πηγές.

Ο πλεονασμός στις παρατηρήσεις, η απουσία των εμποδίων του σήματος και τα μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα καταγραφής, είναι οι πιο ευρέως αποδεκτές μέθοδοι για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων που οφείλονται σε αυτές τις συνέπειες.

Η τελική εκτίμηση της θέσης του σήματος επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες ανεξάρτητους της μέτρησης. Τα συγκεκριμένα σφάλματα πρέπει να ενσωματωθούν στην διαδικασία ελαχιστοποίησης λαθών, μέσω του ελέγχου αναγνώρισης των σημάτων, του κεντραρίσματος, του προσανατολισμού της κεραίας και της μέτρησης του ύψους της κεραίας.

2.1.4 Σχετικός Εντοπισμός Θέσης

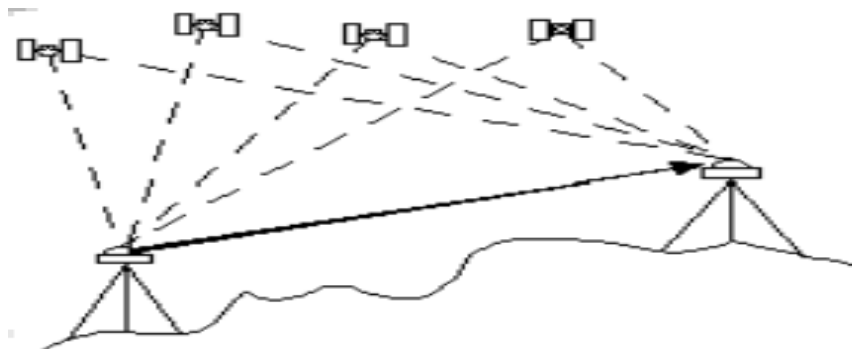
Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία προσπαθεί να επιτύχει τον μετρολογικό έλεγχο των δεκτών GNSS σε τοπογραφικές εργασίες με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού θέσης. Ακόλουθα παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες για τον σχετικό εντοπισμό και πιο συγκεκριμένα για τον σχετικό στατικό εντοπισμό.

Ο σχετικός εντοπισμός (διαφορικός εντοπισμός) αναφέρεται στον προσδιορισμό των συντεταγμένων ενός δέκτη σε εξάρτηση από κάποιον άλλον που συνήθως είναι σταθερός και οι συντεταγμένες του είναι γνωστές. Οι δύο ή περισσότεροι δέκτες που βρίσκονται ταυτόχρονα σε λειτουργία παρακολουθούν τον ίδιο αριθμό δορυφόρων. Τα κοινά σφάλματα που δημιουργούνται από τους δορυφόρους και την ατμόσφαιρα κ.λπ. μπορούν να εξαλειφθούν, με αποτέλεσμα την αύξηση στην ακρίβεια εντοπισμού. Η εφαρμογή του σχετικού εντοπισμού θέσης μπορεί να προσφέρει ακρίβεια προσδιορισμού του διανύσματος μεταξύ των δύο δεκτών της τάξης $\pm (5-10\text{mm}+1\text{ppm})$. Ο σχετικός προσδιορισμός της θέσης διαχωρίζεται διάφορες τεχνικές ανάλογα με την ακρίβεια που ζητείται να επιτευχθεί και τη φύση της εργασίας.

2.1.5 Σχετικός Στατικός Εντοπισμός

Ο σχετικός στατικός εντοπισμός (static) χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας (Τριγ. δίκτυα, Γεωδυναμική). Οι δύο δέκτες (L1 ή L1/L2) λαμβάνουν παρατηρήσεις ταυτόχρονα στα άκρα μιας βάσης, χωρίς να υπάρξει οποιαδήποτε μετακίνηση μέχρι το τέλος των μετρήσεων. Η διαδικασία απαιτεί τουλάχιστον τέσσερις ορατούς δορυφόρους και από τους δύο δέκτες. Ο χρόνος παρατήρησης καθορίζεται από το είδος των δεκτών, την απόσταση ανάμεσα στους δέκτες και την επιθυμητή ακρίβεια. Ο προσδιορισμό του διανύσματος βάσης γίνεται μεταγενέστερα στο γραφείο με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού προγράμματος. Όταν η απόσταση μεταξύ των δεκτών κυμαίνεται στα δεκαπέντε (15km) χιλιομέτρων, χρησιμοποιείται μόνο η L1, για αποστάσεις μεγαλύτερες από δεκαπέντε (15km) μέχρι εκατό (100km) χιλιόμετρα εφαρμόζεται (L1/L2). Οι παρατηρήσεις της ψευδοαπόστασης ανάμεσα στον δέκτη και τον δορυφόρο δίνουν τις καλύτερες προσεγγιστικές συντεταγμένες και βοηθούν τον συγχρονισμό των δύο χρονομέτρων.

Η επίλυση των ασαφειών φάσης υλοποιείται με τη βοήθεια των παρατηρήσεων της ψευδοαπόστασης και των παρατηρήσεων της φάσης του κύματος. Η αναμενόμενη ακρίβεια του θα είναι λιγότερο από ένα (1cm) εκατοστό του μέτρου. Οι πληροφορίες για το σχετικό στατικό εντοπισμό προήλθαν από διεθνής βιβλιογραφία (Gps Surveyors Field Guide[Static Surveying] και A Survey of Static Analysis Methods[Internal Report]). Η εικόνα που ακολουθεί οπτικοποιεί τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού θέσης.



Εικόνα 2-3: Στατικός εντοπισμός θέσης (Πηγή: <http://diaviou.auth.gr/sites/default/files/pegatraining/10.2.3-GPS-Lakakis.pdf>)

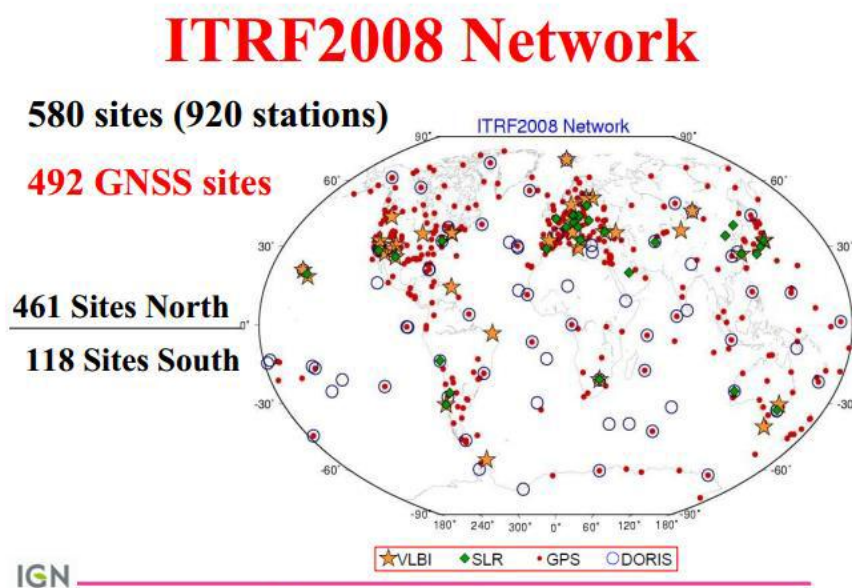
2.1.6 Συστήματα Αναφοράς

Η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων έγινε από τα λογισμικά επεξεργασίας GrafNav (Επίλυση Βάσεων GNSS) και GrafNet (Επίλυση Δικτύων GNSS), αναλυτική περιγραφή γίνεται στο Κεφ. 3. Το σύστημα αναφοράς που εφαρμόστηκε για το μετασχηματισμό των συντεταγμένων ήταν το Διεθνές Πλαίσιο Αναφοράς International Terrestrial Reference Frame (ITRF). Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η προτελευταία έκδοση του Γεωκεντρικού Πλαισίου Αναφοράς ITRF του 2008 (ITRF08). Θεωρείται ότι οι διαφορές ανάμεσα στο ITRF08 και στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84 είναι απειροελάχιστες και δεν απαιτείται κάποια μορφή μετασχηματισμού (μετάθεση, στροφή και κλίμακα). Για της ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνει επίσης μετατροπή των συντεταγμένων και στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ87(GR87). Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα συστήματα αναφοράς που έλαβαν μέρος στην επεξεργασιών των GNSS μετρήσεων.

2.1.6.1 Το Διεθνές Γήινο Σύστημα Αναφοράς ITRS και το Πλαίσιο Αναφοράς ITRF

Το Διεθνές Γήινο Σύστημα Αναφοράς ITRS (International Celestial Reference System), τελεί υπό την εποπτεία της IERS και υλοποιεί το Διεθνές Πλαίσιο Αναφοράς ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Το κέντρο του συγκεκριμένου συστήματος αναφοράς ταυτίζεται με το κέντρο μάζας της Γης. Οι άξονες του γεωκεντρικού αυτού συστήματος ακολουθούν τον αρχικό προσανατολισμό της IERS. Το ITRF (<http://itrf.ensg.ign.fr>) διαθέτει Καρτεσιανές Συντεταγμένες (X,Y, Z) και οι παράμετροι του προσδιορίζονται από επιλεγμένους

σταθμούς σε όλη την επιφάνεια της Γης (περίπου 1500), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-5.

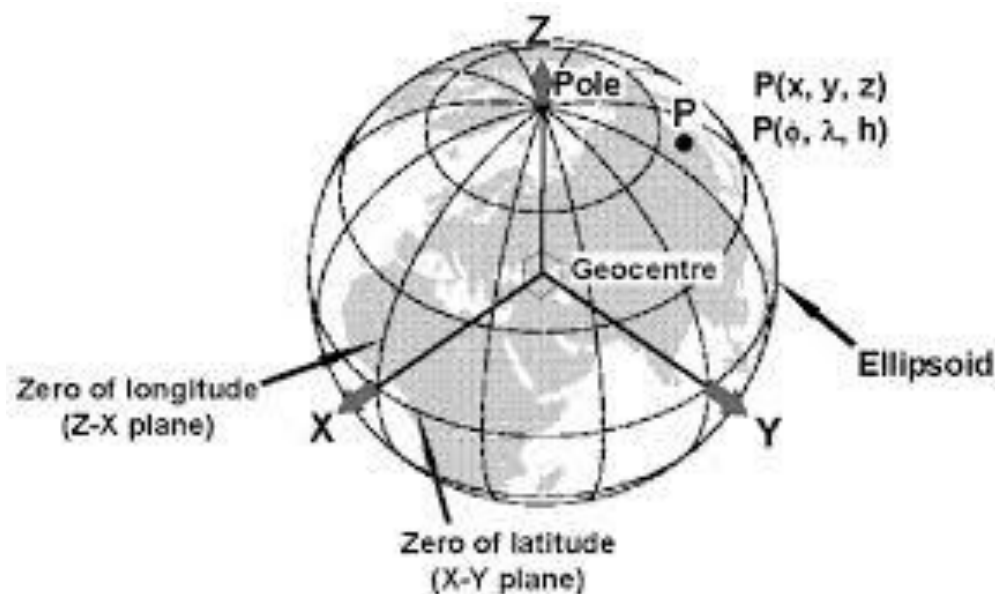


Εικόνα 2-4: Το γεωδαιτικό πλαίσιο αναφοράς ITRF 2008 (Πηγή: <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2013/icg-8/9.pdf>)

2.1.6.2 Το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84

Το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς World Geodetic System 1984 είναι ένα επίγειο Γεωκεντρικό Σύστημα αναφοράς, ενιαίο για ολόκληρη τη Γη. Σκοπός του σύμφωνα με το IERS ήταν η ταύτιση του με το Διεθνές Γήινο Σύστημα Αναφοράς ITRS (<https://confluence.gps.nl/pages/viewpage.action?pageId=29855173>)

Η απόλυτη θέση ενός σημείου στο WGS84, προσεγγίζει ακρίβεια μεγέθους ενός (1 m) έως τριών (3 m) μέτρων, ανάλογα με τη μέθοδο που θα εφαρμοστεί. Οι μετρημένες βάσεις ενός GNSS συστήματος πρέπει να υπολογίζονται σε σχέση με κάποια από τις κορυφές του WGS84, ώστε να προσδιοριστεί η σχετική θέση του σημείου στην επιφάνεια της Γης. Το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ορίζεται από 13 μόνιμους σταθμούς αναφοράς και παρακολούθησης των δορυφόρων. Το WGS84 δίνει την αντίληψη ενός γεωκεντρικού συστήματος συντεταγμένων, που περιλαμβάνει ένα γήινο ελλειψοειδές, ένα γήινο μοντέλο βαρύτητας, και το μετασχηματισμό των παραμέτρων για άλλα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς (Moritz 1980).



Εικόνα 2-5: Το Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84 (Πηγή: http://www.gpspassion.com/forumsen/topic.asp?TOPIC_ID=10915)

2.1.6.3 Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ87(GR87)

Το ΕΓΣΑ87 παρουσιάστηκε το 1987 από τη Γεωδαιτική και Γεωφυσική Επιτροπή του Κράτους (ΓΓΕΚ). Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς υλοποιείται από το γήινο ελλεισοειδές GRS80, το οποίο βρίσκεται σε παράλληλη μετάθεση ως προς το ITRF, με τρόπο τέτοιο ώστε να προσαρμόζεται όσο το δυνατόν καλύτερα στο γεωειδές της ηπειρωτικής Ελλάδας. Η αφετηρία του συστήματος είναι το κεντρικό βάθρο CP (Central Pillar), του κέντρου δορυφόρων Διονύσου στην Αττική το οποίο αναφέρεται στο κέντρο του ελλεισοειδούς GRS80.

2.1.7 Συχνότητα Ελέγχου Εξοπλισμού GNSS

Η υποενότητα που ακολουθεί εμφανίζει χρήσιμες πληροφορίες για τη συχνότητα ελέγχου του εξοπλισμού GNSS. Οι πληροφορίες προέρχονται από την Αυστραλιανή Δημοσίευση (http://www.planning.act.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/21222/Guideline_No_9_-_GNSS_Verification.pdf). Οι 'μετρολογικές οδηγίες που εκδόθηκαν το 2010' (Surveyors (Surveyor-General) Practice Directions 2010 (No.2)) απαιτούν από τον τοπογράφο μηχανικό να ελέγχει τον εξοπλισμό GNSS σε ένα εγκεκριμένο γεωδαιτικό σύστημα, ύστερα από τις ακόλουθες δύο συνθήκες:

- Μια φορά κάθε δώδεκα (12) μήνες
- Αμέσως μετά από τις επισκευές των οργάνων

Ο έλεγχος των οργάνων δεν προτείνεται βέβαια μονάχα για τις δύο παραπάνω συνθήκες, αλλά απαιτείται να γίνεται και ύστερα από:

- Αναβάθμιση του συστήματος (εξοπλισμός ή λογισμικό)
- Αναβάθμιση του λογισμικού επεξεργασίας. Ο μηχανικός επειδή χρησιμοποιεί πολλαπλά πακέτα επεξεργασίας για τον έλεγχο των δεκτών GNSS πρέπει αρχικά να προσδιορίζει τα δορυφορικά δεδομένα σε όλα τα διαθέσιμα προγράμματα.

Κάθε μέθοδος εντοπισμού GNSS απαιτεί διαφορετικά πειράματα ελέγχου. Τα τεστ θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε ετήσια βάση, ώστε να μπορεί να εξακριβωθεί η ακρίβεια των οργάνων. Οι τεχνικές παρατήρησης των δεκτών GNSS είναι οι παρακάτω και πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις:

- Η Μέθοδος Στατικού / Γρήγορου Στατικού Εντοπισμού απαιτεί την ύπαρξη ενός δικτύου σταθερών σταθμών με διαφορετικά μήκη βάσεων μεταξύ των σημείων.
- Η Μέθοδος Κινηματικού Εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο απαιτεί την ύπαρξη σημείων ενδιαφέροντος σε απόσταση μέχρι δέκα (10km) χιλιόμετρα από το σταθμό αναφοράς.
- Η Μέθοδος Κινηματικού Εντοπισμού με έναν σταθμό αναφοράς συνεχώς σε λειτουργία (εικοσιτετράωρος δέκτης) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο δορυφορικών βάσεων, όπως και για τη δοκιμή άλλων μεμονωμένων σημείων αν απαιτείται.

Επιπλέον, συμβουλευτικά δίνεται η οδηγία στους χρήστες που πραγματοποιούν ελέγχους που δεν περιλαμβάνονται στις 'Μετρολογικές οδηγίες του 2007' (ICSM Publication No.1 Standards and Practices for Control Surveys (SP1; ICSM, 2007) να ελέγχουν τον εξοπλισμό GNSS σε ετήσια βάση, σύμφωνα με τις ακόλουθες διαδικασίες, έτσι ώστε να παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα.

2.1.8 Προτεινόμενες Διαδικασίες Προσδιορισμού Ακρίβειας GNSS

Οι διαδικασίες ελέγχου κατά τις Αυστραλιανές οδηγίες (GNSS Equipment Verification) διακρίνονται στις εργασίες υπαίθρου, δηλαδή της συλλογής των δεδομένων, έπειτα της επεξεργασίας των μετρήσεων και στο τέλος, της στατιστικής αξιολόγησης τους. Στη συνέχεια, θα εξηγηθεί με συντομία πως διακρίνεται η ποιότητα της τοπογραφικής εργασίας και ποιές εργασίες υπαίθρου επιβάλλεται να γίνουν.

2.1.8.1 Ποσοτικοποίηση της Ποιότητας της Τοπογραφικής Εργασίας

Οι αρχικές 'Μετρολογικές οδηγίες του 2007' (ICSM Publication No.1 Standards and Practices for Control Surveys (SP1; ICSM, 2007) αναφέρονται στην ποσοτικοποίηση της ποιότητας της τοπογραφικής εργασίας μέσω της αβεβαιότητας θέσης, της τοπικής αβεβαιότητας, της τάξης και της κατηγορία του δικτύου.

Αβεβαιότητα Θέσης είναι η σφάλμα των οριζοντιογραφικών και υψομετρικών συντεταγμένων, που εκφράζεται σε μέτρα (m) για διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Τοπική Αβεβαιότητα είναι ο μέσος όρος της σχετικής αβεβαιότητας των οριζοντιογραφικών ή υψομετρικών συντεταγμένων, ενός σημείου σε σχέση με τα γειτονικά σημεία. Η αβεβαιότητα εκφράζεται για διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Η Τάξη του δικτύου (Class) είναι συνάρτηση της ακρίβειας των μετρήσεων, της γεωμετρίας του δικτύου, της επιθυμητής ακρίβειας του, της τεχνικής παρατήρησης, του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε και του λογισμικού επεξεργασίας. Η τάξη επαληθεύεται από τη συνόρθωση του δικτύου με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.

Η Κατηγορία (Order) είναι συνάρτηση της τάξης του δικτύου, καθώς περιλαμβάνει τη συσχέτιση των νέων δεδομένων με το υπάρχον δίκτυο. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνει την ακρίβεια του μετασχηματισμού των συντεταγμένων από το ένα στο άλλο.

Η Αβεβαιότητα Θέσης και η Τοπική Αβεβαιότητα εκφράζονται για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, ενώ η Τάξη και η Κατηγορία δικτύου εκφράζονται για διάστημα εμπιστοσύνης (1σ). Τα δύο τελευταία μεγέθη εξαρτώνται άμεσα από την απόσταση μεταξύ των σημείων.

Η ποσοτικοποίηση της ακρίβειας που αναφέρθηκε προηγουμένως δημιούργησε ασάφειες που διορθώθηκαν από τις επικαιροποιημένες οδηγίες του 2014, εισάγοντας τους όρους της αβεβαιότητας σημείου και δικτύου. Η ποιότητα της εργασίας μπορεί πλέον να κατηγοριοποιείται ανάλογα με την ακρίβεια του συστήματος. Η ταξινόμηση γίνεται από τις ακόλουθες κατηγορίες σφαλμάτων:

Αβεβαιότητα Τοπογραφικής Έρευνας (SU): Η ακρίβεια των οριζοντιογραφικών ή/ και των υψομετρικών συντεταγμένων των σημείων του δικτύου είναι απαλλαγμένη από σφάλματα του συστήματος αναφοράς. Ως εκ τούτου, η τυπική απόκλιση εκφράζει την αβεβαιότητα που προκύπτει από τις μετρήσεις των σημείων, την ακρίβεια της μέτρησης και τη γεωμετρία του δικτύου. Η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων είναι η κατάλληλη μέθοδος για την προσδιορισμό της τυπικής απόκλισης. Η τιμή της εκφράζεται για διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Αβεβαιότητα Σημείου (PU): Η ακρίβεια των οριζοντιογραφικών ή/και υψομετρικών συντεταγμένων των σημείων του δικτύου εξαρτάται και από το υπάρχον σύστημα αναφοράς της έρευνας. Η Αβεβαιότητα Σημείου (PU) συμπεριλαμβάνει και το σφάλμα της τυπικής απόκλισης (SU). Η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων είναι η κατάλληλη μέθοδος για την προσδιορισμό της Αβεβαιότητας Σημείου (PU). Η τιμή της εκφράζεται για διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Σχετική Αβεβαιότητα (RU): Η ακρίβεια των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων σε σχέση με τις Υψομετρικές συντεταγμένες για κάθε δύο σημεία του δικτύου. Η Σχετική Αβεβαιότητα μπορεί να εκφραστεί για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, αλλά και σε αναλογική μορφή ανά μονάδα μήκους (ppm).

Η Αβεβαιότητα Τοπογραφικής Εργασίας (SU), η Αβεβαιότητα Θέσης (PU) και η Σχετική Αβεβαιότητα (RU) πρέπει να εκφράζονται για διάστημα εμπιστοσύνης 95% χρησιμοποιώντας κατά περίπτωση:

- Τυπικές Αποκλίσεις
- Τυπικό Σφάλμα Έλλειψης/ Έλλειψοειδούς
- Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης

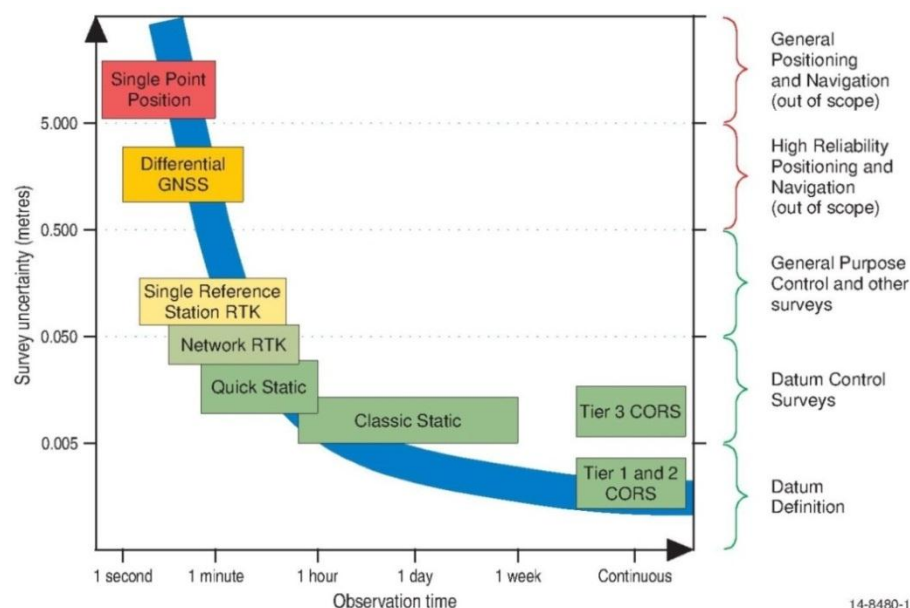
Η Τυπική Απόκλιση σε μονοδιάστατα μεγέθη για διάστημα εμπιστοσύνης 95% υπολογίζεται με πολλαπλασιασμό της εκτιμώμενης (σ) απόκλισης με τον Συντελεστή Κάλυψης ($K=1.960$).

Το Τυπικό Σφάλμα Έλλειψης/ Έλλειψοειδούς για διάστημα εμπιστοσύνης 95% υπολογίζεται με πολλαπλασιασμό των εκτιμώμενων αξόνων με το Συντελεστή Κάλυψης ($K=2.448$).

Η Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης για διάστημα εμπιστοσύνης 95% υπολογίζεται με πολλαπλασιασμό των εκτιμώμενων αξόνων με το Συντελεστή Κάλυψης ($K=2.796$).

Η ακτίνα (r) της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης, δηλαδή η τιμή της αβεβαιότητας για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, προσδιορίζεται από την τυπική έλλειψη σφάλματος και εκφράζεται ως ενιαία ποσότητα. Η ακτίνα (r) της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης υπολογίζεται από τη σχέση $r = a * K$ με $K = q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * C^3$ και $C = b / a$. Ο κύριος ημι-άξονας της έλλειψης σφάλματος συμβολίζεται με (a), ενώ ο ελάσσονος ημι-άξονας συμβολίζεται με (b). Οι παράμετροι της εξίσωσης (K) έχουν προκαθορισμένες τιμές: $q_0 = 1,960790$, $q_1 = 0,004071$, $q_2 = 0,114276$ και $q_3 = 0,371625$. Η έκφραση της (τριδιάστατης) κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% , λαμβάνεται με την αύξηση των αξόνων, που έχουν συντελεστή κάλυψης $k= 2.796$. Οι τιμές των (a) και (b) πρέπει να προέρχονται από τη συνόρθωση του δικτύου μέσω της a-posteriori διακύμανση του πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας.

Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει πόσο εφικτή είναι η αβεβαιότητα τοπογραφικής έρευνας (SU), που συνήθως βελτιώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παρατήρησης GNSS. Επιπλέον, απεικονίζει τις διαφορετικές τεχνικές GNSS κατά μήκος αυτής της συνέχειας και τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται τυπικά. Οι τεχνικές του κλασικού στατικού εντοπισμού (Classic Static) και του γρήγορου στατικού (Quick Static) GNSS επιτρέπουν τον καλύτερο έλεγχο του εντοπισμού, την αποφυγή χονδροειδών σφαλμάτων και την ελαχιστοποίηση της επίδρασης των διαφορετικών συστηματικών αναφοράς.



Εικόνα 2-6: Τεχνικές Έρευνας GNSS (Πηγή: <http://www.icsm.gov.au/publications/sp1/sp1v1-7.pdf>)

2.1.8.2 Εργασίας Υπαίθρου

Η συλλογή των δορυφορικών δεδομένων πραγματοποιείται από τρεις ομάδες πειραμάτων. Αρχικά υλοποιείται η μηδενική δοκιμή, όπου χρησιμοποιούνται δύο δέκτες που λαμβάνουν σήματα από μονάχα μία κεραία. Έπειτα, γίνεται μέτρηση της κάθε βάσης ξεχωριστά, τοποθετώντας τον έναν δέκτη στο σημείο με τις γνωστές συντεταγμένες και τον δεύτερο στο σημείο που επιθυμείται ο εντοπισμός των συντεταγμένων. Τέλος, γίνονται μετρήσεις από όλα τα σημεία προς όλα τα σημεία του δικτύου, επιχειρώντας την μετέπειτα συνόρθωση του δικτύου από τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων με έναν ή δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς.

2.1.9 Μηδενική Δοκιμή (Zero - Baseline Test)

Ο συγκεκριμένος έλεγχος (Zero - Baseline Test) μπορεί να εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό της ακρίβειας των μετρήσεων που προέρχονται από τους δέκτες, την αξιοπιστία του δορυφορικού δικτύου και του λογισμικού επεξεργασίας των δεδομένων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα στον τοπογράφο μηχανικό για όλα τα δεδομένα του συστήματος GNSS. Η δοκιμή πρέπει να πραγματοποιείται για όλα τα ζεύγη δεκτών (Base και Rover):

- Όταν αποκτάται ο εξοπλισμός GNSS
- Αμέσως μετά από κάθε επισκευή
- Και πριν από την αρχή ελέγχων υψηλής ακρίβειας

Η μηδενική δοκιμή επιτυγχάνεται με τη σύνδεση μιας κεραίας GPS σε δύο GNSS δέκτες χρησιμοποιώντας μονάχα ένα καλώδιο διαχωριστή κεραίας. Η διαδικασία παρουσιάζεται συνοπτικά στην παρακάτω εικόνα.

Καθώς δύο δέκτες μοιράζονται την ίδια κεραία. Αποκλίσεις όπως αυτές που εξαρτώνται από το δορυφόρο (ρολόι και εφημερίδες), η επίδραση της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα και ιονόσφαιρα) και σφάλματα από πολλαπλές διαδρομές εξαλείφονται κατά της διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων. Η ποιότητα του τελικού αποτελέσματος είναι συνάρτηση μόνο τυχαίων λαθών της παρατήρησης. Το υπολογισμένο σημείο αναφοράς πρέπει να είναι θεωρητικά ίσο με το μηδέν. Αποκλίσεις από την τιμή του μηδέν θεωρούνται σφάλματα που προέρχονται αποκλειστικά από το δέκτη.

Στον πλαίσιο της εργασίας αυτής αποκτήθηκε ο απαραίτητος εξοπλισμός του διαχωριστή της κεραίας. Ωστόσο δεν πραγματοποιήθηκε, γιατί οι δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα και ανήκουν στο εργαστήριο γενικής γεωδαισίας δεν παρέχουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης καλωδίου διαχωρισμού κεραίας. Οι εταιρείες Leica Topcon και Trimble, μετά από επικοινωνία απέκλεισαν τη πιθανότητα χρησιμοποίησης διαχωρισμού κεραίας.



Εικόνα 2-7: Μηδενική Δοκιμή- Zero - Baseline Test (Πηγή: http://www.planning.act.gov.au/_data/assets/pdf_file/0009/21222/Guideline_No_9_-_GNSS_Verification.pdf)

2.1.10 Σύγκριση των Δορυφορικών Βάσεων

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα δίκτυο μόνιμων βάθρων στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Αυτό το δίκτυο αποτελείται από το βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg), βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est), βάθρο κτιρίου Φυσικής (Fys) και βάθρο Γενικών Εδρών (Gen). Οι αποστάσεις των σημείων ενδιαφέροντος κυμαίνονται από 90m έως 370m μέτρων. Αναλυτικά η διαδικασία περιγράφεται στο Κεφ.3. Το δίκτυο που έχει οριστεί στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε τύπο δεκτών. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν μονάχα δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS.

Αρχικά, πραγματοποιούνται παρατηρήσεις ξεχωριστά για την κάθε βάση, δηλαδή γίνονται μετρήσεις μεταξύ δύο σημείων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, ώστε να επιτευχθεί διαφορετική γεωμετρία στους δορυφόρους. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται παρατηρήσεις μεταξύ όλων των κορυφών του δικτύου. Όλες οι μετρήσεις γίνονται με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού Θέσης.

Οι μετρήσεις ξεχωριστά κάθε βάσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο βήματα:

- **Πρώτο Βήμα:** Η πρώτος δέκτης GNSS βρίσκεται στο βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου, ενώ ο δεύτερος δέκτης τοποθετείται στην αρχή στο βάθρο Φοιτητικών Εστιών, στη συνέχεια στο βάθρο Γενικών Εδρών και τέλος στο βάθρο κτιρίου Φυσικής.
- **Δεύτερο Βήμα:** Εναλλάσσονται οι δέκτες GNSS, έτσι ώστε ο δεύτερος δέκτης GNSS να βρίσκεται στο βάθρο Φοιτητικών Εστιών. Ο πρώτος δέκτης GNSS τοποθετείται αρχικά στο βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου, έπειτα βάθρο Γενικών Εδρών και τελικά στο βάθρο κτιρίου Φυσικής. Η εναλλαγή των δεκτών απαιτείται προκειμένου να επιτρέψει τη συλλογή δεδομένων από δορυφόρους με διαφορετική γεωμετρική κατανομή, ώστε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Οι μετρήσεις του δικτύου πραγματοποιήθηκαν από τα ακόλουθα βήματα:

- **Τρίτο Βήμα:** Η μέθοδος που περιγράφηκε στο δεύτερο βήμα χρησιμοποιείται σε όλα τα σημεία του δικτύου. Η τεχνική παρατήρησης παραμένει πάντοτε η ίδια, καθώς εφαρμόζεται σχετικός στατικό εντοπισμός.
- **Τέταρτο Βήμα:** Τα ζευγάρια παρατηρήσεων πρέπει να συγκριθούν με το εργοστασιακό πιστοποιητικό βαθμονόμησης, δηλαδή τις εργοστασιακές προδιαγραφές που εκδίδονται από το κατασκευαστή. Τα επιτρεπτά όρια για αποστάσεις είναι πέντε (0,005m) χιλιοστά
- **Πέμπτο Βήμα:** Ο υπολογισμός γεωδαιτικών συντεταγμένων γίνεται σε φύλα εργασίας excel. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με πρότυπες μετρήσεις για να διαπιστωθεί αν οι τιμές κινούνται εντός επιτρεπτών ορίων.

2.1.11 Στατική/ Γρήγορη Στατική Επαλήθευση

Η σύγκριση των δορυφορικών βάσεων είναι χρήσιμη για την ανάλυση των GNSS μετρήσεων σε σχέση με τις πρότυπες (πιστοποιημένες) μετρήσεις. Ένα δίκτυο που αποτελείται από βάσεις αναφοράς μεταβαλλόμενων μηκών θεωρείται ότι είναι πιο κατάλληλη μέθοδος επαλήθευσης και επιτρέπει, ο έλεγχος να διεξάγεται κάτω από πραγματικές συνθήκες εργασίας. Κατά τη συλλογή των δεδομένων ακολουθήθηκαν οι παρακάτω προδιαγραφές:

(Α) Εξοπλισμός

- Αρχικά χρειάζεται να έχουν πραγματοποιηθεί όλες οι προαπαιτούμενες διεργασίες, ώστε ο εξοπλισμός να βρίσκεται σε καλή κατάσταση λειτουργίας και ρύθμισης.
- Στη συνέχεια, πρέπει οι κεραιές GNSS να είναι στραμμένες προς το Βορρά σε όλη τη διάρκεια των πειραμάτων.
- Έπειτα, επιβάλλεται να συμπληρώνονται προσεκτικά τα φύλλα καταγραφής των παρατηρήσεων του πεδίου, δηλαδή να αναγράφονται σε όλα τα έντυπα όλες οι πληροφορίες, όπως ο τύπος του δέκτη, ο σειριακός αριθμός των οργάνων και το λογισμικό επεξεργασίας.
- Μετεωρολογικές μετρήσεις δεν απαιτούνται, όμως οι προεπιλεγμένες ρυθμίσεις του λογισμικού για τη μείωση της τροπόσφαιρας μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
- Οι δέκτες καταγράφουν δεδομένα κάθε πέντε (5sec) δευτερόλεπτα.
- Ο ελάχιστος αριθμός δεδομένων που μπορούν να παρατηρηθούν αυτόματα από όλους τους δέκτες είναι:
 - Πέντε (5) κοινοί δορυφόροι
 - Γωνία ανύψωσης δεκαπέντε (15°) μοιρών ή μεγαλύτερη από γωνία του ορίζοντα

(Β) Διαδικασίες Μέτρησης

- Ο προτεινόμενος ελάχιστος χρόνος παρατήρησης για τον στατικό εντοπισμό GNSS είναι δέκα (10min) λεπτά και αυξάνεται κατά δύο (+2 min/km) λεπτά ανά χιλιόμετρο. Το ελάχιστο χρονικό διάστημα είναι είκοσι (20min) λεπτά. Ανάλογα με τη γεωμετρία των δορυφόρων προτείνεται ελάχιστο χρονικό διάστημα πέντε (5min) με δέκα (10min) λεπτών για τεχνικές Γρήγορου Στατικού εντοπισμού.

- Απαιτείται ελάχιστο κενό χρονικό διάστημα είκοσι (20min) λεπτών μεταξύ των παρατηρήσεων, για να επιτραπεί να αλλάξει η γεωμετρία των δορυφόρων.
- Οι βάσεις πρέπει να παρατηρηθούν και να επεξεργαστούν ως ξεχωριστές μονάδες. Κριτήριο για την επιλογή των κατάλληλων βάσεων αποτελεί η σχετική απόσταση μεταξύ των δύο σημείων. Ο προσδιορισμός της σχετικής απόστασης γίνεται με πρόχειρους, απλούς ελέγχους.
- Το προϋπάρχον δίκτυο μπορεί να υποστεί επέκταση με την εισαγωγή επιπλέον σημείων. Τα προστιθέμενα σημεία πρέπει να ενώνονται τουλάχιστον από 3 ανεξάρτητες βάσεις. Η προτεινόμενη ελάχιστη απόσταση των σημείων είναι 160m.
- Όλες οι μετρήσεις των δεκτών GNSS πρέπει να παίρνουν μορφή 3 διαστάσεων. Μετασχηματίζονται σε τρισδιάστατα συστήματα αναφοράς.
- Πριν την έναρξη των μετρήσεων πρέπει να γίνεται ο προαπαιτούμενος έλεγχος του εξοπλισμού και να καθορίζονται οι ρυθμίσεις του λογισμικού.

(Γ) Επεξεργασία

- Η συνόρθωση του δικτύου με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων πρέπει να πραγματοποιείται με έναν σταθερό σταθμό αναφοράς (βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου), για να επιβεβαιωθεί ότι δεν γίνεται κάποιο σημαντικό λάθος στις παρατηρήσεις και καλύπτονται οι προβλεπόμενες προδιαγραφές. Οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες που προκύπτουν μετά τη συνόρθωση πρέπει να είναι μικρότερες από 10mm+15ppm για διάστημα εμπιστοσύνης 95%.
- Η συνόρθωση του δικτύου με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων πρέπει να πραγματοποιείται με δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς (βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου και βάθρο Φοιτητικών Εστιών) Η προτεινόμενη μέγιστη απόσταση του δικτύου μεταξύ δύο σημείων πρέπει να είναι όση και η απόσταση των δύο σταθερών σημείων. Η οριζοντιογραφική απόκλιση πρέπει να είναι μικρότερη των 0,015m και η υψομετρική απόκλιση πρέπει να είναι μικρότερη από 0,030m.
- Η στατιστική ανάλυση των υπολοίπων μετά στη συνόρθωση με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων πρέπει να υποδεικνύει ότι η έρευνα κινείται μέσα στα επιτρεπτά όρια. Χρησιμοποιήθηκαν η κατανομή X^2 και η κατανομή Fischer.

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει συνοπτικά τις προτεινόμενες προδιαγραφές για τοπογραφικές εργασίας με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού και του γρήγορου στατικού εντοπισμού.

SU < 15 mm Για Οριζοντιογραφικές Συντεταγμένες	SU < 30 mm Για Οριζοντιογραφικές Συντεταγμένες
SU < 20 mm Για Υψομετρικές Συντεταγμένες	SU < 50 mm Για Υψομετρικές Συντεταγμένες
Τεχνικές:	
Σχετικού Στατικού Εντοπισμού	Σχετικού Στατικού Εντοπισμού, Γρήγορου Στατικού Εντοπισμού για Βάσεις μικρότερες των 10 km
Δέκτες:	
Ικανοί για καταγραφή δεδομένων Διπλής Συχνότητας και Εντοπισμού Φάσης	
Κεραίες:	
Καθορίζουν την Ποιότητα της Έρευνας	
Υψηλής ακρίβειας Κέντρωση, Οριζοντίωση του Τρίποδου	
Χρόνος Παρατήρησης:	
Από 6 έως 24 ώρες Ανάλογα με το Μήκος της Βάσης	Σχετικός Στατικός Εντοπισμός: Από 1 έως 6 ώρες Ανάλογα με το μήκος της Βάσης. Προτεινόμενος Χρόνος είναι 1 ώρα και 5 λεπτά επιπλέον για κάθε χιλιόμετρο Γρήγορος Στατικός Εντοπισμός: Συστάσεις του Κατασκευαστή Σχετικά με Ποιότητα της Ανάλυσης για Δεδομένο Μήκος Βάσης και Αριθμό Δορυφόρων
Μέγιστος Διάστημα Χρόνου Καταγραφής:	
30 δευτερόλεπτα	Σχετικός Στατικός Εντοπισμός: Από 15 έως 30 δευτερόλεπτα Γρήγορος Στατικός Εντοπισμός: Από 5 έως 15 δευτερόλεπτα
Επιπλέον Πληροφορίες:	
Προτεινόμενες Ανεξάρτητες Παρατηρήσεις (Με κενό διάστημα 30 λεπτών και επανεκκίνηση της κεραίας, αν είναι σε τρίποδο)	
Η κεραία πρέπει να έχει προσανατολισμό 5 μοιρών από τον πραγματικό Βορρά	
Το Σύστημα Αναφοράς πρέπει να συνδέεται με τουλάχιστον δύο σημεία ελέγχου, τα οποία θα βρίσκονται στο υπάρχον δίκτυο	
Πίνακας 2-1: Προτεινόμενες προδιαγραφές για έρευνες Σχετικού Στατικού εντοπισμού και Γρήγορου Στατικού εντοπισμού (Πηγή: http://www.icsm.gov.au/publications/sp1/Guideline-for-Control-Surveys-by-GNSS_v2.1.pdf)	

Επίσης, σε ότι αφορά στο λογισμικό επεξεργασίας μπορεί να γίνει χρήση διαφορετικών τύπων εφημερίδων. Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκαν μόνο γρήγορες εφημερίδες, επειδή κυρίως αυτές χρησιμοποιούνται σε καθημερινές τοπογραφικές εργασίες. Οι τελικές εφημερίδες χρειάζονται κυρίως σε δίκτυα ακρίβειας πολύ μεγαλύτερων αποστάσεων.

SU < 15 mm Για Οριζοντιογραφικές Συντεταγμένες	SU < 30 mm Για Οριζοντιογραφικές Συντεταγμένες
SU < 20 mm Για Υψομετρικές Συντεταγμένες	SU < 50 mm Για Υψομετρικές Συντεταγμένες
Λογισμικό Επεξεργασίας GNSS:	
Ικανότητα Προσδιορισμού Συντελεστή Συσχέτισης για Κάθε Μέτρησης	
Τύπος Κεραίας GNSS:	
IGS/NGS	Παρεχόμενο Λογισμικό
Εφημερίδες Δορυφόρων:	
Τελικές Εφημερίδες	Τελική, Γρήγορη ή Πολύ- Γρήγορη Εφημερίδα ή Αναμετάδοση Εφημερίδας

Πίνακας 2-2: Οι Ελάχιστες Προδιαγραφές του Λογισμικό Επεξεργασίας GNSS για Σχετικό Στατικό Εντοπισμό και Γρήγορο Στατικό Εντοπισμό (Πηγή: http://www.icsm.gov.au/publications/sp1/Guideline-for-Control-Surveys-by-GNSS_v2.1.pdf)

2.1.12 Στατικές Μελέτες (Static Surveys)

Οι σύγχρονες τοπογραφικές εργασίες ασχολούνται με τρισδιάστατα συστήματα συντεταγμένων. Η Υψομετρική θέση χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή σε σχέση με την οριζοντιογραφική θέση. Στόχος των GNSS δεχτών είναι η επίτευξη ακρίβειας ενός (0,01m) εκατοστού ή μερικών χιλιοστών. Καθοριστικοί παράμετροι της υψομετρικής ακρίβειας είναι:

- Η γεωμετρία των δορυφόρων
- Ο τύπος της κεραίας
- Ο χρόνος παρατήρησης, επειδή όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα παρατήρησης τόσο μειώνονται οι ατμοσφαιρικές επιπτώσεις (κυρίως της τροπόσφαιρας στην υψομετρική ακρίβεια)

Η επιθυμητή ακρίβεια της υψομετρικής θέσης παίζει πρωταρχικό ρόλο στην επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού GNSS, της τεχνικής παρατήρησης και στην επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων. Σκοπός της όλης διαδικασίας είναι τεκμηρίωσης της υψομετρικής ακρίβειας, η οποία ανά περίπτωση πρέπει να είναι μικρότερη από είκοσι (<20mm) και πενήντα (<50mm) χιλιοστά. Γενικά, θεωρείται ότι οι δέκτες GNSS μπορούν να επιτύχουν υψομετρική ακρίβεια μιάμιση έως δύο φορές μικρότερη από οριζοντιογραφική ακρίβεια. Ως εκ τούτου,

η οριζοντιογραφική ακρίβεια πρέπει να είναι μικρότερη από δεκαπέντε (<15mm) και τριάντα (<30mm) χιλιοστών ανά περίπτωση.

2.1.13 Αξιολόγηση της Αβεβαιότητας της Τοπογραφικής Εργασίας

Οι στατιστικές δοκιμές σε ένα δίκτυο οριζοντίου και υψομετρικού ελέγχου είναι απαραίτητες για την αξιοπιστία του δορυφορικού δικτύου. Οι παρακάτω σειρές πειραμάτων εφαρμόζονται για την αξιολόγηση της ποιότητας της έρευνας και των αποτελεσμάτων που πηγάζουν από αυτές.

2.1.13.1 Τοπικός Έλεγχος (Local Test)

Ο τοπικός έλεγχος είναι μια διαδικασία ελέγχου μεμονωμένων βάσεων για την αξιολόγηση της ποιότητας της μέτρησης και τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της. Τα σφάλματα που προκύπτουν από την επίλυση της κάθε βάσης ξεχωριστά πρέπει να κυμαίνονται εντός των επιτρεπτών ορίων για συγκεκριμένο διάστημα εμπιστοσύνης. Ο τοπικός έλεγχος αποδεικνύει ότι:

- Δεν παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων
- Όλες οι μετρήσεις είναι κατάλληλα σταθμισμένες
- Όλες οι παρατηρήσεις πληρούν τα κριτήρια ακρίβειας του συστήματος

Ο τοπικός έλεγχος πρέπει να ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Σφάλματα που υπερβαίνουν το άνωθεν όριο για διάστημα εμπιστοσύνης 95% πρέπει να απορρίπτονται και να επαναξιολογείται εκ νέου η αβεβαιότητα των μετρήσεων ή/και των επιβαλλόμενων περιορισμών.

2.1.13.2 Ολικός Έλεγχος (Global Test)

Ο ολικός έλεγχος είναι μια διαδικασία εκτίμησης, βασισμένη στη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, για την αξιολόγηση της ποιότητας του δικτύου. Τα σφάλματα που προκύπτουν από τη συνόρθωση του δικτύου με έναν ή δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς πρέπει να ακολουθούν την κατανομή X^2 .

Επιπλέον, αν θεωρηθεί αυθαίρετα ότι η a-priori μονάδα βάρους είναι ένα, επιχειρείται η a-posteriori μονάδα βάρους να είναι μονάδα. Γεγονός που υποδηλώνει ότι οι αρχικές εκτιμήσεις των σφαλμάτων και οι περιορισμοί που επιλέγηκαν είναι αποδεκτοί. Ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στην a-posteriori και a-priori τυπική μονάδα βάρους πρέπει να είναι κοντά στη μονάδα.

- Αν οι τιμές που προκύπτουν είναι μεγαλύτερες της μονάδας, τότε υποδεικνύεται ότι μία ή περισσότερες εκ των αρχικών εκτιμήσεων της ακρίβειας είναι υπεραισιόδοξη, είτε υπάρχει χονδροειδές σφάλμα στις μετρήσεις.

- Αν οι τιμές που προκύπτουν είναι μικρότερες της μονάδας, τότε υποδεικνύεται ότι οι μετρήσεις ήταν καλύτερες από τις αναμενόμενες.

Ο τοπικός και ο ολικός έλεγχος είναι ο ελάχιστος απαιτούμενος έλεγχος για να αποδειχτεί η αξιοπιστία του δικτύου. Αν και δεν είναι πάντα πιθανό να επιτυγχάνονται a-posteriori τυπικές μονάδες βάρους κοντά στη μονάδα.

2.2 Απλοποιημένο – Σύνθετο Τεστ

Οι δύο τελευταίοι στατιστικοί έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν είναι το απλοποιημένο (Simplified Test Procedure) και το σύνθετο τεστ (Full Test Procedure), όπως προτείνεται για τον έλεγχο των δεκτών GNSS σε σχετικό κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου (RTK), σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-8. Οι έλεγχοι αυτοί αναφέρονται σε ένα κοινό πεδίο μετρήσεων, που αποτελείται από τα προαναφερθέντα βάρη της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας διερευνήθηκε κατά πόσο οι ίδιες διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν για τον έλεγχο των δεκτών GNSS στο σχετικό στατικό εντοπισμό σε τοπογραφικές εργασίες.

Ο απλοποιημένος έλεγχος πρέπει να γίνεται σε κάθε σειρά μετρήσεων, γιατί εντοπίζει χονδροειδή σφάλματα. Η πλήρης στατιστική επεξεργασία υλοποιείται στον σύνθετο έλεγχο, επειδή υπάρχουν πλεονάζουσες παρατηρήσεις που επιτρέπουν τον υπολογισμό των τυπικών αποκλίσεων.

2.2.1 Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test)

Το απλοποιημένο τεστ εξετάζει κάθε δορυφορική βάση ξεχωριστά και ανεξάρτητα. Στόχος του εν λόγω ελέγχου είναι ο προσδιορισμός χονδροειδών, συστηματικών σφαλμάτων. Επίσης, ελέγχεται κατά πόσο τη ακρίβεια του συγκεκριμένου δέκτη κυμαίνεται εντός των επιτρεπτών ορίων. Τα όρια είναι η ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή.

2.2.2 Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure)

Το σύνθετο τεστ εφαρμόζεται για την ανίχνευση της ακρίβειας ενός GNSS. Ο έλεγχος αποσκοπεί στον προσδιορισμό δύο πειραματικών μεγεθών, τις πειραματικές τυπικές αποκλίσεις της οριζοντιογραφικής και υψομετρικής θέσης, σύμφωνα με αυτές τις τιμές πραγματοποιείται τελικά ο στατιστικός έλεγχος.

Ο σύνθετος έλεγχος καθορίζει:

- Την ακρίβεια του εξοπλισμού GNSS υπό συγκεκριμένες συνθήκες (βραχυχρόνιες και μακροπρόθεσμες επιρροές)
- Την ακρίβεια του εξοπλισμού GNSS για διαφορετικά χρονικά διαστήματα και διαφορετικές συνθήκες μέσω των πολλαπλών δειγμάτων
- Σύγκριση δεκτών GNSS υπό παρόμοιες καταστάσεις

Το στατιστικό τεστ επιλέγει την κατάλληλη κατανομή ανάλογα με τη επεξεργασία των δεδομένων που επιθυμείται να πραγματοποιηθεί. Η διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφ. 4. Οι κατανομές που χρησιμοποιήθηκαν είναι η κατανομή X^2 και η κατανομή Fischer.

Κεφάλαιο 3 : Εργασία Πεδίου

3.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αναφέρεται στις εργασίες πεδίου που πραγματοποιήθηκαν κατά τον έλεγχο των δεκτών GNSS (Global Navigation Satellite System) στο σχετικό στατικό εντοπισμό σε τοπογραφικές εργασίες. Αρχικά, περιγράφεται η περιοχή μελέτης, η οποία βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη της Ζωγράφου Αττικής. Έπειτα, παρουσιάζεται ο εξοπλισμός και τα λογισμικά επεξεργασίας μετρήσεων. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στα σημεία ενδιαφέροντος, όπως και στο δορυφορικό δίκτυο παρατήρησης. Τέλος, ακολουθεί αναλυτική επεξήγηση των διαδικασιών που εφαρμόστηκαν, καθώς και των δύο σειρών πειραμάτων.

3.2 Περιοχή Μελέτης

Ο έλεγχος της αξιοπιστίας του δικτύου και ο εντοπισμός της ακρίβειας των δεκτών υλοποιήθηκε σε δύο διαφορετικές ομάδες πειραμάτων. Το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός ενός δικτύου σταθερών σταθμών με διαφορετικά μήκη βάσεων μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα επιλέγεται ένα ελεγμένο γεωδαιτικό δίκτυο με γνωστές συντεταγμένες στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης. Τα σημεία ενδιαφέροντος είναι τιμεντένια βάθρα τοποθετημένα στις ταράτσες των κτιρίων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Η περιοχή μελέτης έχει συνολικό εμβαδόν 1000 στρέμματα και κτιριακές εγκαταστάσεις έκτασης 24000m². Το δίκτυο διαθέτει 4 τιμεντένια βάθρα, ομοιόμορφα κατανομημένα σε όλη την περίμετρο της περιοχής. Όλα τα βάθρα πληρούν τα κριτήρια ορατότητας, προσβασιμότητας και απόστασης.



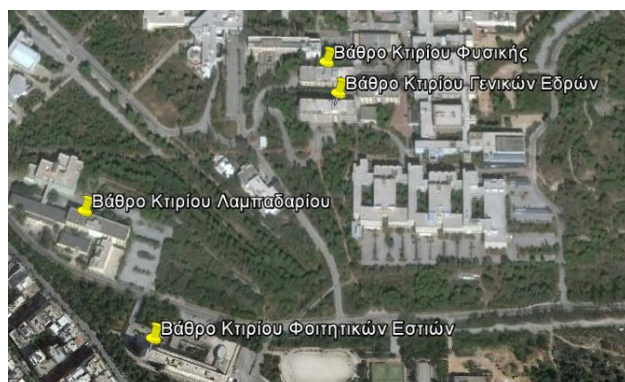
Εικόνα 3-1: Περιοχή Μελέτης, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
(Πηγή: Google Earth)

3.3 Αναγνώριση Περιοχής Μελέτης

Η αναγνώριση της περιοχής έγινε με επιτόπιους ελέγχους στις ταράτσες των εκάστοτε κτιρίων. Ο επιτόπιος έλεγχος οδήγησε στην αξιολόγηση της κατάστασης των τσιμεντένιων βάθρων, στην εκτίμηση της ορατότητας μεταξύ των σημείων ενδιαφέροντος και στον εντοπισμό της εύκολης προσβασιμότητάς τους.

Η απόσταση αποτελεί καθοριστική παράμετρο για την ακρίβεια των μετρήσεων, όσο αυξάνεται το μήκος της βάσης, τόσο μειώνεται η ακρίβεια των δορυφορικών δεδομένων. Οι αποστάσεις μεταξύ των βάθρων κυμαίνονται από 50m έως και 400m, οπότε η πρόσβαση τους είναι εύκολη και γρήγορη. Επίσης, όλα τα βάθρα βρίσκονται σε ταράτσες κτιρίων, με αποτέλεσμα να προσφέρουν πάντοτε την ευκαιρία για ανοιχτό ορίζοντα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων του δικτύου:

- Απόσταση μεταξύ βάθρου Λαμπαδαρίου (Lamg) και βάθρου Φοιτητικών Εστιών (Est): 150m
- Απόσταση μεταξύ βάθρου Φοιτητικών Εστιών (Est) και βάθρου Φυσικής (Fys): 370m
- Απόσταση μεταξύ βάθρου Λαμπαδαρίου (Lamg) και βάθρου Φυσικής (FYS): 300m
- Απόσταση μεταξύ βάθρου Γενικές Έδρες (Gen) και βάθρου Λαμπαδαρίου (Lamg): 310m
- Απόσταση μεταξύ βάθρου Γενικές Έδρες (Gen) και βάθρου Φυσικής (FYS): 90m
- Απόσταση μεταξύ βάθρου Γενικές Έδρες (Gen) και βάθρου Φοιτητικών Εστιών (Est): 150m



Εικόνα 3-2: Κορυφές Δικτύου GNSS(Πηγή: Google Earth)

3.4 Μέθοδος Σχετικού Στατικού Εντοπισμού

Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές παρατήρησης είναι ο σχετικός στατικός εντοπισμός (Static), που μπορεί να επιτύχει ακρίβεια λίγων χιλιοστών, αλλά απαιτεί μεγάλα χρονικά διαστήματα καταγραφής και ο σχετικός κινηματικός εντοπισμός (Real Time Kinematic), που μειονεκτεί σε σχέση με το στατικό ως προς της ακρίβεια (λίγα εκατοστά), αλλά χρειάζεται μονάχα μερικά δέκατα του δευτερολέπτου. Ο οργανισμό ISO (International Organization for Standardization) αν και έχει δημοσιεύσει συγκεκριμένες οδηγίες για τον μετρολογικό έλεγχο των δεκτών GNSS σε κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου (RTK), δεν έχει προτείνει μια δομημένη και αυστηρά καθορισμένη διαδικασία για τον έλεγχο των δεκτών GNSS στο σχετικό στατικό εντοπισμό. Σκοπός της παρούσα διπλωματική εργασίας είναι η θεμελίωση κατευθυντήριων γραμμών σύμφωνα με τα Αυστραλιανά πρότυπα, δηλαδή ο καθορισμός μιας υπαίθριας διαδικασίας, εύκολης, σχετικά γρήγορης, που θα παρέχει στατιστικά στοιχεία για τη συμμόρφωση των δεκτών.

Η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού απαιτεί τη χρήση δύο δεκτών GNSS, οι οποίοι βρίσκονται σε λειτουργία στο ίδιο κοινό διάστημα. Στο χρονικό διάστημα της καταγραφής, ο πρώτος δέκτης (Base) τοποθετείται στο σημείο που είναι γνωστές οι γεωδαιτικές του συντεταγμένες και ο δεύτερος παραμένει σε ένα σημείο άγνωστων συντεταγμένων. Η μετρητική αυτή διαδικασία μπορεί να δώσει πληροφορίες για οποιοδήποτε άγνωστο σημείο. Η ποιότητα και η ακρίβεια των παρατηρήσεων εξαρτάται από το κοινό χρονικό διάστημα που θα είναι ενεργοί οι δύο δέκτες, μπορεί να κυμαίνεται από 20min, μερικές ώρες έως και ημέρες. Το ελάχιστο προτεινόμενο χρονικό διάστημα από τις Αυστραλιανές οδηγίες είναι 20min. Επιπλέον, χρειάζεται ελάχιστος κενός χρόνος 20min μεταξύ των παρατηρήσεων, για να αλλάξει η γεωμετρία των δορυφόρων.

3.5 Εξοπλισμός Σχετικού Στατικού Εντοπισμού

Ο εντοπισμός της αξιοπιστίας του δορυφορικού δικτύου, που εμμέσων εμπεριέχει και τον προσδιορισμό της ακρίβειας των μετρήσεων έγινε από δύο διαφορετικούς τύπους δεκτών GNSS, τους Leica 1200+GNSS και τους Trimble 5800, που έχουν τις ίδιες προδιαγραφές ακρίβειας από τον κατασκευαστή.

3.5.1 Δέκτες Leica 1200+GNSS

Στην πραγματοποίηση του ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν δύο δέκτες της σειράς Leica 1200+GNSS, με κεραία ATX1230 και αντίστοιχα χειριστήρια RX1250 X. Οι δέκτες Leica μπορούν να κάνουν μετρήσεις στις συχνότητες L1 και L2. Μπορούν να λάβουν μετρήσεις που ανήκουν στο Αμερικάνικο σύστημα GPS και στο Ρώσικο GIONASS. Τα χειριστήρια μπορούν να επικοινωνήσουν με τις κεραίες μέσω ενός καλωδίου, ενώ στον δέκτη Base προσφέρεται και η δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μέσω της θύρας Bluetooth του χειριστηρίου εμβέλειας τριών μέτρων. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται η ονομαστική ακρίβεια του οργάνου Leica 1200+

GNSS για στατικό εντοπισμό θέσης σύμφωνα με τον κατασκευαστή (Πηγή: Leica RX1200 User Manual). Ακολουθεί συνοπτικός πίνακας για την ονομαστική ακρίβεια των δεκτών Leica 1200+GNSS στο σχετικό στατικό εντοπισμό.

Ονομαστική Ακρίβεια Δεκτών Leica 1200+GNSS	
Οριζοντιογραφική Ακρίβεια	Υψομετρική Ακρίβεια
$\pm 5\text{mm} \pm 5\text{ppm}$	$\pm 10\text{mm} \pm \pm 5\text{ppm}$

Πίνακας 3-1: Ονομαστική Ακρίβεια Δεκτών Leica 1200+GNSS

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τον δέκτης, την κεραία, το χειριστήριο και τα καλώδια των οργάνων Leica 1200+GNSS.



Εικόνα 3-3: Δέκτης Leica 1200+GNSS

3.5.2 Δέκτες Trimble 5800

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν οι δέκτες Trimble 5800, οι οποίοι είναι γεωδαιτικοί δέκτες διπλής συχνότητας (L1/L2), πολύ μικρής κατανάλωσης ενέργειας (< 2.5Watt), με καταγραφική ικανότητα 2Mb, διαστάσεων 19cm x 10cm, και βάρους 1.31kg μαζί με την εσωτερική μπαταρία. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται η ονομαστική ακρίβεια του οργάνου Trimble 5800 για στατικό εντοπισμό θέσης σύμφωνα με τον κατασκευαστή (Πηγή: Trimble 5800 User Manual).

Ονομαστική Ακρίβεια Δέκτη Trimble 5800	
Οριζοντιογραφική Ακρίβεια	Υψομετρική Ακρίβεια
$\pm 5\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$	$\pm 5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$

Πίνακας 3-2: Ονομαστική Ακρίβεια Δεκτών Trimble 5800 (Static)

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τις κεραίες που έχουν ενσωματωμένο το χειριστήριο και τα καλώδια των οργάνων Trimble 5800.



Εικόνα 3-4: Δέκτες Trimble 5800

Οι δύο δέκτες πλαισιώθηκαν με τον απαιτούμενο μετρητικό εξοπλισμό:

- 2 τρικόχλια, για την κέντρωση και οριζοντίωση των δεκτών GNSS πάνω στο εκάστοτε τσιμεντένιο βάθρο.
- 1 μετροταινία, για τη μέτρηση του κατακόρυφου ύψους από την ορειχάλκινη βάση του βάρου μέχρι το σημείο που προσδιορίζεται το ύψος της κεραίας.

Τσιμεντένιο βάθρο: Ο σκελετός των συγκεκριμένων βάρων αποτελείται από έναν πλαστικό σωλήνα ύψους 65cm και διαμέτρου 15cm. Ο πλαστικός σωλήνας εμπεριέχει τσιμέντο και στο πάνω μέρος του έχει τοποθετηθεί μια ορειχάλκινη βάση διαμέτρου 14cm. Η ορειχάλκινη βάση διαθέτει προεξοχή που προσφέρει τη δυνατότητα σταθεροποίηση της στο βάθρο. Επιπλέον, στην άνωθεν επιφάνεια της βρίσκεται οπή με βίδα $\frac{3}{4}$ και δίνει την επιλογή εξαναγκασμένης κέντρωσης τόσο δεκτών GNSS, όσο και γεωδαιτικών σταθμών. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει ένα από τα βάρη που χρησιμοποιήθηκαν.

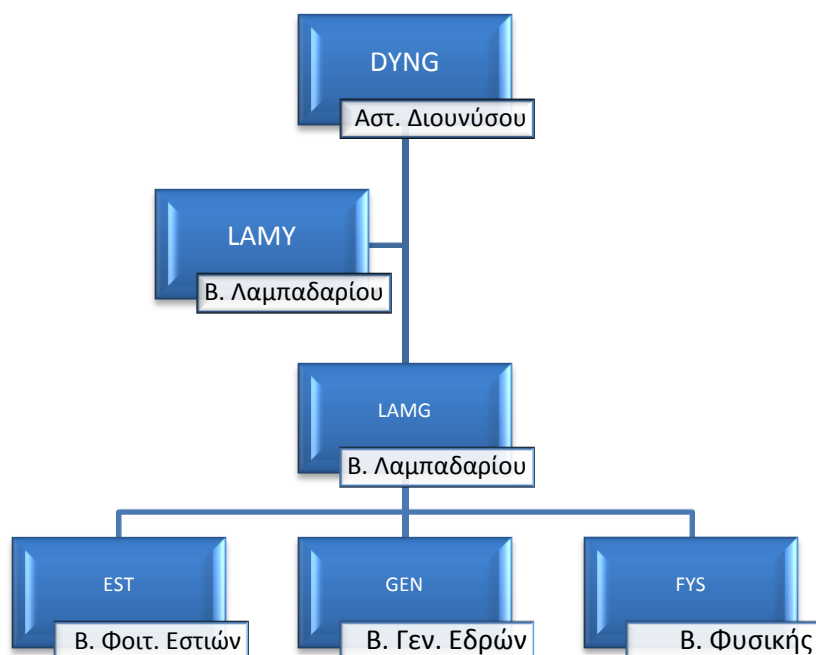


Εικόνα 3-5: Τσιμεντένιο Βάθρο

3.6 Γεωδαιτικά Δίκτυα

Στόχος ήταν η ίδρυση ενός δικτύου ελέγχου με 4 σταθερούς σταθμούς. Οι 4 σταθμοί που επιλέχθηκαν δεν είχαν ενημερωμένες συντεταγμένες από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Επομένως, έπρεπε να δοθούν αρχικές συντεταγμένες προκειμένου να εφαρμοστούν οι διαδικασίες ελέγχου των δεκτών GNSS.

Ο μόνος σταθμός με γνωστές συντεταγμένες στο σύστημα WGS84 είναι το βάθρο του Διονύσου (Dyng), όπου έχει έναν μόνιμο δέκτη, που συλλέγει μετρήσεις επί 24ώρου. Οι συντεταγμένες του βάθρου Dyng δόθηκαν στο Διεθνές Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ITRF08 (International Terrestrial Reference System) και επομένως στο WGS84. Το πρώτο σημείο μέσα στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, που προσδιορίστηκαν συντεταγμένες ήταν το δυτικό βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamy) που διαθέτει εικοσιτετράωρο δέκτη. Πλησίον του βάθρου Lamy βρίσκεται το τσιμεντένιο βάθρο Lamg, το οποίο και θεωρήθηκε το πρώτο γνωστό σημείο ενδιαφέροντος. Η βάση μεταξύ του Lamy-Lamg μετρήθηκε 40min. Στη συνέχεια έγιναν μετρήσεις από το Lamg προς όλα τα υπόλοιπα βάθρα και δόθηκαν συντεταγμένες στις αντίστοιχες κορυφές (Est, Gen, Fys). Η σειρά που δόθηκαν οι συντεταγμένες σχηματοποιείται με το ακόλουθο σχεδιάγραμμα.



Εικόνα 3-6: Μετρητική Διαδικασία Για να Δοθούν Συντεταγμένες Σε Όλα τα Βάθρα

Στην αρχή επιλύθηκε μία βάση ανάμεσα στον σταθμό του Διονύσου (Dyng) και του δυτικού βάθρου Λαμπαδαρίου (Lamy). Το βάθρο στο Αστεροσκοπείο της Πεντέλης είχε δέκτη Trm 59800, ενώ το βάθρο Λαμπαδαρίου είχε δέκτη Mag 111406+CR. Ο χρόνος παρατήρησης ήταν εικοσιτέσσερις ώρες.

Στη συνέχεια, το δυτικό βάθρο Λαμπαδαρίου έδωσε συντεταγμένες στο ανατολικό βάθρο του ίδιου Κτιρίου (Lamg), το οποίο και αποτελεί βάθρο αναφοράς για το δίκτυο μελέτης της περιοχής αυτής. Ο χρόνος παρατήρησης ήταν 40min και ο δέκτης του κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg) ήταν ο Trimble 5800.

Έπειτα, το βάθρο Lamg θεωρήθηκε η αφετηρία για να δοθούν αρχικές συντεταγμένες σε όλα τα σημεία του δικτύου (Est, Fys, Gen). Αντίστοιχα ο χρόνος παρατήρησης ήταν 40min για το βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est) και 20min για τα βάθρα βάρου Γενικών Εδρών (Gen) και βάθρο Φυσικής (Fys). Σε όλα τα βάθρα του δικτύου που δόθηκαν συντεταγμένες χρησιμοποιήθηκαν δέκτες Trimble 5800.

Οι διαφοροποιήσεις στους χρόνους οφείλονται στο γεγονός ότι οι ίδιες μετρήσεις έχουν χρησιμοποιηθεί και σε άλλα πειράματα αυτής της διπλωματικής εργασίας, οπότε ήταν διαφορετικές οι ανάγκες σε χρόνους και ακρίβεια.

Σειρά Μετρήσεων	Base	Rover	Χρ. Καταγραφής (min)
1η	Dyng	Lamy	1440
2η	Lamy	Lamg	40
3η	Lamg	Est	40
4η	Lang	Fys	20
5η	Lang	Gen	20

Πίνακας 3-3: Μετρητική Διαδικασία- Χρόνοι Καταγραφής

Πριν από οποιαδήποτε μέτρηση πρέπει να προηγηθεί κατάλληλη επεξεργασία γραφείου ώστε να εντοπιστούν για κάθε σημείο ενδιαφέροντος:

- Καλύτερη ημέρα και ώρα
- Μέγιστος αριθμός δορυφόρων
- Κατάλληλη γεωμετρία στον ουράνιο θόλο

3.7 Καταγραφή Δεδομένων για Σχετικό Στατικό Εντοπισμό

Η εγκατάσταση των δεχτών GNSS σε κάθε σημείο ενδιαφέροντος ακολουθούσε συγκεκριμένη διαδικασία για την εξάλειψη σφαλμάτων και τυχόν παραβλέψεων:

- Εξαναγκασμένη κέντρωση και οριζοντίωση του τρικόχλιου στην ορειχάλκινη βάση του βάθρου.
- Τοποθέτηση του εκάστοτε δέκτη πάνω στο τρικόχλιο.
- Μέτρηση του κατακόρυφου ύψους της κεραίας με μετροταινία.
- Ενεργοποίηση του δέκτη GNSS.
 - Δημιουργία αρχείου καταγραφής στους δέκτες Leica.

➤ Αυτόματη δημιουργία αρχείου καταγραφής στους δέκτες Trimble.

- Καταγραφή μετρήσεων.

3.8 Πληροφορίες Εντύπου Καταγραφής

Κατά την εργασία πεδίου πρέπει να καταγράφονται όλες οι λεπτομέρειες για να αντιμετωπιστεί οποιοδήποτε πρόβλημα στην μετέπειτα επεξεργασία των παρατηρήσεων στο γραφείο. Σημειώνονται σε ειδικό έντυπο οι ακόλουθες πληροφορίες:

- Ημερομηνία καταγραφής
- Κωδικός αρχείου μόνο στους Leica 1200+GNSS
- Ύψος οργάνου
- Τρόπος μέτρησης Υ.Ο.
- Κωδικός σημείου
- Κωδικός δέκτη
 - Γνωστό σημείο Base
 - Άγνωστο σημείο Rover
- Ώρα Open του δέκτη
- Ώρα έναρξης καταγραφής
- Ώρα λήξης καταγραφής

3.9 Σύγκριση ITRF08 - ΕΓΣΑ87

Η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο Διεθνές Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ITRF08, που πρακτικά ταυτίζεται με το WGS84 (World Geodetic System). Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) θεωρήθηκε ότι διαθέτει μεγαλύτερη ανακρίβεια, καθώς εισάγει πολλά σφάλματα λόγω του μετασχηματισμού, των παραμορφώσεων και της συμβατότητα μετρήσεων ανά χρονικά διαστήματα.

Το ΕΓΣΑ87 είναι μη γεωκεντρικό, τοπικό σύστημα αναφοράς, το οποίο είναι συνδεδεμένο με τις γεωγραφικές συντεταγμένες του γεωδαιτικού σταθμού του Διονύσου. Η αρχή των αξόνων του είναι μετατοπισμένη με τρόπο που η επιφάνεια του ελλειψοειδούς να προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωειδές της περιοχής της Ελλάδας. Η προβλεπόμενη μετατόπιση σε σχέση με το ITRF08 είναι: $\Delta X=193.723\text{m}$, $\Delta Y=-74.030\text{m}$ και $\Delta Z=-246.018\text{m}$. Η χρησιμοποίηση αυτού του 3-παραμετρικού μετασχηματισμού στηρίζεται στο γεγονός ότι το ΕΓΣΑ87 είναι σχεδόν παράλληλό με

το ITRF08. Οι συχνές τεκτονικές μετατοπίσεις μπορούν να μετακινήσουν διάφορα τμήματα του ελληνικού χώρου σε διάφορες κατευθύνσεις. Η εσωτερική ανομοιογένεια του ΕΓΣΑ87 γίνεται αισθητή όταν μεγαλώνει η περιοχή εργασίας, με άλλα λόγια όταν αυξάνουν τα μήκη των βάσεων. Έτσι δημιουργούνται παραμορφώσεις και ασυμβατότητα γεωδαιτικών μετρήσεων που ελήφθησαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα.

3.10 Λογισμικό Επεξεργασίας GrafNav

Το πρόγραμμα που εφαρμόστηκε για την επίλυση των βάσεων GNSS είναι το GrafNav. Αρχικά εισάγονται οι πρωτογενείς μετρήσεις στο λογισμικό επεξεργασίας. Αρχικά, γίνεται η μετατροπή των αρχείων σε μορφή rinex. Έπειτα, δημιουργείται νέο project (εργασία) και καθορίζεται το datum (σύστημα αναφοράς), όπως και η grid (προβολή). Στη συνέχεια, ορίζεται το σημείο με τις γνωστές γεωδαιτικές συντεταγμένες (Base). Ακολουθεί ο προσδιορισμός του σημείου ενδιαφέροντος (Rover). Στα δύο σημεία εισάγονται ακόμα ο τύπος και το ύψος της κεραίας (Trimble 5800 ή Leica 1200+GNSS). Οι τελευταίοι παράμετροι που καθορίζονται είναι (α) η κατεύθυνση της επίλυσης (forward ή return, both), (β) L1 ή L1/L2 και (γ) επιλογή δορυφόρων GPS ή GPS & GLONASS. Συνοπτική παρουσίαση των οδηγιών που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό επεξεργασίας δορυδορικών βάσεων GrafNav:

- File→Convert→Raw GNSS to GPB→ Επιλέγονται Αρχεία
- Auto add all→Convert→ Μετατροπή Αρχείων σε GPB
- File→New project→File name→ Ονομασία Εργασία
- Settings→Datum→ITRF08→ Ορισμός Συστήματος Αναφοράς
- Settings→Grid→UTM & Zone 34→ Ορισμός Προβολής
- Add master file→ Ορισμός Σημείου Base
- Add remote file→ Ορισμός Σημείου Rover
- Process→Process GNSS→Process Direction (Both) – GPS & GLONASS (GPS ή GPS-GLONASS)
- Output→Export wizard→ Έξοδος report

3.11 Λογισμικό Επεξεργασίας GrafNet

Το πρόγραμμα που εφαρμόστηκε για την επίλυση του δικτύου GNSS είναι το GrafNet. Αρχικά εισάγονται οι πρωτογενείς μετρήσεις στο λογισμικό επεξεργασίας. Πρώτο βήμα είναι η μετατροπή των αρχείων σε μορφή rinex. Έπειτα, δημιουργείται νέο project (εργασία) και καθορίζεται το datum (σύστημα αναφοράς), όπως και η Grid (προβολή). Στη συνέχεια, εισάγονται όλα τα σημεία του δικτύου. Αν

χρησιμοποιηθεί μία κορυφή του δικτύου παραπάνω από μία φορά, τότε απαιτείται ακριβώς ίδια ονομασία για να αναγνωριστεί από το πρόγραμμα ως ίδιο σημείο. Ακολουθεί ο καθαρισμός του σταθμού αναφοράς ή των σταθμών αναφοράς (Control point). Όλα τα σημεία του δικτύου περιέχουν πληροφορίες για τον τύπο και το ύψος της κεραίας (Trimble 5800 ή Leica 1200+GNSS). Οι τελευταίοι παράμετροι που καθορίζονται είναι (α) η κατεύθυνση της επίλυσης (forward ή return, both), (β) L1 ή L1/L2 και (γ) επιλογή δορυφόρων GPS ή GPS & GLONASS. Συνοπτική παρουσίαση των οδηγιών που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό επεξεργασίας δορυφορικών δικτύων GrafNet:

- File→Convert→Raw to GPB→ Εισαγωγή Αρχείων
- Auto add all→Convert→ Μετατροπή Αρχείων σε GPB
- File→New project→File name→ Ονομασία Εργασίας
- Settings→Datum→ITRF08→ Ορισμός Συστήματος Αναφοράς
- Settings→Grid→UTM & Zone 34→ Ορισμός Προβολής
- File→Add/remote Observation→Add all→ Ορισμός Σημείων Δικτύου
- File→Add/remote Control Point→ Ορισμός Σταθμού ή Σταθμών Αναφοράς
- Process→Process Sessions→Reprocess enter project→ Καθορισμός Ελλείψεις Σφάλματος, Process Direction (Both) και GPS & GLONASS (GPS ή GPS-GLONASS)
- Process→Network Adjustment→ Ορατότητα Ελλείψεων Σφάλματος
- Output→Export wizard→ Έξοδος report

3.12 Πρώτο Πείραμα - Μέτρηση Επαναλαμβανόμενων Βάσεων Διάρκειας 40min

Το πρώτο πείραμα απαιτεί την εναλλαγή των δεκτών, προκειμένου να επιτραπεί η συλλογή δεδομένων από δορυφόρους με διαφορετική γεωμετρία, για σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η σύγκριση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων της ίδια βάσης έχει σκοπό τον εντοπισμό και την απαλοιφή χονδροειδών και συστηματικών σφαλμάτων.

Η μετρήσεις υλοποιήθηκαν τον Μάρτιο του 2015. Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου πειράματος πραγματοποιήθηκε εναλλαγή δεκτών (Base-Rover) ανάμεσα σε δύο βάθρα που η μεταξύ τους απόσταση κυμαίνεται από 100m έως

200m. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg) και το βάθρου Φοιτητικών Εστιών (Est) με τη μεταξύ τους απόσταση να είναι 150m.

Στην αρχή τοποθετήθηκε ο Δέκτης 1 (Base) στο βάθρο Lamg και ο Δέκτης 2 (Rover) στο βάθρο Est, η καταγραφή διήρκεσε 40min. Έπειτα, οι δύο Δέκτες παρέμειναν ανενεργοί για 20min μέχρι να αλλάξει η γεωμετρία των δορυφόρων. Μετά τα 20min της παύσης επανατοποθετήθηκαν οι Δέκτες στα ίδια σημεία, με αντίθετο Base και Rover και χρόνο καταγραφής 40min. Στη συνέχεια, απενεργοποιήθηκαν οι Δέκτες για 90min, ώστε να αλλάξει εντελώς η γεωμετρία του ουράνιου θόλου. Μετά το πέρας των 90min ξεκίνησε νέα σειρά μετρήσεων, με την τοποθέτηση του Δέκτη 1 (Base) στο βάθρο Est και την τοποθέτηση του Δέκτη 2 (Rover) στο βάθρο Lamg. Οι Δέκτες παρέμειναν πάλι αδρανείς για 20min. Τέλος, ο Δέκτης 1 (Base) τοποθετήθηκε στο βάθρο Lamg και ο Δέκτης 2 (Rover) στο βάθρο Est, το χρονικό διάστημα των μετρήσεων είναι 40min. Η ίδια ακριβώς μεθοδολογία εφαρμόστηκε και για τους δύο τύπους δεκτών Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS.

Μέτρηση Σαραντάλεπτων Βάσεων		
Χρ. Καταγραφής (min)	Δέκτης 1 (Base)	Δέκτης 2 (Rover)
40	Lamg	Est
20	Ανενεργός	Ανενεργός
40	Est	Lamg
90	Ανενεργός	Ανενεργός
40	Est	Est
20	Ανενεργός	Ανενεργός
40	Lamg	Lamg

Πίνακας 3-4: Διαδικασία Μέτρησης Σαραντάλεπτων Βάσεων

3.13 Δεύτερο Πείραμα-Μέτρηση Βάσεων Διάρκειας 20min

Η δεύτερη φάση μετρήσεων υλοποιήθηκε τον Απρίλιο του 2015. Αυτή τη φορά μετρήθηκαν όλες οι βάσεις του δικτύου (Lamg, Est, Fys, Gen) με ακριβώς τον ίδιο χρόνο καταγραφής 20min, εξαιρούνται οι βάσεις Lamg - Est και Est - Lamg που έχουν μετρηθεί στο πρώτο πείραμα με χρόνο καταγραφής 40min. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ίδιος με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο πείραμα. Η ίδια μεθοδολογία εφαρμόστηκε και για τους δύο τύπους δεκτών Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS.

Οι πλεονάζουσες επαναλαμβανόμενες μετρήσεις έδωσαν τη δυνατότητα εφαρμογής δύο στατιστικών ελέγχων για τη συμμόρφωση των δεκτών GNSS. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ο τοπικός έλεγχος (Local Test), μία μέθοδος ελέγχου μεμονωμένων βάσεων για την αξιολόγηση της ποιότητας της μέτρησης και τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της. Επιπλέον, τα ζευγάρια παρατηρήσεων πρέπει να συγκριθούν με το εργοστασιακό πιστοποιητικό βαθμονόμησης, δηλαδή τις εργοστασιακές προδιαγραφές που εκδίδονται από τον κατασκευαστή, ώστε να επαληθευτεί η ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή. Στη συνέχεια, υλοποιήθηκε ο

ολικός έλεγχος (Global Test), μια μέθοδος εκτίμησης βασισμένη στη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για την αξιολόγηση της ποιότητας του δικτύου με έναν ή δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς. Οι πλεονάζουσες παρατηρήσεις (συμπεριλαμβανομένων και των μετρήσεων 40min) είναι η πιο ευρέως αποδεκτή μέθοδος για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων που οφείλονται στα σφάλματα της εφημερίδας, στη διαθεσιμότητα των δορυφόρων, στη γεωμετρία των δορυφόρων και στην ατμοσφαιρική επίδραση. Επίσης, μπορεί να εξαλείψει τυχαία σφάλματα, όπως μετακινημένη κέντρωση, λάθος προσανατολισμού κεραίας και σφάλμα κατά τη μέτρηση του υψομέτρου της κεραίας.

Ημερολόγιο Εργασιών Υπαίθρου

- Την πρώτη ημέρα ο δέκτης 1 (Base) τοποθετήθηκε στο βάθρο Lamg και αντίστοιχα ο δέκτης 2 (Rover) στο βάθρο Fys. Μετά από χρονικό διάστημα 20min, ο δέκτης 2 μετακινήθηκε στο βάθρο Gen και παρέμεινε σε λειτουργία πάλι για 20min. Η βάση Lamg – Est έχει μετρηθεί από τη φάση I με χρόνο καταγραφής 40min.
- Την δεύτερη ημέρα ο δέκτης 1 (Base) τοποθετήθηκε στο βάθρο Est και αντίστοιχα ο δέκτης 2 (Rover) στο βάθρο Fys. Μετά από χρονικό διάστημα 20min, ο δέκτης 2 μετακινήθηκε στο βάθρο Gen και παρέμεινε σε λειτουργία πάλι για 20min. Η βάση Est – Lamg έχει μετρηθεί από τη φάση I με χρόνο καταγραφής 40min.
- Την τρίτη ημέρα ο δέκτης 1 (Base) τοποθετήθηκε στο βάθρο Fys και αντίστοιχα ο δέκτης 2 (Rover) στο βάθρο Lamg. Μετά από χρονικό διάστημα 20min, ο δέκτης 2 μετακινήθηκε στο βάθρο Est και παρέμεινε σε λειτουργία πάλι για 20min. Τέλος, οι μετρήσεις της ημέρας ολοκληρώθηκαν με τη μετατόπιση του δέκτη 2 (Rover) στο βάθρο Gen και την ταυτόχρονη καταγραφή μετρήσεων με το δέκτη 1 (Base) για 20 min.
- Την τέταρτη ημέρα ο δέκτης 1 (Base) τοποθετήθηκε στο βάθρο Gen και αντίστοιχα ο δέκτης 2 (Rover) στο βάθρο Lamg. Μετά από χρονικό διάστημα 20min, ο δέκτης 2 μετακινήθηκε στο βάθρο Est και παρέμεινε σε λειτουργία πάλι για 20min. Τέλος, οι μετρήσεις της ημέρας ολοκληρώθηκαν με τη μετατόπιση του δέκτη 2 (Rover) στο βάθρο Fys και την ταυτόχρονη καταγραφή μετρήσεων με το Δέκτη 1 (Base) για 20min.

Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τα χρονικά διαστήματα παρακολούθησης, τόσο για τις μετρήσεις που έγιναν στο πείραμα 1, όσο και για τις παρατηρήσεις που έλαβαν μέρος στο πείραμα 2. Επιπλέον, αναγράφει τη συχνότητα καταγραφής δεδομένων για τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Τέλος, παρουσιάζει τον αριθμό των δορυφόρων του Παγκόσμιου Συστήματος Δορυφορικής Πλοήγησης (GPS) και του Ρώσικου GLONNAS, που απέστειλαν σήμα στους δέκτες Base και Rover.

ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ/ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ							
Leica 1200+GNSS							
Δέκτες		Καταγραφή		Base		Rover	
Base	Rover	Χρόνος (m)	Συχνότητα (s)	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS
Lamg	Est	40	10	20	16	17	16
	Fys	20	10	13	9	11	8
	Gen	20	10	13	10	11	8
Est	Lamg	40	10	17	15	20	16
	Fys	20	10	11	10	11	7
	Gen	20	10	13	10	11	6
Fys	Lamg	20	10	13	9	10	8
	Est	20	10	13	9	11	6
	Gen	20	10	13	9	11	5
Gen	Lamg	20	10	13	8	10	8
	Est	20	10	13	8	11	6
	Fys	20	10	13	8	11	6

Πίνακας 3-5: Μετρητική Διαδικασία Leica 1200+GNSS

Ο πίνακας 3-6 περιλαμβάνει το χρόνο παρατήρησης για τις μετρήσεις του πειράματος 1 και 2. Επίσης, παρουσιάζει τη συχνότητα που καταγράφουν σήμα οι δέκτες Trimble 5800. Τέλος, εμφανίζεται ο αριθμός των δορυφόρων του Παγκόσμιου Συστήματος Δορυφορικής Πλοήγησης (GPS). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δέκτες Trimble 5800 δεν έχουν τη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων από το ρώσικο σύστημα δορυφορικής πλοήγησης GLONASS.

ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ/ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ							
Trimble 5800							
Δέκτες		Καταγραφή		Base		Rover	
Base	Rover	Χρόνος (m)	Συχνότητα (s)	GPS	GLONASS	GPS	GLONASS
Lamg	Est	40	10	23	-	20	-
	Fys	20	10	22	-	16	-
	Gen	20	10	22	-	20	-
Est	Lamg	40	10	18	-	16	-
	Fys	20	10	28	-	14	-
	Gen	20	10	28	-	14	-
Fys	Lamg	20	10	13	-	21	-
	Est	20	10	13	-	13	-
	Gen	20	10	13	-	13	-
Gen	Lamg	20	10	15	-	9	-
	Est	20	10	15	-	12	-
	Fys	20	10	15	-	21	-

Πίνακας 3-6: Μετρητική Διαδικασία Trimble 5800

Κεφάλαιο 4 : Επεξεργασία & Ανάλυση Μετρήσεων

4.1 Εισαγωγή

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφει τις διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επίλυση των μετρημένων βάσεων και της συνόρθωσης του δικτύου. Η αξιολόγηση των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Αρχικά με προγράμματα επίλυσης GPS και στη συνέχεια με φύλλα εργασίας Excel. Οι λύσεις που προήλθαν μέσα από τα δύο λογισμικά επεξεργασίας παρείχαν όλα εκείνα τα στοιχεία που απαιτούνται για την εφαρμογή των ελέγχων της αξιοπιστίας δικτύου GNSS. Έπειτα, η επεξεργασία συνεχίστηκε μέσω των μαθηματικών εργαλείων του Excel.

Οι κατευθυντήριες οδηγίες σύμφωνα με τα Αυστραλιανά πρότυπα προτείνουν στην αρχή την επίλυση της κάθε βάσης ξεχωριστά. Η επεξεργασία των επιμέρους βάσεων έγινε από το λογισμικό GrafNav. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GrafNet για την συνόρθωση του μετρημένου δικτύου, με τις ελάχιστες εξωτετικές δεσμεύσεις και με πλήρως δεσμευμένη λύση. Οι παραπάνω διαδικασίες έδωσαν συντεταγμένες για όλα τα σημεία ενδιαφέροντος, όπως και τυπικά σφάλματα, συμμεταβλητότητες για κάθε λύση. Οι συντεταγμένες που προσδιορίστηκαν δόθηκαν στη μορφή (φ, λ, h) του γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς WGS84.

4.2 Αρχικές Συντεταγμένες

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε σαν περιοχή μελέτης η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου που περιέχει αρκετά βάθρα τις ταράτσες των κτιρίων της. Τα βάθρα αν και πληρούσαν τα κριτήρια ορατότητας, προσβασιμότητας και απόστασης, δεν διέθεταν γνωστές συντεταγμένες, οπότε προσδιορίστηκαν αρχικές συντεταγμένες για όλα τα σημεία ενδιαφέροντος. Οι αρχικές συντεταγμένες προήλθαν από τον δέκτη του Αστεροσκοπείου της Πεντέλης, ο οποίος λαμβάνει μετρήσεις συνέχεια επί 24ώρου. Η μετρητική διαδικασία για να δοθούν συντεταγμένες σε όλα τα βάθρα περιγράφεται συνοπτικά από το σχεδιάγραμμα της Εικ. 3.6 στο Κεφ. 3. Επίσης, η επίλυση για όλους τους σταθμούς έγινε από το λογισμικό επεξεργασίας GrafNav.

Στην αρχή επιλύθηκε μία βάση ανάμεσα στο Αστεροσκοπείο της Πεντέλης (Dyng) και του δυτικού βάθρου κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamy). Το βάθρο στο Αστεροσκοπείο της Πεντέλης είχε δέκτη Trm 59800, ενώ το βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου είχε δέκτη Mag 111406+CR. Ο χρόνος παρατήρησης ήταν εικοσιτέσσερις ώρες.

Στη συνέχεια, το δυτικό βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου έδωσε συντεταγμένες στο ανατολικό βάθρο του ίδιου Κτιρίου (Lamg), το οποίο και αποτελεί βάθρο

αναφοράς για το δορυφορικό δίκτυο. Ο χρόνος παρατήρησης ήταν 40min και ο δέκτης του κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg) ήταν ο Trimble 5800.

Έπειτα, το βάθρο Lamg θεωρήθηκε η αφετηρία για να δοθούν αρχικές συντεταγμένες σε όλα τα σημεία του δικτύου (Est, Fys, Gen). Αντίστοιχα ο χρόνος παρατήρησης ήταν 40min για το βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est) και 20min για τα βάθρα κτιρίου Γενικών Εδρών (Gen) και βάθρο κτιρίου Φυσικής (Fys). Σε όλα τα βάθρα του δικτύου που δόθηκαν συντεταγμένες χρησιμοποιήθηκαν δέκτες Trimble 5800.

Οι διαφοροποιήσεις στους χρόνους οφείλονται στο γεγονός ότι οι ίδιες μετρήσεις έχουν χρησιμοποιηθεί και σε άλλα πειράματα αυτής της διπλωματικής εργασίας, οπότε ήταν διαφορετικές οι ανάγκες σε χρόνους και ακρίβεια. Συνοπτικά οι χρόνοι παρατήρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-3 του Κεφ. 3. Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας συντεταγμένων, οριζοντιογραφικών και υψομετρικών σφαλμάτων.

ΑΡΧΙΚΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WGS84					
Σημεία	Φ (D, M, S)	λ (D, M, S)	h (m)	σ _{op} (m)	σ _{υψ} (m)
Dyng	38° 04' 42",79050	23° 55' 56",76644	510,575	-	-
Lamy	37° 58' 30",54621	23° 46' 48",73723	248,576	0,007	0,0015
Lamg	37° 58' 30",76997	23° 46' 48",36063	246,514	0,002	0,002
Est	37° 58' 25",95739	23° 46' 51",47983	275,647	0,002	0,002
Fys	37° 58' 37",40380	23° 46' 57",36487	241,588	0,003	0,004
Gen	37° 58' 34",78906	23° 47' 00",46848	254,443	0,003	0,003

Πίνακας 4-1: Αρχικές Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS84

4.2.1 Αρχικές Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84

Οι αρχικές γεωδαιτικές συντεταγμένες WGS84 υπέστησαν μετασχηματισμό από γεωδαιτική σε καρτεσιανή μορφή στο ίδιο όμως σύστημα αναφοράς. Η μετατροπή έγινε από το διαδικτυακό πρόγραμμα μετατροπής των συντεταγμένων Natural Resources Canada (<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/gpsh.php?locale=en>), που πραγματοποιεί μετασχηματισμούς από γεωδαιτικές σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Η μετατροπή των συντεταγμένων δεν περιέχει σφάλματα. Έτσι, δεν μεταβάλλεται η ακρίβεια των αρχικών συντεταγμένων. Για τις ανάγκες του προγράμματος, το Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς WGS84, θεωρήθηκε ότι ταυτίζεται με το Διεθνές Σύστημα Αναφοράς ITRF08, δηλαδή δεν υπάρχει μετάθεση, στροφή και κλίμακα ανάμεσα στα δύο συστήματα μεταφοράς. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τις αρχικές καρτεσιανές συντεταγμένες μετά την εφαρμογή του λογισμικού Natural Resources Canada.

ΑΡΧΙΚΕΣ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WGS84					
Σημεία	X (m)	Y (m)	Z (m)	σ_{op} (m)	σ_{ψ} (m)
Lamg	4606902,298	2029974,995	3903427,339	0,002	0,002
Est	4606976,168	2030090,740	3903328,292	0,002	0,002
Fys	4606694,950	2030123,779	3903585,543	0,003	0,004
Gen	4606719,073	2030217,188	3903529,901	0,003	0,003

Πίνακας 4-2: Αρχικές Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84

4.2.2 Αρχικές Προβολικές Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87

Οι αρχικές συντεταγμένες που υπολογίστηκαν από το GrafNav υπέστησαν μια ακόμη μετατροπή, για τον εντοπισμό της αξιοπιστίας του δορυφορικού δικτύου και τον προσδιορισμό της ακρίβειας των δεκτών. Οι συντεταγμένες έπρεπε να δοθούν και στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ87). Το συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς χρησιμοποιείται μονάχα στην Ελλάδα και έχει τοπικό χαρακτήρα. Ο μετασχηματισμός υλοποιήθηκε από τα εργαλεία επεξεργασίας του ελληνικού προγράμματος Coord.gr (<http://coord-gr.software.informer.com/1.6/>). Ακολουθεί ο πίνακας με τις συντεταγμένες των σημείων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ87.

ΑΡΧΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ87			
Σημεία	X (m)	Y (m)	h (m)
Lamg	480537,981	4202800,211	246,510
Est	480613,730	4202651,709	275,650
Fys	480758,130	4203004,151	241,590
Gen	480833,658	4202923,387	254,440

Πίνακας 4-3: Αρχικές Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87

4.3 Επαναλαμβανόμενες Βάσεις Για Χρόνο Παρατήρησης 40min

Η συγκεκριμένη υποενότητα αναφέρεται στην σύγκριση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων της ίδια βάσης με σκοπό τον εντοπισμό και την απαλοιφή χονδροειδών και συστηματικών σφαλμάτων. Η βάση μετρήθηκε συνολικά 4 φορές με εναλλαγή των GNSS δεκτών στο βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου και στο βάθρο Φοιτητικών Εστιών. Ο χρόνος καταγραφής ήταν 40min και ενδιάμεσα οι δέκτες παρέμειναν ανενεργοί για 90min, ώστε να αλλάξει εντελώς η γεωμετρία του ουράνιου θόλου. Η ίδια ακριβώς μεθοδολογία εφαρμόστηκε και για τους δύο τύπους δεκτών Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS. Αναλυτικά η διαδικασία περιγράφεται στο Κεφ. 3 και υποενότητα 3.9.

4.3.1 Σύγκριση Επαναλαμβανόμενων Βάσεων WGS84

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές στις συνιστώσες ΔX , ΔY , ΔZ της πρώτης μέτρησης ως προς όλες τις υπόλοιπες σειρές μετρήσεων στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Όλες οι μετρήσεις αναφέρονται στη βάση Lamg - Est

και έχουν χρονικό διάστημα παρατήρησης 40min. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει τις διαφορές $\Delta X_{i,j}$, $\Delta Y_{i,j}$, $\Delta Z_{i,j}$ της κάθε σειράς μετρήσεων, όπου (i,j) είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάρου της δορυφορικής βάσης (Lamg, Est), με (i) συμβολίζονται τα σημεία Base, ενώ με (j) συμβολίζονται τα σημεία Rover. Οι διαφορές της κάθε μέτρησης προσδιορίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις $\Delta X_{i,j} = X_j - X_i$, $\Delta Y_{i,j} = Y_j - Y_i$ και $\Delta Z_{i,j} = Z_j - Z_i$. Τέλος, οι διαφορές ανάμεσα στην πρώτη σειρά μέτρησης και τις υπόλοιπες δίνονται από τους τύπους $\Delta_{\Delta X}^{i,j} = \Delta X_{i,j}^{K\eta} - \Delta X_{i,j}^{1\eta}$, $\Delta_{\Delta Y}^{i,j} = \Delta Y_{i,j}^{K\eta} - \Delta Y_{i,j}^{1\eta}$ και $\Delta_{\Delta Z}^{i,j} = \Delta Z_{i,j}^{K\eta} - \Delta Z_{i,j}^{1\eta}$, όπου (κ) είναι ο αριθμός της σειράς κάθε μέτρησης. Όλα τα μεγέθη του πίνακα έχουν ως μονάδα μέτρησης (m). Οι απόλυτες διαφορές στις μετρήσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,003m και θεωρούνται εντός του θορύβου των μετρήσεων. Επιπλέον, υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) από την απόκλιση που έχουν οι σειρές των μετρήσεων σε σχέση με την πρώτη. Ο ακόλουθος πίνακας αναφέρεται μονάχα σε μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Trimble 5800.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΔX, ΔY, ΔZ							
Trimble 5800/ WGS84							
Base	Rover	ΔX (m)	$\Delta X_i - \Delta X_i^T$	ΔY (m)	$\Delta Y_i - \Delta Y_i^T$	ΔZ (m)	$\Delta Z_i - \Delta Z_i^T$
Lamg	Est	73,870	-	115,745	-	-99,047	-
Est	Lamg	-73,870	0,000	-115,747	-0,002	99,049	-0,002
Est	Lamg	-73,871	-0,001	-115,746	-0,001	99,046	0,001
Lamg	Est	73,869	-0,001	115,747	0,002	-99,050	-0,003
Συμπερασματικά		RMS _{ΔX}	0,001	RMS _{ΔY}	0,002	RMS _{ΔZ}	0,002

Πίνακας 4-4: Διαφορές Συνιστωσών ΔX, ΔY, ΔZ (WGS84/Trimble 5800)

Οι αποκλίσεις μεταξύ της πρώτης σειράς μέτρησης και των υπόλοιπων μετρήσεων μετασηματίστηκαν σε αναλογικά σφάλματα $ppm_{(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)}$, που είναι αδιάστατοι αριθμοί. Η μετατροπή έγινε από τις εξισώσεις $ppm_{\Delta X} = \frac{\sigma_{\Delta X}^{i,j}}{L_{i,j}}$, $ppm_{\Delta Y} = \frac{\sigma_{\Delta Y}^{i,j}}{L_{i,j}}$ και $ppm_{\Delta Z} = \frac{\sigma_{\Delta Z}^{i,j}}{L_{i,j}}$. Επίσης, υπολογίστηκαν τα αναλογικά σφάλματα του κατασκευαστή για του δέκτες Trimble 5800 (Αναλυτικά τα στοιχεία για τους δέκτες Trimble 5800 δίνονται στον Πίνακα 3.2 του Κεφ. 3), ώστε να επαληθευτεί η ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή και να αξιολογηθεί η ακρίβεια των δεκτών. Οι τεχνικές προδιαγραφές από τον κατασκευαστή για τους δέκτες Trimble 5800 έχουν οριζοντιογραφικό σφάλμα $\sigma_{\rho\rho}^{Tr} = \pm(5mm + 0,5ppm)$ και υψομετρικό σφάλμα $\sigma_{\psi\psi}^{Tr} = \pm(5mm + 1ppm)$. Η ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή σε μορφή ppm προκύπτει από τις εξισώσεις $ppp_{\rho\rho} = \sqrt{5^2 + 0,5^2 * L_{i,j}^2 * 10^{-12}}mm$ και $ppp_{\psi\psi} = \sqrt{5^2 + 1^2 * L_{i,j}^2 * 10^{-12}}mm$. Ο πίνακας 4.5 παρουσιάζει συνοπτικά τις αποκλίσεις μεταξύ των επαναλαμβανόμενων βάσεων σε μορφή ppm, όπως και τα αναλογικά σφάλματα του κατασκευαστή. Όλα τα σφάλματα των μετρήσεων 40min από τους

δέκτες Trimble 5800 είναι αποδεκτά, καθώς είναι μικρότερης τάξης μεγέθους από την ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ PPM(ΔX , ΔY , ΔZ)				
Trimble 5800/WGS84				
Base	Rover	ppm(ΔX)	ppm(ΔY)	ppm(ΔZ)
Lamg	Est	-	-	-
Est	Lamg	0	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Est	Lamg	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$
Lamg	Lamg	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Αναλογικό Σφάλμα Κατασκευαστή: ppm _{ορ} =0,005 και ppm _{υψ} =0,005				

Πίνακας 4-5: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , ΔZ] (WGS84/Trimble 5800)

Ο παρακάτω πίνακας είναι όμοιος με τον πίνακα 4.4 με τη διαφορά ότι εμφανίζει τις διαφορές στις συνιστώσες ΔX , ΔY , ΔZ της πρώτης σειράς μέτρησης του Trimble 5800 ως προς όλες τις μετρήσεις των Leica 1200+GNSS για μετρήσεις 40min στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Όλες οι μετρήσεις αναφέρονται στη βάση του βάθρου Λαμπαδαρίου και του βάθρου Φοιτητικών Εστιών. Οι απόλυτες διαφορές στις μετρήσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,008m και θεωρούνται εντός των επιτρεπτών ορίων.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΔX , ΔY , ΔZ							
Leica 1200+GNSS/ WGS84							
Base	Rover	ΔX (m)	$\Delta X_i - \Delta X_1^T$	ΔY (m)	$\Delta Y_i - \Delta Y_1^T$	ΔZ (m)	$\Delta Z_i - \Delta Z_1^T$
Lamg	Est	73,866	-0,004	115,743	-0,002	-99,054	-0,007
Est	Lamg	-73,866	0,004	-115,748	-0,003	99,053	0,006
Est	Lamg	-73,867	0,003	-115,742	0,003	99,055	0,008
Lamg	Est	73,863	-0,007	115,743	-0,002	-99,051	-0,004
Συμπερασματικά		RMS $_{\Delta X}$	0,005	RMS $_{\Delta Y}$	0,002	RMS $_{\Delta Z}$	0,007

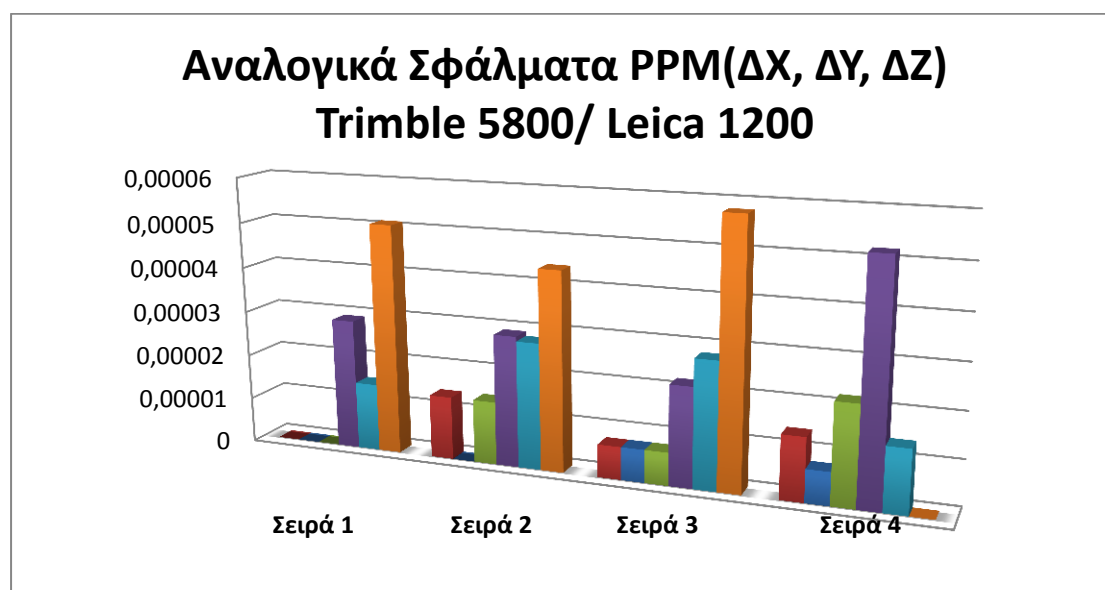
Πίνακας 4-6: Διαφορές Συνιστωσών ΔX , ΔY , ΔZ (WGS84/Leica 1200+GNSS)

Οι διαφορές που προσδιορίστηκαν στον πίνακα 4-6 μετασηματίστηκαν σε αναλογικά σφάλματα ppm(ΔX , ΔY , ΔZ), όπως στον πίνακα 4-5 με τη διαφορά ότι αναφέρεται σε μετρήσεις που έγιναν από τη δεύτερη ομάδα δεκτών. Η ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή για τους δέκτες Leica 1200+GNSS σε μορφή ppm δίνεται από τις εξισώσεις $ppp_{ορ} = \sqrt{5^2 + 5^2 * L_{i,j}^2} * 10^{-12} \text{mm}$ και $ppp_{υψ} = \sqrt{10^2 + 5^2 * L_{i,j}^2} * 10^{-12} \text{mm}$. Αναλυτικά οι τεχνικές προδιαγραφές για του δέκτες Leica 1200+GNSS δίνονται το Κεφ. 3 και συγκεκριμένα στην υποενότητα 3.5. Όλα τα σφάλματα των μετρήσεων 40min από τους δέκτες Leica 1200+GNSS είναι αποδεκτά, καθώς είναι μικρότερης τάξης μεγέθους από την ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ PPM(ΔX , ΔY , ΔZ)				
Leica 1200+GNSS/WGS84				
Base	Rover	ppm(ΔX)	ppm(ΔY)	ppm(ΔZ)
Lamg	Est	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$
Est	Lamg	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$
Est	Lamg	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
Lamg	Lamg	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Αναλογικό Σφάλμα Κατασκευαστή: ppm _{op} =0,005 και ppm _{up} =0,01				

Πίνακας 4-7:Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , ΔZ] (WGS84/Leica 1200+GNSS)

Τα αναλογικά σφάλματα ppm(ΔX , ΔY , ΔZ) των δεκτών Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS οπτικοποιούνται στο ακόλουθο διάγραμμα, όπου οι τρεις πρώτες στήλες κάθε σειράς μετρήσεων αναφέρεται σε δέκτες Trimble 5800, ενώ οι υπόλοιπες στήλες περιλαμβάνουν τις τιμές των δεκτών Leica 1200+GNSS. Εύκολα παρατηρείται ότι οι δέκτες Leica 1200+GNSS έχουν μεγαλύτερα αναλογικά σφάλματα ppm, παρόλα αυτά όλα τα σφάλματα είναι εντός του θορύβου των μετρήσεων και πολύ μικρότερα από την ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή.



Εικόνα 4-1: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , ΔZ] Για Κάθε Σειρά Μετρήσεων(Trimble 5800/Leica 1200)

4.3.2 Σύγκριση Επαναλαμβανόμενων Βάσεων ΕΓΣΑ87

Η σύγκριση των βάσεων που μετρήθηκαν για 40min έγινε και για το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ87. Στόχος της διπλής επεξεργασίας των επαναλαμβανόμενων βάσεων είναι ο εντοπισμός των σφαλμάτων που πηγάζουν από το εκάστοτε σύστημα αναφοράς και η απαλοιφή τους.

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές στις συνιστώσες ΔX , ΔY , ΔZ της πρώτης μέτρησης ως προς όλες τις υπόλοιπες σειρές μετρήσεων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣ87. Όλες οι μετρήσεις αναφέρονται στη βάση

Lamg - Est και έχουν χρονικό διάστημα παρατήρησης 40min. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει τις διαφορές $\Delta X_{i,j}$, $\Delta Y_{i,j}$, $\Delta h_{i,j}$ της κάθε σειράς μετρήσεων, όπου (i,j) είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάρου της δορυφορικής βάσης (Lamg, Est), με (i) συμβολίζονται τα σημεία Base, ενώ με (j) συμβολίζονται τα σημεία Rover. Οι διαφορές της κάθε μέτρησης προσδιορίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις $\Delta X_{i,j} = X_j - X_i$, $\Delta Y_{i,j} = Y_j - Y_i$ και $\Delta h_{i,j} = h_j - h_i$. Τέλος, οι διαφορές ανάμεση στην πρώτη σειρά μέτρησης και τις υπόλοιπες δίνονται από τους τύπους $\Delta_{\Delta X}^{i,j} = \Delta X_{i,j}^{K\eta} - \Delta X_{i,j}^{1\eta}$, $\Delta_{\Delta Y}^{i,j} = \Delta Y_{i,j}^{K\eta} - \Delta Y_{i,j}^{1\eta}$ και $\Delta_{\Delta h}^{i,j} = \Delta h_{i,j}^{K\eta} - \Delta h_{i,j}^{1\eta}$, όπου (κ) είναι ο αριθμός της σειράς κάθε μέτρησης. Όλα τα μεγέθη του πίνακα έχουν ως μονάδα μέτρησης (m). Οι απόλυτες διαφορές στις μετρήσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,003m και θεωρούνται εντός του θορύβου των μετρήσεων. Παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις για τους δέκτες Trimble 5800 είναι παρόμοιες και στα δύο συστήματα αναφοράς, οπότε για παρατηρήσεις 40min δεν εισέρχονται σφάλματα από το εκάστοτε σύστημα αναφοράς. Επιπλέον, υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) από την απόκλιση που έχουν οι σειρές των μετρήσεων σε σχέση με την πρώτη. Ο ακόλουθος πίνακας αναφέρεται μονάχα σε μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Trimble 5800.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΔX, ΔY, Δh							
Trimble 5800/ ΕΓΣΑ87							
Base	Rover	ΔX (m)	$\Delta X_i - \Delta X_1^T$	ΔY (m)	$\Delta Y_i - \Delta Y_1^T$	Δh (m)	$\Delta h_i - \Delta h_1^T$
Lamg	Est	75,749	-	-148,502	-	29,140	-
Est	Lamg	-75,751	0,002	148,505	-0,003	-29,140	0,000
Est	Lamg	-75,750	-0,002	148,502	0,003	-29,140	0,000
Lamg	Est	75,751	-0,001	-148,505	0,000	29,140	0,000
Συμπερασματικά		$RMS_{\Delta X}$	0,002	$RMS_{\Delta Y}$	0,003	$RMS_{\Delta h}$	0,000

Πίνακας 4-8: Διαφορές Συνιστωσών ΔX, ΔY, Δh (ΕΓΣΑ87/Trimble 5800)

Οι διαφορές μεταξύ της πρώτης σειράς μέτρησης και των υπόλοιπων μετρήσεων μετασχηματίστηκαν σε αναλογικά σφάλματα $ppm_{(\Delta X, \Delta Y, \Delta h)}$, που είναι αδιάστατοι αριθμοί. Η μετατροπή έγινε από τις εξισώσεις $ppm_{\Delta X} = \frac{\sigma_{\Delta X}^{i,j}}{L_{i,j}}$, $ppm_{\Delta Y} = \frac{\sigma_{\Delta Y}^{i,j}}{L_{i,j}}$ και $ppm_{\Delta h} = \frac{\sigma_{\Delta h}^{i,j}}{L_{i,j}}$. Επίσης, υπολογίστηκαν τα αναλογικά σφάλματα του κατασκευαστή για του δέκτες Trimble 5800, ώστε να επαληθευτεί η ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή και να αξιολογηθεί η ακρίβεια των δεκτών. Οι τεχνικές προδιαγραφές από τον κατασκευαστή για τους δέκτες Trimble 5800 δίνουν οριζοντιογραφικό σφάλμα $\sigma_{op}^{Tr} = \pm(5mm + 0,5ppm)$ και υψομετρικό σφάλμα $\sigma_{\psi}^{Tr} = \pm(5mm + 1ppm)$. Η ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή σε μορφή ppm δίνεται από τις εξισώσεις $ppp_{op} = \sqrt{5^2 + 0,5^2 * L_{i,j}^2} * 10^{-12}mm$ και $ppp_{\psi} = \sqrt{5^2 + 1^2 * L_{i,j}^2} * 10^{-12}mm$. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τις αποκλίσεις μεταξύ των επαναλαμβανόμενων βάσεων σε μορφή ppm, όπως και τα

αναλογικά σφάλματα του κατασκευαστή. Όλα τα σφάλματα των μετρημένων βάσεων για 40min από τους δέκτες Trimble 5800 είναι αποδεκτά, καθώς είναι μικρότερης τάξης μεγέθους από την ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα υψομετρικά σφάλματα είναι μηδενικά για το ΕΓΣΑ87. Γεγονός εντυπωσιακό, καθώς η υψομετρική ακρίβεια είναι συνήθως 1,5 με 2 φορές μεγαλύτερη από την οριζοντιογραφική ακρίβεια.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ PPM(ΔX , ΔY , Δh)				
Trimble 5800/ ΕΓΣΑ85				
Base	Rover	ppm(ΔX)	ppm(ΔY)	ppm(Δh)
Lamg	Est	-	-	-
Est	Lamg	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	0
Est	Lamg	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	0
Lamg	Lamg	$6,0 \cdot 10^{-6}$	0	0
Αναλογικό Σφάλμα Κατασκευαστή: ppm _{ορ} =0,005m και ppm _{υψ} =0,005m				

Πίνακας 4-9: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , Δh] (ΕΓΣΑ87/Trimble 5800)

Ο πίνακας 4-10 αναφέρεται σε μετρήσεις των δεκτών Leica 1200+GNSS και είναι όμοιος με τον πίνακα 4-8. Οι απόλυτες διαφορές στις μετρήσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,010m και θεωρούνται εντός των επιτρεπτών ορίων. Παρατηρείται ότι τα σφάλματα των δεκτών Leica 1200+GNSS είναι ελαφρός μειωμένα κατά 0,001m σε σχέση με τις αποκλίσεις που προκύπτουν στο WGS84. Οι διαφορές κρίνονται αμελητέες, θεωρώντας ότι εισέρχονται από σφάλματα του συστήματος αναφοράς.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΔX , ΔY , Δh							
Leica 1200+GNSS/ ΕΓΣΑ87							
Base	Rover	ΔX (m)	$\Delta X_i - \Delta X_1^T$	ΔY (m)	$\Delta Y_i - \Delta Y_1^T$	Δh (m)	$\Delta h_i - \Delta h_1^T$
Lamg	Est	75,748	-0,001	-148,505	-0,003	29,130	-0,010
Est	Lamg	-75,748	0,001	148,507	0,005	-29,130	-0,010
Est	Lamg	-75,744	0,005	148,503	0,001	-29,130	-0,010
Lamg	Est	75,749	0,000	-148,501	0,001	29,130	-0,010
Συμπερασματικά		RMS $_{\Delta X}$	0,003	RMS $_{\Delta Y}$	0,003	RMS $_{\Delta h}$	0,012

Πίνακας 4-10: Διαφορές Συνιστωσών ΔX , ΔY , ΔZ (ΕΓΣΑ87/Leica 1200+GNSS)

Ο πίνακας που ακολουθεί είναι παρόμοιος με τον πίνακα 4-9 με τη διαφορά ότι περιέχει τα αναλογικά σφάλματα ppm(ΔX , ΔY , Δh) που προήλθαν από του δέκτες Leica 1200+GNSS. Επιπλέον, παρουσιάζει την ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή σε μορφή ppm, που δίνεται από τις εξισώσεις

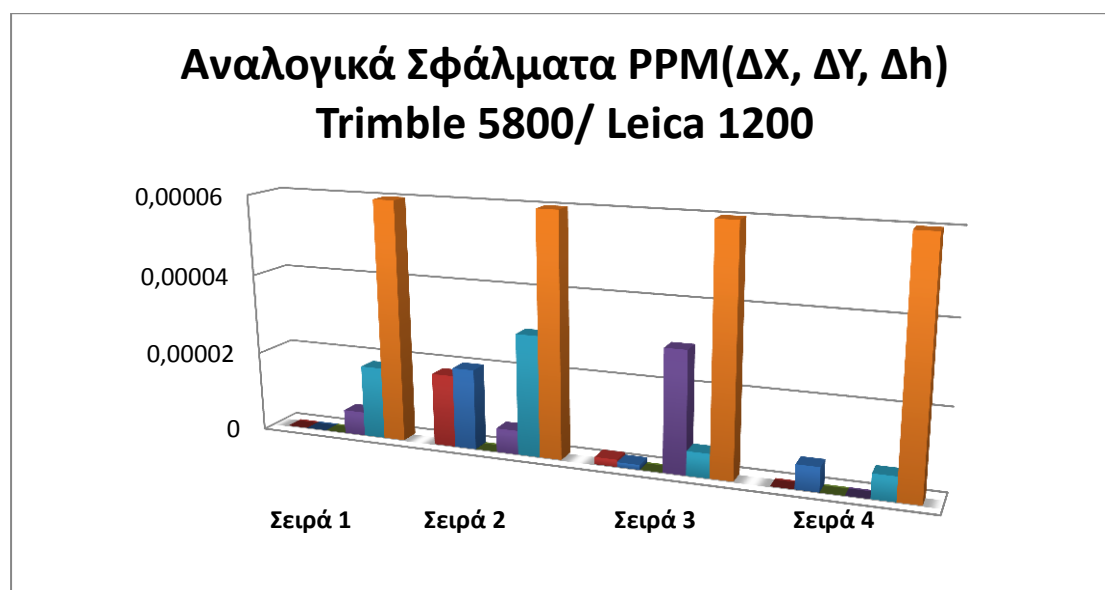
$$ppp_{ορ} = \sqrt{5^2 + 5^2 * L_{i,j}^2 * 10^{-12}} \text{mm} \quad \text{και} \quad ppp_{υψ} = \sqrt{10^2 + 5^2 * L_{i,j}^2 * 10^{-12}} \text{mm}.$$

Αναλυτικά οι τεχνικές προδιαγραφές για του δέκτες Leica 1200+GNSS δίνονται το Κεφ. 3 και συγκεκριμένα στην υποενότητα 3.5. Όλα τα σφάλματα των βάσεων διάρκειας 40min από τους δέκτες Leica 1200+GNSS είναι αποδεκτά.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ PPM(ΔX , ΔY , Δh)				
Leica 1200+GNSS/ΕΓΣΑ87				
Base	Rover	ppm(ΔX)	ppm(ΔY)	ppm(Δh)
Lamg	Est	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
Est	Lamg	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
Est	Lamg	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
Lamg	Est	0	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
Αναλογικό Σφάλμα Κατασκευαστή: ppm _{op} =0,005m και ppm _{up} =0,01m				

Πίνακας 4-11: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , Δh] (ΕΓΣΑ87/Leica 1200+GNSS)

Τα αναλογικά σφάλματα ppm(ΔX , ΔY , Δh) των δεκτών Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS οπτικοποιούνται στο ακόλουθο διάγραμμα, όπου οι τρεις πρώτες στήλες κάθε σειράς μετρήσεων αναφέρεται σε δέκτες Trimble 5800, ενώ οι υπόλοιπες στήλες περιλαμβάνουν τις τιμές των δεκτών Leica 1200+GNSS. Εύκολα παρατηρείται ότι οι δέκτες Leica 1200+GNSS έχουν μεγαλύτερα αναλογικά σφάλματα ppm, παρόλα αυτά όλα τα σφάλματα είναι εντός του θορύβου των μετρήσεων και πολύ μικρότερα από την ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή.



Εικόνα 4-2: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , Δh] Για Κάθε Σειρά Μετρήσεων (Trimble 5800/Leica 1200)

Παρατηρώντας και τα διαγράμματα με τα αναλογικά σφάλματα, εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι οι δέκτες Trimble 5800, αν και έχουν ίδιες εργοστασιακές προδιαγραφές με τους δέκτες Leica 1200+GNSS, μπορούν να επιτύχουν καλύτερη ακρίβεια. Επιπλέον, δεν αλλοιώνεται η ακρίβεια τους ανάλογα με το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται στην κάθε περίπτωση. Παρόλα αυτά, όλες οι παρατηρήσεις και από τους δύο τύπους δεκτών κινούνται εντός του θορύβου των μετρήσεων. Η μέγιστη απόκλιση που εμφανίζεται είναι 0,010m, λαμβάνοντας υπόψη τις Αυστραλιανές οδηγίες και σύμφωνα με τον πίνακα 2-1 του Κεφ. 2. Η οριζοντιογραφική ακρίβεια θα έπρεπε να ήταν μικρότερη από 0,030m και η

υπομετρική ακρίβεια μικρότερη από 0,050m, οπότε όλες οι μετρήσεις είναι αποδεκτές.

4.4 Τοπικός Έλεγχος (Local Test)

Το τοπικό τεστ αφορά τη σύγκριση μεμονωμένων βάσεων του δικτύου, όπως ήδη αναφέρθηκε κατά τη διάρκεια συλλογής πραγματοποιείται εναλλαγή των δεκτών, προκειμένου να επιτραπεί η συλλογή δεδομένων από δορυφόρους σε διαφορετική γεωμετρική κατανομή. Το ελάχιστο προτεινόμενο χρονικό διάστημα παρατήρησης είναι 20min. Αναλυτικές πληροφορίες δίνονται στην υποενότητα 2.1.11 του Κεφ. 2.

4.4.1 Σύγκριση με στοιχεία γνωστών βάσεων

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις συνιστώσες X,Y,Z στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει την διαφορά $\Delta X_{i,j}$, $\Delta Y_{i,j}$, $\Delta Z_{i,j}$ και για τους δύο τύπους δεκτών, όπου i,j είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάρθρου του δορυφορικού δικτύου (Lamg, Est, Gen, Fys), με (i) συμβολίζονται τα σημεία Base, ενώ με (j) συμβολίζονται τα σημεία Rover. Ο προσδιορισμός των μετρημένων διαφορών έγινε από τις εξισώσεις $\Delta X_{i,j}^k = X_{i,j}^k - X_{i,j}^k$, $\Delta Y_{i,j}^k = Y_{i,j}^k - Y_{i,j}^k$ και $\Delta Z_{i,j}^k = Z_{i,j}^k - Z_{i,j}^k$, όπου (κ) είναι ο τύπος του δέκτη που χρησιμοποιήθηκε στην κάθε μέτρηση. Όλα τα μεγέθη του πίνακα έχουν ως μονάδα μέτρησης τα μέτρα (m).

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΔX, ΔY, ΔZ							
Trimble 5800 - Leica 1200+GNSS / WGS84							
Base	Rover	ΔX^{Tr} (m)	ΔX^L (m)	ΔY^{Tr} (m)	ΔY^L (m)	ΔZ^{Tr} (m)	ΔZ^L (m)
Est	Fys	-281,219	-281,216	33,039	33,039	257,253	257,246
Fys	Est	281,214	281,198	-33,040	-33,050	-257,254	-257,258
Fys	Gen	24,123	24,108	93,406	93,404	-55,641	-55,650
Gen	Fys	-24,122	-24,109	-93,406	-93,405	55,637	55,648
Gen	Lamg	183,219	183,231	-242,193	-242,189	-102,566	-102,556
Lamg	Gen	-183,225	-183,156	242,193	242,221	102,566	102,625

Πίνακας 4-12: Διαφορές Συνιστωσών ΔX, ΔY, ΔZ (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS)

Στη συνέχεια, ακολουθεί σύγκριση των διαφορών στις συνιστώσες ΔX, ΔY, ΔZ ανάμεσα στους δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS. Οι συνιστώσες όλες αναφέρονται στο Παγκόσμιο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Οι διαφορές μεταξύ των δύο τύπων δεκτών για την εκάστοτε συνιστώσα δίνονται από τις εξισώσεις $\Delta_{\Delta X} = \Delta X^{tr} - \Delta X^L$, $\Delta_{\Delta Y} = \Delta Y^{tr} - \Delta Y^L$ και $\Delta_{\Delta Z} = \Delta Z^{tr} - \Delta Z^L$. Δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις δύο ομάδες δεκτών. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,015m. Οι διαφορές των συνιστωσών κινούνται μέσα στα επιτρεπτά όρια, καθώς ο πίνακας 2-2 του Κεφ. 2 αναφέρει ότι για γρήγορες εφημερίδες, που κυρίως αυτές χρησιμοποιούνται σε καθημερινές τοπογραφικές εργασίας, οι οριζοντιογραφικές αποκλίσεις θα πρέπει να είναι μικρότερες από 0,030m και τα υψομετρικά σφάλματα μικρότερα 0,050m.

Εξαιρείται η βάση Lamg-Gen, που πιθανότητα έχει πραγματοποιηθεί χονδροειδές σφάλμα. Δεν συμμετέχει στην υπόλοιπη στατιστική επεξεργασία και στον προσδιορισμό του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS).

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΔX, ΔY, ΔZ ΜΕΤΑΞΥ TRIMBLE 5800 – LEICA 1200				
ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ WGS84				
Base	Rover	$\Delta X^{Tr}-\Delta X^L$ (m)	$\Delta X^{Tr}-\Delta X^L$ (m)	$\Delta X^{Tr}-\Delta X^L$ (m)
Est	Fys	-0,003	0,000	0,007
Fys	Est	0,006	0,010	0,004
Fys	Gen	0,015	0,002	0,009
Gen	Fys	-0,013	-0,001	-0,011
Gen	Lamg	-0,012	-0,004	-0,010
Lamg	Gen	0,069	-0,028	-0,059
RMS		0,011	0,005	0,009

Πίνακας 4-13: Διαφορές Συνιστώσων ΔX, ΔY, ΔZ Μεταξύ Trimble 5800 - Leica 1200+GNSS (WGS84)

4.4.2 Επαναλαμβανόμενες Βάσεις Για Χρόνο Παρατήρησης 20min

Τα ζευγάρια παρατήρησης πρέπει να συγκριθούν με προδιαγραφές ακρίβειας του κατασκευαστή. Η σύγκριση απαιτούσε από τις εικοσάλεπτες βάσεις να υποστούν την ίδια επεξεργασία με τις βάσεις που μετρήθηκαν για 40min. Σκοπός της όλης διαδικασίας είναι ο εντοπισμός και η απαλοιφή χονδροειδών και συστηματικών σφαλμάτων.

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές στις συνιστώσες X, Y, Z ανάμεσα σε πρώτη και δεύτερη σειρά μέτρησης στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει τις διαφορές $\Delta_{\Delta X}^{i,j}$, $\Delta_{\Delta Y}^{i,j}$, και $\Delta_{\Delta Z}^{i,j}$, όπου i,j είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάθρου του δορυφορικού δικτύου (Lamg, Est, Gen, Fys), με (i) συμβολίζονται τα σημεία Base, ενώ με (j) συμβολίζονται τα σημεία Rover. Οι διαφορές δίνονται από τους τύπους $\Delta_{\Delta X}^{i,j} = \Delta X_{i,j}^{1\eta} - \Delta X_{i,j}^{2\eta}$, $\Delta_{\Delta Y}^{i,j} = \Delta Y_{i,j}^{1\eta} - \Delta Y_{i,j}^{2\eta}$ και $\Delta_{\Delta Z}^{i,j} = \Delta Z_{i,j}^{1\eta} - \Delta Z_{i,j}^{2\eta}$. Οι διαφορές για τις συνιστώσες ΔX, ΔY, ΔZ της πρώτης και της δεύτερης σειράς μέτρησης έχουν υπολογιστεί στον πίνακα 4-12. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,006m και κυμαίνονται εντός των επιτρεπτών ορίων. Επίσης, οι αποκλίσεις μετασχηματίστηκαν σε μορφή ppm από τις εξισώσεις $ppm_{\Delta X} = \frac{\sigma_{\Delta X}^{i,j}}{L_{i,j}}$, $ppm_{\Delta Y} = \frac{\sigma_{\Delta Y}^{i,j}}{L_{i,j}}$ και $ppm_{\Delta Z} = \frac{\sigma_{\Delta Z}^{i,j}}{L_{i,j}}$, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση των σφαλμάτων με την ακρίβεια του κατασκευαστή. Ο παρακάτω πίνακας αναφέρεται μονάχα σε μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Trimble 5800.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ PPM(ΔX , ΔY , ΔZ)							
Trimble 5800/ WGS84							
ΒΑΣΕΙΣ		$\Delta X_2^T - \Delta X_1^T$	ppm(ΔX)	$\Delta Y_2^T - \Delta Y_1^T$	ppm(ΔY)	$\Delta Z_2^T - \Delta Z_1^T$	ppm(ΔZ)
Est	Fys	-0,005	$1,8 \cdot 10^{-5}$	-0,001	$3,5 \cdot 10^{-6}$	-0,001	$3,5 \cdot 10^{-6}$
Fys	Gen	0,001	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0,000	0,000	-0,004	$4,1 \cdot 10^{-5}$
Gen	Lamg	-0,006	$2,0 \cdot 10^{-5}$	0,000	0,000	0,000	0,000
Αναλογικό Σφάλμα Κατασκευαστή: ppm _{op} =0,005m και ppm _{υψ} =0,005m							

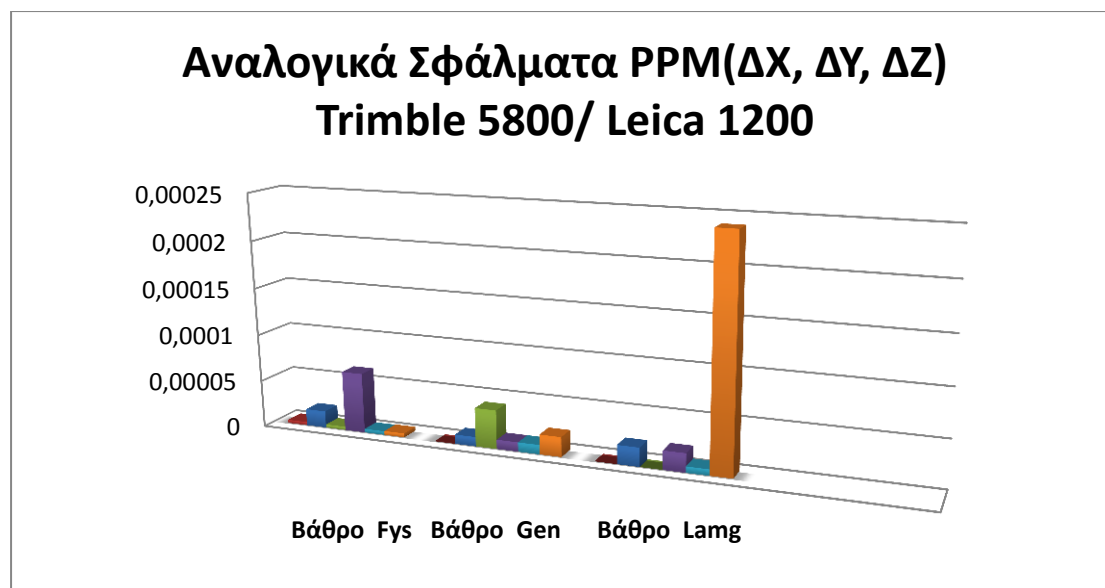
Πίνακας 4-14: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , ΔZ] (Trimble 5800/WGS84)

Η διαδικασία που περιγράφηκε στον πίνακα 4-14 έγινε και για τον πίνακα 4-15 με τη διαφορά ότι αναφέρεται σε μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Οι απόλυτες διαφορές των συνιστωσών ανάμεσα σε πρώτη και δεύτερη σειρά μέτρησης κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,018m και είναι εντός των επιτρεπτών ορίων. Εξαιρούνται οι διαφορές της βάσης Gen-Lamg επειδή θεωρήθηκε ότι έχει πραγματοποιηθεί χονδροειδές σφάλμα και η μέτρηση είναι λανθασμένη. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι βάσεις που μετρήθηκαν για 40min έχουν καλύτερη ακρίβεια από τις βάσεις που μετρήθηκαν 20min. Παρόλα αυτά, όλα τα σφάλματα είναι αποδεκτά, καθώς είναι πολύ μικρότερες από τα προτεινόμενα όρια του πίνακα 2-1 του Κεφ. 2. Ο παρακάτω πίνακας αναφέρεται μονάχα σε μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Leica 1200+GNSS.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ PPM(ΔX , ΔY , ΔZ)							
Leica 1200+GNSS/ WGS84							
ΒΑΣΕΙΣ		$\Delta X_2^L - \Delta X_1^L$	ppm(ΔX)	$\Delta Y_2^L - \Delta Y_1^L$	ppm(ΔY)	$\Delta Z_2^L - \Delta Z_1^L$	ppm(ΔZ)
Est	Fys	-0,018	$-6,4 \cdot 10^{-5}$	-0,011	$-3,9 \cdot 10^{-6}$	-0,012	$-4,2 \cdot 10^{-6}$
Fys	Gen	-0,001	$-1,0 \cdot 10^{-5}$	-0,001	$-1,0 \cdot 10^{-5}$	0,002	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Gen	Lamg	-0,006	$-2,0 \cdot 10^{-5}$	0,002	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,069	$2,3 \cdot 10^{-4}$
Αναλογικό Σφάλμα Κατασκευαστή: ppm _{op} =0,005m και ppm _{υψ} =0,01m							

Πίνακας 4-15: Αναλογικά Σφάλματα PPM[ΔX , ΔY , ΔZ] (Leica 1200+GNSS/WGS84)

Τα αναλογικά σφάλματα ppm(ΔX , ΔY , ΔZ) των δεκτών Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα, όπου οι τρεις πρώτες στήλες κάθε βάρους αναφέρονται σε μετρήσεις από δέκτες Trimble 5800, ενώ οι υπόλοιπες στήλες περιλαμβάνουν τις τιμές των δεκτών Leica 1200+GNSS. Εύκολα παρατηρείται ότι τα αναλογικά σφάλματα είναι σχετικά μικρά με εξαίρεση της βάση Gen-Lamg που είναι λανθασμένη. Τα σφάλματα ppm(ΔX , ΔY , ΔZ) είναι παρόμοια και για τους δύο τύπους δεκτών, θεωρούνται εντός του θορύβου των μετρήσεων και πολύ μικρότερα από την ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή.



Εικόνα 4-3: Αναλογικά Σφάλματα PPM[$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$] Για Κάθε Βάθρο (Trimble 5800/Leica 1200)

Στα πλαίσια του τοπικού ελέγχου δεν παρουσιάζονται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων, οπότε θεωρείται ότι όλες οι παρατηρήσεις είναι κατάλληλα σταθμισμένες και τα δορυφορικά δεδομένα πληρούν τα κριτήρια ακρίβειας των δεκτών για σχετικό στατικό εντοπισμό σε τοπογραφικές εργασίες. Επίσης, ο τοπικός έλεγχος ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Η μέτρηση που υπερβαίνει τα όρια, αρχικά απορρίπτεται, στη συνέχεια επαναξιολογείται εκ νέου η αβεβαιότητα της και τέλος αναθεωρούνται οι επιβαλλόμενοι περιορισμοί της.

4.4.3 Ανάλυση κλεισίματος βρόχων

Η συγκεκριμένη υποενότητα ασχολείται με το αλγεβρικό άθροισμα των παραμέτρων για κάθε βρόχο. Η πρώτη περίπτωση που θα εξεταστεί είναι ο βρόχος Lamg – Fys – Gen – Est, σε κάθε βρόχο υπολογίζονται τα αθροίσματα C_X, C_Y, C_Z για τις συνιστώσες $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$. Η ίδια μεθοδολογία εφαρμόζεται και για τους υπόλοιπους κλειστούς βρόγχους.

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει το σφάλμα κλεισίματος των βρόχων. Όλες οι συνιστώσες αναφέρονται στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Ο πίνακας περιέχει τις διαφορές $\Delta X_{i,j}, \Delta Y_{i,j}, \Delta Z_{i,j}$ όπου i,j είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάρου του δορυφορικού δικτύου (Lamg, Est, Gen, Fys), με (i) συμβολίζονται τα σημεία Base, ενώ με (j) συμβολίζονται τα σημεία Rover. Αρχικά, προσδιορίζεται η εξίσωση του αθροίσματος των διαφορών των συνιστωσών (X) $C_X = \Delta X_{LF} + \Delta X_{FG} + \Delta X_{GE} + \Delta X_{EL}$. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η εξίσωση του αθροίσματος των διαφορών των συνιστωσών (Y) $C_Y = \Delta Y_{LF} + \Delta Y_{FG} + \Delta Y_{GE} + \Delta Y_{EL}$. Έπειτα, καθορίζονται τα στοιχεία της εξίσωσης του αθροίσματος των διαφορών των συνιστωσών (Z) $C_Z = \Delta Z_{LF} + \Delta Z_{FG} + \Delta Z_{GE} + \Delta Z_{EL}$. Τέλος, προσδιορίζεται το σφάλμα κλεισίματος των βρόχων από τον τύπο $C_E = \sqrt{C_X^2 + C_Y^2 + C_Z^2}$. Όλα τα μεγέθη του πίνακα έχουν ως

μονάδα μέτρησης τα μέτρα (m). Το σφάλμα είναι 0,0069m για τις μετρήσεις με τους δέκτες Trimble 5800 και 0,0034m για τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Παρατηρείται ότι το σφάλμα κλεισίματος των συνιστωσών X ,Y και Z είναι περίπου τα μισά για τους δέκτες Leica 1200+GNSS σε σχέση Trimble 5800.

ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΒΡΟΓΧΩΝ (Lamg - Fys- Gen - Est)					
Trimble 5800 - Leica 1200+GNSS/ WGS84					
(X)	C_X (m)	ΔX_{LF} (m)	ΔX_{FG} (m)	ΔX_{GE} (m)	ΔX_{EL} (m)
Trimble	-0,004	-207,358	24,123	257,092	-73,871
Leica	-0002	-207,346	25,108	257,103	-73,867
(Y)	C_Y (m)	ΔY_{LF} (m)	ΔY_{FG} (m)	ΔY_{GE} (m)	ΔY_{EL} (m)
Trimble	-0,004	148,784	93,406	-126,447	-115,747
Leica	-0,002	148,786	93,404	-126,444	-115,748
(Z)	C_Z (m)	ΔZ_{LF} (m)	ΔZ_{FG} (m)	ΔZ_{GE} (m)	ΔZ_{EL} (m)
Trimble	-0,004	158,204	-55,641	-201,616	99,049
Leica	-0,001	158,200	-55,650	-201,604	99,053
$C_E^{Trimble}$ (m)		0,0069	C_E^{Leica} (m)		0,0034

Πίνακας 4-16: Κλείσιμο Βρόγχων [Lamg-Fys-Gen-Est] (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS)

Η δεύτερη περίπτωση που θα εξεταστεί είναι ο βρόχος Lamg – Est – Gen – Fys, και στην συνέχεια υπολογίζονται τα αθροίσματα C_X , C_Y , C_Z για κάθε συνιστώσα ΔX , ΔY , ΔZ όπως παραπάνω. Το σφάλμα κλεισίματος είναι 0,0037m για τις μετρήσεις με τους δέκτες Trimble 5800 και 0,0170m για τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Παρατηρείται ότι το σφάλμα κλεισίματος των συνιστωσών X ,Y και Z είναι πολύ μικρότερα για τους δέκτες Trimble 5800 σε σχέση Leica 1200+GNSS. Ο ακόλουθος πίνακας αναφέρεται σε μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS.

ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΒΡΟΓΧΩΝ (Lamg - Est- Gen - Fys)					
Trimble 5800 - Leica 1200+GNSS/ WGS84					
(X)	C_X (m)	ΔX_{LE} (m)	ΔX_{EG} (m)	ΔX_{GF} (m)	ΔX_{FL} (m)
Trimble	-0,003	73,870	-257,094	-24,122	207,343
Leica	-0011	73,866	-257,099	-24,109	207,331
(Y)	C_Y (m)	ΔY_{LE} (m)	ΔY_{EG} (m)	ΔY_{GF} (m)	ΔY_{FL} (m)
Trimble	-0,001	115,747	126,447	-93,406	-148,787
Leica	-0,005	115,743	126,444	-93,405	-148,787
(Z)	C_Z (m)	ΔZ_{LE} (m)	ΔZ_{GE} (m)	ΔZ_{GF} (m)	ΔZ_{FL} (m)
Trimble	-0,002	-99,047	201,613	55,637	-158,205
Leica	-0,012	-99,054	201,604	55,648	-158,210
$C_E^{Trimble}$ (m)		0,0037	C_E^{Leica} (m)		0,0170

Πίνακας 4-17: Κλείσιμο Βρόγχων [Lamg-Est-Gen-Fys] (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS)

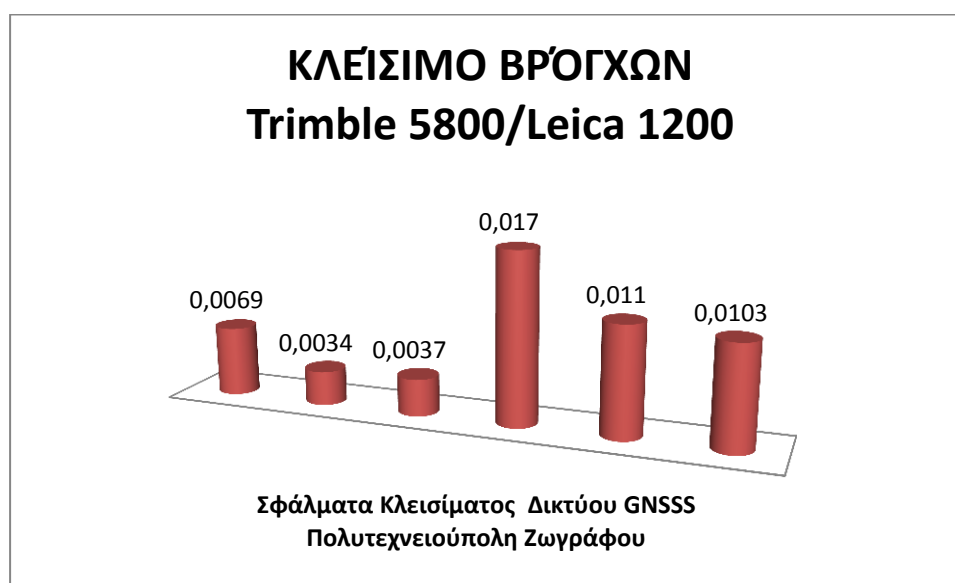
Η τρίτη περίπτωση που θα εξεταστεί είναι ο βρόχος Lamg – Gen – Fys – Est, και στην συνέχεια υπολογίζονται τα αθροίσματα C_X , C_Y , C_Z για κάθε συνιστώσα ΔX , ΔY , ΔZ . Το σφάλμα κλεισίματος είναι 0,0110m για τις μετρήσεις με τους δέκτες

Trimble 5800 και 0,0103m για τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Παρατηρείται ότι το σφάλμα κλεισίματος των συνιστωσών X ,Y και Z είναι παρόμοια για τους δέκτες Trimble 5800 και τους Leica 1200+GNSS, διαφέρουν περίπου στην κάθε συνιστώσα κατά 0,001m. Ο ακόλουθος πίνακας αναφέρεται σε μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Trimble 5800.00 και Leica 1200+GNSS.

ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΒΡΟΓΧΩΝ (Lamg - Gen - Fys - Est)					
Trimble 5800 - Leica 1200+GNSS/ WGS84					
(X)	C _X (m)	ΔX _{LG} (m)	ΔX _{GF} (m)	ΔX _{FE} (m)	ΔX _{EL} (m)
Trimble	-0,009	-183,225	257,092	-281,219	207,343
Leica	-0,007	-183,231	257,103	-281,216	207,337
(Y)	C _Y (m)	ΔY _{LG} (m)	ΔY _{GF} (m)	ΔY _{FE} (m)	ΔY _{EL} (m)
Trimble	-0,002	242,193	-126,447	33,039	-148,787
Leica	-0,003	242,189	-126,444	33,039	-148,787
(Z)	C _Z (m)	ΔZ _{LG} (m)	ΔZ _{GF} (m)	ΔZ _{FE} (m)	ΔZ _{EL} (m)
Trimble	-0,006	102,562	-201,616	257,253	158,205
Leica	-0,007	102,556	-201,604	257,251	-158,210
C _E ^{Trimble} (m)		0,0110	C _E ^{Leica} (m)		0,0103

Πίνακας 4-18: Κλείσιμο Βρόγχων [Lamg-Gen-Fys-Est] (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS)

Το σφάλμα κλεισίματος βρόγχων των δύο τύπων δεκτών για τις τρεις περιπτώσεις που περιγράψαμε προηγουμένως, παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα, όπου οι δύο πρώτες στήλες αναφέρονται στο βρόγχο Lamg – Fys – Gen – Est, οι δύο επόμενες στο βρόγχο Lamg - Est- Gen – Fys και οι δύο τελευταίες στο βρόγχο Lamg - Gen - Fys – Est. Οι μετρήσεις trimble 5800 απεικονίζονται στην 1^η, 3^η και 5^η στήλη, ενώ οι μετρήσεις Leica 1200+GNSS εμφανίζονται στην δεύτερη, τέταρτη και έκτη στήλη. Εύκολα παρατηρείται ότι τα σφάλματα κλεισίματος είναι σχετικά μικρά και κυμαίνονται εντός των επιτρεπτών ορίων.



Εικόνα 4-4:Κλεισίματα Βρόγχων Trimble5800/Leica 1200+GNSS (WGS84)

Το μειονέκτημα της μεθόδου του κλεισίματος βρόγχου είναι ότι δεν μπορεί να εντοπίσει τη παρατήρηση που πιθανότατα είναι επηρεασμένη από χονδροειδές σφάλμα. Στο συγκεκριμένο δίκτυο, όμως υπάρχουν διαθέσιμες επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, οπότε μπορούν να διαγνωστούν μη τυχαία σφάλματα. Η βάση που είναι λανθασμένη είναι η Lamg-Gen. Η ίδια λανθασμένη βάση έχει προσδιοριστεί και από τους υπόλοιπους στατιστικούς ελέγχους. Παρόλα αυτά, επειδή όλες οι υπόλοιπες βάσεις είναι πολύ καλές, μπορεί να εξισορροπηθεί το σφάλμα και να είναι όλοι οι βρόγχοι αποδεκτοί.

4.5 Ολικός Έλεγχος Δικτύων (Global Test)

Ο ολικός έλεγχος έγινε σε δύο φάσεις. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε συνόρθωση με ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις, δηλαδή με ένα γνωστό σημείο αναφοράς (Lamg) και στη συνέχεια, συνόρθωση με πλήρη δεσμευμένη επίλυση, δηλαδή με δύο γνωστά σημεία αναφοράς (Lamg, Est). Το λογισμικό επεξεργασίας που εφαρμόστηκε για την συνόρθωση του δικτύου ήταν το GrafNet. Επίσης, στο πλαίσιο της εργασίας, έγινε ανάπτυξη λογισμικού συνόρθωσης και σε περιβάλλον Excel για συγκριτικούς λόγους. Να σημειωθεί ότι και οι δύο τρόποι επεξεργασίας λογισμικών έδωσαν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα.

4.5.1 Έλεγχος Του Δικτύου Με Έναν Σταθερό Σταθμό Για Κατανομή χ^2

Η συνόρθωση του δικτύου με ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις έγινε με σταθερό σημείο αναφοράς, το βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg). Ο αριθμός των μετρήσεων είναι σαράντα δύο ($n=42$) και προσφέρει στο δίκτυο πλεονάζουσες παρατηρήσεις. Οι άγνωστες καθοριστικές παράμετροι είναι εννέα ($m=9$), για τον πλήρη ορισμό του δικτύου. Ο Βαθμός Ελευθερίας ($r=n-m \Rightarrow r=33$) όπως προκύπτει από την αφαίρεση του αριθμού των μετρήσεων (n) προς τον αριθμό των άγνωστων καθοριστικών παραμέτρων (m). Η a -priori τυπική μονάδα βάρους ορίστηκε αυθαίρετα και παίρνει την τιμή της μονάδας ($\sigma_{\text{apriori}} = 1m$). Ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στην a -posteriori και a -priori τυπική μονάδα βάρους είναι περίπου ένα ($Var.Factor^{Tr}=1,0021$ και $Var.Factor^L=1,0000$), και δίνεται από: $Variance\ Factor = \sigma_{\text{apriori}}^2 / \sigma_{\text{apost}}^2 \Rightarrow \sigma_{\text{aposteriori}} = 1 / \sqrt{Variance\ Factor} \Rightarrow \sigma_{\text{apost}}^{Tr} = 0,999m$ και $\sigma_{\text{apost}}^{Tr} = 1,000m$. Ο πίνακας X_n^2 για διάστημα εμπιστοσύνης 95% δίνει τα επιτρεπτά όρια μέσα στα οποία πρέπει να κυμαίνεται η κατανομή του δικτύου, τα οποία είναι ίδια και για τους δύο δέκτες ($Κατ. Όριο = 0,578$ και $Αν. Όριο = 1,536$).

ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ		
Τύπος Δεκτών	Trimble 5800	Leica 1200+GNSS
Άγνωστες Καθοριστικές Παράμετροι (m)	9	9
Αριθμός Μετρήσεων (n)	42	42
Βαθμός Ελευθερίας (r=n-m)	33	33
$\hat{\sigma}_0$ a-posteriori	0,999	1,000
Ανώτερο Επιτρεπτό Όριο	1,536	1,536
Κατώτερο Επιτρεπτό Όριο	0,578	0,578
$\hat{\sigma}_0$ a-priori	1,000	1,000
Variance Factor	1,002	1,000

Πίνακας 4-19: Παράμετροι Συνόρθωσης Με Έναν Σταθερό Σταθμό (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS)

4.5.2 Συντεταγμένες Και Σφάλματα Με Έναν Σταθερό Σταθμό

Η συνόρθωση του δικτύου με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις, έδωσε γεωδαιτικές συντεταγμένες για όλα τα σημεία του δικτύου, όπως και οριζοντιογραφικά, υψομετρικά σφάλματα για κάθε βάθρο. Οι πίνακες με τις γεωδαιτικές συντεταγμένες βρίσκονται στο Παράρτημα Β. Οι συντεταγμένες στη γεωδαιτική μορφή ITRF08 θεωρούνται ίδιες με τις αντίστοιχες στο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84, όπως αναφέρεται στην ενότητα 4.2.1. Η μετατροπή των γεωδαιτικών συντεταγμένων σε καρτεσιανές συντεταγμένες του ίδιου συστήματος πραγματοποιήθηκε μέσω του διαδικτυακού προγράμματος Natural Resources Canada και δεν περιέχει σφάλματα. Τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα είναι ακριβώς τα ίδια για όλα τα σημεία που συμμετέχουν στη συνόρθωση του δικτύου, δηλαδή $\sigma_{op}^{Trimble} = \pm 0,007m$ και $\sigma_{υψ}^{Trimble} = \pm 0,005m$. Ο παρακάτω πίνακας αναφέρεται μονάχα σε μετρήσεις που έγιναν από δέκτες Trimble 5800.

ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WGS84						
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Trimble 5800						
Στ. Σημ.	Σημεία	X (m)	Y (m)	Z (m)	σ_{op} (m)	$\sigma_{υψ}$ (m)
Lamg	Lamg	4606902,298	2029974,995	3903427,339	0,007	0,005
	Est	4606976,166	2030090,738	3903328,287	0,007	0,005
	Fys	4606694,958	2030123,780	3903585,542	0,007	0,005
	Gen	4606719,067	2030217,183	3903529,893	0,007	0,005

Πίνακας 4-20: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84/ Συνόρθωση Με Έναν Σταθερό Σταθμό (Trimble 5800)

Η αβεβαιότητα τοπογραφικής εργασίας (SU) είναι η οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια για κάθε σημείο του δικτύου, απαλλαγμένη από τα σφάλματα που προέρχονται από το σύστημα αναφοράς. Εκφράζει την αβεβαιότητα που προκύπτει από τις μετρήσεις των σημείων, της ακρίβειας της μέτρησης και της γεωμετρίας του δικτύου. Μετά τη συνόρθωση του δικτύου με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Οι οριζοντιογραφικές και υψομετρικές συντεταγμένες που προκύπτουν μετά τη συνόρθωση του δικτύου με ένα σταθερό

γνωστό σημείο πρέπει να έχουν σφάλματα μικρότερα από $\pm 10mm \pm 15ppm$ για διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Ο παρακάτω πίνακας εμπεριέχει τα τυπικά σφάλματα των καρτεσιανών συντεταγμένων όπως προήλθαν από τη συνόρθωση του δικτύου με σταθμό αναφοράς το βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg). Η επίλυση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό επεξεργασίας GrafNet, πρώτα από μετρήσεις των δεκτών Trimble 5800 και στη συνέχεια με μετρήσεις από τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Παρατηρείται ότι όλα τα σημεία του δικτύου, εκτός από το σημείο με τις γνωστές συντεταγμένες ($S_E = S_N = 0,0122m$ και $S_{UP} = 0,0122m$) έχουν ακριβώς την ίδια οριζοντιογραφική ($S_E = S_N = 0,0123m$) και υψομετρική ακρίβεια ($S_{UP} = 0,0124m$). Η κυκλική περιοχή εμπιστοσύνη προσδιορίζεται από το τύπο $C. Radius = \sqrt{SU_E^2 + SU_N^2 + SU_{up}^2}m$.

ΤΥΠΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Trimble 5800				
Σημεία	SU (E)	SU (N)	SU (Up)	C. Radius
Lamg	0,0123	0,0123	0,0124	0,0214
Est	0,0123	0,0123	0,0124	0,0214
Fys	0,0123	0,0123	0,0124	0,0214
Gen	0,0122	0,0122	0,0124	0,0212

Πίνακας 4-21: Τυπικά Σφάλματα Καρτεσιανών Συντεταγμένων WGS84/ Συνόρθωση Με Έναν Σταθερό Σταθμό (Trimble 5800)

Ο πίνακας που ακολουθεί είναι παρόμοιος με τον πίνακα 4-20, με τη διαφορά ότι αναφέρεται στη συνόρθωση με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις, αλλά μονάχα από μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα είναι ακριβώς τα ίδια για όλα τα σημεία που συμμετέχουν στη συνόρθωση του δικτύου, δηλαδή $\sigma_{op}^{Leica} = \pm 0,007m$ και $\sigma_{\psi}^{Leica} = \pm 0,005m$.

ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WGS84						
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Leica 1200+GNSS						
Στ. Σημ.	Σημεία	X (m)	Y (m)	Z (m)	σ_{op} (m)	σ_{ψ} (m)
Lamg	Lamg	4606902,298	2029974,995	3903427,339	0,007	0,005
	Est	4606976,168	2030090,741	3903328,289	0,007	0,005
	Fys	4606694,953	2030123,782	3903585,544	0,007	0,005
	Gen	4606719,075	2030217,188	3903529,903	0,007	0,005

Πίνακας 4-22: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84/ Συνόρθωση Με Έναν Σταθερό Σταθμό (Leica 1200+GNSS)

Ο πίνακας 4-23 εμπεριέχει τα τυπικά σφάλματα των καρτεσιανών συντεταγμένων όπως προήλθαν από τη συνόρθωση του δικτύου με σταθμό αναφοράς το Βάθρο Κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg), αλλά από μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Παρατηρείται ότι όλα τα σημεία του δικτύου έχουν ακριβώς την ίδια οριζοντιογραφική ακρίβεια ($S_E = S_N = 0,0087m$), ενώ η υψομετρική ακρίβεια είναι διαφορετική ανάμεσα στα σημεία που ο χρόνος

παρατήρησης είναι σαράντα (40min) λεπτά ($S_{UP}^{Est} = S_{UP}^{Lamg} = 0,0087 m$) και στα σημεία που μετρήθηκαν για είκοσι (20min) λεπτά ($S_{UP}^{Fys} = S_{UP}^{Gen} = 0,0087 m$). Οι τιμές των τυπικών σφαλμάτων είναι αρκετά μειωμένες σε σχέση με τα αποτελέσματα του πίνακα 4-21. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τις τιμές των τυπικών σφαλμάτων μετά τη συνόρθωση με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων με έναν σταθερό σταθμό αναφοράς (Lamg).

ΤΥΠΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Leica 1200+GSS				
Σημεία	SU (E)	SU (N)	SU (Up)	C. Radius
Lamg	0,0087	0,0087	0,0087	0,0151
Est	0,0087	0,0087	0,0088	0,0151
Fys	0,0087	0,0087	0,0088	0,0151
Gen	0,0087	0,0087	0,0087	0,0151

Πίνακας 4-23: Τυπικά Σφάλματα Καρτεσιανών Συντεταγμένων WGS84/ Συνόρθωση Με Έναν Σταθερό Σταθμό (Leica 1200+GNSS)

4.5.3 Σύγκριση Των Βάσεων Του Δικτύου Με Έναν Σταθερό Σταθμό

Η ενότητα αυτή ασχολείται με τη σύγκριση των συντεταγμένων X, Y, Z της κορυφής κάθε βάθρου του δικτύου για τους δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS. Οι συντεταγμένες αναφέρονται στο Παγκόσμιο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Οι διαφορές των συντεταγμένων σε σχέση με τους δύο τύπους δεκτών δίνονται για το κάθε βάθρο από τις εξισώσεις $\Delta X = X^{tr} - X^L$, $\Delta Y = Y^{tr} - Y^L$ και $\Delta Z = Z^{tr} - Z^L$. Δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις δύο ομάδες δεκτών. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,010m. Η αναμενόμενη ακρίβεια για συνορθωμένες μετρήσεις είναι λίγα χιλιοστά, οπότε οι μετρήσεις είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια. Επιπλέον, προσδιορίζεται το μέσο τετραφωνικό σφάλμα (RMS).

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ X, Y, Z			
TRIMBLE 5800 – LEICA 1200/WGS84			
Σημεία	$X^{Tr}-X^L$ (m)	$Y^{Tr}-Y^L$ (m)	$Z^{Tr}-Z^L$ (m)
Est	-0,002	-0,003	-0,002
Fys	0,005	-0,002	-0,002
Gen	-0,008	-0,005	-0,010
RMS	0,005	0,001	0,004

Πίνακας 4-24: Διαφορές Συντεταγμένων X, Y, Z (Trimble 5800-Leica 1200)

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές των συντεταγμένων X, Y, Z ανάμεσα στο δίκτυο που έχει συνορθωθεί με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις και των αρχικών συντεταγμένων του πίνακα 4-2. Οι διαφορές στην κάθε περίπτωση προσδιορίζονται από τις εξισώσεις $\Delta X_i = X_i^Z - X_i^A$, $\Delta Y_i = Y_i^Z - Y_i^A$ και $\Delta Z_i = Z_i^Z - Z_i^A$ με (i) συμβολίζεται η εκάστοτε κορυφή (Est, Fys, Gen). Η σύγκριση έγινε τόσο για τους δέκτες Trimble 5800, όσο και για τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Οι

απόλυτες διαφορές των συνορθωμένων και των αρχικών συντεταγμένων κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,008m και θεωρούνται εντός των επιτρεπτών ορίων. Παρατηρούνται μικρότερες διαφοροποιήσεις στους δέκτες Leica 1200+GNSS ανάμεσα στις αρχικές και τις συνορθωμένες συντεταγμένες. Παρόλα αυτά, όλες οι διαφορές είναι πολύ μικρές της τάξης χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ X, Y, Z / Trimble 5800 – Leica 1200+GNSS						
ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ – ΑΡΧΙΚΩΝ						
Σημεία (Δέκτης)	X ^Σ -X ^Α (Trimble)	X ^Σ -X ^Α (Leica)	Y ^Σ -Y ^Α (Trimble)	Y ^Σ -Y ^Α (Leica)	Z ^Σ -Z ^Α (Trimble)	Z ^Σ -Z ^Α (Leica)
Est	-0,002	0,000	-0,002	0,001	-0,005	-0,003
Fys	0,008	0,003	0,001	0,003	-0,001	0,001
Gen	-0,006	0,002	-0,005	0,000	-0,008	0,002

Πίνακας 4-25: Διαφορές Συντεταγμένων X, Y, Z, Συνορθωμένων - Αρχικών (Trimble 5800 - Leica 1200+GNSS)

4.5.4 Έλεγχος Βάσεων Για Διάστημα Εμπιστοσύνης 95%

Ο συγκεκριμένος έλεγχος πραγματοποιείται μετά τη συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθμό σταθερό. Ως σταθερό σημείο αναφοράς χρησιμοποιείται το Βάθρο Κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg). Ο έλεγχος περιέχει τις διορθώσεις των βάσεων από τις γνωστές συνταγμένες και τα τυπικά σφάλματα που προέρχονται από την επίλυση του δικτύου με έναν σταθερό σταθμό αναφοράς (Lamg).

Ο προσδιορισμός των τυπικών σφαλμάτων για την κάθε βάση ξεχωριστά έγινε με μια σύνθετη διαδικασία. Το λογισμικό επεξεργασίας GrafNet δεν παρέδωσε τον τελικό πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας για την κάθε βάση, αλλά τον πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας του Forward και του Return.

Βήμα πρώτο: Εφαρμόζεται ο Νόμος Μετάδοσης Μεταβλητοτήτων στην παρακάτω εξίσωση:

$$\begin{pmatrix} \Delta X_{ij} \\ \Delta Y_{ij} \\ \Delta Z_{ij} \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \Delta X_{ij}^F & \Delta X_{ij}^R \\ \Delta Y_{ij}^F + \Delta Y_{ij}^R \\ \Delta Z_{ij}^F & \Delta Z_{ij}^R \end{pmatrix}$$

Βήμα δεύτερο: Προσδιορίζεται ο ενδιάμεσος πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας, που είναι το διανυσματικό άθροισμα των αντίστοιχων πινάκων του Forward και Return.

$$V_{ij}^{FR} = V_{ij}^F + V_{ij}^R \Rightarrow \begin{bmatrix} V_{ij}^F & 0 \\ 0 & V_{ij}^R \end{bmatrix}$$

Βήμα τρίτο: Υπολογίζονται οι Ιακωβιανοί πίνακες για μη γραμμικοποιημένη μορφή εξισώσεων, σύμφωνα με το ανάπτυγμα Taylor.

Βήμα τέταρτο: Ο τελικός πίνακας μεταβλητότητας συµμεταβλητότητας προέρχεται από την ακόλουθη εξίσωση και δίνει τις μεταβλητότητες της κάθε βάσης.

$$V_{ij} = J_{ij} * V_{ij}^{FR} * J_{ij}^T$$

Αφού πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες διεργασίες για τον έλεγχο των βάσεων και προσδιοριστεί το κανονικοποιημένο υπόλοιπο, το οποίο προκύπτει από την εξίσωση $\text{Καν.Υπόλοιπο} = \frac{\text{Δίορθωση}}{\text{Τυπ. Σφάλμα}}$, για να είναι αποδεκτή η εκάστοτε συνιστώσα θα πρέπει να ισχύει $\text{Καν.Υπόλοιπο} \leq \text{Τυπ.Απόκλιση}$ (95%). Οι μη αποδεκτές συνιστώσες συµβολίζονται µε κόκκινο χρώµα στους πίνακες.

Ο παρακάτω πίνακας περιλαµβάνει τον έλεγχο των οριζοντιογραφικών συνιστωσών στο Καρτεσιανό Σύστηµα Αναφοράς WGS84. Πιο συγκεκριµένα παρουσιάζει την διαφορά $\Delta X_{i,j}$, $\Delta Y_{i,j}$ όπου i,j είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάθρου του δορυφορικού δικτύου (Lamg, Est, Gen, Fys), µε (i) συµβολίζονται τα σηµεία Base, ενώ µε (j) συµβολίζονται τα σηµεία Rover. Οι διαφορές υπολογίζονται τις εξισώσεις $\Delta_{\Delta X}^{i,j} = \Delta X_{i,j}^{\Sigma\nu\nu} - \Delta X_{i,j}^{A\rho\chi}$ και $\Delta_{\Delta Y}^{i,j} = \Delta Y_{i,j}^{\Sigma\nu\nu} - \Delta Y_{i,j}^{A\rho\chi}$ για τους δέκτες Trimble 5800. Επιπλέον, περιέχει το τυπικό σφάλµα $\sigma_{\sigma\rho}^{\text{Trimble}}$, όπως προέκυψε από τη παραπάνω διεργασία για τη κάθε βάση (µετά τη συνόρθωση του δικτύου µε σταθερό βάθρο Lamg). Το κανονικοποιηµένο υπόλοιπο προκύπτει από την σχέση $\text{Καν.Υπόλοιπο} = \text{Δίορθωση} / \text{Τυπ.Σφάλμα}$. Τέλος, η τυπική απόκλιση για διάστηµα εµπιστοσύνης 95%, είναι $\sigma_{95} = 1,960m$, οπότε για να είναι αποδέκτες οι τιµές του κανονικοποιηµένου υπόλοιπου θα πρέπει $\text{Καν.Υπόλοιπο} \leq \text{Τυπ.Απόκλιση}$ (95%). Παρατηρείται ότι µονάχα µια παράµετρος δεν είναι αποδεκτή γεγονός το οποίο θεωρείται τυχαίο επειδή η τιμή είναι πολύ κοντά στα επιτρεπτά όρια. Η συγκεκριµένη βάση θεωρήθηκε λανθασµένη και στις υπόλοιπες στατιστικές επεξεργασίες, πιθανότατα έχει πραγµατοποιηθεί χονδροειδές σφάλµα. Ο ακόλουθος πίνακας αναφέρεται µονάχα σε µετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Trimble 5800. Οι μη αποδεκτές συνιστώσες X, Y αναγράφονται µε κόκκινο χρώµα.

ΈΛΕΓΧΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ (X, Y)						
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Trimble 5800						
Βάσεις		$\Delta X_i^T - \Delta X_i^A$	$\Delta Y_i^T - \Delta Y_i^A$	Τυπ. Σφάλμα	Καν. Υπόλ. X	Καν. Υπόλ. Y
Lamg	Est	0,000	0,000	0,0020	0,000	0,000
Lamg	Est	-0,001	-0,001	0,0020	0,500	0,500
Est	Lamg	0,000	0,000	0,0020	0,000	0,000
Est	Lamg	-0,001	-0,001	0,0020	0,500	0,500
Est	Fys	-0,001	-0,001	0,0025	0,392	0,392
Est	Gen	0,001	0,001	0,0032	0,316	0,316
Lamg	Fys	0,000	0,000	0,0025	0,000	0,000
Lamg	Gen	0,000	0,000	0,0025	0,000	0,000
Gen	Fys	0,001	0,001	0,0030	0,333	0,333
Fys	Lamg	-0,005	-0,005	0,0030	1,667	1,667
Fys	Est	-0,004	-0,004	0,0030	1,333	1,333
Fys	Gen	0,000	0,000	0,0025	0,000	0,000
Gen	Est	-0,003	-0,003	0,0030	1,000	1,000
Gen	Lamg	-0,006	-0,006	0,0030	2,000	2,000
ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΝΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ						

Πίνακας 4-26: Έλεγχος Οριζοντιογραφικών Συνιστωσών - Συνόρθωση Με Έναν Σταθερό Σταθμό (Trimble 5800)

Ο πίνακας 4-27 περιέχει τον έλεγχο των υψομετρικών συνιστωσών στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει την διαφορά $\Delta Z_{i,j}$, όπου i,j είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάρους του δορυφορικού δικτύου (Lamg, Est, Gen, Fys), με (i) συμβολίζονται τα σημεία Base, ενώ με (j) συμβολίζονται τα σημεία Rover. Οι διαφορές υπολογίζονται την εξίσωση $\Delta_{\Delta Z}^{i,j} = \Delta Z_{i,j}^{Synv} - \Delta Z_{i,j}^{Apx}$ για τους δέκτες Trimble 5800. Επιπλέον, περιέχει το τυπικό σφάλμα $\sigma_{\psi}^{Trimble}$, όπως προέκυψε από τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Το κανονικοποιημένο υπόλοιπο προκύπτει, όπως και στον πίνακα 4-26 από την σχέση $Καν.Υπόλοιπο = Δίορθωση / Τυπ.Σφάλμα$. Τέλος, η τυπική απόκλιση για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, είναι $\sigma_{95} = 1,960\sigma$, οπότε για να είναι αποδεκτές οι τιμές του κανονικοποιημένου υπολοίπου θα πρέπει $Καν.Υπόλοιπο \leq Τυπ.Απόκλιση (95\%)$. Παρατηρείται όλες οι παρατηρήσεις είναι αποδεκτές. Ο ακόλουθος πίνακας αναφέρεται μονάχα σε μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Trimble 5800.

ΈΛΕΓΧΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ (Z)				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Trimble 5800				
Βάσεις		$\Delta Z_i^T - \Delta Z_i^A$ (m)	Τυπ. Σφάλματα (m)	Καν. Υπόλοιπο (Z)
Lamg	Est	0,000	0,0028	0,000
Lamg	Est	-0,003	0,0036	0,832
Est	Lamg	0,002	0,0036	0,555
Est	Lamg	-0,001	0,0036	0,277
Est	Fys	0,002	0,0036	0,555
Est	Gen	0,004	0,0036	1,109
Lamg	Fys	0,000	0,0045	0,000
Lamg	Gen	0,000	0,0036	0,000
Gen	Fys	-0,005	0,0042	1,179
Fys	Lamg	-0,001	0,0050	0,200
Fys	Est	0,003	0,0050	0,600
Fys	Gen	0,001	0,0057	0,177
Gen	Est	-0,007	0,0050	1,400
Gen	Lamg	-0,004	0,0050	0,800

ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΝΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ

Πίνακας 4-27: Έλεγχος Υψομετρικών Συνιστωσών - Συνόρθωση Με Έναν Σταθερό Σταθμό (Trimble 5800)

Η ίδια στατιστική επεξεργασία με τον υπολογισμό του κανονικοποιημένου υπολοίπου για όλες τις βάσεις πραγματοποιήθηκε και για τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας είναι παρόμοια. Οι πίνακες παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.

Συμπεραίνεται για τη συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθερό σταθμό αναφοράς (Lamg), ότι επαληθεύονται τα Αυστραλιανά πρότυπα, σύμφωνα με τα οποία πρέπει οι αποκλίσεις να είναι μικρότερες από $\pm 10\text{mm} \pm 15\text{ppm}$ για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Επίσης, διαπιστώνεται ότι τα σφάλματα που προσδιορίζονται είναι σαφώς βελτιωμένα σε σχέση με τα επιτρεπτά όρια. Οι αβεβαιότητες τοπογραφικής εργασίας (SU) για γρήγορες εκπεμπόμενες εφημερίδες, πρέπει να είναι $SU^{op} \leq 0,030\text{m}$, $SU^{up} \leq 0,050\text{m}$, ενώ οι δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS έχουν καλύτερη ακρίβεια $SU^{max} = 0,012\text{m}$, $SU^{max} = 0,008\text{m}$.

4.5.5 Έλεγχος Του Δικτύου Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς

Ο έλεγχος του συνορθωμένου δικτύου με πλήρεις δεσμεύσεις έγινε με σταθερά σημεία αναφοράς το Βάθρο Κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg) και το Βάθρο Φοιτητικών Εστίων (Est). Ο αριθμός των μετρήσεων είναι σαράντα δύο ($n=42$) και προσφέρει στο δίκτυο πλεονάζουσες παρατηρήσεις. Οι άγνωστες καθοριστικές παράμετροι είναι έξι ($m=6$) για τον πλήρη ορισμό του δικτύου. Ο Βαθμός ελευθερίας είναι τριάντα έξι ($r=n-m \Rightarrow r=36$) όπως προκύπτει από την αφαίρεση του αριθμού των μετρήσεων (n) προς τον αριθμό των άγνωστων καθοριστικών παραμέτρων (m). Η α-ριγοι τυπική μονάδα βάρους ορίστηκε αυθαίρετα και παίρνει την τιμή της μονάδας

($\sigma_0^{apriori}=1m$). Ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στην *aposteriori* και *apriori* τυπική μονάδα βάρους είναι περίπου ένα ($Var. Factor^{Tr}=1,459$ και $Var. Factor^L=1,002$), σύμφωνα με τη σχέση $Variance Factor = \sigma_{0apriori}^2 / \sigma_{0aposteriori}^2 \Rightarrow \sigma_{0aposteriori} = 1/\sqrt{Variance Factor} \Rightarrow \sigma_{0apost}^{Tr} = 0,828m$ και $\sigma_{0apost}^{Tr} = 0,999m$. Ο πίνακας X_n^2 για διάστημα εμπιστοσύνης 95% δίνει τα επιτρεπτά όρια μέσα στα οποία πρέπει να κυμαίνεται η κατανομή του δικτύου, τα οποία είναι ίδια και για τους δύο τύπους δεκτών (Κατ. Όριο = 0,594 και Αν. Όριο = 1,511). Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας των παραμέτρων του δικτύου για τους δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS, με δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς (Lamg και Est).

ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ		
Τύπος Δεκτών	Trimble 5800	Leica 1200+GNSS
Άγνωστες Καθοριστικές Παράμετροι (m)	6	6
Αριθμός Μετρήσεων (n)	42	42
Βαθμός Ελευθερίας (r=n-m)	36	36
$\hat{\sigma}_0$ a-posteriori	0,828	0,999
Ανώτερο Επιτρεπτό Όριο	1,511	1,511
Κατώτερο Επιτρεπτό Όριο	0,594	0,594
$\hat{\sigma}_0$ a-priori	1,000	1,000
Variance Factor	1,459	1,002

Πίνακας 4-28: Παράμετροι Συνόρθωσης Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS)

4.5.6 Συντεταγμένες Και Σφάλματα Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς

Η συνόρθωση του δικτύου με πλήρεις δεσμεύσεις, έδωσε ύστερα από επεξεργασία με το διαδικτυακό πρόγραμμα Natural Resources Canada καρτεσιανές συντεταγμένες για όλα τα σημεία του δικτύου, όπως και οριζοντιογραφικά, υψομετρικά σφάλματα για κάθε βάθρο. Οι πίνακες με τις γεωδαιτικές συντεταγμένες βρίσκονται στο Παράρτημα. Τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα είναι ακριβώς τα ίδια για όλα τα σημεία που συμμετέχουν στη συνόρθωση του δικτύου, δηλαδή $\sigma_{op}^{Trimble} = \pm 0,007m$ και $\sigma_{\psi}^{Trimble} = \pm 0,005m$. Ο πίνακας που ακολουθεί αναφέρεται μονάχα σε μετρήσεις που έγιναν από δέκτες Trimble 5800.

ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WGS84						
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ/ Trimble 5800						
Στ. Σημ.	Σημεία	X (m)	Y (m)	Z (m)	σ_{op} (m)	σ_{ψ} (m)
Lamg	Lamg	4606902,298	2029974,994	3903427,340	0,007	0,005
	Est	4606976,168	2030090,741	3903328,291	0,007	0,005
Est	Fys	4606694,953	2030123,781	3903585,545	0,007	0,005
	Gen	4606719,075	2030217,187	3903529,905	0,007	0,005

Πίνακας 4-29: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84/ Συνόρθωση Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς (Trimble 5800)

Οι οριζοντιογραφικές και υψομετρικές συντεταγμένες που προκύπτουν μετά τη συνόρθωση του δικτύου με δύο σταθερά γνωστά σημεία πρέπει να έχουν

σφάλματα μικρότερα από $\pm 10mm \pm 15ppm$ για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Ο παρακάτω πίνακας εμπεριέχει τα τυπικά σφάλματα των καρτεσιανών συντεταγμένων όπως προήλθαν από τη συνόρθωση του δικτύου από το λογισμικό επεξεργασίας GrafNav με δύο σταθμούς αναφοράς το Βάθρο Κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg) και το βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est). Παρατηρείται ότι όλα τα σημεία του δικτύου έχουν ακριβώς την ίδια οριζοντιογραφική ($S_E = S_N = 0,0087 m$), ενώ η υψομετρική ακρίβεια είναι διαφορετική ανάμεσα στα σημεία με τις γνωστές συντεταγμένες ($S_{UP}^{Est} = S_{UP}^{Lamg} = 0,0087 m$) και των απλών σημείων που έλαβαν μέρος στη συνόρθωση του δικτύου ($S_{UP}^{Fys} = 0,0088 m$ και $S_{UP}^{Gen} = 0,0089 m$). Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τις τιμές των τυπικών σφαλμάτων μετά τη συνόρθωση με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων με δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς (Lamg και Est). Η κυκλική περιοχή εμπιστοσύνη προσδιορίζεται από το τύπο $C. Radius = \sqrt{SU_E^2 + SU_N^2 + SU_{up}^2} m$.

ΤΥΠΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ/ Trimble 5800				
Σημεία	SU (E)	SU (N)	SU (Up)	C. Radius
Lamg	0,0087	0,0087	0,0087	0,0151
Est	0,0087	0,0087	0,0088	0,0151
Fys	0,0087	0,0087	0,0089	0,0152
Gen	0,0087	0,0087	0,0087	0,0151

Πίνακας 4-30: Τυπικά Σφάλματα Καρτεσιανών Συντεταγμένων WGS84/ Συνόρθωση Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς (Trimble 5800)

Ο πίνακας που ακολουθεί είναι παρόμοιος με τον πίνακα 4-29, με τη διαφορά ότι αναφέρεται στη συνόρθωση με πλήρεις δεσμεύσεις, αλλά μονάχα από μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα είναι ακριβώς τα ίδια για όλα τα σημεία που συμμετέχουν στη συνόρθωση του δικτύου, δηλαδή $\sigma_{op}^{Leica} = \pm 0,007m$ και $\sigma_{up}^{Leica} = \pm 0,005m$.

ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WGS84						
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ/ Leica 1200+GNSS						
Στ. Σημ.	Σημεία	X (m)	Y (m)	Z (m)	σ_{op} (m)	σ_{up} (m)
Lamg	Lamg	4606902,299	2029974,996	3903427,341	0,007	0,005
	Est	4606976,167	2030090,739	3903328,290	0,007	0,005
Est	Fys	4606694,958	2030123,781	3903585,545	0,007	0,005
	Gen	4606719,068	2030217,184	3903529,896	0,007	0,005

Πίνακας 4-31: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84/ Συνόρθωση Με Δύο Σταθμούς (Leica 1200+GNSS)

Ο πίνακας 4.32 εμπεριέχει τα τυπικά σφάλματα των καρτεσιανών συντεταγμένων όπως προήλθαν από τη συνόρθωση του δικτύου με δύο σταθμούς αναφοράς το βάθρο κτιρίου Λαμπαδαρίου (Lamg) και το βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est), αλλά μονάχα από μετρήσεις που έγιναν από τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Παρατηρείται ότι οι τιμές των τυπικών σφαλμάτων είναι ακριβώς οι ίδιες με του

πίνακα 4-23 και σχεδόν ίδιες με του πίνακα 4-30. Γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι ο αριθμός των σταθερών σημείων και η διαφορά στην ακρίβεια που μπορούν να επιτύχουν οι δύο δέκτες ,δεν επηρεάζει την ακρίβεια του συστήματος. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τις τιμές των τυπικών σφαλμάτων μετά τη συνόρθωση με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων με δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς (Lamg και Est).

ΤΥΠΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ/ Leica 1200+GSS				
Σημεία	SU (E)	SU (N)	SU (Up)	C. Radius
Lamg	0,0087	0,0087	0,0087	0,0151
Est	0,0087	0,0087	0,0088	0,0151
Fys	0,0087	0,0087	0,0088	0,0151
Gen	0,0087	0,0087	0,0087	0,0151

Πίνακας 4-32: Τυπικά Σφάλματα Καρτεσιανών Συντεταγμένων WGS84/ Συνόρθωση Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς (Leica 1200+GNSS)

4.5.7 Σύγκριση Των Βάσεων Του Δικτύου Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς

Ο στατικός έλεγχος απαιτεί τη σύγκριση των συντεταγμένων X, Y, Z της κορυφής κάθε βάθρου του δικτύου για τους δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS. Οι διαφορές των συντεταγμένων σε σχέση με τους δύο τύπους δεκτών δίνονται για το κάθε βάθρο από τις εξισώσεις $\Delta X = X^{tr} - X^L$, $\Delta Y = Y^{tr} - Y^L$ και $\Delta Z = Z^{tr} - Z^L$. Δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις δύο ομάδες δεκτών. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,009m. Επιπλέον, προσδιορίζεται το μέσο τετραφωνικό σφάλμα (RMS).

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ X, Y, Z			
TRIMBLE 5800 – LEICA 1200/WGS84			
Σημεία	$X^{Tr}-X^L$ (m)	$Y^{Tr}-Y^L$ (m)	$Z^{Tr}-Z^L$ (m)
Fys	-0,005	0,000	0,000
Gen	0,007	0,003	0,009
RMS	0,006	0,002	0,005

Πίνακας 4-33: Διαφορές Συντεταγμένων X, Y, Z (Trimble 5800-Leica 1200)

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές των συντεταγμένων X, Y, Z ανάμεσα στο δίκτυο που έχει συνορθωθεί με πλήρεις δεσμεύσεις και των αρχικών συντεταγμένων του πίνακα 4.2. Οι διαφορές στην κάθε περίπτωση προσδιορίζονται από τις εξισώσεις $\Delta X_i = X_i^Z - X_i^A$, $\Delta Y_i = Y_i^Z - Y_i^A$ και $\Delta Z_i = Z_i^Z - Z_i^A$ με (i) συμβολίζεται η εκάστοτε κορυφή (Fys, Gen). Η σύγκριση έγινε τόσο για τους δέκτες Trimble 5800, όσο και για τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Οι απόλυτες διαφορές των συνορθωμένων και των αρχικών συντεταγμένων κυμαίνονται μεταξύ 0,000m και 0,008m και θεωρούνται εντός των επιτρεπτών ορίων. Παρατηρούνται μεγαλύτερες διαφορές ανάμεσα στις συνορθωμένες και τις αρχικές συντεταγμένες για τους δέκτες Leica 1200+GNSS.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ X, Y, Z / Trimble 5800 – Leica 1200+GNSS						
ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ – ΑΡΧΙΚΩΝ						
Σημεία (Δέκτης)	X ^Σ -X ^Α (Trimble)	X ^Σ -X ^Α (Leica)	Y ^Σ -Y ^Α (Trimble)	Y ^Σ -Y ^Α (Leica)	Z ^Σ -Z ^Α (Trimble)	Z ^Σ -Z ^Α (Leica)
Fys	0,003	0,008	0,002	0,002	0,002	0,002
Gen	0,002	-0,005	-0,001	-0,004	0,004	-0,005

Πίνακας 4-34: Διαφορές Συντεταγμένων X, Y, Z, Συνορθωμένων - Αρχικών (Trimble 5800 - Leica 1200+GNSS)

4.5.8 Προσδιορισμός της Ακτίνας (r) Κυκλικής Περιοχής Εμπιστοσύνης

Η ακτίνα (r) της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης, δηλαδή η τιμή της αβεβαιότητας για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, προσδιορίζεται από την τυπική έλλειψη σφάλματος και εκφράζεται ως ενιαία ποσότητα. Η ακτίνα (r) της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης υπολογίζεται από τη σχέση $r = a * K$ με $K = q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * C^3$ και $C = b / a$. Ο Κύριος ημι-άξονας της έλλειψης σφάλματος συμβολίζεται με (a), ενώ ο Ελάσσοнос ημι- άξονας συμβολίζεται με (b). Οι παράμετροι της εξίσωσης (K) έχουν προκαθορισμένες τιμές: $q_0 = 1,960790$, $q_1 = 0,004071$, $q_2 = 0,114276$ και $q_3 = 0,371625$. Η έκφραση της (τρισδιάστατης) κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% , λαμβάνεται με την αύξηση των αξόνων, που έχουν συντελεστή κάλυψης $k = 2.796$. Οι τιμές των (a) και (b) πρέπει να προέρχονται από τη συνόρθωση του δικτύου μέσω της a-posteriori διακύμανση του πίνακα μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την ακτίνα (r) της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης της βάσης Lamg και Est, που μετρήθηκε για χρονική διάρκεια 40min. Η συνορθώση έγινε τόσο με ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις, όσο και με πλήρεις δεσμεύσεις. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο τύποι δεκτών Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS. Όλες οι περιπτώσεις παρουσιάζονται παρακάτω. Η ακτίνα (r) της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης κυμαίνεται κοντά στα 0,005m.

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ/ ΒΑΣΗ: LAMG-EST				
q ₀	q ₁	q ₂	q ₃	
+1,960790	0,004071	0,114276	0,371625	
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Trimble 5800				
a (Μεγ. Ημ.)	b (Μικ. Ημ.)	C=b/a	$K=q_0+q_1C+q_2C^2+q_3C^3$	r=a*k
2,7	1,7	0,6	2,10	5,67
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Leica 1200+GNSS				
a (Μεγ. Ημ.)	b (Μικ. Ημ.)	C=b/a	$K=q_0+q_1C+q_2C^2+q_3C^3$	r=a*k
2,4	1,6	0,7	2,12	5,10
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ/ Trimble 5800				
a (Μεγ. Ημ.)	b (Μικ. Ημ.)	C=b/a	$K=q_0+q_1C+q_2C^2+q_3C^3$	r=a*k
2,8	1,7	0,6	2,09	5,85
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ/ Leica 1200+GNSS				
a (Μεγ. Ημ.)	b (Μικ. Ημ.)	C=b/a	$K=q_0+q_1C+q_2C^2+q_3C^3$	r=a*k
2,4	1,6	0,7	2,12	5,10

Πίνακας 4-35: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης Για Βάση Μετρημένη 40 min (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS)

Ο πίνακας 4-36 παρουσιάζει την ακτίνα (r) της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης της βάσης (Fys) και (Gen), που μετρήθηκε 20min και συνορθώθηκε ανά περίπτωση με ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις και πλήρεις δεσμεύσεις, αλλά και από τους δύο τύπους δεκτών Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS. Η ακτίνα (r) της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης είναι μεγαλύτερη από της βάσης που παρατηρήθηκε για 40min. Η ακτίνα κυμαίνεται περίπου κοντά στα 0,007m.

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ/ ΒΑΣΗ: Fys-Gen				
q ₀	q ₁	q ₂	q ₃	
1,960790	0,004071	0,114276	0,371625	
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Trimble 5800				
a (Μεγ. Ημ.)	b (Μικ. Ημ.)	C=b/a	$K=q_0+q_1C+q_2C^2+q_3C^3$	r=a*k
3,1	2,1	0,7	2,13	6,69
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΈΝΑΝ ΣΤΑΘΕΡΟ ΣΤΑΘΜΟ/ Leica 1200+GNSS				
a (Μεγ. Ημ.)	b (Μικ. Ημ.)	C=b/a	$K=q_0+q_1C+q_2C^2+q_3C^3$	r=a*k
3,0	2,4	0,8	2,23	6,68
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ/ Trimble 5800				
a (Μεγ. Ημ.)	b (Μικ. Ημ.)	C=b/a	$K=q_0+q_1C+q_2C^2+q_3C^3$	r=a*k
3,1	2,6	0,8	2,26	7,02
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ/ Leica 1200+GNSS				
a (Μεγ. Ημ.)	b (Μικ. Ημ.)	C=b/a	$K=q_0+q_1C+q_2C^2+q_3C^3$	r=a*k
3,2	2,6	0,8	2,24	7,16

Πίνακας 4-36: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης Για Βάση Μετρημένη 20 min (Trimble 5800/Leica 1200+GNSS)

Εναλλακτική μέθοδος για τον προσδιορισμό των κυκλικών περιοχών εμπιστοσύνης για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, είναι ο πολλαπλασιασμός των εκτιμώμενων αξόνων των ελλείψεων σφάλματος με τον συντελεστή κάλυψης

($K=2,716$). Μια γενική παρατήρησή είναι ότι όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα καταγραφή, μειώνονται τα σφάλματα των βάσεων και κατ επέκταση μικραίνουν οι άξονες των ελλείψεων σφάλματος.

Συμπεραίνεται ότι οι διαφορές μεταξύ των συνορθωμένων μετρήσεων με ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις και των συνορθωμένων παρατηρήσεων με πλήρεις δεσμεύσεις είναι της τάξης των λίγων χιλιοστών (0,001m-0,002m). Επίσης, η ακτίνα της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης για βάσεις που μετρήθηκαν για 40min είναι από 0,005m έως 0,006m, ενώ για βάσεις που καταγράφηκαν για 20min είναι από 0,006m έως 0,007m. Παρατηρείται ότι η αύξηση του χρόνου παρατήρησης και η συνόρθωση του δικτύου μπορούν να ελαχιστοποιήσουν χονδροειδή σφάλματα, όπως και να εξαλείψουν τυχαία σφάλματα.

4.6 Απλοποιημένος Και Σύνθετο Έλεγχος

Ο απλοποιημένος και ο σύνθετος έλεγχος είναι μια στατιστική επεξεργασία που προτείνεται από τον οργανισμό ISO στο πρότυπο το πρότυπο 17123-8 για τον μετρολογικό έλεγχο των δεκτών GNSS σε κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου. Το ίδιο μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί να εφαρμοστεί και για τον έλεγχο των δεκτών GNSS στο σχετικό στατικό εντοπισμό σε τοπογραφικές εργασίας. Πρέπει να συνυπολογιστούν σχεδόν όλοι οι παράγοντες που επιδρούν στην αβεβαιότητα των μετρήσεων και να βρεθεί μια αξιόπιστη αξιολόγηση της ακρίβειας που μπορούν να επιτύχουν οι δέκτες. Το απλοποιημένο τεστ εφαρμόζεται για την ανίχνευση συστηματικών χονδροειδών σφαλμάτων και δεν προσφέρει στατιστικά αποτελέσματα, ενώ ο στατιστικός έλεγχος μπορεί να πραγματοποιείται στο σύνθετο τεστ.

4.6.1 Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test)

Στόχος του ελέγχου είναι ο εντοπισμός χονδροειδών λαθών σε κάθε μεμονωμένη σειρά μετρητικών στοιχείων και η προσφορά μιας εκτίμησης της ακρίβειας του κάθε ελεγχόμενου δορυφορικού δέκτη, εντός προκαθορισμένων επιτρεπτών ορίων, όπως δίνονται από τον κάθε κατασκευαστή το τυπικό σφάλμα του οργάνου.

Κάθε δορυφορική βάση, δηλαδή σε κάθε ζευγάρι σημείων, προσδιορίζεται η οριζόντια απόσταση ανάμεσα στο Base και το Rover $D_{i,j}$ και η διαφορά της συντεταγμένης (Z) $\Delta Z_{i,j}$ με (I,j) να είναι τα σημεία του δορυφορικού δικτύου (Lamg, Est, Gen, Fus). Συνεπώς, εμφανίζονται δεκαπέντε οριζόντιες αποστάσεις και δεκαπέντε διαφορές συντεταγμένων Z .

Οι συγκεκριμένες τιμές, συγκρίνονται με τις ονομαστικές τιμές D' και $\Delta Z'$, όπως προκύπτουν από τον κατασκευαστή.

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

$$\Delta Z_{i,j} = Z_{i,j,2} - Z_{i,j,1}$$

$$ED_{i,j} = D_{i,j} - D'$$

$$EZ_{i,j} = \Delta Z_{i,j} - \Delta Z'$$

Οι διαφορές που υπολογίστηκαν παραπάνω υποβάλλονται σε ένα απλό στατιστικό τεστ, για να διαπιστωθεί ότι δεν περιλαμβάνουν χονδροειδή λάθη. Στη συνέχεια πραγματοποιείται σύγκριση των τιμών με την οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια των δεκτών, $S_{X,Y}$ και S_Z , όπως προκύπτουν από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή από τη βαθμονόμηση. Ο στατιστικός έλεγχος είναι:

$$|ED_{i,j}| \leq 2.5 * \sqrt{2} * S_{X,Y}$$

$$|EZ_{i,j}| \leq 2.5 * \sqrt{2} * S_Z$$

Αν το στατιστικό τεστ απορρίψει κάποια μέτρηση ή κάποιες, τότε πιθανότατα υπάρχουν χονδροειδή ή συστηματικά σφάλματα και απαιτείται η επανάληψη της διαδικασίας, δηλαδή η επανάληψη του Απλοποιημένου ελέγχου με την εισαγωγή καινούργιων μετρητικών στοιχείων.

Ο έλεγχος δεν ανίχνευσε κάποιο συστηματικό χονδροειδές σφάλμα, καθώς οι δέκτες Trimble 5800 έχουν $ED^{\max}=0,004\text{m}$ και $EZ^{\max}=0,008\text{m}$ με προκαθορισμένα επιτρεπτά όρια από τον κατασκευαστή $ED^T \leq 0,018\text{m}$ και $EZ^T \leq 0,018\text{m}$. Επίσης, οι δέκτες Leica 1200+GNSS έχουν $ED^{\max}=0,004\text{m}$ και $EZ^{\max}=0,005\text{m}$ με αντίστοιχα όρια $ED^T \leq 0,018\text{m}$ και $EZ^T \leq 0,035\text{m}$.

4.6.2 Σύνθετο Τεστ (Full test procedure)

Ένα σύνθετο τεστ, μπορεί να εφαρμοστεί για τον υπολογισμό της ακρίβειας μίας μέτρησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν οι επαναλαμβανόμενες βάσεις με σκοπό τον προσδιορισμό δύο στατιστικών μεγεθών, που αναγράφονται ως πειραματικές τυπικές αποκλίσεις οριζόντιων και κατακόρυφων συνιστωσών.

Όλες οι μετρήσεις πριν το σύνθετο έλεγχο πρέπει να υποβληθούν στο απλοποιημένο τεστ για να αποφευχθεί η πιθανή ύπαρξη χονδροειδών ή συστηματικών σφαλμάτων. Τα μετρητικά στοιχεία πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία. Η επεξεργασία διαχωρίζεται σε δύο στάδια. Αρχικά οι μετρήσεις υποβάλλονται στον απλοποιημένο έλεγχο και στη συνέχεια πρέπει να υποστούν στατιστική επεξεργασία. Ο απλοποιημένος έλεγχος είναι ακριβώς η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως.

Ο συγκεκριμένος έλεγχος μπορεί να εφαρμοστεί για τους ακόλουθους κανόνες:

- Διαπιστώνεται η αξιοπιστία του εξοπλισμού μέτρησης κάτω από συγκεκριμένους παράγοντες (μακροπρόθεσμη βραχυπρόθεσμη επίδραση)
- Διαπιστώνεται η αξιοπιστία του εξοπλισμού μέτρησης σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και διαφοροποιημένες συνθήκες εργασίας μέσω της ύπαρξης πολλών δειγμάτων.
- Προσφέρεται η δυνατότητα σύγκρισης μετρητικών οργάνων με πιθανότητα διαφορετικής ακρίβειας κάτω από ίδιους παράγοντες εργασίας.

Στην στατιστική επεξεργασία, πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων (MET) για τη συνόρθωση του δικτύου και τον προσδιορισμό των τυπικών σφαλμάτων. Στην αρχή, πρέπει να υπολογιστούν οι μέσες τιμές των συντεταγμένων $(\bar{X}_{Lamg}, \bar{Y}_{Lamg}, \bar{Z}_{Lamg})$, $(\bar{X}_{Est}, \bar{Y}_{Est}, \bar{Z}_{Est})$, $(\bar{X}_{Gen}, \bar{Y}_{Gen}, \bar{Z}_{Gen})$, $(\bar{X}_{Fus}, \bar{Y}_{Fus}, \bar{Z}_{Fus})$ από τους παρακάτω τύπους:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=4} X_i$$

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=4} Y_i$$

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=4} Z_i$$

Οι μέσες τιμές προσέγγιζαν ικανοποιητικά τις αρχικές συντεταγμένες. Η μέγιστη διαφορά για τους δέκτες Trimble 5800 είναι 0,006m, ενώ για τους δέκτες Leica 1200+GNSS είναι 0,003m. Έπειτα, προσδιορίζονται τα υπόλοιπα των στοιχείων:

$$r_{Xi} = \bar{X}_i - X_i \text{ όπου } i = Lamg, Est, Gen, Fus$$

$$r_{Yi} = \bar{Y}_i - Y_i \text{ όπου } i = Lamg, Est, Gen, Fus$$

$$r_{Zi} = \bar{Z}_i - Z_i \text{ όπου } i = Lamg, Est, Gen, Fus$$

Υψώνονται στο τετράγωνο και προστίθενται, ανεξάρτητα σε ποιο σημείο αναφέρονται, ξεχωριστά για το X, το Y και το Z.

$$\sum r_x^2 = \sum_{i=1}^{n=4} r_{x_i}^2$$

$$\sum r_Y^2 = \sum_{i=1}^{n=4} r_{Y_i}^2$$

$$\sum r_z^2 = \sum_{i=1}^{n=4} r_{z_i}^2$$

Ο βαθμός ελευθερίας είναι ακριβώς ο ίδιος και για τα τρία στατιστικά μεγέθη, $r=n-m=14-1 \Rightarrow r=13$, όπου n : ο αριθμός των μετρήσεων, και m : οι άγνωστοι καθοριστικοί παράμετροι. Σε κάθε περίπτωση σταθεροποιούμε τη συντεταγμένη του βάρου Λαμπαδαρίου (Lamg).

$$S_X = \frac{\sqrt{\sum r_x^2}}{r}$$

$$S_Y = \frac{\sqrt{\sum r_y^2}}{r}$$

$$S_Z = \frac{\sqrt{\sum r_z^2}}{r}$$

Από αυτά τα μεγέθη προκύπτουν:

$$S_{GNSS-XY} = \sqrt{S_X^2 + S_Y^2}$$

$$S_{GNSS-Z} = S_Z$$

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις για οριζόντιες και κατακόρυφες συνιστώσες. Οι τιμές αυτές θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων μέσω στατιστικών ελέγχων. Οι δέκτες Trimble 5800 έχουν $S_{GNSS-XY}=0,005m$ και $S_{GNSS-Z}=0,003m$. Επίσης, οι δέκτες Leica 1200+GNSS έχουν $S_{GNSS-XY}=0,006m$ και $S_{GNSS-Z}=0,003m$.

4.6.3 Στατιστικά Τεστ

Ο στατιστικός έλεγχος που γίνεται σε αυτό το σημείο δίνει απαντήσεις στους ακόλουθους κανόνες:

- Η προσδιορισμένη πειρατική τυπική απόκλιση $S_{GNSS-XY}$ μιας οριζόντιας θέσης είναι μικρότερη ή ίση με την τυπική απόκλιση που προκύπτει από τον κατασκευαστή ή τη βαθμονόμηση σ_{XY} .
- Η προσδιορισμένη πειρατική τυπική απόκλιση S_{GNSS-Z} μιας κατακόρυφης συνιστώσας είναι μικρότερη ή ίση με την τυπική απόκλιση που προκύπτει από τον κατασκευαστή ή τη βαθμονόμηση σ_Z .
- Οι πειραματικές αποκλίσεις $S_{GNSS-XY}^{Trimble}$ και $S_{GNSS-XY}^{Leica}$ μιας οριζόντιας θέσης που λαμβάνονται από διαφορετικά μετρητικά δείγματα, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, με δεδομένο ότι έχουν ακριβώς τον ίδιο βαθμό ελευθερίας $r_{Trimble}$ και r_{Leica} αντιστοίχως.

- Οι πειραματικές αποκλίσεις $S_{GNSS-Z}^{Trimble}$ και S_{GNSS-Z}^{Leica} μιας κατακόρυφης θέσης που λαμβάνονται από διαφορετικά μετρητικά δείγματα, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, με δεδομένο ότι έχουν ακριβώς τον ίδιο βαθμό ελευθερίας $r_{Trimble}$ και r_{Leica} αντιστοίχως.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε δείγματος και σύμφωνα με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων εφαρμόζεται η κατανομή X^2 ή η κατανομή Fischer. Η κατανομή X^2 εφαρμόζεται για τον έλεγχο ενός δείγματος με έναν πληθυσμό, οπότε χρησιμοποιείται για τους δύο πρώτους κανόνες, δηλαδή χρησιμοποιείται για μεταβλητότητες από μεγάλα δείγματα όπως είναι από τον κατασκευαστή ή τη βαθμονόμηση. Ενώ, η κατανομή Fischer εφαρμόζεται για την αξιολόγηση των *a-posteriori* μεταβλητοτήτων δύο δειγμάτων, όπως γίνεται στους τελευταίους δύο κανόνες.

Ο στατιστικός έλεγχος εφαρμόζει διάστημα εμπιστοσύνης 95%, άρα επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$ και βαθμό ελευθερίας $r = r_X + r_Y = 26$ για τα ερωτήματα (α), (β) και (γ). Αντίστοιχα, για το ερώτημα (δ) επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,025$ και βαθμό ελευθερίας $r = r_Z = 13$.

Παρακάτω εμφανίζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας του στατιστικού ελέγχου

ΕΡΩΤΗΜΑ	ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΥΠΟΘΕΣΗ (H_0)	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΥΠΟΘΕΣΗ (H_1)
A	$S_{GNSS-XY} \leq \sigma_{XY}$	$S_{GNSS-XY} > \sigma_{XY}$
B	$S_{GNSS-Z} \leq \sigma_Z$	$S_{GNSS-Z} > \sigma_Z$
Γ	$\sigma_{XY} = \sigma'_{XY}$	$\sigma_{XY} \neq \sigma'_{XY}$
Δ	$\sigma_Z = \sigma'_Z$	$\sigma_Z \neq \sigma'_Z$

Πίνακας 4-37: Στατιστικοί Έλεγχοι

Το πρώτο ερώτημα αποβλέπει στη σύγκριση της πειραματικής τυπικής απόκλισης που προσδιορίστηκε από τις μετρήσεις, να είναι μικρότερη ή ίση από την προαπαιτούμενη τυπική απόκλιση του οργάνου, για την οριζοντιογραφική ακρίβεια, όπως ορίζεται από τον κατασκευαστή ή από την βαθμονόμηση. Η μηδενική υπόθεση είναι αποδεκτή αν ικανοποιείται η παρακάτω σχέση. Ο στατιστικός έλεγχος γίνεται με χρήση την κατανομή X^2 .

$$S_{GNSS-XY} \leq \sigma_{XY} * \sqrt{\frac{X_{0,95}^2 * (r_X + r_Y)}{r_X + r_Y}} \Rightarrow S_{GNSS-XY}^{Trimble} \leq 0,006m \text{ και } S_{GNSS-XY}^{Leica} \leq 0,006m$$

Αν η παραπάνω σχέση δεν ικανοποιείται τότε ισχύει η εναλλακτική υπόθεση.

Το δεύτερο ερώτημα αποβλέπει στη σύγκριση της πειραματικής τυπικής απόκλισης που προσδιορίστηκε από τις μετρήσεις, να είναι μικρότερη ή ίση από την προαπαιτούμενη τυπική απόκλιση του οργάνου, για την υψομετρική ακρίβεια, όπως ορίζεται από τον κατασκευαστή ή από την βαθμονόμηση. Η μηδενική υπόθεση είναι αποδεκτή αν ικανοποιείται η παρακάτω σχέση. Ο στατιστικός έλεγχος γίνεται με χρήση την κατανομή X^2 .

$$S_{GNSS-Z} \leq \sigma_Z * \sqrt{\frac{X_{0,95}^2 * (r_Z)}{r_Z}} \Rightarrow S_{GNSS-Z}^{Trimble} \leq 0,007m \text{ και } S_{GNSS-Z}^{Leica} \leq 0,013m$$

Αν η παραπάνω σχέση δεν ικανοποιείται τότε ισχύει η εναλλακτική υπόθεση.

Το τρίτο ερώτημα εξετάζει αν δύο διαφορετικά δείγματα μετρημένων οριζοντιογραφικών στοιχείων μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό. Αν η μηδενική υπόθεση ικανοποιεί τον ακόλουθο τύπο, τότε ισχύει αυτή. Σε αντίθεση περίπτωση ικανοποιείται η εναλλακτική υπόθεση. Ο στατιστικός έλεγχος γίνεται με χρήση την κατανομή Fischer.

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2} * (r_X^T + r_Y^T, r_X^L + r_Y^L)} \leq \frac{S_{GNSS-XY}^{2Trimble}}{S_{GNSS-XY}^{2Leica}} \leq F_{1-\alpha/2} * (r_X^T + r_Y^T, r_X^L + r_Y^L)$$

$$0,5178 \leq \frac{S_{GNSS-XY}^{2Trimble}}{S_{GNSS-XY}^{2Leica}} \leq 1,9313$$

Το τελευταίο ερώτημα εξετάζει αν δύο διαφορετικά δείγματα μετρημένων υψομετρικών στοιχείων μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό. Αν η μηδενική υπόθεση ικανοποιεί τον ακόλουθο τύπο, τότε ισχύει αυτή. Σε αντίθεση περίπτωση ικανοποιείται η εναλλακτική υπόθεση. Ο στατιστικός έλεγχος γίνεται με χρήση την κατανομή Fischer.

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2} * (r_Z^T, r_Z^L)} \leq \frac{S_{GNSS-Z}^{2Trimble}}{S_{GNSS-Z}^{2Leica}} \leq F_{1-\alpha/2} * (r_Z^T, r_Z^L)$$

$$0,3875 \leq \frac{S_{GNSS-Z}^{2Trimble}}{S_{GNSS-Z}^{2Leica}} \leq 2,5802$$

Θεωρητικά, διαμέσων των δύο τελευταίων ελέγχων, μπορεί να αποδειχθεί ότι τα δύο όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις, είναι όμοια και προσφέρουν παρεμφερή ακρίβεια. Αν τα παραπάνω δεδομένα ισχύουν, τότε θεωρείται ότι τα δύο δείγματα ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό. Όλοι οι πίνακες της ενότητας 4.6 παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ.

Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα – Προτάσεις

5.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο έλεγχος των δεκτών GNSS (Global Navigation Satellite System), για τη χρήση τους σε τοπογραφικές εργασίες με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού. Οι δορυφορικές βάσεις μετρήθηκαν πολλαπλές φορές από τις δύο ομάδες δεκτών, αλλά και σε διαφοροποιημένα χρονικά διαστήματα παρατήρησης (40min και 20min). Η όλη μετρητική διαδικασία έδωσε την ευκαιρία σύγκρισης των συντεταγμένων που προσδιορίστηκαν από την επίλυση των επιμέρους βάσεων, τις συνορθωμένες παρατηρήσεις και τις συντεταγμένες των γνωστών σημείων. Επίσης, προσφέρθηκε η δυνατότητα επαλήθευσης της ονομαστικής ακρίβειας του κατασκευαστή. Οι βασικοί πρακτικοί στόχοι της εργασίας είναι η αξιολόγηση της αξιοπιστίας ενός δορυφορικού δικτύου και η εξακρίβωση της ακρίβειας των GNSS δεκτών.

Το δίκτυο ελέγχου δημιουργήθηκε στην περιοχή της πολυτεχνειούπολης, Ζωγράφου, αποτελείται από 4 βάθρα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε τύπο δεκτών. Οι δέκτες που επιλέγηκαν ήταν, οι Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS, οι οποίοι είναι παρόμοιων προδιαγραφών ακρίβειας. Ο οργανισμός ISO (International Organization for Standardization) έχει προτείνει συγκεκριμένες οδηγίες για τον έλεγχο των δεκτών GNSS σε κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου (RTK), όμως αντίστοιχες κατευθυντήριες γραμμές για τον μετρολογικό έλεγχο των δεκτών GNSS σε σχετικό στατικό εντοπισμό (static), δεν έχουν δημοσιευτεί. Ορισμένες χώρες μονάχα έχουν θεσπιστεί κάποιους κανόνες, οι οποίοι βέβαια δεν είναι πρωτοτυποποιημένοι.

5.2 Πρακτικά Προβλήματα και Αντιμετώπιση τους

Προβλήματα εμφανίστηκαν τόσο κατά την υπαίθρια διαδικασία, όπου έγινε η συλλογή των δορυφορικών δεδομένων, όσο και κατά την επεξεργασία και ανάλυση των παρατηρήσεων. Ένα κομμάτι των δυσκολιών αντιμετωπίστηκε με επιτυχία, όπως φαίνεται και από τις παρακάτω υποενότητες.

5.2.1 Συλλογή Δορυφορικών Δεδομένων

Η εργασία υπαίθρου πραγματοποιήθηκε από δύο ομάδες πειραμάτων. Αρχικά, έγινε μέτρηση επαναλαμβανόμενων βάσεων διάρκειας 40min και στη συνέχεια, μέτρηση βάσεων διάρκειας 20min. Οι 4 σταθμοί που επιλέχθηκαν δεν είχαν ενημερωμένες συντεταγμένες στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84 (World Geodetic System 1984), επομένως έπρεπε να δοθούν συντεταγμένες προκειμένου να εφαρμοστούν οι διαδικασίες ελέγχου των GNSS δεκτών. Οι αρχικές συντεταγμένες δόθηκαν, χωρίς να αντιμετωπιστεί κάποιο πρόβλημα, από το σταθμό του Διονύσου (Dyng). Τα 4 σημεία ενδιαφέροντος είναι το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg), το βάθρο Γενικών Εδρών (Gen), το βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est) και το

βάθρο Φυσικής (Fys). Οι οριζοντιογραφικές ακρίβειες των βάθρων έχουν μέγιστη τιμή 0,003m, ενώ οι υψομετρικές 0,004m. Οι συντεταγμένες είναι αποδεκτές, καθώς η ονομαστική οριζοντιογραφική ακρίβεια για τους δέκτες Trimble 5800, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 3-2, τις ενότητες 3.5.2, είναι $\pm 5\text{mm} \pm 0,5\text{ppm}$ και η ονομαστική υψομετρική ακρίβεια $\pm 5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$.

Μόνιμο πρόβλημα κατά την εργασία πεδίου, ήταν οι φθορές που είχε υποστεί το βάθρο Γενικών Εδρών. Η άνωθεν επιφάνεια του βάθρου είχε μερικώς καταστραφεί, με αποτέλεσμα η ορειχάλκινη βάση που διέθετε την προεξοχή, να μην προσφέρει τη δυνατότητα εξαναγκασμένης κέντρωσης. Κάθε φορά, που γινόντουσαν μετρήσεις στο συγκεκριμένο βάθρο, χρησιμοποιήθηκαν υποστηρίγματα για τη σταθεροποίηση του δέκτη και μετρήθηκε το ύψος της κεραίας κατά την έναρξη, διάρκεια και λήξη της καταγραφής, ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν έχει πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε μετακίνηση.

Πριν από οποιαδήποτε μέτρηση πρέπει να προηγηθεί κατάλληλη επεξεργασία γραφείου, επιλέγοντας την σωστή ημέρα και ώρα, που θα υπάρχει καλή γεωμετρία του ουράνιου θόλου και μέγιστος αριθμός δορυφόρων. Οι GNSS δέκτες είναι αδιάβροχοι και τα σήματα δεν θα υποστούν καμία παρεμβολή από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες.

Οι δέκτες Leica 1200+GNSS διέθεταν τις κεραίες ATX1230 και τα αντίστοιχα χειριστήρια RX1250 X. Ο εξοπλισμός Leica προσέφερε τη δυνατότητα δημιουργίας αρχείου καταγραφής, όπου το αρχείο περιείχε το ύψος της κεραίας, όπως και το όνομα του σημείου που γινόταν η μέτρηση. Οι δέκτες Trimble 5800 δεν διέθεταν χειριστήριο, οπότε κάθε φορά που έμπαινε σε λειτουργία η κεραία, αυτόματα δημιουργούνταν καινούργιο αρχείο, με πληροφορίες μόνο για τα δορυφορικά δεδομένα και όχι για το σημείο. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την καταγραφή όλων των πληροφοριών σε χειρόγραφο έντυπό, ώστε να μην δημιουργηθεί οποιαδήποτε σύγχυση στην μετέπειτα επεξεργασία των παρατηρήσεων στο γραφείο.

5.2.2 Επεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων

Στη διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων και της εξαγωγής στατιστικών στοιχείων εμφανίστηκαν κάποια προβλήματα, τα οποία οδήγησαν στα παρακάτω χρήσιμα συμπεράσματα.

Τα λογισμικά GrafNav και GrafNet, αν και θεωρητικά μπορούν να επεξεργαστούν πρωτογενείς μετρήσεις, ακριβώς όπως εξάγονται από τους δέκτες GNSS, στην πραγματικότητα μπορούν να διαχειριστούν μονάχα αρχεία που έχουν μετατραπεί σε μορφή Rinex. Επιπλέον, στο εγχειρίδιο χρήσης του GrafNav αναγράφεται ότι το λογισμικό έχει τη δυνατότητα να κόβει χρονικά διαστήματα στα αρχεία των δεκτών. Το συγκεκριμένο εργαλείο δεν μπορεί να εφαρμοστεί για τα δεδομένα των δεκτών Leica 1200+GNSS, καθώς αδυνατούσε να αναγνωρίσει τα χρονικά διαστήματα καταγραφής, με αποτέλεσμα επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που

βρισκόντουσαν στο ίδιο αρχεία να μη μπορούν να διαχωριστούν. Οι μετρήσεις θεωρήθηκαν άχρηστες και επαναλήφθηκαν από την αρχή.

Οι αρχικές συντεταγμένες του σταθμού του Διονύσου, δόθηκαν σε γεωδαιτική μορφή, οπότε προτιμήθηκε στην επίλυση της εκάστοτε βάσης (GrafNav), όπως και στη συνόρθωση του δικτύου (GrafNet), να διατηρηθούν οι αρχικές ρυθμίσεις των προγραμμάτων και οι συντεταγμένες που προσδιορίστηκαν να είναι πάλι σε γεωδαιτική μορφή. Η μετατροπή των γεωδαιτικών συντεταγμένων WGS84, που προήλθαν από τα λογισμικά επεξεργασίας GrafNav και GrafNet, σε καρτεσιανές συντεταγμένες του ίδιου συστήματος αναφοράς, έγινε από το διαδικτυακό πρόγραμμα Natural Resources Canada. Η μέγιστη απόκλιση που παρουσιάζεται στις μετρήσεις είναι 0,011m, άρα όλες οι παρατηρήσεις είναι αποδεκτές, καθώς τα μέγιστα επιτρεπτά όρια για οριζοντιογραφικές ακρίβειας είναι 0,030m και για υψομετρικές ακρίβειες 0,050m. Συμπεραίνεται ότι ο μετασχηματισμός δεν επιφέρει σφάλματα στις συντεταγμένες.

Οι συντεταγμένες που προσδιορίστηκαν από το λογισμικό επεξεργασίας GrafNav, υπέστησαν μία ακόμα μετατροπή, καθώς μετασχηματίστηκαν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ87). Η μετατροπή έγινε από τα εργαλεία επεξεργασίας του ελληνικού προγράμματος Coord.gr, επειδή το ΕΓΣΑ87 χρησιμοποιείται μονάχα στην Ελλάδα και έχει τοπικό χαρακτήρα. Το διεθνές πρόγραμμα επεξεργασίας GrafNav δεν μπορεί να δώσει τη δυνατότητα επιλογής του ΕΓΣΑ87. Η μέγιστη οριζοντιογραφική απόκλιση είναι 0,005m και η μέγιστη υψομετρική απόκλιση 0,010m, άρα όλες οι παρατηρήσεις είναι αποδεκτές.

Η στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε στα φύλλα εργασίας Excel. Ο όγκος των δεδομένων ήταν πολύ μεγάλος και όλες οι πληροφορίες περάστηκαν χειροκίνητα. Η εισαγωγή των δεδομένων με αυτόν τον τρόπο ήταν χρονοβόρα και αύξανε την πιθανότητα σφάλματος. Η διαδικασία κρίνεται ασύμφορη, μελλοντικά θα μπορούσε η ίδια επεξεργασία να γίνει στα μαθηματικά εργαλεία του Matlab.

5.3 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία, βασίστηκε στα Αυστραλιανά πρότυπα για τον καθορισμό μιας υπαίθριας διαδικασίας σχετικά εύκολης, γρήγορης και με στατιστικά στοιχεία για τη συμμόρφωση των GNSS δεκτών. Η όλη ελεγκτική διαδικασία οδήγησε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Οι Αυστραλιανές οδηγίες είναι ένα εγχειρίδιο διεθνώς δημοσιοποιημένο, που αποβλέπει στη διατύπωση μιας υπαίθριας διαδικασίας, προσφέροντας τη δυνατότητα προσέγγισης του μετρολογικού ελέγχου δεκτών GNSS σε τοπογραφικές εργασίες. Επιπλέον, το απλοποιημένο και ο σύνθετο τεστ είναι μια στατιστική μέθοδος επεξεργασίας που προτείνεται από τον οργανισμό ISO για τον έλεγχο των δεκτών GNSS σε κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου. Η μέθοδος θεωρήθηκε κατάλληλη και για τον έλεγχο των δεκτών GNSS σε σχετικό στατικό εντοπισμό. Οι

τροποποιήσεις τους δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν από εξωτερικούς φορείς, παρά μονό από την αρμόδια επιτροπή και τον οργανισμό ISO.

Η συλλογή δορυφορικών δεδομένων έγινε τόσο από το Αμερικάνικο Σύστημα Δορυφορικής Πλοήγησης (GSP), όσο και από το Ρώσικο (GLONASS), αλλά η συνδυασμένη χρήση μετρήσεων από GPS και GLONASS στην επεξεργασία δεν διαφοροποίησε τα αποτελέσματα των συντεταγμένων και τις αντίστοιχες ακρίβειες. Το γεγονός οφείλεται στην ύπαρξη μεγάλου αριθμού δορυφόρων GSP. Ο ελάχιστος αριθμός δορυφόρων που έλαβε μέρος σε μετρητική διαδικασία ήταν εννέα. Οι δέκτες Trimble 5800 λαμβάνουν σήματα μονάχα από το Αμερικάνικο Σύστημα Δορυφορικής Πλοήγησης.

Οι αρχικές συντεταγμένες των βάθρων που συμμετείχαν στον μετρολογικό έλεγχο των δεκτών GNSS, έχουν μέγιστη οριζοντιογραφική απόκλιση 0,003m και μέγιστη υψομετρική απόκλιση 0,004m. Τα σφάλματα είναι αποδεκτά, καθώς τα προτεινόμενα όρια για βάσεις μικρότερες των 10km και χρόνο παρατήρησης λιγότερο της 1h, είναι οριζοντιογραφικές ακρίβειες 0,030m και υψομετρικές ακρίβειες 0,050m. Εξαιρείται το δυτικό βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamy), που προσδιορίστηκε από τον απομακρυσμένο σταθμό του Διονύσου και έχει οριζοντιογραφικό σφάλμα 0,007m, όπως και υψομετρικό σφάλμα 0,015m. Τα επιτρεπτά όρια για παρατηρήσεις διάρκειας 6 έως και 24 ωρών, είναι οριζοντιογραφικά 0,015m και υψομετρικά 0,020m.

Οι επαναλαμβανόμενες βάσεις για χρόνο παρατήρησης 40min, μετρήθηκαν τόσο με τους δέκτες Trimble 5800, όσο και με τους Leica 1200+GNSS. Η σύγκριση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων με τις αρχικές παρατηρήσεις στο σύστημα αναφοράς WGS84, απέδειξε για τους δέκτες Trimble 5800, ότι η μέγιστη διαφορά των συνιστώσων X είναι $\sigma_X=0,001m$, για τις συνιστώσες Y είναι $\sigma_Y=0,002m$ και για τις συνιστώσες Z είναι $\sigma_Z=0,003m$. Οι αποκλίσεις οδήγησαν στον προσδιορισμό του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, που είναι αντίστοιχα για την κάθε συνιστώσα $RMS_{\Delta X}=0,001m$, $RMS_{\Delta Y}=0,002m$ και $RMS_{\Delta Z}=0,002m$. Επιπλέον, υπολογίστηκαν τα αναλογικά σφάλματα, που έχουν ως μέγιστη τιμή για την κάθε συνιστώσα $ppm_{\Delta X}=7,3*10^{-5}$, $ppm_{\Delta Y}=1,4*10^{-5}$ και $ppm_{\Delta Z}=2,2*10^{-5}$. Τα αναλογικά σφάλματα συγκρίθηκαν με την ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή $ppm_{op}=0,005$ και $ppm_{\psi}=0,005$, ώστε να επαληθευτούν οι εργοστασιακές προδιαγραφές του δέκτη Trimble 5800.

Η σύγκριση των επαναλαμβανόμενων βάσεων διάρκειας 40min, έγινε και για τους δέκτες Leica 1200+GNSS στο σύστημα αναφοράς WGS84. Οι μέγιστες διαφορές για τις συνιστώσες είναι $\sigma_X=0,007m$, $\sigma_Y=0,002m$ και $\sigma_Z=0,008m$. Τα αντίστοιχα τετραγωνικά σφάλματα $RMS_{\Delta X}=0,005m$, $RMS_{\Delta Y}=0,002m$ και $RMS_{\Delta Z}=0,007m$. Τέλος, τα μέγιστα αναλογικά σφάλματα είναι $ppm_{\Delta X}=5,2*10^{-5}$, $ppm_{\Delta Y}=2,8*10^{-5}$ και $ppm_{\Delta Z}=5,8*10^{-5}$. Οι τιμές των αναλογικών σφαλμάτων είναι πολύ μικρότερες από την ονομαστική ακρίβεια του κατασκευαστή $ppm_{op}=0,005$ και $ppm_{\psi}=0,01$.

Η μέτρηση της ίδιας βάσης για χρονική διάρκεια 40min στο σύστημα αναφοράς WGS84, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι δέκτες Trimble 5800 έχουν ελαφρώς καλύτερη ακρίβεια από τους δέκτες Leica 1200+GNSS, παρόλο, που και οι δύο τύποι δεκτών έχουν ίδιες τεχνικές προδιαγραφές. Η μέγιστη απόκλιση τους είναι $\sigma_Z^{\max}=0,003\text{m}$, σε αντίθεση με τους δέκτες Leica 1200+GNSS, όπου η μέγιστη διαφορά τους είναι $\sigma_Z^{\max}=0,008\text{m}$. Παρατηρείται ότι και οι δύο δέκτες έχουν αυξημένα υψομετρικά σφάλματα σε σχέση με την οριζοντιογραφική τους ακρίβεια. Η αντίστοιχη σύγκριση συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 εμφάνισε μικρή αύξηση των σφαλμάτων, της τάξης του 0,001m με 0,003m ($\sigma_Z^{\max}=0,006\text{m}$ και $\sigma_Z^{\max}=0,010\text{m}$). Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς η μετατροπή σε προβολή εισάγει σφάλματα λόγω του μετασχηματισμού, των συντεταγμένων. Τέλος, οι δύο στατιστικές επεξεργασίας απέδειξαν ότι επαληθεύεται η ονομαστική ακρίβεια των κατασκευαστών ($\sigma_{op}^T=\pm 5\text{m}\pm 0,5\text{ppm}$, $\sigma_{\psi}^T=\pm 5\text{m}\pm 1\text{ppm}$ και $\sigma_{op}^L=\pm 5\text{m}\pm 5\text{ppm}$, $\sigma_{\psi}^L=\pm 10\text{m}\pm 5\text{ppm}$), όπως και τα επιτρεπτά όρια για σχετικό στατικό εντοπισμό σε βάσεις μικρότερες των 10km και χρονική διάρκεια λιγότερης της 1h ($\sigma_{op}=0,030\text{m}$ και $\sigma_{op}=0,050\text{m}$).

Ο τοπικός έλεγχος (Local Test) περιλαμβάνει ζευγάρια παρατηρήσεων χρονικής διάρκειας 20min. Αρχικά οι συνιστώσες των συντεταγμένων Trimble 5800 συγκρίθηκαν με τις ίδιες συνιστώσες, αλλά από μετρήσεις των δεκτών Leica 1200+GNSS. Διαπιστώθηκε ότι διαφορές μεταξύ των δύο τύπων δεκτών κυμαίνονται κοντά στα 0,010m. Επίσης, οι δέκτες Trimble 5800, όπως και στις βάσεις που μετρήθηκαν για 40min, έχουν καλύτερη ακρίβεια.

Η μέγιστη απόκλιση που προέκυψε από τη σύγκριση των βάσεων, που μετρήθηκαν 20min, με τις γνωστές συντεταγμένες για τους δέκτες Trimble 5800 είναι $\sigma_{\max}^T=0,006\text{m}$ και για τους δέκτες Leica 1200+GNSS $\sigma_{\max}^L=0,018\text{m}$. Οι αντίστοιχες μέγιστες αποκλίσεις για τις βάσεις που μετρήθηκαν 40min, είναι $\sigma_{\max}^T=0,003\text{m}$ και $\sigma_{\max}^L=0,008\text{m}$. Η αύξηση του χρόνου παρατήρησης είναι μία από τις πιο ευρέως αποδεκτές μεθόδους για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων που οφείλονται στις εφημερίδες, τη διαθεσιμότητα δορυφόρων, τη γεωμετρία της περιοχής και την ατμοσφαιρική επίδραση.

Η μέθοδος του κλεισίματος βρόχου είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό της ακρίβειας του δικτύου με τη χρήση των επιμέρους βάσεων, χωρίς να έχουν συνορθωθεί. Η μέθοδος μειονεκτεί ως προς τον προσδιορισμό της παρατήρησης που πιθανότατα έχει επηρεαστεί από χονδροειδές σφάλμα. Στο συγκεκριμένο δίκτυο, όμως υπάρχουν διαθέσιμες επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, οπότε μπορούν να διαγνωστούν μη τυχαία σφάλματα. Το μεγαλύτερο σφάλμα κλεισίματος είναι της τάξης των 0,010m και περιλαμβάνει τη λανθασμένη βάση Lamg-Gen. Η ίδια βάση έχει αποδειχθεί και από τους υπόλοιπους στατιστικούς ελέγχους, ότι περιλαμβάνει χονδροειδές σφάλμα. Παρόλα, αυτά επειδή όλες οι υπόλοιπες βάσεις είναι πολύ καλές, μπορεί να εξισορροπηθεί το σφάλμα και να είναι όλοι οι βρόγχοι αποδεκτοί.

Ο ολικός έλεγχος (Global Test) στην πρώτη φάση του, πραγματοποιήθηκε με τη συνόρθωση του δορυφορικού δικτύου με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις. Η κατανομή του δικτύου επιβεβαιώθηκε ότι ακολουθεί την κατανομή X^2 , καθώς η a-posteriori τυπική μονάδα βάρους είναι κοντά στην μονάδα ($\sigma_0^{a-post}=1,000m$) και κυμαίνεται εντός των επιτρεπτών ορίων Κάτ.Οριο=0,578 και Άν.Οριο=1,536. Τα όρια είναι ίδια και για τους δύο τύπους δεκτών GNSS.

Οι συντεταγμένες που υπολογίστηκαν από τη συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθερό σταθμό αναφοράς (Lamg), συγκρίθηκαν με τις αρχικές συντεταγμένες. Οι διαφορές, σύμφωνα με τα Αυστραλιανά πρότυπα, πρέπει να είναι μικρότερες από $\pm 10mm \pm 15ppm$ για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Οι οδηγίες αυτές επαληθεύονται, επειδή οι μέγιστες αποκλίσεις για τους δέκτες Trimble 5800 είναι 0,008m και για τους δέκτες Leica 1200+GNSS 0,003m. Διαπιστώνεται ότι τα σφάλματα που προσδιορίζονται είναι σαφώς καλύτερα από τα επιτρεπτά όρια, οπότε θα έπρεπε να μειωθούν τα όρια αξιοπιστίας.

Οι αβεβαιότητες τοπογραφικής εργασίας (SU) για γρήγορες εκπεμπόμενες εφημερίδες, πρέπει να είναι $SU^{op} \leq 0,030m$ και $SU^{up} \leq 0,050m$. Εφημερίδες χρησιμοποιούνται κυρίως σε καθημερινές τοπογραφικές εργασίες. Τα συγκεκριμένα όρια κρίνονται υπερβολικά μεγάλα, για τους δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, επειδή πρόκειται για διπλόσυχνους δέκτες, αλλά τα όρια αναφέρονται και σε μονόσυχνους δέκτες που έχουν εμφανώς χειρότερη ακρίβεια. Οι δέκτες Trimble 5800 έχουν $SU^{max}=0,012m$ και οι δέκτες Leica 1200+GNSS $SU^{max}=0,008m$.

Η δεύτερη φάση του ολικού τεστ, υλοποιήθηκε με τη συνόρθωση του δορυφορικού δικτύου με πλήρη δέσμευση. Το δίκτυο εξακριβώθηκε ότι ακολουθεί την κατανομή X^2 , επειδή η a-posteriori τυπική μονάδα βάρους είναι κοντά στην μονάδα ($\sigma_0^{a-post}=1,000m$) και κυμαίνεται εντός των επιτρεπτών ορίων Κάτ.Οριο=0,594 και Άν.Οριο=1,511. Τα όρια είναι ίδια και για τους δύο τύπους δεκτών GNSS.

Οι συντεταγμένες που προσδιορίστηκαν από τη συνόρθωση του δικτύου με δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς (Lamg και Est), συγκρίθηκαν με τις αρχικές συντεταγμένες. Η οριζοντιογραφική ακρίβεια πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 0,015m και υψομετρική ακρίβεια καλύτερη των 0,030m, σύμφωνα με τα Αυστραλιανά πρότυπα. Οι οδηγίες επιβεβαιώνονται, καθώς οι μέγιστες αποκλίσεις για τους δέκτες Trimble 5800 είναι 0,004m και για τους δέκτες Leica 1200+GNSS 0,008m. Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι τα σφάλματα που υπολογίστηκαν είναι βελτιωμένα σε σχέση με τα επιτρεπτά όρια αξιοπιστίας.

Οι προτεινόμενες προδιαγραφές σε εργασίες σχετικού στατικού εντοπισμού για μήκος βάσεων μικρότερο των 10km και χρόνου παρατήρησης λιγότερο της 1h, για την κάθε βάση, πρέπει να είναι $SU^{op} \leq 0,030m$ και $SU^{up} \leq 0,050m$. Τα συγκεκριμένα

όρια κρίνονται υπερβολικά μεγάλα, καθώς οι δέκτες Trimble 5800 και Leica 1200+GNSS έχουν $SU^{\max}=0,008\text{m}$.

Οι αποκλίσεις μεταξύ των συνορθωμένων μετρήσεων με ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις και των συνορθωμένων παρατηρήσεων με πλήρεις δεσμεύσεις είναι της τάξης των λίγων χιλιοστών (0,001m-0,002m). Επίσης, η ακτίνα της κυκλικής περιοχής εμπιστοσύνης για βάσεις που μετρήθηκαν για 40min είναι από 0,005m έως 0,006m, ενώ για βάσεις που καταγράφηκαν για 20min είναι από 0,006m έως 0,007m. Παρατηρείται ότι η αύξηση του χρόνου παρατήρησης και η συνόρθωση του δικτύου μπορούν να ελαχιστοποιήσουν χονδροειδή σφάλματα, όπως και να εξαλείψουν τυχαία σφάλματα.

Το απλοποιημένο τεστ (Simplified Test) έγινε σε ανεξάρτητες παρατηρήσεις, δηλαδή για τις επιμέρους βάσεις του δικτύου, που δεν έχουν υποστεί όμως οποιαδήποτε συνόρθωση. Ο έλεγχος δεν ανίχνευσε κάποιο συστηματικό χονδροειδές σφάλμα, καθώς οι δέκτες Trimble 5800 έχουν $ED^{\max}=0,004\text{m}$ και $EZ^{\max}=0,008\text{m}$ με προκαθορισμένα επιτρεπτά όρια από τον κατασκευαστή $ED^T \leq 0,018\text{m}$ και $EZ^T \leq 0,018\text{m}$. Επίσης, οι δέκτες Leica 1200+GNSS έχουν $ED^{\max}=0,004\text{m}$ και $EZ^{\max}=0,005\text{m}$ με αντίστοιχα όρια $ED^T \leq 0,018\text{m}$ και $EZ^T \leq 0,035\text{m}$. Ο οργανισμός ISO έχει προτείνει το συγκεκριμένο έλεγχο για κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου. Ο έλεγχος εστιάζει στην εσωτερική ακρίβεια των δεκτών και όχι στην εξωτερική τους. Τα επιτρεπτά όρια του τεστ είναι πολύ υψηλά και οι αποκλίσεις του σχετικού στατικού εντοπισμού πολύ μικρές, με αποτέλεσμα και λόγω του ότι ο σχετικός στατικός εντοπισμός έχει πολύ καλύτερη ακρίβεια από τον κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου. Ο συγκεκριμένος έλεγχος θα έπρεπε να ανακατασκευαστεί για να μπορέσει να εφαρμοστεί σε στατικό εντοπισμό με μεγαλύτερη επιτυχία.

Το σύνθετο τεστ (Full Test Procedure) πραγματοποιήθηκε με τη συνόρθωση του δικτύου. Αρχικά προσδιορίστηκε η μέση τιμή των συντεταγμένων του κάθε βάρους. Οι μέσες τιμές προσέγγιζαν ικανοποιητικά τις αρχικές συντεταγμένες. Η μέγιστη διαφορά για τους δέκτες Trimble 5800 είναι 0,006m, ενώ για τους δέκτες Leica 1200+GNSS είναι 0,003m. Η σύγκριση των μέσων όρων με τις αρχικές συντεταγμένες επαληθεύει την ονομαστική ακρίβεια των κατασκευαστών, καθώς οι δέκτες Trimble 5800 έχουν $\sigma_{op}^T = \pm 5\text{m} \pm 0,5\text{ppm}$, $\sigma_{\psi}^T = \pm 5\text{m} \pm 1\text{ppm}$ και οι δέκτες Leica 1200+GNSS έχουν $\sigma_{op}^L = \pm 5\text{m} \pm 5\text{ppm}$, $\sigma_{\psi}^L = \pm 10\text{m} \pm 5\text{ppm}$.

Η στατιστική επεξεργασία του σύνθετου τεστ απέδειξε ότι η πειραματική οριζοντιογραφική τυπική απόκλιση ($S_{GNSS-XY}$), όπως και η υψομετρική (S_{GNSS-Z}) είναι μικρότερη από την τυπικές αποκλίσεις που προκύπτουν από τον κατασκευαστή (σ_{xy} και σ_z). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται, καθώς οι δέκτες Trimble 5800 έχουν $S_{GNSS-XY}=0,005\text{m}$ και $S_{GNSS-Z}=0,003\text{m}$ με επιτρεπτά όρια από τον κατασκευαστή $\sigma_{xy}=0,006\text{m}$ και $\sigma_z=0,007\text{m}$. Επίσης, οι δέκτες Leica 1200+GNSS έχουν $S_{GNSS-XY}=0,006\text{m}$ και $S_{GNSS-Z}=0,003\text{m}$ με επιτρεπτά όρια από τον κατασκευαστή $\sigma_{xy}=0,006\text{m}$ και $\sigma_z=0,013\text{m}$. Συμπεραίνεται ότι οι μετρήσεις ανήκουν στον ίδιο

πληθυσμό και διαφοροποιούνται ελάχιστα ανάλογα με το χρόνο παρατήρησης και τον τύπο του δέκτη. Το απλοποιημένο και το σύνθετο τεστ είναι μια περιττή διαδικασία, καθώς παρόμοια επεξεργασία έγινε και στα υπόλοιπα στατιστικά τεστ, με αποτέλεσμα να οδηγηθούμε στα ίδια συμπεράσματα.

5.4 Προτάσεις

Οι προτάσεις εξέλιξης των κανονισμών, σύμφωνα με την παρούσα διπλωματική εργασία είναι:

Να εφαρμοστεί στην ίδια περιοχή μετρήσεων, η ίδια επεξεργασία, αλλά με γεωδαιτικούς δέκτες μονής συχνότητας. Η ανάλυση των στατιστικών αποτελεσμάτων θα οδηγήσει στην διαμόρφωση επιτρεπτών ορίων και για αυτούς τους τύπους δεκτών.

Η διαδικασία υπαίθρου θα μπορούσε να επιταχυνθεί με την μέτρηση όλων των βάσεων για χρονική διάρκεια 20min αντί 40min. Η παρούσα διπλωματική αποδεικνύει ότι η ακρίβεια των παρατηρήσεων και στις δύο χρονικές περιόδους είναι ίδιας τάξης.

Ο έλεγχος των δεκτών GNSS, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-8, θα μπορούσε να αναδιαρθρωθεί στην διαδικασία του, ώστε να καλύπτει επαρκώς και τις ανάγκες του σχετικού στατικού εντοπισμού.

Να επαναληφθεί η μετρητική διαδικασία, όπως και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, σε παρατηρήσεις σχετικού στατικού εντοπισμού, αλλά με τη χρήση δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς.

Βιβλιογραφία

Έντυπη Ξένη

1. ACT Government (2011), *Guideline No. 9 – GNSS Equipment Verification, Australia*
2. Chen, X., Parini, C., Collins, B., Yao, Y., Rehman, M. (2012), *Antennas for Global Navigation Satellite Systems*, John Wiley & Sons Ltd.
3. 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
4. ICSM, PCG (2014), *Guideline for Control Surveys by GNSS, Special Publication 1, Australia*
5. ICSM, PCG (2014), *Guideline for the Adjustment and Evaluation of Survey Control, Special Publication 1, Australia*
6. ICSM, PCG (2014), *Standard for the Australian Survey Control Network, Special Publication 1, 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. 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

Έντυπη Ελληνική

1. Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ., Παπαζήσης Κ. (2009), *Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
2. Καρπουζάς Η. (2008), *Εφαρμογές Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS)*, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
3. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ. (2010), *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ
4. Μπαλοδήμος Δ-Δ, Σταθάς Δ., Αραμπατζή Ο. (2006), *Γεωδαισία: Δίκτυα-Αποτυπώσεις-Χαράξεις*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
5. Παραδείσης Δ. (2000), *Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
6. Σταμπουλόγλου Ε., Καρατζάλος Κ., Γεωργόπουλος Α. (2005), *Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
7. Τσακίρη Μ. (2005), *Σημειώσεις από το Μάθημα Εισαγωγή στο GSP*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
8. Φωτίου Α., Πικριδάς Χ. (2006), *GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη
9. Φωτίου Α., Λιβιεράτος Ε. (2000), *Γεωμετρική Γεωδαισία και Δίκτυα*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη

Διαδικτυακοί Τόποι

1. Περιοχές Προέλευσης Δορυφορικών Συστημάτων, Ανασύρθηκε στις 18/03/2015 από: http://users.ntua.gr/ddeli/GSE/3_GSE_GNSS.html
2. Αρχή Λειτουργίας Συστημάτων GNSS, Ανασύρθηκε στις 25/03/2015 από: <http://what-when-how.com/a-software-defined-gps-and-galileo-receiver/gnss-receiver-operation-overview-gps-and-galileo-receiver>
3. Στατικός εντοπισμός θέσης , Ανασύρθηκε στις 2/04/2015 από <http://diaviou.auth.gr/sites/default/files/pegatraining/10.2.3-GPS-Lakakis.pdf>
4. Γεωδαιτικό πλαίσιο αναφοράς ITRF 2008, Ανασύρθηκε στις 3/04/2015 από: <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2013/icg-8/9.pdf>
5. Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84, Ανασύρθηκε στις 10/04/2015 από: http://www.gpspassion.com/forumsen/topic.asp?TOPIC_ID=10915
6. Τεχνικές Έρευνας GNSS , Ανασύρθηκε στις 10/04/2015 από: <http://www.icsm.gov.au/publications/sp1/sp1v1-7.pdf>
7. Μηδενική Δοκιμή- Zero - Baseline Test , Ανασύρθηκε στις 12/04/2015 από: http://www.planning.act.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/21222/Guideline_No_9_-_GNSS_Verification.pdf
8. Προτεινόμενες προδιαγραφές για έρευνες Σχετικού Στατικού εντοπισμού και Γρήγορου Στατικού εντοπισμού, Ανασύρθηκε στις 30/04/2015 από: http://www.icsm.gov.au/publications/sp1/Guideline-for-Control-Surveys-by-GNSS_v2.1.pdf
9. Ελάχιστες Προδιαγραφές του Λογισμικό Επεξεργασίας GNSS για Σχετικό Στατικό Εντοπισμό και Γρήγορο Στατικό Εντοπισμό, Ανασύρθηκε στις 30/4/2015 από: http://www.icsm.gov.au/publications/sp1/Guideline-for-Control-Surveys-by-GNSS_v2.1.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
Θεωρητικό Πλαίσιο

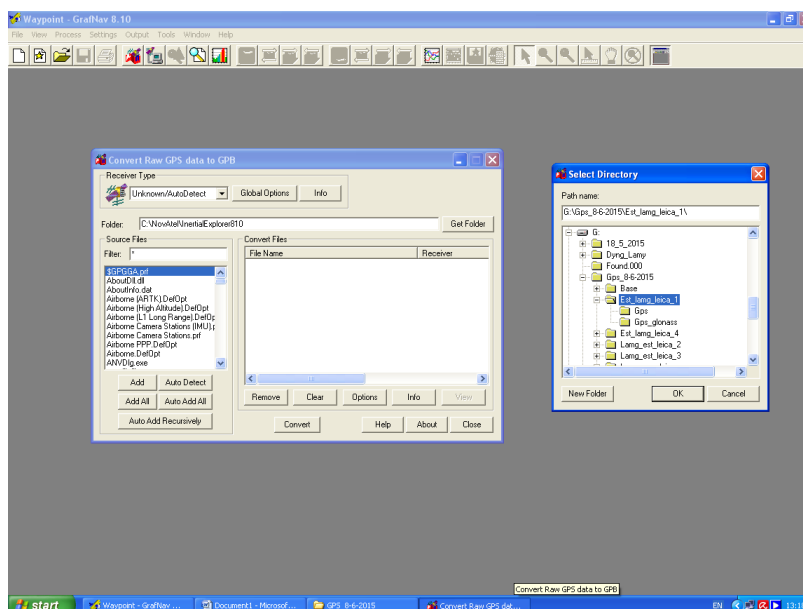
Ορισμοί- Ορολογία

- Γωνία αποκοπής (Elevation Mask): Μια ρύθμιση του GNSS δέκτη, που καθορίζει εάν τα σήματα GNSS καταγράφονται κάτω από μια ορισμένη γωνία, πάνω από τον ορίζοντα.
- IGS: Διεθνής υπηρεσία, που συγκεντρώνει πόρους για τη λειτουργία ένας παγκόσμιος δικτύου CORS, τα δεδομένα της οποίας χρησιμοποιούνται, μεταξύ άλλων σκοπών, για να δημιουργήσουν προϊόντα GNSS με ακρίβεια.
- Πολλαπλή διαδρομή (Multipath): Λάθη στις GNSS παρατηρήσεις, που προκαλούνται από ανάκλαση των σημάτων του GNSS και παρεμβαίνουν στο άμεσο σήμα του GNSS, το γεγονός αυτό οφείλεται στα διαφορετικά μήκη διαδρομών, καθώς και στην κοινή τους καταγωγή στο χρόνο.
- Βαθμοί ελευθερίας (DOF): Ένα στατιστικό στοιχείο που καθορίζει τον πλεονασμό της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων. Ισούται με τον αριθμό των μετρήσεων μείον τον αριθμό των άγνωστων καθοριστικών παραμέτρων που πρέπει να εκτιμηθούν.
- Πλεονασμός: Μια λύση των ελαχίστων τετραγώνων λέγεται ότι περιέχει πλεονασμό, εάν ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων υπερβαίνει τον ελάχιστο αριθμό που απαιτείται για να υπολογιστούν οι άγνωστες παράμετροι.
- RINEX: Μια διεθνώς αποδεκτή φόρμα για την ανταλλαγή δεδομένων GNSS μεταξύ των λογισμικών επεξεργασίας και για την αρχειοθέτηση των δεδομένων GNSS.
- Διάστημα Εμπιστοσύνης: Το μονοδιάστατο εύρος, εντός του οποίου εκτιμούνται τα αποτελέσματα που αναμένονται να βρίσκονται σε ένα συγκεκριμένο χώρο εμπιστοσύνης. Μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως το (\pm) εύρος εντός του οποίου κυμαίνεται περίπου η αναμενόμενη τιμή, η οποία περιγράφει το επίπεδο της αβεβαιότητας σε μια μέτρηση ή το εκτιμώμενο αποτέλεσμα.
- Εύρος εμπιστοσύνης: Η ελλειπτική ή κυκλική περιοχή που περιγράφει την αβεβαιότητα μέσα σε ένα εκτιμώμενο αποτέλεσμα που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.
- Συντελεστής κάλυψης (k): Ένα στατιστικό βαθμωτό μέγεθος που χρησιμοποιείται για να τροποποιήσει μια τυπική αβεβαιότητα για την επίτευξη ενός μεγαλύτερου (ή επεκταμένου) επιπέδου εμπιστοσύνης. Η τιμή που αποδίδεται στο k επιλέγεται ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης.
- Ολική δοκιμή: Η διαδικασία αξιολόγησης που πραγματοποιείται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για την εκτίμηση της ποιότητας της έρευνας στο σύνολό της.
- Τοπική δοκιμή: Μια διαδικασία αξιολόγησης που πραγματοποιείται σε μεμονωμένες μετρήσεις της έρευνας, για να αξιολογηθεί η ποιότητα της μέτρησης και της υπόθεσης της αβεβαιότητας.

- Αβεβαιότητα διευρυμένη: Η αβεβαιότητα που εκφράζεται ως πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης, πολλαπλασιαζόμενη με τον συντελεστή κάλυψης να παράγει ένα υψηλότερο επίπεδο εμπιστοσύνης.
- Αβεβαιότητα, τυπική: Η αβεβαιότητα που εκφράζεται ως τυπική απόκλιση.
- Datum: Ένα επίσημο, πλήρως καθορισμένο , χωρικό σύστημα αναφοράς ή η επιφάνεια στην οποία μπορούν να οριστούν οι σχετικές μετρήσεις ή/και οι συντεταγμένες πάνω στη Γη.
- Γεωειδές(Geoid): Η ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της Γης, η οποία ταιριάζει καλύτερα στη παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας.

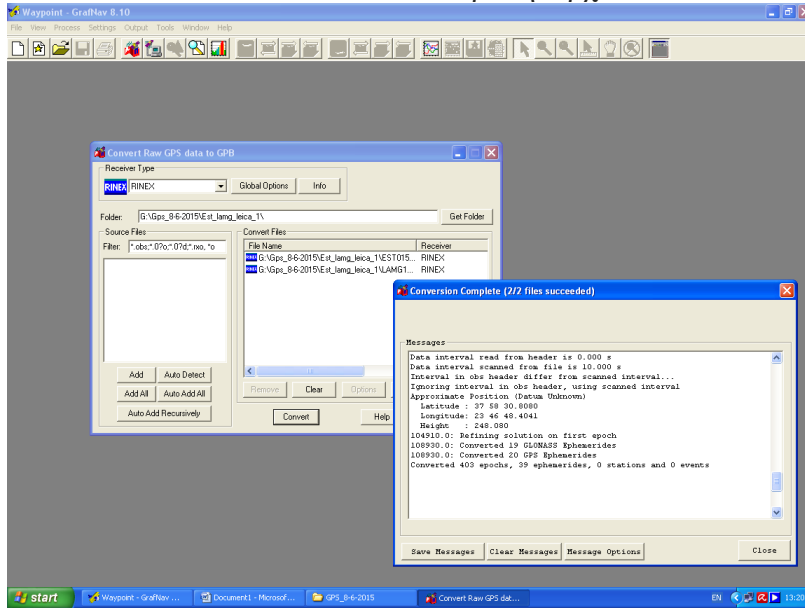
Λογισμικό Επεξεργασίας GrafNav

- File→Convert→Raw GNSS to GPB→ Επιλέγονται Αρχεία



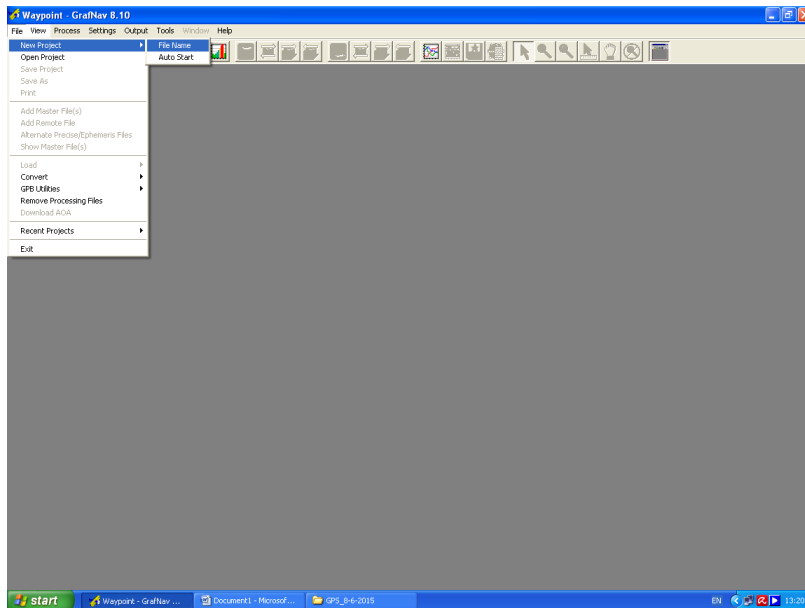
Εικόνα 5: Εισαγωγή Αρχείων

- Auto add all → Convert → Μετατροπή Αρχείων σε GPB



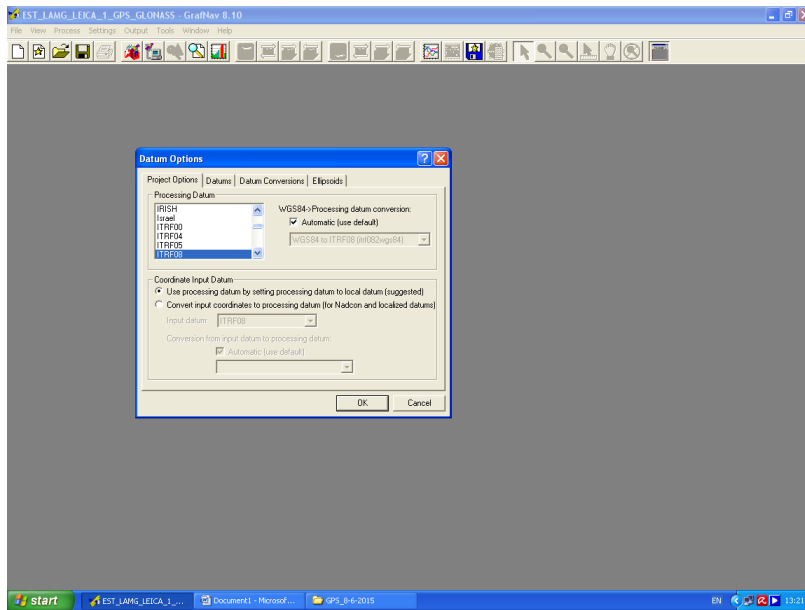
Εικόνα 6: Μετατροπή Αρχείων σε GPB

- File → New project → File name → Ονομασία Εργασία



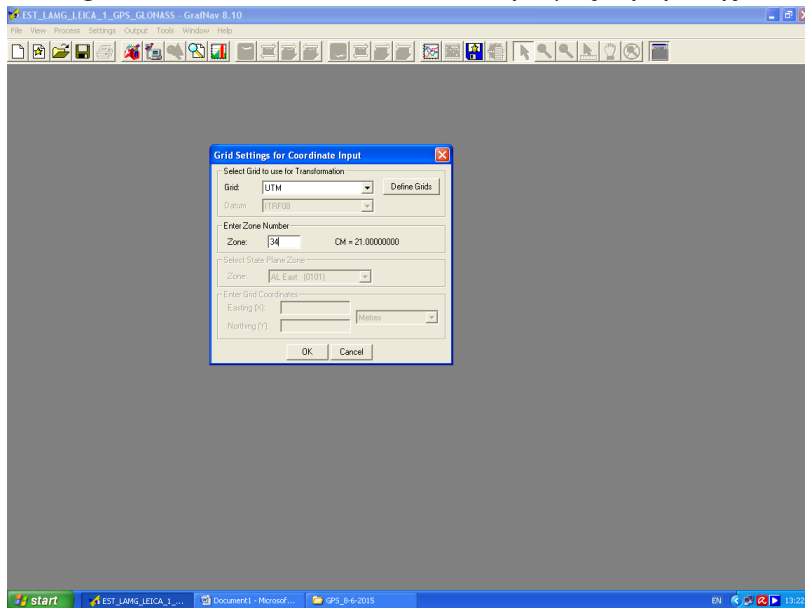
Εικόνα 7: Ονομασία Εργασία

- Settings→Datum→ITRF08→ Ορισμός Συστήματος Αναφοράς



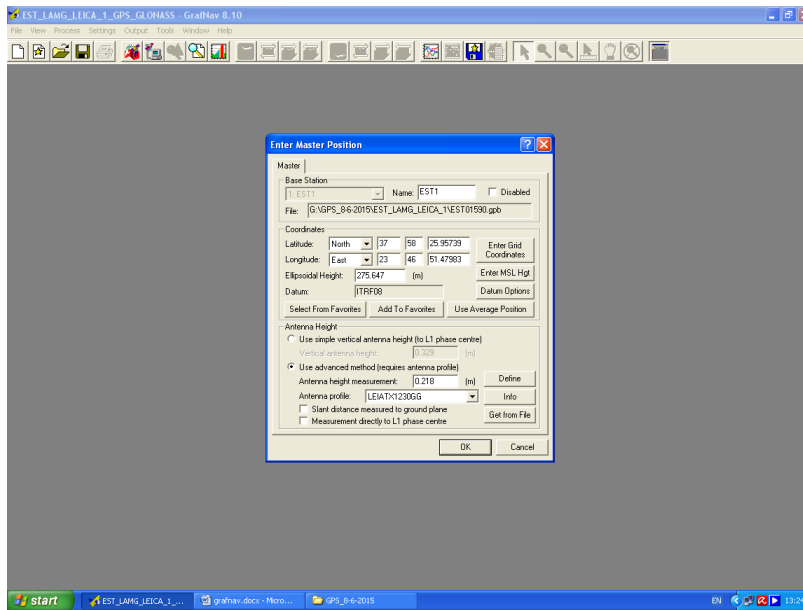
Εικόνα 8: Ορισμός Συστήματος Αναφοράς

- Settings→Grid→UTM & Zone 34→ Ορισμός Προβολής



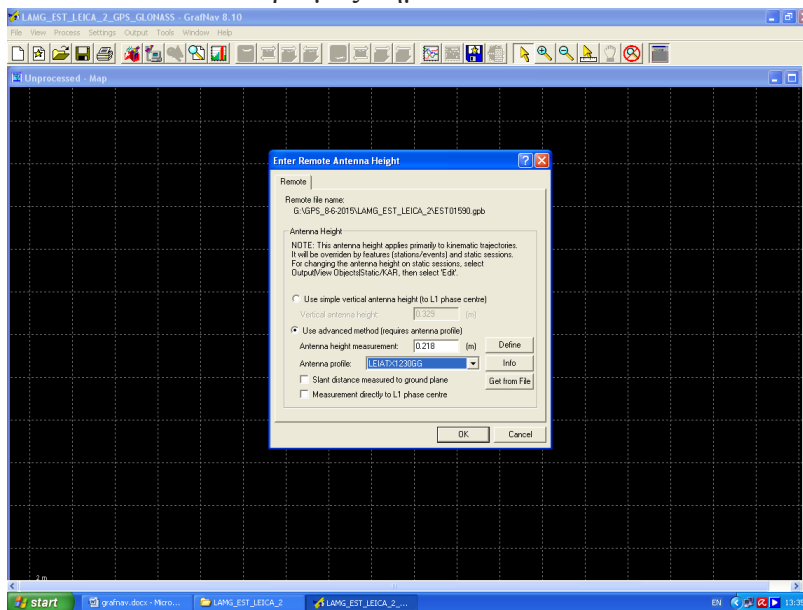
Εικόνα 9: Ορισμός Προβολής

- Add master file → Ορισμός Σημείου Base



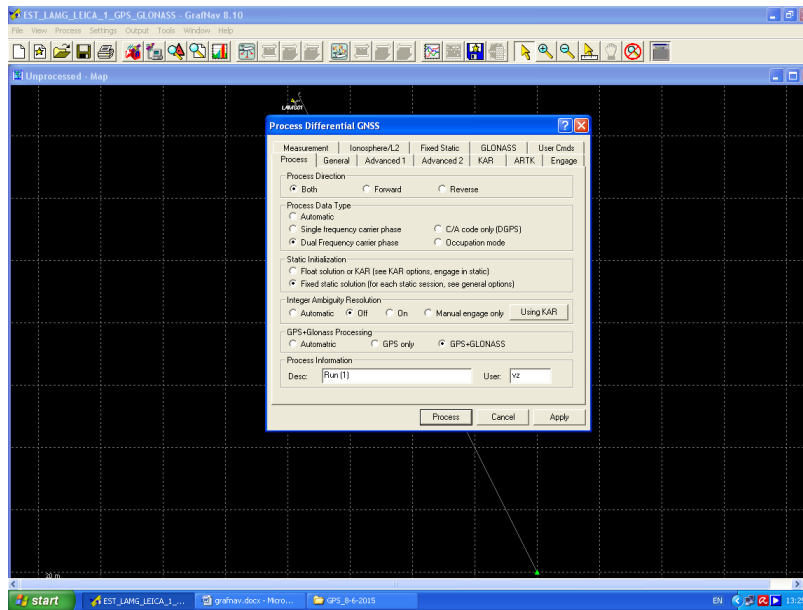
Εικόνα 10: Ορισμός Σημείου Base

- Add remote file → Ορισμός Σημείου Rover



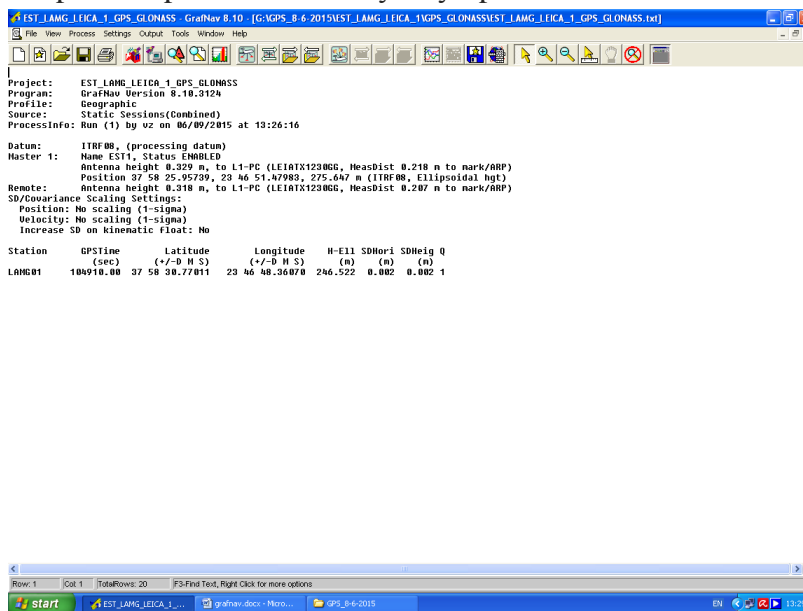
Εικόνα 11: Ορισμός Σημείου Rover

- Process → Process GNSS → Process Direction (Both) – GPS & GLONASS



Εικόνα 12: Καθορισμός Παραμέτρων GNSS

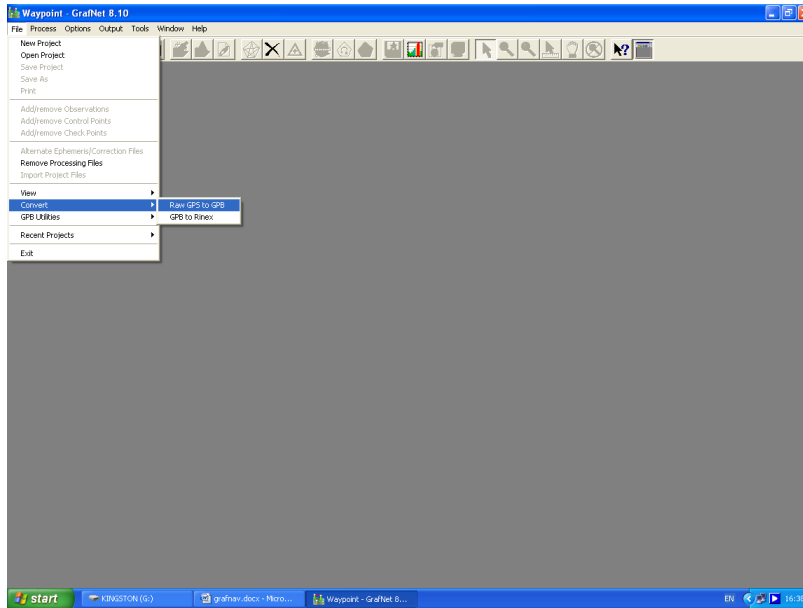
- Output → Export wizard → Έξοδος report



Εικόνα 13: Report Επίλυσης Βάσης

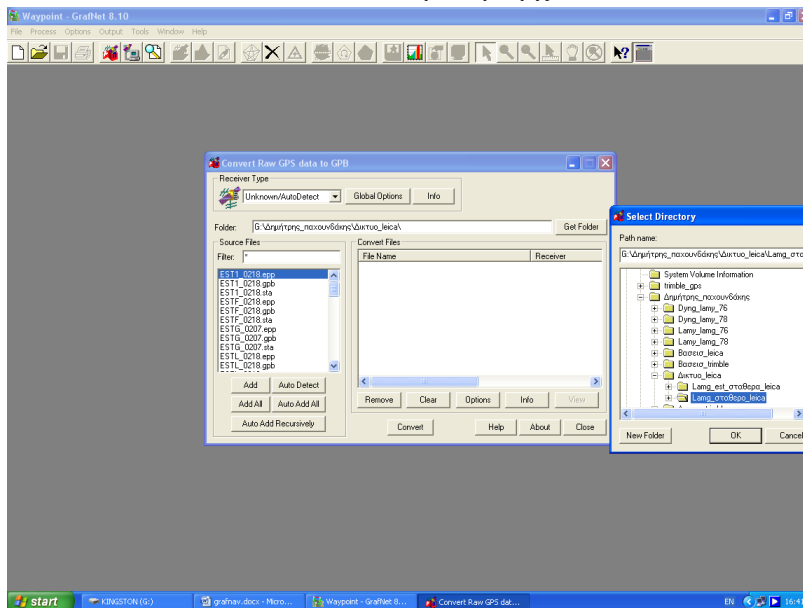
Λογισμικό Επεξεργασίας GrafNet

- File→Convert→Raw to GPB→ Εισαγωγή Αρχείων



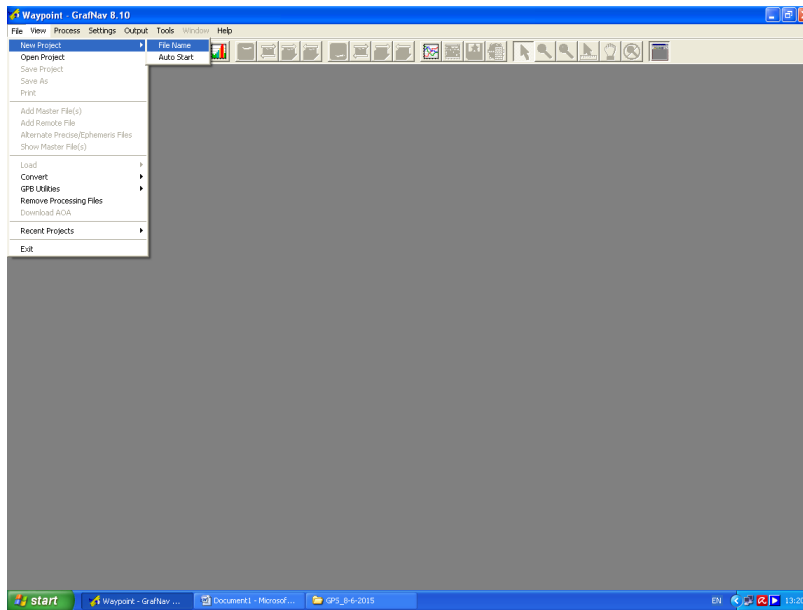
Εικόνα 14: Εισαγωγή Αρχείων

- Auto add all→Convert→ Μετατροπή Αρχείων σε GPB



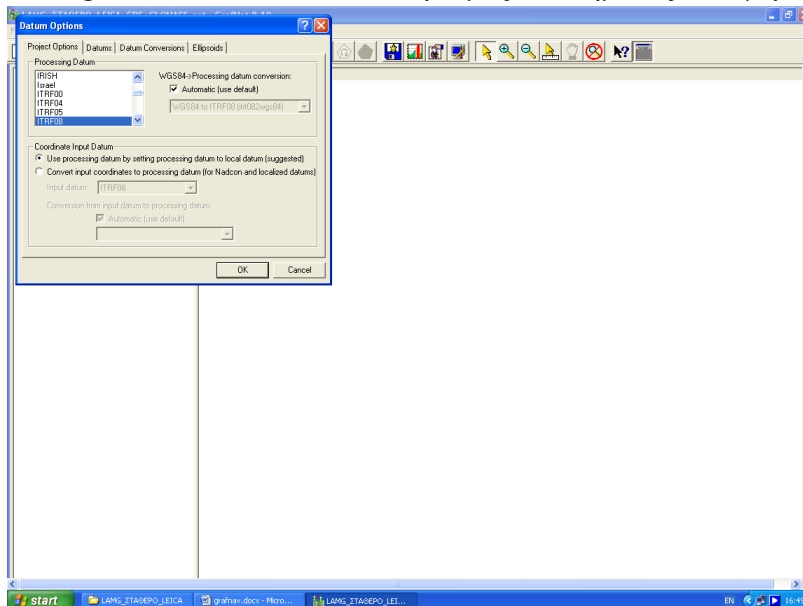
Εικόνα 15: Μετατροπή Αρχείων σε GPB

- File→New project→File name→ Ονομασία Εργασίας



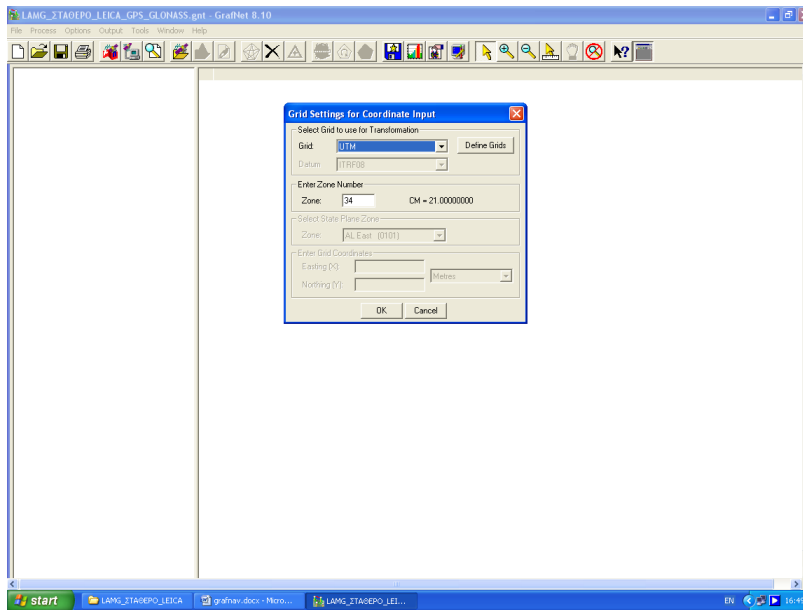
Εικόνα 16: Ονομασία Εργασίας

- Settings→Datum→ITRF08→ Ορισμός Συστήματος Αναφοράς



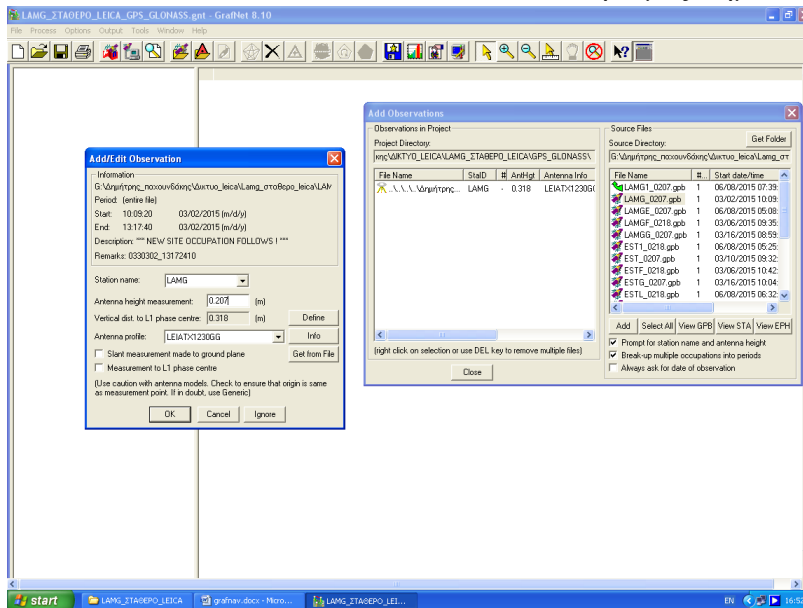
Εικόνα 17: Ορισμός Συστήματος Αναφοράς

- Settings→Grid→UTM & Zone 34→ Ορισμός Προβολής



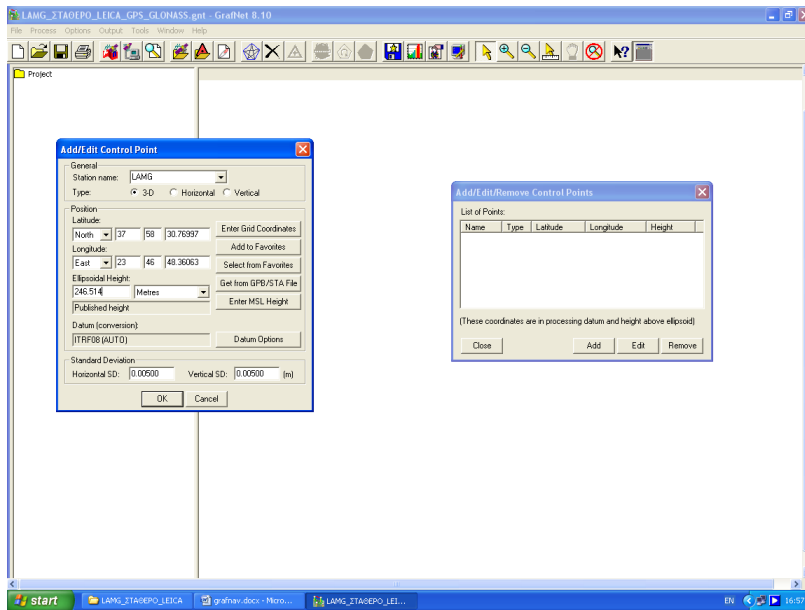
Εικόνα 18: Ορισμός Προβολής

- File→Add/remote Observation→Add all→ Ορισμός Σημείων Δικτύου



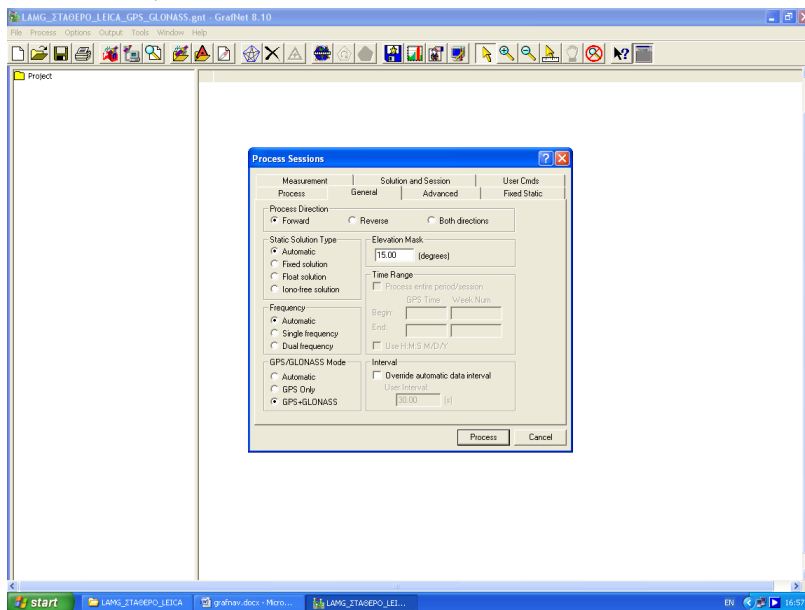
Εικόνα 19: Ορισμός Σημείων Δικτύου

- File→Add/remote Control Point→ Ορισμός Σταθμού ή Σταθμών Αναφοράς



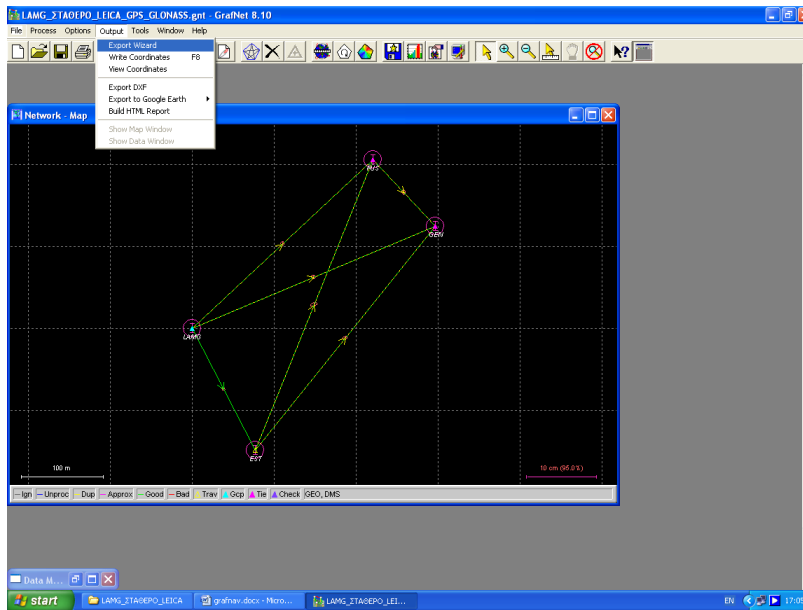
Εικόνα 20: Ορισμός Σταθμού ή Σταθμών Αναφοράς

- Process→Process Sessions→Reprocess enter project→ Καθορισμός Ελλείψεις Σφάλματος, Process Direction (Both) και GPS & GLONASS (GPS ή GPS-GLONASS)



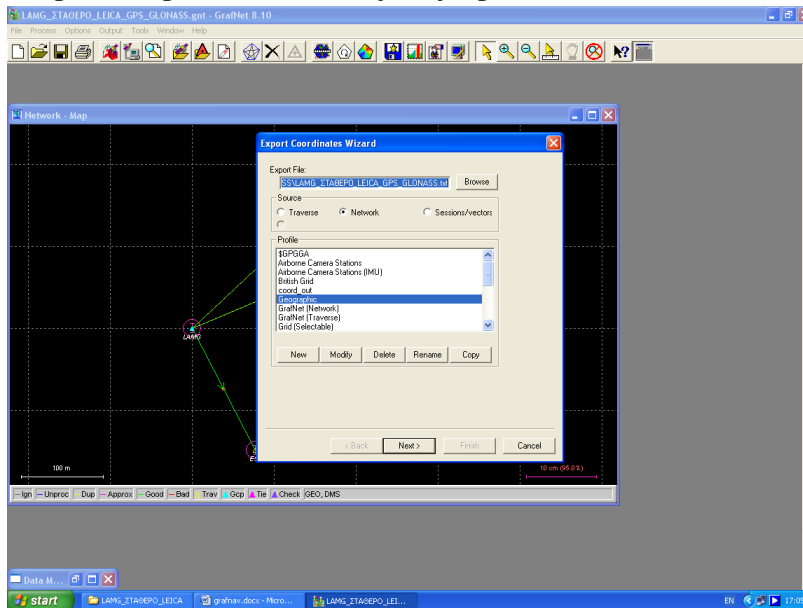
Εικόνα 21: Καθορισμός Ελλείψεις Σφάλματος

- Process → Network Adjustment → Ορατότητα Ελλείψεων Σφάλματος



Εικόνα 22: Ορατότητα Ελλείψεων Σφάλματος

- Output → Export wizard → Έξοδος report



Εικόνα 23: Παράμετροι Εξόδου report

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
Επεξεργασία & Ανάλυση Μετρήσεων

Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS85

Η πρώτη στήλη του παρακάτω πίνακα απεικονίζει τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία αφετηρίας για την κάθε δορυφορική βάση, δηλαδή σημεία με γνωστές συντεταγμένες που έδωσαν συντεταγμένες στα υπόλοιπα σημεία ενδιαφέροντος. Η δεύτερη στήλη του πίνακα παρουσιάζει τα σημεία που δόθηκαν οι συντεταγμένες, μετά την επίλυση της κάθε βάσης. Οι στήλες τρία (3), τέσσερα (4) και πέντε (5) εμφανίζουν τις γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων Rover. Η στήλη τρία (3) δείχνει το γεωδαιτικό μήκος και η στήλη τέσσερα (4) το γεωδαιτικό πλάτος. Όλες οι γεωδαιτικές συντεταγμένες αναγράφονται σε μορφή μοιρών (°), πρώτων (') και δευτέρων ("). Το υψόμετρο από το ελλειψοειδές βρίσκεται στη στήλη τέσσερα (4) και σαν μονάδα μέτρησης χρησιμοποιεί τα μέτρα (m). Τέλος, οι δύο τελευταίες στήλες περιγράφουν το οριζοντιογραφικό και το υψομετρικό σφάλμα και οι δύο στήλες χρησιμοποιούν τη διεθνή μονάδα μέτρησης μέτρα (m). Όλες οι μετρήσεις του ακόλουθου πίνακα έγιναν με τους δέκτες Trimble 5800 και αναφέρονται στο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84.

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WG84										
Trimble 5800										
Base	Rover	φ (D, M, S)			λ (D, M, S)			h (m)	σ _{ορ}	σ _{υψ}
DYM	LAMY	37	58	30,54621	23	46	48,73723	248,576	0,007	0,015
LAMY	LAMG	37	58	30,76997	23	46	48,36063	246,514	0,002	0,002
LAMG	EST	37	58	25,95739	23	46	51,47983	275,647	0,002	0,002
LAMG	EST	37	58	25,95730	23	46	51,47990	275,645	0,002	0,003
EST	LAMG	37	58	30,77005	23	46	48,36058	246,515	0,002	0,003
EST	LAMG	37	58	30,76997	23	46	48,36061	246,513	0,002	0,003
EST	FYS	37	58	37,40386	23	46	57,36487	241,589	0,003	0,003
EST	GEN	37	58	34,78912	23	47	0,46840	254,446	0,004	0,003
LAMG	FYS	37	58	37,40380	23	46	57,36487	241,588	0,003	0,004
LAMG	GEN	37	58	34,78901	23	47	0,46848	254,443	0,003	0,003
GEN	FYS	37	58	37,40365	23	46	57,36495	241,587	0,003	0,003
FYS	LAMG	37	58	30,77006	23	46	48,36062	246,509	0,003	0,003
FYS	EST	37	58	25,95737	23	46	51,47985	275,642	0,003	0,003
FYS	GEN	37	58	34,78906	23	47	0,46833	254,443	0,002	0,004
GEN	EST	37	58	25,95726	23	46	51,47991	275,641	0,003	0,004
GEN	LAMG	37	58	30,76998	23	46	48,36073	246,507	0,003	0,004

Πίνακας 1: Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS84 (Trimble 5800)

Οι δορυφορικές βάσεις του δικτύου, εκτός από του δέκτες Trimble 5800 μετρήθηκαν και από τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Ο αριθμός των μετρήσεων και ο χρόνος παρατήρησης είναι ακριβώς ο ίδιος. Δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις γεωδαιτικές συντεταγμένες, μονάχα μικρές διαφοροποιήσεις της τάξης του 00,001". Τα υψόμετρα του ελλειψοειδούς όπως είναι φυσιολογικό έχουν διαφορές που αγγίζουν και το ένα (1) εκατοστό (cm). Τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά

σφάλματα κυμαίνονται στην ίδια τάξη μεγέθους. Ο παρακάτω πίνακας είναι όμοιος με τον πίνακα 1.

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WG84										
Leica 1200+GNSS										
Base	Rover	φ (D, M, S)			λ (D, M, S)			h (m)	σ _{op} (m)	σ _{υψ} (m)
FYS	LAMG	37	58	30,77015	23	46	48,36082	246,497	0,002	0,003
FYS	EST	37	58	25,95765	23	46	51,47973	275,625	0,003	0,003
FYS	GEN	37	58	34,78911	23	47	0,46850	254,426	0,002	0,003
LAMG	FYS	37	58	37,40364	23	46	57,36490	241,588	0,003	0,003
EST	GEN	37	58	34,78901	23	47	0,46837	254,436	0,003	0,003
EST	FYS	37	58	37,40364	23	46	57,36483	241,587	0,002	0,002
GEN	EST	37	58	25,95733	23	46	51,47985	275,657	0,003	0,003
GEN	FYS	37	58	37,40367	23	46	57,36478	241,604	0,003	0,003
GEN	LAMG	37	58	30,76999	23	46	48,36070	246,524	0,002	0,003
EST	LAMG	37	58	30,77011	23	46	48,36070	246,522	0,002	0,002
LAMG	EST	37	58	25,95729	23	46	51,47981	275,639	0,002	0,002
LAMG	GEN	37	58	34,78913	23	47	0,46837	254,541	0,003	0,004
LAMG	EST	37	58	25,95741	23	46	51,47984	275,639	0,002	0,004
EST	LAMG	37	58	30,76999	23	46	48,36084	246,523	0,002	0,002

Πίνακας 2: Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84

Ο πίνακας αναφέρεται σε μετρήσεις που έγιναν με το δέκτη Trimble 5800 και είναι αποτέλεσμα του μετασχηματισμού που πραγματοποιήθηκε από το λογισμικό επεξεργασίας Natural Resources Canada.

ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WG84				
Trimble 5800				
Base	Rover	X(m)	Y(m)	Z(m)
DYM	LAMY	4.606.920,703	2.029.973,486	3.903.409,893
LAMY	LAMG	4.606.902,298	2.029.974,995	3.903.427,339
LAMG	EST	4.606.976,168	2.030.090,740	3.903.328,292
LAMG	EST	4.606.976,167	2.030.090,742	3.903.328,289
EST	LAMG	4.606.902,298	2.029.974,993	3.903.427,341
EST	LAMG	4.606.902,297	2.029.974,994	3.903.427,338
EST	FYS	4.606.694,949	2.030.123,779	3.903.585,545
EST	GEN	4.606.719,074	2.030.217,187	3.903.529,905
LAMG	FYS	4.606.694,950	2.030.123,779	3.903.585,543
LAMG	GEN	4.606.719,073	2.030.217,188	3.903.529,901
GEN	FYS	4.606.694,951	2.030.123,782	3.903.585,538
FYS	LAMG	4.606.902,293	2.029.974,992	3.903.427,338
FYS	EST	4.606.976,164	2.030.090,739	3.903.328,289
FYS	GEN	4.606.719,073	2.030.217,185	3.903.529,902
GEN	EST	4.606.976,165	2.030.090,741	3.903.328,285
GEN	LAMG	4.606.902,292	2.029.974,995	3.903.427,335

Πίνακας 3: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84 (Trimble 5800)

Όλες οι δορυφορικές βάσεις μετρήθηκαν και από τις δύο ομάδες δεκτών, δηλαδή και από τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας των καρτεσιανών συντεταγμένων, όπως προέκυψε μετά τον μετασχηματισμό από το διαδικτυακό πρόγραμμα επεξεργασίας Natural Resources Canada. Θεωρείται ότι η μετατροπή των συντεταγμένων δεν επιφέρει σφάλματα στο σύστημα, οπότε οποιεσδήποτε διαφοροποιήσεις από τις συντεταγμένες που προήλθαν από του δέκτες Trimble 58000 προκύπτουν από σφάλματα που υπήρχαν στις πρωτογενείς μετρήσεις. Τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα δεν εμφανίζονται τους πίνακες των καρτεσιανών συντεταγμένων, επειδή δεν έχουν υποστεί κάποια αλλαγή από τις τιμές που δίνονται από το Report του λογισμικού GrafNav.

ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WG84				
Leica 1200+GNSS				
Base	Rover	X(m)	Y(m)	Z(m)
FYS	LAMG	4.606.902,281	2.029.974,992	3.903.427,333
FYS	EST	4.606.976,148	2.030.090,729	3.903.328,285
FYS	GEN	4.606.719,058	2.030.217,183	3.903.529,893
LAMG	FYS	4.606.694,952	2.030.123,781	3.903.585,539
EST	GEN	4.606.719,069	2.030.217,184	3.903.529,896
EST	FYS	4.606.694,952	2.030.123,779	3.903.585,538
GEN	EST	4.606.976,176	2.030.090,744	3.903.328,297
GEN	FYS	4.606.694,964	2.030.123,783	3.903.585,549
GEN	LAMG	4.606.902,304	2.029.974,999	3.903.427,345
EST	LAMG	4.606.902,302	2.029.975,022	3.903.427,345
LAMG	EST	4.606.976,164	2.030.090,738	3.903.328,285
LAMG	GEN	4.606.719,142	2.030.217,216	3.903.529,964
LAMG	EST	4.606.976,161	2.030.090,738	3.903.328,288
EST	LAMG	4.606.902,301	2.029.974,998	3.903.427,347

Πίνακας 4: Καρτεσιανές Συντεταγμένες WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Προβολικές Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87

Η πρώτη στήλη του ακόλουθου πίνακα παρουσιάζει τα σημεία Base για τη κάθε βάση, δηλαδή τα σημεία με γνωστές συντεταγμένες. Η δεύτερη στήλη αναγράφει τα σημεία Rover, δηλαδή στα σημεία που δόθηκαν οι συντεταγμένες. Οι υπόλοιπες στήλες παρουσιάζουν τις συντεταγμένες των σημείων Rover στην Προβολή ΕΓΣΑ87. Ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων έγινε μέσα από το ελληνικό πρόγραμμα επεξεργασίας Coord.gr. Ο παρακάτω πίνακας αναφέρεται σε μετρήσεις που έγιναν από του δέκτες Trimble 5800.

ΠΡΟΒΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ87				
Trimble 5800				
Base	Rover	x(m)	y(m)	h(m)
DYM	LAMY	480.547,152	4.202.793,293	248,580
LAMY	LAMG	480.537,981	4.202.800,211	246,510
LAMG	EST	480.613,730	4.202.651,709	275,650
LAMG	EST	480.613,732	4.202.651,706	275,650
EST	LAMG	480.537,979	4.202.800,214	246,520
EST	LAMG	480.537,980	4.202.800,211	246,510
EST	FYS	480.758,130	4.203.004,152	241,590
EST	GEN	480.833,656	4.202.923,390	254,450
LAMG	FYS	480.758,130	4.203.004,151	241,590
LAMG	GEN	480.833,658	4.202.923,387	254,440
GEN	FYS	480.758,132	4.203.004,114	241,590
FYS	LAMG	480.537,980	4.202.800,214	246,510
FYS	EST	480.613,730	4.202.651,708	275,640
FYS	GEN	480.833,655	4.202.923,389	274,440
GEN	EST	480.613,732	4.202.651,705	275,640
GEN	LAMG	480.537,983	4.202.800,212	246,510

Πίνακας 5: Προβολικές Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (Trimble 5800)

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις προβολικές συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 του δέκτη Leica 1200+GNSS. Η μετατροπή των συντεταγμένων έγινε από το ελληνικό πρόγραμμα επεξεργασίας Coord.gr και θεωρείται ότι ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων δεν επιφέρει σφάλματα στο σύστημα.

ΠΡΟΒΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ87					
Leica 1200+GNSS					
Base	Rover	x(m)	y(m)	z(m)	h(m)
FYS	LAMG	480.537,985	4.202.800,217		246,500
FYS	EST	480.613,727	4.202.651,717		275,630
FYS	GEN	480.833,659	4.202.923,390		254,430
LAMG	FYS	480.758,131	4.203.004,146		241,590
EST	LAMG	480.580,845	4.202.716,179		263,010
LAMG	EST	480.570,008	4.202.737,422		286,840
EST	GEN	480.833,655	4.202.923,387		254,440
EST	FYS	480.758,129	4.203.004,146		241,590
GEN	EST	480.613,730	4.202.651,707		275,660
GEN	FYS	480.758,128	4.203.004,147		241,600
GEN	LAMG	480.537,982	4.202.800,212		246,520
EST	LAMG	480.537,982	4.202.800,216		246,520
LAMG	EST	480.613,729	4.202.651,706		275,640
LAMG	GEN	480.833,655	4.202.923,390		254,540
LAMG	EST	480.613,730	4.202.651,710		275,640
EST	LAMG	480.537,986	4.202.800,212		246,520

Πίνακας 6: Προβολικές Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (Leica 1200+GNSS)

Διαφορές Μετρημένων-Αρχικών Συνιστωσών WGS84

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες X στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Η πρώτη στήλη αναγράφει την παράμετρο που θα υποστεί την επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει την διαφορά $\Delta X_{i,j}$ όπου i, j είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάθρου του δορυφορικού δικτύου (Lamg, Est, Gen, Fys), με (i) συμβολίζονται τα σημεία Base, ενώ με (j) συμβολίζονται τα σημεία Rover. Η δεύτερη στήλη υπολογίζεται από τη σχέση $\Delta X_{i,j}^{Mετρ} = X_j^{Mετρ} - X_i^{Mετρ}$. Όλα τα μεγέθη του πίνακα έχουν ως μονάδα μέτρησης τα μέτρα (m). Η τρίτη στήλη προκύπτει από τον τύπο $\Delta X_{i,j}^{Γνωστ} = X_j^{Γνωστ} - X_i^{Γνωστ}$. Οι συντεταγμένες αυτές για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θεωρούνται σταθερές και δεν περιέχουν σφάλματα. Η τέταρτη στήλη είναι αποτέλεσμα της σχέσης $\Delta_{\Delta X}^{i,j} = \Delta X_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta X_{i,j}^{Mετρ}$. Τέλος, η στήλη πέντε (5) εμφανίζει τις τιμές της στήλης τέσσερα (4) σε απόλυτο βαθμό για να είναι πιο εύκολη η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των έξι (0.006) χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ-ΑΡΧΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ X WGS84				
Trimble 5800				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔXLE	73,870	73,870	0,000	0,000
ΔXLE	73,869	73,870	-0,001	0,001
ΔXEL	-73,870	-73,870	0,000	0,000
ΔXEL	-73,871	-73,870	-0,001	0,001
ΔXEF	-281,219	-281,218	-0,001	0,001
ΔXEG	-257,094	-257,095	0,001	0,001
ΔXLF	-207,348	-207,348	0,000	0,000
ΔXLG	-183,225	-183,225	0,000	0,000
ΔXGF	-24,122	-24,123	0,001	0,001
ΔXFL	207,343	207,348	-0,005	0,005
ΔXFE	281,214	281,218	-0,004	0,004
ΔXFG	24,123	24,123	0,000	0,000
ΔXGE	257,092	257,095	-0,003	0,003
ΔXGL	183,219	183,225	-0,006	0,006

Πίνακας 7: Διαφορές Μετρημένων-Αρχικών Συνιστώσων X WGS84 (Trimble 5800)

Ο πίνακας περιγράφει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες Y στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Η πρώτη στήλη αναγράφει την παράμετρο που θα υποστεί την επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει την διαφορά $\Delta Y_{i,j}$ όπου i,j είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάθρου του δορυφορικού δικτύου (Lamg, Est, Gen, Fys), με (i) συμβολίζονται τα σημεία Base, ενώ με (j) συμβολίζονται τα σημεία Rover. Η δεύτερη στήλη υπολογίζεται από τη σχέση $\Delta Y_{i,j}^{Μετρ} = Y_J^{Μετρ} - Y_i^{Μετρ}$ όλα τα μεγέθη του πίνακα έχουν ως μονάδα μέτρησης τα μέτρα (m). Η τρίτη στήλη προκύπτει από τον τύπο $\Delta Y_{i,j}^{Γνωστ} = Y_J^{Γνωστ} - Y_i^{Γνωστ}$. Οι συντεταγμένες αυτές για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θεωρούνται σταθερές και δεν περιέχουν σφάλματα. Η τέταρτη στήλη είναι αποτέλεσμα της σχέσης $\Delta_{\Delta Y}^{i,j} = \Delta Y_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta Y_{i,j}^{Μετρ}$. Τέλος, η στήλη πέντε (5) εμφανίζει τις τιμές της στήλης τέσσερα (4) σε απόλυτο βαθμό για να είναι πιο εύκολη η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Οι απόλυτες διαφορές της συνιστώσας Y είναι μικρότερες από τις διαφορές της συνιστώσας X καθώς κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των τριών (0.003) χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ-ΑΡΧΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Υ WGS84				
Trimble 5800				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔΥΛΕ	-115,745	-115,745	0,000	0,000
ΔΥΛΕ	-115,747	-115,745	-0,002	0,002
ΔΥΕΛ	115,747	115,745	0,002	0,002
ΔΥΕΛ	115,746	115,745	0,001	0,001
ΔΥΕΦ	-33,039	-33,039	0,000	0,000
ΔΥΕΓ	-126,447	-126,448	0,001	0,001
ΔΥΛΦ	-148,784	-148,784	0,000	0,000
ΔΥΛΓ	-242,193	-242,193	0,000	0,000
ΔΥΓΦ	93,406	93,409	-0,003	0,003
ΔΥΦΛ	148,787	148,784	0,003	0,003
ΔΥΦΕ	33,040	33,039	0,001	0,001
ΔΥΦΓ	-93,406	-93,409	0,003	0,003
ΔΥΓΕ	126,447	126,448	-0,001	0,001
ΔΥΓΛ	242,193	242,193	0,000	0,000

Πίνακας 8: Διαφορές Μετρημένων-Αρχικών Συνιστωσών Υ WGS84 (Trimble 5800)

Ο πίνακας περιγράφει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες Z στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Η πρώτη στήλη αναγράφει την παράμετρο που θα υποστεί την επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει την διαφορά $\Delta Z_{i,j}$ όπου i,j είναι τα αρχικά της κορυφής κάθε βάθρου του δορυφορικού δικτύου (Lamg, Est, Gen, Fys), με (i) συμβολίζονται τα σημεία Base, ενώ με (j) συμβολίζονται τα σημεία Rover. Η δεύτερη στήλη υπολογίζεται από τη σχέση $\Delta Z_{i,j}^{Μετρ} = Z_j^{Μετρ} - Z_i^{Μετρ}$. Όλα τα μεγέθη του πίνακα έχουν ως μονάδα μέτρησης τα μέτρα (m). Η τρίτη στήλη προκύπτει από τον τύπο $\Delta Z_{i,j}^{Γνωστ} = Z_j^{Γνωστ} - Z_i^{Γνωστ}$. Οι συντεταγμένες αυτές για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θεωρούνται σταθερές και ότι δεν περιέχουν σφάλματα. Η τέταρτη στήλη είναι αποτέλεσμα της σχέσης $\Delta_{\Delta Z}^{i,j} = \Delta Z_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta Z_{i,j}^{Μετρ}$. Τέλος, η στήλη πέντε (5) εμφανίζει τις τιμές της στήλης τέσσερα (4) σε απόλυτο βαθμό για να είναι πιο εύκολη η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Οι απόλυτες διαφορές των συνιστωσών Z όπως αναμένονταν είχε χειρότερη ακρίβεια. Οι διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των επτά (0.007).

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ-ΑΡΧΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Z WGS84				
Trimble 5800				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔZLE	-99,047	-99,047	0,000	0,000
ΔZLE	-99,050	-99,047	-0,003	0,003
ΔZEL	99,049	99,047	0,002	0,002
ΔZEL	99,046	99,047	-0,001	0,001
ΔZEF	257,253	257,251	0,002	0,002
ΔZEG	201,613	201,609	0,004	0,004
ΔZLF	158,204	158,204	0,000	0,000
ΔZLG	102,562	102,562	0,000	0,000
ΔZGF	55,637	55,642	-0,005	0,005
ΔZFL	-158,205	-158,204	-0,001	0,001
ΔZFE	-257,254	-257,251	-0,003	0,003
ΔZFG	-55,641	-55,642	0,001	0,001
ΔZGE	-201,616	-201,609	-0,007	0,007
ΔZGL	-102,566	-102,562	-0,004	0,004

Πίνακας 9: Διαφορές Μετρημένων-Αρχικών Συνιστώσων Z WGS84 (Trimble 5800)

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες X στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Παρατηρούνται μεγαλύτερες διαφορές στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη σχέση $\Delta_{\Delta X}^{i,j} = \Delta X_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta X_{i,j}^{Μετρ}$. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (1) χιλιοστού και εφτά (7) εκατοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ-ΑΡΧΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ X WGS84				
Leica 1200+GNSS				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔXLE	73,866	73,870	-0,004	0,004
ΔXLE	73,863	73,870	-0,007	0,007
ΔXEL	-73,866	-73,870	0,004	0,004
ΔXEL	-73,867	-73,870	0,003	0,003
ΔXEF	-281,216	-281,218	0,002	0,002
ΔXEG	-257,099	-257,095	-0,004	0,004
ΔXLF	-207,346	-207,348	0,002	0,002
ΔXLG	-183,156	-183,225	0,069	0,069
ΔXGF	-24,109	-24,123	0,014	0,014
ΔXFL	207,331	207,348	-0,017	0,017
ΔXFE	281,198	281,218	-0,020	0,020
ΔXFG	24,108	24,123	-0,015	0,015
ΔXGE	257,103	257,095	0,008	0,008
ΔXGL	183,231	183,225	0,006	0,006

Πίνακας 10: Διαφορές Μετρημένων-Αρχικών Συνιστώσων X WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Ο πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες Y στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Παρατηρούνται μεγαλύτερες διαφορές στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη σχέση $\Delta_{\Delta Y}^{i,j} = \Delta Y_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta Y_{i,j}^{Μετρ}$. Οι αιτίες που προκάλεσαν τις συγκεκριμένες διαφοροποιήσεις αναφέρθηκαν προηγουμένως. Παρόλα αυτά, οι απόλυτες διαφορές δεν υπερβαίνουν τα δύο (2) εκατοστά και η διαφοροποιήσεις είναι αισθητά μειωμένες σε σχέση με τις διαφορές των συνιστωσών X από τις μετρήσεις των δεκτών Leica 1200+GNSS.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ-ΑΡΧΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Y WGS84				
Leica 1200+GNSS				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔYLE	-115,743	-115,745	0,002	0,002
ΔYLE	-115,743	-115,745	0,002	0,002
ΔYEL	115,718	115,745	-0,027	0,027
ΔYEL	115,742	115,745	-0,003	0,003
ΔYEF	-33,039	-33,039	0,000	0,000
ΔYEG	-126,444	-126,448	0,004	0,004
ΔYLF	-148,786	-148,784	-0,002	0,002
ΔYLG	-242,221	-242,193	-0,028	0,028
ΔYGF	93,405	93,409	-0,004	0,004
ΔYFL	148,787	148,784	0,003	0,003
ΔYFE	33,050	33,039	0,011	0,011
ΔYFG	-93,404	-93,409	0,005	0,005
ΔYGE	126,444	126,448	-0,004	0,004
ΔYGL	242,189	242,193	-0,004	0,004

Πίνακας 11: Διαφορές Μετρημένων-Αρχικών Συνιστωσών Y WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Ο πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες Z στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Παρατηρούνται μεγαλύτερες διαφορές στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη σχέση $\Delta_{\Delta Z}^{i,j} = \Delta Z_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta Z_{i,j}^{Μετρ}$. Οι αιτίες που προκάλεσαν τις συγκεκριμένες διαφοροποιήσεις αναφέρθηκαν προηγουμένως. Παρόλα αυτά, οι απόλυτες διαφορές δεν υπερβαίνουν την ακρίβεια των οχτώ (0.008) χιλιοστών με εξαίρεση την απόλυτη διαφορά των εξήντα εννέα (0.069) χιλιοστών της βάσης Lamg-Est.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ-ΑΡΧΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Z WGS84				
Leica 1200+GNSS				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔZLE	-99,054	-99,047	-0,007	0,007
ΔZLE	-99,051	-99,047	-0,004	0,004
ΔZEL	99,053	99,047	0,006	0,006
ΔZEL	99,055	99,047	0,008	0,008
ΔZEF	257,246	257,251	-0,005	0,005
ΔZEG	201,604	201,609	-0,005	0,005
ΔZLF	158,200	158,204	-0,004	0,004
ΔZLG	102,631	102,562	0,069	0,069
ΔZGF	55,648	55,642	0,006	0,006
ΔZFL	-158,210	-158,204	-0,006	0,006
ΔZFE	-257,258	-257,251	-0,007	0,007
ΔZFG	-55,650	-55,642	-0,008	0,008
ΔZGE	-201,604	-201,609	0,005	0,005
ΔZGL	-102,556	-102,562	0,006	0,006

Πίνακας 12: Διαφορές Μετρημένων-Αρχικών Συνιστωσών Z WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Έλεγχος Βάσεων Για Διάστημα Εμπιστοσύνης 95%

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τον έλεγχο των συνιστωσών X στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Πιο συγκεκριμένα η δεύτερη στήλη περιέχει τα αριθμητικά στοιχεία της στήλης τέσσερα (4) του πίνακα δώδεκα (12), δηλαδή το αποτέλεσμα της σχέσης $\Delta_{\Delta X}^{i,j} = \Delta X_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta X_{i,j}^{Μετρ}$ για τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Παρατηρούνται περισσότερες μη αποδεκτές τιμές, γεγονός που οφείλεται κυρίως στη οριζοντιογραφική ακρίβεια που μπορούν να επιτύχουν οι δέκτες Leica 1200+GNSS. Εξωγενείς παράγοντες όπως ο ουράνιος θόλος, ο αριθμός των δορυφόρων και οι καιρικές συνθήκες θεωρήθηκε ότι επηρέασαν σε μικρό βαθμό την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι παράμετροι αυτοί εξαλείφθηκαν με τη χρησιμοποίηση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Οι μη αποδεκτές συνιστώσες X αναγράφονται με κόκκινο χρώμα.

ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Χ (ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ LAMG ΣΤΑΘΕΡΟ)				
LEICA 1200+GNSS				
Παράμετρος	Διόρθωση	Τυπ. Σφάλμα	Καν. Υπόλοιπο	Τυπ. Απόκλιση (95%)
ΔXLE	-0,004	0,0020	2,000	1,960
ΔXLE	-0,007	0,0020	3,500	1,960
ΔXEL	0,004	0,0020	2,000	1,960
ΔXEL	0,003	0,0020	1,500	1,960
ΔXEF	0,002	0,0020	1,000	1,960
ΔXEG	-0,004	0,0025	1,569	1,960
ΔXLF	0,002	0,0025	0,784	1,960
ΔXLG	0,069	0,0025	27,064	1,960
ΔXGF	0,014	0,0030	4,667	1,960
ΔXFL	-0,017	0,0025	6,668	1,960
ΔXFE	-0,020	0,0030	6,667	1,960
ΔXFG	-0,015	0,0025	5,883	1,960
ΔXGE	0,008	0,0030	2,667	1,960
ΔXGL	0,006	0,0025	2,353	1,960
ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΝΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ				

Πίνακας 13: Έλεγχος Συνιστωσών Χ -Συνόρθωση με Lamg Σταθερό (Leica 1200+GNSS)

Ο πίνακας περιέχει τον έλεγχο των συνιστωσών Υ στο καρτεσιανό σύστημα αναφοράς WGS84. Οι συνιστώσες είναι ακριβώς οι ίδιες με τον πίνακα είκοσι οχτώ (28). Πιο συγκεκριμένα η δεύτερη στήλη περιέχει το αποτέλεσμα της σχέσης $\Delta_{\Delta\gamma}^{i,j} = \Delta\gamma_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta\gamma_{i,j}^{Μετρ}$ για τους δέκτες Leica 1200+GNSS.

ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Υ (ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ LAMG ΣΤΑΘΕΡΟ)				
LEICA 1200+GNSS				
Παράμετρος	Διόρθωση	Τυπ. Σφάλμα	Καν. Υπόλοιπο	Τυπ. Απόκλιση (95%)
ΔYLE	-0,002	0,0020	1,000	1,960
ΔYLE	-0,002	0,0020	1,000	1,960
ΔYEL	0,027	0,0020	13,500	1,960
ΔYEL	0,003	0,0020	1,500	1,960
ΔYEF	0,000	0,0020	0,000	1,960
ΔYEG	-0,004	0,0025	1,569	1,960
ΔYLF	0,002	0,0025	0,784	1,960
ΔYLG	0,028	0,0025	10,983	1,960
ΔYGF	0,004	0,0030	1,333	1,960
ΔYFL	-0,003	0,0025	1,177	1,960
ΔYFE	-0,011	0,0030	3,667	1,960
ΔYFG	-0,005	0,0025	1,961	1,960
ΔYGE	0,004	0,0030	1,333	1,960
ΔYGL	0,004	0,0025	1,569	1,960
ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΝΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ				

Πίνακας 14: Έλεγχος Συνιστωσών Υ -Συνόρθωση με Lamg Σταθερό (Leica 1200+GNSS)

Ο πίνακας περιέχει τον έλεγχο των συνιστωσών Z στο καρτεσιανό σύστημα αναφοράς WGS84. Πιο συγκεκριμένα η δεύτερη στήλη το αποτέλεσμα της σχέσης $\Delta_{\Delta Z}^{i,j} = \Delta Z_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta Z_{i,j}^{Μετρ}$ για τους δέκτες Leica 1200+GNSS. Παρατηρούνται τέσσερις (4) μη αποδεκτές τιμές, σε σχέση με τους δέκτες Trimble 5800 οι οποίοι δεν περιείχαν καμία μη αποδεκτή τιμή. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η υψομετρική ακρίβεια που μπορούν να επιτύχουν οι δέκτες Leica 1200+GNSS, είναι μειωμένη. Εξωγενείς παράγοντες όπως ο ουράνιος θόλος, ο αριθμός των δορυφόρων και οι καιρικές συνθήκες θεωρήθηκε ότι δεν έπαιξαν ρόλο στην ακρίβεια των μετρήσεων. Οι παράμετροι αυτοί εξαλείφθηκαν με τη χρησιμοποίηση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Οι μη αποδεκτές συνιστώσες Z αναγράφονται με κόκκινο χρώμα.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Z (ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΜΕ LAMG ΣΤΑΘΕΡΟ)				
LEICA 1200+GNSS				
Παράμετρος	Δίορθωση	Τυπ. Σφάλμα	Καν. Υπόλοιπο	Τυπ. Απόκλιση (95%)
ΔZLE	-0,007	0,0028	2,475	1,960
ΔZLE	-0,004	0,0045	0,894	1,960
ΔZEL	0,006	0,0028	2,121	1,960
ΔZEL	0,008	0,0028	2,828	1,960
ΔZEF	-0,005	0,0028	1,768	1,960
ΔZEG	-0,005	0,0036	1,387	1,960
ΔZLF	-0,004	0,0036	1,109	1,960
ΔZLG	0,063	0,0045	14,087	1,960
ΔZGF	0,006	0,0042	1,414	1,960
ΔZFL	-0,006	0,0050	1,200	1,960
ΔZFE	-0,007	0,0050	1,400	1,960
ΔZFG	-0,008	0,0050	1,600	1,960
ΔZGE	0,005	0,0042	1,179	1,960
ΔZGL	0,006	0,0042	1,414	1,960

ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΝΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ

Πίνακας 15: Έλεγχος Συνιστωσών Z -Συνόρθωση με Lamg Σταθερό (Leica 1200+GNSS)

Γεωδαιτικές Συντεταγμένες Με Έναν Σταθερό Σταθμό (Lamg)

Η συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθμό αναφοράς σταθερό το Βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg), μετρήθηκε από τους δέκτες Trimble 5800. Δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις γεωδαιτικές συντεταγμένες, μονάχα μικρές διαφοροποιήσεις της τάξης του 00,001". Τα υψόμετρα του ελλειψοειδούς όπως είναι φυσιολογικό έχουν διαφορές που αγγίζουν και το 1 cm. Τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα είναι $\sigma_{ορ}^{Trimble} = \sigma_{ορ}^{Leica} = \pm 0,007 \text{ m}$ και $\sigma_{υψ}^{Trimble} = \sigma_{υψ}^{Leica} = \pm 0,005 \text{ m}$.

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WG84										
Trimble 5800										
Στ. Σημ.	Σημεία	φ (D, M, S)			λ (D, M, S)			h (m)	σ _{ορ}	σ _{υψ}
LAMG	EST	37	58	25,95729	23	46	51,47986	275,646	0,007	0,005
	FYS	37	58	37,40374	23	46	57,36489	241,592	0,007	0,005
	GEN	37	58	34,78902	23	47	0,46841	254,446	0,007	0,005
	LAMG	37	58	30,76997	23	46	48,36063	246,514	0,007	0,005

Πίνακας 16: Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS84 (Trimble 5800)

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων του δορυφορικού δικτύου μετά τη συνόρθωση με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Η πρώτη στήλη περιλαμβάνει τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν ως σταθερά σημεία με γνωστές συντεταγμένες. Η στήλη δύο (2) περιέχει όλα τα σημεία που πήραν μέρος στη συνόρθωση. Οι στήλες τρία (3), τέσσερα (4) και πέντε (5) εμφανίζουν τις γεωδαιτικές συντεταγμένες όλων των σημείων του δικτύου. Η στήλη τρία (3) δείχνει το γεωδαιτικό μήκος και η στήλη τέσσερα (4) το γεωδαιτικό πλάτος. Όλες οι γεωδαιτικές συντεταγμένες αναγράφονται σε μορφή μοιρών (°), πρώτων (') και δευτέρων ("). Το υψόμετρο από το ελλειψοειδές βρίσκεται στη στήλη τέσσερα (4) και σαν μονάδα μέτρησης χρησιμοποιεί τα μέτρα (m). Τέλος, οι δύο τελευταίες στήλες περιγράφουν το οριζοντιογραφικό και το υψομετρικό σφάλμα και χρησιμοποιούν τη διεθνή μονάδα μέτρησης μέτρα (m). Τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα είναι $\sigma_{ορ}^{Leica} = \pm 0,007 \text{ m}$ και $\sigma_{υψ}^{Leica} = \pm 0,005 \text{ m}$.

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WG84										
Leica 1200+GNSS										
Στ. Σημ.	Σημεία	φ (D, M, S)			λ (D, M, S)			h (m)	σ _{ορ}	σ _{υψ}
LAMG	EST	37	58	25,95731	23	46	51,47978	275,642	0,007	0,005
	FYS	37	58	37,40364	23	46	57,36477	241,594	0,007	0,005
	GEN	37	58	34,78896	23	47	0,46837	254,433	0,007	0,005
	LAMG	37	58	30,76997	23	46	48,36063	246,514	0,007	0,005

Πίνακας 17: Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων Με Έναν Σταθερό Σταθμό

Η συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθερό σταθμό αναφοράς, το Βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg), προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες X. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες X στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Παρατηρούνται μεγαλύτερες διαφορές στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη σχέση $\Delta_{\Delta X}^{i,j} = \Delta X_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta X_{i,j}^{Μετρ}$. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των τριών (0.003) χιλιοστών. Παρουσιάζονται πολλές συνιστώσες με μηδενικές διαφορές.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ X WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Παράμερος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔXLE	73,870	73,870	0,000	0,000
ΔXLE	73,870	73,870	0,000	0,000
ΔXEL	-73,870	-73,870	0,000	0,000
ΔXEL	-73,870	-73,870	0,000	0,000
ΔXEF	-281,215	-281,218	0,003	0,003
ΔXEG	-257,093	-257,095	0,002	0,002
ΔXLF	-207,345	-207,348	0,003	0,003
ΔXLG	-183,223	-183,225	0,002	0,002
ΔXGF	-24,122	-24,123	0,001	0,001
ΔXFL	207,345	207,348	-0,003	0,003
ΔXFE	281,215	281,218	-0,003	0,003
ΔXFG	24,122	24,123	-0,001	0,001
ΔXGE	257,093	257,095	-0,002	0,002
ΔXGL	183,223	183,225	-0,002	0,002

Πίνακας 18: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων X WGS84 (Trimble 5800)

Η συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθερό σταθμό αναφοράς, το Λαμπαδαρίου (Lamg), προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες Y. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες Y στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των τριών (0.003) χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Y WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Παράμερος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔYLE	115,746	115,745	0,001	0,001
ΔYLE	115,746	115,745	0,001	0,001
ΔYEL	-115,746	-115,745	-0,001	0,001
ΔYEL	-115,746	-115,745	-0,001	0,001
ΔYEF	33,041	33,039	0,002	0,002
ΔYEG	126,447	126,448	-0,001	0,001
ΔYLF	148,787	148,784	0,003	0,003
ΔYLG	242,193	242,193	0,000	0,000
ΔYGF	-93,406	-93,409	0,003	0,003
ΔYFL	-148,787	-148,784	-0,003	0,003
ΔYFE	-33,041	-33,039	-0,002	0,002
ΔYFG	93,406	93,409	-0,003	0,003
ΔYGE	-126,447	-126,448	0,001	0,001
ΔYGL	-242,193	-242,193	0,000	0,000

Πίνακας 19: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων Y WGS84 (Trimble 5800)

Η συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθερό σταθμό αναφοράς, το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg), προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες Z. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες Z στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Γενικά παρουσιάζονται οι ίδιες μετρήσεις, απλά με διαφορετική διαδικασία συνόρθωσης (Δύο και Ένα σταθερά σημεία). Παρατηρούνται μεγαλύτερες διαφορές στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη σχέση $\Delta Z_{\Delta Z}^{i,j} = \Delta Z_{i,j}^{Γνωστ} - \Delta Z_{i,j}^{Μετρ}$. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των πέντε (0.005) χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Z WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔZLE	-99,050	-99,047	-0,003	0,003
ΔZLE	-99,050	-99,047	-0,003	0,003
ΔZEL	99,050	99,047	0,003	0,003
ΔZEL	99,050	99,047	0,003	0,003
ΔZEF	257,255	257,251	0,004	0,004
ΔZEG	201,614	201,609	0,005	0,005
ΔZLF	158,205	158,204	0,001	0,001
ΔZLG	102,564	102,562	0,002	0,002
ΔZGF	55,641	55,642	-0,001	0,001
ΔZFL	-158,205	-158,204	-0,001	0,001
ΔZFE	-257,255	-257,251	-0,004	0,004
ΔZFG	-55,641	-55,642	0,001	0,001
ΔZGE	-201,614	-201,609	-0,005	0,005
ΔZGL	-102,564	-102,562	-0,002	0,002

Πίνακας 20: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστωσών Z WGS84 (Trimble 5800)

Η συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθερό σταθμό αναφοράς, το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg), προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες X. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες X στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ δύο (0,002) χιλιοστών και ενάμισι (0,014) εκατοστού.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ X WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Παράμερος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔXLE	73,868	73,870	-0,002	0,002
ΔXLE	73,868	73,870	-0,002	0,002
ΔXEL	-73,868	-73,870	0,002	0,002
ΔXEL	-73,868	-73,870	0,002	0,002
ΔXEF	-281,208	-281,218	0,010	0,010
ΔXEG	-257,099	-257,095	-0,004	0,004
ΔXLF	-207,340	-207,348	0,008	0,008
ΔXLG	-183,231	-183,225	-0,006	0,006
ΔXGF	-24,109	-24,123	0,014	0,014
ΔXFL	207,340	207,348	-0,008	0,008
ΔXFE	281,208	281,218	-0,010	0,010
ΔXFG	24,109	24,123	-0,014	0,014
ΔXGE	257,099	257,095	0,004	0,004
ΔXGL	183,231	183,225	0,006	0,006

Πίνακας 21: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων X WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Η συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθμό αναφοράς σταθερό, το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg), προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες Y. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες Y στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των πέντε (0,005) χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Y WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Παράμερος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔYLE	115,743	115,745	-0,002	0,002
ΔYLE	115,743	115,745	-0,002	0,002
ΔYEL	-115,743	-115,745	0,002	0,002
ΔYEL	-115,743	-115,745	0,002	0,002
ΔYEF	33,042	33,039	0,003	0,003
ΔYEG	126,445	126,448	-0,003	0,003
ΔYLF	148,785	148,784	0,001	0,001
ΔYLG	242,188	242,193	-0,005	0,005
ΔYGF	-93,403	-93,409	0,006	0,006
ΔYFL	-148,785	-148,784	-0,001	0,001
ΔYFE	-33,042	-33,039	-0,003	0,003
ΔYFG	93,403	93,409	-0,006	0,006
ΔYGE	-126,445	-126,448	0,003	0,003
ΔYGL	-242,188	-242,193	0,005	0,005

Πίνακας 22: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων Y WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Η συνόρθωση του δικτύου με έναν σταθμό σταθερό αναφοράς, το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg), προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες Z. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες Z στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0,001) και των οχτώ (0,008) χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Z WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔZLE	-99,052	-99,047	-0,005	0,005
ΔZLE	-99,052	-99,047	-0,005	0,005
ΔZEL	99,052	99,047	0,005	0,005
ΔZEL	99,052	99,047	0,005	0,005
ΔZEF	257,255	257,251	0,004	0,004
ΔZEG	201,606	201,609	-0,003	0,003
ΔZLF	158,203	158,204	-0,001	0,001
ΔZLG	102,554	102,562	-0,008	0,008
ΔZGF	55,649	55,642	0,007	0,007
ΔZFL	-158,203	-158,204	0,001	0,001
ΔZFE	-257,255	-257,251	-0,004	0,004
ΔZFG	-55,649	-55,642	-0,007	0,007
ΔZGE	-201,606	-201,609	0,003	0,003
ΔZGL	-102,554	-102,562	0,008	0,008

Πίνακας 23: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστωσών Z WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Γεωδαιτικές Συντεταγμένες Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς

Δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις γεωδαιτικές συντεταγμένες, μονάχα μικρές διαφοροποιήσεις της τάξης του 00,001". Τα υψόμετρα του ελλειψοειδούς όπως είναι φυσιολογικό έχουν διαφορές που αγγίζουν και το ένα (1) εκατοστό (cm). Τα οριζοντιογραφικά και υψομετρικά σφάλματα είναι ακριβώς τα ίδια, δηλαδή $\sigma_{\sigma\rho}^{Trimble} = \sigma_{\sigma\rho}^{Leica} = \pm 0,005 m$ και $\sigma_{\upsilon\psi}^{Trimble} = \sigma_{\upsilon\psi}^{Leica} = \pm 0,004 m$.

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WG84										
Trimble 5800										
Στ. Σημ.	Σημεία	φ (D, M, S)			λ (D, M, S)			h (m)	$\sigma_{\sigma\rho}$	$\sigma_{\upsilon\psi}$
LAMG	EST	37	58	25,95734	23	46	51,47985	275,647	0,005	0,004
	FYS	37	58	37,40378	23	46	57,36488	241,592	0,005	0,004
EST	GEN	37	58	34,78907	23	47	0,46839	254,447	0,005	0,004
	LAMG	37	58	30,77002	23	46	48,36061	246,514	0,005	0,004

Πίνακας 24: Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS84 (Trimble 5800)

Η πρώτη στήλη του παρακάτω πίνακα απεικονίζει τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία αναφοράς για τη συνόρθωση του δικτύου, δηλαδή

σταθερά σημεία με γνωστές συντεταγμένες που θα βοηθήσουν την επίλυση. Τα σημεία αυτά ονομάζονται Control Points και στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι τα Lamg και Est. Η στήλη δύο (2) περιλαμβάνει τα σημεία που θα λάβουν μέρος στη συνόρθωση του δικτύου με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων. Οι στήλες τρία (3), τέσσερα (4) και πέντε (5) εμφανίζουν τις γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου μετά τη συνόρθωση. Η στήλη τρία (3) δείχνει το Γεωδαιτικό Μήκος και η στήλη τέσσερα (4) το Γεωδαιτικό Πλάτος. Όλες οι γεωδαιτικές συντεταγμένες αναγράφονται σε μορφή μοιρών ($^{\circ}$), πρώτων ($'$) και δευτέρων ($''$). Το υψόμετρο από το ελλειψοειδές βρίσκεται στη στήλη τέσσερα(4) και σαν μονάδα μέτρησης χρησιμοποιεί τα μέτρα (m). Τέλος, οι δύο τελευταίες στήλες περιγράφουν το οριζοντιογραφικό σφάλμα και το υψομετρικό σφάλμα και οι δύο στήλες χρησιμοποιούν τη Διεθνή Μονάδα Μέτρησης μέτρα (m). Όλες οι μετρήσεις του ακόλουθου πίνακα έγιναν με τους δέκτες Leica 1200+GNSS και στο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84.

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ WG84										
Leica 1200+GNSS										
Στ. Σημ.	Σημεία	φ (D, M, S)			λ (D, M, S)			h	σ_{op}	σ_{ψ}
LAMG	EST	37	58	25,95735	23	46	51,4798	275,645	0,005	0,004
	FUS	37	58	37,40368	23	46	57,3648	241,596	0,005	0,004
EST	GEN	37	58	34,78900	23	47	0,4684	254,436	0,005	0,004
	LAMG	37	58	30,77000	23	46	48,3607	246,516	0,005	0,004

Πίνακας 25: Γεωδαιτικές Συντεταγμένες WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων Με Δύο Σταθερούς Σταθμούς

Η συνόρθωση του δικτύου με δύο σταθμούς αναφοράς σταθερούς, το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg) και Βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est) προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες X. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες X στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των τριών (0.003) χιλιοστών. Πιθανές διαφοροποιήσεις οφείλονται στο χρόνο παρατήρησης και σε εξωγενείς παράγοντες όπως αριθμός δορυφόρων, ουράνιος θόλος και καιρικές συνθήκες. Οι συνορθωμένες συνιστώσες έχουν πολύ μικρές διαφοροποιήσεις από τις συνιστώσες που προέκυψαν από την επίλυση της κάθε βάσης ξεχωριστά.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ X WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Παράμερος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔXLE	73,871	73,870	0,001	0,001
ΔXLE	73,871	73,870	0,001	0,001
ΔXEL	-73,871	-73,870	-0,001	0,001
ΔXEL	-73,871	-73,870	-0,001	0,001
ΔXEF	-281,215	-281,218	0,003	0,003
ΔXEG	-257,093	-257,095	0,002	0,002
ΔXLF	-207,344	-207,348	0,004	0,004
ΔXLG	-183,222	-183,225	0,003	0,003
ΔXGF	-24,122	-24,123	0,001	0,001
ΔXFL	207,344	207,348	-0,004	0,004
ΔXFE	281,215	281,218	-0,003	0,003
ΔXFG	24,122	24,123	-0,001	0,001
ΔXGE	257,093	257,095	-0,002	0,002
ΔXGL	183,222	183,225	-0,003	0,003

Πίνακας 26: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων X WGS84 (Trimble 5800)

Η συνόρθωση του δικτύου με δύο σταθμούς αναφοράς σταθερούς, το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg) και το βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est) προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες Y. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των τριών (0.003) χιλιοστών. Οι συνορθωμένες συνιστώσες προσεγγίζουν τις τιμές των συνιστώσων που προέκυψαν από την επίλυση της κάθε βάσης ξεχωριστά.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Y WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Παράμερος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔYLE	115,747	115,745	0,002	0,002
ΔYLE	115,747	115,745	0,002	0,002
ΔYEL	-115,747	-115,745	-0,002	0,002
ΔYEL	-115,747	-115,745	-0,002	0,002
ΔYEF	33,040	33,039	0,001	0,001
ΔYEG	126,446	126,448	-0,002	0,002
ΔYLF	148,787	148,784	0,003	0,003
ΔYLG	242,193	242,193	0,000	0,000
ΔYGF	-93,406	-93,409	0,003	0,003
ΔYFL	-148,787	-148,784	-0,003	0,003
ΔYFE	-33,040	-33,039	-0,001	0,001
ΔYFG	93,406	93,409	-0,003	0,003
ΔYGE	-126,446	-126,448	0,002	0,002
ΔYGL	-242,193	-242,193	0,000	0,000

Πίνακας 27: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων Y WGS84 (Trimble 5800)

Η συνόρθωση του δικτύου με δύο σταθμούς αναφοράς σταθερούς, το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg) και το Βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est), προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες Z. Ο πίνακας περιγράφει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες Z στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και των πέντε (0.005) χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Z WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔZLE	-99,049	-99,047	-0,002	0,002
ΔZLE	-99,049	-99,047	-0,002	0,002
ΔZEL	99,049	99,047	0,002	0,002
ΔZEL	99,049	99,047	0,002	0,002
ΔZEF	257,254	257,251	0,003	0,003
ΔZEG	201,614	201,609	0,005	0,005
ΔZLF	158,205	158,204	0,001	0,001
ΔZLG	102,565	102,562	0,003	0,003
ΔZGF	55,640	55,642	-0,002	0,002
ΔZFL	-158,205	-158,204	-0,001	0,001
ΔZFE	-257,254	-257,251	-0,003	0,003
ΔZFG	-55,640	-55,642	0,002	0,002
ΔZGE	-201,614	-201,609	-0,005	0,005
ΔZGL	-102,565	-102,562	-0,003	0,003

Πίνακας 28: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστωσών Z WGS84 (Trimble 5800)

Η συνόρθωση του δικτύου με δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg) και το βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est) προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες X. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις διαφορές ανάμεσα στις μετρημένες και τις υπολογισμένες συνιστώσες X στο Καρτεσιανό Σύστημα Αναφοράς WGS84. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) χιλιοστού και δεκατριών (0,013) εκατοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Χ WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔXLE	73,868	73,870	-0,002	0,002
ΔXLE	73,868	73,870	-0,002	0,002
ΔXEL	-73,868	-73,870	0,002	0,002
ΔXEL	-73,868	-73,870	0,002	0,002
ΔXEF	-281,209	-281,218	0,009	0,009
ΔXEG	-257,099	-257,095	-0,004	0,004
ΔXLF	-207,341	-207,348	0,007	0,007
ΔXLG	-183,231	-183,225	-0,006	0,006
ΔXGF	-24,110	-24,123	0,013	0,013
ΔXFL	207,341	207,348	-0,007	0,007
ΔXFE	281,209	281,218	-0,009	0,009
ΔXFG	24,110	24,123	-0,013	0,013
ΔXGE	257,099	257,095	0,004	0,004
ΔXGL	183,231	183,225	0,006	0,006

Πίνακας 29: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων Χ WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Η συνόρθωση του δικτύου με δύο σταθερούς σταθμούς αναφοράς το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg) και το Βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est), προσφέρει πληροφορίες για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες Υ. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0.001) και τριών (0,003) χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Υ WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Παράμετρος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔYLE	115,743	115,745	-0,002	0,002
ΔYLE	115,743	115,745	-0,002	0,002
ΔYEL	-115,743	-115,745	0,002	0,002
ΔYEL	-115,743	-115,745	0,002	0,002
ΔYEF	33,042	33,039	0,003	0,003
ΔYEG	126,445	126,448	-0,003	0,003
ΔYLF	148,785	148,784	0,001	0,001
ΔYLG	242,188	242,193	-0,005	0,005
ΔYGF	-93,403	-93,409	0,006	0,006
ΔYFL	-148,785	-148,784	-0,001	0,001
ΔYFE	-33,042	-33,039	-0,003	0,003
ΔYFG	93,403	93,409	-0,006	0,006
ΔYGE	-126,445	-126,448	0,003	0,003
ΔYGL	-242,188	-242,193	0,005	0,005

Πίνακας 30: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστώσων Υ WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Η συνόρθωση του δικτύου με δύο σταθμούς σταθερούς αναφοράς το βάθρο Λαμπαδαρίου (Lamg) και το βάθρο Φοιτητικών Εστιών (Est) προσφέρει πληροφορίες

για όλες τις βάσεις του δικτύου. Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για όλες τις υπολογισμένες συνιστώσες Z. Οι απόλυτες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ του ενός (0,001) και των επτά (0,007) χιλιοστών.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΩΝ - ΓΝΩΣΤΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ Z WGS84				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Παράμερος	Μετρημένα	Υπολογισμένα	Διαφορά	Απόλυτη Διαφορά
ΔZLE	-99,051	-99,047	-0,004	0,004
ΔZLE	-99,051	-99,047	-0,004	0,004
ΔZEL	99,051	99,047	0,004	0,004
ΔZEL	99,051	99,047	0,004	0,004
ΔZEF	257,255	257,251	0,004	0,004
ΔZEG	201,606	201,609	-0,003	0,003
ΔZLF	158,204	158,204	0,000	0,000
ΔZLG	102,555	102,562	-0,007	0,007
ΔZGF	55,649	55,642	0,007	0,007
ΔZFL	-158,204	-158,204	0,000	0,000
ΔZFE	-257,255	-257,251	-0,004	0,004
ΔZFG	-55,649	-55,642	-0,007	0,007
ΔZGE	-201,606	-201,609	0,003	0,003
ΔZGL	-102,555	-102,562	0,007	0,007

Πίνακας 31: Διαφορές Συνορθωμένων-Αρχικών Συνιστωσών Z WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Ακτίνας (r) Κυκλικής Περιοχής Εμπιστοσύνης

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est – Fus				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,8
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,5
To	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,00
			r= a*K	7,61

Πίνακας 32: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Fys (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Fus – Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Fys	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,2
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	3,0
To	q ₂	0,114276	C= b/a	0,9
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,37
			r= a*K	7,59

Πίνακας 33:Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Fys-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg – Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	4,5
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,8
To	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,10
			r= a*K	9,44

Πίνακας 34: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Fys (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est – Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	5,2
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,8
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,3
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	1,99
			r= a*K	10,35

Πίνακας 35: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Fys (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Fus – Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Fys	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,1
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,1
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,7
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,13
			r= a*K	6,61

Πίνακας 36: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Fys-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg – Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,6
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,9
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,7
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,17
			r= a*K	5,64

Πίνακας 37: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est – Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	5,4
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,8
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,3
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	1,99
			r= a*K	10,74

Πίνακας 38: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg – Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	4,6
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	3,2
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,7
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,14
			r= a*K	9,86

Πίνακας 39: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Fys (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg- Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	5,1
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	3,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,08
			r= a*K	10,60

Πίνακας 40:Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est – Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	5,0
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,8
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	1,99
			r= a*K	9,97

Πίνακας 41: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Est				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,7
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,7
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Est	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,10
	r= a*K			5,67

Πίνακας 42: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Est (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est - Fus				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,5
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,00
	r= a*K			5,01

Πίνακας 43: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Fys (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Fus - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Fys	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,2
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,6
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,8
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,24
	r= a*K			7,16

Πίνακας 44: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Gen-Fys (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Fus				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,1
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,6
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,8
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,26
	r= a*K			7,02

Πίνακας 45: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Fys (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,5
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,8
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,23
	r= a*K			5,57

Πίνακας 46: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Fys - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Fys	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,0
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,4
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,8
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,23
	r= a*K			6,68

Πίνακας 47: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Fys-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est - Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	5,1
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,2
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,01
	r= a*K			10,27

Πίνακας 48: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Fys (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	4,0
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,3
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	1,97
	r= a*K			7,90

Πίνακας 49: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,7
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,7
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,18
			r= a*K	5,88

Πίνακας 50: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Fys (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,1
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,11
			r= a*K	6,54

Πίνακας 51: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Est				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,4
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,6
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,7
Est	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,12
			r= a*K	5,10

Πίνακας 52: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Est (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est – Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - LEICA1200+GNSS				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	4,9
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,01
			r= a*K	9,83

Πίνακας 53: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Est				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,8
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,7
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Est	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,09
	r= a*K			5,85

Πίνακας 54: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Est (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΟ LAMG - TRIMBLE 5800				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	5,3
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,1
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,00
	r= a*K			10,62

Πίνακας 55: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	4,8
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,9
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,09
	r= a*K			10,02

Πίνακας 56: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Fys (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800.00				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,2
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,6
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,7
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,17
	r= a*K			4,77

Πίνακας 57: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Fys - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Fys	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,1
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,6
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,8
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,26
			r= a*K	7,02

Πίνακας 58: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Fys-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est – Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800.00				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,5
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,07
			r= a*K	7,24

Πίνακας 59: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Fys (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est – Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	4,8
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,1
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,02
			r= a*K	9,67

Πίνακας 60: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Fys (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Fys- Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Fys	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,2
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,6
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,8
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,24
			r= a*K	7,16

Πίνακας 61: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Fys-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,1
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,11
			r= a*K	6,54

Πίνακας 62: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,5
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,2
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,10
			r= a*K	7,35

Πίνακας 63: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Fys (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - TRIMBLE 5800.00				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	4,5
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,7
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,00
			r= a*K	8,99

Πίνακας 64: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Gen (Trimble 5800)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	4,9
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,01
			r= a*K	9,83

Πίνακας 65: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Fys - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Fys	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,2
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,6
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,8
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,24
	r= a*K			7,16

Πίνακας 66: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Fys-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,5
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,8
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,23
	r= a*K			5,57

Πίνακας 67: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,1
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,6
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,11
	r= a*K			6,54

Πίνακας 68: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Fys - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Fys	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	3,0
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,4
To	q ₂	0,114276	C= b/a	0,8
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,23
	r= a*K			6,68

Πίνακας 69: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Fys-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est - Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	5,1
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,2
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,4
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,01
			r= a*K	10,27

Πίνακας 70: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Fys (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Est - Gen				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Est	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	4,0
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	1,8
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,5
Gen	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,02
			r= a*K	8,08

Πίνακας 71: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Est-Gen (Leica 1200+GNSS)

ΚΥΚΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ Lamg - Fys				
ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΤΑΘΕΡΑ LAMG EST - LEICA1200+GNSS				
Lamg	q ₀	1,960790	a (Μεγ. ημ)	2,7
	q ₁	0,004071	b (Μικ. ημ)	2,0
to	q ₂	0,114276	C= b/a	0,7
Fys	q ₃	0,371625	$K= q_0 + q_1 * C + q_2 * C^2 + q_3 * c^3$	2,18
			r= a*K	5,88

Πίνακας 72: Κυκλική Περιοχή Εμπιστοσύνης-Βάση Lamg-Fys (Leica 1200+GNSS)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ
Απλοποιημένο-Σύνθετο Τεστ

Απλοποιημένο Τεστ (Simplified Test)

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ					
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ WGS84/ Trimble 5800					
Παράμετρος	Μετρημένα (m)	Υπολογισμένα (m)	ED _{i,j}	Απόλυτο ED _{i,j}	Αν. Όριο
DLE	137,309	137,309	0,000	0,000	0,018
DLE	137,310	137,309	0,001	0,001	0,018
DEL	137,310	137,309	0,002	0,002	0,018
DEL	137,310	137,309	0,001	0,001	0,018
DEF	283,153	283,152	0,001	0,001	0,018
DEG	286,507	286,508	-0,001	0,001	0,018
DLF	255,206	255,206	0,000	0,000	0,018
DLG	303,692	303,692	0,000	0,000	0,018
DGF	96,470	96,474	-0,003	0,003	0,018
DFL	255,203	255,206	-0,002	0,002	0,018
DFE	283,148	283,152	-0,004	0,004	0,018
DFG	96,471	96,474	-0,003	0,003	0,018
DGE	286,505	286,508	-0,003	0,003	0,018
DGL	303,688	303,692	-0,004	0,004	0,018

Πίνακας 73: Διαφορές Αποστάσεων WGS84 (Trimble 5800)

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ					
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ Z WGS84/ Trimble 5800					
Παράμετρος	Μετρημένα (m)	Υπολογισμένα (m)	EZ _{i,j}	Απόλυτο EZ _{i,j}	Αν. Όριο
ΔZLE	-99,054	-99,047	-0,007	0,007	0,018
ΔZLE	-99,051	-99,047	-0,004	0,004	0,018
ΔZEL	99,053	99,047	0,006	0,006	0,018
ΔZEL	99,055	99,047	0,008	0,008	0,018
ΔZEF	257,246	257,251	-0,005	0,005	0,018
ΔZEG	201,604	201,609	-0,005	0,005	0,018
ΔZLF	158,200	158,204	-0,004	0,004	0,018
ΔZLG	102,562	102,562	0,000	0,000	0,018
ΔZGF	55,648	55,642	0,006	0,006	0,018
ΔZFL	-158,210	-158,204	-0,006	0,006	0,018
ΔZFE	-257,258	-257,251	-0,007	0,007	0,018
ΔZFG	-55,650	-55,642	-0,008	0,008	0,018
ΔZGE	-201,604	-201,609	0,005	0,005	0,018
ΔZGL	-102,556	-102,562	0,006	0,006	0,018

Πίνακας 74: Διαφορές Υψομέτρων Z WGS84(Trimble 5800)

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ					
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ WGS84/Leica 1200+GNSS					
Παράμετρος	Μετρημένα (m)	Υπολογισμένα (m)	ΕD _{i,j}	Απόλυτο ΕD _{i,j}	Αν. Όριο
DLE	137,305	137,309	-0,004	0,004	0,018
DLE	137,303	137,309	-0,005	0,005	0,018
DEL	137,304	137,309	-0,005	0,005	0,018
DEL	137,305	137,309	-0,004	0,004	0,018
DEF	283,150	283,152	-0,002	0,002	0,018
DEG	286,510	286,508	0,002	0,002	0,018
DLF	255,205	255,206	0,000	0,000	0,018
DLG	303,690	303,692	-0,002	0,002	0,018
DGF	96,470	96,474	-0,004	0,004	0,018
DFL	255,203	255,206	-0,003	0,003	0,018
DFE	283,150	283,152	-0,002	0,002	0,018
DFG	96,472	96,474	-0,002	0,002	0,018
DGE	286,506	286,508	-0,002	0,002	0,018
DGL	303,692	303,692	0,000	0,000	0,018

Πίνακας 75: Διαφορές Αποστάσεων WGS84(Leica 1200+GNSS)

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ					
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ Z WGS84/Leica 1200+GNSS					
Παράμετρος	Μετρημένα (m)	Υπολογισμένα (m)	ΕZ _{i,j}	Απόλυτο ΕZ _{i,j}	Αν. Όριο
ΔZLE	-99,049	-99,047	-0,002	0,002	0,035
ΔZLE	-99,051	-99,047	-0,004	0,004	0,035
ΔZEL	99,048	99,047	0,001	0,001	0,035
ΔZEL	99,050	99,047	0,003	0,003	0,035
ΔZEF	257,246	257,251	-0,005	0,005	0,035
ΔZEG	201,604	201,609	-0,005	0,005	0,035
ΔZLF	158,200	158,204	-0,004	0,004	0,035
ΔZLG	102,564	102,562	0,002	0,002	0,035
ΔZGF	55,640	55,642	-0,002	0,002	0,035
ΔZFL	-158,206	-158,204	-0,002	0,002	0,035
ΔZFE	-257,254	-257,251	-0,003	0,003	0,035
ΔZFG	-55,644	-55,642	-0,002	0,002	0,035
ΔZGE	-201,604	-201,609	0,005	0,005	0,035
ΔZGL	-102,558	-102,562	0,004	0,004	0,035

Πίνακας 76: Διαφορές Υψομέτρων Z WGS84 (Leica 1200+GNSS)

Σύνθετο Τεστ (Full Test Procedure)

ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ WGS84			
Trimble 5800			
Σημεία	X(m)	Y(m)	Z(m)
LAMG	4606902,297	2029974,998	3903427,343
EST	4606976,162	2030090,740	3903328,289
FYS	4606694,956	2030123,781	3903585,542
GEN	4606719,078	2030217,194	3903529,905

Πίνακας 77: Μέσες Τιμές Συντεταγμένων WGS84 (Trimble 5800)

ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ WGS84			
Leica 1200+GNSS			
Σημεία	X(m)	Y(m)	Z(m)
LAMG	4606902,295	2029974,994	3903427,338
EST	4606976,166	2030090,741	3903328,289
FYS	4606694,950	2030123,780	3903585,542
GEN	4606719,073	2030217,187	3903529,903

Πίνακας 78: Μέσες Τιμές Συντεταγμένων WGS84 (Leica 1200+GNSS)

ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ			
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΤΥΠΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ/Trimble 5800			
Σημεία	S_x (m)	S_y (m)	S_z (m)
LAMG	0,002	0,003	0,003
EST	0,003	0,004	0,003
FYS	0,002	0,004	0,003
GEN	0,003	0,003	0,003

Πίνακας 79: Πειραματικά Τυπικά Σφάλματα (Trimble 5800)

ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ		
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ /Trimble 5800		
Σημεία	$S_{GNSS-XY}$ (m)	S_{GNSS-Z} (m)
LAMG	0,003	0,003
EST	0,005	0,003
FYS	0,005	0,003
GEN	0,003	0,003

Πίνακας 80: Πειραματικές Αποκλίσεις (Trimble 5800)

ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ			
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΤΥΠΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ/Leica 1200+GNSS			
Σημεία	S_x (m)	S_y (m)	S_z (m)
LAMG	0,005	0,002	0,003
EST	0,006	0,003	0,003
FYS	0,003	0,001	0,002
GEN	0,003	0,004	0,003

Πίνακας 81: Πειραματικά Τυπικά Σφάλματα (Leica 1200+GNSS)

ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ		
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ /Leica 1200+GNSS		
Σημεία	$S_{GNSS-XY}$ (m)	S_{GNSS-Z} (m)
LAMG	0,006	0,003
EST	0,006	0,003
FYS	0,003	0,002
GEN	0,005	0,003

Πίνακας 82: Πειραματικές Αποκλίσεις (Leica 1200+GNSS)

ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ		
ΟΡΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ X^2 /Trimble 5800		
Σημεία	σ_{xy} (m)	σ_z (m)
LAMG	0,006	0,007
EST	0,006	0,007
FYS	0,006	0,007
GEN	0,006	0,007

Πίνακας 83: Όρια Κατανομής X^2 (Trimble 5800)

ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ		
ΟΡΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ X^2 /Leica 1200+GNSS		
Σημεία	σ_{xy} (m)	σ_z (m)
LAMG	0,006	0,013
EST	0,006	0,013
FYS	0,006	0,013
GEN	0,006	0,013

Πίνακας 84: Όρια Κατανομής X^2 (Leica 1200+GNSS)

ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ		
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΟΡΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ FISCHER		
Σημεία	Κάτωθεν	Άνωθεν
LAMG	0,5178	1,9313
EST	0,5178	1,9313
FYS	0,5178	1,9313
GEN	0,5178	1,9313

Πίνακας 85: Οριζοντιογραφικά Όρια Κατανομή Fischer

ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ		
ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΟΡΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ FISCHER		
Σημεία	Κάτωθεν	Άνωθεν
LAMG	0,3875	2,5802
EST	0,3875	2,5802
FYS	0,3875	2,5802
GEN	0,3875	2,5802

Πίνακας 86:Υψομετρικά Όρια Κατανομή Fischer