



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

ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΟΥΡΕΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ

Ε.ΛΑΜΠΡΟΥ, Λέκτορας ΕΜΠ

Γ. ΠΗΝΙΩΤΗΣ, ΥΔ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2009



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

ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΟΥΡΕΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ

Ε.ΛΑΜΠΡΟΥ, Λέκτορας ΕΜΠ

Γ. ΠΗΝΙΩΤΗΣ, ΥΔ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2009

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

Την Λέκτορα της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, **Ευαγγελία Λάμπρου**, για την ανάθεση και την επίβλεψή της, την παροχή υλικού και χρήσιμων συμβουλών για κάθε επιμέρους εργασία, και την διόρθωση των κειμένων.

Την Λέκτορα της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, **Γεώργιο Πανταζή**, για την βοήθειά του στην διόρθωση των κειμένων και την παροχή πολύτιμου υλικού.

Τους παραπάνω για την άψογη υποστήριξη και συνεργασία, καθώς και το κλίμα αλληλοσεβασμού που καλλιέργησαν μεταξύ μας.

Τον Υποψήφιο Διδάκτορα της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, **Γιώργο Πηνιώτη**, για την υποστήριξή του σε όλες τις φάσεις των εργασιών υπαίθρου και γραφείου.

Τον συμφοιτητή μου, **Σωτήρη Λεμπέση**, για την συμμετοχή του στις μετρήσεις, τους υπολογισμούς και τη συγγραφή των κειμένων, καθώς και την οικογένεια του για τη συμπαράσταση στη δουλειά μας. Τον ξάδερφό μου, **Γιάννη Γρυπάρη**, που μας βοήθησε στις εργασίες πεδίου καθώς και στα σχέδια όπως επίσης και την **Βάλια Γεωργιάδη** για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη της.

Και φυσικά τους γονείς μου, **Μαίρη** και **Ελευθέριο**, καθώς και τον αδερφό μου, **Δημήτρη**, και την γιαγιά μου, **Αλίκη**, για την υποστήριξη και την υπομονή τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, αλλά και της φροντίδας μου στη ΣΑΤΜ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο είναι το πιο παλιό και φημισμένο εκπαιδευτικό ίδρυμα της Ελλάδας στον τομέα της τεχνολογίας και έχει συνεισφέρει τα μέγιστα στην επιστημονική, τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη της χώρας από την ίδρυσή του το 1836.

Το 1873 εγκαταστάθηκε σε συγκρότημα κτιρίων στο κέντρο της πρωτεύουσας, στα μισοτελειωμένα, ακόμη, κτίρια της οδού Πατησίων. Το ΕΜΠ δομήθηκε κατά τα πρότυπα του "Ηπειρωτικού" (Continental) Ευρωπαϊκού συστήματος εκπαίδευσης των μηχανικών, με γερό θεωρητικό υπόβαθρο σπουδών και κανονική διάρκεια πέντε ετών.

Λόγω της σημαντικής αύξησης των φοιτητών που έχει επέλθει τα τελευταία χρόνια σε συνδυασμό με τις νέες απαιτήσεις της επιστήμης και τεχνολογίας, δημιουργήθηκαν επείγουσες ανάγκες αύξησης του προσωπικού, προσαρμογής του μηχανολογικού εξοπλισμού στα σημερινά δεδομένα και επέκτασης του ΕΜΠ και σε νέες κτιριακές εγκαταστάσεις σε ένα μεγάλο σύγχρονο χώρο 100 εκταρίων, στην περιοχή Ζωγράφου.

Η Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) ιδρύθηκε το 1917 με την επωνυμία «*Ανωτάτη Σχολή Τοπογράφων Μηχανικών*». Το 1930 η φοίτηση, που μέχρι τότε ήταν 3ετής, έγινε 4ετής και η σχολή ονομάστηκε «*Ανωτάτη Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών*». Κύριος εμπνευστής της ιδέας της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών καθώς και των αλλαγών του 1930 ήταν ο Καθηγητής Δημήτριος Λαμπαδάριος, Ακαδημαϊκός και Πρύτανης του ΕΜΠ (1928-1933), βασικός Καθηγητής και Κοσμήτορας της Σχολής για πολλά χρόνια. Το όνομά του φέρει και το αρχικό κτίριο της Σχολής στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, κτίριο Λαμπαδάριο.

Το 1974, επί κοσμητείας του Καθηγητή (σήμερα Ομότιμου Καθηγητή) Γεωργίου Βέη, ο οποίος συνετέλεσε ουσιαστικά στην εξέλιξη της Σχολής, η διάρκεια φοίτησης αυξήθηκε στα πέντε χρόνια. Το 2001 η ΣΑΤΜ σε αναγνώριση του συνόλου της προσφοράς του Ομότιμου Καθηγητή κ. Γ. Βέη στη Σχολή και στο ΕΜΠ, μετά από ομόφωνη απόφαση της Σχολής και επικύρωσή της από την Σύγκλητο ονόμασε το ΒΔ κτίριο του συγκροτήματος της ΣΑΤΜ σε κτίριο Βέη.

Κάθε νέος φοιτητής αγρονόμος και τοπογράφος μηχανικός, στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης, και συχνότερα στον περιβάλλοντα χώρο των

κτιρίων Λαμπαδάριο και Βέη, έχει την πρώτη του επαφή με εργασίες πεδίου σε εντελώς πρακτικό επίπεδο. Κατά συνέπεια, στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης έχουν ιδρυθεί δίκτυα που συντηρούνται και μετρώνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε να παρέχεται η καλύτερη δυνατή αξιοπιστία τους. Αυτά τα δίκτυα αποτελούν τη βάση για εργασίες πεδίου που αφορούν την Πολυτεχνειούπολη, εκπαιδευτικού ή μη χαρακτήρα, αλλά και εργασίες έξω από αυτήν, αφού αποτελούν μέρος της δικτύωσης της χώρας.

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων οι μετρήσεις σε αυτά τα δίκτυα είναι μεγάλης ακρίβειας και έχουν γίνει χρησιμοποιώντας σύγχρονο εξοπλισμό και μεθόδους, ενώ έχουν συχνά ερευνητικό χαρακτήρα, που σημαίνει ότι προσεγγίζουν θεωρητικά ποιοτικότερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλες εργασίες.

Έτσι λοιπόν, είναι προφανές πως οι εργασίες σε αυτά τα δίκτυα αποτελούν σημαντικό κομμάτι της εξέλιξης της επιστήμης του αγρονόμου και τοπογράφου μηχανικού, και θέτουν τη βάση για τη συνεχή ανάπτυξη εργαλείων και μεθόδων που αφορούν στο αντικείμενό του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	I
Πρόλογος.....	II
Περιεχόμενα.....	IV
Περίληψη	VI
Κεφάλαιο 1: Το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS.....	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Προσδιορισμός θέσης με το δορυφορικό σύστημα GPS	4
1.3 Παράγοντες σφαλμάτων	5
1.4 Μέθοδος σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (Real Time Kinematic - RTK).....	8
1.5 Ορισμοί ορθομετρικού και γεωμετρικού υψομέτρου.....	9
Κεφάλαιο 2: Μέτρηση δικτύου στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου....	11
2.1 Γενικά	11
2.2 Περιγραφή δικτύου.....	11
2.3 Εξοπλισμός	14
2.4 Μετρήσεις με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού	16
2.5 Μετρήσεις με τη μέθοδο του σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK)	17
2.6 Προβλήματα	18
Κεφάλαιο 3: Επεξεργασία μετρήσεων	20
3.1 Επίλυση και συνόρθωση του δικτύου	20
3.2 Επεξεργασία μετρήσεων με τη μέθοδο RTK	24
Κεφάλαιο 4: Συγκρίσεις	26
4.1 Σύγκριση πρωτογενών δεδομένων	26
4.2 Διαδικασία σύγκρισης με κλεισίματα βρόγχων	29
4.3 Υπολογισμός ακρίβειας και επίλυση των δικτύων.....	30
4.4 Έλεγχος μετακινήσεων	33
4.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων RTK με GPS	46

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα – προτάσεις.....	49
5.1 Συμπεράσματα	49
5.2 Προτάσεις	51
Βιβλιογραφία	52
Abstract.....	54
Παράρτημα	55

Πίνακες

3.1: Στοιχεία από την επίλυση των βάσεων	21
3.2: Η επίλυση των βάσεων.....	22
3.3: Κλεισίματα βρόγχων 2008	23
3.4: Τα αποτελέσματα της συνόρθωσης του δικτύου.....	24
3.5: Συντεταγμένες κορυφών με τη μέθοδο RTK	25
4.1: Συγκριτικά αποτελέσματα επίλυσης βάσεων 2000-2008	27
4.2: Συγκριτικές διαφορές των συνιστωσών των επίλυμένων βάσεων.....	28
4.3: Κλεισίματα βρόγχων 2000	30
4.4: Αβεβαιότητα προσδιορισμού των βάσεων των μετρήσεων του 2008 σε κάθε άξονα.....	31
4.5: Αβεβαιότητα προσδιορισμού των βάσεων των μετρήσεων του 2000 σε κάθε άξονα.....	31
4.6: Συντεταγμένες και μεταβλητότητες των κορυφών 2008	33
4.7: Συντεταγμένες και μεταβλητότητες των κορυφών 2000	33
4.8: Συνιστώσες διανυσμάτων μεταβολών των κορυφών μεταξύ 2000 και 2008	34
4.9: Πίνακας στροφής.....	34
4.10: Μεταβολές στις συντεταγμένες των σημείων στο τοποκεντρικό σύστημα	35
4.11: Σφάλμα διανύσματος μεταβολής συντεταγμένων στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς ανά συνιστώσα	36
4.12: Σφάλμα διανύσματος μεταβολής των συντεταγμένων στο τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς.....	37
4.13: Μονοδιάστατος έλεγχος μετακινήσεων μεταξύ 2000 – 2008 για ε.ε. 67.5% και διδιάστατος έλεγχος για ε.ε. 39.4%	38
4.14: Μονοδιάστατος έλεγχος κατακόρυφων μετακινήσεων μεταξύ 2000 – 2008 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%	40
4.15: Σφάλμα διανύσματος σχετικής μεταβολής των συντεταγμένων στο τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς	41
4.16: Μονοδιάστατος έλεγχος σχετικών μετακινήσεων μεταξύ 2000 - 2008 για επίπεδο εμπιστοσύνης 67.5% και διδιάστατος έλεγχος για επίπεδο εμπιστοσύνης 39.4%	43
4.17: Μονοδιάστατος έλεγχος σχετικών κατακόρυφων μετακινήσεων μεταξύ 2000 – 2008 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%	45
4.18: Νέα επίλυση σχετικού στατικού εντοπισμού.....	46

4.19: Διαφορές σχετικού στατικού - RTK.....	47
Σχήματα	
1.1: Σταθμοί του επίγειου τμήματος ελέγχου.....	3
1.2: Σήματα εκπομπής GPS.....	4
1.3.α: Καλή διασπορά δορυφόρων.....	7
1.3.β: Κακή διασπορά δορυφόρων.....	7
1.4: Το υψόμετρο του γεωειδούς.....	11
2.1: Μορφή του δικτύου.....	14
4.1: Απόλυτες ελλείψεις σφάλματος των κορυφών του δικτύου για επίπεδο εμπιστοσύνης 39.4%	39
4.2: Σχετικές ελλείψεις σφάλματος των κορυφών του δικτύου για επίπεδο εμπιστοσύνης 39.4%	42
Φωτογραφίες	
1.1: Δορυφόρος GPS που δεν έχει εκτοξευθεί, όπως παρουσιάζεται στο “San Diego Aerospace museum”	1
2.1: Δορυφορική απεικόνιση του δικτύου.....	13
2.2: Σύστημα δέκτη GPS Trimble 5800 - τρικοχλίου - βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης.....	16
2.3: Χειριστήριο Trimble TSC2	16
Διαγράμματα	
4.1: Χρονοδιάγραμμα εργασιών	48

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόζεται η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού καθώς και του σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο, για τη μέτρηση του τρισδιάστατου πρότυπου δικτύου που έχει κορυφές τα βάθρα που βρίσκονται στις ταράτσες κάποιων από τα κτίρια της Πολυτεχνειούπολης.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται διεξοδικά το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού και οι μέθοδοι δορυφορικών μετρήσεων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται το δίκτυο και οι κορυφές του, καθώς και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, και αναλύονται οι εργασίες πεδίου με τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η επεξεργασία των μετρήσεων και η συνόρθωση του δικτύου, και παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα των στοιχείων του δικτύου.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων σε σχέση με αποτελέσματα που έχουν προκύψει από άλλες μετρήσεις σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και στις συγκρίσεις των χρονοδιαγραμμάτων των εργασιών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο υπάρχουν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της εργασίας, αλλά και προτάσεις για την περαιτέρω ενασχόληση με τα θέματα που παρουσιάζονται σε αυτήν.

Στο παράρτημα βρίσκονται όλα τα φύλλα καταγραφής με τους υπολογισμούς τους, καθώς και όλες οι επιλύσεις που χρειάστηκε να γίνουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (GPS)

1.1 Γενικά

Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (GPS - Global Positioning System) αποτελεί σήμερα το πιο διαδεδομένο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού και βασίζεται στις αρχές λειτουργίας των παθητικών δορυφορικών συστημάτων ναυσιπλοΐας. Αρχικά δημιουργήθηκε αποκλειστικά για στρατιωτική χρήση από το αμερικανικό Υπουργείο Εθνικής Άμυνας και η πρώτη εφαρμογή συστήματος εντοπισμού θέσης από δορυφόρους (σύστημα Transit) έγινε το 1960 από το αμερικάνικο ναυτικό. Το σύστημα εξελίχθηκε βαθμιαία τις ακόλουθες δεκαετίες βελτιώνοντας σημαντικά την ακρίβειά του και το 1993 επετράπη τελικά η χρήση του για πολιτικούς σκοπούς από το ευρύ κοινό.

Το σύστημα GPS σχηματίζει ένα παγκόσμιο δίκτυο, με εμβέλεια που καλύπτει ξηρά, θάλασσα και αέρα και είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να εξασφαλίζει συνεχή, παγκόσμια, κάτω από οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες, πλοήγηση (τρισδιάστατη θέση, ταχύτητα, χρόνο) σε απεριόριστο αριθμό χρηστών. [Παραδείσης, 2001]

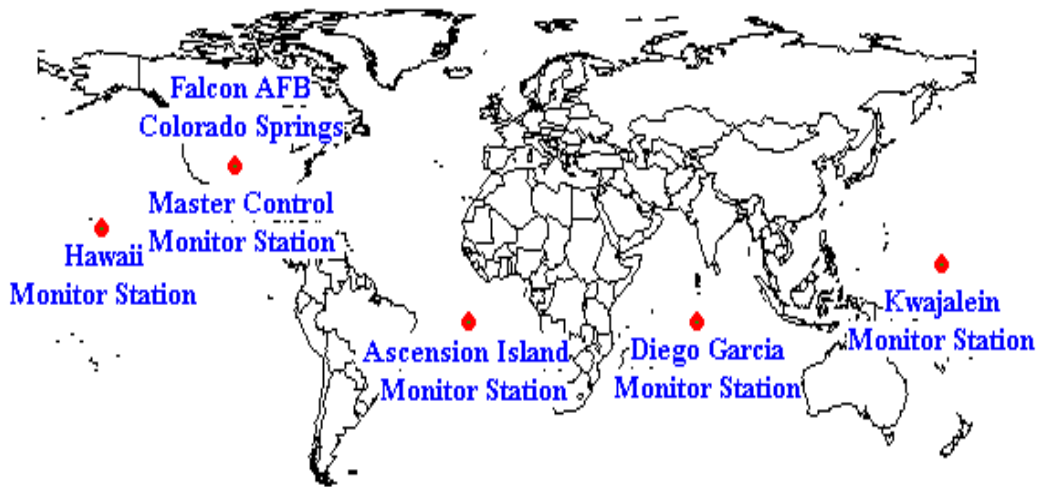
Αποτελείται από τρία κυρίως λειτουργικά τμήματα, το τμήμα διαστήματος, το τμήμα ελέγχου και το τμήμα χρηστών.



Φωτογραφία 1.1: Δορυφόρος GPS που δεν έχει εκτοξευθεί, όπως παρουσιάζεται στο “San Diego Aerospace museum”

Το τμήμα διαστήματος αποτελούνταν αρχικά από ένα δίκτυο 24 δορυφόρων (εικόνα 1.1), των οποίων οι τροχιές γύρω από τη Γη ήταν σχεδιασμένες έτσι ώστε ανά πάσα στιγμή, από κάθε σημείο της Γης, να υπάρχει ορατότητα προς τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους. Αργότερα, προστέθηκαν σταδιακά και άλλοι, και από το Μάρτιο του 2008, υπάρχουν πλέον 30 ενεργοί δορυφόροι στο δίκτυο συν 2 παροπλισμένοι που αποτελούν εφεδρικές λύσεις ανάγκης. Όλοι οι δορυφόροι βρίσκονται σε ύψος περίπου 20100 χιλιομέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και εκτελούν περίπου δύο περιστροφές γύρω από τη Γη κάθε 24ωρο. Τα ηλιακά στοιχεία που διαθέτουν εξασφαλίζουν την τροφοδοσία τους για την συνεχή και απρόσκοπτη λειτουργία τους.

Το επίγειο τμήμα ελέγχου αποτελείται από έναν επανδρωμένο και τέσσερις μη επανδρωμένους σταθμούς, εγκατεστημένους σε ισάριθμες περιοχές του πλανήτη. Οι περιοχές αυτές είναι οι εξής: α) Κολοράντο (Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής) β) Χαβάη (Ανατολικός Ειρηνικός Ωκεανός) γ) Ascension Island (Ατλαντικός Ωκεανός) δ) Diego Garcia (Ινδικός Ωκεανός) ε) Kwajalein (Δυτικός Ειρηνικός Ωκεανός). Η θέση των σταθμών φαίνεται στο σχήμα 1.1. Ο κυριότερος σταθμός βάσης είναι αυτός του Κολοράντο, ο οποίος είναι και ο μοναδικός που βρίσκεται στην ξηρά. Από αυτόν γίνεται ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας των υπολοίπων τεσσάρων σταθμών, καθώς και ο συντονισμός τους. Το επίγειο τμήμα ελέγχου χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ταχύτητας, του υψομέτρου, και της επάρκειας των δορυφόρων σε ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, εφαρμόζονται όλες οι διορθωτικές ενέργειες που αφορούν στο σύστημα χρονομέτρησης τους, ώστε να αποτρέπεται η παροχή λανθασμένων πληροφοριών στους χρήστες του συστήματος.



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

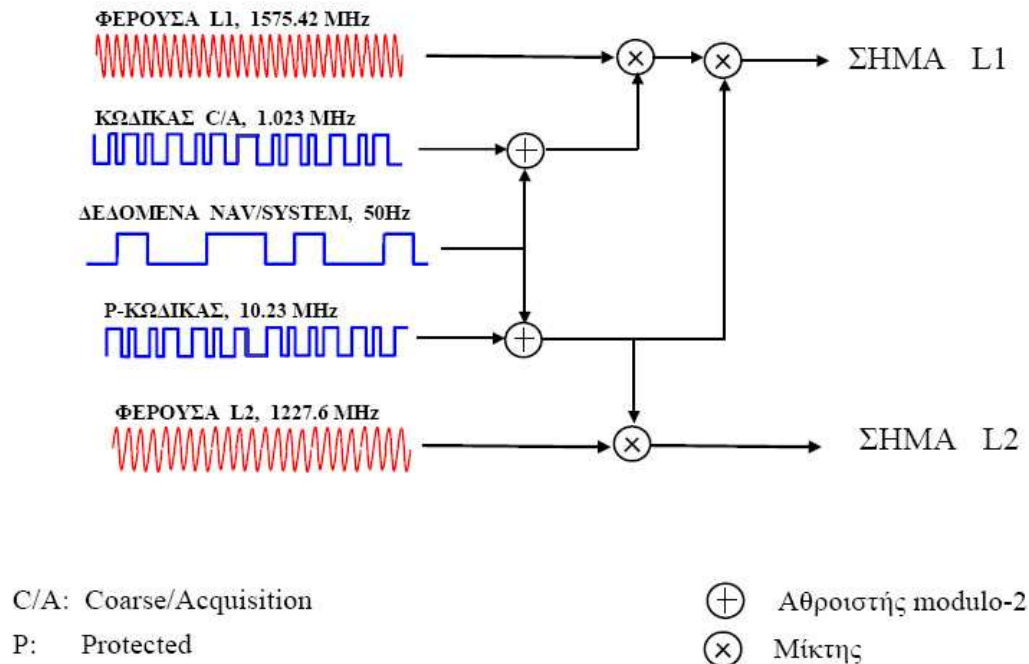
Σχήμα 1.1: Σταθμοί του επίγειου τμήματος ελέγχου

Το τμήμα χρηστών απαρτίζεται από τους πολιτικής και στρατιωτικής χρήσης δέκτες GPS σε γη, αέρα και θάλασσα. Οι δέκτες αυτοί αποτελούνται από μια κεραία, έναν επεξεργαστή και ένα ρολόι αυξημένης σταθερότητας. Ένας δέκτης χαρακτηρίζεται από τον αριθμό των καναλιών του, που φανερώνει πόσους δορυφόρους είναι δυνατόν να παρακολουθεί ταυτόχρονα. Οι σύγχρονοι δέκτες, από το 2007 και μετά, διαθέτουν τουλάχιστον 12 κανάλια ενώ οι πλέον προηγμένοι φτάνουν μέχρι και τα 220 κανάλια με δυνατότητα παρακολούθησης περισσότερων του ενός συστημάτων εντοπισμού.

Το σήμα που στέλνουν οι δορυφόροι του GPS περιέχει όλη την απαιτούμενη πληροφορία για τον εντοπισμό θέσης. Κάθε δορυφόρος στέλνει ένα μοναδικό σήμα το οποίο διαμορφώνεται σε μία από τις δύο συχνότητες στην περιοχή του L φάσματος. Αυτές οι δύο συχνότητες προκύπτουν από κάποια βασική συχνότητα f η οποία είναι 10,23MHz. Έτσι η L1 παράγεται από την βασική συχνότητα με τον παρακάτω τρόπο: $L1=10.23 \cdot 154=1575.42\text{MHz}$ και μήκος κύματος $\lambda=19,05\text{cm}$. Αντίστοιχα η L2= $10.23 \cdot 120=1227.60\text{MHz}$ και μήκος κύματος $\lambda=24.45\text{cm}$.

Για να αποκωδικοποιήσει ο δέκτης τις συχνότητες αυτές χρησιμοποιεί δύο κωδικούς διαίρεσης πολλαπλής πρόσβασης (code division multiple access - CDMA). Αυτοί είναι, ο γενικός κωδικός C/A (coarse acquisition - χονδροειδούς απόκτησης) που είναι διαθέσιμος για πολιτική χρήση, και ο κωδικός ακριβείας P (precision), ο οποίος μπορεί να κρυπτογραφηθεί ως ένας P(Y) κωδικός διαθέσιμος μόνο για στρατιωτική χρήση. Η L1 συχνότητα διαμορφώνεται με τους C/A και P

κωδικούς, ενώ η L2 χρησιμοποιούσε αρχικά μόνο τον P ενώ πλέον στους πιο σύγχρονους δορυφόρους από το 2005 και έπειτα προστέθηκε και ο L2C κωδικός για πολιτική χρήση (σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Σήματα εκπομπής GPS

1.2 Προσδιορισμός θέσης με το δορυφορικό σύστημα GPS

Ένας δέκτης GPS στη γη υπολογίζει τις καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) της θέσης του λαμβάνοντας σήματα από τους δορυφόρους. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει διαρκώς σήματα που περιέχουν την ώρα αποστολής του σήματος, ακριβείς συντεταγμένες της θέσης του, και γενικές πληροφορίες κατάστασης και χονδρικής τροχιάς όλου του συστήματος δορυφόρων GPS. Ο δέκτης υπολογίζει, μέσω του χρόνου που χρειάζεται το σήμα να φτάσει σε αυτόν, την απόστασή του από κάθε δορυφόρο. Έτσι, με γνωστές τις συντεταγμένες του κάθε δορυφόρου και τις αποστάσεις τους από τον δέκτη, είναι δυνατό να υπολογιστούν γεωμετρικά οι συντεταγμένες του δέκτη. Θεωρητικά, θα επαρκούσαν τρεις δορυφόροι για να προσδιορισθούν οι συντεταγμένες X, Y και Z. Όμως επειδή υπάρχουν μικρές διαφορές στον συγχρονισμό των ρολογιών του δέκτη και του δορυφόρου, που, πολλαπλασιαζόμενες με την ταχύτητα του φωτός με την οποία κινείται το σήμα των δορυφόρων, δίνουν μία σημαντική διαφορά θέσης, χρειάζεται σήμα τουλάχιστον 4 δορυφόρων, ώστε ο δέκτης να επιλύσει ως προς X, Y, Z και ΔT.

Η σχέση με την οποία υπολογίζεται η απόσταση του δέκτη από το δορυφόρο είναι:

$$(X - X_{\delta})^2 + (Y - Y_{\delta})^2 + (Z - Z_{\delta})^2 = (c\Delta t - c\Delta T)^2$$

Όπου:

X, Y, Z:	καρτεσιανές συντεταγμένες του δέκτη στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς
X _δ , Y _δ , Z _δ :	καρτεσιανές συντεταγμένες του δορυφόρου στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς
c:	ταχύτητα του φωτός
Δt:	παρατηρούμενη χρονική διαφορά μεταξύ εκπομπής και λήψης
ΔT:	σχετικό σφάλμα συγχρονισμού ρολογιών δέκτη – δορυφόρου

Ο όρος $c\Delta t$ που συμβολίζεται και ως R ονομάζεται ψευδοαπόσταση δορυφόρου – δέκτη και ο όρος $R - c\Delta T$ είναι η απόσταση του δέκτη από το δορυφόρο, στον οποίο το ΔT είναι άγνωστο όπως προαναφέρθηκε. Αν λοιπόν μετρηθεί το σήμα από 4 δορυφόρους σχηματίζεται ένα σύστημα με 4 εξισώσεις της μορφής αυτής με 4 αγνώστους ($X, Y, Z, \Delta T$), που επιλύεται και προσδιορίζονται τα X, Y, Z της θέσης του δέκτη.

Ο προσδιορισμός θέσης με τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης μπορεί να διαχωριστεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τον απόλυτο και τον σχετικό εντοπισμό.

Ο απόλυτος εντοπισμός περιλαμβάνει τη χρήση ενός μόνο δέκτη που μπορεί να είναι σταθερός για μεγάλα χρονικά διαστήματα (στατικός εντοπισμός), η να κινείται και να δίνει συντεταγμένες σε πολλά διαδοχικά σημεία με βάση ένα παγκόσμιο σύστημα αναφοράς. Απαιτεί την ορατότητα τεσσάρων τουλάχιστον δορυφόρων και οδηγεί στον προσδιορισμό του διανύσματος από το κέντρο της γης μέχρι την θέση του δέκτη.

Ο σχετικός εντοπισμός υλοποιείται με την ταυτόχρονη χρήση δύο δεκτών και οδηγεί στον προσδιορισμό του διανύσματος μεταξύ των δύο σημείων. Οι ακρίβειες στο σχετικό εντοπισμό είναι πολύ μεγαλύτερες, γιατί οι δύο δέκτες έχουν τη δυνατότητα να συγκρίνουν τις πληροφορίες των σημάτων που λαμβάνουν και να τις διορθώνουν αναλόγως, και ειδικά στο στατικό εντοπισμό που οι δέκτες συλλέγουν πληροφορία για μεγάλο χρονικό διάστημα, τα σφάλματα ελαχιστοποιούνται. Για τις περιπτώσεις δικτύων χρησιμοποιείται ο σχετικός στατικός εντοπισμός, ο οποίος παρέχει τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.

Ειδικότερα, στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται μετρήσεις φάσεων με δυνατότητα γραμμικών συνδυασμών αυτών. Κάθε γραμμικός συνδυασμός οδηγεί στην απαλοιφή ορισμένων σφαλμάτων. Με την χρήση απλών διαφορών επιτυγχάνεται εξάλειψη των σφαλμάτων του χρονομέτρου του δορυφόρου ή του δέκτη αλλά έχουμε μείωση του πλήθους των πρωτογενών παρατηρήσεων στο 50% και αύξηση του θορύβου λόγω μαθηματικών διαφορών. Με την χρήση διπλών διαφορών μειώνονται τα σφάλματα που οφείλονται στους δορυφόρους και εξαλείφονται πλήρως τα σφάλματα των χρονομέτρων των δεκτών, μειώνεται όμως το πλήθος των παρατηρήσεων στο 25%. Τέλος, με τη χρήση τριπλών διαφορών προσδιορίζονται πλήρως οι ασάφειες φάσης αλλά το πλήθος των παρατηρήσεων μειώνεται στο 12.5% των αρχικών [Παραδείσης, 2001].

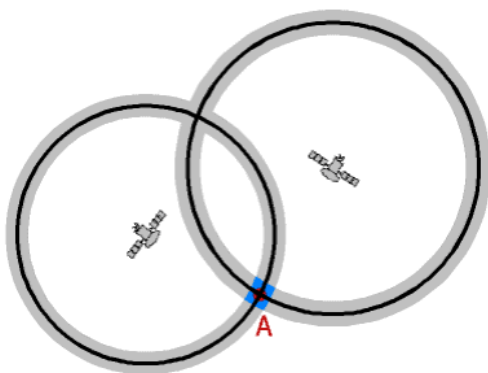
Η παραπάνω τεχνική σχετικού εντοπισμού αναφέρεται σε στατικό εντοπισμό με εκ των υστέρων επεξεργασία των μετρήσεων. Είναι όμως δυνατή η εφαρμογή της σε πραγματικό χρόνο και υλοποιείται με δύο κυρίως βασικούς τρόπους, τον διαφορικό εντοπισμό (DGPS – Differential GPS) και τον κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου (RTK – Real Time Kinematic).

Στον διαφορικό εντοπισμό γίνεται χρήση μετρήσεων κώδικα και χρησιμοποιείται κυρίως στην πλοήγηση ενώ στον κινηματικό εντοπισμό πραγματικού χρόνου γίνεται χρήση μετρήσεων φάσης φέροντος κύματος και αξιοποιείται σε τοπογραφικές εργασίες και αποτυπώσεις. Και στις δύο μεθόδους είναι απαραίτητη η ραδιοζεύξη μεταξύ του σταθμού βάσης (base station) και του κινητού σταθμού (rover station) η οποία υλοποιείται συνήθως μέσω GSM modem ή GPRS.

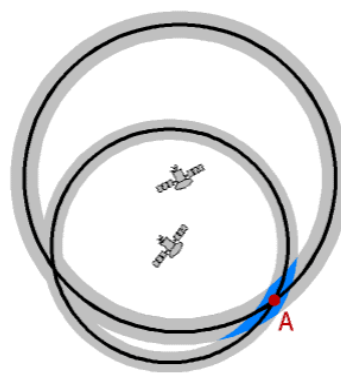
1.3 Παράγοντες σφαλμάτων

Ο μεγαλύτερος παράγοντας σφαλμάτων για τον προσδιορισμό θέσης με το σύστημα GPS ήταν η ονομαζόμενη επιλεκτική διαθεσιμότητα SA (selective availability), η οποία έχει πλέον καταργηθεί. Με αυτή τη μέθοδο, το Υπουργείο Αμύνης της Αμερικής, μπορούσε να ενεργοποιεί ένα τεχνητό σφάλμα στην εκπομπή της ώρας και της τροχιάς των δορυφόρων από την L1 συχνότητα (πολιτικής χρήσης) για κάποιο χρονικό διάστημα, με την πρόφαση της ασφάλειας του σήματος από τρομοκρατικές ή αντίστοιχες χρήσεις. Αυτό το σφάλμα είχε ως αποτέλεσμα οι πολιτικοί δέκτες GPS να δίνουν ακρίβεια θέσης, όχι καλύτερη από τα 150m. Τον Μάιο του 2000 η επιλεκτική διαθεσιμότητα καταργήθηκε, λόγω της ευρείας χρήσης του συστήματος GPS σε όλο τον κόσμο.

Ένας δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια του συστήματος είναι η γεωμετρία των δορυφόρων, δηλαδή η σχετική τους θέση ως προς τον δέκτη την ώρα της καταγραφής. Το σφάλμα ελαχιστοποιείται όταν οι δορυφόροι βρίσκονται διασπαρμένοι προς όλες τις κατευθύνσεις (βορράς, νότος, ανατολή, δύση) σε σχέση με τον δέκτη, οπότε υπάρχει καλή γεωμετρία δορυφόρων, και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Όμως αν οι δορυφόροι βρίσκονται όλοι προς την ίδια κατεύθυνση, τότε είναι δυνατόν ακόμη και να μην υπάρξει προσδιορισμός θέσης. Η κακή γεωμετρία δορυφόρων αυξάνει κατά πολύ όλα τα σφάλματα της θέσης που προέρχονται από τους υπόλοιπους παράγοντες, και οδηγεί σε ακρίβεια της τάξης των 100-150m. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν υπάρχει καλή διασπορά δορυφόρων μειώνονται οι περιοχές τομής των σημάτων τους, όπως φαίνεται στα σχήματα 1.3.α και 1.3.β.



Σχήμα 1.3.α: Καλή διασπορά δορυφόρων



Σχήμα 1.3.β: Κακή διασπορά δορυφόρων

Άλλος παράγοντας είναι η κίνηση του κέντρου φάσης της κεραίας κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων. Οι μετρήσεις συνήθως δεν αναφέρονται στο κέντρο της κεραίας. Υπάρχει μια μικρή μετατόπιση, χαρακτηριστική για κάθε κεραία, και πιστεύεται ότι το κέντρο φάσης, όπου και γίνονται οι παρατηρήσεις, περιφέρεται γύρω από το κέντρο της κεραίας καθώς αλλάζει ο σχηματισμός των δορυφόρων. Το σφάλμα αυτό ελαχιστοποιείται στον σχετικό εντοπισμό εάν προσανατολιστούν οι δύο κεραίες των δεκτών προς την ίδια κατεύθυνση (π.χ. βορράς).

Ακόμη, προσοχή πρέπει να δοθεί στην κέντρωση και στη μέτρηση του ύψους της κεραίας από το χρήστη εφόσον είναι δυνατόν να προκληθούν χονδροειδή σφάλματα.

Επίσης, παρότι οι δορυφόροι ακολουθούν πολύ συγκεκριμένες τροχιές, είναι δυνατόν να υπάρχουν μικρές αποκλίσεις από τις τροχιές αυτές, λόγω βαρυτικών δυνάμεων (υπάρχει και μια μικρή επίδραση από τη Σελήνη και τον Ήλιο). Τα στοιχεία των τροχιών συνεχώς

καταγράφονται και στέλνονται στους δέκτες με το σήμα, οπότε το σφάλμα που προκαλείται δεν υπερβαίνει τα 2m.

Σφάλμα δημιουργείται και στην περίπτωση που υπάρχουν πολλές επιφάνειες γύρω από το δέκτη, στις οποίες αντανακλάται το σήμα πριν φτάσει σε αυτόν, και έτσι δίνει μεγαλύτερο χρόνο από τον πραγματικό που χρειάστηκε για να φτάσει (σφάλμα πολλαπλών διαδρομών – multipath). Κυρίως συναντάται σε περιοχές με ψηλά κτίρια και το σφάλμα είναι συνήθως της τάξης των 2-3m στον προσδιορισμό θέσης.

Σφάλματα προκαλούνται και από την επίδραση της ατμόσφαιρας στο σήμα του δορυφόρου. Όταν το σήμα περνάει από την Ιονόσφαιρα και την Τροπόσφαιρα, μειώνεται ελαφρά η ταχύτητα του, ενώ στο καθαρό διάστημα έχει την ταχύτητα του φωτός. Υπάρχουν μέθοδοι με τις οποίες ανιχνεύεται η επίδραση της ατμόσφαιρας ανά περιοχές και οι πληροφορίες αυτές μεταφέρονται στους δέκτες, όπου υπολογίζεται και διορθώνεται η διαφορά, που είναι της τάξης των 5m.

Ακόμα, παρά τον διαρκή συγχρονισμό του ρολογιού του δέκτη με αυτόν του δορυφόρου, εξακολουθεί να υπάρχει μια διαφορά μεταξύ τους, ικανή να παράγει σφάλμα μέχρι και 2m στην θέση του δέκτη.

Τέλος, υπάρχουν σφάλματα που ερμηνεύονται μέσω της θεωρίας της σχετικότητας. Για σώματα που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες, όπως οι δορυφόροι που κινούνται με 12000 km/h ή 3874 m/sec, ο χρόνος «κυλάει» πιο αργά σε σχέση με έναν παρατηρητή στη Γη. Επίσης, όσο μικρότερες είναι οι βαρυτικές δυνάμεις σε ένα σημείο, τόσο πιο γρήγορα κυλάει ο χρόνος, όπως συμβαίνει για έναν δορυφόρο στο διάστημα όπου η δύναμη της βαρύτητας είναι πολύ μικρή, και αυτή η δεύτερη επίδραση έχει περίπου εξαπλάσια επιρροή από την πρώτη. Συνολικά, τα ρολόγια στους δορυφόρους φαίνεται να κινούνται πιο γρήγορα (ο χρόνος περνάει πιο γρήγορα), το οποίο θα μεταφραζόταν σε ένα σφάλμα περίπου 10 km ανά κάθε μέρα. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με το να ρυθμιστούν τα ρολόγια των δορυφόρων έτσι ώστε να λειτουργούν σε μικρότερη συχνότητα από την κανονική (διαφορά της τάξης των 5×10^{-9} MHz), έτσι ώστε τελικά ο χρόνος να φαίνεται ίδιος για τα ρολόγια των δορυφόρων και της Γης.

1.4 Μέθοδος σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (Real Time Kinematic - RTK)

Με τη μέθοδο αυτή απαιτείται η εκπομπή δεδομένων από ένα δέκτη γνωστών συντεταγμένων, που παραμένει πάντα ακίνητος, στον άλλο δέκτη που μπορεί να παραμένει ακίνητος για μερικά δευτερόλεπτα ή συχνά κινείται σε συγκεκριμένα σημεία ή και σε κάποια διαδρομή και ο οποίος εκτός από τις δικές του μετρήσεις λαμβάνει και τα δεδομένα του σταθερού δέκτη. [Φωτίου και Πικριδάς, 2006]

Η επικοινωνία μεταξύ των δεκτών απαιτεί ειδικό λογισμικό που εγκαθίσταται και στους δύο δέκτες καθώς και ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας, π.χ. radio modems, κινητή τηλεφωνία ή και επικοινωνία μέσω δορυφόρων. Τα δεδομένα που εκπέμπονται σχετίζονται με τις ψευδοαποστάσεις (από κώδικες) ή και τις φάσεις, συνήθως με ένα μοντέλο διορθώσεων που πρέπει να εφαρμόσει ο κινούμενος δέκτης στις δικές του παρατηρήσεις ώστε να προσδιορίσει τη θέση του. Ο δέκτης αναφοράς παίζει το ρόλο ενός ψευδοδορυφόρου που εκπέμπει δεδομένα στον κινούμενο δέκτη. Η μορφή επικοινωνίας των δεδομένων είναι συνήθως το γνωστό πρωτόκολλο επικοινωνίας RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) ή και διαφορετικό ως προς την εκπομπή των φάσεων ανάλογα με την κατασκευάστρια εταιρία.

Η χρήση ψευδοαποστάσεων για προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο είναι γνωστή με τον όρο Differential GPS (DGPS) - Διαφορικός Εντοπισμός, ενώ η χρήση μετρήσεων φάσεων με τον όρο Real Time Kinematic (RTK) - Κινηματική Πραγματικού Χρόνου. Σε κάθε περίπτωση ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του κινούμενου δέκτη ανάγεται σε κάθε εποχή ενώ για περισσότερες εποχές στο ίδιο σημείο υπολογίζεται μία καλύτερη λύση. [Hofmann – Wellenhof, Lichtenegger & Wasle, 2008]

Στην περίπτωση της μεθόδου RTK, ο σταθερός δέκτης με βάση τις γνωστές του συντεταγμένες υπολογίζει τις ασάφειες φάσης. Επειδή ο υπολογισμός και η μετάδοση της διόρθωσης στον κινούμενο δέκτη απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα, ο κινούμενος δέκτης θα λαμβάνει τις διορθώσεις αυτές σε διαφορετική εποχή από αυτή στην οποία αναφέρονται οι δικές του μετρήσεις. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό, ο σταθερός δέκτης μετρά σε μερικές εποχές ένα ικανό αριθμό φάσεων και υπολογίζει ένα μοντέλο πρόγνωσης για τις διορθώσεις τους, που ισχύει για ένα μικρό χρονικό διάστημα, και το οποίο μοντέλο ενημερώνεται τακτικά. Τα αποτελέσματα από αυτό το μοντέλο εκπέμπονται στον κινούμενο δέκτη με την εκάστοτε εποχή αναφοράς. Για τον κινητό δέκτη επίσης επιλύονται οι ασάφειες φάσης. [Hofmann – Wellenhof, Lichtenegger & Wasle, 2008]

Στην πράξη, τα συστήματα RTK χρησιμοποιούν έναν σταθερό δέκτη και έναν ή περισσότερους κινητούς δέκτες. Ο σταθερός δέκτης αναμεταδίδει το τμήμα του μηνύματος ναυσιπλοΐας που μέτρησε, και ο κινητός δέκτης συγκρίνει τις δικές του μετρήσεις φάσης με εκείνες που έλαβε από το σταθερό δέκτη. Αυτό επιτρέπει στους δέκτες να υπολογίζουν τη σχετική τους θέση με ακρίβεια χιλιοστών, αν και η απόλυτη θέση τους είναι ακριβής μόνο όσο ακριβής είναι η θέση του σταθερού δέκτη. Η τυπική ονομαστική ακρίβεια που παρέχουν τα συστήματα RTK των δύο συχνοτήτων είναι $1\text{cm}\pm 2\text{ppm}$ οριζοντιογραφικά και $2\text{cm}\pm 2\text{ppm}$ υψομετρικά.

Παρά το γεγονός ότι αυτή η παρεχόμενη ακρίβεια περιορίζει τη χρησιμότητα της τεχνικής RTK στη ναυσιπλοΐα, παρατηρούνται άκρως ικανοποιητικά αποτελέσματα σε χρήσεις της σε τοπογραφικές εργασίες. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο σταθμός αναφοράς τοποθετείται σε σημείο γνωστών συντεταγμένων και ο κινητός δέκτης παράγει χάρτη υψηλής ακρίβειας προσδιορίζοντας τις σχετικές θέσεις των σημείων ως προς το σταθερό δέκτη του γνωστού σημείου.

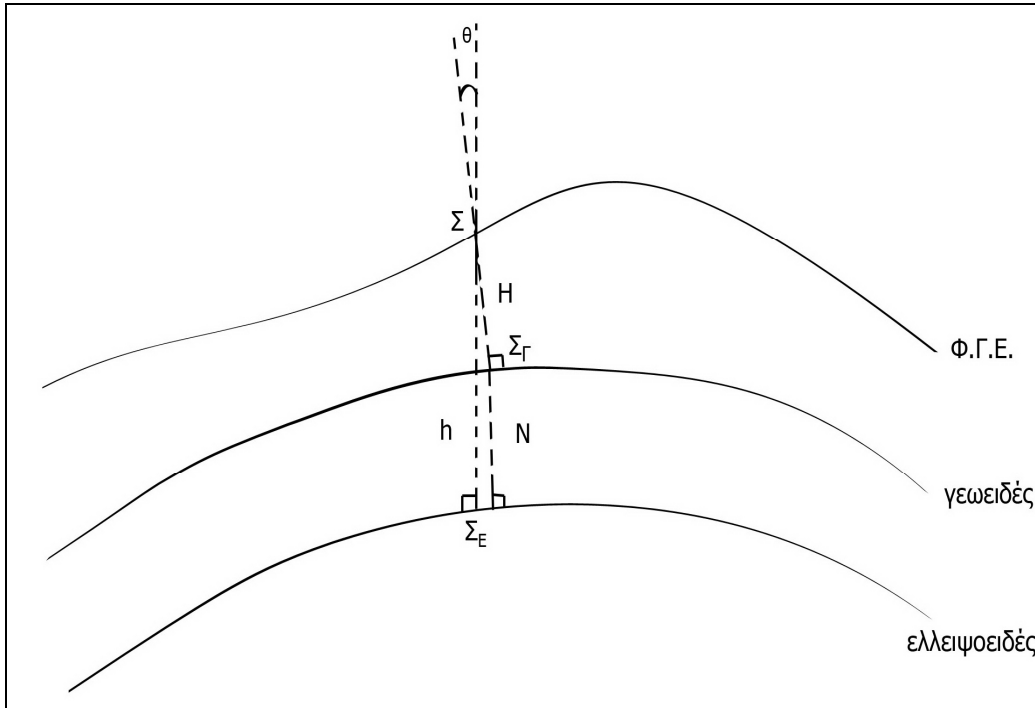
Κατά τη διάρκεια προσδιορισμού θέσεων σε πραγματικό χρόνο μπορούν να καταγραφούν οι μετρήσεις των δεκτών και να προσδιοριστούν εκ των υστέρων οι θέσεις του κινούμενου δέκτη, π.χ. για λόγους ελέγχου κάποιων σημείων. [Φωτίου και Πικριδάς, 2006]

1.5 Ορισμοί ορθομετρικού και γεωμετρικού υψομέτρου

Το υψόμετρο που υπολογίζεται με τις επίγειες γεωδαιτικές μεθόδους έχει ως επιφάνεια αναφοράς το γεωειδές, που στην πράξη αντικαθίσταται από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Το υψόμετρο αυτό, δηλαδή η απόσταση του σημείου από το γεωειδές κατακόρυφα ως προς αυτό, ορίζεται ως **ορθομετρικό υψόμετρο H** σημείου.

Το υψόμετρο που υπολογίζεται απευθείας με δορυφορικές μεθόδους, έχει ως επιφάνεια αναφοράς το ελλειψοειδές, και ορίζεται ως **γεωμετρικό υψόμετρο h** του σημείου.

Η σχέση $N = h - H$ μας δίνει, για ένα σημείο της φυσικής γήινης επιφάνειας, το **υψόμετρο του γεωειδούς από το ελλειψοειδές** (σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4: Το υψόμετρο του γεωειδούς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ

2.1 Γενικά

Γεωδαιτικό δίκτυο είναι ένα σύνολο σημείων πάνω στη Φυσική Γήινη Επιφάνεια (Φ.Γ.Ε.) που συνδέονται μεταξύ τους με απ' ευθείας παρατηρήσεις ή και με παρατηρήσεις σε σημεία έξω από την Φ.Γ.Ε. με σκοπό να προσδιοριστούν συντεταγμένες ή άλλου είδους τιμές ώστε να χρησιμεύουν σαν σημεία ελέγχου για μελλοντικές εργασίες.

Τα δίκτυα χωρίζονται σε:

- *Δίκτυα οριζοντίου ελέγχου*, όπου προσδιορίζονται οι θέσεις των προβολών των κορυφών σε μια επιφάνεια αναφοράς (ελλειψοειδές, σφαίρα, επίπεδο). Στα δίκτυα αυτά οι συντεταγμένες υπολογίζονται σε δισδιάστατο χώρο.
- *Δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου* ή χωροσταθμικά, όπου προσδιορίζονται οι αποστάσεις των σημείων (υψόμετρα) από μια επιφάνεια αναφοράς. Τα δίκτυα αυτά υπολογίζονται σε μονοδιάστατο χώρο.
- *Τριδιάστατα δίκτυα*, όπου προσδιορίζονται με ενιαία διαδικασία οι τρεις συντεταγμένες που δίνουν τις θέσεις των κορυφών στο χώρο ως προς κάποιο τρισσορθογώνιο καρτεσιανό σύστημα αναφοράς (γεωκεντρικό ή τοποκεντρικό) και υπολογίζονται σε τριδιάστατο χώρο. [Μπαλοδήμος κ.ά, 2006]

Το δίκτυο με το οποίο ασχολείται η εργασία αυτή επιλύθηκε ως τριδιάστατο με το σύστημα GPS, με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού αλλά και με τη μέθοδο του σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK).

2.2 Περιγραφή δικτύου

Ως δίκτυο επιλέχθηκε το πρότυπο δίκτυο ελέγχου οργάνων και δεκτών GPS που βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το δίκτυο αυτό έχει μετρηθεί στο παρελθόν τόσο με επίγειες όσο και με δορυφορικές μεθόδους, με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια ανά χρονική περίοδο και για τη μέτρησή του έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ συχνά εξειδικευμένες και καινοτόμες μεθοδολογίες, με σκοπό να υπάρχουν

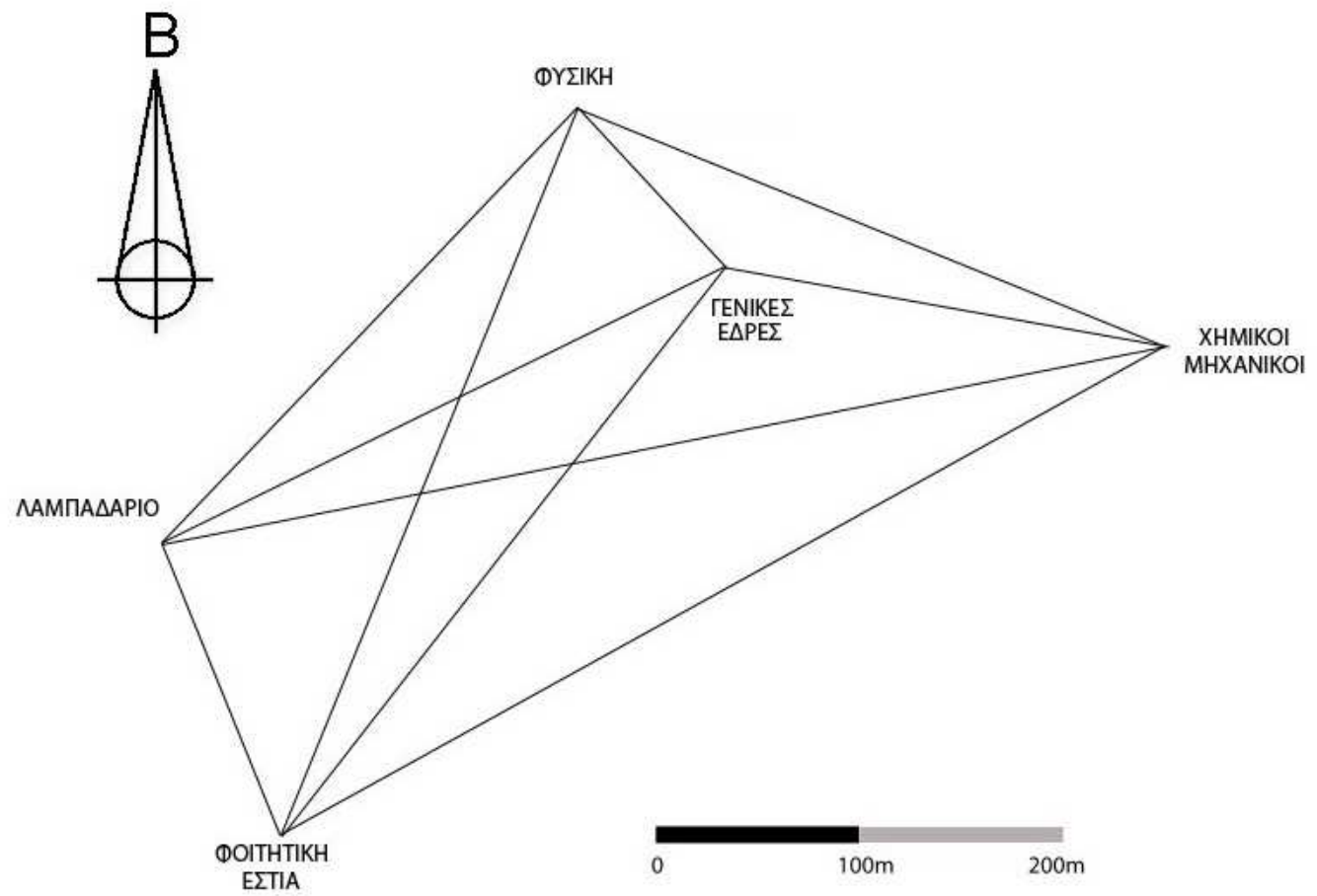
διαθέσιμα αξιόπιστα αποτελέσματα με τα οποία μπορούν να συγκριθούν οι μεταγενέστερες μετρήσεις. Αποτελείται από 5 κορυφές που ορίζονται από βάθρα τοποθετημένα σε ταράτσες των εξής κτιρίων (σχήμα 2.1):

- Λαμπαδάριο (δυτικότερο βάθρο στο δώμα) (ΛΑΜΠ)
- Φοιτητική Εστία (ΦΕ)
- Γενικές Έδρες (ΓΕ)
- Φυσικής (ΦΥΣ)
- Χημικών Μηχανικών (ΧΜ)

Το δίκτυο χαρακτηρίζεται από ικανοποιητική κανονικότητα των σχημάτων, και συνολικά από τις 5 κορυφές προκύπτουν 10 βάσεις, δηλαδή 10 ζευγάρια κορυφών.



Φωτογραφία 2.1: Δορυφορική απεικόνιση του δικτύου



Σχήμα 2.1: Μορφή του δικτύου

2.3 Εξοπλισμός

Για τις εργασίες πεδίου χρησιμοποιήθηκε ο εξής εξοπλισμός:

- 2 δέκτες 5800 του δορυφορικού συστήματος της εταιρείας Trimble
- 2 βάσεις εξαναγκασμένης κέντρωσης
- 2 τρικόγλια
- Μετροταινία
- Έντυπα καταγραφής

Επιπλέον για τις μετρήσεις με τη μέθοδο RTK χρησιμοποιήθηκαν:

- Χειριστήριο TSC2
- Κάρτα compact flash GSM/GPRS

Το σύστημα δεκτών 5800 της Trimble είναι ένα ζεύγος σύγχρονων GPS δεκτών Base και Rover, που χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη ευχρηστία, καθώς το βάρος τους είναι μικρό, και η μπαταρία είναι ενσωματωμένη στο δέκτη, οπότε δεν χρειάζεται η μεταφορά πολλών τμημάτων και καλωδίων (εικόνα 2.1)

Λειτουργούν με 24 κανάλια στη συχνότητα L1 με C/A κώδικα καθώς και στην L2.

Έχουν εσωτερική μνήμη 2MB, ικανή να αποθηκεύσει δεδομένα που αντιστοιχούν σε 55 ώρες καταγραφής, με μετρήσεις ανά 15 δευτερόλεπτα.

Τα εργοστασιακά σφάλματα που δίνονται από την εταιρία για στατικό εντοπισμό είναι $\pm 5\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$ οριζοντιογραφικά και $\pm 5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ υψομετρικά ενώ για σχετικό κινηματικό εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο είναι $\pm 10\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ οριζοντιογραφικά και $\pm 20\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ υψομετρικά.

Μαζί με τους δέκτες, παρέχεται και το ειδικό χειριστήριο “TSC2”, (εικόνα 2.2) της Trimble, το οποίο επικοινωνεί με κάθε δέκτη μέσω ασύρματου πρωτοκόλλου επικοινωνίας Bluetooth κάνοντας δυνατή τη λειτουργία του συστήματος χωρίς καλώδια.

Οι βάσεις που χρησιμοποιήθηκαν (εικόνα 2.1) διαθέτουν σύστημα εξαναγκασμένης κέντρωσης. Το αυξημένο βάρος τους εξασφαλίζει σταθερότητα στους δέκτες, με αποτέλεσμα ο κίνδυνος να επηρεαστούν από έντονες καιρικές συνθήκες, όπως δυνατούς ανέμους, να ελαχιστοποιείται. Η ασφάλεια των δεκτών είναι απαραίτητη για την ακρίβεια των μετρήσεων αλλά και λόγω του μεγάλου κόστους τους.



Φωτογραφία 2.2: Σύστημα δέκτη GPS Trimble 5800 - τρικοχλίου - βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης



Φωτογραφία 2.3: Χειριστήριο Trimble TSC2

2.4 Μετρήσεις με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού

Για τις μετρήσεις εφαρμόστηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού με την οποία μετρήθηκαν συνολικά και οι 10 βάσεις. Ως βάση (baseline) ορίζεται ένα προσανατολισμένο διάνυσμα στο χώρο, δηλαδή ένα διάνυσμα με γνωστές τις συνιστώσες του. Οι μετρήσεις έγιναν την 11^η Ιουνίου 2008. Για τη μέτρηση της κάθε βάσης έπρεπε να τοποθετηθούν οι δέκτες στις δύο κορυφές της και να καταγράψουν δεδομένα ταυτόχρονα για τουλάχιστον 30 λεπτά, ενώ ο ενδιάμεσος χρόνος μετάβασης του δέκτη από ένα βάθρο στο επόμενο ήταν περίπου 15-18 λεπτά. Ο συνολικός χρόνος λοιπόν που χρειάστηκε για να ολοκληρωθούν οι μετρήσεις ήταν περίπου 8 ώρες (5 ώρες μετρήσεων και περίπου 3 ώρες μετακινήσεων).

Οι βάσεις είναι οι εξής:

- Φ.Ε. - Λαμπαδάριο
- Φ.Ε. - Φυσική
- Φ.Ε - Γ.Ε.
- Φ.Ε. - Χ.Μ.
- Λαμπαδάριο - Φυσική
- Λαμπαδάριο - Γ.Ε.
- Λαμπαδάριο - Χ.Μ.
- Φυσική - Γ.Ε.
- Φυσική - Χ.Μ.
- Γ.Ε. - Χ.Μ.

Επειδή οι κορυφές βρίσκονται όλες σε ταράτσες κτιρίων, δεν υπήρχαν παρεμβολές στο σήμα των δορυφόρων από άλλες επιφάνειες και οι δέκτες μπορούσαν να λαμβάνουν σήματα από κάθε σημείο του ορίζοντα. Έτσι δεν κρίθηκε απαραίτητο να γίνει χρονικός προγραμματισμός ως προς τις τροχιές των δορυφόρων.

Για τη μέτρηση της κάθε βάσης ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία. Σε κάθε κορυφή τοποθετείται και κεντρώνεται η βάση, πάνω στην οποία σταθεροποιείται ο δέκτης. Οι δέκτες προσανατολίζονται πάντα προς το βορρά (με τη βοήθεια του λογότυπου τους). Μετράται το ύψος του δέκτη κατακόρυφα από την επιφάνεια του βάρου μέχρι το κάτω μέρος του δέκτη, που για το πρόγραμμα επίλυσης χαρακτηρίζεται ως bottom of antenna mount.

Μετά τίθενται σε λειτουργία οι δέκτες, που έχουν ειδική ένδειξη την στιγμή που αρχίζει η καταγραφή, δηλαδή όταν εντοπίσουν τουλάχιστον 4 δορυφόρους.

Σε ειδικά διαμορφωμένο έντυπο καταγράφονται και για τις δύο κορυφές οι εξής πληροφορίες:

- Ο κωδικός ή το όνομα του σημείου
- Το ύψος δέκτη (bottom of antenna mount)
- Ο σειριακός αριθμός του δέκτη
- Η ώρα έναρξης λειτουργίας του δέκτη
- Η ώρα έναρξης καταγραφής
- Η ημερομηνία

2.5 Μετρήσεις με τη μέθοδο του σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK)

Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε ο σταθερός σταθμός αναφοράς της εταιρείας Geotech στον Γέρακα Αττικής ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση περίπου 8km από το δίκτυο. Σταθμός αναφοράς είναι ένας μόνιμα τοποθετημένος πομποδέκτης GPS σε σημείο προσδιορισμένων συντεταγμένων από όπου εκπέμπονται συνεχώς δεδομένα ώστε να πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο διόρθωση μέσω των σχετικών μετρήσεων μεταξύ του κινητού δέκτη Rover και του σταθερού σταθμού. Το λογισμικό διαχείρισης του σταθμού αναφοράς είναι το Trimble GPSBase. Τα δεδομένα του σταθμού συλλέγονται με ρυθμό καταγραφής 5 sec και διατηρούνται στην μορφή .DAT (εσωτερικό format Trimble) και RINEX. Τα δεδομένα RTK παρέχονται με ρυθμό 1 Hz, μέσω GPRS σύνδεσης και διατίθενται δωρεάν σε κάθε ενδιαφερόμενο. Ο δέκτης Rover παρέμεινε τοποθετημένος σε κάθε κορυφή του δικτύου για 5 δευτερόλεπτα. Συνολικά ο χρόνος των μετρήσεων ήταν περίπου 2 ώρες, ουσιαστικά όσος χρόνος χρειάστηκε για τις μετακινήσεις από βάθρο σε βάθρο, επειδή ο χρόνος καταγραφής είναι της τάξεως δευτερολέπτων.

Αρχικά, ο δέκτης τοποθετείται στο βάθρο με τη βοήθεια της βάσης εξαναγκασμένης κέντρωσης, και μετράται κατακόρυφα το ύψος του από το βάθρο όπως στα παραπάνω.

Στη συνέχεια, στο ειδικό χειριστήριο “TSC2” εφαρμόζεται η κάρτα GSM, και μέσω Bluetooth το χειριστήριο συνδέεται με τον δέκτη. Από το χειριστήριο γίνεται σύνδεση μέσω της κάρτας, με τον σταθερό σταθμό αναφοράς στο κτίριο της Geotech.

Μόλις επιτευχθεί η σύνδεση αυτή, ξεκινάει η καταγραφή από τον δέκτη και σε πραγματικό χρόνο γίνονται οι σχετικές διορθώσεις και υπολογίζονται οι συντεταγμένες. Όλα τα στοιχεία της καταγραφής αποθηκεύονται στον δέκτη. Η διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις 5 κορυφές του δικτύου.

2.6 Προβλήματα

Το δίκτυο που μετρήθηκε καταλαμβάνει μια μεγάλη περιοχή της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, με αποτέλεσμα συχνά να πρέπει να διανυθούν σχετικά μεγάλες διαδρομές από το ένα κτίριο στο άλλο. Όμως, η ανάγκη για ασφαλή μεταφορά των οργάνων, καθώς και το βάρος τους, καθιστά δύσκολη τη μετακίνησή τους πεζή. Έτσι, αποφασίστηκε ότι η χρήση αυτοκινήτου ήταν απαραίτητη για τις μετακινήσεις των οργάνων.

Η πρόσβαση στις ταράτσες, στις οποίες βρίσκονται τα βάρθρα που υλοποιούν τις κορυφές του δικτύου, ήταν συχνά προβληματική ή ακόμα και επικίνδυνη. Στην ταράτσα του κτιρίου των Γενικών Εδρών δεν υπήρχε κάποια σκάλα για την ανάβαση στο σημείο του βάρθρου, με αποτέλεσμα να γίνεται από κεκλιμένο επίπεδο που γλιστρούσε. Ακόμα, στο κτίριο των Χημικών Μηχανικών, υπήρχε μόνο μία κατακόρυφη σκάλα. Και στις δύο περιπτώσεις, χρειαζόταν πολύ προσοχή για την ασφάλεια των ατόμων του συνεργείου αλλά και των οργάνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1 Επίλυση και συνόρθωση του δικτύου

Για την επεξεργασία των δορυφορικών παρατηρήσεων των βάσεων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Geomatics Office της Trimble. Αρχικά μεταφέρθηκαν τα πρωτογενή δεδομένα από τους δέκτες στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη μορφή αρχείων .dat.

Στη συνέχεια έγινε επίλυση των βάσεων. Οι λύσεις και των 10 βάσεων ήταν fixed, δηλαδή επιλύθηκαν οι ασάφειες φάσης και προσδιορίστηκαν οι ορθοί ακέραιοι αριθμοί των μηκών κύματος που παρεμβάλλονται μεταξύ δορυφόρων και δέκτη.

Ο έλεγχος ποιότητας των λύσεων γίνεται με βάση τα Ratio και Reference Variance (RV).

Το Ratio είναι ο λόγος της μεταβλητότητας της καλύτερης λύσης προς τη μεταβλητότητα της αμέσως επόμενης και πρέπει $\text{Ratio} > 10$.

Το Reference Variance είναι ένας δείκτης για το πόσο καλά προσαρμόζονται οι παρατηρήσεις για μία συγκεκριμένη βάση στην υπολογισμένη λύση. Πρόκειται για το λόγο της μεταβλητότητας που έχει υπολογίσει το λογισμικό πριν από την επίλυση της βάσης, στηριζόμενος σε παραδοχές όσον αφορά τον αναμενόμενο θόρυβο ή την ακρίβεια των μετρήσεων, προς τη μεταβλητότητα της λύσης. Για να είναι η λύση αποδεκτή πρέπει $\text{RV} < 4$.

Για την περαιτέρω βελτίωση των αποτελεσμάτων, έγινε επιλεκτική αφαίρεση δορυφόρων που παρουσίασαν πολύ μικρό χρόνο συμμετοχής στην εκάστοτε μέτρηση και έγινε νέα επίλυση των βάσεων. Οι δείκτες Ratio και RV παρουσίασαν βελτίωση στις βάσεις όπου έγινε αφαίρεση δορυφόρων.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης των βάσεων καθώς και οι μεταβλητότητες τους παρουσιάζονται στους πίνακες 3.1 και 3.2. Τα κλεισίματα των επιμέρους βρόγχων κατά ΔX , ΔY , ΔZ παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3.

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Μήκος D (m)	Τύπος Λύσης	Ratio	Reference Variance	RMS(m)
ΦΥΣΙΚΗ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	111.371	L1 fixed	46.4	1.782	±0.005
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	ΦΥΣΙΚΗ	298.653	L1 fixed	47.4	1.535	±0.004
ΦΥΣΙΚΗ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	382.562	L1 fixed	40.0	1.863	±0.005
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	350.332	L1 fixed	35.6	2.000	±0.005
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	156.812	L1 fixed	40.3	0.877	±0.003
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	314.258	L1 fixed	22.4	2.021	±0.005
ΦΥΣΙΚΗ	ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	314.416	L1 fixed	49.7	1.860	±0.005
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	218.250	L1 fixed	34.6	2.016	±0.005
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	493.679	L1 fixed	43.0	1.903	±0.005
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	508.794	L1 fixed	18.6	1.548	±0.004

Πίνακας 3.1: Στοιχεία από την επίλυση των βάσεων

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΔΧ(m)	σΔΧ (mm)	ΔΥ(m)	σΔΥ (mm)	ΔΖ(m)	σΔΖ (mm)
ΦΥΣΙΚΗ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	24.136	±1	93.413	±1	-55.633	±1
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	ΦΥΣΙΚΗ	-209.773	±1	136.208	±1	163.206	±1
ΦΥΣΙΚΗ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	281.218	±1	-33.043	±1	-257.251	±1
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	-257.098	±1	126.448	±1	201.603	±1
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	71.432	±1	103.157	±1	-94.054	±1
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	-185.663	±1	229.609	±1	107.551	±1
ΦΥΣΙΚΗ	ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	-36.657	±1	301.401	±1	-81.680	±1
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	60.793	±2	-207.988	±1	26.048	±1
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	317.867	±1	-334.442	±1	-175.578	±1
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	-246.424	±1	437.606	±1	81.529	±1

Πίνακας 3.2: Η επίλυση των βάσεων

ΒΡΟΓΧΟΙ	Κλεισίματα 2008 (mm)		
	ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ	ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ	ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΓΕ	26	12	22
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΧΜ	-6	3	-3
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΦΕ	13	8	9
ΛΑΜΠ-ΓΕ-ΧΜ	-32	-9	-26
ΛΑΜΠ-ΓΕ-ΦΕ	3	4	2
ΛΑΜΠ-ΧΜ-ΦΕ	11	7	5
ΦΥΣ-ΓΕ-ΦΕ	16	8	15
ΦΥΣ-ΓΕ-ΧΜ	0	0	-1
ΦΥΣ-ΦΕ-ΧΜ	8	-2	7
ΓΕ-ΦΕ-ΧΜ	24	6	23

Πίνακας 3.3: Κλεισίματα βρόγχων 2008

Στη συνέχεια έγινε συνόρθωση του δικτύου στο ΕΓΣΑ`87. Χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος αύξησης προεκτιμημένων σφαλμάτων (weighting strategy) η scalar alternative.

Ως σταθερό σημείο του δικτύου ορίστηκε το βάθρο του κτιρίου Λαμπαδαρίου. Το γεωμετρικό του υψόμετρο (h) προκύπτει από το ορθομετρικό του υψόμετρο $H=210.661\text{m}$, όπως υπολογίστηκε στην διπλωματική εργασία «Μέτρηση δικτύου βάθρων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου με τριγωνομετρική υψομετρία ακριβείας» του Λεμπέση Σ., στο οποίο προστίθεται το υψόμετρο του γεωειδούς $N=7.688$ για το σημείο αυτό, που προέρχεται από την διδακτορική διατριβή της Ε. Λάμπρου «Ανάπτυξη μεθοδολογίας αστρογεωδαιτικών προσδιορισμών με ψηφιακά γεωδαιτικά όργανα», Ιούνιος 2003, ΕΜΠ. Έτσι οι συντεταγμένες του βάθρου στο ΕΓΣΑ`87 είναι γνωστές και ίσες με $X=480547.72\text{m}$, $Y=4202792.11\text{m}$ και $h=218.349\text{m}$. Τα αποτελέσματα της συνόρθωσης παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4.

ΒΑΘΡΟ	X (m)	σ_X (mm)	Y (m)	σ_Y (mm)	h (m)	σ_h (mm)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	480547.720	-	4202792.110	-	218.349	-
ΦΥΣΙΚΗ	480757.366	± 4	4203004.495	± 5	210.746	± 9
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	480832.891	± 4	4202923.728	± 5	223.607	± 10
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	480612.955	± 3	4202652.057	± 5	244.800	± 9
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	481047.546	± 4	4202885.327	± 5	229.862	± 10

Πίνακας 3.4: Τα αποτελέσματα της συνόρθωσης του δικτύου

3.2 Επεξεργασία μετρήσεων με τη μέθοδο RTK

Με τη μέθοδο RTK, αποθηκεύτηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο ειδικό χειριστήριο TSC-2 οι συντεταγμένες Northing (Y), Easting (X) και Elevation (h γεωμετρικό) για κάθε κορυφή του δικτύου, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Οι συντεταγμένες του σταθμού αναφοράς της Geotech παρέχονται σε πραγματικό χρόνο την στιγμή της μέτρησης και είναι:

$$N=4208048.530\text{m}$$

$$E=486406.701\text{m}$$

$$h=248.310\text{m}$$

Ομοίως τα σφάλματα υπολογισμού των συντεταγμένων των κορυφών προήλθαν σε πραγματικό χρόνο μέσω της GPRS σύνδεσης και κυμάνθηκαν μεταξύ 8mm και 18mm. Για την μετέπειτα σύγκριση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν ως ενδεικτικές τιμές οι εξής: $\sigma_N=\pm 15\text{mm}$, $\sigma_E=\pm 15\text{mm}$, $\sigma_H=\pm 15\text{mm}$. Επιπλέον, εδόθη από την Geotech τιμή για το ορθομετρικό υψομέτρο του σταθμού ίση με:

$$H=240.582\text{m}$$

Στον πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου RTK.

ΒΑΘΡΟ	X (m)	Y (m)	h (m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	480547.727	422792.211	218.635
ΦΥΣΙΚΗ	480757.369	4203004.593	211.038
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	480832.898	4202923.821	223.900
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	480612.973	4202652.154	245.110
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	481047.552	4202885.433	230.168

Πίνακας 3.5: Συντεταγμένες κορυφών με τη μέθοδο RTK

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

4.1 Σύγκριση πρωτογενών δεδομένων

Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων με προγενέστερες μετρήσεις GPS, χρησιμοποιήθηκε η διπλωματική εργασία των Γ. Πηνιώτη και Κ. Σαραφιάν με τίτλο “*Ίδρυση Πρότυπου Τρισδιάστατου Δικτύου Αναφοράς στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*”, που εκπονήθηκε στον τομέα Τοπογραφίας της σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών (Σ.Α.Τ.Μ.) του Ε.Μ.Π. τον Μάρτιο του 2000. Η εργασία αυτή αναφέρεται στο ίδιο πρότυπο δίκτυο ελέγχου οργάνων και δεκτών GPS. Σε αυτήν χρησιμοποιήθηκαν οι δέκτες μονής συχνότητας (L1) 4600LS της Trimble με εργοστασιακές ακρίβειες της τάξης του $\pm 5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ για οριζοντιογραφικά και $\pm 10\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ για υψομετρικά. Όλα τα πρωτογενή στοιχεία και αρχεία των μετρήσεων παρέχονται στα παραρτήματα της εργασίας.

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται συγκριτικά οι επιλύσεις των βάσεων για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και στον πίνακα 4.2 οι συγκριτικές διαφορές των συντεταγμένων των κορυφών.

	Μήκος 2000 (m)	σ 2000 (mm)	Μήκος 2008 (m)	σ 2008 (mm)	Δl (mm)	$\sigma \Delta l$ (mm)	$ \Delta l < \sigma \Delta l \cdot 1.96$
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ	298.651	± 4	298.653	± 4	-2	± 6	ΙΣΧΥΕΙ
ΛΑΜΠ-ΓΕ	314.257	± 4	314.258	± 5	-1	± 6	ΙΣΧΥΕΙ
ΛΑΜΠ-ΧΜ	508.797	± 3	508.794	± 4	3	± 5	ΙΣΧΥΕΙ
ΛΑΜΠ-ΦΕ	156.817	± 4	156.812	± 3	5	± 5	ΙΣΧΥΕΙ
ΦΥΣ-ΓΕ	111.371	± 5	111.371	± 5	0	± 7	ΙΣΧΥΕΙ
ΦΥΣ-ΦΕ	382.560	± 3	382.562	± 5	-2	± 6	ΙΣΧΥΕΙ
ΓΕ-ΧΜ	218.248	± 3	218.250	± 5	-2	± 6	ΙΣΧΥΕΙ
ΓΕ-ΦΕ	350.332	± 5	350.332	± 5	0	± 7	ΙΣΧΥΕΙ
ΧΜ-ΦΕ	493.681	± 3	493.679	± 5	2	± 6	ΙΣΧΥΕΙ
ΧΜ-ΦΥΣ	314.416	± 3	314.416	± 5	0	± 6	ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 4.1: Συγκριτικά αποτελέσματα επίλυσης βάσεων 2000-2008

	ΔΧ 2008 (m)	ΔΧ 2000 (m)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΧ (mm)	ΔΥ 2008 (m)	ΔΥ 2000 (m)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥ (mm)	ΔΖ 2008 (m)	ΔΖ 2000 (m)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΖ (mm)
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ	-209.773	-209.775	2	136.208	136.203	5	163.206	163.204	2
ΛΑΜΠ-ΓΕ	-185.663	-185.630	-33	229.609	229.621	-12	107.551	107.580	-29
ΛΑΜΠ-ΧΜ	-246.424	-246.429	5	437.606	437.607	-1	81.529	81.529	0
ΛΑΜΠ-ΦΕ	71.432	71.444	-12	103.157	103.165	-8	-94.054	-94.044	-10
ΦΥΣ-ΓΕ	24.136	24.134	2	93.413	93.416	-3	-55.633	-55.629	-4
ΦΥΣ-ΦΕ	281.218	281.219	-1	-33.043	-33.040	-3	-257.251	-257.248	-3
ΧΜ-ΓΕ	60.793	60.793	0	-207.988	-207.986	-2	26.048	26.047	1
ΦΕ-ΓΕ	-257.098	-257.086	-12	126.448	126.452	-4	201.603	201.617	-14
ΧΜ-ΦΕ	317.867	317.871	-4	-334.442	-334.444	2	-175.578	-175.573	-5
ΧΜ-ΦΥΣ	36.657	36.658	-1	-301.401	-301.402	1	81.680	81.675	5

Πίνακας 4.2: Συγκριτικές διαφορές των συνιστωσών των επιλεγμένων βάσεων

4.2 Διαδικασία σύγκρισης με κλεισίματα βρόγχων

Στην εργασία χρησιμοποιείται ως σταθερό το υψόμετρο του βάθρου Λαμπαδαρίου με τιμή $H^1_{\Lambda}=210.860\text{m}$ η οποία παρέχεται από το τμήμα Γενικής Γεωδαισίας της Σ.Α.Τ.Μ. ως η τιμή του ορθομετρικού υψομέτρου του βάθρου Λαμπαδαρίου. Έτσι για να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με την εργασία του 2000 έγινε νέα συνόρθωση του δικτύου στο Trimble Geomatics Office, με συντεταγμένες σταθερού σημείου του βάθρου Λαμπαδαρίου, ίδιες με εκείνες του 2000, δηλαδή $X=480547.72\text{m}$, $Y=4202792.11\text{m}$ και $h=210.860\text{m}$.

Η διαδικασία που ακολουθείται για τη σύγκριση των συντεταγμένων των κορυφών των δικτύων αξιοποιώντας τις μετρήσεις για το σύστημα GPS έχει ως εξής:

1. Μέτρηση των βάσεων
2. Επίλυση των βάσεων και υπολογισμός των συνιστωσών $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$
3. Υπολογισμός της ακρίβειας των $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ με κλείσιμο βρόγχων του δικτύου και αναλογικό μοίρασμα του σφάλματος σύμφωνα με το μέγεθος της βάσης
4. Επίλυση του δικτύου με γραμμικές εξισώσεις της μορφής $\Delta X_{ij}=X_j-X_i$, $\Delta Y_{ij}=Y_j-Y_i$, $\Delta Z_{ij}=Z_j-Z_i$
5. Υπολογισμός των X_i, Y_i, Z_i για κάθε κορυφή.

Τα βήματα 1-5 γίνονται για κάθε φάση μετρήσεων.

6. Υπολογίζονται οι μεταβολές των συντεταγμένων μεταξύ των φάσεων $\delta X_i^{2000,2008}$, $\delta Y_i^{2000,2008}$, $\delta Z_i^{2000,2008}$.
7. Γίνεται μετατροπή των διανυσμάτων των μεταβολών σε ένα τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς με χρήση ενός πίνακα στροφής και μετάθεσης ώστε να είναι εύκολα αντιληπτή από τον άνθρωπο η διεύθυνση και η φορά των διανυσμάτων στον χώρο. Στον πίνακα στροφής τα ϕ, λ που χρησιμοποιούνται είναι οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους του δικτύου και προκύπτουν από την μετατροπή των καρτεσιανών X, Y, Z σε γεωδαιτικές ϕ, λ, h .
8. Υπολογίζονται τα $\delta North_i, \delta East_i, \delta H_i$.
9. Υπολογίζονται τα σφάλματα $\sigma_{\delta X}^{2000,2008}$, $\sigma_{\delta Y}^{2000,2008}$, $\sigma_{\delta Z}^{2000,2008}$ των $\delta X, \delta Y, \delta Z$ μεταξύ των δύο φάσεων με νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στις σχέσεις:
$$\delta X_i^{2000,2008} = X_i^{2008} - X_i^{2000}$$
$$\delta Y_i^{2000,2008} = Y_i^{2008} - Y_i^{2000}$$
$$\delta Z_i^{2000,2008} = Z_i^{2008} - Z_i^{2000}$$
10. Με νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση στροφής υπολογίζονται τα σφάλματα του διανύσματος μεταβολής των συντεταγμένων στο τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς.

- 11.Γίνεται μονοδιάστατος και διδιάστατος έλεγχος για ορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.
- 12.Σχεδιάζονται οι απόλυτες ελλείψεις σφάλματος για το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης και τα διανύσματα μετακίνησης.
- 13.Γίνεται έλεγχος σχετικών μετακινήσεων και σχεδιάζονται οι σχετικές ελλείψεις σφάλματος.

4.3 Υπολογισμός ακρίβειας και επίλυση των δικτύων

Η αβεβαιότητα προσδιορισμού των $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ που προκύπτουν από την επίλυση, επειδή προέρχονται από χιλιάδες παρατηρήσεις είναι της τάξης των μερικών δεκάτων του χιλιοστού, μέγεθος που δεν θεωρείται μια αντικειμενική εκτίμηση της αβεβαιότητας. Για τον λόγο αυτό επιλέγεται να προσδιοριστούν οι αβεβαιότητες αυτές $\sigma_{\Delta X}, \sigma_{\Delta Y}, \sigma_{\Delta Z}$ με την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω στα βήματα 1-5.

Επιλέχθηκαν όλοι οι δυνατοί τριπλοί βρόγχοι και έγινε ο υπολογισμός των κλεισιμάτων τους κατά τους τρεις άξονες του γεωκεντρικού συστήματος αναφοράς. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 3.3 και 4.3.

ΒΡΟΓΧΟΙ	Κλεισίματα 2000 (mm)		
	ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ	ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ	ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΓΕ	-11	-2	-5
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΧΜ	-4	-2	0
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΦΕ	0	-2	0
ΛΑΜΠ-ΓΕ-ΧΜ	6	0	4
ΛΑΜΠ-ΓΕ-ΦΕ	12	4	7
ΛΑΜΠ-ΧΜ-ΦΕ	-2	-2	0
ΦΥΣ-ΓΕ-ΦΕ	1	4	2
ΦΥΣ-ΓΕ-ΧΜ	-1	0	-1
ΦΥΣ-ΦΕ-ΧΜ	6	2	0
ΓΕ-ΦΕ-ΧΜ	8	6	3

Πίνακας 4.3: Κλεισίματα βρόγχων 2000

Η αβεβαιότητα προσδιορισμού του διανύσματος της κάθε βάσης είναι ανάλογη με το μήκος της. Από τα κλεισίματα των βρόγχων έγινε κατανομή του σφάλματος σε κάθε βάση ανάλογα με το μήκος της. Από τη μέση τιμή της αβεβαιότητας των βάσεων για κάθε συνιστώσα προέκυψε η εκτίμηση της ακρίβειας προσδιορισμού των διανυσμάτων ανά συνιστώσα όπως παρουσιάζεται στους πίνακες 4.4 και 4.5.

Αβεβαιότητα προσδιορισμού ΔX, ΔY, ΔZ 2008 (mm)		
ΑΞΟΝΑΣ X	ΑΞΟΝΑΣ Y	ΑΞΟΝΑΣ Z
±5	±2	±4

Πίνακας 4.4: Αβεβαιότητα προσδιορισμού των βάσεων των μετρήσεων του 2008 σε κάθε άξονα

Αβεβαιότητα προσδιορισμού ΔX, ΔY, ΔZ 2000 (m)		
ΑΞΟΝΑΣ X	ΑΞΟΝΑΣ Y	ΑΞΟΝΑΣ Z
±2	±1	±1

Πίνακας 4.5: Αβεβαιότητα προσδιορισμού των βάσεων των μετρήσεων του 2000 σε κάθε άξονα

Για τη συνόρθωση του δικτύου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των έμμεσων παρατηρήσεων όπου ως άγνωστοι θεωρήθηκαν οι καλύτερες τιμές των συνταγμένων των κορυφών του.

Οι εξισώσεις παρατήρησης σχηματίστηκαν από τις διαφορές των συντεταγμένων των κορυφών που προέκυψαν από την επίλυση των βάσεων (πίνακας 3.2) και από την αντίστοιχη επίλυση για το 2000.

Οι παρατηρήσεις θεωρήθηκαν ισοβαρείς διότι οι μετρήσεις έγιναν με το ίδιο σύστημα δεκτών GPS και το μήκος των βάσεων κυμαίνονταν από 100 μέχρι 500 μέτρα. Για βάσεις μήκους μέχρι 5 km δεν επηρεάζεται η ακρίβεια μέτρησης των δεκτών ενώ για μεγαλύτερες βάσεις δεν εξαλείφονται τα σφάλματα από τις ατμοσφαιρικές διορθώσεις.

Τα απαραίτητα στοιχεία για την επίλυση του δικτύου είναι τα εξής:

- Οι άγνωστες καθοριστικές παράμετροι είναι $m=12$, όσες και οι άγνωστες συντεταγμένες των κορυφών.
- Το σταθερό σημείο είναι το Λαμπαδάριο, οι συντεταγμένες του οποίου προέκυψαν από μετατροπή των τιμών φ,λ,η που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις του 2000:
($X_{\text{ΛΑΜΠΙ}}, Y_{\text{ΛΑΜΠΙ}}, Z_{\text{ΛΑΜΠΙ}}$) = (4607104.559, 2029912.751, 3903176.591)
- Ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι ίσος με τον αριθμό των εξισώσεων παρατήρησης, $n=30$.
- Οι εξισώσεις παρατήρησης είναι γραμμικές και έχουν τη μορφή:

$$X_{2008} - X_{2000} = \Delta X_{2008,2000}$$

$$Y_{2008} - Y_{2000} = \Delta Y_{2008,2000}$$

$$Z_{2008} - Z_{2000} = \Delta Z_{2008,2000}$$

Οι υπολογισμοί έγιναν σε περιβάλλον Excel και οι πίνακες συνόρθωσης βρίσκονται στο παράρτημα. Τα υπολογισμένα στοιχεία από την επίλυση του δικτύου είναι:

- Οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών (πίνακες 4.6, 4.7)
- Η αβεβαιότητα υπολογισμού των συντεταγμένων
- Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους

Ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας, το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους, καθώς και οι μεταβλητότητες των συντεταγμένων που προκύπτουν από τη συνόρθωση δεν έχουν καμία στατιστική σημασία και δεν λαμβάνονται υπ'όψη στους παραπέρα υπολογισμούς.

Οι διαφορές ΔX , ΔY , ΔZ που χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου είναι ήδη συνορθωμένα μεγέθη, καθώς προκύπτουν από χιλιάδες παρατηρήσεις των δεκτών προς τους δορυφόρους.

Έτσι η εκτίμηση της ακρίβειας προσδιορισμού των διανυσμάτων των βάσεων προκύπτει από τα κλεισίματα των βρόγχων με την διαδικασία που προαναφέρθηκε και όχι από τον πίνακα μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας της συνόρθωσης.

Συντεταγμένες και μεταβλητότητες 2008						
Κορυφές	X (m)	σX (mm)	Y (m)	σY (mm)	Z (m)	σZ (mm)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	4607104.559	-	2029912.751	-	3903176.591	-
ΦΥΣΙΚΗ	4606894.779	±5	2030048.954	±5	3903339.791	±5
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	4606918.907	±5	2030142.363	±5	3903284.151	±5
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	4607175.996	±5	2030015.912	±5	3903082.540	±5
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	4606858.125	±5	2030350.354	±5	3903258.113	±5

Πίνακας 4.6: Συντεταγμένες και μεταβλητότητες των κορυφών 2008

Συντεταγμένες και μεταβλητότητες 2000						
Κορυφές	X (m)	σX (mm)	Y (m)	σY (mm)	Z (m)	σZ (mm)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	4607104.559	-	2029912.751	-	3903176.591	-
ΦΥΣΙΚΗ	4606894.787	±2	2030048.955	±2	3903339.796	±2
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	4606918.923	±2	2030142.371	±2	3903284.168	±2
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	4607176.005	±2	2030015.916	±2	3903082.548	±2
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	4606858.131	±2	2030350.358	±2	3903258.121	±2

Πίνακας 4.7: Συντεταγμένες και μεταβλητότητες των κορυφών 2000

4.4 Έλεγχος μετακινήσεων

Για να εντοπισθούν και να προσδιορισθούν πιθανές απόλυτες μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου, υπολογίσθηκαν τα διανύσματα μεταβολών των συντεταγμένων τους από το 2000 στο 2008:

$$\begin{aligned}
 \delta X_i^{2000,2008} &= X_i^{2008} - X_i^{2000} \\
 \delta Y_i^{2000,2008} &= Y_i^{2008} - Y_i^{2000} \\
 \delta Z_i^{2000,2008} &= Z_i^{2008} - Z_i^{2000}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8.

ΚΟΡΥΦΕΣ	ΔΧ (2008-2000) (mm)	ΔΥ (2008-2000) (mm)	ΔΖ (2008-2000) (mm)
ΦΥΣΙΚΗ	-7.6	-0.8	-4.6
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	-16.2	-7.4	-16.6
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	-5.6	-3.6	-7.6
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	-8.6	-4.2	-8.2

Πίνακας 4.8: Συνιστώσες διανυσμάτων μεταβολών των κορυφών μεταξύ 2000 και 2008

Ακολούθησε η μετατροπή των διανυσμάτων των μεταβολών σε ένα τοποκεντρικό σύστημα συντεταγμένων ώστε να γίνουν πιο κατανοητές οι μετακινήσεις.

Για την μετατροπή χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας 4.9 που περιέχει παραμέτρους στροφής και μετάθεσης. Η στροφή και η μετάθεση έγιναν ως προς το κέντρο βάρους του δικτύου, που ορίζεται από τις 5 κορυφές.

$$A = \begin{vmatrix} -\sin\phi \cos\lambda & -\sin\phi \sin\lambda & \cos\phi \\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \cos\phi \cos\lambda & \cos\phi \sin\lambda & \sin\phi \end{vmatrix}$$

Πίνακας 4.9: Πίνακας στροφής

Η μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων του κέντρου βάρους του δικτύου σε ελλειψοειδείς γεωδαιτικές συντεταγμένες (ϕ, λ) ώστε να χρησιμοποιηθούν στον πίνακα στροφής έγινε από τις σχέσεις:

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (4.2)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{Z + e^2 N \sin\phi}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right) \quad (4.3)$$

όπου:

$$\bullet \quad N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \quad (4.4)$$

- e η κύρια εκκεντρότητα του ελλειψοειδούς αναφοράς, το οποίο είναι το GRS80 και έχει τιμή: $e^2 = 0.006694380$
- a ο μεγάλος ημιάξονας του ελλειψοειδούς αναφοράς $a=6378137$

Η σχέση που υπολογίζει το φ δεν είναι μια κλειστή σχέση εφόσον το φ υπάρχει και στο δεύτερο μέρος. Για να υπολογιστεί χρειάζεται να γίνουν διαδοχικές προσεγγίσεις θεωρώντας μια αρχική τιμή. [Μήλας 2003].

Οι ελλειψοειδείς συντεταγμένες του κέντρου βάρους που υπολογίστηκαν είναι:

$$(\varphi, \lambda) = (37^\circ 58' 23''.1114, 23^\circ 46' 51''.3682)$$

Τα νέα διανύσματα των μετακινήσεων των κορυφών υπολογίστηκαν από τη σχέση:

$$\begin{vmatrix} \delta N_i \\ \delta E_i \\ \delta H_i \end{vmatrix} = A \cdot \begin{vmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \end{vmatrix} \quad (4.5)$$

Όπου:

A , ο πίνακας στροφής (πίνακας 4.9)

$\delta X_i, \delta Y_i, \delta Z_i$ οι συνιστώσες των διανυσμάτων μετακίνησης (πίνακας 4.8)

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.10

Κορυφή	δN (mm)	δE (mm)	δH (mm)
ΦΥΣΙΚΗ	1	2	-9
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	-2	0	-24
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	-2	-1	-10
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	-1	0	-13

Πίνακας 4.10: Μεταβολές στις συντεταγμένες των σημείων στο τοποκεντρικό σύστημα

Στις περιπτώσεις που η συνιστώσα δN έχει αρνητικό πρόσημο σημαίνει πως η κορυφή έχει πιθανή μετακίνηση με κατεύθυνση Νότια.

Όταν η συνιστώσα δE έχει αρνητικό πρόσημο σημαίνει πως η πιθανή μετακίνηση είναι δυτικά, ενώ αν το δH είναι αρνητικό τότε υπάρχει καθίζηση.

Για να ελεγχθεί εάν οι μεταβολές στις συντεταγμένες που υπολογίστηκαν είναι μετακινήσεις ή βρίσκονται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων έγινε σύγκριση της τιμής του σφάλματος των διανυσμάτων των μεταβολών με το κάθε διάνυσμα, για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Το σφάλμα της κάθε συνιστώσας των διανυσμάτων των μεταβολών υπολογίστηκε εφαρμόζοντας νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στις σχέσεις 4.1 όπου ως σφάλμα των συντεταγμένων των κορυφών για κάθε φάση θεωρήθηκε η αβεβαιότητα προσδιορισμού των βάσεων από τους πίνακες 4.4 και 4.5.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.11

$\sigma_{\delta x}$ (mm)	$\sigma_{\delta y}$ (mm)	$\sigma_{\delta z}$ (mm)
± 5	± 2	± 4

Πίνακας 4.11: Σφάλμα διανύσματος μεταβολής συντεταγμένων στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς ανά συνιστώσα

Στη συνέχεια με νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στην σχέση 4.5 υπολογίζονται τα σφάλματα του διανύσματος μεταβολής των συντεταγμένων στο τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς σύμφωνα με τη σχέση 4.6.

$$\begin{vmatrix} \sigma_{\delta Ni}^2 & \sigma_{\delta Ni\delta Ei} & \sigma_{\delta Ni\delta Hi} \\ \sigma_{\delta Ni\delta Ei} & \sigma_{\delta Ei}^2 & \sigma_{\delta Ei\delta Hi} \\ \sigma_{\delta Ni\delta Hi} & \sigma_{\delta Ei\delta Hi} & \sigma_{\delta Hi}^2 \end{vmatrix} = A \cdot \begin{vmatrix} \sigma_{\delta Xi}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\delta Yi}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\delta Zi}^2 \end{vmatrix} \cdot A^T \quad (4.6)$$

$$\begin{vmatrix} \sigma_{\delta Ni}^2 & \sigma_{\delta Ni\delta Ei} & \sigma_{\delta Ni\delta Hi} \\ \sigma_{\delta Ni\delta Ei} & \sigma_{\delta Ei}^2 & \sigma_{\delta Ei\delta Hi} \\ \sigma_{\delta Ni\delta Hi} & \sigma_{\delta Ei\delta Hi} & \sigma_{\delta Hi}^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 18 & 5 & -3 \\ 5 & 7 & -6 \\ -3 & -6 & 19 \end{vmatrix} \quad (4.7)$$

$\sigma_{\delta N}$ (mm)	$\sigma_{\delta E}$ (mm)	$\sigma_{\delta H}$ (mm)
± 4	± 3	± 4

Πίνακας 4.12: Σφάλμα διανύσματος μεταβολής των συντεταγμένων στο τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς

Έγινε μονοδιάστατος και διδιάστατος έλεγχος μετακίνησης για τις κορυφές του δικτύου.

Ο διδιάστατος έλεγχος κατά την οριζόντια διεύθυνση έγινε αρχικά για επίπεδο εμπιστοσύνης 39.4%.

Σχεδιάστηκαν οι βασικές ελλείψεις σφάλματος για κάθε κορυφή με στοιχεία:

- μεγάλο ημιάξονα $\sigma_u = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{\delta E}^2 + \sigma_{\delta N}^2) + \sqrt{(\sigma_{\delta E}^2 - \sigma_{\delta N}^2)^2 + 4\sigma_{\delta E\delta N}^2}]}$
- μικρό ημιάξονα $\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{\delta E}^2 + \sigma_{\delta N}^2) - \sqrt{(\sigma_{\delta E}^2 - \sigma_{\delta N}^2)^2 + 4\sigma_{\delta E\delta N}^2}]}$
- $\tan(2\theta) = \frac{2\sigma_{\delta E\delta N}}{\sigma_{\delta E}^2 - \sigma_{\delta N}^2}$

Με βάση τους παραπάνω τύπους υπολογίστηκε ότι $\sigma_u=4.3\text{mm}$, $\sigma_v=2.5\text{mm}$, $\theta=-30.59^\circ$. Επειδή $\sigma_{\delta E} < \sigma_{\delta N}$ και $\sigma_{\delta E\delta N} > 0$ ισχύει ότι $\theta_{\max} = \theta + 100^\circ = 69.41^\circ$ όπου θ_{\max} είναι η διεύθυνση που αντιστοιχεί στον μεγάλο ημιάξονα.

Εάν το διάνυσμα μετακίνησης βρίσκεται εντός της έλλειψης σφάλματος, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μετακίνηση.

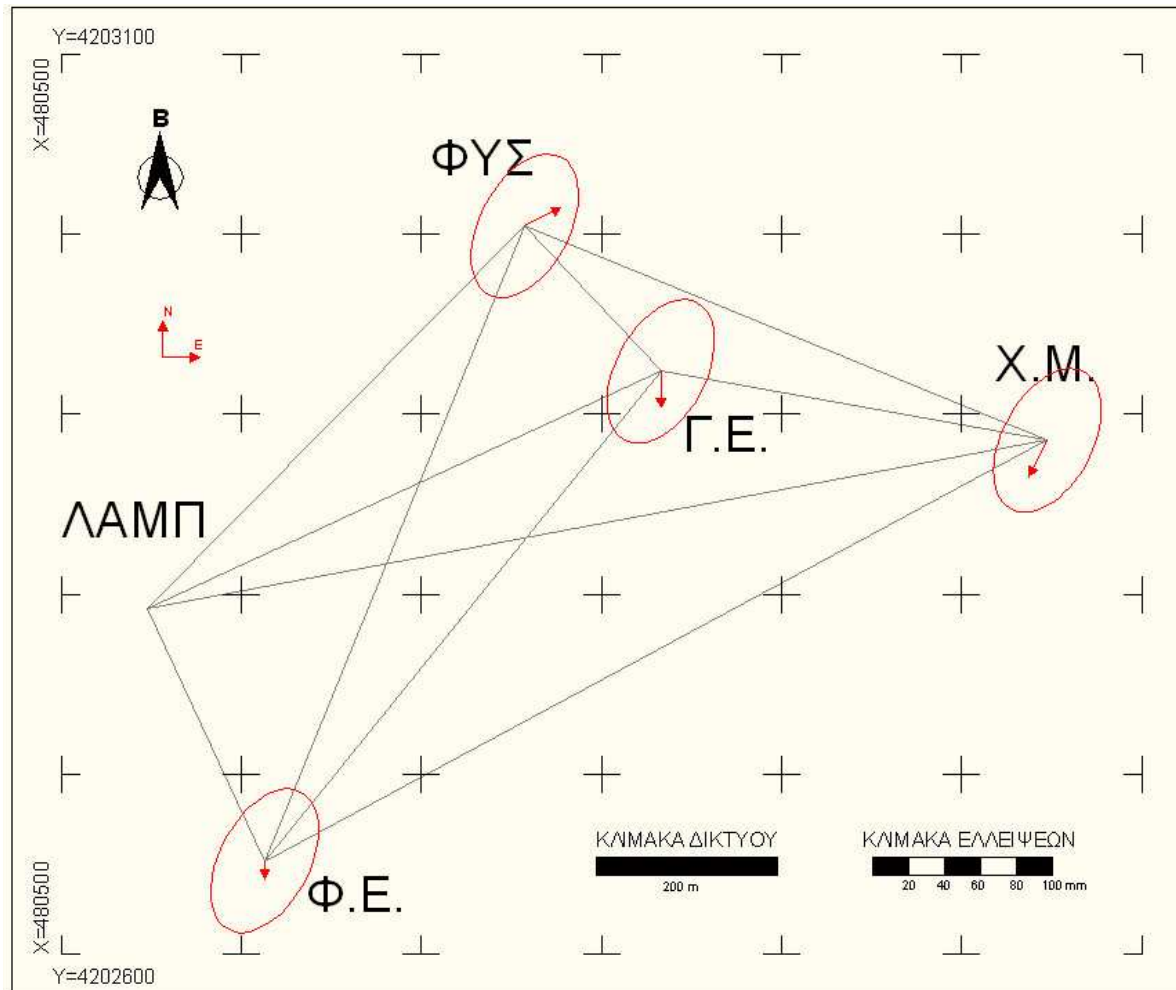
Εάν δεν βρίσκεται εντός της έλλειψης, τότε το διάνυσμα είναι μετακίνηση με πιθανότητα 39.4%.

Ο μονοδιάστατος έλεγχος για την κατακόρυφη διεύθυνση έγινε αρχικά για επίπεδο εμπιστοσύνης 67.5% και έγινε σύγκριση των διανυσμάτων δH_i κάθε κορυφής με την τιμή $\sigma_{\delta H} = \pm 4 \text{ mm}$.

Οι ελλείψεις σφάλματος παρουσιάζονται στο σχήμα 4.1 και τα αποτελέσματα ελέγχου στον πίνακα 4.13.

Κορυφή	σ _υ (mm)	σ _ν (mm)	θ _{max} (grad)	δ _r (mm)	θ _r (grad)	Μετακίνηση (έλεγχος ελλείψεων)	δ _H (mm)	σδ _H (mm)	Μετακίνηση (κατακόρυφος έλεγχος)
ΦΥΣΙΚΗ	4.3	2.5	69.41	2.2	22.28	ΟΧΙ	-9	±4	ΝΑΙ
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	4.3	2.5	69.41	2.0	-100.00	ΟΧΙ	-24	±4	ΝΑΙ
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	4.3	2.5	69.41	-2.2	-122.28	ΟΧΙ	-10	±4	ΝΑΙ
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	4.3	2.5	69.41	1.0	-100.00	ΟΧΙ	-13	±4	ΝΑΙ

Πίνακας 4.13: Μονοδιάστατος έλεγχος μετακινήσεων μεταξύ 2000 – 2008 για ε.ε. 67.5% και διδιάστατος έλεγχος για ε.ε. 39.4%



Σχήμα 4.1: Απόλυτες ελλείψεις σφάλματος των κορυφών του δικτύου για επίπεδο εμπιστοσύνης 39.4%

Ο μονοδιάστατος έλεγχος για την κατακόρυφη διεύθυνση έγινε και για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Το σφάλμα $\sigma_{\delta H}$ πολλαπλασιάστηκε με το συντελεστή της τυποποιημένης κανονικής κατανομής για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, $z=1.96$ και έγινε σύγκριση των διανυσμάτων δH_i κάθε κορυφής με την τιμή $1.96 \cdot \sigma_{\delta N} = \pm 8 \text{ mm}$.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου παρουσιάζονται στον πίνακα 4.14.

Κορυφή	δH (mm)	$1.96 \cdot \sigma_{\delta H}$ (mm)	Μετακίνηση
ΦΥΣΙΚΗ	-9	± 8	ΝΑΙ
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	-24	± 8	ΝΑΙ
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	-10	± 8	ΝΑΙ
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	-13	± 8	ΝΑΙ

Πίνακας 4.14: Μονοδιάστατος έλεγχος κατακόρυφων μετακινήσεων μεταξύ 2000 – 2008 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Για να εντοπισθούν και να προσδιορισθούν οι σχετικές μετακινήσεις των κορυφών, υπολογίσθηκαν τα διανύσματα της διαφοράς των συντεταγμένων (N, E, H) μεταξύ τους κατά τις δύο φάσεις.

$$\delta\Delta N_{i,j}^{2000,2008} = (N_j - N_i)^{2008} - (N_j - N_i)^{2000} = \delta N_j^{2000,2008} - \delta N_i^{2000,2008}$$

$$\delta\Delta E_{i,j}^{2000,2008} = (E_j - E_i)^{2008} - (E_j - E_i)^{2000} = \delta E_j^{2000,2008} - \delta E_i^{2000,2008}$$

$$\delta\Delta H_{i,j}^{2000,2008} = (H_j - H_i)^{2008} - (H_j - H_i)^{2000} = \delta H_j^{2000,2008} - \delta H_i^{2000,2008}$$

Για να ελεγχθεί εάν οι μεταβολές στις συντεταγμένες που υπολογίσθηκαν είναι μετακινήσεις ή βρίσκονται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων, έγινε σύγκριση της τιμής του σφάλματος των διανυσμάτων των σχετικών μεταβολών με το κάθε διάνυσμα, για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Το σφάλμα της κάθε συνιστώσας των διανυσμάτων των σχετικών μεταβολών υπολογίσθηκε εφαρμόζοντας νόμο μετάδοσης σφαλμάτων (πίνακας 4.15).

σ _{δΔN} (mm)	σ _{δΔE} (mm)	σ _{δΔH} (mm)
±6	±4	±6

Πίνακας 4.15: Σφάλμα διανύσματος σχετικής μεταβολής των συντεταγμένων στο τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς

Τα σφάλματα της διαφοράς των συντεταγμένων των κορυφών (σ_{δN}, σ_{δE}, σ_{δH}) φαίνονται στον πίνακα 4.12.

Ο δισδιάστατος έλεγχος κατά την οριζόντια διεύθυνση έγινε αρχικά για επίπεδο εμπιστοσύνης 39.4%.

Σχεδιάστηκαν οι βασικές ελλείψεις σφάλματος για κάθε κορυφή με στοιχεία:

- μεγάλο ημιάξονα $\sigma_u = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{\delta E}^2 + \sigma_{\delta N}^2) + \sqrt{(\sigma_{\delta E}^2 - \sigma_{\delta N}^2)^2 + 4\sigma_{\delta E\delta N}^2}]}$
- μικρό ημιάξονα $\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{\delta E}^2 + \sigma_{\delta N}^2) - \sqrt{(\sigma_{\delta E}^2 - \sigma_{\delta N}^2)^2 + 4\sigma_{\delta E\delta N}^2}]}$
- $\tan(2\theta) = \frac{2\sigma_{\delta E\delta N}}{\sigma_{\delta E}^2 - \sigma_{\delta N}^2}$

Με βάση τους παραπάνω τύπους υπολογίσθηκε ότι σ_u=6.2mm, σ_v=3.7mm, θ=-17.50°. Επειδή σ_{δE}<σ_{δN} και σ_{δEδN}>0 ισχύει ότι

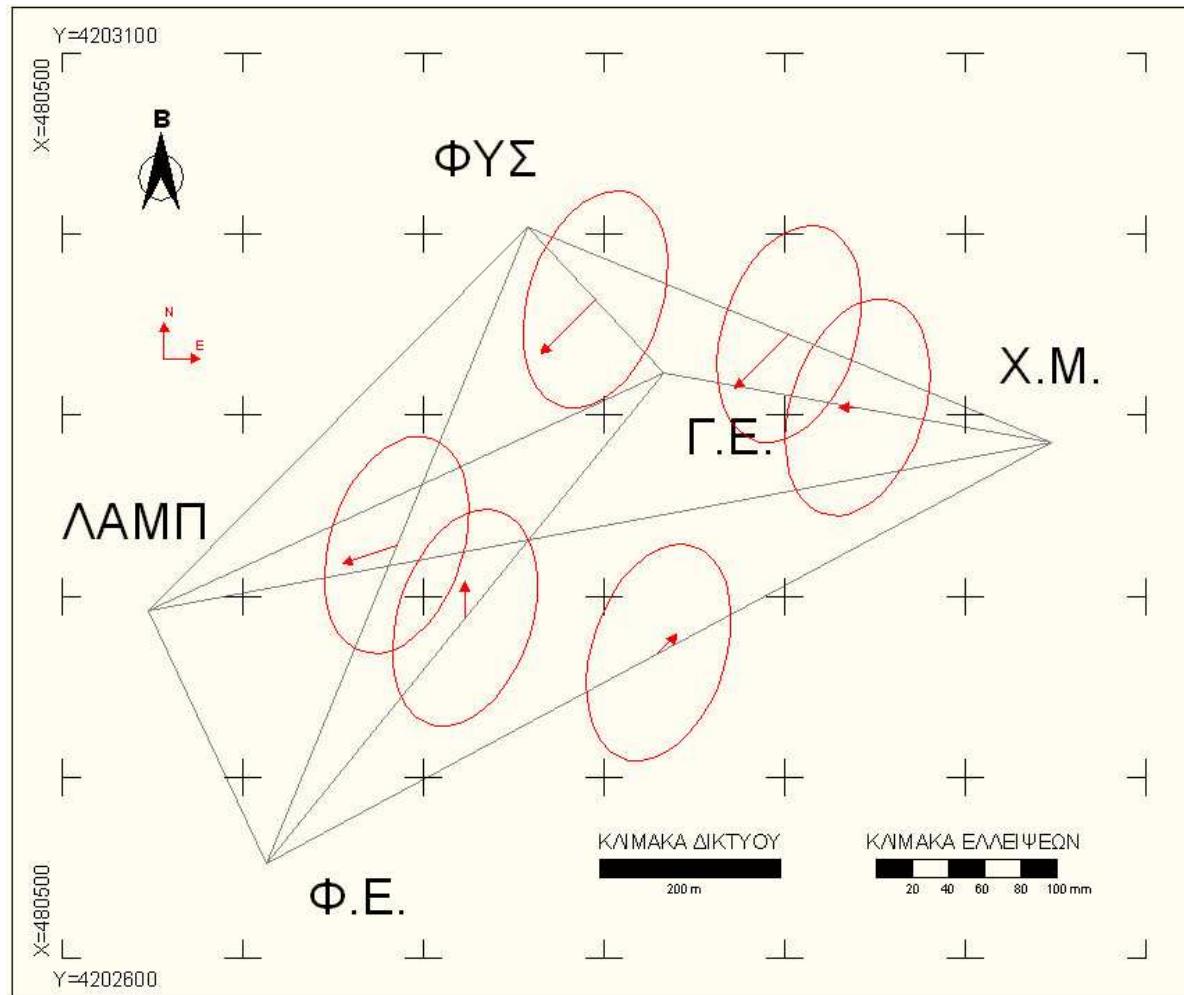
$\theta_{\max} = \theta + 100^{\circ} = 82.50^{\circ}$ όπου θ_{\max} είναι η διεύθυνση που αντιστοιχεί στον μεγάλο ημιάξονα.

Ο μονοδιάστατος έλεγχος για την κατακόρυφη διεύθυνση έγινε αρχικά για επίπεδο εμπιστοσύνης 67.5% και έγινε σύγκριση των διανυσμάτων δH_i κάθε κορυφής με την τιμή $\sigma_{\delta H} = \pm 6$ mm.

Οι ελλείψεις σφάλματος παρουσιάζονται στο σχήμα 4.2 και τα αποτελέσματα ελέγχου στον πίνακα 4.16.

Από	Προς	σ _υ (mm)	σ _ν (mm)	θ _{max} (grad)	δ _r (mm)	θ _r (grad)	Μετακίνηση (έλεγχος ελλείψεων)	δH (mm)	σδH (mm)	Μετακίνηση (κατακόρυφος έλεγχος)
ΦΥΣΙΚΗ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	6.2	3.7	82.50	4.2	-150.00	ΟΧΙ	-16	±6	ΝΑΙ
ΦΥΣΙΚΗ	ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	6.2	3.7	82.50	4.2	-150.00	ΟΧΙ	-1	±6	ΟΧΙ
ΦΥΣΙΚΗ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	6.2	3.7	82.50	3.2	-177.72	ΟΧΙ	-4	±6	ΟΧΙ
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	6.2	3.7	82.50	1.0	200.00	ΟΧΙ	14	±6	ΝΑΙ
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	6.2	3.7	82.50	2.0	100.00	ΟΧΙ	12	±6	ΝΑΙ
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	6.2	3.7	82.50	1.4	50.00	ΟΧΙ	-3	±6	ΟΧΙ

Πίνακας 4.16: Μονοδιάστατος έλεγχος σχετικών μετακινήσεων μεταξύ 2000 - 2008 για επίπεδο εμπιστοσύνης 67.5% και διδιάστατος έλεγχος για επίπεδο εμπιστοσύνης 39.4%



Σχήμα 4.2: Σχετικές ελλείψεις σφάλματος των κορυφών του δικτύου για επίπεδο εμπιστοσύνης 39.4%

Ο μονοδιάστατος έλεγχος για την κατακόρυφη διεύθυνση έγινε και για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Το σφάλμα $\sigma_{\delta H}$ πολλαπλασιάστηκε με το συντελεστή της τυποποιημένης κανονικής κατανομής για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, $z=1.96$ και έγινε σύγκριση των διανυσμάτων δH_i κάθε κορυφής με την τιμή $1.96 \cdot \sigma_{\delta N} = \pm 12$ mm.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου παρουσιάζονται στον πίνακα 4.17.

Από	Προς	δH (mm)	$1.96 \cdot \sigma_{\delta H}$ (mm)	Μετακίνηση
ΦΥΣΙΚΗ	ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	-16	± 12	ΝΑΙ
ΦΥΣΙΚΗ	ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	-1	± 12	ΟΧΙ
ΦΥΣΙΚΗ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	-4	± 12	ΟΧΙ
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	14	± 12	ΝΑΙ
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	12	± 12	ΟΧΙ
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	-3	± 12	ΟΧΙ

Πίνακας 4.17: Μονοδιάστατος έλεγχος σχετικών κατακόρυφων μετακινήσεων μεταξύ 2000 – 2008 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

4.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων RTK με σχετικό στατικό εντοπισμό

Από μια πρώτη σύγκριση των συντεταγμένων που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους, παρατηρείται μία συστηματική απόκλιση της τάξεως των 10cm στην διεύθυνση Y και 30cm στην διεύθυνση h. Το γεγονός αυτό ερμηνεύτηκε ως αποτέλεσμα του διαφορετικού σταθερού που χρησιμοποιεί η Geotech για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων του σταθμού. Για να καταστεί εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων έγινε νέα επίλυση του δικτύου στο Trimble Geomatics Office, με συντεταγμένες σταθερού σημείου του βάθρου Λαμπαδαρίου, εκείνες που προέκυψαν από τη μέθοδο RTK, δηλαδή:

$$X=480547.727\text{m}$$

$$Y=4202792.211\text{m}$$

$$h=218.635\text{m}$$

Στον πίνακα 4.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της νέας επίλυσης, και στον πίνακα 4.19 οι διαφορές προκύπτουν.

ΒΑΘΡΟ	X (m)	Y (m)	h (m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	480547.727	4202792.211	218.635
ΦΥΣΙΚΗ	480757.373	4203004.596	211.032
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	480832.898	4202923.829	223.893
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	480612.962	4202652.158	245.086
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	481047.553	4202885.428	230.148

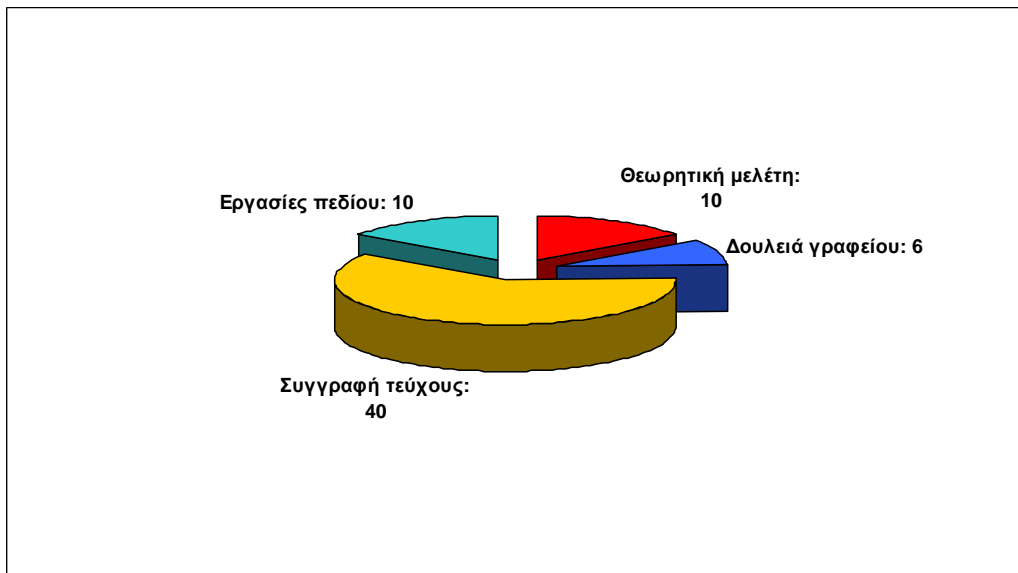
Πίνακας 4.18: Νέα επίλυση σχετικού στατικού εντοπισμού

ΒΑΘΡΟ	ΔE (mm)	$\sigma \Delta E$ (mm)	$ \Delta E < \sigma \Delta E \cdot 1.96$	ΔN (mm)	$\sigma \Delta N$ (mm)	$ \Delta N < \sigma \Delta N \cdot 1.96$	Δh (mm)	$\sigma \Delta h$ (mm)	$ \Delta h < \sigma \Delta h \cdot 1.96$
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΦΥΣΙΚΗ	4	± 16	ΙΣΧΥΕΙ	3	± 16	ΙΣΧΥΕΙ	-6	± 17	ΙΣΧΥΕΙ
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	0	± 16	ΙΣΧΥΕΙ	8	± 16	ΙΣΧΥΕΙ	-7	± 18	ΙΣΧΥΕΙ
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	-11	± 16	ΙΣΧΥΕΙ	4	± 15	ΙΣΧΥΕΙ	-24	± 17	ΙΣΧΥΕΙ
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	1	± 16	ΙΣΧΥΕΙ	-5	± 16	ΙΣΧΥΕΙ	-20	± 18	ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 4.19: Διαφορές σχετικού στατικού - RTK

4.6 Χρονοδιάγραμμα εργασιών

Όπως προαναφέρθηκε, το συνεργείο χρειάστηκε περίπου 8 ώρες για την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού, καθώς και 2 ώρες για την μέθοδο του σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο. Οι υπολογισμοί και η συνόρθωση του δικτύου, δηλαδή η δουλειά γραφείου, δεν χρειάστηκε περισσότερο από περίπου 6 ώρες. Η συγγραφή του τεύχους χρειάστηκε περίπου 40 ώρες μαζί με τις διορθώσεις, και η θεωρητική μελέτη του αντικείμενου (μελέτη βιβλιογραφίας και διπλωματικών εργασιών σχετικών με το αντικείμενο), περί τις 10 ώρες. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο διάγραμμα 4.1 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 4.1: Χρονοδιάγραμμα εργασιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα

Από τις διαδικασίες και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να συναχθούν ενδιαφέροντα και χρήσιμα συμπεράσματα.

- Οι σύγχρονοι δορυφορικοί δέκτες είναι πλέον ικανοί να παράγουν ακρίβειες της τάξης των $\pm 5\text{mm}$, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά, με την χρήση της μεθόδου του σχετικού στατικού εντοπισμού σε δίκτυα με πλευρές μέχρι και 500m , όπως της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το γεγονός αυτό τους καθιστά ως τη σημαντικότερη εναλλακτική επιλογή έναντι των επίγειων μεθόδων μέτρησης. Σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης δορυφορικών μεθόδων είναι η ταχύτητα των μετρήσεων υπό συνθήκες και η δυνατότητα μέτρησης χωρίς αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σημείων.
- Η δυνατότητα μέτρησης σε πραγματικό χρόνο με πρακτικά μηδαμινό χρόνο στάσης καθιστά την μέθοδο σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK) ένα πανίσχυρο εργαλείο στα χέρια του τοπογράφου μηχανικού καθώς επιτρέπει τον επί τόπου προσδιορισμό θέσης με ακρίβεια της τάξης των $\pm 10\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ οριζοντιογραφικά και $\pm 20\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ υψομετρικά.
- Από την σύγκριση των πρωτογενών δεδομένων της παρούσας διπλωματικής εργασίας με εκείνων του 2000 (παράγραφος 4.1), προέκυψαν τα εξής στοιχεία. Τα μήκη των βάσεων παρουσίασαν ελάχιστες αποκλίσεις με μέγιστη τιμή τα 5mm . Οι συγκριτικές διαφορές των συνιστωσών των βάσεων κυμάνθηκαν για τα ΔX από μηδενικές έως τα 33mm , για τα ΔY από 1mm μέχρι 12mm και για τα ΔZ από μηδενικές μέχρι τα 29mm .

- Από την σύγκριση των επεξεργασμένων δεδομένων των δύο διπλωματικών εργασιών (παράγραφος 4.4), προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα. Κατά τον έλεγχο απόλυτων μετακινήσεων, οι διαφορές κατά τις διευθύνσεις Easting και Northing παρουσίασαν μέγιστη τιμή τα 2mm και δεν μπορούν να θεωρηθούν ως πιθανές μετακινήσεις. Οι διαφορές κατά την κατακόρυφη διεύθυνση κυμάνθηκαν από -9mm έως -24mm και υποδηλώνουν κατακόρυφες μετακινήσεις στα βάρθρα όλων των κορυφών. Από τον έλεγχο σχετικών μετακινήσεων, οι διαφορές κατά Easting και Northing κυμάνθηκαν από μηδέν έως 3mm ενώ στην κατακόρυφη διεύθυνση από -1mm έως -16mm. Από τον συνδυασμό των δύο ελέγχων, προκύπτει ότι το βάρθρο των Γενικών Εδρών παρουσιάζει την μεγαλύτερη με διαφορά καθίζηση (24mm) αποτελώντας παράλληλα την κοινή συνιστώσα στις 3 σχετικές κατακόρυφες μετακινήσεις. Παρόλα αυτά, λόγω της μικρής σχετικά ακρίβειας των δορυφορικών δεκτών στον υψομετρικό προσδιορισμό, του μεγάλου χρονικού διαστήματος που έχει μεσολαβήσει αλλά και των διαφορετικών οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν, η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα ήταν προτεινόμενο να ληφθεί ενδεικτικά και να μην ερμηνευθεί αυστηρά μεθοδολογικά.
- Από την σύγκριση των μετρήσεων σχετικού στατικού εντοπισμού με τις μετρήσεις σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο, οι διαφορές που προέκυψαν ήταν από μηδέν έως 11mm κατά Easting, 3mm έως 8mm κατά Northing και -6mm έως -24mm κατά την κατακόρυφο. Δεδομένης της ακρίβειας τους, δεν προέκυψαν σφάλματα, γεγονός που καταδεικνύει την αποτελεσματικότητα και των δύο μεθόδων καθώς και την σημαντική υπεροχή που παρουσιάζει σε ταχύτητα η μέθοδος RTK χωρίς να θυσιάζεται παράλληλα σημαντικά η ακρίβεια.

5.2 Προτάσεις

Μετά το πέρας των εργασιών και την καλύτερη δυνατή ερμηνεία των αποτελεσμάτων, ακολουθούν οι παρακάτω προτάσεις για την επέκταση των θεμάτων που αναπτύχθηκαν στην παρούσα εργασία:

- Προτείνεται να επεκταθεί το συγκεκριμένο δίκτυο βάθρων σε περισσότερα κτίρια της Πολυτεχνειούπολης, ώστε να καλύπτει μεγαλύτερο μέρος της, παρέχοντας έτσι περισσότερα σημεία ελέγχου στις εργασίες που εκτελούνται σε αυτήν.
- Προτείνεται επίσης η εισαγωγή στο Trimble Geomatics Office υψομετρικών διαφορών προερχόμενων από επίγειες παρατηρήσεις (Γεωμετρική Χωροστάθμηση, ΕΤΥ, ΤΡΥΑ), με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης τους στην ακρίβεια των υψομέτρων.
- Κρίνεται σκόπιμη η διεξαγωγή μετρήσεων με τη μέθοδο σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο κάνοντας χρήση ενός και περισσότερων σταθμών του συστήματος HEPOS και η σύγκριση και διερεύνηση των αποτελεσμάτων με τα ήδη υπάρχοντα.
- Τέλος, σε ένα γενικότερο πλαίσιο, προτείνεται η υλοποίηση και καθιέρωση ενός ενιαίου συστήματος αναφοράς για τον ελλαδικό χώρο με συγκεκριμένη αφετηρία ώστε να εξαλειφθούν οι αποκλίσεις μεταξύ συστημάτων όπως εν προκειμένω στην περίπτωση της χρήσης του σταθμού αναφοράς κατά την εφαρμογή της μεθόδου RTK.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία σφαλμάτων και συνορθώσεις Ι*, Αθήνα 2000.

Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία σφαλμάτων και συνορθώσεις ΙΙ*, Αθήνα 2005.

Γιαννούλης Κ. – Επισκόπου Ε. – Κούνης Α., *Γεωδαιτικό δίκτυο οριζοντίου ελέγχου στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου*, διπλωματική εργασία, Αθήνα 1980.

Λάμπρου Ε., *Ακριβής προσδιορισμός υψομετρικών διαφορών με χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών*, *Τεχνικά χρονικά επιστημονική έκδοση ΤΕΕ*, Αθήνα 2007.

Λεμπέσης Σ., *Μέτρηση δικτύου βάθρων στην πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου με τριγωνομετρική υψομετρία ακριβείας*, διπλωματική εργασία, Αθήνα 2009.

Μήλας Π. – Μπιλλήρης Χ., *Ανώτερη Γεωδαισία, Μετατροπές Συστημάτων Αναφοράς και Προβολικών Συστημάτων*, 2003.

Μπαλοδήμος Δ. – Σταθάς Δ. – Αραμπατζή Ο., *Γεωδαισία, Δίκτυα, αποτυπώσεις – χαράξεις*, 2006.

Πανόπουλος Δ., *Παρακολούθηση μετακινήσεων στην κατολίσθηση τμήματος της Ν.Ε.Ο. Τρίπολης – Καλαμάτας στην περιοχή της Τσακώνας με χρήση GPS*, διπλωματική εργασία, Αθήνα 2007.

Παραδείσης Δ., *Σημειώσεις δορυφορικής γεωδαισίας*, Αθήνα 2000.

Πηνιώτης Γ. – Σαραφιάν Κ., *Ίδρυση πρότυπου τρισδιάστατου δικτύου αναφοράς στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*, διπλωματική εργασία, Αθήνα 2000.

Φωτίου Α. – Πικριδής Χ., *GPS και γεωδαιτικές εφαρμογές*, 2006.

Hofmann-Wellenhof B. - Lichtenegger H. - Wasle E., *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and More*, 2008.

Trimble, *R8 GNSS / R6 / 5800 User's Guide*, 2008.

ABSTRACT

In this diplomathesis, the methods of static relative positioning and kinematic relative positioning in real time via GPS are applied, to measure a 3D network. The control points of the network are pillars which were on the flat-roofs of some of the buildings of the University campus in Athens.

In the first chapter there is a thorough description of the Global Positioning System and its various methods of application.

In the second chapter the network's control points are described, as well as the equipment used, and there is an analysis of all the field work along with any problems that occurred.

In the third chapter there is a description of the processing, and the final results of the network components are presented.

In the fourth chapter the results are compared to other ones by different sources.

In the fifth chapter the conclusions are registered as well as several suggestions for the continuation of the research.

The appendixes contain all the field work sheets with the calculations, and all the processing required for the final results.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Baseline Summary B1 (LAMP to XM)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	LAMP				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202792.110m	Latitude	37°58'21.16654"N	Latitude	37°58'30.50795"N
Easting	480547.720m	Longitude	23°46'42.68557"E	Longitude	23°46'48.76044"E
Elevation	218.349m	Height	218.349m	Height	249.172m
To:	XM				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202885.338m	Latitude	37°58'24.22952"N	Latitude	37°58'33.57060"N
Easting	481047.544m	Longitude	23°47'03.16350"E	Longitude	23°47'09.23905"E
Elevation	229.857m	Height	229.857m	Height	260.697m
Baseline:					
Δ Northing	93.228m	NS Fwd Azimuth	79°17'54"	Δ X	-246.424m
Δ Easting	499.824m	Ell. Distance	508.646m	Δ Y	437.606m
Δ Elevation	11.508m	Δ Height	11.524m	Δ Z	81.529m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.282 seconds	σ Δ X	0.001m
σ Δ Easting	0.001m	σ Ell.Distance	0.001m	σ Δ Y	0.001m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.001m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.001m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	$8.255e-7m^2$		
Y	$2.136e-7m^2$	$3.470e-7m^2$	
Z	$5.005e-7m^2$	$1.150e-7m^2$	$9.898e-7m^2$

Baseline Summary B2 (XM to FE)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	XM				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202885.327m	Latitude	37°58'24.22916"N	Latitude	37°58'33.57025"N
Easting	481047.546m	Longitude	23°47'03.16355"E	Longitude	23°47'09.23911"E
Elevation	222.373m	Height	222.373m	Height	253.213m
To:	FE				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202652.045m	Latitude	37°58'16.62698"N	Latitude	37°58'25.96834"N
Easting	480612.960m	Longitude	23°46'45.37322"E	Longitude	23°46'51.44805"E
Elevation	237.328m	Height	237.328m	Height	268.147m
Baseline:					
Δ Northing	-233.281m	NS Fwd Azimuth	241°38'27"	Δ X	317.867m
Δ Easting	-434.586m	Ell. Distance	493.434m	Δ Y	-334.442m
Δ Elevation	14.955m	Δ Height	14.934m	Δ Z	-175.578m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.278 seconds	σ Δ X	0.001m
σ Δ Easting	0.001m	σ Ell.Distance	0.000m	σ Δ Y	0.001m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.001m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.001m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	$8.591e-7m^2$		
Y	$2.556e-7m^2$	$4.503e-7m^2$	
Z	$4.601e-7m^2$	$5.482e-8m^2$	$6.536e-7m^2$

Baseline Summary B3 (XM to GE)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	XM				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202885.327m	Latitude	37°58'24.22916"N	Latitude	37°58'33.57025"N
Easting	481047.546m	Longitude	23°47'03.16355"E	Longitude	23°47'09.23911"E
Elevation	222.373m	Height	222.373m	Height	253.213m
To:	GE				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202923.723m	Latitude	37°58'25.45875"N	Latitude	37°58'34.79997"N
Easting	480832.885m	Longitude	23°46'54.36127"E	Longitude	23°47'00.43660"E
Elevation	216.135m	Height	216.135m	Height	246.971m
Baseline:					
Δ Northing	38.396m	NS Fwd Azimuth	280°00'31"	Δ X	60.793m
Δ Easting	-214.660m	Ell. Distance	218.154m	Δ Y	-207.988m
Δ Elevation	-6.239m	Δ Height	-6.242m	Δ Z	26.048m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.674 seconds	σ Δ X	0.002m
σ Δ Easting	0.001m	σ Ell.Distance	0.001m	σ Δ Y	0.001m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.002m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.002m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	2.776e-6m ²		
Y	1.008e-7m ²	4.648e-7m ²	
Z	9.476e-7m ²	1.366e-7m ²	5.784e-7m ²

Baseline Summary B4 (FYS to XM)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	FYS				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203004.495m	Latitude	37°58'28.07374"N	Latitude	37°58'37.41501"N
Easting	480757.366m	Longitude	23°46'51.25803"E	Longitude	23°46'57.33333"E
Elevation	203.257m	Height	203.257m	Height	234.095m
To:	XM				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202885.333m	Latitude	37°58'24.22936"N	Latitude	37°58'33.57045"N
Easting	481047.552m	Longitude	23°47'03.16382"E	Longitude	23°47'09.23938"E
Elevation	222.370m	Height	222.370m	Height	253.209m
Baseline:					
Δ Northing	-119.162m	NS Fwd Azimuth	112°11'24"	Δ X	-36.657m
Δ Easting	290.187m	Ell. Distance	313.824m	Δ Y	301.401m
Δ Elevation	19.113m	Δ Height	19.114m	Δ Z	-81.680m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.342 seconds	σ Δ X	0.001m
σ Δ Easting	0.000m	σ Ell.Distance	0.000m	σ Δ Y	0.001m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.001m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.001m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	7.761e-7m ²		
Y	2.789e-7m ²	3.817e-7m ²	
Z	5.538e-7m ²	3.073e-7m ²	8.428e-7m ²

Baseline Summary B5 (FYS to GE)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	FYS				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203004.495m	Latitude	37°58'28.07374"N	Latitude	37°58'37.41501"N
Easting	480757.366m	Longitude	23°46'51.25803"E	Longitude	23°46'57.33333"E
Elevation	203.257m	Height	203.257m	Height	234.095m
To:	GE				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202923.729m	Latitude	37°58'25.45895"N	Latitude	37°58'34.80018"N
Easting	480832.892m	Longitude	23°46'54.36156"E	Longitude	23°47'00.43689"E
Elevation	216.130m	Height	216.130m	Height	246.966m
Baseline:					
Δ Northing	-80.765m	NS Fwd Azimuth	136°47'05"	Δ X	24.136m
Δ Easting	75.527m	Ell. Distance	110.621m	Δ Y	93.413m
Δ Elevation	12.874m	Δ Height	12.872m	Δ Z	-55.633m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.000m	σ NS Fwd Azimuth	0.806 seconds	σ Δ X	0.001m
σ Δ Easting	0.000m	σ Ell.Distance	0.000m	σ Δ Y	0.001m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.001m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.001m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	$5.306e-7m^2$		
Y	$1.938e-7m^2$	$2.846e-7m^2$	
Z	$2.927e-7m^2$	$1.309e-7m^2$	$5.038e-7m^2$

Baseline Summary B6 (LAMP to FYS)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	LAMP				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202792.110m	Latitude	37°58'21.16654"N	Latitude	37°58'30.50795"N
Easting	480547.720m	Longitude	23°46'42.68557"E	Longitude	23°46'48.76044"E
Elevation	218.349m	Height	218.349m	Height	249.172m
To:	FYS				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203004.500m	Latitude	37°58'28.07390"N	Latitude	37°58'37.41516"N
Easting	480757.362m	Longitude	23°46'51.25790"E	Longitude	23°46'57.33319"E
Elevation	210.740m	Height	210.740m	Height	241.578m
Baseline:					
Δ Northing	212.390m	NS Fwd Azimuth	44°29'27"	Δ X	-209.773m
Δ Easting	209.642m	Ell. Distance	298.546m	Δ Y	136.208m
Δ Elevation	-7.609m	Δ Height	-7.595m	Δ Z	163.206m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.450 seconds	σ Δ X	0.001m
σ Δ Easting	0.000m	σ Ell.Distance	0.000m	σ Δ Y	0.000m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.001m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.001m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	$5.535e-7m^2$		
Y	$1.325e-7m^2$	$2.218e-7m^2$	
Z	$2.759e-7m^2$	$-7.109e-8m^2$	$6.879e-7m^2$

Baseline Summary B7 (FYS to FE)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	FYS				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203004.495m	Latitude	37°58'28.07374"N	Latitude	37°58'37.41501"N
Easting	480757.366m	Longitude	23°46'51.25803"E	Longitude	23°46'57.33333"E
Elevation	203.257m	Height	203.257m	Height	234.095m
To:	FE				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202652.053m	Latitude	37°58'16.62723"N	Latitude	37°58'25.96860"N
Easting	480612.962m	Longitude	23°46'45.37332"E	Longitude	23°46'51.44815"E
Elevation	237.333m	Height	237.333m	Height	268.152m
Baseline:					
Δ Northing	-352.442m	NS Fwd Azimuth	202°08'43"	Δ X	281.218m
Δ Easting	-144.403m	Ell. Distance	381.028m	Δ Y	-33.043m
Δ Elevation	34.076m	Δ Height	34.057m	Δ Z	-257.251m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.285 seconds	σ Δ X	0.001m
σ Δ Easting	0.000m	σ Ell.Distance	0.001m	σ Δ Y	0.001m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.001m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.001m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	1.484e-6m ²		
Y	4.451e-7m ²	3.811e-7m ²	
Z	5.377e-7m ²	9.827e-8m ²	4.527e-7m ²

Baseline Summary B8 (FE to GE)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	FE				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202652.057m	Latitude	37°58'16.62737"N	Latitude	37°58'25.96874"N
Easting	480612.955m	Longitude	23°46'45.37303"E	Longitude	23°46'51.44786"E
Elevation	237.311m	Height	237.311m	Height	268.130m
To:	GE				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202923.733m	Latitude	37°58'25.45906"N	Latitude	37°58'34.80029"N
Easting	480832.885m	Longitude	23°46'54.36124"E	Longitude	23°47'00.43657"E
Elevation	216.085m	Height	216.085m	Height	246.921m
Baseline:					
Δ Northing	271.675m	NS Fwd Azimuth	38°51'20"	Δ X	-257.098m
Δ Easting	219.930m	Ell. Distance	349.676m	Δ Y	126.448m
Δ Elevation	-21.227m	Δ Height	-21.209m	Δ Z	201.603m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.308 seconds	σ Δ X	0.001m
σ Δ Easting	0.000m	σ Ell.Distance	0.001m	σ Δ Y	0.001m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.001m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.001m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	7.746e-7m ²		
Y	3.880e-7m ²	4.581e-7m ²	
Z	5.068e-7m ²	3.602e-7m ²	9.348e-7m ²

Baseline Summary B9 (LAMP to FE)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	LAMP				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202792.110m	Latitude	37°58'21.16654"N	Latitude	37°58'30.50795"N
Easting	480547.720m	Longitude	23°46'42.68557"E	Longitude	23°46'48.76044"E
Elevation	218.349m	Height	218.349m	Height	249.172m
To:	FE				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202652.060m	Latitude	37°58'16.62746"N	Latitude	37°58'25.96882"N
Easting	480612.957m	Longitude	23°46'45.37312"E	Longitude	23°46'51.44795"E
Elevation	244.799m	Height	244.799m	Height	275.617m
Baseline:					
Δ Northing	-140.050m	NS Fwd Azimuth	154°53'13"	Δ X	71.432m
Δ Easting	65.237m	Ell. Distance	154.560m	Δ Y	103.157m
Δ Elevation	26.450m	Δ Height	26.445m	Δ Z	-94.054m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.522 seconds	σ Δ X	0.001m
σ Δ Easting	0.000m	σ Ell.Distance	0.001m	σ Δ Y	0.000m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.001m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.001m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	4.017e-7m ²		
Y	1.744e-7m ²	1.840e-7m ²	
Z	4.607e-7m ²	2.426e-7m ²	1.175e-6m ²

Baseline Summary B10 (LAMP to GE)

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	LAMP				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202792.110m	Latitude	37°58'21.16654"N	Latitude	37°58'30.50795"N
Easting	480547.720m	Longitude	23°46'42.68557"E	Longitude	23°46'48.76044"E
Elevation	218.349m	Height	218.349m	Height	249.172m
To:	GE				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4202923.734m	Latitude	37°58'25.45910"N	Latitude	37°58'34.80031"N
Easting	480832.889m	Longitude	23°46'54.36141"E	Longitude	23°47'00.43672"E
Elevation	223.577m	Height	223.577m	Height	254.413m
Baseline:					
Δ Northing	131.624m	NS Fwd Azimuth	65°05'14"	Δ X	-185.663m
Δ Easting	285.169m	Ell. Distance	314.204m	Δ Y	229.609m
Δ Elevation	5.228m	Δ Height	5.240m	Δ Z	107.551m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.458 seconds	σ Δ X	0.001m
σ Δ Easting	0.001m	σ Ell.Distance	0.001m	σ Δ Y	0.001m

$\sigma \Delta \text{Elevation}$	0.002m	$\sigma \Delta \text{Height}$	0.002m	$\sigma \Delta Z$	0.001m
----------------------------------	--------	-------------------------------	--------	-------------------	--------

Aposteriori Covariance Matrix

	X	Y	Z
X	1.864e-6m ²		
Y	1.064e-6m ²	9.466e-7m ²	
Z	8.377e-7m ²	5.762e-7m ²	7.552e-7m ²

Network Adjustment Report

Adjustment Style Settings - 95% Confidence Limits

Residual Tolerances

To End Iterations : 0.000010m

Final Convergence Cutoff : 0.005000m

Covariance Display

Horizontal

Propagated Linear Error [E] : U.S.

Constant Term [C] : 0.00000000m

Scale on Linear Error [S] : 1.96

Three-Dimensional

Propagated Linear Error [E] : U.S.

Constant Term [C] : 0.00000000m

Scale on Linear Error [S] : 1.96

Elevation Errors were used in the calculations.

Adjustment Controls

Compute Correlations for Geoid : False

Horizontal and Vertical adjustment performed

Set-up Errors

GPS

Error in Height of Antenna : 0.000m

Centering Error : 0.000m

Statistical Summary

Successful Adjustment in 1 iteration(s)

Network Reference Factor : 1.00

Chi Square Test ($\alpha=95\%$) : PASS

Degrees of Freedom : 18.00

GPS Observation Statistics

Reference Factor : 1.00

Redundancy Number (r) : 18.00

Individual GPS Observation Statistics

Observation ID	Reference Factor	Redundancy Number
B1	0.96	1.96
B2	0.74	1.88
B3	0.99	1.93
B4	0.58	1.78

B5	1.29	1.55
B6	1.07	1.68
B7	0.29	1.86
B8	1.31	1.88
B9	1.03	1.48
B10	1.27	2.00

Weighting Strategies

GPS Observations

Alternative Scalar Applied to All Observations

Scalar : 7.17

Adjusted Coordinates

Adjustment performed in **EGSA-87(GRS-80)**

Number of Points : 5

Number of Constrained Points : 1

Horizontal and Height Only : 1

Adjusted Grid Coordinates

Errors are reported using 1.96σ .

Point Name	Northing	N error	Easting	E error	Elevation	e error	Fix
LAMP	4202792.110m	0.000m	480547.720m	0.000m	N/A	N/A	N E h
XM	4202885.327m	0.005m	481047.546m	0.004m	N/A	N/A	
FE	4202652.057m	0.005m	480612.955m	0.003m	N/A	N/A	

GE	4202923.728m	0.005m	480832.891m	0.004m	N/A	N/A	
FYS	4203004.495m	0.005m	480757.366m	0.004m	N/A	N/A	

Adjusted Geodetic Coordinates

Errors are reported using 1.96σ .

Point Name	Latitude	N error	Longitude	E error	Height	h error	Fix
LAMP	37°58'21.16654"N	0.000m	23°46'42.68557"E	0.000m	218.349m	0.000m	Lat Long h
XM	37°58'24.22915"N	0.005m	23°47'03.16355"E	0.004m	229.862m	0.010m	
FE	37°58'16.62737"N	0.005m	23°46'45.37303"E	0.003m	244.800m	0.009m	
GE	37°58'25.45891"N	0.005m	23°46'54.36149"E	0.004m	223.607m	0.010m	
FYS	37°58'28.07374"N	0.005m	23°46'51.25803"E	0.004m	210.746m	0.009m	

Coordinate Deltas

Point Name	Δ Northing	Δ Easting	Δ Elevation	Δ Height	Δ Geoid Separation
LAMP	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
XM	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
FE	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
GE	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
FYS	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A

Control Coordinate Comparisons

Values shown are control coord minus adjusted coord.

Point Name	Δ Northing	Δ Easting	Δ Elevation	Δ Height
LAMP	N/A	N/A	N/A	N/A

Adjusted Observations

Adjustment performed in **EGSA-87(GRS-80)**

GPS Observations

Number of Observations : 10

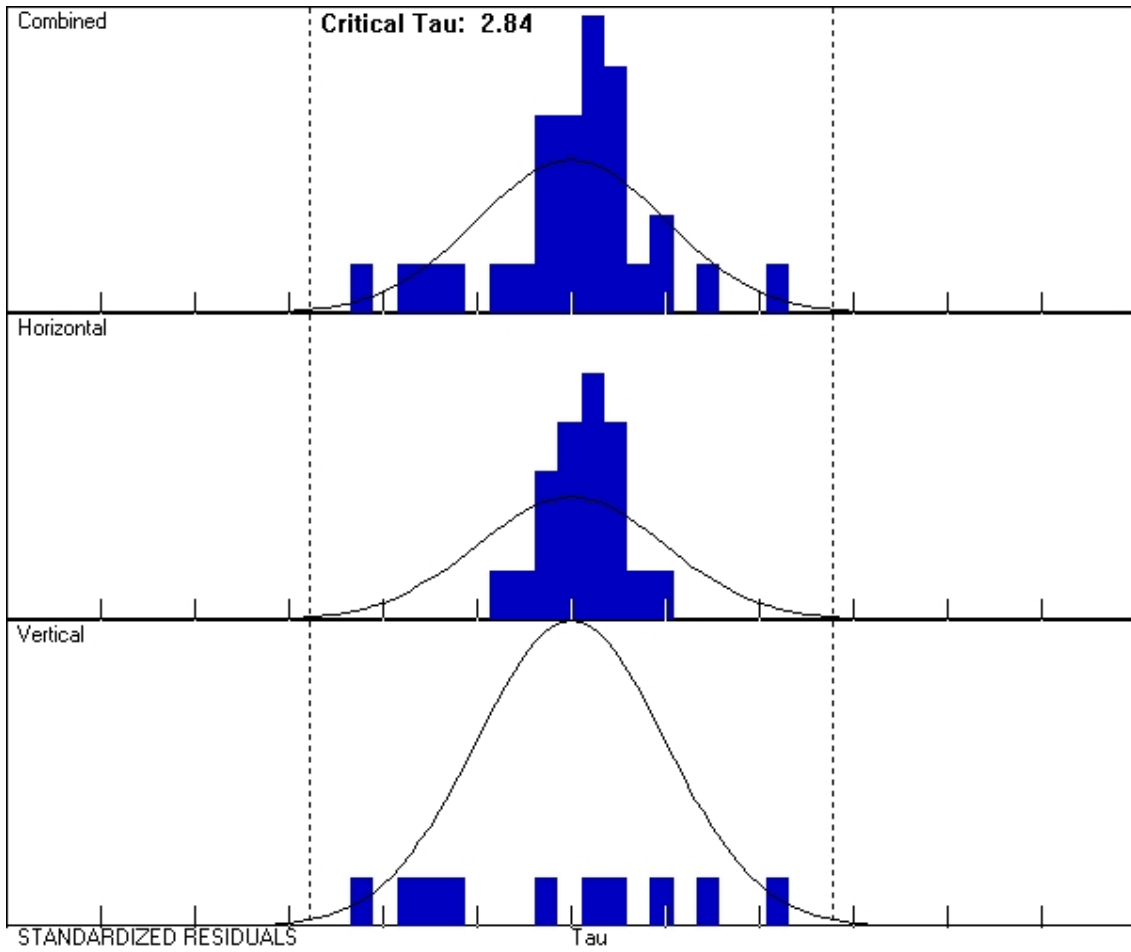
Number of Outliers : 0

Observation Adjustment (Critical Tau = 2.84). Any outliers are in **red**.

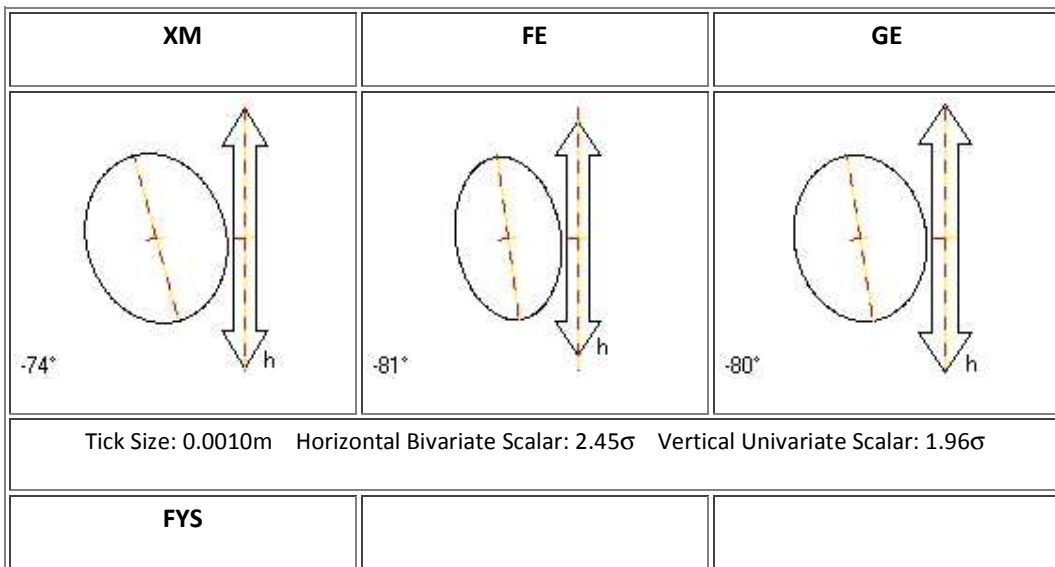
Obs. ID	From Pt.	To Pt.		Observation	A-posteriori Error (1.96 σ)	Residual	Stand. Residual
B5	FYS	GE	Az.	136°47'09.3560"	0°00'07.8132"	-0°00'00.9913"	-0.24
			Δ Ht.	12.861m	0.009m	-0.011m	-2.24
			Dist.	110.621m	0.005m	0.000m	0.09
B8	FE	GE	Az.	38°51'24.0758"	0°00'02.7301"	0°00'00.9164"	0.54
			Δ Ht.	-21.193m	0.010m	0.016m	2.17
			Dist.	349.676m	0.004m	0.001m	0.36
B6	LAMP	FYS	Az.	44°29'30.6947"	0°00'03.4158"	0°00'00.2670"	0.10
			Δ Ht.	-7.603m	0.009m	-0.009m	-1.81
			Dist.	298.545m	0.004m	0.000m	-0.10
B10	LAMP	GE	Az.	65°05'18.4746"	0°00'03.3251"	0°00'00.2022"	0.07

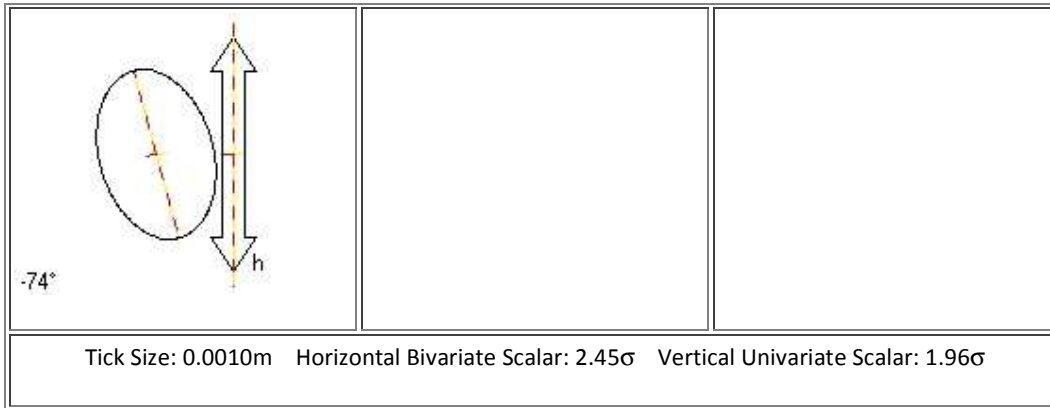
			ΔHt.	5.258m	0.010m	0.017m	1.60
			Dist.	314.203m	0.004m	0.001m	0.38
B1	LAMP	XM	Az.	79°17'58.3316"	0°00'02.1338"	0°00'00.5773"	0.34
			ΔHt.	11.513m	0.010m	-0.011m	-1.60
			Dist.	508.645m	0.004m	0.002m	0.65
B3	XM	GE	Az.	280°00'36.2429"	0°00'04.4423"	0°00'01.5737"	0.37
			ΔHt.	-6.255m	0.011m	-0.014m	-1.31
			Dist.	218.149m	0.005m	-0.003m	-0.58
B2	XM	FE	Az.	241°38'32.1744"	0°00'02.1157"	0°00'01.8201"	1.08
			ΔHt.	14.938m	0.010m	0.004m	0.56
			Dist.	493.433m	0.004m	0.001m	0.27
B9	LAMP	FE	Az.	154°53'17.2422"	0°00'04.5705"	-0°00'00.8345"	-0.29
			ΔHt.	26.451m	0.009m	0.006m	0.93
			Dist.	154.561m	0.005m	0.001m	0.43
B4	FYS	XM	Az.	112°11'29.9343"	0°00'02.9678"	0°00'01.0642"	0.55
			ΔHt.	19.116m	0.010m	0.002m	0.33
			Dist.	313.821m	0.005m	-0.002m	-0.70
B7	FYS	FE	Az.	202°08'47.2371"	0°00'02.3333"	0°00'00.6001"	0.36
			ΔHt.	34.054m	0.009m	-0.003m	-0.32
			Dist.	381.027m	0.004m	-0.001m	-0.24

Histograms of Standardized Residuals



Point Error Ellipses





Covariant Terms

Adjustment performed in **EGSA-87(GRS-80)**

From Point	To Point		Components	A-posteriori Error (1.96 σ)	Horiz. Precision (Ratio)	3D Precision (Ratio)
LAMP	XM	Az.	79°17'58.3316"	0°00'02.1338"	1:117889	1:117889
		Δ Ht.	11.513m	0.010m		
		Δ Elev.	?	?		
		Dist.	508.645m	0.004m		
LAMP	FE	Az.	154°53'17.2422"	0°00'04.5705"	1:31390	1:31390
		Δ Ht.	26.451m	0.009m		
		Δ Elev.	?	?		
		Dist.	154.561m	0.005m		
LAMP	GE	Az.	65°05'18.4746"	0°00'03.3251"	1:75477	1:75477
		Δ Ht.	5.258m	0.010m		
		Δ Elev.	?	?		

		Dist.	314.203m	0.004m		
LAMP	FYS	Az.	44°29'30.6947"	0°00'03.4158"	1:73769	1:73769
		ΔHt.	-7.603m	0.009m		
		ΔElev.	?	?		
		Dist.	298.545m	0.004m		
XM	FE	Az.	241°38'32.1744"	0°00'02.1157"	1:115189	1:115189
		ΔHt.	14.938m	0.010m		
		ΔElev.	?	?		
		Dist.	493.433m	0.004m		
XM	GE	Az.	280°00'36.2429"	0°00'04.4423"	1:44788	1:44788
		ΔHt.	-6.255m	0.011m		
		ΔElev.	?	?		
		Dist.	218.149m	0.005m		
XM	FYS	Az.	292°11'37.2598"	0°00'02.9677"	1:69106	1:69106
		ΔHt.	-19.116m	0.010m		
		ΔElev.	?	?		
		Dist.	313.821m	0.005m		
FE	GE	Az.	38°51'24.0758"	0°00'02.7301"	1:78029	1:78029
		ΔHt.	-21.193m	0.010m		
		ΔElev.	?	?		
		Dist.	349.676m	0.004m		

FE	FYS	Az.	22°08'43.6162"	0°00'02.3332"	1:86834	1:86834
		ΔHt.	-34.054m	0.009m		
		ΔElev.	?	?		
		Dist.	381.027m	0.004m		
GE	FYS	Az.	316°47'11.2655"	0°00'07.8131"	1:23939	1:23939
		ΔHt.	-12.861m	0.009m		
		ΔElev.	?	?		
		Dist.	110.621m	0.005m		

<hΛαμπ=210,860m για σύγκριση με διπλωματική 2000>

Baseline Processing Report

Project : POLYTEXNEIOPOLI

User name	sl98041	Date & Time	2:37:17 ì 20/5/2009
Coordinate System	EGSA-87(GRS-80)	Zone	EGSA-87(GRS-80)
Project Datum	EGSA-87(GRS-80)		
Vertical Datum		Geoid Model	Not selected
Coordinate Units	Meters		
Distance Units	Meters		
Height Units	Meters		

Processing Summary

ID	From	To	Baseline Length	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS
B5	FYS	GE	111.371m	L1 fixed	46.4	1.782	0.005m
B6	LAMP	FYS	298.653m	L1 fixed	47.3	1.535	0.004m
B7	FYS	FE	382.562m	L1 fixed	40.0	1.865	0.005m
B8	FE	GE	350.332m	L1 fixed	35.5	2.001	0.005m
B9	LAMP	FE	156.812m	L1 fixed	40.3	0.877	0.003m
B10	LAMP	GE	314.258m	L1 fixed	22.4	2.023	0.005m
B4	FYS	XM	314.416m	L1 fixed	49.7	1.857	0.005m
B3	XM	GE	218.250m	L1 fixed	34.6	2.016	0.005m
B2	XM	FE	493.679m	L1 fixed	43.0	1.900	0.005m
B1	LAMP	XM	508.794m	L1 fixed	18.6	1.546	0.004m

Network Adjustment Report

Adjustment Style Settings - 95% Confidence Limits

Residual Tolerances

To End Iterations : 0.000010m

Final Convergence Cutoff : 0.005000m

Covariance Display

Horizontal

Propagated Linear Error [E] : U.S.

Constant Term [C] : 0.00000000m

Scale on Linear Error [S] : 1.96

Three-Dimensional

Propagated Linear Error [E] : U.S.

Constant Term [C] : 0.00000000m

Scale on Linear Error [S] : 1.96

Elevation Errors were used in the calculations.

Adjustment Controls

Compute Correlations for Geoid : False

Horizontal and Vertical adjustment performed

Set-up Errors

GPS

Error in Height of Antenna : 0.000m

Centering Error : 0.000m

Statistical Summary

Successful Adjustment in 1 iteration(s)

Network Reference Factor : 1.00

Chi Square Test ($\alpha=95\%$) : PASS

Degrees of Freedom : 18.00

GPS Observation Statistics

Reference Factor : 1.00

Redundancy Number (r) : 18.00

Individual GPS Observation Statistics

Observation ID	Reference Factor	Redundancy Number
B1	0.95	1.96
B2	0.75	1.88
B3	0.99	1.94

B4	0.58	1.78
B5	1.29	1.55
B6	1.07	1.68
B7	0.29	1.86
B8	1.31	1.88
B9	1.03	1.48
B10	1.27	2.00

Weighting Strategies

GPS Observations

Alternative Scalar Applied to All Observations

Scalar : 7.15

Adjusted Coordinates

Adjustment performed in **EGSA-87(GRS-80)**

Number of Points : 5

Number of Constrained Points : 1

Horizontal and Height Only : 1

Adjusted Grid Coordinates

Errors are reported using 1.96σ .

Point Name	Northing	N error	Easting	E error	Elevation	e error	Fix
LAMP	4202792.110m	0.000m	480547.720m	0.000m	N/A	N/A	N E h
XM	4202885.327m	0.005m	481047.546m	0.004m	N/A	N/A	

FE	4202652.057m	0.005m	480612.955m	0.003m	N/A	N/A	
GE	4202923.728m	0.005m	480832.891m	0.004m	N/A	N/A	
FYS	4203004.495m	0.005m	480757.366m	0.004m	N/A	N/A	

Adjusted Geodetic Coordinates

Errors are reported using 1.96σ .

Point Name	Latitude	N error	Longitude	E error	Height	h error	Fix
LAMP	37°58'21.16654"N	0.000m	23°46'42.68557"E	0.000m	210.860m	0.000m	Lat Long h
XM	37°58'24.22915"N	0.005m	23°47'03.16355"E	0.004m	222.373m	0.010m	
FE	37°58'16.62737"N	0.005m	23°46'45.37303"E	0.003m	237.311m	0.009m	
GE	37°58'25.45891"N	0.005m	23°46'54.36149"E	0.004m	216.118m	0.010m	
FYS	37°58'28.07374"N	0.005m	23°46'51.25803"E	0.004m	203.257m	0.009m	

Coordinate Deltas

Point Name	Δ Northing	Δ Easting	Δ Elevation	Δ Height	Δ Geoid Separation
LAMP	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
XM	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
FE	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
GE	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
FYS	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A

Control Coordinate Comparisons

Values shown are control coord minus adjusted coord.

Point Name	ΔNorthing	ΔEasting	ΔElevation	ΔHeight
LAMP	N/A	N/A	N/A	N/A

Adjusted Observations

Adjustment performed in **EGSA-87(GRS-80)**

GPS Observations

Number of Observations : 10

Number of Outliers : 0

Observation Adjustment (Critical Tau = 2.82). Any outliers are in **red**.

Obs. ID	From Pt.	To Pt.		Observation	A-posteriori Error (1.96σ)	Residual	Stand. Residual
B5	FYS	GE	Az.	136°47'09.3636"	0°00'07.7949"	-0°00'00.9821"	-0.24
			ΔHt.	12.861m	0.009m	-0.011m	-2.24
			Dist.	110.621m	0.005m	0.000m	0.10
B8	FE	GE	Az.	38°51'24.0820"	0°00'02.7238"	0°00'00.9177"	0.54
			ΔHt.	-21.193m	0.010m	0.016m	2.18
			Dist.	349.676m	0.004m	0.001m	0.37
B6	LAMP	FYS	Az.	44°29'30.7148"	0°00'03.4074"	0°00'00.2966"	0.11
			ΔHt.	-7.603m	0.009m	-0.009m	-1.81
			Dist.	298.545m	0.004m	0.000m	-0.11
B10	LAMP	GE	Az.	65°05'18.4795"	0°00'03.3175"	0°00'00.1991"	0.07
			ΔHt.	5.258m	0.010m	0.017m	1.60

			Dist.	314.203m	0.004m	0.001m	0.37
B1	LAMP	XM	Az.	79°17'58.3247"	0°00'02.1282"	0°00'00.5726"	0.34
			ΔHt.	11.513m	0.010m	-0.011m	-1.59
			Dist.	508.645m	0.004m	0.002m	0.63
B3	XM	GE	Az.	280°00'36.2343"	0°00'04.4310"	0°00'01.5515"	0.36
			ΔHt.	-6.255m	0.011m	-0.014m	-1.31
			Dist.	218.149m	0.005m	-0.003m	-0.57
B2	XM	FE	Az.	241°38'32.1752"	0°00'02.1099"	0°00'01.8172"	1.09
			ΔHt.	14.938m	0.010m	0.004m	0.57
			Dist.	493.433m	0.004m	0.001m	0.29
B9	LAMP	FE	Az.	154°53'17.1649"	0°00'04.5592"	-0°00'00.9172"	-0.31
			ΔHt.	26.451m	0.009m	0.006m	0.94
			Dist.	154.561m	0.005m	0.001m	0.41
B4	FYS	XM	Az.	112°11'29.9311"	0°00'02.9593"	0°00'01.0640"	0.55
			ΔHt.	19.116m	0.010m	0.002m	0.34
			Dist.	313.821m	0.005m	-0.002m	-0.70
B7	FYS	FE	Az.	202°08'47.2434"	0°00'02.3277"	0°00'00.6101"	0.37
			ΔHt.	34.054m	0.009m	-0.003m	-0.31
			Dist.	381.027m	0.004m	-0.001m	-0.23

<hΛαμπ=218,635 για σύγκριση με RTK>

Baseline Processing Report

Project : POLYTEXNEIΟΥPOLI

User name sl98041 **Date & Time** 3:14:24 μμ 20/5/2009
Coordinate System EGSA-87(GRS-80) **Zone** EGSA-87(GRS-80)
Project Datum EGSA-87(GRS-80)
Vertical Datum **Geoid Model** Not selected
Coordinate Units Meters
Distance Units Meters
Height Units Meters

Processing Summary

ID	From	To	Baseline Length	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS
B5	FYS	GE	111.371m	L1 fixed	46.4	1.782	0.005m
B6	LAMP	FYS	298.653m	L1 fixed	47.4	1.535	0.004m
B7	FYS	FE	382.562m	L1 fixed	40.0	1.865	0.005m
B8	FE	GE	350.332m	L1 fixed	35.5	2.001	0.005m
B9	LAMP	FE	156.812m	L1 fixed	40.3	0.877	0.003m
B10	LAMP	GE	314.258m	L1 fixed	22.4	2.021	0.005m
B4	FYS	XM	314.416m	L1 fixed	49.7	1.857	0.005m
B3	XM	GE	218.250m	L1 fixed	34.6	2.016	0.005m
B2	XM	FE	493.679m	L1 fixed	43.0	1.900	0.005m
B1	LAMP	XM	508.794m	L1 fixed	18.6	1.548	0.004m

Network Adjustment Report

Adjustment Style Settings - 95% Confidence Limits

Residual Tolerances

To End Iterations : 0.000010m

Final Convergence Cutoff : 0.005000m

Covariance Display

Horizontal

Propagated Linear Error [E] : U.S.

Constant Term [C] : 0.00000000m

Scale on Linear Error [S] : 1.96

Three-Dimensional

Propagated Linear Error [E] : U.S.

Constant Term [C] : 0.00000000m

Scale on Linear Error [S] : 1.96

Elevation Errors were used in the calculations.

Adjustment Controls

Compute Correlations for Geoid : False

Horizontal and Vertical adjustment performed

Set-up Errors

GPS

Error in Height of Antenna : 0.000m

Centering Error : 0.000m

Statistical Summary

Successful Adjustment in 1 iteration(s)

Network Reference Factor : 1.00

Chi Square Test ($\alpha=95\%$) : PASS

Degrees of Freedom : 18.00

GPS Observation Statistics

Reference Factor : 1.00

Redundancy Number (r) : 18.00

Individual GPS Observation Statistics

Observation ID	Reference Factor	Redundancy Number
B1	0.96	1.96
B2	0.74	1.88
B3	0.99	1.94

B4	0.58	1.78
B5	1.29	1.55
B6	1.07	1.68
B7	0.29	1.86
B8	1.31	1.88
B9	1.03	1.48
B10	1.27	2.00

Weighting Strategies

GPS Observations

Alternative Scalar Applied to All Observations

Scalar : 7.16

Adjusted Coordinates

Adjustment performed in **EGSA-87(GRS-80)**

Number of Points : 5

Number of Constrained Points : 1

Horizontal and Height Only : 1

Adjusted Grid Coordinates

Errors are reported using 1.96σ .

Point Name	Northing	N error	Easting	E error	Elevation	e error	Fix
LAMP	4202792.211m	0.000m	480547.727m	0.000m	N/A	N/A	N E h
XM	4202885.428m	0.005m	481047.553m	0.004m	N/A	N/A	

FE	4202652.158m	0.005m	480612.962m	0.003m	N/A	N/A	
GE	4202923.829m	0.005m	480832.898m	0.004m	N/A	N/A	
FYS	4203004.596m	0.005m	480757.373m	0.004m	N/A	N/A	

Adjusted Geodetic Coordinates

Errors are reported using 1.96σ .

Point Name	Latitude	N error	Longitude	E error	Height	h error	Fix
LAMP	37°58'21.16982"N	0.000m	23°46'42.68585"E	0.000m	218.635m	0.000m	Lat Long h
XM	37°58'24.23243"N	0.005m	23°47'03.16382"E	0.004m	230.148m	0.010m	
FE	37°58'16.63065"N	0.005m	23°46'45.37331"E	0.003m	245.086m	0.009m	
GE	37°58'25.46219"N	0.005m	23°46'54.36177"E	0.004m	223.893m	0.010m	
FYS	37°58'28.07701"N	0.005m	23°46'51.25830"E	0.004m	211.032m	0.009m	

Coordinate Deltas

Point Name	Δ Northing	Δ Easting	Δ Elevation	Δ Height	Δ Geoid Separation
LAMP	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
XM	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
FE	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
GE	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A
FYS	0.000m	0.000m	N/A	0.000m	N/A

Control Coordinate Comparisons

Values shown are control coord minus adjusted coord.

Point Name	Δ Northing	Δ Easting	Δ Elevation	Δ Height
LAMP	N/A	N/A	N/A	N/A

Adjusted Observations

Adjustment performed in **EGSA-87(GRS-80)**

GPS Observations

Number of Observations : 10

Number of Outliers : 0

Observation Adjustment (Critical Tau = 2.84). Any outliers are in **red**.

Obs. ID	From Pt.	To Pt.		Observation	A-posteriori Error (1.96 σ)	Residual	Stand. Residual
B5	FYS	GE	Az.	136°47'09.3554"	0°00'07.8084"	-0°00'00.9903"	-0.24
			Δ Ht.	12.861m	0.009m	-0.011m	-2.24
			Dist.	110.621m	0.005m	0.000m	0.10
B8	FE	GE	Az.	38°51'24.0800"	0°00'02.7286"	0°00'00.9157"	0.53
			Δ Ht.	-21.193m	0.010m	0.016m	2.17
			Dist.	349.676m	0.004m	0.001m	0.36
B6	LAMP	FYS	Az.	44°29'30.7062"	0°00'03.4136"	0°00'00.2784"	0.10
			Δ Ht.	-7.603m	0.009m	-0.009m	-1.81
			Dist.	298.545m	0.004m	0.000m	-0.10
B10	LAMP	GE	Az.	65°05'18.4792"	0°00'03.3232"	0°00'00.2072"	0.07

			ΔHt.	5.258m	0.010m	0.017m	1.60
			Dist.	314.203m	0.004m	0.001m	0.38
B1	LAMP	XM	Az.	79°17'58.3294"	0°00'02.1322"	0°00'00.5755"	0.34
			ΔHt.	11.513m	0.010m	-0.011m	-1.60
			Dist.	508.645m	0.004m	0.002m	0.64
B3	XM	GE	Az.	280°00'36.2386"	0°00'04.4389"	0°00'01.5559"	0.36
			ΔHt.	-6.255m	0.011m	-0.014m	-1.31
			Dist.	218.149m	0.005m	-0.003m	-0.58
B2	XM	FE	Az.	241°38'32.1754"	0°00'02.1138"	0°00'01.8175"	1.08
			ΔHt.	14.938m	0.010m	0.004m	0.56
			Dist.	493.433m	0.004m	0.001m	0.28
B9	LAMP	FE	Az.	154°53'17.2057"	0°00'04.5676"	-0°00'00.8709"	-0.30
			ΔHt.	26.451m	0.009m	0.006m	0.94
			Dist.	154.561m	0.005m	0.001m	0.42
B4	FYS	XM	Az.	112°11'29.9315"	0°00'02.9647"	0°00'01.0644"	0.55
			ΔHt.	19.116m	0.010m	0.002m	0.34
			Dist.	313.821m	0.005m	-0.002m	-0.70
B7	FYS	FE	Az.	202°08'47.2404"	0°00'02.3319"	0°00'00.6072"	0.37
			ΔHt.	34.054m	0.009m	-0.003m	-0.31
			Dist.	381.027m	0.004m	-0.001m	-0.23

Διπλωματική 2008

	X ΦΥΣ	Y ΦΥΣ	Z ΦΥΣ	X ΓΕ	Y ΓΕ	Z ΓΕ	X ΧΜ	Y ΧΜ	Z ΧΜ	X ΦΕ	Y ΦΕ	Z ΦΕ	dI
A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4606894.786
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2030048.959
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3903339.797
	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4606918.896
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2030142.360
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3903284.142
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4606858.135
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2030350.357
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3903258.120
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4607175.991
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2030015.908
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3903082.537
	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24.136
	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	93.413

0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-55.633
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	281.218
0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-33.043
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-257.251
0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	60.793
0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	-207.988
0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	26.048
0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-257.098
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	126.448
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	201.603
0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	317.867
0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	-334.442
0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	-175.578
1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	36.657
0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-301.401
0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	81.680

A^T

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0

$u=A^T * dl$

4606626.089
2029687.188
3903734.361
4606746.727
2030154.233
3903456.160
4606442.818
2031194.188
3903325.970
4608032.174
2029521.975
3902448.105

$N (A^T * A)$

4	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0
0	4	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0
0	0	4	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1
-1	0	0	4	0	0	-1	0	0	-1	0	0
0	-1	0	0	4	0	0	-1	0	0	-1	0
0	0	-1	0	0	4	0	0	-1	0	0	-1
-1	0	0	-1	0	0	4	0	0	-1	0	0
0	-1	0	0	-1	0	0	4	0	0	-1	0
0	0	-1	0	0	-1	0	0	4	0	0	-1
-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	4	0	0
0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	4	0
0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	4

N⁻¹	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	A * X	4606894.779	U= A*X-dl	-0.0066
	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0		2030048.954		-0.0046
	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2		3903339.791		-0.0056
	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0		4606918.907		0.0110
	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0		2030142.363		0.0034
	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2		3903284.151		0.0092
	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0		4606858.125		-0.0098
	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0		2030350.354		-0.0026
	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2		3903258.113		-0.0068
	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0		4607175.996		0.0054
	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0		2030015.912		0.0038
	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4		3903082.54		0.0032
												24.128	-0.0084			
												93.409	-0.0040			

X=N⁻¹*u 4606894.779

X ΦΥΣ

2030048.954	Y ΦΥΣ	-55.640	-0.0072
3903339.791	Z ΦΥΣ	281.217	-0.0010
4606918.907	X ΓΕ	-33.043	0.0004
2030142.363	Y ΓΕ	-257.251	-0.0002
3903284.151	Z ΓΕ	60.782	-0.0112
4606858.125	X ΧΜ	-207.991	-0.0030
2030350.354	Y ΧΜ	26.038	-0.0100
3903258.113	Z ΧΜ	-257.089	0.0086
4607175.996	X ΦΕ	126.452	0.0036
2030015.912	Y ΦΕ	201.611	0.0080
3903082.54	Z ΦΕ	317.871	0.0042
		-334.443	-0.0006
		-175.573	0.0050
		36.654	-0.0028
		-301.4	0.0010
		81.678	-0.0018

$$U^T * U \quad \boxed{0.0011}$$

$$\sigma^0 = U^T * U / 18 \quad \boxed{0.0078}$$

$$\sigma^0^2 \quad \boxed{6.09E-05}$$

$$Vx = \sigma^0^2 * N^{A-1}$$

2.44E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0
0	2.44E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0
0	0	2.44E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05
1.22E-05	0	0	2.44E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0
0	1.22E-05	0	0	2.44E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0
0	0	1.22E-05	0	0	2.44E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05
1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	2.44E-05	0	0	1.22E-05	0	0
0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	2.44E-05	0	0	1.22E-05	0
0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	2.44E-05	0	0	1.22E-05
1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	2.44E-05	0	0
0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	2.44E-05	0
0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	1.22E-05	0	0	2.44E-05

σ_X $\Phi_{ΥΣ}$	σ_Y $\Phi_{ΥΣ}$	σ_Z $\Phi_{ΥΣ}$	σ_{XGE}	σ_{YGE}	σ_{ZGE}	σ_{XXM}	σ_{YXM}	σ_{ZXM}	σ_{XFE}	σ_{YFE}	σ_{ZFE}
0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049

Διπλωματική 2000

X Y Z X Y Z X Y Z X Y Z
 ΦΥΣ ΦΥΣ ΦΥΣ ΓΕ ΓΕ ΓΕ ΧΜ ΧΜ ΧΜ ΦΕ ΦΕ ΦΕ

dI

A

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

4606894.784
2030048.954
3903339.795
4606918.929
2030142.372
3903284.171
4606858.130
2030350.358
3903258.120
4607176.003
2030015.916
3903082.547

-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24.134
0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	93.416
0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-55.629
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	281.219
0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-33.040
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-257.248
0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	60.793
0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	-207.986
0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	26.047
0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-257.086
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	126.452
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	201.617
0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	317.871
0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	-334.444
0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	-175.573
1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	36.658
0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-301.402

0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	81.675
---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	--------

A^T

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0

$u=A^T * dl$

4606626.089
2029687.176
3903734.347
4606746.770
2030154.254
3903456.206
4606442.808
2031194.190
3903325.971
4608032.179
2029521.980
3902448.109

$N (A^T * A)$

4	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0
0	4	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0
0	0	4	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1
-1	0	0	4	0	0	-1	0	0	-1	0	0
0	-1	0	0	4	0	0	-1	0	0	-1	0
0	0	-1	0	0	4	0	0	-1	0	0	-1
-1	0	0	-1	0	0	4	0	0	-1	0	0
0	-1	0	0	-1	0	0	4	0	0	-1	0
0	0	-1	0	0	-1	0	0	4	0	0	-1
-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	4	0	0
0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	4	0
0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	4

N⁻¹

0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0
0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2
0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0
0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2
0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0
0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2
0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0
0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4

A * X

4606894.787
2030048.955
3903339.796
4606918.923
2030142.371
3903284.168
4606858.131
2030350.358
3903258.121
4607176.005
2030015.916
3903082.548
24.136
93.416
-55.628
281.218

U= A * X-dl

0.0030
0.0012
0.0010
-0.0058
-0.0012
-0.0032
0.0008
0.0000
0.0008
0.0020
0.0000
0.0014
0.0022
-0.0004
0.0008
-0.0010

X=N⁻¹*u

4606894.787
2030048.955
3903339.796

X ΦΥΣ

Y ΦΥΣ

Z ΦΥΣ

4606918.923	X ΓE	-33.039	0.0008
2030142.371	Y ΓE	-257.248	0.0004
3903284.168	Z ΓE	60.792	-0.0006
4606858.131	X XM	-207.987	-0.0012
2030350.358	Y XM	26.047	0.0000
3903258.121	Z XM	-257.082	0.0042
4607176.005	X ΦE	126.455	0.0028
2030015.916	Y ΦE	201.619	0.0024
3903082.548	Z ΦE	317.874	0.0032
		-334.442	0.0020
		-175.572	0.0006
		36.656	-0.0018
		-301.403	-0.0008
		81.675	0.0002

$$U^T * U \quad \boxed{0.0001}$$

$$\sigma^0 = U^T * U / 18 \quad \boxed{0.0026}$$

$$\sigma^0^2 \quad \boxed{6.83E-06}$$

$$Vx = \sigma^0^2 * N^{\wedge} - 1$$

2.73E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0
0	2.73E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0
0	0	2.73E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06
1.37E-06	0	0	2.73E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0
0	1.37E-06	0	0	2.73E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0
0	0	1.37E-06	0	0	2.73E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06
1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	2.73E-06	0	0	1.37E-06	0	0
0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	2.73E-06	0	0	1.37E-06	0
0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	2.73E-06	0	0	1.37E-06
1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	2.73E-06	0	0
0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	2.73E-06	0

0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	1.37E-06	0	0	2.73E-06
---	---	----------	---	---	----------	---	---	----------	---	---	----------

σ_X $\Phi_{Y\Sigma}$	σ_Y $\Phi_{Y\Sigma}$	σ_Z $\Phi_{Y\Sigma}$	σ_{XGE}	σ_{YGE}	σ_{ZGE}	σ_{XXM}	σ_{YXM}	σ_{ZXM}	$\sigma_{X\Phi E}$	$\sigma_{Y\Phi E}$	$\sigma_{Z\Phi E}$
0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017

