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

ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΒΑΘΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΕΜΠΕΣΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ

Γ.ΠΑΝΤΑΖΗΣ, Λέκτορας ΕΜΠ
Γ. ΠΗΝΙΩΤΗΣ, ΥΔ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2009

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

ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΒΑΘΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΕΜΠΕΣΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ

Γ.ΠΑΝΤΑΖΗΣ, Λέκτορας ΕΜΠ
Γ. ΠΗΝΙΩΤΗΣ, ΥΔ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2009

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Τον Λέκτορα της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, **Γεώργιο Πανταζή,** 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, **Ευαγγελία Λάμπρου,** για την βοήθειά της 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, **Γιάννη Τσουρέλη,** για την συμμετοχή του στις μετρήσεις, τους υπολογισμούς και τη συγγραφή των κειμένων, καθώς και την οικογένεια του για τη συμπαράσταση στη δουλειά μας. Ακόμη, τον ξάδερφό του, **Γιάννη Γρυπάρη,** που μας βοήθησε στις εργασίες πεδίου.

Και φυσικά τους γονείς μου, **Ελένη** και **Αθανάσιο**, καθώς και τα αδέρφια μου, **Δέσποινα** και **Γιάννη**, για την υποστήριξη και την υπομονή τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, αλλά και της φοίτησης 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) Γεώργιου 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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ..... **I**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ..... **II**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ..... **IV**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ..... **VII**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ. **1**

1.1 Γενικά 1
1.2 Περιγραφή της μεθόδου της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας 3
1.3 Ανάλυση ακρίβειας 7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ **15**

2.1 Γενικά 15
2.2 Επιλογή – Περιγραφή δικτύου 15
2.3 Εξοπλισμός 17
2.4 Εργασίες υπαίθρου 18
2.5 Σύνδεση με το χωροσταθμικό δίκτυο της Πολυτεχνειούπολης 20
2.6 Προβλήματα 21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ **23**

3.1 Υπολογισμοί 23
3.2 Συνόρθωση δικτύου 27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ **28**

4.1 Το ορθομετρικό υψόμετρο του βάθρου Λαμπαδαρίου 28
4.2 Σύγκριση υψομετρικών διαφορών πριν τη συνόρθωση 29
4.3 Σύγκριση υψομέτρων βάθρων 30
4.4 Υψόμετρο του γεωειδούς 31
4.5 Χρονοδιάγραμμα εργασιών 33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ **35**

5.1 Συμπεράσματα 35
5.2 Προτάσεις 36

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ **38**

ABSTRACT **40**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ **41**

ΠΙΝΑΚΕΣ

1.1: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±3cc και σ_D=±3mm 11
1.2: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±10cc και σ_D=±3mm 12
1.3: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±3cc και σ_D=±5mm 13
1.4: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±10cc και σ_D=±5mm 13
2.1: Ενδεικτικός χρόνος μέτρησης 19
3.1: Υψόμετρο βάθρου Λαμπαδαρίου 23
3.2: Υψομετρικές διαφορές των συνδέσεων και τα σφάλματά τους 24
3.3: Κλεισίματα βρόγχων 25
3.4: Τελικά υψόμετρα των βάθρων και αβεβαιότητες τους 27
4.1: Σύγκριση υψομετρικών διαφορών 29
4.2: Κριτήριο |ΔΕ| < σΔΕ·1.96 30
4.3: Σύγκριση τελικών υψομέτρων 30
4.4: Κριτήριο |ΔΗ| < σΔΗ·1.96 31
4.5: Υψόμετρο του γεωειδούς των κορυφών του δικτύου 32
4.6: Σχετικό υψόμετρο γεωειδούς των συνδέσεων 33

ΣΧΗΜΑΤΑ

1.1: Γεωμετρική Χωροστάθμηση 1
1.2: Τριγωνομετρική Υψομετρία 2
1.3: Σχηματική παράσταση της ΤΡΥΑ με μία ενδιάμεση στάση οργάνου. 4
1.4: Σχηματική παράσταση της ΤΡΥΑ με περισσότερες από δύο στάσεις. 6
1.5: Η επίδραση του κατασκευαστικού ύψους μεταξύ γεωδαιτικού σταθμού και γωνιομετρικού στόχου στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς. 10
2.1: Μορφή του δικτύου 16
2.2 Σκόπευση προς την υψομετρική αφετηρία 21
3.2: Σφάλματα κλεισιμάτων στο δίκτυο 26
4.1: Το υψόμετρο του γεωειδούς 32

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

2.1: Δορυφορική απεικόνιση του δικτύου 17
2.2: Ο γεωδαιτικός σταθμός TCR303..... 18

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

1.1: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±3cc και σ_D=±3mm 12
1.2: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±10cc και σ_D=±3mm 12
1.3: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±3cc και σ_D=±5mm 13
1.4: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±10cc και σ_D=±5mm 14
4.1: Ο χρόνος σε ώρες που χρειάστηκε για την εκτέλεση κάθε εργασίας34

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόζεται η μέθοδος της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας (ΤΡΥΑ), για τη μέτρηση του δικτύου κατακόρυφου ελέγχου που έχει κορυφές τα βάθρα που βρίσκονται στις ταράτσες κάποιων από τα κτίρια της Πολυτεχνειούπολης.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος ΤΡΥΑ, και γίνεται σύγκρισή της με παλιότερες μεθόδους σε επίπεδο χρηστικότητας και σφαλμάτων.

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.

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

ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

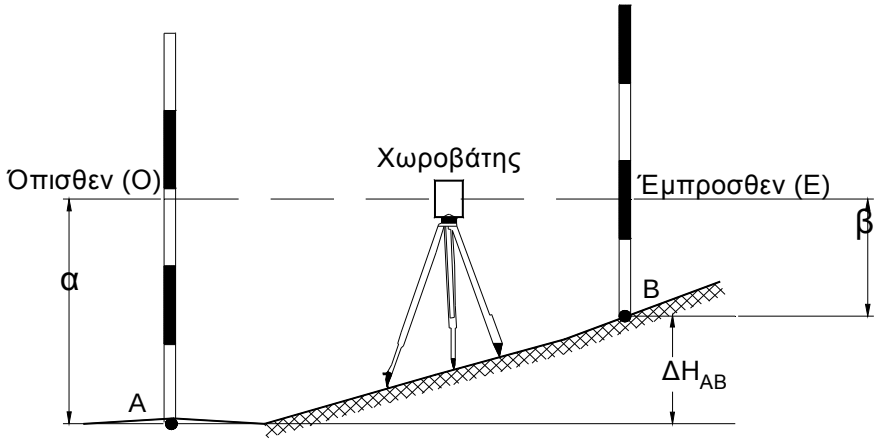
1.1 Γενικά

Το ορθομετρικό υψόμετρο ενός τυχαίου σημείου μπορεί να προσδιοριστεί αν υπολογιστεί με άμεσο ή έμμεσο τρόπο η ορθομετρική υψομετρική διαφορά ΔΗ μεταξύ του σημείου αυτού και κάποιου άλλου, που το υψόμετρο του είναι γνωστό. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων μπορεί να προσδιοριστεί με τις παρακάτω επίγειες μεθόδους:

- **Γεωμετρική Χωροστάθμηση**

Είναι άμεση μέθοδος προσδιορισμού ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών. Το βασικό όργανο που χρησιμοποιεί ονομάζεται χωροβάτης και ως βοηθητικό όργανο χρησιμοποιείται ο χωροσταθμικός πήχης (σταδία).

Στα σημεία Α και Β, όπου ζητείται να προσδιοριστεί η υψομετρική τους διαφορά ΔH_{AB}, τοποθετούνται κατακόρυφα δύο σταδίες. Σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο τοποθετείται ο χωροβάτης που σκοπεύει πρώτα τη σταδία στο σημείο Α και έπειτα τη σταδία στο σημείο Β. Η διαφορά των αναγνώσεων στις σταδίες δίνει άμεσα την υψομετρική διαφορά ΔH_{AB} (σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Γεωμετρική Χωροστάθμηση

Η γεωμετρική χωροστάθμηση είναι η ακριβέστερη μέθοδος προσδιορισμού ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών. Παρέχει ακρίβεια που κυμαίνεται από ±1cm έως και ±0.2 – 0.5 mm ανά χιλιόμετρο.

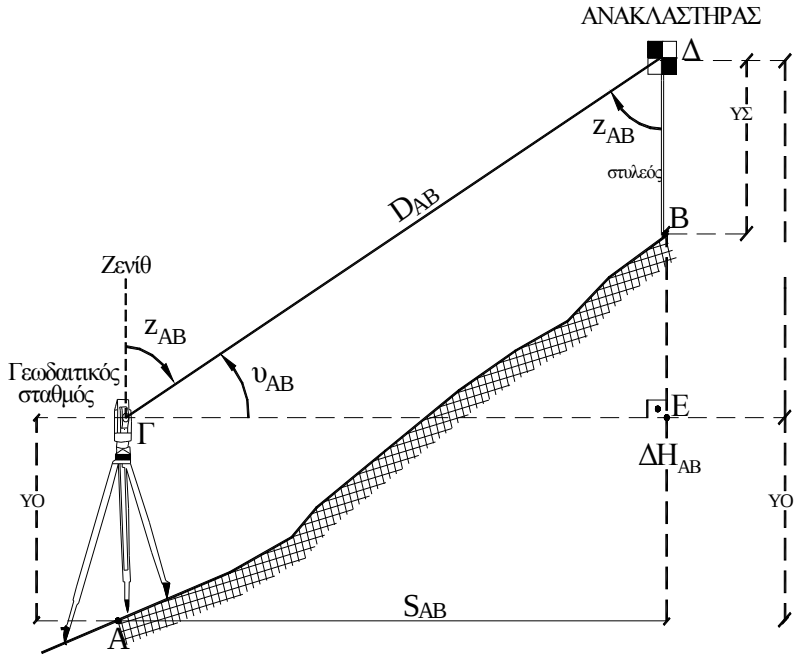
- **Τριγωνομετρική υψομετρία**

Είναι μέθοδος έμμεσου προσδιορισμού ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών. Χρησιμοποιούνται ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (total stations) που έχουν τη δυνατότητα να μετρούν μήκη και γωνίες.

Για τον υπολογισμό της ορθομετρικής υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων Α και Β πρέπει να μετρηθούν:

- Η ζενίθια γωνία z
- Το μήκος D
- Το ύψος οργάνου ΥΟ
- Το ύψος σκόπευσης ΥΣ

Από το σημείο Α που βρίσκεται το όργανο μετράται η ζενίθια γωνία z_{AB} προς το στόχο που βρίσκεται τοποθετημένος στο σημείο Β και το μήκος D_{AB}. Επίσης μετράται το ύψος οργάνου και στόχου στα σημεία Α, Β αντίστοιχα (σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Τριγωνομετρική Υψομετρία

Η υψομετρική διαφορά ΔH_{AB} δίνεται από την σχέση:

$$\Delta H_{AB} = D \cdot \cos z + (YO - Y\Sigma) + (1-\kappa)\frac{D_{AB}^2}{2R} \cdot \sin^2 z_{AB}$$

Με χρήση των σύγχρονων total stations και ειδικών διαδικασιών μέτρησης, στην τριγωνομετρική υψομετρία, είναι δυνατόν να επιτευχθεί ακρίβεια λίγων εκατοστών.

- **Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία (ΕΤΥ)**

Η ΕΤΥ βασίζεται στο συνδυασμό της τριγωνομετρικής υψομετρίας με τη γεωμετρική χωροστάθμηση και μπορεί να εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών σε μορφολογίες έντονης κλίσης καθώς και σε υψομετρικές συνδέσεις μεταξύ σημείων που τα χωρίζει κάποιο φυσικό εμπόδιο. Είναι ικανή να παράγει ακρίβειες καλύτερες από 1cm. Οι διαδικασίες που ακολουθούνται για τις μετρήσεις με ΕΤΥ είναι αντίστοιχες με αυτές που ακολουθούνται στην **Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας (ΤΡΥΑ)**, η οποία αποτελεί το κεντρικό θέμα της παρούσας διπλωματικής και αναλύεται πλήρως παρακάτω.

1.2 Περιγραφή της μεθόδου της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας

Για την μέτρηση του υψομετρικού δικτύου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας (ΤΡΥΑ), η οποία αποτελεί μία ειδική εφαρμογή της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας.

Η ΤΡΥΑ μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο μεταξύ υψομετρικών αφετηριών αλλά και μεταξύ οποιονδήποτε άλλων σημείων, προσιτών ή απρόσιτων. Αυτό είναι εφικτό μέσω της χρήσης σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών που έχουν τη δυνατότητα να μετρούν μήκη και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (reflectorless). Έτσι είναι δυνατή η υψομετρική σύνδεση σημείων που τα χωρίζει κάποιο φυσικό η τεχνητό εμπόδιο (θάλασσα, ποτάμι, δρόμοι, κατασκευές).

Πιο συγκεκριμένα, με την εφαρμογή της ΤΡΥΑ προσδιορίζονται υψομετρικές διαφορές από άμεσες μετρήσεις μηκών (D) και ζενίθιων γωνιών (z).

Στην απλή περίπτωση που τα σημεία μεταξύ των οποίων ζητείται η υψομετρική διαφορά Α,Β είναι και τα δύο ορατά από κάποια θέση εγκατάστασης του γεωδαιτικού σταθμού και σε σχετικά μικρή απόσταση από αυτόν, η ΤΡΥΑ μπορεί να εφαρμοστεί με μία μόνο ενδιάμεση στάση

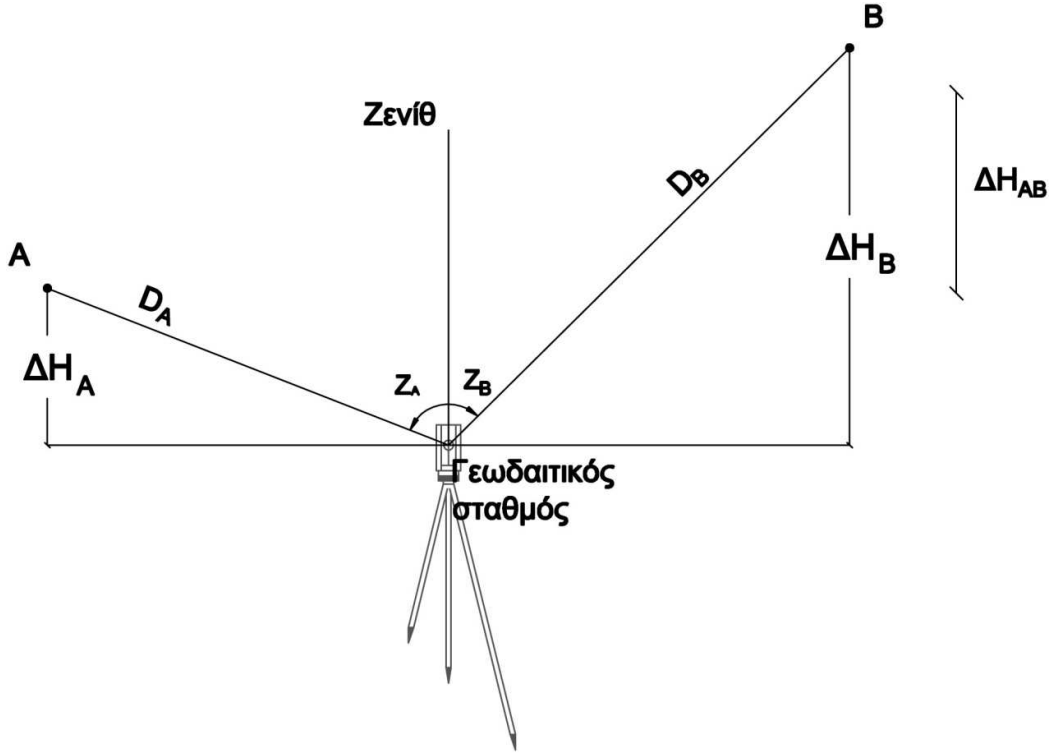
οργάνου. Μετρώνται έτσι οι ζενίθιες γωνίες z_A, z_B και τα μήκη D_A, D_B και στη συνέχεια υπολογίζεται η υψομετρική διαφορά ΔH_{AB} μεταξύ των σημείων Α, Β σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A \qquad (1.1)$$

όπου

$$\Delta H_A = \cos z_A \cdot D_A + (1-\kappa)\cdot\left(\frac{D_A^2}{2R}\right)\cdot \sin^2 z_A \qquad (1.2)$$

$$\Delta H_B = \cos z_B \cdot D_B + (1-\kappa)\cdot\left(\frac{D_B^2}{2R}\right)\cdot \sin^2 z_B \qquad (1.3)$$



Σχήμα 1.3: Σχηματική παράσταση της ΤΡΥΑ με μία ενδιάμεση στάση οργάνου.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει αμοιβαία ορατότητα των δύο σημείων από κάποια προσιτή θέση ή η μεταξύ τους απόσταση είναι μεγάλη, χρησιμοποιείται η μέθοδος των τριών τριπόδων. Η διαδικασία που ακολουθείται (σχήμα 1.2) έχει ως εξής:

Αρχικά ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετείται στον τρίποδα T_1 και σκοπεύει το σημείο Α μετρώντας το μήκος D_A και την ζενίθια γωνία z_A (σχήμα 1.2α).

Ακολούθως σκοπεύεται ο στόχος στον τρίποδα T_2 και μετράται το μήκος D_{12} και η ζενίθια γωνία z_{12}.

Στη συνέχεια, αλλάζουν θέση ο γωνιομετρικός στόχος και ο γεωδαιτικός σταθμός με τα τρικόχλια τους να παραμένουν στην θέση τους, έτσι ώστε να μην επέλθει καμία μεταβολή στη θέση του κάθε συστήματος.

Κατόπιν, ο γεωδαιτικός σταθμός που έχει τοποθετηθεί στον τρίποδα T_2 (σχήμα 1.2β), μετρά το μήκος D_{21} και τη ζενίθια γωνία z_{21} στοχεύοντας τον στόχο στον τρίποδα T_1.

Ύστερα, μετράται αντίστοιχα το μήκος D_{23} και η ζενίθια γωνία z_{23} προς τον στόχο στον τρίποδα T_3..

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όσες ενδιάμεσες στάσεις είναι απαραίτητες για την εκάστοτε μέτρηση ώστε τελικά να σκοπευθεί από τον τρίποδα T_n το σημείο Β (σχήμα 1.2δ).

Στην περίπτωση που χρειάζονται μόνο δύο ενδιάμεσες στάσεις, απλά στοχεύεται από τον τρίποδα T_2 το σημείο Β.

Η υψομετρική διαφορά ΔH_{AB} μεταξύ των δύο σημείων προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A + \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\Delta H_{ij(\mu\varepsilon\tau\alpha\beta\alpha\sigma\eta)} - \Delta H_{ij(\varepsilon\pi\iota\sigma\tau\rho o\varphi\eta)}}{2}\right) \qquad (1.4)$$

όπου

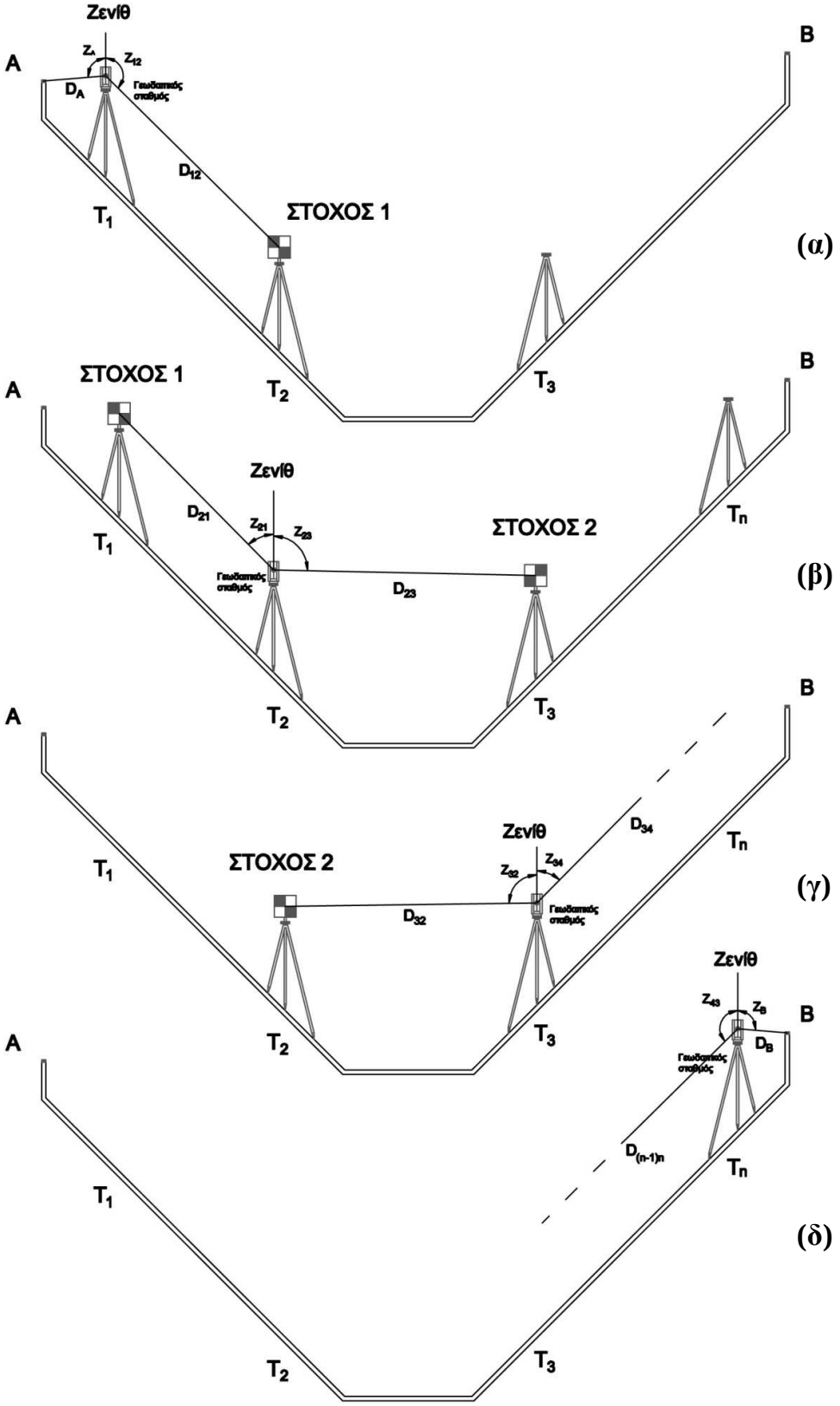
$$\Delta H_{ij} = \cos z_{ij} \cdot D_{ij} + (1-\kappa)\cdot\left(\frac{D_{ij}^2}{2R}\right)\cdot \sin^2 z_{ij} \qquad (1.5)$$

$$\Delta H_{ji} = \cos z_{ji} \cdot D_{ji} + (1-\kappa)\cdot\left(\frac{D_{ji}^2}{2R}\right)\cdot \sin^2 z_{ji} \qquad (1.6)$$

Οι υψομετρικές διαφορές ΔH_A, ΔH_B δίνονται από τις σχέσεις 1.2, 1.3 αντίστοιχα.

Για την εφαρμογή της ΤΡΥΑ με περισσότερες από δύο στάσεις είναι απαραίτητος ο ακόλουθος εξοπλισμός:

- Ένας γεωδαιτικός σταθμός με δυνατότητα μέτρησης μήκους και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (reflectorless).
- Δύο συστήματα γωνιομετρικού στόχου (στόχος, στυλεός, τρικόχλιο) ή ανακλαστήρα (ανακλαστήρας, στυλεός, τρικόχλιο).
- Τρεις τρίποδες.



Σχήμα 1.4: Σχηματική παράσταση της ΤΡΥΑ με περισσότερες από δύο στάσεις.

Στην ειδική περίπτωση όπου πραγματοποιείται μία μόνο στάση οργάνου τότε απαιτείται μόνο ο γεωδαιτικός σταθμός και ένας τρίποδας.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος ΤΡΥΑ είναι τα εξής:

- Η δυνατότητα σκόπευσης χωρίς ανακλαστήρα επιτρέπει τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών μεταξύ προσιτών ή απρόσιτων σημείων με ικανοποιητική ακρίβεια.
- Καθίσταται δυνατή η σύνδεση μεταξύ σημείων σε ιδιαίτερες θέσεις (ανοίγματα, έντονες κλίσεις, κατασκευές) σε περιοχές έντονου ανάγλυφου ή μεγάλης απόστασης.
- Παρουσιάζει ταχύτητα και ευελιξία λόγω της ανεξαρτησίας των ενδιάμεσων θέσεων των τριπόδων και της φυσικής διαδρομής που θα ακολουθηθεί.
- Είναι απαλλαγμένη από τα σφάλματα μέτρησης υψών οργάνου και στόχων, αφού δεν συμμετέχουν στους υπολογισμούς.
- Λόγω αμοιβαίων μετρήσεων μετάβασης και επιστροφής, η προσδιοριζόμενη υψομετρική διαφορά προκύπτει ως μέσος όρος και επομένως είναι ανεξάρτητη της καμπυλότητας της γης.
- Επειδή πρακτικά οι αμοιβαίες αυτές μετρήσεις γίνονται σε μικρό χρονικό διάστημα, μπορεί να θεωρηθεί πως η τιμή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης κ παραμένει σταθερή και επομένως η προσδιοριζόμενη υψομετρική διαφορά που προκύπτει ως μέσος όρος των δύο τιμών, είναι ανεξάρτητη του κ.
- Δεν επηρεάζεται από τυχόν διαφορά μεταξύ κατασκευαστικού ύψους του γεωδαιτικού σταθμού και του γωνιομετρικού στόχου ή ανακλαστήρα.

1.3 Ανάλυση ακρίβειας

Η ακρίβεια της μεθόδου ΤΡΥΑ εξαρτάται από:

- Την αβεβαιότητα μέτρησης του μήκους.
- Την αβεβαιότητα μέτρησης της ζενίθιας γωνίας.
- Τη μεταβολή της τιμής του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης κ κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Ενώ είναι ανεξάρτητη από:

- Την τιμή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης κ.
- Την καμπυλότητα της γης.
- Την αβεβαιότητα μέτρησης των υψών οργάνου και στόχου τα οποία δεν χρειάζεται να μετρηθούν.

- **Επίδραση της αβεβαιότητας μέτρησης του μήκους**

Το σφάλμα προσδιορισμού της υψομετρικής διαφοράς λόγω αβεβαιότητας στη μέτρηση του μήκους D, προκύπτει από το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων ότι είναι:

$$\sigma_{\Delta H_D} = \pm\sqrt{\cos^2 z + ((1-\kappa)\frac{D\sin^2 z}{R})^2}\,\sigma_D \approx \pm\cos z \cdot \sigma_D \qquad (1.7)$$

αφού ο όρος $((1-\kappa)\frac{D\sin^2 z}{R})^2$ είναι της τάξης του 10^{-10} m και άρα πάντα αμελητέος.

- **Επίδραση της αβεβαιότητας μέτρησης της ζενίθιας γωνίας**

Το σφάλμα προσδιορισμού της υψομετρικής διαφοράς λόγω αβεβαιότητας στη μέτρηση της ζενίθιας γωνίας z, προκύπτει από το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων ότι είναι:

$$\sigma_{\Delta H(z)} = \pm\sqrt{(D\sin z)^2 + ((1-\kappa)\frac{D^2\sin 2z}{2R})^2}\cdot\sigma_z \approx \pm D\cdot\sin z\cdot\sigma_z \qquad (1.8)$$

αφού ο όρος $((1-\kappa)\frac{D^2\sin 2z}{2R})^2$ είναι της τάξης του 10^{-4} m και άρα σχεδόν αμελητέος.

- **Επίδραση της μεταβολής του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης κ**

Στην ειδική περίπτωση όπου η υψομετρική διαφορά προκύπτει με μετρήσεις από μία μόνο στάση οργάνου, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι μετρήσεις προς τα σημεία A και B ολοκληρώνονται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και επομένως ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης κ δεν μεταβάλλεται. Έτσι αν τα μήκη D_A, D_B και οι ζενίθιες γωνίες z_A, z_B είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, ο όρος $\frac{\kappa\cdot D^2\cdot\sin^2 z}{2R}$ απαλείφεται από την τελική υψομετρική διαφορά, αφού βρίσκεται και στις δύο υψομετρικές διαφορές που αφαιρούνται.

Στην γενική περίπτωση εφαρμογής της ΤΡΥΑ με n ενδιάμεσες στάσεις, κάθε επιμέρους υψομετρική διαφορά προσδιορίζεται ως μέσος όρος μεταξύ μετάβασης και επιστροφής.

Θεωρώντας ότι κατά τη διάρκεια των δύο αυτών μετρήσεων, η τιμή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης παραμένει σταθερή, τότε ο όρος $-\frac{\kappa \cdot D \cdot \sin^2 z}{2R}$ εξαλείφεται κατά τον υπολογισμό του κάθε μέσου όρου και επομένως η τελική τιμή της υψομετρικής διαφοράς είναι απαλλαγμένη από τη διόρθωση λόγω διάθλασης.

Στην περίπτωση που δεν παραμένει σταθερή η τιμή του κ, υπεισέρχεται ένα σφάλμα στην προσδιοριζόμενη υψομετρική διαφορά που εξαρτάται από τη μεταβολή δ_κ του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης.

- **Επίδραση της καμπυλότητας της γης**

Στην ειδική περίπτωση ΤΡΥΑ με μία μόνο ενδιάμεση στάση οργάνου, η επίδραση λόγω καμπυλότητας της γης εξαλείφεται από την τελική υψομετρική διαφορά αν τα μήκη και οι ζενίθιες γωνίες είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, ενώ για μήκη μέχρι 50m η επίδραση του είναι αμελητέα.

Στην γενικότερη περίπτωση με n ενδιάμεσες στάσεις ισχύει ότι:

- Για αποστάσεις απευθείας σκοπεύσεων 20m-30m προς το αρχικό και τελικό σημείο A,B, η επίδραση της καμπυλότητας της γης στην τιμή της υψομετρικής διαφοράς είναι αμελητέα.
- Ο όρος της διόρθωσης λόγω καμπυλότητας της γης $\frac{D^2 \cdot \sin^2 z}{2R}$ περιλαμβάνεται σε κάθε αλληλοαφαιρούμενη, υψομετρική διαφορά μετάβασης και επιστροφής και επομένως εξαλείφεται

Η τελική λοιπόν υψομετρική διαφορά είναι απαλλαγμένη από την επίδραση της καμπυλότητας της γης.

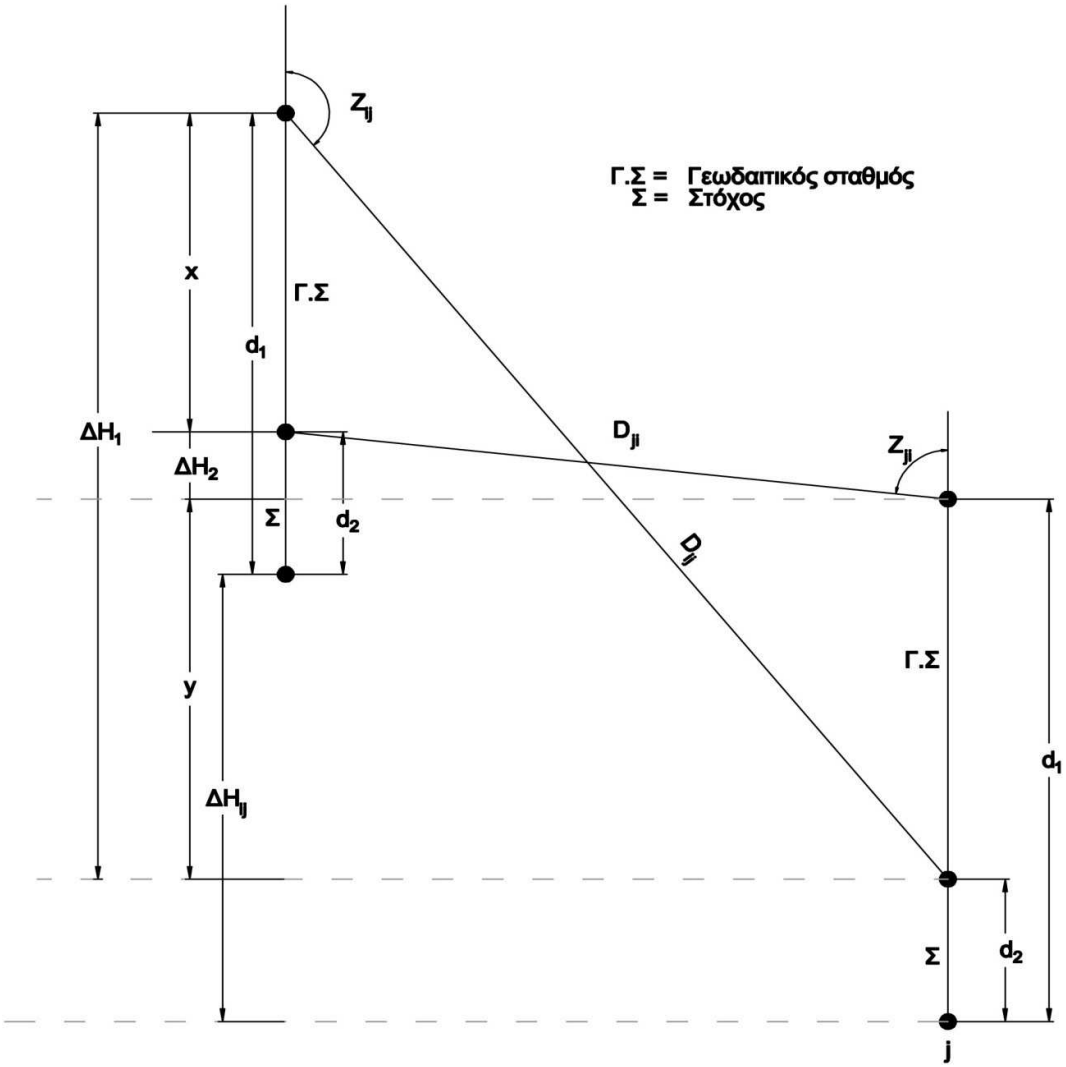
- **Επίδραση της αβεβαιότητας μέτρησης των υψών οργάνου και στόχου**

Στην ΤΡΥΑ οι επιμέρους υψομετρικές διαφορές ΔH_{ij} που υπολογίζονται, αναφέρονται μεταξύ του κέντρου του γεωδαιτικού σταθμού και του κέντρου του γωνιομετρικού στόχου ή ανακλαστήρα αντίστοιχα (είναι ίσες με τις αντίστοιχες μεταξύ των επιφανειών έδρασης των τρικοχλίων τους). Είναι σαφές λοιπόν ότι η ΤΡΥΑ είναι ανεξάρτητη της μέτρησης του ύψους οργάνου και στόχου τα οποία δεν απαιτείται να μετρηθούν.

Στην περίπτωση που το κατασκευαστικό ύψος d_1 του γεωδαιτικού σταθμού και d_2 του γωνιομετρικού στόχου είναι ίσα, οι ζενίθιες γωνίες που μετρούνται σε μετάβαση και επιστροφή είναι παραπληρωματικές και συνεπώς οι υψομετρικές διαφορές ΔH_{ij} και ΔH_{ji} είναι ίσες κατά απόλυτη τιμή.

Στην περίπτωση που τα κατασκευαστικά ύψη διαφέρουν, οι υψομετρικές διαφορές ΔH_{ij} και ΔH_{ji} δεν είναι ίσες και προκύπτει από τη σχέση 1.9 (σχήμα 1.3):

$$|\Delta H_1| - |\Delta H_2| = x+y = (d_1-d_2)+(d_1-d_2) = 2(d_1-d_2) \qquad (1.9)$$



Σχήμα 1.5: Η επίδραση του κατασκευαστικού ύψους μεταξύ γεωδαιτικού σταθμού και γωνιομετρικού στόχου στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς.

Κατά τον υπολογισμό όμως της τελικής υψομετρικής διαφοράς, η διαφορά αυτή εξαλείφεται με τον υπολογισμό του μέσου όρου των τιμών μετάβασης και επιστροφής. Η σύγκριση όμως των επιμέρους υψομετρικών διαφορών μετάβασης και επιστροφής είναι απαραίτητη επειδή αποτελεί έλεγχο ορθότητας των μετρήσεων. [Λάμπρου 2007]

Επίσης, το σφάλμα λόγω μεταβολής της απόκλισης της κατακορύφου είναι αμελητέο. Ενδεικτικά για αποστάσεις μέχρι 1000m η διόρθωση της ζενίθιας γωνίας θα είναι της τάξης των 3^{cc}.

- **Τελική ακρίβεια**

Η τελική ακρίβεια προσδιορισμού της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων Α, Β με n ενδιάμεσες στάσεις με την ΤΡΥΑ είναι:

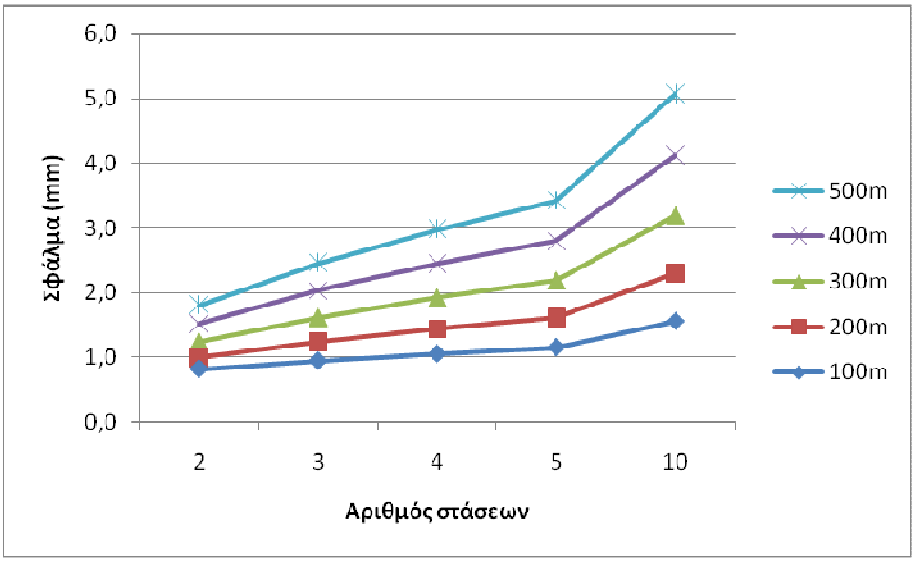
$$\sigma_{\Delta H_{AB}} = \pm\sqrt{2\cdot\sigma^2_{\Delta H_A} + (n-1)\frac{\sigma^2_{\Delta Hij}}{2}} \qquad (1.10)$$

όπου $\sigma_{\Delta HA}$ είναι το σφάλμα από τη σκόπευση με reflectorless λειτουργία στα σημεία Α και Β και $\sigma_{\Delta Hij}$ το σφάλμα των επιμέρους υψομετρικών διαφορών στις ενδιάμεσες στάσεις. Τα σφάλματα αυτά υπολογίζονται με νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση ΔH=Dcosz, από τον τύπο $\sigma_{\Delta H} = \sqrt{(D\cdot\sin z)^2\cdot\sigma_z^2 + (\cos z)^2\cdot\sigma_D^2}$. Αν θεωρηθεί ότι έγιναν n=4 στάσεις και αν $\sigma_{\Delta HA}$=±0.5mm (για μήκος 20m και ζενίθια γωνία 90^g ή 110^g) και $\sigma_{\Delta Hij}$=±1.1mm (για μήκος 200m και ζενίθια γωνία 90^g ή 110^g), τότε η ακρίβεια προσδιορισμού της υψομετρικής διαφοράς είναι ίση με ±1.5mm.

Στη συνέχεια παρατίθενται πίνακες και αντίστοιχα διαγράμματα όπου, για συγκεκριμένα σ_z και σ_D, δίνεται το αναμενόμενο σφάλμα της τελικής υψομετρικής διαφοράς, ανάλογα με τον αριθμό των στάσεων n και την σκόπευση D σε κάθε στάση.

D/n	2	3	4	5	10
100	0.8	0.9	1.1	1.2	1.6
200	1.0	1.2	1.4	1.6	2.3
300	1.2	1.6	1.9	2.2	3.2
400	1.5	2.0	2.4	2.8	4.1
500	1.8	2.5	3.0	3.4	5.1

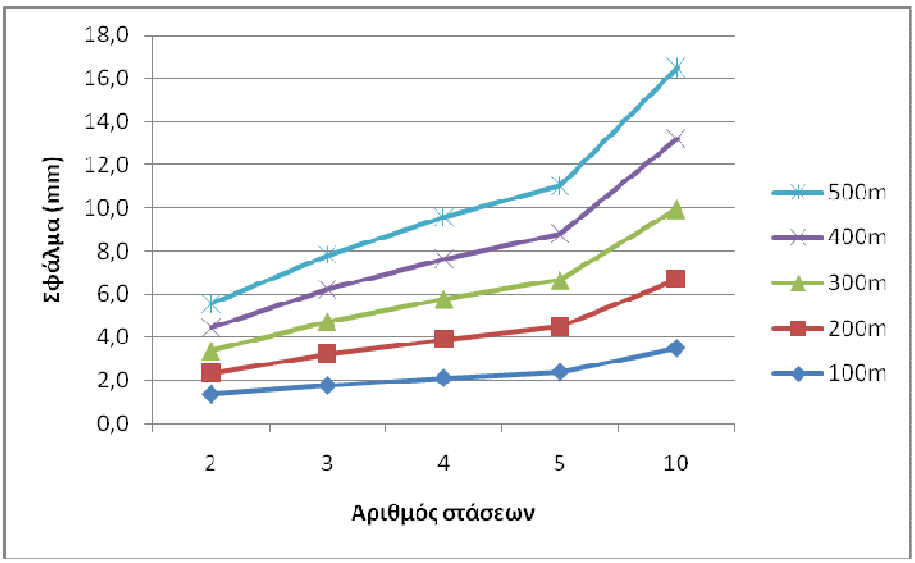
Πίνακας 1.1: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±3cc και σ_D=±3mm



Διάγραμμα 1.1: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±3cc και σ_D=±3mm

D/n	2	3	4	5	10
100	1.4	1.8	2.1	2.4	3.5
200	2.4	3.2	3.9	4.5	6.7
300	3.4	4.7	5.8	6.7	10.0
400	4.5	6.3	7.7	8.8	13.2
500	5.6	7.8	9.6	11.0	16.5

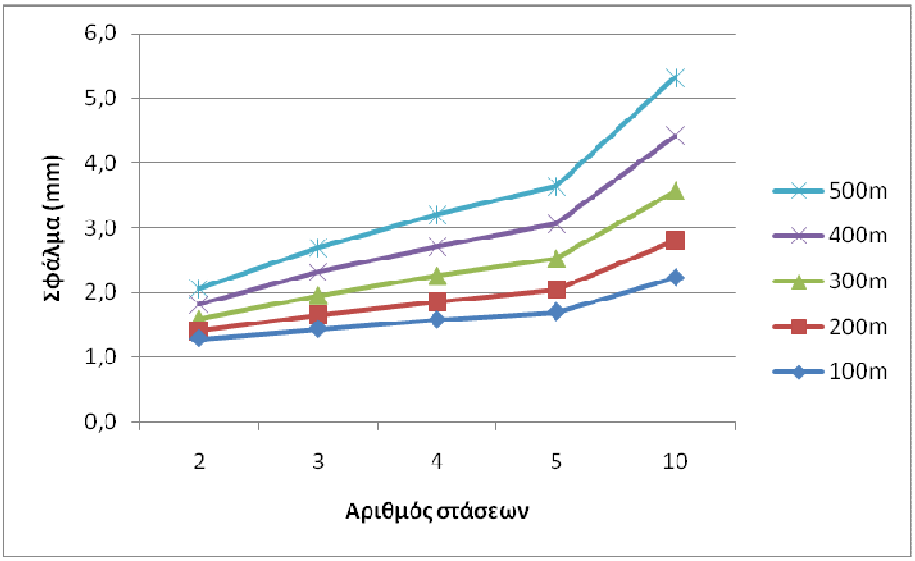
Πίνακας 1.2: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±10cc και σ_D=±3mm



Διάγραμμα 1.2: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±10cc και σ_D=±3mm

D/n	2	3	4	5	10
100	1,3	1,4	1,6	1,7	2,2
200	1,4	1,6	1,9	2,0	2,8
300	1,6	2,0	2,3	2,5	3,6
400	1,8	2,3	2,7	3,1	4,4
500	2,1	2,7	3,2	3,6	5,3

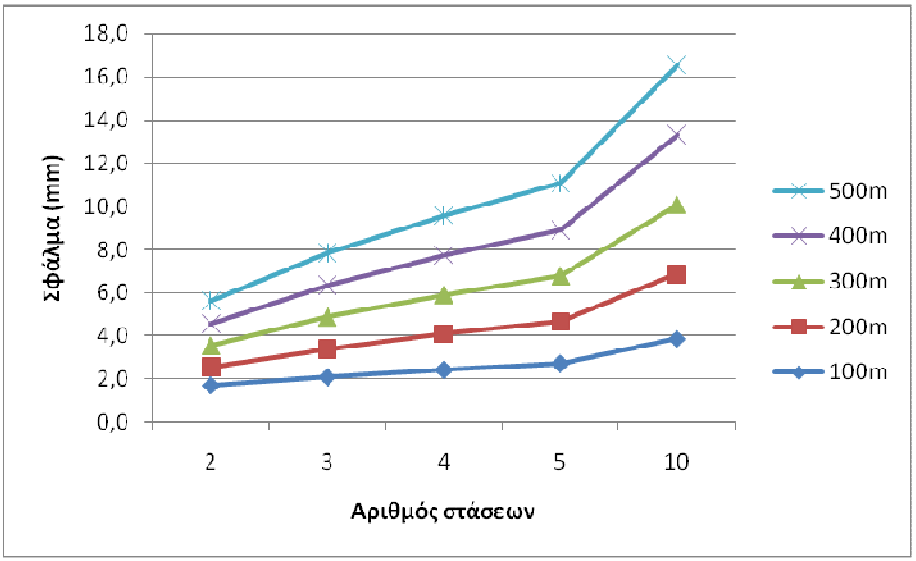
Πίνακας 1.3: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σz=±3cc και σD=±5mm



Διάγραμμα 1.3: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σ_z=±3cc και σ_D=±5mm

D/n	2	3	4	5	10
100	1,7	2,1	2,4	2,7	3,9
200	2,6	3,4	4,1	4,7	6,9
300	3,5	4,9	5,9	6,8	10,1
400	4,6	6,4	7,8	8,9	13,3
500	5,6	7,9	9,6	11,1	16,6

Πίνακας 1.4: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σz=±10cc και σD=±5mm



Διάγραμμα 1.4: A-priori εκτίμηση σφάλματος για σz=±10cc και σD=±5mm

Από τα 4 παραπάνω διαγράμματα, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την ακρίβεια της μεθόδου.

Το σφάλμα της τελικής υψομετρικής διαφοράς αυξάνεται όσο χρησιμοποιούνται περισσότερες στάσεις και όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των στάσεων αυτών.

Παρατηρείται, όμως, πως αυξάνεται περισσότερο η τελική ακρίβεια, όταν αυξηθεί η ακρίβεια της μέτρησης γωνίας, ενώ η αύξηση της ακρίβειας μέτρησης της απόστασης, δεν επιφέρει αντίστοιχη βελτίωση στο τελικό αποτέλεσμα.

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 ως σημεία ελέγχου για μελλοντικές εργασίες.

Τα δίκτυα χωρίζονται σε:

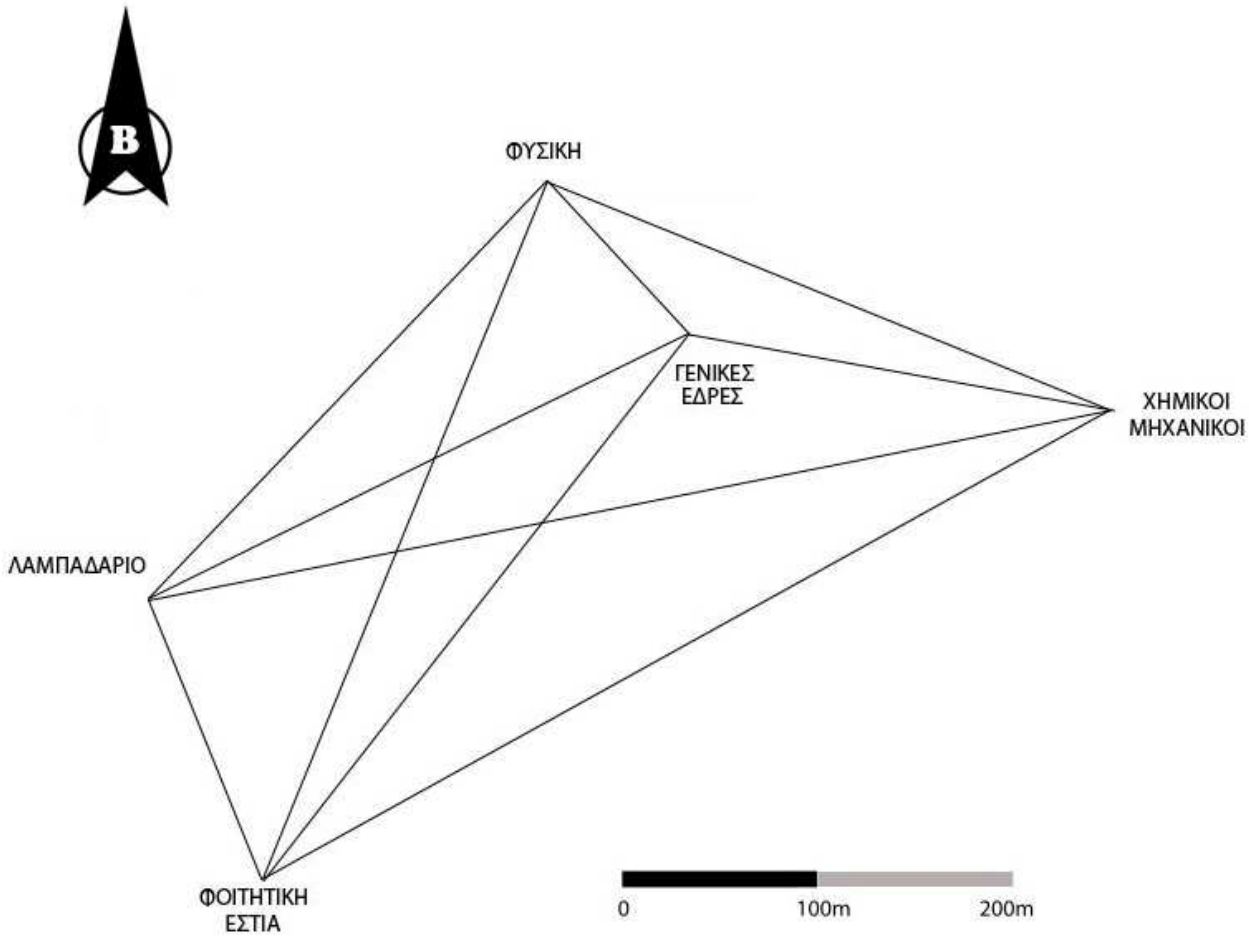
- Δίκτυα οριζοντίου ελέγχου, όπου προσδιορίζονται οι θέσεις των προβολών των κορυφών σε μια επιφάνεια αναφοράς (ελλειψοειδές, σφαίρα, επίπεδο). Στα δίκτυα αυτά οι συντεταγμένες υπολογίζονται σε διδιάστατο χώρο.
- Δίκτυα κατακορύφου ελέγχου ή χωροσταθμικά, όπου προσδιορίζονται οι αποστάσεις των σημείων (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 τρισορθογώνιο καρτεσιανό σύστημα αναφοράς (γεωκεντρικό ή τοποκεντρικό). [Μπαλοδήμος κ.α. 2006]

Το δίκτυο το οποίο μετρήθηκε στην εργασία αυτή με τη μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας (ΤΡΥΑ) επιλύθηκε ως δίκτυο κατακορύφου ελέγχου.

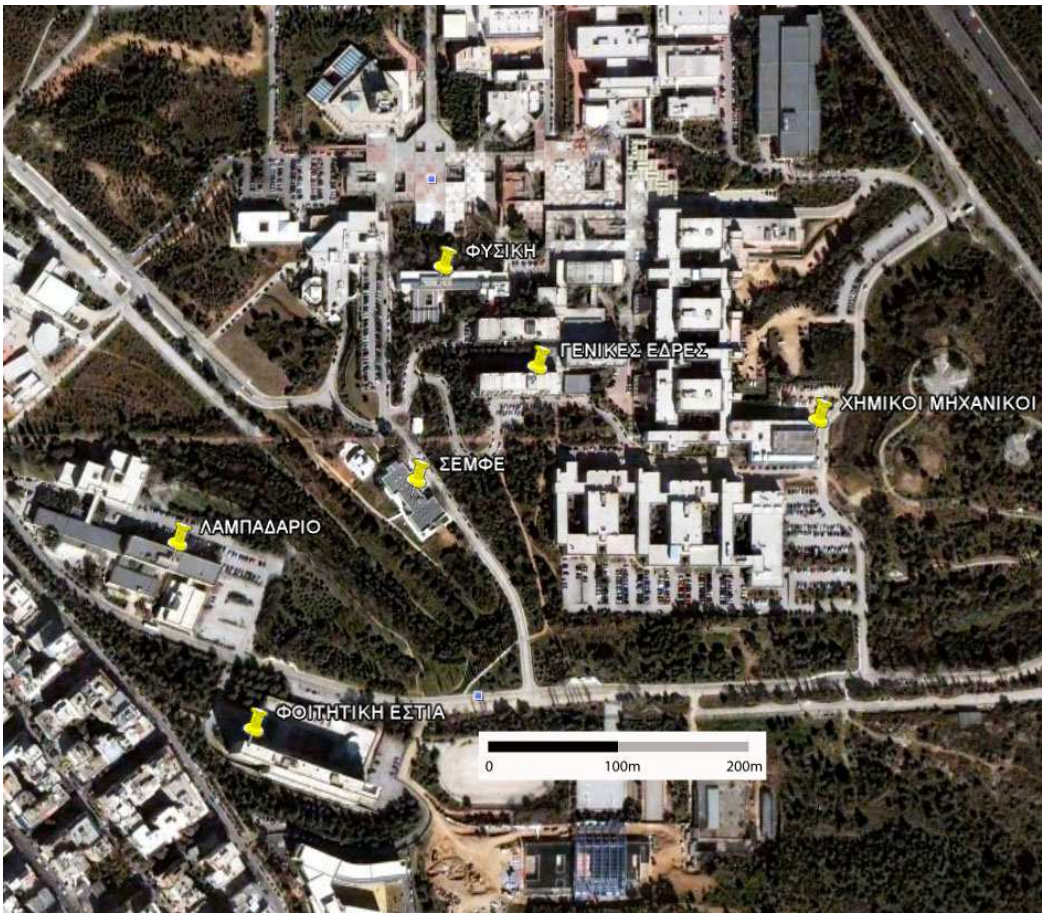
2.2 Επιλογή – Περιγραφή δικτύου

Ως δίκτυο επιλέχθηκε το πρότυπο δίκτυο ελέγχου οργάνων και δεκτών G.P.S. που βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Αποτελείται από 5 κορυφές που ορίζονται από βάθρα τοποθετημένα σε ταράτσες των εξής κτιρίων (σχήμα 2.1, φωτογραφία 2.1):

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



Σχήμα 2.1: Μορφή του δικτύου



Φωτογραφία 2.1: Δορυφορική απεικόνιση του δικτύου

Το δίκτυο χαρακτηρίζεται από ικανοποιητική κανονικότητα των σχημάτων και αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των κορυφών με εξαίρεση το ζεύγος Φυσική – Χημικοί Μηχανικοί.

Η πλήρης σύνδεση του δικτύου, δηλαδή η μέτρηση όλων των υψομετρικών διαφορών που σχηματίζονται είναι εφικτή και για το λόγο αυτό δεν έγινε βελτιστοποίηση.

2.3 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις είναι ο εξής (φωτογραφία 2.2):

- Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR 303
- 3 τρίποδες
- 3 τρικόχλια
- 3 κατάφωτα με γωνιομετρικούς στόχους
- 3 στυλεοί

- Έντυπα καταγραφής
- Υπολογιστής τσέπης
- Συστήματα επικοινωνίας VHF (ασύρματοι)

Ο γεωδαιτικός σταθμός που επιλέχθηκε έχει ακρίβεια ±3″=±9^{cc} στη μέτρηση γωνιών και ±2mm±2ppm στη μέτρηση του μήκους. Έχει την δυνατότητα να εκτελεί μετρήσεις χωρίς την χρήση ανακλαστήρα (reflectorless) με ακρίβεια μέτρησης μήκους ±5mm±2ppm, γεγονός απαιτούμενο για τις μετρήσεις στα βάθρα.

Φωτογραφία 2.2: Ο γεωδαιτικός σταθμός TCR303

Σημειώνεται επίσης ότι επιλέχθηκαν τα αντίστοιχα κατάφωτα και στυλεοί ώστε η απόσταση του κέντρου του γεωδαιτικού σταθμού από την επιφάνεια έδρασής του στο τρικόχλιο να είναι ίση με την απόσταση του κέντρου του γωνιομετρικού στόχου από την επιφάνεια έδρασής του.

2.4 Εργασίες υπαίθρου

Οι εργασίες έλαβαν χώρα τον Οκτώβριο του 2008. Οι τελικές μετρήσεις των υψομετρικών διαφορών των βάθρων διήρκησαν περίπου 50 ώρες συνολικά. Παρόλα αυτά, λόγω της απειρίας του συνεργείου, διάφορων διακοπών και άλλων προβλημάτων που αναλύονται αργότερα, χρειάστηκε να επαναληφθούν πολλές από τις μετρήσεις και τελικά η συνολική διαδικασία ξεπέρασε τις δύο βδομάδες. Πάντως, είναι ασφαλές

να υποτεθεί πως για ένα έμπειρο συνεργείο, 30 ώρες είναι αρκετές για την διεκπεραίωση των μετρήσεων. Επιπλέον, άλλες 2 περίπου ώρες χρειάστηκαν για την υψομετρική σύνδεση του βάθρου Λαμπαδαρίου από το repère στο ίδιο κτίριο. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζεται ο χρόνος που χρειάστηκε κατά μέσο όρο για να γίνει μία σύνδεση ανάλογα με τον αριθμό των στάσεων που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει αυτή η σύνδεση.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ (ώρες)
2	1
3	2.5
4	4

Πίνακας 2.1: Ενδεικτικός χρόνος μέτρησης

Για τη διασφάλιση της ορθότητας των μετρήσεων προηγήθηκε μετρολογικός έλεγχος του οργάνου, ο οποίος πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο οργάνων που βρίσκεται στο κτίριο Λαμπαδάριο.

Για τις μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ΤΡΥΑ χωρίς βελτιστοποίηση οπότε έγιναν 10 συνδέσεις μεταξύ των κορυφών του δικτύου στο σύνολό τους. Οι αποστάσεις μεταξύ ορισμένων κορυφών ήταν πολύ μεγάλες και χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν ενδιάμεσες στάσεις.

Οι ενδιάμεσες στάσεις έγιναν στην ταράτσα του κτιρίου Σ.Ε.Μ.Φ.Ε. λόγω της κεντρικής του θέσης ως προς το δίκτυο και της καλής του ορατότητας προς τις κορυφές του.

Οι συνδέσεις που έγιναν είναι οι εξής:

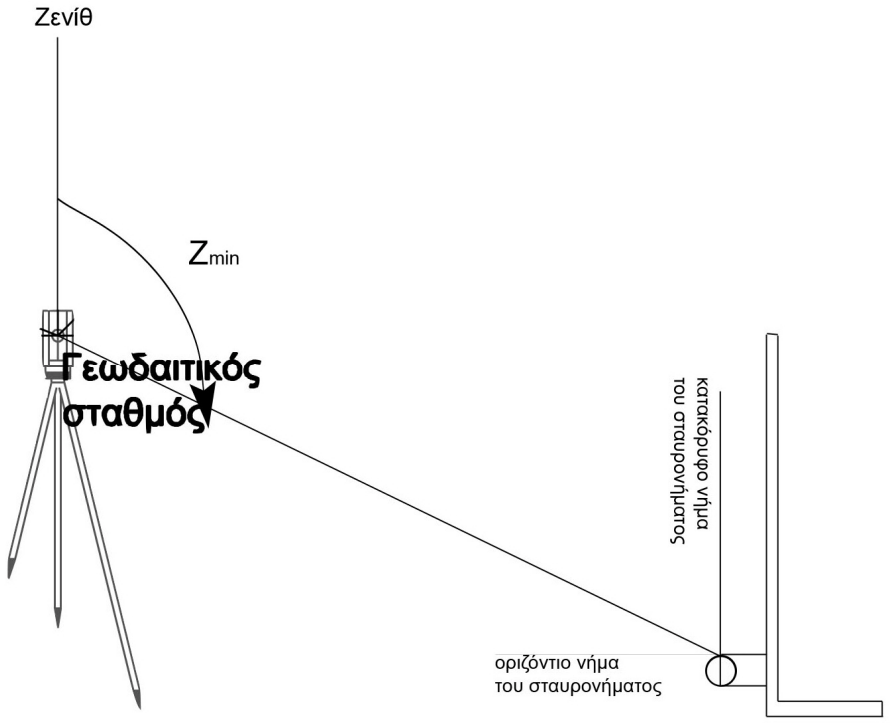
- **Φ.Ε.** – **Λαμπαδάριο** (2 στάσεις, D σκοπεύσεων περίπου 150m)
- **Φ.Ε.** – Σ.Ε.Μ.Φ.Ε. – **Φυσική** (3 στάσεις, D 150m ως 230m)
- **Φ.Ε** - Σ.Ε.Μ.Φ.Ε. – **Γ.Ε.** (3, 130m ως 230m)
- **Φ.Ε.** - Σ.Ε.Μ.Φ.Ε. – Γ.Ε. – **Χ.Μ.** (4, 130m ως 220m)
- **Λαμπαδάριο** - Σ.Ε.Μ.Φ.Ε. – **Φυσική** (3, 160m ως 200m)
- **Λαμπαδάριο** - Σ.Ε.Μ.Φ.Ε. – **Γ.Ε.** (3, 130m ως 190m)
- **Λαμπαδάριο** - Σ.Ε.Μ.Φ.Ε. – Γ.Ε. – **Χ.Μ.** (4, 130m ως 220m)
- **Φυσική – Γ.Ε.** (2, 110m)
- **Φυσική –** Γ.Ε. **– Χ.Μ.** (3, 110m ως 220m)
- **Γ.Ε – Χ.Μ.** (2, 220m)

Η τυπική διαδικασία μέτρησης μιας υψομετρικής διαφοράς που ακολουθήθηκε περιγράφεται παρακάτω. Αρχικά τοποθετούνται όλοι οι απαραίτητοι τρίποδες (2 ή 3) και οριζοντιώνονται με χρήση της ηλεκτρονικής αεροστάθμης του Total Station. Στη συνέχεια μετριέται το μήκος D και η κατακόρυφη γωνία σε 2 περιόδους μεταξύ κάθε ζεύγους στάσεων καθώς και μεταξύ ακραίων στάσεων και βάθρων με την χρήση reflectorless σκόπευσης. Παράλληλα με κάθε μέτρηση εκτελούνταν οι σχετικές πράξεις με τον υπολογιστή τσέπης και καταγράφονταν στο έντυπο ώστε να διαπιστώνονται επί τόπου τα χονδροειδή σφάλματα και να επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις εφόσον αυτό χρειαζόταν.

2.5 Σύνδεση με το χωροσταθμικό δίκτυο της Πολυτεχνειούπολης

Για την επίλυση του δικτύου είναι απαραίτητο να δοθεί ένα αρχικό σταθερό υψόμετρο σε ένα από τα βάθρα του. Για αυτό το σκοπό επιλέχθηκε το βάθρο στο κτίριο Λαμπαδάριο. Με τη μέθοδο της ΤΡΥΑ μετρήθηκε η υψομετρική διαφορά του, από το repère του Λαμπαδαρίου, που βρίσκεται στο χώρο στάθμευσης μπροστά από την κύρια είσοδο του κτιρίου.

Η υλοποίηση των υψομετρικών αφετηριών (repères), όπως της παραπάνω, γίνεται με τη χρήση ειδικών ορειχάλκινων κατασκευών (μπουλόνια). Η κατασκευή τους είναι τέτοια (κυλινδρική η σφαιρική) ώστε να εδράζεται πάντοτε στο ίδιο μοναδικό σημείο ο υψομετρικός πήχης. Επομένως πρέπει να σκοπευθεί αυτό το μοναδικό σημείο κατά τη μέτρηση του μήκους και της αντίστοιχης ζενίθιας γωνίας. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2 η θέση του σημείου αυτού μπορεί να οριστεί ως αυτή όπου το οριζόντιο σταυρόνημα του τηλεσκοπίου του γεωδαιτικού σταθμού εφάπτεται στο πάνω μέρος της ορειχάλκινης κατασκευής, έτσι ώστε η ένδειξη της ζενίθιας γωνίας να είναι η ελάχιστη.



Σχήμα 2.2: Σκόπευση προς την υψομετρική αφετηρία (repère)

Το υψόμετρο του repère του Λαμπαδαρίου έχει προκύψει με γεωμετρική χωροστάθμιση με αφετηρία το repère R_{341} που βρίσκεται στη Σχολή Χωροφυλακής επί της Λεωφόρου Μεσογείων, όπως αναφέρεται στη διπλωματική εργασία των Γ.Μπαξεβανάκη, Ε.Συρμαλόγλου και Ν.Φαραζή με τίτλο *"Χωροσταθμική σύνδεση του Κτιρίου Λαμπαδαρίου με το Κρατικό Δίκτυο Α' τάξης"* που έγινε το έτος 1978. Σε αυτήν παραπέμπει η εργασία των Α.Αντωνόπουλου, Ν.Ξυλούρη και Σ.Τσιραντωνάκη με τίτλο *"Ίδρυση χωροσταθμικού δικτύου ακριβείας στην περιοχή Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου"* του έτους 1980.

Σύμφωνα με τις παραπάνω εργασίες, η τιμή του υψομέτρου του repère του Λαμπαδαρίου είναι $H_{R\tau}$=192.419m.

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, και το βάρος τους, καθιστά τη μετακίνηση τους για τέτοιες διαδρομές ανέφικτη. Έτσι, αποφασίστηκε ότι η χρήση αυτοκινήτου ήταν απαραίτητη για τις μετακινήσεις των οργάνων, όταν οι αποστάσεις ήταν μεγάλες.

Η πρόσβαση στις ταράτσες, στις οποίες βρίσκονται τα βάθρα που μετρήθηκαν, ήταν συχνά προβληματική η ακόμα και επικίνδυνη.

Στην ταράτσα του κτιρίου των γενικών εδρών δεν υπήρχε κάποια σκάλα για την ανάβαση στο σημείο του βάθρου, 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.

Επίσης, έπρεπε να βρεθούν κάθε φορά τα κλειδιά που ανοίγουν τις πόρτες που οδηγούν στις ταράτσες, το οποίο μερικές φορές ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρο.

Το έδαφος κοντά στα βάθρα, όπου έπρεπε να τοποθετηθούν οι τρίποδες, δεν ήταν πάντα ικανοποιητικό.

Στο κτίριο Φυσικής τα πλακάκια ήταν ασταθή, οπότε χρειάστηκε να βρεθεί σημείο χωρίς πλακάκια.

Στο κτίριο γενικών εδρών υπάρχει μόνωση στην ταράτσα από μαλακό υλικό, κι έτσι έπρεπε να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση του τρίποδα ώστε να μην έχει περιθώρια κίνησης.

Το ίδιο ισχύει και για το κτίριο Λαμπαδάριο, όπου υπήρχε χαλίκι.

Στην εκτέλεση των μετρήσεων έπαιξαν ρόλο και οι καιρικές συνθήκες. Ο άνεμος είναι ουσιαστικός παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε λάθη, ειδικά όταν χρειάζεται οι τρίποδες να παραμένουν τοποθετημένοι για χρονικά διαστήματα ακόμα και μεγαλύτερα της μίας ώρας.

Επίσης, όταν είχε αυξημένη ηλιοφάνεια στις σκοπεύσεις προς την διεύθυνση του ήλιου, προέκυπταν μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα αποτελέσματα μετάβασης και επιστροφής των μετρήσεων, δηλαδή χονδροειδή σφάλματα λόγω δυσκολίας στην σκόπευση. Χρειάστηκε λοιπόν επανάληψη των μετρήσεων από αυτές τις θέσεις, και επιδιώχθηκε να γίνουν σε ευνοϊκότερες συνθήκες.

Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν τρεις τρίποδες στην διαδικασία. Για τις περισσότερες συνδέσεις οι τρεις τρίποδες ήταν αρκετοί, αλλά υπήρχαν δύο συνδέσεις, οι Λαμπαδάριο - Χημικοί Μηχανικοί και Φοιτητική εστία - Χημικοί Μηχανικοί, που τρεις στάσεις δεν ήταν αρκετές για την κάλυψή τους. Για αυτές τις συνδέσεις χρειάστηκε να γίνει μεταφορά του ενός τρίποδα από την αρχική στάση στην τελική. Στην περίπτωση αυτή έγιναν όλοι οι έλεγχοι των αποτελεσμάτων πριν τη μετακίνηση του τρίποδα για να μην χρειαστεί επανάληψη όλης της μέτρησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1 Υπολογισμοί

Για τον υπολογισμό των υψομετρικών διαφορών ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

Υπολογίζονται αρχικά οι μέσες τιμές των κατακόρυφων γωνιών μεταξύ των εκάστοτε δύο θέσεων τηλεσκοπίου και κατόπιν εξάγεται από αυτές ο γενικός μέσος όρος για τις δύο περιόδους.

Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο μέσος όρος του μήκους από τις δύο περιόδους. Εφαρμόζοντας την σχέση $\Delta H = D \cdot \cos z$ με τους υπολογισθέντες μέσους όρους , προκύπτουν οι υψομετρικές διαφορές.

Ακολούθως, υπολογίζονται οι μέσες υψομετρικές διαφορές μετάβασης και επιστροφής μεταξύ των ενδιάμεσων στάσεων.

Τέλος, υπολογίζεται η συνολική υψομετρική διαφορά σύμφωνα με τον τύπο $\Delta H_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A + \sum[M.O.(\Delta H_{ij})]$.

Θεωρείται ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, η τιμή του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης παραμένει σταθερή και επομένως η τελική τιμή της υψομετρικής διαφοράς είναι απαλλαγμένη από τη διόρθωση λόγω διάθλασης.

Με την ίδια διαδικασία υπολογίστηκε και η υψομετρική διαφορά του βάθρου με το repère Λαμπαδαρίου, οπότε προέκυψε το σταθερό υψόμετρο του βάθρου Λαμπαδαρίου $\mathbf{H_{ΛΑΜΠ}=210.661m}$ (πίνακας 3.1)

REPÈRE ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΥ	ΔΗ REPÈRE - ΒΑΘΡΟΥ	ΒΑΘΡΟ ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΥ
192.419 m	18.242 m	210.661 m

Πίνακας 3.1: Υψόμετρο βάθρου Λαμπαδαρίου

Τα σφάλματα για κάθε ΔΗ υπολογίζονται από τον αριθμό στάσεων που χρησιμοποιήθηκαν, σύμφωνα με τον τύπο (1.10), για $\sigma_D=\pm 3mm$, $\sigma_z=\pm 10cc$, και απόσταση μεταξύ των στάσεων 200m.

Τα φύλλα καταγραφής και υπολογισμού των μετρήσεων βρίσκονται στο παράρτημα. Οι υψομετρικές διαφορές των συνδέσεων καθώς και τα σφάλματα τους, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2.

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (m)	ΣΦΑΛΜΑ (mm)
ΛΑΜΠ	**ΦΥΣ**	-7.626	±3.2
ΛΑΜΠ	**ΓΕ**	5.246	±3.2
ΛΑΜΠ	**ΧΜ**	11.481	±3.9
ΛΑΜΠ	**ΦΕ**	26.462	±2.4
ΦΥΣ	**ΓΕ**	12.868	±2.4
ΦΥΣ	**ΦΕ**	34.081	±3.2
ΓΕ	**ΧΜ**	6.228	±2.4
ΓΕ	**ΦΕ**	21.218	±3.2
ΧΜ	**ΦΕ**	14.974	±3.9
ΧΜ	**ΦΥΣ**	-19.102	±3.2

Πίνακας 3.2: Υψομετρικές διαφορές των συνδέσεων και τα σφάλματά τους

Για περαιτέρω έλεγχο των αποτελεσμάτων υπολογίστηκαν κλεισίματα βρόγχων που φαίνονται στον πίνακα 3.3. Τα κλεισίματα κυμαίνονται από 1mm έως 16mm.

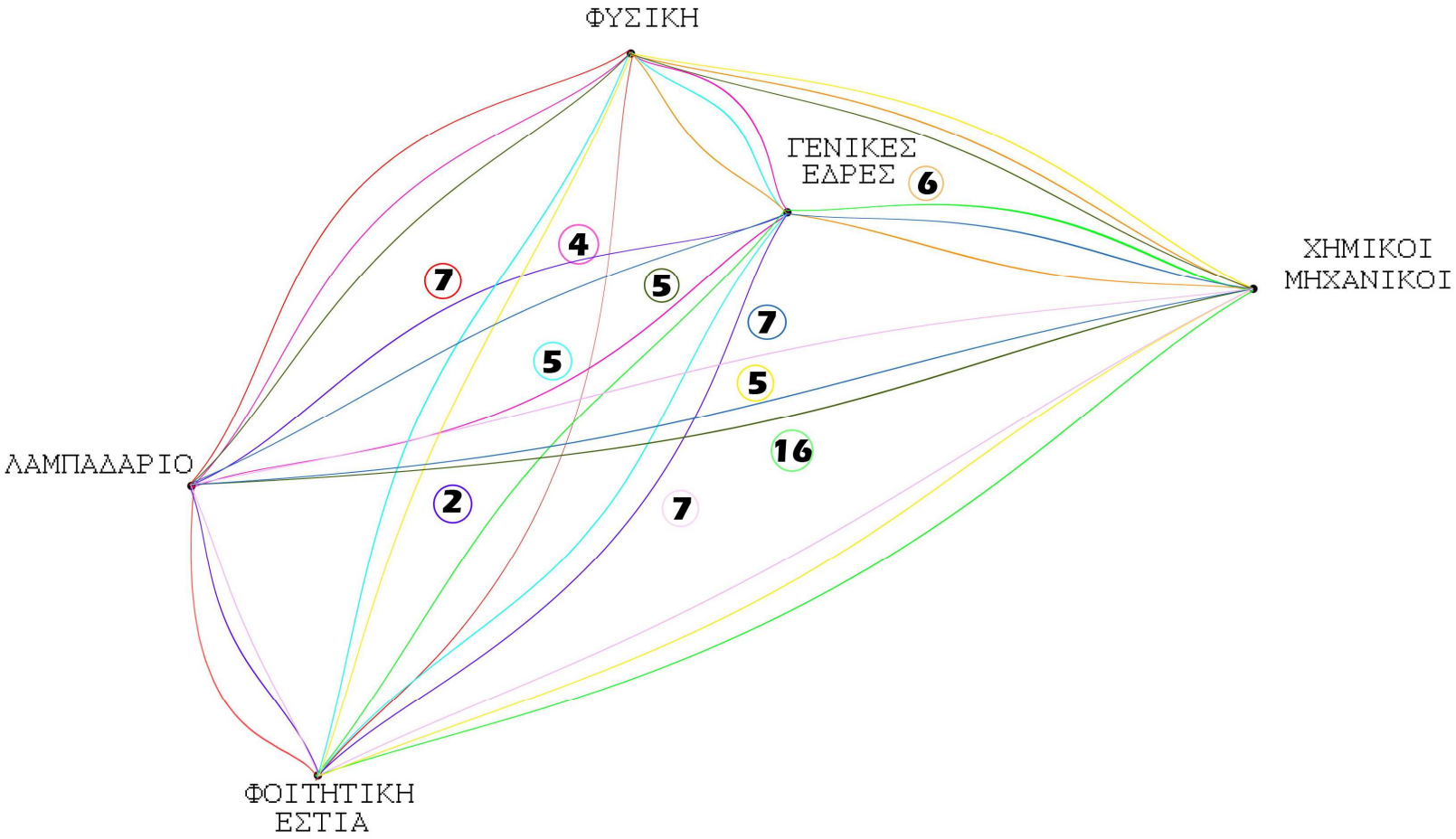
Με νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση $\kappa=\Delta H_1+\Delta H_2+\Delta H_3$ από την οποία υπολογίζεται το κλείσιμο ενός τριγώνου, προκύπτει το σφάλμα του κλεισίματος $\sigma_\kappa = \sqrt{\sigma_{\Delta H1}^2 + \sigma_{\Delta H2}^2 + \sigma_{\Delta H3}^2}$. Για σφάλμα υψομετρικών διαφορών ±3.9mm, υπολογίζεται το σφάλμα των κλεισιμάτων $\sigma_\kappa = \sqrt{3} \cdot \sigma_{\Delta H} = 1.7 \cdot 3.9 = 6.7mm$. Έτσι, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% θα πρέπει να ισχύει $|\kappa|<1.96\cdot\sigma_\kappa$, δηλαδή $|\kappa|<13.2$. Παρατηρείται ότι η σχέση

δεν ισχύει για το τρίγωνο ΓΕ-ΧΜ-ΦΕ με διαφορά 3mm αλλά ισχύει για το 90% των τριγώνων. Αντίστοιχα για τα τετράπλευρα προκύπτει σφάλμα κλεισίματος $\sigma_{\kappa} = \sqrt{4} \cdot \sigma_{\Delta H} = 2 \cdot 3.9 = 7.8mm$ και για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% πρέπει να ισχύει $|\kappa| < 1.96 \cdot \sigma_{\kappa}$, δηλαδή $|\kappa| < 15.3$, που ισχύει για όλα τα τετράπλευρα.

ΒΡΟΓΧΟΣ	ΚΛΕΙΣΙΜΟ (mm)	ΒΡΟΓΧΟΣ	ΚΛΕΙΣΙΜΟ (mm)
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΓΕ	4	ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΧΜ-ΦΕ	12
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΧΜ	5	ΛΑΜΠ-ΓΕ-ΧΜ-ΦΕ	14
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΦΕ	7	ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΧΜ-ΓΕ	2
ΛΑΜΠ-ΓΕ-ΧΜ	7	ΛΑΜΠ-ΦΥΣ-ΓΕ-ΦΕ	2
ΛΑΜΠ-ΓΕ-ΦΕ	2	ΦΥΣ-ΦΕ-ΧΜ-ΓΕ	11
ΛΑΜΠ-ΧΜ-ΦΕ	7	ΦΥΣ-ΦΕ-ΓΕ-ΧΜ	11
ΦΥΣ-ΓΕ-ΧΜ	6	ΦΥΣ-ΓΕ-ΛΑΜΠ-ΧΜ	1
ΦΥΣ-ΓΕ-ΦΕ	5	ΧΜ-ΛΑΜΠ-ΓΕ-ΦΕ	9
ΦΥΣ-ΧΜ-ΦΕ	5	ΧΜ-ΛΑΜΠ-ΓΕ-ΦΥΣ	1
ΓΕ-ΧΜ-ΦΕ	16	ΛΑΜΠ-ΦΕ-ΓΕ-ΧΜ-ΦΥΣ	4

Πίνακας 3.3: Κλεισίματα βρόγχων

Τα κλεισίματα των τριγωνικών βρόγχων παρουσιάζονται εποπτικά και στο παρακάτω σχήμα (3.2). Στο κέντρο βάρους του κάθε τριγώνου έχει σημειωθεί σε mm το σφάλμα κλεισίματος του εν λόγω τριγώνου, μέσα σε κύκλο με χρώμα ίδιο με το χρώμα με το οποίο έχει σημειωθεί το τρίγωνο.



Σχήμα 3.2: Σφάλματα κλεισιμάτων στο δίκτυο

3.2 Συνόρθωση δικτύου

Για τη συνόρθωση του δικτύου εφαρμόστηκε η Μέθοδος των Ελαχίστων Τετραγώνων με έμμεσες παρατηρήσεις [Αγατζά 2000]. Ως άγνωστοι θεωρήθηκαν οι καλύτερες τιμές των υψομέτρων των κορυφών του. Οι παρατηρήσεις θεωρήθηκαν ισοβαρείς διότι οι μετρήσεις έγιναν με το ίδιο σύστημα όργανο – παρατηρητής – συνθήκες. Επίσης σύμφωνα με τον πίνακα 3.2 η ακρίβεια των υψομετρικών διαφορών είναι της ίδιας τάξης μεγέθους.

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

- Το υψόμετρο του βάθρου Λαμπαδαρίου θεωρήθηκε σταθερό και ίσο με 210.661m.
- Οι άγνωστες καθοριστικές παράμετροι είναι m = 4, όσα και τα άγνωστα υψόμετρα.
- Ο αριθμός των εξισώσεων παρατήρησης είναι ίσος με τον αριθμό των μετρήσεων, n = 10.
- Ο βαθμός ελευθερίας του δικτύου είναι r = n – m = 6.

Οι υπολογισμοί έγιναν σε περιβάλλον Excel και οι πίνακες συνόρθωσης παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Τα τελικά υψόμετρα των βάθρων, καθώς και τα σφάλματά τους, φαίνονται στον πίνακα 3.4.

ΒΑΘΡΟ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ(m)	ΣΦΑΛΜΑ(mm)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	210.661	-
ΦΥΣΙΚΗ	203.038	±3
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	215.907	±3
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	237.121	±3
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	222.141	±3

Πίνακας 3.4: Τελικά υψόμετρα των βάθρων και αβεβαιότητες τους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

4.1 Το ορθομετρικό υψόμετρο του βάθρου Λαμπαδαρίου

Για την σύγκριση των τελικών υψομέτρων, όπως υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας, χρησιμοποιήθηκε η διπλωματική εργασία των Γ. Πηνιώτη και Κ. Σαραφιάν με τίτλο *"Ίδρυση Πρότυπου Τριδιάστατου Δικτύου Αναφοράς στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου"*, που εκπονήθηκε στον τομέα Τοπογραφίας της σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) του ΕΜΠ τον Μάρτιο του 2000. Η εργασία αυτή αναφέρεται στο ίδιο πρότυπο δίκτυο ελέγχου οργάνων και δεκτών GPS. Χρησιμοποιούνται επίγειες γεωδαιτικές μέθοδοι για να υπολογιστούν τα υψόμετρα των βάθρων και υπάρχουν αναλυτικά όλες οι πρωτογενείς μετρήσεις.

Στην παραπάνω διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται ως σταθερό το υψόμετρο του βάθρου Λαμπαδαρίου με τιμή $\mathbf{H^1_\Lambda=210.860m.}$ η οποία παρέχεται από το Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας της ΣΑΤΜ. Η τιμή αυτή όμως, παρουσιάζει διαφορά **19.9cm** από την τιμή που υπολογίστηκε στην παρούσα εργασία $\mathbf{H^2_\Lambda=210.661m}$. Η διαφορά αυτή είναι πολύ μεγάλη και δεν μπορεί να οφείλεται σε χονδροειδές σφάλμα, επομένως κρίθηκε απαραίτητη η αναζήτηση των αρχείων που οδήγησαν στην τιμή H^1_Λ.

Η τιμή αυτή του υψομέτρου εμφανίζεται, για πρώτη φορά πιθανότατα, στην διπλωματική εργασία των Κ. Γιαννούλη, Ε. Επισκόπου και Α. Κούνη *"Γεωδαιτικό Δίκτυο Οριζοντίου Ελέγχου στην Περιοχή Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου"* του 1980, στην οποία όμως δεν αναφέρεται η προέλευση του συγκεκριμένου αποτελέσματος. Αντιθέτως, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.5, η τιμή του repère Λαμπαδαρίου, από την οποία υπολογίζεται η τιμή H^2_Λ, έχει σαφή προέλευση, επομένως θεωρείται πιο αξιόπιστη από την τιμή H^1_Λ.

Για επιπλέον έλεγχο του αποτελέσματος H^2_Λ, χρησιμοποιήθηκε η διπλωματική εργασία του Σιούλη Α. *"Η επίδραση της διάθλασης στις Γεωδαιτικές μετρήσεις. Εφαρμογή ΕΤΥ στο δίκτυο Πολυτεχνειούπολης ζωγράφου"* που εκπονήθηκε στον τομέα Τοπογραφίας της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ τον Ιούλιο του 1993. Σε εκείνη την εργασία υπολογίζεται το υψόμετρο του repère τις ταράτσας του Λαμπαδαρίου με τιμή $H_{\text{ντΛαμπ}}$=210.353m , και όχι του βάθρου. Έτσι, με εφαρμογή της ΤΡΥΑ με μία στάση από το repère ως το βάθρο, υπολογίστηκε η διαφορά τους $\Delta H_{\text{repère-βάθρο}}$=+0.304m, και ακολούθως το τελικό υψόμετρο του βάθρου

με τιμή $\mathbf{H^3_\Lambda=210.657m}$. Για τη σκόπευση στο repère ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.5. Η τιμή H^3_Λ διαφέρει 4mm από την τιμή H^2_Λ, και αποτελεί μια επιπλέον επιβεβαίωσή της, οπότε η τιμή $\mathbf{H^2_\Lambda=210.661m}$ τελικά θεωρείται αξιόπιστη.

4.2 Σύγκριση υψομετρικών διαφορών πριν τη συνόρθωση

Με χρήση των πρωτογενών στοιχείων που βρίσκονται στην προαναφερθείσα διπλωματική εργασία του 2000, είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι υψομετρικές διαφορές των βάθρων από τον τύπο:

$$\Delta H_{AB} = D\cos z + (YO - Y\Sigma) + (1-\kappa)\cdot \frac{D^2_{AB}}{2R}\cdot \sin^2 z_{AB}$$

όπου D^2_{AB} το μήκος και z_{AB} η ζενίθια γωνία. Επίσης, με νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στον παραπάνω τύπο υπολογίζεται και το σφάλμα των διαφορών αυτών, με δεδομένο ότι η ακρίβεια των μετρούμενων στοιχείων όπως υπολογίστηκε από τις μετρήσεις, είναι για τις γωνίες $\pm 10^{cc}$, για τις αποστάσεις ±2mm και για τα ΥΟ και ΥΣ ±0.25mm.

Στον πίνακα 4.1 δίνονται οι υψομετρικές διαφορές που προκύπτουν από κάθε διπλωματική με τα σφάλματά τους, και η διαφορά $\Delta_{\Delta H}$ που προκύπτει ανάμεσά τους. Το σφάλμα της διαφοράς υπολογίζεται με νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση $\Delta_{\Delta H}=\Delta H_{2000}-\Delta H_{2008}$ δηλαδή από τη σχέση $\sigma^2\Delta_{\Delta H}=\sigma^2\Delta H_{2000}+\sigma^2\Delta H_{2008}$. Σημειώνεται ότι, στη διπλωματική του 2000 δεν υπάρχει μέτρηση της διαφοράς Χημικοί Μηχανικοί – Φυσική, επειδή τα δύο αυτά βάθρα δεν έχουν αμοιβαία ορατότητα.

ΑΠΟ - ΠΡΟΣ	2000		$\Delta_{\Delta H}$ = ΔΗ2008 - ΔΗ2000		2008	
	ΔΗ(m)	σΔΗ(mm)	$\Delta_{\Delta H}$ (mm)	$\sigma\Delta_{\Delta H}$ (mm)	ΔΗ(m)	σΔΗ(mm)
ΛΑΜΠ - ΦΥΣ	-7.597	±4.7	-29	±5.7	-7.626	±3.2
ΛΑΜΠ - ΓΕ	5.250	±4.9	-4	±5.9	5.246	±3.2
ΛΑΜΠ - ΧΜ	11.488	±8.0	-7	±8.9	11.481	±3.9
ΛΑΜΠ - ΦΕ	26.464	±2.5	-2	±3.4	26.462	±2.4
ΦΥΣ - ΓΕ	12.852	±1.8	16	±3.0	12.868	±2.4
ΦΥΣ - ΦΕ	34.057	±6.0	24	±6.8	34.081	±3.2
ΓΕ - ΧΜ	6.235	±3.4	-7	±4.1	6.228	±2.4
ΓΕ - ΦΕ	21.209	±5.5	9	±6.4	21.218	±3.2
ΧΜ - ΦΕ	14.976	±7.8	-2	±8.7	14.974	±3.9
ΧΜ - ΦΥΣ					-19.102	±3.2

Πίνακας 4.1: Σύγκριση υψομετρικών διαφορών

Για κάθε σύνδεση έγινε σύγκριση του μέτρου του διανύσματος $\Delta_{\Delta H}$ με το αντίστοιχο σφάλμα $\sigma\Delta_{\Delta H}$ πολλαπλασιασμένο με το συντελεστή της τυποποιημένης κανονικής κατανομής για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% που παίρνει την τιμή 1.96, και έγινε έλεγχος αν ικανοποιείται το κριτήριο $|\Delta_{\Delta H}|<\sigma\Delta_{\Delta H}\cdot 1.96$.

	$\Delta_{\Delta H}$ (mm)	$\sigma\Delta_{\Delta H}\cdot 1.96$ (mm)	Μετακίνηση
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ	-29	±11.2	ΝΑΙ
ΛΑΜΠ-ΓΕ	-4	±11.5	ΟΧΙ
ΛΑΜΠ-ΧΜ	-7	±17.4	ΟΧΙ
ΛΑΜΠ-ΦΕ	-2	±6.7	ΟΧΙ
ΦΥΣ-ΓΕ	16	±5.8	ΝΑΙ
ΦΥΣ-ΦΕ	24	±13.3	ΝΑΙ
ΓΕ-ΧΜ	-7	±8.1	ΟΧΙ
ΓΕ-ΦΕ	9	±12.5	ΟΧΙ
ΧΜ-ΦΕ	-2	±17.1	ΟΧΙ
ΧΜ-ΦΥΣ			

Πίνακας 4.2: Κριτήριο $|\Delta_{\Delta H}| < \sigma\Delta_{\Delta H}\cdot 1.96$

4.3 Σύγκριση υψομέτρων βάθρων

Για να είναι εφικτή η σύγκριση των τελικών υψομέτρων μετά τη συνόρθωση, της διπλωματικής 2008 με την διπλωματική 2000, έγινε μια εκ νέου επίλυση του δικτύου θεωρώντας ως τιμή του σταθερού υψομέτρου του Λαμπαδαρίου την $\mathbf{H^1_\Lambda=210.860m}$ (παράρτημα). Τα συγκριτικά αποτελέσματα καθώς και τα σφάλματά τους παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

ΒΑΘΡΟ	2000		2008		2008-2000	
	H (m)	σH (mm)	H (m)	σH (m)	ΔH (mm)	σΔH (mm)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	210.860		210.860			
ΦΥΣΙΚΗ	203.256	±2.2	203.237	±3	-19	±3.7
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	216.102	±2.2	216.106	±3	+4	±3.7
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	237.316	±2.2	237.320	±3	+4	±3.7
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	222.321	±3	222.340	±3	+19	±4.2

Πίνακας 4.3: Σύγκριση τελικών υψομέτρων

Ακολουθεί ο έλεγχος ισχύς του κριτηρίου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, που είναι το $|\Delta H_{2000-2008}|<\sigma\Delta H_{2000-2008}\cdot 1.96$.

ΒΑΘΡΟ	ΔΗ 2008-2000 (mm)	σΔΗ·1.96 (mm)	Μετακίνηση
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	-	-	-
ΦΥΣΙΚΗ	-19	±7.3	ΝΑΙ
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	4	±7.3	ΟΧΙ
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	4	±7.3	ΟΧΙ
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	19	±8.3	ΝΑΙ

Πίνακας 4.4: Κριτήριο |ΔΗ| < σΔΗ·1.96

4.4 Υψόμετρο του γεωειδούς

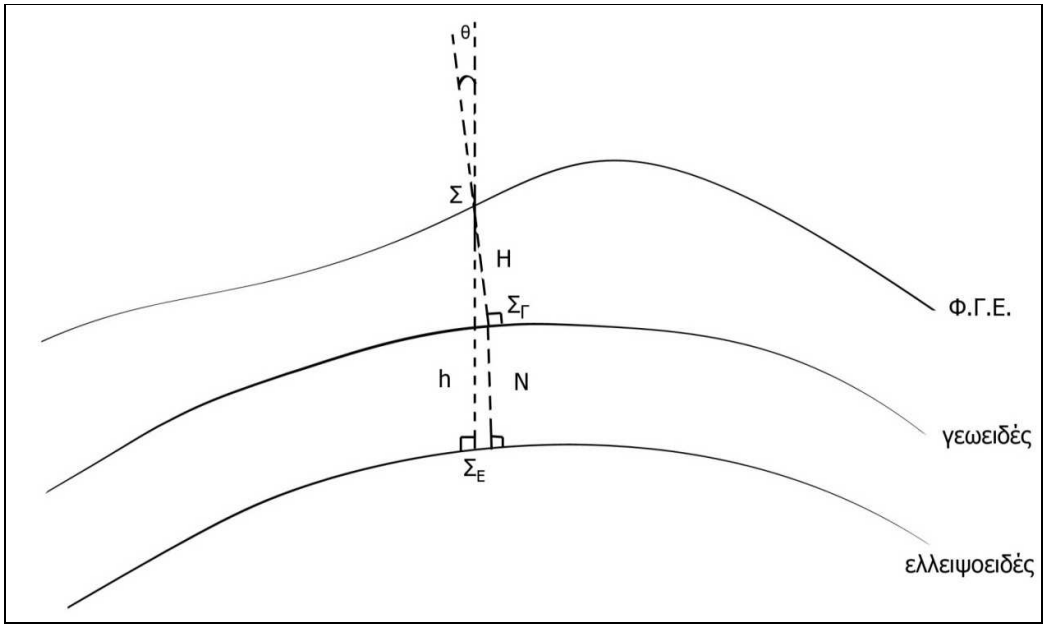
Το υψόμετρο που υπολογίζεται με τις επίγειες γεωδαιτικές μεθόδους, όπως είναι και η ΤΡΥΑ έχει ως επιφάνεια αναφοράς το γεωειδές, που στην πράξη αντικαθίσταται από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Το υψόμετρο αυτό, δηλαδή η απόσταση του σημείου από το γεωειδές κατακόρυφα ως προς αυτό, ορίζεται ως **ορθομετρικό 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 4.1).

Τα γεωμετρικά υψόμετρα για τα βάθρα του δικτύου έχουν μετρηθεί στην διπλωματική εργασία "*Μέτρηση και επίλυση πρότυπου δικτύου αναφοράς με δορυφορικές μεθόδους στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*", που εκπονήθηκε στην ΣΑΤΜ του ΕΜΠ τον Ιούλιο του 2009. Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα υψόμετρα του γεωειδούς N και το σφάλμα υπολογισμού τους, που προκύπτει από νόμο μετάδοσης σφαλμάτων όπως παραπάνω.

Αντιστοίχως, από τη σχέση N = h – H προκύπτει η σχέση ΔN = Δh – ΔH, δηλαδή το σχετικό υψόμετρο του γεωειδούς των συνδέσεων, και στον πίνακα 4.6 φαίνονται τα ΔN για τις 10 συνδέσεις με τις αποκλίσεις τους.



Σχήμα 4.1: Το υψόμετρο του γεωειδούς

ΒΑΘΡΟ	ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΟ H (ΤΡΥΑ)		ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ h (GPS)		ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ	
	H (m)	σH (mm)	h (m)	σh (mm)	N = h – H (m)	σN (mm)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	210.661		218.349		7.688	
ΦΥΣΙΚΗ	203.038	±3	210.746	±9	7.708	± 9.5
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΔΡΕΣ	215.907	±3	223.607	±10	7.700	±10.4
ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ	237.121	±3	244.800	±9	7.679	±9.5
ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ	222.141	±3	229.862	±10	7.721	±10.4

Πίνακας 4.5: Υψόμετρο του γεωειδούς των κορυφών του δικτύου

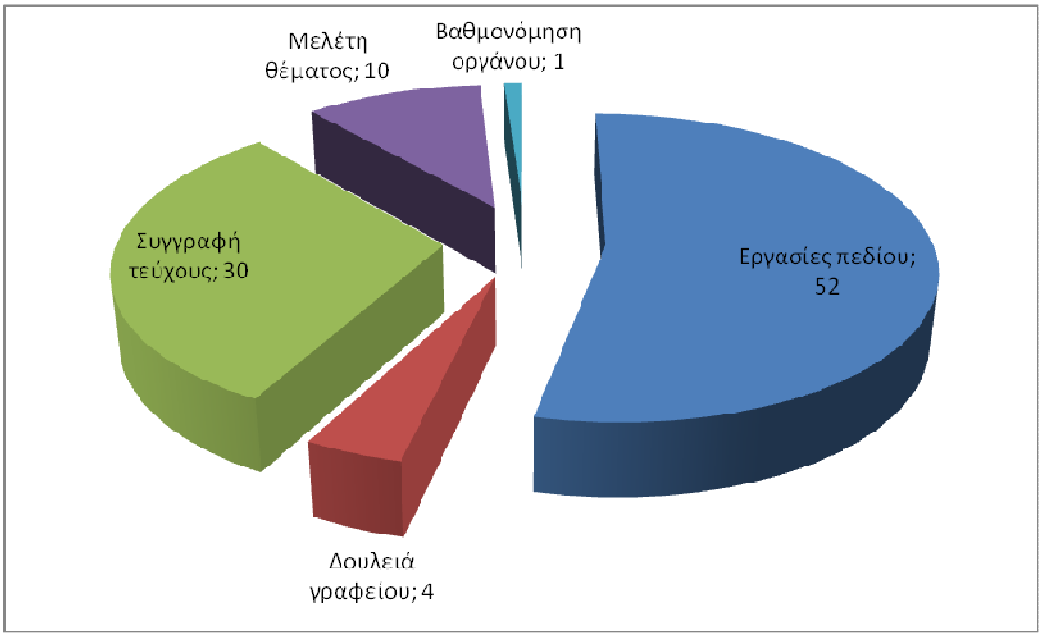
ΑΠΟ - ΠΡΟΣ	ΔΗ ΤΡΥΑ		Δh GPS		ΔΝ = Δh - ΔΗ	
	ΔΗ (m)	σΔΗ (mm)	Δh (m)	σΔh (mm)	ΔΝ (mm)	σΔΝ (mm)
ΛΑΜΠ - ΦΥΣ	-7.626	±3.2	-7.595	±1	31	±3.4
ΛΑΜΠ - ΓΕ	5.246	±3.2	5.240	±2	-6	±3.8
ΛΑΜΠ - ΧΜ	11.481	±3.9	11.524	±1	43	±4.0
ΛΑΜΠ - ΦΕ	26.462	±2.4	26.445	±1	-17	±2.6
ΦΥΣ - ΓΕ	12.868	±2.4	12.872	±1	4	±2.6
ΦΥΣ - ΦΕ	34.081	±3.2	34.057	±1	-24	±3.4
ΓΕ - ΧΜ	6.228	±2.4	6.242	±2	14	±3.1
ΓΕ - ΦΕ	21.218	±3.2	21.209	±1	-9	±3.4
ΧΜ - ΦΕ	14.974	±3.9	14.934	±1	-40	±4.0
ΧΜ - ΦΥΣ	-19.103	±3.2	-19.114	±1	-11	±3.4

Πίνακας 4.6: Σχετικό υψόμετρο γεωειδούς των συνδέσεων

Σημειώνεται ότι το γεωμετρικό υψόμετρο h=218.349m του βάθρου του Λαμπαδαρίου έχει προκύψει από το ορθομετρικό υψόμετρο που υπολογίστηκε στην παρούσα διπλωματική, με πρόσθεση του υψομέτρου του γεωειδούς N για το σημείο αυτό h=H+N=210.661m+7.688m. Η τιμή αυτή του N=7.688m έχει υπολογιστεί στην διδακτορική διατριβή με τίτλο *"Ανάπτυξη μεθοδολογίας αστρογεωδαιτικών προσδιορισμών με ψηφιακά γεωδαιτικά όργανα"* που εκπονήθηκε τον Ιούνιο του 2003 από την λέκτορα του ΕΜΠ, Λάμπρου Ε.

4.5 Χρονοδιάγραμμα εργασιών

Όπως προαναφέρθηκε, το συνεργείο χρειάστηκε περίπου 52 ώρες για την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου, καθώς και επιπλέον 1 ώρα για τον έλεγχο του οργάνου. Ακόμη, οι υπολογισμοί και η συνόρθωση του δικτύου, δηλαδή η δουλειά γραφείου, δεν χρειάστηκε περισσότερο από περίπου 4 ώρες. Η συγγραφή του τεύχους χρειάστηκε περίπου 30 ώρες μαζί με τις διορθώσεις, και η θεωρητική μελέτη του αντικειμένου (μελέτη βιβλιογραφίας και διπλωματικών σχετικών με το αντικείμενο), περί τις 10 ώρες. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο διάγραμμα 4.1 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 4.1: Ο χρόνος σε ώρες που χρειάστηκε για την εκτέλεση κάθε εργασίας

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.

- Η ΤΡΥΑ ως μέθοδος προσδιορισμού ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών αποδείχτηκε ικανή να παράγει ακρίβειες της τάξεως των ±3mm σε δίκτυα με πλευρές μέχρι και 500m. Σημειώνεται εδώ πως δεν χρειάζεται να ληφθεί υπ' όψιν ο συντελεστής διάθλασης και η καμπυλότητα της Γης, κατά την εφαρμογή της μεθόδου των αμοιβαίων και ταυτόχρονων παρατηρήσεων.

- Στο ορθομετρικό υψόμετρο του δυτικού βάθρου στο δώμα του κτιρίου Λαμπαδαρίου αποδίδεται πλέον η καινούρια τιμή H=210.661m που από τώρα και στο εξής θα χρησιμοποιείται για τις, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, εργασίες. Η διόρθωση του υψομέτρου αυτού θεωρείται σημαντική γιατί τα βασικά στοιχεία των σταθερών κορυφών δικτύων που βρίσκονται στο Λαμπαδάριο, αποτελούν συνήθως αφετηρίες για τα δίκτυα της Πολυτεχνειούπολης, επομένως πρέπει να είναι ορθά.

- Από τη σύγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας με εκείνη του 2000 (πίνακες 4.3, 4.4), προκύπτει ότι είναι πιθανό να υπάρχει μια κατακόρυφη μετακίνηση στα βάθρα του κτιρίου Φυσικής (19mm καθίζηση) και του κτιρίου Χημικών Μηχανικών (19mm ανύψωση). Παρόλα αυτά, λόγω της μεγάλης διαφοράς των μεθόδων μεταξύ τους αλλά και των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και της χρονικής διαφοράς 8 χρόνων μεταξύ των μετρήσεων, η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα ήταν καλύτερο να ληφθεί ως απλά μια ενδεικτική πληροφορία για την ποιότητα των αποτελεσμάτων, και να μην ερμηνευθεί αυστηρά μεθοδολογικά.

- Για το υψόμετρο του γεωειδούς (πίνακας 4.5) παρατηρείται ότι η ελάχιστη τιμή του εμφανίζεται στο κτίριο της φοιτητικής εστίας, που είναι το νοτιότερο, και ακολουθώντας βόρεια και ανατολική πορεία αυξάνεται, φτάνοντας στο μέγιστό του στο κτίριο Χημικών Μηχανικών που είναι και το ανατολικότερο.

- Για το σχετικό υψόμετρο του γεωειδούς (πίνακας 4.6) παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση δύο κορυφών, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ΔΝ, πράγμα που είναι αναμενόμενο λόγω της βαθμιαίας αλλαγής του Ν από κορυφή σε κορυφή όπως αναφέρεται παραπάνω.

- Ο χρόνος που χρειάζεται η ΤΡΥΑ για την εφαρμογή της σε δύσκολα και μεγάλης έκτασης δίκτυα όπως το συγκεκριμένο, και η άνεση που παρέχεται από τη μέθοδο στο να ξεπεραστούν οπτικά εμπόδια η εμπόδια άλλης υφής, με τη χρήση ενδιάμεσων στάσεων, καθιστά τη μέθοδο πολύ συμφέρουσα από πλευράς απόδοσης – κόστους. Όμως, χρειάζεται εμπειρία του συνεργείου και πολύ προσεκτικές παρατηρήσεις, ώστε να παραχθούν τα επιθυμητά, υψηλής ποιότητας αποτελέσματα.

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:

- Είναι σκόπιμο να εφαρμοστεί η μέθοδος της ΤΡΥΑ σε άλλα δίκτυα που βρίσκονται στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης, όπως για παράδειγμα το δίκτυο των repères που βρίσκεται στις ταράτσες και αυτό που βρίσκεται στις βάσεις κάποιων κτιρίων. Έτσι θα είναι δυνατό να υπάρξουν συνδέσεις και αλλεπάλληλες επαληθεύσεις μεταξύ των δικτύων, από τις οποίες θα παραχθούν ακόμα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα για τα υψόμετρα των σταθερών αυτών σημείων.

- Προτείνεται η απόπειρα μέτρησης του παρόντος δικτύου με την χρήση οργάνου καλύτερης ακρίβειας στη μέτρηση των γωνιών για την περαιτέρω βελτίωση της τελικής ακρίβειας των αποτελεσμάτων

- Τέλος, θα μπορούσε να επεκταθεί το συγκεκριμένο δίκτυο βάθρων ταρατσών σε μερικά ακόμη κτίρια της Πολυτεχνειούπολης, ώστε να καλύπτει μεγαλύτερο μέρος της, παρέχοντας έτσι περισσότερα σημεία ελέγχου στις εργασίες που εκτελούνται σε αυτήν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

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

Αντωνόπουλος Α. – Ξυλούρης Ν. – Τσιραντωνάκης Σ., *Ίδρυση χωροσταθμικού δικτύου ακριβείας στην περιοχή Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου*, διπλωματική εργασία, Αθήνα 1980.

Γεωργόπουλος Γ.Δ., *Μελέτη παραμορφώσεων περιορισμένου πεδίου, Σημειώσεις τεχνικής γεωδαισίας*, Αθήνα 2004.

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.

Λάμπρου Ε., *Ανάπτυξη μεθοδολογίας αστρογεωδαιτικών προσδιορισμών με ψηφιακά γεωδαιτικά όργανα*, Αθήνα Ιούνιος 2003.

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

Μπαξεβανάκης Γ. – Συρμαλόγλου Ε. – Φαραζή Ν., *Χωροσταθμική σύνδεση του κτηρίου Λαμπαδαρίου με το κρατικό δίκτυο Α' τάξης*, διπλωματική εργασία, Αθήνα 1978.

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

Σιούλης Α., *Η επίδραση της διάθλασης στις γεωδαιτικές μετρήσεις. Εφαρμογή ΕΤΥ στο δίκτυο Πολυτεχνειούπολης ζωγράφου*, διπλωματική εργασία, Αθήνα Ιούλιος 1993.

Τσουρέλης Ι., *Μέτρηση και επίλυση τριδιάστατου δικτύου αναφοράς με δορυφορικές μεθόδους στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου*, διπλωματική εργασία, Αθήνα 2009.

Leica TCR 303 Manual

ABSTRACT

In this diplomathesis, the method of Accurate Trigonometric Heighting is applied, to measure a vertical 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 applied method and a comparison with other methods, in terms of error analysis and effectiveness of usage.

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

Τα φύλλα υπολογισμού των εργασιών πεδίου.

ΣΥΝΔΕΣΗ:		R ΛΑΜΠ	ΛΑΜΠ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		9/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση τιμή	Γενικός Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Γενικός Μ.Ο.	ΔΗ	Μ.Ο. ΔΗ
2	1	115,8945	284,0980	115,8983		4,009	4,009			-0,991
	1	115,8935	284,0985	115,8975	115,8979	4,009	4,010	4,009	-0,991	
2	3	98,8325	301,1590	98,8368		46,054	46,055			0,840
	3	98,8320	301,1595	98,8363	98,8365	46,054	46,054	46,054	0,842	
3	2	101,1550	298,8370	101,1590		46,056	46,056			
	2	101,1560	298,8385	101,1588	101,1589	46,056	46,056	46,056	-0,838	
3	4	82,3925	317,6045	82,3940		62,608	62,608			17,092
	4	82,3940	317,6000	82,3970	82,3955	62,608	62,610	62,609	17,093	
4	3	117,5990	282,3920	117,6035		62,606	62,605			
	3	117,5980	282,3955	117,6013	117,6024	62,606	62,606	62,606	-17,091	
4	5	120,0145	279,9850	120,0148		2,202	2,202			-0,681
	5	120,0140	279,9820	120,0160	120,0154	2,202	2,202	2,202	-0,681	
										0,000
									ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:	18,242

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΦΕ	ΓΕ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		13/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση τιμή	Γενικός Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Γενικός Μ.Ο.	ΔΗ	Μ.Ο. ΔΗ
2	1	115,7730	284,2235	115,7748		1,728	1,732			-0,424
	1	115,7740	284,2230	115,7755	115,7751	1,732	1,730	1,731	-0,424	
2	3	112,3090	287,6895	112,3098		233,831	233,831			-44,913
	3	112,3095	287,6915	112,3090	112,3094	233,831	233,831	233,831	-44,931	
3	2	87,7025	312,2990	87,7018		233,830	233,831			
	2	87,6990	312,2985	87,7003	87,7010	233,831	233,831	233,831	44,894	
3	4	88,2270	311,7675	88,2298		129,189	129,190			23,741
	4	88,2285	311,7660	88,2313	88,2305	129,189	129,190	129,190	23,748	
4	3	111,7625	288,2375	111,7625		129,188	129,188			
	3	111,7595	288,2360	111,7618	111,7621	129,188	129,188	129,188	-23,733	
4	5	112,3640	287,6325	112,3658		2,440	2,441			-0,471
	5	112,3665	287,6300	112,3683	112,3670	2,439	2,438	2,440	-0,471	
								ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:		-21,218

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΛΑΜΠ	ΦΥΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		14/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση τιμή	Γενικός Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Γενικός Μ.Ο.	ΔΗ	Μ.Ο. ΔΗ
2	1	124,1050	275,8935	124,1058		1,803	1,799			-0,666
	1	124,1005	275,8955	124,1025	124,1041	1,803	1,801	1,802	-0,666	
2	3	106,1005	293,8960	106,1023		196,425	196,425			-18,779
	3	106,1020	293,8960	106,1030	106,1026	196,425	196,426	196,425	-18,800	
3	2	93,9125	306,0885	93,9120		196,425	196,425			
	2	93,9110	306,0885	93,9113	93,9116	196,425	196,426	196,425	18,757	
3	4	95,6405	304,3585	95,6410		161,909	161,909			11,077
	4	95,6405	304,3585	95,6410	95,6410	161,909	161,909	161,909	11,077	
4	3	104,3595	295,6400	104,3598		161,908	161,908			
	3	104,3575	295,6425	104,3575	104,3586	161,908	161,908	161,908	-11,076	
4	5	112,4180	287,5775	112,4203		3,044	3,040			-0,590
	5	112,4195	287,5770	112,4213	112,4208	3,045	3,039	3,042	-0,590	
								ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:		-7,626

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΓΕ	ΛΑΜΠ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		14/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση τιμή	Γενικός Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Γενικός Μ.Ο.	ΔΗ	Μ.Ο. ΔΗ
2	1	114,9245	285,0735	114,9255		2,056	2,054			-0,477
	1	114,9245	285,0750	114,9248	114,9251	2,056	2,055	2,055	-0,477	
2	3	111,7300	288,2695	111,7303		129,602	129,602			-23,742
	3	111,7300	288,2700	111,7300	111,7301	129,602	129,602	129,602	-23,745	
3	2	88,2720	311,7245	88,2738		129,604	129,604			
	2	88,2720	311,7255	88,2733	88,2735	129,604	129,605	129,604	23,738	
3	4	93,5940	306,4050	93,5945		186,983	186,984			18,793
	4	93,5945	306,4030	93,5958	93,5951	186,984	186,984	186,984	18,780	
4	3	106,4150	293,5860	106,4145		186,983	186,983			
	3	106,4135	293,5870	106,4133	106,4139	186,984	186,984	186,984	-18,807	
4	5	128,5760	271,4220	128,5770		1,787	1,786			-0,775
	5	128,5760	271,4220	128,5770	128,5770	1,787	1,785	1,786	-0,775	
								ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:		-5,246

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΧΜ	ΓΕ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		15/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	**ΠΡΟΣ**	**ΘΕΣΗ I**	**ΘΕΣΗ II**	**Μέση τιμή**	**Γενικός Μ.Ο.**	**ΘΕΣΗ I**	**ΘΕΣΗ II**	**Γενικός Μ.Ο.**	**ΔΗ**	**Μ.Ο. ΔΗ**
2	1	104,3180	295,6885	104,3148		2,411	2,406			-0,163
	1	104,3000	295,7015	104,2993	104,3070	2,412	2,406	2,409	-0,163	
2	3	101,7145	298,2850	101,7148		219,355	219,355			-5,924
	3	101,7155	298,2830	101,7163	101,7155	219,354	219,354	219,355	-5,910	
3	2	98,2760	301,7220	98,2770		219,355	219,355			
	2	98,2760	301,7230	98,2765	98,2768	219,355	219,355	219,355	5,937	
3	4	113,5355	286,4625	113,5365		2,212	2,213			-0,467
	4	113,5365	286,4595	113,5385	113,5375	2,213	2,212	2,213	-0,467	
								ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:		**-6,228**

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΦΥΣ	ΧΜ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		15/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση τιμή	Γενικός Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Γενικός Μ.Ο.	ΔΗ	Μ.Ο. ΔΗ
2	1	111,9000	288,1025	111,8988		3,584	3,580			-0,666
	1	111,9020	288,1025	111,8998	111,8993	3,584	3,580	3,582	-0,666	
2	3	92,5035	307,5000	92,5018		107,042	107,042			12,582
	3	92,5015	307,5025	92,4995	92,5006	107,042	107,042	107,042	12,580	
3	2	107,5005	292,5005	107,5000		107,043	107,042			
	2	107,5015	292,4985	107,5015	107,5008	107,043	107,043	107,043	-12,583	
3	4	98,2555	301,7450	98,2553		219,322	219,322			6,018
	4	98,2545	301,7470	98,2538	98,2545	219,321	219,322	219,322	6,013	
4	3	101,7460	298,2490	101,7485		219,321	219,321			
	3	101,7475	298,2510	101,7483	101,7484	219,321	219,321	219,321	-6,023	
4	5	104,3130	295,6780	104,3175		2,409	2,402			-0,163
	5	104,3110	295,6785	104,3163	104,3169	2,409	2,402	2,406	-0,163	
								ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:		19,102

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΦΥΣ	ΦΕ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		18/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση τιμή	Γενικός Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Γενικός Μ.Ο.	ΔΗ	Μ.Ο. ΔΗ
2	1	115,2460	284,7520	115,2470		3,027	3,024			-0,718
	1	115,2420	284,7545	115,2438	115,2454	3,027	3,025	3,026	-0,718	
2	3	104,4575	295,5440	104,4568		159,046	159,046			-11,115
	3	104,4555	295,5440	104,4558	104,4563	159,046	159,046	159,046	-11,124	
3	2	95,5520	304,4460	95,5530		159,046	159,047			
	2	95,5475	304,4500	95,5488	95,5509	159,047	159,046	159,047	11,106	
3	4	87,4765	312,5155	87,4805		229,707	229,707			44,871
	4	87,4815	312,5150	87,4833	87,4819	229,706	229,707	229,707	44,878	
4	3	112,5140	287,4870	112,5135		229,704	229,706			
	3	112,5140	287,4840	112,5150	112,5143	229,705	229,705	229,705	-44,864	
4	5	110,2975	289,7030	110,2973		2,439	2,436			-0,393
	5	110,2945	289,7060	110,2943	110,2958	2,442	2,434	2,438	-0,393	
								ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:		34,081

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΛΑΜΠ	ΧΜ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		19/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	**ΠΡΟΣ**	**ΘΕΣΗ I**	**ΘΕΣΗ II**	**Μέση τιμή**	**Γενικός Μ.Ο.**	**ΘΕΣΗ I**	**ΘΕΣΗ II**	**Γενικός Μ.Ο.**	**ΔΗ**	**Μ.Ο. ΔΗ**
2	1	122,8845	277,1150	122,8848		1,907	1,899			-0,669
	1	122,8840	277,1160	122,8840	122,8844	1,905	1,899	1,903	-0,669	
2	3	106,0390	293,9615	106,0388		198,136	198,136			-18,766
	3	106,0405	293,9580	106,0413	106,0400	198,135	198,136	198,136	-18,770	
3	2	93,9620	306,0345	93,9638		198,137	198,138			
	2	93,9660	306,0425	93,9618	93,9628	198,137	198,137	198,137	18,762	
3	4	87,9275	312,0675	87,9300		126,494	126,495			23,845
	4	87,9310	312,0660	87,9325	87,9313	126,494	126,495	126,495	23,837	
4	3	112,0730	287,9200	112,0765		126,494	126,494			
	3	112,0760	287,9225	112,0768	112,0766	126,494	126,494	126,494	-23,852	
4	5	98,2430	301,7615	98,2408		214,355	214,355			5,922
	5	98,2390	301,7615	98,2388	98,2398	214,355	214,355	214,355	5,926	
5	4	101,7615	298,2410	101,7603		214,354	214,353			
	4	101,7570	298,2455	101,7558	101,7580	214,354	214,353	214,354	-5,919	
6	5	105,5285	294,4700	105,5293		2,186	2,181			-0,190
	5	105,5320	294,4655	105,5333	105,5313	2,187	2,182	2,184	-0,190	
									ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:	**11,481**

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΦΕ	ΛΑΜΠ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		20/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	**ΠΡΟΣ**	**ΘΕΣΗ I**	**ΘΕΣΗ II**	**Μέση τιμή**	**Γενικός Μ.Ο.**	**ΘΕΣΗ I**	**ΘΕΣΗ II**	**Γενικός Μ.Ο.**	**ΔΗ**	**Μ.Ο. ΔΗ**
2	1	111,6300	288,3660	111,6320		2,166	2,166			-0,394
	1	111,6280	288,3660	111,6310	111,6315	2,165	2,168	2,166	-0,394	
2	3	110,6720	289,3240	110,6740		156,567	156,567			-26,112
	3	110,6730	289,3250	110,6740	110,6740	156,567	156,567	156,567	-26,128	
3	2	89,3375	310,6610	89,3383		156,567	156,567			
	2	89,3400	310,6595	89,3403	89,3393	156,566	156,566	156,567	26,096	
3	4	126,3995	273,5995	126,4000		1,845	1,845			-0,743
	4	126,3985	273,5995	126,3995	126,3998	1,845	1,845	1,845	-0,743	
								ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:		**-26,462**

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΦΕ	ΧΜ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		21/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	**ΠΡΟΣ**	**ΘΕΣΗ I**	**ΘΕΣΗ II**	**Μέση τιμή**	**Γενικός Μ.Ο.**	**ΘΕΣΗ I**	**ΘΕΣΗ II**	**Γενικός Μ.Ο.**	**ΔΗ**	**Μ.Ο. ΔΗ**
2	1	109,9130	290,0840	109,9145		2,686	2,681			-0,416
	1	109,9130	290,0860	109,9135	109,9140	2,687	2,683	2,684	-0,416	
2	3	113,1645	286,8345	113,1650		219,011	219,011			-44,960
	3	113,1640	286,8350	113,1645	113,1648	219,010	219,011	219,011	-44,967	
3	2	86,8390	313,1600	86,8395		219,011	219,011			
	2	86,8400	313,1595	86,8403	86,8399	219,011	219,011	219,011	44,952	
3	4	88,7115	311,2845	88,7135		134,608	134,608			23,744
	4	88,7135	311,2850	88,7143	88,7139	134,608	134,608	134,608	23,739	
4	3	111,2930	288,7065	111,2933		134,607	134,607			
	3	111,2900	288,7105	111,2898	111,2915	134,606	134,607	134,607	-23,750	
4	5	98,2265	301,7695	98,2285		217,173	217,174			6,037
	5	98,2280	301,7695	98,2293	98,2289	217,173	217,173	217,173	6,041	
5	4	101,7675	298,2295	101,7690		217,175	217,175			
	4	101,7665	298,2305	101,7680	101,7685	217,175	217,175	217,175	-6,032	
6	5	104,9660	295,0290	104,9685		2,715	2,711			-0,211
	5	104,9670	295,0295	104,9688	104,9686	2,715	2,708	2,712	-0,211	
									ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:	**-14,974**

ΣΥΝΔΕΣΗ:		ΓΕ	ΦΥΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		22/10/2008				
		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ				ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΜΗΚΗ				
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση τιμή	Γενικός Μ.Ο.	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Γενικός Μ.Ο.	ΔΗ	Μ.Ο. ΔΗ
2	1	113,1835	286,8140	113,1848		1,842	1,843			-0,379
	1	113,1825	286,8185	113,1820	113,1834	1,842	1,842	1,842	-0,379	
2	3	107,2460	292,7545	107,2458		111,199	111,200			-12,634
	3	107,2480	292,7525	107,2478	107,2468	111,200	111,200	111,200	-12,631	
3	2	92,7495	307,2495	92,7500		111,203	111,203			
	2	92,7510	307,2510	92,7500	92,7500	111,203	111,203	111,203	12,637	
3	4	119,5615	280,4415	119,5600		2,026	2,024			-0,613
	4	119,5640	280,4360	119,5640	119,5620	2,029	2,024	2,026	-0,613	
								ΤΕΛΙΚΟ ΔΗ:		-12,868

Η συνόρθωση του δικτύου στο περιβάλλον Excel για $H_{ΛΑΜΠ}$=210.661.

Hlamp= 210,661

A

FYS	GE	FE	XM
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
-1	0	1	0
-1	1	0	0
-1	0	0	1
0	-1	1	0
0	-1	0	1
0	0	1	-1

dl
203,035
215,907
222,142
237,123
34,081
12,868
19,102
21,218
6,228
14,974

A^T

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

N (A^T A)

4	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1
-1	-1	4	-1
-1	-1	-1	4

N^-1

0,4	0,2	0,2	0,2
0,2	0,4	0,2	0,2
0,2	0,2	0,4	0,2
0,2	0,2	0,2	0,4

AT*dL	136,984		X	203,038	**FYS**		AX	203,0382	U=AX-dL	0,0032
	201,329			215,907	**GE**			215,9072		0,0002
	307,396			237,121	**FE**			222,1410		-0,0010
	232,498			222,141	**XM**			237,1206		-0,0024
								34,0824		0,0014
								12,8690		0,0010
								19,1028		0,0008
								21,2134		-0,0046
								6,2338		0,0058
								14,9796		0,0056

U^T	0,0032	0,0002	-0,0010	-0,0024	0,0014	0,0010	0,0008	-0,0046	0,0058	0,0056

U^TU	0,000107	Vx	7,12E-06	3,56E-06	3,56E-06	3,56E-06
			3,56E-06	7,12E-06	3,56E-06	3,56E-06
so	0,004		3,56E-06	3,56E-06	7,12E-06	3,56E-06
			3,56E-06	3,56E-06	3,56E-06	7,12E-06
			σFYS	**σGE**	**σFE**	**σXM**
			0,003	**0,003**	**0,003**	**0,003**

Η συνόρθωση του δικτύου στο περιβάλλον Excel για $H_{ΛΑΜΠ}$=210.860.

Hlamp= 210,860

A

FYS	GE	FE	XM
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
-1	0	1	0
-1	1	0	0
-1	0	0	1
0	-1	1	0
0	-1	0	1
0	0	1	-1

dl
203,234
216,106
222,341
237,322
34,081
12,868
19,102
21,218
6,228
14,974

A^T

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

N (A^T A)

4	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1
-1	-1	4	-1
-1	-1	-1	4

N^-1

0,4	0,2	0,2	0,2
0,2	0,4	0,2	0,2
0,2	0,2	0,4	0,2
0,2	0,2	0,2	0,4

AT*dL	137,183		X	203,237	**FYS**		AX	203,2372	U=AX-dL	0,0032
	201,528			216,106	**GE**			216,1062		0,0002
	307,595			237,320	**FE**			222,3400		-0,0010
	232,697			222,340	**XM**			237,3196		-0,0024
								34,0824		0,0014
								12,8690		0,0010
								19,1028		0,0008
								21,2134		-0,0046
								6,2338		0,0058
								14,9796		0,0056

U^T	0,0032	0,0002	-0,0010	-0,0024	0,0014	0,0010	0,0008	-0,0046	0,0058	0,0056

U^TU	0,000107	Vx	7,12E-06	3,56E-06	3,56E-06	3,56E-06
			3,56E-06	7,12E-06	3,56E-06	3,56E-06
so	0,004		3,56E-06	3,56E-06	7,12E-06	3,56E-06
			3,56E-06	3,56E-06	3,56E-06	7,12E-06
			σFYS	**σGE**	**σFE**	**σXM**
			0,003	**0,003**	**0,003**	**0,003**

Υπολογισμός των ΔΗ της διπλωματικής 2000 από τα πρωτογενή στοιχεία.

Από-Προς	ΥΟ	ΥΣ	Κεκλ.Μήκος	Κατ.Γωνία	ΔΗ2000	ΜΟ ΔΗ2000	σ ΔΗ2000
ΛΑΜΠ-ΦΥΣ	0,37175	0,35535	298,6479	101,6242	-7,6021	-7,597	±4.7
ΦΥΣ-ΛΑΜΠ	0,35535	0,37175	298,6469	98,3779	7,5923		
ΛΑΜΠ-ΓΕ	0,37175	0,36065	314,2539	98,9403	5,2418	5,250	±4.9
ΓΕ-ΛΑΜΠ	0,36065	0,37175	314,2545	101,0630	-5,2581		
ΛΑΜΠ-ΧΜ	0,37175	0,35025	508,7889	98,5681	11,4643	11,488	±8.0
ΧΜ-ΛΑΜΠ	0,35025	0,37175	508,7900	101,4377	-11,5107		
ΛΑΜΠ-ΦΕ	0,37175	0,3625	156,8137	89,2088	26,4633	26,464	±2.5
ΦΕ-ΛΑΜΠ	0,3625	0,37175	156,8141	110,7914	-26,4638		
ΦΥΣ-ΓΕ	0,35535	0,36065	111,3703	92,6342	12,8517	12,852	±1.8
ΓΕ-ΦΥΣ	0,36065	0,35535	111,3703	107,3664	-12,8527		
ΦΥΣ-ΦΕ	0,35535	0,3625	382,5561	94,3247	34,0516	34,057	±6.0
ΦΕ-ΦΥΣ	0,3625	0,35535	382,5561	105,6771	-34,0624		
ΓΕ-ΧΜ	0,36065	0,35025	218,2457	98,1859	6,2286	6,235	±3.4
ΧΜ-ΓΕ	0,35025	0,36065	218,2467	101,8176	-6,2407		
ΓΕ-ΦΕ	0,36065	0,3625	350,3287	96,1444	21,2024	21,209	±5.5
ΦΕ-ΓΕ	0,3625	0,36065	350,3271	103,8580	-21,2154		
ΧΜ-ΦΕ	0,35025	0,3625	493,6765	98,0693	14,9574	14,976	±7.8
ΦΕ-ΧΜ	0,3625	0,35025	493,6751	101,9356	-14,9953		