



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών

Τομέας Τοπογραφίας

Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας

Διπλωματική Εργασία

**“Εγκατάσταση υψομετρικού δικτύου ελέγχου  
μετακινήσεων στον οικισμό Τριπόταμο των ορυχείων  
Μεγαλόπολης”**



**ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

ΜΑΡΤΙΟΣ 2012

**ΤΣΑΚΙΡΗ ΜΑΡΙΑ**

Επίκουρη καθηγήτρια ΕΜΠ



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επίκουρη Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π κα Τσακίρη Μαρία για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, την επίβλεψη αλλά και την βοήθεια της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Να ευχαριστήσω επίσης τον κ. Χάρη Ζαχαριάδη, υπεύθυνο Τοπογράφο Μηχανικό της ΔΕΗ, για την συνεχή καθοδήγηση στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, τόσο στο ύπαιθρο στη διαδικασία των μετρήσεων όσο και στις εργασίες γραφείου με τη διάθεση λογισμικών και χρήσιμων πληροφοριών.

Στη συνέχεια θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στο φίλο μου και συμφοιτητή μου Διονύση Καψάσκη για την άψογη συνεργασία που είχαμε, μεταξύ άλλων, ώστε να φέρουμε εις πέρας την διπλωματική εργασία. Εκτός από το Διονύση με τον οποίο εκπονήσαμε μαζί τη διπλωματική θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επίσης συμφοιτητή μου και πάνω απ'όλα φίλο μου Φώτη Μπουρεξή του οποίου η βοήθεια υπήρξε καταλυτική τόσο στην εκπόνηση της διπλωματικής με την παροχή χρήσιμων συμβουλών – οδηγιών, όσο και σε αρκετά μαθήματα κατά τη διάρκεια των σπουδών.

Τέλος ένα ΤΕΡΑΣΤΙΟ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ στους γονείς μου Γιώργο και Χριστίνα. Χάρη στους δικούς τους αγώνες και θυσίες είχα και έχω τα πάντα μεταξύ των οποίων και τη δυνατότητα των σπουδών. Καθώς επίσης στον άνθρωπό μου, Δήμητρα, η οποία με στήριξε καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εγκατάσταση υψομετρικού δικτύου ελέγχου για τον διαχρονικό έλεγχο τυχόν κατακόρυφων μετακινήσεων. Την περιοχή μελέτης αποτελεί ο οικισμός Τριπόταμο στη νότια πλευρά των ορυχείων της Δ.Ε.Η. Μεγαλόπολης. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις είναι επίγειες γεωδαιτικές. Κυρίως έλαβε χώρα η Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση και λιγότερο η Τριγωνομετρική Υψομετρία με αμοιβαίες σκοπεύσεις.

Το υψομετρικό δίκτυο που ιδρύθηκε μετρήθηκε δύο φορές με διαφορά φάσης 6 μηνών. Η πρώτη περίοδος μετρήσεων έγινε καλοκαίρι, μήνα Ιούνιο, και η δεύτερη χειμώνα στα μέσα Δεκεμβρίου. Στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζεται η διαδικασία των μετρήσεων, περιγράφονται οι μέθοδοι και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης αναλύεται η διαδικασία συνόρθωσης των παρατηρήσεων και η επίλυση του δικτύου. Στη συνέχεια γίνεται η σύγκριση των τιμών των υψομέτρων των κορυφών για τις δύο περιόδους μετρήσεων. Τέλος παρουσιάζεται τρισδιάστατα ένα μοντέλο τοπικού γεωειδούς της περιοχής όπως προέκυψε από τις μετρήσεις και συγκρίνεται με το αντίστοιχο μοντέλο που προκύπτει από το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς, EGM '96.

## ABSTRACT

The purpose of this thesis is the installation of a Vertical control network for temporal control of any vertical displacements. The study area is the settlement Tripotamos on the south side of the PPC Mine Megalopolis. The methods used for measurement is ground surveying. Mainly took place Dual leveling and less the reciprocal Trigonometric Elevation sightings.

The elevation network that has been established was measured twice with phase difference 6 months. The first period was measured in the summer, June, and the second in the winter, in mid-December. In this thesis is being presented the process of measurement, are being described the methods and instruments that were used and also is being analyzed the process of the observations synorthosis and the solving of the network. Then is being made a comparison of peak heights for the two measurement periods. Finally is being presented a three-dimensional model of the geoid local area as is being derived by the measurements and is being compared with the corresponding model derived from the global geoid model, EGM '96.

## Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1	Γενικά.....	1
1.2	Σκοπός της διπλωματικής.....	2
1.3	Δομή της Διπλωματικής.....	3
2	ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ.....	5
2.1	Γενικά.....	5
2.2	Επίδραση των αργιλικών εδαφών στις μετακινήσεις.....	6
2.3	Μετακινήσεις τεχνικών έργων σε περιοχές ορυχείων.....	7
2.4	Μέθοδοι Υπολογισμού Κατακόρυφων Μετακινήσεων.....	11
3	ΠΡΟΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ .....	19
3.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	19
3.2	Επιλογή Οργάνων και Παρελκομένων .....	19
3.2.1	Ψηφιακός χωροβάτης.....	19
3.2.2	Γεωδαιτικοί σταθμοί.....	24
4	ΙΔΡΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ – ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ .....	29
4.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	29
4.2	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΙΔΡΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	30
4.3	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΕΔΙΟΥ .....	41
5	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	43
5.1	Επίλυση δικτύου .....	43
5.1.1	Γενικά.....	43
5.1.2	Αποτελέσματα .....	43
5.1.3	Επίλυση δικτύου κατακορύφου ελέγχου.....	44
5.2	Σύγκριση των τελικών υψομέτρων των κορυφών του χωροσταθμικού δικτύου.....	61
5.3	Δημιουργία χάρτη των αποχών του γεωειδούς.....	66
5.4	ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ .....	72

5.4.1 Κατανομή εργασιών .....	72
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	75
6.1 Συμπεράσματα .....	75
6.2 Προτάσεις .....	77
Βιβλιογραφία.....	88
Παράρτημα.....	89

#### ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΠΙΝΑΚΩΝ-ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΧΑΡΤΩΝ

Εικόνα 2.1Μετακίνηση πρσανούς αργιλώδους εδάφους προς το οδικό δίκτυο ..	7
Εικόνα 2.2Εξόρυξη άλατος (τομή).....	8
Εικόνα 2.3Χρωματική διαβάθμιση της καθίζησης από την εικόνα του IKONOS .....	9
Εικόνα 2.4Γραφική αναπαράσταση του δικτύου που δημιουργήθηκε .....	10
Εικόνα 2.5Τα σημεία του δικτύου που ιδρύθηκε και οι καθιζήσεις πέριξ αυτώ .....	10
Εικόνα 2.6GPS (Δορυφορικός δέκτης).....	17
Εικόνα 2.7Τεχνική InSAR.....	18
Εικόνα 3.1 Ο ψηφιακός χωροβάτης της Topcon DL-102C.....	21
Εικόνα 3.2Ο τρίποδας αλουμινίου και οι δύο τηλεσκοπικές σταδίες .....	21
Εικόνα 3.3Η μετροταινία .....	21
Εικόνα 3.4Οι δύο βαριές χωροσταθμικές βάσεις.....	21
Εικόνα 3.5 Ο γεωδαιτικός σταθμός της Leica TCR 303.....	25
Εικόνα 3.6Ο γεωδαιτικός σταθμός της Leica TCR 705 .....	26
Εικόνα 3.7Πασέτο .....	26
Εικόνα 3.8Στόχος σκόπευσης .....	26
Εικόνα 3.9Τρικόχλιο.....	26
Εικόνα 3.10Τρίποδας.....	26
Εικόνα 4.1Η ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης .....	30
Εικόνα 4.2Σύνολο σημείων G.P.S και χωροσταθμικού δικτύου .....	31
Εικόνα 4.3Reper Ο.Σ.Ε. R17 .....	32

Εικόνα 4.4 Σημείο Ε4 .....	32
Εικόνα 4.5 Σημείο Ε6 .....	32
Εικόνα 4.6 Σημείο Ε8 .....	32
Εικόνα 4.7 Οι κορυφές του χωροσταθμικού δικτύου .....	33
Εικόνα 4.8 Σημείο Α1 .....	34
Εικόνα 4.9 Σημείο Α2 .....	34
Εικόνα 4.10 Σημείο Α3 .....	34
Εικόνα 4.11 Σημείο Α4 .....	34
Εικόνα 4.12 Σημείο Α5 .....	35
Εικόνα 4.13 Σημείο Α6 .....	35
Εικόνα 4.14 Σημείο Α7 .....	35
Εικόνα 4.15 Σημείο Α8 .....	35
Εικόνα 4.16 Σημείο Α9 .....	36
Εικόνα 4.17 Σημείο Α10 .....	36
Εικόνα 4.18 Σημείο Α11 .....	36
Εικόνα 4.19 Χωροστάθμιση R158 - T3 .....	37
Εικόνα 4.20 Χωροστάθμιση R158 - T3 .....	37
Εικόνα 4.21 Ε.Τ.Υ. στο σημείο Ε6.....	38
Εικόνα 4.22 Ε.Τ.Υ. στο σημείο Σ1.....	39
Εικόνα 4.23 Χωροστ. R158 – T3.....	42
Εικόνα 4.24 Χωροστ. R158 – T3.....	42
Εικόνα 5.1 Εισαγωγή δεδομένων Μάιος 2010 .....	47
Εικόνα 5.2 Απόσπασμα από τα αποτελέσματα της συνόρθωσης Μάιος 2010 .....	48
Πίνακας 3.1 Μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα κλεισίματος σε μία Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμιση ανάλογα με τον αριθμό των στάσεων, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.....	24
Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά γεωδαιτικών σταθμών .....	25



Πίνακας 5.1 Κωδικοποίηση κορυφών δικτύου .....	45
Πίνακας 5.2 Υψομετρικές διαφορές και αποστάσεις των κορυφών Μάιος 2010 .....	46
Πίνακας 5.3 Αποτελέσματα συνόρθωσης Μάιος 2010 .....	49
Πίνακας 5.4 Υψομετρικές διαφορές και αποστάσεις των κορυφών Δεκέμβριος 2010 .....	50
Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα συνόρθωσης Δεκέμβριος 2010 .....	52
Πίνακας 5.6 Διορθωμένες υψομετρικές διαφορές Μάιος 2010 .....	56
Πίνακας 5.7 Τελικά υψόμετρα και αβεβαιότητες Μάιος 2010 .....	57
Πίνακας 5.8 Διορθωμένες υψομετρικές διαφορές Δεκέμβριος 2010 .....	59
Πίνακας 5.9 Τελικά υψόμετρα και αβεβαιότητες Δεκέμβριος 2010 .....	60
Πίνακας 5.10 Κατακόρυφες μετακινήσεις κορυφών δικτύου .....	64
Πίνακας 5.11 Συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ '87 – ορθομετρικά υψόμετρα – γεωμετρικά υψόμετρα – αποχές γεωειδούς .....	68
Σχήμα 2.1 Γεωμετρική Χωροστάθμιση .....	13
Σχήμα 2.2 Τριγωνομετρική Υψομετρία .....	14
Σχήμα 2.3 Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία (με δύο στάσεις) .....	16
Σχήμα 4.1 Σκαρίφημα των χωροσταθμικών οδεύσεων .....	40
Σχήμα 5.1 Τρισδιάστατο μοντέλο τοπικού γεωειδούς από EGM '96 .....	69
Σχήμα 5.2 Τρισδιάστατο μοντέλο τοπικού γεωειδούς .....	70
Χάρτης 5.1 Διαφορές των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου .....	65
Χάρτης 5.2 Επιλεγμένα σημεία για τη δημιουργία του μοντέλου τοπικού γεωειδούς .....	67

# 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Η μελέτη των μετακινήσεων της επιφάνειας του εδάφους δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της κινηματικής συμπεριφοράς των περιοχών αλλά και των τεχνικών έργων που έχουν κατασκευαστεί σε αυτές. Ο στόχος είναι η πρόληψη δυσμενών καταστάσεων και η έγκαιρη αντιμετώπιση σοβαρών αστοχιών με τεράστιο κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Η κατασκευή ενός τεχνικού έργου (μικρού ή μεγάλου) πρέπει να εξασφαλίζει τη μεγάλη διάρκεια ζωής του, με τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια των χρηστών του. Επομένως, ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποκτά η διαχρονική παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς των τεχνικών έργων, από την ολοκλήρωση της κατασκευής και σε όλη τη διάρκεια “ζωής” τους.

Σημαντικό μέγεθος που αφορά στην κινηματική συμπεριφορά των περιοχών και των τεχνικών έργων, είναι η καθίζηση. Η μελέτη των καθιζήσεων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του μεγέθους τους καθώς, και τη διαχρονική παρακολούθηση της εξέλιξής τους. Τα αποτελέσματα της διαχρονικής παρακολούθησης μπορούν να συσχετισθούν με θεωρητικά μοντέλα καθιζήσεων για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την απόκριση της περιοχής αλλά και του τεχνικού έργου.

Η Γεωδαισία, με την ελεγχόμενη μεθοδολογία που χρησιμοποιεί και τα όργανα υψηλής ακρίβειας που διαθέτει, παρέχει τη δυνατότητα ανίχνευσης, προσδιορισμού του μεγέθους και παρακολούθησης της εξέλιξης των κατακόρυφων μετακινήσεων τμημάτων του εδάφους και κατασκευών με αξιοπιστία. Για το σκοπό αυτό, ιδρύεται στην περιοχή μελέτης γεωδαιτικό δίκτυο κατακορύφου ελέγχου και μετρώνται τα στοιχεία του σε περισσότερες της μίας χρονικές στιγμές (φάσεις), προκειμένου να προσδιοριστούν οι μεταβολές των υψομέτρων των κορυφών του στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα. Στη συνέχεια, οι μεταβολές αυτές ελέγχονται για συγκεκριμένο

επίπεδο εμπιστοσύνης και προσδιορίζονται οι στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

## **1.2 Σκοπός της διπλωματικής**

Σκοπός της διπλωματικής είναι η ίδρυση και μέτρηση ενός υψομετρικού δικτύου στον οικισμό Τριπόταμο Μεγαλόπολης καθώς και στην ευρύτερη περιοχή ώστε έπειτα από μελλοντικές μετρήσεις να επιτευχθεί η παρακολούθηση και η ανίχνευση τυχόν κατακόρυφων μετακινήσεων. Η διαδικασία αυτή κρίθηκε σκόπιμη διότι εξετάζεται το αν και κατά πόσο η περιοχή επηρεάζεται:

- είτε από τις εκσκαφές, πολλών δεκάδων μέτρων σε βάθος, που εκτελεί η Δ.Ε.Η. με σκοπό την εξόρυξη λιγνίτη, σε όλη την ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου της Μεγαλόπολης πλησίον της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα βορειοδυτικά αυτής
- είτε από τα έργα διευθέτησης του ποταμού Αλφειού που περνάει λίγα μέτρα νότια του οικισμού Τριποτάμου
- είτε από το συνδυασμό των παραπάνω μαζί με το γεγονός ότι γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής είναι πολύ ασταθές

Ιδρύθηκε ένα δίκτυο, για τον σχεδιασμό και πύκνωση του οποίου λήφθηκαν υπ' όψιν τα γεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και η κατανομή των σημείων στο χώρο. Η δυνατότητα προσδιορισμού πιθανών κατακόρυφων μετακινήσεων είναι της τάξης μερικών χιλιοστών, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Για τη μέτρηση των στοιχείων του δικτύου, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης με τη χρήση ψηφιακού χωροβάτη ακριβείας και των κωδικοποιημένων σταδίων που τον συνοδεύουν. Η συνόρθωση των παρατηρήσεων και η επίλυση του δικτύου έγινε με τη Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.) και συγκεκριμένα με δύο λογισμικά, το «Επίλυση Beta» και το «Geocalc».

Ακολούθησε η σύγκριση των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου, μεταξύ των δύο χρονικών φάσεων μέτρησης των στοιχείων του (Μάιος 2010 – Δεκέμβριος 2010). Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο γραφικά με τα διανύσματα των διαφορών όσο και σε μορφή πινάκων.

Συμπερασματικά λοιπόν ο σκοπός και ο στόχος της διπλωματικής αυτής είναι να παρουσιάσει τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης, τεκμηριώνοντας και αιτιολογώντας τα με την εκτενή αναφορά όλων των διαδικασιών και των μεθόδων που ακολουθήθηκαν μέχρι το πέρας της μελέτης.

### **1.3 Δομή της Διπλωματικής**

Η Διπλωματική Εργασία αποτελείται από οχτώ κεφάλαια και το Παράρτημα:

- Στο πρώτο κεφάλαιο, εισαγωγή, αναλύεται ο σκοπός της διπλωματικής και η δομή της.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται το φαινόμενο της καθίζησης, οι κατηγορίες των καθιζήσεων, τα αίτια που τις προκαλούν καθώς, και οι επιπτώσεις τους σε διάφορα τεχνικά έργα. Έπειτα περιγράφονται και οι μέθοδοι υπολογισμού των κατακόρυφων μετακινήσεων, επίγειες και δορυφορικές.
- Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα όργανα με τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν με βάση τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν (Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση και Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία) για την εκτέλεση των μετρήσεων και εντοπισμό των διαφορών των τιμών των υψομέτρων.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται όλες οι εργασίες πεδίου που έλαβαν χώρα στην περιοχή μελέτης. Αναλύεται η ίδρυση του δικτύου, με την αναγνώριση της περιοχής και την επιλογή των κορυφών και την υλοποίησή τους στο έδαφος, καθώς και η διαδικασία των μετρήσεων με τα όποια προβλήματα παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια αυτών.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η επεξεργασία των μετρήσεων και η συνόρθωση και επίλυση του χωροσταθμικού δικτύου με τη βοήθεια δύο διαφορετικών λογισμικών που χρησιμοποιούν αμφότερα την Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων. Αυτά είναι το «Επίλυση Beta» και το «Geocalc». Οι διορθωμένες υψομετρικές διαφορές καθώς επίσης και τα τελικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου με τις αβεβαιότητες τους

παρουσιάζονται σε μορφή πινάκων. Επίσης περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να γίνει η ανίχνευση των διαφορών των τιμών των υψομέτρων για το διάστημα (Μάιος 2010 – Δεκέμβριος 2010) για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται το χρονοδιάγραμμα των εργασιών για την εκπόνηση της διπλωματικής, συγκεκριμένα των εργασιών πεδίου και των εργασιών γραφείου.

- Στο έκτο κεφάλαιο διατυπώνονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις, που προέκυψαν από την εκπόνηση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας.
- Στο παράρτημα παρουσιάζονται σε μορφή πινάκων όλες οι μετρήσεις των στοιχείων του δικτύου

# 2

## ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

### 2.1 Γενικά

Κάθε τεχνικό έργο, υπόκειται σε στατική ή και δυναμική φόρτιση. Το ίδιο βάρος ενός τεχνικού έργου αποτελεί στατικό φορτίο, ενώ η σεισμική δράση και επίδραση του ανέμου, χαρακτηρίζονται ως δυναμικά φορτία. Η φόρτιση ενός τεχνικού έργου έχει ως αποτέλεσμα τη γένεση παραμορφώσεων με ελαστικά ή και μόνιμα χαρακτηριστικά. Σε περίπτωση που οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις υπερβούν συγκεκριμένα όρια, τότε το τεχνικό έργο οδηγείται σε αστοχία, με σοβαρές επιπτώσεις που αφορούν στη λειτουργία του φορέα και ενδεχομένως σε ανθρώπινες ζωές. Οι καθιζήσεις τμημάτων του εδάφους οφείλονται ακόμη στις διαβρώσεις και τις υποσκαφές, που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της εδαφικής μάζας, προερχόμενες είτε από τα υπόγεια ύδατα είτε από τα υπόγεια έργα (π.χ. μεταλλευτικές εργασίες, σήραγγες συγκοινωνιακών έργων). Εκτός όμως από τα παραπάνω, μία ακόμη αιτία των καθιζήσεων είναι το είδος του υπεδάφους. Έτσι, η κοκκώδης σύσταση και η παρουσία μεγάλου ποσοστού αργίλου προκαλούν διόγκωσή του, εξαιτίας της απορρόφησης νερού τους χειμερινούς μήνες και καθίζηση το καλοκαίρι, λόγω της απομάκρυνσης της υγρασίας και τη μετατροπή της αργίλου σε λεπτόκοκκο υλικό. Οι εναλλαγές αυτές προκαλούν αυξομειώσεις του όγκου της αργίλου, με αποτέλεσμα την αποσάθρωση του εδάφους θεμελίωσης. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η παραμόρφωση ενός εδαφικού αργιλικού στρώματος, κάτω από την επενέργεια της φόρτισης ενός έργου, εξαρτάται κυρίως, από την προφόρτιση του εδαφικού υλικού, από την προϋπάρχουσα της φόρτισης εντατική κατάσταση μέσα στο εδαφικό στρώμα καθώς, και από την εντατική κατάσταση που προκαλεί η φόρτιση από το έργο. Σήμερα η πρόοδος των μετρήσεων μέσω GPS και σε συνδυασμό με άλλες τοπογραφικές μεθόδους επιτρέπουν την παρακολούθηση των παραπάνω παραμορφώσεων ώστε να εξαγονται ασφαλή συμπεράσματα για την εξέλιξη ενός τεχνικού έργου που υπόκεινται μικρομετακινήσεις.

## **2.2 Επίδραση των αργιλικών εδαφών στις μετακινήσεις**

Οι άργιλοι ως λεπτόκοκκα συμπιεστά, συνεκτικά υλικά, με πολύ μικρή διαπερατότητα έχουν ως αποτέλεσμα οι ιδιότητές τους εξαρτώνται από την ορυκτολογική τους σύσταση. Η παραμόρφωση ενός εδαφικού αργιλικού στρώματος, κάτω από την επίδραση της φόρτισης ενός τεχνικού έργου, εξαρτάται κυρίως από την προϊστορία των φορτίσεων του εδαφικού υλικού, από την εντατική κατάσταση μέσα στο εδαφικό στρώμα, καθώς και από την εντατική κατάσταση που προκαλεί η φόρτιση του τεχνικού έργου. Η καθίζηση που προκαλείται από τα φορτία μιας κατασκευής σε στρώμα κορεσμένης άργιλου, εξελίσσεται σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία. Πριν από την επιβολή του φορτίου του τεχνικού έργου στο έδαφος, εξαιτίας της εκσκαφής μέχρι τη στάθμη θεμελίωσης, παρατηρείται ότι το έδαφος αποτονώνεται προς τα άνω, σαν συνέπεια της αποφόρτισής του από τα φορτία των υπερκειμένων (της στάθμης θεμελίωσης) γαιών. Με την έναρξη της κατασκευής του τεχνικού έργου, το έδαφος καθιζάνει, εξαιτίας της επιβολής των φορτίσεων, μέχρις ότου η πρόσθετη πίεση γίνει ίση προς το φορτίο των γαιών της εκσκαφής, δηλαδή η πρόσθετος κατακόρυφη πίεση να μηδενισθεί. Όσο εξελίσσεται η κατασκευή του τεχνικού έργου, τα φορτία αυξάνουν, επομένως αυξάνεται η πρόσθετη κατακόρυφη πίεση και η καθίζηση συνεχίζεται. Εάν η κατασκευή ολοκληρωθεί αρκετά γρήγορα, η καθίζηση που εμφανίζεται με την ολοκλήρωση της κατασκευής, οφείλεται κυρίως στη διατμητική παραμορφωσιμότητα της άργιλου, γίνεται ουσιαστικά υπό αστράγγιστες συνθήκες και ονομάζεται «άμεση» ή «ελαστική» καθίζηση. Με την επιβολή των φορτίων της κατασκευής, η πίεση του νερού των πόρων αυξάνεται και στη συνέχεια αρχίζει να αποτονώνεται. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του όγκου του υπεδάφους, κι έτσι η κατασκευή υπόκειται σε περαιτέρω καθίζηση, που ονομάζεται καθίζηση λόγω στερεοποίησης. Το μέγεθός της αυξάνει με την πάροδο του χρόνου, αλλά ο ρυθμός μεταβολής της μειώνεται σταδιακά μέχρι το μηδενισμό της, σε χρονικό διάστημα που εξαρτάται από το συντελεστή στερεοποίησης της άργιλου και τις συνθήκες στραγγίσεως.



**Εικόνα 2.1** Μετακίνηση πρηνούς αργιλώδους εδάφους προς το οδικό δίκτυο

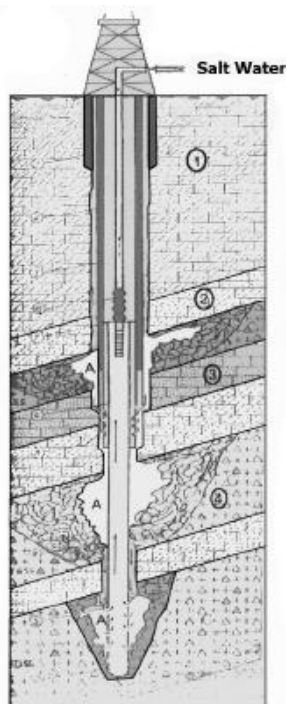
Η συνολική καθίζηση μετά το μηδενισμό της πίεσης των πόρων ονομάζεται «πρωτογενής καθίζηση» και ισούται με το άθροισμα της άμεσης καθίζησης και της καθίζησης λόγω στερεοποίησης. Σε μερικές όμως αργίλους, η καθίζηση συνεχίζεται και μετά την ολοκλήρωση της στερεοποίησης, και παρατηρείται μια μακράς διάρκειας καθίζηση υπό τύπο ερπυσμού. Η καθίζηση αυτή, υπό ουσιαστικά σταθερές ενεργές πιέσεις, μπορεί να συνεχίζεται επί πολλά χρόνια και είναι γνωστή με τον όρο «δευτερεύουσα» ή «δευτερογενής» καθίζηση. Έτσι, τελικά, η συνολική καθίζηση, σε ένα αργιλικό έδαφος θεμελίωσης, αποτελείται από τρεις συνιστώσες, από τις οποίες οι δύο αποτελούν την πρωτογενή καθίζηση και η τρίτη τη δευτερεύουσα ή δευτερογενή καθίζηση.

### **2.3 Μετακινήσεις τεχνικών έργων σε περιοχές ορυχείων**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η μετακίνηση των εδαφών που συντελούν και στην μετακίνηση των τεχνικών έργων συντελείται και από ανθρώπινους παράγοντες και μάλιστα από τη λειτουργία ορυχείων στην περιοχή. Αναφέρεται ως παράδειγμα η περιοχή στην πόλη Tuzla στη Βοσνία-



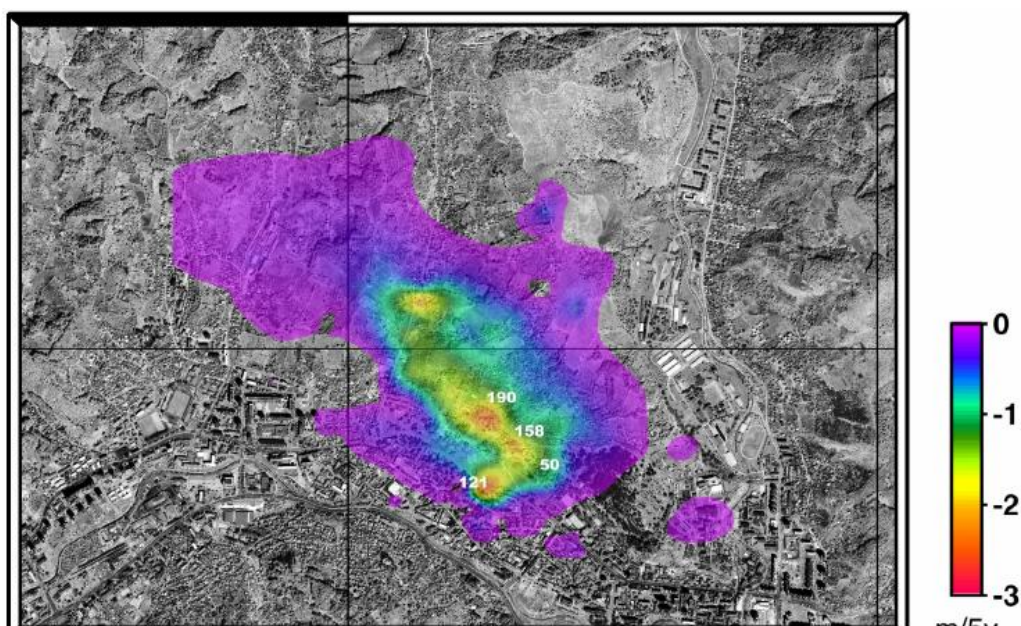
Ερζεγοβίνη όπου από τις αρχές του περασμένου αιώνα ξεκίνησε η εξόρυξη άλατος χάρη στην πλειονότητα κοιτασμάτων που είχαν ανακαλυφθεί ακόμη από τον 15ο αιώνα επί κυριαρχίας Οθωμανών, μάλιστα στην τουρκική η λέξη Tuz σημαίνει αλάτι. Τα κοιτάσματα εκτεινόταν σε μία ελλειψοειδής έκταση περίπου δύο τετραγωνικών χιλιομέτρων κάτω από την πόλη.



Εικόνα 2.2 Εξόρυξη άλατος (τομή)

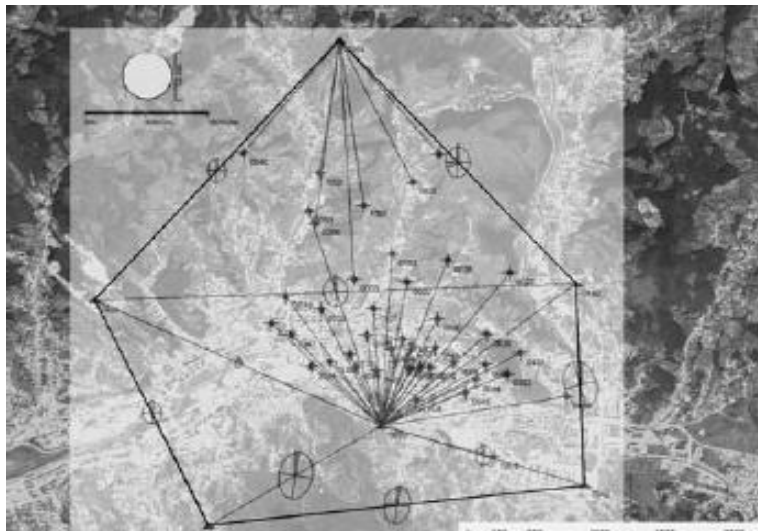
Τα πρώτα χρόνια πραγματοποιούνταν μία ανεξέλεγκτη εξόρυξη με τη μέθοδο των γεωτρήσεων, εκσκαφών και άλλων τεχνικών πηγαδιών, κάτι που δημιούργησε σημαντικές κοιλότητες στο υπέδαφος και αντίστοιχα σε παραμορφώσεις στην περιοχή. Αν και οι πρώτες τοπογραφικές μετρήσεις έλαβαν χώρα το 1914, ωστόσο η συστηματική μελέτη για τον καθορισμό του ποσοστού καθίζησης ξεκίνησε το 1956 με 1500 σταθερά σημεία, ενώ το ενδιάμεσο διάστημα οι τοπογραφικές μετρήσεις είχαν αναφέρει μέγιστη καθίζηση 10 μέτρα προκαλώντας καταστροφές στα υπόγεια δίκτυα ύδρευσης και άρδευσης, στο κυκλοφοριακό δίκτυο και ακόμη σε αστικά κτίρια. Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες περιορισμού της εξόρυξης άλατος με σκοπό την εκβάθυνση της έρευνας μέσω νέων τεχνολογικών μεθόδων. Από το 2002 υπάρχει συνεργασία του CIRSA(διατμηματικό κέντρο για τις περιβαλλοντικές επιστήμες, Ravenna, Italy) με την πόλη της Tuzla για την παρακολούθηση των μετακινήσεων συνδυάζοντας δορυφορικές εικόνες και επίγειου δικτύου με σχετικό στατικό εντοπισμό θέσης έτσι ώστε να εκτιμηθεί η

ζώνη κινδύνου από τις καθιζήσεις γύρω από την αστική περιοχή. Τον Ιούνιο του 2000 αποκτήθηκε μία εικόνα υψηλής ανάλυσης(διακριτικής ικανότητας 1μ.) από τον δορυφόρο IKONOS η οποία ήταν χρήσιμη για τον διαχωρισμό αστικής περιοχής και βλάστησης και άλλων γεωμετρικών χαρακτηριστικών χάρη στην παγχρωματικά δεδομένα του δορυφόρου. Η εικόνα χρησιμοποιήθηκε επίσης για να αναδείξει το μέχρι τότε ιστορικό καθιζήσεων μέσω φωτογραμμετρικών μεθόδων. Η έντονη καθίζηση που διακρίνεται σε ένα ελλειψοειδές σχήμα επιβεβαιώνει το λόγο της καθίζησης που είναι η εξόρυξη αλατιού.



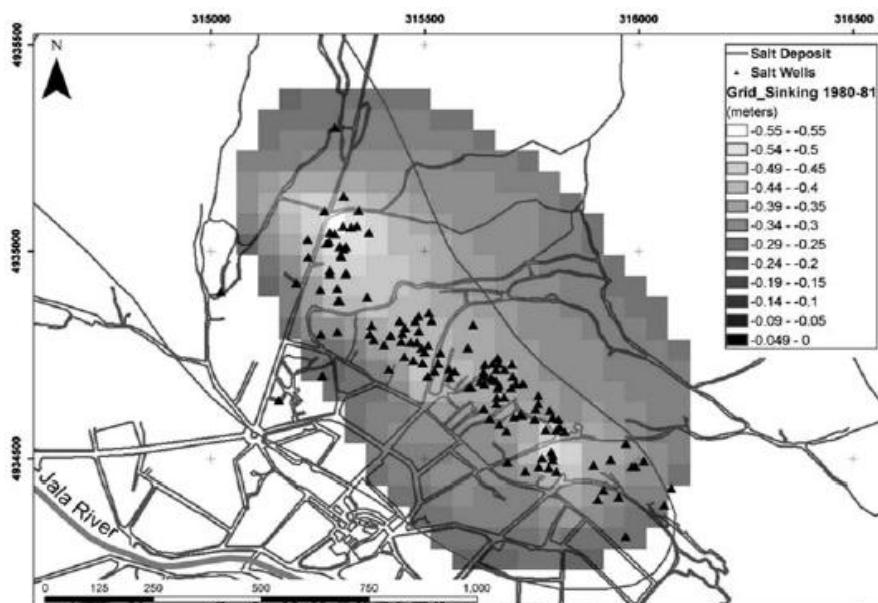
Εικόνα 2.3Χρωματική διαβάθμιση της καθίζησης από την εικόνα του ΙΚΟΝΟΣ

Από τον πόλεμο στην Γιουγκοσλαβία μέχρι το 2001 δεν υπήρχαν τοπογραφικά δεδομένα για την περιοχή, γι' αυτό αποφασίστηκε το 2004 να εφαρμοστεί μία παραγωγική και πιο σύγχρονη διαδικασία προσδιορισμού θέσεως των σημείων του δικτύου με δορυφορικές μετρήσεις. Οι νέες πληροφορίες και τα νέα ποσοστά καθίζησης θα βοηθούσαν στην μελλοντική πολεοδομική ανάπτυξη της περιοχής ενώ με το σωστό σχεδιασμό του δικτύου θα παρέχονταν ακρίβεια της τάξης 3-4mm το χρόνο. Έτσι ιδρύεται ένα δίκτυο σταθερών σημείων, των οποίων η θέση προσδιορίζεται με τη μέθοδο του στατικού εντοπισμού. Έξι σημεία τοποθετούνται γύρω και σε μακρινή απόσταση από την υπό μελέτη περιοχή που δεν επηρεάζονται από τις καθιζήσεις και χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς, ενώ άλλα εξήντα σημεία καλύπτουν, κατά το δυνατό ομοιόμορφα, την περιοχή που παρατηρούνται οι καθιζήσεις.



Εικόνα 2.4 Γραφική αναπαράσταση του δικτύου που δημιουργήθηκε

Το δίκτυο εντάχθηκε στο διεθνές σύστημα αναφοράς ITRF(2000) με πρώτη μέτρηση των 6 σημείων αναφοράς και ύστερα από ένα χρόνο επαναμετρήθηκε το δίκτυο ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα των 6 αυτών σημείων. Τα 60 σημεία που αφορούν την περιοχή καθίζησης προσδιορίζονται ως προς τα 6 εξωτερικά σημεία. Έτσι μετρήσεις των σημείων το 2004 και 2005 έδειξαν μέση μετακίνηση των 60 σημείων κατά 14cm ενώ μέγιστη 22cm. Παρατηρήθηκε μείωση της καθίζησης που εξαρτάται από την μείωση του ρυθμού εξόρυξης, επίσης με τη μέθοδο του GPS θα μπορέσει να προσδιοριστεί η καθίζηση που έλαβε χώρα εάν αντιστοιχεί με τα 730000m<sup>3</sup> αλατιού που εξορύχθηκαν όλα τα χρόνια. Ο συνδυασμός των μετρήσεων GPS με δορυφορικές εικόνες επιτρέπει στην ομάδα μελέτης σήμερα να προσδιορίσει ότι τα επόμενα 1-2 χρόνια 835 κτίρια θα πληγούν από την καθίζηση σε συγκεκριμένες θέσεις της πόλης.



Εικόνα 2.5 Τα σημεία του δικτύου που ιδρύθηκε και οι καθιζήσεις πέριξ αυτώ

## **2.4 Μέθοδοι Υπολογισμού Κατακόρυφων Μετακινήσεων**

Η διαχρονική παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς του εδάφους και ο υπολογισμός του μεγέθους των επιφανειακών καθιζήσεων αποτελούν αντικείμενο ενδιαφέροντος πολλών επιστημόνων καθώς, με τη μελέτη αυτών επιδιώκεται η πρόληψη των αποτελεσμάτων δυσμενών καταστάσεων, που είναι πιθανό να συμβούν σε τμήματα του εδάφους ή ακόμα και σε κατασκευές. για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί δύο βασικές μέθοδοι για την ανίχνευση και τον προσδιορισμό των επιφανειακών μετακινήσεων των σημείων ελέγχου σε μία περιοχή ενδιαφέροντος, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

### ➤ Γεωτεχνικές Μέθοδοι

Οι γεωτεχνικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τις γεωτεχνικές οργανομετρήσεις προκειμένου να εξαγάγουν συμπεράσματα για την κινηματική συμπεριφορά του εδάφους. Οι μετρήσεις αυτές είναι υψηλής ακρίβειας –της τάξης του δέκατου του χιλιοστού– και αποτελούν τις σχετικές σημειακές εκτιμήσεις των μεγεθών στα οποία αναφέρονται. Επίσης, είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμες, καθώς περιέχουν πληροφορία, η οποία είναι ποσοτική, χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία.

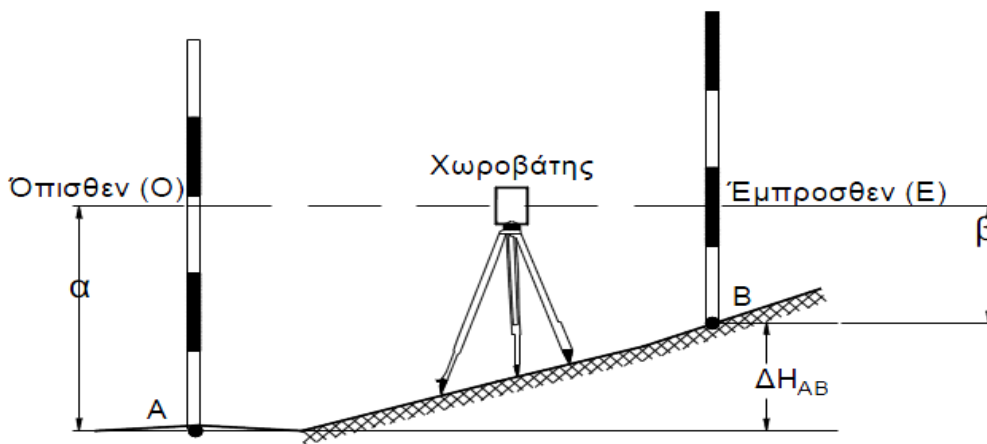
Ενδεικτικά, κάποια από τα όργανα αυτά, τα οποία χρησιμοποιούν οι γεωτεχνικές μέθοδοι, είναι το πιεζόμετρο (για τη μέτρηση της πίεσης του νερού), το κλισιόμετρο (για τη μέτρηση της εγκάρσιας παραμόρφωσης του εδάφους), το κλινόμετρο (για τη μέτρηση των στροφών μίας κατασκευής), και το μηκυνσιόμετρο (για την άμεση μέτρηση των μεταβολών του μήκους μεταξύ δύο σημείων, στα οποία αγκυρώνεται). Η αξιοπιστία των γεωτεχνικών οργανομετρήσεων εξαρτάται απόλυτα από την εξασφάλιση σωστής εγκατάστασης και της καλής λειτουργίας των γεωτεχνικών οργάνων.

### ➤ Γεωδαιτικές Μέθοδοι

Οι γεωδαιτικές μέθοδοι χρησιμοποιούν σύγχρονα γεωδαιτικά όργανα υψηλών προδιαγραφών και αυξημένων δυνατοτήτων προκειμένου να προκύψουν ακριβείς μετρήσεις υπαίθρου. Οι γεωδαιτικές αυτές μετρήσεις πρέπει εν συνεχεία, να επεξεργαστούν κατάλληλα για να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα για την κινηματική συμπεριφορά του εδάφους, όπως ορίζει η γεωδαιτική Μεθοδολογία. Πιο αναλυτικά, γίνεται η αναγνώριση μιας περιοχής και ιδρύονται σημεία πάνω στην επιφάνεια αυτή, τα οποία αποτελούν τις κορυφές του Γεωδαιτικού Δικτύου Ελέγχου. Τα στοιχεία του δικτύου μετρώνται με γεωδαιτικά όργανα και ακολουθεί η συνόρθωση των μετρήσεων και η επίλυση του δικτύου, η οποία περιλαμβάνει και τους αντίστοιχους στατιστικούς ελέγχους. Οι γεωδαιτικές μέθοδοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις επίγειες και τις δορυφορικές.

- *Επίγειες Μέθοδοι*

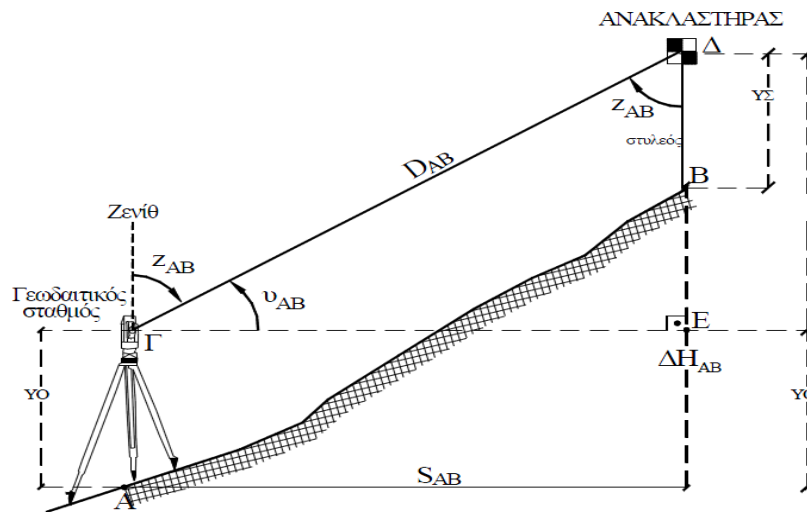
- Η **Γεωμετρική Χωροστάθμιση** είναι μια μέθοδος άμεσου προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων της φυσικής γήινης επιφάνειας. Για την εκτέλεση μιας Γεωμετρικής Χωροστάθμισης χρησιμοποιείται όργανο που μπορεί να οριζοντιώσει εύκολα μια σκοπευτική γραμμή και να σκοπεύει με αυτήν την οριζόντια, και δύο τουλάχιστον αριθμημένοι πήχεις τοποθετημένοι κατακόρυφα στα σημεία που χρειάζεται να προσδιοριστεί η υψομετρική τους διαφορά. Τα βασικά όργανα που χρησιμοποιούνται λέγονται χωροβάτες και αυτοί μπορεί να είναι είτε οπτικοί είτε ψηφιακοί και τα βοηθητικά όργανα ονομάζονται χωροσταθμικοί πήχεις ή σταδίες. Για τους ψηφιακούς χωροβάτες χρησιμοποιούνται ειδικές κωδικοποιημένες σταδίες όπου η κλασική υποδιαίρεση της σταδίας με χιλιοστά έχει αντικατασταθεί με το σύστημα barcode.



**Σχήμα 2.1 Γεωμετρική Χωροστάθμιση**

Με τη **Γεωμετρική Χωροστάθμιση Ακριβείας** προσδιορίζονται οι υψομετρικές διαφορές των κορυφών του δικτύου κατακόρυφου ελέγχου, σε μετάβαση και επιστροφή, με τη χρήση ψηφιακού χωροβάτη και των αντίστοιχων κωδικοποιημένων σταδίων και παρελκόμενων. Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών αυτών, τα οποία συγκρίνονται με τα αντίστοιχα που έχουν προσδιοριστεί σε προηγούμενες χρονικές περιόδους, ώστε να εξεταστεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική μεταβολή και κατ' επέκταση μετακίνηση στην περιοχή μελέτης. Αξίζει να αναφερθεί ότι η Γεωμετρική Χωροστάθμιση αποτελεί την ακριβέστερη μέθοδο προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών με ακρίβεια που μπορεί να φτάσει με την εφαρμογή ειδικών τεχνικών έως και  $\pm 0.2-0.5\text{mm/Km}$  (Μπαλοδήμος & Αραμπατζή, 2004).

- Η **τριγωνομετρική υψομετρία** είναι μια μέθοδος έμμεσου προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων της φυσικής γήινης επιφάνειας. Για την εκτέλεση της μεθόδου χρησιμοποιούνται όργανα που μπορούν να μετρήσουν μήκη και κατακόρυφες γωνίες, κυρίως σήμερα ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total Stations).



**Σχήμα 2.2 Τριγωνομετρική Υψομετρία**

Η ακρίβεια προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών την μέθοδο αυτή, μπορεί να είναι της τάξης των μερικών εκατοστών και εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια που μπορούν να μετρηθούν τα μήκη και οι κατακόρυφες γωνίες. Σήμερα με την χρήση Total Stations και με εφαρμογή ειδικών τεχνικών και διαδικασιών μέτρησης, η ακρίβεια της μεθόδου μπορεί να βελτιωθεί αρκετά και να φτάσει ακόμα και τα λίγα χιλιοστά, γεγονός που την καθιστά συναγωνίσιμη από πλευράς ακριβείας με την Γεωμετρική Χωροστάθμηση. Η μέθοδος αυτή μπορεί να αντικαταστήσει τη Γεωμετρική Χωροστάθμηση σε περίπτωση μεγάλης υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των σημείων και όπου οι συνθήκες είναι τέτοιες που θα δυσκόλευαν ή θα απαγόρευαν την εφαρμογή της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης (κεκλιμένες στοές, δυσκολία προσπέλασης μεταξύ δύο σημείων, μαλακά εδάφη).

Στις περισσότερες τοπογραφικές εργασίες προκειμένου να υπολογιστούν υψομετρικές διαφορές χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο η Γεωμετρική Χωροστάθμηση ή η Τριγωνομετρική Υψομετρία, ανάλογα με το κόστος και την ακρίβεια που απαιτείται. Εκτός όμως από αυτούς τους δύο βασικούς περιορισμούς υπάρχουν κι άλλες παράμετροι οι οποίες απαγορεύουν την

χρήση κάποιας από τις δύο μεθόδους όπως για παράδειγμα η μορφολογία του εδάφους (μεγάλη κλίση, ύπαρξη κάποιου φυσικού εμποδίου, θαλάσσιου ανοίγματος κ.τ.λ.). Σ' αυτές τις περιπτώσεις προκειμένου να υπολογιστούν οι υψομετρικές διαφορές με ακρίβεια ανάλογη της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης ή της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας εφαρμόζονται κάποιες ειδικές μεθοδολογίες όπως είναι η Ειδική Γεωμετρική Χωροστάθμηση (Χωροστάθμηση Ανοίγματος) και η Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία (Ε.Τ.Υ.).

**Η Ειδική Γεωμετρική Χωροστάθμηση** χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η μορφολογία του εδάφους δεν επιτρέπει την εφαρμογή της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης, δηλαδή σε περιπτώσεις όπου μεσολαβεί θαλάσσιο άνοιγμα ή ρήγμα, με περιορισμό τα σημεία να είναι περίπου στο ίδιο υψόμετρο και να απέχουν μέχρι 2km (σχήμα 3). Προκειμένου λοιπόν να μην υπάρχουν δεσμεύσεις όσον αφορά την υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία. Η τελική ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί στον προσδιορισμό μιας υψομετρικής διαφοράς ενός ανοίγματος 1-2Km με χρήση της προηγούμενης μεθόδου και χωροβατών Α' τάξης μπορεί να είναι 2-3mm.

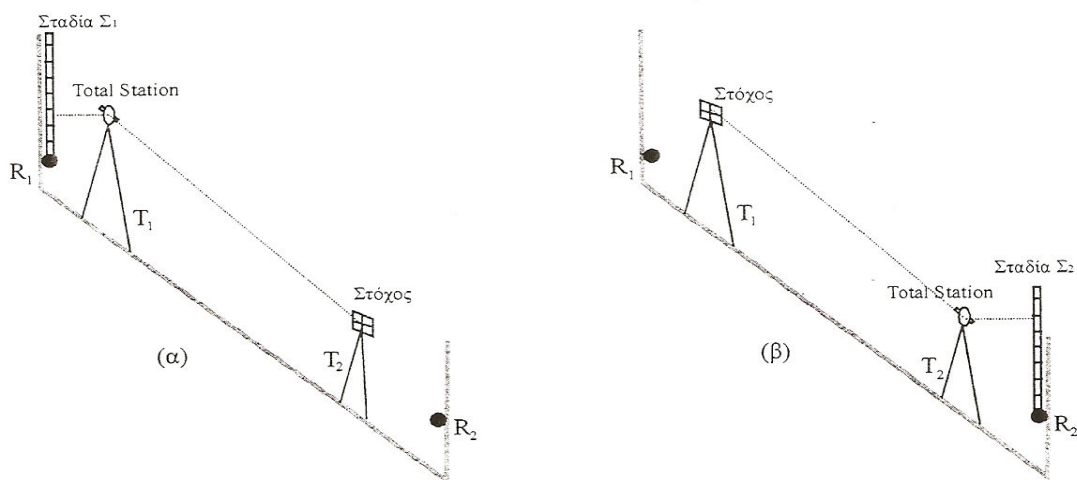
**Η Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία** είναι μια μέθοδος έμμεσου προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών που βασίζεται στο συνδυασμό της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας με τη Γεωμετρική Χωροστάθμηση. Η μέθοδος αυτή με τον κατάλληλο συνδυασμό οργάνων μπορεί να πετύχει υψηλές ακρίβειες της τάξης 5mm/km ή και καλύτερες. Η Ε.Τ.Υ. μπορεί να εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών με υψηλή ακρίβεια σε περιοχές όπου η Γεωμετρική Χωροστάθμηση αδυνατεί εξαιτίας κάποιων «φυσικών περιορισμών όπως μέσα σε κεκλιμένες σήραγγες ελέγχου τεχνικών έργων, σε τμήματα κλιμάκων μέσα σε κτήρια και σε κάθε είδους κεκλιμένα τμήματα κτηρίων ή τεχνικών έργων. Εφαρμόζεται για υψομετρικές συνδέσεις μεταξύ σημείων που τα χωρίζει κάποιο φυσικό εμπόδιο π.χ. ποτάμι, λίμνη, θάλασσα, ρήγμα κ.τ.λ. καθώς επίσης και μεταξύ σημείων δικτύων ελέγχου με μεγάλες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών, για τον έλεγχο κατακόρυφων μικρομετακινήσεων. Φυσικά, η χρήση της Ε.Τ.Υ. δεν περιορίζεται μόνο σ'



αυτές τις περιπτώσεις καθώς είναι μια μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε, ανοιχτό όσο και σε κλειστό χώρο, ανεξάρτητα από την κλίση του εδάφους και για αποστάσεις από μερικές δεκάδες μέτρα έως και λίγα χιλιόμετρα. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός είναι :

- Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός υψηλής ακρίβειας (Total Station) και αποσπώμενο τρικόχλιο
- 2 στόχοι σκοπεύσεων ακριβείας με ανακλαστήρα για την μέτρηση μηκών
- 2 βαθμονομημένοι πήχεις με υποδιαιρέσεις mm
- 2 ή 3 τρίποδες με αντίστοιχα τρικόχλια

Στον παραπάνω εξοπλισμό προστίθεται ένα ακόμα Total station στην περίπτωση που θεωρηθεί σκόπιμο να πραγματοποιηθούν αμοιβαίες και ταυτόχρονες μετρήσεις.



**Σχήμα 2.3 Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία (με δύο στάσεις)**

Η **Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας (ΤΡΥΑ)** 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 ή τεχνητό εμπόδιο (θάλασσα, ποτάμι, δρόμοι, κατασκευές).

Όσον αφορά τις επίγειες μεθόδους σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται η Βαρομετρική υψομετρία και η Υδραυλική χωροστάθμηση.

- *Δορυφορικές Μέθοδοι*

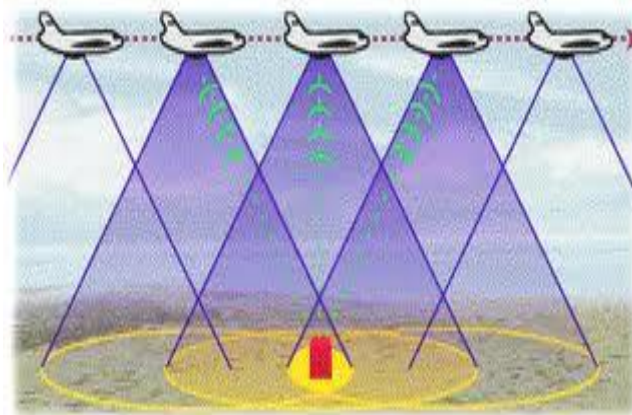
Το **Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning System)** είναι μία ταχύτατα αναπτυσσόμενη τεχνολογία και χρησιμοποιείται επίσης, σε εφαρμογές παρακολούθησης επιφανειακών μετακινήσεων. Οι δέκτες GPS προσδιορίζουν τα γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου κατακορύφου ελέγχου, με ακρίβεια που φτάνει το  $\pm 1.5$  cm, και κατόπιν, τα υψόμετρα αυτά ανάγονται σε ορθομετρικά, χρησιμοποιώντας τα υψόμετρα του γεωειδούς, όπως προσδιορίζονται από ένα κατάλληλο μοντέλο στην περιοχή. Τέλος, τα ανηγμένα αυτά υψόμετρα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μετρήσεων που έχουν γίνει σε προηγούμενες χρονικές περιόδους, ώστε να εξεταστεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική μεταβολή και κατ' επέκτασιν μετακίνηση στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 2.6GPS (Δορυφορικός δέκτης)

Γενικά η ακρίβεια προσδιορισμού της τρίτης διάστασης είναι περίπου δύο με τρεις φορές χειρότερη απ'ότι ο οριζοντιογραφικός προσδιορισμός ενός σημείου. Η υψομετρία με την χρήση GPS, θεωρείται μια καλή εναλλακτική μέθοδος έναντι των κλασσικών μεθόδων. Είναι αρκετά πιο οικονομική, λιγότερο χρονοβόρα και κουραστική σε σχέση με τις ακριβέστερες επίγειες μεθόδους υψομετρίας.

Το **Interferometric Synthetic Aperture Radar**, συντετμημένο ως InSAR είναι μία τεχνική ραντάρ, που χρησιμοποιείται στη γεωδαισία και την τηλεπισκόπηση, προκειμένου να εξαχθούν πληροφορίες για την παραμόρφωση της γήινης



Εικόνα 2.7 Τεχνική InSAR

επιφάνειας. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί δύο ή περισσότερες εικόνες ραντάρ συνθετικών ανοιγμάτων (SAR) για να παράγει τους χάρτες παραμόρφωσης της επιφάνειας ή της ψηφιακής ανύψωσης, χρησιμοποιώντας τις διαφορές στη φάση των κυμάτων που επιστρέφουν στο δορυφόρο ή τα αεροσκάφη. Η τεχνική μπορεί ενδεχομένως, να μετρήσει αλλαγές στην παραμόρφωση, σε κλίμακα εκατοστού, κατά τη διάρκεια διαφορετικών χρονικών περιόδων. Έχει εφαρμογές στο γεωφυσικό έλεγχο των φυσικών κινδύνων (σεισμοί, ηφαίστεια και κατολισθήσεις) και επίσης, στην εφαρμοσμένη μηχανική και ιδιαίτερα, στον έλεγχο της καθίζησης και τη δομική σταθερότητα.

Οι παραπάνω δορυφορικές μέθοδοι μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα για τον προσδιορισμό του μεγέθους των καθιζήσεων και της διαχρονικής εξέλιξής τους.

Για την αξιόπιστη ανίχνευση και τον ακριβέστερο προσδιορισμό των επιφανειακών μετακινήσεων των σημείων ελέγχου σε μία περιοχή είναι δυνατό να εφαρμοστούν περισσότερες από μία μέθοδοι. Πιο συγκεκριμένα, οι γεωδαιτικές μέθοδοι μπορούν να συνδυαστούν με τις γεωτεχνικές και να συνεισφέρουν έτσι, στη διαμόρφωση πληρέστερης εικόνας του πεδίου παραμορφώσεων.

# 3

## ΠΡΟΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε μία μελέτη επιφανειακών καθιζήσεων, μετά από την αναγνώριση της περιοχής και την εγκατάσταση του δικτύου κατακορύφου ελέγχου, προσδιορίζεται η ακρίβεια μέτρησης των στοιχείων του δικτύου ανά φάση. Στη συνέχεια, με βάση τα παραπάνω, επιλέγεται η γεωδαιτική μέθοδος και τα όργανα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, περιγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των οργάνων που επιλέχθηκαν, καθώς και τα παρελκόμενα που τα συνοδεύουν, ενώ γίνεται αναφορά στα θετικά και τα αρνητικά στοιχεία της χρήσης ενός σύγχρονου εξοπλισμού. Τέλος, γίνεται η ανάλυση, η οποία με δεδομένο το όργανο που επιλέχθηκε, οδηγεί στον ορισμό του κριτηρίου αποδοχής ή απόρριψης του αποτελέσματος μίας χωροσταθμικής όδευσης σε σχέση με το σφάλμα κλεισίματός της, από μετάβαση και επιστροφή.

### 3.2 *Επιλογή Οργάνων και Παρελκομένων*

Η κύρια μέθοδος που εφαρμόστηκε ήταν η Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμιση. Όμως με βάση τη μορφολογία του εδάφους για τη σύνδεση της σταθερής μας κορυφής T3 με το υπόλοιπο δίκτυο, χρειάστηκε να εφαρμοστεί και η Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία με αμοιβαίες σκοπεύσεις.

#### 3.2.1 Ψηφιακός χωροβάτης

Για την Γεωμετρική Χωροστάθμιση επιλέχθηκε ο ψηφιακός χωροβάτης Topcon DL-102C (Εικόνα 3.1), ως αποτέλεσμα ανάλυσης με βάση την ελάχιστη αναμενόμενη κατακόρυφη μετακίνηση. Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού του χωροβάτη παρουσιάζονται παρακάτω:

- Ηλεκτρονική ανάγνωση: 0.1 mm
- Ονομαστική ακρίβεια:  $\pm 1.5\text{mm}\sqrt{\text{km}}$
- Ακρίβεια ηλεκτρονικής μέτρησης:  $\pm 1.0\text{mm} / \sqrt{\text{km}}$
- Min/max απόσταση μέτρησης: 2.0m-100m
- Χρόνος μέτρησης: 4 sec
- Μεγέθυνση τηλεσκοπίου: 30×
- Βάρος: 2.8

Ο ψηφιακός χωροβάτης συνοδεύεται και από τα ανάλογα παρελκόμενα. Έτσι, για τη διαδικασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν:

- Ένας τρίποδας αλουμινίου με επίπεδη κεφαλή
- Μία κωδικοποιημένη (Barcode) τηλεσκοπική σταδία από αλουμίνιο, μέγιστου ύψους 4 m
- Δύο βαριές χελώνες για χωροσταθμίσεις ακριβείας
- Μία μετροταινία από fiberglass

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ψηφιακού χωροβάτη αφορούν τη σημαντική μείωση του χρόνου παραμονής στο πεδίο και την εξάλειψη των χονδροειδών σφαλμάτων, όπως είναι αυτά που οφείλονται στον παρατηρητή και σχετίζονται με το σφάλμα ανάγνωσης και καταγραφής των μετρήσεων, αφού αυτές καταγράφονται αυτόματα σε ειδική καταγραφική μονάδα του χωροβάτη. Η τεχνολογία αυτού του οργάνου παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου της απόκλισης του σκοπευτικού άξονα από την οριζόντια θέση και της αυτόματης διόρθωσης των αποτελεσμάτων (*Check Adjust*). Επίσης, αξιοσημείωτο θεωρείται και το γεγονός ότι είναι εφικτός ο έλεγχος των αποτελεσμάτων απευθείας στο ύπαιθρο, η εμφάνιση μηνυμάτων μη ορθής θέσης του χωροβάτη ή της σταδίας και η δυνατότητα ανάγνωσης ακόμα και αν υπάρχει εμπόδιο στο σημείο σκόπευσης του κεντρικού σταυρονήματος. Τέλος, υπάρχουν περιπτώσεις που τέτοιου είδους χωροβάτης έχει τη δυνατότητα λειτουργίας και ως οπτικομηχανικός χωροβάτης.

Στα μειονεκτήματα αυτών των χωροβατών συγκαταλέγονται κυρίως, η αδυναμία μέτρησης σε περιβάλλον με περιορισμένο φωτισμό, η απαραίτητη ύπαρξη τροφοδοσίας της μπαταρίας, όπως επίσης, και το υψηλό κόστος αγοράς, σε αντίθεση με τους αντίστοιχους οπτικομηχανικούς.



Εικόνα 3.1 Ο ψηφιακός χωροβάτης της Topcon DL-102C



Εικόνα 3.2Ο τρίποδας αλουμινίου και οι δύο τηλεσκοπικές σταδίες



Εικόνα 3.4Η μετροταινία



Εικόνα 3.3Οι δύο βαριές χωροσταθμικές βάσεις

### 3.2.1.1 Κριτήρια Αποδοχής Αποτελεσμάτων

Πριν από την έναρξη των εργασιών υπαίθρου, κρίθηκε αναγκαίο να προσδιοριστεί η ακρίβεια που επιτυγχάνεται σε μια Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση, χρησιμοποιώντας το επιλεγμένο όργανο. Η σύγκριση αυτής της ακρίβειας, πολλαπλασιασμένη με το αντίστοιχο εκατοστιαίο σημείο της κανονικής κατανομής για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ( $z = 1.96$ ), με το σφάλμα κλεισίματος, όπως προέκυπτε από τη διαφορά μεταξύ της μετάβασης και επιστροφής μιας χωροσταθμικής όδευσης μεταξύ δύο κορυφών του δικτύου κατακόρυφου ελέγχου, αποτέλεσε το κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης της όδευσης αυτής.

#### i. Εκτίμηση της ακρίβειας μίας Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης πριν την έναρξη των μετρήσεων

Στη μοναδιαία χωροστάθμηση, η υψομετρική διαφορά προκύπτει από τη σχέση  $\Delta H = O - E$ . Αν θεωρηθεί ότι η αβεβαιότητα ανάγνωσης πάνω στις δύο σταδίες είναι  $\sigma_O = \sigma_E = \sigma_\varepsilon$ , τότε εφαρμόζοντας το Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων στην παραπάνω σχέση, προκύπτει:

$$\sigma_{\Delta H} = \pm \sqrt{\sigma^2_O + \sigma^2_E} \Rightarrow \sigma_{\Delta H} = \pm \sigma \cdot \sqrt{2} \quad (3.1)$$

Για τον χωροβάτη που χρησιμοποιήθηκε (DL-102C TOPCON) εκτιμήθηκε ότι  $\sigma_\varepsilon = \pm 0.3\text{mm}$ .

Αν σε μία χωροσταθμική όδευση, έχουν γίνει  $n_1$  στάσεις χωροβάτη κατά τη μετάβαση ενώ στην επιστροφή  $n_2$  στάσεις, οι αντίστοιχες αβεβαιότητες θα είναι:

$$\sigma_{\Delta H_{\text{aller}}} = \pm \sigma_\varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot n_1} \quad \text{και} \quad \sigma_{\Delta H_{\text{retour}}} = \pm \sigma_\varepsilon \sqrt{2 \cdot n_2} \quad (3.2)$$

Η τελική υψομετρική διαφορά, σε μετάβαση και επιστροφή, είναι

$$\overline{\Delta H} = \frac{|\Delta H_{aller}| + |\Delta H_{retour}|}{2} \text{ και η αβεβαιότητά της θα είναι:}$$

$$\sigma_{\overline{\Delta H}} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_{\Delta H_{aller}}^2 + \sigma_{\Delta H_{retour}}^2} \Rightarrow \sigma_{\overline{\Delta H}} = \pm \frac{\sigma_{\varepsilon}}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot (n_1 + n_2)} \quad (3.3)$$

Επειδή όμως, ο αριθμός των στάσεων του χωροβάτη σε μετάβαση και επιστροφή είναι ίδιος σε κάθε χωροσταθμική όδευση, δηλαδή  $n_1 = n_2 = n$ , τότε θα ισχύει ότι:

$$\sigma_{\overline{\Delta H}} = \pm \sigma_{\varepsilon} \cdot \sqrt{n} \quad (3.4)$$

## ii. Καθορισμός μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος κλεισίματος σε μία Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση

Αν  $K$  το κλείσιμο μίας χωροστάθμησης, τότε ισχύει  $K = \Delta H_{aller} - \Delta H_{retour}$ .

Η αβεβαιότητα του κλεισίματος  $\sigma_K$  θα είναι:

$$\begin{aligned} \sigma_K &= \pm \sqrt{\sigma_{\Delta H_{aller}}^2 + \sigma_{\Delta H_{retour}}^2} \Rightarrow \sigma_K = \pm \sqrt{\sigma_{\varepsilon}^2 \cdot 2 \cdot n_1 + \sigma_{\varepsilon}^2 \cdot 2 \cdot n_2} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \sigma_K = \pm \sigma_{\varepsilon} \cdot \sqrt{2 \cdot (n_1 + n_2)} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Κάνοντας την παραδοχή ότι  $n_1 = n_2 = n$ , τότε:

$$\sigma_K = \pm 2 \cdot \sigma_{\varepsilon} \cdot \sqrt{n} \quad (3.6)$$

Θεωρώντας επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, η παραπάνω αβεβαιότητα πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη τυποποιημένη μεταβλητή της κανονικής κατανομής, η οποία είναι ίση με  $z = 1.96$ . Συνεπώς, για να γίνει αποδεκτή η διαφορά στο αποτέλεσμα μεταξύ μετάβασης και επιστροφής (κλείσιμο  $K$ ) μίας χωροσταθμικής όδευσης, θα πρέπει να ισχύει η παρακάτω ανισότητα:

$$|K| \leq 1.96 \cdot |\sigma_K| \quad (3.7)$$

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζεται το όριο της διαφοράς ανάλογα με τον αριθμό των στάσεων του χωροβάτη.



Αριθμός στάσεων	Μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα κλεισίματος $1.96 \cdot  \sigma_{\kappa} $ (mm)	Αριθμός στάσεων	Μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα κλεισίματος $1.96 \cdot  \sigma_{\kappa} $ (mm)
1	±1.2	5	±2.6
2	±1.7	6	±2.9
3	±2.0	7	±3.1
4	±2.4	8	±3.3

**Πίνακας 3.1 Μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα κλεισίματος σε μία Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμιση ανάλογα με τον αριθμό των στάσεων, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%**

### 3.2.2 Γεωδαιτικοί σταθμοί

Για την εφαρμογή τριγωνομετρικής υψομετρίας με αμοιβαίες σκοπεύσεις χρησιμοποιήθηκαν δύο total station και δύο στόχοι. Κάθε φορά ένα total station και ένας στόχος τοποθετείται σε κάθε σημείο που θα γίνουν οι παρατηρήσεις. Σε προκαθορισμένες χρονικές στιγμές γίνονται αμοιβαίες και ταυτόχρονες παρατηρήσεις κατακόρυφων γωνιών και μηκών. Για την σωστή εκτέλεση αυτής της μεθόδου πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στον συντονισμό των αμοιβαίων παρατηρήσεων κατά την εναλλαγή των οργάνων με τους στόχους και να γίνονται όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Η τελική υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων ισούται με :

$$\Delta H_{AB} = D \cos z + (1 - k) \frac{D^2}{2R} \sin^2 z + (Y_O - Y_{\Sigma}) \quad (3.11)$$

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, ο Leica TCR 705 (Εικόνα 3.6) και ο Leica TC303 (Εικόνα 3.5). Τα βασικά χαρακτηριστικά τους όσο αφορά την ακρίβεια είναι:

ΟΡΓΑΝΟ	ΓΩΝΙΕΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ (πρίσμα)	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ (χωρίς πρίσμα)
TCR 705	±5'' (±15cc)	±2mm + 2 ppm × D	±3mm + 2 ppm × D
TCR 303	±3'' (±9cc)	±2mm + 2 ppm × D	±3mm + 2 ppm × D

**Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά γεωδαιτικών σταθμών**

Τα παραπάνω όργανα διαθέτουν μερικά αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά. Αρχικά, επιτρέπουν την ψηφιακή μέτρηση και καταγραφή γωνιών και μηκών σε ειδική ενσωματωμένη καταγραφική μονάδα, ενώ συνδέονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια σειριακής εξόδου επιτυγχάνοντας αμφίδρομη επικοινωνία για τη μεταφορά δεδομένων, εξασφαλίζοντας παράλληλα τη δυνατότητα εγκατάστασης λογισμικού από τον υπολογιστή στο όργανο. Οι κοχλίες των οργάνων είναι ατέρμονοι χωρίς πάκτωση οριζόντιου και κατακόρυφου δίσκου. Επιπλέον, παρέχουν τη δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων χωρίς τη χρήση πρίσματος με την υποστήριξη μιας ακτίνας laser. Ο χρόνος καταγραφής κάθε μέτρησης εξαρτάται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται και είναι περίπου της τάξης των 1-1.2 sec. Μαζί με τους γεωδαιτικούς σταθμούς απαιτούνται επίσης:

- 2 στόχοι σκοπεύσεων ακριβείας με ανακλαστήρα για την μέτρηση μηκών
- 2 βαθμονομημένοι πήχεις με υποδιαιρέσεις mm
- 2 ή 3 τρίποδες με αντίστοιχα τρικόχλια.



**Εικόνα 3.5 Ο γεωδαιτικός σταθμός της Leica TCR 303**



Εικόνα 3.6Ο γεωδαιτικός σταθμός της Leica TCR 705



Εικόνα 3.8Πασέτο



Εικόνα 3.7Στόχος σκόπευσης



Εικόνα 3.9Τρικόχλιο



Εικόνα 3.10Τρίποδας

### 3.2.2.1 Διερεύνηση ακρίβειας της μεθόδου

#### i. Εξωτερικοί παράγοντες

Η ακρίβεια προσδιορισμού μιας υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων δεν εξαρτάται μόνο από τις ακρίβειες των μετρήσεων αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η απόκλιση της κατακόρυφου, η ατμοσφαιρική διάθλαση και η καμπυλότητα της Γης. Ειδικά οι δυο πρώτες υπεισέρχονται στην μέτρηση των κατακόρυφων γωνιών και κατά συνέπεια στον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς.

Το φαινόμενο της καμπύλωσης των οπτικών ακτινών κατά την διέλευση τους από την ατμόσφαιρα οφείλεται στην ατμοσφαιρική διάθλαση. Οι μετρήσεις που γίνονται για τον προσδιορισμό των υψομέτρων των σημείων πάνω στη Φ.Γ.Ε. είναι ως επί το πλείστον μετρήσεις κατακόρυφων γωνιών και κεκλιμένων μηκών. Είναι πολύ σημαντικό λοιπόν οι μετρήσεις να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο απαλλαγμένες από την επίδραση της ατμοσφαιρικής διάθλασης προκειμένου τα προσδιοριζόμενα μεγέθη να αντιστοιχούν στα πραγματικά.

Έτσι λοιπόν η ακτίνα μεταξύ δύο σημείων AB δεν είναι ευθεία αλλά καμπύλη, η καμπυλότητα  $\rho$  της οποίας, συνδέεται με την ακτίνα καμπυλότητας της γης R με τη σχέση:

$$R = k \rho$$
$$\text{ή}$$
$$1/\rho = k (1/R) \quad (3.12)$$

Το k ονομάζεται συντελεστής διάθλασης και χαρακτηρίζει ουσιαστικά την καμπυλότητα της οπτικής ακτίνας. Ο συντελεστής διάθλασης εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή και το περιβάλλον, και μεταβάλλεται στη διάρκεια της ημέρας.

Η απόκλιση της κατακόρυφου είναι ένας παράγοντας εξαρτημένος απόλυτα από την τοπογραφία της περιοχής. Μπορεί να υπολογισθεί είτε με αστρονομικές μετρήσεις είτε με την βοήθεια γεωδυναμικών μοντέλων, ανάλογα με την πληροφορία που υπάρχει για την περιοχή μετρήσεων.

Με τις αμοιβαίες και ταυτόχρονες παρατηρήσεις μεταξύ των ζητούμενων σημείων απαλλάσσονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από το συντελεστή διάθλασης  $k$  και από την μεταβολή του, μεταξύ aller – retour. Άρα  $k_1 - k_2 = 0$ . Άρα η υψομετρική διαφορά θα είναι ίση με:

$$\Delta H_{\Sigma 1 \Sigma 2} = \frac{D_{\Sigma 1 \Sigma 2} \cos z_{\Sigma 1 \Sigma 2} - D_{\Sigma 2 \Sigma 1} \cos z_{\Sigma 2 \Sigma 1}}{2} \quad (3.13)$$

Τέλος, ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τις μετρήσεις είναι η απόκλιση της κατακορύφου. Δεδομένου ότι κατά την διάρκεια των μετρήσεων τα όργανα κατακορυφώνονται, επηρεάζονται από το πεδίο βαρύτητας. Επιπλέον, οι κατακόρυφες μεταξύ των δύο σημείων δεν είναι παράλληλες οπότε συγκλίνουν δηλαδή σχηματίζουν μια γωνία  $\alpha$  μεταξύ τους που αυτό οφείλεται καθαρά μόνο στο πεδίο βαρύτητας. Η μεταβολή της ακτίνας καμπυλότητας  $R$  σε συνάρτηση με τη διαφορά της γωνίας των κατακόρυφων, μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει των γεωκεντρικών γωνιών ( $\omega$ ). Ισχύει ότι:

$$\omega = S/R$$

οπότε για:

$$d\omega = S/R^2 Dr \leftrightarrow dr = R^2/S * d\omega. \quad (3.14)$$

όπου  $S$  – το οριζόντιο μήκος

Θεωρώντας ότι τα  $d\omega$  είναι οι μεταβολές της απόκλισης της κατακορύφου μεταξύ δύο σημείων, μπορούν να υπολογισθούν οι μεταβολές της ακτίνας καμπυλότητας  $dR$  για κάθε μήκος  $S$  (οριζόντιο) περίπου ίσο με  $D$  (κεκλιμένο). Η επίδραση της μεταβολής της ακτίνας καμπυλότητας  $dR$  στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς, προκύπτει απ'τον τύπο:

$$(k-1)D_{i(i+1)}^2 \sin^2 z_{i(i+1)} \quad (3.15)$$

Η εξάλειψη του ανωτέρου σφάλματος γίνεται με διόρθωση των μετρούμενων κατακόρυφων γωνιών. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να είναι γνωστές οι συνιστώσες της απόκλισης της κατακορύφου  $\xi$ , η οι οποίες μπορούν να υπολογιστούν με αστρονομικές παρατηρήσεις ή με τη βοήθεια γεωδυναμικού μοντέλου και χρησιμοποιώντας τη σχέση

$$\varepsilon = \xi * \cos \alpha + \eta \sin \alpha \quad (3.16)$$

# 4

## ΙΔΡΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ – ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ανίχνευση και παρακολούθηση της εξέλιξης των επιφανειακών κατακόρυφων μετακινήσεων, σε μία μεγάλη σε έκταση περιοχή, γίνεται με τη Γεωδαιτική Μεθοδολογία. Πιο συγκεκριμένα, ιδρύονται σημεία ελέγχου στην εξεταζόμενη επιφάνεια του εδάφους και σημεία αναφοράς σε σταθερό έδαφος, εκτός της περιοχής επιρροής. Το σύνολο όλων των παραπάνω σημείων αποτελεί τις κορυφές του Γεωδαιτικού Δικτύου Κατακόρυφου Ελέγχου. Στη συνέχεια, ακολουθούν οι εργασίες πεδίου, οι οποίες γίνονται με πολύ μεγάλη προσοχή ώστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι ιδιαίτερα ακριβή και αξιόπιστα για τον έλεγχο των επιφανειακών καθιζήσεων.

Αφού ιδρύθηκε το δίκτυο, μετρήθηκε και επιλύθηκε σε 2 χρονικές περιόδους με διαφορά φάσης 6 μηνών. Αυτή η διαφορά φάσης των 6 μηνών είναι δηλαδή το διάστημα στο οποίο εξετάζονται οι πιθανές διαφορές στις τιμές των υψομέτρων των κορυφών.

Αρχικά έγινε η αναγνώριση της περιοχής μελέτης και ιδρύθηκαν οι κορυφές. Έπειτα έγινε η μέτρηση των στοιχείων του δικτύου κατακόρυφου ελέγχου με τη μέθοδο της Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης, χρησιμοποιώντας το σύγχρονο ψηφιακό χωροβάτη, που επιλέχθηκε, και τα παρελκόμενα του. Επίσης εφαρμόστηκε και η μέθοδος της Ειδικής Τριγωνομετρικής Υψομετρίας με αμοιβαίες σκοπεύσεις με 2 γεωδαιτικούς σταθμούς. Τέλος, περιγράφονται αναλυτικά τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των παραπάνω μετρήσεων καθώς και οι λύσεις που δόθηκαν, προκειμένου να αποτελέσουν υπόδειγμα για ανάλογες εργασίες στο μέλλον.

## 4.2 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΙΔΡΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται νοτιοδυτικά της Μεγαλόπολης και περιλαμβάνει τον οικισμό Τριπόταμο και την γύρω περιοχή νότια από αυτόν. Συγκεκριμένα ο ευρύτερος χώρος της ορίζεται νότια από τον επαρχιακό δρόμο που διασταυρώνεται με το 7<sup>ο</sup> χλμ Π.Ε.Ο. Μεγαλόπολης – Καλαμάτας με κατεύθυνση το χωριό Χωρέμη και εκτείνεται νότια του Τριποτάμου σε ακτίνα 500μ. Βόρεια και δυτικά του οικισμού και της ευρύτερης περιοχής μελέτης βρίσκονται τα ορυχεία της Δ.Ε.Η. Μεταξύ του Τριποτάμου και του δρόμου που έχει κατεύθυνση τον Χωρέμη διέρχεται ο ποταμός Αλφειός όπως διακρίνεται και στην εικόνα 4.7 που περνάει ανάμεσα από τις κορυφές Α1 και Α2 νοτιοανατολικά του δικτύου και από τις Α11 και Α10 δυτικά του δικτύου που υλοποιήθηκαν εκατέρωθεν της γέφυρας που συνδέει το Τριπόταμο με το γύρω οδικό δίκτυο



Εικόνα 4.1 Η ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης

Αρχικά έγινε εντοπισμός του τριγωνομετρικού της ΓΥΣ "Ράχη" το οποίο θα αποτελέσει αφετηρία για το δίκτυο GPS. Παράλληλα έγινε και ο εντοπισμός κάποιων τριγωνομετρικών σημείων που είχαν ιδρυθεί από τον κ. Ζαχαριάδη κατά τη διάρκεια παλαιότερων

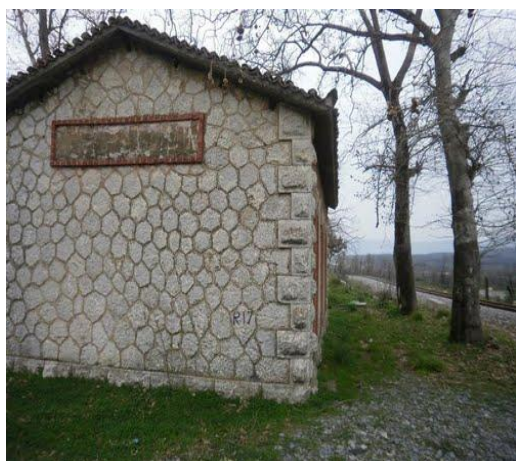


Εικόνα 4.2 Σύνολο σημείων G.P.S και χωροσταθμικού δικτύου

εργασιών, όλα μέρος του δικτύου GPS και κάποια από αυτά είναι κοινά στο χωροσταθμικό δίκτυο. Το σύνολο των σημείων που είτε ιδρύθηκαν είτε εντοπίστηκαν είναι 34 και οι 19 από αυτές αποτελούν τις κορυφές του κατακόρυφου δικτύου ελέγχου που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική.



Κατά την αναγνώριση της περιοχής τοποθετήθηκαν σταθερά σημεία ελέγχου από το R17 έως το T5 Αλφειού δηλαδή επί του δρόμου που περνάει περιμετρικά του Τριπόταμου και με κατεύθυνση τον Χωρέμη (Εικόνα 4.2). Να επισημανθεί ότι το R17 ήταν υψομετρική αφετηρία του Ο.Σ.Ε. και δεν ήταν γνωστό το υψόμετρό του, ενώ το T5 είναι ένα από τα τριγωνομετρικά που είχαν ιδρυθεί σε παλαιότερη εργασία.



Εικόνα 4.3 Reper Ο.Σ.Ε. R17



Εικόνα 4.4 Σημείο E4

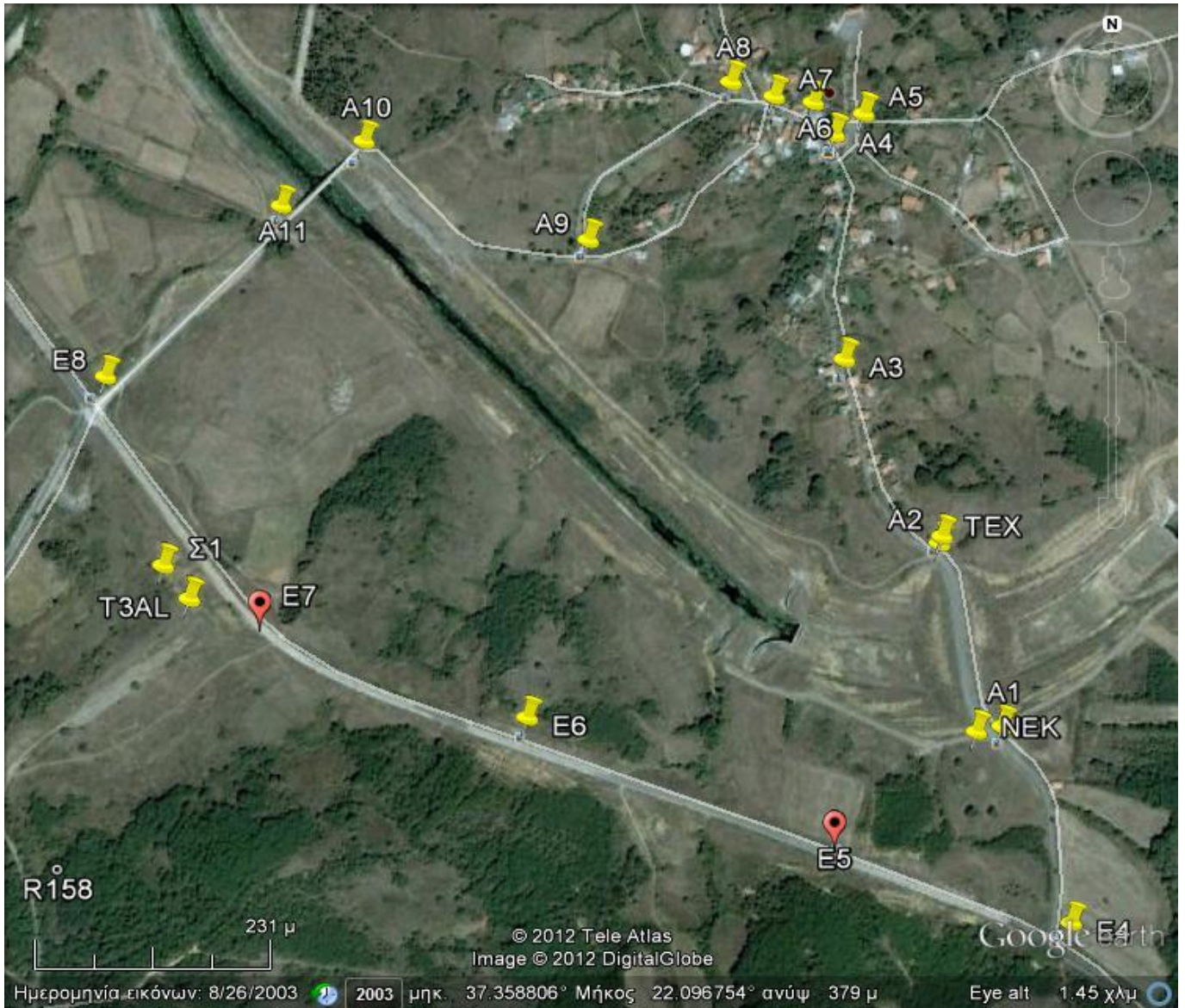


Εικόνα 4.5 Σημείο E6



Εικόνα 4.6 Σημείο E8

Ενδιάμεσα τοποθετήθηκαν κορυφές ανά 250 μέτρα περίπου με αρίθμηση E1 έως E16. Το μεγάλο αυτό τμήμα συνολικού μήκους 4 χλμ μετρήθηκε με τη μέθοδο της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης στην πρώτη περίοδο μετρήσεων.



Εικόνα 4.7Οι κορυφές του χωροσταθμικού δικτύου

Τα ενδιάμεσα σημεία της εξωτερικής χωροστάθμησης, E4 και E8 αποτελούν σημεία του δικτύου ελέγχου το οποίο και μελετάται. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.7 η χωροστάθμηση στο σημείο E4 διασταυρώνεται με τον

δρόμο ο οποίος οδηγεί στο χωριό Τριπόταμο, το διασχίζει και καταλήγει στο σημείο E8 σχηματίζοντας έτσι μία παράκαμψη της εξωτερικής χωροστάθμησης μήκους 2 χλμ. Στην παράκαμψη αυτή έγινε Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση και στις δύο περιόδους μετρήσεων.

Κατά την αναγνώριση της περιοχής τοποθετήθηκαν 11 ενδιάμεσα σημεία ξεκινώντας από το E4 προς το E8 με αρίθμηση A1 έως A11. Από το E4 έως το A4, ο δρόμος δηλαδή έως το κέντρο του χωριού, οι κορυφές υλοποιούνται και πάλι ανά 250 μέτρα περίπου. Να επισημανθεί ότι το A2 τοποθετείται μόλις 10 μέτρα περίπου από υπάρχον τριγωνομετρικό, ονόματι «Τεχνικό» ή «TEX» το οποίο επίσης αποτελεί κορυφή του χωροσταθμικού μας δικτύου καθώς επίσης και του δικτύου GPS.



**Εικόνα 4.9 Σημείο A1**



**Εικόνα 4.8 Σημείο A2**



**Εικόνα 4.10 Σημείο A3**



**Εικόνα 4.11 Σημείο A4**

Τα ενδιάμεσα σημεία A4 - A5 - A6 - A7 - A8 είναι τοποθετημένα εντός του οικισμού με μικρές αποστάσεις μεταξύ τους ώστε να έχουμε έναν ικανοποιητικό αριθμό σταθερών σημείων μέσα στον οικισμό όπου μελετάται και η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων. Έγινε δηλαδή πύκνωση δικτύου.



**Εικόνα 4.12 Σημείο A5**



**Εικόνα 4.13 Σημείο A6**



**Εικόνα 4.14 Σημείο A7**



**Εικόνα 4.15 Σημείο A8**

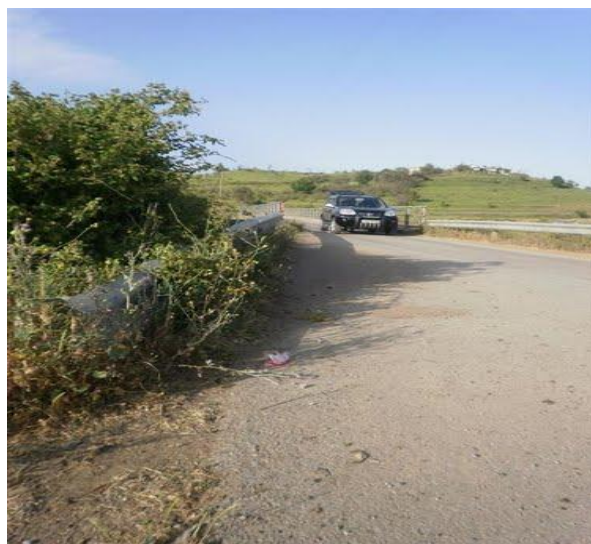
Ενώ τα υπόλοιπα, A9, A10 και A11 τοποθετήθηκαν σε απόσταση 250 μέτρων περίπου μεταξύ τους κλείνοντας στο E8.



**Εικόνα 4.16 Σημείο A9**



**Εικόνα 4.17 Σημείο A10**



**Εικόνα 4.18 Σημείο A11**

Πάνω από το τμήμα του δρόμου E4 – E5 – E6 – E7 – E8 εντοπίστηκε το T3. Θα αποτελέσει την σταθερή κορυφή του χωροσταθμικού μας δικτύου διότι θα πάρει υψόμετρο με τη μέθοδο της Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης από το Reper της Γ.Υ.Σ. R158 το οποίο βρίσκεται μόλις 370

μέτρα νότια από το T3 με γνωστό υψόμετρο  $H=423,960\text{m}$ .



**Εικόνα 4.19 Χωροστάθμηση R158 - T3**



**Εικόνα 4.20 Χωροστάθμηση R158 - T3**

Λόγω της μορφολογίας του εδάφους η σύνδεση του T3 με τις υπόλοιπες κορυφές του δικτύου δεν ήταν δυνατή με τη μέθοδο της

Γεωμετρικής Χωροστάθμησης. Έτσι εφαρμόστηκε η τριγωνομετρική υψομετρία με αμοιβαίες σκοπεύσεις, η οποία μέθοδος αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το πιο κοντινό σημείο από το T3 ήταν το E7, όμως λόγω της μεγάλης κλίσης δεν το “έβλεπε” γι’αυτό συνδέθηκε με το E6.



Εικόνα 4.21 Ε.Τ.Υ. στο σημείο E6

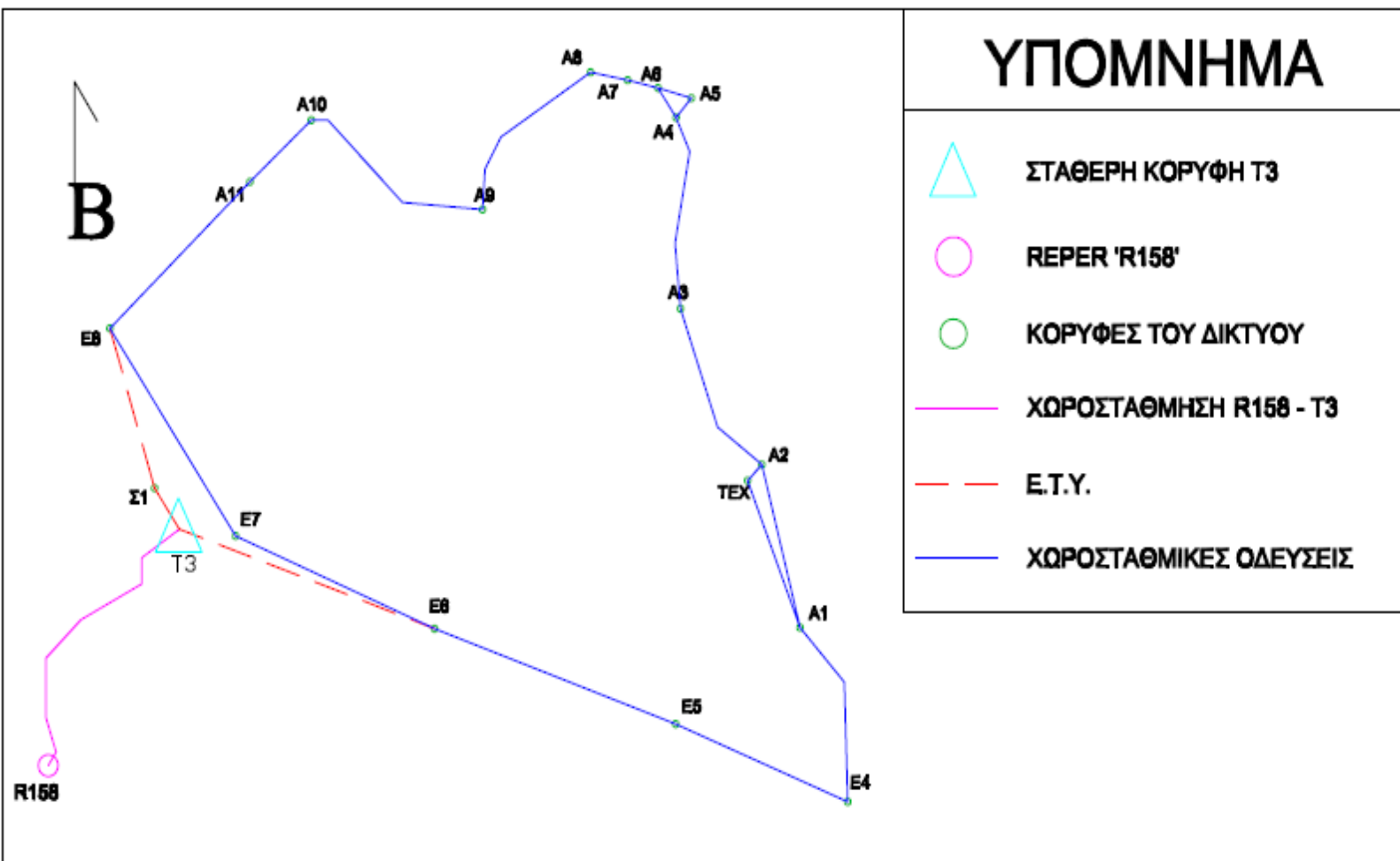
Επίσης η σταθερή μας κορυφή T3 συνδέθηκε με την ίδια μέθοδο με το E8, με τη βοήθεια ενός ενδιάμεσου σημείου λίγα μέτρα από το T3, του Σ1, επειδή το E8 δεν ήταν απ’ευθείας ορατό. Η σύνδεση του T3 με ένα ακόμα σημείο έγινε για να επιτύχουμε καλύτερη εξάρτηση του δικτύου.



**Εικόνα 4.22 Ε.Τ.Υ. στο σημείο Σ1**

Έτσι λοιπόν το χωροσταθμικό δίκτυο αποτελείται από 19 κορυφές. Αυτές όπως φαίνονται και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα είναι: Η σταθερή κορυφή T3, το Σ1, τα σημεία επί του περιμετρικού δρόμου E4, E5, E6, E7, E8 και τα σημεία στην παράκαμψη για το χωριό A1, A2, TEX, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10 και A11. Να επισημανθεί ότι η ίδρυση πυκνών σημείων, ανά 250 μέτρα συνήθως, έγινε ώστε να εκτελεστεί η εργασία τμηματικά. Πετυχαίνοντας έτσι καλύτερο και ταχύτερο έλεγχο της χωροστάθμησης ώστε να μπορεί να γίνει ο εντοπισμός μιας κακής μέτρησης εντός ενός τμήματος 250 μέτρων και να επαναληφθεί η διαδικασία στο συγκεκριμένο μόνο τμήμα. Επίσης οι μετρήσεις δεν ήταν δυνατό να ολοκληρωθούν εντός μίας ημέρας και αυτό απαιτεί την ύπαρξη ενδιάμεσων σταθερών σημείων.





Σχήμα 4.1 Σκαρίφημα των χωροσταθμικών οδεύσεων

Για την υλοποίηση των νέων σημείων χρησιμοποιήθηκαν ασαλένιες πρόκες, ροδέλες και ταινία σημάσεως για την εύκολη εύρεσή τους ανά πάσα στιγμή. Στη διαδικασία των μετρήσεων το συνεργείο αποτελούνταν από δύο άτομα. Οι εργασίες στην περιοχή μελέτης ξεκίνησαν την τελευταία εβδομάδα του Μαρτίου το 2010 με την αναγνώριση της περιοχής, τον εντοπισμό των υπαρχόντων σημείων (Reper, τριγωνομετρικό Γ.Υ.Σ, τριγωνομετρικά από παλαιότερες εργασίες) και την ίδρυση του δικτύου με την υλοποίηση των νέων σημείων. Η πρώτη περίοδος μετρήσεων έγινε στο πρώτο δεκαήμερο του Μαΐου και η δεύτερη στα μέσα Δεκεμβρίου του ίδιου έτους μετά από έξι μήνες. Οι μετρήσεις ξεκινούσαν από τις 8 το πρωί έως αργά το απόγευμα.

Πριν από την εκτέλεση των μετρήσεων, κάθε μέρα γινόταν ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας του ψηφιακού χωροβάτη έτσι, ώστε να εξασφαλιστεί η ακρίβεια με την οποία μπορεί να μετρήσει, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας (*Check Adjust*). Επίσης, την πρώτη μέρα των μετρήσεων και πριν από την έναρξη αυτών, ελέγχθηκαν οι σφαιρικές αεροστάθμες των δύο σταδίων που συνοδεύουν τον ψηφιακό χωροβάτη.

Σε κάθε στάση του ψηφιακού χωροβάτη, οι αποστάσεις μεταξύ οργάνου – σταδίας δεν ξεπερνούσαν τα 40 – 45 m και ήταν περίπου ίσες. Στο ύπαιθρο γινόταν επίσης, ο έλεγχος του κλεισίματος κάθε διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης σε σχέση με το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο.

### **4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΕΔΙΟΥ**

Η απόδοση του ψηφιακού χωροβάτη επηρεαζόταν κυρίως, από τις καιρικές συνθήκες, που επικρατούσαν στην περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια των εργασιών, καθώς και τις συνθήκες φωτισμού. Οι δυσκολίες, που παρουσιάστηκαν κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, αφορούν την συχνή κυκλοφορία βαρέων οχημάτων που εκτελούσαν δρομολόγια προς τη ΔΕΗ, και τέλος, την αδυναμία κατακορύφωσης της σταδίας πάνω στο μπουλόκι που υλοποιεί τα τριγωνομετρικά σημεία λόγω του ύψους τους επειδή είναι τοποθετημένα πάνω σε βαθράκια.

Όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες, τις μέρες που υπήρχαν στην περιοχή δυνατοί άνεμοι, υπήρχε δυσκολία στην κατακορύφωση της σταδίας ιδιαίτερα σε στάσεις που λόγω έντονης κλίσης ανοίγαμε την πτυσσόμενη σταδία πάνω από τα δύο μέτρα.

Επίσης αρκετά προβλήματα παρουσιάστηκαν στις μετρήσεις του Μαΐου διότι η έντονη ηλιοφάνεια προκαλούσε ανεπιθύμητα αποτελέσματα κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων. Ενδεικτικά παραδείγματα αναφέρονται παρακάτω:

- Αδυναμία μέτρησης του οργάνου σε συνθήκες ανομοιόμορφου φωτισμού, δηλαδή όταν η σταδία φαινόταν, μέσα από το προσοφθάλμιο, φωτεινή στο κέντρο του σταυρονήματος και σκιερή στο άνω και κάτω άκρο του.

- Αδυναμία μέτρησης του οργάνου όταν σκοπεύει τη σταδία με κατεύθυνση προς τον στον ήλιο ή όταν η σταδία είναι τοποθετημένη σε σκιερό μέρος.

Ιδιαίτερη δυσκολία υπήρξε στη Γεωμετρική Χωροστάθμηση του τμήματος R158 – T3 Αλφειού. Παρά το μικρό μήκος του τμήματος, μόλις 370 μ, το έδαφος ήταν λασπώδες με αποτέλεσμα τη βύθιση του τρίποδα του οργάνου αλλά και της χελώνας. Τελικά με πολύ καλό πάτημα – “χώσιμο” και των δύο παρελκόμενων στο έδαφος και έπειτα από 2 επαναλήψεις της χωροστάθμησης, το κομμάτι “έκλεισε” στα επιτρεπτά όρια.



**Εικόνα 4.23 Χωροστ. R158 – T3**



**Εικόνα 4.24 Χωροστ. R158 – T3**

Σε κάθε στάση οργάνου, οι αποστάσεις μεταξύ χωροβάτη – σταδίας ήταν περίπου ίσες και μικρότερες από 40 m – 45 m, γιατί το όργανο δεν μπορούσε να πραγματοποιήσει τη μέτρηση για μεγαλύτερα μήκη, σε αντίθεση με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας. Επίσης, διαπιστώθηκε πως πρέπει να αποφεύγονται οι σκοπεύσεις στο επάνω ή στο κάτω άκρο της σταδίας λόγω αδυναμίας μέτρησης του οργάνου.

# 5

## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 5.1 Επίλυση δικτύου

#### 5.1.1 Γενικά

Σε μία μελέτη επιφανειακών καθιζήσεων, μετά την ολοκλήρωση των εργασιών υπαίθρου, σειρά έχουν οι εργασίες γραφείου με την ανάλογη επεξεργασία των αποτελεσμάτων, όπως αυτά προέκυψαν από τις μετρήσεις.

Αναλυτικότερα, σε πρώτη φάση μεταφέρθηκαν όλες οι μετρήσεις από τις χειρόγραφες σημειώσεις σε υπολογιστικά φύλλα Excel ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους. Αφού επεξεργαστούν προσδιορίζεται η τιμή του σφάλματος κάθε βρόχου, προκειμένου να εξεταστεί αν είναι απαραίτητη η επανάληψη κάποιας χωροσταθμικής όδευσης. Αν πληρούνται όλες οι βασικές συνθήκες, τότε ακολουθεί η συνόρθωση του χωροσταθμικού δικτύου. Τέλος, ανιχνεύονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις και διαπιστώνεται αν υπάρχει μμετακίνηση των κορυφών του δικτύου στο χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο φάσεων μμέτρησης των στοιχείων του.

#### 5.1.2 Αποτελέσματα

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου, ακολουθεί η συλλογή των δεδομένων που μμετρήθηκαν καθώς, και η επεξεργασία τους. Μέσω της ενσωματωμένης καταγραφικής μμονάδας, χωρητικότητας 128 KB, που διαθέτει ο ψηφιακός χωροβάτης που χρησιμοποιήθηκε, αποθηκεύονται τα αποτελέσματα των μμετρήσεων ονομαστικά, βάσει των δύο υψομετρικών αφετηριών που συμμετέχουν στη χωροσταθμική όδευση. Έπειτα, αυτά τα μετρηθέντα στοιχεία μμεταφέρονται στον υπολογιστή με τη βοήθεια του προγράμματος TECS, το οποίο επιτρέπει την αποστολή ή τη μεταφορά των δεδομένων από και προς το όργανο και την μετατροπή αυτών.

Για κάθε μέρα μετρήσεων θα εξάγονταν τα δεδομένα και οι μετρήσεις από το όργανο ώστε να συγκεντρώνονταν τα αρχεία στον υπολογιστή. Όμως έπειτα από την πρώτη κιάλας μέρα μετρήσεων

διαπιστώθηκε ότι το λογισμικό Tecs είχε κάποιο πρόβλημα. Γι'αυτό αποφασίστηκε να καταγράφονται χειρόγραφα οι μετρήσεις κατά τις εργασίες πεδίου. Έτσι μεταφέρθηκαν οι ονομασίες των χωροσταθμικών αφετηριών, ο αριθμός των στάσεων και οι αναγνώσεις κάθε σκόπευσης του οργάνου σε περιβάλλον λογισμικού Excel, έτσι ώστε να γίνει η ανάλογη επεξεργασία τους, όπως απαιτείται σε κάθε Γεωμετρική Χωροστάθμηση. Επίσης και στην τριγωνομετρική υψομετρία, οι μετρήσεις καταγράφονταν χειρόγραφα και επεξεργάστηκαν από υπολογιστικό φύλλο Excel ώστε να προκύψουν οι υψομετρικές διαφορές.

Στο Παράρτημα παρουσιάζονται, σε μορφή πίνακα, τα αποτελέσματα των οδεύσεων από την Γεωμετρική Χωροστάθμηση και την Ε.Τ.Υ: η τιμή της υψομετρικής διαφοράς κάθε χωροσταθμικής όδευσης, όπως αυτή προκύπτει από το μέσο όρο των υψομετρικών διαφορών μεταξύ της μετάβασης και της επιστροφής, καθώς επίσης και οι κεκλιμένες αποστάσεις μεταξύ των κορυφών του δικτύου.

### 5.1.3 Επίλυση δικτύου κατακορύφου ελέγχου

Μετά από την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου, ακολουθεί η συνόρθωση του χωροσταθμικού δικτύου.

Το γεωδαιτικό δίκτυο κατακορύφου ελέγχου επιλύθηκε με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις και τις ίδιες αρχικές συνθήκες, θεωρώντας ως σταθερή κορυφή την T3 με υψόμετρο  $H_{T3} = 423.960 \text{ m}$ .

Η επίλυση του δικτύου έγινε με τη βοήθεια 2 λογισμικών. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το «Επίλυση ΒΕΤΑ 1.3» (από διπλωματική εργασία του Παπαδημητρίου/Α.Π.Θ./2006) το οποίο μεταξύ των διάφορων τοπογραφικών εφαρμογών εκτελεί και συνόρθωση χωροσταθμικού δικτύου. Αρχικά απαιτεί τον αριθμό των κορυφών του δικτύου κατακορύφου ελέγχου. Σε αυτές συνυπολογίζεται και η κορυφή T3 της οποίας το υψόμετρο είναι γνωστό και θεωρείται η σταθερή κορυφή του δικτύου και στις δύο περιόδους μετρήσεων. Οι κορυφές του δικτύου είναι 19. Για διευκόλυνσή και σωστή λειτουργία του προγράμματος κωδικοποιήθηκε η ονοματολογία των κορυφών του δικτύου σε ακέραιους αριθμούς από το 1 έως το 19, όσες δηλαδή και οι κορυφές.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΗΜΕΙΟ
1	T3
2	Σ1
3	E8
4	A11
5	A10
6	A9
7	A8
8	A7
9	A6
10	A5
11	A4
12	A3
13	A2
14	TEX
15	A1
16	E4
17	E5
18	E6
19	E7

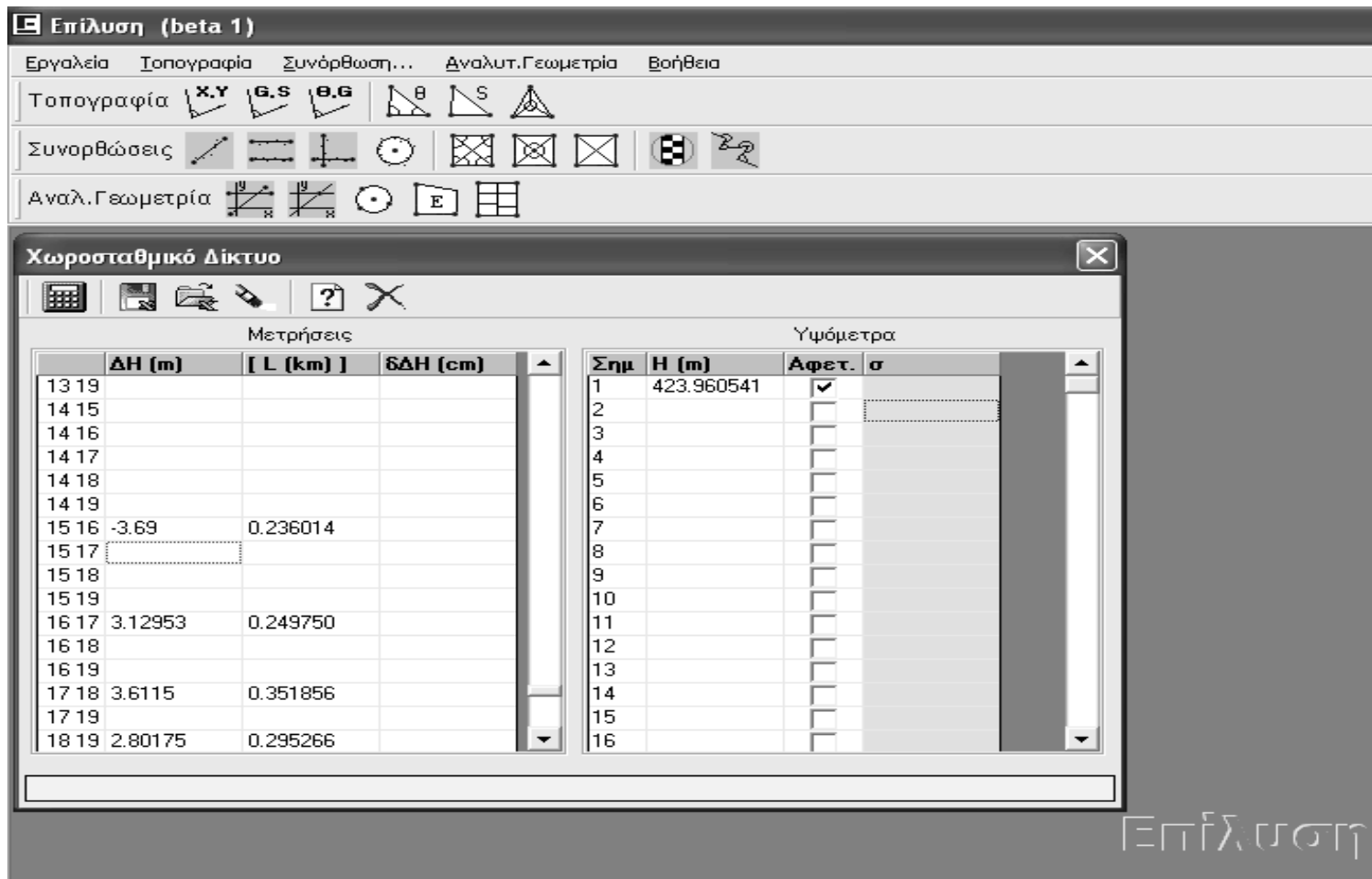
**Πίνακας 5.1Κωδικοποίηση κορυφών δικτύου**

Το πρόγραμμα στη συνέχεια έχει πεδία πληκτρολόγησης των υψομετρικών διαφορών και των κεκλιμένων μηκών για όλους τους συνδυασμούς των κορυφών μεταξύ τους. Εμείς στην πρώτη περίοδο μετρήσεων έχουμε 21 υψομετρικές διαφορές και συνεπώς 21 κεκλιμένα μήκη ενώ για την δεύτερη περίοδο μετρήσεων έχουμε αντίστοιχα 20. Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας με τις υψομετρικές διαφορές και αποστάσεις καθώς επίσης και εικόνα από την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό «Επίλυση Beta» για κάθε μία από τις δύο περιόδους.

➤ 1<sup>η</sup> περίοδος μετρήσεων Μάιος 2010

<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ</b>			
1η περίοδος (Μάιος 2010)			
<b>ΚΩΔΙΚΟΙ</b>	<b>ΤΜΗΜΑ</b>	<b>ΥΨΟΜ ΔΙΑΦΟΡΑ (ΔΗ)</b>	<b>ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)</b>
( 1 - 18 )	T3 - E6	-22,464	368,016
( 1 - 2 )	T3 - Σ1	-1,476	14,162
( 2 - 3 )	Σ1 - E8	-31,483	244,641
( 3 - 4 )	E8 - A11	-11,854	280,023
( 4 - 5 )	A11 - A10	1,133	101,635
( 5 - 6 )	A10 - A9	6,147	277,760
( 6 - 7 )	A9 - A8	19,213	237,850
( 7 - 8 )	A8 - A7	2,849	33,029
( 8 - 9 )	A7 - A6	1,138	63,652
( 9 - 10 )	A6 - A5	-0,894	40,227
( 9 - 11 )	A6 - A4	-0,68768	38,272
( 10 - 11 )	A5 - A4	0,206	30,082
( 11 - 12 )	A4 - A3	5,028	242,599
( 12 - 13 )	A3 - A2	-6,958	227,839
( 13 - 14 )	A2 - TEX	0,53688	21,852
( 13 - 15 )	A2 - A1	-8,577	215,597
( 15 - 16 )	A1 - E4	-3,69	236,014
( 16 - 17 )	E4 - E5	3,12953	249,750
( 17 - 18 )	E5 - E6	3,6115	351,856
( 18 - 19 )	E6 - E7	2,80175	295,266
( 19 - 3 )	E7 - E8	-13,30552	303,523

Πίνακας 5.2 Υψομετρικές διαφορές και αποστάσεις των κορυφών Μάιος 2010

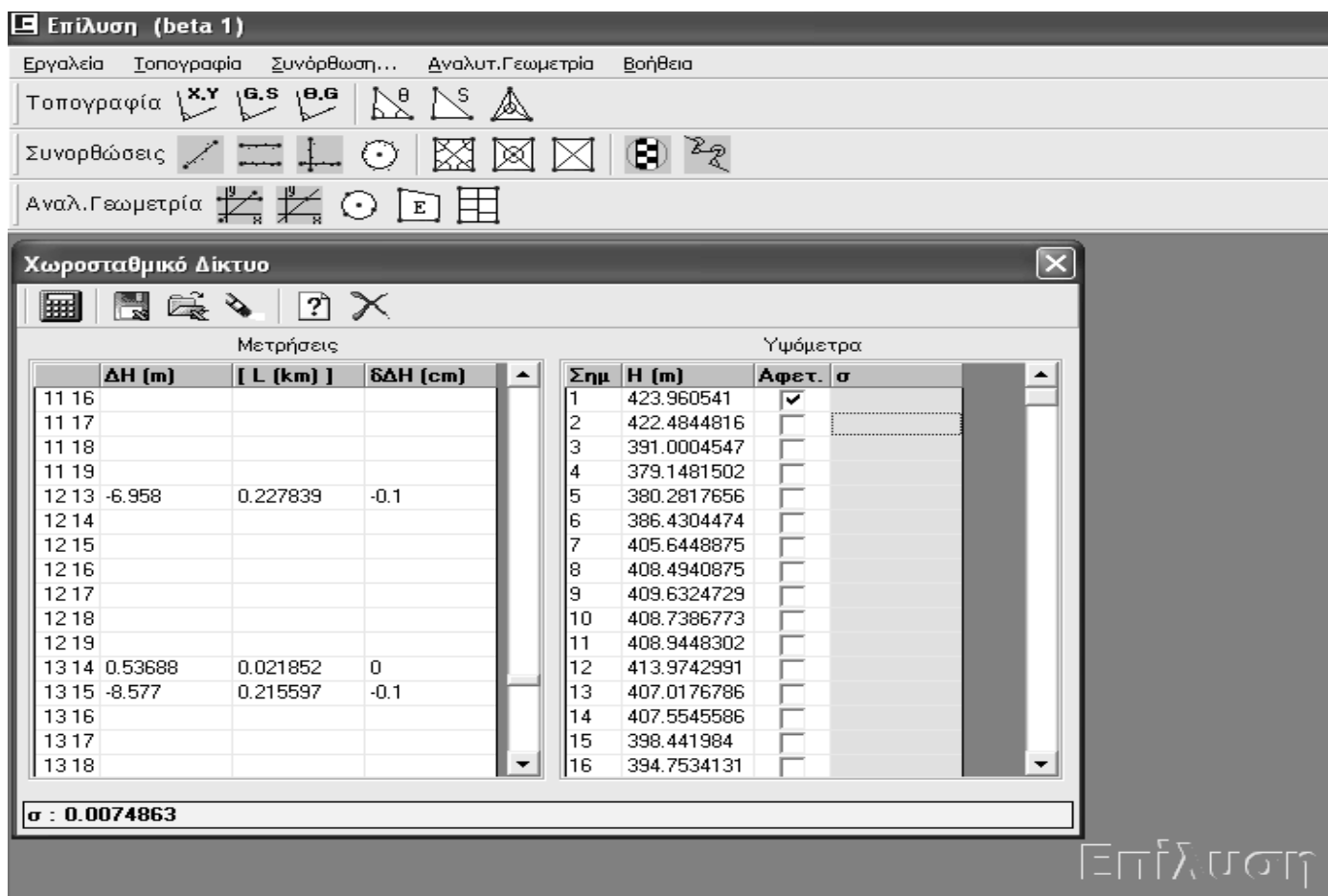


Εικόνα 5.1 Εισαγωγή δεδομένων Μάιος 2010

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.1 οι υψομετρικές διαφορές πληκτρολογούνται σε μέτρα ενώ οι αποστάσεις σε χιλιόμετρα. Στο πεδίο των υψομέτρων συμπληρώνουμε μόνο για το σημείο 1 ( T3 όπως φαίνεται από πίνακα 5.1) το γνωστό υψόμετρο και «τικάρουμε» ότι αυτή η κορυφή είναι η αφετηρία του χωροσταθμικού μας δικτύου.

Στη συνέχεια αφού έχουμε βεβαιωθεί ότι έχουμε συμπληρώσει σωστά όλα τα πεδία που απαιτούνται, επιλέγουμε να εκτελέσει το πρόγραμμα υπολογισμό. Εκτελεί δηλαδή τη συνόρθωση του δικτύου και μας δίνει τα τελικά υψόμετρα των κορυφών ( H(m) ) καθώς επίσης και τις διορθώσεις των υψομετρικών διαφορών ( δΔH (cm) ). Το πρόγραμμα δίνει επίσης τη δυνατότητα να εξαχθούν και να αποθηκευτούν τα αποτελέσματα σε φύλλο Excel.





Εικόνα 5.2 Απόσπασμα από τα αποτελέσματα της συνόρθωσης Μάιος 2010

Συνόρθωση Χωροσταθμικού Δικτύου				4:26:42 μμ - 25/1/2012		
Περιγραφή :		ΜΑΙΟΣ 2010 (1η περίοδος μετρήσεων)				
Αριθμός Σημείων		19				
Μετρήσεις				Υψόμετρα		
Κωδ.	ΔΗ (m)	L (km)	δΔΗ (cm)	Κωδ.	H	σ
1 2	-1,476	0,0141615	0,0	1	423,960541	1
1 18	-22,464	0,3680160	-0,2	2	422,484	0
2 3	-31,483	0,2446410	0,1	3	391,000	0
3 4	-11,854	0,2800230	-0,2	4	379,148	0
3 19	13,30552	0,3035230	0,3	5	380,282	0
4 5	1,133	0,1016350	-0,1	6	386,430	0
5 6	6,147	0,2777600	-0,2	7	405,645	0
6 7	19,213	0,2378500	-0,1	8	408,494	0
7 8	2,849	0,0330290	0,0	9	409,632	0
8 9	1,138	0,0636520	0,0	10	408,739	0
9 10	-0,894	0,0402270	0,0	11	408,945	0
9 11	-0,68768	0,0382720	0,0	12	413,974	0
10 11	0,206	0,0300820	0,0	13	407,018	0
11 12	5,028	0,2425990	-0,1	14	407,555	0
12 13	-6,958	0,2278390	-0,1	15	398,442	0
13 14	0,53688	0,0218520	0,0	16	394,753	0
13 15	-8,577	0,2155970	-0,1	17	397,884	0
15 16	-3,69	0,2360140	-0,1	18	401,498	0
16 17	3,12953	0,2497500	-0,2	19	404,303	0
17 18	3,6115	0,3518560	-0,2			
18 19	2,80175	0,2952660	-0,3			
σ : 0.0074863						

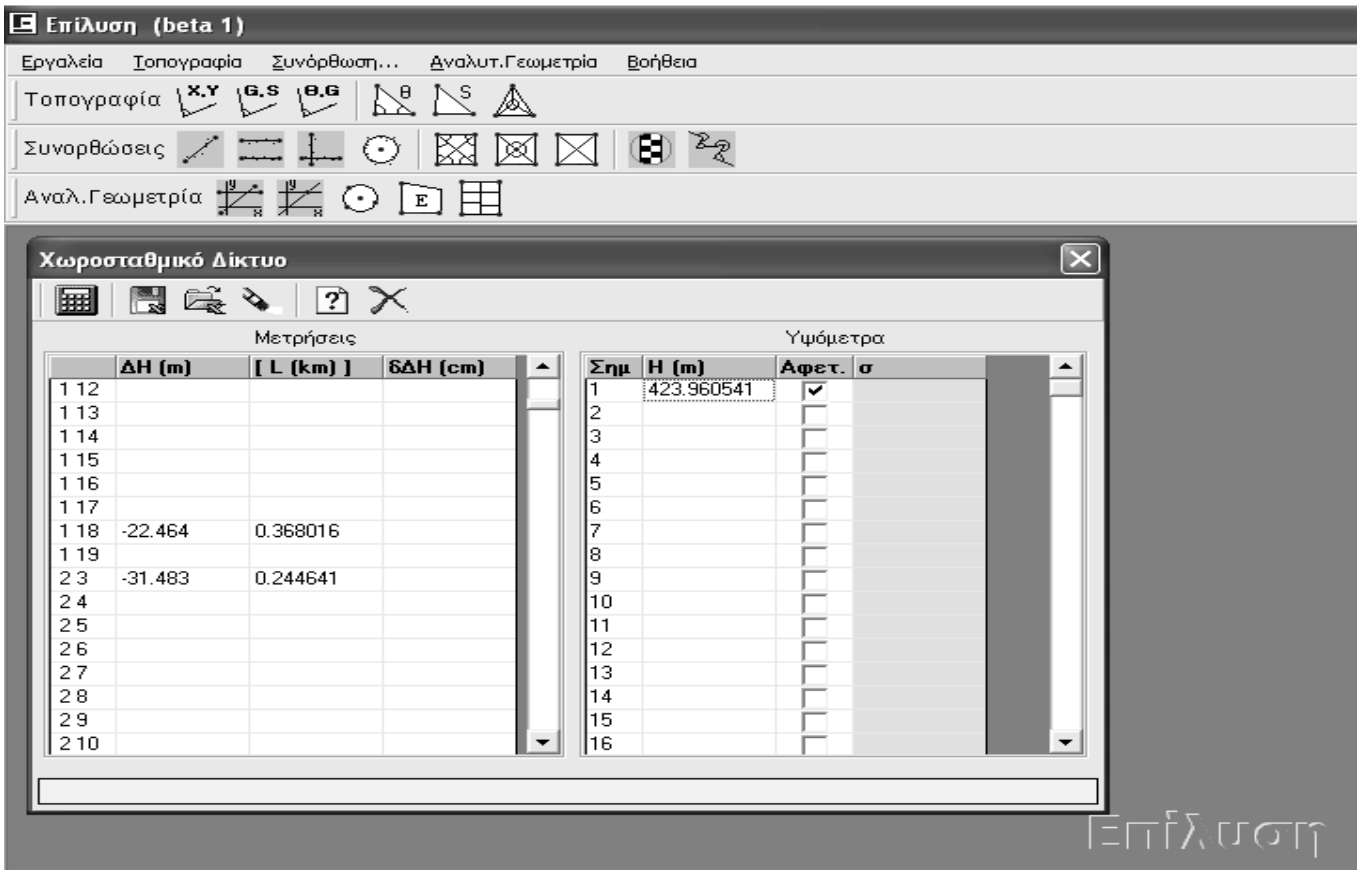
Πίνακας 5.3 Αποτελέσματα συνόρθωσης Μάιος 2010

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για τις μετρήσεις του Δεκεμβρίου

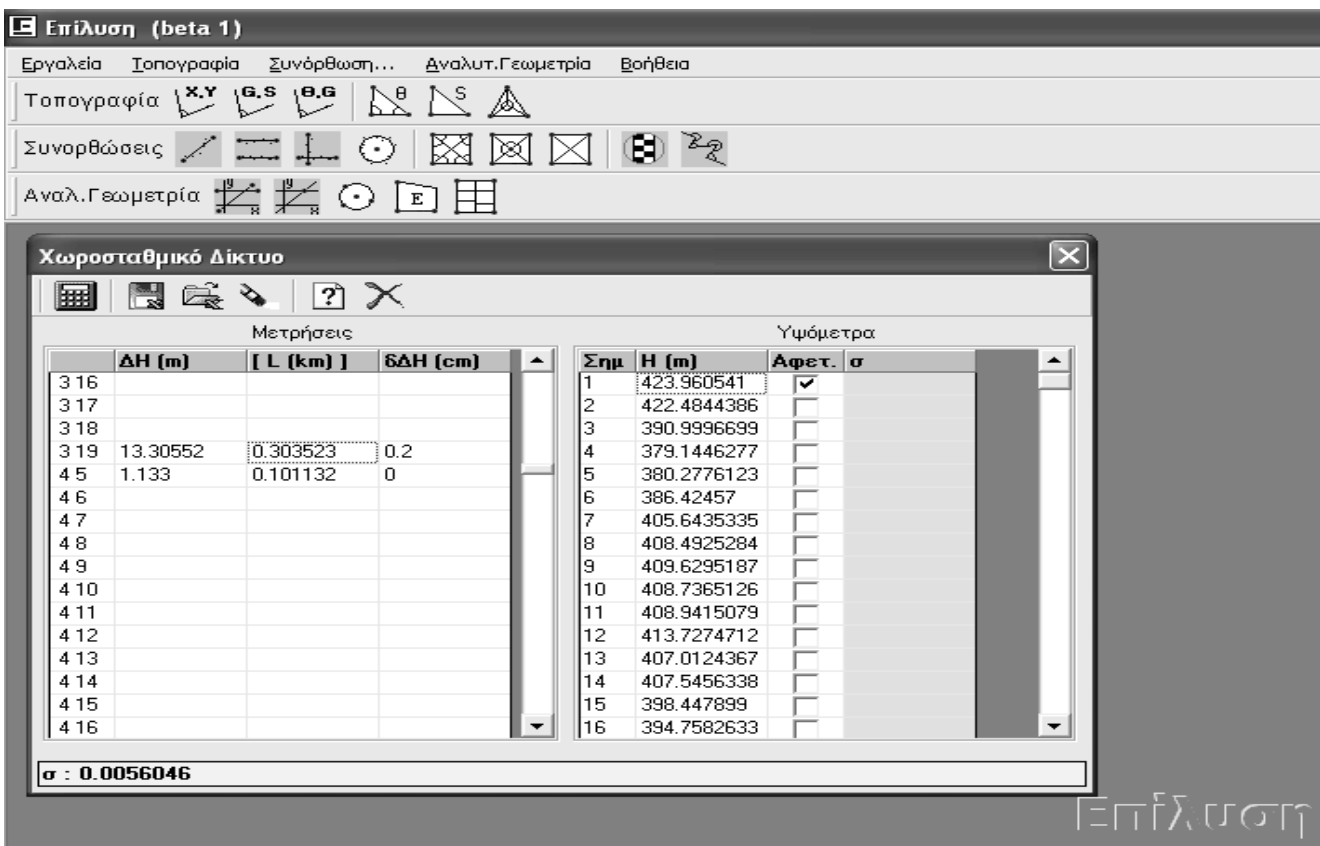
- 2<sup>η</sup> περίοδος μετρήσεων Δεκέμβριος 2010

<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ</b>			
2η περίοδος (Δεκέμβριος 2010)			
<b>ΚΩΔΙΚΟΙ</b>	<b>ΤΜΗΜΑ</b>	<b>ΥΨΟΜ ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΗ (m)</b>	<b>ΑΠΟΣΤΑΣΗ L (m)</b>
( 1 - 18 )	T3 - E6	-22,464	368,016
( 1 - 2 )	T3 - Σ1	-1,476	14,1615
( 2 - 3 )	Σ1 - E8	-31,483	244,641
( 3 - 4 )	E8 - A11	-11,855	277,344
( 4 - 5 )	A11 - A10	1,133	101,132
( 5 - 6 )	A10 - A9	6,147	277,957
( 6 - 7 )	A9 - A8	19,219	240,244
( 7 - 8 )	A8 - A7	2,849	33,085
( 8 - 9 )	A7 - A6	1,137	63,737
( 9 - 10 )	A6 - A5	-0,893	40,324
( 10 - 11 )	A5 - A4	0,205	30,972
( 11 - 12 )	A4 - A3	4,786	241,399
( 12 - 13 )	A3 - A2	-6,715	226,439
( 13 - 14 )	A2 - TEX	0,5332	19,142
( 14 - 15 )	TEX - A1	-9,0977	228,899
( 15 - 16 )	A1 - E4	-3,6896	235,059
( 16 - 17 )	E4 - E5	3,12953	249,750
( 17 - 18 )	E5 - E6	3,6115	351,856
( 18 - 19 )	E6 - E7	2,80175	295,266
( 19 - 3 )	E7 - E8	-13,30552	303,523

**Πίνακας 5.4 Υψομετρικές διαφορές και αποστάσεις των κορυφών Δεκέμβριος 2010**



Εικόνα 5.3 Εισαγωγή δεδομένων Δεκέμβριος 2010



Εικόνα 5.4 Απόσπασμα από αποτελέσματα συνόρθωσης Δεκεμβρίου 2010

Συνόρθωση Χωροσταθμικού Δικτύου				5:06:24 μμ	-	
Περιγραφή :		ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010 (2η περίοδος μετρήσεων)				
Αριθμός Σημείων		19				
Μετρήσεις				Υψόμετρα		
Κωδ.	ΔΗ (m)	L (km)	δΔΗ (cm)	Κωδ	H	σ
1 2	-1,476	0,014	0	1	423,9605410	1
1 18	-22,464	0,368	-0,3	2	422,4844386	0
2 3	-31,483	0,245	0,2	3	390,9996699	0
3 4	-11,855	0,277	0	4	379,1446277	0
3 19	13,30552	0,304	0,2	5	380,2776123	0
4 5	1,133	0,101	0	6	386,4245700	0
5 6	6,147	0,278	0	7	405,6435335	0
6 7	19,219	0,240	0	8	408,4925284	0
7 8	2,849	0,033	0	9	409,6295187	0
8 9	1,137	0,064	0	10	408,7365126	0
9 10	-0,893	0,040	0	11	408,9415079	0
10 11	0,205	0,031	0	12	413,7274712	0
11 12	4,786	0,241	0	13	407,0124367	0
12 13	-6,715	0,226	0	14	407,5456338	0
13 14	0,5332	0,019	0	15	398,4478990	0
14 15	-9,0977	0,229	0	16	394,7582633	0
15 16	-3,6896	0,235	0	17	397,8877553	0
16 17	3,12953	0,250	0	18	401,4992017	0
17 18	3,6115	0,352	0	19	404,3030416	0
18 19	2,80175	0,295	-0,2			
σ : 0.0056046						

Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα συνόρθωσης Δεκέμβριος 2010

Αφού εκτελέστηκε η συνόρθωση διαπιστώθηκε ότι το λογισμικό δεν υπολογίζει τις αβεβαιότητες των τελικών υψομέτρων που μας δίνει. Χωρίς αυτές δε γίνεται να υπολογίσουμε τη στατιστική σημαντικότητα της μετακίνησης για κάθε κορυφή.

Έτσι εκτελέστηκε η επίλυση του δικτύου και για τις δύο περιόδους μετρήσεων με ένα άλλο λογισμικό, το «GEOCALC». Το συγκεκριμένο λογισμικό λειτουργεί σε περιβάλλον “dos”. Αυτό καθιστά τη χρήση του λίγο δύσκολη όμως το κύριο μειονέκτημα του είναι ότι δεν αποθηκεύονται τα δεδομένα ή αποτελέσματα ούτε κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος ούτε στο τέλος. Παρόλα αυτά οι επιλύσεις έγιναν χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα. Να σημειωθεί ότι η κωδικοποίηση των κορυφών είναι η ίδια με αυτή του προγράμματος «Επίλυση», ( Πίνακας 5.1 ).

Παρακάτω περιγράφονται τα στάδια του λογισμικού συνόρθωσης χωροσταθμικού δικτύου «GEOCALC» και παρατίθενται οι σχετικές εικόνες για κάθε μία από τις δύο περιόδους μετρήσεων:

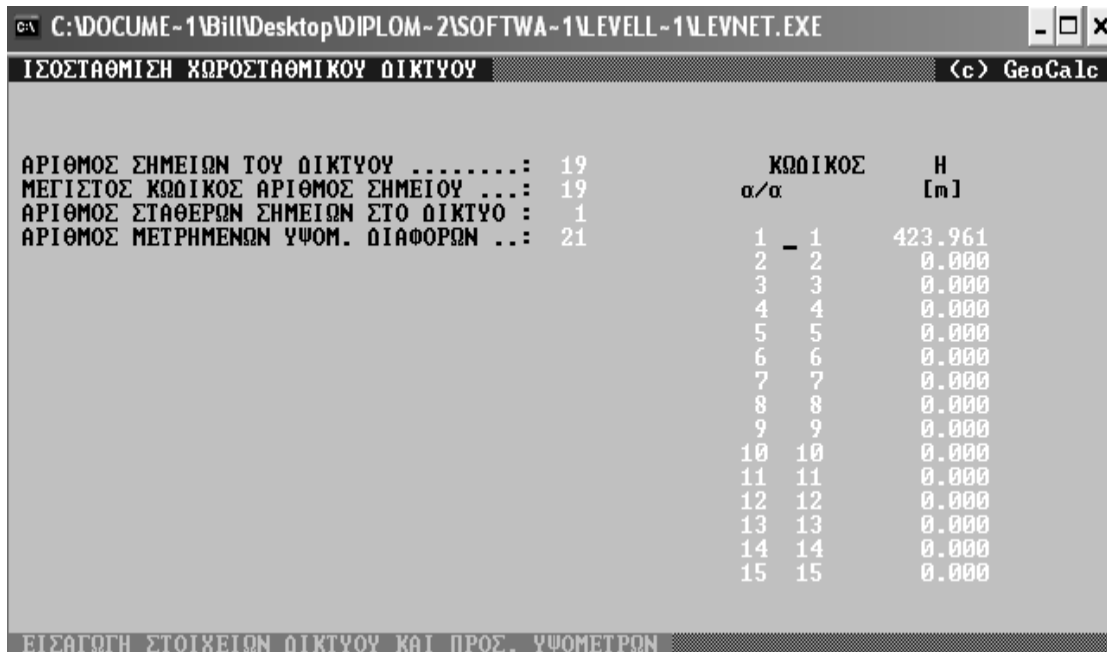
➤ Επίλυση για μετρήσεις Μαΐου 2010

- Με την εκκίνηση του προγράμματος γίνεται η επιλογή εργασιών



Εικόνα 5.5 Επιλογή εργασιών

- Επιλέγουμε εισαγωγή στοιχείων και εισάγουμε τον αριθμό των κορυφών του δικτύου, τον αριθμό των σταθερών κορυφών δηλαδή 1, και τον αριθμό των μετρημένων υψομετρικών διαφορών.



Εικόνα 5.6 Εισαγωγή στοιχείων δικτύου και προσωρινών υψομέτρων

- Έπειτα εισάγουμε τα στοιχεία για κάθε όδευση και συγκεκριμένα τους κωδικούς των κορυφών τους, την υψομετρική τους διαφορά και την απόστασή τους.

GeoCalc window: C:\DOCUMENT-1\Bil\\Desktop\DIPL0M-2\SOFTWA-1\LEVELL-1\LEVNET.EXE

ΤΙΤΛΟΣ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

α/α	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΥΣΟΜ. ΔΙΑΦΟΡΑ [m]	ΧΩΡ. ΑΠΟΣΤΑΣΗ [Km]
1	1	2	-1.476	0.014
2	1	18	-22.464	0.368
3	2	3	-31.483	0.245
4	3	4	-11.854	0.280
5	3	19	13.306	0.304
6	4	5	1.133	0.102
7	5	6	6.147	0.278
8	6	7	19.213	0.238
9	7	8	2.849	0.033
10	8	9	1.138	0.064
11	9	10	-0.894	0.040
12	9	11	-0.688	0.038
13	10	11	0.206	0.030
14	11	12	5.028	0.243
15	12	13	-6.958	0.228

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ ΥΣΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

Εικόνα 5.7 Εισαγωγή μετρημένων υψομετρικών διαφορών

- Έτσι έχουμε εισάγει όλα τα δεδομένα που απαιτούνται και το πρόγραμμα κάνει υπολογισμούς. Σε πρώτη φάση μας δίνει τις διορθωμένες υψομετρικές διαφορές και μαζί τις διορθώσεις τους.

GeoCalc window: C:\DOCUMENT-1\Bil\\Desktop\DIPL0M-2\SOFTWA-1\LEVELL-1\LEVNET.EXE

ΤΙΤΛΟΣ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

α/α	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΥΣΟΜ. ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ [m]	ΔΙΟΡΘΩΣΗ [cm]	ΧΩΡ. ΑΠΟΣΤΑΣΗ [Km]
1	1	2	-1.476	0.01	0.014
2	1	18	-22.461	-0.27	0.368
3	2	3	-31.485	0.18	0.245
4	3	4	-11.855	0.00	0.277
5	3	19	13.303	0.21	0.304
6	4	5	1.133	0.00	0.101
7	5	6	6.147	0.00	0.278
8	6	7	19.219	0.00	0.240
9	7	8	2.849	0.00	0.033
10	8	9	1.137	0.00	0.064
11	9	10	-0.893	0.00	0.040
12	10	11	0.205	0.00	0.031
13	11	12	4.786	0.00	0.241
14	12	13	-6.715	0.00	0.226
15	13	14	0.533	0.00	0.019

ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΕΣ ΥΣΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ

Εικόνα 5.8 Διορθωμένες υψομετρικές διαφορές



Τέλος μας δίνει τα τελικά υψόμετρα και σε αντίθεση με το «Επίλυση» μας δίνει και τις αβεβαιότητες των υψομέτρων.

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	H [m]	Μ.Τ.Σ. [cm]
1	1	423.961	0.000
2	2	422.484	0.089
3	3	391.000	0.334
4	4	379.148	0.489
5	5	380.282	0.527
6	6	386.430	0.602
7	7	405.645	0.641
8	8	408.494	0.645
9	9	409.632	0.652
10	10	408.739	0.658
11	11	408.945	0.654
12	12	413.974	0.665
13	13	407.018	0.660
14	14	407.555	0.669
15	15	398.442	0.640

Εικόνα 5.9 Τελικά υψόμετρα και αβεβαιότητες

Όλα τα αποτελέσματα, τις διορθωμένες υψομετρικές διαφορές και τα τελικά υψόμετρα με τις αβεβαιότητές τους τα μετέφερα σε περιβάλλον Excel και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Κωδ.	ΤΜΗΜΑ	ΔΗ διορθ (m)	δΔΗ (cm)	Κωδ.	ΤΜΗΜΑ	ΔΗ διορθ (m)	δΔΗ (cm)
( 1 - 2 )	T3 - E6	-1,476	0,01	( 9 - 11 )	A6 - A4	-0,688	0
( 1 - 18 )	T3 - Σ1	-22,462	-0,15	( 10 - 11 )	A5 - A4	0,206	-0,02
( 2 - 3 )	Σ1 - E8	-31,484	0,1	( 11 - 12 )	A4 - A3	5,029	-0,15
( 3 - 4 )	E8 - A11	-11,852	-0,17	( 12 - 13 )	A3 - A2	-6,957	-0,14
( 3 - 19 )	E8 - E7	13,302	0,31	( 13 - 14 )	A2 - TEX	0,537	0
( 4 - 5 )	A11 - A10	1,134	-0,06	( 13 - 15 )	A2 - A1	-8,576	-0,13
( 5 - 6 )	A10 - A9	6,149	-0,17	( 15 - 16 )	A1 - E4	-3,689	-0,14
( 6 - 7 )	A9 - A8	19,214	-0,14	( 16 - 17 )	E4 - E5	3,131	-0,15
( 7 - 8 )	A8 - A7	2,849	-0,02	( 17 - 18 )	E5 - E6	3,614	-0,21
( 8 - 9 )	A7 - A6	1,138	-0,04	( 18 - 19 )	E6 - E7	2,805	-0,3
( 9 - 10 )	A6 - A5	-0,894	-0,02				

Πίνακας 5.6 Διορθωμένες υψομετρικές διαφορές Μάιος 2010

<b>ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΜΑΙΟΣ 2010 (GEOCALC)</b>			
<b>ΚΩΔΙΚΟΣ</b>	<b>ΣΗΜΕΙΟ</b>	<b>H (m)</b>	<b>M.T.Σ. (mm)</b>
1	T3	423,961	0
2	Σ1	422,484	0,089
3	E8	391,000	0,334
4	A11	379,148	0,489
5	A10	380,282	0,527
6	A9	386,430	0,602
7	A8	405,645	0,641
8	A7	408,494	0,645
9	A6	409,632	0,652
10	A5	408,739	0,658
11	A4	408,945	0,654
12	A3	413,774	0,665
13	A2	407,018	0,66
14	TEX	407,555	0,669
15	A1	398,442	0,64
16	E4	394,753	0,601
17	E5	397,884	0,535
18	E6	401,498	0,371
19	E7	404,303	0,413

**Πίνακας 5.7 Τελικά υψόμετρα και αβεβαιότητες Μάιος 2010**

➤ Επίλυση μετρήσεων Δεκεμβρίου 2010

C:\DOCUMENT-1\Bill\Desktop\DIPL0M-2\SOFTWARE-1\LEVELL-1\LEVNET.EXE

ΙΣΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ <c> GeoCalc

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ..... : 19  
 ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ..... : 19  
 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : 1  
 ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ ΥΨΟΜ. ΔΙΑΦΟΡΩΝ ... : 20

ΚΩΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘ. ΣΗΜΕΙΩΝ		ΚΩΔΙΚΟΣ		H
α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	α/α		[m]
1	1	5	5	0.000
		6	6	0.000
		7	7	0.000
		8	8	0.000
		9	9	0.000
		10	10	0.000
		11	11	0.000
		12	12	0.000
		13	13	0.000
		14	14	0.000
		15	15	0.000
		16	16	0.000
		17	17	0.000
		18	18	0.000
		19	19	0.000

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣ. ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ

Εικόνα 5.10 Εισαγωγή στοιχείων δικτύου και προσωρινών υψομέτρων

C:\DOCUMENT-1\Bill\Desktop\DIPL0M-2\SOFTWARE-1\LEVELL-1\LEVNET.EXE

ΙΣΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ <c> GeoCalc

α/α	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΥΨΟΜ. ΔΙΑΦΟΡΑ [m]	ΧΩΡ. ΑΠΟΣΤΑΣΗ [Km]
1	1	2	-1.476	0.014
2	1	18	-22.464	0.368
3	2	3	-31.483	0.245
4	3	4	-11.855	0.277
5	3	19	13.306	0.304
6	4	5	1.133	0.101
7	5	6	6.147	0.278
8	6	7	19.219	0.240
9	7	8	2.849	0.033
10	8	9	1.137	0.064
11	9	10	-0.893	0.040
12	10	11	0.205	0.031
13	11	12	4.786	0.241
14	12	13	-6.715	0.226
15	13	14	0.533	0.019

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

Εικόνα 5.11 Εισαγωγή μετρημένων υψομετρικών διαφορών

C:\DOCUMENT-1\Bill\Desktop\DIPL0M-2\SOFTWARE-1\LEVELL-1\LEVNET.EXE

ΙΣΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ <c> GeoCalc

α/α	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΥΨΟΜ. ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ [m]	ΔΙΟΡΘΩΣΗ [cm]	ΧΩΡ. ΑΠΟΣΤΑΣΗ [Km]
1	1	2	-1.476	0.01	0.014
2	1	18	-22.461	-0.27	0.368
3	2	3	-31.485	0.18	0.245
4	3	4	-11.855	0.00	0.277
5	3	19	13.303	0.21	0.304
6	4	5	1.133	0.00	0.101
7	5	6	6.147	0.00	0.278
8	6	7	19.219	0.00	0.240
9	7	8	2.849	0.00	0.033
10	8	9	1.137	0.00	0.064
11	9	10	-0.893	0.00	0.040
12	10	11	0.205	0.00	0.031
13	11	12	4.786	0.00	0.241
14	12	13	-6.715	0.00	0.226
15	13	14	0.533	0.00	0.019

ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ

Εικόνα 5.12 Διορθωμένες υψομετρικές διαφορές

C:\DOCUMENT-1\Bill\Desktop\DIPLOM-2\SOFTWARE-1\LEVELL-1\LEVELNET.EXE

ΓΙΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ <c> GeoCalc

α/α	ΚΩΔΙΚΟΣ	H [m]	Μ.Τ.Σ. [cm]
1	1	423.961	0.000
2	2	422.484	0.066
3	3	391.000	0.250
4	4	379.145	0.366
5	5	380.278	0.394
6	6	386.425	0.452
7	7	405.644	0.483
8	8	408.493	0.486
9	9	407.630	0.491
10	10	408.737	0.494
11	11	408.942	0.496
12	12	413.727	0.504
13	13	407.012	0.500
14	14	407.546	0.499
15	15	398.448	0.482

ΤΕΛΙΚΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΣΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ Μ.Τ.Σ. Esc

Εικόνα 5.13 Τελικά υψόμετρα και αβεβαιότητες

Ακολουθούν σε πίνακες τις διορθωμένες υψομετρικές διαφορές και τα τελικά υψόμετρα με τις αβεβαιότητες τους

Κωδ.	ΤΜΗΜΑ	ΔΗ διορθ (m)	δΔΗ (cm)	Κωδ.	ΤΜΗΜΑ	ΔΗ διορθ (m)	δΔΗ (cm)
( 1 - 2 )	T3 - E6	-1,476	0,01	( 9 - 10 )	A6 - A5	-0,893	0
( 1 - 18 )	T3 - Σ1	-22,461	-0,27	( 10 - 11 )	A5 - A4	0,205	0
( 2 - 3 )	Σ1 - E8	-31,485	0,18	( 11 - 12 )	A4 - A3	4,786	0
( 3 - 4 )	E8 - A11	-11,855	0	( 12 - 13 )	A3 - A2	-6,715	0
( 3-19 )	E8 - E7	13,303	0,21	( 13 - 14 )	A2 - TEX	0,533	0
( 4 - 5 )	A11 - A10	1,133	0	( 14 - 15 )	TEX - A1	-9,098	0
( 5 - 6 )	A10 - A9	6,147	0	( 15 - 16 )	A1 - E4	-3,69	0
( 6 - 7 )	A9 - A8	19,219	0	( 16 - 17 )	E4 - E5	3,129	0
( 7 - 8 )	A8 - A7	2,849	0	( 17 - 18 )	E5 - E6	3,611	-0,01
( 8 - 9 )	A7 - A6	1,137	0	( 18 - 19 )	E6 - E7	2,804	-0,21

Πίνακας 5.8 Διορθωμένες υψομετρικές διαφορές Δεκέμβριος 2010

<b>ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010 (GEOCALC)</b>			
<b>ΚΩΔΙΚΟΣ</b>	<b>ΣΗΜΕΙΟ</b>	<b>H (m)</b>	<b>M.T.Σ. (mm)</b>
1	T3	423,961	0
2	Σ1	422,484	0,066
3	E8	391,000	0,25
4	A11	379,145	0,366
5	A10	380,278	0,394
6	A9	386,425	0,452
7	A8	405,644	0,483
8	A7	408,493	0,486
9	A6	409,630	0,491
10	A5	408,737	0,494
11	A4	408,942	0,496
12	A3	413,727	0,504
13	A2	407,012	0,5
14	TEX	407,546	0,499
15	A1	398,448	0,482
16	E4	394,758	0,452
17	E5	397,888	0,401
18	E6	401,499	0,278
19	E7	404,303	0,309

**Πίνακας 5.9 Τελικά υψόμετρα και αβεβαιότητες Δεκέμβριος 2010**

Παρατηρείται ότι οι τιμές των τελικών υψομέτρων είναι οι ίδιες με αυτές από την επίλυση με το λογισμικό «Επίλυση» αλλά το Geocalc υπολογίζει και τις αβεβαιότητές τους.

## 5.2 Σύγκριση των τελικών υψομέτρων των κορυφών του χωροσταθμικού δικτύου.

Έγινε σύγκριση των τελικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου των δύο διαδοχικών χρονικών φάσεων παρατηρήσεων κατά τους μήνες Μάιο και Δεκέμβριο του ίδιου έτους, το 2010, διατηρώντας τις ίδιες αρχικές εξωτερικές συνθήκες.

Δημιουργήθηκε ένα κατακόρυφο δίκτυο το οποίο μετρήθηκε δύο φορές σε διάστημα 6 μηνών. Το υψόμετρο και η αβεβαιότητα του υψομέτρου κάθε σημείου για την αρχική φάση (Μάιος) και την τελική φάση (Δεκέμβριος) προέκυψε από δύο επιλύσεις του δικτύου αντίστοιχα για κάθε περίοδο μετρήσεων. Η επίλυση έγινε με δύο διαφορετικά λογισμικά το «Επίλυση» και το «Geocalc» τα οποία και τα δύο χρησιμοποιούν την Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων. Αποδεκτές τιμές όμως θεωρούνται αυτές του «Geocalc».

Για τον προσδιορισμό του μεγέθους των κατακόρυφων μετακινήσεων των κορυφών, υπολογίστηκαν τα διανύσματα

$\delta\hat{H}_i^{\text{ΜΑΙ-ΔΕΚ}}$  των μεταβολών των υψομέτρων από τη σχέση:

$$\delta\hat{H}_i^{\text{ΜΑΙ-ΔΕΚ}} = \hat{H}_i^{\text{ΔΕΚ}} - \hat{H}_i^{\text{ΜΑΙ}} \quad (6.1)$$

Όπου  $\hat{H}_i^{\text{ΜΑΙ}}$ , το υψόμετρο της κορυφής  $i$  τον Μάιο

$\hat{H}_i^{\text{ΔΕΚ}}$ , το υψόμετρο της κορυφής  $i$  τον Δεκέμβριο

Η στατιστική σημαντικότητα της μεταβολής  $\hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK}$ , για κάθε κορυφή, ελέγχθηκε με βάση την κανονική κατανομή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% από την παρακάτω σχέση:

$$\left| \hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK} \right| \geq \left| \sigma_{\hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK}} \right| \cdot Z_{95\%} \quad (6.2)$$

όπου,  $\sigma_{\hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK}}$  : η αβεβαιότητα της μεταβολής των υψομέτρων

$Z_{95\%}$  : ο συντελεστής της τυποποιημένης κανονικής κατανομής για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ( $Z_{95\%} = 1,96$ )

Η αβεβαιότητα της μεταβολής  $\sigma_{\hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK}}$  προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_{\hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK}} = \pm \sqrt{\sigma^2_{\hat{H}_i^{\Delta EK}} + \sigma^2_{\hat{H}_i^{MAI}}} \quad (6.3)$$

Εάν ισχύει ότι  $\left| \hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK} \right| \leq \left| \sigma_{\hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK}} \right| \cdot Z_{95\%}$  τότε η μετακίνηση δεν είναι στατιστικά σημαντική και το διάνυσμα  $\hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK}$  βρίσκεται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων και δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως κατακόρυφη μετακίνηση. Εάν ισχύει ότι  $\left| \hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK} \right| > \left| \sigma_{\hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK}} \right| \cdot Z_{95\%}$  τότε η μετακίνηση είναι στατιστικά σημαντική και το διάνυσμα  $\hat{\Delta H}_i^{MAI-\Delta EK}$  εκφράζει κατακόρυφη μετακίνηση με πιθανότητα 95%.

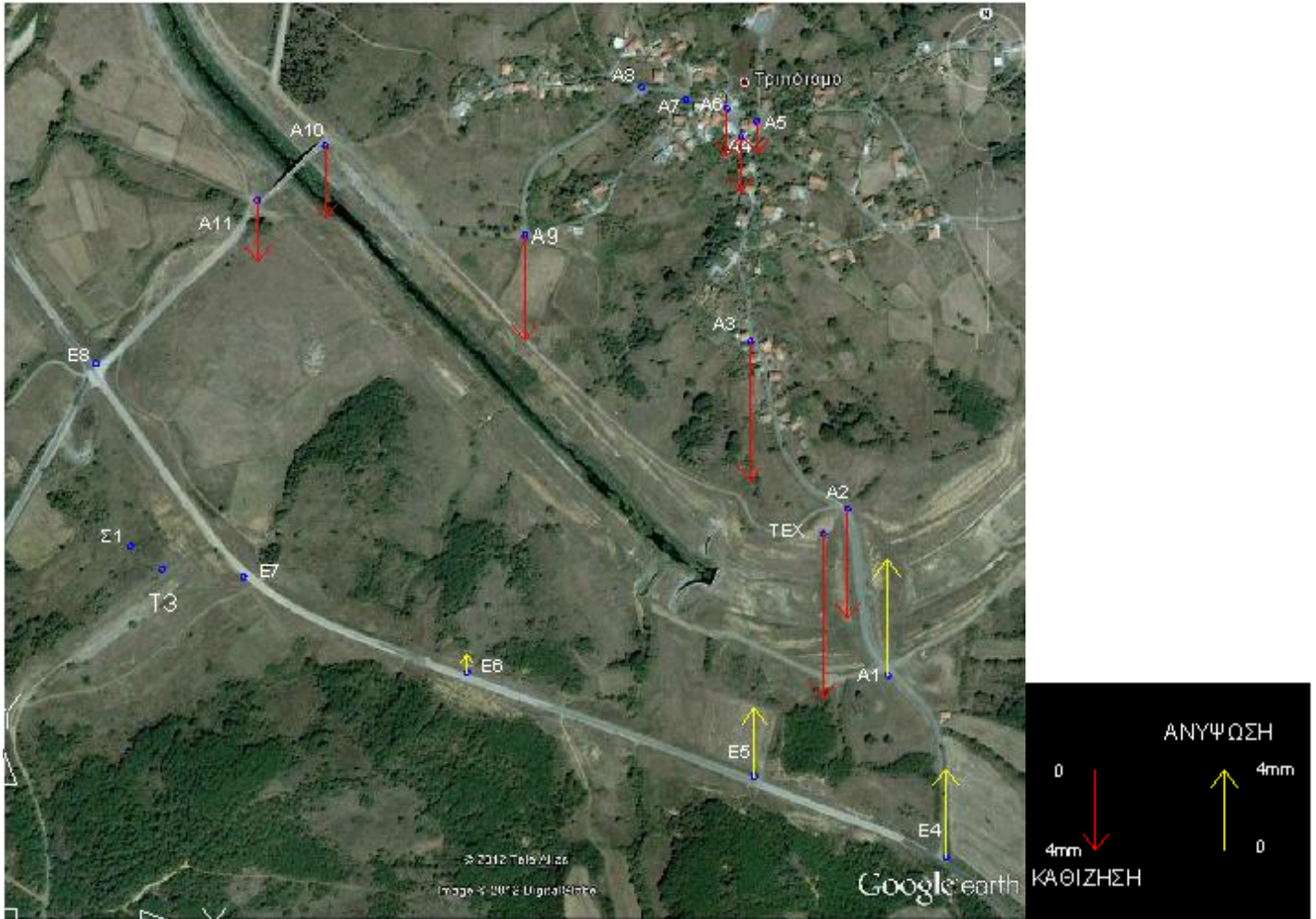
Στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά για κάθε σημείο το υψόμετρο  $\hat{H}_i$  και η αβεβαιότητά  $\sigma_{\hat{H}_i}$  το Μάιο και το Δεκέμβριο, το μέτρο του διανύσματος  $\delta\hat{H}_i^{MAI-\Delta EK}$  και η αβεβαιότητά του  $\sigma_{\delta\hat{H}_i^{MAI-\Delta EK}}$ , η ποσότητα  $S = \left| \sigma_{\delta\hat{H}_i^{MAI-\Delta EK}} \right| \cdot Z_{95\%}$  και γίνεται η σύγκριση για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει κατακόρυφη μετακίνηση. Αν η διαφορά  $\delta\hat{H}_i^{MAI-\Delta EK}$  είναι αρνητική τότε υπάρχει καθίζηση ενώ αν είναι θετική έχουμε ανύψωση.

Επίσης ακολουθεί και χάρτης στον οποίο απεικονίζονται οι κορυφές του δικτύου και οι διαφορές των τιμών των υψομέτρων τους όπου αυτές σημειώνονται.



ΚΟΡΥΦΗ	$\hat{H}_i^{MAI}$ (m)	$\sigma_{\hat{H}_i^{MAI}}$ (mm)	$\hat{H}_i^{\Delta EK}$ (m)	$\sigma_{\hat{H}_i^{\Delta EK}}$ (mm)	$\Delta \hat{H}_i^{MAI-\Delta EK}$ (mm)	$\sigma_{\Delta \hat{H}_i^{MAI-\Delta EK}}$ (mm)	s (mm)
T3	423,961	0	423,961	0	0	0,000	0
Σ1	422,484	0,089	422,484	0,066	0	0,111	0,22
E8	391,000	0,334	391,000	0,25	0	0,417	0,82
A11	379,148	0,489	379,145	0,366	-3,15	0,611	1,20
A10	380,282	0,527	380,278	0,394	-3,77	0,658	1,29
A9	386,430	0,602	386,425	0,452	-5,45	0,753	1,48
A8	405,645	0,641	405,644	0,483	-0,89	0,803	1,57
A7	408,494	0,645	408,493	0,486	-1,09	0,808	1,58
A6	409,632	0,652	409,630	0,491	-2,47	0,816	1,60
A5	408,739	0,658	408,737	0,494	-1,68	0,823	1,61
A4	408,945	0,654	408,942	0,496	-2,83	0,821	1,61
A3	413,734	0,665	413,727	0,504	-7,30	0,834	1,64
A2	407,018	0,66	407,012	0,5	-5,68	0,828	1,62
TEX	407,555	0,669	407,546	0,499	-8,56	0,835	1,64
A1	398,442	0,64	398,448	0,482	6,02	0,801	1,57
E4	394,753	0,601	394,758	0,452	4,59	0,752	1,47
E5	397,884	0,535	397,888	0,401	3,54	0,669	1,31
E6	401,498	0,371	401,499	0,278	0,914	0,464	0,909
E7	404,303	0,413	404,303	0,309	0,00	0,516	1,01

Πίνακας 5.10 Κατακόρυφες μετακινήσεις κορυφών δικτύου



**Χάρτης 5.1 Διαφορές των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου**

Μελετώντας τον πίνακα και το χάρτη παρατηρούμε ότι κάποιες κορυφές εντός του χωριού και συγκεκριμένα οι A6, A5, A4, A3 σημειώνουν καθίζηση κατά το εξάμηνο από το Μάιο έως το Δεκέμβριο του 2010. Καθίζηση επίσης σημειώνουν οι κορυφές A2, TEX που βρίσκονται στη νοτιοανατολική είσοδο του χωριού αλλά και η A9 που βρίσκεται στη δυτική είσοδο του χωριού. Τέλος όσο αφορά την καθίζηση τέτοια σημειώνεται από τις κορυφές A10, A11 που βρίσκονται ακριβώς πριν και μετά της γέφυρας αντίστοιχα που οδηγεί στον οικισμό από τα δυτικά.

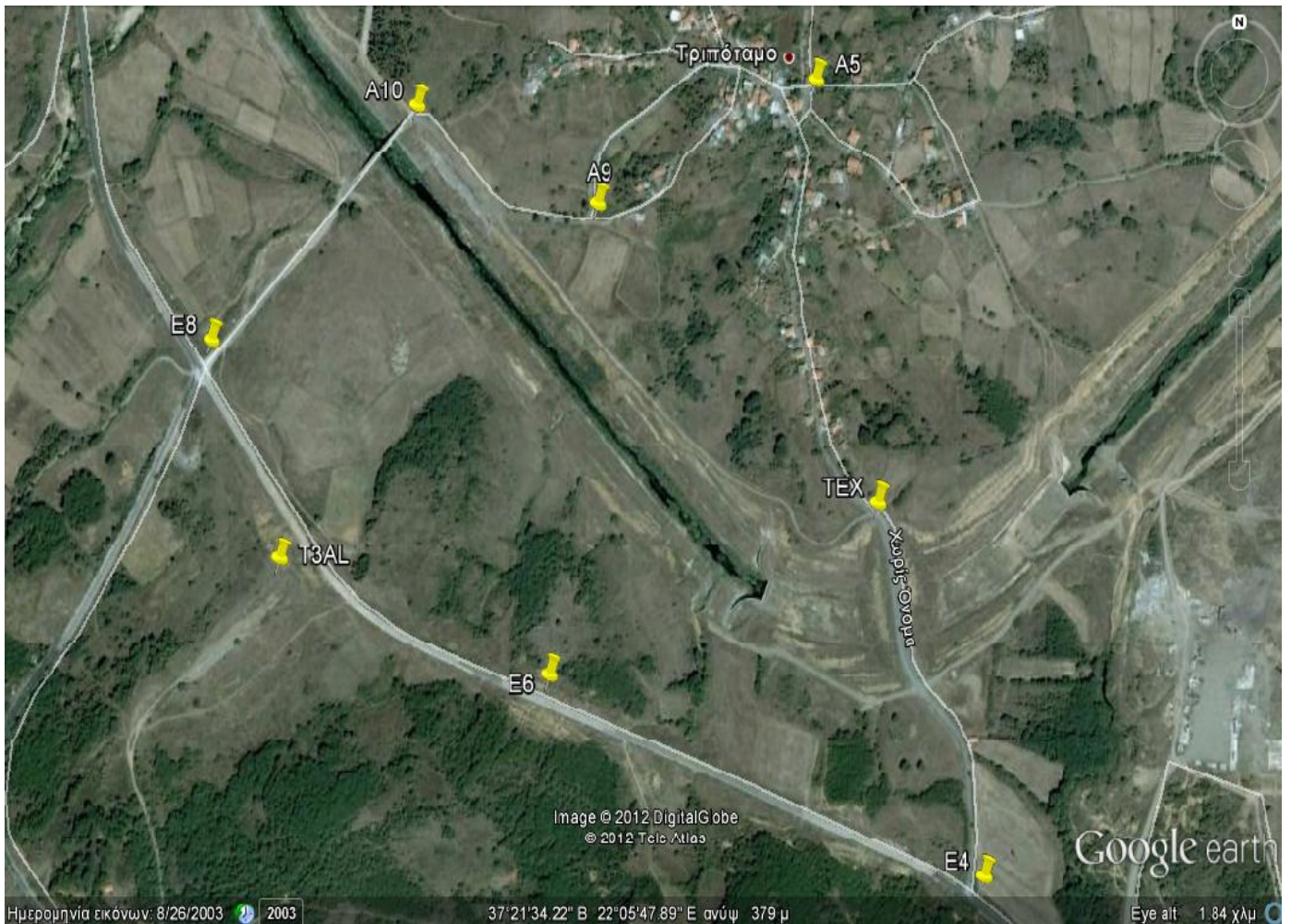
Αντίθετα, νοτιοανατολικά του δικτύου κατακορύφου ελέγχου, καθώς επίσης και του χωριού, στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή των ορυχείων σε σχέση με τον οικισμό οι κορυφές του δικτύου και συγκεκριμένα A1, E4, E5, E6 παρουσιάζουν ανύψωση. Οι υπόλοιπες κορυφές του δικτύου κατακορύφου

ελέγχου δεν παρουσίασαν διακύμανση στην τιμή των υψομέτρων τους για το διάστημα εμπιστοσύνης που εξετάζουμε.

### **5.3 Δημιουργία χάρτη των αποχών του γεωειδούς**

Οι μετρήσεις GPS μαζί με την γεωμετρική χωροστάθμηση και την τριγωνομετρική υψομετρία για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών και ορθομετρικών υψομέτρων, μπορούν να δώσουν μια εκτίμηση για τις αποχές του γεωειδούς στα συγκεκριμένα σημεία που έγιναν οι μετρήσεις. Αυτή η προσέγγιση είναι γνωστή ως μία γεωμετρική προσέγγιση για την μοντελοποίηση ενός τοπικού γεωειδούς. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι η γνώση του βαρυτικού πεδίου της περιοχής δεν είναι απαραίτητη. Από την άλλη, η ακρίβεια με την οποία μπορούν να προσδιοριστούν στην συνέχεια τα ορθομετρικά υψόμετρα κατευθείαν από παρατηρήσεις GPS, είναι συνάρτηση της ακρίβειας με την οποία προσδιορίστηκαν τα γεωμετρικά υψόμετρα στα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν για την μοντελοποίηση και την μέθοδο παρεμβολής για την δημιουργία του χάρτη των αποχών του γεωειδούς για την υπό μελέτη περιοχή. Στην πράξη, η γεωμετρική αυτή προσέγγιση εφαρμόζεται μετρώντας τα γεωμετρικά υψόμετρα σημείων που περιβάλλουν καθώς επίσης και σημεία που βρίσκονται μέσα στην περιοχή μελέτης, των οποίων είναι γνωστά τα ορθομετρικά τους υψόμετρα. Στην συνέχεια εφαρμόζοντας μια μέθοδο παρεμβολής υπολογίζονται τα ορθομετρικά υψόμετρα και άλλων σημείων που βρίσκονται εντός της περιοχής μελέτης.

Η επιλογή των σημείων στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, για την δημιουργία του χάρτη των αποχών του γεωειδούς έγινε βάσει των κοινών σημείων του υψομετρικού μας δικτύου που μετρήθηκαν και με GPS. Έτσι από τα 19 σημεία του δικτύου κατακορύφου ελέγχου τα 8 μετρήθηκαν και με GPS και το μοντέλο θα γίνει βάσει αυτών.



**Χάρτης 5.2 Επιλεγμένα σημεία για τη δημιουργία του μοντέλου τοπικού γεωειδούς**

Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζονται τα επιλεγμένα σημεία με τις τελικές τους συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ'87, το γεωμετρικό και ορθομετρικό τους υψόμετρο, την αποχή του γεωειδούς στο κάθε σημείο σύμφωνα με την σχέση  $N = h - H$ , που υπολογίστηκε από τις μετρήσεις, και αυτήν που υπολογίστηκε από την χρήση του EGM96 και την διαφορά των δύο αποχών.

ΣΗΜΕΙΟ	X	Y	H	h	Ντοπικό	N <sub>Egm96</sub>	Ντοπ- N <sub>EGM96</sub>
<b>T3<sub>AL</sub></b>	330878,045	4135981,682	423,961	453,137	29.176	29.055	0.121
<b>A9</b>	331293,174	4136358,346	386,425	415.662	29.237	29.105	0.132
<b>A10</b>	331058,626	4136473,581	380,278	409.510	29.232	29.092	0.14
<b>E8</b>	330785,939	4136220,862	391,000	420.224	29.224	29.059	0.165
<b>E6</b>	331219,944	4135847,287	401,499	429.386	27.887	29.075	-1.188
<b>E4</b>	331779,142	4135615,532	394,758	424.018	29.260	29.108	0.152
<b>A5</b>	331577,859	4136480,218	408,737	436.654	27.917	29.133	-1.216
<b>TEX</b>	331649,936	4136024,427	407,546	436.766	29.22	29.118	0.102

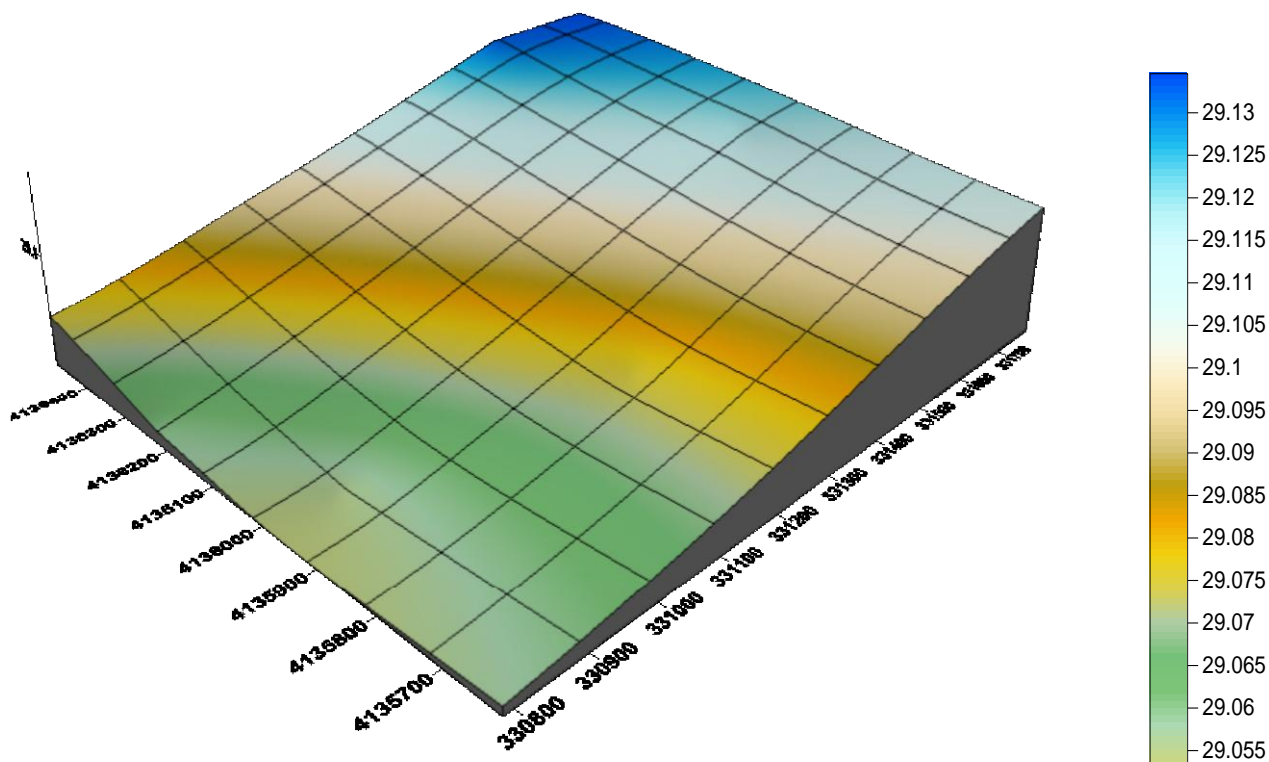
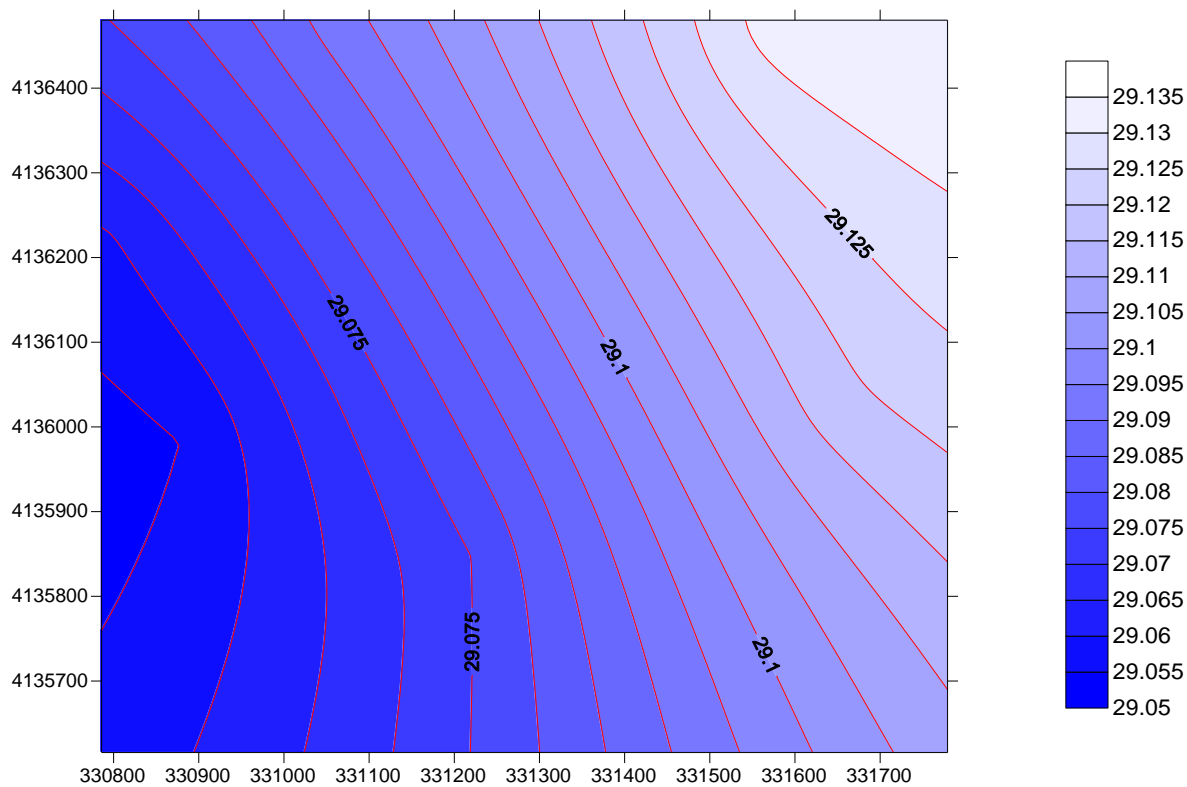
**Πίνακας 5.11 Συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ '87 – ορθομετρικά υψόμετρα – γεωμετρικά υψόμετρα – αποχές γεωειδούς**

Στην συνέχεια έγινε η εισαγωγή των σημείων στο λογισμικό Surfer 8 για την δημιουργία του χάρτη αποχών του γεωειδούς. Η παραγωγή του χάρτη έγινε με την μέθοδο παρεμβολής Krigging η οποία αναφέρεται στην παγκόσμια βιβλιογραφία ως η πιο κατάλληλη μέθοδος παρεμβολής για παραγωγή χαρτών που απεικονίζουν τις αποχές του γεωειδούς. Επίσης από την διπλωματική εργασία της Ταλαντίνη (2007) φάνηκε ότι η μέθοδος αυτή έδωσε τα ικανοποιητικότερα αποτελέσματα για την ευρύτερη περιοχή. Από τον χάρτη αυτό, μπορεί κάποιος να υπολογίσει το ορθομετρικό υψόμετρο οποιουδήποτε σημείου εντός της περιοχής του οποίου μετρήθηκε το γεωμετρικό του υψόμετρο, εφαρμόζοντας μια απλή γραμμική παρεμβολή.

Πιο κάτω παρατίθενται τα τρισδιάστατα μοντέλα της περιοχής που απεικονίζουν τις αποχές N του γεωειδούς όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις GPS, γεωμετρικής χωροστάθμησης και τριγωνομετρικής υψομετρίας, καθώς και από τις αποχές που υπολογίζονται με την χρησιμοποίηση του EGM'96 ως μοντέλου γεωειδούς στην αντίστοιχη περιοχή.



# ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΙΚΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΠΟΧΕΣ Ν ΤΟΥ EGM '96



Σχήμα 5.2 Τρισδιάστατο μοντέλο τοπικού γεωειδούς από EGM<sup>96</sup>

Συγκρίνοντας τα δύο μοντέλα γεωειδούς (σχήματα 5.1, 5.2), παρατηρείται ότι έχουν αρκετές ομοιότητες μεταξύ τους. Το μοντέλο που προκύπτει από τα δεδομένα του EGM'96 τείνει προς μία επίπεδη επιφάνεια το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω του ότι είναι ένα παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς με σαφώς μικρότερη διακριτική ικανότητα για την περιοχή μελέτης από ότι το μοντέλο που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας τις αποχές N της περιοχής που προέκυψαν από τις μετρήσεις.

Το τοπικό μοντέλο γεωειδούς (σχήμα 6.1) που προσδιορίστηκε, βρέθηκε να έχει διαφορά της τάξης του 1.216m από το παγκόσμιο μοντέλο EGM96 στην αντίστοιχη περιοχή, το οποίο και αναμενόταν, αφού το EGM96 συνοδεύεται από μία αβεβαιότητα στον προσδιορισμό των αποχών N της τάξης του 1.5m.



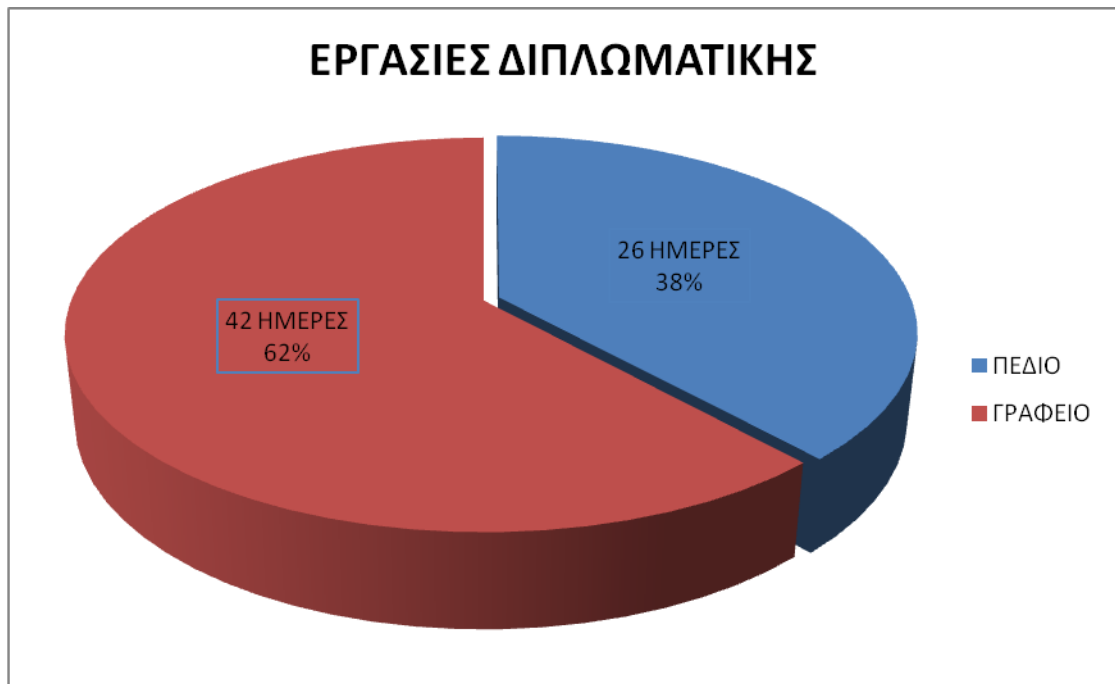
## **5.4 ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ**

### **5.4.1 Κατανομή εργασιών**

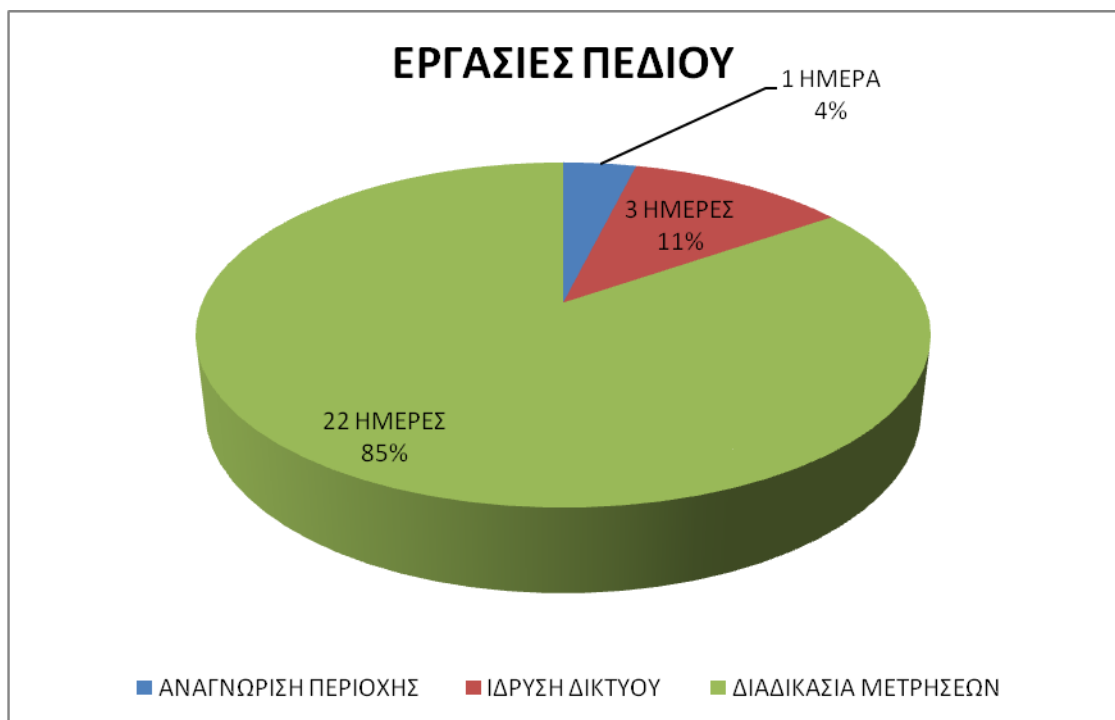
Αρχικά, πριν από την έναρξη των μετρήσεων, έγιναν κάποιες εργασίες, οι οποίες αφορούν στην αναγνώριση της περιοχής μελέτης, την εύρεση του Τριγωνομετρικού της Γ.Υ.Σ. «Ράχη», των παλιών υψομετρικών αφετηριών, την εγκατάσταση νέων υψομετρικών αφετηριών και έναν τελικό επανέλεγχο του όλου δικτύου. Η εν λόγω διαδικασία διήρκησε συνολικά 4 ημέρες (26/3 – 29/3).

Ακολούθησαν οι εργασίες πεδίου με τη διαδικασία μετρήσεων των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των κορυφών του δικτύου κατακορύφου ελέγχου, οι οποίες όπως έχουμε αναφέρει έγιναν σε διάστημα έξι μηνών, επειδή θέλαμε να έχουμε δύο φάσεις μετρήσεων. Συνολικά απαιτήθηκαν 22 ημέρες: 1/5 – 12/5 για την πρώτη φάση μετρήσεων και 10/12 – 19/12 για την δεύτερη. Οι μετρήσεις εκτελούνταν από τις 8 το πρωί μέχρι τις 5 περίπου το απόγευμα.

Η επεξεργασία των μετρήσεων διήρκησε 12 ημέρες. Συγκεκριμένα χρειάστηκαν 2 ημέρες μετά από κάθε φάση μετρήσεων για την μεταφορά όλων των μετρήσεων από το χαρτί, όπου καταγράφονταν χειρόγραφα στο ύπαιθρο, σε περιβάλλον Excel. Έπειτα απαιτήθηκαν 4 ημέρες για την επεξεργασία των μετρήσεων από υπολογιστικά φύλλα Excel σχεδιασμένα για μετρήσεις υψομετρικών διαφορών από Γεωμετρική Χωροστάθμηση και από Τριγωνομετρική Υψομετρία. Στην επεξεργασία των μετρήσεων τέλος προστίθενται άλλες 4 μέρες για την συνόρθωση του δικτύου με τη βοήθεια των λογισμικών «Επίλυση Beta» και «Geocalc». Για τις εργασίες γραφείου συνολικά απαιτήθηκαν περίπου 42 ημέρες, στη διάρκεια των οποίων πραγματοποιήθηκαν, εκτός από την επεξεργασία των μετρήσεων (12 μέρες), η σύγκριση των υψομέτρων και η ανίχνευση των επιφανειακών μετακινήσεων (2 μέρες) καθώς και η σύνταξη του τεύχους της διπλωματικής εργασίας (28 μέρες).

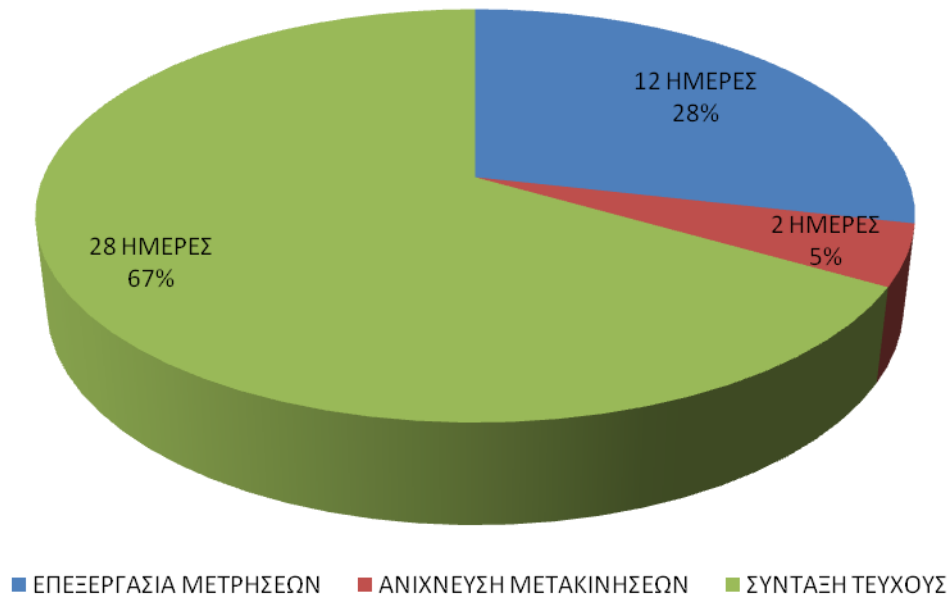


Γράφημα 5.1 Κατανομή εργασιών διπλωματικής



Γράφημα 5.2 Κατανομή εργασιών πεδίου

## ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΡΑΦΕΙΟΥ



Γράφημα 5.3 Κατανομή εργασιών Γραφείου

# 6

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 6.1 Συμπεράσματα

Από την επεξεργασία των μετρήσεων και πιο συγκεκριμένα, έπειτα από τη σύγκριση των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου κατακορύφου ελέγχου, στο χρονικό διάστημα Μάιο – Δεκέμβριο του 2010, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- Οι περισσότερες κορυφές του χωροσταθμικού δικτύου και συγκεκριμένα οι 9 από τις 19 σημειώνουν μείωση στην τιμή του υψομέτρου, ενώ μόλις 4 εμφανίζουν αύξηση. Σε 5 από τις 19 κορυφές δεν υπάρχει διαφορά στην τιμή του υψομέτρου.
- Την μεγαλύτερη μείωση υψομέτρου, πάνω από 8mm την σημειώνουν η A3, και το TEX. Η A2 που βρίσκεται στη νοτιοανατολική είσοδο του χωριού αλλά και η A9 που βρίσκεται στη δυτική είσοδο του χωριού εμφανίζουν υψομετρική μείωση 5-6 mm. Τα σημεία που βρίσκονται στο κέντρο του χωριού σημειώνουν μείωση από 1,5 mm έως 3 mm περίπου. Τέλος οι κορυφές εκατέρωθεν της γέφυρας έχουν υποστεί υψομετρική μείωση από 3 -4 mm.
- Την μεγαλύτερη αύξηση 6,02 mm εμφανίζει η A1, ακολουθεί η E4 με 4,59 mm, η E5 με 3,54 mm και τέλος η κορυφή E6 με τη μικρότερη αύξηση, λιγότερη από χιλιοστό (0,91 mm).

Όλες οι κορυφές που σημειώνουν υψομετρική μείωση βρίσκονται στη βόρεια πλευρά του ποταμού Αλφειού με εξαίρεση την A11 η οποία όμως βρίσκεται στην άκρη της γέφυρας του ποταμού στη νότια πλευρά του και σαφώς επηρεάζεται καθώς εδράζεται σε επιχωματώσεις. Ενώ όλες οι κορυφές που

σημειώνουν υψομετρική αύξηση βρίσκονται στη νότια πλευρά του ποταμού. Παρατηρώντας τη διάταξη των κορυφών A2 και A1 αλλά και των υπόλοιπων κορυφών που σημειώνουν υψομετρική μείωση σε σχέση με αυτές που σημειώνουν ανύψωση συμπεραίνουμε ότι η αλλαγή από καθίζηση σε ανύψωση μπορεί να οφείλεται στο ότι χωρίζονται από το ποτάμι με αποτέλεσμα να έχουν διαφορετική συμπεριφορά με το πέρασμα του χρόνου.

- Στο παραπάνω συμπέρασμα μπορούμε να συνυπολογίσουμε και την επίδραση του δικτύου από το ορυχείο της Δ.Ε.Η. που βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση, λιγότερο από 500 μέτρα, βορειοδυτικά του οικισμού.
- Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι το νοτιοδυτικό τμήμα του χωροσταθμικού μας δικτύου που περιλαμβάνει τις κορυφές E7, T3, Σ1 και E8 δεν παρουσίασε κάποια κινητικότητα για το επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

## 6.2 Προτάσεις

Έπειτα από την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας και την εξαγωγή των συμπερασμάτων, ακολουθούν οι προτάσεις, οι οποίες σχετίζονται με θέματα μελλοντικών μελετών.

- Εξαιτίας του γεωλογικού και γεωτεχνικού υποβάθρου της περιοχής μελέτης, προτείνεται η επαναμέτρηση του δικτύου κατακορύφου ελέγχου σε τακτά χρονικά διαστήματα, προκειμένου να παρακολουθείται η ταχύτητα εξέλιξης των επιφανειακών μετακινήσεων (καθιζήσεις – ανυψώσεις) στο πέρασμα του χρόνου. Μέσα από τη διαχρονική σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφόρων χρονικών φάσεων μετρήσεων, εξάγονται συμπεράσματα τόσο για την κινηματική συμπεριφορά όσο και για την απόκριση του εδάφους κάτω από τις γεωτεχνικές επιδράσεις, όπως είναι τα στατικά φορτία και τα δυναμικά φορτία, την επίδραση των επιχωματώσεων που έχουν γίνει λόγω των έργων διευθέτησης του ποταμού Αλφειού καθώς, και των εργασιών εξόρυξη λιγνίτη από τη Δ.Ε.Η. αφού γίνονται εκσκαφές πολλών δεκάδων αλλά και εκατοντάδων μέτρων σε βάθος σε πολύ κοντινή απόσταση από το δίκτυο κατακορύφου ελέγχου που ιδρύσαμε στην περιοχή.
- Πριν την επαναμέτρηση του δικτύου καλό θα ήταν να ελεγχθεί η σταθερότητα της κορυφής T3 που λαμβάνουμε ως σταθερή κορυφή στο χωροσταθμικό δίκτυο. Αυτός ο έλεγχος θα γίνει έμμεσα από τον έλεγχο της υψομετρικής αφετηρίας της Γ.Υ.Σ. από την οποία αποδίδουμε υψόμετρο στην σταθερή μας κορυφή T3.
- Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη σύσταση του εδάφους θεμελίωσης, το μέτρο των επιφανειακών μετακινήσεων και τη διαχρονική τους εξέλιξη, προτείνεται πριν από τη θεμελίωση οποιασδήποτε κατασκευής, να γίνεται γεωλογική διερεύνηση καθώς, και λεπτομερής έλεγχος του

τρόπου θεμελίωσης των κατασκευών αυτών στην περιοχή μελέτης. Επίσης, το ύψος των κατασκευών αυτών προτείνεται να διατηρείται χαμηλό ώστε να αποφεύγονται προβλήματα, τα οποία οφείλονται στην απόκλιση από την κατακόρυφο εξαιτίας σημαντικών διαφορικών καθιζήσεων.

Αρκετά σημαντικό θα ήταν η διαχρονική μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς των σπιτιών του οικισμού του Τριποτάμου καθώς επίσης και των τεχνικών έργων που έχουν γίνει στην περιοχή όπως η γέφυρα που συνδέει το Τριπόταμο με τη γύρω περιοχή (κορυφές A11, A10) αλλά και τα έργα διευθέτησης του ποταμού Αλφειού. Η παρακολούθηση αυτών θα συνέβαλλε στην εξαγωγή κι άλλων χρήσιμων συμπερασμάτων για τις μικρομετακινήσεις στην περιοχή.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΑΡΑΜΠΑΤΖΗ Ο., ΓΚΟΥΓΚΟΥΤΟΥΔΗΣ Ι., ΤΕΛΕΙΩΝΗ Ε., (1991), Έλεγχοι και Ρυθμίσεις Οργάνων για Γεωμετρικές Χωροσταθμίσεις Ακριβείας, Τόμ. 11, Τεύχος 3, ΑΘΗΝΑ
2. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ., Μητσακάκη Χ., Μπιλλήρης Χ., Σταθάς Δ., Τσακίρη Μ., (2006), Εισαγωγή στη Γεωδαισία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
3. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ. (2005), Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
4. Αναγνωστόπουλος Α.<sup>3</sup>. (1986), Αρχές Υπολογισμού των Καθιζήσεων, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
5. Ανδρίτσανος Β.Δ, Κ. Κατσάμπαλος, Κεχαΐδου και Η. Τζιαβός, (1999). Βελτιστοποίηση Τοπικού γεωειδούς με δεδομένα βαρύτητας, τοπογραφίας, πυκνότητας και GPS, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 1-2.
6. Λάμπρου Ε. Γ. Πανταζής (2000). Ειδικά θέματα Γεωδαισίας Ε.Μ.Π., Αθήνα
7. Μπαλοδήμος Δ., Ο. Αραπατζή (2004). Υψομετρία Ε.Μ.Π., Αθήνα
8. Αναγνωστόπουλος Α., (1985), ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΟ, ΑΘΗΝΑ
9. Γεωργόπουλος Γ., Δογγούρης Σ., Λάμπρου Ε., Μπαλοδήμος Δ., Πανταζής Γ., (2005), Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ
10. ΚΑΡΑΜΟΛΕΓΚΟΥ Ε., (2009), εξέλιξη κατακόρυφων μετακινήσεων στις περιοχές Νέο Φάληρο – Μοσχάτο – Καλλιθέα, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
11. Καψάσκης Δ., (2012). Εγκατάσταση δικτύου ελέγχου μετακινήσεων με δορυφορικές μεθόδους - Εφαρμογή στον οικισμό Τριπόταμο των ορυχείων Μεγαλόπολης, Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
12. Ταλαντίνη Μ (2007), Προσδιορισμός τοπικού μοντέλου γεωειδούς με δεδομένα GPS και Υψομετρίας, Διπλωματική εργασία, Τομέας Τοπογραφίας, Ε.Μ.Π, Αθήνα, Οκτώβριος



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΟΔΕΥΣΕΙΣ

### R158 ΠΡΟΣ T3

ALLER	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		Ο-Ε	σφάλμα		ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τε
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ		ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ				
<b>1=R158</b>	2,18710		5,890			0,0					
2=M1	1,34657	1,70500	11,960	5,650	0,482	0,1	0,0	0,48210	0,4820		
3=M2	0,26733	1,91160	27,790	11,370	-0,565	0,1	0,0	-0,56503	-0,5651		
4	0,55070	2,86327	32,610	26,307	-2,596	0,0	0,1				
5	0,25553	2,73680	42,473	34,090	-2,186	0,1	0,0				
<b>6=M3</b>	0,93510	2,86903	43,953	37,470	-2,614	0,0	0,1	-7,3955	-7,3960		
7	0,77580	2,78577	22,850	44,203	-1,851	0,0	0,1				
<b>8=T3</b>		0,63190		21,610	0,144		0,0	-1,707	-1,7069		
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	6,31813	15,50337	ΣDaller=	368,226				ΔΗ μετρημένη	-9,18597		
	<b>ΔΗ =</b>	-9,18524									

### T3 ΠΡΟΣ R158

RETOUR	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		Ο-Ε	σφάλμα		ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τε
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ		ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ				
<b>9=T3</b>	0,72247		24,400			0,1		1,707			
10	2,69920	0,86630	44,047	20,140	-0,144	0,0	0,0				
<b>11=M3</b>	2,83520	0,84830	41,613	43,893	1,851	0,0	0,0	7,3964			
12	2,78120	0,40477	31,170	47,703	2,430	0,0	0,1				
13	3,14690	0,72480	30,790	25,190	2,056	0,0	0,0				
14=M2	1,89880	0,23730	11,673	32,050	2,910	0,0	0,0	0,565			
15=M1	1,64080	1,33370	5,100	11,640	0,565	0,0	0,0	-0,482			
<b>16=R158</b>		2,12270		5,320	-0,482	0,0	0,0				
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	15,72457	6,53787	ΣDretour=	374,729							
	<b>ΔΗ =</b>	9,18670	ΣD=	742,955							
				-0,00146							

**Ε1 ΠΡΟΣ Ε8**

ALLER ΣΗΜΕΙΟ	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		σφάλμα		Ο-Ε	ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τελ
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ					
<b>5 (Ε1)</b>	<b>0,33957</b>										
6	0,27457	2,48820					-2,149				
7	0,55953	2,33273					-2,058				
8	0,58140	2,01610					-1,457				
9	1,12927	2,12033					-1,539				
<b>10 (Ε3)</b>	<b>0,83790</b>	<b>1,81450</b>					-0,685	<b>-7,88752</b>	<b>-7,88931</b>		
11	0,83517	1,89450					-1,057				
12	1,62443	2,02093					-1,186				
13	1,90370	0,80303					0,821				
<b>14 (Ε4)</b>	<b>2,61643</b>	<b>0,45580</b>					1,448	<b>0,02694</b>	<b>0,02664</b>		
15	3,11250	0,26190					2,355				
16	2,37513	0,17710					2,935				
17	0,15797	1,67347					0,702				
<b>18 (Ε5)</b>	<b>0,26003</b>	<b>3,01907</b>					-2,861	<b>3,13049</b>	<b>3,12953</b>		
19	1,14250	2,48497					-2,225				
20	2,68250	1,13833					0,004				
21	3,70597	0,21130					2,471				
<b>22 (Ε6)</b>	<b>2,29743</b>	<b>0,34417</b>	<b>37,463</b>				3,362	<b>3,61223</b>	<b>3,61150</b>		
10	1,75180	1,20010	37,467	36,263			1,097				
11	1,55503	1,07963	36,983	37,983			0,672				
12	1,83020	0,93670	33,453	37,397			0,618				
<b>13=Ε7</b>	<b>1,07463</b>	<b>1,41490</b>	<b>32,467</b>	<b>38,360</b>			0,415	<b>2,80313</b>	<b>2,80175</b>		
14	0,31280	2,22183	32,203	35,990			-1,147				
15	0,34760	2,92857	22,847	31,867			-2,616				
16	0,20460	3,06520	23,877	27,700			-2,718				
17	0,61270	2,98573	16,820	26,030			-2,781				
18	0,26550	2,40920	18,790	18,130			-1,797				
<b>19=Ε8</b>		<b>2,51200</b>		<b>17,483</b>			-2,247	<b>-13,30470</b>	<b>-13,30552</b>		
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	34,391	46,010	ΣDaller=	599,573							
	<b>ΔΗ =</b>	-11,619									

**Ε8 ΠΡΟΣ Ε1**

RETOUR	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		σφάλμα		Ο-Ε	ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τελ
	ΣΗΜΕΙΟ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ					
E8	3,17567		26,163								
1	3,19920	0,31160	29,343	21,013			2,864				
2	2,82527	0,05267	23,100	26,247			3,147				
3	2,80880	0,10860	28,830	27,473			2,717				
4	2,45673	0,15563	37,733	27,460			2,653				
5=E7	1,39240	0,53083	37,463	55,480			1,926	13,30634			
6	1,00413	1,83500	35,373	36,920			-0,443				
7	1,14613	1,70273	33,260	37,140			-0,699				
8	1,17417	1,65650	34,433	37,247			-0,510				
9=E6	0,20880	2,32297		43,327			-1,149	-2,80037			
23	0,28510	2,91567					-2,707				
24	0,50327	2,45393					-2,169				
25	1,67410	1,81393					-1,311				
26	2,28093	0,86323					0,811				
27 (E5)	2,69067	0,51620					1,765	-3,61076			
28	2,03547	0,40037					2,290				
29	0,48753	1,32830					0,707				
30	0,05553	3,43463					-2,947				
31 (E4)	0,41850	3,23447					-3,179	-3,12857			
32	0,97610	2,14410					-1,726				
33	1,94193	1,17400					-0,198				
34	1,78030	0,85087					1,091				
35 (E3)	2,03080	0,97420					0,806	-0,02634			
36	1,92150	0,60500					1,426				
37	2,22107	0,59030					1,331				
38	2,31530	0,47573					1,745				
39	2,00863	0,38870					1,927				
40 (E1)		0,54647					1,462	7,89110			
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	45,018	33,387	ΣDretour=	598,005							
	<b>ΔΗ =</b>	11,631	<b>ΣD=</b>	1197,578							

E4 ΠΡΟΣ A5 (ΜΑΙΟΣ)

ALLER ΣΗΜΕΙΟ	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		Ο-Ε	σφάλμα		ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τελικέ
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ		ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ				
<b>1=E4</b>	1,55590		15,497			0,0					
2	1,90960	1,67657	25,447	21,117	-0,121	0,0	0,1				
3	1,69683	1,31530	26,630	27,017	0,594	0,1	0,0				
4	1,97413	0,98037	18,510	29,820	0,716	0,1	0,1				
5	2,14297	0,70920	22,417	26,980	1,265	0,1	0,0				
<b>6=A1</b>	2,33190	0,90840	27,060	22,027	1,235	0,0	0,0	3,690	3,690		
7	2,35557	0,51607	24,527	25,977	1,816	0,1	0,1				
8	2,31777	0,45170	22,020	25,690	1,904	0,1	0,0				
9	2,25097	0,34833	19,060	25,513	1,969	0,1	0,1				
10	2,22907	0,55743	13,700	18,783	1,694	0,1	0,1				
<b>11=A2</b>	2,37180	1,05380	23,410	12,857	1,175	0,0	0,0	8,558	8,557		
12	2,60587	0,34760	18,773	20,270	2,024	0,1	0,0				
13	2,52960	0,70540	19,660	16,530	1,900	0,0	0,0				
14	2,29603	0,24520	21,973	21,450	2,284	0,1	0,0				
<b>15=A3</b>	1,58813	1,54593	31,700	25,287	0,750	0,1	0,1	6,959	6,958		
16	0,44277	1,82090	19,147	27,510	-0,233	0,1	0,0				
17	1,18017	2,36797	20,927	22,710	-1,925	0,1	0,1				
18	0,93270	2,18460	21,520	21,423	-1,004	0,0	0,0				
19	1,07737	2,16050	26,060	26,550	-1,228	0,1	0,0				
20	1,27870	2,17980	28,553	32,600	-1,102	0,0	0,0				
<b>21=A4</b>	1,34020	0,81537	18,960	22,080	0,463	0,0	0,1	-5,029	-5,028		
<b>22=A5</b>		1,54560		10,920	-0,205		0,0	-0,205	-0,206		
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	38,40805	24,43604	ΣDaller=	948,662				ΔΗ μετρημένη	13,97147		
	<b>ΔΗ =</b>	13,97201		0,00108							

A4 ΠΡΟΣ A6

ALLER ΣΗΜΕΙΟ	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		Ο-Ε	σφάλμα		ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τ
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ		ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ				
<b>A4</b>	1,73863		20,803			0,0					
A6		1,05090		17,420	0,688		0,0	0,68773	0,68768		
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	1,73863	1,05090	ΣDaller=	38,223							
	<b>ΔΗ =</b>	0,68773									

ALLER - RETOUR

A2 - TEX

ΣΗΜΕΙΟ	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		Ο-Ε	σφάλμα		ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τε
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ		ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ				
<b>A2</b>	1,69730		9,860			0,0					
TEX	1,16007	1,16037	12,863	12,070	0,537	0,0	0,0	0,53693	0,53688		
A2		1,69690		8,910	-0,537		0,0	-0,53683			
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	2,85737	2,85727	ΣDaller=	43,703							
	<b>ΔΗ =</b>	0,0001									

Α5 ΠΡΟΣ Ε4 (ΜΑΙΟΣ)

RETOUR ΣΗΜΕΙΟ	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		Ο-Ε	σφάλμα		ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τε
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ		ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ				
<b>23=A5</b>	1,57380		13,600			0,0					
<b>24=A4</b>	0,76180	1,36810	24,233	16,683	0,206	0,0	0,0	0,206			
25	2,05373	1,35080	26,163	23,660	-0,589	0,1	0,0				
26	2,01370	0,91700	26,903	26,733	1,137	0,0	0,0				
27	2,18743	0,72117	25,207	27,623	1,293	0,1	0,1				
28	2,32833	1,04073	19,490	23,597	1,147	0,1	0,1				
29	1,85093	0,51907	28,790	17,560	1,809	0,1	0,1				
<b>30=A3</b>	1,53820	1,62013	28,790	29,243	0,231	0,0	0,1	5,027			
31	0,49520	2,67990	17,253	26,977	-1,142	0,0	0,0				
32	0,75247	2,51470	16,040	18,910	-2,020	0,1	0,0				
33	0,32930	2,59037	21,310	17,383	-1,838	0,0	0,1				
<b>34=A2</b>	0,68560	2,28707	18,370	21,390	-1,958	0,0	0,1	-6,957			
35	0,72893	2,40093	17,300	18,620	-1,715	0,1	0,1				
36	0,82647	2,20290	15,497	16,620	-1,474	0,1	0,0				
37	0,87060	2,14377	16,210	16,253	-1,317	0,0	0,1				
38	0,91080	2,19617	16,230	19,290	-1,326	0,0	0,1				
39	0,78737	2,04223	21,427	16,650	-1,131	0,1	0,1				
<b>40=A1</b>	0,85540	2,38073	23,200	23,540	-1,593	0,0	0,1	-8,557			
41	0,69947	2,25917	26,410	27,370	-1,404	0,1	0,1				
42	1,10390	2,05733	32,877	27,990	-1,358	0,0	0,1				
43	1,18347	1,63153	23,390	29,663	-0,528	0,1	0,1				
44	1,96270	1,73603	13,033	21,000	-0,553	0,0	0,1				
<b>45=E4</b>		1,81070		11,633	0,152		0,0	-3,690			
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	26,4996	40,47053	ΣDretour=	950,111							
	<b>ΔΗ =</b>	-13,97093	ΣD=	1898,773							

Α6 ΠΡΟΣ Α4

RETOUR ΣΗΜΕΙΟ	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		Ο-Ε	σφάλμα		ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ		ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ			
A6	1,03720		19,270			0,0				
A4		1,72483		19,050	-0,688		0,0	-0,68763		
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	1,0372	1,72483	ΣDaller=	38,320						
	<b>ΔΗ =</b>	-0,68763								

Ε4 ΠΡΟΣ Α5 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

ALLER ΣΗΜΕΙΟ	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		Ο-Ε	σφάλμα		ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τε
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ		ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ				
<b>24=Ε4</b>	1,31840		18,200			0,0					
25	1,72033	1,35180	27,570	19,880	-0,033	0,1	0,0				
26	1,54300	1,11077	23,350	31,237	0,610	0,0	0,1				
27	1,99510	0,92367	24,120	24,580	0,619	0,0	0,1				
28	1,89090	0,60090	17,950	25,037	1,394	0,0	0,0				
<b>29=Α1</b>	2,30300	0,79090	25,220	21,807	1,100	0,0	0,0	3,6897	3,6896		
30	2,26153	0,56443	25,760	26,947	1,739	0,1	0,1				
31	2,70177	0,30580	33,997	26,197	1,956	0,1	0,0				
32	2,34953	0,38070	23,693	20,993	2,321	0,1	0,0				
33	1,90210	0,27983	14,530	20,367	2,070	0,0	0,1				
<b>34=ΤΕΧ</b>	0,88933	0,88930	11,397	11,390	1,013	0,1	0,0	9,0979	9,0977		
<b>35=Α2</b>	2,22060	1,42237	23,043	7,670	-0,533	0,0	0,1	-0,5330	-0,5332		
36	2,71433	0,27970	22,793	19,510	1,941	0,1	0,0				
37	2,64830	0,26453	22,767	22,700	2,450	0,0	0,1				
38	1,40170	0,17520	27,307	23,620	2,473	0,0	0,0				
39	1,46987	1,21217	18,563	23,310	0,190	0,1	0,1				
<b>40=Α3</b>	0,24843	1,80707	21,310	22,720	-0,337	0,1	0,1	6,7161	6,715		
41	1,00703	2,23420	25,777	22,937	-1,986	0,1	0,0				
42	0,67383	2,28900	25,190	24,650	-1,282	0,1	0,0				
43	0,75480	1,67960	24,720	24,320	-1,006	0,0	0,0				
44	1,34700	1,96810	22,210	27,793	-1,213	0,0	0,0				
<b>45=Α4</b>	1,31960	0,64580	16,220	21,270	0,701	0,0	0,0	-4,786	-4,786		
<b>46=Α5</b>		1,52490		14,857	-0,205		0,0	-0,205	-0,205		
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	36,680	22,701	ΣDaller=	948,402				ΔΗ μετρημένη	14,51059		
	<b>ΔΗ =</b>	13,980		0,00464							

A5 ΠΡΟΣ Ε4 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

RETOUR	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		Ο-Ε	σφάλμα		ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τε
	ΣΗΜΕΙΟ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ		ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ				
1=A5	1,55640		14,873			0,0					
2=A4	0,69310	1,35100	25,203	15,993	0,205	0,0	0,0	0,205			
3	2,00377	1,09360	26,130	30,213	-0,401	0,1	0,0				
4	2,18990	0,93360	26,277	31,410	1,070	0,0	0,0				
5	1,72623	0,47620	22,277	31,657	1,714	0,1	0,0				
6	1,95920	0,77730	11,923	21,120	0,949	0,0	0,0				
7=A3	1,78060	0,50440	24,840	16,410	1,455	0,0	0,0	4,787			
8	1,40360	1,50690	24,007	25,600	0,274	0,0	0,0				
9	0,17880	1,83990	21,917	25,023	-0,436	0,0	0,0				
10	0,28150	2,60330	23,430	21,660	-2,425	0,0	0,0				
11	0,38220	2,48460	17,937	17,850	-2,203	0,0	0,0				
12=A2	1,33090	2,30603	10,467	24,280	-1,924	0,0	0,1	-6,714			
13=TEX	0,79770	0,79760	8,747	8,750	0,533	0,0	0,0	0,5333			
14	0,13410	1,91930	23,880	17,847	-1,122	0,0	0,0				
15	0,16180	2,25670	26,840	22,050	-2,123	0,0	0,0				
16	0,40950	2,31630	25,400	24,670	-2,155	0,0	0,0				
17	0,58710	2,18893	23,730	23,903	-1,779	0,0	0,1				
18=A1	0,52183	2,50640	29,013	31,637	-1,919	0,1	0,0	-9,0974			
19	0,56547	2,08570	28,480	27,780	-1,564	0,1	0,0				
20	1,06180	1,91787	26,030	29,560	-1,352	0,0	0,1				
21	0,80503	1,45790	31,450	30,510	-0,396	0,1	0,0				
22	1,43870	1,03520	8,500	17,513	-0,230	0,0	0,0				
23=E4		1,58560		7,550	-0,147		0,0	-3,6894			
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	21,96923	35,944	ΣDretour=	984,337							
	<b>ΔΗ =</b>	-13,975	ΣD=	1932,739							



**Ε8 ΠΡΟΣ Α5 ΜΑΙΟΣ**

ALLER ΣΗΜΕΙΟ	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		σφάλμα		Ο-Ε	ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τελ
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ					
<b>E8</b>	1,13137		11,443		0,1						
1	0,48990	1,80720	9,547	7,160	0,0	0,0	-0,676				
2	0,40583	2,57330	18,420	11,677	0,1	0,0	-2,083				
3	0,41853	2,18680	22,360	15,657	0,1	0,0	-1,781				
4	0,39110	2,30397	23,160	21,023	0,0	0,1	-1,885				
5	0,61680	2,50670	21,140	25,780	0,0	0,0	-2,116				
6	0,48850	2,56260	30,120	32,830	0,0	0,0	-1,946				
<b>7=A11</b>	1,88703	1,85547	46,763	32,093	0,1	0,1	-1,367	-11,854	-11,854		
8	1,34073	0,92750	13,670	29,040	0,1	0,0	0,960				
<b>9=A10</b>	2,26940	1,16670	19,233	12,390	0,0	0,0	0,174	1,134	1,133		
10	2,47940	0,52433	21,950	21,903	0,0	0,1	1,745				
11	1,49513	0,63270	27,480	25,973	0,1	0,0	1,847				
12	1,47540	2,28703	30,590	30,353	0,1	0,1	-0,792				
13	2,46683	0,62340	34,632	30,690	0,1	0,0	0,852				
14	1,76320	0,67510	5,080	22,410	0,0	0,0	1,792				
<b>15=A9</b>	2,37360	1,06007	20,200	6,713	0,0	0,0	0,703	6,147	6,147		
16	2,28857	0,41020	13,520	17,063	0,1	0,0	1,963				
17	2,24187	0,52360	9,353	11,603	0,1	0,0	1,765				
18	2,67077	0,52080	11,207	9,220	0,1	0,0	1,721				
19	2,19137	0,42270	9,020	10,230	0,1	0,0	2,248				
20	2,37163	0,61550	15,140	11,927	0,1	0,1	1,576				
21	2,68970	0,39860	16,640	17,280	0,0	0,0	1,973				
22	2,83950	0,18630	12,990	14,380	0,0	0,0	2,503				
23	2,33700	0,57260	8,810	9,270	0,0	0,0	2,267				
24	2,27017	0,58900	3,693	8,680	0,1	0,0	1,748				
<b>25=A8</b>	2,90870	0,82260	15,160	6,670	0,1	0,0	1,448	19,212	19,213		
<b>26=A7</b>	2,94520	0,06000	25,667	18,050	0,0	0,0	2,849	2,849	2,849		
<b>27=A6</b>	0,93143	1,80730	20,620	38,080	0,1	0,0	1,138	1,138	1,138		
<b>28=A5</b>		1,82503		19,627		0,1	-0,894	-0,894	-0,894		
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	50,17866	32,44710	ΣDaller=	1035,380							
	<b>ΔΗ =</b>	17,73156		-0,00128							

**A5 ΠΡΟΣ Ε8 ΜΑΙΟΣ**

RETOUR	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		σφάλμα		Ο-Ε	ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τελ
	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ					
<b>29=A5</b>	1,93613		21,977		0,1			0,894			
<b>30=A6</b>	1,43150	1,04257	45,553	18,230	0,1	0,1	0,894	-1,138			
<b>31=A7</b>	0,09290	2,56920	16,547	18,003	0,0	0,0	-1,138	-2,849			
<b>32=A8</b>	0,58420	2,94170	8,517	16,300	0,0	0,0	-2,849	-19,213			
33	0,40710	2,49303	10,630	8,917	0,0	0,1	-1,909				
34	0,40460	2,42920	10,220	9,490	0,0	0,0	-2,022				
35	0,40200	2,53077	12,430	11,010	0,0	0,1	-2,126				
36	0,49130	2,57400	15,730	16,500	0,0	0,0	-2,172				
37	0,67607	2,51167	10,573	16,940	0,1	0,1	-2,020				
38	0,41797	2,44757	10,270	11,110	0,1	0,1	-1,772				
39	0,46730	2,55077	10,927	9,510	0,0	0,1	-2,133				
40	0,51450	2,41510	13,680	11,087	0,0	0,0	-1,948				
41	0,78040	2,25000	10,420	15,900	0,0	0,0	-1,736				
<b>42=A9</b>	0,51340	2,15660	16,810	14,943	0,0	0,0	-1,376	-6,147			
43	0,82087	2,25670	28,550	19,890	0,1	0,0	-1,743				
44	1,06087	2,22667	26,110	26,493	0,1	0,1	-1,406				
45	2,14400	0,99300	25,973	25,577	0,0	0,0	0,068				
46	0,43917	2,00753	22,520	35,077	0,1	0,1	0,136				
47	0,70400	2,21210	17,093	17,730	0,0	0,0	-1,773				
<b>48=A10</b>	1,13030	2,13297	21,130	16,690	0,0	0,1	-1,429	-1,133			
49	0,94590	1,54720	28,517	27,180	0,0	0,0	-0,417				
<b>50=A11</b>	1,93690	1,66240	31,710	24,580	0,0	0,0	-0,717	11,853			
51	2,27733	0,66340	23,337	29,067	0,1	0,1	1,274				
52	2,58717	0,42690	27,347	26,940	0,1	0,0	1,850				
53	2,65173	0,18400	27,617	26,490	0,1	0,0	2,403				
54	2,33520	0,38320	17,147	23,850	0,0	0,0	2,269				
55	2,26287	0,57157	9,920	12,810	0,1	0,1	1,764				
56	2,07100	0,63850	7,647	7,090	0,0	0,0	1,624				
<b>57=E8</b>		1,40120		6,663		0,0	0,670				
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	32,48668	50,21952	ΣDretour=	1032,969							
	<b>ΔΗ =</b>	-17,73284	ΣD=	2068,349							

**Ε8 ΠΡΟΣ Α5 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ**

ALLER	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		σφάλμα		Ο-Ε	ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τελ
	ΣΗΜΕΙΟ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ					
<b>1=E8</b>	0,97170		11,030		0,0						
2	0,30740	2,43107	14,087	8,960	0,0	0,1	-1,459				
3	0,03790	2,36180	29,370	15,130	0,0	0,0	-2,054				
4	0,12280	2,44940	27,697	23,930	0,0	0,0	-2,412				
5	0,39790	2,60270	27,980	26,343	0,0	0,0	-2,480				
6	0,66050	2,57450	27,830	30,597	0,0	0,0	-2,177				
<b>7=A11</b>	1,72170	1,93300	26,820	33,630	0,0	0,0	-1,273	-11,854	-11,855		
8	1,54323	0,96640	25,770	29,263	0,1	0,0	0,755				
<b>9=A10</b>	2,34600	1,16530	20,330	19,280	0,0	0,0	0,378	1,133	1,133		
10	2,36280	0,55050	19,403	19,940	0,0	0,0	1,796				
11	1,83960	0,78960	30,930	18,240	0,0	0,0	1,573				
12	1,26140	2,28970	32,400	28,670	0,0	0,0	-0,450				
13	2,68240	0,73460	39,143	30,640	0,0	0,0	0,527				
14	1,85320	0,70140	7,280	24,950	0,0	0,0	1,981				
<b>15=A9</b>	2,06710	1,13180	15,420	6,170	0,0	0,0	0,721	6,148	6,147		
16	2,30570	0,44803	15,330	15,500	0,0	0,1	1,619				
17	2,63580	0,29400	13,630	15,340	0,0	0,0	2,012				
18	2,77150	0,26620	12,403	11,030	0,0	0,0	2,370				
19	2,65360	0,36827	17,963	12,630	0,0	0,1	2,403				
20	2,50280	0,46440	16,427	16,177	0,0	0,0	2,189				
21	2,44803	0,24180	11,127	15,290	0,0	0,0	2,261				
22	2,41600	0,20740	9,570	11,590	0,0	0,0	2,241				
23	2,69200	0,58110	11,560	9,590	0,0	0,0	1,835				
<b>24=A8</b>	3,15480	0,40180	17,527	9,560	0,0	0,0	2,290	19,220	19,219		
<b>25=A7</b>	2,83360	0,30550	28,867	15,580	0,0	0,0	2,849	2,849	2,849		
<b>26=A6</b>	0,93770	1,69630	20,447	34,850	0,0	0,0	1,137	1,137	1,137		
<b>27=A5</b>		1,83080		19,840	0,0	0,0	-0,893	-0,893	0,893		
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	47,52716	29,78737	ΣDaller=	1033,061							
	<b>ΔΗ =</b>	17,740		0,00289							

**A5 ΠΡΟΣ Ε8 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ**

RETOUR	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		ΜΗΚΟΣ ΣΚΟΠΕΥΣΗΣ		σφάλμα		Ο-Ε	ΔΗ υπολογ.	Προσωρινές ΔΗ	Δδη	Τελ
	ΣΗΜΕΙΟ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΟΠΙΣΘΕΝ					
1=A5	1,78040		18,890		0,0						
2=A6	1,78460	0,88750	33,950	21,430	0,0	0,0	0,893	0,893			
3=A7	0,20380	2,92200	16,940	29,807	0,0	0,0	-1,137	-1,137			
4=A8	0,50280	3,05300	9,043	16,123	0,0	0,0	-2,849	-2,849			
5	0,38463	2,47250	11,200	9,110	0,1	0,0	-1,970				
6	0,22490	2,50230	11,740	10,010	0,0	0,0	-2,118				
7	0,30860	2,44727	14,620	11,020	0,0	0,1	-2,222				
8	0,61980	2,33080	13,840	12,870	0,0	0,0	-2,022				
9	0,48010	2,49870	13,380	16,760	0,0	0,0	-1,879				
10	0,23310	2,65750	11,387	12,510	0,0	0,0	-2,177				
11	0,42780	2,54680	12,240	10,120	0,0	0,0	-2,314				
12	0,73480	2,46470	13,220	13,230	0,0	0,0	-2,037				
13	0,90740	2,17147	10,020	13,000	0,0	0,1	-1,437				
14=A9	0,31000	1,95090	23,520	11,030	0,0	0,0	-1,044	-19,219			
15	0,69960	2,18480	27,570	22,550	0,0	0,0	-1,875				
16	1,50520	2,19290	28,493	28,153	0,0	0,0	-1,493				
17	1,67620	0,87410	28,430	26,557	0,0	0,0	0,631				
18	0,48570	2,24053	20,700	26,877	0,0	0,1	-0,564				
19	0,87840	2,43480	13,107	21,430	0,0	0,0	-1,949				
20=A10	1,15420	1,77470	20,530	10,430	0,0	0,0	-0,896	-6,147			
21	1,05620	1,59520	23,780	27,830	0,0	0,0	-0,441				
22=A11	1,83730	1,74820	24,280	28,990	0,0	0,0	-0,692	-1,133			
23	2,38790	0,95660	27,130	25,600	0,0	0,0	0,881				
24	2,56770	0,41530	28,327	27,263	0,0	0,0	1,973				
25	2,60637	0,22620	25,570	25,920	0,1	0,0	2,342				
26	2,37290	0,38280	19,683	24,300	0,0	0,0	2,224				
27	2,39340	0,63100	11,950	14,190	0,0	0,0	1,742				
28	2,04827	0,44730	7,530	9,570	0,1	0,0	1,946				
29=E8		1,29910		6,790		0,0	0,749	11,856			
<b>ΣΥΝΟΛΟ :</b>	32,57207	50,30897	ΣDretour=	1034,540							
	<b>ΔΗ =</b>	-17,737	ΣD=	2067,601							

**ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑ  
(T3 – E6)**

Στάση Α/ Υψος οργάνου	Στάση Β	Υψος τηλεσκοπ ίου	Δη τηλεσκο πιο - πρίσμα	K	D	VA	Υψος οργάνου στόχου	ΔΗ	Στάση Α	Στάση Β		K	D	VA	
<b>E6</b>	TC303								<b>T3 ALF</b>	TC705 XZ					
1,539	<b>T3 ALF</b>	0,240		1,246	368,016	96,3363	0,240	22,464	0,240	<b>E6</b>	1,539	1,246	368,016	103,662	
1,539	<b>T3 ALF</b>	0,240	0,204	1,246	368,026	96,3005	0,444	22,467	0,240	<b>E6</b>	1,539	0,205	1,246	368,005	103,626
							91	<b>22,465</b>	-0,003						
1,539	<b>T3 ALF</b>	0,079		1,246	367,992	96,362	0,079	22,475	0,240	<b>E6</b>	0,086	1,246	368,101	103,912	