



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΝΕΟ ΦΑΛΗΡΟ - ΜΟΣΧΑΤΟ - ΚΑΛΛΙΘΕΑ

ΦΛΩΡΑ ΚΑΡΑΘΑΝΑΣΗ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2009

.....
Φλώρα Ε. Καραθανάση

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Φλώρα Καραθανάση, 2009

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Επιβλέπον καθηγητής

Γεωργόπουλος Γεώργιος, Λέκτορας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Εξεταστική επιτροπή

Γεωργόπουλος Γεώργιος, Λέκτορας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πανταζής Γεώργιος, Λέκτορας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Τελειώνη Ελισάβετ, Λέκτορας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας μου δίνεται η ευκαιρία να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που μου πρόσφεραν σημαντική βοήθεια στα διάφορα στάδια αυτής της πορείας και με επηρέασαν θετικά για την επίτευξη ενός μεγάλου στόχου.

Αρχικά, επιθυμώ να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στους επιβλέποντες καθηγητές μου, τον κ. Γιώργο Γεωργόπουλο, Λέκτορα Ε.Μ.Π., και την κα. Ελισάβετ Τελειώνη, Λέκτορα Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπο μου και για τις υποδείξεις και παρατηρήσεις τους για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Τους ευχαριστώ θερμά για την υποστήριξη και το ενδιαφέρον τους, την καθοδήγησή τους και τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσαν για την ορθή εκπόνηση και παρουσίασή της. Επίσης, ιδιαίτερα ευχαριστώ στον κ. Γιώργο Πηνιώτη για την πραγματικά ανεξάντλητη υπομονή του και τη σημαντική του βοήθεια σε θεωρητικά και τεχνικά ζητήματα.

Επιπλέον, οφείλω να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στη συνάδελφο Ευαγγελία Καραμολέγκου, χωρίς την οποία δε θα είχε υλοποιηθεί η παρούσα διπλωματική, για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα και για την ψυχολογική της στήριξη, όταν αυτή χρειάστηκε.

Τέλος, ευχαριστώ περισσότερο από όλους την οικογένεια μου για τη συμπαράσταση, την κατανόηση και την υπομονή τους σε όλη τη διάρκεια αυτής της εργασίας και ιδιαίτερα στις δύσκολες στιγμές της.

Φλώρα Καραθανάση

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	3
1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	5
1.3. ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ.....	10
2.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	10
2.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ.....	11
2.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ.....	13
2.4. ΑΙΤΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ.....	15
2.5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ.....	17
2.6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	22
3.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	22
3.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	24
3.3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	30
3.4. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ GPS.....	33
4.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	33
4.2. Το ΣΥΣΤΗΜΑ GPS.....	35
4.2.1. Μέθοδοι εντοπισμού με το σύστημα GPS.....	37
4.2.2. Πηγές σφαλμάτων με το σύστημα GPS.....	39
4.2.3. Παρεχόμενη ακρίβεια με το σύστημα GPS.....	44
4.2.4. Η Χρήση του GPS στην Υψομετρία.....	47
4.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΚΤΩΝ GPS ΚΑΙ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ.....	54
5.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	54
5.2. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	56
5.3. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	59
5.4. ΒΑΣΗ ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΣ – ΚΑΣΤΕΛΑ.....	61
5.5. ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS.....	62
5.6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	64
5.7. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΕΔΙΟΥ.....	66
5.8. ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΜΕ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΦΕΤΗΡΙΕΣ.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ.....	72
6.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	72
6.2. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	73
6.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΣ – ΚΑΣΤΕΛΑ.....	77
6.4. ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS.....	78
6.4.1. Σχολιασμός των αποτελεσμάτων.....	87
6.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΠΙΚΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ.....	92

6.6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ.....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο – ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	107
7.1. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	111
8.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	111
8.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	119

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

ΓΡΑΦΗΜΑ 7.1. Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	108
ΓΡΑΦΗΜΑ 7.2. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ.....	109
ΓΡΑΦΗΜΑ 7.3. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΡΑΦΕΙΟΥ.....	109

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 2.1. Η ΚΑΘΙΣΤΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ [20]	12
ΕΙΚΟΝΑ 4.1. ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ GPS ΣΕ ΤΡΟΧΙΑ	36
ΕΙΚΟΝΑ 4.2. ΤΑ ΣΗΜΑΤΑ GPS	37
ΕΙΚΟΝΑ 4.3. ΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GPS.....	39
ΕΙΚΟΝΑ 4.4. ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΤΗΣ ΕΦΗΜΕΡΙΔΑΣ	40
ΕΙΚΟΝΑ 4.5. ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ	42
ΕΙΚΟΝΑ 4.6. Η ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ GPS ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΗΣ ΓΗΣ	43
ΕΙΚΟΝΑ 4.7. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ GPS: (Α) ΚΑΛΗ, (Β) ΚΑΚΗ	46
ΕΙΚΟΝΑ 4.8. Ο ΔΕΚΤΗΣ TRIMBLE 5800.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 4.9. Η ΘΗΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ ΚΑΙ Ο ΒΑΡΥΣ ΤΡΙΠΟΔΑΣ	52
ΕΙΚΟΝΑ 4.10. ΤΟ ΤΡΙΚΟΧΛΙΟ ΚΑΙ Ο ΕΙΔΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	52
ΕΙΚΟΝΑ 4.11. Η ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΜΕΤΡΟΤΑΙΝΙΑ ΚΑΙ Ο ΦΟΡΗΤΟΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 4.12. ΟΙ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΚΑΙ Ο ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 5.1. ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ DOP ΓΙΑ ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ «ΚΑΣΤΕΛΑ» ΣΤΙΣ 04/11/2008.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 5.2. ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ «ΚΑΣΤΕΛΑ» ΣΤΙΣ 04/11/2008.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 5.3. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΔΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 6.1. ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	79
ΕΙΚΟΝΑ 6.2. ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΒΑΣΕΩΝ.....	79
ΕΙΚΟΝΑ 6.3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SV 28 ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΑΣΗ «Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ – ΈΛΙΚΑΣ».....	81
ΕΙΚΟΝΑ 6.4. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΤΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ SV 28 ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΑΣΗ «Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ – ΈΛΙΚΑΣ».....	81
ΕΙΚΟΝΑ 6.5. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΑΣΗΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	82
ΕΙΚΟΝΑ 6.6. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΑΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	82
ΕΙΚΟΝΑ 6.7. ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ GPS ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΕΩΝ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 6.8. ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ GPS ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΕΩΝ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 6.9. ΙΣΟΨΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (Μ)	86
ΕΙΚΟΝΑ 6.10. ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΘΕ ΚΟΡΥΦΗΣ.....	89

ΕΙΚΟΝΑ 6.11. ΓΩΝΙΕΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΕΛΛΕΙΨΕΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ.....	89
ΕΙΚΟΝΑ 6.12. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ 2008.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 6.13. ΙΣΟΨΕΙΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ 2008	98

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. ΟΙ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ «ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ» ΣΤΟ ΕΓΣΑ87	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2. ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟ ΔΙΠΛΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ.....	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3. ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1. ΤΕΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ «ΚΑΣΤΕΛΑ» ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΓΣΑ87	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2. ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ «ΚΑΣΤΕΛΑ» ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΓΣΑ87 ΓΙΑ ΤΟ 2002	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3. ΤΕΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΜΕΡΚΑΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΓΣΑ87	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ (GRS80 ΤΟΥ ΕΓΣΑ87), ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ, ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5. ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	99
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6. ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	100
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS.....	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.8. ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΚΟΙΝΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΓΙΑ ΤΟ 2002	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.9. ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΚΟΙΝΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΓΙΑ ΤΟ 2008	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.10. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2002 – 2008	106
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. 1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GANTT.....	110

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ 3.1. ΙΣΟΠΑΧΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	28
ΧΑΡΤΗΣ 3.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	29
ΧΑΡΤΗΣ 5.1. ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS	58
ΧΑΡΤΗΣ 5.2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS.....	60

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι επιφανειακές μετακινήσεις, που εκδηλώνονται συνήθως σε εδάφη με «ύποπτο» γεωλογικό υπόβαθρο, μπορούν να ανιχνευθούν και να προσδιοριστούν το μέγεθός τους και τα όρια εκδήλωσης του φαινομένου με Γεωδαιτική μεθοδολογία. Για το σκοπό αυτό, στην ευρύτερη περιοχή, ιδρύονται Γεωδαιτικά Δίκτυα Κατακορύφου Ελέγχου και γίνονται μετρήσεις με επίγειες ή δορυφορικές μεθόδους μεταξύ των κορυφών τους, σε διαδοχικές χρονικές στιγμές. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές των ορθομετρικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου με ορισμένη πιθανότητα, για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα, εφόσον έχουν προσδιοριστεί τα γεωμετρικά υψόμετρα από το παγκόσμιο σύστημα γεωδαιτικού εντοπισμού (GPS) και είναι γνωστό ένα μοντέλο τοπικού γεωειδούς.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που αφορά στο Δίκτυο GPS για την παρακολούθηση των καθιζήσεων της ευρύτερης περιοχής του Νέου Φαλήρου, του Μοσχάτου και της Καλλιθέας, παρουσιάζεται η ανάλυση για την ίδρυση, η μέτρηση των βάσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου, η συνόρθωση των παρατηρήσεων και η επίλυση του. Επίσης, προσδιορίζονται τα γεωμετρικά υψόμετρα και τα υψόμετρα γεωειδούς στις κορυφές του δικτύου ως προς το ελλειψοειδές GRS80. Τέλος, ελέγχεται η στατιστική σημαντικότητα των διαφορών των ορθομετρικών υψομέτρων τους (για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%), που παρατηρήθηκαν στο χρονικό διάστημα 2002 – 2008 στην παραπάνω περιοχή και τα οποία προέκυψαν από Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμιση με κοντινές υψομετρικές αφετηρίες.

Το Δίκτυο Ελέγχου GPS ιδρύθηκε για πρώτη φορά το Μάρτιο του 2002 για την παρακολούθηση επιφανειακών μετακινήσεων στην περιοχή του Νέου Φαλήρου, του Μοσχάτου και της Καλλιθέας με δορυφορικές μεθόδους. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί τη δεύτερη σειρά μετρήσεων, προκειμένου να ανιχνευθούν επιφανειακές μετακινήσεις με τη μέθοδο αυτή.

ABSTRACT

Ground subsidences are usually detected above grounds with “suspect” geological background. Geodetic methodology is usually used in order to estimate their magnitude and the boundaries of the area where the phenomenon is observed. More specially, a Vertical Control Network is established in the wider area under consideration and the heights of the network points are determined using either conventional or GPS observations. Finally, the statistically significant differences of the orthometric heights of the network’s points are determined for a certain confidence level for the time interval between two successive measuring epochs, provided that the geometric heights have been estimated using GPS method.

In this dissertation, the analysis for the establishment, the measurement of its elements and the adjustment of the GPS control network established in the area of New Faliro, Moschato and Kallithea of Attiki, Greece, is presented. Moreover, the geoidal and orthometric heights of the network’s points are estimated and the statistical significance of the orthometric heights differences is tested for a confidence level 95%, for the time interval 2002 – 2008, which were measured using Double Geometric Levelling with the nearby repers.

This GPS Control Network was established on March 2002 in order to detect displacements in the wider area of New Faliro, Moschato and Kallithea. This dissertation constitutes the second epoch of this study for the estimation of the displacements using GPS observations. During this campaign, the network was extended with five new points in order to cover the whole area under consideration.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Η μελέτη των μετακινήσεων της επιφάνειας του εδάφους δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της κινηματικής συμπεριφοράς των περιοχών και των τεχνικών έργων, που έχουν κατασκευαστεί σε αυτές, με αποτέλεσμα την πρόληψη δυσμενών καταστάσεων και την έγκαιρη αντιμετώπιση σοβαρών αστοχιών με τεράστιο κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Τα τελικά συμπεράσματα των μελετών αυτών μπορούν να θεωρηθούν ως αποτελέσματα πειραμάτων, τα οποία έγιναν σε φυσική κλίμακα και σε πραγματικές συνθήκες.

Σημαντικό μέγεθος στην παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς των περιοχών, είναι η καθίζηση. Η μελέτη των καθιζήσεων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του μεγέθους τους καθώς, και την παρακολούθηση της εξέλιξή τους διαχρονικά. Τα αποτελέσματα της διαχρονικής παρακολούθησης μπορούν να συσχετισθούν με θεωρητικά μοντέλα καθιζήσεων για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την απόκριση της περιοχής.

Η Γεωδαισία, με τα όργανα υψηλής ακρίβειας που διαθέτει και την ελεγχόμενη μεθοδολογία που χρησιμοποιεί, παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού, προσδιορισμού και παρακολούθησης της εξέλιξης των επιφανειακών μετακινήσεων με αξιοπιστία. Για το σκοπό αυτό, ιδρύονται δίκτυα κατακορύφου ελέγχου, τα οποία μετρώνται σε διαδοχικές χρονικές στιγμές, προκειμένου να προσδιοριστούν οι μεταβολές των υψομέτρων των κορυφών τους στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα. Στη συνέχεια, οι μεταβολές αυτές ελέγχονται για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης και προσδιορίζονται οι στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

Οι μελέτες των καθιζήσεων είναι ύψιστης σημασίας σε πυκνοδομημένες περιοχές, οι οποίες βρίσκονται σε χαλαρά εδάφη. Στην περίπτωση των αστικών περιοχών, είναι προφανές ότι οι παραπάνω μελέτες έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα πλαίσια του πολεοδομικού σχεδιασμού, της οικιστικής ανάπτυξης αλλά και της αντισεισμικής προστασίας, η οποία πρέπει να εξασφαλίζεται στις περιοχές αυτές.

1.2. Σκοπός Διπλωματικής

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει ως στόχο την εγκατάσταση ενός δικτύου ελέγχου κατακόρυφων μετακινήσεων με δορυφορικές μεθόδους. Για το σκοπό αυτό, το 2002, ιδρύθηκε στην περιοχή του Μοσχάτου δίκτυο GPS, όπου στο χρονικό διάστημα 1989 – 2002 έχουν διαπιστωθεί, με επίγειες μεθόδους, κατακόρυφες μετακινήσεις. Το δίκτυο αυτό επεκτάθηκε (2008) με την ίδρυση πέντε νέων σημείων, έτσι ώστε να καλύπτει όλη την περιοχή που ανιχνεύθηκαν μετακινήσεις (Νέο Φάληρο, Μοσχάτο, Καλλιθέα). Ασχολείται με το σχεδιασμό, την εγκατάσταση νέων σημείων ελέγχου και τη μέτρηση στοιχείων του δικτύου ελέγχου GPS (βάσεις). Για το σχεδιασμό και την πυκνωση του δικτύου αυτού, λήφθηκαν υπ' όψιν τα γεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους της περιοχής μελέτης καθώς, και η κατανομή στο χώρο των σημείων ελέγχου.

Για τη μέτρηση των στοιχείων του δικτύου, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Σχετικού Στατικού Εντοπισμού με παρατηρήσεις του Δορυφορικού Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού (*GPS*), χρησιμοποιώντας σύγχρονους δέκτες και τα παρελκόμενα, που τους συνοδεύουν. Η επίλυση του δικτύου έγινε με τη χρήση του αντίστοιχου προγράμματος της κατασκευάστριας εταιρείας των δεκτών, TGOoffice, το οποίο ελέγχει εξίσου και την ολική αξιοπιστία της λύσης εφαρμόζοντας το Test χ^2 , για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Η ανίχνευση και ο προσδιορισμός των επιφανειακών μετακινήσεων των κορυφών του εν λόγω δικτύου στην περιοχή μελέτης, για δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης, προέκυψε από τη σύγκριση των ορθομετρικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου, τα οποία προσδιορίστηκαν από Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και της αντίστοιχης του 2002. Η σύγκριση των γεωμετρικών υψομέτρων δεν είναι δυνατή καθώς, οι αρχικές συνθήκες των δύο δικτύων δεν είναι ίδιες.

Τέλος, έχουν προκύψει συμπεράσματα και προτάσεις χρήσιμες για μελλοντικές έρευνες, που σχετίζονται με θέματα τεχνικών παρεμβάσεων σε τμήματα της επιφάνειας τους εδάφους στην ευρύτερη περιοχή του Νέου Φαλήρου, του Μοσχάτου και της Καλλιθέας.

1.3. Δομή Διπλωματικής

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια και δύο παραρτήματα, προκειμένου να αναλυθεί διεξοδικά η μελέτη των επιφανειακών κατακόρυφων μετακινήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Νέου Φαλήρου, του Μοσχάτου και της Καλλιθέας.

Το **Πρώτο Κεφάλαιο** περιλαμβάνει την Εισαγωγή, στην οποία αναλύονται ο σκοπός και η δομή της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Στο **Δεύτερο Κεφάλαιο**, περιγράφονται το φαινόμενο των καθιζήσεων, οι κατηγορίες των καθιζήσεων, τα αίτια που τις προκαλούν καθώς, και οι επιπτώσεις τους στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Τέλος, αναλύονται οι τρεις βασικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την ανίχνευση και τον προσδιορισμό του μεγέθους των επιφανειακών μετακινήσεων σε μία περιοχή.

Στο **Τρίτο Κεφάλαιο**, περιγράφεται η περιοχή μελέτης και πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στο γεωλογικό και γεωτεχνικό υπόβαθρο καθώς, και στα υδρολογικά στοιχεία. Επίσης, γίνεται μία αναδρομή στη διαχρονική μελέτη της εξέλιξης του φαινομένου μέσα από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας το έτος 2002.

Στο **Τέταρτο Κεφάλαιο**, περιγράφεται εκτενώς, το δορυφορικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού και πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι εντοπισμού, τα σφάλματα που επηρεάζουν τις παρατηρήσεις, η παρεχόμενη ακρίβεια και ερευνάται το σύστημα GPS ως μέθοδος υψομετρίας. Επίσης, περιλαμβάνει και την περιγραφή των κατάλληλων οργάνων για την επίτευξη της επιδιωκόμενης ακρίβειας.

Το **Πέμπτο Κεφάλαιο** περιλαμβάνει τις εργασίες πεδίου και πιο αναλυτικά, περιγράφονται η αναγνώριση για τον εντοπισμό των κορυφών του δικτύου

GPS της περιοχής μελέτης, η γεωμετρία του εν λόγω δικτύου, οι εργασίες γραφείου πριν από την έναρξη των παρατηρήσεων, η διαδικασία των μετρήσεων, οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των μετρήσεων αυτών καθώς, και η διαδικασία σύνδεσης των κορυφών του δικτύου GPS με τις υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου κατακορύφου ελέγχου, προκειμένου να τους δοθούν ορθομετρικά υψόμετρα.

Στο **Έκτο Κεφάλαιο**, περιγράφεται το λογισμικό του προγράμματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των μετρηθέντων στοιχείων του πεδίου, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτύου GPS και της επεξεργασίας της βάσης Λαμπαδάριος – Καστέλα και ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Τέλος, προσδιορίζεται ένα μοντέλο τοπικού γεωειδούς για την περιοχή μελέτης και συγκρίνονται τα υψόμετρα του γεωειδούς, όπως αυτά προέκυψαν κατά τα έτη 2002 και 2008.

Το **Έβδομο Κεφάλαιο** περιλαμβάνει το χρονοδιάγραμμα των εργασιών για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας και περιγράφει αναλυτικά την κατανομή των εργασιών με τη χρονολογική σειρά που εκτελέστηκαν.

Το **Όγδοο Κεφάλαιο** περιλαμβάνει τα συμπεράσματα και τις προτάσεις, που προέκυψαν για την ευρύτερη περιοχή του Νέου Φαλήρου, του Μοσχάτου και της Καλλιθέας κατά τη διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας.

Στο **Παράρτημα I**, παρουσιάζονται οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου GPS στο WGS84, οι τελικές συντεταγμένες των κορυφών «Λαμπαδάριος» και «Καστέλα» στο WGS84, το ελλειψοειδές και την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή του ΕΓΣΑ87 καθώς, και οι παράμετροι του συστήματος ΕΓΣΑ87.

Στο **Παράρτημα II**, παρατίθεται η περιγραφή της θέσης των σημείων συνοδευόμενη από το αντίστοιχο σκαρίφημα και φωτογραφία, οι συντεταγμένες (E, N) στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή του ΕΓΣΑ87

καθώς, και οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ , λ , h) στο ελλειψοειδές του ΕΓΣΑ87.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ**2.1. Γενικά**

Είναι γνωστό ότι στο έδαφος συμβαίνουν πολύπλοκες χημικές, φυσικές και βιολογικές δράσεις. Αποτέλεσμα αυτών των δράσεων είναι η γεωλογική εξέλιξη κάθε είδους τοπίου μέσα από ένα διαρκή αγώνα που γίνεται ανάμεσα στις εσωτερικές δυνάμεις της γης και τις εξωτερικές δυνάμεις που αναπτύσσονται σε αυτό. Φυσικό επακόλουθο των παραπάνω είναι η εμφάνιση οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων του εδάφους.

Η συστηματική μελέτη των μετακινήσεων αυτών αποτελεί αντικείμενο έρευνας πολλών επιστημονικών κλάδων, όπως της γεωλογίας, της γεωδαισίας, της εδαφομηχανικής, της υδραυλικής. Οι συνέπειες, που μπορεί να έχουν τέτοιου είδους μετατοπίσεις του εδάφους στις δραστηριότητες και την καθημερινή ζωή του ανθρώπου, το καθιστούν ένα φαινόμενο τόσο σπουδαίο όσο και επικίνδυνο.

Μία μορφή κατακόρυφης μετακίνησης εδαφικής μάζας αποτελεί η καθίζηση, που εξετάζεται εκτενώς σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Στο κεφάλαιο αυτό, καταγράφονται τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά για την καλύτερη κατανόηση του εν λόγω φαινομένου και γίνονται εκτενείς αναφορές τόσο για τα αίτια δημιουργίας του και τις επιπτώσεις του στην καθημερινή ζωή όσο και για τις μεθόδους υπολογισμού του.

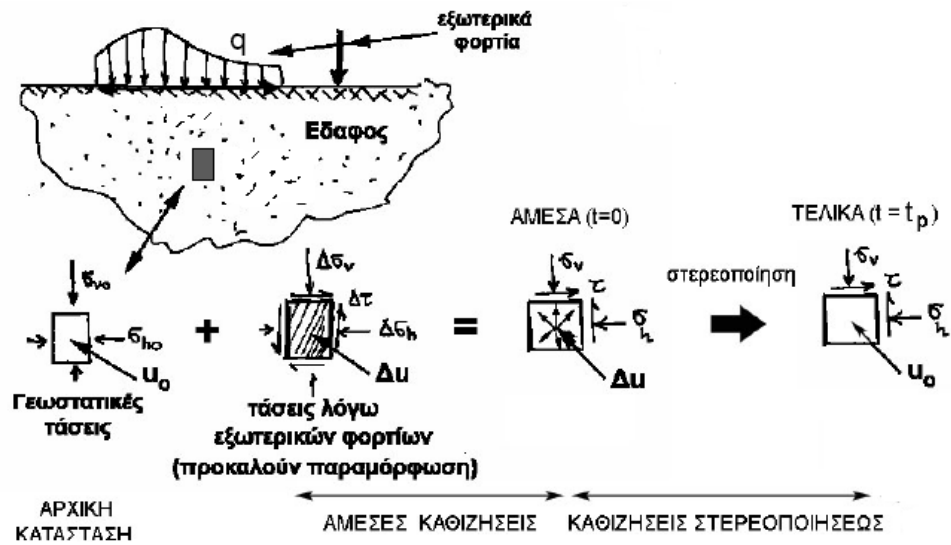
2.2. Ορισμός Καθίζησης

Ως καθίζηση ορίζεται το γεωλογικό φαινόμενο κατά το οποίο ένα τμήμα πετρωμάτων του στερεού φλοιού της γης μετατοπίζεται κατακόρυφα προς τα κάτω ως προς μία επιφάνεια αναφοράς, όπως είναι η μέση στάθμη της θάλασσας [11].

Αυτή η κατακόρυφη μετακίνηση συνδέεται με τους διάφορους γεωλογικούς και γεωτεχνικούς παράγοντες της περιοχής, την τοπογραφία – μορφολογία της περιοχής, το ύψος των βροχοπτώσεων, τη σεισμικότητα της περιοχής, τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν, τις φορτίσεις στην επιφάνεια του εδάφους και τις δράσεις στο εσωτερικό του εδάφους.

Η επιφάνεια του εδάφους διαμορφώνεται από την ισορροπία μεταξύ ποικίλων εξωτερικών δυνάμεων που ασκούνται σε αυτή και την αντίσταση από το υπέδαφος. Η ισορροπία αυτή μπορεί να διαταραχτεί όταν το άθροισμα των εξωτερικών δυνάμεων είναι μεγαλύτερο από αυτό της αντίστασης. Αυτό έχει ως συνέπεια τον υποβιβασμό του κέντρου βάρους της ασταθούς μάζας άρα, την εμφάνιση του εν λόγω φαινομένου.

Η καθίζηση έχει συνήθως δύο συνιστώσες, για την περίπτωση του συνεκτικού εδαφικού υλικού, την άμεση ή ελαστική καθίζηση και την καθίζηση λόγω στερεοποίησης. Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζονται οι καθιζήσεις που οφείλονται στις πρόσθετες τάσεις ($\Delta\sigma$) και τις υπερπιέσεις πόρων (Δu) που αναπτύσσονται στο έδαφος λόγω της επιβολής φορτίων στην επιφάνεια του.



Εικόνα 2.1. Η καθίζηση του εδάφους και οι συνιστώσες της [20]

Figure 2.1. The ground subsidence and its components [20]

2.3. Κατηγορίες Καθίζησης

Τα είδη των καθιζήσεων ανάλογα με τους γεωλογικούς και γεωτεχνικούς παράγοντες, κατηγοριοποιούνται σε:

- γενικές ή ολικές καθιζήσεις
- διαφορικές καθιζήσεις

Οι **γενικές ή ολικές καθιζήσεις** είναι εκείνες στις οποίες το έδαφος υποχωρεί ομοιόμορφα και «συμπαρασύρει» ομοιόμορφα τις υπερκείμενες κατασκευές. Σε αυτή την περίπτωση, οι ρωγμές που δημιουργούνται στα τεχνικά έργα είναι συνήθως, λίγες και μικρού εύρους. Αντίθετα, στις **διαφορικές καθιζήσεις**, το έδαφος υποχωρεί ανομοιόμορφα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνήθως πολλές και μεγάλες ρωγμές με, συνήθως, διαφορετική κλίση και κατεύθυνση στα άκαμπτα στοιχεία των κατασκευών, όπως είναι οι τοίχοι.

Οι καθιζήσεις μπορούν επίσης, να ταξινομηθούν ανάλογα με τη φύση του αιτίου που τις προκαλεί. Έτσι, διακρίνονται στις:

- φυσικές καθιζήσεις
- καθιζήσεις που προκαλούνται από τον άνθρωπο

Στην πρώτη περίπτωση, πιθανές αιτίες τέτοιου είδους καθιζήσεων μπορεί να είναι οι κινήσεις των τεκτονικών πλακών, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι σεισμικές δονήσεις και τέλος, η κατάρρευση υπόγειων στοών. Οι **φυσικές καθιζήσεις** παρατηρούνται πιο έντονα σε περιοχές που παρουσιάζουν μεγάλη σεισμική δραστηριότητα [31]. Όσον αφορά στις **καθιζήσεις που οφείλονται στην ανθρώπινη δράση**, εμφανίζονται κυρίως, λόγω της επιβολής μεγάλων δυναμικών ή στατικών φορτίσεων στην επιφάνεια του εδάφους μιας περιοχής, όπως είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος και η κατασκευή τεχνικών έργων (κτίρια, φράγματα, γέφυρες). Επίσης, οι εν λόγω καθιζήσεις προκαλούνται πολλές φορές και από την υπεράντληση των φυσικών

διαθεσίμων (άνθρακας, νερό, πετρέλαιο) από το υπέδαφος καθώς, και από υπόγεια έργα.

Τέλος, μία επιπλέον κατηγοριοποίηση των καθιζήσεων είναι αυτή που αφορά το χρόνο εμφάνισης και τη συνολική διάρκεια του φαινομένου. Σε αυτή την περίπτωση, οι καθιζήσεις διακρίνονται σε:

- άμεσες καθιζήσεις
- καθιζήσεις στερεοποίησης
- καθιζήσεις ερπυσμού

Οι **άμεσες καθιζήσεις** εμφανίζονται σχεδόν ταυτόχρονα με τη φόρτιση και οφείλονται σε ελαστική παραμόρφωση λόγω σταδιακής αύξησης της τάσης των πόρων των υλικών του εδάφους. Ορισμένες φορές, η υπερβολική φόρτιση των εδαφών, που προέρχονται από σταδιακές αποθέσεις, προκαλεί την αποβολή του νερού, που εμπεριέχεται στους κόκκους των εδαφών, με συνέπεια τη σταδιακή συμπίκνωση τους. Το φαινόμενο αυτό αφορά τις **καθιζήσεις στερεοποίησης**, οι οποίες χρειάζονται μεγάλο χρονικό διάστημα για να ολοκληρωθούν. Η τελευταία κατηγορία, οι **καθιζήσεις ερπυσμού**, οφείλονται στη συνεχή αύξηση των παραμορφώσεων συναρτήσει του χρόνου υπό την επίδραση σταθερής τάσεως, που αναπτύσσονται κυρίως, στα συνεκτικά εδάφη, όπως τα αργιλικά. Στην περίπτωση αυτή, η καθίζηση εξακολουθεί να παρατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα.

2.4. Αίτια Καθίζησης

Τα αίτια των καθιζήσεων τμημάτων του εδάφους οφείλονται κυρίως στους παρακάτω παράγοντες:

- Στις **στατικές φορτίσεις**, που προκαλούν συμπύκνωση του εδάφους.
- Στις **δυναμικές φορτίσεις**, που οφείλονται σε ποικίλους κραδασμούς.
- Στις **διαβρώσεις** και **υποσκαφές**, που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της εδαφικής μάζας, προερχόμενες είτε από το υπόγειο νερό είτε από τα υπόγεια έργα (π.χ. μεταλλευτικές εργασίες, σήραγγες συγκοινωνιακών έργων).
- Στις **μεταβολές των υδρογεωλογικών συνθηκών** του υπεδάφους, οι οποίες είναι δυνατό να συσχετίζονται με τις προαναφερόμενες αιτίες και να συνοδεύονται από αλλαγή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (π.χ. υπεράντληση του υδροφόρου ορίζοντα) [14].

Εκτός όμως από τα παραπάνω, μία επιπλέον αιτία των καθιζήσεων είναι το είδος του υπεδάφους. Έτσι, η κοκκώδης σύσταση και η παρουσία μεγάλου ποσοστού αργίλου προκαλούν διόγκωση εξαιτίας της απορρόφησης νερού τους χειμερινούς μήνες και καθίζηση το καλοκαίρι λόγω της απομάκρυνσης της υγρασίας και τη μετατροπή της αργίλου σε λεπτόκοκκο υλικό (φαινόμενο της θιξοτροπίας). 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 φορτίσεως ενός έργου, εξαρτάται κυρίως, από την προφόρτιση του εδαφικού υλικού, από την προϋπάρχουσα της φορτίσεως εντατική κατάσταση μέσα στο εδαφικό στρώμα καθώς, και από την εντατική κατάσταση που προκαλεί η φόρτιση από το έργο.

Η μεταβολή του υδροφόρου ορίζοντα σε συνδυασμό με τον συντελεστή διαπερατότητας, το μέτρο συμπίεσης των πετρωμάτων και το πάχος του εδαφικού υλικού είναι οι παράγοντες που ευθύνονται για την χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων [16].

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη των μορφολογικών κλίσεων και της τεκτονικής παραμόρφωσης στην περιοχή μελέτης, έτσι ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός στον οποίο αυτά επηρεάζουν άμεσα τις επιφανειακές μετακινήσεις του εδάφους.

2.5. Επιπτώσεις Καθίζησης

Οι επιπτώσεις των καθιζήσεων θεωρούνται αρκετά σοβαρές και επικίνδυνες καθώς, μπορεί να κινδυνέψουν ανθρώπινες ζωές και να καταστραφούν οι υποδομές μιας περιοχής. Στα τεχνικά έργα, παρατηρείται συνήθως, παραμόρφωση του συστήματος θεμελίωσης, κλίση ή ρωγμές στις οικοδομές και κατακόρυφη βύθιση της οικοδομής. Επίσης, τα οδικά δίκτυα, τα φράγματα, τα δίκτυα υποδομής και γενικότερα, κάθε ανθρώπινη κατασκευή επηρεάζεται άμεσα από τις καθιζήσεις με την εμφάνιση ρωγμών ή ακόμη και με την ολοκληρωτική αστοχία τους.

Ως δευτερογενείς επιπτώσεις των καθιζήσεων, αναφέρονται η κατάκλιση του χώρου από νερά βροχόπτωσης ή από νερά που προέρχονται από την αποκάλυψη του υδροφόρου ορίζοντα και η εμφάνιση περιμετρικών ζωνών αστοχίας λόγω της διάρρηξης από τις εφελκυστικές τάσεις στα όρια. Επιπλέον, καταγράφονται ρωγμές και αστοχίες σε υπόγειους αγωγούς νερού ή αερίου και σε δίκτυα αποχέτευσης, μείωση της παραγωγικότητας των εδαφών, αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού του υπόγειου υδροφορέα και τέλος, ελλοχεύει ο κίνδυνος πρόκλησης πλημμυρών σε αστικές περιοχές.

Τα αποτελέσματα ενός τέτοιου φαινομένου έχουν ως συνέπεια μεγάλο οικονομικό και κυρίως, κοινωνικό κόστος. Έτσι, η διαχρονική παρακολούθησή του, για την αποτροπή των παραπάνω κινδύνων, κρίνεται αναγκαία και εστιάζεται στον κατάλληλο σχεδιασμό και εφαρμογή των έργων υποδομής και την επέκταση των οικισμών σε περιοχές που δεν κινδυνεύουν από καθιζήσεις.

2.6. Μέθοδοι Υπολογισμού Καθιζήσεων

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 τρεις 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 εξάγουν 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 που 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 μηκυσιόμετρο (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 [15]. Οι γεωδαιτικές μέθοδοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις **επίγειες** και τις **δορυφορικές**.

❖ Επίγειες Μέθοδοι

Με τη **Γεωμετρική Χωροστάθμιση Ακριβείας** προσδιορίζονται οι υψομετρικές διαφορές των κορυφών του δικτύου κατακορύφου ελέγχου, σε μετάβαση και επιστροφή, με τη χρήση ψηφιακού χωροβάτη και των αντίστοιχων κωδικοποιημένων σταδίων και παρελκομένων. Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών αυτών, τα οποία συγκρίνονται με τα αντίστοιχα που έχουν προσδιορισθεί σε προηγούμενες χρονικές περιόδους, ώστε να εξεταστεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική μεταβολή και κατ' επέκτασιν μετακίνηση στην περιοχή μελέτης. Η ακρίβεια στον προσδιορισμό των υψομετρικών διαφορών με τη μέθοδο αυτή μπορεί να φθάσει έως και $\pm 0.2 - 0.5\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$.

Η **Τριγωνομετρική Υψομετρία** είναι μέθοδος έμμεσου προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων της φυσικής γήινης επιφάνειας, με τη χρήση οργάνων που μετρούν κατακόρυφες γωνίες, οργάνων που μετρούν μήκη ή συστημάτων οργάνων μέτρησης γωνιών και μηκών. Η μέθοδος αυτή μπορεί να αντικαταστήσει τη Γεωμετρική Χωροστάθμιση 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). Η ακρίβεια προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών με τη μέθοδο αυτή μπορεί να φθάσει τα λίγα χιλιοστά με τη χρήση των σύγχρονων οργάνων Total Stations.

❖ 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 ± 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.

Το **Interferometric Synthetic Aperture Radar** συντετμημένο ως InSAR ή IfSAR, είναι μία τεχνική ραντάρ, που χρησιμοποιείται στη γεωδαισία και την τηλεπισκόπηση, προκειμένου να εξαχθούν πληροφορίες για την παραμόρφωση της γήινης 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 [5].

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. Πιο συγκεκριμένα, το InSAR είναι πολύ ευαίσθητο στις εκτροπές λόγω της επίδρασης της ατμόσφαιρας, όπως είναι η τροποσφαιρική καθυστέρηση και η ιονοσφαιρική καθυστέρηση, του λάθους της τροχιάς του δορυφόρου, της κατάστασης της επιγειακής επιφάνειας και του χρονικού συσχετισμού [2]. Τα στοιχεία από τα δίκτυα GPS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χαρτογραφήσουν τον τροποσφαιρικό υδρατμό και τις ιονοσφαιρικές διαταραχές, και ως εκ τούτου αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βαθμονομήσουν τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις των εικόνων InSAR. Επιπλέον, τα αποτελέσματα InSAR, εξαιτίας της υψηλής χωρικής ευκρίνειάς τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να πυκνώσουν τα αποτελέσματα GPS υπό μια χωρική έννοια. Επομένως, είναι προφανές ότι οι δύο αυτές τεχνικές είναι συμπληρωματικές [1].

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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Γενικά

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται βορειοανατολικά του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας και περιλαμβάνει το νότιο παράκτιο τμήμα της Καλλιθέας, το Μοσχάτο και το Νέο Φάληρο. Πιο συγκεκριμένα, ο ευρύτερος χώρος της ορίζεται δυτικά από τη γραμμή του ΗΣΑΠ στο Νέο Φάληρο, ανατολικά από τη Λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου του Δήμου Καλλιθέας, νότια από τις Λεωφόρους Εθνάρχου Μακαρίου και Ποσειδώνος, περίπου 2.3 χιλιομέτρων κατά μήκος της παραλιακής λεωφόρου, και βόρεια εκτείνεται μέχρι την οδό Μιαούλη του Δήμου Μοσχάτου και των οδών Μπάρου και Σόλωνος του Δήμου Καλλιθέας, περίπου 1.2 χιλιόμετρα από την παραλιακή λεωφόρο. Το συνολικό εμβαδόν της περιοχής μελέτης είναι περίπου 2000 στρέμματα. Αξίζει να αναφερθεί ότι το 2002, όπου ιδρύθηκε για πρώτη φορά το δίκτυο GPS, στην περιοχή μελέτης ιδρύθηκαν 7 κορυφές, ώστε το δίκτυο να καλύπτει την περιοχή του Νέου Φαλήρου, του Μοσχάτου και της Καλλιθέας.

Το δίκτυο GPS στη σημερινή του μορφή αποτελείται από δέκα κορυφές. Από αυτές, οι πέντε αποτελούν παλαιότερες κορυφές του δικτύου GPS (οι υπόλοιπες δύο καταστράφηκαν) και οι τρισδιάστατες καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) αυτών στα συστήματα αναφοράς WGS84 και ΕΓΣΑ87, εκτιμήθηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας που εκπονήθηκε το Μάρτιο του 2002 [17]. Έπειτα από τον εντοπισμό των πέντε παραπάνω κορυφών, διαπιστώθηκε ότι υπήρχαν περιοχές που δεν καλυπτόντουσαν και για το λόγο αυτό, ιδρύθηκαν άλλες πέντε κορυφές στην περιοχή μελέτης. Η ονομασία κάθε κορυφής αυτού του δικτύου καθώς και η περιγραφή της θέσης της συνοδευόμενη από το αντίστοιχο σκαρίφημα και φωτογραφία, δίνονται στο Παράρτημα II της διπλωματικής εργασίας.

Οι βάσεις GPS μεταξύ των κορυφών του δικτύου ελέγχου μετρήθηκαν με τη μέθοδο του Σχετικού Στατικού Εντοπισμού χρησιμοποιώντας τους γεωδαιτικούς δέκτες υψηλής ακρίβειας εντοπισμού της εταιρείας Trimble 5800, διπλής συχνότητας και τα ανάλογα παρελκόμενα που τους συνοδεύουν. Ως σταθερή κορυφή θεωρήθηκε το σημείο «Καστέλα», το οποίο είχε ιδρυθεί στο πλαίσιο παλαιότερης διπλωματικής εργασίας στο Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, πάνω σε βράχο, στο λόφο του Προφήτη Ηλία, στην περιοχή της Καστέλας, στον Πειραιά και είχε χρησιμοποιηθεί ως σταθερή κορυφή και στην προηγούμενη διπλωματική εργασία [17].

3.2. Γεωλογικό και Γεωτεχνικό Υπόβαθρο

Το γεωλογικό υπόβαθρο του ευρύτερου χώρου της περιοχής μελέτης, η οποία βρίσκεται στο νότιο παράκτιο τμήμα της Καλλιθέας, το Μοσχάτο και το Νέο Φάληρο, αποτελείται από εναλλασσόμενες στρώσεις τεφρής – υποτέφρης – μελανότεφρης μαλακής αργίλου και ιλυώδους άμμου – αμμώδους ιλύος. Συχνή είναι και η παρουσία οργανικής ύλης και μικροαπολιθωμάτων, η οποία σε συνδυασμό με την επικρατούσα στην περιοχή αμμοϊλύ, με άργιλο τοπικά σε ορισμένες θέσεις, φανερώνουν την ύπαρξη ενός σχηματισμού παράκτιας ή λιμνοθαλάσσιας φάσης. Ο χαρακτηριστικός αυτός σχηματισμός υποδηλώνει την εξάπλωση της αβαθούς θάλασσας ή λιμνοθάλασσας στην περιοχή μελέτης, κατά τους πρόσφατους, σχετικά, ιστορικούς και παλαιότερους χρόνους. Η επιφανειακή εξάπλωση των παραπάνω σχηματισμών διακόπτεται τοπικά από την ύπαρξη υλικών επιχωματώσεων ή ακόμα και πρόσφατων αποθέσεων του ποταμού Κηφισού.

Σύμφωνα με τις γεωτεχνικές έρευνες του Κεντρικού Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων (Κ.Ε.Δ.Ε.) του Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., το πάχος των προαναφερόμενων σχηματισμών κυμαίνεται από 10 m έως 20 m και εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή των εκβολών του ποταμού Κηφισού μεταξύ του Μοσχάτου και του Νέου Φαλήρου. Κατά USCS, ταξινομούνται σαν άργιλοι μέσης και υψηλής πλαστικότητας (CL-CH), ιλυάργιλοι (CL-ML), ιλυώδεις άμμοι (SM) και ιλύες (ML) [11]. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αργιλικές προσμίξεις που εμφανίζονται συχνά στην περιοχή μελέτης διαδραματίζουν πρωταρχικό ρόλο στη μηχανική συμπεριφορά των ορυκτών στα οποία περιέχονται. Οι άργιλοι είναι λεπτόκοκκα συμπιεστά, συνεκτικά υλικά με πολύ μικρή διαπερατότητα και όταν τα αργιλικά ορυκτά απορροφούν μεγάλη ποσότητα νερού, εκδηλώνουν το φαινόμενο της θιξοτροπίας, δηλαδή ρευστοποίηση και επαναστερεοποίηση των πετρωμάτων κάτω από την επίδραση των κραδασμών του εδάφους. Φαινόμενα θιξοτροπίας παρατηρούνται κοντά σε σιδηροδρομικές γραμμές και σε περιοχές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα, όπου ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται συνήθως, λίγο πιο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Όσον

αφορά τις ιλύες (πηλοί) είναι επίσης, λεπτόκοκκα συμπιεστά, μη συνεκτικά όμως, υλικά και καθιζάνουν πολύ ταχύτερα από τις αργίλους. Η μηχανική συμπεριφορά τους είναι ενδιάμεση των αργίλων και των άμμων. Μια μικρή όμως, περιεκτικότητα σε άργιλο (αργιλώδης ιλύς) ελαττώνει σημαντικά τη διαπερατότητά τους, κατά τρόπο ώστε, η μηχανική συμπεριφορά τους να πλησιάζει αυτή των αργίλων.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης παρουσιάζει γενικά, ομοιομορφία από την παραλία μέχρι τη λαχαναγορά, αν και εμφανίζει ορισμένες τοπικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, η τυπική γεωλογική τομή έχει τη μορφή που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

Αρχικά, παρατηρείται ένα επιφανειακό στρώμα προσχώσεων πάχους περίπου 2 m, ακολουθούμενο από ένα μέτριο συνεκτικό στρώμα, βάθους μέχρι 8 m. Στη συνέχεια, συναντάται ένα αργιλικό στρώμα, μικρής αντοχής, πάχους 2 m έως 5 m ενώ βαθύτερα, ένα στρώμα ιλυοαμμώδες ως αμμοχαλικώδες, γενικά πυκνό, πάχους περίπου 6 m με γωνία κλίσης $\varphi=35^\circ - 45^\circ$. Το επόμενο στρώμα που παρατηρείται είναι αργιλοαμμώδες ως ιλυώδες, πολύ μειωμένης αντοχής, πάχους περίπου 2 m και ακολουθεί ένα στρώμα πολύ πυκνής αμμοιλύος.

Σε όλες τις γεωτρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν, εντοπίστηκε πυκνή αμμοιλύς. Επίσης, χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η ύπαρξη μεταβαλλόμενης φύσης προσχωσιγενών επιφανειακών στρωμάτων. Από βαθύτερες γεωτρήσεις, διαπιστώθηκε ότι το αμμώδες ως αμμοχαλικώδες με προσμίξεις ιλύος ή αργίλου στρώμα επεκτείνεται μέχρι βάθους 26 m έως 28 m. Κάτω από αυτό, συναντάται το σταθερό υπόβαθρο, που αποτελείται από κροκαλοπαγές ή μαργαϊκό στρώμα. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζεται η μάργα του νεογενούς υποβάθρου, που σημαίνει ότι θα συνεχίζεται σε μεγάλο βάθος με προσμίξεις ψαμμιτών ή ασβεστόλιθων. Η μηχανική συμπεριφορά των μαργών είναι πολύ καλύτερη από αυτή των αργίλων, γιατί με την αύξηση του ανθρακικού ασβεστίου, που περιέχουν, συνεπάγεται ελάττωση της συμπιεστότητας, της πλαστικότητας και της υδροαπορροφητικότητας. Από το

στρώμα αυτό και συνεχίζοντας βαθύτερα, τα εδάφη θεωρούνται σταθερά και δεν συμπιέζονται ενώ τα επιφανειακά στρώματα συνεχίζουν να δέχονται τη συμπίεση, που προκαλείται από τις μεταβολές των φορτίων στην επιφάνεια.

Χαρακτηριστικό της περιοχής μελέτης είναι το υπερκείμενο φερτό έδαφος και το υποκείμενο υπόβαθρο. Στο Νέο Φάληρο, τα φερτά υλικά έχουν μεγάλο πάχος και οργανικές προσμίξεις με μαλακή ως πολτώδη μορφή. Τα πολτώδη υλικά είναι πολύ συμπιεστά. Η κίνηση στη Λεωφόρο Ποσειδώνος των μεγάλων και βαρέων τροχοφόρων, όπως τα λεωφορεία και τα φορτηγά, που κατευθύνονται προς την Εθνική Αθηνών-Λαμίας, προκαλεί συμπίεση και πολλές φορές κίνηση των παραπάνω υλικών. Από την άλλη, στην περιοχή μεταξύ των ποταμών Κηφισού και Ιλισού, τα υλικά εμφανίζουν λιγότερη μαλακή μορφή και ίδια σύσταση.

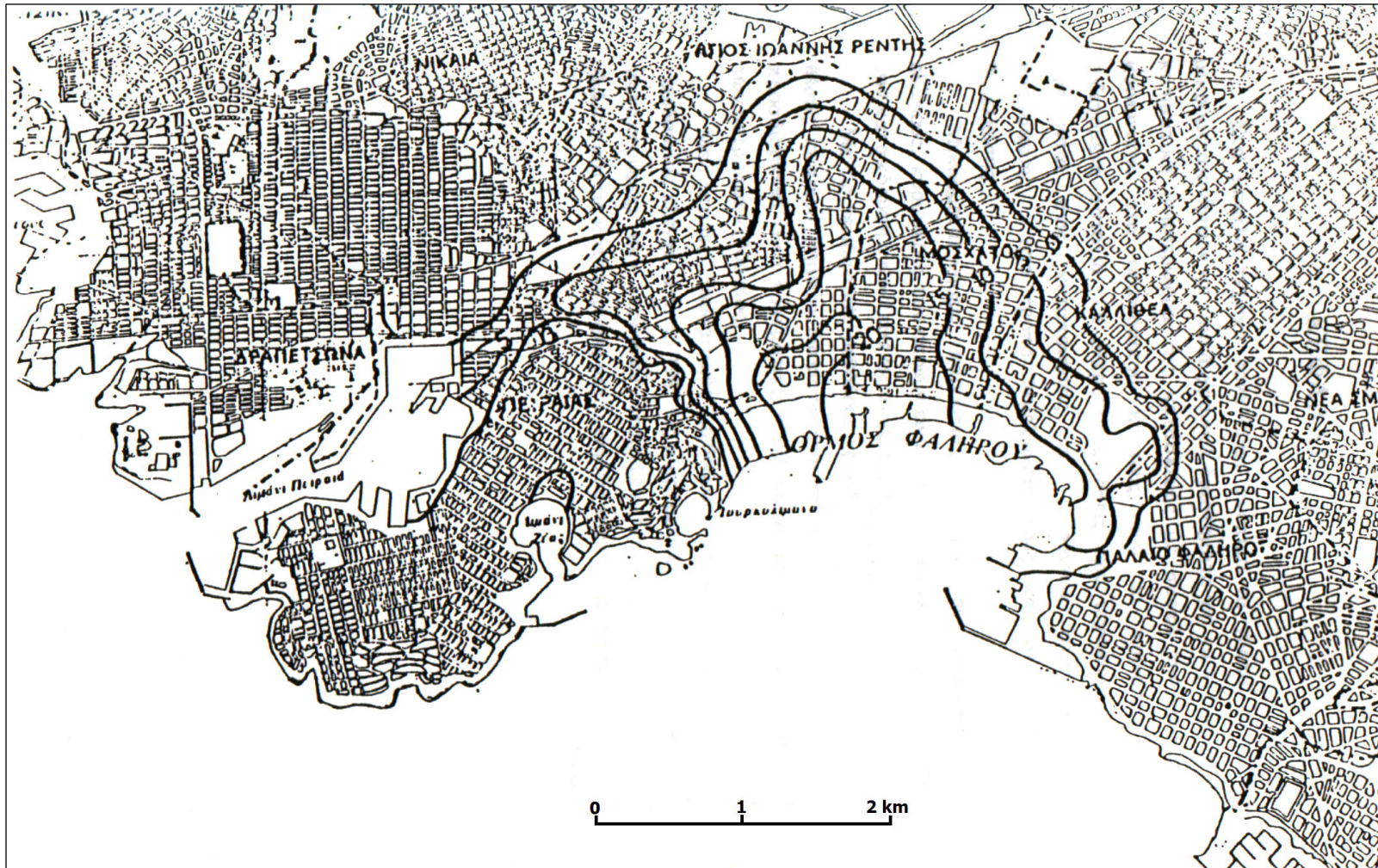
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φερτά υλικά του Νέου Φαλήρου, στην περιοχή του οποίου, τα πρώτα μέτρα έχουν προσμίξεις άμμου σε σημαντική αναλογία και αποτελούν ένα κάλυμμα στην πολύ μαλακή αργιλική στρώση, η οποία είναι πολύ ευαίσθητη και μπορεί να υποχωρήσει ακόμα και με την επιβολή μικρού φορτίου.

Το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης αποτελείται κυρίως, από μαργαϊκό και αμμοψηφитоκροκαλοπαγές, το οποίο βρίσκεται συνήθως, πάνω από το πρώτο. Το μαργαϊκό αποτελεί το μητρικό υπόβαθρο της περιοχής του Νέου Φαλήρου. Σε όλη την περιοχή έχει χαρακτήρα καστανέρυθρης αργίλου μέσης συνεκτικότητας ενώ βαθύτερα έχει εντελώς μαργαϊκή υφή. Στην περιοχή του ποταμού Κηφισού, το επιφανειακό στρώμα, της πολύς μαλακής αργιλοϊλύος, φτάνει μέχρι βάθος 18 m. Από 18 m έως 20 m, υπάρχει ένα μεταβατικό στρώμα. Βαθύτερα από τα 20 m, υπάρχει αισθητή βελτίωση των μηχανικών παραμέτρων του εδάφους. [24]

Από γενικότερες εκτιμήσεις γεωτεχνικού χαρακτήρα, η ύπαρξη της αργίλου στην περιοχή μελέτης δημιουργεί προβλήματα, εξαιτίας των καθιζήσεων που εντοπίζονται στις κατασκευές με μεμονωμένα πέδιλα. Οι σημαντικές καθιζήσεις

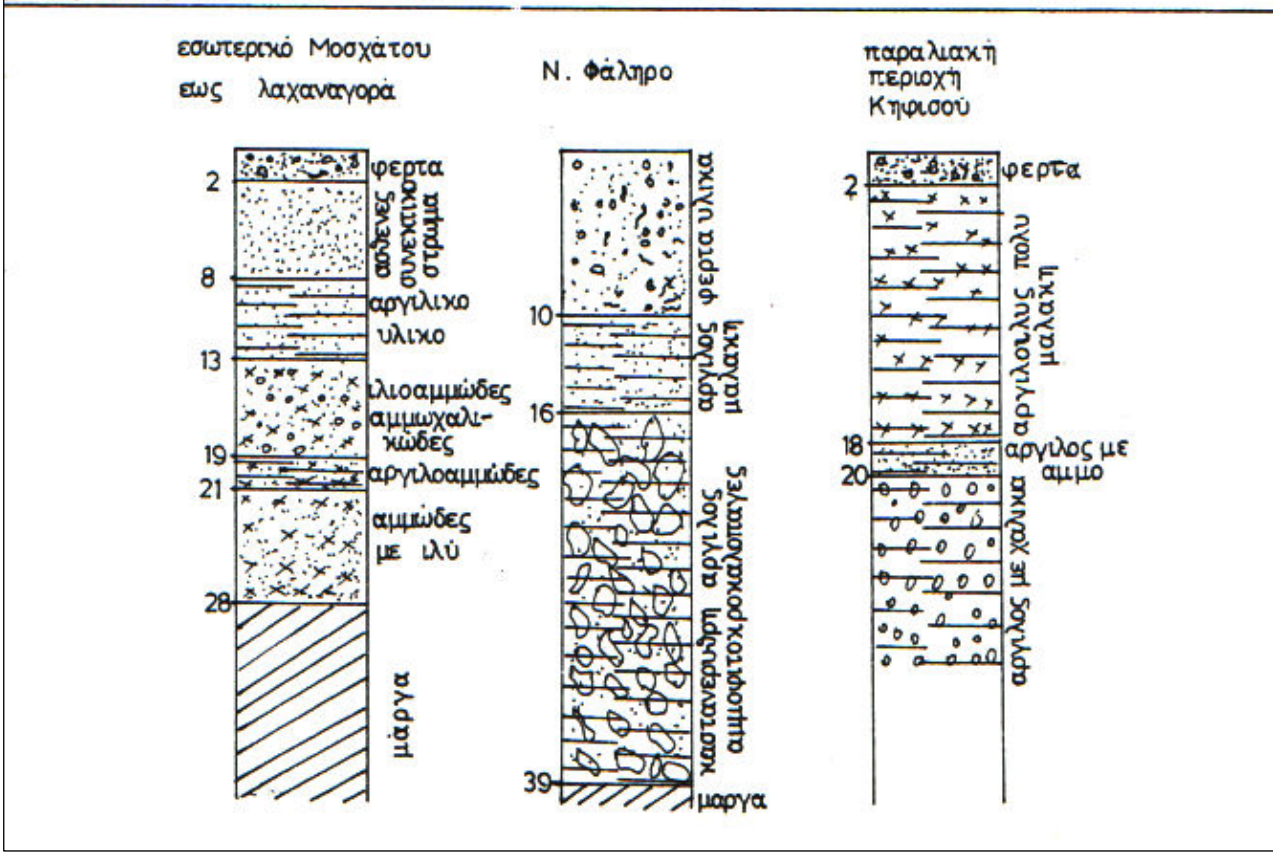
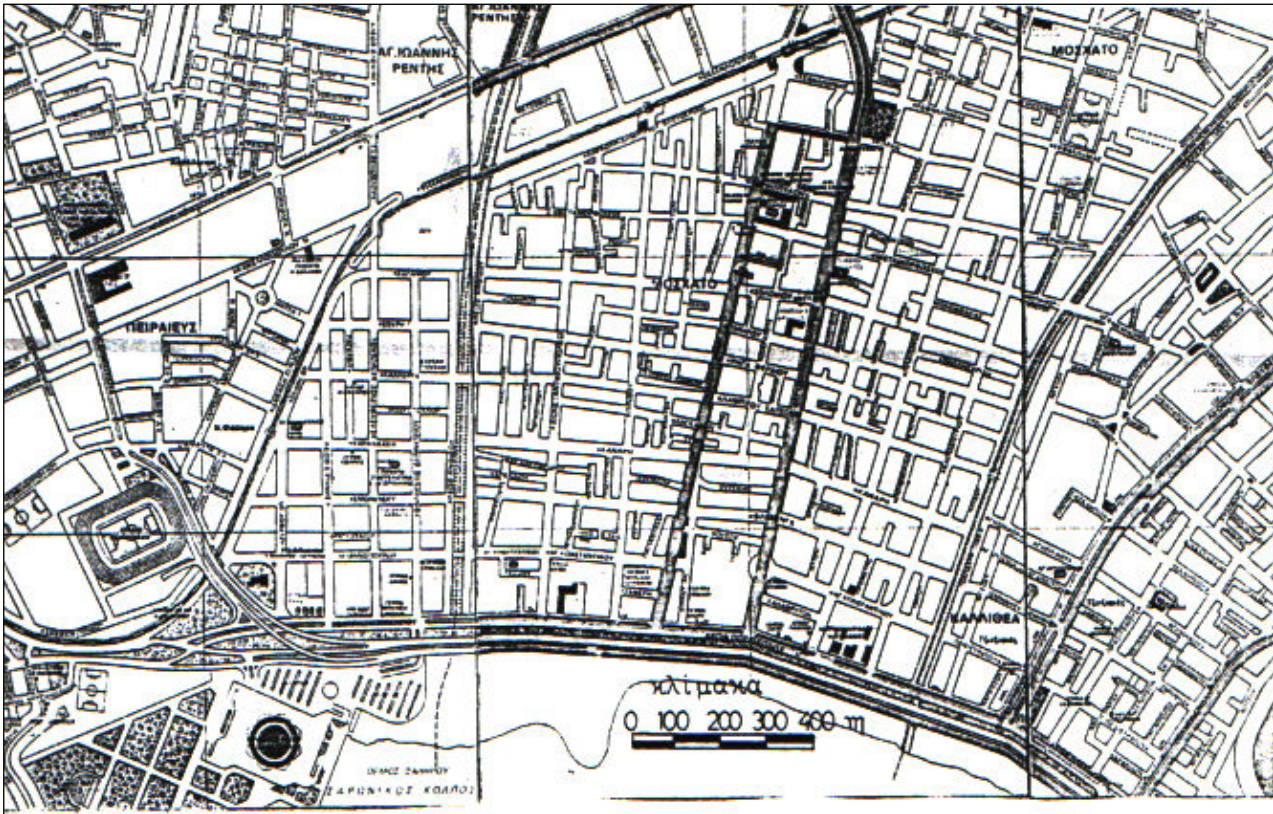
που παρατηρούνται κάτω από στατικές φορτίσεις, σε συνδυασμό με τις έντονες διαφορικές παραμορφώσεις, λόγω της ανομοιομορφίας του εδάφους, είναι δυνατό να δημιουργήσουν αυτεντάσεις στον φέροντα οργανισμό των κατασκευών, με συνέπεια την εμφάνιση τάσεων που δεν έχουν ληφθεί υπόψη κατά τη φάση μελέτης.

Στο γεωλογικό χάρτη (Χάρτης 3.1.) που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι ισοπαχείς καμπύλες και διαπιστώνεται η εξάπλωση των σχηματισμών της περιοχής, ο προσδιορισμός των οποίων στηρίζεται στις ήδη υπάρχουσες γεωτεχνικές τομές γεωτρήσεων. Στον επόμενο χάρτη (Χάρτης 3.2.), παρουσιάζονται οι γεωλογικές τομές σε τρία διαφορετικά τμήματα της περιοχής μελέτης.



Χάρτης 3.1. Ισοπαχείς καμπύλες γεωλογικών σχηματισμών στην περιοχή μελέτης [24]

Map 3.1. Contours of equal depth of the geological constructions of the study area [24]



Χάρτης 3.2. Γεωλογικές τομές στην περιοχή μελέτης [24]

Map 3.2. Geological sections of the study area [24]

3.3. Υδρολογικά Στοιχεία

Τα στοιχεία που συνθέτουν το υδρολογικό υπόβαθρο του ευρύτερου χώρου της περιοχής μελέτης είναι τα δύο ποτάμια που εκβάλλουν σε αυτή, δηλαδή ο ποταμός Κηφισός και ο ποταμός Ιλισός.

Ο Κηφισός ποταμός είναι ο κύριος αποδέκτης των βρόχινων νερών του Λεκανοπεδίου Αττικής ενώ η λεκάνη απορροής του, συνολικής επιφάνειας 371 km², καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του. Πηγάζει κυρίως, από την Πάρνηθα και την Πεντέλη, συλλέγει όμως, ύδατα και από το όρος Αιγάλεω, από μέρος του Υμηττού καθώς και από τους λόφους της Αθήνας, όπως ο Λυκαβηττός και η Ακρόπολη. Το μήκος του κύριου κλάδου του Κηφισού, ο οποίος έχει μια γενική κατεύθυνση από βορρά προς νότο, είναι περίπου 21.5 χιλιόμετρα από το ανάντη όριο της κοίτης του, που βρίσκεται στο Κρουονέρι, μέχρι το σημείο εκβολής του στη θάλασσα, στη περιοχή του Νέου Φαλήρου. Στην πορεία του, ο Κηφισός είναι αποδέκτης της παροχής ενός σημαντικού αριθμού συμβαλλόντων κλάδων και έτσι, το συνολικό μήκος των πολλών παραχειμμάτων του υπερβαίνει τα 150 χιλιόμετρα. Η μέση κατά μήκος κλίση του ανέρχεται σε περίπου 1%.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ανθρώπινες επεμβάσεις τείνουν να μεταβάλουν τα όρια της φυσικής λεκάνης απορροής του Κηφισού, είτε με την εκτροπή υδάτων άλλων λεκανών προς αυτήν όπως, μερική εκτροπή Ιλισού, συλλεκτήρας υψηλής περιοχής Μοσχάτου, Καλλιθέας, Νέας Σμύρνης, είτε με την εκτροπή υδάτων της λεκάνης του προς άλλες.

Ο Ιλισός ποταμός είναι επίσης, αποδέκτης της παροχής πληθώρας συμβαλλόντων σε αυτόν κλάδων. Η λεκάνη απορροής του, η οποία αναπτύσσεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του Λεκανοπεδίου, εκτείνεται σε μια επιφάνεια 48.50 km² ενώ ο κύριος κλάδος του ποταμού έχει γενική κατεύθυνση από βορειοανατολικά προς νοτιοδυτικά. Το μήκος του αναπτύγματός του είναι 12 χιλιόμετρα και η μέση κατά μήκος κλίση του 1.7%.

Οι κλάδοι που συμβάλλουν στον ποταμό Ιλισό έχουν τη μορφή κλειστών αγωγών διαφόρων διατομών, οι οποίοι είτε αποχετεύουν αστικές αποκλειστικά λεκάνες, είτε αποτελούν τους αποδέκτες ρεμάτων που πηγάζουν κυρίως από την πλευρά του Υμηττού. [25]

3.4. Διαχρονική Εξέλιξη των Επιφανειακών Μετακινήσεων στην Περιοχή

Τα μεγάλα τεχνικά έργα, όπως τα στάδια, οι γέφυρες και τα φράγματα, αποτελούν σημαντικές παρεμβάσεις στην επιφάνεια του εδάφους και επηρεάζουν άμεσα την κινηματική συμπεριφορά της ευρύτερης περιοχής. Οι μεταβολές των φορτίων στην επιφάνεια του εδάφους, οι εκσκαφές και οι επιχωματώσεις, έχουν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία καθιζήσεων ή ανυψώσεων της εδαφικής μάζας. Για το λόγο αυτό, ο έλεγχος των μετακινήσεων στα έργα αυτά καθώς, και της εγγύτερης περιοχής που τα περιβάλλει, είναι απαραίτητο να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Κατά αυτόν τον τρόπο, παρακολουθείται συστηματικά η κινηματική συμπεριφορά τόσο των έργων όσο και της επιφάνειας του εδάφους, στο οποίο αυτά είναι θεμελιωμένα, έτσι ώστε να αποφευχθούν τυχόν αστοχίες, που συνεπάγονται οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες.

Το Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας εγκαινιάστηκε το Φεβρουάριο του 1985. Από το Σεπτέμβριο του ίδιου χρόνου, ανατέθηκαν από το Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας μία σειρά διπλωματικών εργασιών με σκοπό την παρακολούθηση των μετακινήσεων των φερόντων στοιχείων του Σταδίου, επειδή σαν κατασκευή και θεμελίωση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς και των επιφανειακών μετακινήσεων στην ευρύτερη περιοχή του.

Το Μάρτιο του 2002, ιδρύθηκε, για πρώτη φορά στην περιοχή μελέτης, δίκτυο GPS (Παγκόσμιο Σύστημα Δορυφορικού Εντοπισμού) με επτά κορυφές, με σκοπό τη διαχρονική παρακολούθηση των επιφανειακών μετακινήσεων με τη δορυφορική αυτή μέθοδο. Το δίκτυο αυτό μετρήθηκε με τη μέθοδο του Σχετικού Στατικού Εντοπισμού ενώ παράλληλα, οι κορυφές του συνδέθηκαν με υπάρχουσες γειτονικές υψομετρικές αφετηρίες με Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση. Ως σημείο αναφοράς του δικτύου θεωρήθηκε το σημείο «Καστέλα», το οποίο βρίσκεται εκτός των ορίων της περιοχής μελέτης και θεωρείται σταθερό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ GPS

4.1. Γενικά

Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (*GPS*) είναι ένα δορυφορικό σύστημα, το οποίο εξασφαλίζει συνεχή, παγκόσμια και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες, πλοήγηση σε απεριόριστο αριθμό χρηστών.

Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου στο χώρο με χρήση του συστήματος GPS μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους, τον απόλυτο και το σχετικό εντοπισμό ενώ οι τεχνικές εντοπισμού, που μπορούν να εφαρμοστούν στο πεδίο, ποικίλουν και διαφέρουν κυρίως, ως προς την ακρίβεια που επιτυγχάνεται και το χρονικό διάστημα των μετρήσεων στο σημείο που πρόκειται να προσδιοριστεί.

Ανεξαρτήτως της μεθόδου εντοπισμού που θα εφαρμοστεί, οι παρατηρήσεις με το σύστημα GPS επηρεάζονται από σφάλματα, τα οποία οφείλονται στους δορυφόρους, τους δέκτες και τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας. Το συνδυασμένο τους μέγεθος, όπως και η ταχύτητα με την οποία κινείται ο δέκτης και η ύπαρξη φυσικών εμποδίων, τα οποία διακόπτουν το εκπεμπόμενο σήμα, μπορεί να μεταβάλλουν σημαντικά την ακρίβεια εντοπισμού.

Το σύστημα GPS χρησιμοποιείται σήμερα, ευρύτερα για τον προσδιορισμό του γεωειδούς και του υψομετρικού υποβάθρου μίας περιοχής καθώς και για εργασίες παρακολούθησης μετακινήσεων του εδάφους μεγάλης ακρίβειας. Η υψομετρία με το σύστημα GPS μπορεί να δώσει ικανοποιητική ακρίβεια στα γεωμετρικά υψόμετρα ενώ σαν μέθοδος είναι αρκετά πιο οικονομική σε σχέση με τις ακριβέστερες επίγειες μεθόδους υψομετρίας. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η ακρίβεια των ορθομετρικών υψομέτρων με το σύστημα GPS εξαρτάται από την ακρίβεια στον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων και της αποχής του γεωειδούς. Αντίθετα, τα ορθομετρικά

υψόμετρα προκύπτουν άμεσα με τις επίγειες μεθόδους υψομετρίας. Οι τύποι των δεκτών GPS, που χρησιμοποιούνται σήμερα, συνδυάζουν το κόστος και την απόδοση και ποικίλουν ανάλογα με τις ανάγκες των εφαρμογών και τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη.

4.2. Το Σύστημα GPS

Το σύστημα GPS (*Global Positioning System*) ή αλλιώς Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα, που δημιουργήθηκε από το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών για αυστηρά στρατιωτική χρήση. Από την απελευθέρωση της χρήσης του (1983), το GPS χρησιμοποιείται ευρέως τόσο για την παγκόσμια πλοήγηση όσο και για γεωδαιτικούς, χαρτογραφικούς, τοπογραφικούς και άλλους επιστημονικούς και κοινωνικούς σκοπούς. Βασίζεται σε ένα δίκτυο από 24 δορυφόρους, τοποθετημένους σε έξι τροχιακά επίπεδα, μεσαίου ύψους γύρω από τη Γη, οι οποίοι κινούνται σε σχεδόν κυκλικές τροχιές με ακτίνα 26.560 km και τροχιακή περίοδο 11h 58min. Αξίζει να σημειωθεί ότι από το Μάρτιο του 2008, υπάρχουν 32 ενεργοί δορυφόροι, οι οποίοι βελτίωσαν την ακρίβεια των υπολογισμών των δεκτών GPS παρέχοντας πλεονάζουσες παρατηρήσεις. Οι δορυφόροι εκπέμπουν μεγάλης ακρίβειας σήματα και κωδικοποιημένες πληροφορίες στην περιοχή των μικροκυμάτων και έτσι, εξασφαλίζεται συνεχής, παγκόσμια και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες, πλοήγηση (τρισδιάστατη θέση, ταχύτητα, χρόνο) σε απεριόριστο αριθμό χρηστών, οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με ένα κατάλληλο δέκτη για τη λήψη των δορυφορικών σημάτων.

Ένας δέκτης GPS υπολογίζει τη θέση του μετρώντας την απόσταση μεταξύ αυτού και τουλάχιστον τεσσάρων ή περισσότερων ορατών δορυφόρων του συστήματος. Κάθε δορυφόρος, στο βασικό του εξοπλισμό του, διαθέτει τέσσερα ατομικά χρονόμετρα υψηλής σταθερότητας και εκπέμπει συνεχώς μηνύματα που περιέχουν τον ακριβή χρόνο, τη θέση του δορυφόρου (*ephemeris*) και τη γενική κατάσταση του συστήματος (*almanac*). Ο δέκτης χρησιμοποιώντας το δικό του χρονόμετρο μετράει τη χρονική στιγμή που το σήμα έφτασε σε αυτόν και προσδιορίζει το χρονικό διάστημα που αυτό «ταξίδευε» στο κενό και στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας. Με τη γνωστή μέθοδο της γεωδαιτικής οπισθοτομίας και δεδομένου ότι το σήμα ταξιδεύει με γνωστή ταχύτητα, προκύπτει η απόσταση του δορυφόρου από κάθε δέκτη [18]. Αυτές οι ταυτόχρονες μετρήσεις αποστάσεων

χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης με μια τυπική ακρίβεια στιγμιαίου εντοπισμού καλύτερη των 10 m ενώ στις γεωδαιτικές εφαρμογές, η ακρίβεια μπορεί να βελτιωθεί περισσότερο χρησιμοποιώντας τη φάση του φέροντος κύματος, που δίνουν ακρίβειες της τάξης του 1 ppm (έως και 0.1 ppm) στον προσδιορισμό γραμμών βάσης ενός χιλιομέτρου έως δεκάδων χιλιομέτρων [27].

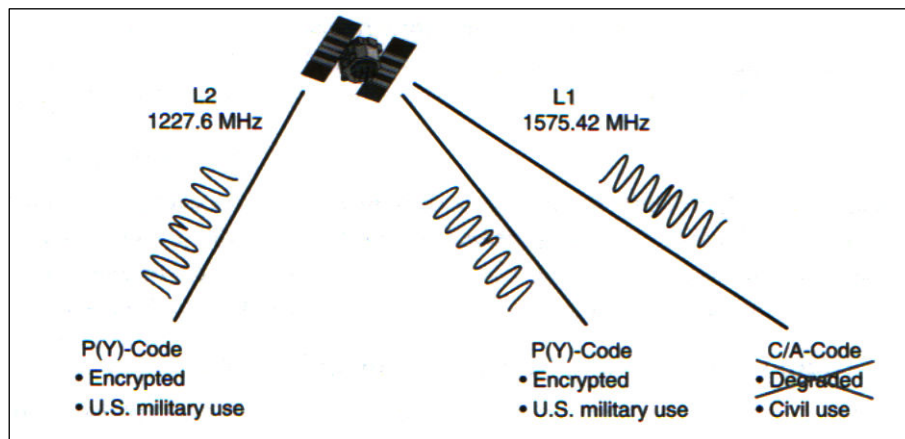
Το σύστημα εντοπισμού θέσης GPS αποτελείται από τρία βασικά λειτουργικά μέρη. Το πρώτο μέρος είναι το διαστημικό τμήμα του συστήματος, που περιλαμβάνει σήμερα, 32 συνολικά ενεργούς δορυφόρους τοποθετημένους σε τέτοια διάταξη, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη κάλυψη της γήινης επιφάνειας και να εξαλειφθούν οι περιοχές με μειωμένη κάλυψη ή πολύ κακή γεωμετρία. Το δεύτερο μέρος είναι το επίγειο τμήμα ελέγχου, το οποίο παρακολουθεί, ενημερώνει και ελέγχει το λειτουργικό τμήμα διαστήματος με πέντε απομακρυσμένους σταθμούς παρακολούθησης, τέσσερις σταθμούς επικοινωνίας (*Monitor Station*) και ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου (*Master Control Station*). Τέλος, το τμήμα χρηστών, που παρακολουθεί τα σήματα των δορυφόρων, απαρτίζεται από τους χιλιάδες χρήστες των δεκτών GPS παγκοσμίως, που μπορούν να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες του συστήματος για ναυσιπλοΐα, γεωδαισία ή άλλες χρήσεις [27].



Εικόνα 4.1. Δορυφόρος GPS σε τροχιά

Figure 4.1. GPS satellite in track

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε δορυφόρος εκπέμπει το σήμα πλοήγησής του κατ' ελάχιστο σε δύο διακριτούς κώδικες φάσματος τον C/A κώδικα (*Coarse/Acquisition*), ο οποίος είναι ελεύθερα διαθέσιμος σε κάθε χρήστη, και τον P κώδικα (*Precise*), ο οποίος παρέχει ακρίβεια δέκα φορές μεγαλύτερη από τον προηγούμενο, συνήθως είναι κρυπτογραφημένος και χρησιμοποιείται για στρατιωτική χρήση. Επιπροσθέτως, κάθε δορυφόρος του συστήματος GPS μεταδίδει ένα μοναδικό σήμα που διαμορφώνεται πάνω σε φέρουσες συχνότητες στην περιοχή L του φάσματος των μικροκυμάτων, την $L1 = 1575.42$ MHz και την $L2 = 1227.60$ MHz, ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση της ιονοσφαιρικής διάθλασης [10].



Εικόνα 4.2. Τα σήματα GPS

Figure 4.2. GPS signals

4.2.1. Μέθοδοι εντοπισμού με το σύστημα GPS

Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου στο χώρο με χρήση του συστήματος GPS μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους, τον απόλυτο και το σχετικό εντοπισμό.

Ο απόλυτος εντοπισμός αναφέρεται στον προσδιορισμό των συντεταγμένων ενός σημείου με τη χρήση ενός μόνο δέκτη GPS. Ο δέκτης αυτός μετράει ταυτόχρονα ψευδοαποστάσεις από τουλάχιστον τέσσερις ορατούς δορυφόρους, χρησιμοποιώντας τον εκπεμπόμενο κώδικα, έτσι ώστε η τέταρτη μέτρηση να δώσει τα σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη ως προς τα

ατομικά χρονόμετρα των δορυφόρων. Περισσότερες από τέσσερις παρατηρήσεις επιτρέπουν τον προσδιορισμό των τεσσάρων αγνώστων με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Το αποτέλεσμα του απόλυτου εντοπισμού είναι ουσιαστικά το διάνυσμα από το κέντρο της Γης μέχρι τον παρατηρητή και η παρεχόμενη ακρίβεια είναι της τάξης των 100 m, λόγω κυρίως της επιλεκτικής διαθεσιμότητας, ανεξαρτήτως της ποιότητας και του κόστους του δέκτη.

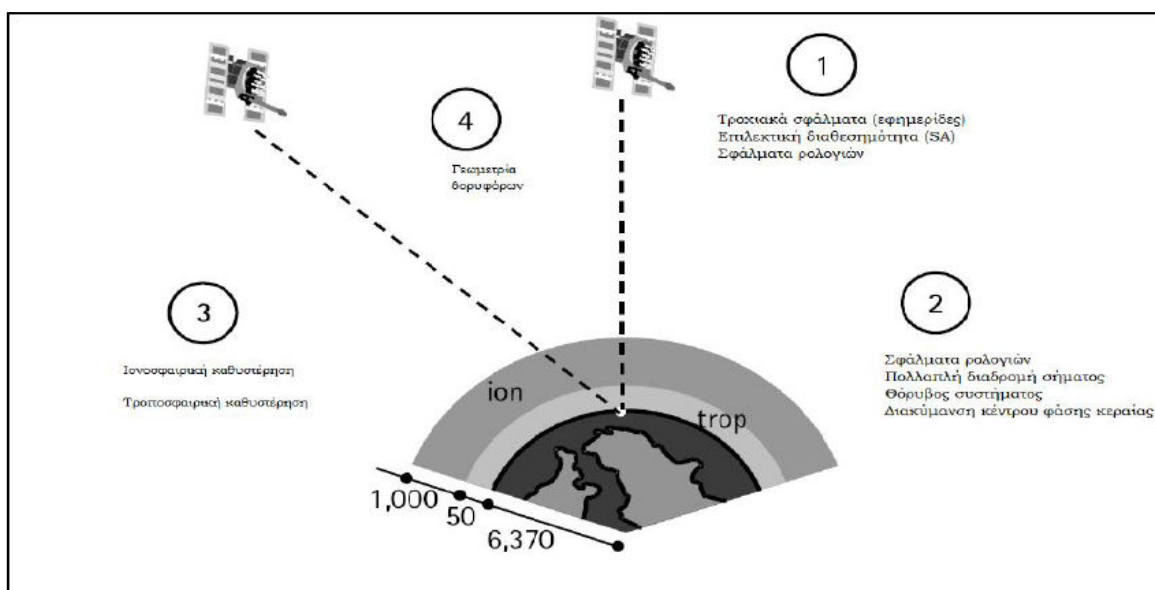
Ο σχετικός εντοπισμός αφορά τον προσδιορισμό της θέσης ενός ή περισσότερων δεκτών ως προς ένα δέκτη (σταθμό αναφοράς), που θεωρείται ότι βρίσκεται σε σημείο γνωστών συντεταγμένων. Στην περίπτωση αυτή, όλοι οι δέκτες παρακολουθούν ταυτόχρονα τους ίδιους δορυφόρους συνεπώς, η επίδραση των περισσοτέρων σφαλμάτων (δορυφόρων, δεκτών, ατμοσφαιρικών επιδράσεων) είναι κοινή και έτσι, το διάνυσμα της σχετικής θέσης είναι απαλλαγμένο, σε μεγάλο ποσοστό από τα σφάλματα αυτά, ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των δεκτών. Το αποτέλεσμα αυτού του εντοπισμού είναι τα διανύσματα μεταξύ του σταθμού αναφοράς και των άλλων δεκτών, ενώ οι συντεταγμένες των σημείων προσδιορίζονται αν προστεθούν οι συνιστώσες κάθε διανύσματος στις συντεταγμένες του σταθμού αναφοράς. Με τις εφαρμογές του σχετικού εντοπισμού είναι δυνατό να προκύψουν ακρίβειες προσδιορισμού του διανύσματος ανάμεσα στους δύο δέκτες της τάξης $\pm (5 \div 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ [28].

Επίσης, ανάλογα με την τεχνική που εφαρμόζεται στο πεδίο, ο εντοπισμός διακρίνεται σε:

- **Στατικό Εντοπισμό**
- **Ταχύ Στατικό**
- **Ψευδο-κινηματικό**
- **Κινηματικό εντοπισμό**
- **Εντοπισμό με τη χρήση εικονικών σταθμών**
- **Διαφορικός εντοπισμός (Differential GPS – DGPS)**

4.2.2. Πηγές σφαλμάτων με το σύστημα GPS

Όλες οι παρατηρήσεις με το σύστημα GPS, ανεξαρτήτως της μεθόδου εντοπισμού που θα εφαρμοστεί, επηρεάζονται από σφάλματα και το συνδυασμένο τους μέγεθος μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά την ακρίβεια εντοπισμού. Γενικά, τα σφάλματα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ομάδες, ανάλογα από την πηγή από την οποία προέρχονται.



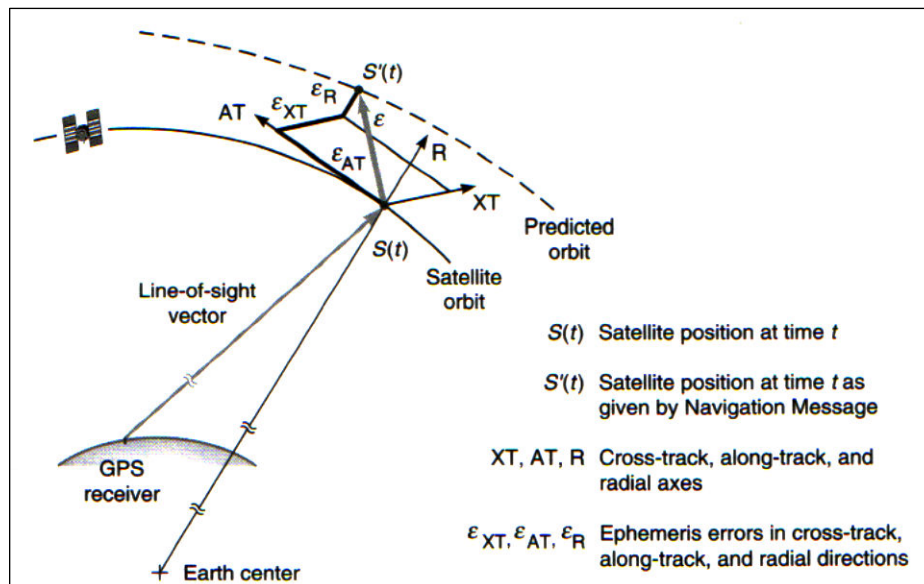
Εικόνα 4.3. Τα σφάλματα του συστήματος GPS

Figure 4.3. GPS errors

➤ Σφάλματα που οφείλονται στους δορυφόρους

Η κυριότερη πηγή σφάλματος στον εντοπισμό με το σύστημα GPS είναι η **εκπεμπόμενη εφημερίδα** (τροχιά) του δορυφόρου. Αυτά τα σφάλματα εκφράζουν τις διαφορές μεταξύ της πραγματικής θέσης του δορυφόρου και της υπολογισμένης από τα τροχιακά στοιχεία που εκπέμπει ο δορυφόρος και η οποία βασίζεται σε πρόβλεψη της τροχιάς. Συνήθως, τα σφάλματα αυτά είναι μικρότερα από 3 m, αλλά με την επιβολή της επιλεκτικότητας διαθεσιμότητας μπορεί να αυξηθούν πολύ περισσότερο. Μικρές αποκλίσεις από την τροχιά του κάθε δορυφόρου μετρώνται και διορθώνονται συνέχεια από τους σταθμούς ελέγχου. Αυτές οι διορθώσεις στέλνονται στους δορυφόρους και στη συνέχεια, μεταδίδονται μαζί με το σήμα που στέλνεται στο δέκτη. Λόγω της

αβεβαιότητας των μοντέλων για τις δυνάμεις που επιδρούν στο δορυφόρο, και κυρίως, του πεδίου βαρύτητας της γης και της πίεσης της ηλιακής ακτινοβολίας, η προβλεπόμενη τροχιά διαφέρει αρκετά από την πραγματική συνήθως, 10 με 15 m περίπου.



Εικόνα 4.4. Το σφάλμα της εφημερίδας. Συνίσταται από το διαμήκες ίχνος (AT), το εγκάρσιο ίχνος (XT) και τις ακτινικές διευθύνσεις (R). Το ακτινικό διάνυσμα είναι η βασική πηγή σφάλματος στο σύνολο των παρατηρήσεων. Τα διανύσματα των σφαλμάτων του διαμήκους και εγκάρσιου ίχνους κατά μήκος της γραμμής σκόπευσης είναι μικρά. [4]

Figure 4.4. Ephemeris error components in the along-track (AT), cross-track (XT) and radial (R) directions. The radial component is the principal source of error in the range measurement. The components of the along-track and cross-track errors along the line of sight are small. [4]

Μία δεύτερη σημαντική πηγή σφαλμάτων είναι η συμπεριφορά των **χρονομέτρων των δορυφόρων**, ακόμα κι αν ελέγχονται συνεχώς, δεδομένου ότι η μέτρηση της απόστασης βασίζεται στον πολύ καλό συγχρονισμό τους με τα χρονόμετρα των δεκτών. Τα σφάλματα αυτά εκφράζουν τις διαφορές μεταξύ της πραγματικής πορείας του χρονομέτρου του δορυφόρου και της προβλεπόμενης, η οποία προσδιορίζεται από προηγούμενες μετρήσεις προς τους δορυφόρους.

Σημαντικός επίσης, παράγοντας σφάλματος είναι και η **γεωμετρία των δορυφόρων** σε σχέση με τους δέκτες, η οποία αλλάζει συνεχώς λόγω της

κίνησης των δορυφόρων. Πιο συγκεκριμένα, η καλύτερη γεωμετρία είναι όταν οι δορυφόροι στον ουράνιο θόλο σχηματίζουν τη μορφή τετραέδρου με μεγάλες εσωτερικές γωνίες.

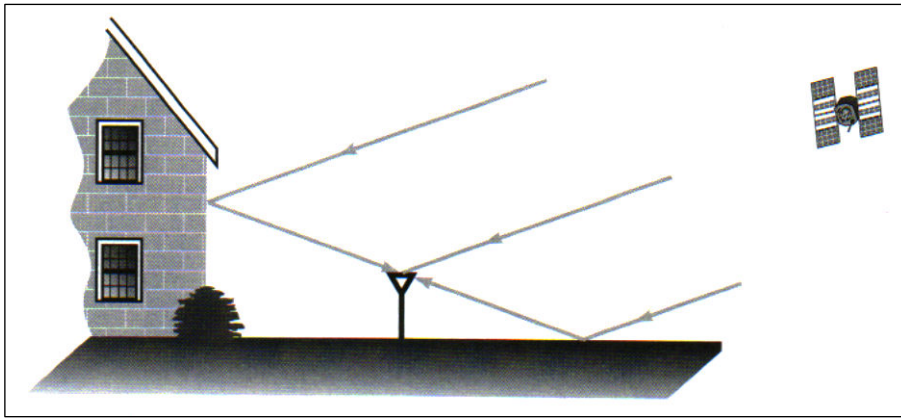
Μία τελευταία κατηγορία σφαλμάτων των δορυφόρων είναι τα σφάλματα της **επιλεκτικής διαθεσιμότητας**. Για παράδειγμα, τα σφάλματα που εισάγονται στη μέτρηση της ψευδοαπόστασης, με την εισαγωγή θορύβου στο εκπεμπόμενο σήμα, είναι της τάξης των 30 m. [19, 27]

➤ **Σφάλματα που οφείλονται στους δέκτες**

Μία σημαντική πηγή σφαλμάτων είναι η συμπεριφορά των **χρονομέτρων των δεκτών**. Το μέγεθος του σφάλματος του χρονομέτρου εξαρτάται από την ποιότητα του ταλαντωτή του δέκτη και λόγω της μεταβολής του, αντιμετωπίζεται ως άγνωστη ποσότητα δηλαδή, αποτελεί τον τέταρτο άγνωστο κατά την επίλυση των βάσεων για τον προσδιορισμό της τρισδιάστατης θέσης.

Τα σφάλματα που εισάγουν τα **ηλεκτρονικά κυκλώματα του δέκτη** έχουν μέγεθος της τάξης του 1% του μήκους κύματος της μέτρησης για δέκτες σχετικά υψηλής ποιότητας. Το μέγεθός τους είναι της τάξης των 3 m για μέτρηση ψευδοαποστάσεων στον κώδικα C/A και των 30 cm για μέτρηση ψευδοαποστάσεων στον κώδικα P.

Μία τρίτη πηγή σφαλμάτων είναι τα σφάλματα **πολλαπλών ηλεκτρονικών διαδρομών**, τα οποία οφείλονται σε πολλαπλές ηλεκτρονικές διαδρομές, λόγω της ανάκλασης του σήματος σε διάφορες επιφάνειες πριν φτάσει στο δέκτη (*multipath*). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται η μέτρηση και στο ανακλώμενο σήμα, αντί μόνο σε αυτό που έρχεται κατ' ευθείαν από το δορυφόρο. Η επίδραση των σφαλμάτων αυτών μπορεί να περιορισθεί σημαντικά με σωστή επιλογή της θέσης όπου θα τοποθετηθεί η κεραία του δέκτη. [19, 27]



Εικόνα 4.5. Πολλαπλές διαδρομές: Το σήμα μπορεί να φτάσει σε μία κεραία ακολουθώντας περισσότερες από μία διαδρομές. Το ανακλώμενο σήμα είναι καθυστερούμενο και συνήθως, πιο αδύναμο απ' ό,τι το απ' ευθείας σήμα. [4]

Figure 4.5. Multipath: The signal may reach an antenna via more than one path. A reflected signal is a delayed and usually weaker version of the direct signal. [4]

➤ Σφάλματα που οφείλονται στις επιδράσεις της ατμόσφαιρας

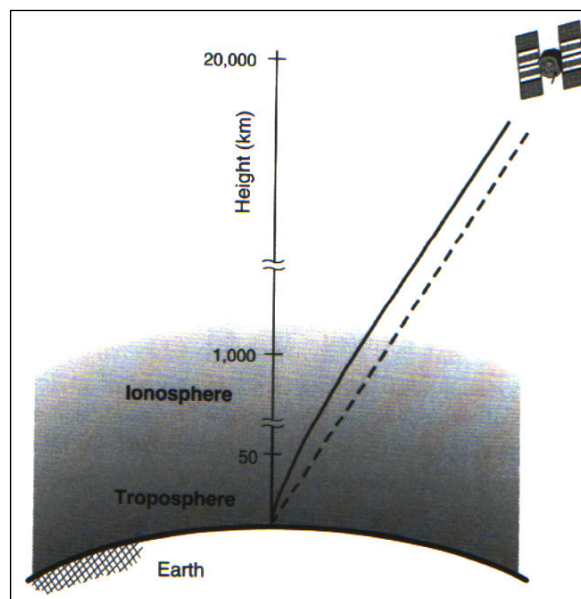
Το εκπεμπόμενο σήμα διαθλάται καθώς αυτό διαδίδεται από τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα, από 0 – 40 km, ιονόσφαιρα από 40 -400 km). Απόρροια αυτού είναι η ύπαρξη δύο πηγών σφαλμάτων, η ιονοσφαιρική και τροποσφαιρική καθυστέρηση.

Πιο συγκεκριμένα, στην **ιονόσφαιρα**, τα ιονισμένα σωματίδια επηρεάζουν το σήμα καθώς το κάνουν να «αναπηδά δεξιά και αριστερά», με αποτέλεσμα την επιβράδυνση της ταχύτητάς του, ιδιαίτερα τις περιόδους έντονης ηλιακής δραστηριότητας. Η καθυστέρηση διάδοσης του σήματος λόγω της επίδρασης της ιονόσφαιρας κυμαίνεται από 20 – 30 m κατά τη διάρκεια της ημέρας μέχρι 3 – 6 m κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η ιονοσφαιρική διάθλαση, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα, αντιμετωπίζεται με μετρήσεις σε δύο συχνότητες L1 και L2 (πολύ ικανοποιητικά) ή με τα ιονοσφαιρικά μοντέλα, τα οποία περιέχονται στο μήνυμα ναυσιπλοΐας (κατά προσέγγιση).

Η **τροποσφαιρική διάθλαση** είναι ανεξάρτητη της συχνότητας και εξαρτάται κυρίως, από την κατανομή της υγρασίας κατά μήκος της διαδρομής του σήματος μέσα στην τροπόσφαιρα και τα καιρικά φαινόμενα που

επικρατούν. Η καθυστέρηση διάδοσης του σήματος λόγω των χαμηλότερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας μπορεί να φτάσει τα 30 m για δορυφόρους σε χαμηλές γωνίες ύψους. Τα σφάλματα αυτά είναι αρκετά σταθερά και μπορούν να προσεγγισθούν με χρήση τροποσφαιρικών μοντέλων.

Τέλος, στα συνολικά σφάλματα του εντοπισμού συνεισφέρουν και τα **σφάλματα των μετρήσεων**, τα οποία είναι ανάλογα του μήκους κύματος του κώδικα -1% περίπου του μήκους κύματος– και είναι συνήθως, 3 m για τον κώδικα C/A και 0.3 m για τον κώδικα P. [19, 27]



Εικόνα 4.6. Η διάθλαση των σημάτων GPS στην ατμόσφαιρα της γης έχει ως αποτέλεσμα μεταβολή της ταχύτητας και της διεύθυνσης εξίσου. Αύξηση του μήκους της τροχιάς εξαιτίας της καμψής της ακτίνας του σήματος, είναι γενικά, αμελητέα. Η επίδραση όμως, στη μεταβολή της ταχύτητας μετάδοσης του σήματος είναι σημαντική. [4]

Figure 4.6. Refraction of GPS signals in the earth's atmosphere results in changes to both speed and direction. Increase in path length due to bending of the signal ray, greatly exaggerated above, is generally insignificant. The effect of the change in speed of propagation, however, is significant. [4]

Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι τα σφάλματα χρονομέτρων των δορυφόρων απαλείφονται σχεδόν πλήρως με την τεχνική του διαφορικού εντοπισμού (*DGPS*), με την προϋπόθεση ότι τόσο ο σταθμός αναφοράς όσο και ο κινητός σταθμός χρησιμοποιούν τα ίδια δορυφορικά δεδομένα. Το ίδιο

ισχύει και για τα σφάλματα των εκπεμπόμενων εφημερίδων, με την προϋπόθεση ότι αυτά είναι μικρότερα από 30 m. Από τα σφάλματα της επιλεκτικής διαθεσιμότητας, εκείνα που επηρεάζουν την παραγωγή του σήματος, μειώνονται με το διαφορικό εντοπισμό, αλλά οι διορθώσεις χάνουν την αξιοπιστία τους μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Είναι συνεπώς, εμφανές ότι η τεχνική του διαφορικού εντοπισμού μπορεί να μειώσει σε πολύ μεγάλο βαθμό εκείνα τα σφάλματα, τα οποία οφείλονται στο τμήμα ελέγχου, στο τμήμα διαστήματος και στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Ωστόσο, το DGPS δεν μπορεί να συνεισφέρει στην αντιμετώπιση των σφαλμάτων εκείνων που οφείλονται στο δέκτη.

4.2.3. Παρεχόμενη ακρίβεια με το σύστημα GPS

Τα σφάλματα, που περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια, επιδρούν σημαντικά στην ακρίβεια του τρισδιάστατου προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου στη φυσική γήινη επιφάνεια με το σύστημα GPS. Από αυτά, η επίδραση της γεωμετρίας των δορυφόρων και των δεκτών αποτελεί ίσως, το σημαντικότερο παράγοντα για τον προσδιορισμό της θέσης και εκφράζεται από τον δείκτη ποιότητας των παρατηρήσεων DOP (*Dilution of Precision*). Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως ο λόγος της ακρίβειας εντοπισμού (σ) προς την ακρίβεια των μετρήσεων (σ_0), δηλαδή $\sigma = \text{DOP} \cdot \sigma_0$ [29].

Πιο συγκεκριμένα, όταν γίνεται αναφορά μόνο στις τρεις συντεταγμένες (X, Y, Z) το μέτρο ακριβείας ονομάζεται PDOP (*Position Dilution of Precision*) ενώ μόνο για την οριζόντια ή κατακόρυφη θέση ισχύουν αντίστοιχα HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*) και VDOP (*Vertical Dilution of Precision*). Το μέτρο για την εκτίμηση του σφάλματος χρονομέτρου του δέκτη ονομάζεται TDOP (*Time Dilution of Precision*) και το συνολικό μέτρο που δίνει τη γεωμετρία της εκτίμησης δίνεται από το GDOP (*Geometric Dilution of Precision*), όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια:

$$\text{PDOP} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2} = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2 + \sigma_H^2}$$

$$\text{HDOP} = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}$$

$$\text{VDOP} = \sigma_H$$

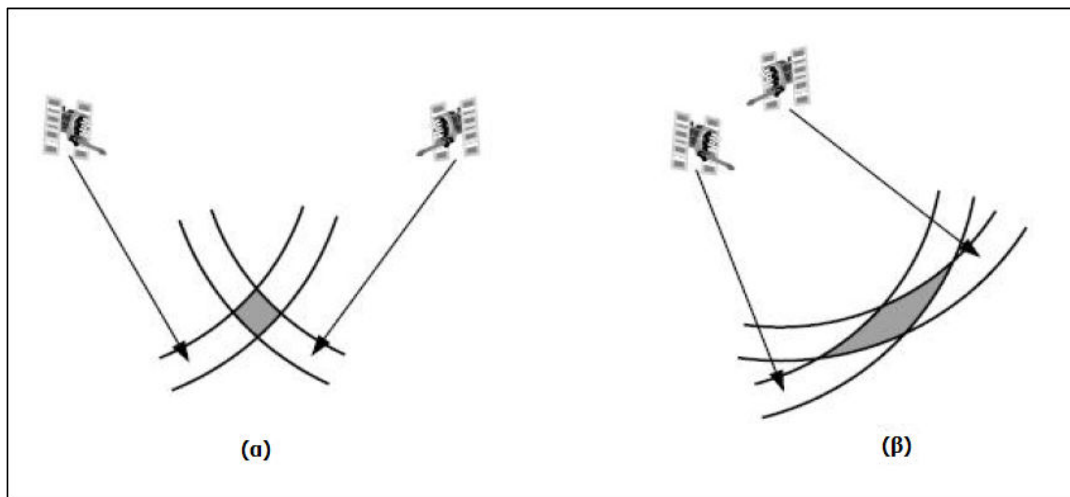
$$\text{TDOP} = \sigma_t$$

$$\text{GDOP} = \sqrt{\text{PDOP}^2 + \text{TDOP}^2}$$

Οι παραπάνω τιμές DOP προσδιορίζονται σήμερα, από τα προγράμματα που συνοδεύουν τους εκάστοτε δέκτες GPS χωρίς τη χρήση μετρήσεων, παρά μόνο με τις θέσεις των δορυφόρων από τις εκπεμπόμενες εφημερίδες και την προσεγγιστική τιμή της θέσης του δέκτη [29].

Γενικά, οι τιμές DOP μεταβάλλονται ανάλογα με τον αριθμό των δορυφόρων που παρατηρούνται στον ουράνιο θόλο τη χρονική στιγμή των μετρήσεων καθώς, και με τις παραμέτρους που σχετίζονται με αυτούς όπως, η γωνία ανύψωσης και ο αριθμός των δορυφόρων που παρεμβάλλονται στην τελική επίλυση των βάσεων.

Ειδικότερα, για τον αριθμό GDOP, αξίζει να αναφερθεί ότι εξαρτάται από το πλήθος των παρατηρούμενων δορυφόρων και τη θέση τους στον ουράνιο θόλο και σε σχέση με τη θέση του δέκτη. Μπορεί να ερμηνευθεί ως το αντίστροφο του όγκου ενός τετραέδρου που σχηματίζεται από τέσσερις δορυφόρους και τη θέση του δέκτη. Επομένως, η καλύτερη γεωμετρία θα είναι όταν ο όγκος είναι μέγιστος και άρα, η τιμή του GDOP ελάχιστη. Μία μεγάλη γωνία μεταξύ των δορυφόρων μειώνει την τιμή του GDOP και παρέχει καλύτερης ακρίβειας μετρήσεις (Εικόνα 4.8.α) ενώ αντιθέτως, μία μικρή γωνία μεταξύ των δορυφόρων αυξάνει την τιμή του GDOP και παρέχει χειρότερης ακρίβειας μετρήσεις (Εικόνα 4.8.β) [29].



Εικόνα 4.7. Γεωμετρία δορυφόρων GPS: (α) Καλή, (β) Κακή
Figure 4.7. The geometry of GPS satellites: (a) Good, (b) Bad

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, είναι προφανές ότι οι τιμές DOP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προεπιλογή των κατάλληλων δορυφόρων που θα παρατηρηθούν κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου.

Η ακρίβεια στον εντοπισμό με το σύστημα GPS εξαρτάται επίσης, από την ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινείται ο δέκτης και έτσι, για μεγάλη ταχύτητα, η ακρίβεια μειώνεται. Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη της βέλτιστης ακρίβειας κατέχει και η θέση όπου θα τοποθετηθεί ο δέκτης GPS. Πιο συγκεκριμένα, όταν βρίσκεται ανάμεσα σε ψηλά βουνά ή σε αστικό περιβάλλον, όπου υπάρχουν πολλά ψηλά κτήρια και άλλα εμπόδια, το εκπεμπόμενο σήμα δε φτάνει μέχρι την κεραία του δέκτη και συνεχώς διακόπτεται λόγω φυσικών εμποδίων με αποτέλεσμα να επηρεάζεται σημαντικά η ακρίβεια εντοπισμού.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθούν οι περιορισμοί που υπεισέρχονται στην παρεχόμενη ακρίβεια του συστήματος GPS. Είναι γνωστό ότι το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού ελέγχεται από τις Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες ανέπτυξαν και χρησιμοποιούν δύο μεθόδους περιορισμού της παρεχόμενης ακρίβειας ως προς τους χρήστες.

Η πρώτη ονομάζεται «μη εξαπάτηση» ή «μη παρεμβολή» (*Anti-Spoofing, A-S*) και αφορά τη δυνατότητα που παρέχεται στον Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου του συστήματος να μετατρέψει το γνωστό ακριβή κώδικα $P(t)$ σε έναν άγνωστο, κρυπτογραφημένο ακριβή κώδικα $Y(t)$, ώστε να αποφθεχθούν σκόπιμες παρεμβολές στο εκπεμπόμενο σήμα, απαγορεύοντας όμως, ταυτόχρονα τη χρήση του για πολιτικές εφαρμογές σε κάθε μη εξουσιοδοτημένο χρήστη.

Η δεύτερη ονομάζεται «επιλεκτική διαθεσιμότητα» (*Selective Availability*) και επιτρέπει στον Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου του συστήματος να υποβιβάσει την ακρίβεια που παρέχει ο κώδικας C/A, με εισαγωγή θορύβου στο εκπεμπόμενο σήμα και υποβάθμιση της ακρίβειας της εκπεμπόμενης τροχιάς, με αποκοπή σημαντικών ψηφίων από τις παραμέτρους που την εκφράζουν. [27]

4.2.4. Η Χρήση του GPS στην Υψομετρία

Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (*GPS*) αποτελεί ένα σύγχρονο σύστημα τρισδιάστατου προσδιορισμού θέσης σημείων με τη βοήθεια τεχνητών δορυφόρων. Εκτός από την Τοπογραφία και τη Χαρτογραφία στη στεριά, τη θάλασσα και τον αέρα, μία εξίσου χρήσιμη εφαρμογή του συστήματος αυτού είναι οι Γεωδαιτικές εφαρμογές όπως, η ίδρυση γεωδαιτικών δικτύων ελέγχου σε τοπική ή εθνική κλίμακα, ο προσδιορισμός του γεωειδούς και του υψομετρικού υποβάθρου μίας περιοχής καθώς επίσης, και οι εργασίες παρακολούθησης μετακινήσεων του εδάφους [29].

Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, το σύστημα GPS παρέχει τη θέση των μετρημένων σημείων σε καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς των δορυφόρων WGS84. Από τις γεωκεντρικές συντεταγμένες (X, Y, Z) ενός σημείου, προκύπτουν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες του (φ, λ, h) στο ελλειψοειδές που χρησιμοποιεί το σύστημα αναφοράς όπου, h ορίζεται το γεωμετρικό του υψόμετρο. Κατά αυτόν τον τρόπο, μπορούν να προσδιοριστούν γεωμετρικά υψόμετρα και γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές, από τα οποία μπορούν να προκύψουν τα

ορθομετρικά υψόμετρα H , εάν είναι γνωστή η αποχή N του γεωειδούς στα αντίστοιχα σημεία από κάποιο μοντέλο γεωειδούς της περιοχής μελέτης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$h = H + N \quad (4.1)$$

Γενικά, η ακρίβεια προσδιορισμού της τρίτης διάστασης είναι περίπου δύο με τρεις φορές χειρότερη απ' ότι ο οριζοντιογραφικός προσδιορισμός ενός σημείου. Η αναμενόμενη ακρίβεια στον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων και των υψομετρικών διαφορών μπορεί να φτάσει τα μερικά εκατοστά ενώ η ακρίβεια των υπολογισμένων ορθομετρικών υψομέτρων και των υψομετρικών διαφορών εξαρτάται τόσο από την ακρίβεια προσδιορισμού των γεωμετρικών υψομέτρων h όσο και από την ακρίβεια προσδιορισμού της αποχής N του γεωειδούς [12].

Η υψομετρία με το σύστημα GPS μπορεί να δώσει ικανοποιητική ακρίβεια για βάσεις μεγάλου μήκους ενώ σαν μέθοδος είναι αρκετά πιο οικονομική, λιγότερο χρονοβόρα και κουραστική σε σχέση με τις ακριβέστερες επίγειες μεθόδους υψομετρίας. Συνεπώς, ο συνδυασμός των συμβατικών μεθόδων και των παρατηρήσεων GPS παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου της ακρίβειας των δικτύων ελέγχου, προκειμένου να εξαχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα για τις επιφανειακές μετακινήσεις του εδάφους.

4.3. Περιγραφή δεκτών GPS και παρελκομένων

Κατά κανόνα, οι περισσότεροι δέκτες, που διατίθενται σήμερα στην αγορά, προσφέρουν ένα ιδανικό συνδυασμό κόστους και απόδοσης, ενώ ο μεγάλος αριθμός διαθέσιμων τύπων και μοντέλων επιτρέπει πολλά περιθώρια επιλογής, ανάλογα με τις ανάγκες των εφαρμογών και τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη. Η τελική επιλογή του δέκτη, που χρησιμοποιήθηκε για τη διεκπεραίωση των μετρήσεων του συγκεκριμένου δικτύου GPS, βασίστηκε τόσο στα τεχνικά χαρακτηριστικά του όσο και στο είδος του εντοπισμού που εφαρμόστηκε, προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Πιο αναλυτικά, επιλέχθηκε το σύστημα Trimble 5800, το οποίο έχει τη δυνατότητα μέτρησης στις συχνότητες L1 και L2 του συστήματος GPS και ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ότι ενσωματώνει το δέκτη GPS, το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας καθώς και τις κεραίες αυτών σε μία συμπαγή και ελαφριά συσκευή βάρους 1.21 Kgr. Ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εργασίας, το σύστημα Trimble 5800 μπορεί να διαμορφωθεί ως σταθερός (*base*) ή ως κινητός (*rover*) δέκτης GPS, του οποίου το συνολικό βάρος μαζί με το στυλαίο, το χειριστήριο και την μπαταρία είναι μόλις 3.67 Kgr. Κάθε δέκτης διαθέτει εσωτερική μνήμη 2 MB, παρέχοντας εύκολη και επαρκή συλλογή δεδομένων τόσο στο σχετικό όσο και στον κινηματικό εντοπισμό. Επίσης, παρέχει συνολικά 24 ηλεκτρονικά κυκλώματα (κανάλια) διπλής συχνότητας, που το καθένα μπορεί να παρακολουθεί αδιάλειπτα το σήμα από ένα συγκεκριμένο δορυφόρο, και υποστηρίζει τη δυνατότητα επικοινωνίας μέσω UHF, GSM και GPRS για την λήψη διορθώσεων Κινηματικού Εντοπισμού Πραγματικού Χρόνου (*RTK*). Τέλος, παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα εφαρμογής των παρακάτω μεθόδων εντοπισμού με τις αντίστοιχες ακρίβειες:

- Γρήγορου στατικού εντοπισμού (*Fast Static*)
 - Οριζοντιογραφική ακρίβεια: $\pm (5 \text{ mm} + 0.5\text{ppm}) \text{ RMS}$
 - Υψομετρική ακρίβεια: $\pm (5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}) \text{ RMS}$

- Κινηματικού εντοπισμού (*PPK*)
 - Οριζοντιογραφική ακρίβεια: $\pm (10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}) \text{ RMS}$
 - Υψομετρική ακρίβεια: $\pm (20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}) \text{ RMS}$
- Κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (*RTK*)
 - Οριζοντιογραφική ακρίβεια: $\pm (10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}) \text{ RMS}$
 - Υψομετρική ακρίβεια: $\pm (20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}) \text{ RMS}$

Το σύστημα Trimble 5800 συνοδεύεται και από τη χρήση των ανάλογων παρελκομένων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν:

- Δύο τρίποδες βαριάς κατασκευής με επίπεδη κεφαλή
- Δύο τρικόχλια με οπτική κέντρωση
- Δύο σύνδεσμοι για τοποθέτηση σε τρικόχλιο
- Δύο μεταλλικές μετροταινίες, μέγιστου μήκους 2m
- Δύο φορητοί ασύρματοι πομποδέκτες (ICOM)
- Δύο μπαταρίες (Li-Ion) και ένας φορτιστής για κάθε δέκτη.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ενός συστήματος GPS, σε σύγκριση με τις επίγειες μεθόδους που χρησιμοποιούνται, αφορούν κυρίως, τη δυνατότητα χρήσης καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, σε κοινό σύστημα αναφοράς (WGS84), και πολλαπλών μετρήσεων ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών, που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, μέσα από μία απλή διαδικασία με μικρή διάρκεια παραμονής στο πεδίο. Επιπροσθέτως, δεν απαιτεί αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σημείων παρατήρησης και μπορεί να προσδιορίσει απ' ευθείας τη θέση ενός σημείου με καλή ακρίβεια σε ολόκληρη την επιφάνεια της γης σε καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z). Οι δέκτες Trimble 5800 έχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης λήψης σημάτων από το αντίστοιχο σύστημα εντοπισμού θέσης GLONASS, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχει πλεονασμός μετρήσεων, αφού ο συνολικός αριθμός των δορυφόρων από τα δύο συστήματα (GPS και GLONASS), που είναι ορατοί στα σημεία μέτρησης, είναι μεγαλύτερος από ότι αν παρατηρούσε μόνο GPS δορυφόρους, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στην τελική λύση. Εξίσου αξιοσημείωτο θεωρείται και το γεγονός ότι παρέχει τη δυνατότητα συνεργασίας με άλλες συσκευές (VHF, Plotter), αλλά και συστήματα

προσδιορισμού θέσης, καθώς επίσης, και σε εφαρμογές όπως η Φωτογραμμετρία, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.) [30].

Στα μειονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος μπορούν να καταγραφούν η αδυναμία λειτουργίας του, αν οποιοδήποτε φυσικό ή τεχνητό αντικείμενο (π.χ. κατασκευή, δένδρο, απότομος γκρεμός) εμποδίζει, έστω και μερικά, το οπτικό πεδίο του δέκτη προς τους δορυφόρους, γεγονός που μπορεί να επιδράσει αρνητικά στην ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου. Επίσης, αδύνατη καθίσταται και η χρήση του σε κλειστούς, εσωτερικούς ή υπόγειους χώρους. Η μείωση της ακρίβειας του δορυφορικού σήματος, χωρίς καμία προειδοποίηση, και η εισαγωγή σφαλμάτων αποτελούν παράγοντες που δεν εγγυώνται την απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος GPS, ενώ η άμεση πρόσβαση σε κάθε σημείο του δικτύου, που πρέπει να μετρηθεί, θεωρείται αναγκαία. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, συγκριτικά με τους επίγειους εξοπλισμούς, το εν λόγω σύστημα απαιτεί υψηλό κόστος αγοράς, εφόσον θα πρέπει να αποτελείται από δύο δέκτες τουλάχιστον, δεδομένου ότι στην Ελλάδα δεν υπάρχει η δυνατότητα λήψης δεδομένων από κάποιο μόνιμο σταθμό λειτουργίας [15].

Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται ο δέκτης του συστήματος GPS που χρησιμοποιήθηκε μαζί με τα παρελκόμενα του.

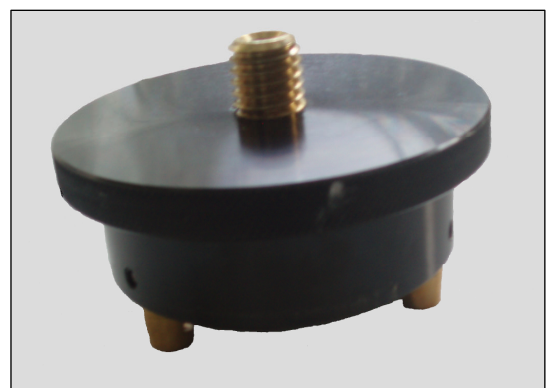


Εικόνα 4.8. Ο δέκτης Trimble 5800

Figure 4.8. GPS receiver Trimble 5800



Εικόνα 4.9. Η θήκη μεταφοράς του δέκτη και ο βαρύς τρίποδας
Figure 4.9. The receiver's carrying case and the heavy duty tripod



Εικόνα 4.10. Το τρικόχλιο και ο ειδικός σύνδεσμος
Figure 4.10. The tribrach and the adaptor



Εικόνα 4.11. Η μεταλλική μετροταινία και ο φορητός ασύρματος πομποδέκτης

Figure 4.11. The metal tape line and the portable VHF transceiver



Εικόνα 4.12. Οι μπαταρίες και ο φορτιστής του δέκτη

Figure 4.12. The receiver's batteries and its charger

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

5.1. Γενικά

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 Ελέγχου GPS. 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 μετακινήσεων.

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια που ακολουθήθηκαν. Αρχικά, έγινε αναγνώριση της περιοχής μελέτης, εντοπίστηκαν όσα σημεία ελέγχου δεν είχαν καταστραφεί και το σημείο αναφοράς και ιδρύθηκαν οι νέες κορυφές του δικτύου GPS. Κατόπιν, σχεδιάστηκε η γεωμετρία του δικτύου και επιλέχθηκε ο συνολικός αριθμός των βάσεων, που θα μετρηθούν. Επόμενο στάδιο αποτελεί η διαδικασία σύνδεσης των σημείων ελέγχου GPS με τις εγγύτερες, σε κάθε ένα από αυτά, υψομετρικές αφετηρίες, προκειμένου να τους δοθούν ορθομετρικά υψόμετρα με τη μέθοδο της Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης. Με δεδομένη τη θέση των παραπάνω σημείων, ελέγχθηκε η προεκτίμηση της τιμής του δείκτη ποιότητας των παρατηρήσεων, GDOP, και ο συνολικός αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων στον ουράνιο θόλο και επιλέχθηκε έτσι, η καταλληλότερη ώρα της ημέρας για την έναρξη και το πέρας της διαδικασίας των παρατηρήσεων. Στη συνέχεια, ακολουθεί η διαδικασία μέτρησης των στοιχείων του δικτύου GPS με τη μέθοδο του Σχετικού Στατικού Εντοπισμού, χρησιμοποιώντας σύγχρονους δέκτες και τα παρελκόμενά τους. 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.

5.2. Αναγνώριση Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται, όπως προαναφέρθηκε στο 3^ο Κεφάλαιο, βορειοανατολικά του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας και περιλαμβάνει το νότιο παράκτιο τμήμα της Καλλιθέας, το Μοσχάτο και το Νέο Φάληρο. Η διαδικασία αναγνώρισής της και του εντοπισμού των σημείων αναφοράς και ελέγχου διήρκησε τρεις ημέρες, από την 1^η Απριλίου μέχρι τις 6 Απριλίου του 2008. Ο εντοπισμός των κορυφών του δικτύου GPS έγινε παράλληλα με τον εντοπισμό των κορυφών του δικτύου κατακορύφου ελέγχου.

Για την αναζήτηση των σημείων αυτών, χρησιμοποιήθηκαν οι περιγραφές των θέσεων τους και το φωτογραφικό υλικό από τη διπλωματική εργασία: «Ίδρυση δικτύου GPS για την παρακολούθηση καθιζήσεων στην περιοχή του Μοσχάτου», Αθήνα 2002, Γκαδόλου Ε., το οποίο περιέχει την ονομασία και την περιγραφή της θέσης κάθε σημείου του δικτύου GPS.

Στην περιοχή μελέτης, αναγνωρίστηκαν συνολικά τέσσερα σημεία ελέγχου, από τα οποία τα δύο τοποθετήθηκαν από το Ε.Μ.Π. το 2001 και τα άλλα δύο αποτελούν τοπογραφικά σημεία του Ο.Κ.Χ.Ε. Επίσης, εντοπίστηκε και η κορυφή «Καστέλα» σε βράχο στο λόφο του Προφήτη Ηλία στην περιοχή της Καστέλας στον Πειραιά, η οποία αποτελεί σημείο αναφοράς, καθώς θεωρείται ως σταθερή κορυφή.

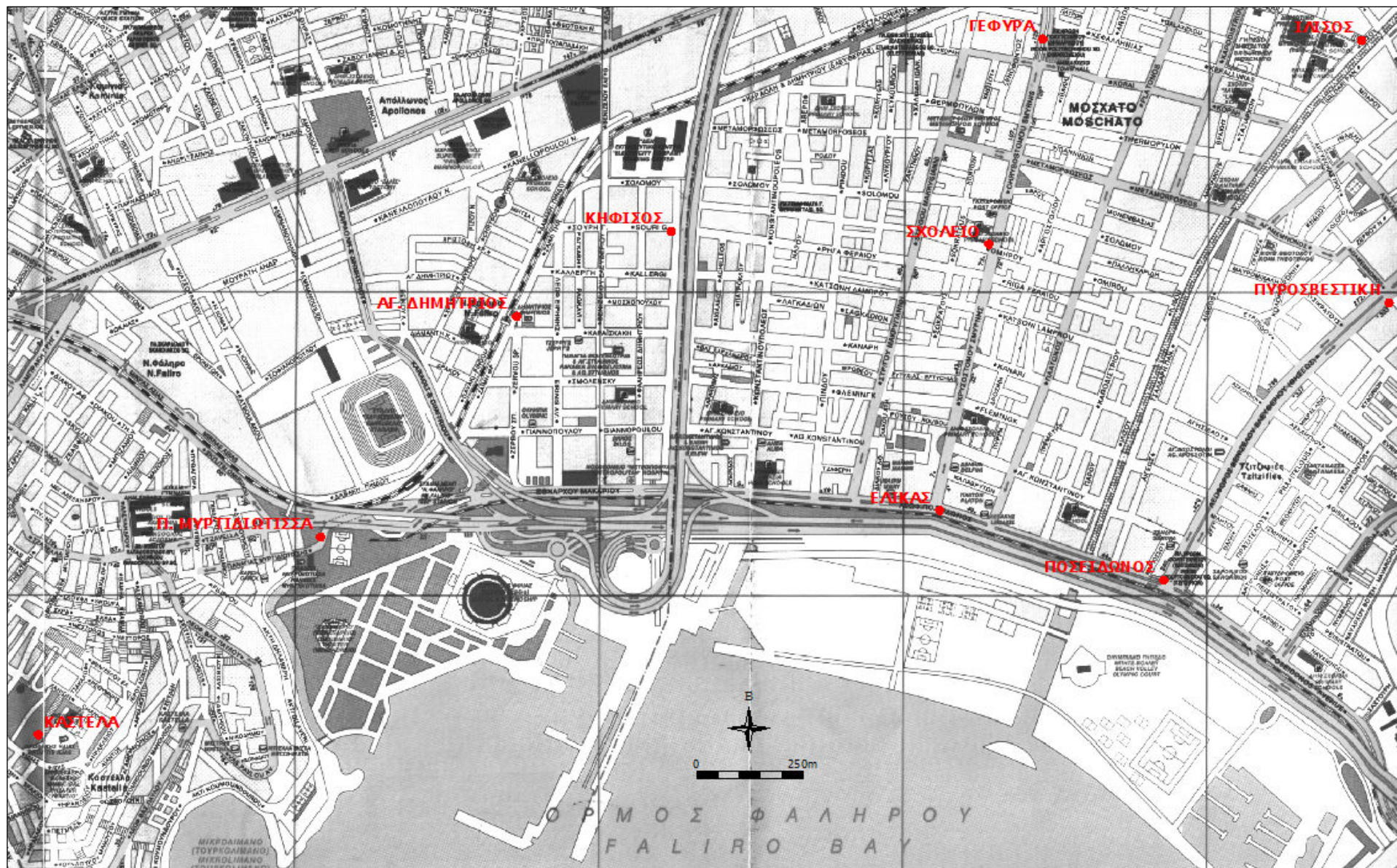
Ο συνολικός αριθμός των σημείων ελέγχου, που είχαν τοποθετηθεί το 2002 ήταν έξι. Οι δύο κορυφές «Κηφισός» και «Ξέφωτο» καταστράφηκαν εξαιτίας της ανακατασκευής των πεζοδρομίων πάνω στα οποία είχαν τοποθετηθεί.

Μετά την αναγνώριση των παραπάνω σημείων, παρατηρήθηκε ότι στην περιοχή μελέτης υπήρχαν τμήματα που δεν καλύπτονταν από σημεία. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε απαραίτητο να τοποθετηθούν άλλα πέντε νέα σημεία ελέγχου στην περιοχή μελέτης, εκ των οποίων το ένα τοποθετήθηκε σε αντικατάσταση του παλιότερου σημείου «Κηφισός» στην ίδια περίπου θέση. Αρχικά, έγινε μία πρώτη εκτίμηση της θέσης τους και αργότερα, ακολούθησε

η υλοποίησή τους με ειδικές ορειχάλκινες κατασκευές (πόντες), που πακτώθηκαν με εποξειδική ρητίνη. Επίσης, έμφαση δόθηκε στην ίδρυση των κορυφών μακριά από ανακλώμενες επιφάνειες (π.χ. μεταλλικές, υδάτινες επιφάνειες, κτίρια), έτσι ώστε να αποφεύγονται οι πολλαπλές ηλεκτρονικές διαδρομές του σήματος και από ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, γιατί υπάρχει περίπτωση διατάραξης του σήματος.

Η ονομασία κάθε κορυφής του δικτύου ελέγχου GPS της περιοχής μελέτης, οι συντεταγμένες της, το ορθομετρικό και γεωμετρικό υψόμετρο καθώς, και η περιγραφή της θέσης της, συνοδευόμενη από το αντίστοιχο σκαρίφημα και φωτογραφία, δίνονται εκτενώς στο Παράρτημα ΙΙ της διπλωματικής εργασίας.

Στο Χάρτη 5.1., παρουσιάζονται οι θέσεις όλων των κορυφών του δικτύου GPS.



Χάρτης 5.1. Θέση των κορυφών του δικτύου ελέγχου GPS

Map 5.1. The position of GPS network points

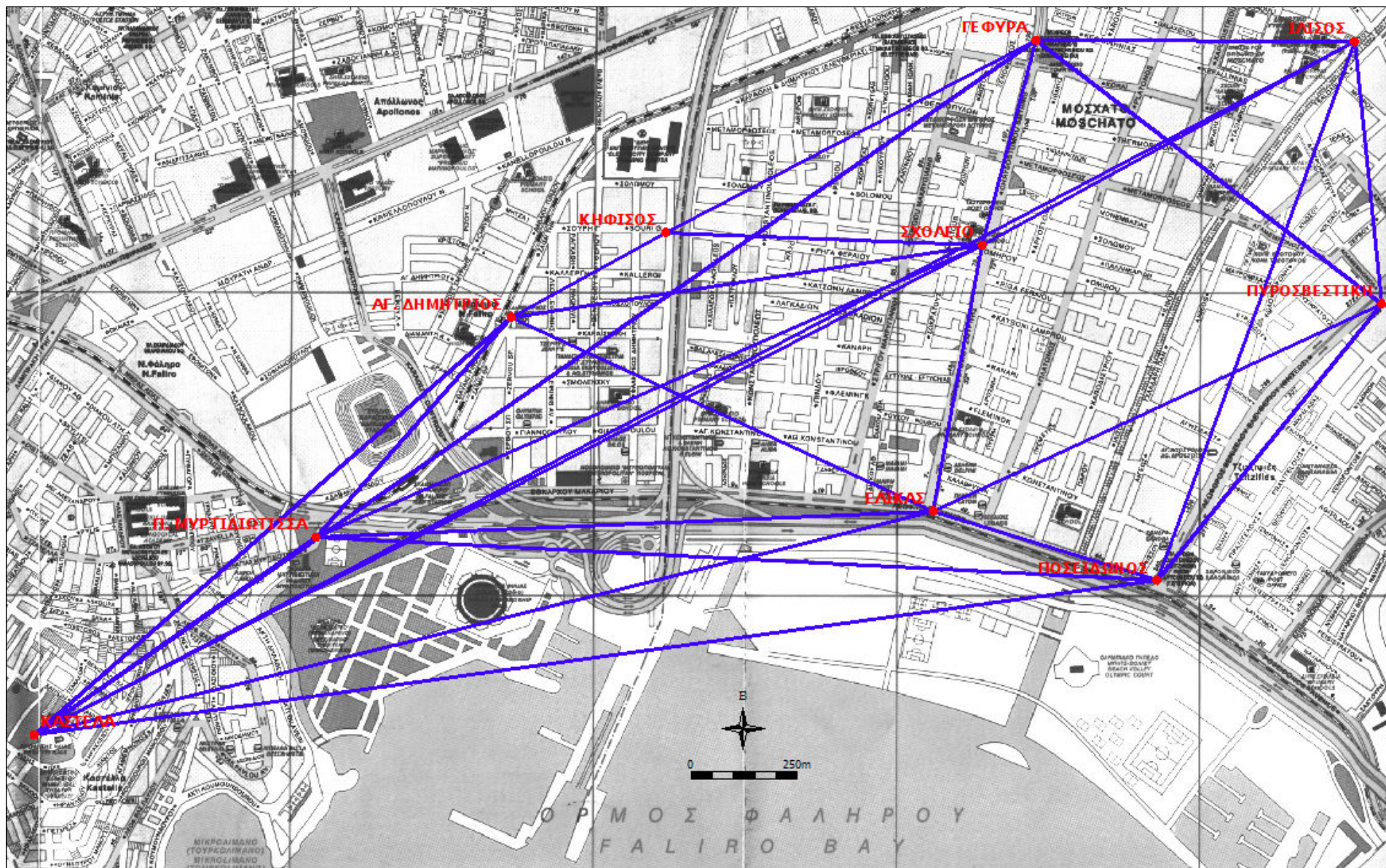
5.3. Γεωμετρία Δικτύου

Το δίκτυο ελέγχου GPS ιδρύθηκε για πρώτη φορά το Μάρτιο του 2002 στην ευρύτερη περιοχή του Νέου Φαλήρου, του Μοσχάτου και της Καλλιθέας. Το 2008, έγινε επέκταση του υπάρχοντος δικτύου με πέντε νέα σημεία. Έτσι, το δίκτυο GPS αποτελείται από συνολικά εννέα σημεία ελέγχου ενώ ως σημείο αναφοράς επιλέχθηκε το σημείο «Καστέλα», το οποίο θεωρείται ως σταθερή κορυφή.

Οι πλευρές του δικτύου είναι 31 και από αυτές οι 20 μετρήθηκαν δύο φορές (51 μετρημένες βάσεις). Ο αριθμός αυτών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επίλυση του δικτύου ελέγχου είναι 41. Τα μήκη των βάσεων κυμαίνονται μέχρι 3 km περίπου, με μεγαλύτερη την «Ιλισός – Καστέλα» με 3.351 m και μικρότερη την «Αγ. Δημήτριος – Κηφισός» με 428 m.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι για το σχεδιασμό του δικτύου λήφθηκαν υπ' όψιν οι παρακάτω παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά τη γεωμετρία του. Αρχικά, κάθε σημείο ελέγχου πρέπει να συμμετέχει σε πέντε τουλάχιστον πλευρές έτσι ώστε, ο βαθμός ελευθερίας να ισούται κατ' ελάχιστο με $r = 2$. Επιπλέον, όλα τα σημεία, τα οποία βρίσκονται στην περίμετρο του δικτύου, συνδέθηκαν μεταξύ τους ώστε οι πλευρές, που προκύπτουν, να σχηματίζουν ένα κλειστό πολύγωνο οριοθετώντας έτσι, την περιοχή μελέτης. Επίσης, τα σημεία «Καστέλα» και «Σχολείο» συνδέθηκαν με όλα τα σημεία ελέγχου καθώς το πρώτο αποτελεί σημείο αναφοράς και το δεύτερο θεωρείται κεντροβαρικό σημείο του δικτύου.

Τέλος, το 65% των βάσεων του δικτύου ελέγχου GPS (20 βάσεις) μετρήθηκε για δεύτερη φορά, αλλάζοντας τη θέση των δεκτών ROVER και BASE, προκειμένου οι βαθμοί ελευθερίας του δικτύου να είναι περισσότεροι. Στο Χάρτη 5.2. απεικονίζεται το δίκτυο GPS.



Χάρτης 5.2. Γεωμετρία δικτύου GPS

Map 5.2. Geometry of the GPS control network

5.4. Βάση Λαμπαδάριος – Καστέλα

Η βάση «Λαμπαδάριος – Καστέλα» μετρήθηκε, για πρώτη φορά, το 2002, προκειμένου να δοθούν συντεταγμένες στο σημείο «Καστέλα», εφόσον αυτές του σημείου «Λαμπαδάριος» ήταν ήδη γνωστές. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η εν λόγω βάση μετρήθηκε, για δεύτερη φορά, για να δοθούν καλύτερης ποιότητας συντεταγμένες στο σημείο «Καστέλα», που θεωρείται η σταθερή κορυφή του δικτύου. Οι συντεταγμένες του σημείου «Λαμπαδάριος», το οποίο αναφέρεται στο βάθρο G στην τάρτασα του ομώνυμου κτιρίου, στην προβολή του ΕΓΣΑ87 είναι:

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	E (m)	N (m)	h (m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΣ	480537.220	4202800.617	215.370

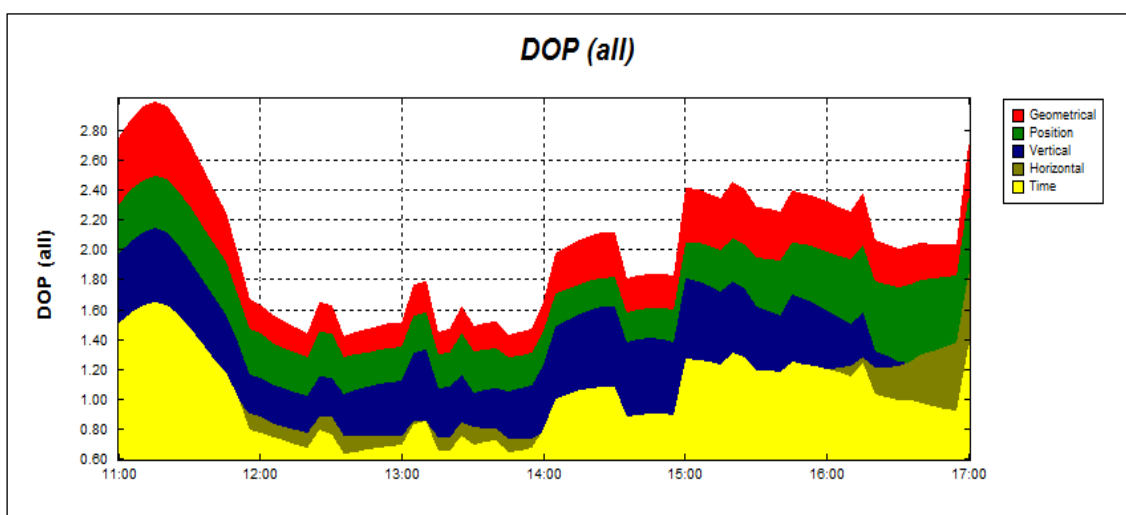
Πίνακας 5.1. Οι συντεταγμένες του σημείου «Λαμπαδάριος» στο ΕΓΣΑ87

Table 5.1. The coordinates of the point "Lambadarios" in GR87

Η βάση «Λαμπαδάριος – Καστέλα» μετρήθηκε τρεις φορές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, προκειμένου να προκύψει επίλυση με μεγάλη ακρίβεια λόγω των πλεονάζουσων παρατηρήσεων. Για την επίλυση της ακολουθήθηκε η διαδικασία που αναλύθηκε στις προηγούμενες ενότητες, με τη μόνη διαφορά ότι εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός στις παρατηρήσεις GPS, όπου οι επιδράσεις της ιονόσφαιρας μοντελοποιούνται και εξαλείφονται τα αντίστοιχα σφάλματα από τα σήματα των δορυφόρων προς τους δέκτες (*ionospheric free fixed solution*) και αφορά μόνο τις βάσεις μεγάλου μήκους (>10 km). Για τη συγκεκριμένη επίλυση, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις σε περισσότερες από μία συχνότητες. Έτσι, χρησιμοποιώντας το συνδυασμό των L1 και L2, η ιονοσφαιρική καθυστέρηση εξαλείφεται.

5.5. Προεργασία Δικτύου GPS

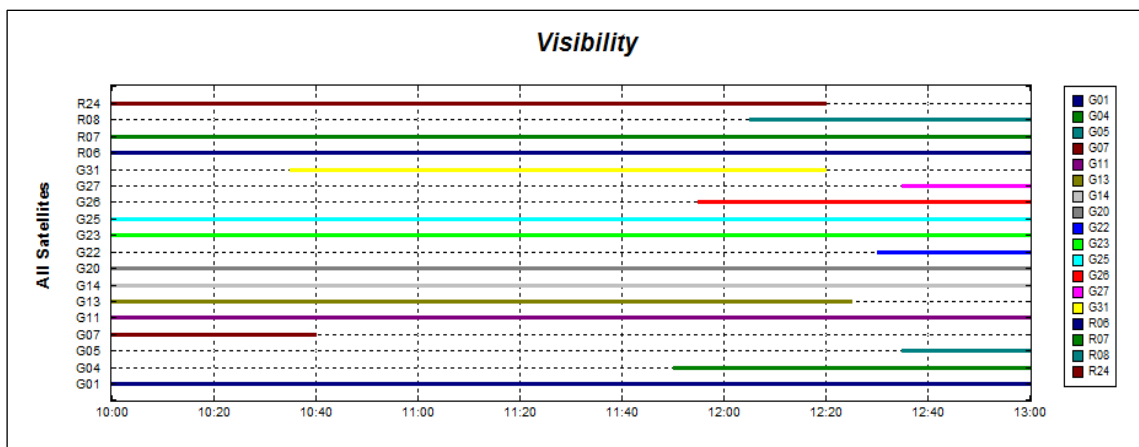
Πριν από κάθε μέτρηση, πρέπει να καθορίζεται η καλύτερη ημέρα και ώρα, κατά την οποία θα πρέπει να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις, δηλαδή η χρονική περίοδος όπου μπορεί να παρατηρηθεί ο μέγιστος αριθμός δορυφόρων στον ουράνιο θόλο. Αυτό ελέγχεται από την προεκτίμηση της τιμής του δείκτη ποιότητας των παρατηρήσεων DOP, και πιο συγκεκριμένα από το δείκτη GDOP, μέσω του λογισμικού (*Trimble Geomatics Office*), που συνοδεύει του δέκτες. Θέτοντας προσεγγιστικές τιμές για τη θέση του δέκτη και βάσει της τροχιάς των δορυφόρων από τις εκπεμπόμενες εφημερίδες προσδιορίζεται καθημερινά η τιμή του παραπάνω δείκτη. Όσο μικρότερη είναι η εν λόγω τιμή τόσο καλύτερη θεωρείται και η ακρίβεια των μετρήσεων. Μια αποδεκτή τιμή του GDOP είναι μικρότερη από 5, ενώ στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου η απαίτηση για την ακρίβεια προσδιορισμού του υψομέτρου ήταν μεγάλη, οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν τις ώρες της ημέρας που η τιμή ήταν κάτω από 2.5.



Εικόνα 5.1. Τιμές του δείκτη DOP για το σημείο «Καστέλα» στις 04/11/2008

Figure 5.1. DOP values for the point "Kastela" on 04/11/2008

Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται και στο συνολικό αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων. Αν και θεωρητικά θα αρκούσαν τρεις μετρήσεις για τον προσδιορισμό της θέσης ενός δέκτη (άγνωστες παράμετροι το γεωγραφικό μήκος και πλάτος και το υψόμετρο), εν τούτοις απαιτείται και μια τέταρτη μέτρηση, προκειμένου να διορθωθεί το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη. Επομένως, κάθε δέκτης GPS θα πρέπει να παίρνει ταυτόχρονες μετρήσεις απόστασης από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους για να προσδιοριστεί η τρισδιάστατη θέση του. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τροχιές είναι έτσι σχεδιασμένες, ώστε τουλάχιστον έξι δορυφόροι να είναι πάντα ορατοί από σχεδόν κάθε σημείο της γήινης επιφάνειας. Έτσι, στην προκειμένη περίπτωση, υπήρχαν από επτά δορυφόροι, το λιγότερο, μέχρι και έντεκα κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης, πληροφορία η οποία δινόταν κάθε φορά από το λογισμικό των δεκτών [18].



Εικόνα 5.2. Ορατότητα δορυφόρων για το σημείο «Καστέλα» στις 04/11/2008

Figure 5.2. Satellite visibility for the point "Kastela" on 04/11/2008

5.6. Διαδικασία Μετρήσεων

Για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου GPS εφαρμόστηκε ο Σχετικός Στατικός Εντοπισμός. Για την εκτέλεση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν δύο δέκτες μεγάλης ακρίβειας εντοπισμού της εταιρείας Trimble (5000 Series) και τα αντίστοιχα παρελκόμενα που τους συνοδεύουν.

Οι εργασίες στην περιοχή μελέτης ξεκίνησαν το πρώτο δεκαήμερο του Οκτωβρίου του 2008 και ολοκληρώθηκαν την πρώτη εβδομάδα του Νοεμβρίου. Οι μετρήσεις εκτελούνταν μία φορά στη διάρκεια της ημέρας και πιο συγκεκριμένα, τις μεσημεριανές ώρες συνήθως, από τις 12:00 μέχρι τις 16:30, ενώ η διάρκεια μέτρησης κάθε βάσης δεν ξεπερνούσε τα 40 – 45 λεπτά. Έτσι, συνολικά, εκτελούνταν τρεις έως πέντε μετρήσεις βάσεων την ημέρα. Το συνεργείο αποτελούταν από δύο άτομα. Ο ένας παρατηρητής είχε το σταθερό (*base*) δέκτη και παρέμενε στο ίδιο σημείο, συνήθως, μέχρι το πέρας των μετρήσεων για τη συγκεκριμένη μέρα και ο άλλος, που είχε τον κινητό (*rover*) δέκτη, μεταφερόταν από σημείο σε σημείο, προκειμένου να μετρηθεί κάθε βάση ξεχωριστά. Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν συγκεκριμένοι παράγοντες που προσδιορίζουν τη χρονική διάρκεια της μέτρησης της εκάστοτε βάσης. Αυτοί είναι το μήκος της βάσης, το πλήθος των ορατών δορυφόρων και η σχετική τους γεωμετρία και ο θόρυβος στο σήμα του δορυφόρου που λαμβάνεται (*Signal-to-noise ratio*) [3]. Γενικά, ισχύει ότι όσο περισσότεροι δορυφόροι είναι διαθέσιμοι, τόσο καλύτερη η γεωμετρία και τόσο μικρής χρονικής διάρκειας παρατήρηση απαιτείται. Επίσης, η διάρκεια παραμονής στο πεδίο μπορεί να μειωθεί και σε περίπτωση μικρού μήκους βάσεων. Για παράδειγμα, χρειάζονται μόνο είκοσι λεπτά, με έξι ορατούς δορυφόρους, για την παρατήρηση βάσεων μήκους ενός με δύο χιλιομέτρων με τη χρήση δεκτών μονής συχνότητας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως, επειδή πρέπει να επιτευχθούν οι απαιτούμενες ακρίβειες στα αποτελέσματα των μετρήσεων, οι παρατηρήσεις διήρκησαν περίπου το διπλάσιο.

Η διαδικασία των μετρήσεων που ακολουθείται είναι ίδια για όλες τις βάσεις. Πιο αναλυτικά, στήνεται ο τρίποδας και πάνω σε αυτόν εφαρμόζει το τρικόχλιο μαζί με τον ειδικό σύνδεσμο, στον οποίο τοποθετείται ο δέκτης. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται κάθε φορά στην κέντρωση και την οριζοντίωση του οργάνου, προκειμένου τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι ακριβή και αξιόπιστα. Εφόσον και οι δύο δέκτες έχουν τοποθετηθεί σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία των μετρήσεων. Οι δύο παρατηρητές πρέπει, σε κάθε περίπτωση, να μετρούν το ύψος της κεραίας, με ακρίβεια χιλιοστού, από τη σήμανση του σημείου στο έδαφος μέχρι το κέντρο της χαραγής του δέκτη (*center of bumper*) δύο φορές στη διάρκεια μιας μέτρησης. Πρέπει να αναφερθεί ότι το μετρημένο ύψος είναι κεκλιμένο, κάτι που επισημαίνεται στην επεξεργασία των μετρήσεων και είναι απαραίτητο ώστε να γίνουν οι κατάλληλες αναγωγές και να προσδιοριστούν τα γεωμετρικά υψόμετρα με ακρίβεια. Μόνο στην περίπτωση της βάσης «Λαμπαδάριο – Καστέλα», το μετρημένο ύψος ήταν κατακόρυφο, γιατί ο δέκτης τοποθετήθηκε σε βάθρο της ταράτσας του Λαμπαδάριου, πάνω σε βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης. Έτσι, το ύψος της κεραίας μετρήθηκε από το κάτω μέρος του δέκτη (*bottom of antenna mount*) μέχρι το σημείο κέντρωσης του βάθρου. Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν ήταν απαραίτητος ο προσανατολισμός των συγκεκριμένων δεκτών προς το Βορρά, γιατί διαθέτουν ακριβές διηλεκτρικό κέντρο.

Τέλος, η βάση «Λαμπαδάριος – Καστέλα» μετρήθηκε τρεις φορές (16/10, 23/10 και 04/11) με διάρκεια 1,5 ώρας, προκειμένου να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες της κορυφής «Καστέλα» (σημείο αναφοράς του δικτύου) με ικανοποιητική ακρίβεια.

5.7. Προβλήματα Πεδίου

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, παρουσιάστηκαν ορισμένες δυσκολίες, οι οποίες επιλύθηκαν στο ύπαιθρο. Κρίνεται σκόπιμο, λοιπόν, να περιγραφούν αναλυτικά τα προβλήματα αυτά στη συνέχεια, τα οποία αφορούν τόσο τις τεχνικές δυσκολίες όσο και τους εξωτερικούς παράγοντες, καθώς και οι λύσεις που δόθηκαν προκειμένου να βοηθήσουν ανάλογες εργασίες στο μέλλον.

Πιο αναλυτικά, τα προβλήματα, που παρουσιάστηκαν λόγω του αστικού χαρακτήρα της περιοχής, ήταν κυρίως ο μικρός αριθμός ορατών δορυφόρων σε ορισμένα σημεία του δικτύου GPS, κάτι που διαπιστώθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων. Για παράδειγμα, στο σημείο «Σχολείο» στο Μοσχάτο, λόγω των πολυόροφων κτισμάτων που έχουν κατασκευαστεί περιμετρικά και της τιμής της γωνίας ανύψωσης δορυφόρων (*elevation mask*) που επιλέχθηκε ($z=15^\circ$), ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων ήταν περιορισμένος, παρόλο που στην περιοχή ήταν καλές οι ορατότητες δορυφόρων τη δεδομένη χρονική στιγμή. Το ίδιο παρατηρήθηκε στο σημείο «Πυροσβεστική» στην Καλλιθέα, όπου υπήρχε ένα δέντρο δίπλα ακριβώς στο σημείο, γεγονός που εμπόδιζε το οπτικό πεδίο του δέκτη προς τους δορυφόρους καθώς, και στο σημείο «Κηφισός» στο Νέο Φάληρο, το οποίο βρίσκεται κοντά στη γέφυρα της Λεωφόρου Κηφισού.

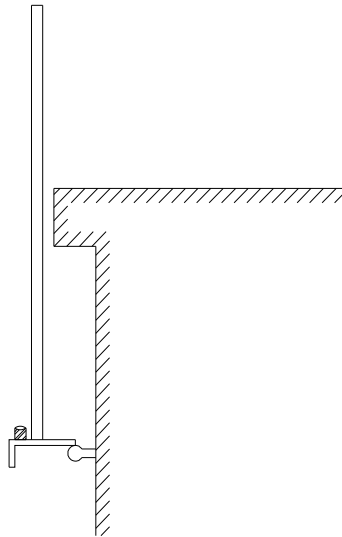
5.8. Σύνδεση Κορυφών Δικτύου GPS με Υψομετρικές Αφετηρίες

Για τον προσδιορισμό των ορθομετρικών υψόμετρων των κορυφών του δικτύου εφαρμόστηκε η μέθοδος της Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης, και για την εκτέλεση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός χωροβάτης DL-102C TOPCON, ονομαστικής ακρίβειας $\pm 1.0\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$, και τα αντίστοιχα παρελκόμενα που τον συνοδεύουν. Οι εργασίες στην περιοχή μελέτης διήρκησαν δύο ημέρες, από τις 6 έως τις 7 Οκτωβρίου και εκτελέστηκαν, τις πρωινές ώρες, από τις 7:00 μέχρι τις 11:30. Πριν από την εκτέλεση των μετρήσεων, έγινε έλεγχος της ορθής λειτουργίας του ψηφιακού χωροβάτη (*Check-Adjust*).

Κριτήριο επανάληψης μίας χωροσταθμικής όδευσης ήταν η σύγκριση του τελικού κλεισίματος, όπως αυτό προκύπτει από το αποτέλεσμα της μετάβασης και της επιστροφής ($K = \Delta H_{\text{aller}} - \Delta H_{\text{retour}}$), με το τυπικό σφάλμα που αναμένεται από μία χωροστάθμηση ακριβείας, με τον ίδιο αριθμό στάσεων χωροβάτη για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, δηλαδή $\sigma_K^{95\%} = 1.95 \cdot (2 \cdot \sigma_\varepsilon \cdot \sqrt{n})$, όπου $\sigma_\varepsilon = \pm 0.3\text{mm}$ [21].

Οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά την εκτέλεση των μετρήσεων αφορούν την αδυναμία κατακορύφωσης της σταδίας πάνω στο μπουλόνι του σημείου R43 στο Νέο Φάληρο, εξαιτίας κάποιων εμποδίων πάνω από τη θέση αυτή. Η υψομετρική αυτή αφετηρία του δικτύου κατακορύφου ελέγχου χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να δοθεί το ορθομετρικό υψόμετρο στην κορυφή «Κηφισός» του δικτύου GPS. Συγκεκριμένα, η ύπαρξη ενός υπερυψωμένου τοιχίου που προεξείχε αρκετά πάνω από το σημείο, καθιστούσε αδύνατη την κατακορύφωση της σταδίας ενώ παράλληλα, δεν εξασφαλιζόταν η μοναδικότητα του σημείου επαφής μεταξύ σταδίας και μπουλονιού. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε τοποθετώντας μία ειδική κατασκευή, πάχους 3.15 mm (μετρημένο με παχύμετρο), πάνω στην οποία είχε στερεωθεί μία σφαιρική αεροστάθμη (Εικόνα 5.3.). Με τον τρόπο αυτό,

μπορούσε ο σταδιοφόρος να τοποθετήσει τη σταδία πάνω στην ειδική κατασκευή, εφόσον το τεχνικό εμπόδιο είχε παρακαμφθεί, και με τη βοήθεια ενός τρίτου ατόμου, έπρεπε η σταδία και η κατασκευή αυτή να είναι σωστά κατακορυφωμένη και οριζοντιωμένη αντίστοιχα, για να ληφθεί η μέτρηση από τον παρατηρητή. Η πραγματική υψομετρική διαφορά υπολογίζεται προσθέτοντας το πάχος της κατασκευής στη μέτρηση που συμμετέχει.



Εικόνα 5.3. Κατακορύφωση της σταδίας με χρήση της ειδικής κατασκευής

Figure 5.3. The use of special construction during the measurements

Στον Πίνακα 5.2., παρουσιάζονται τα ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών των δύο δικτύων ελέγχου ενώ στον Πίνακα 5.3., παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της σύνδεσης των κορυφών GPS με τις υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου κατακορύφου ελέγχου, με τη μέθοδο της Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης.

ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ		ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	
R1	3.004 m ±0.0 mm	Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	1.942 m ±0.4 mm
R43	3.346 m ±0.8 mm	ΚΗΦΙΣΟΣ	2.841 m ±0.9 mm
R5178	3.041 m ±1.0 mm	ΣΧΟΛΕΙΟ	2.461 m ±1.0 mm
R5187	3.015 m ±0.7 mm	ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	2.569 m ±0.3 mm
R5211	2.286 m ±0.9 mm	ΕΛΙΚΑΣ	1.545 m ±1.0 mm
ΔΚ32α	4.157 m ±1.1 mm	ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	3.588 m ±1.2 mm
ΔΚ99	2.038 m ±1.1 mm	ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	2.330 m ±1.2 mm
ΕΜΠ45	5.193 m ±1.0 mm	ΓΕΦΥΡΑ	6.373 m ±1.1 mm
ΕΜΠ50	8.810 m ±1.2 mm	ΙΛΙΣΟΣ	9.077 m ±1.2 mm

Πίνακας 5.2. Ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών των δύο δικτύων ελέγχου από Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση

Table 5.2. Orthometric heights of the GPS control points using Double Geometric Leveling

		ΜΕΤΑΒΑΣΗ			ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ					
A/A	ΣΤΑΣΗ	ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΟΠΙΣΘΕΝ	ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΜΕΡΙΚΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ	ΣΤΑΣΗ	ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΟΠΙΣΘΕΝ	ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΜΕΡΙΚΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ		
1	ΔΚ99	1,169		0,0233	Γ ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	1,134		-0,0233	ΔΗ = 0,2920 m Κ=0,006 m	
	1	1,521	1,1461	0,2690	1	1,2484	1,1573	-0,2684		
	Γ ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ		1,2517	0,2923	ΔΚ99		1,5168	-0,2917		
2	ΔΚ32Α	0,6922		-0,5691	Γ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	1,2614		0,5691	ΔΗ = -0,5691 m Κ=0,000 m	
	Γ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ		1,2613		ΔΚ32Α		0,6923			
3	R5211	0,9347		-0,9954	Γ ΕΛΙΚΑΣ	1,9258		0,9953	ΔΗ = -0,7406 m Κ=-0,005 m	
	1	1,8704	1,9301	0,2546	1	1,6117	0,9305	-0,2550		
	Γ ΕΛΙΚΑΣ		1,6158	-0,7408	R5211		1,8667	0,7403		
4	R5178	0,7230		-0,5806	Γ ΣΧΟΛΕΙΟ	1,3025		0,5807	ΔΗ = -0,5807 m Κ=0,001 m	
	Γ ΣΧΟΛΕΙΟ		1,3036		R5178		0,7218			
5	ΕΜΠ45	3,6488		1,1776	Γ ΓΕΦΥΡΑ	2,4713		-1,1775	ΔΗ = 1,1801 m Κ=0,000 m	
	1	1,1567	2,4712	0,0025	1	1,1492	3,6488	-0,0026		
	Γ ΓΕΦΥΡΑ		1,1542	1,1801	ΕΜΠ45		1,1518	-1,1801		
6	ΕΜΠ50	1,7099		0,2676	Γ ΙΛΙΣΟΣ	1,3850		-0,2676	ΔΗ = 0,2676 m Κ=0,000 m	
	Γ ΙΛΙΣΟΣ		1,4423		ΕΜΠ50		1,6526			
7	R43	0,9460		-0,5053	Γ ΚΗΦΙΣΟΣ	1,4505		0,5047	ΔΗ = -0,5050 m Κ=-0,006 m	
	Γ ΚΗΦΙΣΟΣ		1,4512		R43		0,9459			

Α/Α	ΜΕΤΑΒΑΣΗ				ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ				
	ΣΤΑΣΗ	ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΟΠΙΣΘΕΝ	ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΜΕΡΙΚΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ	ΣΤΑΣΗ	ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΟΠΙΣΘΕΝ	ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ	ΜΕΡΙΚΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ	
8	R5187	1,1709		-0,4458	G ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	1,5751		0,4458	ΔΗ = -0,4458 m
	G ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ		1,6167		R5187		1,1293		Κ=0,000 m
9	R1	0,4100		-0,9645	G Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	1,3734		0,9642	ΔΗ = -1,0623 m
	1	1,3770	1,3745	-0,0981	1	1,4932	0,4092	0,0978	Κ=-0,006 m
	G Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ		1,4751	-1,0626	R1		1,3954	1,0620	

Πίνακας 5.3. Υψομετρικές διαφορές ορθομετρικών υψομέτρων μεταξύ των κορυφών του δικτύου κατακορύφου ελέγχου και του δικτύου GPS

Table 5.3. Orthometric height differences between the vertical control network and the GPS points

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ**6.1. Γενικά**

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών υπαίθρου, δηλαδή την αναγνώριση της περιοχής μελέτης, το σχεδιασμό του δικτύου ελέγχου GPS και την ολοκλήρωση της διαδικασίας των μετρήσεων, σειρά έχουν οι εργασίες γραφείου με την ανάλογη επεξεργασία των αποτελεσμάτων, όπως αυτά προέκυψαν από τις μετρήσεις.

Αναλυτικότερα, σε πρώτη φάση γίνεται η μεταφορά των αποθηκευμένων δεδομένων από τους δέκτες GPS στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και γίνεται η επεξεργασία τους από το χρήστη με τη βοήθεια του αντίστοιχου προγράμματος. Στη συνέχεια, αφού γίνει και ο έλεγχος κλεισίματος των τριγώνων, ακολουθεί η συνόρθωση του δικτύου και οι στατιστικοί έλεγχοι, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επίσης, εκτιμήθηκε ένα μοντέλο τοπικού γεωειδούς, το οποίο προσεγγίζεται από ένα επίπεδο. Τέλος, ανιχνεύονται οι επιφανειακές μετακινήσεις μέσα από τη σύγκριση των τελικών ορθομετρικών υψομέτρων των κοινών κορυφών του εν λόγω δικτύου για το χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο φάσεων μέτρησης των στοιχείων του (2002 – 2008).

6.2. Λογισμικό Επεξεργασίας των Μετρήσεων

Κάθε ζεύγος δεκτών GPS συνοδεύεται από τα αντίστοιχα παρελκόμενα καθώς και από ένα πρόγραμμα επίλυσης, της ίδιας εταιρείας που τους κατασκεύασε. Το πρόγραμμα αυτό παρέχει τη δυνατότητα του σχεδιασμού των παρατηρήσεων πριν από την έναρξη των εργασιών πεδίου (έλεγχος DOP και αριθμού δορυφόρων) και της επεξεργασίας των δεδομένων GPS, η οποία περιλαμβάνει τη συνόρθωση των παρατηρήσεων κάθε βάσης του δικτύου ελέγχου και τις εκτιμήσεις των διανυσμάτων βάσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως παρατηρήσεις για την τελική εκτίμηση των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου. Ανεξάρτητα από τον τύπο των δεκτών GPS και τη μέθοδο εντοπισμού, όλα τα προγράμματα επίλυσης εκτελούν συγκεκριμένες διεργασίες, που περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια, προκειμένου να προκύψει η ακριβής τρισδιάστατη θέση του σημείου που μετράται στη φυσική γήινη επιφάνεια.

Αρχικά, η επεξεργασία των δεδομένων GPS ξεκινά με έναν Κώδικα Επίλυσης (*CODE*), απ' όπου προκύπτει μία προσεγγιστική τιμή της θέσης του σημείου και διορθώνεται κατά ένα μέρος το σφάλμα του χρονομέτρου του παρατηρητή, δηλαδή η ασάφεια φάσης των χρονομέτρων των δεκτών. Η επεξεργασία των μετρήσεων φάσης, απαιτεί και τον προσδιορισμό των ακεραίων ασαφειών ως επιπλέον αγνώστων, προκειμένου να προσδιοριστούν, με ικανοποιητική ακρίβεια για τοπογραφικές ή γεωδαιτικές εργασίες, τα διανύσματα μεταξύ των δεκτών, οι οποίοι παρατηρούν ταυτόχρονα. Ο τρόπος, με τον οποίο αυτό το είδος της μέτρησης μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα είναι με χρήση γραμμικών συνδυασμών ή εικονικών (μαθηματικών) παρατηρήσεων, που έχουν προέλθει ως αριθμητικό αποτέλεσμα (διαφορές) μεταξύ των πρωτογενών μετρήσεων.

Κατόπιν, το πρόγραμμα εκτελεί μία απλή διαφορά φάσης μεταξύ δεκτών και μεταξύ δορυφόρων. Στην πρώτη περίπτωση, το σφάλμα του χρονομέτρου

του παρατηρητή έχει εξαλειφθεί ενώ και οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις επίσης, μειώνονται. Στο στάδιο αυτό, μειώνεται εξίσου πάρα πολύ το σφάλμα της ασάφειας του κέντρου της βάσης μεταξύ των δύο κεραιών. Στη δεύτερη περίπτωση, εξαλείφονται τα σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων ενώ μειώνονται και τα υπόλοιπα σφάλματα τα σχετιζόμενα με το δορυφόρο, δηλαδή της τροχιάς και της ατμόσφαιρας, τόσο περισσότερο όσο μικρότερη είναι η βάση μεταξύ των δεκτών, συγκρινόμενη με το ύψος των 20.000 km της τροχιάς των δορυφόρων.

Ο Κώδικας Επίλυσης ακολουθείται από μία τριπλή διαφορά, μεταξύ δεκτών, δορυφόρων και χρόνου, και αρκετές διπλές διαφορές φάσεις. Το πρόγραμμα επίλυσης εκτελεί πρώτα τριπλές διαφορές και κατόπιν, διπλές διαφορές φάσεις, προκειμένου να εξαλειφθεί το σφάλμα του χρονομέτρου.

Η διαφορά μεταξύ μίας απλής διαφοράς ως προς δέκτες και μίας απλής διαφοράς ως προς δορυφόρους ονομάζεται διπλή διαφορά φάσης μεταξύ δεκτών και δορυφόρων. Στο στάδιο αυτό, το πρόγραμμα επιλύει τις δεκαδικές ασάφειες φάσεις προσπαθώντας να τις προσαρμόσει σε ακέραιες. Τα σφάλματα που εξαλείφονται ή μειώνονται στις διπλές διαφορές ως προς δέκτες και δορυφόρους είναι τα σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων και των δεκτών καθώς και τα σφάλματα της τροχιάς των δορυφόρων και της ατμόσφαιρας.

Ως τριπλή διαφορά μεταξύ δεκτών, δορυφόρων και χρόνου ορίζεται η διαφορά δύο διπλών διαφορών ως προς δύο διαδοχικές χρονικές στιγμές. Τα σφάλματα που εξαλείφονται ή μειώνονται στις διπλές διαφορές, εξαλείφονται ή μειώνονται και στις τριπλές διαφορές και στην περίπτωση των τριπλών διαφορών δεν περιέχονται ως επιπλέον άγνωστοι οι ασάφειες φάσης. Επίσης, στο σημείο αυτό, εντοπίζονται οι απώλειες κύκλων (*cycle slip*) για τις μετρήσεις φάσεων φέροντος κύματος, δηλαδή τα διαστήματα όπου διακόπτεται το σήμα μεταξύ δορυφόρου και δέκτη, π.χ παρεμβολή ενός εμποδίου στη διαδρομή του σήματος από το δορυφόρο στο δέκτη, και παρεμβάλλεται ένας ψευδοκώδικας σε αυτά τα κενά των παρατηρήσεων. Πιο

αναλυτικά, αναγνωρίζονται οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες συνέβησαν απώλειες κύκλων, ώστε σε κάθε ξεχωριστό διάστημα απρόσκοπτης παρακολούθησης του δορυφόρου να αντιστοιχεί και ένας διαφορετικός ακέραιος. Τέλος, προκύπτουν καινούριες προσεγγιστικές συντεταγμένες των σημείων εκτελώντας συνεχώς, το πρόγραμμα διπλές διαφορές.

Τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων GPS είναι ο προσδιορισμός των τελικών τρισδιάστατων συντεταγμένων του σημείου, που μετράται. Πιο συγκεκριμένα, θεωρώντας μία κορυφή του δικτύου ως σημείο αναφοράς, το πρόγραμμα επίλυσης προσδιορίζει το διάνυσμα της βάσης (ΔX , ΔY , ΔZ) του αγνώστου σημείου ως προς το γνωστό σταθερό σημείο και δίνονται τελικά, ακριβείς τρισδιάστατες συντεταγμένες στο σημείο αυτό πάνω στη φυσική γήινη επιφάνεια. Για την επίλυση του δικτύου ελέγχου, χρησιμοποιείται η μέθοδος των διαφορών τόσο με τη χρήση του κώδικα όσο και με χρήση της συχνότητας ή και συνδυασμό των δύο.

Για να επιτευχθεί λύση ακριβείας της τάξης του 1 cm ή των μερικών mm, η οποία είναι και η καλύτερη (*fixed solution*), πρέπει να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης, δηλαδή να προσδιοριστούν οι ορθοί ακέραιοι αριθμοί. Στην περίπτωση όμως, που δεν επιλυθούν οι ασάφειες φάσης, είτε επειδή δεν είναι δυνατόν είτε δεν ενδιαφέρει άμεσα, η λύση αυτή είναι μειωμένης ακρίβειας (*float solution*) της τάξης των 2 - 3 cm, η οποία πιθανώς, να είναι επαρκής για αρκετές εφαρμογές.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η επίλυση των ασαφειών φάσης, και πιο συγκεκριμένα, ο προσδιορισμός των ακέραιων αβεβαιοτήτων φάσης γίνεται με επεξεργασία των παρατηρήσεων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή σε δύο βήματα. Αρχικά, πραγματοποιείται ένας συνδυασμένος προσδιορισμός συντεταγμένων, παραμέτρων των χρονομέτρων και ασαφειών, χρησιμοποιώντας κάποια από τις γνωστές μεθόδους συνόρθωσης (Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων, φίλτρο Kalman). Τα αποτελέσματα είναι δεκαδικές τιμές των ασαφειών και μία βελτιωμένη εκτίμηση της θέσης των δεκτών ως προς ένα σημείο αναφοράς. Το δεύτερο βήμα αφορά την προσπάθεια μετατροπής των δεκαδικών τιμών

των ασαφειών σε ακέραιες τιμές. Στην περίπτωση που η προσπάθεια είναι επιτυχής, οι ακέραιες τιμές εισάγονται ως γνωστές σε μία ακόμη συνόρθωση με αγνώστους μόνο τις συντεταγμένες, η οποία δίνει και τις τελικές συντεταγμένες υψηλής ακρίβειας.

6.3. Επεξεργασία της Βάσης Λαμπαδάριος – Καστέλα

Οι τελικές συντεταγμένες για το σημείο «Καστέλα» μετά από την επεξεργασία της βάσης «Λαμπαδάριος – Καστέλα» εκτιμήθηκαν και δίνονται παρακάτω στον Πίνακα 6.1.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	E (m)	N (m)	h (m)
ΚΑΣΤΕΛΑ	469604.697 ± 0.002	4198912.113 ± 0.003	91.790 ± 0.008

Πίνακας 6.1. Τελικές συντεταγμένες του σημείου «Καστέλα» στην προβολή του ΕΓΣΑ87

Table 6.1. Final coordinates of the point "Kastela" in projection of GR87

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από την επίλυση της ίδιας βάσης το 2002 υπάρχουν διαφορές στις τιμές των συντεταγμένων. Πιο συγκεκριμένα, η διαφορά κατά E είναι 44 mm, κατά N είναι -57 mm και κατά h είναι -15 mm. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατό να γίνει έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας των διαφορών αυτών καθώς, δεν υπάρχουν τα αντίστοιχα τυπικά σφάλματα των συντεταγμένων (E, N) και του γεωμετρικού υψομέτρου για το 2002. Οι συντεταγμένες της σταθερής κορυφής για το 2002 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	E (m)	N (m)	h (m)
ΚΑΣΤΕΛΑ	469604.653	4198912.170	91.805

Πίνακας 6.2. Συντεταγμένες του σημείου «Καστέλα» στην προβολή του ΕΓΣΑ87 για το 2002 [17]

Table 6.2. Coordinates of the point "Kastela" in projection of GR87 for 2002 [17]

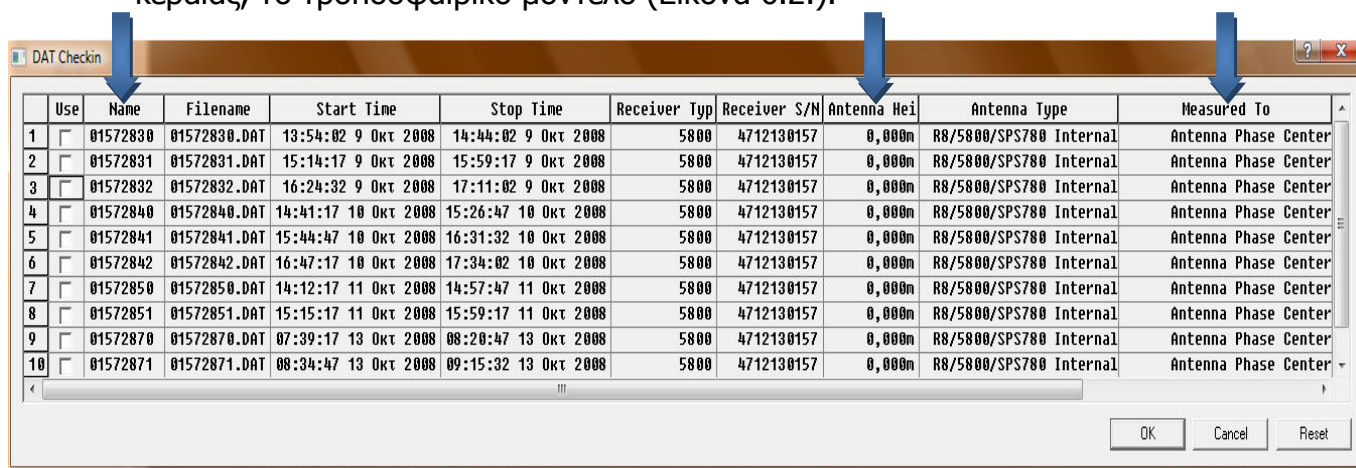
6.4. Επίλυση Δικτύου GPS

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου, ακολουθεί η συλλογή των δεδομένων που μετρήθηκαν καθώς και η επεξεργασία τους. Μέσω της ενσωματωμένης εσωτερικής μνήμης, χωρητικότητας 2 MB, που διαθέτουν οι δέκτες 5800 της Trimble που χρησιμοποιήθηκαν, αποθηκεύονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων χρονολογικά. Έπειτα, αυτά τα μετρηθέντα στοιχεία μεταφέρονται στον υπολογιστή με τη βοήθεια του προγράμματος Trimble Geomatics Office (TGO), το οποίο επιτρέπει τη μεταφορά των δεδομένων, την επεξεργασία των πρωτογενών μετρήσεων και την εισαγωγή ή τροποποίηση διαφόρων μεταβλητών, που υπεισέρχονται στο πρόγραμμα.

Στη συνέχεια, όλα τα αποθηκευμένα δεδομένα της εσωτερικής μνήμης των δεκτών προβάλλονται σε μορφή *.DAT και κάθε ένα αρχείο συνοδεύεται και από ένα αρχείο *.txt, το οποίο περιλαμβάνει γενικές πληροφορίες που αφορούν τις μετρήσεις, όπως η ημερομηνία διεξαγωγής των μετρήσεων, ο τύπος της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε, η διάρκεια της μέτρησης. Στο σημείο αυτό, εμφανίζεται ένας πίνακας με όλες τις μετρήσεις που πάρθηκαν και από τους δύο δέκτες και ζητείται από το χρήστη του προγράμματος να δώσει τις επιθυμητές ονομασίες στα σημεία του δικτύου GPS, το κεκλιμένο ύψος της κεραίας του δέκτη, όπως αυτή έχει μετρηθεί στο ύπαιθρο, και τον τρόπο μέτρησης της κεραίας (Εικόνα 6.1.). Έπειτα από την αποθήκευση των προαναφερθέντων δεδομένων, προβάλλονται, στο περιβάλλον του λογισμικού, όλες οι μετρημένες βάσεις, σχηματίζοντας το δίκτυο GPS, και μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία επεξεργασίας και συνόρθωσης του δικτύου.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι, πριν από την εισαγωγή των δεδομένων, δημιουργήθηκε ένας νέος φάκελος, όπου θα αποθηκεύονταν τα δεδομένα των μετρήσεων, και διαμορφώθηκε από το χρήστη το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται σήμερα στην Ελλάδα, το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87), με μετατροπή των συντεταγμένων από το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα 1984 (WGS84), στο οποίο αναφέρονται οι

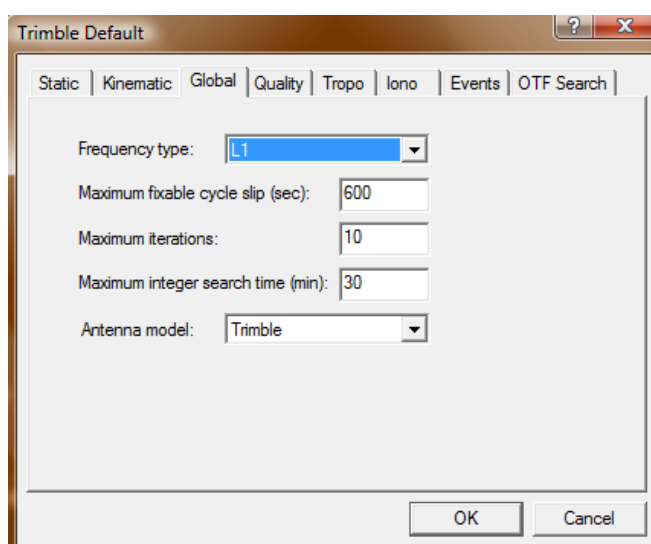
μετρήσεις με το δορυφορικό σύστημα GPS, στο σύστημα αναφοράς του ελλειψοειδούς του ΕΓΣΑ87, προσθέτοντας το γνωστό δάνυσμα μετάθεσης (ΔX , ΔY , ΔZ) (Παράρτημα Ι). Επίσης, επεξεργάστηκαν και κάποιες αρχικές μεταβλητές, που επηρεάζουν την επίλυση του δικτύου, όπως είναι ο τύπος επίλυσης (*solution type*), η τιμή της γωνίας ανύψωσης των δορυφόρων (*elevation mask*), η ελάχιστη διάρκεια παρατήρησης μιας βάσης, ο τύπος της συχνότητας (*frequency type*), ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για την επίλυση των ασαφειών φάσης, το σφάλμα στην κέντρωση και το ύψος της κεραίας, το τροποσφαιρικό μοντέλο (Εικόνα 6.2.).



Use	Name	Filename	Start Time	Stop Time	Receiver Typ	Receiver S/N	Antenna Hei	Antenna Type	Measured To
<input type="checkbox"/>	01572830	01572830.DAT	13:54:02 9 Οκτ 2008	14:44:02 9 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center
<input type="checkbox"/>	01572831	01572831.DAT	15:14:17 9 Οκτ 2008	15:59:17 9 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center
<input type="checkbox"/>	01572832	01572832.DAT	16:24:32 9 Οκτ 2008	17:11:02 9 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center
<input type="checkbox"/>	01572840	01572840.DAT	14:41:17 10 Οκτ 2008	15:26:47 10 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center
<input type="checkbox"/>	01572841	01572841.DAT	15:44:47 10 Οκτ 2008	16:31:32 10 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center
<input type="checkbox"/>	01572842	01572842.DAT	16:47:17 10 Οκτ 2008	17:34:02 10 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center
<input type="checkbox"/>	01572850	01572850.DAT	14:12:17 11 Οκτ 2008	14:57:47 11 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center
<input type="checkbox"/>	01572851	01572851.DAT	15:15:17 11 Οκτ 2008	15:59:17 11 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center
<input type="checkbox"/>	01572870	01572870.DAT	07:39:17 13 Οκτ 2008	08:20:47 13 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center
<input type="checkbox"/>	01572871	01572871.DAT	08:34:47 13 Οκτ 2008	09:15:32 13 Οκτ 2008	5800	4712130157	0,000m	R8/5800/SPS780 Internal	Antenna Phase Center

Εικόνα 6.1. Πίνακας εισαγωγής δεδομένων

Figure 6.1. Table of imported data



Trimble Default

Static | Kinematic | Global | Quality | Tropo | Iono | Events | OTF Search

Frequency type: L1

Maximum fixable cycle slip (sec): 600

Maximum iterations: 10

Maximum integer search time (min): 30

Antenna model: Trimble

OK Cancel

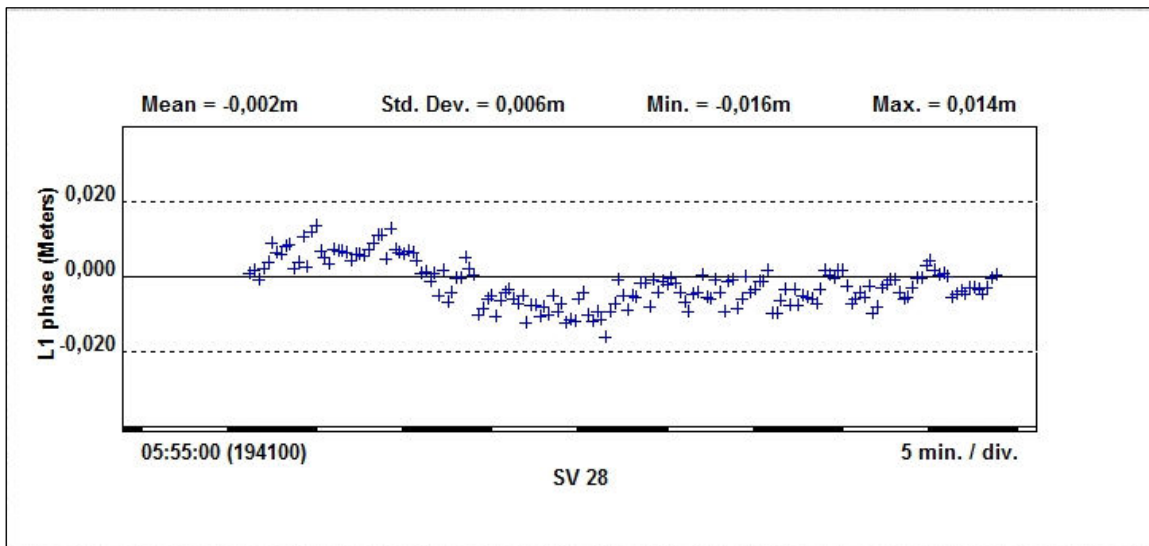
Εικόνα 6.2. Παράθυρο επεξεργασίας μεταβλητών για την επίλυση βάσεων

Figure 6.2. Tab of processing variables for adjustment

Στη συνέχεια, επιλέγεται κάθε βάση ξεχωριστά και επεξεργάζεται ακολουθώντας κάθε φορά μία συγκεκριμένη διαδικασία. Πιο αναλυτικά, από την αναφορά της επεξεργασίας μίας βάσης (*GPS Baseline Processing Report*), ελέγχονται το ποσοστό της μεταβλητότητας της προηγούμενης λύσης προς την επόμενη (*ratio*), η τιμή του οποίου πρέπει να είναι πάνω από 7, η αβεβαιότητα της μέτρησης της βάσης σε σχέση με την καλύτερη (υπολογισμένη) τιμή της (*reference variance*), η τιμή της οποίας πρέπει να είναι κοντά στη μονάδα και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της κάθε παρατήρησης (*RMS*), το οποίο εκφράζει την ακρίβεια στον προσδιορισμό της μέτρησης του σημείου. Οι παραπάνω τιμές χαρακτηρίζουν την ποιότητα της επίλυσης μιας βάσης και ελέγχονται προκειμένου να διαπιστωθεί αν θεωρείται αποδεκτή ή όχι η βάση αυτή.

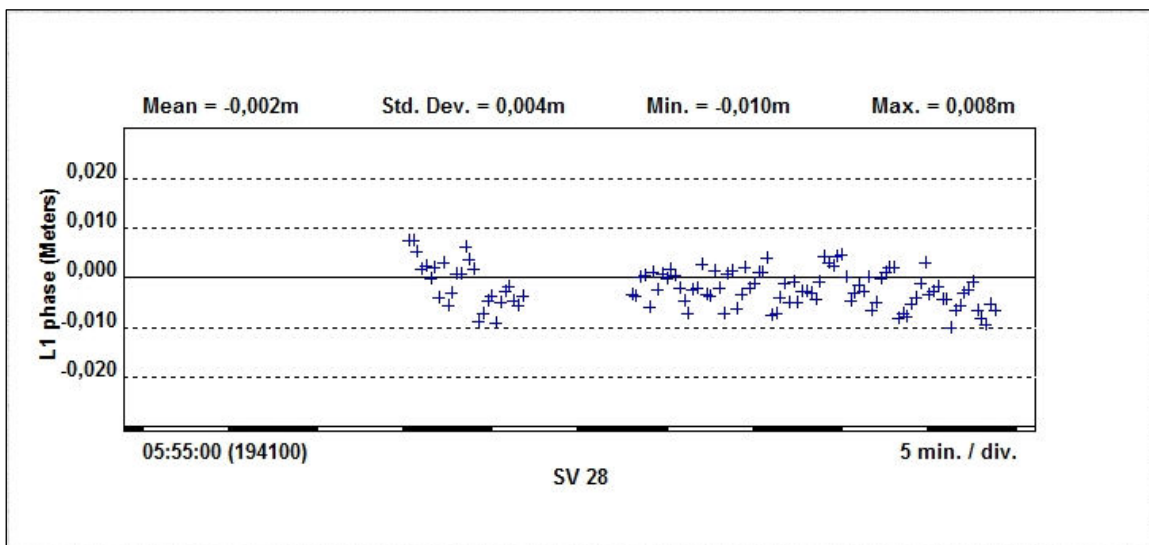
Εκτός από τις τρεις αυτές τιμές, η ποιότητα των παρατηρήσεων μπορεί να εξεταστεί και μέσω των υπολοίπων των μετρήσεων για κάθε δορυφόρο που παρατηρείται στον ουράνιο θόλο κατά τη διάρκεια της συλλογής των δεδομένων. Το υπόλοιπο εκφράζει τη διαφορά της τιμής μεταξύ της παρατηρούμενης ποσότητας και της υπολογισμένης ποσότητας, η οποία, στην προκειμένη περίπτωση, είναι αυτή της φάσης (*carrier phase*). Οι τιμές των υπολοίπων αναλύονται για να προσδιορίσουν τις συνέπειες των πολλαπλών διαδρομών του σήματος (*multipath error*) που εμφανίζονται στη μέτρηση φάσης.

Στο στάδιο της επεξεργασίας, αφαιρούνται διαστήματα παρατηρήσεων ή ακόμη και ολόκληροι δορυφόροι που μπορεί να επηρεάζουν αρνητικά την οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια. Αυτά τα συγκεκριμένα διαστήματα εντοπίζονται κυρίως, από το διάγραμμα των υπολοίπων και επιτυγχάνεται η καλύτερη επίλυση με διαδοχικές, πολλαπλές δοκιμές. Στις παρακάτω εικόνες, παρουσιάζονται τα υπόλοιπα του δορυφόρου SV28 για τη βάση «Π. Μυρτιδιώτισσα – Έλικας» και τα στατιστικά στοιχεία της εν λόγω βάσης πριν και μετά από την επεξεργασία των μετρήσεων.



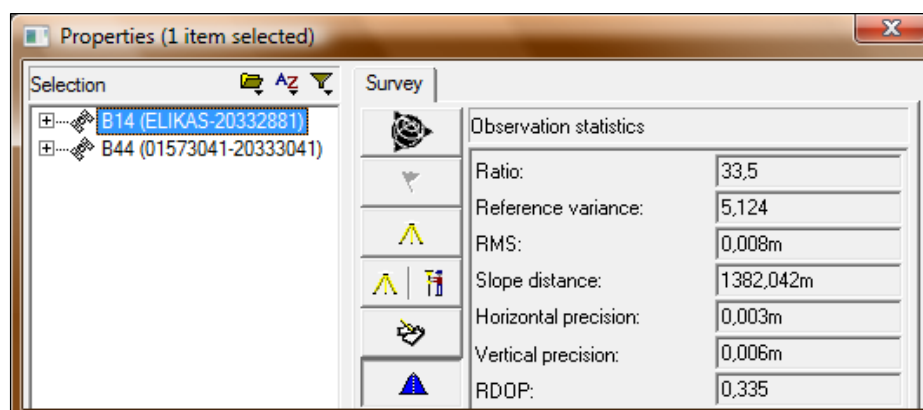
Εικόνα 6.3. Διάγραμμα υπολοίπων του δορυφόρου SV 28 πριν από την επεξεργασία των μετρήσεων για τη βάση «Π. Μυρτιδιώτισσα – Έλικας»

Figure 6.3. Satellite SV 28 residuals' diagram before the processing of GPS baseline "P. Myrtiliotisa – Elikas"



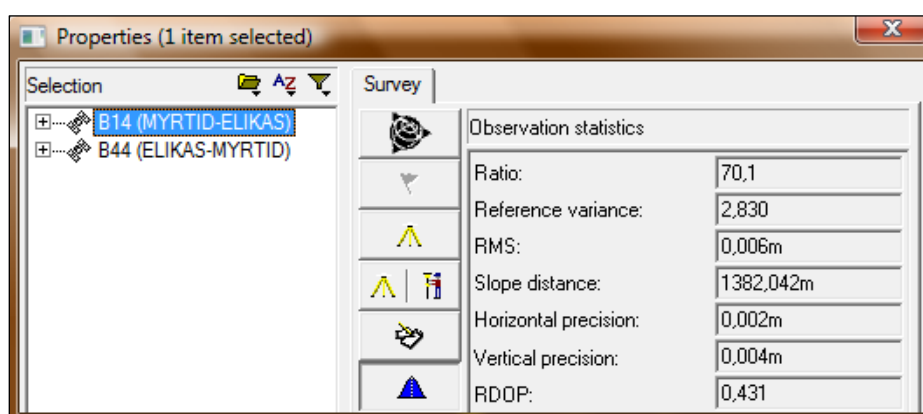
Εικόνα 6.4. Διάγραμμα υπολοίπων του δορυφόρου SV 28 μετά από την επεξεργασία των μετρήσεων για τη βάση «Π. Μυρτιδιώτισσα – Έλικας»

Figure 6.4. Satellite SV 28 residuals' diagram after the processing of GPS baseline "P. Myrtiliotisa – Elikas"



Εικόνα 6.5. Στατιστικά στοιχεία βάσης πριν την επεξεργασία των δεδομένων

Figure 6.5. Baseline's statistics before the data processing



Εικόνα 6.6. Στατιστικά στοιχεία βάσης μετά την επεξεργασία των δεδομένων

Figure 6.6. Baseline's statistics after the data processing

Η πιο άμεση και εύκολη μέθοδος για να διαπιστωθεί αν υπάρχει συνοχή στο δίκτυο GPS είναι με τον έλεγχο του κλεισίματος των βρόχων (*Loop Closure*). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, με εντολή μέσα από το πρόγραμμα, ελέγχεται αν το άθροισμα των διανυσμάτων που σχηματίζουν ένα βρόχο (τρίγωνο στην προκειμένη περίπτωση) ξεπερνούν τα όρια, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά, που έχουν οριστεί από το χρήστη και καλύπτουν τις ανάγκες της ακρίβειάς του. Επίσης, εκτός από την ανάλυση των δεδομένων και τα στατιστικά στοιχεία, αποτελεί και έναν τρόπο επιλογής του πλήθους των βάσεων που πρέπει τελικά να συμπεριληφθούν στη συνόρθωση του δικτύου. Αν, για

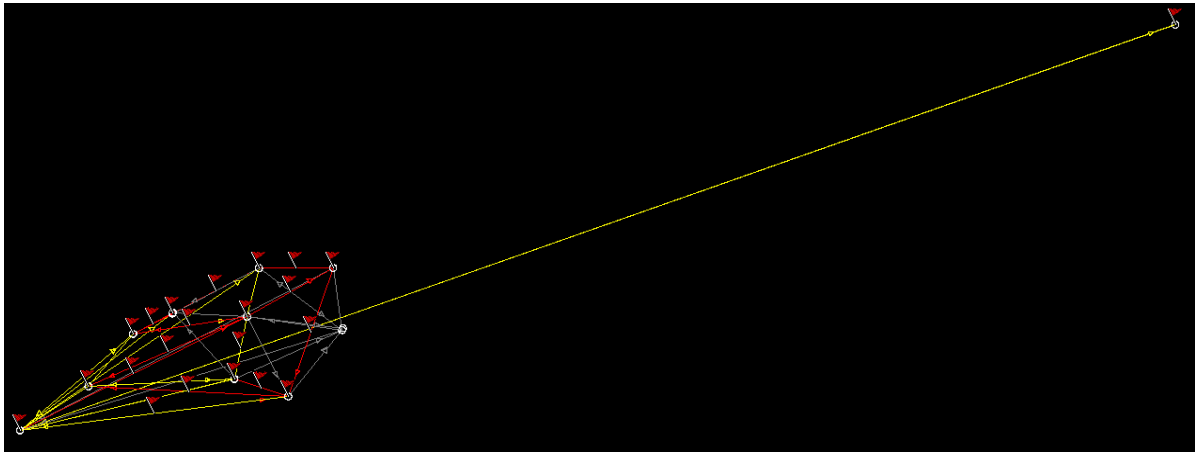
παράδειγμα, μία βάση παρατηρείται ότι δημιουργεί μεγάλα κλεισίματα στα τρίγωνα που συμμετέχει, τότε θα πρέπει να αποκλειστεί από την επίλυση του δικτύου. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, οι βάσεις που τηρούν τις προαναφερθείσες προδιαγραφές και περιλαμβάνονται τελικά στη συνόρθωση του δικτύου GPS είναι συνολικά 41 από τις 51 μετρημένες βάσεις.

Στο επόμενο στάδιο, αφού έγινε και ο έλεγχος κλεισίματος των τριγώνων, δίνονται συντεταγμένες στο σταθερό σημείο του δικτύου, την «Καστέλα», η οποία αποτέλεσε σταθερή κορυφή και το 2002, όπως αυτές έχουν προκύψει από την επίλυση της βάσης «Λαμπαδάριος – Καστέλα». Τέλος, ακολουθεί η συνόρθωση του δικτύου GPS (*adjust*) μέσω της αντίστοιχης εντολής του λογισμικού. Οι παρατηρήσεις του δικτύου GPS θεωρούνται ανισοβαρείς ενώ το πρόγραμμα προσδιορίζει αυτόματα την τιμή του βάρους με το οποίο θα πρέπει να συμβάλλει κάθε παρατήρηση στο τελικό αποτέλεσμα βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων, όπως είναι τα στατιστικά στοιχεία (*reference variance, ratio, RMS, RDOP*), το μήκος της μετρημένης βάσης και η ποιότητα των παρατηρήσεων. Έπειτα από πολλαπλές επιλύσεις και εφόσον έχουν συγκλίνει οι διορθώσεις των συντεταγμένων των κορυφών (Δ Easting, Δ Northing, Δ Height) στο μηδέν και το *a posteriori* τυπικό σφάλμα της επίλυσης $\hat{\sigma}_0$ σε μία τιμή που να μη μεταβάλλεται, προκύπτουν οι τελικές τιμές των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου GPS στην προβολή του ΕΓΣΑ87, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.3.). Παράλληλα με την επίλυση γίνονται και οι στατιστικοί έλεγχοι του δικτύου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και παρουσιάζονται στην αναφορά της επίλυσης (*adjustment report*) οι τελικές συντεταγμένες όλων των σημείων και οι ακρίβειές τους, οι συνορθωμένες παρατηρήσεις αναλυτικά, το *a posteriori* τυπικό σφάλμα της επίλυσης, τα στοιχεία της έλλειψης για κάθε σημείο.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	E (m)	N (m)	h (m)
ΚΑΣΤΕΛΑ	469604.697 ± 0.000	4198912.113 ± 0.000	91.790 ± 0.000
ΣΧΟΛΕΙΟ	471754.356 ± 0.002	4200004.386 ± 0.003	9.744 ± 0.007
ΓΕΦΥΡΑ	471868.175 ± 0.002	4200473.561 ± 0.002	13.633 ± 0.006
ΙΛΙΣΟΣ	472568.994 ± 0.002	4200472.984 ± 0.003	16.355 ± 0.007
ΕΛΙΚΑΣ	471631.877 ± 0.002	4199402.171 ± 0.002	8.826 ± 0.005
ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	470676.131 ± 0.002	4199840.778 ± 0.002	9.832 ± 0.005
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	470252.025 ± 0.002	4199334.747 ± 0.002	9.205 ± 0.005
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	472141.119 ± 0.002	4199230.503 ± 0.003	9.620 ± 0.007
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	472651.068 ± 0.005	4199871.637 ± 0.007	10.853 ± 0.017
ΚΗΦΙΣΟΣ	471049.728 ± 0.004	4200039.128 ± 0.004	10.083 ± 0.012

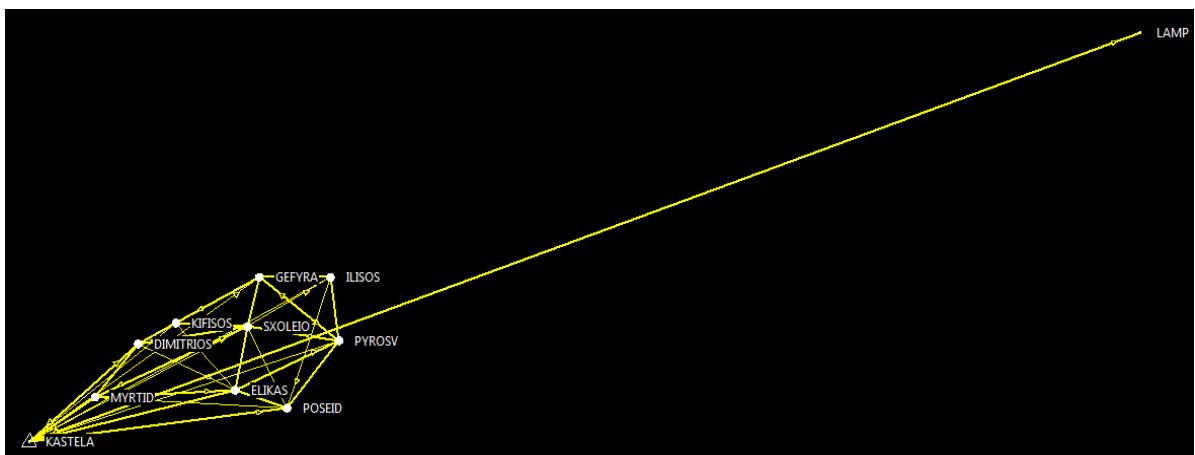
Πίνακας 6.3. Τελικές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου GPS στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή του ΕΓΣΑ87

Table 6.3. Adjusted coordinates of the GPS network points in the projection of GR87



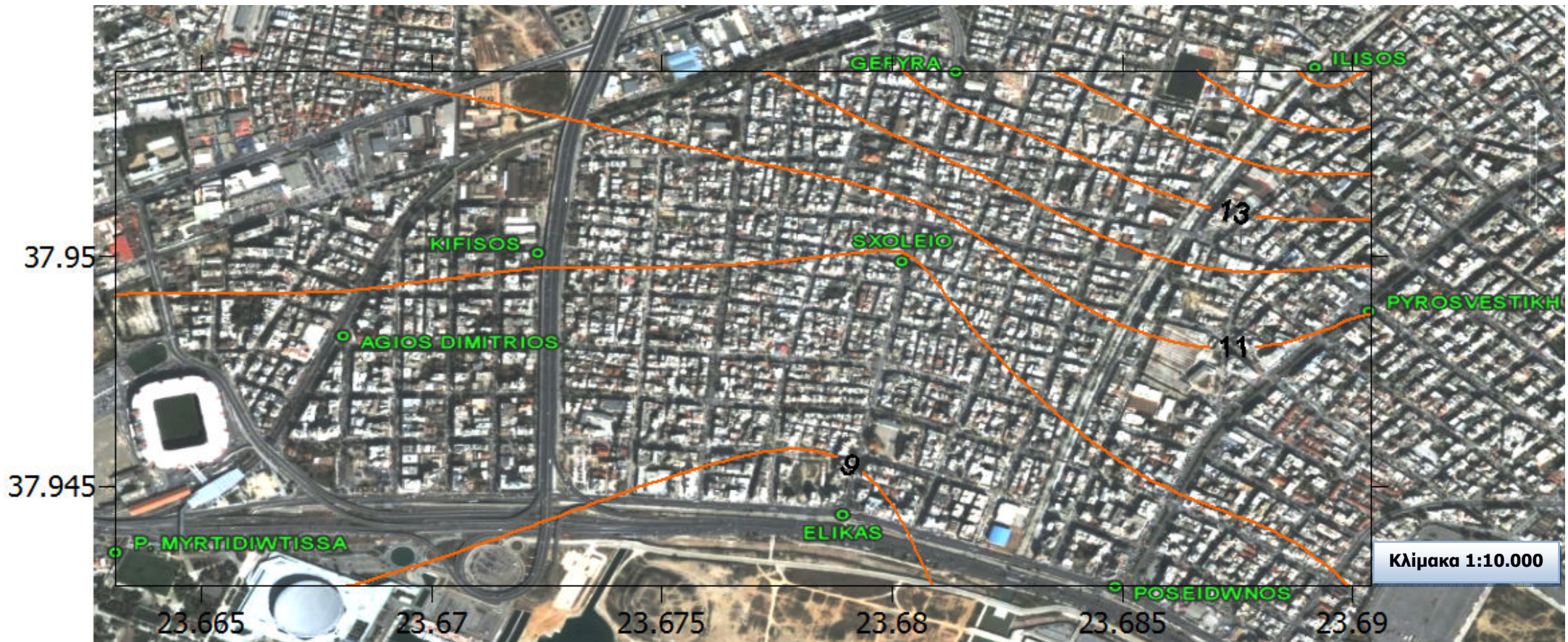
Εικόνα 6.7. Το δίκτυο GPS πριν από την επεξεργασία και επίλυση των βάσεων

Figure 6.7. The GPS network before the processing and adjustment of baselines



Εικόνα 6.8. Το δίκτυο GPS μετά από την επεξεργασία και επίλυση των βάσεων

Figure 6.8. The GPS network after the processing and adjustment of baselines



Εικόνα 6.9. Ισοΰψεις των γεωμετρικών υψομέτρων της περιοχής μελέτης (m)

Figure 6.9. Contours of equal geometric height in the study area (m)

6.4.1. Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

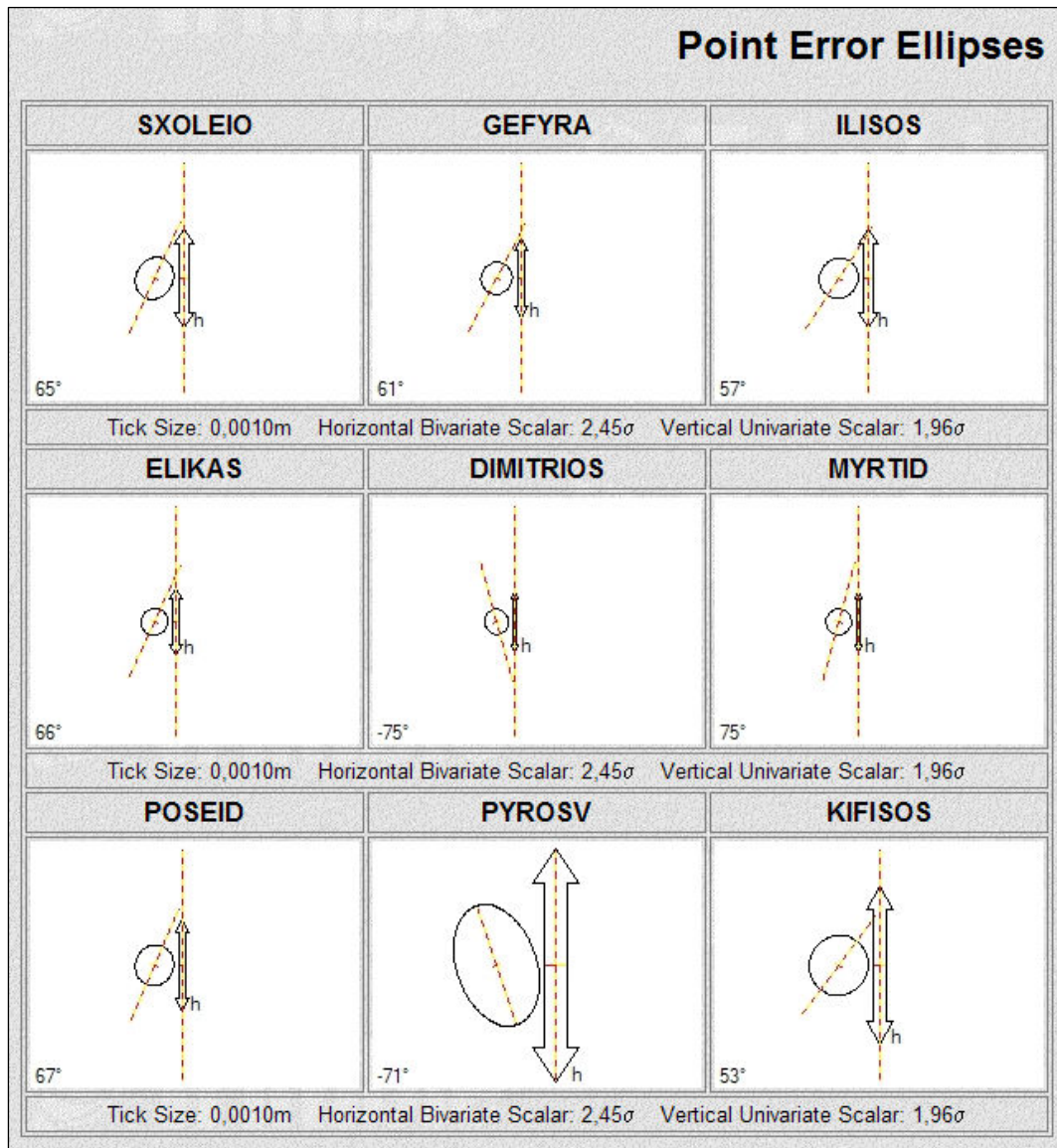
Το δίκτυο ελέγχου GPS αποτελείται, όπως προαναφέρθηκε, από συνολικά 51 μετρημένες βάσεις και επιλύθηκε δύο φορές, με τη βοήθεια του προγράμματος TGOoffice στο WGS84, όπως φαίνεται παρακάτω. Σαν σημείο αναφοράς του δικτύου θεωρήθηκε η κορυφή «Καστέλα».

➤ Συνόρθωση δικτύου με όλες τις μετρημένες βάσεις (51)

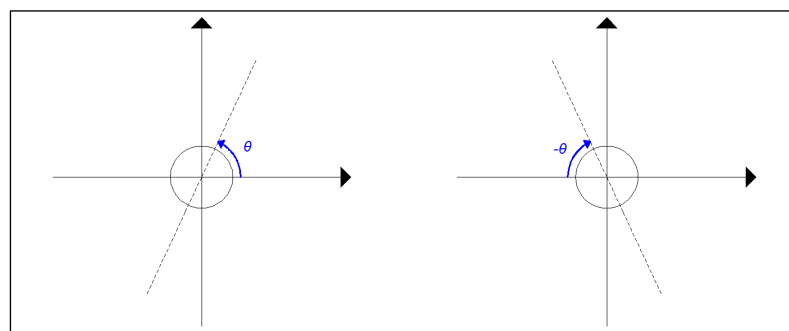
Αρχικά, συμμετείχαν όλες οι βάσεις, που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο, και σε κάθε μία από αυτές δόθηκε διαφορετικό βάρος ανάλογα με την ποιότητα της παρατήρησης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν είναι αρκετά ικανοποιητικά κυρίως, ως προς τον έλεγχο κλεισίματος των σχηματιζόμενων τριγώνων μεταξύ των κορυφών του δικτύου GPS. Πιο συγκεκριμένα, η τυπική απόκλιση των συντεταγμένων κυμαίνεται από ± 0.002 m έως ± 0.005 m κατά X, από ± 0.002 m έως ± 0.008 m κατά Y και από ± 0.005 m έως ± 0.017 m στην ακρίβεια προσδιορισμού των γεωμετρικών υψομέτρων. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο μέσος όρος της ακρίβειας προσδιορισμού των συντεταγμένων κατά X και Y είναι ± 0.002 m και ± 0.003 m αντίστοιχα ενώ για τα γεωμετρικά υψόμετρα h είναι ± 0.008 m και τη μέγιστη τιμή σφάλματος παρουσιάζει η κορυφή «Πυροσβεστική» με $\sigma_x = \pm 0.005$ m, $\sigma_y = \pm 0.008$ m και $\sigma_h = \pm 0.017$ m. Επιπροσθέτως, οι ημιάξονες των ελλείψεων σφάλματος των κορυφών είναι περίπου ίσες (σχήμα σχεδόν κυκλικό), με εξαίρεση τις κορυφές «Πυροσβεστική» και «Σχολείο», γεγονός που αποδεικνύει ότι υπάρχει αρμονική ακρίβεια κατά X και Y ενώ το μέγεθός τους είναι σχετικά μικρό, με μεγαλύτερη της κορυφής «Πυροσβεστική» και μικρότερη της κορυφής «Άγιος Δημήτριος». Όσον αφορά τον μονοδιάστατο έλεγχο κατά h , τη μεγαλύτερη τιμή σφάλματος εμφανίζει η κορυφή «Πυροσβεστική» και την ελάχιστη η κορυφή «Άγιος Δημήτριος».

➤ **Συνόρθωση δικτύου με τις 41 βάσεις**

Στη δεύτερη περίπτωση, στη συνόρθωση του δικτύου συμμετείχαν οι 41 καλύτερες βάσεις με διαφορετικό βάρος για κάθε μία από αυτές. Πιο συγκεκριμένα, οι δέκα βάσεις που αφαιρέθηκαν είναι αυτές, οι οποίες παρατηρήθηκε ότι επηρεάζουν σημαντικά το κλείσιμο των τριγώνων του δικτύου συνολικά. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι πολύ ικανοποιητικά τόσο ως προς την ολική ακρίβεια επίλυσης του δικτύου όσο και ως προς τον έλεγχο κλεισίματος των σχηματιζόμενων τριγώνων μεταξύ των κορυφών του δικτύου GPS. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6.3., η τυπική απόκλιση στον προσδιορισμό των συντεταγμένων κυμαίνεται από ± 0.002 m έως ± 0.005 m κατά X, από ± 0.002 m έως ± 0.007 m κατά Y και από ± 0.005 m έως ± 0.017 m στην ακρίβεια προσδιορισμού των γεωμετρικών υψομέτρων. Ο μέσος όρος της ακρίβειας προσδιορισμού των συντεταγμένων κατά X και Y είναι ± 0.003 m και για τις δύο περιπτώσεις ενώ για τα γεωμετρικά υψόμετρα είναι ± 0.008 m και τη μέγιστη τιμή σφάλματος παρουσιάζει η κορυφή «Πυροσβεστική» με $\sigma_x = \pm 0.005$ m, $\sigma_y = \pm 0.007$ m και $\sigma_h = \pm 0.017$ m. Επιπροσθέτως, το σχήμα των ελλείψεων σφάλματος είναι σχεδόν κυκλικό με εξαίρεση τις κορυφές «Πυροσβεστική» και «Σχολείο», γεγονός που αποδεικνύει, όμοια με πριν, ότι οι τιμές του μέγιστου και του ελάχιστου τυπικού σφάλματος δεν διαφέρουν σημαντικά. Ο προσανατολισμός τους κυμαίνεται από 53° έως 75° και από -71° έως -75° (Εικόνα 6.10.) ενώ το μέγεθός τους είναι σχετικά μικρό, με μεγαλύτερη της κορυφής «Πυροσβεστική» και μικρότερη της κορυφής «Άγιος Δημήτριος» και «Π. Μυρτιδιώτισσα». Όσον αφορά τον μονοδιάστατο έλεγχο κατά h , τη μεγαλύτερη τιμή σφάλματος εμφανίζει η κορυφή «Πυροσβεστική» και την ελάχιστη η κορυφή «Άγιος Δημήτριος». Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι ελλείψεις σφάλματος και τα διανύσματα του μονοδιάστατου ελέγχου, όπως εμφανίζονται στο αρχείο *Network Adjustment Report* του προγράμματος TGOoffice.



Εικόνα 6.10. Διδιάστατος και μονοδιάστατος έλεγχος κάθε κορυφής
Figure 6.10. Two-dimensional and one-dimensional check of every point



Εικόνα 6.11. Γωνίες προσανατολισμού ελλειψων σφάλματος
Figure 6.11. Direction angle of error ellipses

➤ Σύγκριση των δύο επιλύσεων του δικτύου

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δύο παραπάνω επιλύσεις προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για τη επιρροή της ποιότητας των μετρημένων βάσεων στην επίλυση του δικτύου GPS.

Πιο συγκεκριμένα, οι διαφορές που παρατηρούνται στις τιμές των συντεταγμένων (X, Y) κυμαίνονται από ± 0.001 m έως ± 0.003 m κατά X και ± 0.001 m έως ± 0.004 m κατά Y, με τη μέγιστη στην κορυφή «Πυροσβεστική» ενώ η διαφορά στην ακρίβεια των συντεταγμένων (σ_x, σ_y) είναι ± 0.001 m. Όσον αφορά τα γεωμετρικά υψόμετρα, παρατηρούνται διαφορές από ± 0.001 m έως ± 0.007 m, με τη μέγιστη στην κορυφή «Πυροσβεστική» ενώ η μόνη διαφορά που εντοπίζεται στο τυπικό σφάλμα σ_h είναι -0.003 m στην κορυφή «Κηφισός». Τέλος, μελετώντας τα διαγράμματα των ελλείψεων σφάλματος και τα μεγέθη των διανυσμάτων μονοδιάστατου ελέγχου, παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον προσανατολισμό, το σχήμα και το μέγεθός τους μεταξύ των δύο επιλύσεων.

Κάνοντας έναν γενικότερο συλλογισμό για τα αποτελέσματα που προέκυψαν, συμπεραίνεται ότι η κορυφή του δικτύου «Πυροσβεστική» παρουσιάζει ένα γενικότερο πρόβλημα καθώς, εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές στα τυπικά σφάλματα των συντεταγμένων (X, Y) και του γεωμετρικού υψόμετρου και κατ' επέκτασιν, η έλλειψη σφάλματος και το διάνυσμα κατά h διαφέρουν σημαντικά ως προς το σχήμα και το μέγεθός τους σε σχέση με τις υπόλοιπες κορυφές. Τα αποτελέσματα αυτά είναι αναμενόμενα, στην περίπτωση αστικού περιβάλλοντος, και κυρίως, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη θέση της κορυφής αυτής, όπου έχει ιδρυθεί. Πιο συγκεκριμένα, η κορυφή «Πυροσβεστική» βρίσκεται στο πεζοδρόμιο της λεωφόρου Θησέως στην Καλλιθέα δίπλα στο φανάρι, όπου ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι ιδιαίτερα αυξημένος και έτσι, υπάρχει πρόβλημα πολλαπλών διαδρομών λόγω ανακλάσεων από τα διερχόμενα αυτοκίνητα, είναι κοντά σε κεραιές αναμετάδοσης σήματος και η κεραία του δέκτη GPS υποχρεωτικά στήνεται ακριβώς κάτω από ένα δέντρο.

Σαν καλύτερη επίλυση του δικτύου GPS επιλέχθηκε αυτή όπου συμμετέχουν οι 41 μετρημένες βάσεις καθώς, αν και η συνολική ακρίβεια του δικτύου δεν διαφέρει σημαντικά από την άλλη επίλυση, τα κλεισίματα των τριγώνων, που σχηματίζονται μεταξύ τριών κορυφών, είναι πολύ καλύτερα. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην επίλυση αυτή συμμετέχουν μόνο οι βάσεις εκείνες των οποίων τα στατιστικά στοιχεία Reference Variance, Ratio και RMS είναι κοντά στις απαιτούμενες προδιαγραφές και η ποιότητα των μετρημένων βάσεων είναι η καλύτερη, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη γεωμετρία των δορυφόρων (*RDOP*), το χρόνο παραμονής στο ύπαιθρο και τη θέση της εκάστοτε κορυφής.

6.5. Υπολογισμός Μοντέλου Τοπικού Γεωειδούς

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου και την επεξεργασία των δεδομένων GPS που μετρήθηκαν, ακολουθεί ο προσδιορισμός ενός μοντέλου τοπικού γεωειδούς για την περιοχή του Νέου Φαλήρου, του Μοσχάτου και της Καλλιθέας, με σκοπό να διαπιστωθεί αν το συγκεκριμένο μοντέλο ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Η σχέση που συνδέει το γεωμετρικό υψόμετρο h , που προσδιορίζεται στη συγκεκριμένη περίπτωση από το δίκτυο GPS, με το ορθομετρικό υψόμετρο H και το υψόμετρο γεωειδούς N ενός σημείου P , που βρίσκεται πάνω στη φυσική γήινη επιφάνεια, αλλά και τις επιφάνειες μεταξύ τους είναι:

$$h = H + N \quad (6.1)$$

Για να προσδιοριστεί το μέγεθος του σφάλματος σ_N του υψομέτρου γεωειδούς N του σημείου P , εφαρμόζεται ο Νόμος Μετάδοσης Σφαλμάτων στην προηγούμενη εξίσωση, δηλαδή θα ισχύει ότι:

$$\sigma_N^2 = \sigma_h^2 + \sigma_H^2 \Rightarrow \sigma_N = \pm \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_H^2} \quad (6.2)$$

Τα γεωμετρικά υψόμετρα h και τα αντίστοιχα σφάλματα προέκυψαν από την επίλυση του δικτύου ελέγχου GPS μέσω του προγράμματος TGOoffice, που συνοδεύει τους δέκτες. Τα ορθομετρικά υψόμετρα H προέκυψαν από μετρήσεις Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης και υπολογίστηκαν τα σφάλματά τους εφαρμόζοντας Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων στην εξίσωση παρατήρησης $H_{GPS} = H_{Reper} + \Delta H$ (βλ. Κεφ. 5.7).

Στη συνέχεια, παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των παραπάνω υψομέτρων και των σφαλμάτων τους κάθε σημείου ελέγχου του δικτύου GPS της περιοχής μελέτης.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	h_i (m)	H_i (m)	N_i (m)
ΣΧΟΛΕΙΟ	9.744 ±0.007	2.461 ±0.001	7.283 ±0.007
ΓΕΦΥΡΑ	13.633 ±0.006	6.373 ±0.001	7.260 ±0.006
ΙΛΙΣΟΣ	16.355 ±0.007	9.077 ±0.001	7.278 ±0.007
ΕΛΙΚΑΣ	8.826 ±0.005	1.545 ±0.001	7.281 ±0.005
ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	9.832 ±0.005	2.569 ±0.001	7.263 ±0.005
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	9.205 ±0.005	1.942 ±0.001	7.263 ±0.005
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	9.620 ±0.007	2.330 ±0.001	7.290 ±0.007
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	10.853 ±0.017	3.588 ±0.001	7.265 ±0.017
ΚΗΦΙΣΟΣ	10.083 ±0.0012	2.841 ±0.001	7.242 ±0.012

Πίνακας 6.4. Γεωμετρικά (GRS80 του ΕΓΣΑ87), ορθομετρικά υψόμετρα, υψόμετρα γεωειδούς και αντίστοιχη ακρίβεια

Table 6.4. Geometric (GRS80 of GR87), orthometric and geoidal heights of the GPS network points together with their accuracies

Μετά από τον προσδιορισμό των υψομέτρων γεωειδούς N κάθε σημείου ελέγχου του δικτύου GPS, ακολουθεί ο προσδιορισμός ενός μοντέλου τοπικού γεωειδούς. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης έχει έκταση της τάξης των 1.5 Km^2 ενώ, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 6.4., τα υψόμετρα του γεωειδούς δε διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 5 cm . Για το λόγο αυτό, το γεωειδές συνηθίζεται να προσεγγίζεται με μία επιφάνεια και στην απλούστερη περίπτωση με ένα επίπεδο. Το βασικό πλεονέκτημα ενός τέτοιου επιπέδου μιας μέσης κλίσης είναι η ευκολία των υπολογισμών ενώ προϋπόθεση είναι να υπάρχουν τουλάχιστον τρία κοινά σημεία στην περιοχή με γνωστά γεωμετρικά και ορθομετρικά υψόμετρα.

Η εξίσωση ενός τέτοιου επιπέδου εκφράζεται από τη γενική σχέση:

$$N = A \cdot x + B \cdot y + \Gamma \quad (6.3)$$

όπου (x, y) οι συντεταγμένες των σημείων στην προβολή που χρησιμοποιεί το σύστημα αναφοράς (Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή για το ΕΓΣΑ87) και A, B, Γ οι άγνωστες ανεξάρτητες παράμετροι του επιπέδου που προσδιορίζονται από τρεις τέτοιες εξισώσεις.

Εφόσον στην περιοχή μελέτης υπάρχουν περισσότερα από τρία κοινά σημεία με γνωστά γεωμετρικά και ορθομετρικά υψόμετρα, το βέλτιστο επίπεδο υπολογίζεται με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων σε προγραμματιστικό περιβάλλον Matlab. Προσδιορίζονται οι τελικές τιμές των συντελεστών της εξίσωσης του επιπέδου καθώς, και ο αντίστοιχος πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητάς τους.

Ο συνολικός αριθμός των μετρηθέντων στοιχείων είναι ίσος με $n = 9$. Ο αριθμός των αγνώστων ανεξάρτητων καθοριστικών παραμέτρων A, B και Γ ισούται με $m = 3$. Επομένως, ο βαθμός ελευθερίας, ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση $r = n - m$, προκύπτει ίσος με $r = 6$.

Αρχικά, κατασκευάζεται ο πίνακας των συντελεστών των αγνώστων ανεξάρτητων καθοριστικών παραμέτρων (πίνακας A), ο οποίος έχει διαστάσεις

A_m^n , δηλαδή A_3^9 . Το διάνυσμα των καλύτερων τιμών των αγνώστων

$$\text{ανεξάρτητων καθοριστικών παραμέτρων είναι } \hat{x} = \begin{bmatrix} A \\ B \\ \Gamma \end{bmatrix} \quad (6.4).$$

Για κάθε κορυφή του δικτύου GPS σχηματίζεται μία εξίσωση παρατήρησης της μορφής:

$$N_i + u = A \cdot x_i + B \cdot y_i + \Gamma \quad (6.5)$$

Γενικότερα, το σύστημα των εξισώσεων παρατήρησης σε μορφή πινάκων είναι:

$$A \cdot \hat{x} = \delta l + u \quad (6.6)$$

όπου, δl : το διάνυσμα των υψομέτρων γεωειδούς

Ο πίνακας βαρών P είναι μοναδιαίος, δηλαδή $P = I$ καθώς, οι παρατηρήσεις θεωρούνται ισοβαρείς.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, σχηματίζεται το κανονικό σύστημα $A^T \cdot A \cdot \hat{x} = A^T \cdot \delta l$ ή $N \cdot \hat{x} = u$ και από την επίλυση του συστήματος αυτού προκύπτει το διάνυσμα \hat{x} των τελικών τιμών των παραμέτρων της εξίσωσης του επιπέδου, το οποίο ισούται με:

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} 1.1751176970 \cdot 10^{-5} \\ -1.8243611152 \cdot 10^{-5} \\ 78.3477939 \end{bmatrix}$$

Κατόπιν, προσδιορίζεται το διάνυσμα των διορθωμένων υψομέτρων γεωειδούς από τη σχέση $\hat{l} = A \cdot \hat{x}$ καθώς επίσης, και το διάνυσμα των υπολοίπων από την εξίσωση: $u = \hat{l} - \delta l$.

Το a posteriori τυπικό σφάλμα $\hat{\sigma}_0$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{u}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{u}}{r}} \quad (6.7)$$

και μέσα από τη διαδικασία της συνόρθωσης, προκύπτει ίσο με $\hat{\sigma}_0 = \pm 0.0121973381$.

Ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας των παραμέτρων της εξίσωσης του επιπέδου προκύπτει από την εξίσωση:

$$\hat{V}_{\hat{x}} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot \mathbf{N}^{-1} \Rightarrow \hat{V}_{\hat{x}} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A})^{-1} \quad (6.8)$$

Και είναι ίσος με:

$$V_{\hat{x}} = \begin{bmatrix} 3.1465827 \cdot 10^{-11} & -1.9894555 \cdot 10^{-11} & 6.8714230 \cdot 10^{-5} \\ -1.9894555 \cdot 10^{-11} & 1.0077475 \cdot 10^{-10} & -4.1385635 \cdot 10^{-4} \\ 6.8714230 \cdot 10^{-5} & -4.1385635 \cdot 10^{-4} & 1705.7284184 \end{bmatrix}$$

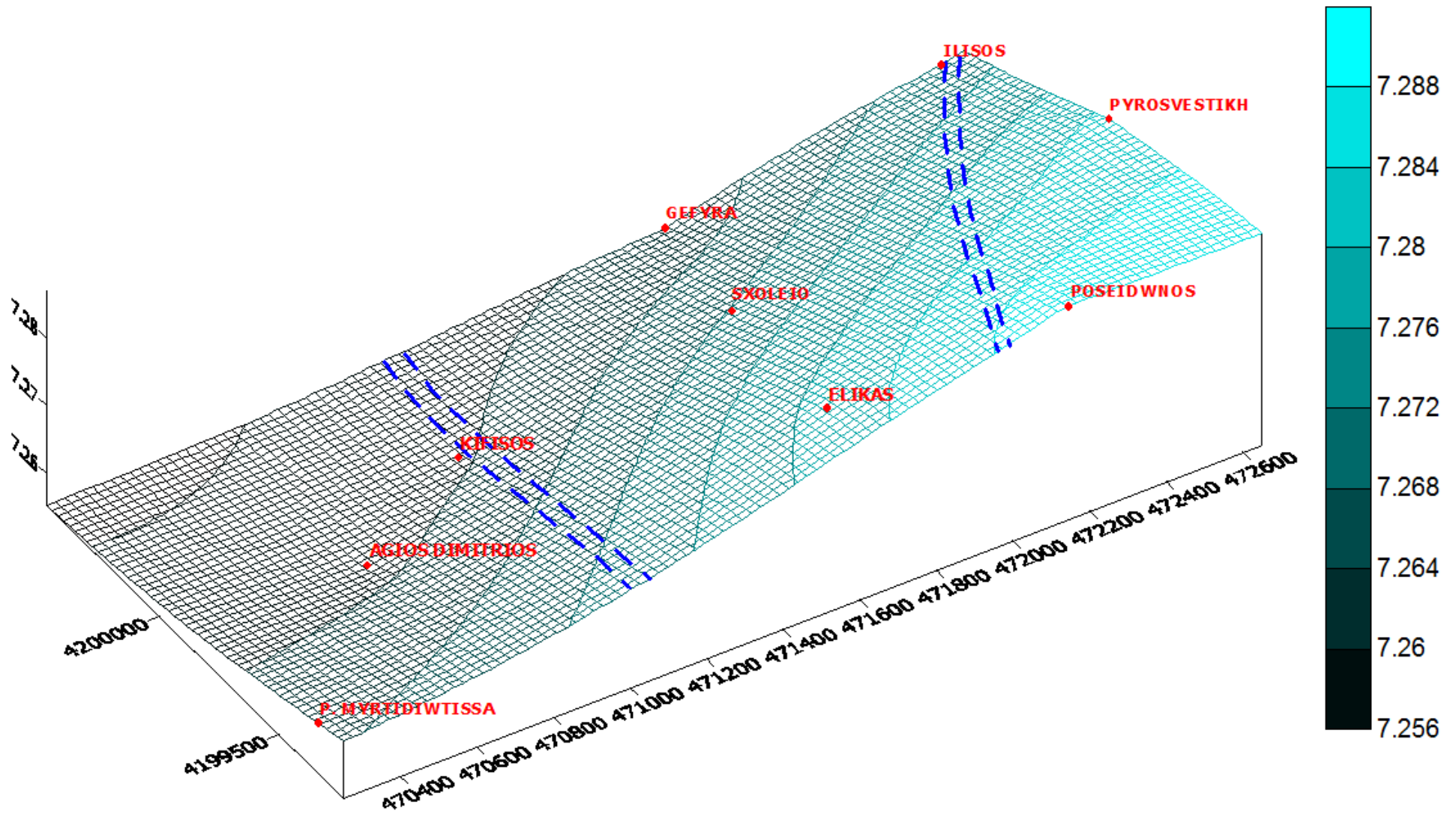
Από τον πίνακα αυτόν, προκύπτουν τα a posteriori τυπικά σφάλματα των τριών αυτών παραμέτρων και πιο συγκεκριμένα, ισχύουν:

$$\begin{aligned} \sigma_A &= \pm 5.6094409 \cdot 10^{-6} \\ \sigma_B &= \pm 1.0038663 \cdot 10^{-5} \\ \sigma_r &= \pm 41.3004651 \end{aligned}$$

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, η εξίσωση που περιγράφει το επίπεδο, με το οποίο προσεγγίζεται ένα μοντέλο τοπικού γεωειδούς στην περιοχή μελέτης είναι:

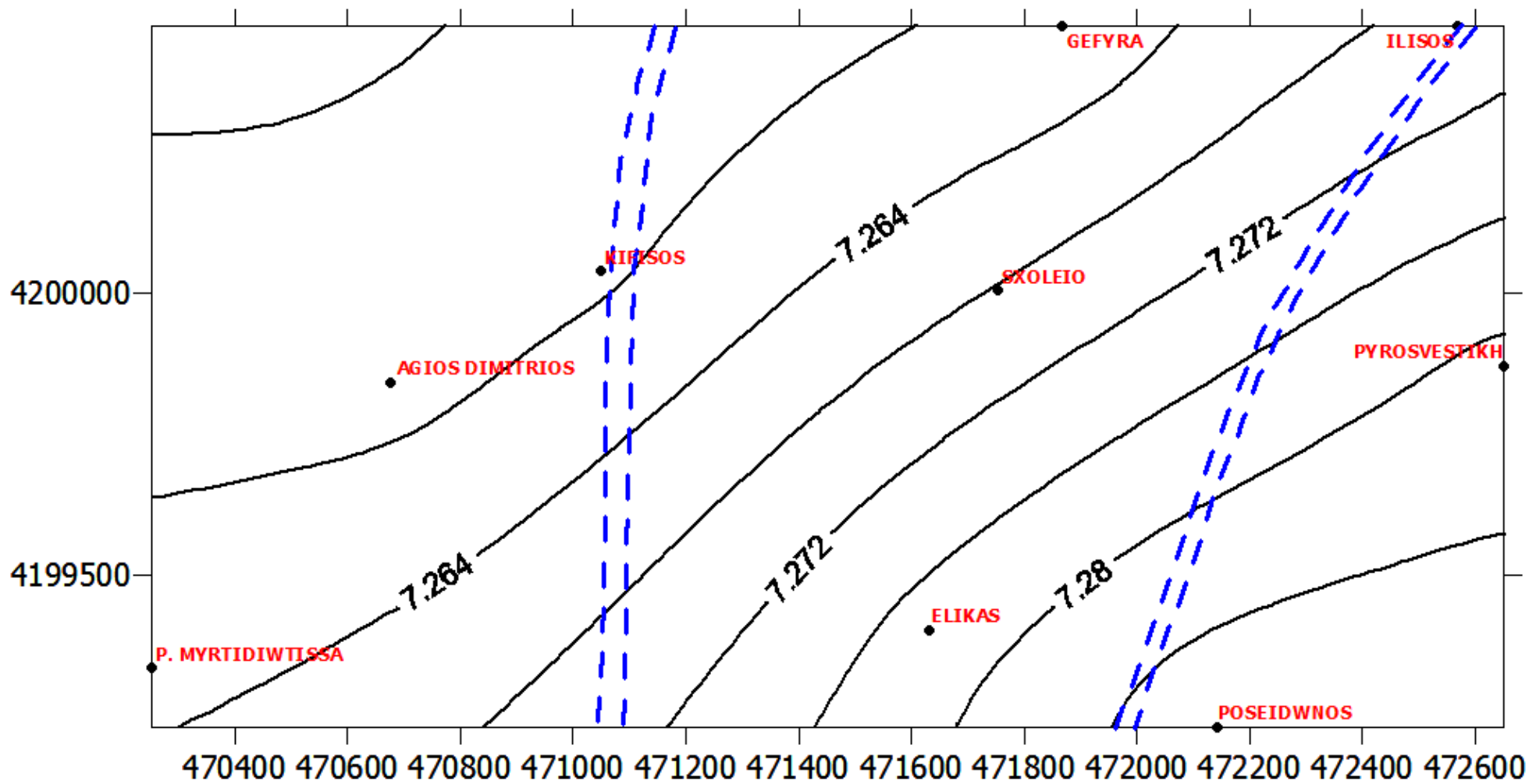
$$N = 1.1751176970 \cdot 10^{-5} \cdot x - 1.8243611152 \cdot 10^{-5} \cdot y + 78.3477939 \quad (6.9)$$

Στις παρακάτω εικόνες προβάλλεται η επιφάνεια του μοντέλου γεωειδούς για το 2008 (Εικόνα 6.12.) και παρουσιάζονται οι ισοϋψείς των υψομέτρων του γεωειδούς (ανά 4 mm) της περιοχής μελέτης για το ίδιο έτος (Εικόνα 6.13.).



Εικόνα 6.12. Επιφάνεια γεωειδούς για το 2008

Figure 6.12. Geoid surface in 2008



Εικόνα 6.13. Ισοϋψείς των υψομέτρων του γεωειδούς για το 2008

Figure 6.13. Contours of equal geoidal heights in 2008

Στη συνέχεια, προσδιορίζονται τα υψόμετρα του γεωειδούς για τις εννέα κορυφές του δικτύου GPS από την παραπάνω εξίσωση (Εξίσωση 6.9) προκειμένου να υπολογιστούν τα ορθομετρικά τους υψόμετρα και να ελεγχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση.

Συνεπώς, με δεδομένο τις συντεταγμένες (E, N) κάθε κορυφής του δικτύου, προκύπτουν από την Εξίσωση 6.9 τα παρακάτω υψόμετρα του γεωειδούς.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	N_i (m)	σ_{N_i} (m)
ΣΧΟΛΕΙΟ	7.268	± 0.004
ΓΕΦΥΡΑ	7.261	± 0.007
ΙΛΙΣΟΣ	7.269	± 0.008
ΕΛΙΚΑΣ	7.278	± 0.006
ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	7.259	± 0.007
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	7.263	± 0.009
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	7.287	± 0.009
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	7.281	± 0.007
ΚΗΦΙΣΟΣ	7.259	± 0.006

Πίνακας 6.5. Υψόμετρα γεωειδούς των κορυφών του δικτύου GPS από την εξίσωση του επιπέδου

Table 6.5. Geoidal heights of the GPS network's points from the approximation plane

Σύμφωνα με τη σχέση που συνδέει το ορθομετρικό H υψόμετρο με το γεωμετρικό υψόμετρο h , που προσδιορίζεται στη συγκεκριμένη περίπτωση από το δίκτυο GPS, και το υψόμετρο γεωειδούς N μίας κορυφής, είναι:

$$H = h - N \quad (6.10)$$

Συνεπώς, τα ορθομετρικά υψόμετρα και το αντίστοιχο τυπικό σφάλμα, όπως προκύπτει από Μ.Ε.Τ. στην Εξίσωση 6.10, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	H_i (m)	σ_{H_i} (m)
ΣΧΟΛΕΙΟ	2.476	± 0.008
ΓΕΦΥΡΑ	6.372	± 0.009
ΙΛΙΣΟΣ	9.086	± 0.010
ΕΛΙΚΑΣ	1.548	± 0.008
ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	2.573	± 0.008
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	1.942	± 0.010
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	2.333	± 0.011
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	3.572	± 0.018
ΚΗΦΙΣΟΣ	2.824	± 0.013

Πίνακας 6.6. Ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου GPS από την εξίσωση του επιπέδου

Table 6.6. Orthometric heights of the GPS network's points from the approximation plane

Τα διανύσματα $\delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X}$ των διαφορών των ορθομετρικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου GPS, προκύπτουν με βάση τη σχέση:

$$\delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X} = H_i^{\Gamma X} - H_i^{E\Xi,(6.9)} \quad (6.11)$$

όπου, $H_i^{E\Xi,(6.9)}$: το υψόμετρο της κορυφής i , προσδιορισμένο από την εξίσωση του επιπέδου

$H_i^{\Gamma X}$: το υψόμετρο της κορυφής i , προσδιορισμένο από Γεωμετρική Χωροστάθμηση

Η στατιστική σημαντικότητα της διαφοράς $\delta H_i^{\Sigma X,(6.9)-\Gamma X}$, για κάθε κορυφή, ελέγχθηκε με βάση την κανονική κατανομή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% από την παρακάτω σχέση:

$$\left| \delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X} \right| \geq \left| \sigma_{\delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X}} \right| \cdot z_{95\%} \quad (6.12)$$

όπου, $\sigma_{\delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X}}$: η αβεβαιότητα της διαφοράς των ορθομετρικών υψομέτρων

$z_{95\%}$: ο συντελεστής της τυποποιημένης κανονικής κατανομής για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($z_{95\%} = 1.96$)

Η αβεβαιότητα της διαφοράς $\sigma_{\delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X}}$ προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_{\delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X}} = \pm \sqrt{\sigma_{H_i^{\Gamma X}}^2 + \sigma_{H_i^{E\Xi,(6.9)}}^2} \quad (6.13)$$

Εάν ισχύει ότι $\left| \delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X} \right| \leq \left| \sigma_{\delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X}} \right| \cdot z_{95\%}$ τότε η διαφορά δεν είναι

στατιστικά σημαντική ενώ εάν ισχύει ότι $\left| \delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X} \right| > \left| \sigma_{\delta H_i^{E\Xi,(6.9)-\Gamma X}} \right| \cdot z_{95\%}$ η

διαφορά είναι στατιστικά σημαντική με πιθανότητα 95%.

Στον Πίνακα 6.7. που ακολουθεί, παρουσιάζονται το μέτρο του διανύσματος $\delta H_i^{EE,(6.9)-GX}$, η αβεβαιότητά του $\sigma_{\delta H_i^{EE,(6.9)-GX}}$ και η ποσότητα

$$S = \left| \sigma_{\delta H_i^{EE,(6.9)-GX}} \right| \cdot Z_{95\%} \cdot$$

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	$\delta H_i^{EE,(6.9)-GX}$	$\sigma_{\delta H_i^{EE,(6.9)-GX}}$	$S = \left \sigma_{\delta H_i^{EE,(6.9)-GX}} \right \cdot Z_{95\%}$
ΣΧΟΛΕΙΟ	-0.015 m	±0.008 m	0.016 m
ΓΕΦΥΡΑ	0.001 m	±0.009 m	0.018 m
ΙΛΙΣΟΣ	-0.009 m	±0.011 m	0.021 m
ΕΛΙΚΑΣ	-0.003 m	±0.008 m	0.016 m
ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	-0.004 m	±0.008 m	0.016 m
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	-0.001 m	±0.010 m	0.020 m
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	-0.003 m	±0.011 m	0.022 m
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	0.016 m	±0.018 m	0.036 m
ΚΗΦΙΣΟΣ	0.017 m	±0.013 m	0.026 m

Πίνακας 6.7. Διαφορές των κορυφών του δικτύου GPS

Table 6.7. Differences of the GPS network's points.

Μελετώντας τον πίνακα αυτό, παρατηρείται ότι οι διαφορές των τιμών των ορθομετρικών υψομέτρων δεν είναι στατιστικά σημαντικές, για καμία κορυφή του δικτύου GPS, επομένως, η εξίσωση του επιπέδου, που εκφράζει το μοντέλο τοπικού γεωειδούς, ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

6.6. Σύγκριση Ορθομετρικών Υψομέτρων

Ο εντοπισμός των διαφορών των ορθομετρικών υψομέτρων μεταξύ των κορυφών του δικτύου GPS της περιοχής μελέτης προέκυψε μέσα από τη σύγκριση των τελικών υψομέτρων Η των τεσσάρων κοινών σημείων του δικτύου δύο διαδοχικών χρονικών φάσεων παρατηρήσεων κατά τα έτη 2002 και 2008. Πιο συγκεκριμένα, τα ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου GPS «Ιλισός», «Σχολείο», «Πυροσβεστική» και «Ποσειδώνος» προσδιορίστηκαν τα έτη 2002 και 2008 με Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμιση από τις ίδιες υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου κατακορύφου ελέγχου. Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η σύγκριση των γεωμετρικών υψομέτρων των κορυφών του εν λόγω δικτύου για το χρονικό διάστημα 2002 – 2008 δεν είναι εφικτή, γιατί δεν υπάρχει η δυνατότητα εξασφάλισης των ίδιων αρχικών συνθηκών (κοινές κορυφές και ίδιο αριθμό παρατηρήσεων).

Τα τελικά υψόμετρα $\hat{H}_{R_i}^{2002}$ και $\hat{H}_{R_i}^{2008}$ του δικτύου κατακορύφου ελέγχου καθώς, και οι αβεβαιότητες $\sigma_{\hat{H}_{R_i}^{2002}}$ και $\sigma_{\hat{H}_{R_i}^{2008}}$, προέκυψαν από δύο επιλύσεις με τη Μέθοδο των Εμμέσων Παρατηρήσεων, θεωρώντας τις ίδιες ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις (ένα κοινό σημείο αναφοράς) και τις ίδιες αρχικές συνθήκες (κοινές κορυφές και ίδιο αριθμό παρατηρήσεων).

Τα ορθομετρικά υψόμετρα $H_{GPS_i}^{2002}$ και $H_{GPS_i}^{2008}$ του δικτύου GPS καθώς, και οι αβεβαιότητες $\sigma_{H_{GPS_i}^{2002}}$ και $\sigma_{H_{GPS_i}^{2008}}$, προέκυψαν από Διπλή Γεωμετρική

Χωροστάθμιση σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$H_{GPS} = H_{Reper} + \Delta H \quad (6.14)$$

Στους Πίνακες 6.8. και 6.9., παρουσιάζονται οι τιμές των παραπάνω μεγεθών για τα έτη 2002 και 2008.

ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΦΕΤΗΡΙΑ	$\hat{H}_{R_i}^{2002}$	ΔH_{R-GPS}^{2002}	ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	$H_{GPS_i}^{2002}$
ΕΜΠ50	8.809m±0.8mm	0.2910m±0.3mm	ΙΛΙΣΟΣ	9.100m±0.9mm
R5178	3.040m±0.8mm	-0.5752m±0.3mm	ΣΧΟΛΕΙΟ	2.465m±0.9mm
ΔΚ99	2.036m±0.8mm	0.2918m±0.4mm	ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	2.328m±0.9mm
ΔΚ32	3.510m±0.7mm	0.0753m±0.4mm	ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	3.585m±0.8mm

Πίνακας 6.8. Ορθομετρικά υψόμετρα και υψομετρικές διαφορές των κοινών κορυφών του δικτύου GPS για το 2002

Table 6.8. Orthometric heights and height differences of the GPS network's points in 2002

ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΦΕΤΗΡΙΑ	$\hat{H}_{R_i}^{2008}$	ΔH_{R-GPS}^{2008}	ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	$H_{GPS_i}^{2008}$
ΕΜΠ50	8.809m±1.3mm	0.2676m±0.3mm	ΙΛΙΣΟΣ	9.077m±1.3mm
R5178	3.040m±1.2mm	-0.5807m±0.3mm	ΣΧΟΛΕΙΟ	2.459m±1.2mm
ΔΚ99	2.038m±1.3mm	0.2920m±0.4mm	ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	2.330m±1.4mm
ΔΚ32	3.516m±1.2mm	0.0714m±0.4mm	ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	3.587m±1.3mm

Πίνακας 6.9. Ορθομετρικά υψόμετρα και υψομετρικές διαφορές των κοινών κορυφών του δικτύου GPS για το 2008

Table 6.9. Orthometric heights and height differences of the GPS network's points in 2008

Για τον προσδιορισμό του μεγέθους των κατακόρυφων μετακινήσεων των κορυφών, υπολογίσθηκαν τα διανύσματα $\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}$ των μεταβολών των υψομέτρων των κοινών κορυφών των δύο παραπάνω δικτύων με βάση τη σχέση:

$$\delta H_{GPS_i}^{2002-2008} = H_{GPS_i}^{2008} - H_{GPS_i}^{2002} \quad (6.15)$$

όπου, $H_{GPS_i}^{2002}$: το υψόμετρο της κορυφής i το έτος 2002

$H_{GPS_i}^{2008}$: το υψόμετρο της κορυφής i το έτος 2008

Η στατιστική σημαντικότητα της μεταβολής $\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}$, για κάθε κορυφή, ελέγχθηκε με βάση την κανονική κατανομή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% από την παρακάτω σχέση:

$$\left| \delta H_{GPS_i}^{2002-2008} \right| \geq \left| \sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}} \right| \cdot z_{95\%} \quad (6.16)$$

όπου, $\sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}}$: η αβεβαιότητα της μεταβολής των ορθομετρικών υψομέτρων

$z_{95\%}$: ο συντελεστής της τυποποιημένης κανονικής κατανομής για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($z_{95\%} = 1.96$)

Η αβεβαιότητα της μεταβολής $\sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}}$ προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}} = \pm \sqrt{\sigma_{H_{GPS_i}^{2008}}^2 + \sigma_{H_{GPS_i}^{2002}}^2} \quad (6.17)$$

Εάν ισχύει ότι $\left| \delta H_{GPS_i}^{2002-2008} \right| \leq \left| \sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}} \right| \cdot z_{95\%}$ τότε η μετακίνηση δεν είναι στατιστικά σημαντική και το διάνυσμα $\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}$ βρίσκεται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων και δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως κατακόρυφη μετακίνηση.

Εάν ισχύει ότι $\left| \delta H_{GPS_i}^{2002-2008} \right| > \left| \sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}} \right| \cdot z_{95\%}$ η μετακίνηση είναι στατιστικά σημαντική και το διάνυσμα $\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}$ εκφράζει κατακόρυφη μετακίνηση με πιθανότητα 95%.

Στον Πίνακα 6.10. που ακολουθεί, παρουσιάζονται, για κάθε κοινό σημείο ελέγχου των δύο δικτύων, το μέτρο του διανύσματος $\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}$ και η αβεβαιότητά του $\sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}}$, η ποσότητα $S = \left| \sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}} \right| \cdot Z_{95\%}$ και γίνεται η σύγκριση για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει κατακόρυφη μετακίνηση. Αν η διαφορά $\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}$ είναι αρνητική τότε υπάρχει καθίζηση ενώ αν είναι θετική πρόκειται για ανύψωση.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	$\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}$	$\sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}}$	$S = \left \sigma_{\delta H_{GPS_i}^{2002-2008}} \right \cdot Z_{95\%}$
ΙΛΙΣΟΣ	-23.4 mm	±1.6 mm	3.1 mm
ΣΧΟΛΕΙΟ	-5.5 mm	±1.5 mm	2.9 mm
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	2.2 mm	±1.6 mm	3.2 mm
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	2.1 mm	±1.5 mm	3.0 mm

Πίνακας 6.10. Κατακόρυφες μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου GPS για το διάστημα 2002 – 2008

Table 6.10. Displacements of the GPS Network's points during the time interval 2002 – 2008. The statistically significant displacements are depicted in red characters.

Μελετώντας τον πίνακα αυτό, παρατηρείται ότι οι μεταβολές των τιμών των ορθομετρικών υψομέτρων είναι στατιστικά σημαντικές για τις κορυφές «Ιλισός» και «Σχολείο» ενώ οι κορυφές «Ποσειδώνος» και «Πυροσβεστική» δεν έχουν υποστεί κατακόρυφη μετακίνηση το χρονικό διάστημα 2002 – 2008. Αξίζει να αναφερθεί ότι η μεταβολή του υψομέτρου στην κορυφή «Ιλισός» δεν είναι δυνατόν να είναι τόσο μεγάλη δεδομένου ότι η υψομετρική αφετηρία ΕΜΠ50, που βρίσκεται σε απόσταση 20 m από αυτή, δεν παρουσιάζει κατακόρυφη μετακίνηση το διάστημα αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο – ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ**7.1. Κατανομή Εργασιών**

Για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, ακολουθήθηκαν συγκεκριμένα στάδια μελέτης, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια με τη χρονολογική σειρά που εκτελέστηκαν. Όλα τα παρακάτω συνοψίζονται και παρουσιάζονται στο τέλος σε διάγραμμα Gantt (Πίνακας 7.4.).

Αρχικά, πριν από την έναρξη των μετρήσεων, έγιναν κάποιες εργασίες, οι οποίες αφορούν την αναγνώριση της περιοχής μελέτης, την εύρεση των παλιών σημείων GPS και την εγκατάσταση νέων σημείων. Η αναζήτηση και ο εντοπισμός των σημείων αυτών πραγματοποιήθηκε με τη συλλογή πληροφοριών από παλαιότερη διπλωματική εργασία, η οποία διαθέτει φωτογραφικό υλικό και ακριβή περιγραφή της θέσης των σημείων αυτών. Η εν λόγω διαδικασία διήρκεσε συνολικά 3 ημέρες (1/4 – 6/4), με μέσο όρο 3 ώρες εργασίας υπαίθρου κάθε ημέρα, και πραγματοποιήθηκε παράλληλα με την εύρεση των υψομετρικών αφετηριών της περιοχής μελέτης.

Ακολούθησαν οι εργασίες πεδίου με τη διαδικασία μετρήσεων των βάσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου ελέγχου GPS, για τις οποίες απαιτήθηκαν συνολικά 18 ημέρες (9/10 – 4/11) ενώ, σε μία μέρα, έγινε η σύνδεση των σημείων GPS με τις υψομετρικές αφετηρίες με τη μέθοδο της μοναδιαίας χωροστάθμησης. Κατά μέσο όρο, εκτελούνταν ημερησίως 4 μετρήσεις βάσεων με 5 ώρες εργασίας υπαίθρου.

Η επεξεργασία των μετρήσεων ολοκληρώθηκε σε 26 ημέρες (7/11 – 16/12), η οποία περιλαμβάνει τη συνόρθωση του δικτύου με τη Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων με τη βοήθεια του λογισμικού των δεκτών, TGOoffice, το στατιστικό έλεγχο των παρατηρήσεων και το σχολιασμό των αποτελεσμάτων. Τέλος, για τις εργασίες γραφείου απαιτήθηκαν περίπου 38 ημέρες (12/11 – 20/01), στη διάρκεια των οποίων πραγματοποιήθηκαν, εκτός από την

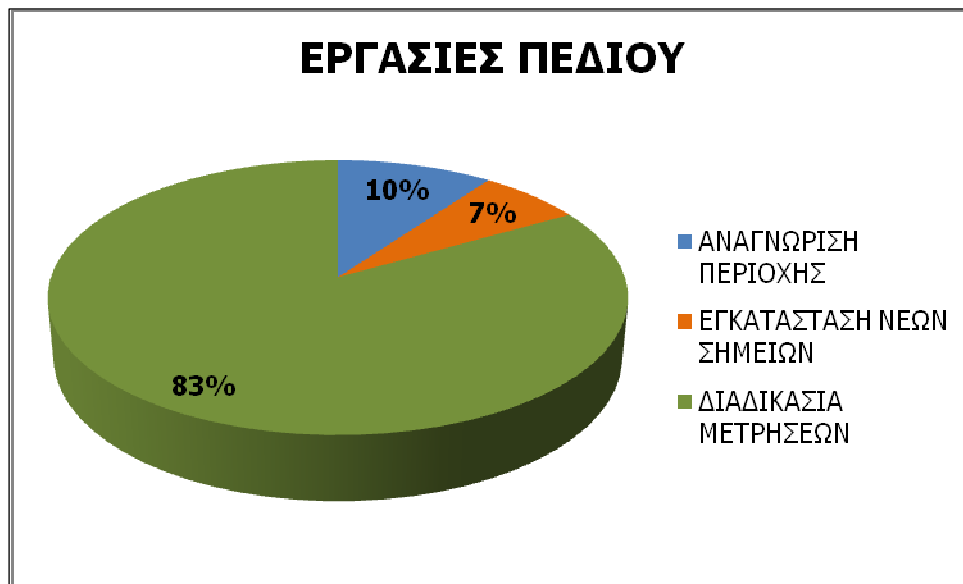
επεξεργασία των μετρήσεων, η σύνταξη του τεύχους της διπλωματικής εργασίας, ο υπολογισμός του υψομέτρου του γεωειδούς N σε κάθε κορυφή του δικτύου GPS και η σύγκρισή τους με τα παλαιότερα αποτελέσματα καθώς, και ο υπολογισμός ενός μοντέλου τοπικού γεωειδούς στην περιοχή μελέτης.

Τέλος, παρουσιάζεται η κατανομή των εργασιών για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας σε ανθρωποημέρες. Πιο αναλυτικά, απαιτήθηκαν συνολικά 30 ανθρωποημέρες για τις εργασίες πεδίου, οι οποίες αφορούν την αναγνώριση της περιοχής μελέτης (3 ανθρωποημέρες), την εγκατάσταση νέων σημείων (2 ανθρωποημέρες) και τη διαδικασία των μετρήσεων (25 ανθρωποημέρες). Το τετραπλάσιο περίπου χρονικό διάστημα διήρκεσαν οι εργασίες στο γραφείο (115 ανθρωποημέρες). Στις εργασίες αυτές περιλαμβάνονται η επεξεργασία των μετρήσεων και η συνόρθωση του δικτύου (46 ανθρωποημέρες), ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων (3 ανθρωποημέρες) και η σύνταξη του τεύχους (66 ανθρωποημέρες).



Γράφημα 7.1. Η κατανομή εργασιών της διπλωματικής εργασίας

Graph 7.1. Work distribution during the dissertation



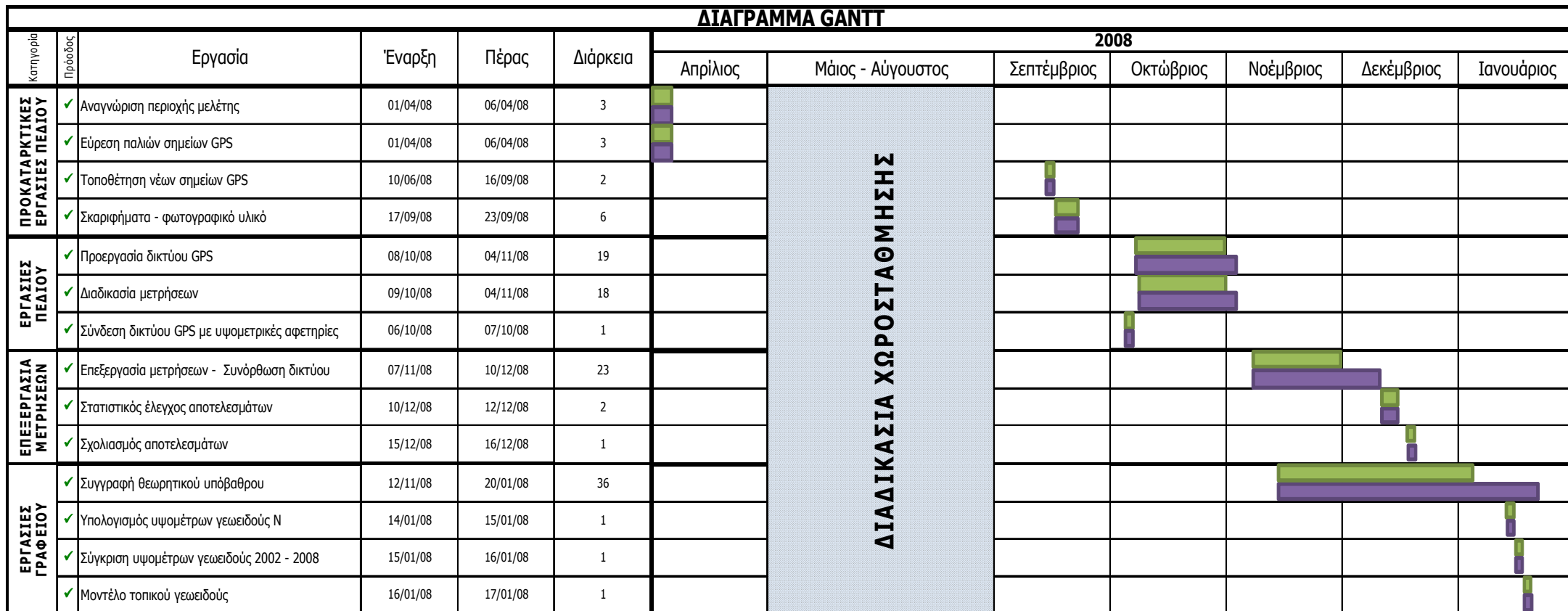
Γράφημα 7.2. Κατανομή εργασιών πεδίου

Graph 7.2. Field work distribution



Γράφημα 7.3. Κατανομή εργασιών γραφείου

Graph 7.3. Office work distribution



✓	Εργασία που ολοκληρώθηκε
*	Εργασία που δεν ολοκληρώθηκε ή ολοκληρώθηκε μερικώς

	Περίοδος που αναμένεται να ολοκληρωθεί η εργασία
	Περίοδος που τελικά ολοκληρώθηκε η εργασία
	Περίοδος παύσης εργασιών

Πίνακας 7. 1. Διάγραμμα Gantt

Table 7.1. Gantt chart

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**8.1. Συμπεράσματα**

Από την επεξεργασία των μετρήσεων και από τον τρόπο επίλυσης του δικτύου GPS προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- Από τη σύγκριση των ορθομετρικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου GPS, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, μεταξύ αυτών του 2002 και τις πιο πρόσφατες μετρήσεις του 2008, προκύπτει ότι οι κορυφές «**Σχολείο**» και «**Ιλισός**» παρουσιάζουν κατακόρυφη μετακίνηση, με μεγαλύτερη αυτή της κορυφής «**Ιλισός**» (**-23.4 mm**). Όμως, εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι η υψομετρική αφετηρία ΕΜΠ50, με την οποία έχει συνδεθεί η εν λόγω κορυφή, δεν παρουσιάζει μετακίνηση σε αυτό το χρονικό διάστημα. Επομένως, δεν μπορεί να προκύψει ένα ασφαλές συμπέρασμα για την κινηματική συμπεριφορά της περιοχής μελέτης, καθώς τα κοινά σημεία των δύο δικτύων GPS ήταν τέσσερα, ενώ μόλις το ένα παρουσιάζει στατιστικά σημαντική μετακίνηση.
- Η επίλυση του δικτύου με όλες τις μετρημένες βάσεις (51) και με αυτές που τελικά επιλέχθηκαν (41) δεν παρουσιάζουν ουσιαστικές διαφορές στη συνολική ακρίβεια του δικτύου, με εξαίρεση την ποιότητα των μετρημένων βάσεων και τα κλεισίματα των τριγώνων.
- Τα αποτελέσματα της πρώτης επίλυσης του δικτύου GPS με αυτά της δεύτερης διαφέρουν από ± 0.001 m έως ± 0.003 m σε όλες τις κορυφές κατά (X, Y), η δεύτερη με την τρίτη και η τρίτη με την τέταρτη επίλυση διαφέρουν από ± 0.001 m έως ± 0.002 m σε 7 και 5 κορυφές αντίστοιχα κατά (X, Y), ενώ στην τέταρτη και πέμπτη επίλυση οι διαφορές στις τιμές των συντεταγμένων των κορυφών και τις ακρίβειές τους είναι μόλις ± 0.001 m σε 4 κορυφές κατά (X, Y). Αναφορικά με την τρίτη

διάσταση h , εντοπίζονται οι μεγαλύτερες διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη με τη δεύτερη επίλυση διαφέρουν από ± 0.001 m έως ± 0.010 m σε όλες τις κορυφές, η δεύτερη με την τρίτη από ± 0.001 m έως ± 0.007 m σε όλες τις κορυφές, η τρίτη με την τέταρτη από ± 0.001 m έως ± 0.004 m σε 7 κορυφές και η τέταρτη με την πέμπτη από ± 0.001 m έως ± 0.002 m σε 4 κορυφές του δικτύου. Οι διορθώσεις των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου τελικά συγκλίνουν μετά από είκοσι επιλύσεις. Οι διαφορές στα αποτελέσματα της τελικής επίλυσης με αυτά της πέμπτης είναι -0.001 m κατά X σε μία κορυφή και -0.001 m σε 3 κορυφές στην τιμή του σφάλματος (σ_x), -0.001 m κατά Y σε 3 κορυφές και -0.001 m στην τιμή του σφάλματος (σ_y) σε μία κορυφή και από ± 0.001 m έως ± 0.002 m σε 5 κορυφές του δικτύου κατά h και σ_h .

- Στις τιμές των ορθομετρικών υψομέτρων H των κορυφών του δικτύου GPS, όπως αυτά προκύπτουν από την εξίσωση του επιπέδου και από τις μετρήσεις με Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση, δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Επομένως, το μοντέλο τοπικού γεωειδούς, που δημιουργήθηκε από την εν λόγω εξίσωση του επιπέδου, ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.
- Επίσης, αξίζει να αναφερθούν ορισμένα συμπεράσματα που αφορούν τον τρόπο διεξαγωγής των μετρήσεων. Πιο αναλυτικά, διαπιστώθηκε, μέσω του λογισμικού επεξεργασίας των μετρήσεων GPS, ότι ο χρόνος παραμονής στο ύπαιθρο μπορεί να μειωθεί περίπου στα 20 λεπτά παρατηρήσεων για την επίλυση μιας βάσης, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων από το χρήστη. Κάθε κορυφή του δικτύου GPS θα πρέπει να τοποθετείται σε τέτοια θέση ώστε να βρίσκεται σε απόσταση τουλάχιστον 10 m από σταθμευμένα οχήματα και μακριά από πολυόροφα κτίρια, γεγονός που δεν είναι εύκολα εφικτό σε περιβάλλον με αστικό χαρακτήρα, όπως αυτό της περιοχής μελέτης. Οι πολλαπλές ανακλάσεις που δημιουργούνται, λόγω του αστικού περιβάλλοντος, στο μεταδιδόμενο σήμα, σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα

σφάλματα που υπεισέρχονται στο σύστημα δορυφόρος – δέκτης, μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα.

8.2. 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 GPS σε τακτά χρονικά διαστήματα, προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα ανίχνευσης επιφανειακών μετακινήσεων με δορυφορικές μεθόδους.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε μία διαχρονική μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς των μεγάλων τεχνικών έργων που έχουν γίνει στην περιοχή όπως, το Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας, η γέφυρα με κατεύθυνση προς την Εθνική Αθηνών-Λαμίας και τα έργα διευθέτησης του ποταμού Κηφισού. Προτείνεται λοιπόν, η παρακολούθηση αυτών για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την απόκριση τόσο της ανωδομής τους όσο και της επιφάνειας του εδάφους καθώς, βρίσκονται σε περιοχή με επικίνδυνο γεωλογικό υπόβαθρο, όπου συμβαίνουν έντονες γεωτεχνικές μεταβολές από την επίδραση της κατασκευής των μεγάλων αυτών τεχνικών έργων.
- Στις μελέτες επιφανειακών μετακινήσεων που έχουν γίνει μέχρι τώρα, σαν σημείο αναφοράς του δικτύου ελέγχου GPS επιλέχθηκε η κορυφή «Καστέλα», η οποία θεωρείται σταθερή. Προτείνεται όμως, να δοθεί στην κορυφή ορθομετρικό υψόμετρο μέσω Γεωμετρικής Χωροστάθμησης για τον έλεγχο της σταθερότητάς της.
- Μετακινήσεις μεγαλύτερες από 2 – 3 cm μπορούν να ανιχνευθούν, με πιθανότητα 95%, με δέκτες GPS διπλής συχνότητας σε περιπτώσεις τεκτονικής μετατόπισης, μεγάλης περιόδου ανομβρίας, διάνοιξης σήραγγας.

- Όσον αφορά στο χρόνο παραμονής στο ύπαιθρο, συνιστάται να κυμαίνεται περίπου στα 20 λεπτά (ανάλογα με το μήκος της βάσης), όταν χρησιμοποιούνται δέκτες GPS διπλής συχνότητας και μεγάλης ακρίβειας. Ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται τόσο στον αριθμό των δορυφόρων πάνω στον ουράνιο θόλο όσο και τη γεωμετρία τους κατά το χρονικό αυτό διάστημα έτσι ώστε να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ge L., Cheng E., Li X., Rizos C. (2003), **Quantitative Subsidence Monitoring: The Integrated InSAR, GPS and GIS Approach**, p. 1-12, Melbourne
2. Ge L., Rizos C., Han S., Zebker H. (2001), **Mining Subsidence Monitoring Using the Combined InSAR and GPS Approach**, p. 1-3
3. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. (2000), **Global Positioning System: Theory and Practice**, SpringerWienNewYork, Austria
4. Misra P., Enge P. (2001), **Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance**, Ganga-Jamuna Press, Lincoln
5. Pritchard M. (2006), **Inсар, a Tool for Measuring Earth's Surface Deformation**, p. 68-69, American Institute of Physics, New York
6. Tusat E., Turgut B. (2004), **Investigation Ambiguity Resolution in GPS and the Effects of Ionospheric Modeling on Base Vector Components**, p. 5-6, Turkey
7. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ. (2005), **Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις I**, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
8. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ. (2007), **Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις II**, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
9. Αναγνωστόπουλος Α.Γ. (1986), **Αρχές Υπολογισμού των Καθιζήσεων**, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
10. Ανδριτσάνος Β.Δ., Πικριδάς Χ., Ρωσσικόπουλος Δ., Τζαβός Η.Ν., Φωτίου Α. (1997), **Προσδιορισμός Υψομέτρων με το GPS για Χαρτογραφικές Εφαρμογές**, p. 1-9, Καστοριά
11. Αστεριάδης Γ.Α. (2000), **Στοιχεία Φυσικής Γεωγραφίας**, Εκδόσεις Αϊβάζη, Θεσσαλονίκη
12. Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ., Παπαζήση Κ. (2005), **Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας**, Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

13. Γεωργόπουλος Γ. (1993), **Ανίχνευση Καθιζήσεων και Προσδιορισμός του Πεδίου τους στην Περιοχή του Μοσχάτου**, Πυρφόρος, Αθήνα
14. Γεωργόπουλος Γ. (1990), **Εντοπισμός Καθιζήσεων στην Περιοχή του Μοσχάτου**, «Δελτίο ΚΕΔΕ», 107-108/1990, Αθήνα
15. Γεωργόπουλος Γ., Δογγούρης Σ., Λάμπρου Ε., Μπαλοδήμος Δ., Πανταζής Γ. (2005), **Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας**, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
16. Γεωργόπουλος Γ., Τελειώνη Ε.Χ. (1999), **Μελέτη της Εξέλιξης των Καθιζήσεων στην Περιοχή του Μοσχάτου με Κινηματικά Μοντέλα**, «Δελτίο ΚΕΔΕ», Αθήνα
17. Γκαδόλου Ε. (2002), **Ίδρυση Δικτύου GPS για την Παρακολούθηση Καθιζήσεων στην Περιοχή του Μοσχάτου**, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
18. Δημοπούλου Μ. (2008), **Συγκριτική Μελέτη Online Υπηρεσιών Μετεπεξεργασίας Δεδομένων GPS**, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
19. Ζησόπουλος Α., Παραδείσης Δ. (2006), **Διαφορικός Εντοπισμός (DGPS)**, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
20. Καββαδάς Μ. (2005), **Καθιζήσεις Επιφανειακών Θεμελιώσεων: Υπολογισμός Καθιζήσεων σε Αργιλικά Εδάφη**, Διαλέξεις Μαθήματος «Θεμελιώσεις», Σ.Π.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
21. Καραμολέγκου Ευαγγελία (2009), **Εξέλιξη Κατακόρυφων Μετακινήσεων στις Περιοχές Νέο Φάληρο – Μοσχάτο – Καλλιθέα**, Διπλωματική Εργασία Υπό Κατάθεση, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
22. Κουμπλή Α. (2002), **Έλεγχος Κατακόρυφων Μετακινήσεων στις Περιοχές Νέο Φάληρο – Μοσχάτο – Καλλιθέα**, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
23. Κουνιάκης Χ., **Global Positioning System: Βασικές Αρχές**, π. 1-21
24. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ. (1990), **Παρακολούθηση Παραμορφώσεων των Φερόντων Στοιχείων του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας – Ίδρυση Δικτύου Κατακόρυφου Ελέγχου στην Ευρύτερη Περιοχή του Σταδίου**, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

25. Μαλατέστας Ν. (2004), **Αντιπλημμυρική Προστασία Λεκανοπεδίου Αθήνας, Κηφισός – Ιλισός**, π. 1-12, Αθήνα
26. Μπαλοδήμος Δ., Αραμπατζή Ο. (2004), **Υψομετρία**, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
27. Παραδείσης Δ. (2000), **Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας**, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
28. Παραδείσης Δ., **Γεωδαιτικός Δορυφορικός Προσδιορισμός Ταχυτήτων και Δυνατοτήτων Ελιγμών Πλοίου**
29. Τσακίρη Μ. (2004), **Εισαγωγή στο GPS**, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
30. Τσιτσόπουλος Ν., **Global Positioning System, Μέρος Β**, <http://www.vithos.eu>, 27 Μαρτίου 2008
31. Φυτρολάκης Ν. (1985), **Γενική Γεωλογία**, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (φ, λ, h) ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΣΤΟ WGS84

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ φ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ λ	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ h (m)
ΚΑΣΤΕΛΑ	37° 56' 23.54245"	23° 39' 20.80562"	122.182
ΣΧΟΛΕΙΟ	37° 56' 59.23103"	23° 40' 48.72200"	40.236
ΓΕΦΥΡΑ	37° 57' 14.46654"	23° 40' 53.31998"	44.149
ΙΛΙΣΟΣ	37° 57' 14.52460"	23° 41' 22.03761"	46.887
ΕΛΙΚΑΣ	37° 56' 39.67786"	23° 40' 43.78852"	39.288
ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	37° 56' 53.80022"	23° 40' 04.56590"	40.291
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	37° 56' 37.33212"	23° 39' 47.26362"	39.631
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	37° 56' 34.16434"	23° 41' 04.67684"	40.086
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	37° 56' 55.02211"	23° 41' 25.48264"	41.360
ΚΗΦΙΣΟΣ	37° 57' 00.27881"	23° 40' 19.84506"	40.560

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (φ, λ, h) ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ «ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΣ» ΚΑΙ «ΚΑΣΤΕΛΑ» ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΣΤΟ WGS84

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ φ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ λ	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ h (m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΣ	37° 58' 30.78317"	23° 46' 48.32925"	246.194
ΚΑΣΤΕΛΑ	37° 56' 23.54245"	23° 39' 20.80562"	122.182

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (φ, λ, h) ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ «ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΣ» ΚΑΙ «ΚΑΣΤΕΛΑ» ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΣΤΟ ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ ΤΟΥ ΕΓΣΑ87

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ φ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ λ	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ h (m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΣ	37° 58' 21.44175"	23° 46' 42.25438"	215.370
ΚΑΣΤΕΛΑ	37° 56' 14.19376"	23° 39' 14.74714"	91.790

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (E, N, H) ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ «ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΣ» ΚΑΙ «ΚΑΣΤΕΛΑ» ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΜΕΡΚΑΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΓΣΑ87

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS	E (m)	N (m)	H (m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟΣ	480537.220	4202800.617	208.071
ΚΑΣΤΕΛΑ	469604.697	4198912.113	

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΓΣΑ87

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΑΠΟ WGS84 ΣΕ ΕΓΣΑ87	
Translation X (m)	199.723
Translation Y (m)	-74.030
Translation Z (m)	-246.018
Local ellipsoid	WGS84
ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΜΕΡΚΑΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ	
Central latitude	0° 00' 00" N
Central longitude	24° 00' 00" E
False Northing (m)	0
False Easting (m)	500.000
Scale factor	0.9996

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

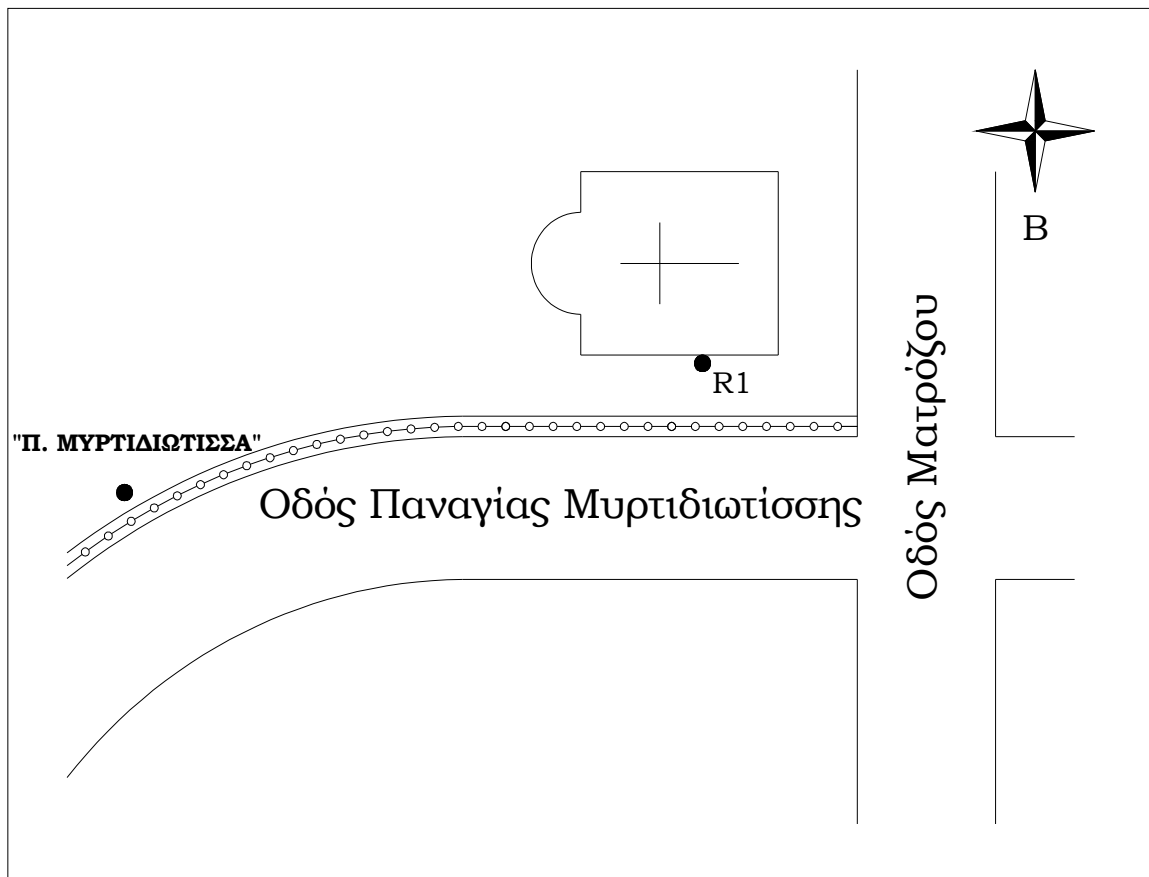
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Π. Μυρτιδιώτισσα**

$E = 470252.025 \text{ m}$	$N = 4199334.747 \text{ m}$	$H = 1.942 \text{ m}$
$\varphi = 37^\circ 56' 27''.98377$	$\lambda = 23^\circ 39' 41''.20395$	$h = 9.205 \text{ m}$



ΘΕΣΗ: Χάλκινη πλακέτα του Ε.Μ.Π. πακτωμένη σε πεζόδρομο, βορειοανατολικά του Ιερού Ναού της Παναγίας Μυρτιδιωτίσσης, στο Νέο Φάληρο.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

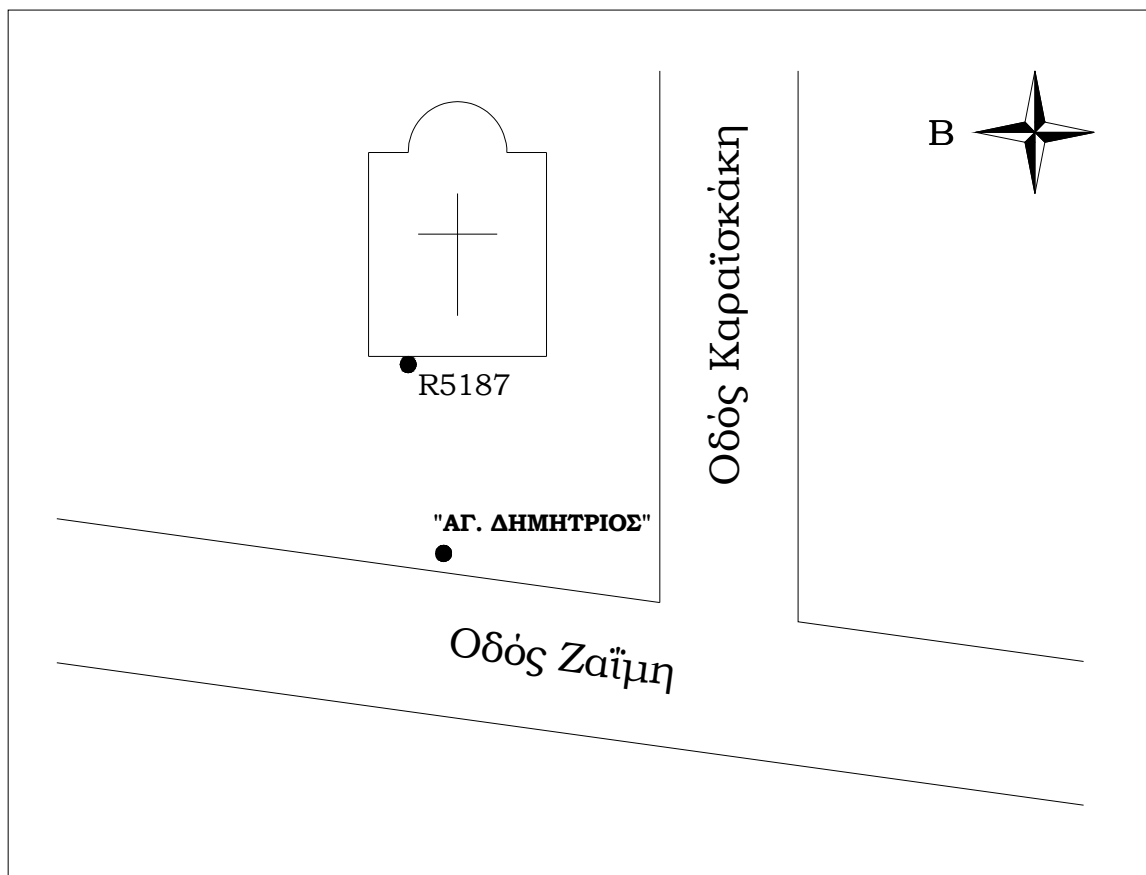
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Άγιος Δημήτριος**

$E = 470676.131 \text{ m}$	$N = 4199840.778 \text{ m}$	$H = 2.569 \text{ m}$
$\varphi = 37^\circ 56' 44''.45220$	$\lambda = 23^\circ 39' 58''.50533$	$h = 9.832 \text{ m}$



ΘΕΣΗ: Χάλκινη πλακέτα του Ε.Μ.Π. πακτωμένη στο ρείθρο του οδοστρώματος, δυτικά του Ιερού Ναού του Αγίου Δημητρίου, στο Νέο Φάληρο.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

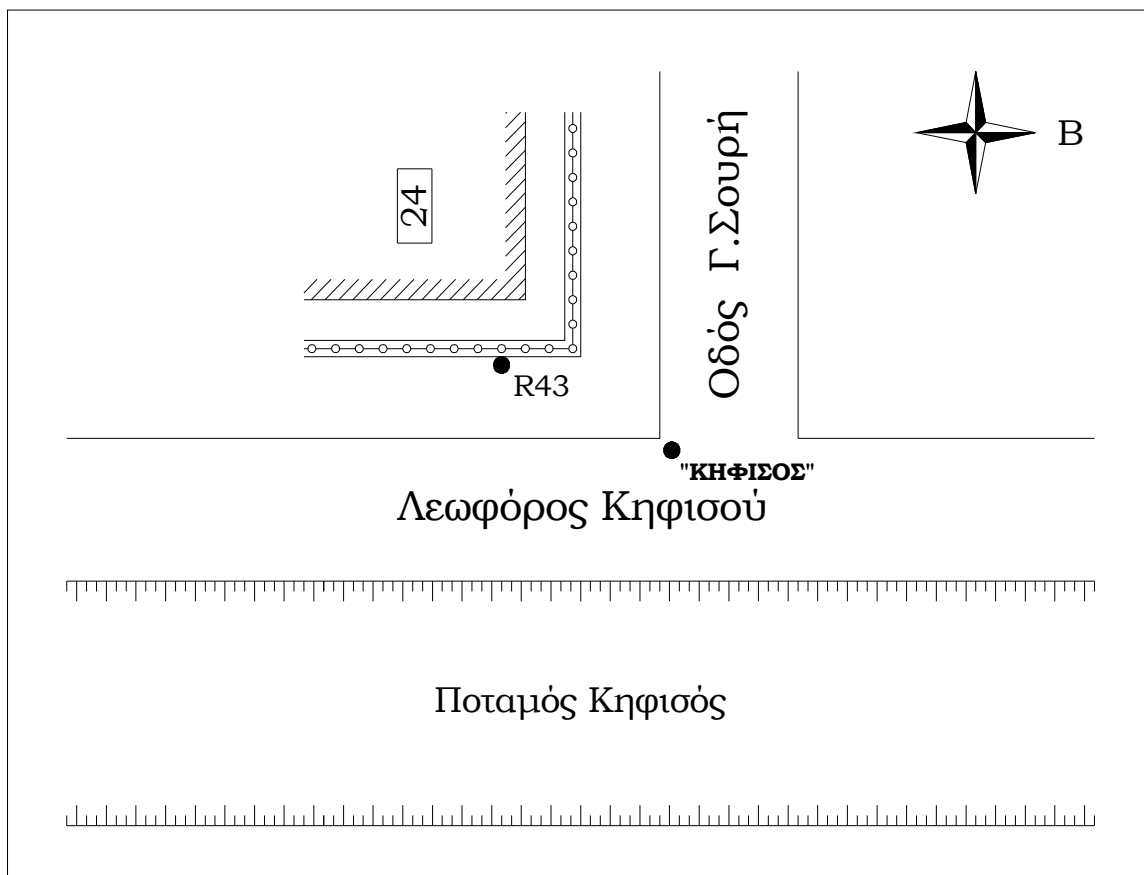
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Κηφισός**

E = 471049.728 m	N = 4200039.128 m	H = 2.841 m
$\varphi = 37^\circ 56' 50''.93104$	$\lambda = 23^\circ 40' 13''.78387$	h = 10.083 m



ΘΕΣΗ: Χάλκινη πλακέτα του Ε.Μ.Π. πακτωμένη στο ρείθρο του οδοστρώματος στη γωνία του πεζοδρομίου στην οδό Γ. Σουρή 24 στη διασταύρωση με τη Λεωφόρο Κηφισού στο Νέο Φάληρο.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

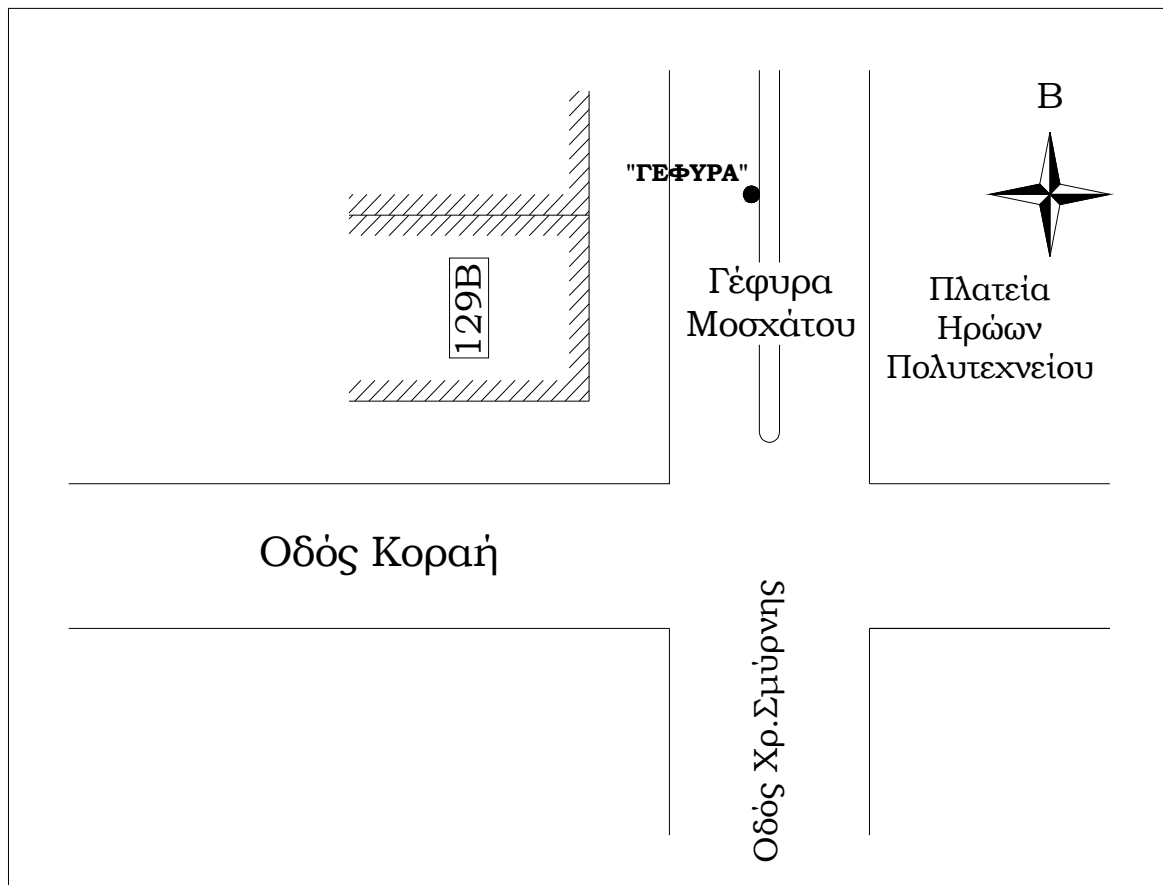
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Γέφυρα**

$E = 471868.175 \text{ m}$	$N = 4200473.561 \text{ m}$	$H = 6.373 \text{ m}$
$\varphi = 37^\circ 57' 05''.11933$	$\lambda = 23^\circ 40' 47''.25745$	$h = 13.633 \text{ m}$



⊙ ΕΣΗ: Χάλκινη πλακέτα του Ε.Μ.Π. πακτωμένη στο ρείθρο του οδοστρώματος κοντά στη διαχωριστική νησίδα της γέφυρας του Μοσχάτου.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

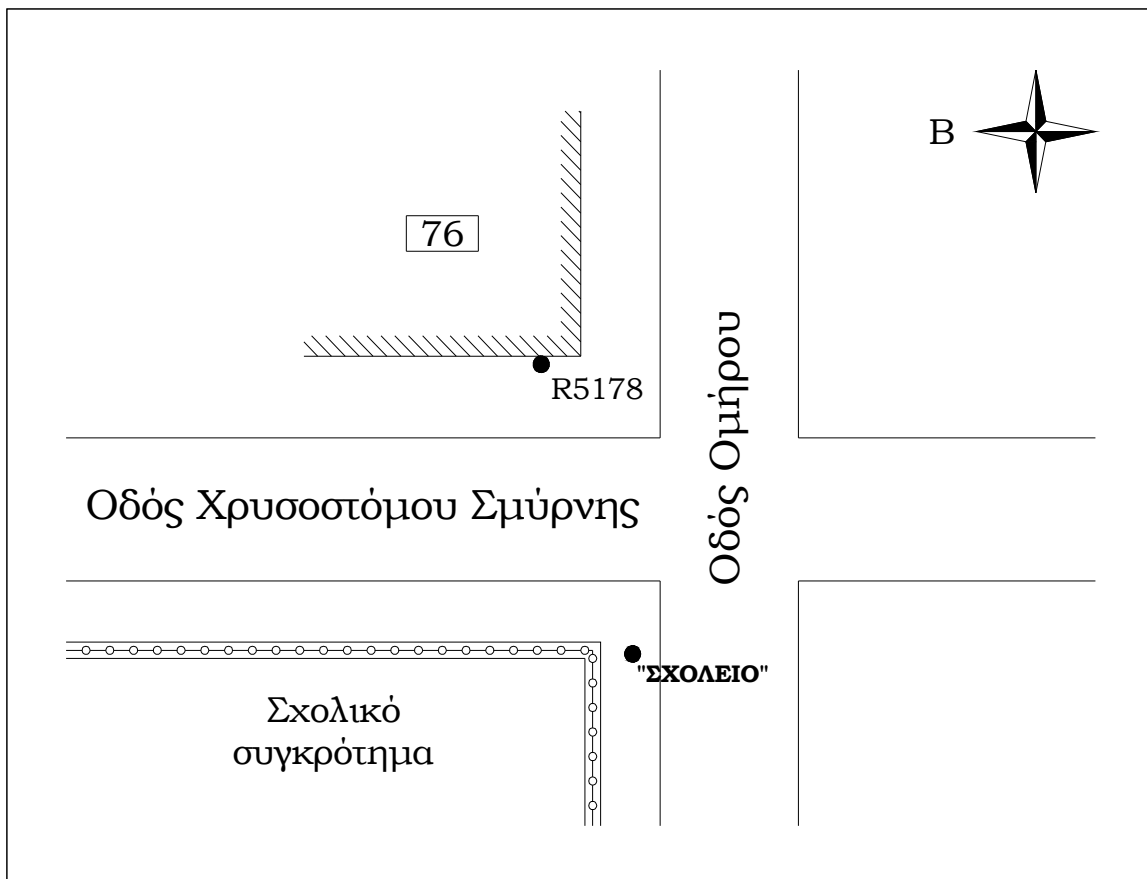
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Σχολείο**

$E = 471754.356 \text{ m}$	$N = 4200004.386 \text{ m}$	$H = 2.461 \text{ m}$
$\varphi = 37^\circ 56' 49''.88367$	$\lambda = 23^\circ 40' 42''.65996$	$h = 9.744 \text{ m}$



ΘΕΣΗ: Χάλκινη πλακέτα του Ε.Μ.Π. πακτωμένη στο πεζοδρόμιο έξω από σχολικό συγκρότημα, στη διασταύρωση της οδού Χρυσσοτόμου Σμύρνης με την οδό Ομήρου στο Μοσχάτο.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

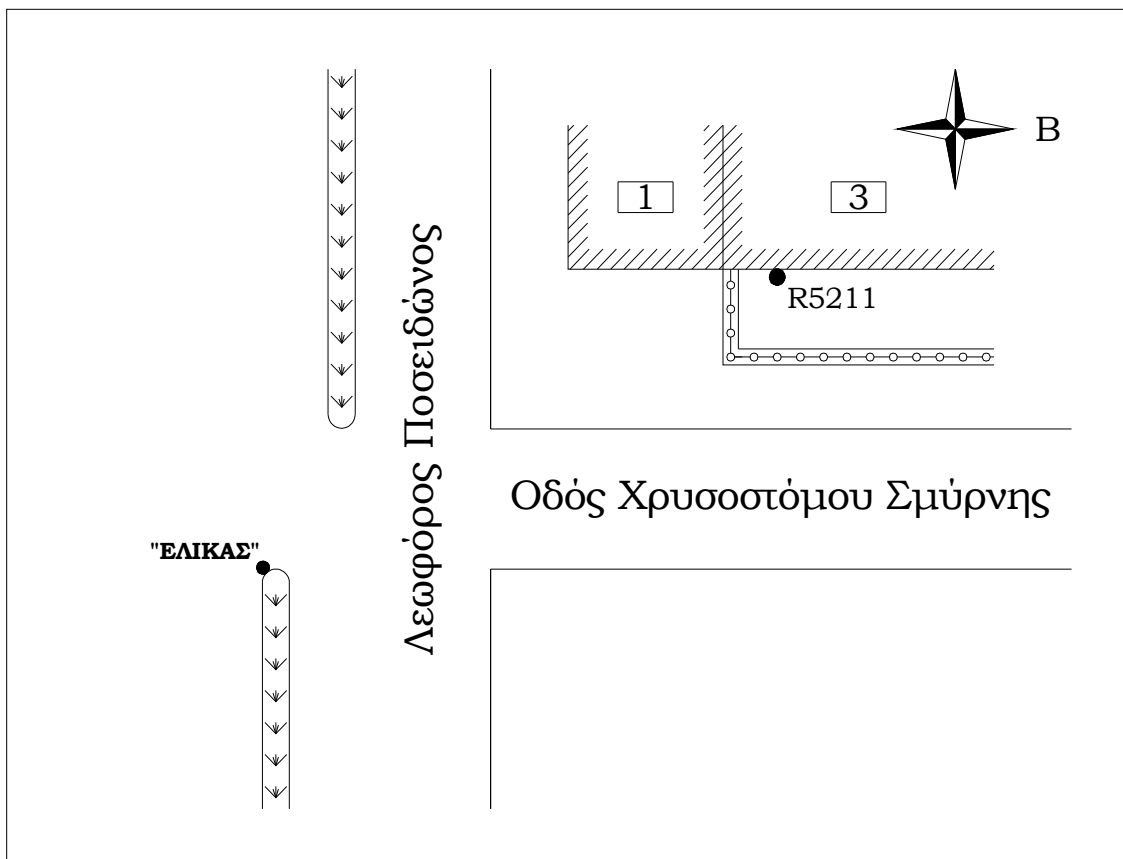
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Έλικας**

$E = 471631.877 \text{ m}$	$N = 4199402.171 \text{ m}$	$H = 1.545 \text{ m}$
$\varphi = 37^\circ 56' 30''.33033$	$\lambda = 23^\circ 40' 37''.72708$	$h = 8.826 \text{ m}$



ΘΕΣΗ: Χάλκινη πλακέτα του Ε.Μ.Π. πακτωμένη στο ρείθρο του οδοστρώματος στη γωνία της διαχωριστικής νησίδας, στη διασταύρωση της Λεωφόρου Ποσειδώνος με την οδό Χρυσόστομου Σμύρνης στο Μοσχάτο.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

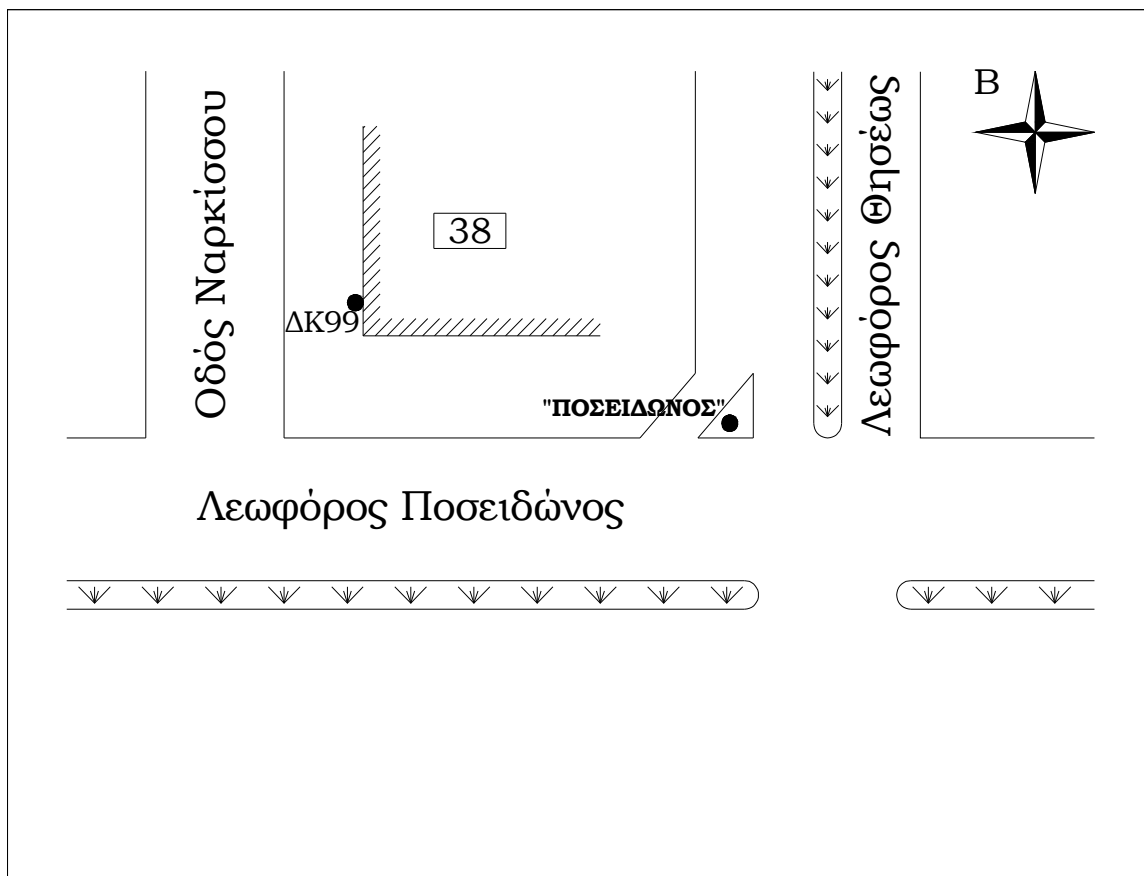
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Ποσειδώνος**

$E = 472141.119 \text{ m}$	$N = 4199230.503 \text{ m}$	$H = 2.330 \text{ m}$
$\varphi = 37^\circ 56' 24''.81708$	$\lambda = 23^\circ 40' 58''.61488$	$h = 9.620 \text{ m}$



ΘΕΣΗ: Σημείο του Ο.Κ.Χ.Ε. μέσα σε φρεάτιο, τοποθετημένο πάνω σε διαχωριστική νηίδα, στη διασταύρωση της Λεωφόρου Ποσειδώνος με τη Λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου στην Καλλιθέα.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

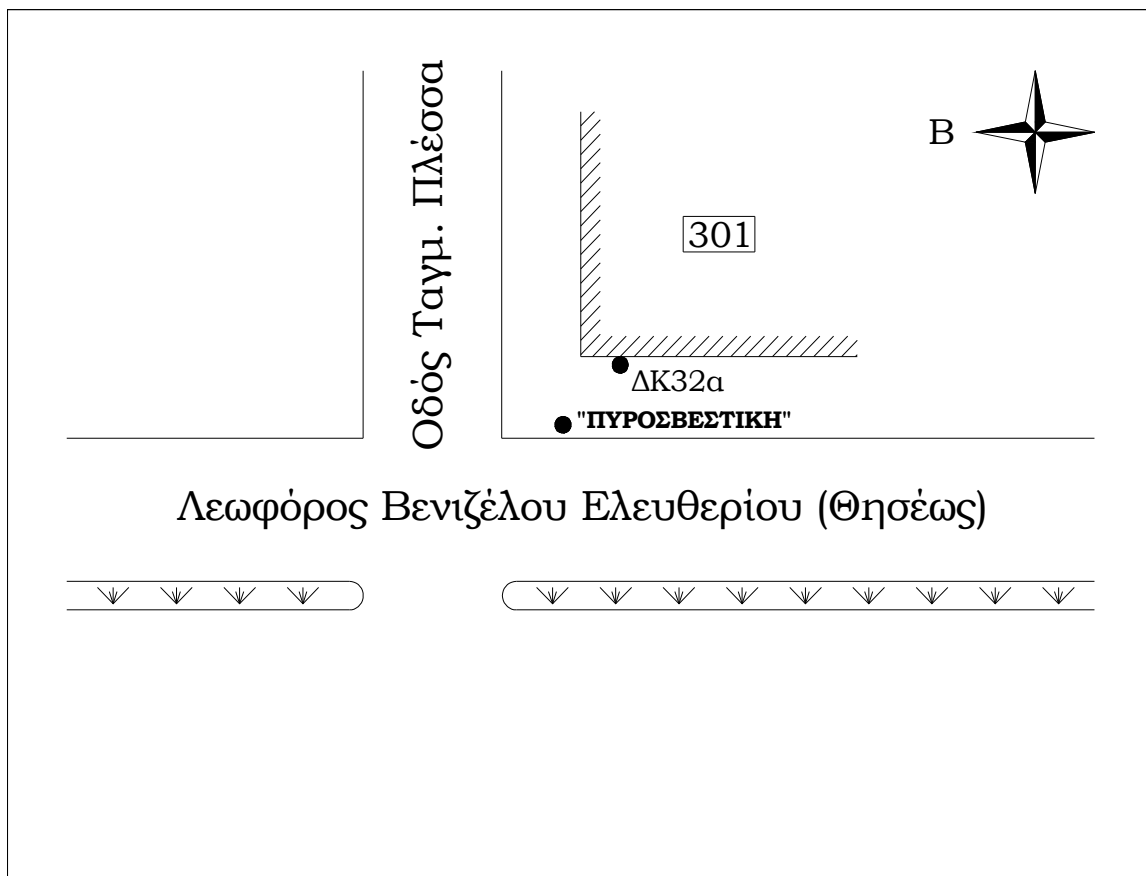
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Πυροσβεστική**

$E = 472651.068 \text{ m}$	$N = 4199871.637 \text{ m}$	$H = 3.588 \text{ m}$
$\varphi = 37^\circ 56' 45''.67526$	$\lambda = 23^\circ 41' 19''.41958$	$h = 10.853 \text{ m}$



ΘΕΣΗ: Σημείο του Ο.Κ.Χ.Ε. μέσα σε φρεάτιο, τοποθετημένο κοντά στο κράσπεδο του πεζοδρομίου, στη διασταύρωση της Λεωφόρου Ελευθερίου Βενιζέλου με την οδό Ταγματάρχη Πλέσσα στην Καλλιθέα.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

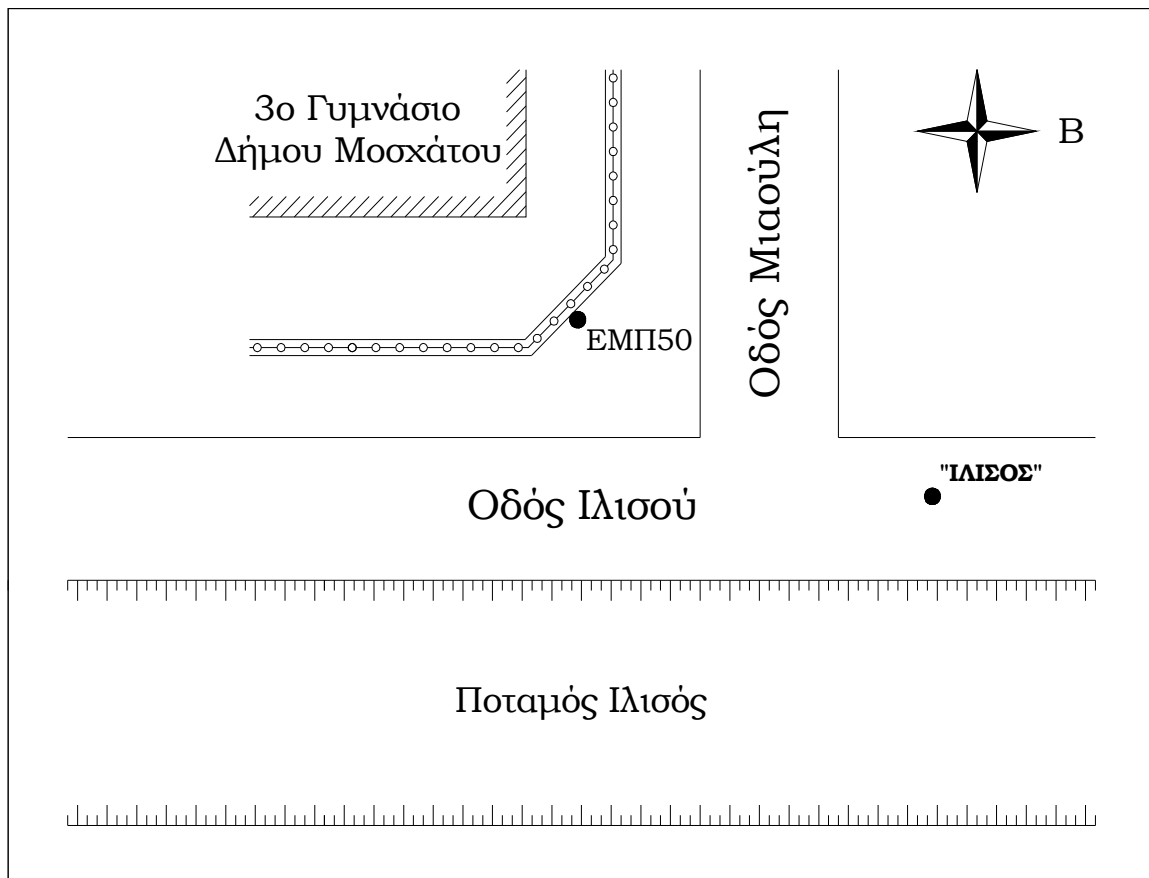
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Ιλισός**

$E = 472568.994 \text{ m}$	$N = 4200472.984 \text{ m}$	$H = 9.077 \text{ m}$
$\varphi = 37^\circ 57' 05''.17781$	$\lambda = 23^\circ 41' 15''.97422$	$h = 16.355 \text{ m}$



ΘΕΣΗ: Χάλκινη πλακέτα του Ε.Μ.Π. πακτωμένη στο πεζοδρόμιο μεταξύ δύο παρτεριών, στη συμβολή του πεζοδρόμου της οδού Μιαούλη και της οδού Ιλισού στο Μοσχάτο.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

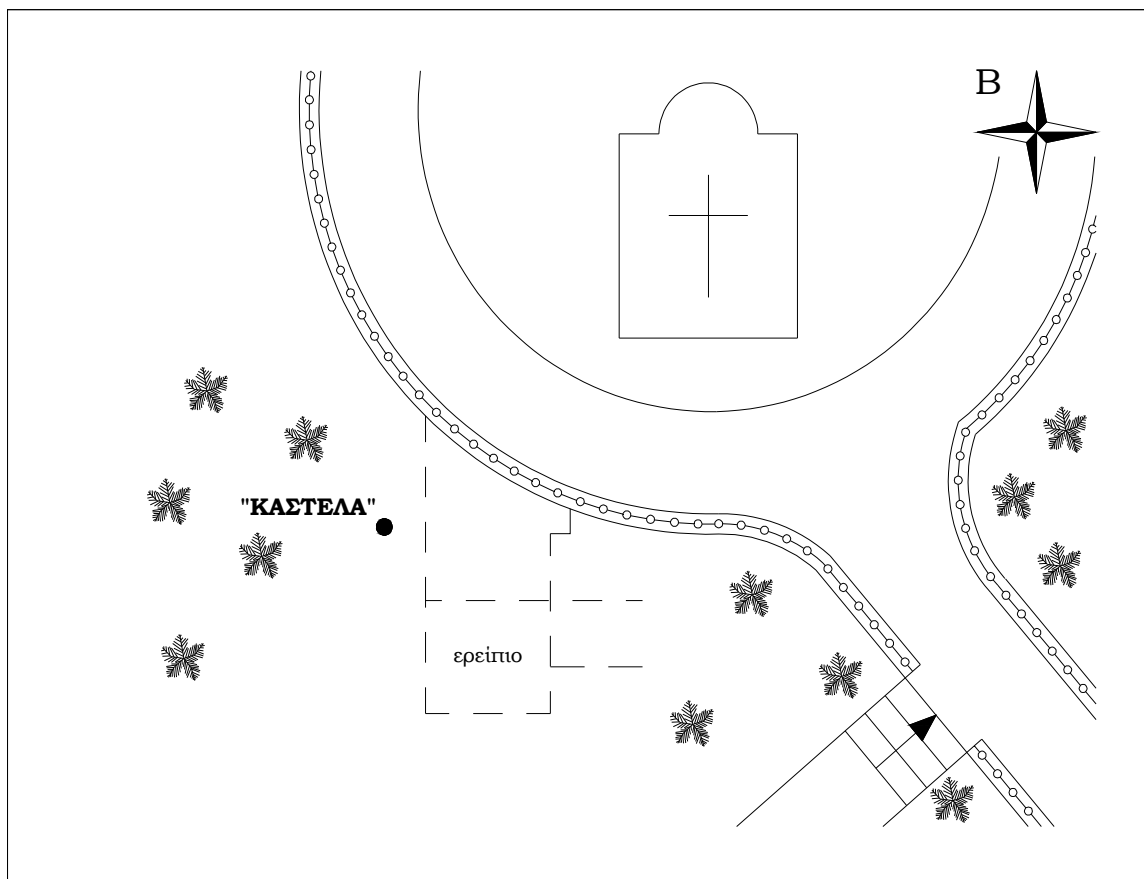
ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Καστέλα**

$E = 469604.697 \text{ m}$	$N = 4198912.113 \text{ m}$	
$\varphi = 37^\circ 56' 14''.19377$	$\lambda = 23^\circ 39' 14''.74715$	$h = 91.790 \text{ m}$



ΘΕΣΗ: Χάλκινη πλακέτα του Ε.Μ.Π. πακτωμένη σε βράχο στο λόφο του Προφήτη Ηλία, εντός περιφραγμένου χώρου, ανατολικά του Ιερού Ναού, στην περιοχή της Καστέλας.





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΚΤΥΟ ΕΛΕΓΧΟΥ GPS

Κορυφή: **Λαμπαδάριος**

$E = 480537.220 \text{ m}$	$N = 4202800.617 \text{ m}$	$H = 208.071 \text{ m}$
$\varphi = 37^\circ 58' 21''.44175$	$\lambda = 23^\circ 46' 42''.25438$	$h = 215.370 \text{ m}$



ΘΕΣΗ: Σιδερένιο μπουλόνι του Ε.Μ.Π. πακτωμένο στο βάθρο G, στην ταράτσα του κτηρίου «Λαμπαδάριο» της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Το ορθομετρικό υψόμετρο αναφέρεται στη στέψη του βάρου.

