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

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GNSS ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΝΕΟ ΦΑΛΗΡΟ–ΜΟΣΧΑΤΟ–ΚΑΛΛΙΘΕΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΜΙΚΙΔΗ ΣΟΦΙΑ

ΑΘΗΝΑ – ΜΑΡΤΙΟΣ 2013

……………………………

ΣΟΦΙΑ ΠΑΠΑΜΙΚΙΔΗ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Αφιερωμένη στη μητέρα μου

Επιβλέπων καθηγητής

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

Εξεταστική επιτροπή

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

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

Αραμπατζή Ορθοδοξία, Λέκτορας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το 2012, ξεκίνησε η προσπάθεια για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, με σκοπό την ανίχνευση της ύπαρξης ή μη επιφανειακών μετακινήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Μοσχάτου. Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου σε κάθε έναν από τους ανθρώπους που με στήριξαν όλο αυτό το διάστημα.

Τις βαθύτατες ευχαριστίες μου επιθυμώ να εκφράσω στους εισηγητές της παρούσας εργασίας, τον κ. Γιώργο Γεωργόπουλο, Λέκτορα Ε.Μ.Π., και την κα. Ελισάβετ Τελειώνη, Λέκτορα Ε.Μ.Π., για την ευκαιρία που μου πρόσφεραν να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον θέμα που με βοήθησε να διευρύνω τις γνώσεις μου στον τομέα της Γεωδαισίας και τις δορυφορικές μετρήσεις. Τους ευχαριστώ για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση που μου παρείχαν στην εκπόνηση της Διπλωματικής μου Εργασίας, καθώς και για τις εύστοχες επισημάνσεις τους κατά τη διάρκεια της συγγραφής της.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στον κ. Χρήστο Βάγια, Πρόεδρο της JGC, την κα. Δήμητρα Τσίνη και τον κ. Βαγγέλη Ζαχαρή για την πολύτιμη βοήθεια τους και το χρόνο που αφιέρωσαν γα να με βοηθήσουν να εξοικειωθώ με το λογισμικό επεξεργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την αγάπη και βαθιά ευγνωμοσύνη στην οικογένειά μου για τη διαρκή συμπαράσταση και ενθάρρυνσή της και ιδιαίτερα στη μητέρα μου, αφού χωρίς την πολύτιμη βοήθεια της η ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας δε θα ήταν εφικτή.

Σοφία Παπαμικίδη

Αθήνα, Μάρτιος 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι επιφανειακές μετακινήσεις που εκδηλώνονται σε τμήματα του εδάφους και κατασκευές μπορούν να ανιχνευθούν, να προσδιοριστεί το μέγεθός τους και να παρακολουθηθεί η εξέλιξή τους, εφαρμόζοντας τη Γεωδαιτική μεθοδολογία. Για το σκοπό αυτό, στην ευρύτερη περιοχή ιδρύεται γεωδαιτικό Δίκτυο Ελέγχου και γίνονται μετρήσεις, με επίγειες ή δορυφορικές μεθόδους, ώστε να προσδιοριστούν οι διαφορές στις συντεταγμένες των κορυφών του σε διαδοχικές χρονικές στιγμές (φάσεις). Στη συνέχεια, μετά τη συνόρθωση των παρατηρήσεων και την εκτίμηση των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου, προσδιορίζονται, για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα, οι στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου για ένα επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης (συνήθως 95%), στο ίδιο σύστημα αναφοράς μεταξύ δύο διαδοχικών φάσεων μέτρησης.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία (Δ.Ε.) αφορά στην ανίχνευση των (πιθανών) κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Νέου Φαλήρου, του Μοσχάτου και της Καλλιθέας στην Αττική της Ελλάδας με δορυφορικές μεθόδους (GNSS). Για το σκοπό αυτό ιδρύθηκε για πρώτη φορά το 2002 Δίκτυο Ελέγχου GNSS και μετρήθηκαν τα στοιχεία του με δορυφορικές μεθόδους. Το δίκτυο επεκτάθηκε το 2008 για να καλύπτει πιο ικανοποιητικά την υπό εξέταση περιοχή και μετρήθηκαν τα στοιχεία του για δεύτερη φορά. Η παρούσα Δ. Ε. έχει ως θέμα τη μέτρηση των στοιχείων του δικτύου για τρίτη φορά. Η διαδικασία μετρήσεων, η επεξεργασία των μετρούμενων βάσεων και η συνόρθωση του δικτύου περιγράφονται αναλυτικά. Χρησιμοποιώντας ένα τοπικό μοντέλο γεωειδούς προσδιορίζονται τα υψόμετρα του γεωειδούς ως προς το ελλειψοειδές GGRS80 και, μέσω αυτών, προσδιορίζονται και τα ορθομετρικά υψόμετρα για τις κορυφές του δικτύου. Στη συνέχεια, εκτιμώνται οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου για τις χρονικές περιόδους 2002-2012 και 2008-2012 και ελέγχεται η στατιστική σημαντικότητα αυτών για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Τέλος, διατυπώνονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις.

ABSTRACT

The displacements observed on parts of the ground and the constructions can be detected, their magnitude estimated, and their development monitored using the Geodetic methodology. More specifically, a Geodetic Control Network is established in the area under consideration and the coordinates of the network's points are measured using either conventional ground methods or satellite measurements at different epochs. Finally, the adjusted coordinates of the network are determined and the statistically significant displacements of the network's points are estimated for a chosen confidence level (usually 95%) between successive measuring epochs.

This dissertation deals with the detection of the (possible) horizontal and vertical displacements in the wider area of Neo Faliro, Moschato and Kallithea in Attica, Greece using GNSS measurements. For this purpose a GNSS Control network was established in the area in 2002 and its elements were measured using GNSS techniques. The network was extended in 2008 in order to cover the whole area under consideration and its elements were measured one more time. This Diploma Thesis deals with the third measuring epoch of the above mentioned network. The measuring procedure, the post processing of the measured bases and the adjustment of the network are presented. Following the estimation of the geoidal undulations, using a local geoid model with respect to the GGRS80 ellipsoid, the corresponding orthometric heights of the network's points were also determined. The horizontal as well as the vertical displacements of the network's points are estimated for the time intervals 2002 – 2012 and 2008 – 2012 and their statistical significance is tested for a confidence level 95%. Finally the conclusions withdrawn and the suggestions made are presented.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{ο} – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι μελέτες των μετακινήσεων τμημάτων του εδάφους και του φέροντα οργανισμού των κατασκευών δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της κινηματικής συμπεριφοράς περιοχών και τεχνικών έργων, με αποτέλεσμα την πρόληψη δυσμενών καταστάσεων και την έγκαιρη αντιμετώπιση σοβαρών αστοχιών με τεράστιο κοινωνικό και οικονομικό όφελος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι μελέτες που αφορούν πυκνοδομημένες περιοχές με ασταθές γεωλογικό υπόβαθρο λόγω της παρουσίας ιδιαίτερων γεωλογικών, υδρολογικών ή άλλων χαρακτηριστικών ή ως αποτέλεσμα ανθρώπινων παρεμβάσεων που δημιουργούν εδάφη μικρότερης αντοχής.

Γίνεται σαφές ότι τα τελικά συμπεράσματα των παραπάνω μελετών είναι δυνατόν να θεωρηθούν ως αποτελέσματα πειραμάτων, που έγιναν σε φυσική κλίμακα και σε πραγματικές συνθήκες και ενδιαφέρουν επιστήμες από την περιοχή της Γεωτεχνικής και της Μηχανικής των κατασκευών. Τα αίτια των παραμορφώσεων του εδάφους είναι οι φορτίσεις, στατικές ή/και δυναμικές, που προκαλούν συμπύκνωση του εδαφικού υλικού, οι μεταβολές των υδρολογικών συνθηκών, οι διανοίξεις σηράγγων, η σεισμική δραστηριότητα κ.λπ. Η μελέτη των μετακινήσεων περιλαμβάνει τον εντοπισμό, τον προσδιορισμό του μεγέθους τους, καθώς και την παρακολούθηση της εξέλιξης τους με το χρόνο, ώστε να γίνει δυνατή η πρόβλεψη του φαινομένου.

Η γεωδαισία με τα όργανα υψηλής ακρίβειας που διαθέτει και τη μεθοδολογία που χρησιμοποιεί έχει τη δυνατότητα εντοπισμού και προσδιορισμού του μεγέθους των μετακινήσεων αυτών με προκαθορισμένη ακρίβεια και δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Για το σκοπό αυτό, γίνονται περιοδικές μετρήσεις σε επιλεγμένα σημεία ελέγχου, ώστε μέσα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων δύο διαδοχικών φάσεων μέτρησης να εντοπισθεί η στατιστικά σημαντική μετακίνηση.

Στη γεωδαιτική μεθοδολογία προσδιορισμού των μετακινήσεων έρχονται να προσδώσουν νέα δυναμική τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (GNSS), ικανά να προσδιορίζουν τη (διαχρονική) θέση σημείων με ακρίβεια λίγων ppm.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, είναι η ανίχνευση της ύπαρξης ή μη μετακινήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Μοσχάτου με δορυφορικές μεθόδους, μέσα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων στα χρονικά διαστήματα 2008-2012 και 2002-2012. Η ανίχνευση αυτή κρίθηκε σκόπιμη γιατί το Μοσχάτο είναι μια περιοχή με έντονα αστικό χαρακτήρα, που τα τελευταία χρόνια έχει δεχθεί μεγάλες γεωτεχνικές δράσεις. Μερικές από τις σημαντικότερες είναι:

- Οι εργασίες βελτίωσης της αντοχής του εδάφους, οι οποίες έγιναν με τη μέθοδο της δυναμικής συμπύκνωσης στην περιοχή του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας.
- Τα τεχνικά έργα διευθέτησης της κοίτης του ποταμού Κηφισού.
- Η ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα λόγω υπεραντλήσεων.
- Οι σημαντικές σε έκταση επιχωματώσεις κατά μήκος της παραλιακής ζώνης, που εκτείνονται και στη θαλάσσια περιοχή.
- Ο έντονος κυκλοφοριακός φόρτος, κυρίως της παραλιακής ζώνης.
- Τα φορτία των κατασκευών (μεγάλη κάλυψη, πολυώροφα κτίρια).

Όλοι οι παραπάνω λόγοι σε συνδυασμό με το γεωλογικό υπόβαθρο οδηγούν στην άποψη ότι οι μετακινήσεις στην περιοχή είναι πολύ πιθανό επακόλουθο των παρεμβάσεων που έχει δεχθεί.

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει ως στόχο την επαναμέτρηση των στοιχείων του δορυφορικού δικτύου ελέγχου που έχει ιδρυθεί στην περιοχή μελέτης. Ασχολείται με τη μέτρηση των στοιχείων του, τη σύγκριση με τα αποτελέσματα των προηγούμενων μετρήσεων και τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας των διαφορών για την ανίχνευση μετακινήσεων για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Η σύγκριση έγινε για τα χρονικά διαστήματα 2002-2012 και 2008-2012, επιλύοντας το δίκτυο με τις ίδιες αρχικές συνθήκες.

1.3 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η Διπλωματική αυτή Εργασία αποτελείται από δέκα κεφάλαια και ένα παράρτημα, το περιεχόμενο των οποίων περιγράφεται παρακάτω.

Πιο συγκεκριμένα, στο **Κεφάλαιο 1** της εργασίας πραγματοποιείται σύντομη περιγραφή του αντικειμένου που απασχόλησε την εργασία σε όλα της τα στάδια. Αρχικά εξετάζεται η σημασία του να εκπονούνται μελέτες με θέμα τις παραμορφώσεις του στερεού φλοιού της γης και στη συνέχεια τεκμηριώνεται η επιλογή της ευρύτερης περιοχής του Μοσχάτου ως περιοχή που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ανίχνευση και παρακολούθηση τυχόν μετακινήσεων

Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφονται τα αίτια των μετακινήσεων και αναφέρονται συναφή παραδείγματα από την Ελλάδα και το εξωτερικό, που έχουν ως στόχο την ικανοποιητική ενημέρωση γύρω από το θέμα των παραμορφώσεων του στερεού φλοιού και συγκεκριμένα των αιτιών που τις προκαλούν. Τέλος, περιγράφονται οι μέθοδοι προσδιορισμού του μεγέθους και της εξέλιξης τους.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφονται τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (GNSS) και τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις δορυφορικές μετρήσεις, με σκοπό την μετέπειτα καλύτερη κατανόηση των μεθόδων μέτρησης του δικτύου και της επεξεργασίας των μετρήσεων. Γίνεται αναφορά στην εφαρμογή των συστημάτων GNSS στην ανίχνευση μετακινήσεων τμημάτων του εδάφους και τεχνικών έργων.

Το **Κεφάλαιο 4** περιλαμβάνει την οριοθέτηση της περιοχής μελέτης και μια σύντομη περιγραφή των ανθρωπογενών παρεμβάσεων που έχει δεχθεί με κυριότερες την κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων και την διευθέτηση της κοίτης του Κηφισού και της εκβολής του Ιλισού. Εν συνεχεία, αναλύεται το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής με βάση τα αποτελέσματα γεωτρήσεων, καθώς και το υδρολογικό υπόβαθρο του ευρύτερου χώρου της περιοχής. Τέλος, παρουσιάζεται το ιστορικό όλων των προηγούμενων μελετών που αφορούν στην ανίχνευση μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν.

Στο **Κεφάλαιο 5** περιγράφονται τα στάδια της αναγνώρισης της περιοχής μελέτης, του σχεδιασμού του δικτύου και του προγραμματισμού των μετρήσεων τα οποία προηγούνται της διαδικασίας των μετρήσεων. Επίσης, στο κεφάλαιο αυτό, αναλύεται και αιτιολογείται η επέκταση του δικτύου ελέγχου με μία ακόμη κορυφή.

Στο **Κεφάλαιο 6** δίνεται περιληπτικά η περιγραφή των γεωδαιτικών δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των μετρήσεων και περιγράφεται η διαδικασία των μετρήσεων και τα προβλήματα που προέκυψαν.

Το **Κεφάλαιο 7** περιλαμβάνει την επεξεργασία των μετρημένων βάσεων. Αρχικά, περιγράφεται το στάδιο της επεξεργασίας των βάσεων με το λογισμικό GNSS Solutions και στη συνέχεια το στάδιο της συνόρθωσης του δικτύου, διαχωρίζοντας περιπτώσεις. Ακολουθεί η μετατροπή των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά με χρήση του τοπικού μοντέλου γεωειδούς που δημιουργήθηκε το 2008 για την περιοχή μελέτης.

Στο **Κεφάλαιο 8** υπολογίζεται το διάνυσμα μεταβολής της θέσης των κορυφών του δικτύου ελέγχου. Με στατιστική επεξεργασία ελέγχθηκε αν η μεταβολή που προκύπτει είναι στατιστικά σημαντική, ή αν οφείλεται στο θόρυβο των μετρήσεων.

Το **Κεφάλαιο 9** περιλαμβάνει το χρονοδιάγραμμα των εργασιών για την εκπόνηση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας και μια αναλυτική περιγραφή της κατανομής των εργασιών με τη χρονολογική σειρά που εκτελέστηκαν.

Το **Κεφάλαιο 10** περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη διεξαγωγή της Διπλωματικής Εργασίας και αντίστοιχες προτάσεις.

Στο **Παράρτημα** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου κλεισίματος τριγώνων του δικτύου, ο κώδικας Matlab και οι πίνακες μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας των συνορθώσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο –ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο στερεός φλοιός της Γης φαίνεται σταθερός, όμως στην πραγματικότητα είναι εύπλαστος και συνεχώς μεταβαλλόμενος. Οι περισσότερες όμως από τις κινήσεις και τις μεταβολές του στερεού φλοιού δεν είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτές κατά τη διάρκεια της σύντομης ανθρώπινης ζωής. Οι ευκαιρίες για άμεση παρατήρηση και μέτρηση των παραμορφώσεων του εδάφους από τον άνθρωπο είναι ελάχιστες, μιας και ο ρυθμός με τον οποίο εξελίσσεται το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα βραδύς. Τα στοιχεία που έχουμε προέρχονται από μικρές μετατοπίσεις που μετρώνται κοντά ή πάνω στην επιφάνεια της Γης.

Οι πολύ μικρές και αργές αυτές κινήσεις τεκμηριώνονται από γεωλογικά δεδομένα ή από ιστορικά και αρχαιολογικά ευρήματα, σήμερα δε κυρίως με εφαρμογή της γεωδαιτικής μεθοδολογίας. Τέτοιες μικρές μετατοπίσεις μπορεί να είναι επακόλουθα σεισμών, μεταβολών στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, ηφαιστειακών εκρήξεων, κατολισθήσεων ή ερπυσμού ή και αποτέλεσμα ανθρώπινων επεμβάσεων όπως τα υπόγεια έργα (π.χ. διάνοιξη σήραγγας), η εξορυκτική δραστηριότητα, οι εκτενείς επιχωματώσεις, η αλόγιστη άντληση φυσικών διαθέσιμων (νερό, πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.λπ.) και η κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων. Οι μετατοπίσεις αυτές μπορούν να μετρηθούν άμεσα και είναι ιδιαιτέρως σημαντικές όταν ερμηνευθούν μέσα στο πλαίσιο των βασικών αρχών της γεωλογίας, αφού δίνουν τη δυνατότητα να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τις πολύπλοκες και συνεχείς γεωλογικές διεργασίες που γίνονται στο φλοιό, αλλά και την επίδραση των επεμβάσεων του ανθρώπου στο περιβάλλον *(Βλάχος 1987)*.

Η μετακίνηση του εδάφους, εξαιτίας των αιτίων που αναφέρθηκαν παραπάνω, επιφέρει μετακινήσεις στα τεχνικά έργα που είναι θεμελιωμένα σε αυτό. Επίσης, μετακινήσεις εκδηλώνονται στις κατασκευές εξαιτίας της ανακανομής των τάσεων στο έδαφος θεμελίωσης λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων (π.χ. αλλαγή χρήσης, βαθειά εκσκαφή σε όμορο ακίνητο κ.λπ.).

Η παρακολούθηση των μετακινήσεων, τόσο του στερεού φλοιού της γης, όσο και των τεχνικών έργων, πραγματοποιείται με περιοδικές μετρήσεις και μέσω ευαίσθητων οργάνων, μιας και ο ρυθμός με τον οποίο συμβαίνουν είναι εξαιρετικά βραδύς. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα συνηθέστερα αίτια – φυσικά ή ανθρωπογενή – που προκαλούν την παραμόρφωση του εδάφους, καθώς και οι μέθοδοι προσδιορισμού του μεγέθους και της εξέλιξης τους.

2.2 ΑΙΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Όπως προαναφέρθηκε, ορισμένα τμήματα του εδάφους δεν παραμένουν σταθερά με την πάροδο του χρόνου αλλά υπόκεινται σε συνεχείς μετακινήσεις καθώς παραμορφώνεται ο φλοιός της γης. Τα αίτια των μετακινήσεων ποικίλλουν ανάλογα με την περιοχή που εξετάζεται, τις συνθήκες που επικρατούν, την παρουσία ή όχι ανθρώπινης δραστηριότητας. Έτσι, οι παραμορφώσεις του εδάφους είναι δυνατό να προκληθούν από φυσικά φαινόμενα ή/και από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

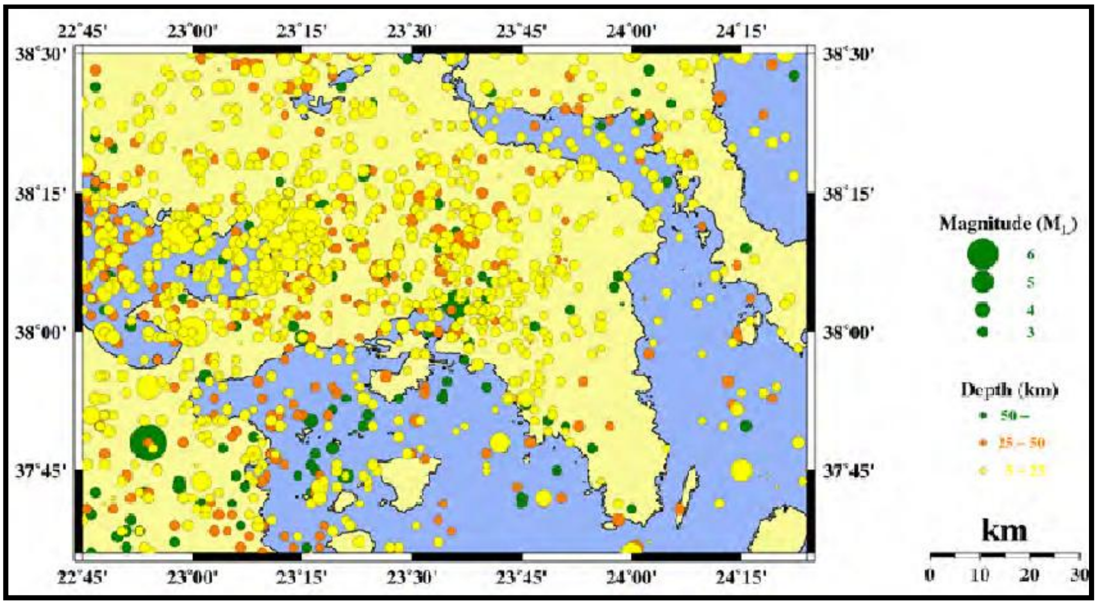
Στα συνηθέστερα **φυσικά αίτια** μετακινήσεων του εδάφους, τα οποία συναντώνται σε επίπεδο ηπείρων αλλά και σε περιορισμένη έκταση, περιλαμβάνονται:

- Οι μετακινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών της γης, φαινόμενο το οποίο προκαλεί τους σεισμούς. Ειδικά στην Ελλάδα, το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα σύνηθες και απασχολεί έντονα τους σεισμολόγους, μιας και η χώρα βρίσκεται στα όρια σύγκλισης της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής πλάκας, γεγονός που την καθιστά την πιο δραστήρια σεισμικά περιοχή της Ευρώπης. Μεγάλος αριθμός σεισμών εκδηλώνεται και στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Αθήνας *(Χάρτης 2.1)*.

  Πιο αναλυτικά, οι αργές κινήσεις των τεκτονικών πλακών φαίνεται να παράγουν έναν τεκτονικό κύκλο κατά τον οποίο συσσωρεύονται τάσεις στο εσωτερικό των πλακών με συνέπεια τη σταδιακή παραμόρφωση και, τελικά, την αποφόρτιση μέσω σεισμικών επεισοδίων. Με τη γεωδαιτική μεθοδολογία μπορούν να καταγραφούν οι μετακινήσεις συγκεκριμένων σημείων της φυσικής γήινης επιφάνειας αλλά και των κατασκευών που είναι θεμελιωμένες πάνω σε αυτή και να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την κινηματική συμπεριφορά τους.

  Ένα σχετικά πρόσφατο παράδειγμα μετακινήσεων στην Ελλάδα μετά από έντονη σεισμική δραστηριότητα είναι η πόλη της Πάτρας. Συγκεκριμένα, το 1989 στην περιοχή της Αγίας Τριάδας μετά από μια σειρά σεισμών εμφανίσθηκε εντός της πόλης μια επιφανειακή ρωγμή μήκους 1500 μέτρων και εύρους, αρχικώς, έως 10 mm. Ταυτόχρονα, παρατηρήθηκαν καθιζήσεις της επιφάνειας του εδάφους γύρω από τη ρωγμή, από 40mm έως 170mm, στα 15 έτη παρακολουθήσεως του δικτύου κατακορύφου ελέγχου που ιδρύθηκε στην περιοχή, ενώ εκατέρωθεν της διάρρηξης σημειώθηκαν σημαντικές βλάβες στις κατασκευές*(Τελειώνη κ.α. 2006).*

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, επειδή η παραμόρφωση του φλοιού της Γης θεωρείται από τους επιστήμονες ως ένα πρόδρομο του σεισμού, γίνονται σημαντικές προσπάθειες για τη συστηματική παρακολούθηση αυτών των φαινομένων.



Χάρτης 2.1: Τα σεισμικά επίκεντρα στην περιοχή της Αθήνας την περίοδο 1950-2007
(Πηγή: 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας)
Map 2.1 : The earthquake epicenters in the Athens area for the period 1950-2007

- <u>Η σύσταση και η γεωλογική δομή του υπεδάφους</u> εξαιτίας της οποίας οι υπερκείμενες μάζες μετατοπίζονται. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι η συμπύκνωση μακράς περιόδου στα αργιλικά εδάφη (φαινόμενο στερεοποίησης) και βραχείας περιόδου στα κοκκώδη εδάφη. Επιπλέον, η διαφορετική σύσταση του υπεδάφους στις διάφορες περιοχές είναι δυνατό να προκαλέσει διαφορικές καθιζήσεις, οι οποίες με τη σειρά τους θα οδηγήσουν σε αστοχία των υπερκείμενων κατασκευών *(Βλάχος 1987)*.
- <u>Η ηφαιστειακή δραστηριότητα</u>. Το μάγμα κατά την άνοδο του προκαλεί κατακόρυφες ή/και οριζόντιες μετατοπίσεις των υπερκείμενων πετρωμάτων και περιοχών. Ένα από τα βασικότερα πρόδρομα φαινόμενα ηφαιστειακής δραστηριοποίησης σε όλες τις ιστορικές εκρήξεις της Σαντορίνης ήταν η βύθιση των ακτών αρκετό χρονικό διάστημα πριν την εκδήλωση της έκρηξης (*Λαόπουλο & Υφαντή 2011).* Πρόσφατη μελέτη που ασχολείται με την ανίχνευση μετακινήσεων γύρω από την περιοχή του ηφαιστείου εξετάζει την πιθανότητα επαναενεργοποίησης του με ανίχνευση των μετακινήσεων του εδάφους. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει και το ηφαίστειο Χένγκιλ στην Ισλανδία,

όπου η συνεχώς αυξανόμενη πίεση του μάγματος κατά την άνοδό του προκαλεί ανύψωση της γύρω περιοχής 2cm ανά έτος.

Παρ' όλες όμως τις έντονες φυσικές διεργασίες, έρευνα δείχνει ότι περίπου το 50% των μετακινήσεων που παρατηρούνται παγκοσμίως έχουν ως αίτιο την ανθρώπινη δραστηριότητα *(Chai et al 2004)*. Στις **ανθρωπογενείς αιτίες** που προκαλούν παραμορφώσεις του στερεού φλοιού περιλαμβάνονται:

- Οι μεταβολές των υδρογεωλογικών συνθηκών του υπεδάφους, οι οποίες είναι δυνατό να συνοδεύονται από ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα, συνήθως λόγω αντλήσεων υπόγειου νερού, πετρελαίου ή αερίου. Οι μεταβολές αυτές εκδηλώνονται συνήθως με τη μορφή καθιζήσεων και αποτελούν μια από τις σημαντικότερες και συνηθέστερες αιτίες παραμορφώσεων του στερεού φλοιού της γης παγκοσμίως.

  Χαρακτηριστικό παράδειγμα καθίζησης λόγω υπεράντλησης υπόγειου νερού αποτελεί η πόλη του Μεξικού, όπου η άντληση ποσοτήτων πολύ μεγαλύτερων από την φυσική επαναπλήρωση των υδροφόρων στρωμάτων οδήγησε σε σημαντική συμπύκνωση των υπεδαφικών υλικών. Ως συνέπεια αυτού, εκδηλώθηκαν μεγάλες καθιζήσεις που ξεπέρασαν τα 8 μέτρα *(Osmanoğlu 2002)*.

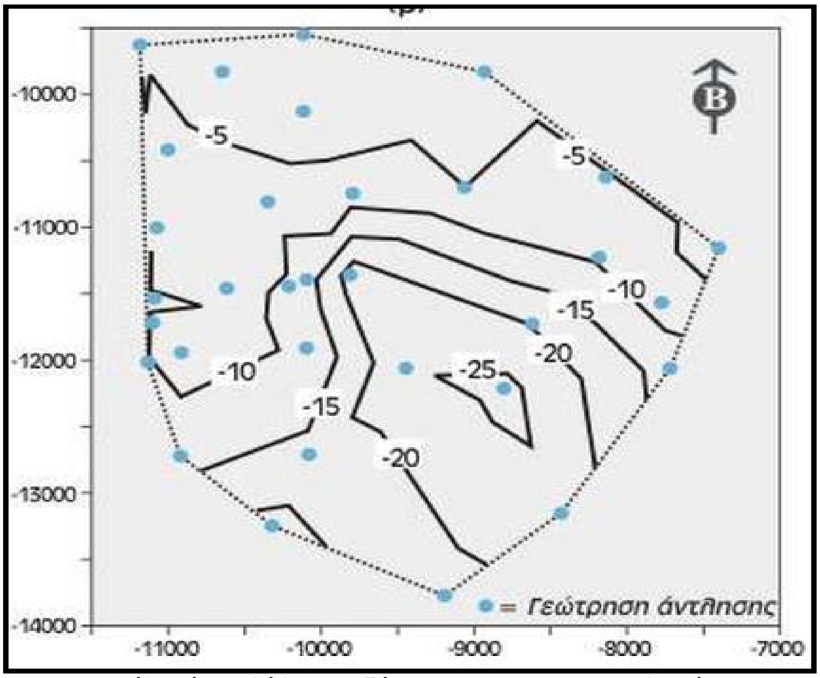
  Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί και η περίπτωση της πόλης της Σαγκάης, η οποία αποτελεί επίσης ένα σημαντικό παράδειγμα καθίζησης του εδάφους μετά από αντλήσεις των υπόγειων υδάτων για πάνω από 80 χρόνια. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει έρευνα των Chai et al, η οποία εξετάζει μεταξύ άλλων τη συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού καθίζησης του εδάφους με το ρυθμό άντλησης των υπόγειων νερών και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι παρουσιάζεται σαφής συσχέτιση των δύο μεγεθών, όπως παρατηρείται και στον *Πίνακα 2.1*.

Περίοδος	Μέσος ρυθμός καθίζησης: mm/έτος	Μέση τιμή αντλούμενων υπόγειων υδάτων: 10^6 m^3/έτος	Μέση τιμή τεχνητού εμπλουτισμού: 10^6 m^3/έτος
1921-1948	23	9	-
1949-1956	43	140	-
1957-1961	100	200	-
1962-1965	60	156	-
1966-1989	2	89	17
1990-2001	16	127	14

Πίνακας 2.1: Ρυθμός καθίζησης εδάφους και άντλησης του υπόγειου νερού στη Σαγκάη *(Πηγή: Chai et al 2007)*

Table 2.1: Land subsidence rate and groundwater pumping rate in Shanghai

Όσον αφορά προβλήματα καθιζήσεων του εδάφους στην Ελλάδα, ενδεικτικά αναφέρεται ο οικισμός Καλοχώρι κοντά στη Θεσσαλονίκη, όπου παρουσιάζονται σοβαρά προβλήματα εδαφικών καθιζήσεων λόγω των υπεραντλήσεων υπόγειου νερού για την τροφοδότηση της Θεσσαλονίκης που ξεκίνησε το 1950. Για την παρακολούθηση του φαινομένου εγκαταστάθηκε στην περιοχή δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου το 1992. Το δίκτυο μετρήθηκε πολλές φορές σε μια περίοδο 10 ετών. Αξίζει να αναφερθεί ότι μέχρι το 1994 παρατηρήθηκαν συστηματικές καθιζήσεις που άγγιζαν τα 50mm/έτος, αλλά από τα μέσα του 1994, οπότε και σταμάτησε η άντληση των υπόγειων υδάτων, υπήρξε σημαντικότατη μείωση στο ρυθμό καθίζησης *(Doukas et al 2004).*



Χάρτης 2.2: Καμπύλες ίσης βύθισης εδάφους σε cm για το Καλοχώρι Θεσσαλονίκης την περίοδο 1991-1999 *(Πηγή: Doukas et al 2004)*
Map 2.2 : Isosubsidence curves in cm for Kalohori near Thessaloniki in the period 1991-1999

- <u>Η μεταβολή των φορτίων στην επιφάνεια του εδάφους</u>. Οι φορτίσεις αυτές μπορεί να είναι είτε στατικές και να οφείλονται π.χ. στην κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων ή στη φόρτιση που δέχεται μια περιοχή λόγω της αστικοποίησης, είτε δυναμικές που οφείλονται σε ποικίλους κραδασμούς λόγω κυκλοφοριακού φόρτου, λειτουργίας μηχανημάτων, διέλευση τρένου ή μετρό κ.λπ.

Στην πόλη της Μπανγκόκ, οι στατικές φορτίσεις που έχει δεχτεί το έδαφος λόγω του μεγάλου αριθμού πολυώροφων κτιρίων και βιομηχανικών εγκαταστάσεων έχει προκαλέσει σημαντικές καθιζήσεις στα ήδη χαλαρά εδάφη *(Premchitt 1978).*

- Οι εκσκαφές και η αφαίρεση εδαφικού υλικού ή οι επιχωματώσεις, ιδιαίτερα δε εάν η συμπύκνωση του εδάφους δεν πραγματοποιηθεί σωστά. Πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης σχετικά με τα αίτια των επιφανειακών διαρρήξεων στην περιοχή Μαυροπηγή του Δήμου Πτολεμαΐδας. Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι επιφανειακές ρηγματώσεις οφείλονται στην εξορυκτική δραστηριότητα και στις εκτεταμένες εκσκαφές του ορυχείου της Μαυροπηγής *(Παυλίδης κ.α. 2011)*.

  Επιπλέον, κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί ότι τόσο κατά τη διάνοιξη σήραγγας όσο και μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της είναι δυνατό να παρατηρηθούν οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις. Εξαιτίας των καθιζήσεων και των οριζόντιων μετακινήσεων προκαλούνται συχνά αστοχίες στα υπερκείμενα κτίρια. Συνήθως μετακινήσεις μετά την κατασκευή της σήραγγας παρατηρούνται σε εδάφη που αποτελούνται από μαλακές αργίλους, εξαιτίας της μεταβολής της πίεσης του νερού, η οποία προκύπτει από την κατασκευή του υπόγειου έργου (*Μπαλοδήμος κ.α. 2005)*. Τα παραδείγματα εντοπισμού παραμορφώσεων του εδάφους από διάνοιξη σήραγγας του μετρό είναι πολυάριθμα τόσο στο εξωτερικό (υπόγειος σιδηρόδρομος Σαγκάης, Μαδρίτης) όσο και στην Ελλάδα (μετρό Αθήνας, Θεσσαλονίκης).

  Το 2003, στα πλαίσια μελέτης που πραγματοποιήθηκε στο σταθμό «Άγιος Ιωάννης» του μετρό της Αθήνας, έγινε ίδρυση και μέτρηση δικτύου κατακορύφου ελέγχου 35 συνολικά κορυφών. Από την επεξεργασία των μετρήσεων προέκυψαν σημαντικές καθιζήσεις στην περιοχή μελέτης, με μέγιστη τα 96 mm (*Μπαλοδήμος κ.α. 2005)*.

Οι μετακινήσεις του εδάφους συνδέονται σε πολλές περιπτώσεις με την ασφάλεια ολόκληρων πόλεων και οικισμών. Η αστοχία του εδάφους συχνά έχει καταστροφικές συνέπειες, ο κίνδυνος απώλειας ανθρωπίνων ζωών είναι άμεσος και οπωσδήποτε η χειρότερη συνέπεια, καθώς αυτά χρησιμοποιούνται σε καθημερινή βάση από πλήθος ανθρώπων. Εκτός αυτού, το κόστος επισκευής των μεγάλων τεχνικών έργων που εδράζονται σε αυτό είναι πολύ υψηλό. Για όλους τους παραπάνω λόγους είναι σημαντικός ο προσδιορισμός των μετακινήσεων του εδάφους και η συνεχής παρακολούθησή τους για την καλύτερη αξιολόγηση των γεωλογικών δεδομένων και του κινδύνου των παραμορφώσεων.

2.3 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

Για την ανίχνευση, τον προσδιορισμό και την παρακολούθηση των επιφανειακών μετακινήσεων σε μια περιοχή ενδιαφέροντος έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται επίγειες και δορυφορικές μέθοδοι ακριβείας. Οι επίγειες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις ελέγχου παραμορφώσεων χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις γεωδαιτικές μεθόδους, στις οποίες πραγματοποιείται ίδρυση και παρακολούθηση ενός γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου, και τις γεωτεχνικές μεθόδους για τοπικές μετρήσεις παραμορφώσεων οι οποίες χρησιμοποιούν ειδικά γεωτεχνικά όργανα (κλισίμετρα, μηκυνσιόμετρα, αποκλισιόμετρα κ.λπ.). Όσον αφορά στις δορυφορικές μεθόδους χωρίζονται και αυτές σε δύο κατηγορίες: τις μετρήσεις με τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (GNSS) και την τεχνική της Δορυφορικής Συμβολομετρίας.

2.3.1 Επίγειες μέθοδοι

Κατά την εφαρμογή της γεωδαιτικής μεθοδολογίας για την ανίχνευση μετακινήσεων ιδρύονται σημεία πάνω στο τμήμα του εδάφους ή της κατασκευής που ελέγχεται, τα οποία δημιουργούν ένα γεωδαιτικό δίκτυο ελέγχου. Στις μελέτες παραμορφώσεων περιορισμένου πεδίου, το γεωδαιτικό δίκτυο ελέγχου αναπτύσσεται σε μικρή σχετικά έκταση εδάφους ή στην επιφάνεια γύρω από μια κατασκευή και πάνω σε αυτή. Αυτά τα δίκτυα είναι δυνατό να είναι δίκτυα οριζοντίου ελέγχου, δίκτυα κατακορύφου ελέγχου ή τρισδιάστατα δίκτυα.

Τα στάδια μιας μελέτης παραμορφώσεων είναι ανεξάρτητα από το είδος του δικτύου που θα δημιουργηθεί και είναι επιγραμματικά η αναγνώριση της περιοχής μελέτης, ο σχεδιασμός του δικτύου ελέγχου, η εγκατάσταση των σημείων, η μέτρηση των στοιχείων του δικτύου ελέγχου, η επεξεργασία των μετρήσεων και η επίλυση του δικτύου και, τέλος, η ανίχνευση και η ερμηνεία των μετακινήσεων. Κατά την ολοκλήρωση του σταδίου της ανίχνευσης των μετακινήσεων, ο Γεωδαίτης είναι πλέον σε θέση να γνωρίζει και να παρέχει την ποσοτική πληροφορία, π.χ. το μέγεθος των καθιζήσεων και την έκταση της περιοχής στην οποία εκδηλώνονται αυτές. Με βάση αυτή την πληροφορία η διεπιστημονική ομάδα προχωρά στην ερμηνεία των μετακινήσεων και φθάνει σε συμπεράσματα σχετικά με το αίτιο που τις προκαλεί και την εξέλιξη του φαινομένου. Η ερμηνεία των μετακινήσεων είναι το πλέον δύσκολο στάδιο της μελέτης των παραμορφώσεων. Η ερμηνεία τους αποκαλύπτει όχι μόνο τον μηχανισμό του γενεσιουργού φυσικού αιτίου από το οποίο προκλήθηκαν, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο αποκρίνεται το έδαφος ή η κατασκευή σε αυτό.

Αναλυτικότερα, στο γεωδαιτικό δίκτυο οριζοντίου ελέγχου μετρούνται τα στοιχεία του (μήκη και γωνίες) κατά τη χρονική στιγμή t_I, η οποία ονομάζεται και φάση αναφοράς. Στη συνέχεια επιλύεται το δίκτυο με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις, δηλαδή θεωρώντας ως σταθερές μια κορυφή και μια γωνία διεύθυνσης. Από την επίλυση του δικτύου, και αφού γίνει η στατιστική αξιολόγηση της λύσης, εκτιμώνται οι συντεταγμένες των κορυφών του [$\hat{X}_I$] και οι αβεβαιότητες τους κατά τη χρονική στιγμή t_I. Με την επαναμέτρηση των στοιχείων του δικτύου κατά τη χρονική στιγμή t_{II}, διατηρώντας τις ίδιες ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις, επιλύεται το δίκτυο και μετά τη στατιστική αξιολόγηση της λύσης, όπως και παραπάνω, εκτιμώνται οι συντεταγμένες των κορυφών του [$\ddot{X}_{II}$] και οι αβεβαιότητες τους. Το διάνυσμα μεταβολής της θέσης των κορυφών του δικτύου ελέγχου δίνεται ως $[\delta\hat{X}_{I,II}]^T=[\hat{X}_{II}-\hat{X}_I]^T$. Με βάση, τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του διανύσματος μεταβολής και με κατάλληλη στατιστική επεξεργασία, ελέγχεται αν η μεταβολή που προκύπτει είναι στατιστικά σημαντική με συγκεκριμένη πιθανότητα (συνήθως 95%), ή αν οφείλεται στο θόρυβο των μετρήσεων.

Στα γεωδαιτικά δίκτυα κατακορύφου ελέγχου τα μετρούμενα στοιχεία είναι οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του. Αυτές μετρούνται κατά τις χρονικές στιγμές t_I και t_{II}. Το δίκτυο επιλύεται, κατά τις δυο φάσεις, θεωρώντας την ίδια κορυφή ως σταθερή. Προσδιορίζονται τα υψόμετρα των κορυφών του δικτύου και οι αβεβαιότητες τους, κατά τις δυο φάσεις μέτρησης. Αφού αξιολογηθούν στατιστικά οι λύσεις ελέγχεται, όπως και παραπάνω, αν οι μεταβολές των υψομέτρων των κορυφών ($[\delta\hat{H}_{I,II}]^T=[\hat{H}_{II}-\hat{H}_I]^T$) είναι στατιστικά σημαντικές με συγκεκριμένη πιθανότητα.

Για την περίπτωση των τρισδιάστατων δικτύων ελέγχου γίνεται ανάλογη εργασία. Στο πλαίσιο αυτής εκτιμώνται, όπως και παραπάνω, συγχρόνως οι συντεταγμένες (X,Y,H) των κορυφών του δικτύου και ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τον εντοπισμό και τον προσδιορισμό των διανυσμάτων μετακίνησης μετά από στατιστικό έλεγχο.

Στις **γεωτεχνικές μεθόδους** μέτρησης τα όργανα που χρησιμοποιούνται εγκαθίστανται σε μόνιμες θέσεις και παρέχουν τη δυνατότητα συνεχών μετρήσεων. Οι γεωτεχνικές μέθοδοι προσφέρονται για τις περιπτώσεις εκείνες που οι παρατηρούμενες παραμορφώσεις εξελίσσονται σχετικά γρήγορα με την πάροδο του χρόνου, σε αντίθεση με τις γεωδαιτικές μεθόδους που είναι καταλληλότερες όταν οι παραμορφώσεις έχουν μικρό βήμα μεταβολής στο χρόνο *(Χαλιμουρδάς 2007)*.

Βασική διαφορά μεταξύ των δυο μεθόδων είναι ότι οι γεωτεχνικές μέθοδοι δίνουν την δυνατότητα ασυσχέτιστων, σημειακών μετρήσεων, ιδιαίτερα υψηλής ακρίβειας (τάξης

0.01mm ή και καλύτερα), ενώ οι γεωδαιτικές μέθοδοι παρέχουν, με στατιστικά ελεγχόμενη μεθοδολογία, τον αξιόπιστο προσδιορισμό των διανυσμάτων μετακίνησης (τάξης λίγων mm) στις κορυφές του δικτύου ελέγχου, σε ενιαίο σύστημα αναφοράς. Έτσι, τα διανύσματα μπορούν να συσχετισθούν μεταξύ τους με σκοπό την ανίχνευση και τον προσδιορισμό των μετακινήσεων. Τελικά, είναι φανερό ότι αν συνδυασθούν οι δυο παραπάνω μέθοδοι θα επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα για τον έλεγχο της απόκριση του εδάφους ή της κατασκευής.

Σε αντιστοιχία με τις μεθόδους μέτρησης, τα όργανα που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις για τον έλεγχο παραμορφώσεων του εδάφους μπορούν να χωριστούν σε γεωδαιτικά και γεωτεχνικά. Τα γεωδαιτικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις παραμορφώσεων είναι όργανα υψηλής και πολύ υψηλής ακρίβειας και διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες*(Μπαντέλλας & Σαββαΐδης 1990, Χαλιμουρδάς 2007)*:

- Ψηφιακοί χωροβάτες *(Εικόνα 2.1a).*
- Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί
- Γεωδαιτικά όργανα χάραξης και ελέγχου ευθυγραμμίας (Οπτικά όργανα, όργανα με ακτίνες Laser).
- Γεωδαιτικά όργανα κατακορύφωσης (Αυτόματοι οπτικοί κατακορυφωτές).
- Δορυφορικά συστήματα μέτρησης (Συστηματα GNSS, εικόνες SAR).
- Επίγειοι 3D σαρωτές (Laser Scanners)

Τα γεωτεχνικά όργανα βασίζονται σε διαφορετικές αρχές από αυτές των γεωδαιτικών οργάνων και αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνεχείς μετρήσεις είναι *(Βλάχος 1987, Χαλιμουρδάς 2007):*

- Κλισίμετρα, μηχανικά ή ηλεκτρικά *(Εικόνα 2.1b)*.
- Μηκυνσιόμετρα *(Εικόνα 2.1c).*
- Πιεζόμετρα.
- Παραμορφωσίμετρα.
- Συγκριτές.
- Επιταχυνσιόμετρα.
- Όργανα προσδιορισμού και ελέγχου ευθυγραμμίας.
- Όργανα μέτρησης ρωγμών *(Εικόνα 2.1d).*

- Όργανα προσδιορισμού της διεύθυνσης της κατακορύφου (κατακορυφωτές, εκκρεμη)
- Συστήματα προσδιορισμού της μεταβολής των υψομετρικών διαφορών
- Όργανα ειδικών εφαρμογών (πχ. όργανα υπερήχων, θερμόμετρα κ.α.)

Εικόνα 2.1: a) Ψηφιακός χωροβάτης Leica **b)** Ψηφιακό κλισίμετρο **c)** Μηχανικά μηκυνσιόμετρα και **d)** Ρωγμόμετρο για 3 κατευθύνσεις

(*Πηγές: http://portal.tee.gr:TEEInsituAssessmentTextBook.pdf, www.geotools.gr)*

Figure 2.1: a) Leica digital level **b)** Digital inclinometer **c)** Extensiometer and **d)** 3-direction crackmeter

Σε κάθε περίπτωση η τελική απόφαση για την επιλογή των μεθόδων και των οργάνων εκείνων που θα χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση και την παρακολούθηση των παραμορφώσεων σε ένα τεχνικό έργο ή στο έδαφος, πρέπει να είναι συνάρτηση του αναμενόμενου μεγέθους των μετακινήσεων, των προδιαγραφών ακριβείας των μετρήσεων, και κατ' επέκταση των αποτελεσμάτων, του συνολικού κόστους για την οργάνωση και διεξαγωγή των μετρήσεων και του είδους και της φύσης της εργασίας, μιας και κάθε όργανο πρέπει να χρησιμοποιείται κάτω από ορισμένες συνθήκες για να διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του.

2.3.2 Δορυφορικές μέθοδοι

Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (GNSS) χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως για την ανίχνευση παραμορφώσεων. Στην περίπτωση που ένα τρισδιάστατο δίκτυο ελέγχου μετράται με δορυφορικές μεθόδους, τα στάδια της μελέτης παραμορφώσεων δε διαφέρουν σημαντικά με αυτά των γεωδαιτικών μεθόδων. Αυτό που αλλάζει είναι το διάνυσμα μετρήσεων, το οποίο περιλαμβάνει τα διανύσματα στο χώρο μεταξύ των κορυφών του δικτύου.

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, 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.

Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Εντοπισμού Θέσης και το InSAR μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα για τον προσδιορισμό του μεγέθους των μετακινήσεων 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 σφάλματος της τροχιάς του δορυφόρου, της κατάστασης της επίγειας επιφάνειας και του χρονικού συσχετισμού. Τα στοιχεία από τα δίκτυα GNSS 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 GNSS υπό μια χωρική έννοια. Είναι λοιπόν προφανές, ότι οι δύο αυτές τεχνικές αλληλοσυμπληρώνονται. (*Μπαλοδήμος κ.α. 2005)*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{Ο} – ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης ή Global Navigation Satellite Systems (GNSS) όπως είναι η αρχική τους ονομασία, είναι δορυφορικά συστήματα τα οποία εξασφαλίζουν συνεχή, παγκόσμια και ανεξάρτητη από καιρικές συνθήκες πλοήγηση σε απεριόριστο αριθμό χρηστών. Η διάδοση και η συνεχώς αυξανόμενη ακρίβεια μέτρησης των συστημάτων GNSS οδήγησαν στη χρήση τους και για γεωδαιτικούς σκοπούς και συχνά στην αντικατάσταση των κλασσικών γεωδαιτικών μεθόδων με δορυφορικές μεθόδους. Σήμερα, τα συστήματα GNSS χρησιμοποιούνται ευρύτατα για εργασίες ανίχνευσης και παρακολούθησης των παραμορφώσεων του εδάφους.

Αρχικά, στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τα συστήματα GNSS και τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις, με σκοπό την μετέπειτα καλύτερη κατανόηση των μεθόδων μέτρησης του δικτύου και της επεξεργασίας των μετρήσεων. Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά σε διάφορες περιπτώσεις χρήσης των συστημάτων GNSS με σκοπό την παρακολούθηση των παραμορφώσεων του στερεού φλοιού της Γης, τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό.

3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ GNSS

Το σύστημα NAVSTAR-GPS είναι το πρώτο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης, χρόνου και ταχύτητας, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης και σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες. Το σύστημα σχεδιάστηκε τη δεκαετία του 1970, αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980 και βρίσκεται συνεχώς υπό τον έλεγχο του Υπουργείου Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Η.Π.Α.). Η πολιτική χρήση του GPS, δηλαδή η χρήση για μη στρατιωτικούς σκοπούς, έγινε δυνατή μετά από απόφαση των Η.Π.Α. του 1983.

Το σύστημα GPS, όπως και όλα τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσης, αποτελείται ουσιαστικά από ‘’πομπούς σε τροχιά’’, που είναι οι δορυφόροι GPS και από δέκτες GPS στη γήινη επιφάνεια. Αποτελείται από 24 συνολικά δορυφόρους οι οποίοι κινούνται σε 6 σταθερές τροχιές γύρω από τον πλανήτη. Ο δορυφορικός σχηματισμός έχει τέτοια διάταξη, ώστε από οποιοδήποτε σημείο της γήινης επιφάνειας με καλό ορίζοντα να μπορούν να παρατηρούνται ταυτόχρονα τουλάχιστον 6 δορυφόροι - θεωρώντας ότι δεν υπάρχουν εμπόδια μεταξύ δέκτη και δορυφόρων - ενώ με πολύ καλό ορίζοντα οι δορυφόροι μπορούν να ξεπεράσουν τους 10.

Σημαντικό βήμα στην εξέλιξη των δορυφορικών συστημάτων αποτελεί η ανάπτυξη δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού και από άλλες χώρες. Σημαντική είναι η συμβολή της Ρωσίας με το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού GLONASS, το οποίο αποτελείται από 24 δορυφόρους που αναπτύσσονται σε 3 σταθερές τροχιές γύρω από τη Γη. Η τροχιά τους καθιστά το GLONASS ιδιαίτερα αποτελεσματικό για χρήση σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη (βόρεια ή νότια), όπου η λήψη του GPS μπορεί να είναι προβληματική. Σε σχέση με το GPS, το GLONASS είναι ελάχιστα πιο ακριβές.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι πολλά υποσχόμενο είναι και το υπό ανάπτυξη δορυφορικό σύστημα πλοήγησης GALILEO, το οποίο ελέγχεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και υλοποιείται από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία. Στόχος του GALILEO είναι να παρέχει ένα σύστημα υψηλής ακρίβειας εντοπισμού θέσης, στο οποίο θα μπορούν να βασιστούν τα ευρωπαϊκά κράτη, ανεξάρτητα από το ρωσικό GLONASS, το αμερικανικό GPS και το κινέζικο Compass, τα οποία μπορεί να καθιστούν απρόσιτα σε περιόδους κρίσης. Το σύστημα των 30 δορυφόρων του GALILEO αναμένεται να είναι πλήρως ολοκληρωμένο το 2019 *(Βαρελάς 2009).* Τα βασικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων δύο συστημάτων θα είναι η μη ύπαρξη της επιλεκτικής διαθεσιμότητας και η παροχή καλύτερης ακρίβειας και αξιοπιστίας. Στον *Πίνακα 3.1* παρουσιάζονται συγκεντρωμένα διάφορα στοιχεία για τα 3 συστήματα εντοπισμού θέσης.

	GLONASS	**GPS**	**GALILEO**
Αριθμός δορυφόρων	24	30	4
Αριθμός τροχιακών επιπέδων	3	6	3
Χρονολογία 1ης εκτόξευσης	1982	1978	2011
Datum	PZ-90.02	WGS-84	GTRF

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά Παγκόσμιων Δορυφορικών Συστημάτων Εντοπισμού
Table 3.1: Characteristics of the Global Navigation Satellite System
(Πηγή: Navipedia)

3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

Ο προσδιορισμός θέσης με τα GNSS διακρίνεται γενικά σε δύο κατηγορίες, που διαφοροποιούνται κυρίως από την αβεβαιότητα του προσδιορισμού: στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης, όπου οι παρατηρήσεις αφορούν μεμονωμένα σημεία και καταλήγουμε σε προσδιορισμό γεωκεντρικών συντεταγμένων χαμηλότερης ακρίβειας και στο σχετικό προσδιορισμό θέσης, όπου προσδιορίζονται οι συντεταγμένες ενός σημείου ως προς ένα άλλο σημείο του οποίου οι συντεταγμένες θεωρούνται γνωστές ως προς ένα σύστημα αναφοράς. Στην επόμενη ενότητα, όπου αναλύονται διεξοδικότερα τα σφάλματα και οι πηγές σφαλμάτων στις μετρήσεις με GNSS, θα γίνει καλύτερα κατανοητό γιατί ο σχετικός προσδιορισμός θέσης υπερέχει σε ακρίβεια του απόλυτου προσδιορισμού θέσης και συνεπώς επιλέγεται σχεδόν σε όλες τις γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές. *(Φωτίου & Πικριδάς 2008)*

Μια άλλη διάκριση αφορά στην κίνηση των επίγειων δεκτών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Διακρίνεται ο στατικός εντοπισμός, όπου ο δέκτης παραμένει ακίνητος στο σημείο τοποθέτησής του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, για συγκεκριμένο χρόνο, και ο κινηματικός εντοπισμός, όπου προσδιορίζονται οι συντεταγμένες ενός δέκτη, ο οποίος κινείται, καταγράφοντας μετρήσεις σε όλη τη διαδρομή του, είτε σε τυχαίες θέσεις, είτε σε σημεία που επιλέγει ο χρήστης.

Τέλος, δύο άλλες κατηγορίες δορυφορικού εντοπισμού που έχουν αναπτυχθεί αφορούν στο χρόνο υπολογισμού των συντεταγμένων. Στον προσδιορισμό των συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο προσδιορίζονται οι συντεταγμένες την χρονική στιγμή εκτέλεσης των μετρήσεων, ενώ στον εκ των υστέρων προσδιορισμό οι συντεταγμένες προσδιορίζονται μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων, στο γραφείο *(Λάμπρου & Πανταζής 2010)*.

3.4 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Σε αντίθεση με τις κλασσικές παρατηρήσεις γωνιών και αποστάσεων, το πρόβλημα των συστηματικών σφαλμάτων είναι κυρίαρχο στις μετρήσεις GNSS και η επιτυχής αντιμετώπισή του είναι καθοριστική για την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Τα σφάλματα μπορούν να χωρισθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, σε σφάλματα που σχετίζονται είτε με τους δορυφόρους, είτε με τους δέκτες, ή με τη διάδοση του σήματος.

➢ Σφάλματα δορυφόρων

Σφάλμα τροχιάς

Το σφάλμα της τροχιάς των δορυφόρων είναι ουσιαστικά η συστηματική παρέκκλιση της θέσης του δορυφόρου από την πραγματική θέση, βάσει της οποίας γίνονται οι παρατηρήσεις. Στο σχετικό προσδιορισμό θέσης το μεγαλύτερο μέρος του σφάλματος απαλείφεται, ιδιαιτέρα για βάσεις της τάξης των μερικών χιλιομέτρων.

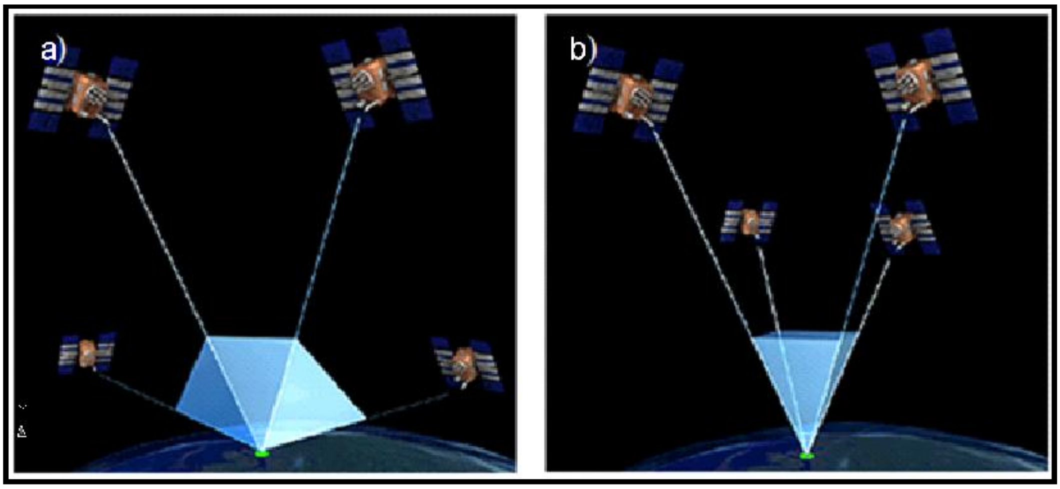
Σφάλμα ρολογιού του δορυφόρου

Το σφάλμα του ρολογιού του δορυφόρου οφείλεται στο μη συγχρονισμό του ατομικού ρολογιού του κάθε δορυφόρου ως προς το χρόνο GPS που αποτελεί την κλίμακα χρόνου του συστήματος. Για κάθε δορυφόρο το σφάλμα υπολογίζεται από μια πολυωνυμική σχέση με βάση 3 συντελεστές. Στο σχετικό προσδιορισμό θέσης το σφάλμα αυτό απαλείφεται από τις παρατηρήσεις.

Σφάλμα λόγω κακής γεωμετρίας

Σημαντικά είναι και τα σφάλματα που προκαλούνται εξαιτίας των λίγων δορυφόρων που είναι ορατοί στον ουράνιο θόλο στο χρονικό διάστημα που διαρκούν οι μετρήσεις ή λόγω της κακής γεωμετρικής τους διάταξης. Τα σφάλματα αυτά μειώνονται αν αυξηθεί το πλήθος των δορυφόρων που είναι ορατοί από το δέκτη (6 με 8 θεωρούνται ικανοποιητικοί), αν η θέση των δορυφόρων είναι κατάλληλη και η γωνία που σχηματίζει ο χαμηλότερος δορυφόρος με τον ορίζοντα είναι μεγαλύτερη από 10-15^o (για εργασίες ακριβείας το US Army Corps of Engineers προτείνει 15-20^o).

Οι προϋποθέσεις αυτές πληρούνται εύκολα συνήθως, με εξαίρεση την περίπτωση πολύ πυκνά δομημένου περιβάλλοντος, όπου παρεμβάλλονται δεκάδες εμπόδια που μπορεί να εμποδίζουν το σήμα προς το δέκτη. Η καταλληλότητα της θέσης των δορυφόρων εκφράζεται μέσα από τον δείκτη αλλοίωσης της ακρίβειας των παρατηρήσεων DOP(Dilution Of Precision), ο οποίος αντιστοιχεί στο αντίστροφο του όγκου ενός τετραέδρου, που σχηματίζεται από τις θέσεις των δορυφόρων *(Εικόνα 3.1).*



Εικόνα 3.1: Σχέση γεωμετρικής διάταξης δορυφόρων και δορυφορικού σφάλματος: **α)** μεγάλος όγκος τετραέδρου που δημιουργείται από τους δορυφόρους και το δέκτη οδηγεί σε μικρό σφάλμα, ενώ **β)**μικρός όγκος τετραέδρου οδηγεί σε μεγάλο σφάλμα.

Figure 3.1 : Relationship between satellite geometry and GNSS error: **a)** big volume of the tetrahedron formed by the satellites and the receiver leads to a smaller error while **b)** small volume leads to a greater error

Στην περίπτωση όμως πολύ πυκνά δομημένου περιβάλλοντος, πριν από τις εργασίες υπαίθρου είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθεί ένας προγραμματισμός των μετρήσεων. Γενικά, ισχύει ότι αν οι δορυφόροι είναι σε τέτοια θέση ώστε να σχηματίζουν μεγάλες γωνίες μεταξύ τους, τότε το εύρος του πιθανού σφάλματος είναι μικρό και η γεωμετρία θεωρείται καλή. Αντιθέτως, όταν οι δορυφόροι είναι συγκεντρωμένοι σε μια περιοχή ή σχηματίζουν μια ευθεία, τότε η γεωμετρία θεωρείται κακή.

$$\sigma = DOP \cdot \sigma_o \qquad (3.1)$$

όπου σ_o είναι η ακρίβεια της μέτρησης, και

σ είναι η ακρίβεια του προσδιορισμού θέσης

Οι αριθμοί DOP υπολογίζονται ως η τετραγωνική ρίζα του ίχνους του αντίστροφου πίνακα των κανονικών εξισώσεων, θεωρώντας μοναδιαίο πίνακα βάρους. Ανάλογα με τα στοιχεία της διαγωνίου που χρησιμοποιούνται είναι δυνατός ο υπολογισμός διαφορετικών δεικτών όπως PDOP, GDOP, HDOP, VDOP και TDOP. Αν ληφθούν υπόψη μόνο οι τρεις μεταβλητές των συντεταγμένων έχουμε τον αριθμό PDOP (Position DOP), ενώ αν προστεθεί και η μεταβλητότητα της χρονικής παραμέτρου προκύπτει το GDOP (Geometric DOP).

Όταν οι αριθμοί αυτοί ξεπερνούν μια οριακή τιμή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, αυτό συνεπάγεται και μικρότερη ακρίβεια από τη χρήση των συγκεκριμένων μετρήσεων, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή των αριθμών DOP τόσο χειρότερη είναι η σχετική γεωμετρία δορυφόρων-δέκτη *(Φωτίου & Λιβιεράτος 2000)*. Για παράδειγμα, η τιμή PDOP ίση με μονάδα θεωρείται ιδανική, έως 5 θεωρείται καλή ενώ από 10 και πάνω θεωρείται φτωχή και η ακρίβεια των μετρήσεων ιδιαίτερα υποβαθμισμένη.

Σφάλμα λόγω επιλεκτικής διαθεσιμότητας

Οφείλεται σε μέθοδο σκόπιμης μείωσης της ακρίβειας, που ίσχυσε στο διάστημα 1991-2000 και είναι γνωστή ως SA (Selective Availability. Όταν χρησιμοποιείται ο σχετικός προσδιορισμός θέσης το σφάλμα αυτό σχεδόν απαλείφεται, ιδιαίτερα με χρήση των εφημερίδων ακριβείας και όχι των εκπεμπόμενων εφημερίδων.

➢ Σφάλματα δεκτών

Σφάλμα ρολογιού του δέκτη

Ο μη συγχρονισμός του ρολογιού του δέκτη με την κλίμακα χρόνου GPS εκφράζεται από το αντίστοιχο σφάλμα. Αν οι αποστάσεις προς όλους τους ορατούς δορυφόρους υπολογίζονται την ίδια χρονική στιγμή, τότε έχουν όλες το ίδιο σφάλμα. Στο σχετικό προσανατολισμό μπορούμε να εισάγουμε το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη ως ένα άγνωστο, τον οποίο θα επιλύσουμε, για να υπολογίσουμε την τιμή του.

Σφάλμα αβεβαιότητας του γνωστού σημείου

Είναι προφανές ότι οποιοδήποτε σφάλμα υπάρχει στις συντεταγμένες του γνωστού σημείου κατά τη μέτρηση της βάσης επηρεάζει συστηματικά τις μετρήσεις των συνιστωσών.

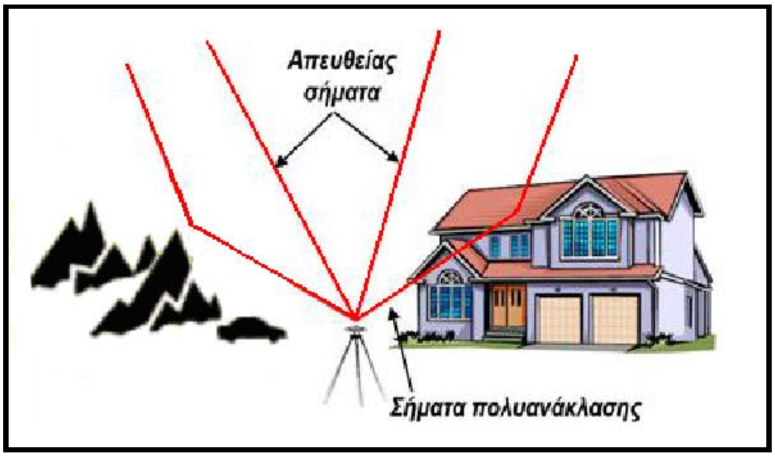
➢ Σφάλματα Διάδοσης του Σήματος

Τροποσφαιρικό και ιονοσφαιρικό σφάλμα

Τα τμήματα της ατμόσφαιρας που επηρεάζουν ουσιαστικά και κατά διαφορετικό τρόπο τη διαδρομή του δορυφορικού σήματος, με αποτέλεσμα χρονικές καθυστερήσεις είναι η τροπόσφαιρα και η ιονόσφαιρα. Με τη χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων είναι δυνατός ο υπολογισμός περίπου του 90% του τροποσφαιρικού σφάλματος.

Σφάλμα πολυανάκλασης

Στην περίπτωση που οι κεραίες επισκιάζονται από γειτονικά αντικείμενα, όπως μεγάλα κτίρια, δέντρα κ.λπ., δημιουργούνται πολλαπλές διαδρομές του σήματος εξαιτίας της ανάκλασής του στις γειτονικές επιφάνειες με αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαντικών σφαλμάτων στις παρατηρήσεις (*Εικόνα 3.2*). Είναι φανερό λοιπόν ότι το σφάλμα πολυανάκλασης του δέκτη είναι συνάρτηση της γεωμετρίας του περιβάλλοντος χώρου και άρα μπορεί σε ένα μεγάλο βαθμό να αποφευχθεί. Με την κατάλληλη επιλογή της θέσης του δέκτη για τις στατικές εφαρμογές, ώστε να μην είναι κοντά σε ψηλά γειτονικά κτίρια και γενικά εμπόδια, επιτυγχάνεται πιο καθαρός ορίζοντας και άρα ελαχιστοποίηση του σφάλματος.



Εικόνα 3.2: Ανάκλαση δορυφορικού σήματος σε κτίρια, μεταλλικές επιφάνειες και ορεινούς όγκους οδηγεί σε φαινομενικά μεγαλύτερες αποστάσεις δορυφόρου-δέκτη, ως σφάλμα πολλαπλής διαδρομής.

Figure 3.2: Reflection of the satellite signal on buildings, metallic surfaces and mountains leads to a phenomenically bigger satellite-receiver distance, as a multipath error.

Σφάλμα ολίσθησης κύκλων

Σε περίπτωση εμποδίων που δεν επιτρέπουν τη λήψη του σήματος από το δέκτη παρουσιάζεται το φαινόμενο της απώλειας λήψης και της ολίσθησης κύκλων. Μετά την απώλεια λήψης και αφού επανεγκλωβιστεί το σήμα από το δέκτη, όλες οι επόμενες μετρήσεις είναι επηρεασμένες από αυτό το συστηματικό σφάλμα.

Στον *Πίνακα 3.2* δίνονται οι εκτιμήσεις για τις τιμές των σφαλμάτων ανάλογα με την πηγή που τα προκαλεί για τον απόλυτο προσδιορισμό θέσης.

Πηγή σφάλματος	Τιμή σφάλματος (m)
Σφάλμα ρολογιού του δορυφόρου	0 – 3
Σφάλμα τροχιάς ή εφημερίδας	0 – 3
Σφάλμα ρολογιού του δέκτη	2 – 20
Ιονοσφαιρικό σφάλμα	0.5 – 5
Τροποσφαιρικό σφάλμα	0 – 10
Σφάλμα πολυανάκλασης	0 – 5
Υπόλοιπα Σφάλματα	0.2 – 0.5
Σύνολο	≈ 10 – 15

Πίνακας 3.2 : Τιμές σφαλμάτων των συστημάτων GNSS *(Πηγή: Ροδόπουλος 2008)*
Table 3.2 : Rates of errors of the GNSS system

3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των GNSS έναντι των επίγειων μεθόδων συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Δίνει τη δυνατότητα στο μηχανικό να προσδιορίσει τη θέση ενός σημείου και στις τρεις διαστάσεις *(Καρπουζάς 2008)*.
- Οι μετρήσεις γίνονται ανεξάρτητα από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες και σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου.
- Δεν απαιτείται αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σημείων.
- Δίνει καλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με πολύ μικρό χρόνο μέτρησης σε σχέση με άλλες μεθόδους.
- Όσον αφορά στα δίκτυα, το σχήμα των τριγώνων δεν απαιτείται να είναι ισόπλευρο, όπως στις κλασσικές γεωδαιτικές μεθόδους, καθώς οι μετρήσεις με GNSS δεν επηρεάζονται από το σχήμα και τη μορφή των δικτύων.
- Έχει τη δυνατότητα της μόνιμης εγκατάστασης για συνεχείς μετρήσεις σε επιλεγμένα σημεία.
- Η επεξεργασία των δεδομένων είναι εύκολη και γρήγορη. Τα λογισμικά που διατίθενται στην αγορά για την επεξεργασία των δεδομένων είναι πολύ φιλικά προς το χρήστη και η όλη διαδικασία είναι σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένη.

- Δεν απαιτείται πολυμελές προσωπικό για τη χρήση. Η συλλογή των δεδομένων είναι αυτοματοποιημένη ή ημιαυτοποιημένη.

Από τα μειονεκτήματα του αυτά που υπερισχύουν ως σημαντικότερα είναι τα παρακάτω:

- Απαιτεί ανοιχτό ορίζοντα για να έχει οπτική επαφή με δορυφόρους, γεγονός που κάνει δύσκολη τη χρήση του μέσα σε πόλεις, πυκνοκατοικημένες περιοχές και γενικά αστικό περιβάλλον, εξαιτίας των εμποδίων (κτίρια, δέντρα κ.λπ.) που παρεμβάλλονται.
- Ο χρήστης ελάχιστα μπορεί να επέμβει στην επεξεργασία των δεδομένων, μιας και όλη η διαδικασία είναι αυτοματοποιημένη όποιο λογισμικό και να επιλέξει ο χρήστης.
- Η ακρίβεια προσδιορισμού των υψομέτρων δεν είναι πολλές φορές η επιθυμητή για την παρακολούθηση παραμορφώσεων.
- Η μείωση της ακρίβειας του συστήματος GPS και η εισαγωγή σφαλμάτων κατά χρονικά διαστήματα λόγω του στρατιωτικού χαρακτήρα του συστήματος δεν εγγυώνται την απρόσκοπτη λειτουργία του. *(Καρπουζάς 2008)*
- Το κόστος των δεκτών είναι ακόμα στην εποχή μας αρκετά μεγάλο σε σχέση με τα κλασσικά γεωδαιτικά όργανα. Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει έντονη πτωτική τάση των τιμών των δεκτών τα τελευταία χρόνια, η οποία θα τους καταστήσει πιο εύκολους στην απόκτησή τους στο σύντομο μέλλον.

3.6 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ GNSS

Η ανάπτυξη της διαστημικής τεχνολογίας και της δορυφορικής γεωδαισίας τις δύο τελευταίες δεκαετίες έδωσε νέες δυνατότητες στη μελέτη των επιφανειακών μετακινήσεων του φλοιού της γης. Σε συνδυασμό με γεωλογικά δεδομένα, η γεωδαιτική πληροφορία που συλλέγεται μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση των αιτίων που προκαλούν τις μετακινήσεις του εδάφους σε κάποια περιοχή. Η διαστημική τεχνολογία έχει δώσει τη δυνατότητα συλλογής γεωδαιτικής πληροφορίας υψηλής ακρίβειας σε μικρό χρόνο.

Η παρακολούθηση των επιφανειακών παραμορφώσεων με χρήση των GNSS μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος και συνηθέστερος - μιας και το κόστος είναι σημαντικά μικρότερο - είναι η ίδρυση ενός δικτύου το οποίο θα μετράται περιοδικά με χρήση γεωδαιτικών δεκτών. Μέσα από τον περιοδικό προσδιορισμό των θέσεων των διαφόρων σημείων του εδάφους με ακρίβεια μερικών χιλιοστών και με σύγκριση με τα αποτελέσματα προηγούμενων μετρήσεων προκύπτει η μετακίνηση του κάθε σημείου που αξιολογείται ως προς τη σημαντικότητά της για επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Εναλλακτικά όμως, για την συνεχή παρακολούθηση των παραμορφώσεων μιας μεγάλης περιοχής είναι δυνατή η εγκατάσταση δικτύου μόνιμων σταθμών, δηλαδή δεκτών που τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία για μεγάλη χρονική περίοδο. Η τεχνική αυτή άρχισε να αναπτύσσεται τη δεκαετία του 1990 και σήμερα είναι ευρέως διαδεδομένη σε πολλές χώρες αν και ιδιαίτερα δαπανηρή.

Η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί από δορυφορικές μετρήσεις ενός δικτύου ελέγχου με τα GNSS εξαρτάται από μια σειρά από παράγοντες. Σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή της θέσης των σημείων ελέγχου, μιας και η παρουσία εμποδίων που παρεμποδίζουν το σήμα των δορυφόρων προκαλεί σφάλματα που επηρεάζουν σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων είναι ο χρόνος παρατήρησης. Σε έρευνα των Psimoulis et al, προσδιορίστηκε η χρονική διάρκεια μέτρησης για σχετικό προσδιορισμό θέσης και διερευνήθηκε η επίπτωση του χρόνου μέτρησης στην ακρίβεια προσδιορισμού του μήκους μικρών βάσεων για διάφορα χρονικά διαστήματα μέτρησης σε περιοχή με ανοιχτό ορίζοντα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μετά την παρέλευση των 3 ωρών είχε επιλυθεί η βάση με ακρίβεια 1 χιλιοστού περίπου και δεν υπήρχαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στην ακρίβεια από την αύξηση του χρόνου μέτρησης.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί και η έρευνα των Eckl et al, η οποία εξετάζει την επίδραση του μήκους της βάσης και του χρόνου μέτρησης αυτής στην τελική ακρίβεια προσδιορισμού του μήκους της, μετρώντας 11 μεγάλες βάσεις για διάφορα χρονικά διαστήματα στις Η.Π.Α.. Στον *Πίνακα 3.3* παρουσιάζεται η τιμή του RMS στο σύστημα North-East-Up για κάθε μία από τις βάσεις που εξετάστηκαν. Παρατηρώντας τα στοιχεία του πίνακα συμπεραίνουμε ότι το μήκος της βάσης δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος. Αντιθέτως, ο χρόνος παρατήρησης επηρεάζει σημαντικά την τελική ακρίβεια.

		26 km	57 km	101 km	127 km	153 km	160 km	201 km	252 km	253 km	299 km	300 km	Mean
4-h	RMS *n*	3.8	5.6	4.4	4.8	3.5	5.0	6.3	4.1	5.7	4.1	4.9	4.7
	RMS *e*	4.1	4.1	4.7	4.0	4.3	4.3	4.7	5.8	9.3	4.0	6.0	5.0
	RMS *u*	12.7	19.7	20.1	12.7	16.0	18.4	23.9	22.9	18.2	14.7	15.9	17.7
6-h	RMS *n*	2.8	5.3	2.9	3.7	4.0	4.0	5.0	4.1	3.5	3.3	3.5	3.8
	RMS *e*	3.4	3.5	3.5	2.8	4.5	3.4	2.8	4.3	3.6	3.8	4.5	3.6
	RMS *u*	9.0	12.5	17.2	11.4	15.3	15.0	18.6	18.5	10.6	13.6	14.4	14.2
8-h	RMS *n*	2.6	3.2	3.6	3.4	2.0	2.8	3.6	3.3	3.2	2.7	3.7	3.1
	RMS *e*	2.8	2.7	2.2	2.2	2.8	2.8	3.5	3.4	4.9	2.1	3.3	3.0
	RMS *u*	6.7	11.2	12.9	10.8	15.2	12.2	21.9	12.5	13.0	15.5	11.2	13.0
12-h	RMS *n*	2.5	3.5	2.6	2.6	1.9	2.3	3.7	2.9	3.3	2.0	2.3	2.7
	RMS *e*	2.5	2.7	2.0	1.6	2.5	2.2	2.2	2.8	5.7	2.1	4.0	2.8
	RMS *u*	6.5	9.9	11.0	5.6	12.6	8.4	14.8	13.8	10.3	12.0	7.8	10.2
24-h	RMS *n*	1.4	1.6	2.1	1.5	1.6	2.8	1.9	2.0	1.6	1.5	0.9	1.7
	RMS *e*	1.4	2.1	2.5	1.5	1.7	1.5	1.8	1.2	3.7	1.4	3.0	2.0
	RMS *u*	4.7	6.1	9.5	4.3	11.9	11.6	11.7	8.3	3.2	10.0	6.9	8.0

Πίνακας 3.3: Τιμές RMS (mm) στο γεωδαιτικό σύστημα north-east-up για κάθε βάση και για κάθε διάρκεια μέτρησης *(Πηγή: Eckl et al 2001)*

Table 3.3: RMS values (mm) in the geodetic system north-east-up for each baseline and each duration of the observation

Υπάρχουν και διάφοροι άλλοι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία της τελικής λύσης και αυτοί έχουν να κάνουν με το λογισμικό επεξεργασίας των μετρήσεων *(Τσίνη 2002)*, την ακρίβεια των ιονοσφαιρικών και τροποσφαικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται κ.λπ.

Παραδείγματα χρήσης των GNSS για την παρακολούθηση μετακινήσεων του στερεού φλοιού υπάρχουν πολυάριθμα τόσο στο εξωτερικό όσο και στην Ελλάδα. Παρακάτω παρατίθενται μερικά μόνο από τα δίκτυα που έχουν ιδρυθεί για την παρακολούθηση παραμορφώσεων του εδάφους που προκαλείται από διαφορετικές σε κάθε περίπτωση αιτίες, κατηγοριοποιημένα σε δίκτυα μόνιμων σταθμών ή μη μόνιμων.

3.6.1 Παραδείγματα Χρήσης του GNSS στο εξωτερικό και στην Ελλάδα

Τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS, δηλαδή δεκτών που είναι τοποθετημένοι σε συγκεκριμένα σημεία για μεγάλη χρονική περίοδο, δεν είναι κάτι πρόσφατο. Μόνιμα δίκτυα όπως το CIGNET και το δίκτυο της IGS έχουν αποδείξει τη χρησιμότητά τους στη γεωδαιτική κοινότητα, στον προσδιορισμό των τροχιών των δορυφόρων καθώς επίσης και στη μελέτη των τεκτονικών πλακών *(Larson & Freymueller 1995).* Καθώς η ακρίβεια των δεκτών αυξανόταν, οι ερευνητές στράφηκαν στη χρήση των μόνιμων δικτύων για τη μελέτη γεωφυσικών φαινομένων. Από τις πρώτες επιλύσεις ενός μόνιμου δικτύου ήταν αυτή που έγινε το 1992 με δεδομένα 17 ημερών από 10 σταθμούς στην περιοχή του Τόκυο στην Ιαπωνία. Αργότερα, το 1996, μετρήθηκε η μεταπαγετονική ανύψωση με ένα δίκτυο 21 μόνιμων σταθμών GNSS στη Σουηδία (*Αναστασίου 2009).*

Το δίκτυο της International GPS Service περιλαμβάνει πάνω από 200 παγκόσμια κατανεμημένους μόνιμους σταθμούς GPS. Το νεότερο μόνιμο δίκτυο EUREF (EUropean REference Frame) είναι ένα τοπικά πυκνωμένο μέρος του δικτύου της IGS, που αποτελείται από περίπου 160 μόνιμους σταθμούς GPS περιελαμβανομένου όλων των Ευρωπαϊκών σταθμών της IGS.

Από τα γνωστότερα δίκτυα GNSS συνεχούς λειτουργίας είναι αυτό της Τοπογραφικής Υπηρεσίας της Ιαπωνίας, το οποίο χρησιμοποιεί ένα πανεθνικό δίκτυο 1.000 αισθητήρων, ονόματι Geonet, για τη συλλογή των δεδομένων μετατόπισης του εδάφους από το 1994. Τα σήματα που λαμβάνει έρχονται ανά 30 δευτερόλεπτα και υπολογίζει μετατοπίσεις μικρότερες και από 3 χιλιοστά του μέτρου. Το Geonet έδωσε τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της παραμόρφωσης του εδάφους σε πολλές περιοχές και τα δεδομένα του χρησιμοποιήθηκαν κατά κόρον στην προσπάθεια πρόβλεψης των συχνών σεισμών που πλήττουν την Ιαπωνία. Μάλιστα, το Geonet απέδειξε από την αρχή τη χρησιμότητά του: ενώ η φυσιολογική μετατόπιση του υπεδάφους της πόλης Ναγκόγια είναι 3 εκατοστά ανά έτος προς τη Δύση, το 2001 άρχισε να κινείται με τον ίδιο ρυθμό προς την Ανατολή, την αντίθετη δηλαδή κατεύθυνση. Το φαινόμενο αυτό φαίνεται να ήταν πρόδρομος των σεισμών που εκδηλώθηκαν το 2004.

Ένα άλλο εξίσου γνωστό δίκτυο συνεχούς λειτουργίας είναι το Southern California Integrated GPS Network (SCIGN), το οποίο ιδρύθηκε στην Καλιφόρνια το 1990 με σκοπό τη συνεχή παρακολούθηση της παραμόρφωσης του φλοιού της περιοχής. Το SCIGN αποτελείτο το 2000 από 170 μόνιμους σταθμούς ενώ επρόκειτο να επεκταθεί περαιτέρω. Σκοπός του είναι η παρακολούθηση της παραθαλάσσιας περιοχής της Βόρειας Καλιφόρνιας, η οποία παρουσιάζει σημαντικές οριζόντιες μετακινήσεις *(Hudnut et al 2002).*

Στην Ελλάδα έχουν εγκατασταθεί διάφοροι σταθμοί συνεχούς λειτουργίας από τη δεκαετία του 1990 με σκοπό τη μελέτη των μετακινήσεων στην εκάστοτε περιοχή μελέτης. Κυρίως οι σταθμοί εστιάζουν στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου, στα νησιά του Ιονίου κατά μήκος του Δυτικού Ελληνικού τόξου και την περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου. Βασικός σταθμός και από τους πρώτους που εγκαταστάθηκαν είναι ο σταθμός του Διονύσου στο Διόνυσο Πεντέλης από το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου.

Ένα από τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS στην Ελλάδα είναι το HELLAS continuous network. Το δίκτυο είναι συνέχεια του προγενέστερου δικτύου στο Ιόνιο το οποίο κάλυπτε την περιοχή του ρήγματος της Κεφαλονιάς και το βορειοδυτικό τμήμα του Δυτικού Ελληνικού Τόξου. Οι σταθμοί GNSS εγκαταστάθηκαν στα βορειότερα νησιά του Ιονίου και στον κόλπο της Άρτας (Αμβρακικός κόλπος) το 1995. Τα τελευταία χρόνια το δίκτυο έχει επεκταθεί καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας.

Με συνεργασία του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας του ΕΜΠ με αντίστοιχα πανεπιστήμια του εξωτερικού έχουν εγκατασταθεί άλλα δύο δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS. Το πρώτο ιδρύθηκε σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης καλύπτει την περιοχή της Πελοποννήσου και του νότιου Αιγαίου. Το δεύτερο ιδρύθηκε στην περιοχή του Κορινθιακού κόλπου σε συνεργασία με το Ινστιτούτο IPGP της Γαλλίας. Το δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών είναι το πιο πρόσφατα εγκατεστημένο δίκτυο που καλύπτει κύρια την περιοχή των νησιών του Ιονίου αλλά και του βορείου Αιγαίου.

Το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο εγκατέστησε στην Ελλάδα σύστημα συνεχούς μέτρησης της παραμόρφωσης του στερεού φλοιού σε πραγματικό χρόνο το 2005, γνωστό και ως Continuous GPS. Από το Μάρτιο του 2006 λειτουργεί στις εγκαταστάσεις της Πεντέλης σταθμός GNSS ενταγμένος στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Σταθμών Αναφοράς (EUREF). Τα γεωδαιτικά δεδομένα καταγράφονται ψηφιακά με συχνότητα 1 Hz (μία μέτρηση ανά δευτερόλεπτο), η οποία είναι εφάμιλλη αυτής των αντίστοιχων δικτύων των ΗΠΑ, Ιαπωνίας και Νέας Ζηλανδίας. Στη συνέχεια μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο στις κεντρικές εγκαταστάσεις του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου όπου καταχωρούνται και επεξεργάζονται με ειδικό λογισμικό. Τα επιστημονικά δεδομένα καταγράφονται με συχνότητα 1 δείγμα το δευτερόλεπτο, μεταφέρονται σε πραγματικό χρόνο στα κεντρικά και χρησιμεύουν στον προσδιορισμό της θέσης του σταθμού με ακρίβεια 1 mm.

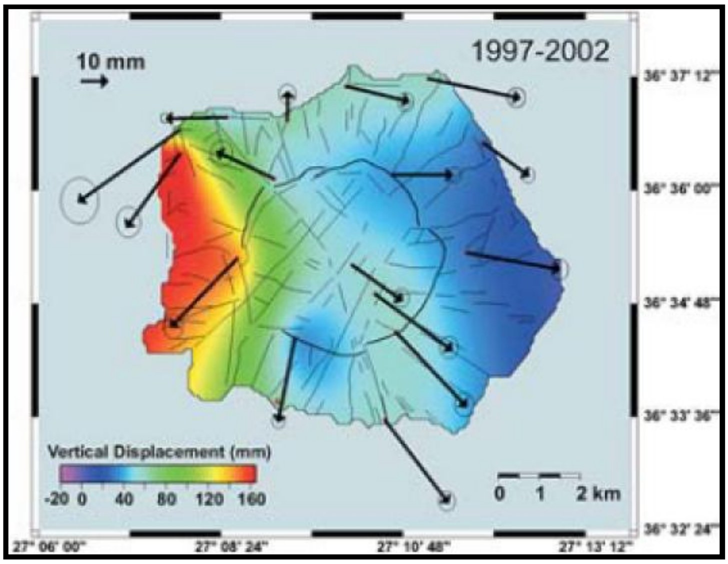
Μια ακόμη μελέτη που έχει ασχοληθεί με την ανίχνευση μετακινήσεων με ίδρυση μόνιμου δικτύου GNSS, είναι η παρακολούθηση της περιοχής γύρω από το ηφαίστειο της Σαντορίνης από 5 μόνιμους σταθμούς GNSS, για τη συλλογή στοιχείων που να μαρτυρούν ίσως την ενεργοποίηση του ηφαιστείου.

Όμως η πλειονότητα των δικτύων GNSS είναι δίκτυα μη συνεχούς λειτουργίας. Ένα τέτοιο δίκτυο έχει δημιουργηθεί και στο βουνό Έτνα (Etna) με σκοπό την παρακολούθηση του ηφαιστείου. Σε αντίθεση με το δίκτυο γύρω από το ηφαίστειο Ούσου, το δίκτυο γύρω από την Έτνα δεν είναι συνεχούς λειτουργίας, αλλά επαναμετράται κατά τακτά χρονικά διαστήματα με σκοπό την ανίχνευση τυχόν μετακινήσεων *(Okazaki et al 2002).*

Στην Τζακάρτα, την πρωτεύουσα της Ινδονησίας, επίγειες μετρήσεις είχαν ανιχνεύσει σημαντικές καθιζήσεις στην πόλη. Το 1997 ιδρύθηκε δίκτυο GNSS για την παρακολούθηση αυτών των μετακινήσεων. Δύο χρόνια αργότερα η επαναμέτρηση του δικτύου έδειξε καθιζήσεις έως 20cm. Η σύγκριση με τα υδρολογικά δεδομένα φαίνεται να υποδηλώνει ότι η καθίζηση οφείλεται στην υπέρμετρη άντληση υπόγειων υδάτων *(Abidin et al 2001).*

Στην πόλη του Μεξικού, όπου τα προβλήματα κατακόρυφων μετακινήσεων λόγω υπεραντλήσεων νερού είναι ιδιαίτερα έντονα και έχουν ήδη οδηγήσει πολλές κατασκευές σε αστοχία, οι μετακινήσεις του εδάφους παρακολουθούνται από ένα δίκτυο GNSS και από δορυφορικές εικόνες (SAR). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δύο τεχνικές δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα, ούτε οριζοντιογραφικά ούτε υψομετρικά *(Osmanoğlua et al 2011).*

Δίκτυο ελέγχου μετακινήσεων με χρήση των GNSS ιδρύθηκε και στο νησί της Νισύρου το 1997 με σκοπό την παρακολούθηση των εδαφικών παραμορφώσεων. Από ετήσιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 1997-2002 προέκυψαν σημαντικές οριζόντιες μετατοπίσεις. Οι μέγιστες οριζόντιες μετατοπίσεις παρατηρήθηκαν το έτος 1997-1998 και είχαν εύρος από 20 έως 60mm. Σημαντικές είναι και οι ακρίβειες που προέκυψαν από την επίλυση του δικτύου οι οποίες οριζοντιογραφικά ήταν 2 με 3mm και υψομετρικά 4 με 6mm. Στην *Εικόνα 3.3* φαίνονται σχηματικά οι ανυψώσεις και οι καθιζήσεις καθώς και οι οριζόντιες μετακινήσεις των σημείων ελέγχου του δικτύου *(Lagios et al 2005)*.



Εικόνα 3.3: Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις στη Νίσυρο την περίοδο 1997-2002 *(Πηγή: Lagios et al 2005)*

Figure 3.3: Horizontal and vertical displacement in the island of Nisuros in the period 1997-2002

Παραθέτοντας, ενδεικτικά, διάφορες άλλες μελέτες που έχουν ασχοληθεί με την ανίχνευση μετακινήσεων με ίδρυση και μέτρηση των στοιχείων ενός δικτύου GNSS σε τακτά χρονικά διαστήματα, αναφέρεται η παρακολούθηση με δορυφορικές μεθόδους του αριστερού αντερείσματος του φράγματος του Ευήνου *(Μουλουδάκης 2011)*, η μελέτη μετακινήσεων 17 σημείων ελέγχου χρησιμοποιώντας και πάλι δορυφορικά δεδομένα του φράγματος του Μόρνου (*Gikas et al 2005)*, αλλά και παλαιότερες μελέτες όπως η μελέτη της τεκτονικής συμπεριφοράς της ευρύτερης περιοχής της Εύβοιας με τη συλλογή δορυφορικών μετρήσεων την περίοδο 1997-2005 *(Παπανικολάου 2009)*.

Αξίζει να σημειωθεί ότι διάφοροι εθνικοί οργανισμοί κρατών, όπως των Η.Π.Α., του Καναδά, της Αυστραλίας, της Βρετανίας και της Γερμανίας (π.χ. US Army Corps of Engineers, Canada Center for Surveying, German National Body of Standardization), ή οργανισμοί τυποποίησης ή περιφερειακοί οργανισμοί έχουν εκδώσει οδηγίες και προδιαγραφές που αφορούν τα δίκτυα GNSS, τις προδιαγραφές των οργάνων μέτρησης και τις κατάλληλες μεθόδους μέτρησης σε δίκτυα ελέγχου για τον έλεγχο παραμορφώσεων σε τεχνικά έργα ή για μετακινήσεις ή κατολισθήσεις εδαφών. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν σχετικά πρότυπα και γενικευμένες προδιαγραφές, παρόλο που εφαρμόζονται γεωδαιτικές μέθοδοι για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς μεγάλων τεχνικών έργων, όπως φράγματα, αλλά και σε περιοχές έργων της Εγνατίας οδού, κυρίως γέφυρες και σήραγγες με δορυφορικές μεθόδους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο – ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η περιοχή μελέτης ανήκει διοικητικά στους Καλλικρατικούς δήμους του Πειραιά και του Μοσχάτου-Ταύρου και περιλαμβάνει το Νέο Φάληρο, το Μοσχάτο, το νότιο παράκτιο τμήμα της Καλλιθέας και την Καστέλα. Οριοθετείται από τη Λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου στα ανατολικά, τη Λεωφόρο Ποσειδώνος στα νοτιοανατολικά, το άλσος του Προφήτη Ηλία στην περιοχή της Καστέλας στα νοτιοδυτικά, ενώ βόρεια και δυτικά εκτείνεται μέχρι τη γραμμή του ΗΣΑΠ *(Χάρτης 4.1)*.

Χάρτης 4.1: Η περιοχή μελέτης
Map 4.1: The study area

Στην περιοχή είναι θεμελιωμένες σημαντικές κατασκευές, όπως το Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας (Σ.Ε.Φ.) το οποίο αποπερατώθηκε το 1985, το στάδιο Καραϊσκάκη το οποίο μέχρι σήμερα έχει ανακατασκευαστεί δύο φορές από τη δημιουργία του το 1895 και ο ανισόπεδος κόμβος που ενώνει την εθνική οδό με τη Λεωφόρο Ποσειδώνος. Άλλα μεγάλα έργα στην περιοχή μελέτης είναι η διαμόρφωση με αλλεπάλληλες επιχωματώσεις της παραλία του Νέου Φαλήρου στην αρχή της δεκαετίας του 1970 και η δημιουργία της υπερυψωμένης παραλιακής λεωφόρου Ποσειδώνος, η οποία και άλλαξε εντελώς την άλλοτε αμμώδη γραφική παραλία της, στο βορειοδυτικό χώρο της οποίας ανεγέρθηκε το Σ.Ε.Φ.. Πιο πρόσφατα έργα είναι η κάλυψη του Κηφισού στα τελευταία 10 χιλιόμετρα από τις Τρεις Γέφυρες μέχρι τις εκβολές του και η μετατροπή του σε αυτοκινητόδρομο που θα συμπλήρωνε τον Ολυμπιακό δακτύλιο. Η παρουσία τόσο σημαντικών κατασκευών αλλά και οι συνεχείς διαμορφώσεις που έχει δεχτεί η περιοχή και οι υπεραντλήσεις των υπόγειων νερών καθιστούν τη μελέτη των παραμορφώσεων του εδάφους ακόμα σημαντικότερη, αφού μια πιθανή αστοχία των κατασκευών αυτών θα έθετε σε άμεσο κίνδυνο ανθρώπινες ζωές, ενώ το κόστος επισκευής των μεγάλων τεχνικών έργων θα ήταν πολύ υψηλό.

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μια αναφορά στα γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης καθώς και στο υδρολογικό υπόβαθρο του ευρύτερου χώρου της περιοχής, και κυρίως στα δύο ποτάμια που εκβάλλουν σε αυτή, τον Ιλισό και τον Κηφισό. Τέλος, παρουσιάζονται όλες οι προηγούμενες μελέτες που αφορούν στην ανίχνευση μετακινήσεων στην περιοχή και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν.

4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε μια μελέτη ανίχνευσης μετακινήσεων, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η παρουσίαση των γεωτεχνικών συνθηκών και η γενικότερη ανάλυση των εδαφικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής. Με τα στοιχεία αυτά είναι δυνατή η καλύτερη κατανόηση των παραμορφώσεων του εδάφους αναφορικά με τα αίτια που τις προκαλούν.

Οι περιοχές του Νέου Φαλήρου και του Μοσχάτου αποτελούν μια περιοχή ιδιαίτερου γεωλογικού ενδιαφέροντος αναφορικά με την παρουσία προβληματικών γεωλογικών σχηματισμών μέχρι το βάθος των 22 περίπου μέτρων. Αξιοσημείωτη είναι η εμφάνιση αποθέσεων μελανότεφρης μαλακής αργίλου σε εναλλαγές με τεφρές αμμοϊλύες, που αποτελούν χαρακτηριστικούς σχηματισμούς παράκτιας ή και λιμνοθαλάσσιας φάσης και εξαπλώνονται στην περιοχή Πειραιά, Νέου Φαλήρου και Μοσχάτου. Οι αποθέσεις αυτές έχουν κυμαινόμενο πάχος (μέγιστο 20 περίπου μέτρα) και αποτελούν καθοριστικό ορίζοντα εξάπλωσης της αβαθούς θάλασσας ή λιμνοθάλασσας στη νότια πλευρά του λεκανοπεδίου κατά τους πρόσφατους σχετικά χρόνους και πρέπει να λαμβάνονται πολύ σοβαρά υπόψη, καθότι είναι ασταθείς σχηματισμοί επιρρεπείς σε καθιζήσεις.

Σε όλη την περιοχή του Νέου Φαλήρου επικρατούν στους κατώτερους νεογενείς ορίζοντες οι κιτρινόλευκες ψαμμούχες μάργες και ακολουθούν τεφρόλευκοι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και εναλλαγές στρωμάτων κροκαλοπαγών και αμμών *(ΤΕΕ 1986).* Χαρακτηριστική είναι η έντονη διάρρηξη και η έλλειψη κάποιας σταθερής αλληλουχίας των εναλλασσόμενων στρωμάτων, καθώς και οι συχνές πλευρικές μεταβάσεις των οριζόντων που υποδηλώνουν μια κινητικότητα του πυθμένα της λεκάνης ιζηματογένεσης, στη γειτνίαση με τα προνεογενή πτυχωμένα στρώματα που υφίσταντο διάβρωση και αποσάρθρωση και ταχείες μεταβολές της κοκκομετρίας και της σύστασης του αποτιθέμενου υλικού.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με γεωτεχνικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε χώρους κατασκευής σημαντικών έργων στις περιοχές του Μοσχάτου και του Νέου Φαλήρου με την εκτέλεση γεωτρήσεων *(Χάρτης 4.2)*, διαμορφώθηκε η τεχνικογεωλογική εικόνα της στρωματογραφίας μέχρι το εκάστοτε βάθος διάτρησης. Η στρωματογραφία αποκάλυψε ότι η περιοχή δομείται επιφανειακά και μέχρι τα 22m περίπου από τεταρτογενείς χαλαρούς σχηματισμούς, ενώ σε μεγαλύτερο βάθος και μέχρι τα 34m περίπου συναντώνται οι νεογενείς σχηματισμοί της επονομαζόμενης «Μάργας του Πειραιά». Σύμφωνα με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ερμηνεία των γεωτρήσεων, προκύπτει ο παρακάτω διαχωρισμός σε στρώματα:

- Επιφανειακά από 0 έως 3,8 μέτρα συναντάται το χώμα των επιχωματώσεων από μπάζα. Στη συνέχεια, έως τα 6,1 μέτρα εμφανίζεται ένας ορίζοντας **καστανής αργίλου**.
- Σε βάθος από 6,1 έως 12,5 μέτρα συναντάται ένα στρώμα **τεφρής άμμου**, το οποίο καλύπτει όλη την έκταση της υπό μελέτης περιοχής.
- Στη συνέχεια απαντάται ένα στρώμα **τεφρής αργίλου** που φτάνει μέχρι τα 18 μέτρα και κατά τόπους μέχρι τα 22 μέτρα. Μέχρι τα 23 μέτρα συναντήθηκαν εναλλαγές τεφρής άμμου και αργίλου.
- Τέλος από τα 23 μέχρι τα 33 μέτρα περίπου συναντήθηκε ο σχηματισμός της **μάργας**.

Οι υπερκείμενοι των μαργών ορίζοντες της τεφρής άμμου και της τεφρής αργίλου είναι σύγχρονες αποθέσεις και είναι σχηματισμοί συμπιεστοί που δυσχεραίνουν τη θεμελίωση τεχνικών έργων. Γενικά, πρόκειται για προβληματικούς σχηματισμούς με μεγάλη πιθανότητα ρευστοποίησης και μεταβολής όγκου.

Χάρτης 4.2: Οι (κατά προσέγγιση) θέσεις των γεωτρήσεων
Map 4.2: The (approximate) positions of the drillings in the area of Moshato and Neo Faliro

Υποκείμενη των σχηματισμών αυτών είναι η μάργα νεογενούς ηλικίας που αποτελεί το μηχανισμό θεμελίωσης των σημαντικών κατασκευών. Οι μάργες ανήκουν στους νεογενείς σχηματισμούς και στην ευρύτερη κατηγορία των αργιλικών βράχων. Οι μάργες μπορεί να παρουσιάζουν πολλά από τα γνωστά προβλήματα των αργιλικών ημίβραχων, όπως να είναι ρηγματωμένες με μικρορωγματώσεις άλλες ορατές με γυμνό μάτι και άλλες όχι, όταν το ποσοστό της περιεχόμενης αργίλου είναι υψηλό.

Στον *Πίνακα 4.1* παρουσιάζεται η ορυκτολογική σύνθεση της μάργας του Πειραιά, όπως προέκυψε από δείγματα που πάρθηκαν σε διάφορα βάθη κατά τη φάση γεωτεχνικής έρευνας και τις εργασίες εκσκαφής σε δύο θέσεις *(ΤΕΕ 1986)*. Η ανάλυση έδειξε μια τάση του ασβεστίτη να αυξάνεται και μια αντίστοιχη μείωση των αργιλικών ορυκτών (ιλίτης, χλωρίτης, καολινίτης, μοντμοριλονίτης) ανάλογα με το βάθος.

Βάθος(m)	Αργιλικά Ορυκτά (%)					
	Ιλίτης	Χλωρίτης	Καολινίτης	Μον/της	Άλλα	**Άθροισμα**
-3,0	10	5	0	1	8	24
-4,0	6	6	2	2	12	28
-6,0	8	4	0	1	6	19
-7,0	9	5	1	0	3	18
-9,0	6	2	0	1	0	9
-12,0	5	3	0	2	0	10

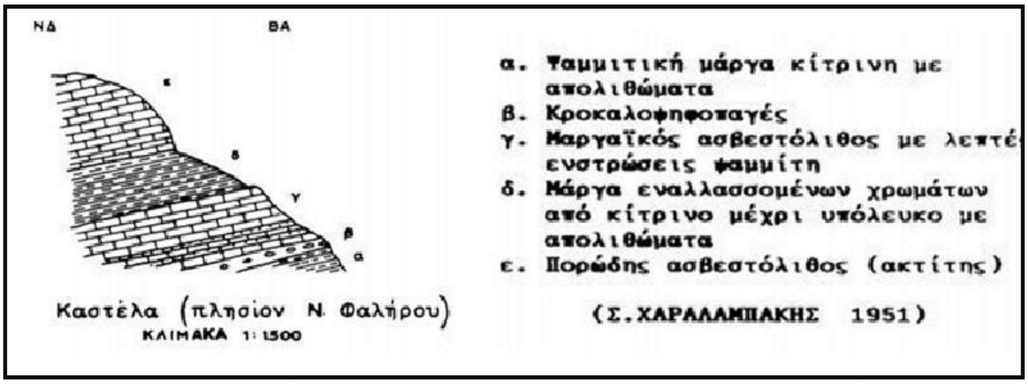
Πίνακας 4.1 : Ορυκτολογική σύνθεση των αργιλικών ορυκτών της μάργας του Πειραιά
Table 4.1: Geologic composition of the clay of Piraeus marl

Έχει ενδιαφέρον να αναφερθεί, ότι το ορυκτό μοντμοριλλονίτης έχει την ιδιότητα να προσλαμβάνει νερό στη δομή του και να διογκώνεται στην περίοδο βροχών κάθε έτους, ενώ έχει ψηλό όριο υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας. Παρόμοια συμπεριφορά αλλά σε μικρότερο βαθμό παρουσιάζουν και άλλα αργιλικά ορυκτά, όπως ο καολινίτης και ο ιλίτης.

Στην περιοχή της Καλλιθέας, το γεωλογικό υπόβαθρο δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές με τη διαφορά ότι οι υπερκείμενοι σχηματισμοί από εναλλασσόμενες στρώσεις μαλακής αργίλου, ιλυώδους άμμου και μικροαπολιθωμάτων έχουν μικρότερο πάχος το οποίο κυμαίνεται από 0 έως 10 μέτρα.

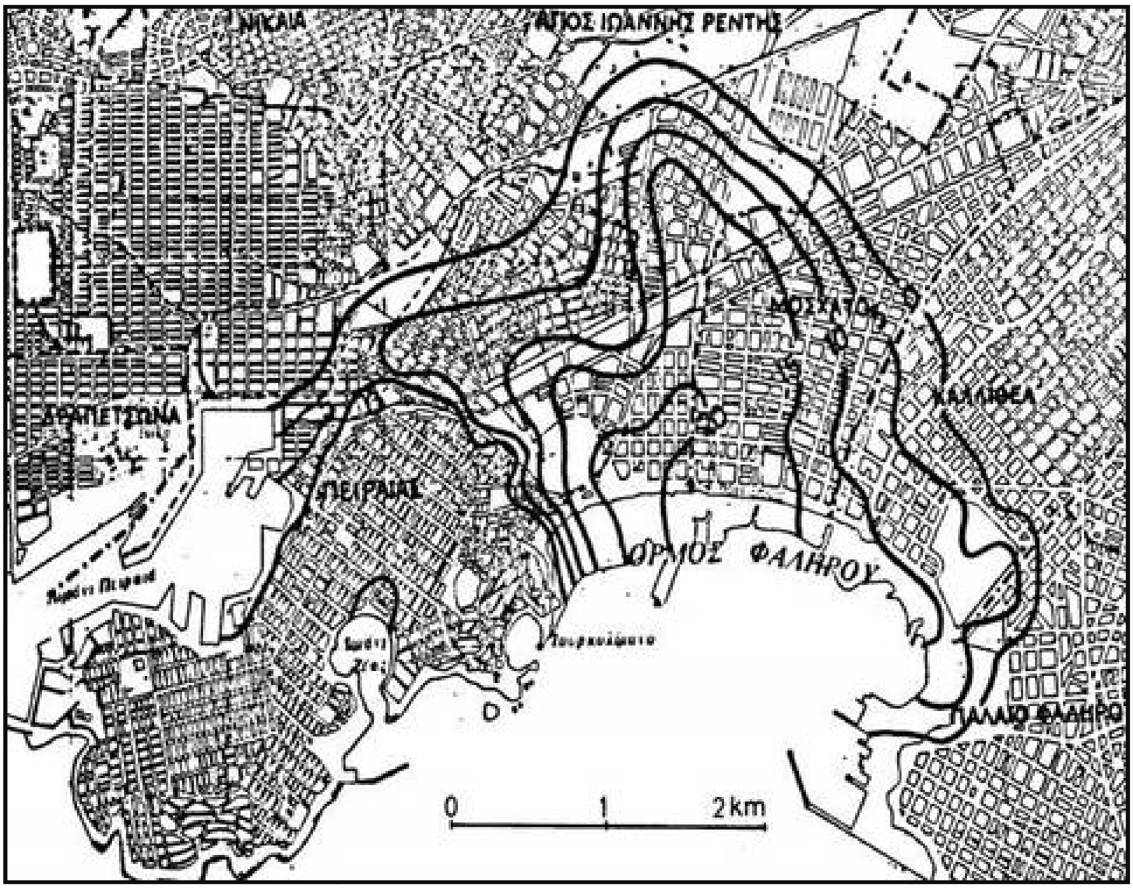
Η περιοχή της Καστέλας και του Πειραιά γενικότερα αποτελείται από ένα αρκετά διαφοροποιημένο γεωλογικό υπόβαθρο. Τα φερτά υλικά έχουν μηδαμινό πάχος, όπως φαίνεται και στο *Χάρτη 4.3*, ενώ αποτελείται ως επί το πλείστον από νεογενείς σχηματισμούς μάργας, με προσμίξεις ψαμμίτη ή ασβεστόλιθου.

Κατά Χαραλαμπάκη, η περιοχή της Καστέλας αποτελείται επιφανειακά από έναν ορίζοντα ψαμμιτικής μάργας με απολιθώματα και ακολουθεί ένα στρώμα από κροκαλοψηφοπαγές. Σε μεγαλύτερο βάθος, συναντάται ένα πολύ συνεκτικό στρώμα μαργαϊκού ασβεστόλιθου και μάργας εναλλασσόμενων χρωμάτων. Τέλος, απαντάται ένας ορίζοντας σκληρού πορώδη ασβεστόλιθου όπως φαίνεται στην *Εικόνα 4.1 (Χαραλαμπάκης 1951)*.



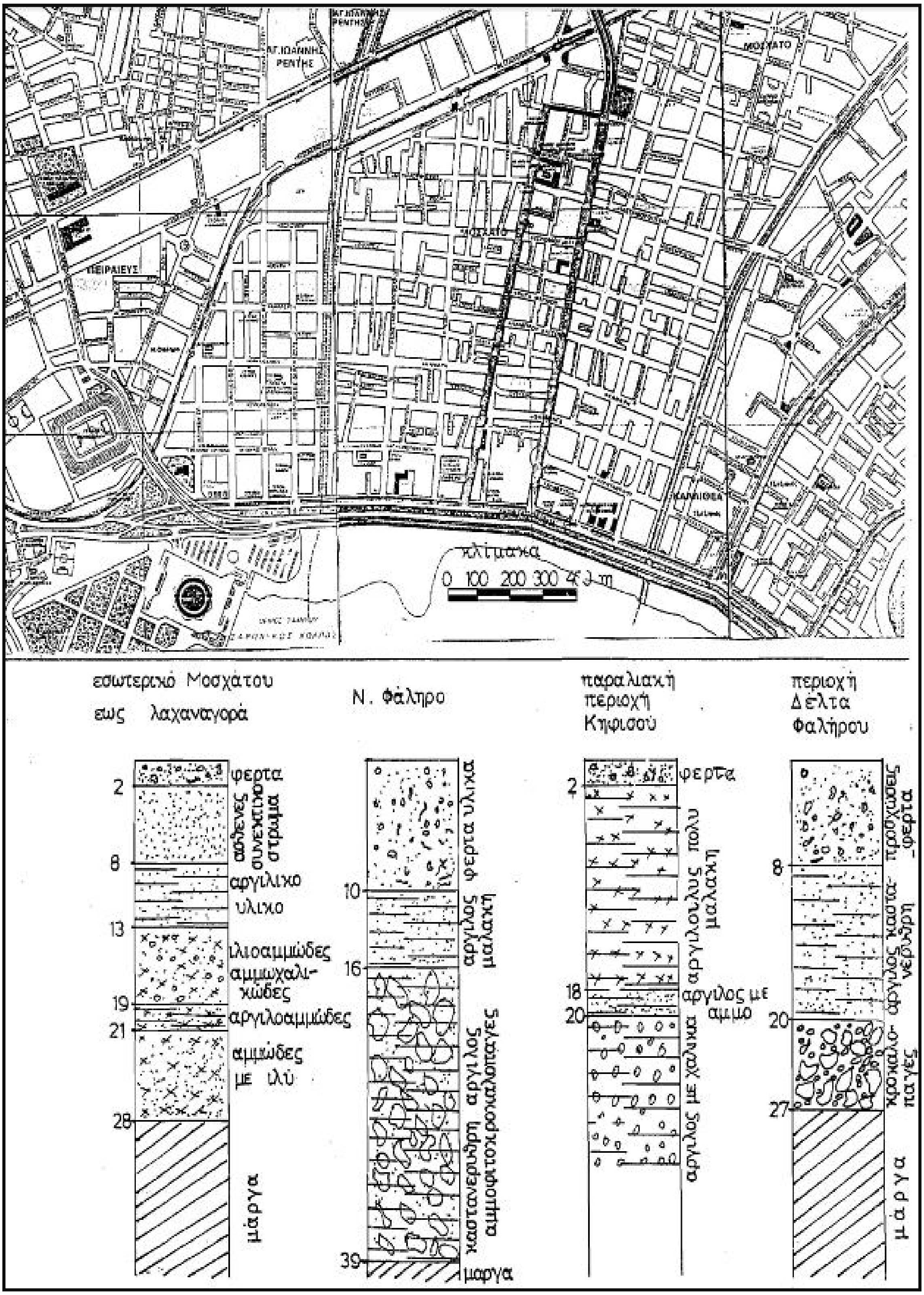
Εικόνα 4.1 : Τα στρώματα των πετρωμάτων στην περιοχή της Καστέλας

Figure 4.1 : The bed of rocks' layers at the Kastela area



Χάρτης 4.3: Ισοπαχείς καμπύλες γεωτεχνικής ενότητας από εναλλασσόμενες στρώσεις μαλακής αργίλου και ιλυώδους άμμου-αμμώδους ιλύος με συχνή παρουσία οργανικών ουσιών και μικροαπολιθωμάτων

Map 4.3: Thickness isolines of the geotechnical unit that includes alternating layers of soft clay with often presence of organic content and microfossils



Εικόνα 4.2: Γεωλογικές τομές στην περιοχή μελέτης

Figure 4.2: Geological sections in the study area

4.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Εκτός των γεωλογικών στοιχείων που παρουσιάσθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, σημαντικός είναι και ο ρόλος των υδρολογικών στοιχείων της περιοχής μελέτης. Ο βασικός λόγος είναι ότι σε αυτή την περιοχή έχουν παρουσιασθεί εκτεταμένες καθιζήσεις οι οποίες μπορούν να αποδοθούν και στις υπεραντλήσεις που έχουν σημειωθεί.

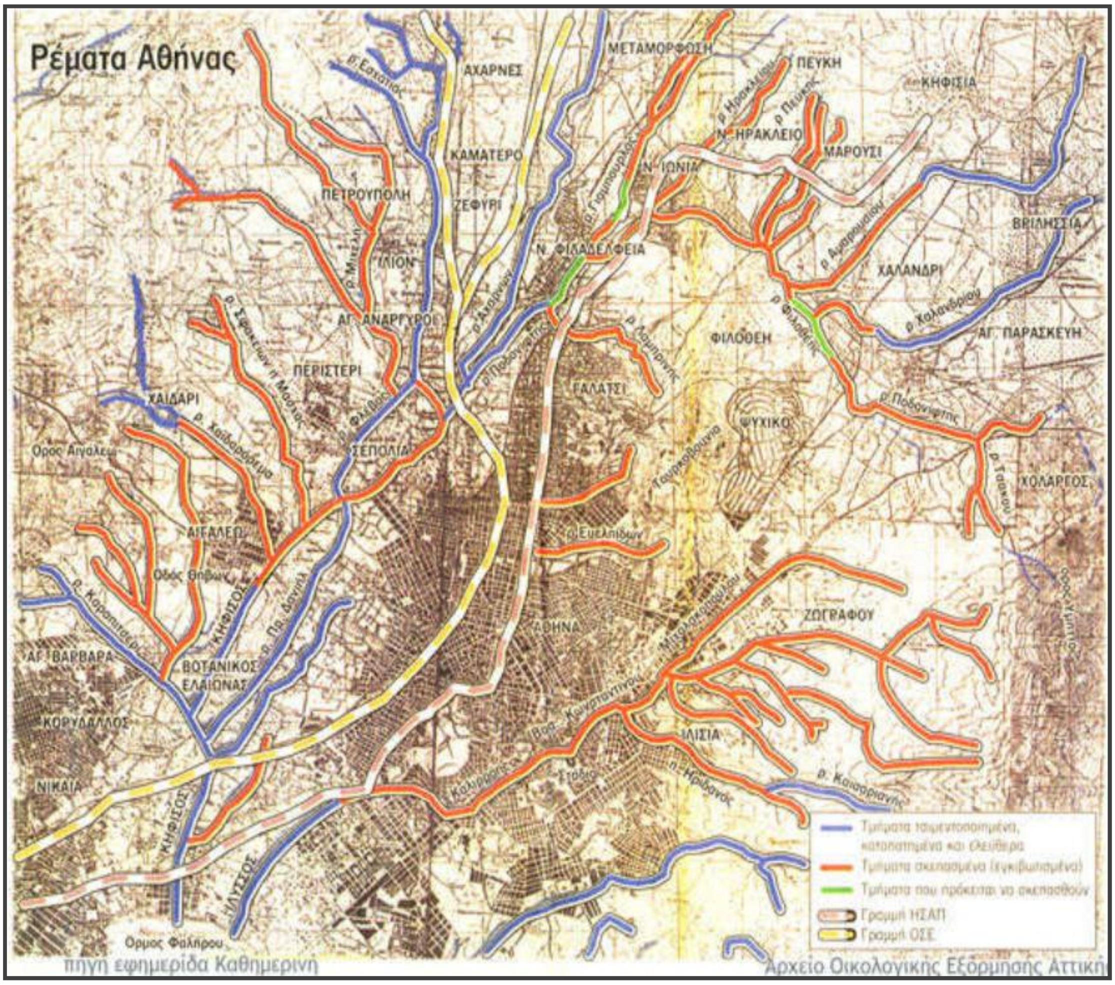
Στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται δύο μεγάλα ποτάμια, ο Ιλισός και ο Κηφισός, τα οποία έχουν πληγεί σε πολύ μεγάλο ποσοστό από την έντονη και αλόγιστη ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα δύο ποτάμια, αν και αποτελούν τα σημαντικότερα του λεκανοπεδίου Αττικής, έχουν δεχθεί αναπόφευκτα την επίδραση των παρακείμενων βιομηχανιών, της ιδιαίτερα πυκνής δόμησης και την άναρχη διαφοροποίηση ολόκληρου του επιφανειακού ποτάμιου συστήματος στο Λεκανοπέδιο, με αποτέλεσμα να έχουν αλλοιωθεί σε μεγάλο βαθμό (*Χάρτης 4.4*).

Ο Κηφισός ποταμός πηγάζει κυρίως από την Πάρνηθα και την Πεντέλη, συλλέγει όμως ύδατα και από το όρος Αιγάλεω. Το μήκος του από το Κρυονέρι μέχρι το Φάληρο είναι περίπου 30 χιλιόμετρα αλλά το συνολικό ανάπτυγμα των πολλών παραχειμάρρων του υπερβαίνει τα 150 χιλιόμετρα. Δίνει έτσι διέξοδο προς τον Φαληρικό όρμο, όπου είναι οι εκβολές του, στο μεγαλύτερο μέρος των υδάτων του λεκανοπεδίου της Αθήνας. Συνολικά το σύστημα του Κηφισού και των παραχειμάρρων του αποστραγγίζουν μια έκταση περίπου 360,8 km^2, καθιστώντας τον ποταμό ως το σημαντικότερο σύστημα φυσικών υδάτινων αποδεκτών του Λεκανοπεδίου Αττικής.

Ο Κηφισός έχει υποστεί σημαντικές αλλοιώσεις στη μορφολογία του από ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα έργα στον Φαληρικό Όρμο άρχισαν το 1972, και παράλληλα ξεκίνησαν και τα έργα διευθέτησης της εκβολής του Κηφισού. Η επίχωση θαλάσσιας ζώνης 400 μέτρων για να κατασκευασθεί το Σ.Ε.Φ. και η πρόβλεψη διαμόρφωσης λιμένος θαλαμηγών μεταξύ της Πειραϊκής και της εκβολής του Κηφισού οδήγησαν στην επιμήκυνση της κοίτης του ποταμού μέσα στην θαλάσσια περιοχή του όρμου κατά 680 m *(Χάρτης 4.4)*.

Ο Ιλισός πηγάζει από τις βορειοδυτικές πλαγιές του Υμηττού, έχει λεκάνη απορροής συνολικού εμβαδού 48,5 km^2 και μήκος περίπου 12 χιλιόμετρα. Ο Ιλισός αρχικά δεν εξέβαλε στη θάλασσα, αλλά ήταν παραπόταμος του Κηφισού, με τον οποίο συνέβαλε βόρεια του σημερινού Μοσχάτου. Κατά τη διάρκεια των έργων κάλυψης το ποτάμι εξετράπη και δημιουργήθηκε νέα κοίτη, κάτω από την Λεωφόρο Παναγή Τσαλδάρη στα όρια των Δήμων Μοσχάτου και Καλλιθέας, η οποία εκβάλλει στο μέσο του Φαληρικού όρμου.

Η κοίτη του Ιλισού ποταμού ξεκίνησε να καλύπτεται κατά την δικτατορία Μεταξά («*Θάπτομεν τον Ιλισόν*») στα τέλη της δεκαετίας του ’30. Η κάλυψη άρχισε από το ύψος της παλαιάς Σχολής Χωροφυλακής μέχρι την άλλοτε γέφυρα του σταδίου, έτσι ώστε να δημιουργηθεί η σημερινή λεωφόρος Μιχαλακοπούλου, που παραχωρεί τη θέση της πίσω από το Χίλτον στην Βασιλέως Κωνσταντίνου, μέχρι περίπου το Παναθηναϊκό Στάδιο. Οι εργασίες κάλυψης του Ιλισού ολοκληρώθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960*.*



Χάρτης 4.4 : Τα ποτάμια της Αττικής
Map 4.4 : The rivers in Attica region

Τέλος, όσον αφορά στην υδρογεωλογία της περιοχής σημειώνεται ότι η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα σήμερα εντοπίζεται σε αρνητικά υψόμετρα (περίπου 15m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας). Αυτό οφείλεται στις υπεραντλήσεις κατά το πρόσφατο παρελθόν και στην αδυναμία επαναπλήρωσης των φτωχών υδροφόρων στρωμάτων αυτής της ζώνης. Επίσης στα αίτια καταγράφεται και η έντονη αστικοποίηση της περιοχής, η οποία αυξάνει ραγδαία τους συντελεστές απορροής και έχει οδηγήσει στην ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και στη συμπύκνωση των εδαφών.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω αίτια, που αποτρέπουν τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής, έχει προκύψει τεχνητή τροφοδοσία του από άλλες πηγές. Συγκεκριμένα, οι διαρροές του παλαιού δικτύου ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ και του δικτύου αποχέτευσης, όπως επίσης και η παρουσία χιλιάδων απορροφητικών βόθρων στην περιοχή, λειτουργούν ως πηγές τροφοδότησης του *(Κουμαντάκης, 1996).*

4.4 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην περιοχή μελέτης έχουν δοθεί από το Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας σειρά διπλωματικών εργασιών για την ανίχνευση μετακινήσεων, λόγω αφενός του ασταθούς γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής και αφετέρου των μεγάλων τεχνικών έργων που έχουν θεμελιωθεί σε αυτή. Πιο συγκεκριμένα, το Φεβρουάριο του **1985** εγκαινιάστηκε το Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας και το Σεπτέμβρη του ίδιου χρόνου ανατέθηκε από το Εργαστήριο Γεωδαισίας διπλωματική εργασία με σκοπό την ίδρυση Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου (Δ.Ο.Ε.) και Δικτύου Κατακορύφου Ελέγχου (Δ.Κ.Ε.) για την παρακολούθηση του Σ.Ε.Φ.. Ακολούθησε μια σειρά διπλωματικών εργασιών, τόσο γύρω από την περιοχή του σταδίου, όσο και στην ευρύτερη περιοχή, οι οποίες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον *Πίνακα 4.2*:

Έτος	Χρονική Περίοδος	Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας
1985	Μηδενική φάση	-Ίδρυση Δ. Κ. Ε. με 20 κορυφές (Χάρτης 4.5) -Ίδρυση Δ. Ο. Ε. με 12 κορυφές - Σταθερή Υψομετρική Αφετηρία R1 (Π. Μυρτιδιώτισσα)
1988	1985-1988	-Επέκταση Δ. Κ. Ε. προς το Μοσχάτο (+12 κορυφές) -Επαναμέτρηση Δ. Ο. Ε. - Σταθερή Υψομετρική Αφετηρία R1 (Π. Μυρτιδιώτισσα) (Χάρτης 4.5)
1989	1964-1989	-Επαναμέτρηση Δ. Κ. Ε. 15 κορυφών Σταθερή Υψομετρική Αφετηρία R1 (Π. Μυρτιδιώτισσα) (Χάρτης 4.6) - Συγκρίσεις με στοιχεία της ΕΥΔΑΠ **- Μέγιστη Καθίζηση 118 mm**
1990	1989-1990	-Επαναμέτρηση Δ. Ο. Ε. -Επέκταση Δ. Κ. Ε. (+22 κορυφές) - Σταθερή Υψομετρική Αφετηρία R1 (Π. Μυρτιδιώτισσα) **Μέγιστη Καθίζηση 110 mm**
1995	1989-1995	-Επέκταση προς τα Β.Α και μέτρηση Δ. Κ. Ε. 89 κορυφών - Σταθερή Υψομετρική Αφετηρία R1 (Π. Μυρτιδιώτισσα) **Μέγιστη Καθίζηση 19 mm**
1998	1995-1998	-Επαναμέτρηση Δ. Κ. Ε. με 78 κορυφές - Μεταφορά R1 (Π. Μυρτιδιώτισσα) - **Μέγιστη Καθίζηση 18 mm**
2002	1998-2002	-Επαναμέτρηση Δ. Κ. Ε. με 62 κορυφές Σταθερή Υψομετρική Αφετηρία R1 (Π. Μυρτιδιώτισσα) -**Μέγιστη Καθίζηση 4 mm** (Χάρτης 4.7)
2008	2002-2008	-Επαναμέτρηση Δ. Κ. Ε. με 69 κορυφές Σταθερή Υψομετρική Αφετηρία R1 (Π. Μυρτιδιώτισσα) -**Μέγιστη Καθίζηση 24 mm**

Πίνακας 4.2: Ιστορικό διπλωματικών εργασιών στην περιοχή μελέτης

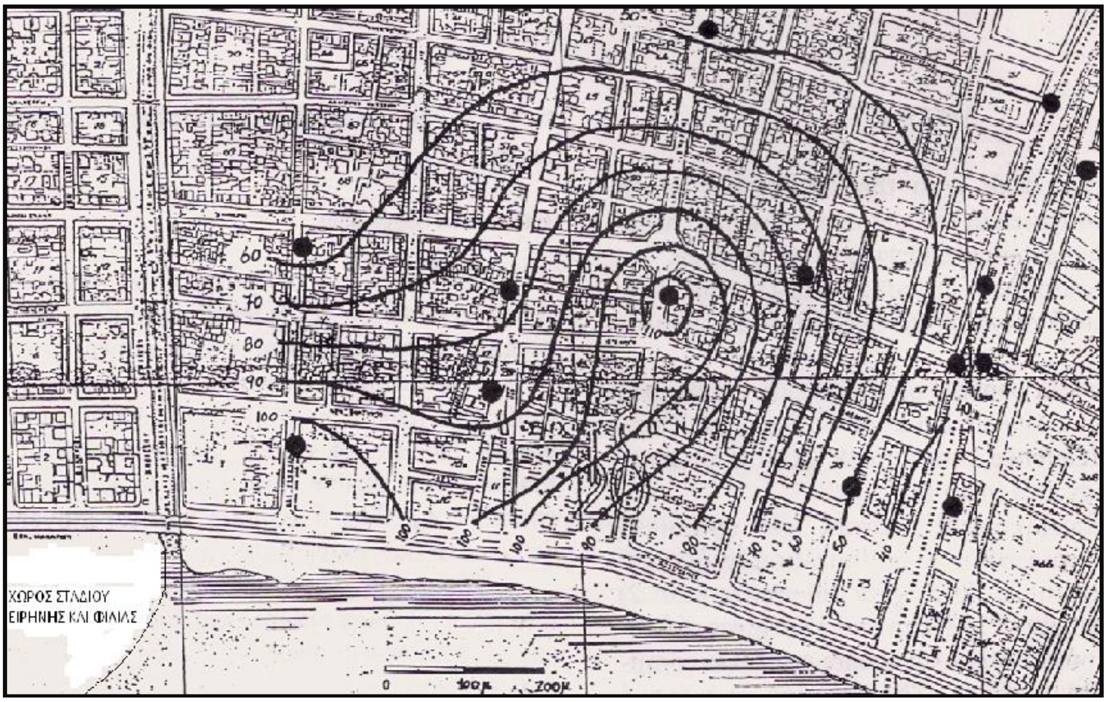
Table 4.2: The dissertations in the study area

Χάρτης 4.5: Οι θέσεις των κορυφών του Δ.Κ.Ε. τοποθετημένες προσεγγιστικά. Με κόκκινο σημειώνονται οι υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου κατακορύφου ελέγχου του 1985 και με πράσινο τα νέα σημεία που προστέθηκαν το 1988

Map 4.5: The vertical control network's points. The points marked red were established in 1985.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των υψομέτρων των κορυφών του Δ.Κ.Ε. το **1989** στην περιοχή του Μοσχάτου με αυτά των υψομετρικών αφετηριών της ΕΥΔΑΠ δεδομένου ότι εντοπίσθηκαν σημαντικές καθιζήσεις σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης.

Ειδικότερα, μεγαλύτερες καθιζήσεις σημειώθηκαν στην ομάδα των υψομετρικών αφετηριών στην παραλιακή ζώνη, ενώ παρατηρήθηκε αύξηση των καθιζήσεων από τον Ιλισό προς τον Κηφισό. Για επίπεδο εμπιστοσύνης 99%, προέκυψε καθίζηση στα 9 από τα 14 σημεία ελέγχου, με ελάχιστη καθίζηση τα 31mm και μέγιστη τα 118mm. Προς το εσωτερικό της περιοχής οι καθιζήσεις έφθιναν, ενώ στην Καλλιθέα παρατηρήθηκε η μικρότερη καθίζηση (2mm). Στο *Χάρτη 4.6* παρουσιάζεται η μορφή των ισοβαθών των καθιζήσεων, με άξονα συμμετρίας που ταυτίζεται με την διεύθυνση του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας *(Γεωργόπουλος 1990)*.



Χάρτης 4.6: Καμπύλες ίσης βύθισης για το χρονικό διάστημα 1964-1989 και θέσεις των Χ.Α. *(Πηγή: Γεωργόπουλος 1990)*

Map 4.6: Isosubsidences lines and positions of the benchmarks

Χάρτης 4.7: Το δίκτυο κατακορύφου ελέγχου του 2002. Με κόκκινο κύκλο σημειώνονται οι κορυφές στις οποίες ανιχνεύθηκε καθίζηση.

Map 4.7: The vertical control network of 2002. The points where vertical displacements were detected are marked with a red circle.

Στην περιοχή μελέτης ιδρύθηκε για πρώτη φορά δορυφορικό δίκτυο ελέγχου το 2002, με σκοπό την παρακολούθηση του φαινομένου των μετακινήσεων, οριζόντιων και κατακόρυφων, με χρήση των συστημάτων GNSS. Το δίκτυο αυτό αποτελείτο κατά την ίδρυσή του από 7 κορυφές («Καστέλα», «Κηφισός», «Ξέφωτο», «Ιλισός», «Σχολείο», «Ποσειδώνος», «Πυροσβεστική») και κάλυπτε την περιοχή Μοσχάτο-Καλλιθέα-Νέο Φάληρο. Ως σταθερή κορυφή επιλέχθηκε η υλοποιημένη από προηγούμενη Διπλωματική Εργασία κορυφή «Καστέλα» στο λόφο του Προφήτη Ηλία, στην περιοχή Καστέλα του Πειραιά. Στην κορυφή αυτή δόθηκαν συντεταγμένες στο WGS84 με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού στο βάθρο G στο δώμα του κτιρίου Λαμπαδαρίου της Σ.Α.Τ.Μ.. Στη συνέχεια, έξι κορυφές συνδέθηκαν μέσω γεωμετρικής χωροστάθμησης με έξι κοντινές υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου κατακορύφου ελέγχου, προκειμένου να δοθούν στις κορυφές και ορθομετρικά υψόμετρα. Οι βάσεις του δικτύου GNSS μεταξύ των κορυφών του δικτύου μετρήθηκαν με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού θέσης *(Γκαδόλου 2002)*.

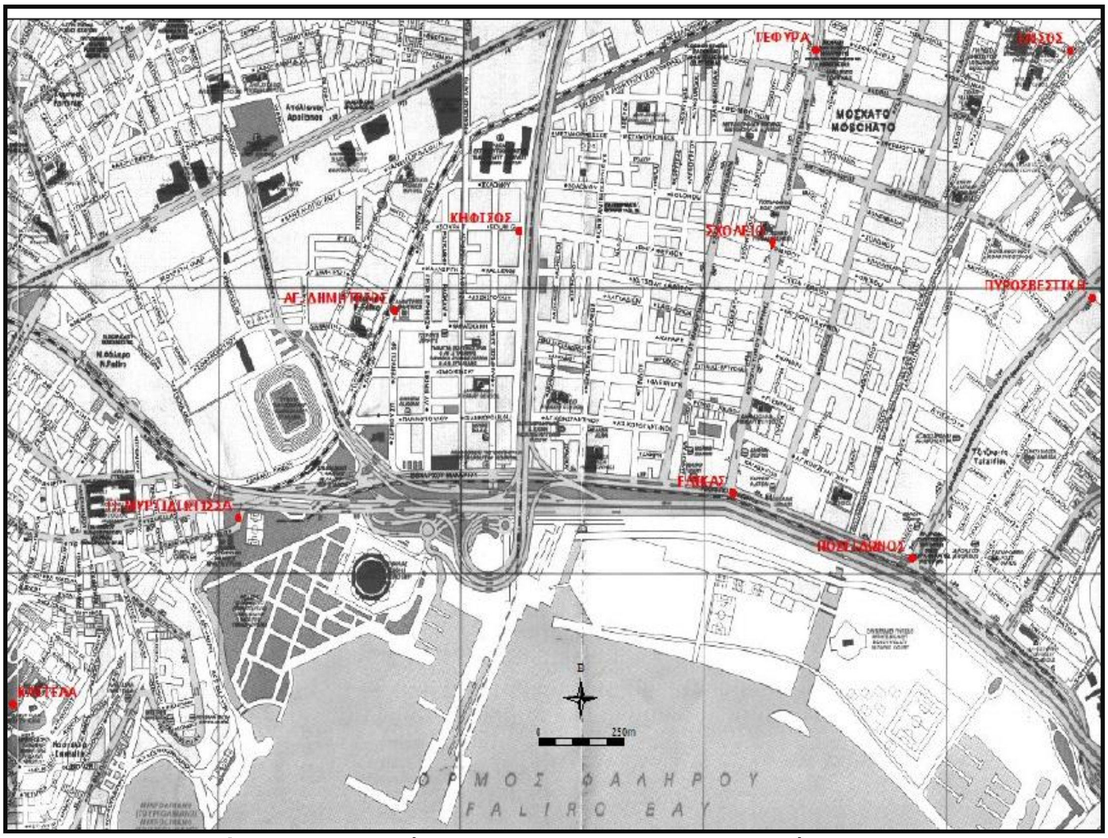
Το **2008** ανατέθηκε Διπλωματική Εργασία με σκοπό την επαναμέτρηση του δικτύου και την ανίχνευση τυχόν κατακόρυφων μετακινήσεων. Από τα 7 σημεία ελέγχου που είχε το αρχικό δίκτυο οι δύο κορυφές «Κηφισός» και «Ξέφωτο» καταστράφηκαν εξαιτίας ανακατασκευής των πεζοδρομίων πάνω στα οποία είχαν υλοποιηθεί. Για την καλύτερη κάλυψη της περιοχής μελέτης θεωρήθηκε απαραίτητο να ιδρυθούν 5 νέες κορυφές («Γέφυρα», «Έλικας», «Άγιος Δημήτριος», «Παναγία Μυρτιδιώτισσα», «Κηφισός»). Η κορυφή «Κηφισός» αντικατέστησε την προηγούμενη κορυφή στην ίδια περίπου θέση.

Οι βάσεις μεταξύ των κορυφών του δικτύου μετρήθηκαν και πάλι με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού θέσης ενώ η βάση Λαμπαδάριο–Καστέλα μετρήθηκε τρεις φορές για μεγαλύτερη ακρίβεια *(Καραθανάση 2009).* Συνολικά μετρήθηκαν 52 βάσεις με διάρκεια μέτρησης 45 λεπτά. Έγιναν δύο επιλύσεις: στη μεν πρώτη χρησιμοποιήθηκαν και οι 52 βάσεις, ενώ στη δεύτερη επίλυση οι 10 βάσεις με το μεγαλύτερο σφάλμα δε χρησιμοποιήθηκαν. Τα αποτελέσματα των δύο επιλύσεων δε διέφεραν σημαντικά. Και στις δύο επιλύσεις του δικτύου διατηρήθηκαν οι ίδιες αρχικές συνθήκες με αυτές του δικτύου του 2002.

Κατά τη σύγκριση των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου με τις αντίστοιχες συντεταγμένες του 2002 δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές οριζόντιες μετακινήσεις. Στα σημεία «Ιλισός» και «Σχολείο» παρατηρήθηκαν μεταβολές στις τιμές των ορθομετρικών υψομέτρων (καθιζήσεις) κατά 23mm και 6mm αντίστοιχα.

Έτος	Χρονική Περίοδος	Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας
2002	Μηδενική φάση	-Ίδρυση Δικτύου GNSS με 7 κορυφές -Σταθερή κορυφή η Καστέλα
2008	2002-2008	-Επέκταση Δικτύου GNSS (+5 νέες κορυφές - 2 κατεστραμμένες) - Μέτρηση Δικτύου GNSS (Χάρτης 4.8) -Σταθερή κορυφή η Καστέλα -**Μέγιστη Καθίζηση 23 mm**

Πίνακας 4.3: Διπλωματικές εργασίες με μετρήσεις GNSS στην περιοχή μελέτης
Table 4.3: Dissertations with GNSS measurements in the study area



Χάρτης 4.8: Το δίκτυο GNSS του 2008 (*Καραθανάση 2009)*
Map 4.8: The GNSS network of 2008

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{ο} –ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην περιοχή μελέτης αναγνωρίστηκαν συνολικά εννέα σημεία ελέγχου και η κορυφή «Καστέλα», η οποία στις προηγούμενες εργασίες είχε θεωρηθεί ως σταθερή. Στις προηγούμενες εργασίες οι συντεταγμένες της προσδιορίζονταν μετρώντας τη βάση «Λαμπαδάριο-Καστέλα», εφόσον οι συντεταγμένες του σημείου «Λαμπαδάριο» ήταν ήδη γνωστές. Για λόγους ισχυροποίησης του δικτύου αποφασίσθηκε να γίνει επέκτασή του με τη νέα κορυφή «Αιξωνή», η οποία είναι τριγωνομετρικό σημείο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) και βρίσκεται στην περιοχή του Υμηττού. Στο *Χάρτη 5.1* απεικονίζονται οι κορυφές «Λαμπαδάριο», «Καστέλα» και «Αιξωνή» που βρίσκονται περιμετρικά της περιοχής μελέτης.

Χάρτης 5.1: Οι τρεις περιμετρικές κορυφές του δικτύου
Map 5.1: The three network’s points in the perimeter of the study area

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αρχικά η διαδικασία της επιλογής των κορυφών που θα συνδεθούν με τις «Λαμπαδάριο» και «Αιξωνή» και εκτιμάται η ακρίβεια που θα επιτευχθεί αν εκτελεστούν οι προγραμματισμένες μετρήσεις. Στη συνέχεια γίνεται επιλογή της κατάλληλης ημέρας και ώρας για τις μετρήσεις ώστε το σφάλμα λόγω κακής γεωμετρίας στον υπολογισμό της θέσης να ελαχιστοποιηθεί.

5.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Για την επιλογή των κορυφών που θα συνδεθούν με τα σταθερά «Λαμπαδάριο» και «Αιξωνή» υπολογίστηκε ο a priori πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας των συντεταγμένων για τις κορυφές αυτές. Συγκεκριμένα οι κορυφές που εξετάσθηκαν είναι οι: «Καστέλα», «Ιλισός», «Γέφυρα», «Ποσειδώνος», «Πυροσβεστική» και «Σχολείο». Οι κορυφές αυτές επελέγησαν βάσει της γεωμετρίας του δικτύου έτσι ώστε να είναι κατανεμημένες όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα στην περιοχή.

Για την κάθε κορυφή θα γίνει μέτρηση των βάσεων από το βάθρο του Λαμπαδαρίου και από το τριγωνομετρικό «Αιξωνή» της Γ.Υ.Σ. Από αυτές τις βάσεις η κάθε μία συμμετέχει με τρεις εξισώσεις παρατήρησης (ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε κορυφή και δημιουργείται ένας νέος πίνακας σχεδιασμού Α και ένας νέος πίνακας βαρών P. Ο πίνακας Α έχει ως στοιχεία τους συντελεστές των αγνώστων των 6 γραμμικών εξισώσεων παρατήρησης. Για παράδειγμα, για την κορυφή «Καστέλα» οι εξισώσεις παρατήρησης και ο αντίστοιχος πίνακας Α είναι :

$$\begin{aligned}
\Delta X_{\text{ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ - ΚΑΣΤΕΛΑ}} &= X_{\text{ΚΑΣΤΕΛΑ}} - X_{\text{ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ}} \\
\Delta Y_{\text{ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ - ΚΑΣΤΕΛΑ}} &= Y_{\text{ΚΑΣΤΕΛΑ}} - Y_{\text{ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ}} \\
\Delta Z_{\text{ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ - ΚΑΣΤΕΛΑ}} &= Z_{\text{ΚΑΣΤΕΛΑ}} - Z_{\text{ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ}} \\
\Delta X_{\text{ΑΙΞΩΝΗ - ΚΑΣΤΕΛΑ}} &= X_{\text{ΚΑΣΤΕΛΑ}} - X_{\text{ΑΙΞΩΝΗ}} \\
\Delta Y_{\text{ΑΙΞΩΝΗ - ΚΑΣΤΕΛΑ}} &= Y_{\text{ΚΑΣΤΕΛΑ}} - Y_{\text{ΑΙΞΩΝΗ}} \\
\Delta Z_{\text{ΑΙΞΩΝΗ - ΚΑΣΤΕΛΑ}} &= Z_{\text{ΚΑΣΤΕΛΑ}} - Z_{\text{ΑΙΞΩΝΗ}}
\end{aligned}
\quad \Rightarrow \quad A = \begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

Εικόνα 5.1: Εξισώσεις παρατήρησης και αντίστοιχος πίνακας σχεδιασμού της βάσης «Αιξωνή-Καστέλα»

Figure 5.1: Observation equations and corresponding design matrix for the base «Aixoni-Kastela»

Ο πίνακας βαρών προκύπτει από την ακρίβεια του οργάνου και τα μήκη των βάσεων προέκυψαν προσεγγιστικά με χρήση του Google Earth. Οι εκτιμώμενες ακρίβειες των συντεταγμένων, όπως αυτές προέκυψαν από τους πίνακες μεταβλητότητας–συμμεταβλητότητας, παρουσιάζονται στον *Πίνακα 5.2*.

Κορυφή	Εκτιμώμενη Ακρίβεια	
	Οριζοντιογραφικά	Υψομετρικά
Καστέλα	± 0.006	± 0.010
Ιλισός	± 0.005	± 0.008
Γέφυρα	± 0.005	± 0.008
Ποσειδώνος	± 0.005	± 0.008
Πυροσβεστική	± 0.005	± 0.008
Σχολείο	± 0.005	± 0.008

Πίνακας 5.2: Εκτιμώμενη ακρίβεια για τις κορυφές που ελέχθησαν
Table 5.2: Estimated accuracy for the tested network's points

Από τον παραπάνω πίνακα είναι προφανές ότι η διαφορά στην εκτίμηση της ακρίβειας ανάλογα με την κορυφή είναι μάλλον αμελητέα. Συγκεκριμένα, η κορυφή «Καστέλα» το οποίο απέχει περισσότερο από τα τριγωνομετρικά παρουσιάζει, όπως ήταν αναμενόμενο, μεγαλύτερο σφάλμα από τις υπόλοιπες κορυφές. Λόγω όμως του γεγονότος ότι η κορυφή αυτή αποτελούσε τη σταθερή κορυφή στις προηγούμενες μετρήσεις του δικτύου δεν θα ήταν εύστοχο να εξαιρεθεί αυτή τη φορά. Οι κορυφές που τελικά επελέγησαν να συνδεθούν με τα τριγωνομετρικά είναι οι: «Καστέλα», «Πυροσβεστική», «Ποσειδώνος» και «Γέφυρα».

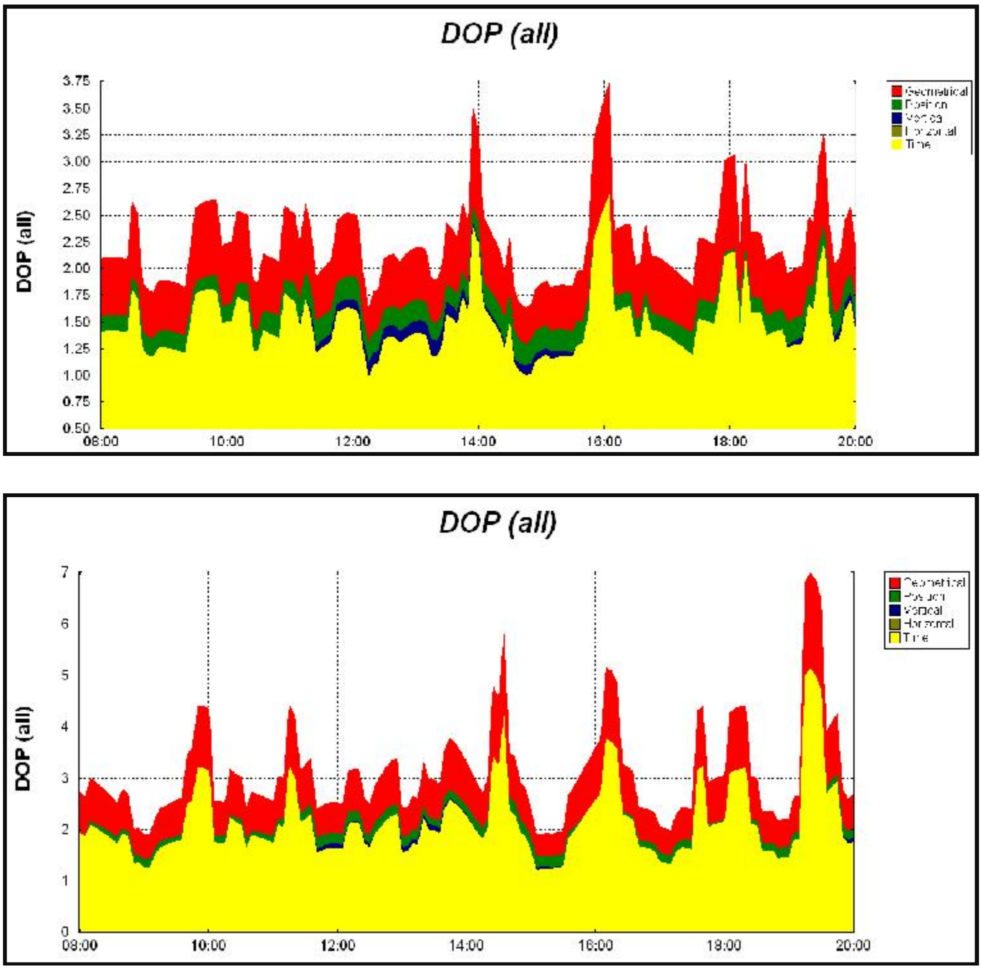
5.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πριν από κάθε μέτρηση είναι απαραίτητο να προηγείται μια επεξεργασία ώστε να καθορίζεται η κατάλληλη ημέρα και ώρα, ή αλλιώς η κατάλληλη χρονική περίοδος ώστε να παρατηρηθεί ο μέγιστος αριθμός δορυφόρων με όσο το δυνατόν καλύτερη γεωμετρία στον ουράνιο θόλο για τη συγκεκριμένη κορυφή.

Ο έλεγχος του αριθμού και της σχετικής θέσης των δορυφόρων έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού Trimble Business Center. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει το σημείο εισάγοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες του, αλλά και επιπλέον πληροφορίες όπως εμπόδια που θα εμποδίζουν τη λήψη του σήματος από τους δορυφόρους και τη γωνία αποκοπής ώστε να αποφευχθούν παρεμβολές από τα δέντρα, τα κτίρια κλπ και σφάλματα πολλαπλών διαδρομών. Η γωνία αποκοπής τέθηκε κατά κανόνα 15^o εκτός από την περίπτωση των κορυφών «Πυροσβεστική» και «Σχολείο», όπου λόγω προγενέστερης εμπειρίας μεγάλου σφάλματος στα δύο αυτά σημεία, η γωνία τέθηκε στις 20^o.

Όσον αφορά στις τιμές του δείκτη DOP, αυτές θεωρήθηκαν αποδεκτές μόνο όταν ήταν κάτω από 5, και επομένως η γεωμετρία των δορυφόρων ήταν καλή. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι το σημείο Πυροσβεστική παρουσίαζε ελαφρώς υψηλότερες τιμές του δείκτη DOP όλες σχεδόν τις ώρες και τις ημέρες και ήταν δύσκολο ορισμένες φορές να βρεθεί μια κατάλληλη χρονική περίοδος, όπου η τιμή του δείκτη θα ήταν σταθερά κάτω από 5 για το χρονικό διάστημα της μιάμιση ώρας που θα πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις.

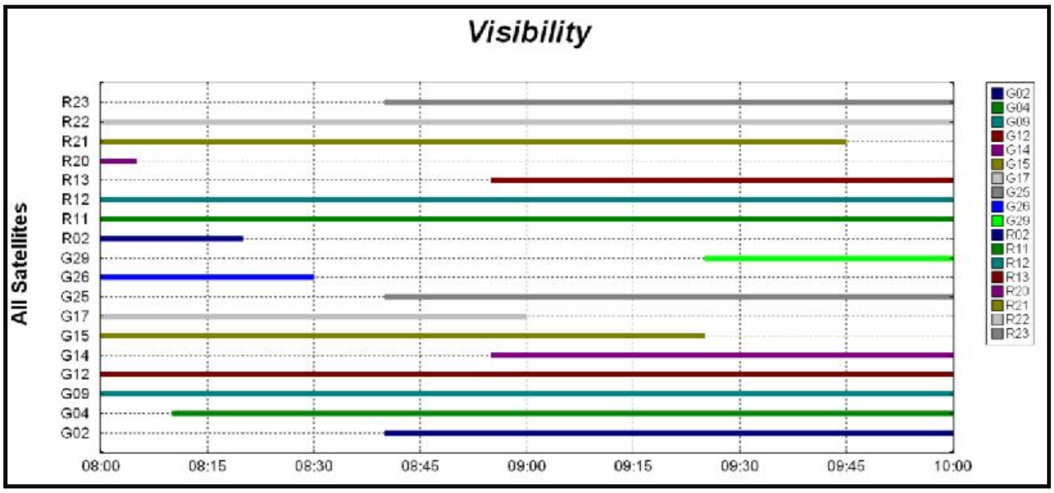
Ενδεικτικά παρουσιάζεται στην *Εικόνα 5.2* το διάγραμμα με τις τιμές του δείκτη για τις κορυφές «Ποσειδώνος» και «Πυροσβεστική» για το ίδιο 12ωρο για τις 11/07/2012. Παρατηρείται σαφώς ότι ενώ στο σημείο «Ποσειδώνος» οι τιμές του δείκτη είναι για όλο το 12ωρο σταθερά κάτω από 5, στην κορυφή «Πυροσβεστική» τα χρονικά διαστήματα που οι μετρήσεις είναι επιτρεπτές διακόπτονται μετά τις 14:00.



Εικόνα 5.2: Τιμές του δείκτη DOP στις 11/7/2012 για την κορυφή Ποσειδώνος (πάνω) και Πυροσβεστική (κάτω)

Figure 5.2: DOP values at the station Poseidonos (up) and Purosvestiki (down) on 11/7/2012

Ιδιαίτερη προσοχή δινόταν κάθε φορά στο να είναι ορατοί τουλάχιστον 5 κοινοί δορυφόροι. Ο έλεγχος γινόταν και πάλι με το λογισμικό Trimble Business Center, το οποίο παρουσιάζει το διάγραμμα ορατότητας δορυφόρων για το χρονικό διάστημα που ορίζει ο χρήστης (*Εικόνα 5.3*).



Εικόνα 5.3: Ορατότητα δορυφόρων για την κορυφή Καστέλα την 7/10/2012

Figure 5.3: Satellite visibility for the station Kastela on 7/10/2012

Επιπροσθέτως, στο στάδιο του προγραμματισμού των εργασιών πεδίου αποφασίζεται η διάρκεια των μετρήσεων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ορατότητα προς τους δορυφόρους αναμένεται να είναι σημαντικά μειωμένη λόγω του αστικού περιβάλλοντος, αλλά και του σφάλματος πολυανάκλασης το οποίο θα υπεισέρχεται στις μετρήσεις, κρίθηκε σκόπιμο να επιλεγεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μετρήσεων από αυτό των 45 λεπτών που επελέγη στην προηγούμενη μέτρηση του δικτύου το 2002.

Για να μειωθούν οι πιθανότητες να παρουσιαστούν μη αποδεκτές ακρίβειες κατά την επεξεργασία των μετρήσεων, κρίθηκε σκόπιμο να αυξηθεί ο χρόνος παρατήρησης από 45 λεπτά σε 1,5 ώρα. Επιπλέον, επελέγη να μετρηθούν όλες οι βάσεις μεταξύ των κορυφών του δικτύου. Οι βάσεις που σχηματίζονται από τις κορυφές που βρίσκονται στην περίμετρο του δικτύου μετρήθηκαν δύο φορές, αλλάζοντας τη θέση των δεκτών (base και rover), προκειμένου οι βαθμοί ελευθερίας να είναι περισσότεροι.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 5.2, αποφασίστηκε ότι οι κορυφές «Καστέλα», «Γέφυρα», «Πυροσβεστική» και «Ποσειδώνος» θα συνδεθούν με το τριγωνομετρικό «Αιξωνή» της Γ. Υ. Σ., καθώς και με το σημείο «Λαμπαδάριο» με μετρήσεις 1,5 ώρας, ενώ οι όλες οι βάσεις θα μετρούνταν εις διπλούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο – ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

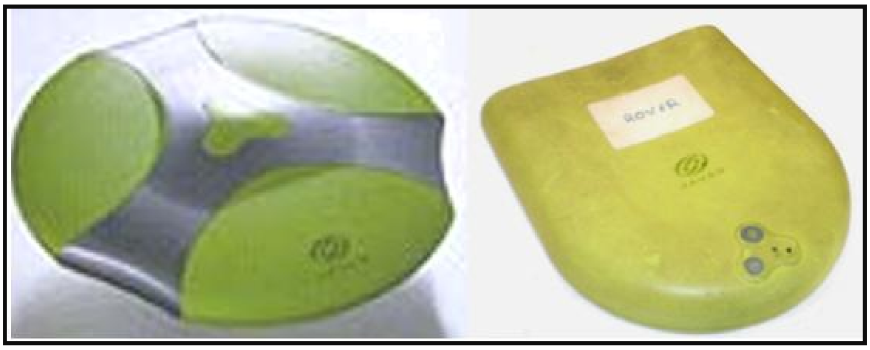
Σε αυτό το κεφάλαιο δίνεται περιληπτικά η περιγραφή των γεωδαιτικών δεκτών Legacy της Javad, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των μετρήσεων. Η περιγραφή αφορά τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δεκτών όσο και τη γεωμετρία της κεραίας, ενώ γίνεται αναφορά και σε όλα τα απαραίτητα παρελκόμενα που συνοδεύουν τους δέκτες ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεση των μετρήσεων.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η εκτέλεση των μετρήσεων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την πραγματοποίηση της κάθε μέτρησης περιγράφεται αναλυτικά. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων προέκυψαν διάφορες δυσκολίες οι οποίες επίσης αναφέρονται.

6.2 ΔΕΚΤΕΣ JAVAD

Για τις εργασίες μέτρησης του δικτύου, χρησιμοποιήθηκαν δύο γεωδαιτικοί δέκτες ακριβείας τύπου Legacy της Javad. Οι δέκτες αυτοί είναι δύο συχνοτήτων και έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν σήμα και από το αμερικάνικο δορυφορικό σύστημα GPS και από το ρωσικό δορυφορικό σύστημα GLONASS (αλλά απαιτείται αναβάθμιση των δεκτών η οποία δεν έχει γίνει). Ο δέκτης και η κεραία είναι δύο ξεχωριστά τμήματα *(Εικόνα 6.1)* και η πηγή ενέργειας είναι εξωτερική (μπαταρία χωρητικότητας 7,2 Ah). Κατά τη λειτουργία των οργάνων η φωτεινή ένδειξη του δέκτη με την προσήμανση STAT αναβοσβήνει με παύσεις για να υποδηλώσει τον αριθμό των δορυφόρων από τους οποίους λαμβάνει σήμα ο δέκτης την εκάστοτε στιγμή.

Η κεραία είναι τύπου LegantE της εταιρείας Javad. Αξίζει να αναφερθεί ότι η κεραία έχει την επιπλέον δυνατότητα να απορρίπτει τα σήματα τα οποία ανακλώνται κάτω από το επίπεδο της κεραίας, ώστε να μην εισάγονται επιπλέον σφάλματα, όμως η δυνατότητα αυτή δε χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία *(Φωτίου & Πικριδάς, 2008)*.

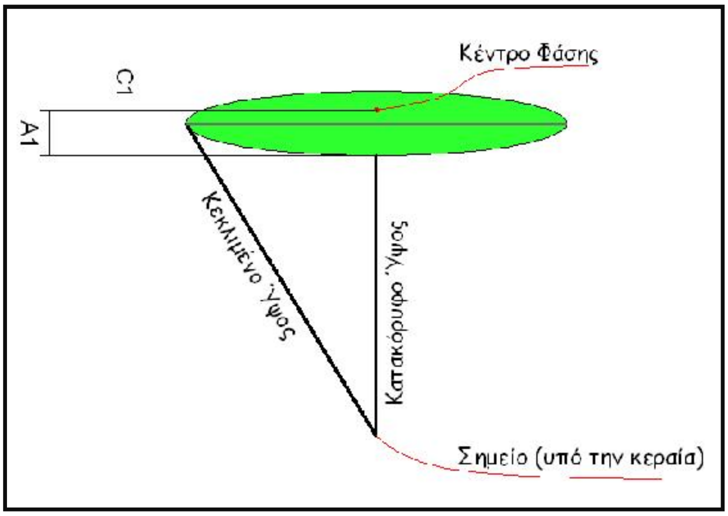


Εικόνα 6.1: Κεραία τύπου Legant E και δέκτης τύπου Legacy της Javad
Figure 6.1: Legant E antenna and Javad Legacy receiver

Τον εξοπλισμό συνόδευαν ακόμη:

- Δύο τρίποδες από αλουμίνιο
- Δύο μεταλλικές βάσεις εξαναγκασμένης κέντρωσης
- Δύο μπαταρίες τάσης 12V
- Δύο τρικόχλια με οπτική κέντρωση
- Δύο μετροταινίες
- Τέσσερις κώνοι, οι οποίοι τοποθετούνταν γύρω από τον τρίποδα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων για προστασία

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά τη μέτρηση του ύψους της κεραίας; ανάλογα με το αν αυτό μετράται κατακόρυφα ή κεκλιμένα *(Εικόνα 6.2).* Στην περίπτωση που η κεραία βρίσκεται πάνω σε τρίποδα, μετράται το κεκλιμένο ύψος από την υλοποιημένη κορυφή μέχρι τη γκρι χαραγή στην κεραία (center of bumper) ενώ στην περίπτωση των βάθρων των τριγωνομετρικών σημείων, μετράται το κατακόρυφο ύψος από τη στέψη του βάθρου μέχρι το μεταλλικό δακτύλιο που υπάρχει στο κάτω μέρος της κεραίας (bottom of antenna mount) *(Μελετίου 2008)*.



Εικόνα 6.2 : Τρόποι μέτρησης ύψους οργάνου και γεωμετρία της κεραίας Legant E
Figure 6.2: Methods of measuring antenna height of the Legant E antenna

Η προσδοκώμενη ακρίβεια εντοπισμού σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος Εντοπισμού		**Ακρίβεια**
Στατικός	Οριζοντιογραφικά	2mm ± (1ppm x μήκος βάσης)
	Υψομετρικά	5mm ± (1ppm x μήκος βάσης)
Κινηματικός	Οριζοντιογραφικά	10mm ± (1ppm x μήκος βάσης)
	Υψομετρικά	15mm ± (1ppm x μήκος βάσης)

Πίνακας 6.1: Ακρίβεια προσδιορισμού θέσης των δεκτών Javad για διπλή συχνότητα *(Πηγή: Τσίνη 2002)*

Table 6.1: Positioning accuracy of Javad dual-frequency receiver

6.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι μετρήσεις άρχισαν τον Ιούνιο του 2012 και ολοκληρώθηκαν το Νοέμβριο του ίδιου έτους. Μετρήθηκαν συνολικά 74 βάσεις. Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε συνεργείο δύο ατόμων. Συνολικά εκτελούνταν μετρήσεις δύο έως τεσσάρων βάσεων την ημέρα, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν και τη διαθεσιμότητα των δορυφόρων στον ουράνιο θόλο πάνω από την περιοχή μελέτης, όπως αυτή είχε προκύψει κατά το σχεδιασμό των μετρήσεων. Ο ένας παρατηρητής είχε το σταθερό δέκτη (base) και παρέμενε συνήθως στο ίδιο σημείο μέχρι το πέρας των μετρήσεων, ενώ ο άλλος δέκτης (rover) μεταφερόταν από σημείο σε σημείο σύμφωνα με το πρόγραμμα.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το ύψος οργάνου προσδιοριζόταν δύο φορές - στην αρχή και στο πέρας των μετρήσεων - με ακρίβεια χιλιοστού, με χρήση μεταλλικής μετροταινίας. Η φωτεινή ένδειξη STAT αναβόσβηνε συνεχόμενα πράσινο τόσες φορές όσοι οι δορυφόροι από τους οποίους λάμβανε σήμα ο δέκτης.

Εικόνα 6.3: Ο δέκτης (base) τοποθετημένος στην κορυφή Γέφυρα
Figure 6.3: The base receiver at the point Gefura

6.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΕΔΙΟΥ

Κατά τις μετρήσεις παρατηρήθηκε αρκετές φορές το φαινόμενο ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων να είναι σημαντικά διαφορετικός από αυτόν που προβλεπόταν κατά το στάδιο του σχεδιασμού. Η πιθανότερη εξήγηση για αυτό είναι ότι το δομημένο περιβάλλον προκαλούσε πρόβλημα καθαρού ορίζοντα για τον δέκτη.

Σε σπάνιες περιπτώσεις παρατηρούνταν αυξημένος αριθμός δορυφόρων σε σχέση με αυτόν που προβλεπόταν κατά το στάδιο του σχεδιασμού, γεγονός που αποδόθηκε στη μεγάλη σχετικά γωνία αποκοπής που επελέγη. Αναφορικά υπενθυμίζεται, ότι η γωνία αποκοπής κατά τον προγραμματισμό των μετρήσεων τέθηκε στις 15 ή 20 μοίρες, τιμές που ίσως είναι μεγαλύτερες της πραγματικής, ιδιαίτερα όταν οι μετρήσεις γίνονταν στις κορυφές που βρίσκονταν πάνω στη Λεωφόρο Ποσειδώνος όπου ο ορίζοντας είναι καθαρός. Περισσότερα για αυτό το πρόβλημα αναφέρονται στο Κεφάλαιο 7, όπου δίνεται και πιο λεπτομερής και τεκμηριωμένη επεξήγηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^{ο} – ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

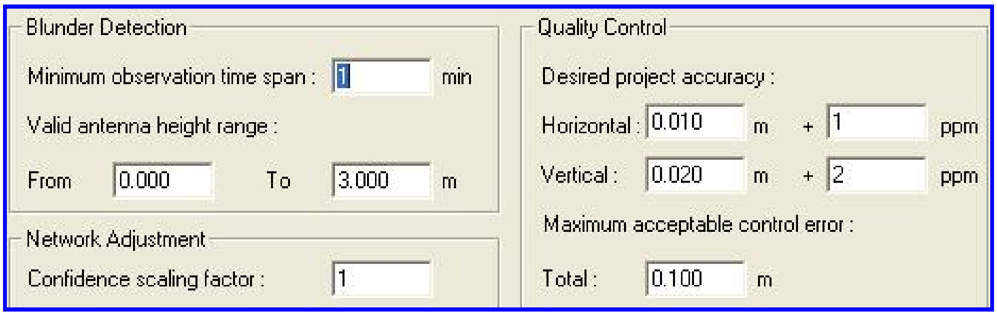
Στον προσδιορισμό θέσης, μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων έπεται η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Οι μετρήσεις εισάγονται και επεξεργάζονται με χρήση κατάλληλου λογισμικού και στη συνέχεια, μετά από συνόρθωση των παρατηρήσεων προσδιορίζονται οι τελικές συντεταγμένες των σημείων και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες.

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσεται διεξοδικά όλη η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθησαν στο ύπαιθρο. Με τη βοήθεια του προγράμματος GNSS Solutions έγινε επεξεργασία και επίλυση των βάσεων, συνόρθωση του δικτύου και εξαγωγή των τελικών συντεταγμένων των σημείων.

Επειδή, ως γνωστόν, ο χρήστης ελάχιστα μπορεί να επέμβει στη διαδικασία επεξεργασίας των βάσεων και ουσιαστικά καθόλου στη διαδικασία της συνόρθωσης, η οποία είναι αυτοματοποιημένη, κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί συμπληρωματικά συνόρθωση με την ανάπτυξη κώδικα σε προγραμματιστικό περιβάλλον Matlab για το κάθε δίκτυο που επιλύθηκε με το λογισμικό GNSS Solutions και να γίνει έλεγχος του κατά πόσο τα αποτελέσματα διαφέρουν σημαντικά ή όχι.

7.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ GNSS

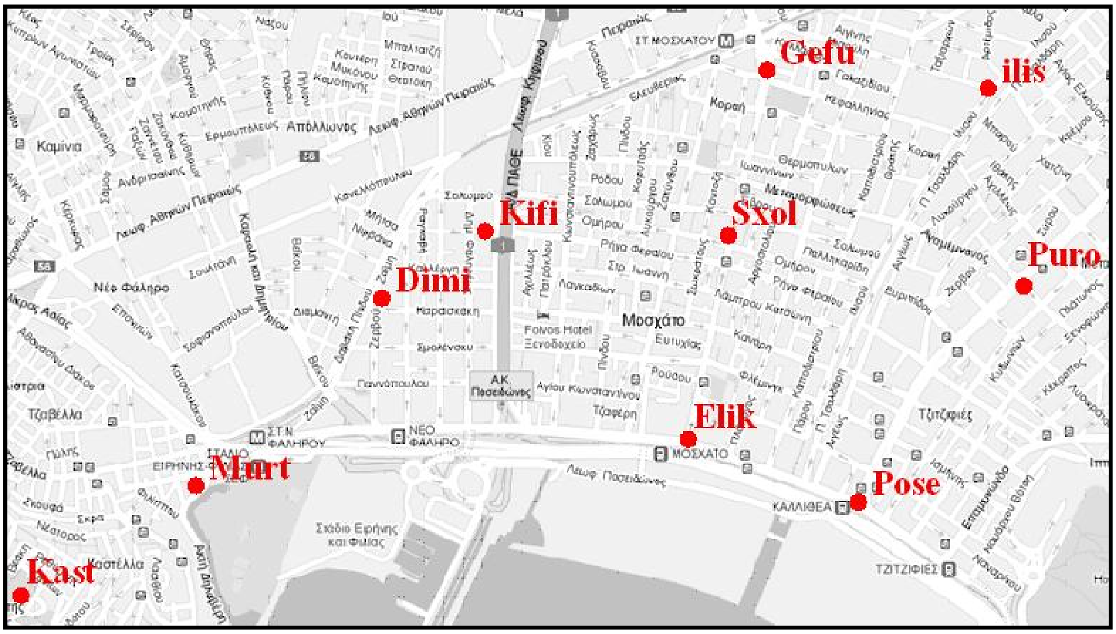
Αρχικά τα δεδομένα μεταφέρονται από τον δέκτη στον υπολογιστή μέσω του λογισμικού μεταφοράς αρχείων και δεδομένων PCView της Javad. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των μετρήσεων είναι το GNSS Solutions. Πρώτο βήμα είναι η δημιουργία ενός νέου project. Στη φάση αυτή τίθενται οι τιμές που αφορούν τους ελέγχους που θα πραγματοποιηθούν στη συνέχεια από το ίδιο το πρόγραμμα για την ανίχνευση χονδροειδών σφαλμάτων (πολύ μικρή διάρκεια παρατήρησης, ύψος κεραίας μεγαλύτερο από 3m) και τον έλεγχο ποιότητας του δικτύου (*Εικόνα 7.1*).



Εικόνα 7.1: Εισαγωγή παραμέτρων στο λογισμικό GNSS Solutions για ανίχνευση χονδροειδών σφαλμάτων και έλεγχο ποιότητας

Figure 7.1: Setting the parameters values for blunder detection and quality control in GNSS Solutions software

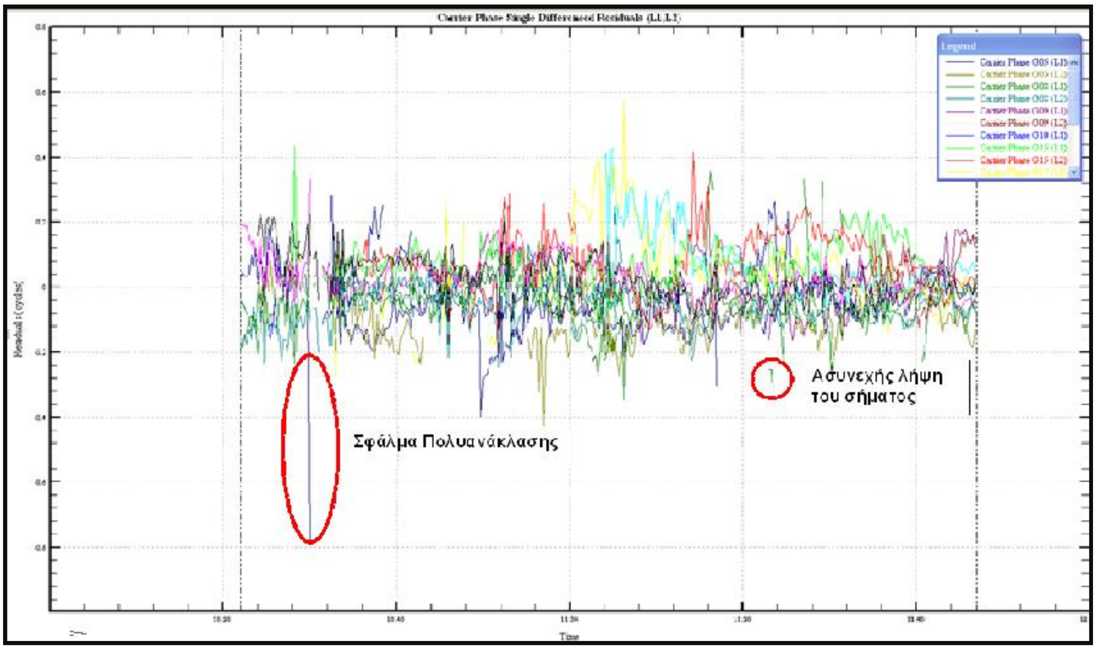
Ακολουθεί η εισαγωγή των δεδομένων σε μορφή Rinex. Κατά την εισαγωγή των δεδομένων ζητείται από το πρόγραμμα η εισαγωγή και άλλων στοιχείων: το ύψος της κεραίας και το αν μετρήθηκε κεκλιμένα ή κατακόρυφα, τον τύπο του δέκτη και της κεραίας και το όνομα της κορυφής, που πρέπει να δίνεται με το πολύ 4 γράμματα, αλλιώς παρουσιάζονται προβλήματα αργότερα κατά την επεξεργασία και συνόρθωση του δικτύου. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία εισαγωγής, εισάγεται η ακτίνα της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε ώστε να μπορεί να γίνει η μετατροπή του κεκλιμένου μήκους σε κατακόρυφο και ολοκληρώνεται το στάδιο της εισαγωγής των δεδομένων.



Χάρτης 7.1: Τα σημεία του δικτύου GNSS με την ονομασία που τους δόθηκε στο λογισμικό GNSS Solutions

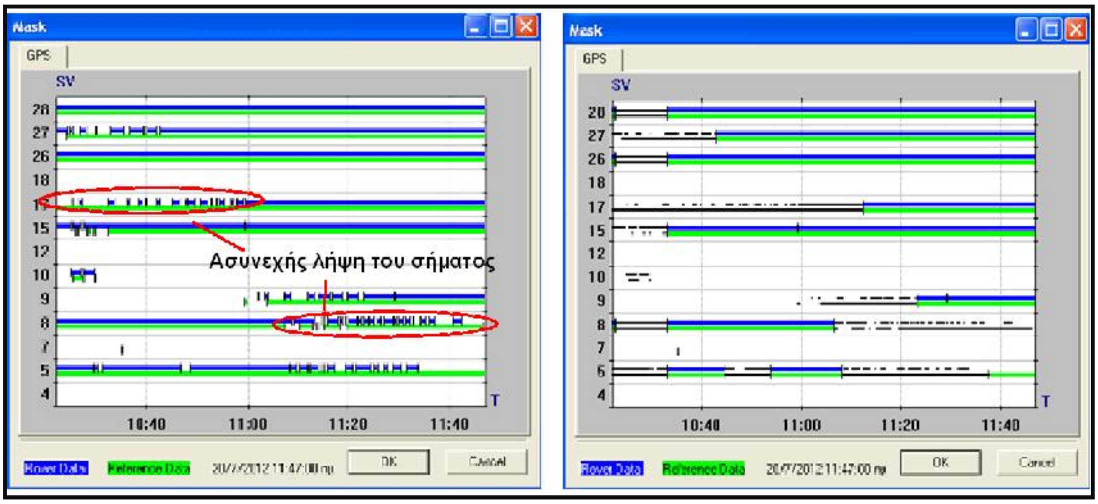
Map 7.1: The GNSS network's points with the code names given in the GNSS Solutions software

Ακολουθεί η επεξεργασία και η επίλυση των βάσεων. Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων η τιμή για τη γωνία αποκοπής τέθηκε στις 15^o. Κατά την πρώτη επίλυση παρουσιάστηκαν μεγάλες τιμές στις αβεβαιότητες επίλυσης των περισσότερων βάσεων και μεγάλες διαφορές στα μήκη των βάσεων που είχαν μετρηθεί σε μετάβαση και επιστροφή. Για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων έγινε λεπτομερής επεξεργασία των στοιχείων της κάθε βάσης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα των υπολοίπων των μετρήσεων *(Εικόνα 7.2)* επελέγησαν οι δορυφόροι που θα αφαιρεθούν, ανάλογα με το αν παρουσίαζαν μεγάλα υπόλοιπα, αν παρουσίαζαν σφάλμα πολυανάκλασης ή αν οι μετρήσεις είναι ασυνεχείς. Στην *Εικόνα 7.3* παρουσιάζεται ενδεικτικά το διάγραμμα ορατότητας δορυφόρων πριν και μετά την επεξεργασία της βάσης Ιλισός-Κηφισός. Ακόμη, μέσω του προγράμματος, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ελέγξει αν η γωνία που σχηματίζει ο κάθε δορυφόρος με τον ορίζοντα πλησιάζει τη οριακή τιμή και σε αυτή την περίπτωση να αφαιρέσει έναν ενδεχομένως "προβληματικό" δορυφόρο. Σε αυτό το σημείο, και μετά από πολλαπλές επιλύσεις των βάσεων, ολοκληρώνεται ο υπολογισμός της σχετικής θέσης του κάθε σημείου ως προς τα υπόλοιπα.



Εικόνα 7.2: Τα υπόλοιπα των δορυφόρων

Figure 7.2: Satellite residuals



Εικόνα 7.3: Το σήμα των δορυφόρων πριν και μετά την επεξεργασία της βάσης

Figure 7.3: Satellites' signal before and after the base processing

Συγκρίνοντας το διάγραμμα ορατότητας δορυφόρων διάφορων σημείων, όπως προέκυψε κατά τον σχεδιασμό των μετρήσεων, με το διάγραμμα ορατότητας δορυφόρων των βάσεων, όπως το παρουσιάζει το λογισμικό κατά την επεξεργασία, παρατηρήθηκαν σημαντικές αναντιστοιχίες ανάμεσα στους δορυφόρους που είχε προβλεφθεί πως θα είναι ορατοί κατά το σχεδιασμό και αυτούς που τελικά χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις. Οι αναντιστοιχίες αυτές οφείλονται στο ότι το ημερολόγιο με τις τροχιές των δορυφόρων (almanac) που χρησιμοποιήθηκε κατά το σχεδιασμό δεν ήταν πρόσφατο και άρα τα δεδομένα του δεν ήταν ακριβή. Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι πολλές εταιρίες (Trimble, Javad) προτείνουν την αντικατάσταση του almanac κάθε περίπου ένα μήνα ώστε να ανταποκρίνονται τα στοιχεία με την πραγματικότητα. Η μη χρήση πρόσφατου almanac οδήγησε στο φαινόμενο που παρατηρήθηκε κατά τις μετρήσεις όπου ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων ήταν σημαντικά διαφορετικός από αυτόν που προβλεπόταν κατά το στάδιο του σχεδιασμού.

7.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ GNSS

7.3.1 Επεξεργασία Βάσης Λαμπαδάριο-Καστέλα

Οι τελικές συντεταγμένες για την κορυφή Καστέλα μετά από την επεξεργασία της βάσης Λαμπαδάριο-Καστέλα δίνονται παρακάτω στον *Πίνακα 7.1*.

<table>
<tr><th colspan="3">ΠΡΟΒΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ</th></tr>
<tr><th colspan="2">E(m)</th><th>N(m)</th></tr>
<tr><td colspan="2">469604.716 ± 0.004</td><td>4198912.115 ± 0.003</td></tr>
<tr><th colspan="3">ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ</th></tr>
<tr><th>φ</th><th>λ</th><th>h(m)</th></tr>
<tr><td>37° 56’ 14.19385’’</td><td>23° 39’ 14.74794’’</td><td>91.779 ± 0.005</td></tr>
</table>

Πίνακας 7.1: Τελικές συντεταγμένες της κορυφής Καστέλα στην προβολή ΕΓΣΑ87 το έτος 2012

Table 7.1: Final coordinates of the point Kastela in the projection of GGRG87 in 2012

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από την επίλυση της ίδιας βάσης το 2002 και το 2008 παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις τιμές των συντεταγμένων. Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται οι τιμές των συντεταγμένων της κορυφής για το έτος 2008 και οι διαφορές με τις συντεταγμένες που προσδιορίστηκαν σε αυτή τη διπλωματική εργασία.

ΕΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	E(m)	N(m)	h(m)	ΔE(mm)	ΔN(mm)	Δh(mm)
2008	469604.697	4198912.113	91.790	+19	+2	-11

Πίνακας 7.2: Συντεταγμένες της κορυφής Καστέλα στο ΕΓΣΑ87 για το 2008 και οι διαφορές τους (ΔΕ, ΔΝ, Δh) το διάστημα 2008-2012

Table 7.2: Coordinates of the point Kastela in the projection of GGRS87 in 2008 and their differences (ΔE, ΔN, Δh) for the time interval 2008-2012

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, θα εξεταστεί αν η διαφορά των συντεταγμένων για το διάστημα 2008-2012 είναι στατιστικά σημαντική ή αν ανήκει στο θόρυβο των μετρήσεων. Η αβεβαιότητα της μεταβολής των υψομέτρων $\sigma_{\Delta h}$ προκύπτει εφαρμόζοντας το Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων:

$$\sigma_{\Delta h} = \pm\sqrt{{\sigma_{h2008}}^2 + {\sigma_{h2012}}^2} = \pm\sqrt{0.005^2 + 0.008^2} \Rightarrow \sigma_{\Delta h} = \pm 0.009\text{m} \quad (7.1)$$

Ισχύει όμως ότι:

$$|\Delta h| < |\sigma_{\Delta h} \cdot z_{95\%}| \Rightarrow 0.011 < 0.009 \cdot 1.96 \quad (7.2)$$

Άρα η διαφορά στην τιμή των γεωμετρικών υψομέτρων δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Το διάνυσμα r της οριζόντιας μετακίνησης για την κορυφή Καστέλα για την περίοδο 2008-2012 δίνεται από τη σχέση:

$$r^{2008-2012} = \sqrt{(\Delta E^{2008-2012})^2 + (\Delta N^{2008-2012})^2} \Rightarrow$$

$$r^{2008-2012} = \sqrt{(E^{2012} - E^{2008})^2 + (N^{2012} - N^{2008})^2} = 0.019\text{ m} \quad (7.3)$$

Το r είναι μετακίνηση μόνο αν ισχύει η σχέση:

$$r > z_{95\%} \cdot \sigma_{max} \Rightarrow 0.019 > 1.96 \cdot 0.009 \ (z_{95\%} = 1.96) \quad (7.4)$$

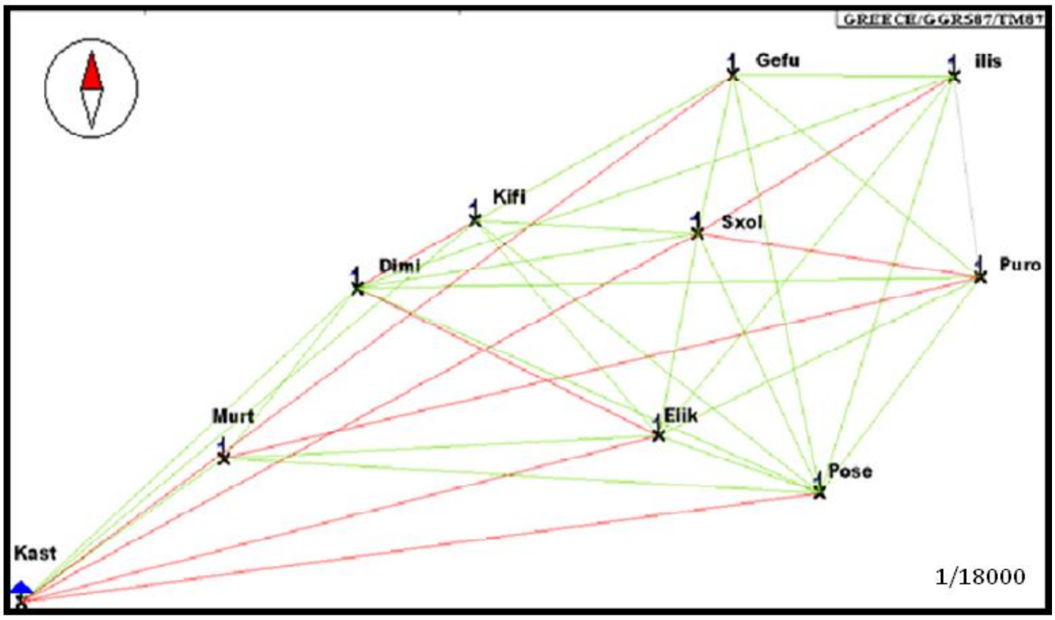
όπου σ_{max} ο μεγάλος ημιάξονας της έλλειψης σφάλματος μετακίνησης

Άρα βάσει της παραπάνω σχέσης προκύπτει ότι η διαφορά των συντεταγμένων είναι στατιστικά σημαντική και πρόκειται για οριζόντια μετακίνηση.

7.3.2 Επίλυση με τις αρχικές συνθήκες του 2008

Πριν τις επιλύσεις του δικτύου ελέγχου που περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω, έγινε έλεγχος του κλεισίματος των τριγώνων που σχηματίζονται. Μετά τον έλεγχο αυτό αποφασίσθηκε να εξαιρεθούν από τη συνόρθωση οι βάσεις Ιλισός-Κηφισός, Ιλισός-Πυροσβεστική και Πυροσβεστική – Ιλισός.

Στην επίλυση αυτή θα διατηρηθούν οι ίδιες αρχικές συνθήκες και οι ίδιες (ελάχιστες) εξωτερικές δεσμεύσεις με αυτές που διατηρήθηκαν στη διπλωματική εργασία του 2008 *(Καραθανάση 2008)*, οπότε και έγινε η πρώτη μέτρηση του αντίστοιχου δικτύου GNSS με τις 10 κορυφές. Πιο συγκεκριμένα, διατηρήθηκαν οι ίδιες συντεταγμένες για τη σταθερή κορυφή «Καστέλα», όπως αυτές υπολογίστηκαν το 2008. Το δίκτυο που επιλύθηκε παρουσιάζεται στην *Εικόνα 7.4* και αποτελείται από 57 συνολικά βάσεις, έναντι 52 το 2008. Οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου όπως προέκυψαν μετά την επίλυση του δικτύου παρουσιάζονται στους *Πίνακες 7.3* και *7.4.*



Εικόνα 7.4: Γεωμετρία δικτύου όμοια με αυτή του δικτύου που μετρήθηκε το 2008. Με πράσινο οι βάσεις που πέρασαν τον έλεγχο ποιότητας, ενώ με κόκκινο αυτές που δεν πέρασαν.

Figure 7.4: Network geometry same with that of 2008. The bases that passed the quality control are depicted in green, while the others in red.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	E(m)	N(m)
ΚΑΣΤΕΛΑ	**469604.697 ± 0.000**	**4198912.113 ± 0.000**
ΣΧΟΛΕΙΟ	471754.360 ± 0.004	4200004.404 ± 0.005
ΓΕΦΥΡΑ	471868.163 ± 0.003	4200473.544 ± 0.004
ΙΛΙΣΟΣ	472568.996 ± 0.003	4200472.979 ± 0.002
ΕΛΙΚΑΣ	471631.875 ± 0.005	4199402.168 ± 0.003
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	470676.129 ± 0.005	4199840.772 ± 0.004
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	470252.023 ± 0.003	4199334.749 ± 0.002
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	472141.116 ± 0.004	4199230.496 ± 0.003
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	472651.068 ± 0.005	4199871.619 ± 0.005
ΚΗΦΙΣΟΣ	471049.724 ± 0.008	4200039.109 ± 0.007

Πίνακας 7.3: Τελικές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου GNSS στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή του ΕΓΣΑ87

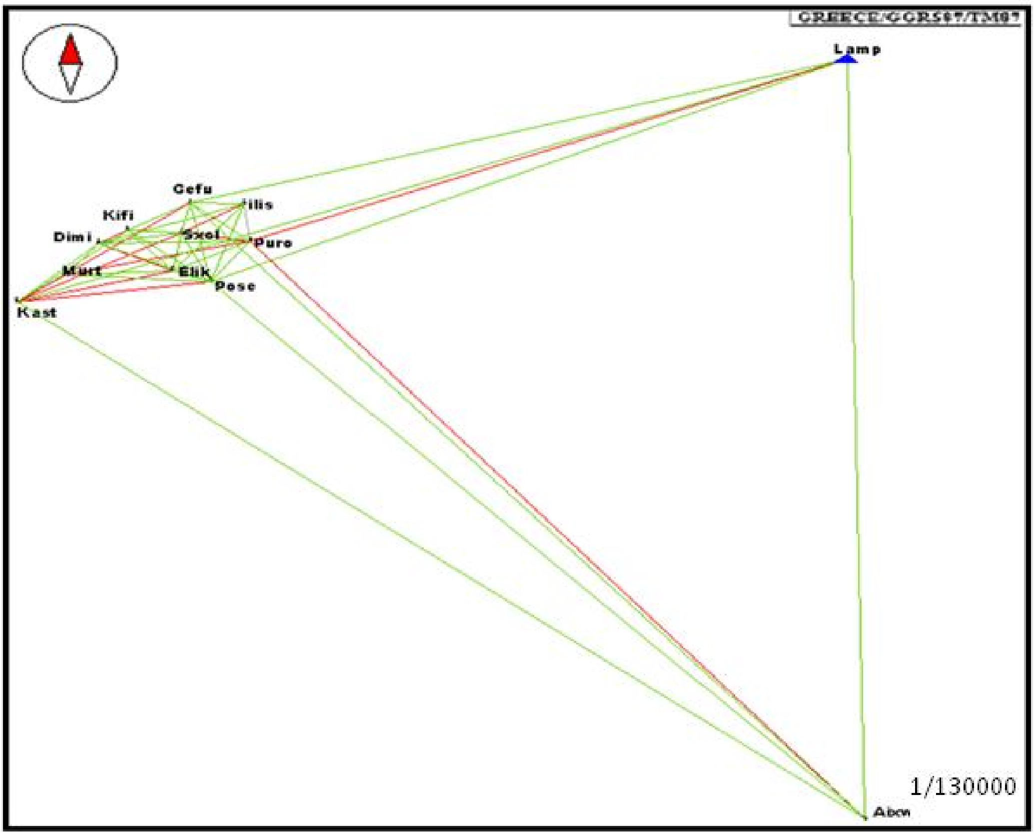
Table 7.3: Adjusted coordinates of the GNSS network points in the projection of GGRS87

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	φ	λ	h(m)
ΚΑΣΤΕΛΑ	**37° 56’ 14.19377”**	**23° 39’ 14.74714”**	**91.790 ± 0.000**
ΣΧΟΛΕΙΟ	37° 56’ 49.88425”	23° 40’ 42.66012”	9.749 ± 0.008
ΓΕΦΥΡΑ	37° 57’ 5.11878”	23° 40’ 47.25697”	13.645 ± 0.006
ΙΛΙΣΟΣ	37° 57’ 5.17763”	23° 41’ 15.97430”	16.366 ± 0.005
ΕΛΙΚΑΣ	37° 56’ 30.33022”	23° 40’ 37.72698”	8.831 ± 0.006
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	37° 56’ 44.45200”	23° 39’ 58.50526”	9.840 ± 0.006
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	37° 56’ 27.98384”	23° 39’ 41.20386”	9.208 ± 0.004
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	37° 56’ 24.81683”	23° 40’ 58.61477”	9.617 ± 0.006
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	37° 56’ 45.67467”	23° 41’ 19.41960”	10.860 ± 0.010
ΚΗΦΙΣΟΣ	37° 56’ 50.93042”	23° 40’ 13.78369”	10.087 ± 0.014

Πίνακας 7.4: Τελικές γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου
Table 7.4: Adjusted geodetic coordinates of the GNSS network points

7.3.3 Επίλυση με σταθερή κορυφή το βάθρο G (Λαμπαδάριο) και όλες τις βάσεις

Στην επίλυση αυτή θα χρησιμοποιηθούν όλες οι βάσεις που μετρήθηκαν, ενώ ως σταθερό σημείο θα θεωρηθεί το βάθρο G του κτιρίου Λαμπαδαρίου. Το πλήθος των βάσεων είναι 71. Το δίκτυο που επιλύθηκε παρουσιάζεται στην *Εικόνα 7.5*. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους *Πίνακα 7.5* και *7.6.*



Εικόνα 7.5: Γεωμετρία δικτύου με όλες τις βάσεις που μετρήθηκαν. Με πράσινο οι βάσεις που πέρασαν τον έλεγχο ποιότητας, ενώ με κόκκινο αυτές που δεν πέρασαν.

Figure 7.5: Network geometry with all the measured bases. The bases that passed the quality control are depicted in green, while the others are in red.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	E(m)	N(m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	**480537.220 ± 0.000**	**4202800.617 ± 0.000**
ΑΙΞΩΝΗ	480782.470 ± 0.002	4190640.745 ± 0.002
ΚΑΣΤΕΛΑ	469604.715 ± 0.003	4198912.115 ± 0.003
ΣΧΟΛΕΙΟ	471754.376 ± 0.004	4200004.406 ± 0.005
ΓΕΦΥΡΑ	471868.185 ± 0.005	4200473.546 ± 0.004
ΙΛΙΣΟΣ	472569.014 ± 0.003	4200472.981 ± 0.002
ΕΛΙΚΑΣ	471631.893 ± 0.005	4199402.170 ± 0.003
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	470676.148 ± 0.004	4199840.774 ± 0.004
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	470252.042 ± 0.003	4199334.751 ± 0.002
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	472141.135 ± 0.004	4199230.498 ± 0.003
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	472651.084 ± 0.005	4199871.621 ± 0.005
ΚΗΦΙΣΟΣ	471049.743 ± 0.008	4200039.111 ± 0.007

Πίνακας 7.5: Τελικές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου ελέγχου (71 βάσεις) στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή του ΕΓΣΑ87

Table 7.5: Adjusted coordinates of the control network’s points (71 baselines) in the projection of GGRS87

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	**φ**	**λ**	**h(m)**
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	**37° 58’ 21.44174”**	**23° 46’ 42.25437”**	**215.370 ± 0.000**
ΑΙΞΩΝΗ	37° 51’ 46.91335”	23° 46’ 53.47460”	381.116 ± 0.004
ΚΑΣΤΕΛΑ	37° 56’ 14.19384”	23° 39’ 14.74789”	91.779 ± 0.005
ΣΧΟΛΕΙΟ	37° 56’ 49.88431”	23° 40’ 42.66077”	9.738 ± 0.008
ΓΕΦΥΡΑ	37° 57’ 5.11885”	23° 40’ 47.25786”	13.634 ± 0.006
ΙΛΙΣΟΣ	37° 57’ 5.17769”	23° 41’ 15.97503”	16.355 ± 0.005
ΕΛΙΚΑΣ	37° 56’ 30.33028”	23° 40’ 37.72771”	8.820 ± 0.005
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	37° 56’ 44.45207”	23° 39’ 58.50604”	9.829 ± 0.005
Π.ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	37° 56’ 27.98390”	23° 39’ 41.20464”	9.197 ± 0.004
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	37° 56’ 24.81690”	23° 40’ 58.61555”	9.606 ± 0.006
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	37° 56’ 45.67473”	23° 41’ 19.42025”	10.849 ± 0.009
ΚΗΦΙΣΟΣ	37° 56’ 50.93049”	23° 40’ 13.78447”	10.076 ± 0.014

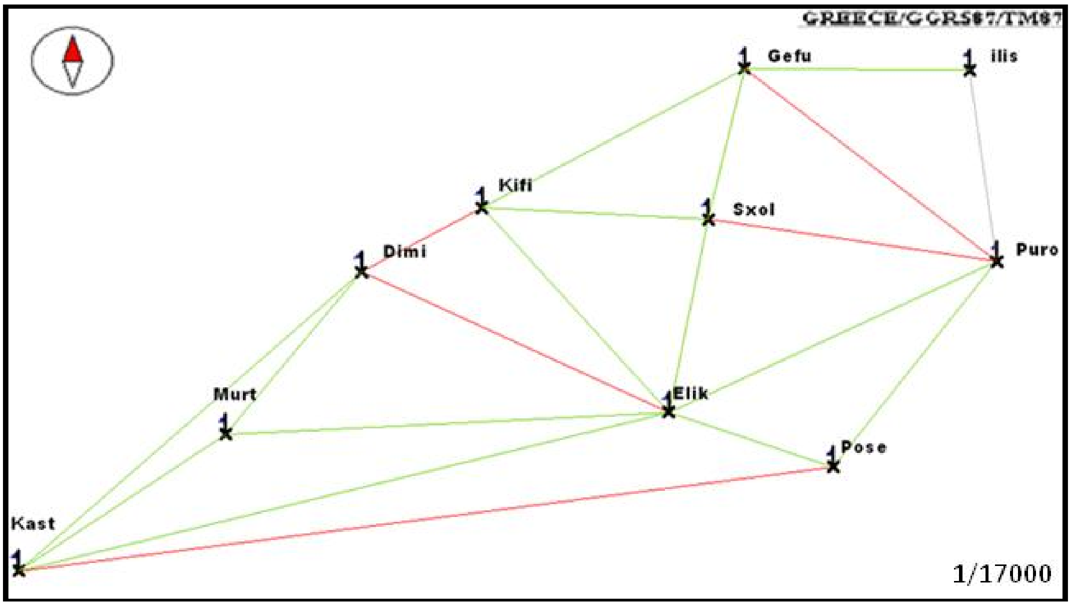
Πίνακας 7.6: Τελικές γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου ελέγχου (71 βάσεις)

Table 7.6: Adjusted geodetic coordinates of the control network’s points (71 baselines)

7.3.4 Επίλυση χωρίς διασταυρούμενες βάσεις

Αυτή την επίλυση είναι όμοια σχεδόν με την προηγούμενη, μόνο που χρησιμοποιήθηκε πολύ μικρότερος αριθμός βάσεων. Επιπλέον, οι βάσεις αυτές που χρησιμοποιήθηκαν δε διασταυρώνονται/τέμνονται, ώστε τελικώς να δημιουργείται ένα δίκτυο με πεπερασμένο αριθμό τριγώνων. Ως σταθερή κορυφή θα θεωρηθεί το βάθρο του Λαμπαδαρίου με το οποίο συνδέθηκαν οι κορυφές Γέφυρα, Καστέλα και Ποσειδώνος ενώ στην επίλυση συμμετείχαν και οι αντίστοιχες βάσεις από το τριγωνομετρικό Αιξωνή. Τμήμα του δικτύου που επιλύθηκε παρουσιάζεται στην *Εικόνα 7.6* (χωρίς τις μεγάλες βάσεις). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους *Πίνακες 7.7* και *7.8*.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των δύο επιλύσεων είναι εμφανές ότι αυτά διαφέρουν ελάχιστα. Πιο συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη διαφορά τόσο κατά Ε όσο και κατά Ν εντοπίζεται στις κορυφές Ποσειδώνος και Γέφυρα και ισούται και στις δύο περιπτώσεις με 5 mm. Αξιοσημείωτη διαφορά παρουσιάζουν οι τιμές των αβεβαιοτήτων οι οποίες είναι σημαντικά μικρότερες. Ειδικότερα στην κορυφή Κηφισός η αβεβαιότητα στον υπολογισμό του υψομέτρου μειώθηκε από ±14mm σε ±9mm.



Εικόνα 7.6: Γεωμετρία δικτύου χωρίς διασταυρούμενες βάσεις (33 βάσεις). Με πράσινο οι βάσεις που πέρασαν τον έλεγχο ποιότητας, ενώ με κόκκινο αυτές που δεν πέρασαν.

Figure 7.6: Network geometry without any intersecting bases (33 baselines). The bases that passed the quality control are depicted in green, while the others in red.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	E(m)	N(m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	**480537.220 ± 0.000**	**4202800.617 ± 0.000**
ΑΙΞΩΝΗ	480782.470 ± 0.002	4190640.745 ± 0.002
ΚΑΣΤΕΛΑ	469604.720 ± 0.003	4198912.117 ± 0.003
ΣΧΟΛΕΙΟ	471754.380 ± 0.004	4200004.408 ± 0.004
ΓΕΦΥΡΑ	471868.190 ± 0.004	4200473.551 ± 0.004
ΙΛΙΣΟΣ	472569.016 ± 0.003	4200472.985 ± 0.002
ΕΛΙΚΑΣ	471631.897 ± 0.004	4199402.172 ± 0.003
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	470676.151 ± 0.004	4199840.774 ± 0.004
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	470252.046 ± 0.003	4199334.750 ± 0.002
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	472141.140 ± 0.004	4199230.503 ± 0.003
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	472651.089 ± 0.005	4199871.619 ± 0.004
ΚΗΦΙΣΟΣ	471049.745 ± 0.005	4200039.113 ± 0.006

Πίνακας 7.7: Τελικές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου GNSS (33 βάσεις) στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή του ΕΓΣΑ87

Table 7.7: Adjusted coordinates of the GNSS network points (33 baselines) in the projection of GGRS87

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	φ	λ	h(m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	**37° 58’ 21.44174”**	**23° 46’ 42.25437”**	**215.370 ± 0.000**
ΑΙΞΩΝΗ	37° 51’ 46.91335”	23° 46’ 53.47460”	381.118± 0.004
ΚΑΣΤΕΛΑ	37° 56’ 14.19391”	23° 39’ 14.74810”	91.780 ± 0.005
ΣΧΟΛΕΙΟ	37° 56’ 49.88438”	23° 40’ 42.66094”	9.735 ± 0.006
ΓΕΦΥΡΑ	37° 57’ 5.11901”	23° 40’ 47.25807”	13.635 ± 0.006
ΙΛΙΣΟΣ	37° 57’ 5.17782”	23° 41’ 15.97512”	16.355 ± 0.005
ΕΛΙΚΑΣ	37° 56’ 30.33035”	23° 40’ 37.72788”	8.822 ± 0.005
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	37° 56’ 44.45207”	23° 39’ 58.50616”	9.829 ± 0.005
Π.ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	37° 56’ 27.98387”	23° 39’ 41.20480”	9.198 ± 0.004
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	37° 56’ 24.81706”	23° 40’ 58.61575”	9.610 ± 0.006
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	37° 56’ 45.67467”	23° 41’ 19.42046”	10.852 ± 0.009
ΚΗΦΙΣΟΣ	37° 56’ 50.93055”	23° 40’ 13.78455”	10.073 ± 0.009

Πίνακας 7.8: Τελικές γεωδαιτικές συντεταγμένες των σημείων του δικτύου GNSS (33 βάσεις)
Table 7.8: Adjusted geodetic coordinates of the GNSS network points (33 baselines)

7.4 ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ

Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών λογισμικών επεξεργασίας δορυφορικών μετρήσεων έχει δείξει ότι τα τελικά αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν από λίγα χιλιοστά έως και λίγα εκατοστά, λόγω του διαφορετικού τρόπου επεξεργασίας των αρχικών δεδομένων και των διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιεί το κάθε λογισμικό (Τσίνη 2002). Δυστυχώς, όποιο λογισμικό και αν επιλεγεί για την επεξεργασία των δορυφορικών μετρήσεων, κοινό σημείο όλων είναι ότι ο χρήστης ελάχιστα μπορεί να επέμβει στη διαδικασία επεξεργασίας των βάσεων και ουσιαστικά καθόλου στη διαδικασία της συνόρθωσης. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε συμπληρωματικά συνόρθωση με την ανάπτυξη κώδικα Matlab για το κάθε δίκτυο που επιλύθηκε με το λογισμικό GNSS Solutions.

Ως παρατηρήσεις (δl) θεωρήθηκαν οι συνιστώσες κάθε βάσης (ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ), στο WGS84 όπως αυτές προέκυψαν από την επεξεργασία των βάσεων με το λογισμικό GNSS Solutions. Τα αποτελέσματα αυτά συνδέονται γραμμικά με τις άγνωστες καθοριστικές παραμέτρους (Χ, Υ, Ζ). Το σύστημα των κανονικών εξισώσεων έχει σε κάθε συνόρθωση τριπλάσιο αριθμό εξισώσεων από τις βάσεις που χρησιμοποιούνται σε κάθε συνόρθωση. Ο πίνακας των μετρήσεων δl και ο πίνακας σχεδιασμού Α εισάγονται στο πρόγραμμα με τη μορφή πινάκων του Microsoft Office Excel. Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για τη συνόρθωση και ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας για κάθε συνόρθωση δίνονται στο Παράρτημα.

Στη συνέχεια οι ορθογώνιες καρτεσιανές συντεταγμένες (Χ, Υ, Ζ) των κορυφών πρέπει να μετατραπούν σε προβολικές συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ87. Πρώτο βήμα είναι η μετατροπή των συντεταγμένων από το WGS 84 στο ΕΓΣΑ87. Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται μέσω του διανύσματος μετάθεσης (ΔΧ, ΔΥ, ΔΖ) μεταξύ των δύο συστημάτων (Παράρτημα). Ακολουθεί η μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων σε ελλειψοειδείς μέσω των παρακάτω σχέσεων.

$$\varphi = \arctan\left(\frac{Z+e^2 \cdot N \cdot \sin\varphi}{\sqrt{X^2+Y^2}}\right) \quad (7.5)$$

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (7.6)$$

$$h = \left(\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{\cos\varphi}\right) - N \quad (7.7)$$

όπου $N = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2 \cdot \sin^2\varphi)}}$ η ακτίνα καμπυλότητας της πρώτης κάθετης τομής,

$e^2 = 0{,}00669438$ και

α ο μεγάλος ημιάξονας του ελλειψοειδούς.

Στη συνέχεια οι ελλειψοειδείς συντεταγμένες μετατρέπονται σε προβολικές με βάση τις εξισώσεις απεικόνισης της Εγκάρσιας Μερκατορικής προβολής *(Φωτίου & Λιβιεράτος 2000).* Στις παρακάτω εξισώσεις χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι τρεις πρώτοι όροι για τον υπολογισμό των συντεταγμένων:

$$N = m_o S_\varphi + m_o N\left[\frac{\Delta\lambda^2}{2}sin\varphi cos\varphi + \frac{\Delta\lambda^4}{24}sin\varphi cos^3\varphi(5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{\Delta\lambda^6}{720}sin\varphi cos^5\varphi(61 - 58t^2 + t^4 + 720\eta^4 - 330t^2\eta^2 + 445\eta^4 + 324\eta^6 - 680t^2\eta^4 + 88\eta^8 - 600t^2\eta^6 - 192t^2\eta^8)\right] \quad (7.8)$$

$$E = m_o N\left[\Delta\lambda cos\varphi + \frac{\Delta\lambda^3}{6}cos^3\varphi(1 - t^2 + \eta^2) + \frac{\Delta\lambda^5}{120}cos^5\varphi(5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^4 - 58t^2\eta^2 + 13\eta^4 + 4\eta^6 - 64t^2\eta^4 - 24t^2\eta^6)\right] + c \quad (7.9)$$

όπου $m_o = 0.9996$ το μέτρο γραμμικής παραμόρφωσης

$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_o$, όπου $\lambda_o = 24^o$

$S_\varphi = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2 sin^2\varphi)^3}}$ το μήκος τόξου μεσημβρινού, όπου $e^2 = 0.669438$

N η ακτίνα καμπυλότητας της πρώτης κάθετης τομής

$t = tan\varphi$

$\eta = e'^2 cos^2\varphi$, όπου $e'^2 = 0.006739497$

$c = 500000$

Μελετώντας τα αποτελέσματα του κώδικα παρατηρείται ότι οι τελικές συντεταγμένες είναι όμοιες με αυτές που έδωσε το λογισμικό GNSS Solutions με μέγιστη διαφορά τα 3mm τα οποία εντοπίζονται στα σημεία Κηφισός, Έλικας και Πυροσβεστική στην περίπτωση της συνόρθωσης με όλες τις βάσεις. Οι διαφορές αυτές αποδίδονται στις μετατροπές από το ένα σύστημα αναφοράς στο άλλο και στην επιλογή να μη χρησιμοποιηθούν όλοι οι παράγοντες στη σχέση υπολογισμού του Ν και του Ε. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Τέλος, υπολογίζεται από τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότας V_{XYZ} ο πίνακας V_{ENh}. Ο πίνακας V_{ENh} προκύπτει σε δύο στάδια χρησιμοποιώντας το Νόμο Μετάδοσης Μεταβλητοτήτων. Αρχικά, δημιουργείται ο Ιακωβιανός πίνακα $J_{\varphi\lambda h,XYZ}$

των αντίστοιχων σχέσεων μετατροπής συντεταγμένων και υπολογίζεται ο πίνακας $V_{\varphi\lambda h}$ από τη σχέση $V_{\varphi\lambda h} = J_{\varphi\lambda h,XYZ} \cdot V_{XYZ} \cdot J^T_{\varphi\lambda h,XYZ}$. Στη συνέχεια, δημιουργείται ο Ιακωβιανός πίνακα $J_{ENh,\varphi\lambda h}$ των αντίστοιχων σχέσεων σχέσεων μετατροπής συντεταγμένων και υπολογίζεται ο πίνακας V_{ENh} από τη σχέση $V_{ENh} = J_{ENh,\varphi\lambda h} \cdot V_{XYZ} \cdot J^T_{ENh,\varphi\lambda h}$.

7.5 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΑ

Για τη μετατροπή των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο τοπικού γεωειδούς που δημιουργήθηκε το 2008 για την περιοχή μελέτης *(Καραθανάση 2008)*. Η εξίσωση που περιγράφει το επίπεδο με το οποίο προσεγγίζεται το τοπικό μοντέλο γεωειδούς είναι:

$$N = 1.1751176970 \cdot 10^{-5}\, E - 1.8243611152 \cdot 10^{-5}\, N + 78.3477939 \qquad (7.10)$$

όπου (E,N) οι συντεταγμένες των σημείων στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή του ΕΓΣΑ87.

Από την παραπάνω εξίσωση προσδιορίζονται τα υψόμετρα του γεωειδούς για τις εννέα κορυφές του δικτύου από την παραπάνω εξίσωση προκειμένου να υπολογιστούν τα ορθομετρικά τους υψόμετρα και να ελεγχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές κατακόρυφες μετακινήσεις στο διάστημα 2008-2012. Σύμφωνα με τη γνωστή σχέση $H=h-N$ που συνδέει το ορθομετρικό υψόμετρο H με το γεωμετρικό υψόμετρο h και το υψόμετρο του γεωειδούς N, υπολογίζονται τα ορθομετρικά υψόμετρα και παρουσιάζονται στον *Πίνακα 7.9*. Οι αβεβαιότητες των ορθομετρικών υψομέτρων προκύπτουν εφαρμόζοντας το Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων στην παραπάνω σχέση υπολογισμού του ορθομετρικού υψομέτρου.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	h(m)	N(m)	H(m)
ΣΧΟΛΕΙΟ	9.749 ± 0.008	7.268 ± 0.004	2.481 ± 0.009
ΓΕΦΥΡΑ	13.645 ± 0.006	7.261 ± 0.007	6.384 ± 0.009
ΙΛΙΣΟΣ	16.366 ± 0.005	7.269 ± 0.008	9.097 ± 0.009
ΕΛΙΚΑΣ	8.831 ± 0.006	7.278 ± 0.006	1.553 ± 0.008
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	9.840 ± 0.006	7.259 ± 0.007	2.581 ± 0.009
Π.ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	9.208 ± 0.004	7.263 ± 0.009	1.945 ± 0.010
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	9.617 ± 0.006	7.287 ± 0.009	2.330 ± 0.011
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	10.860 ± 0.010	7.281 ± 0.007	3.579 ± 0.012
ΚΗΦΙΣΟΣ	10.087 ± 0.014	7.259 ± 0.006	2.828 ± 0.015

Πίνακας 7.9: Γεωμετρικά υψόμετρα, ορθομετρικά υψόμετρα, υψόμετρα του γεωειδούς με τις αβεβαιότητές τους

Table 7.9: Geometric, orthometric and geoid undulations of the GNSS network’s points together with their accuracies

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^{Ο} – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό υπολογίστηκε αρχικά το διάνυσμα μεταβολής της θέσης των κορυφών του δικτύου ελέγχου τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά. Στη συνέχεια, με κατάλληλη στατιστική επεξεργασία ελέγχθηκε αν η μεταβολή που προκύπτει είναι στατιστικά σημαντική με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ή αν οφείλεται στο θόρυβο των μετρήσεων. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των συντεταγμένων για τα χρονικά διαστήματα 2002-2012 και 2008-2012, όπου οι αρχικές συνθήκες των δικτύων ήταν οι ίδιες και, άρα, η σύγκριση ήταν εφικτή.

8.2 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

8.2.1 Κατακόρυφες μετακινήσεις

Ο εντοπισμός των διαφορών των ορθομετρικών υψομέτρων μεταξύ των κορυφών του δικτύου της περιοχής μελέτης προέκυψε μέσα από τη σύγκριση των τελικών υψομέτρων Η των κοινών σημείων του δικτύου τριών χρονικών φάσεων. Πιο συγκεκριμένα, τα ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου προσδιορίστηκαν το 2002 και το 2008 με Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση από κοντινές υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου κατακορύφου ελέγχου. Εν συνεχεία, προσδιορίστηκε το γεωμετρικό υψόμετρο και για τα δύο παραπάνω έτη με δορυφορικές παρατηρήσεις, ενώ το 2008 τα ορθομετρικά υψόμετρα υπολογίσθηκαν και από τα αντίστοιχα γεωμετρικά με βάση την εξίσωση του επιπέδου.

Σημειώνεται ότι μολονότι τα γεωμετρικά υψόμετρα είναι τα πρωτογενή στοιχεία, επιδιώκεται η μετατροπή τους σε ορθομετρικά, και μέσω αυτών η ανίχνευση των κατακόρυφων μετακινήσεων, διότι αναφέρονται σε επιφάνεια αναφοράς με φυσικό νόημα (Μ.Σ.Θ.) σε αντίθεση με την επιφάνεια στην οποία αναφέρονται τα γεωμετρικά υψόμετρα (GRS80). Για το λόγο αυτό όλες οι συγκρίσεις που θα πραγματοποιηθούν παρακάτω είναι μεταξύ ορθομετρικών υψομέτρων

Συνοψίζοντας τις παραπάνω περιπτώσεις, φαίνεται ότι μεταξύ των χρονικών φάσεων 2008 και 2012 είναι δυνατές δύο συγκρίσεις μεταξύ ορθομετρικών υψομέτρων. Στην πρώτη περίπτωση θα προσδιοριστούν οι κατακόρυφες μετακινήσεις των κορυφών υπολογίζοντας τις μεταβολές των υψομέτρων των κορυφών $\delta H_{GNSSi}^{2008-2012}$ με χρήση των δορυφορικών παρατηρήσεων από τη σχέση:

$$\delta H_{GNSSi}^{2008-2012} = H_{GNSSi}^{2012} - H_{GNSSi}^{2008} \quad (8.1)$$

όπου, H_{GNSSi}^{2008} και H_{GNSSi}^{2012} τα υψόμετρα της κορυφής i τα έτη 2008 και 2012 αντίστοιχα όπως προέκυψαν από τη σχέση $H_{GNSS} = h_{GNSS} - N^{Εξ.Επ.}$. Είναι φανερό ότι εφόσον ισχύει ότι $N_{2002}^{Εξ.Επ.} = N_{2008}^{Εξ.Επ.}$ άρα ισχύει ότι:

$$\delta H_{GNSSi}^{2008-2012} = \delta h_{GNSSi}^{2008-2012} = h_{GNSSi}^{2012} - h_{GNSSi}^{2008} \quad (8.2)$$

Στην ουσία δηλαδή, στη συγκεκριμένη περίπτωση, η μεταβολής των ορθομετρικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου ισούται με τη μεταβολή των γεωμετρικών υψομέτρων. Στον *Πίνακα 8.1* παρουσιάζονται οι τιμές των ορθομετρικών υψομέτρων για τα έτη 2008 και 2012 και οι αντίστοιχες μεταβολές. Η αβεβαιότητα της $\sigma_{\delta H_{GNSSi}^{2008-2012}}$ προκύπτει εφαρμόζοντας στην παραπάνω σχέση το Νόμο Μετάδοσης Μεταβλητοτήτων.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	$\overline{H}_{GNSS}^{2008}$ (m)	$\overline{H}_{GNSS}^{2012}$ (m)	$\overline{\delta H}_{GNSS}^{2008-2012}$ (m)
ΣΧΟΛΕΙΟ	2.476 ± 0.008	2.481 ± 0.009	0.005 ± 0.012
ΓΕΦΥΡΑ	6.372 ± 0.009	6.384 ± 0.009	0.012 ± 0.013
ΙΛΙΣΟΣ	9.086 ± 0.010	9.097 ± 0.009	0.011 ± 0.013
ΕΛΙΚΑΣ	1.548 ± 0.008	1.553 ± 0.008	0.005 ± 0.011
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	2.573 ± 0.008	2.581 ± 0.009	0.008 ± 0.012
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	1.942 ± 0.010	1.945 ± 0.010	0.003 ± 0.014
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	2.333 ± 0.011	2.330 ± 0.011	-0.003 ± 0.016
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	3.572 ± 0.018	3.579 ± 0.012	0.007 ± 0.022
ΚΗΦΙΣΟΣ	2.824 ± 0.013	2.828 ± 0.015	0.004 ± 0.020

Πίνακας 8.1: Ορθομετρικά υψόμετρα για τα έτη 2008 και 2012 και οι αντίστοιχες μετακινήσεις
Table 8.1: Orthometric heights for the years 2008 and 2012 and the corresponding vertical displacements

Η στατιστική σημαντικότητα της μεταβολής για κάθε κορυφή ελέγχθηκε με βάση την κανονική κατανομή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% από την παρακάτω σχέση:

$$\left|\delta H_{GNSSi}^{2008-2012}\right| \geq \left|\sigma_{\delta H_{GNSSi}^{2008-2012}}\right| \cdot z_{95\%} \quad (8.3)$$

όπου $\sigma_{\delta H_{GNSSi}^{2008-2012}}$ η αβεβαιότητα της μεταβολής των ορθομετρικών υψομέτρων

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

Από τον έλεγχο διαπιστώθηκε ότι καμία μετακίνηση δεν είναι στατιστικά σημαντική για το διάστημα 2008-2012. (*Πίνακας 8.2*)

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	$\delta_{H_{GNSS}}^{2008-2012}$ **(m)**	$\sigma_{\delta H2008-2012}$	$\lvert\sigma_{\delta H2008-2012}\rvert \cdot z_{95\%}$
ΣΧΟΛΕΙΟ	0.005	± 0.012	0.024
ΓΕΦΥΡΑ	0.012	± 0.013	0.025
ΙΛΙΣΟΣ	0.011	± 0.013	0.025
ΕΛΙΚΑΣ	0.005	± 0.011	0.022
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	0.008	± 0.012	0.024
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	0.003	± 0.014	0.027
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	-0.003	± 0.016	0.031
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	0.007	± 0.022	0.043
ΚΗΦΙΣΟΣ	0.004	± 0.020	0.039

Πίνακας 8.2: Ελεγχος της σημαντικότητας (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) των κατακόρυφων μετακινήσεων των κορυφών του δικτύου για το διάστημα 2008-2012 να σημειωθούν με bold οι στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις

Table 8.2: Test of the significance (95% confidence level) of the vertical displacements of the network's points for the time interval 2008-2012 (the statistically significant vertical displacements are depicted with bold characters)

Συγκρίνοντας τα υψόμετρα που πρόεκυψαν το 2002 από τη μέτρηση του δικτύου με χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων και μετατρέποντας τα σε ορθομετρικά, προκύπτει ότι δεν διαπιστώνονται στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις.

Στη δεύτερη περίπτωση θα προσδιοριστούν οι κατακόρυφες μετακινήσεις των κορυφών υπολογίζοντας τη μεταβολή του υψομέτρου $\delta H_{GNSS-\Gamma.X.}^{2008-2012}$ για κάθε κορυφή με χρήση των αποτελεσμάτων των δορυφορικών μετρήσεωνγια το έτος 2012 και των αποτελεσμάτων της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης για το έτος 2008 με βάση τη σχέση:

$$\delta H_{GNSS-Γ.Χ.}^{2008-2012} = H_{GNSS}^{2012} - H_{Γ.Χ.}^{2008} \quad (8.4)$$

Στον *Πίνακα 8.3* παρουσιάζονται οι τιμές των παραπάνω μεγεθών για τα έτη 2008 και 2012 και οι διαφορές τους για το διάστημα 2008-2012. Η αβεβαιότητα της μεταβολής των ορθομετρικών υψομέτρων $\sigma_{\delta H_{GNSS-Γ.Χ.}^{2008-2012}}$ προκύπτει εφαρμόζοντας στην παραπάνω σχέση το Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	$H_{Γ.Χ.}^{2008}$ (m)	H_{GNSS}^{2012} (m)	$\delta H_{GNSS-Γ.Χ.}^{2008-2012}$ (m)
ΣΧΟΛΕΙΟ	2.461 ± 0.001	2.481 ± 0.009	0.020 ± 0.009
ΓΕΦΥΡΑ	6.373 ± 0.001	6.384 ± 0.009	0.011 ± 0.009
ΙΛΙΣΟΣ	9.077 ± 0.001	9.097 ± 0.009	0.020 ± 0.009
ΕΛΙΚΑΣ	1.545 ± 0.001	1.553 ± 0.008	0.008 ± 0.008
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	2.569 ± 0.001	2.581 ± 0.009	0.012 ± 0.009
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	1.942 ± 0.001	1.945 ± 0.010	0.003 ± 0.010
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	2.330 ± 0.001	2.330 ± 0.011	0.000 ± 0.011
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	3.588 ± 0.001	3.579 ± 0.012	-0.009 ± 0.012
ΚΗΦΙΣΟΣ	2.841 ± 0.001	2.828 ± 0.015	-0.013 ± 0.015

Πίνακας 8.3: Ορθομετρικά υψόμετρα για τα έτη 2008 και 2012 και οι αντίστοιχες μετακινήσεις
Table 8.3: Orthometric heights for the years 2008 and 2012 and the corresponding vertical displacements

Ομοίως με την προηγούμενη περίπτωση, εξετάζεται αν το διάνυσμα $\delta H_{GNSS-Γ.Χ.}^{2008-2012}$ εκφράζει κατακόρυφη μετακίνηση ή αν βρίσκεται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων με πιθανότητα 95%. Στον *Πίνακα 8.4* φαίνονται τα αποτελέσματα αυτού του ελέγχου.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	$\delta H_{GNSS-Γ.Χ.}^{2008-2012}$ **(m)**	$\sigma_{\delta H2008-2012}$ **(m)**	$\lvert\sigma_{\delta H2008-2012}\rvert \cdot z_{95\%}$ **(m)**
ΣΧΟΛΕΙΟ	**0.020**	± 0.009	0.018
ΓΕΦΥΡΑ	0.011	± 0.009	0.018
ΙΛΙΣΟΣ	**0.020**	± 0.009	0.018
ΕΛΙΚΑΣ	0.008	± 0.008	0.016
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	0.012	± 0.009	0.018
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	0.003	± 0.010	0.020
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	0.000	± 0.011	0.022
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	-0.009	± 0.012	0.024
ΚΗΦΙΣΟΣ	-0.013	± 0.015	0.029

Πίνακας 8.4: Ελεγχος της σημαντικότητας (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) των κατακόρυφων μετακινήσεων των κορυφών του δικτύου για το διάστημα 2008-2012 (οι στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις σημειώνονται με κόκκινους χαρακτήρες)

Table 8.4: Test of the significance (95% confidence level) of the vertical displacements of the network's points for the time interval 2008-2012 (the statistically significant vertical displacements are depicted with red characters)

Μελετώντας τον πίνακα αυτό, παρατηρείται ότι οι μεταβολές των τιμών των ορθομετρικών υψομέτρων είναι στατιστικά σημαντικές για τις κορυφές Σχολείο και Ιλισός, ενώ οι υπόλοιπες κορυφές δεν έχουν υποστεί κατακόρυφη μετακίνηση. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες μετακινήσεις δεν μπορούν να θεωρηθούν ως τέτοιες με βεβαιότητα αφού για τον προσδιορισμό τους χρησιμοποιούνται υψόμετρα προσδιορισμένα με δυο διαφορετικές μεθοδολογίες (Γεωμετρική Χωροστάθμηση – Δορυφορικές μετρήσεις).

Τέλος, θα εξεταστεί αν η διαφορά των αποτελεσμάτων των δύο συγκρίσεων $|\Delta(\delta H)|$ είναι στατιστικά σημαντική με πιθανότητα 95%. Όπου $|\Delta(\delta H)|$ ορίζεται το μέγεθος:

$$|\Delta(\delta H)| = \left|\delta H_{GNSS-Γ.Χ.}^{2008-2012} - \delta H_{GNSS}^{2008-2012}\right| \quad (8.5)$$

Η αβεβαιότητα της διαφοράς προκύπτει εφαρμόζοντας το Νόμο Μετάδοσης Σφαλμάτων στην παραπάνω σχέση.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	$\lvert\Delta(\delta H)\rvert$ (m)	$\sigma_{\Delta(\delta H)}$ (m)	$\lvert\sigma_{\Delta(\delta H)}\rvert \cdot z_{95\%}$ (m)
ΣΧΟΛΕΙΟ	0.015	± 0.015	0.029
ΓΕΦΥΡΑ	0.001	± 0.016	0.031
ΙΛΙΣΟΣ	0.009	± 0.016	0.031
ΕΛΙΚΑΣ	0.003	± 0.014	0.027
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	0.004	± 0.015	0.029
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	0.000	± 0.017	0.034
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	0.003	± 0.019	0.038
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	0.016	± 0.025	0.049
ΚΗΦΙΣΟΣ	0.017	± 0.025	0.049

Πίνακας 8.5: Οι διαφορές των τιμών των κατακόρυφων μετακινήσεων – Ελεγχος της σημαντικότητάς τους (95% ε.ε.)

Table 8.5: Differences in the values of vertical displacements – test of statistical significance (95% c.l.)

Μελετώντας τα στοιχεία του πίνακα παρατηρείται ότι ισχύει για όλες τις κορυφές η ανισότητα:

$$|\Delta(\delta H)| = \left|\delta H_{GNSS-Γ.Χ.}^{2008-2012} - \delta H_{GNSS}^{2008-2012}\right| < \left|\sigma_{\Delta(\delta H)}\right| \cdot z_{95\%} \quad (8.6)$$

Άρα οι διαφορές των τιμών των κατακόρυφων μετακινήσεων, όπως αυτές προσδιορίστηκαν με δύο διαφορετικές μεθόδους, δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για καμία από τις κορυφές του δικτύου με πιθανότητα 95%.

Η ανίχνευση των κατακόρυφων μετακινήσεων στο χρονικό διάστημα 2002 – 2012 είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μόνο για τα τέσσερα κοινά σημεία του δικτύου (Ιλισός, Σχολείο, Πυροσβεστική, Ποσειδώνος), τα ορθομετρικά υψόμετρα των οποίων προσδιορίστηκαν το 2002 με Διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση.

Τα ορθομετρικά υψόμετρα του δικτύου καθώς και οι αβεβαιότητες με τις οποίες προσδιορίστηκαν παρουσιάζονται στον *Πίνακα 8.6.* Στην τελευταία στήλη του πίνακα υπολογίζονται οι μεταβολές τους από τη σχέση:

$$δH^{2002-2012}_{GNSS-Γ.Χ.} = H^{2012}_{GNSS} - H^{2002}_{Γ.Χ.} \qquad (8.7)$$

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	$H^{2002}_{Γ.Χ.}$ (m)	H^{2012}_{GNSS} (m)	$δH^{2002-2012}_{GNSS-Γ.Χ.}$ (m)
ΣΧΟΛΕΙΟ	2.465 ± 0.001	2.481 ± 0.009	0.016 ± 0.009
ΙΛΙΣΟΣ	9.100 ± 0.001	9.097 ± 0.009	-0.003 ± 0.009
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	2.328 ± 0.001	2.330 ± 0.011	0.002 ± 0.011
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	3.585 ± 0.001	3.579 ± 0.012	-0.006 ± 0.012

Πίνακας 8.6: Ορθομετρικά υψόμετρα για τα έτη 2002 και 2012 οι αντίστοιχες μετακινήσεις στις κοινές κορυφές του δικτύου

Table 8.6: Orthometric heights for the years 2002 and 2012 and the corresponding vertical displacements at the common network's points

Ομοίως με τις προηγούμενες περιπτώσεις, εξετάζεται αν το διάνυσμα $δH^{2002-2012}_{GNSS-Γ.Χ.}$ εκφράζει κατακόρυφη μετακίνηση ή αν βρίσκεται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων με πιθανότητα 95%. Στον *Πίνακα 8.7* φαίνονται τα αποτελέσματα αυτού του ελέγχου.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	$δH^{2008-2012}_{GNSS-Γ.Χ.}$ (m)	$σ_{ΔH2008-2012}$ (m)	$\lvert σ_{ΔH2008-2012} \rvert \cdot z_{95\%}$ (m)
ΣΧΟΛΕΙΟ	0.016	± 0.009	0.018
ΙΛΙΣΟΣ	-0.003	± 0.009	0.018
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	0.002	± 0.011	0.022
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	-0.006	± 0.012	0.024

Πίνακας 8.7: Κατακόρυφες μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου για το διάστημα 2002-2012 - Ελεγχος της σημαντικότητάς τους (95% ε.ε.)

Table 8.7: Vertical displacements of the network's points during the time interval 2002-2012. Test of statistical significance (95% c.l.)

Μελετώντας τον πίνακα αυτό, παρατηρείται ότι οι μεταβολές των τιμών των ορθομετρικών υψομέτρων δεν είναι στατιστικά σημαντικές για καμία από τις κορυφές, άρα οι κορυφές δεν έχουν υποστεί κατακόρυφη μετακίνηση το διάστημα 2002-2012 με πιθανότητα 95%.

8.2.2 Οριζόντιες μετακινήσεις

Ο προσδιορισμός των οριζόντιων μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης έγινε με τη σύγκριση των τελικών συντεταγμένων των εννέα σημείων του δικτύου, όπως προέκυψαν για τα έτη 2008 και 2012. Το διάνυσμα της οριζόντιας μετακίνησης για κάθε μία από τις κορυφές του δικτύου δίνεται από τη σχέση:

$$r^{2008-2012} = \sqrt{(\delta E^{2008-2012})^2 + (\delta N^{2008-2012})^2} \Rightarrow$$

$$r^{2008-2012} = \sqrt{(E^{2012} - E^{2008})^2 + (N^{2012} - N^{2008})^2} \quad (8.8)$$

Για τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας των μετακινήσεων που προσδιορίζονται από τις παραπάνω σχέσεις πραγματοποιείται μονοδιάστατος έλεγχος μετακίνησης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιείται η έλλειψη σφάλματος της μετακίνησης και πραγματοποιείται έλεγχος με βάση τον οποίο συγκρίνεται το μέτρο της μετακίνησης r με τον μεγάλο ημιάξονα σ_{max} της έλλειψης της κάθε κορυφής πολλαπλασιασμένο με τον αντίστοιχο συντελεστή της τυποποιημένης κατανομής z για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Το r είναι μετακίνηση μόνο αν ισχύει η σχέση:

$$r > z_{95\%} \cdot \sigma_{max} \quad (8.9)$$

Εάν η παραπάνω σχέση δεν ισχύει, τότε η διαφορά r βρίσκεται μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων και δεν είναι δυνατό να θεωρηθεί με ασφάλεια ως μετακίνηση. Για τον υπολογισμό του μεγάλου ημιάξονα σ_{max} της έλλειψης της κάθε κορυφής χρειάζονται τα στοιχεία του πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του διανύσματος μετακίνησης $\hat{V}_r$, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$\hat{V}_r = \hat{V}^{2008} + \hat{V}^{2012} \quad (8.10)$$

όπου, $\hat{V}^{2008}$ ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας κατά το έτος 2008 και

$\hat{V}^{2012}$ ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας κατά το έτος 2012

Ελλείψει των απαραίτητων στοιχείων για το έτος 2008, θα γίνει η παραδοχή ότι:

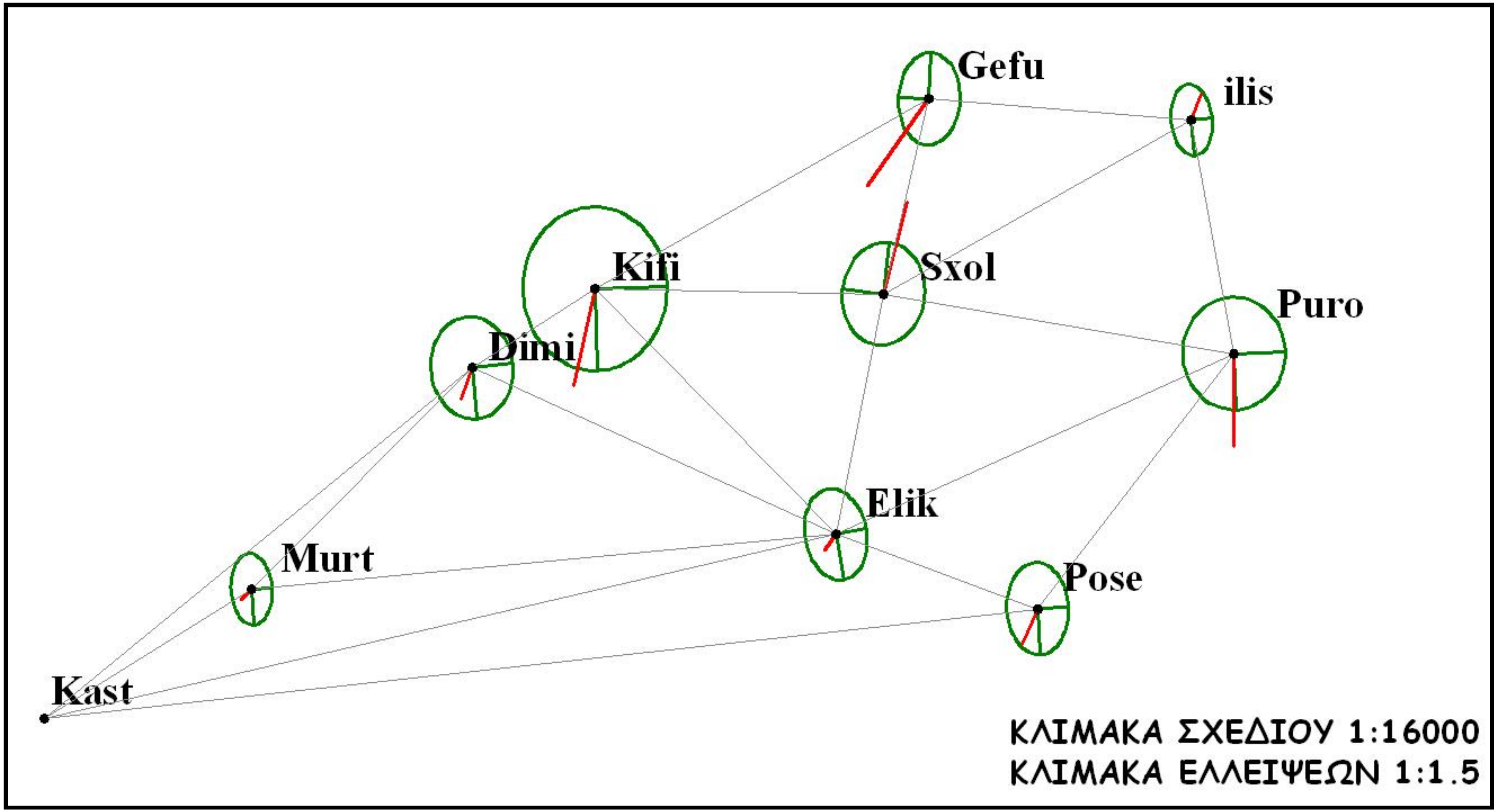
$$\hat{V}^{2008} = \hat{V}^{2012} \text{ και άρα } \hat{V}_r = 2 \cdot \hat{V}^{2008} \tag{8.11}$$

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις κατασκευάζεται ο *Πίνακας 8.8* με τις οριζόντιες μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου για το διάστημα 2008-2012, τους ημιάξονες της κάθε έλλειψης και της γωνίας διεύθυνσης του μεγάλου ημιάξονα.

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	$r^{2008\text{-}2012}$ (m)	σ_{max} (m)	$\lvert\sigma_{max}\rvert \cdot z_{95\%}$ (m)	σ_{min} (m)	α (grad)
ΣΧΟΛΕΙΟ	0.018	± 0.010	0.019	0.008	2.47
ΓΕΦΥΡΑ	**0.021**	± 0.009	0.018	0.006	3.17
ΙΛΙΣΟΣ	0.005	± 0.007	0.014	0.004	195.57
ΕΛΙΚΑΣ	0.004	± 0.009	0.018	0.006	198.61
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	0.006	± 0.010	0.020	0.008	197.53
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	0.003	± 0.007	0.014	0.004	195.57
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	0.008	± 0.009	0.018	0.006	196.83
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	0.018	± 0.011	0.022	0.010	198.41
ΚΗΦΙΣΟΣ	0.019	± 0.016	0.031	0.014	198.51

Πίνακας 8.8: Οριζόντιες μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου το διάστημα 2008-2012
Table 8.8: Horizontal displacements of the network's points for the time interval 2008-2012.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η σύγκριση με τις αντίστοιχες συντεταγμένες των κορυφών του εν λόγω δικτύου για το χρονικό διάστημα 2002-2012 δεν είναι εφικτή, διότι δεν έχουν προκύψει από επιλύσεις δικτύων με ίδιες αρχικές συνθήκες (κοινές κορυφές και ίδιος αριθμός παρατηρήσεων).



Εικόνα 8.1: Τα διανύσματα μετακίνησης και οι αντίστοιχες ελλείψεις σφάλματος μετακίνησης για επίπεδο εμπιστοσύνης 39.4%

Figure 8.1: Horizontal displacement vectors and error ellipses for 39.4% confidence level

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9Ο – ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

7.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

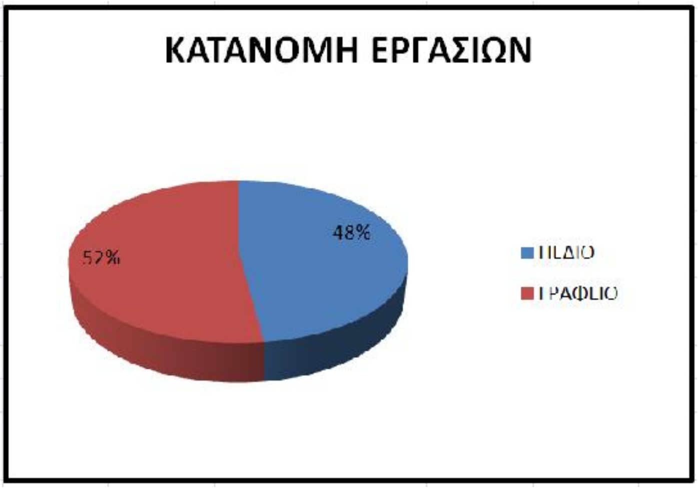
Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ακολουθήθηκαν συγκεκριμένα στάδια μελέτης, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια με τη χρονολογική σειρά που εκτελέστηκαν. Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στο τέλος σε διάγραμμα Gantt (*Πίνακας 9.1*).

Αρχικά, πριν από την έναρξη των μετρήσεων, έγιναν κάποιες εργασίες οι οποίες αφορούν την αναγνώριση της περιοχής μελέτης και την εύρεση των κορυφών του δικτύου GNSS. Η αναζήτηση και ο εντοπισμός των κορυφών πραγματοποιήθηκε με τη συλλογή πληροφοριών από παλαιότερη διπλωματική εργασία, η οποία διαθέτει φωτογραφικό υλικό και ακριβή περιγραφή της θέσης των κορυφών του δικτύου. Η εν λόγω διαδικασία διήρκησε συνολικά 4 ημέρες, με μέσο όρο τέσσερις ώρες εργασίας υπαίθρου κάθε ημέρα.

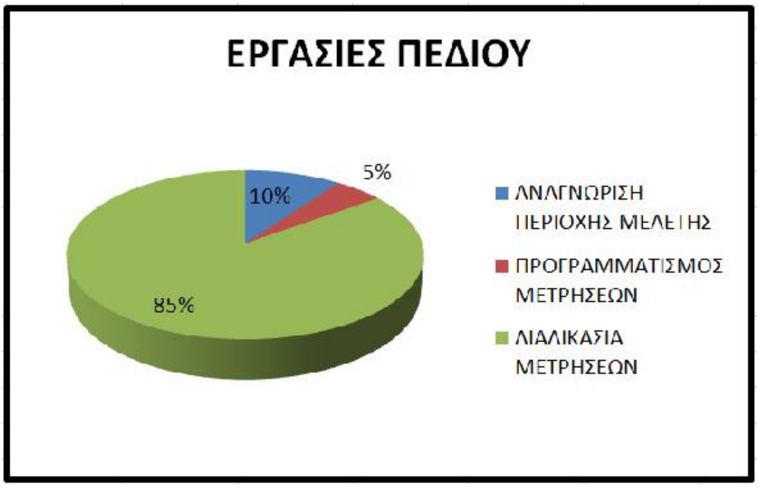
Ακολούθησε η διαδικασία προγραμματισμού των μετρήσεων (4 ανθρωποημέρες) και οι εργασίες πεδίου με τη διαδικασία μέτρησης των βάσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου GNSS, για τις οποίες απαιτήθηκαν συνολικά 34 ημέρες. Κατά μέσο όρο εκτελούνταν ημερησίως 3 μετρήσεις βάσεων με 6 ώρες εργασίας υπαίθρου.

Η επεξεργασία των μετρήσεων ολοκληρώθηκε σε 45 ημέρες και περιλαμβάνει τη συνόρθωση του δικτύου με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων με τη βοήθεια του λογισμικού GNSS Solutions αλλά και την δημιουργία κώδικα Matlab για τη συνόρθωση του δικτύου. Τέλος, για τη σύνταξη του τεύχους της διπλωματικής εργασίας και τη σύγκριση με τα παλαιότερα αποτελέσματα χρειάστηκαν συνολικά 42 ημέρες.

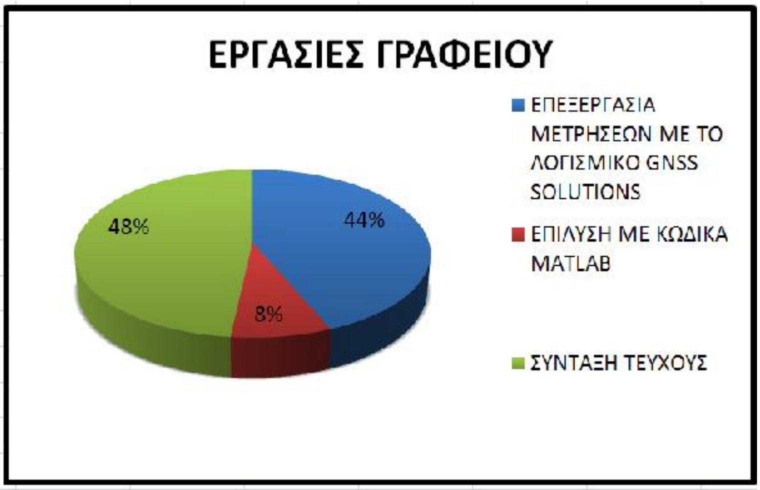
Τέλος, παρουσιάζεται η κατανομή των εργασιών για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίες σε ανθρωποημέρες. Πιο αναλυτικά, απαιτήθηκαν συνολικά 76 ανθρωποημέρες για τις εργασίες πεδίου, οι οποίες αφορούν την αναζήτηση και τον εντοπισμό των κορυφών (4 ανθρωποημέρες) και τη διαδικασία των μετρήσεων (68 ανθρωποημέρες). Οι εργασίες στο γραφείο διήρκησαν 87 ανθρωποημέρες. Στις εργασίες αυτές περιλαμβάνεται η επεξεργασία και η συνόρθωση του δικτύου με το κατάλληλο λογισμικό (41 ανθρωποημέρες), η δημιουργία κώδικα Matlab για τη συνόρθωση του δικτύου (4 ανθρωποημέρες), ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων (2 ανθρωποημέρες) και η σύνταξη του τεύχους (40 ανθρωποημέρες).



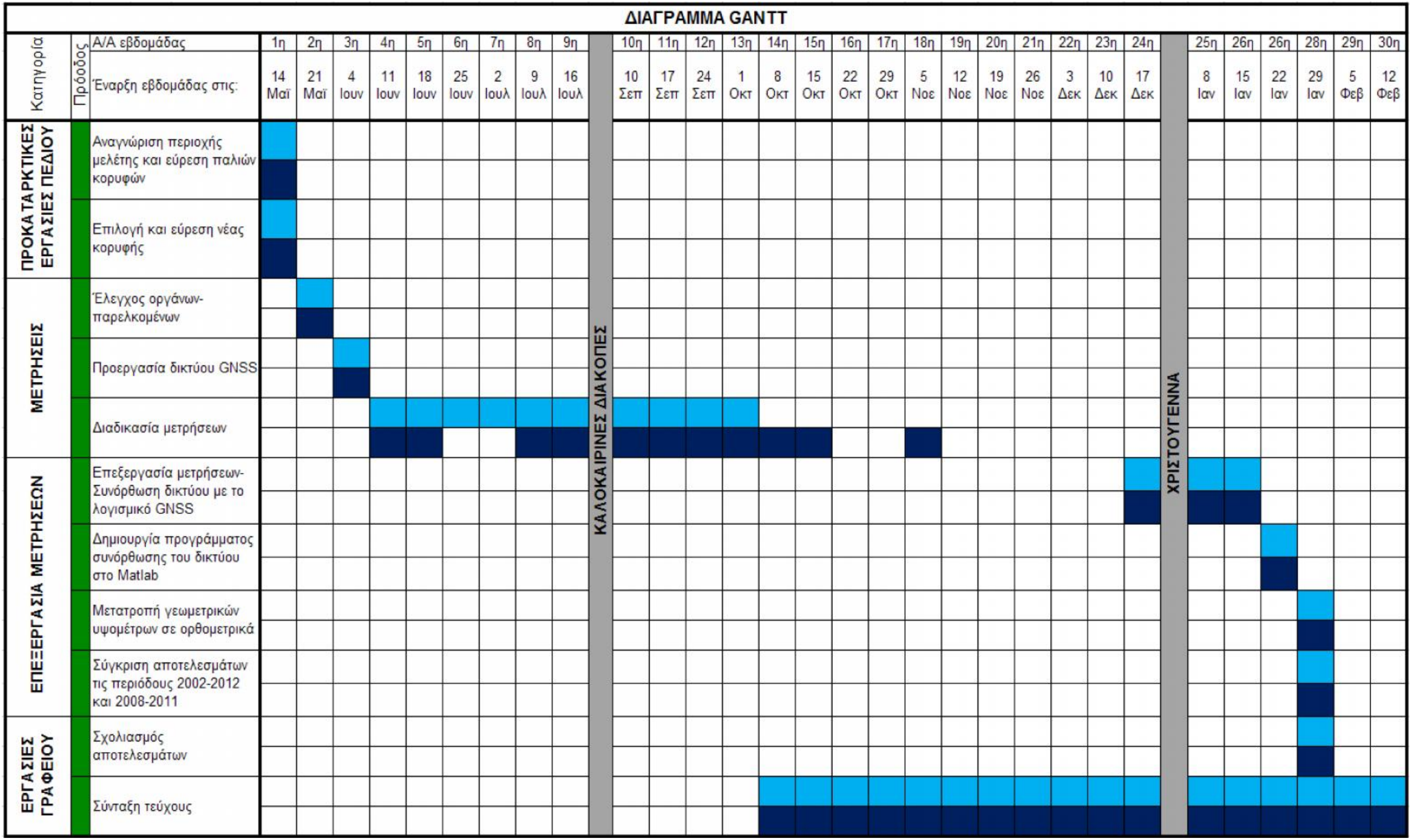
Γράφημα 9.1: Η κατανομή εργασιών της διπλωματικής
Graph 9.1: Work distribution during the dissertation



Γράφημα 9.2: Η κατανομή των εργασιών πεδίου
Graph 9.2: Field work distribution



Γράφημα 9.3: Η κατανομή των εργασιών γραφείου
Graph 9.3: Office work distribution



Πίνακας 9.1: Διάγραμμα Gant

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^{Ο} – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά τις **μετακινήσεις των κορυφών** του δικτύου μεταξύ των τριών χρονικών φάσεων (2002, 2008 και 2012) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Από τη σύγκριση των ορθομετρικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% για την περίοδο 2008-2012 διαπιστώνεται ότι αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές και άρα οι κορυφές δεν έχουν υποστεί κατακόρυφη μετακίνηση για το διάστημα 2008-2012. Σημειώνεται ότι σε αυτή την περίπτωση τα ορθομετρικά υψόμετρα προέκυψαν μετασχηματίζοντας τα γεωμετρικά υψόμετρα του δικτύου GNSS σε ορθομετρικά με χρήση της εξίσωσης του επιπέδου.
- Από τη σύγκριση των ορθομετρικών υψομέτρων των τεσσάρων κοινών κορυφών του δικτύου για την περίοδο 2002-2012 και για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% διαπιστώνεται ότι οι κορυφές αυτές δεν έχουν υποστεί κατακόρυφη μετακίνηση για το διάστημα 2002-2012.
- Συγκρίνοντας τις συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου για τη χρονική περίοδο 2008-2012 και για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% προκύπτει οριζόντια μετακίνηση μόνο για την κορυφή Γέφυρα (21mm).
- Συγκρίνοντας τις συντεταγμένες του 2012 για την κορυφή Καστέλα, όπως προέκυψαν από την επίλυση της βάσης Λαμπαδάριο-Καστέλα, με τις αντίστοιχες συντεταγμένες του 2008, προκύπτει οριζόντια μετακίνηση(1.9cm) η οποία είναι στατιστικά σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Πραγματοποιώντας τον ίδιο έλεγχο υψομετρικά προκύπτει ότι η διαφορά των 0.01cm είναι μέσα στα όρια του θορύβου.

Σχετικά με τις **επιλύσεις του δικτύου** διαπιστώνονται τα ακόλουθα :

- Οι δύο διαφορετικές συνορθώσεις - με όλες τις βάσεις του δικτύου και χωρίς τις διασταυρούμενες βάσεις - δε διαφέρουν σημαντικά ως προς τα αποτελέσματα που δίνουν στις συντεταγμένες. Αξιοσημείωτη, όμως, είναι η διαφορά στις τιμές των αβεβαιοτήτων τους οι οποίες είναι σημαντικά χαμηλότερες στη δεύτερη επίλυση*(Πίνακες 7.5 και 7.7.)*.
- Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του κώδικα με τις τελικές συντεταγμένες που έδωσε το λογισμικό GNSS Solutions παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα των

επιλύσεων παρουσιάζουν μέγιστη διαφορά 0.003 (κατ' απόλυτη τιμή). Η διαφορά αυτή εντοπίζεται στα σημεία «Κηφισός», «Έλικας» και «Πυροσβεστική» στην περίπτωση της συνόρθωσης με όλες τις βάσεις. Οι διαφορές αυτές αποδίδονται στις μετατροπές από το ένα σύστημα αναφοράς στο άλλο και στην επιλογή να μη χρησιμοποιηθούν όλοι οι παράγοντες στις σχέσεις μετατροπής των συντεταγμένων από το ελλειψοειδές στην προβολή του ΕΓΣΑ87.

Τέλος, αξίζει να αναφερθούν ορισμένα συμπεράσματα που αφορούν τη διαδικασία **διεξαγωγής των μετρήσεων**.

- Η μη χρήση πρόσφατου ημερολογίου των δορυφόρων (almanac) δημιούργησε προβλήματα τόσο κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, όπου παρατηρούνταν διαφορετικός αριθμός δορυφόρων απ' ότι είχε προβλεφθεί κατά το στάδιο του προγραμματισμού των μετρήσεων, όσο και κατά την επεξεργασία των βάσεων, αφού λόγω του εξαιρετικά κακής ποιότητας σήματος (ασυνεχές και με μεγάλες χρονικά διακοπές) και του μικρού αριθμού ορατών δορυφόρων, απαιτήθηκε πολύωρη και λεπτομερής επεξεργασία των βάσεων του δικτύου ώστε να προκύψουν αποδεκτά αποτελέσματα.
- Από τη σύγκριση του χρόνου που απαιτήθηκε για τη μέτρηση του δικτύου GNSS, προκύπτει ότι χρειάστηκαν περίπου οι τριπλάσιες ώρες για τη μέτρηση του δικτύου το 2012 σε σχέση με τον αντίστοιχο χρόνο που απαιτήθηκε το 2008. Συγκεκριμένα, απαιτήθηκαν 51 ανθρωποημέρες (408 ανθρωποώρες) μετρήσεων το 2012 έναντι 12 ανθρωποημερών (90 ανθρωποωρών) το 2008, κάτι που είναι λογικό αφού ο χρόνος παρατήρησης διπλασιάστηκε και οι μετρούμενες βάσεις αυξήθηκαν. Συγκρίνοντας το χρόνο που απαιτήθηκε για τη μέτρηση του δικτύου με δορυφορικές μεθόδους το 2012 (51 ανθρωποημέρες) και με Γεωμετρική Χωροστάθμηση το 2008 (24 ανθρωποημέρες), προκύπτει ότι οι ώρες που αφιερώθηκαν στις εργασίες πεδίου είναι περίπου διπλάσιες το 2012. Σημαντικό είναι όμως και το γεγονός ότι προσδιορίζονται οι θέσεις των κορυφών στις τρεις διαστάσεις και άρα είναι δυνατή και η ανίχνευση οριζόντιων μετακινήσεων.

10.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνεται με τη διατύπωση των παρακάτω προτάσεων.

- Από τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας της μεταβολής του ορθομετρικού υψομέτρου της κάθε κορυφής δεν προέκυψαν σαφείς ενδείξεις κατακόρυφων μετακινήσεων. Για το λόγο αυτό, και δεδομένης της μειωμένης ακρίβειας που παρουσιάζουν τα συστήματα GNSS στον προσδιορισμό του υψομέτρου, προτείνεται η επαναμέτρηση του δικτύου GNSS για την ανίχνευση των οριζόντιων μετακινήσεων των κορυφών με ταυτόχρονη μέτρηση του υπάρχοντος επίγειου δικτύου κατακορύφου ελέγχου με Γεωμετρική Χωροστάθμηση για τον έλεγχο των κατακόρυφων μετακινήσεων της περιοχής μελέτης.
- Η χρήση πρόσφατου ημερολογίου των δορυφόρων (almanac) επιβάλλεται για την αποφυγή προβλημάτων τόσο για την καλή οργάνωση των μετρήσεων, όσο και κατά την επεξεργασία των βάσεων.
- Η διάρκεια μέτρησης των μικρών βάσεων του δικτύου προτείνεται να μην ξεπερνά τη μία ώρα, μιας και οι επιπλέον μετρήσεις δεν έχουν ουσιαστική επίδραση στην τελική ακρίβεια των αποτελεσμάτων.
- Προτείνεται η δημιουργία δικτύου τριγώνων χωρίς διασταυρούμενες βάσεις, μιας και σύμφωνα με τη σύγκριση των διαφορετικών επιλύσεων, αυτός ο σχηματισμός καταλήγει σε καλύτερα αποτελέσματα. Ιδιαίτερα χρήσιμο θα ήταν και ένα διάγραμμα βελτιστοποίησης για την επιλογή του κατάλληλου αριθμού βάσεων.
- Εφόσον συνεχίζουν να ανιχνεύονται μετακινήσεις στην περιοχή μελέτης, είναι σκόπιμο να παρακολουθείται ανά τακτικά χρονικά διαστήματα, ώστε να εξαχθεί μια πληρέστερη εικόνα για την κινηματική της συμπεριφορά.
- Στην επόμενη μέτρηση του δικτύου προτείνεται να χρησιμοποιηθούν δέκτες που να καταγράφουν σήμα και από το δορυφορικό σύστημα GLONASS ώστε να μην είναι τόσο έντονο το πρόβλημα της μειωμένης ορατότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.Μ. (2005), **Θεωρία Σφαλμάτων & Συνορθώσεις Ι**, Αθήνα

2. Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.Μ. (2009), **Θεωρία Σφαλμάτων & Συνορθώσεις ΙΙ**, Αθήνα

3. Αμπατζίδης Δ. (2011), **Μελέτη για τη Βέλτιστη Υλοποίηση ενός Σύγχρονου Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς στον Ελλαδικό Χώρο,** Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

4. Αναστασίου Δ. (2009), **Μελέτη των Τεκτονικών Μετατοπίσεων στο Ιόνιο με Ανάλυση Χρονοσειρών GPS**, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., ΕΜΠ, Αθήνα

5. Βαρελάς Α. (2009), **Το Δορυφορικό Σύστημα Galileo,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., ΕΜΠ, Αθήνα

6. Βλάχος Δ. (1987), **Τοπογραφία Τόμος Γ',** Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

7. Βλάχου-Βλαβιανού Ε., **Καθιζήσεις Οφειλόμενες σε Υπεραντλήσεις Υπόγειων Νερών-Αναγκαίες Παρεμβάσεις,** Σ.Μ.Μ.-Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

8. Γεωργίου Ε. (2003), **Υπηρεσίες Αξιοποίησης της Γεωγραφικής Θέσης,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

9. Γεωργόπουλος Γ. (1990), **Εντοπισμός Καθιζήσεων στην Περιοχή του Μοσχάτου,** Δελτίο ΚΕΔΕ

10. Γεωργόπουλος Γ. (1999), **Μελέτη της Εξέλιξης των Καθιζήσεων στην Περιοχή του Μοσχάτου με Κινηματικά Μοντέλα,** Δελτίο ΚΕΔΕ

11. Γεωργόπουλος Γ. Τελειώνη Ε. (2010), **Εξέλιξη των Καθιζήσεων που Ανιχνεύονται στην Παράκτια Ζώνη Ν. Φαλήρου – Μοσχάτου – Καλλιθέας,** Άρθρο, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Βόλος

12. Γκαδόλου Ε. (2002), **Ίδρυση Δικτύου GPS για την Παρακολούθηση Καθιζήσεων στην Περιοχή του Μοσχάτου**, Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

13. Δήμου Μ. (2011), **Εφαρμογή Τεχνικών RTK σε Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών GNSS για Τρέχουσες Τοπογραφικές Εργασίες,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

14. Εμμανουήλ Β.(2011), **Ανίχνευση Κατακόρυφων Μετακινήσεων στο Κτίριο Λαμπαδαρίου – Προεκτίμηση Διαφορικών Καθιζήσεων στα Φέροντα Στοιχεία Λόγω Διάνοιξης Αβαθούς Σήραγγας,** Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

15. Κακάτσος Θ., Μαϊμάρης Ν., Πρίφτης Γ. (1996), **Παρακολούθηση των Παραμορφώσεων των Φερόντων Στοιχείων του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας και της εγγύς περιοχής,** Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

16. Καλογεράς Ι., Μελής Ν., Κωνσταντίνου Κ., Σταυρακάκης Γ. (2008), **Μελέτη της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας με την Ευκαιρία των Σεισμών της Πάρνηθας(1999) και των Κυθήρων(2006)**, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής &Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα

17. Καραθανάση Φ. (2009), **Επέκταση Δικτύου GPS για τον Έλεγχο Μετακινήσεων στις Περιοχές Φάληρο-Μοσχάτο-Καλλιθέα,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

18. Καραμολέγκου Ε. (2009), **Εξέλιξη Κατακόρυφων Μετακινήσεων στις Περιοχές Νέο Φάληρο-Μοσχάτο-Καλλιθέα,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

19. Καρπουζάς Η. (2008), **Εφαρμογές Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού (GPS),** Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης

20. Κατσιγιάννη Γ. (2011), **Ανάλυση Επιδόσεων των Επερχόμενων Συστημάτων GNSS για Κινηματικές Εφαρμογές Εντοπισμού στον Ελληνικό Χώρο,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

21. Καψάσκης Δ. (2012), **Εγκατάσταση Δικτύου Ελέγχου Μετακινήσεων με Δορυφορικές Μεθόδους, Εφαρμογή στον οικισμό Τριπόταμο των Ορυχείων Μεγαλόπολης,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα

22. Κουμαντάκης Ι. (1996), **Έρευνα Υδρογεωλογικών Συνθηκών και Καθεστώτος Εκμετάλλευσης Υπόγειων Νερών Λεκανοπεδίου Αττικής,**

23. Κουμπλή Α. (2002), **Έλεγχος Κατακόρυφων Μετακινήσεων στις Περιοχές Νέο Φάληρο, Μοσχάτο, Καλλιθέα- Δίκτυο κατακορύφου ελέγχου,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

24. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ. (2010), **Εφαρμοσμένη Γεωδαισία,** Ε.Μ.Π., Αθήνα

25. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ. (2008) **Παρακολούθηση παραμορφώσεων φραγμάτων με γεωδαιτικές μεθόδους,** 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων με Διεθνή συμμετοχή, Λάρισα

26. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ. (1990), **Παρακολούθηση Παραμορφώσεων των Φερόντων Στοιχείων του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας. Ίδρυση Δικτύου Κατακορύφου Ελέγχου στην Ευρύτερη Περιοχή του Σταδίου,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

27. Λαόπουλος Θ., Υφαντή Β. (2011), **Παρακολούθηση παραμόρφωσης τοπογραφικού ανάγλυφου, Παρακολούθηση της στάθμης της θάλασσας,** Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης

28. Μαλατέστας Ν. (2004), **Αντιπλημμυρική Προστασία Λεκανοπεδίου Αθήνας (Κηφισός-Ιλισός)**, Ημερίδα ΤΕΕ, Αθήνα

29. Μελετίου Μ. (2008), **Προσδιορισμός Ορθομετρικών Υψομέτρων με την Χρήση GPS,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

30. Μιχαηλίδης Μ. (2001), **Η Χρήση του GPS στην Ίδρυση Αστικού Τοπογραφικού Δικτύου Ακριβείας,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

31. Μοιρασγέτης Α. (2008), **Γεωτεχνικές Συνθήκες και Προβλήματα Θεμελίωσης στην Περιοχή Δυτικού Τμήματος Όρμου Νέου Φαλήρου,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Μ.Μ.-Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

32. Μουλουδάκης Μ. (2011), **Μελέτη Κινηματικής Συμπεριφοράς Γεωδαιτικού δικτύου και Κατολίσθησης Αριστερι=ού Αντερείσματος Φράγματος Ευήνου,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

33. Μπαντέλας Α. και Σαββαΐδης Π. (1990), **Παρακολούθηση παραμορφώσεων τεχνικών έργων και κατολισθήσεων εδαφών με γεωδαιτικές μεθόδους,** Εκδόσεις Παπαγεωργίου Ο.Ε., Θεσσαλονίκη,

34. Μπαλοδήμος Δ., Γεωργόπουλος Γ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Δογγούρης Σ. (2005), **Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας**, Ε.Μ.Π., Αθήνα

35. Παντελάκης Π., Παπαδόπουλος Α., Φειζίδης Π. (1999), **Παρακολούθηση της Κινηματικής Συμπεριφοράς του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας. Έλεγχος των καθιήσεων στην εγγύς και Ευρύτερη Περιοχή,** Διπλωματική Ερργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

36. Παυλίδης Σ., **Κινήσεις του Γήινου Φλοιού,** Διαφάνειες του μαθήματος «Εισαγωγή στη Γεωλογία», Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

37. Παυλίδης Σ., Χατζηπέτρος Α., Δελόγκος Χ. (2011), **Γεωλογικές Συνθήκες Σχετικά με τις Επιφανειακές Ρωγμώσεις στην Περιοχή του Δ.Δ. Μαυροπηγής του Δ. Πτολεμαΐδας,** Εξαμηνιαία Έκθεση, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

38. Ροδόπουλος Ι. (2008), **Ολοκληρωμένα Δορυφορικά και Αδρανειακά Συστήματα Πλοήγησης-Χρήση σε Αποτυπώσεις Σηράγγων Μεγάλου Μήκους,** Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

39. Σαμπατακάκης Ν. (1991), **Τεχνικογεωλογική Έρευνα του Λεκανοπεδίου των Αθηνών,** Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

40. Σάρρος Μ. (2004), **Αντιπλημμυρική Προστασία Λεκανοπεδίου Αθήνας (Κηφισός-Ιλισός)**, Ημερίδα ΤΕΕ, Αθήνα

41. Σούλιος Γ.(2012), **Σημειώσεις του Μαθήματος Εκμετάλλευση και Διαχείριση Υπόγειου Νερού,** Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

42. Τελειώνη Ε, Γεωργόπουλος Γ, Καββαδάς Μ.(2006), **Μακροχρόνια Παρακολούθηση των Επιφανειακών Καθιζήσεων στην Περιοχή του Ρήγματος της Αγίας Τριάδας Πατρών,** Πρακτικά 5ου Συνέδριου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Μάιος, Ξάνθη.

43. Τσίνη Δ. (2002), **Σύγκριση Δεκτών GPS με Μετρήσεις στην Περιοχή του Διονύσου Αττικής,** Μεταπτυχιακή Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα

44. Φωτίου Α., Πικριδάς Χ. (2008), **GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές,** Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

45. Φωτίου Α., Λιβιεράτος Ε. (2000), **Γεωμετρική Γεωδαισία και Δίκτυα,** Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

46. Χαλιμουρδάς (2007), **Παρακολούθηση Παραμορφώσεων και Γεωμετρικής Ποιότητας Τεχνικών Έργων με Σύγχρονες Γεωδαιτικές Μεθόδους, Διδακτορική Διατριβή,** Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

47. Χαραλαμπάκης Σ. (1951), **Συμβολή στη γνώση του Νεογενούς της Αττικής,** Ειδικές Μελέτες Γεωλογίας Ελλάδος, Αθήνα

48. Ψιμούλης Π. (2005), **Συμβολή στη Διερεύνηση της Δυνατότητας Καταγραφής Ταλαντώσεων με τα Γεωδαιτικά Όργανα GPS-RTS,** Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πάτρα

49. Abidin H., Djaja R., Darmawan D., Hadi S., Akbar A., Rajiyowiryono H., Sudibyo Y., Meilano I., Kasuma M., Kahar J., Subarya C.(2001), **Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its geodetic monitoring system,** Natural Hazards, Volume 23

50. Chai C, Shen SL, Zhu HH, Zhang XL, (2004), **Land subsidence due to groundwater drawdown in Shanghai,** China

51. Doukas I, Ifadis I, I.-Savvaidis P. (2004), **Monitoring and analysis of ground subsidence due to water pumping in the area of Thessaloniki**, Hellas

52. Eckl M., Snay R.. Soler T. , Cline M. , Mader G.(2001) , **Journal of Geodesy**, U.S.A.

53. Gikas V., Paradissis D., Raptakis K. and Antonatou O. (2005), **Deformation studies of the dam of Mornos Artificial Lake via Analysis of Geodetic Data**, Cairo, Egypt

54. **GNSS Solutions Reference Manual**

55. Hudnut K, Bock Y, Galetzka J., Webb F., Young W.(2002), **The Southern California Integrated GPS Network (SCIGN)**, Tokyo

56. Lagios E., Sakkas V., Parcharidis I., Dietrich V.(2005), **Ground deformation of Nisyros Volcano (Greece) for the period 1995–2002: Results from DInSAR and DGPS observations**, Bulletin of volcanology

57. Larson K.M. and Freymueller J., (1995) **Relative motions of the Australian, Pacific and Antarcticplates estimated by the Global Positioning System**

58. Okazaki N., Takahashi H., Kasahara M., Ishimaru S., Mori H, Kitawaga S., Fujiwara K., Churei M. (2002), **Crustal Deformation Associated with the 2000 Eruption of Usu Volcano as Observed by a Dense GPS Array,** Japan

59. Osmanoğlu B., Dixon TH., Wdowinski S., Cabral-Cano E., Jiang Y. (2011), **Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR,** Mexico

60. Premchitt, J (1979), **Land Subsidence In Bangkok,** Thailand

61. Psimoulis P, Kontogianni V, Nickitopoulou A, Pytharouli S, Triantafyllidis P., Stiros S (2004), **Estimating the Optimum Duration of GPS Static Observations for Short Baseline Length Determination in Greece,** Thessaloniki, Greece

62. Sagiya T (2004), **A decade of GEONET: 1994–2003 —The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies,** Earth Planets Space

63. Seggall P., Davis L. J. (1997), **GPS applications for geodynamics and earthquake studies,** *Annu. Rev. Earth Planet.*

64. US Army Corps of Engineers (2002), **Structural Deformation Surveying, Engineer Manual**

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

65. http://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS
66. http://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_(GPS)
67. http://www.navipedia.net/
68. http://www.souterrain.biz
69. http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html
70. http://www.landslides.gr/
71. http://ismosav.santorini.net/1080.0.html?&L=1
72. http://www.earthquakenet.gr/prodromafainomenaseismwn.htm
73. http://www.nasa.gov/topics/earth/features/earth20120424.html
74. Google Earth

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΤΡΙΓΩΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ GNSS Solutions

ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΜΕΝΟ ΤΡΙΓΩΝΟ	Σ_X	Σ_Y	Σ_Z
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Πυροσβ.(17/7)/Πυροσβ.-Ποσειδ.(14/6)	0.00	0.02	0.01
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Πυροσβ.(17/7)/Πυροσβ.-Ποσειδ.(23/7)	0.01	0.04	0.00
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Πυροσβ.(29/9)/Πυροσβ.-Ποσειδ.(14/6)	0.01	0.01	0.04
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Πυροσβ.(29/9)/Πυροσβ.-Ποσειδ.(23/7)	0.01	0.00	0.05
Ιλισ.-Ποσειδ.(29/9)/Ιλισ.-Πυροσβ.(17/7)/Πυροσβ.-Ποσειδ.(14/6)	0.04	0.02	0.00
Ιλισ.-Ποσειδ.(29/9)/Ιλισ.-Πυροσβ.(17/7)/Πυροσβ.-Ποσειδ.(23/7)	0.01	0.04	0.00
Ιλισ.-Ποσειδ.(29/9)/Ιλισ.-Πυροσβ.(29/9)/Πυροσβ.-Ποσειδ.(14/6)	0.02	0.01	0.04
Ιλισ.-Ποσειδ.(29/9)/Ιλισ.-Πυροσβ.(29/9)/Πυροσβ.-Ποσειδ.(23/7)	0.02	0.02	0.05
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/**Κηφ.-Ιλισ.(20/7)**/Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)	**0.25**	**0.26**	**0.17**
Ιλισ.-Ποσειδ.(29/9)/**Κηφ.-Ιλισ.(20/7)**/Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)	**0.29**	**0.27**	**0.18**
Ποσειδ.-Ιλισ.(14/6)/Γεφ.-Ιλισ.(6/6) /Ποσειδ.-Γεφ.(15/6)	0.01	0.00	0.01
Ποσειδ.-Ιλισ.(29/9)/Γεφ.-Ιλισ.(6/6) /Ποσειδ.-Γεφ.(22/9)	0.02	0.00	0.01
Ποσειδ.-Ιλισ.(14/6)/Γεφ.-Ιλισ.(18/9) /Ποσειδ.-Γεφ.(15/6)	0.03	0.01	0.01
Ποσειδ.-Ιλισ.(29/9)/Γεφ.-Ιλισ.(18/9) /Ποσειδ.-Γεφ.(22/9)	0.01	0.02	0.01
Ποσειδ.-Ιλισ.(14/6)/Σχολ.-Ιλισ.(6/6) /Ποσειδ.- Σχολ.(13/6)	0.00	0.01	0.01
Ποσειδ.-Ιλισ.(29/9)/Σχολ.-Ιλισ.(6/6) /Ποσειδ.- Σχολ.(13/6)	0.04	0.01	0.02
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Έλικ.(29/9)/Ποσειδ.-Έλικ.(23/7)	0.00	0.01	0.00
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Καστ.(3/6)/Ποσειδ.-Καστ.(15/6)	0.03	0.01	0.01
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Καστ.(3/6)/Ποσειδ.-Καστ.(4/10)	0.05	0.00	0.00
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Καστ.(4/10)/Ποσειδ.-Καστ.(15/6)	0.06	0.03	0.00
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Καστ.(4/10)/Ποσειδ.-Καστ.(4/10)	0.04	0.02	0.01
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Μυρτ.(3/6)/Ποσειδ.-Μυρτ.(19/9)	0.02	0.01	0.01
Ιλισ.-Ποσειδ.(29/9)/Ιλισ.-Μυρτ.(3/6)/Ποσειδ.-Μυρτ.(19/9)	0.02	0.01	0.00
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ποσειδ.- Αγ.Δημ.(15/7)	0.01	0.00	0.00
Ιλισ.-Ποσειδ.(14/6)/ Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ποσειδ.- Αγ.Δημ.(10/7)	0.01	0.01	0.01
Πυρ.-Ποσειδ.(14/6)/Πυρ.-Καστ.(4/10)/Ποσειδ.-Καστ.(15/6)	0.03	0.01	0.01
Πυρ.-Ποσειδ.(14/6)/Πυρ.-Καστ.(4/10)/Ποσειδ.-Καστ.(4/10)	0.04	0.01	0.03
Πυρ.-Ποσειδ.(14/6)/Πυρ.-Καστ.(6/10)/Ποσειδ.-Καστ.(15/6)	0.03	0.00	0.02
Πυρ.-Ποσειδ.(14/6)/Πυρ.-Καστ.(6/10)/Ποσειδ.-Καστ.(4/10)	0.01	0.01	0.03
Πυρ.-Ποσειδ.(14/6)/Πυρ.-Μυρτ./Ποσειδ.- Μυρτ.(19/9)	0.01	0.01	0.02
Πυρ.-Ποσειδ.(23/7)/Πυρ.-Μυρτ./Ποσειδ.- Μυρτ.(19/9)	0.00	0.02	0.01

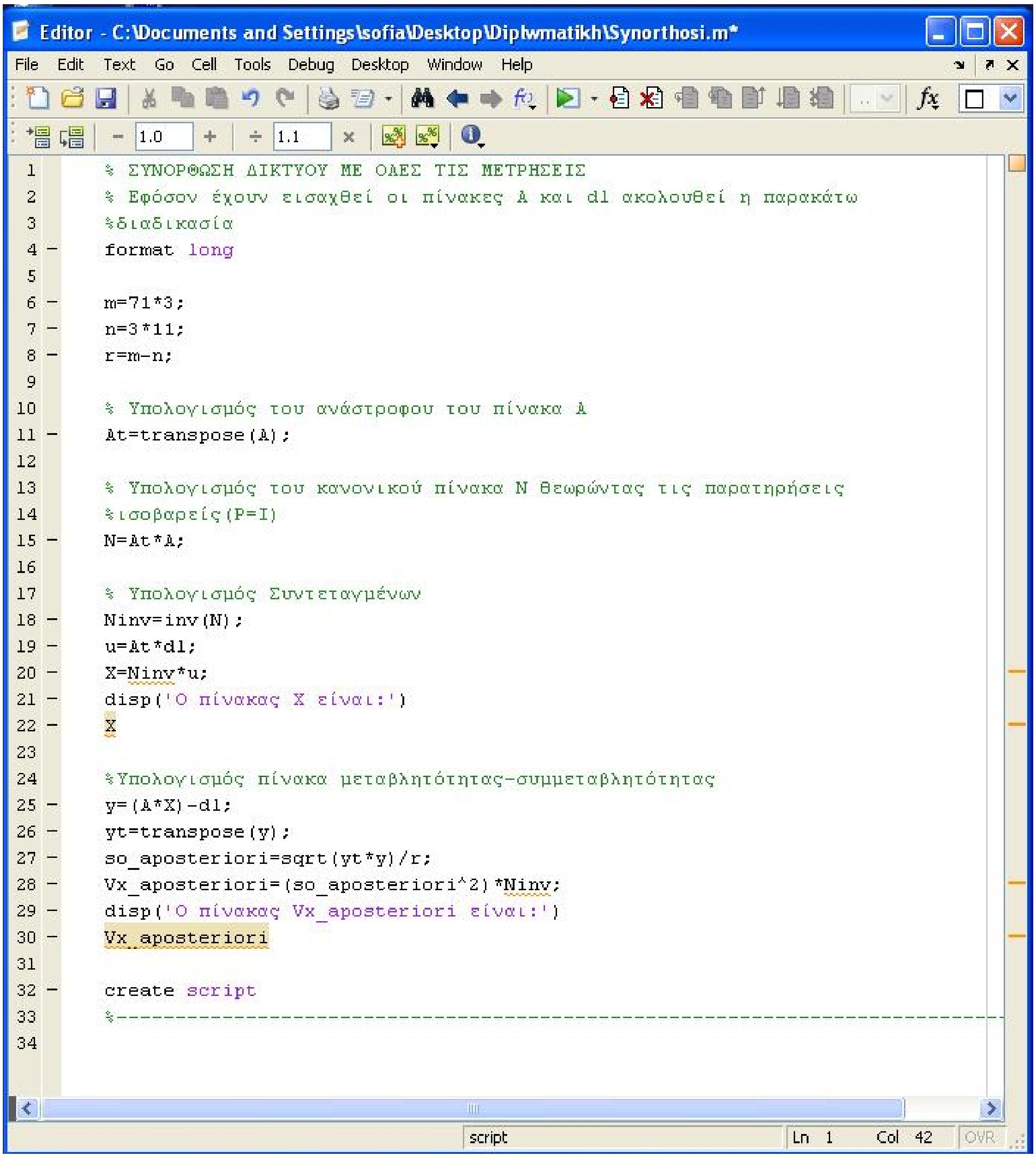
Πυρ.-Ποσειδ.(14/6)/Πυρ.-Σχολ./Ποσειδ.- Σχολ.	0.05	0.01	0.01
Πυρ.-Ποσειδ.(23/7)/Πυρ.-Σχολ./Ποσειδ.- Σχολ.	0.05	0.01	0.02
Πυρ.-Ποσειδ.(14/6)/Πυρ.-Έλικ./Ποσειδ.- Έλικ.	0.05	0.01	0.01
Πυρ.-Ποσειδ.(23/7)/Πυρ.-Έλικ./Ποσειδ.- Έλικ.	0.05	0.00	0.01
Πυρ.-Ποσειδ.(14/6)/Πυρ.-Κηφ.(23/7)./Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)	0.00	0.01	0.01
Πυρ.-Ποσειδ.(23/7)/Πυρ.- Αγ.Δημ.(18/7)/Ποσειδ.- Αγ.Δημ.(15/7)	0.01	0.01	0.03
Πυρ.-Ποσειδ.(23/7)/Πυρ.- Αγ.Δημ.(18/7)/Ποσειδ.- Αγ.Δημ.(10/7)	0.01	0.02	0.02
Πυρ.-Ποσειδ.(23/7)/Πυρ.- Αγ.Δημ.(14/9)/Ποσειδ.- Αγ.Δημ.(15/7)	0.05	0.00	0.01
Πυρ.-Ποσειδ.(23/7)/Πυρ.- Αγ.Δημ.(14/9)/Ποσειδ.- Αγ.Δημ.(10/7)	0.04	0.00	0.01
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.- Αγ.Δημ.(20/7)/Ποσειδ.- Αγ.Δημ.(10/7)	0.00	0.00	0.03
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.- Αγ.Δημ.(20/7)/Ποσειδ.- Αγ.Δημ.(15/7)	0.01	0.01	0.02
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.-Καστ.(6/10)/Ποσειδ.- Καστ.(4/10)	0.01	0.02	0.05
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.-Καστ.(19/7)/Ποσειδ.- Καστ.(4/10)	0.00	0.00	0.01
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.-Καστ.(6/10)/Ποσειδ.- Καστ.(15/10)	0.01	0.01	0.03
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.-Καστ.(19/7)/Ποσειδ.- Καστ.(15/10)	0.02	0.01	0.02
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.-Έλικ./Ποσειδ.- Έλικ.	0.02	0.02	0.01
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.-Σχολ./Ποσειδ.- Σχολ.	0.05	0.03	0.03
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.-Γεφ.(2/6)/Ποσειδ.- Γεφ.(15/6)	0.01	0.01	0.00
Ποσειδ.-Κηφ.(10/7)/Κηφ.-Γεφ.(2/6)/Ποσειδ.- Γεφ.(22/9)	0.00	0.02	0.01
Γεφ.-Ποσειδ.(15/6)/ Γεφ.-Σχολ./Ποσειδ.- Σχολ.	0.01	0.01	0.01
Γεφ.-Ποσειδ.(22/9)/ Γεφ.-Σχολ./Ποσειδ.- Σχολ.	0.01	0.01	0.01
Γεφ.-Ποσειδ.(15/6)/ Γεφ.-Μυρτ./Ποσειδ.- Μυρτ.	0.00	0.00	0.00
Γεφ.-Ποσειδ.(15/6)/ Γεφ.-Έλικ./Ποσειδ.- Έλικ.	0.03	0.02	0.01
Γεφ.-Ποσειδ.(22/9)/ Γεφ.-Έλικ./Ποσειδ.- Έλικ.	0.02	0.01	0.02
Γεφ.-Ποσειδ.(15/6)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(13/7)/Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(15/7)	0.00	0.01	0.00
Γεφ.-Ποσειδ.(15/6)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(13/7)/Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(10/7)	0.00	0.01	0.01
Γεφ.-Ποσειδ.(15/6)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(18/9)/Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(15/7)	0.01	0.00	0.00
Γεφ.-Ποσειδ.(15/6)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(18/9)/Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(10/7)	0.01	0.00	0.00
Καστ.-Ποσειδ.(15/6)/ Ποσειδ.-Μυρτ./Καστ.- Μυρτ.	0.00	0.01	0.01
Καστ.-Ποσειδ.(4/10)/ Ποσειδ.-Μυρτ./Καστ.- Μυρτ.	0.02	0.00	0.01
Καστ.-Ποσειδ.(15/6)/ Ποσειδ.-Σχολ./Καστ.- Σχολ.	0.01	0.03	0.01
Καστ.-Ποσειδ.(4/10)/ Ποσειδ.-Σχολ./Καστ.- Σχολ.	0.03	0.02	0.01
Καστ.-Ποσειδ.(15/6)/ Αγ.Δημ.-Καστ.(18/7)/Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(10/7)	0.01	0.00	0.02
Καστ.-Ποσειδ.(15/6)/ Αγ.Δημ.-Καστ.(19/7)/ Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(15/7)	0.02	0.00	0.02

Γεφ.-Καστ.(4/10)/Γεφ.-Ιλισ.(18/9)/ Καστ.-Ιλισ.(4/10)	0.01	0.01	0.02
Γεφ.-Καστ.(4/10)/Γεφ.-Ιλισ.(18/9)/ Καστ.-Ιλισ.(3/6)	0.00	0.04	0.04
Γεφ.-Καστ.(4/10)/Γεφ.-Ιλισ.(6/6)/ Καστ.-Ιλισ.(4/10)	0.01	0.01	0.00
Γεφ.-Καστ.(4/10)/Γεφ.-Ιλισ.(6/6)/ Καστ.-Ιλισ.(3/6)	0.00	0.02	0.02
Γεφ.-Καστ.(16/6)/Γεφ.-Ιλισ.(18/9)/ Καστ.-Ιλισ.(4/10)	0.04	0.01	0.00
Γεφ.-Καστ.(16/6)/Γεφ.-Ιλισ.(6/6)/ Καστ.-Ιλισ.(3/6)	0.03	0.00	0.01
Γεφ.-Καστ.(4/10)/Γεφ.-Κηφ.(2/6)/ Καστ.-Κηφ.(19/7)	0.03	0.03	0.03
Γεφ.-Καστ.(4/10)/Γεφ.-Κηφ.(2/6)/ Καστ.- Κηφ.(6/10)	0.02	0.02	0.02
Γεφ.-Κηφ.(2/6)/Γεφ.-Ιλισ.(6/6)/**Κηφ.- Ιλισ.(20/7)**	**0.27**	**0.26**	**0.17**
Γεφ.-Κηφ.(2/6)/Γεφ.-Ιλισ.(18/9)/**Κηφ.- Ιλισ.(20/7)**	**0.26**	**0.27**	**0.20**
Κηφ.-Σχολ.(2/6)/Πυρ.-Σχολ(8/7)/Πυρ.-Κηφ.(23/7)	0.01	0.02	0.02
Κηφ.-Σχολ.(2/6)/Καστ.-Σχολ(19/7)/Καστ.-Κηφ.(6/10)	0.06	0.01	0.01
Κηφ.-Σχολ.(2/6)/Καστ.-Σχολ(19/7)/Καστ.-Κηφ.(19/7)	0.06	0.01	0.02
Κηφ.-Σχολ.(2/6)/Αγ.Δημ.-Σχολ(13/7)/ Αγ.Δημ.-Κηφ.(6/10)	0.05	0.00	0.01
Κηφ.-Σχολ.(2/6)/Πυρ.-Σχολ(8/7)/Πυρ.-Κηφ.(19/7)	0.05	0.01	0.01
Κηφ.-Σχολ.(2/6)/Πυρ.-Σχολ(8/7)/Πυρ.-Κηφ.(19/7)	0.05	0.01	0.02
Κηφ.-Έλικ.(2/6)/Πυρ.-Έλικ(8/7)/Κηφ.- Πυρ.(23/7)	0.04	0.01	0.01
Κηφ.-Έλικ.(2/6)/Αγ.Δημ.-Έλικ(10/7)/Κηφ.- Αγ.Δημ.(20/7)	0.01	0.02	0.02
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ιλισ.-Πυρ.(29/9)/ Πυρ.- Αγ.Δημ.(14/9)	0.06	0.00	0.02
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ιλισ.-Πυρ.(17/7)/ Πυρ.- Αγ.Δημ.(14/9)	0.04	0.03	0.03
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ιλισ.-Πυρ.(29/9)/ Πυρ.- Αγ.Δημ.(18/7)	0.00	0.02	0.04
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ιλισ.-Πυρ.(17/7)/ Πυρ.- Αγ.Δημ.(18/7)	0.02	0.01	0.01
Καστ.-Σχολ./Γεφ.-Σχολ./Καστ.-Γεφ.(4/10)	0.01	0.03	0.01
Καστ.-Σχολ./Γεφ.-Σχολ./Καστ.-Γεφ.(16/6)	0.02	0.01	0.01
Καστ.-Μυρτ./Γεφ.-Μυρτ./Καστ.-Γεφ.(4/10)	0.01	0.03	0.02
Καστ.-Μυρτ./Γεφ.-Μυρτ./Καστ.-Γεφ.(16/6)	0.02	0.00	0.01
Καστ.-Γεφ./ Γεφ.- Αγ.Δημ.(13/7)/Καστ.- Αγ.Δημ.(18/7)	0.00	0.01	0.00
Καστ.-Γεφ./ Γεφ.- Αγ.Δημ.(13/7)/Καστ.- Αγ.Δημ.(19/7)	0.01	0.01	0.00
Καστ.-Γεφ./ Γεφ.- Αγ.Δημ.(18/9)/Καστ.- Αγ.Δημ.(18/7)	0.01	0.01	0.01
Καστ.-Γεφ./ Γεφ.- Αγ.Δημ.(18/9)/Καστ.- Αγ.Δημ.(19/7)	0.01	0.01	0.01
Κηφ.-Μυρτ./Γεφ.-Μυρτ/Γεφ.-Κηφ.(2/6)	0.01	0.01	0.03
Κηφ.-Έλικ./Γεφ.-Έλικ/Γεφ.-Κηφ.(2/6)	0.03	0.02	0.02
Κηφ.- Αγ.Δημ./Γεφ.-Κηφ.(2/6)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(13/6)	0.01	0.01	0.01
Κηφ.- Αγ.Δημ./Γεφ.-Κηφ.(2/6)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(28/9)	0.01	0.01	0.02

Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ιλισ.-Γεφ.(18/9)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(13/6)	0.00	0.02	0.02
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ιλισ.-Γεφ.(6/6)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(13/6)	0.01	0.00	0.00
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ιλισ.-Γεφ.(18/9)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(18/9)	0.00	0.01	0.03
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Ιλισ.-Γεφ.(6/6)/Γεφ.-Αγ.Δημ.(18/9)	0.01	0.00	0.01
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Σχολ.- Αγ.Δημ./Ιλισ.-Σχολ.(6/6)	0.01	0.03	0.01
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Έλικ.- Αγ.Δημ./Ιλισ.-Έλικ.(6/6)	0.00	0.00	0.01
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Καστ.- Αγ.Δημ.(19/7)/Ιλισ.-Καστ.(4/10)	0.04	0.02	0.03
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Καστ.- Αγ.Δημ.(18/7)/Ιλισ.-Καστ.(4/10)	0.05	0.01	0.03
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Καστ.- Αγ.Δημ.(19/7)/Ιλισ.-Καστ.(3/6)	0.03	0.02	0.01
Ιλισ.-Αγ.Δημ.(3/6)/Καστ.- Αγ.Δημ.(18/7)/Ιλισ.-Καστ.(3/6)	0.04	0.02	0.01
Αγ.Δημ.-Μυρτ/Ιλισ.-Μυρτ./Ιλισ.-Αγ.Δημ.	0.02	0.02	0.01
Ιλισ.-Μυρτ./Πυρ.-Μυρτ./**Ιλισ.-Πυρ.(17/7)**	**0.06**	**0.03**	**0.02**
Ιλισ.-Μυρτ./Πυρ.-Μυρτ./**Ιλισ.-Πυρ.(29/9)**	**0.02**	**0.01**	**0.07**
Ιλισ.-Μυρτ./Γεφ.-Μυρτ./Ιλισ.-Γεφ.(18/9)	0.01	0.02	0.01
Ιλισ.-Μυρτ./Γεφ.-Μυρτ./Ιλισ.-Γεφ.(6/6)	0.00	0.01	0.01
Ιλισ.-Μυρτ./Καστ.-Μυρτ./Ιλισ.-Καστ.(4/10)	0.02	0.04	0.01
Ιλισ.-Μυρτ./Καστ.-Μυρτ./Ιλισ.-Καστ.(3/6)	0.01	0.01	0.01
Ιλισ.-Καστ.(4/10) /Καστ.- Πυρ.(4/10)/**Ιλισ.-Πυρ.(17/7)**	**0.03**	**0.01**	**0.03**
Ιλισ.-Καστ.(4/10) /Καστ.- Πυρ.(4/10)/**Ιλισ.-Πυρ.(29/9)**	**0.00**	**0.03**	**0.04**
Ιλισ.-Καστ.(4/10) /Καστ.- Πυρ.(6/10)/**Ιλισ.-Πυρ.(17/7)**	**0.07**	**0.01**	**0.02**
Ιλισ.-Καστ.(4/10) /Καστ.- Πυρ.(6/10)/**Ιλισ.-Πυρ.(29/9)**	**0.05**	**0.03**	**0.03**
Ιλισ.-Καστ.(3/6) /Καστ.- Πυρ.(4/10)/**Ιλισ.-Πυρ.(17/7)**	**0.01**	**0.04**	**0.04**
Ιλισ.-Καστ.(3/6) /Καστ.- Πυρ.(4/10)/Ιλισ.-Πυρ.(29/9)	0.02	0.01	0.03
Ιλισ.-Καστ.(3/6) /Καστ.- Πυρ.(6/10)/**Ιλισ.-Πυρ.(17/7)**	**0.06**	**0.04**	**0.04**
Ιλισ.-Καστ.(4/10)/Καστ.- Σχολ.(6/10)/Ιλισ.-Σχολ.	0.02	0.05	0.02
Ιλισ.-Καστ.(3/6)/Καστ.- Σχολ.(6/10)/Ιλισ.-Σχολ.	0.02	0.03	0.01
Ιλισ.-Έλικ./Ιλισ.-Γεφ(18/9)/Έλικ.-Γεφ.	0.03	0.03	0.03
Ιλισ.-Έλικ./Ιλισ.-Γεφ(6/6)/Έλικ.-Γεφ.	0.04	0.01	0.01
Ιλισ.-Έλικ./**Ιλισ.-Πυρ.(29/9)**/Έλικ.-Πυρ.	**0.06**	0.01	0.03
Ιλισ.-Έλικ./**Ιλισ.-Πυρ.(17/7)**/Έλικ.-Πυρ.	**0.04**	0.03	0.02
Ιλισ.-Γεφ.(18/9)/Γεφ.-Σχολ./Ιλισ.-Σχολ.	0.00	0.04	0.03
Ιλισ.-Γεφ.(6/6)/Γεφ.-Σχολ./Ιλισ.-Σχολ.	0.01	0.02	0.01
Ιλισ.-Σχολ./Σχολ.- Πυρ./**Ιλισ.-Πυρ.(29/9)**	**0.07**	**0.02**	**0.02**
Ιλισ.-Σχολ./Σχολ.- Πυρ./**Ιλισ.-Πυρ.(17/7)**	**0.05**	**0.05**	**0.04**

Αγ.Δημ.-Σχολ./Πυρ.-Σχολ./Πυρ.-Αγ.Δημ.(14/9)	0.05	0.00	0.01
Αγ.Δημ.-Σχολ./Πυρ.-Σχολ./Πυρ.-Αγ.Δημ.(18/7)	0.00	0.02	0.01
Αγ.Δημ.-Σχολ./Καστ.-Σχολ./Καστ.-Αγ.Δημ.(19/7)	0.03	0.01	0.01
Αγ.Δημ.-Σχολ./Καστ.-Σχολ./Καστ.-Αγ.Δημ.(18/7)	0.03	0.01	0.01
Αγ.Δημ.-Σχολ./Ποσειδ.-Σχολ./Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(10/7)	0.00	0.02	0.01
Αγ.Δημ.-Σχολ./Ποσειδ.-Σχολ./Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(15/7)	0.00	0.02	0.00
Αγ.Δημ.-Σχολ./Γεφ.-Σχολ./Γεφ.-Αγ.Δημ.(18/9)	0.01	0.01	0.01
Αγ.Δημ.-Σχολ./Γεφ.-Σχολ./Γεφ.-Αγ.Δημ.(13/7)	0.01	0.01	0.00
Αγ.Δημ.-Μυρτ./Γεφ.-Μυρτ./Γεφ.-Αγ.Δημ.(18/9)	0.01	0.01	0.01
Αγ.Δημ.-Μυρτ./Γεφ.-Μυρτ./Γεφ.-Αγ.Δημ.(13/7)	0.01	0.01	0.00
Αγ.Δημ.-Έλικ./Γεφ.-Έλικ./Γεφ.-Αγ.Δημ.(18/9)	0.03	0.02	0.01
Αγ.Δημ.-Έλικ./Γεφ.-Έλικ./Γεφ.-Αγ.Δημ.(13/7)	0.03	0.02	0.02
Αγ.Δημ.-Μυρτ./Ποσειδ.-Μυρτ./Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(10/7)	0.01	0.00	0.01
Αγ.Δημ.-Μυρτ./Ποσειδ.-Μυρτ./Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(15/7)	0.01	0.00	0.00
Αγ.Δημ.-Έλικ./Ποσειδ.-Έλικ./ Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(10/7)	0.01	0.00	0.01
Αγ.Δημ.-Έλικ./ Ποσειδ.-Έλικ./ Ποσειδ.-Αγ.Δημ.(15/7)	0.01	0.00	0.01

ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ MATLAB




```
% ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ
% Εφόσον έχουν εισαχθεί οι πίνακες A και dl ακολουθεί η παρακάτω
%διαδικασία
format long

m=71*3;
n=3*11;
r=m-n;

% Υπολογισμός του ανάστροφου του πίνακα A
At=transpose(A);

% Υπολογισμός του κανονικού πίνακα N θεωρώντας τις παρατηρήσεις
%ισοβαρείς(P=I)
N=At*A;

% Υπολογισμός Συντεταγμένων
Ninv=inv(N);
u=At*dl;
X=Ninv*u;
disp('O πίνακας X είναι:')
X

%Υπολογισμός πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας
y=(A*X)-dl;
yt=transpose(y);
so_aposteriori=sqrt(yt*y)/r;
Vx_aposteriori=(so_aposteriori^2)*Ninv;
disp('O πίνακας Vx_aposteriori είναι:')
Vx_aposteriori

create script
%------------------------------------------------------------------------------

```

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ-ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ-ΣΥΜΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ

$$\begin{pmatrix} \sigma_{1,1}^2 & \sigma_{1,j}^2 \\ \sigma_{i,1}^2 & \sigma_{i,j}^2 \end{pmatrix} \cdot 10^{-7}$$

- Συνόρθωση με όλες τις μετρήσεις και με τις ίδιες αρχικές συνθήκες

N									E									h								
ΣΧΟΛ.	ΓΕΦ.	ΙΛΙΣ.	ΕΛΙΚ.	ΑΓ. ΔΗΜ.	Π. ΜΥΡΤ.	ΠΟΣΕΙΔ.	ΠΥΡ.	ΚΗΦ.	ΣΧΟΛ.	ΓΕΦ.	ΙΛΙΣ.	ΕΛΙΚ.	ΑΓ. ΔΗΜ.	Π. ΜΥΡΤ.	ΠΟΣΕΙΔ.	ΠΥΡ.	ΚΗΦ.	ΣΧΟΛ.	ΓΕΦ.	ΙΛΙΣ.	ΕΛΙΚ.	ΑΓ. ΔΗΜ.	Π. ΜΥΡΤ.	ΠΟΣΕΙΔ.	ΠΥΡ.	ΚΗΦ.
108.70	7.38	7.37	7.71	6.99	7.69	7.20	8.76	7.49	7.18	7.88	7.89	7.39	7.68	7.85	7.88	7.48	7.80	6.63	7.57	7.80	7.82	7.12	7.48	7.47	7.31	7.68
	86.35	6.93	7.37	6.95	8.67	7.65	7.01	7.53	6.95	7.27	7.88	7.19	7.77	7.80	7.82	7.56	7.83	8.37	7.30	7.84	7.88	7.35	7.72	7.81	7.02	7.37
		87.03	6.08	7.06	7.68	6.55	7.63	7.71	7.68	7.55	8.70	7.01	7.95	7.84	7.88	7.55	7.57	6.94	7.89	7.79	7.88	7.37	7.74	7.82	7.55	7.93
			207.90	7.29	7.58	6.58	7.12	7.78	7.71	7.50	6.95	7.63	7.54	7.79	7.88	7.69	7.30	8.37	7.95	7.47	7.47	7.31	7.68	6.95	7.94	8.34
				219.49	6.95	6.95	6.95	6.95	7.62	7.68	7.68	6.95	7.60	7.47	7.47	7.40	7.89	8.70	7.80	7.09	7.81	7.02	7.37	8.71	7.37	7.74
					90.93	7.56	7.68	7.68	7.28	8.88	7.77	7.68	8.00	7.09	7.81	7.84	7.95	7.42	7.11	7.35	7.82	7.55	7.93	7.77	7.88	8.27
						96.35	7.98	7.49	7.25	9.77	7.95	7.77	7.67	7.35	7.82	7.81	7.80	7.82	6.91	9.95	6.95	7.94	8.34	7.65	7.24	7.60
							186.41	8.55	6.47	7.71	7.54	7.94	7.83	9.95	6.95	7.64	7.11	7.38	7.53	7.75	8.71	7.37	7.74	6.59	7.88	8.27
								570.26	7.38	7.47	7.60	7.17	8.00	7.75	8.71	6.95	6.91	7.37	7.91	7.69	7.77	7.88	8.27	5.74	7.24	7.60
									206.92	7.51	7.81	7.71	6.95	7.69	7.77	7.15	7.53	7.78	7.71	7.77	7.65	7.24	7.60	6.95	6.91	7.26
										96.35	7.99	7.41	6.95	7.77	7.65	7.51	7.91	6.95	7.78	7.68	6.59	7.88	8.27	7.82	6.91	9.95
											70.03	7.78	6.95	7.68	6.59	7.16	7.71	7.68	6.95	7.53	5.74	7.24	7.60	7.38	7.53	7.75
												87.90	6.95	7.58	7.77	7.78	7.78	6.57	7.68	8.71	6.95	6.91	7.26	7.37	7.91	7.69
													79.49	6.95	6.95	6.95	6.95	7.41	7.38	7.77	7.15	7.53	7.91	7.78	7.71	7.77
														90.93	6.41	7.68	7.68	7.71	8.42	7.65	7.51	7.91	8.31	6.95	7.78	7.68
															41.64	8.49	7.38	7.77	7.82	6.59	7.16	7.71	8.10	7.68	6.95	7.53
																286.41	8.42	8.38	7.19	7.77	7.78	7.78	8.17	6.57	7.68	8.71
																	487.03	7.29	7.35	6.95	6.95	6.95	7.64	7.41	7.38	7.77
																		560.00	7.50	6.41	7.68	7.68	7.69	7.71	8.42	7.65
																			290.00	7.82	7.77	7.82	7.77	7.77	7.82	6.59
																				270.26	7.78	6.95	7.68	8.38	7.19	7.77
																					277.96	6.95	7.58	7.77	7.78	7.78
																						276.95	6.95	6.95	6.95	6.95
																							189.09	6.82	7.68	7.68
																								389.64	7.95	7.65
																									595.16	6.94
																										1573.60

- Συνόρθωση με όλες τις βάσεις

N											E											h										
ΚΑΣΤ.	ΑΙΞ.	ΣΧΟΛ.	ΓΕΦ.	ΙΛΙΣ.	ΕΛΙΚ.	ΑΓ. ΔΗΜ	Π. ΜΥΡΤ	ΠΟΣΕΙΔ.	ΠΥΡ.	ΚΗΦ.	ΚΑΣΤ.	ΑΙΞ.	ΣΧΟΛ.	ΓΕΦ.	ΙΛΙΣ.	ΕΛΙΚ.	ΑΓ. ΔΗΜ	Π. ΜΥΡΤ.	ΠΟΣΕΙΔ.	ΠΥΡ.	ΚΗΦ.	ΚΑΣΤ.	ΑΙΞ.	ΣΧΟΛ.	ΓΕΦ.	ΙΛΙΣ.	ΕΛΙΚ.	ΑΓ. ΔΗΜ	Π. ΜΥΡΤ	ΠΟΣΕΙΔ.	ΠΥΡ.	ΚΗΦ.
90.48	8.39	7.38	7.37	7.71	7.18	7.69	7.51	8.76	7.49	7.18	7.18	7.71	9.95	7.88	7.89	7.39	7.68	7.85	7.88	7.48	7.80	6.63	7.71	9.95	7.57	7.80	7.82	7.12	7.48	7.47	7.31	7.68
	40.75	7.25	7.29	8.97	9.87	7.69	7.28	9.35	8.68	10.51	10.51	7.62	7.88	7.55	7.57	7.94	8.32	7.88	7.55	7.57	7.94	7.80	7.62	8.03	8.28	8.52	8.78	7.44	7.59	7.74	7.90	8.01
		161.35	6.93	7.37	6.95	7.77	7.71	7.01	7.53	7.95	7.95	6.58	7.71	7.27	7.88	7.19	7.77	7.80	7.82	7.56	7.83	8.37	6.58	8.62	7.30	7.84	7.88	7.35	7.72	7.81	7.02	7.37
			248.58	6.08	7.06	7.71	7.62	7.63	7.71	7.71	7.71	6.95	7.62	7.55	8.70	7.01	7.95	7.84	7.88	7.55	7.57	6.94	6.95	7.15	7.89	7.79	7.88	7.37	7.74	7.82	7.55	7.93
				96.45	7.29	7.62	6.58	7.12	7.78	7.62	7.62	7.68	6.58	7.50	6.95	7.63	7.54	7.79	7.88	7.69	7.30	8.37	7.68	8.62	7.95	7.47	7.47	7.31	7.68	6.95	7.94	8.34
					256.13	6.95	6.95	6.95	6.95	7.62	7.62	7.77	6.95	7.68	7.68	6.95	7.60	7.47	7.47	7.40	7.89	8.70	7.77	8.96	7.80	7.09	7.81	7.02	7.37	8.71	7.37	7.74
						160.17	7.56	7.68	7.68	7.28	7.28	6.95	7.68	8.88	7.77	7.68	8.00	7.09	7.81	7.84	7.95	7.42	6.95	7.82	7.11	7.35	7.82	7.55	7.93	7.77	7.88	8.27
							90.02	7.98	7.49	7.25	7.25	7.68	7.77	9.77	7.95	7.77	7.67	7.35	7.82	7.81	7.80	7.82	7.71	7.88	6.91	9.95	6.95	7.94	8.34	7.65	7.24	7.60
								168.11	8.55	6.47	6.47	7.77	6.95	7.71	7.54	7.94	7.83	9.95	6.95	7.64	7.11	7.38	7.62	7.88	7.53	7.75	8.71	7.37	7.74	6.59	7.88	8.27
									254.94	7.38	7.38	7.18	7.68	7.47	7.60	7.17	8.00	7.75	8.71	6.95	6.91	7.37	6.58	7.47	7.91	7.69	7.77	7.88	8.27	5.74	7.24	7.60
										644.22	**7.32**	7.00	7.77	7.51	7.81	7.71	6.95	7.69	7.77	7.15	7.53	7.78	6.95	7.81	7.71	7.77	7.65	7.24	7.60	6.95	6.91	7.26
											91.35	7.84	7.85	7.86	7.60	7.47	7.47	7.40	7.89	7.77	7.77	6.95	7.60	7.47	7.47	7.40	7.89	7.90	7.91	7.91	7.92	7.94
												38.79	7.15	7.23	7.27	7.30	7.34	7.38	7.19	7.38	7.41	7.23	7.77	7.82	7.90	7.98	8.01	8.04	8.07	8.11	8.14	8.24
													249.58	7.20	7.99	7.41	6.95	7.77	7.65	7.51	7.91	6.95	6.95	8.03	7.78	7.68	6.59	7.88	8.27	7.82	6.91	9.95
														154.60	7.99	7.78	6.95	7.68	6.59	7.16	7.71	7.68	7.68	8.71	6.95	7.53	5.74	7.24	7.60	7.38	7.53	7.75
															39.14	7.70	6.95	7.58	7.77	7.78	7.78	6.57	7.77	8.95	7.68	8.71	6.95	6.91	7.26	7.37	7.91	7.69
																87.54	6.93	6.95	6.95	6.95	6.95	7.41	7.89	7.19	7.38	7.77	7.15	7.53	7.91	7.78	7.71	7.77
																	162.57	6.95	6.41	7.68	7.68	7.71	7.19	6.35	8.42	7.65	7.51	7.91	8.31	6.95	7.78	6.35
																		39.20	6.35	8.49	7.38	7.77	7.65	6.59	7.82	6.59	7.16	7.71	8.10	7.68	6.95	6.49
																			90.87	8.40	8.42	8.38	6.59	6.48	7.19	7.77	7.78	7.78	8.17	6.57	7.68	6.25
																				249.54	8.38	7.29	6.51	6.49	7.35	6.95	6.95	6.95	7.64	7.41	7.38	6.19
																					490.05	7.22	6.43	6.41	6.49	6.53	7.68	7.68	7.69	7.71	8.42	6.49
																						241.25	6.45	6.46	6.50	6.53	6.57	6.61	6.65	6.69	6.73	6.77
																							159.78	6.15	6.50	6.79	6.48	6.51	6.54	6.58	6.35	6.70
																								637.18	6.48	6.47	6.49	7.82	7.77	7.77	6.49	6.19
																									361.45	6.35	6.41	6.95	7.68	8.38	6.25	5.93
																										250.41	6.38	6.95	7.58	7.77	6.19	5.88
																											245.25	6.95	6.95	6.95	6.49	6.17
																												248.48	6.96	6.82	6.70	6.37
																													156.95	6.78	6.19	5.88
																														367.18	6.17	5.88
																															809.25	5.69
																																1966.15

- Συνόρθωση χωρίς διασταυρούμενες βάσεις

N											E											h										
ΚΑΣΤ.	ΑΙΞ.	ΣΧΟΛ.	ΓΕΦ.	ΙΛΙΣ.	ΕΛΙΚ.	ΑΓ. ΔΗΜ	Π. ΜΥΡΤ	ΠΟΣΕΙΔ.	ΠΥΡ.	ΚΗΦ.	ΚΑΣΤ.	ΑΙΞ.	ΣΧΟΛ.	ΓΕΦ.	ΙΛΙΣ.	ΕΛΙΚ.	ΑΓ. ΔΗΜ	Π. ΜΥΡΤ.	ΠΟΣΕΙΔ.	ΠΥΡ.	ΚΗΦ.	ΚΑΣΤ.	ΑΙΞ.	ΣΧΟΛ.	ΓΕΦ.	ΙΛΙΣ.	ΕΛΙΚ.	ΑΓ. ΔΗΜ	Π. ΜΥΡΤ	ΠΟΣΕΙΔ.	ΠΥΡ.	ΚΗΦ.
90.39	8.38	7.37	7.36	7.70	7.17	7.68	7.50	8.75	7.48	7.17	7.15	7.66	9.94	7.87	7.88	7.38	7.68	7.84	7.87	7.47	7.79	6.62	7.70	9.94	7.56	7.79	7.81	7.11	7.47	7.46	7.30	7.67
	40.71	7.24	7.28	8.96	9.86	7.68	7.27	9.34	8.67	10.50	10.47	7.57	7.87	7.54	7.56	7.93	8.31	7.87	7.54	7.56	7.93	7.79	7.61	8.03	8.27	8.51	8.77	7.43	7.58	7.73	7.89	8.00
		161.19	6.92	7.36	6.94	7.76	7.70	7.00	7.52	7.94	7.92	6.53	7.70	7.26	7.87	7.18	7.76	7.79	7.81	7.55	7.82	8.36	6.57	8.61	7.29	7.83	7.87	7.34	7.71	7.80	7.01	7.36
			248.33	6.07	7.05	7.70	7.61	7.62	7.70	7.70	7.68	6.90	7.61	7.54	8.69	7.00	7.94	7.83	7.87	7.54	7.56	6.93	6.94	7.14	7.88	7.78	7.87	7.36	7.73	7.81	7.54	7.92
				96.35	7.28	7.61	6.57	7.11	7.77	7.61	7.59	7.63	6.57	7.49	6.94	7.62	7.53	7.78	7.87	7.68	7.29	8.36	7.68	8.61	7.94	7.46	7.46	7.30	7.67	6.94	7.93	8.33
					255.87	6.94	6.94	6.94	6.94	7.61	7.59	7.71	6.94	7.68	7.68	6.94	7.59	7.46	7.46	7.39	7.88	8.69	7.76	8.95	7.79	7.08	7.80	7.01	7.36	8.70	7.36	7.73
						160.01	7.55	7.68	7.68	7.27	7.25	6.90	7.68	8.87	7.76	7.68	7.99	7.08	7.80	7.83	7.94	7.41	6.94	7.81	7.10	7.34	7.81	7.54	7.92	7.76	7.87	8.27
							89.93	7.97	7.48	7.24	7.22	7.63	7.76	9.76	7.94	7.76	7.66	7.34	7.81	7.80	7.79	7.81	7.70	7.87	6.90	9.94	6.94	7.93	8.33	7.64	7.23	7.59
								167.94	8.54	6.46	6.44	7.71	6.94	7.70	7.53	7.93	7.82	9.94	6.94	7.63	7.10	7.37	7.61	7.87	7.52	7.74	8.70	7.36	7.73	6.58	7.87	8.27
									254.69	7.37	7.35	7.13	7.68	7.46	7.59	7.16	7.99	7.74	8.70	6.94	6.90	7.36	6.57	7.46	7.90	7.68	7.76	7.87	8.27	5.73	7.23	7.59
										253.58	7.29	6.95	7.76	7.50	7.80	7.70	6.94	7.68	7.76	7.14	7.52	7.77	6.94	7.80	7.70	7.76	7.64	7.23	7.59	6.94	6.90	7.25
											90.98	7.79	7.84	7.85	7.59	7.46	7.46	7.39	7.88	7.76	7.76	6.94	7.59	7.46	7.46	7.39	7.88	7.89	7.90	7.91	7.91	7.93
												38.52	7.14	7.22	7.26	7.30	7.33	7.37	7.18	7.37	7.41	7.22	7.76	7.81	7.89	7.97	8.00	8.03	8.07	8.10	8.13	8.23
													249.33	7.19	7.98	7.40	6.94	7.76	7.64	7.50	7.90	6.94	6.94	8.02	7.77	7.68	6.58	7.87	8.27	7.81	6.90	9.94
														154.45	7.98	7.77	6.94	7.68	6.58	7.15	7.70	7.68	7.68	8.70	6.94	7.52	5.73	7.23	7.59	7.37	7.52	7.74
															39.10	7.69	6.94	7.58	7.76	7.77	7.77	6.56	7.76	8.94	7.68	8.70	6.94	6.90	7.25	7.36	7.90	7.68
																87.45	6.92	6.94	6.94	6.94	6.94	7.40	7.88	7.18	7.37	7.76	7.14	7.52	7.90	7.77	7.70	7.76
																	162.41	6.94	6.40	7.68	7.68	7.70	7.18	6.34	8.41	7.64	7.50	7.90	8.30	6.94	7.77	6.34
																		39.16	6.34	8.48	7.37	7.76	7.64	6.58	7.81	6.58	7.15	7.70	8.09	7.68	6.94	6.48
																			90.78	8.39	8.41	8.37	6.58	6.47	7.18	7.76	7.77	7.77	8.16	6.56	7.68	6.24
																				249.29	8.37	7.28	6.50	6.48	7.34	6.94	6.94	6.94	7.64	7.40	7.37	6.18
																					360.56	7.21	6.42	6.40	6.48	6.52	7.68	7.68	7.68	7.70	8.41	6.48
																						241.01	6.44	6.45	6.49	6.53	6.57	6.61	6.65	6.69	6.73	6.77
																							159.62	6.14	6.49	6.78	6.47	6.51	6.54	6.57	6.34	6.69
																								636.54	6.47	6.46	6.48	7.81	7.76	7.76	6.48	6.18
																									361.09	6.34	6.40	6.94	7.68	8.37	6.24	5.93
																										250.16	6.37	6.94	7.58	7.76	6.18	5.87
																											245.00	6.94	6.94	6.94	6.48	6.16
																												248.23	6.95	6.81	6.69	6.36
																													156.79	6.77	6.18	5.87
																														367.18	6.16	5.87
																															809.25	5.68
																																810.18

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΚΩΔΙΚΑ

- Συνόρθωση με όλες τις μετρήσεις και με τις ίδιες αρχικές συνθήκες

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	E(m)	N(m)	h(m)
ΚΑΣΤΕΛΑ	**469604.697**	**4198912.113**	**91.790**
ΣΧΟΛΕΙΟ	471754.360	4200004.404	9.749
ΓΕΦΥΡΑ	471868.163	4200473.544	13.645
ΙΛΙΣΟΣ	472568.997	4200472.979	16.366
ΕΛΙΚΑΣ	471631.874	4199402.168	8.831
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	470676.129	4199840.770	9.841
Π. ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	470252.023	4199334.749	9.208
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	472141.116	4199230.497	9.617
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	472651.068	4199871.617	10.860
ΚΗΦΙΣΟΣ	471049.724	4200039.108	10.087

- Συνόρθωση με όλες τις βάσεις

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	E(m)	N(m)	h(m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	**480537.220**	**4202800.617**	**215.370**
ΑΙΞΩΝΗ	480782.470	4190640.745	381.116
ΚΑΣΤΕΛΑ	469604.715	4198912.113	91.779
ΣΧΟΛΕΙΟ	471754.376	4200004.408	9.738
ΓΕΦΥΡΑ	471868.185	4200473.546	13.634
ΙΛΙΣΟΣ	472569.014	4200472.982	16.355
ΕΛΙΚΑΣ	471631.893	4199402.170	8.820
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	470676.148	4199840.774	9.829
Π.ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	470252.044	4199334.752	9.199
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	472141.135	4199230.498	9.606
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	472651.084	4199871.621	10.849
ΚΗΦΙΣΟΣ	471049.743	4200039.112	10.073

- Συνόρθωση χωρίς διασταυρούμενες βάσεις

ΚΟΡΥΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	E(m)	N(m)	h(m)
ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ	**480537.220**	**4202800.617**	**215.370**
ΑΙΞΩΝΗ	480782.470	4190640.745	381.119
ΚΑΣΤΕΛΑ	469604.720	4198912.118	91.779
ΣΧΟΛΕΙΟ	471754.380	4200004.408	9.735
ΓΕΦΥΡΑ	471868.190	4200473.551	13.635
ΙΛΙΣΟΣ	472569.016	4200472.986	16.355
ΕΛΙΚΑΣ	471631.897	4199402.172	8.823
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	470676.151	4199840.774	9.829
Π.ΜΥΡΤΙΔΙΩΤΙΣΣΑ	470252.046	4199334.750	9.198
ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ	472141.140	4199230.503	9.610
ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ	472651.089	4199871.620	10.853
ΚΗΦΙΣΟΣ	471049.745	4200039.113	10.071

ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΙΞΩΝΗ (Γ.Υ.Σ.)

ΠΡΟΒΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ		
E(m)	N(m)	H(m)
480782.477	4190640.756	372.424

Ύψος βάθρου: 1.10m

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΑΠΟ EGS84 ΣΕ ΕΓΣΑ87	
Μετάθεση κατά X(m)	199.723
Μετάθεση κατά Y(m)	-74.030
Μετάθεση κατά Z (m)	-246.018

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΜΕΡΚΑΤΟΡΙΚΗΣ ΠΡΟΒΟΛΗΣ	
Κεντρικός παράλληλος	0^{o} 00΄ 00΄΄
Κεντρικός μεσημβρινός	24^{o} 00΄ 00΄΄
Τετμημένη Κεντρικού Παράλληλου (m)	0
Τετμημένη Κεντρικού Μεσημβρινού (m)	500.000
Συντελεστής κλίμακας	0.9996