



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ
ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ
ΑΝΤΕΡΕΙΣΜΑΤΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΕΥΗΝΟΥ**



Διπλωματική Εργασία
Μουλουδάκης Μιχαήλ

Επιβλέπων: Γκίκας Βασίλειος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Τομέας Τοπογραφίας
Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ
ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ
ΑΝΤΕΡΕΙΣΜΑΤΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΕΥΗΝΟΥ**

**Διπλωματική Εργασία
Μουλουδάκης Μιχαήλ**

Επιβλέπων: Γκίκας Βασίλειος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί την Διπλωματική Εργασία για την ολοκλήρωση των σπουδών μου στην σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το αντικείμενο της εργασίας είναι “Μελέτη Κινηματικής Συμπεριφοράς Γεωδαιτικού Δικτύου και Κατολίσθησης Αριστερού Αντερείσματος Φράγματος Ευήνου”.

Καθ’ όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας υπήρξαν πρόσωπα τα οποία βοήθησαν για την επιτυχή ολοκλήρωση της, τα οποία αισθάνομαι την ανάγκη να τα ευχαριστήσω.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο Επίκουρο Καθηγητή κ. Γκίκα Βασίλειο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου να μου αναθέσει το παρόν αντικείμενο. Θα ήθελα επιπλέον να τον ευχαριστήσω για την καθοδήγηση και το ενδιαφέρον του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Δημήτριο Παραδείση, καθηγητή του ΕΜΠ, για τη βοήθεια του τόσο σε πρακτικά όσο και σε θεωρητικά θέματα. Επίσης, ευχαριστώ τους υποψήφιους διδάκτορες της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Αγγελική Μαρίνου και Βαγγέλη Ζαχαρή για την βοήθεια τους σε τεχνικά και λειτουργικά ζητήματα.

Θερμές ευχαριστίες στον φίλο και μεταπτυχιακό φοιτητή της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Αντωνακόπουλο Γιώργο για την άψογη συνεργασία που είχαμε σε όλο το διάστημα εκπόνησης των εργασιών μας για το Φράγμα του Ευήνου και για τα πολύτιμα στοιχεία που συνέλεξε.

Εκτός του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τη διοίκηση της ΕΥΔΑΠ Α.Ε, για τη δυνατότητα πρόσβασης στους χώρους του φράγματος του Ευήνου.

Εν κατακλείδι, ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την βοήθεια, στήριξη και υπομονή που διέθεσαν όλα αυτά τα χρόνια κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	ii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	v
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ix
ABSTRACT.....	x
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	5
1.1 Γενικά.....	5
1.2 Παράγοντες που προκαλούν κατολισθήσεις.....	8
1.3 Μορφές κατολισθήσεων	9
1.4 Μελέτη κατολισθήσεων.....	10
1.5 Μέθοδοι έρευνας που χρησιμοποιούνται.....	11
1.6 Χρήση GPS στη μελέτη κατολισθήσεων.....	17
2. ΔΙΚΤΥΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ	19
2.1 Εισαγωγή	19
2.2 Πύκνωση δικτύων με δορυφορικό εντοπισμό	20
2.2.1 Κριτήρια σχεδιασμού και επιλογής βάσεων GPS.....	20
2.2.2 Μέθοδοι μέτρησης που χρησιμοποιούνται	23
2.2.3 Τεχνικές πύκνωσης	25
2.2.3.1 Επίλυση μεμονωμένων βάσεων	25
2.2.3.2 Ενιαία επίλυση ως δίκτυο	26
2.3 Συνόρθωση δικτύων.....	27
2.4 Έλεγχος του δικτύου.....	30
2.4.1 Κριτήρια ακρίβειας, αξιοπιστίας και στατιστικούς ελέγχους.....	31
2.4.2 Νέες μετρήσεις στα σημεία του δικτύου	32
2.5 Δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS.....	33
3. ΕΡΓΟ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ/ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ	35
3.1 Περιγραφή περιοχής	35
3.2 Τεχνικά στοιχεία φράγματος.....	37

3.3	Σύνδεση Ευήνου-Μόρνου.....	41
3.4	Περιγραφή Κατολίσθησης στο Φράγμα του Ευήνου	42
3.4.1	Γεωλογία-Γεωμορφολογία.....	42
3.4.2	Ιστορικό-Διερεύνηση.....	43
3.4.3	Μέτρα σταθεροποίησης.....	45
3.4.4	Μέθοδοι παρακολούθησης	47
4.	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΑΝΑΜΕΤΡΗΣΗΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ/ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ.....	49
4.1	Εισαγωγή... ..	49
4.2	Γεωδαιτικό υπόβαθρο	49
4.2.1	Πρωτεύον και δευτερεύον τριγωνομετρικό δίκτυο.....	49
4.2.2	Σημεία ελέγχου επιφανειακών μετακινήσεων	51
4.3	Επαναμέτρηση τριγωνομετρικού δικτύου και επιλεγμένων σημείων παρακολούθησης.....	53
4.3.1	Σχεδιασμός δικτύου/εργασιών πεδίου	53
4.3.2	Γεωδαιτικός εξοπλισμός	55
4.3.3	Σύνοψη εργασιών.....	58
5.	ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΕΥΗΝΟΥ.....	67
5.1	Εισαγωγικά	67
5.2	Διαδικασία επίλυσης δορυφορικού δικτύου-Λογισμικό Trimble Business Center (TBC)	68
5.3	Είδη επιλύσεων	72
5.4	Αποτελέσματα επιλύσεων – Συγκρίσεις.....	78
6.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΕΥΗΝΟΥ ΚΑΙ “ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ 1993”.....	83
6.1	Σύνοψη διαθέσιμων δεδομένων/στοιχείων	83
6.2	Θεωρητικό υπόβαθρο	84
6.3	Ανάλυση δορυφορικού δικτύου φράγματος Ευήνου(1997,2011)	87
6.4	Ανάλυση στοιχείων “Κατολίσθησης 1993”.....	90
6.4.1	Σημεία ελέγχου “S44”, “S47”, “S48”	90
6.4.2	Λοιπά σημεία ελέγχου	94
6.4.3	Ταχύτητες μετακίνησης σημείων ελέγχου.....	110

7. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	115
7.1 Αντικείμενο ΔΕ.....	115
7.2 Συμπεράσματα για το γεωδαιτικό δίκτυο και την “Κατολίσθηση 1993”	116
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	121

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 : Μορφολογία πριν και μετά την εκδήλωση κατολίσθησης [Λέκκας Ε, 1996] Figure 1.1 : Morphology before and after the landslide event [Lekkas E, 1996]	6
Σχήμα 1.2 : Τα κυριότερα χαρακτηριστικά σημεία μίας κατολίσθησης [Λέκκας Ε, 1996] Figure 1.2 : Main features of a landslide event [Lekkas E, 1996]	6
Σχήμα 1.3 : Άποψη κατολίσθησης στην περιοχή Μαλακάσα Αττικής από αεροφωτογραφία [Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας] Figure 1.3 : View of Malakasa landslide area (Attiki) from air photo [University of Thessaly].....	12
Σχήμα 1.4 : Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη με προσθήκη ειδικών συμβόλων που αφορούν χαρακτηριστικά της κατολίσθησης [Ruber et al., 1965, Zaruba, 1982] Figure 1.4 : Extract from topographic map symbols with added special features on the landslide [Ruber et al., 1965, Zaruba, 1982]	13
Σχήμα 1.5 : Σύνδεση σημείων εντός της κατολίσθησης μέσω γεωδαιτικών μετρήσεων [Pelzer, 1985] Figure 1.5 : Geodetic measurements between observation points at a landslide prone area [Pelzer, 1985].....	14
Σχήμα 1.6 : Γραφική αναπαράσταση των φορέων μετατόπισης για κάθε σημείο της κατολίσθησης [Pelzer, 1985] Figure 1.6 : Landslide displacement vectors at a landslide prone area [Pelzer, 1985]	14
Σχήμα 1.7 : a, b γεωδαιτικές οδεύσεις ελέγχου μετακινήσεων στη κατολισθαίνουσα μάζα. Τα c, d είναι οι τριγωνομετρικές εξαρτήσεις σημείων ελέγχου [Pertrasek και Zaruba, 1959, Zaruba, 1982] Figure 1.7 : Topographic survey traverse lines (a ,b) and topographic triangulation points (c, d) [Pertrasek and Zaruba, 1959, Zaruba, 1982]	15
Σχήμα 1.8 : Γεωδαιτικοί έλεγχοι σε κατολίσθηση στη περιοχή Resice [Novosad, 1977, Zaruba, 1982] Figure 1.8 : Geodetic controls at the landslide area Resice [Novosad , 1977, Zaruba, 1982]	16
Σχήμα 2.1 : Σταθμοί της EUREF στην Ελλάδα (με πράσινο χρώμα) [www.epncb.oma.be/] Figure 2.1 : EUREF permanent GNSS stations in Greece (green color) [www.epncb.oma.be/]	34
Σχήμα 3.1 : Χάρτης χρήσεων γης για το τμήμα της λεκάνης απορροής του Ευήνου ποταμού από τη θέση του φράγματος έως τις εκβολές του [Καρύμπαλης, 2009] Figure 3.1 : Map of land use portion of the basin Evinos river from the location of the dam to the river mouth [Karympalis, 2009]	36
Σχήμα 3.2 : Διαχρονική εξέλιξη του πληθυσμού των κοινοτήτων που βρίσκονται στις λεκάνες απορροής (α) του Μόρνου, (β) του Ευήνου και καταλαμβάνουν εκτάσεις που βρίσκονται από τη θέση των φραγμάτων έως τις εκβολές των ποταμών [Εθνική Στατική Υπηρεσία Ελλάδος] Figure 3.2 : Evolution of the population communities located in catchment areas (a) Mornos, (b) Evinos and occupy land in the position of the dams to rivers mouth [National Statistical Service of Greece]	37

Σχήμα 3.3 : Γενική άποψη του φράγματος [Google Earth] Figure 3.3 : General view of the dam [Google Earth].....	38
Σχήμα 3.4 : Υπερχειλιστής Φράγματος Ευήνου [Δήμος Πλατάνου] Figure 3.4 : Spillway of Dam Evinos [Platanos].....	39
Σχήμα 3.5 : Σήραγγα εκτροπής και εκκένωσης Φράγματος Ευήνου [Δήμος Πλατάνου] Figure 3.5 : Tunnel diversion and discharge utilities of Dam Evinos [Platanos]	39
Σχήμα 3.6 : (α) γενική άποψη κατολίσθησης, (β) επιφάνεια ολίσθησης [ΕΥΔΑΠ] Figure 3.6 : (α) overview of landslide, (b) sliding surface [EYDAP].....	43
Σχήμα 3.7 : Θέση κατολίσθησης [ΕΥΔΑΠ] Figure 3.7 : Position of landslide [EYDAP]	44
Σχήμα 3.8 : Άποψη του σπασμένου τεχνικού [ΕΥΔΑΠ] Figure 3.8 : View of broken technical work [EYDAP].....	45
Σχήμα 3.9 : Διάταξη έργων αποκατάστασης [ΕΥΔΑΠ] Figure 3.9 : Order of restoration projects [EYDAP]	46
Σχήμα 4.1 : Πρωτεύον και δευτερεύον τριγωνομετρικό δίκτυο του Φράγματος Ευήνου [Google Earth] Figure 4.1 : Primary and secondary trigonometric network of Evinos Dam [Google Earth]	51
Σχήμα 4.2 : Περιοχή της κατολίσθησης “1993” [Google Earth] Figure 4.2 : Location of the landslide “1993” [Google Earth].....	52
Σχήμα 4.3 : Θέσεις γεωδαιτικών βάθρων επιφανειακών μετακινήσεων και λοιπών οργάνων παρακολούθησης [ΕΥΔΑΠ] Figure 4.3 : Locations of geodetic monuments and other sensors [EYDAP].....	53
Σχήμα 4.4 : Περιγραφή ευρύτερης περιοχής Φράγματος Ευήνου [Google] Figure 4.4 : Map of Evinos Dam area [Google].....	58
Σχήμα 4.5 : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου E Figure 4.5 : Photograph and drawing of the point E	60
Σχήμα 5.1 : Περιβάλλον εργασίας Trimble Business Center (TBC) Figure 5.1 : Interface of Trimble Business Center (TBC) software	68
Σχήμα 5.2 : Παράμετροι μετασχηματισμού από το WGS84 στο ΕΓΣΑ87 [Trimble] Figure 5.2 : Datum transformation from WGS84 to EGSA87 [Trimble]	69
Σχήμα 5.3 : Παρουσίαση επιλυμένων βάσεων [Trimble] Figure 5.3 : Successfully solved GPS baselines [Trimble]	70
Σχήμα 5.4 : Ρυθμίσεις δορυφόρων κατά την επεξεργασία βάσης [Trimble] Figure 5.4 : Satellite configuration in the baseline processing [Trimble].....	71

Σχήμα 5.5 : Επίλυση δικτύου GPS από το τριγωνομετρικό T73 [Trimble Business Center] Figure 5.5 : Solving the network GPS from trigonometric point T73 [Trimble Business Center]	72
Σχήμα 5.6 : Ελλείψεις σφάλματος δικτύου GPS Ευήνου [Trimble Business Center] Figure 5.6 : Error ellipses for Evinos GPS network [Trimble Business Center]	72
Σχήμα 5.7 : Γεωμετρία κεραίας ASH700936E [EUREF] Figure 5.7 : Layout geometry of antenna ASH700936E [EUREF].....	73
Σχήμα 5.8 : Επίλυση δικτύου GPS από το σταθμό της Πάτρας [Trimble Business Center] Figure 5.8 : Solving the network GPS from station in Patra [Trimble Business Center].....	73
Σχήμα 6.1 : Χάρτης με τις οριζοντιογραφικές ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου “S44”, “S47”, “S48” από το DIFF Figure 6.1 : Map of horizontal displacement velocities of control points “S44”, “S47”, “S48” obtained using DIFF	111
Σχήμα 6.2 : Χάρτης με τις οριζοντιογραφικές ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου της κατολίσθησης από τις συμβατικές μετρήσεις Figure 6.2 : Map of horizontal displacement velocities of control points at the landslide area obtained using conventional surveying techniques.....	112

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 : Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση την ταχύτητα μετακίνησης [swr.nmfs.noaa.gov/] Table 1.1 : Sort landslides based on the speed of moving [swr.nmfs.noaa.gov/].....	11
Πίνακας 1.2 : Γεωδαιτικές μέθοδοι παρακολούθησης κατολισθήσεων και εξοπλισμός που χρησιμοποιείται ανάλογα με τη μέθοδο [www.fig.net/pub/fig2011/papers/] Table 1.2 : Geodetic methods for monitoring landslides and equipment used according to the method [www.fig.net/pub/fig2011/papers/].....	16
Πίνακας 3.1 : Περιγραφή τεχνικών στοιχείων του φράγματος [ΕΥΔΑΠ] Table 3.1 : Technical description of dam [ΕΥΔΑΠ]	40
Πίνακας 3.2 : Περιγραφή χαρακτηριστικών ταμιευτήρα Ευήνου [ΕΥΔΑΠ] Table 3.2 : Description reservoir characteristics Evinos [ΕΥΔΑΠ]	41
Πίνακας 4.1 : Συντεταγμένες των βάθρων του πρωτεύοντος τριγωνομετρικού δικτύου [ΕΥΔΑΠ] Table 4.1 : Point coordinates of points of the primary trigonometric network [ΕΥΔΑΠ].....	50
Πίνακας 4.2 : Συντεταγμένες των βάθρων του δευτερεύοντος τριγωνομετρικού δικτύου [ΕΥΔΑΠ] Table 4.2 : Point coordinates of points of the secondary trigonometric network [ΕΥΔΑΠ].....	50
Πίνακας 6.1 : Διαφορές θέσης των σημείων ελέγχου “S44”, “S47”, “S48” [DIFF] Table 6.1 : Position differences for control points “S44”, “S47”, “S48” [DIFF].....	90
Πίνακας 6.2 : Διαφορές θέσης των σημείων ελέγχου “K1”, “K2”, “K3” [ΕΥΔΑΠ] Table 6.2 : Position differences for control points “K1”, “K2”, “K3” [ΕΥΔΑΠ]	94
Πίνακας 6.3 : Οριζοντιογραφικές ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου “S44”, “S47”, “S48” από το DIFF Table 6.3 : Horizontal displacement velocities of control points “S44”, “S47”, “S48” obtained DIFF	110
Πίνακας 6.4 : Ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου της κατολίθησης από τις συμβατικές μετρήσεις Table 6.4 : Displacement velocities of control points at the landslide area obtained using conventional surveying techniques.....	110

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο μελέτης της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας αφορά στην επαναμέτρηση του βασικού γεωδαιτικού δικτύου του ταμειυτήρα – φράγματος Ευήνου, καθώς και επιλεγμένων σημείων ελέγχου στην περιοχή της “Κατολίσθησης 1993” με στόχο, την διερεύνηση τυχόν μετακινήσεων στις κορυφές του τριγωνομετρικού δικτύου και τον έλεγχο της δυναμικής συμπεριφοράς της κατολίσθησης.

Η μεθοδολογία υλοποίησης της διαδικασίας επαναμέτρησης είναι ο δορυφορικός εντοπισμός θέσης, με την διεξαγωγή μετρήσεων GPS σε σημεία του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος και σε επιλεγμένα σημεία στην κατολίσθηση. Η επίλυση του δορυφορικού δικτύου έγινε με το πρόγραμμα επεξεργασίας δορυφορικών μετρήσεων Trimble Business Center και χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία γνωστών συντεταγμένων στην πρώτη επίλυση ένα τριγωνομετρικό σημείο της Γ.Υ.Σ. και στην δεύτερη ο σταθμός της Πάτρας από το δίκτυο της EUREF.

Η ανάλυση μικρομετακινήσεων του δορυφορικού δικτύου του φράγματος και της κατολίσθησης έγινε βάση των μετρήσεων GPS και των επίγειων μετρήσεων που εκτελεί διαχρονικά η ΕΥΔΑΠ για τον γεωδαιτικό έλεγχο της κατολίσθησης, καθώς η εξέλιξη της επηρεάζει άμεσα την ασφάλεια του φράγματος. Για τη σύνδεση των μετρήσεων GPS με τις επίγειες μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα DIFF, το οποίο υπολογίζει τη σχετική θέση δύο συστημάτων αναφοράς. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε στα βάθρα του τριγωνομετρικού δικτύου και στα τρία σημεία ελέγχου της κατολίσθησης που κατ’ επιλογήν μετρήθηκαν με GPS. Η ανάλυση μικρομετακινήσεων των υπολοίπων βάθρων της κατολίσθησης βασίστηκε στις διαφορές που προέκυψαν από τις χρονοσειρές των επίγειων μετρήσεων.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δίνουν μία εικόνα σταθερότητας του δικτύου του φράγματος και σταδιακής κινηματικής εξέλιξης της κατολίσθησης με την ανάπτυξη εντονότερων μικρομετακινήσεων στα σημεία ελέγχου κατά μήκος του δρόμου πλησίον του υπερχειλιστή σε σύγκριση με τα σημεία της πλαγιάς.

ABSTRACT

The main purpose of the present thesis is the remeasurement of the basic geodetic network of the reservoir-dam Evinos and selected object points in the area of “Landslide 1993” with a view, to investigating any movement on the top of the trigonometric network and control the dynamic behavior the landslide.

The methodology of implementation of the measurement process is the satellite positioning, by GPS measurements carried out at points in the trigonometric network of dam and at selected points in the landslide. The resolution of the satellite network was done with the editor of satellite measurements Trimble Business Center and used as points of known coordinates to first solve a trigonometric point of Hellenic Military Geographical Service and to the second solve the station of Patras from the EUREF network.

The analysis of movements the satellite network dam and landslide became the basis of GPS and ground measurements. EYDAP performed over time these measurements for the geodetic control of landslide as the development directly affects of the safety of dam. For connecting the GPS measurements with ground measurements used the program DIFF, which calculate the relative position of two reference systems. This method of analysis used on points of the trigonometric network and in three objects points landslide at the choice measured by GPS. Movement analysis the other object points of the landslide was based on differences in arising from time series of surface measurements.

The analysis results give a view network stability of dam and the gradual evolution of the landslide kinematics with development of more intense movements at object points along the road near the spillway than the points of the slope.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατολίσθηση είναι αποτέλεσμα της αναζήτησης μίας νέας κατάστασης ισορροπίας του εδάφους. Ο έλεγχος της συμπεριφοράς της κατολίσθησης γίνεται με την μελέτη μετακινήσεων κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης. Για την επιβράδυνση ή την πλήρη παύση του φαινομένου εφαρμόζεται η λήψη μέτρων σταθεροποίησης. Ανεξάρτητα από τα μέτρα σταθεροποίησης λαμβάνονται μέτρα παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς της κατολίσθησης. Συνήθως ο γεωδαιτικός έλεγχος για την περιγραφή μετακινήσεων γίνεται επιλέγοντας διακριτά σημεία μέτρησης εντός της κατολίσθησης και δίνοντας ως αποτελέσματα τα διανύσματα μετατόπισης και το μέτρο ακρίβειας τους (ελλείψεις σφάλματος). Η γεωδαιτική παρακολούθηση με μετρήσεις GPS γίνεται μετρώντας και υπολογίζοντας δορυφορικό δίκτυο σε δύο τουλάχιστον χρονικές περιόδους και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την εξέλιξη της.

Οι δορυφορικές γεωδαιτικές μετρήσεις αποβλέπουν στον προσδιορισμό διανυσμάτων στο χώρο μεταξύ των κορυφών τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου. Η πύκνωση ενός δικτύου GPS γίνεται και στις τρεις διαστάσεις (ο υπολογισμός της υψομετρίας έχει σημαντικά χαμηλότερη ακρίβεια σε σχέση με την οριζοντιογραφία) γνωρίζοντας τις συντεταγμένες ενός σημείου. Το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι δεν απαιτείται ορατότητα μεταξύ των κορυφών και είναι δυνατή η σύνδεση τους σε απόσταση αρκετών χιλιομέτρων. Σε κάθε εργασία μικρομετακινήσεων η κλασσική μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι ο στατικός προσδιορισμός θέσης με τους δέκτες να μένουν στάσιμοι από μερικά λεπτά έως αρκετές ώρες. Οι τεχνικές πύκνωσης είναι η επίλυση μεμονωμένων βάσεων για δίκτυα με μικρό αριθμό σημείων και η ενιαία επίλυση ως δίκτυο δημιουργώντας κλειστά γεωμετρικά σχήματα. Ακολουθεί η συνόρθωση του δικτύου είτε κατά περιόδους λαμβάνοντας υπόψη τη συσχέτιση μεταξύ των παρατηρήσεων σε κάθε περίοδο είτε συνορθώνοντας τις βάσεις όλων των περιόδων αγνοώντας κάθε συσχέτιση. Με την ολοκλήρωση της συνόρθωσης γίνεται ο έλεγχος της ποιότητας του δικτύου με στατιστικούς ελέγχους ή με νέες μετρήσεις στο δίκτυο.

Η περιοχή μελέτης της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας είναι το έργο του Ευήνου στην τοποθεσία Άγιος Δημήτριος Ευήνου του νομού Αιτωλοακαρνανίας. Το έργο περιλαμβάνει την κατασκευή φράγματος, την δημιουργία ταμιευτήρα και την

κατασκευή του αγωγού σύνδεσης Ευήνου-Μόρνου. Αποτελεί την δεύτερη φάση υδροδότησης της μείζονος περιοχής της Αθήνας και την εποπτεία του έργου την έχει αναλάβει η ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Το φράγμα κατασκευάστηκε την περίοδο 1992-1997 και πρόκειται για χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα συνολικού ύψους 126 m και μήκος στέψης περίπου 600 m. Κατά την κατασκευή του έργου ενεργοποιήθηκαν δύο κατολισθήσεις στα αριστερά πρηνή του ταμιευτήρα. Η κατολίσθηση μελέτης βρίσκεται ανάντη της περιοχής εισόδου του υπερχειλιστή και ενεργοποιήθηκε τον Αύγουστο του 1993. Τα έργα σταθεροποίησης ολοκληρώθηκαν στις αρχές του 2001 και έκτοτε μελετάται η συμπεριφορά της με συμβατικές μετρήσεις σε βάθρα ελέγχου επιφανειακών μετακινήσεων, με μετρήσεις σε κλισιόμετρα και πιεσόμετρα, καθώς επίσης με την μέτρηση της παροχής στην έξοδο αποστραγγιστικής σήραγγας.

Οι εργασίες πεδίου περιελάμβαναν την επαναμέτρηση με τη μέθοδο της δορυφορικής γεωδαισίας (GPS) επτά σημείων ελέγχου του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τοπικού δικτύου του φράγματος, ενός τριγωνομετρικού σημείου της Γ.Υ.Σ. και τριών σημείων ελέγχου στη στέψη και στην περιοχή κατολίσθησης. Η συλλογή των μετρήσεων GPS έγινε το διάστημα 27/03/2011-30/03/2011, αλλά στο γραφείο είχε προηγηθεί ο σχεδιασμός τους. Στις εργασίες στο ύπαιθρο χρησιμοποιήθηκαν 4 δέκτες GPS που καταγράφουν στις συχνότητες L1 και L2, ενώ η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο σχετικός στατικός εντοπισμός θέσης.

Για την επίλυση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα TBC (Trimble Business Center), το οποίο αποτελεί ένα εμπορικό πακέτο λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων GPS. Έγιναν δύο επιλύσεις, η πρώτη με σημείο αναφοράς το τριγωνομετρικό της ΓΥΣ και η δεύτερη από τον σταθμό της Πάτρας του δικτύου της EUREF. Από τις δύο επιλύσεις προέκυψαν κοινές ελλειψοειδείς γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ , λ , h) στο WGS'84.

Η ανάλυση μικρομετακινήσεων του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος και των επιλεγμένων σημείων ελέγχου “S44”, “S47” και “S48” της κατολίσθησης που μετρήθηκαν στο πεδίο με GPS, έγινε με τον υπολογισμό της σχετική θέσης δύο συστημάτων αναφοράς από το πρόγραμμα DIFF. Μέσω του προγράμματος συνδέθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων GPS με τις συντεταγμένες HATT των συμβατικών μετρήσεων. Για τα υπόλοιπα βάθρα της “Κατολίσθησης 1993” η μεθοδολογία ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο υπολογισμός διαφορών από τις

συμβατικές μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ. Στη συνέχεια ακολούθησε η δημιουργία γραφημάτων χρονοσειρών, από τα οποία προέκυψε ο υπολογισμός ταχυτήτων μετακίνησης για την περαιτέρω μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς της κατολίσθησης. Από την μελέτη των αποτελεσμάτων της ανάλυσης δεν προκύπτουν ενδείξεις μετακίνησης για το δίκτυο του φράγματος. Στην κατολίσθηση οι μικρομετακινήσεις εξελίσσονται σταδιακά στη κλίμακα του χρόνου με την εμφάνιση εντονότερων κατά μήκος του δρόμου σε σύγκριση με τα σημεία της πλαγιάς.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία χωρίζεται σε 7 κεφάλαια, τα οποία περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στις κατολισθήσεις, περιγράφονται ορισμένα βασικά στοιχεία και γίνεται αναφορά κυρίως στις γεωδαιτικές μεθόδους έρευνας που αναπτύσσονται για την παρακολούθηση κατολισθήσεων.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τα δίκτυα GPS, περιγράφεται η διαδικασία πύκνωσης με δορυφορικό εντοπισμό, η συνόρθωση και ο έλεγχος δικτύων GPS και τα δίκτυα μόνιμων σταθμών.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην περιοχή μελέτης, δίνεται μία περιγραφή της περιοχής και παρουσιάζονται βασικά στοιχεία της κατασκευής του χωμάτινου φράγματος του Ευήνου. Στη συνέχεια περιγράφονται οι κατολισθήσεις στα αριστερά πρηνή του ταμιευτήρα, τα μέτρα σταθεροποίησης και τα μέτρα παρακολούθησης που ελήφθησαν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις εργασίες επαναμέτρησης του γεωδαιτικού δικτύου φράγματος-ταμιευτήρα Ευήνου. Περιγράφεται αρχικά το γεωδαιτικό υπόβαθρο, στο οποίο βασίστηκαν οι εργασίες πεδίου και στη συνέχεια τα στάδια της διαδικασίας επαναμέτρησης.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη διαδικασία, τα είδη και τα αποτελέσματα των επιλύσεων του δορυφορικού δικτύου φράγματος Ευήνου.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η ανάλυση μικρομετακινήσεων του δορυφορικού δικτύου φράγματος Ευήνου και “Κατολίσθησης 1993”. Γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο, στα αποτελέσματα της ανάλυσης και υπολογίζονται ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου της κατολίσθησης.

Στο έβδομο κεφάλαιο δίνεται το αντικείμενο της εργασίας, τα τελικά συμπεράσματα και παρουσιάζονται προτάσεις για εργασίες παρακολούθησης με GPS τεχνικών έργων ή φυσικών φαινομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

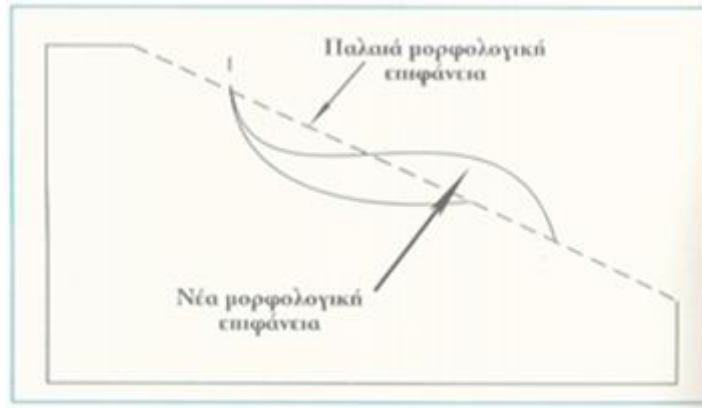
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

1.1 Γενικά

Εδαφικές ή βραχώδεις μάζες που βρίσκονται είτε κάτω από οριζόντια, γεωλογική επιφάνεια, είτε πίσω από κεκλιμένη (πρανές) μπορούν να υποστούν διατάραξη της ισορροπίας τους, ύστερα από ορισμένες εσωτερικές ή εξωτερικές μεταβολές. Οι διαταράξεις αυτές μπορούν να προκληθούν από εξωτερικές παρεμβάσεις με την άμεση ή την έμμεση συμβολή του ανθρώπου. Επίσης, μπορούν να προκληθούν και χωρίς εξωτερικές παρεμβάσεις από διάφορες φυσικές διεργασίες, όπως βροχοπτώσεις ή χιονοπτώσεις, πλημμύρες, λιώσιμο παγωμένου εδάφους, που εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου.

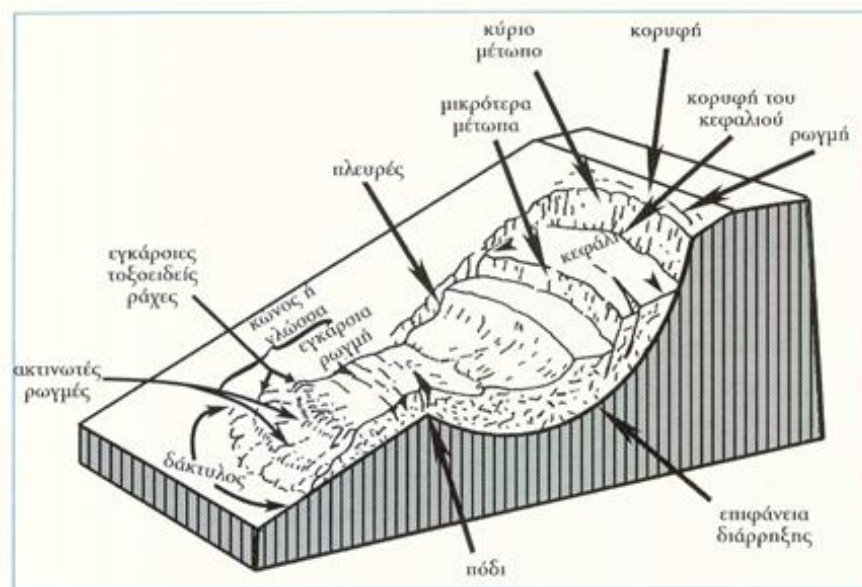
Εξετάζοντας από κινηματική άποψη το σύνολο των μεταβολών αυτών διακρίνονται δύο συνιστώσες κίνησης, μία οριζόντια και μία κατακόρυφη. Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο κατακόρυφη μετακίνηση το φαινόμενο καλείται καθίζηση ή κατάρρευση. Στην αντίθετη περίπτωση που εκτός από την κατακόρυφη προς τα κάτω συνιστώσα υπάρχει και οριζόντια συνιστώσα κίνησης, το φαινόμενο καλείται κατολίσθηση με την ευρεία έννοια του όρου.

Η κατολίσθηση θα συμβεί, όταν η διατμητική αντοχή του υλικού κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης, που θα δημιουργηθεί, υπερνικηθεί από τη διατμητική τάση, η οποία εξασκείται από το βάρος της μάζας που πρόκειται να κατολισθήσει. Οι τυπικές κατολισθήσεις προσβάλλουν εδάφη ή πολύ πυκνοδιαρρηγμένα πετρώματα, που η συμπεριφορά τους μοιάζει πολύ με εκείνη των ασύνδετων αδρομερών υλικών, παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης, εμφανίζονται εφελκυστικές ρωγμές στο πάνω μέρος του πρανούς που πρόκειται να κατολισθήσει. Κατά τη διάρκεια της κατολίσθησης το πάνω μέρος της μετακινούμενης μάζας υποχωρεί, σε σχέση με την αρχική επιφάνεια του πρανούς, ενώ το κάτω διογκώνεται πάνω από την αρχική επιφάνεια. Έτσι αν η αρχική επιφάνεια ήταν επίπεδη, η νέα μορφολογική επιφάνεια που θα δημιουργηθεί θα παρουσιάζεται σε κατακόρυφη τομή κατά μήκος του άξονα της κατολίσθησης, με τη μορφή σχήματος S.



Σχήμα 1.1 : Μορφολογία πριν και μετά την εκδήλωση κατολίσθησης [Λέκκας Ε, 1996]
 Figure 1.1 : Morphology before and after the landslide event [Lekkas E, 1996]

Τα διάφορα μέρη που διακρίνονται σε μία κατολίσθηση είναι τα παρακάτω:



Σχήμα 1.2 : Τα κυριότερα χαρακτηριστικά σημεία μίας κατολίσθησης [Λέκκας Ε, 1996]
 Figure 1.2 : Main features of a landslide event [Lekkas E, 1996]

- Το κύριο μέτωπο. Είναι μία απότομη κρημνώδης επιφάνεια στο σταθερό έδαφος που βρίσκεται περιφερειακά της κατολίσθησης και δημιουργήθηκε εξαιτίας της προς τα κάτω κίνησης των υλικών που μετακινήθηκαν. Η προέκταση του κυρίου αυτού μετώπου και κάτω από τα διαταραγμένα υλικά καθορίζει την επιφάνεια διάρρηξης.

- Τα μικρότερα μέτωπα. Απότομες κρημνώδεις επιφάνειες πάνω στα διαταραγμένα υλικά που έχουν δημιουργηθεί από διάφορες κινήσεις μέσα στη μάζα που κατολίσθησε.
- Το κεφάλι. Αποτελείται από τα ανώτερα τμήματα των υλικών που κατολίσθησαν και βρίσκεται κατά μήκος της επαφής μεταξύ των διαταραγμένων υλικών και του κύριου μετώπου.
- Η κορυφή του κεφαλιού. Το υψηλότερο σημείο επαφής μεταξύ των διαταραγμένων υλικών και του κύριου μετώπου.
- Το πόδι. Η γραμμή διατομής μεταξύ του κατώτερου μέρους της επιφάνειας διάρρηξης και της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.
- Ο δάκτυλος. Το περιθώριο των υλικών που κατολίσθησαν, που βρίσκεται στη μεγαλύτερη απόσταση από το κύριο μέτωπο της κατολίσθησης.
- Η κορυφή. Το υλικό, που είναι ακόμα στη θέση του, πρακτικά αδιατάρακτο και βρίσκεται στα υψηλότερα σημεία του κύριου μετώπου.
- Η επιφάνεια διάρρηξης. Είναι η επιφάνεια κατά την οποία αποχωρίζονται τα υλικά που κατολισθαίνουν από το σταθερό υπόβαθρο.
- Η επιφάνεια ολίσθησης. Είναι η επιφάνεια εκείνη πάνω στην οποία γίνεται η μετακίνηση της μάζας που κατολισθαίνει. Ένα τμήμα (το ανώτερο) της επιφάνειας αυτής αποτελείται από την επιφάνεια διάρρηξης. Σε χαμηλότερα σημεία, κάτω από το πόδι, η ολίσθηση γίνεται πάνω στην αρχική επιφάνεια του πρανούς.
- Ο κώνος ή γλώσσα. Είναι τα υλικά εκείνα, τα οποία έχουν ξεπεράσει την επιφάνεια διάρρηξης και έχουν ολισθήσει στην αρχική επιφάνεια του πρανούς.

Η κατολίσθηση εκφράζει το αποτέλεσμα της αναζήτησης μίας νέας κατάστασης ισορροπίας του εδάφους. Σε αρκετές περιπτώσεις είναι δυνατή η ανθρώπινη επέμβαση για τη πλήρη παύση ή την επιβράδυνση του φαινομένου. Οι μετακινήσεις τους εδάφους μπορούν εν γένει να πλήξουν:

- Ορεινά ή πεδινά χωριά έως και μεγάλες αστικές περιοχές
- Στοές μεταλλείων
- Οδοποιία και σήραγγες
- Φράγματα, αν η κατολίσθηση συμβεί στα αντερείσματα ή στον ταμιευτήρα του φράγματος.
- Δίκτυα κοινής ωφέλειας και υποθαλάσσιες κατασκευές (περιπτώσεις αστοχίας πρανών κυρίως λόγω σεισμού κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας).

1.2 Παράγοντες που προκαλούν κατολισθήσεις

Οι παράγοντες που επηρεάζουν μία κατολίσθηση είναι οι ακόλουθοι:

- Γεωλογικοί (φύση εδάφους ή πετρώματος, δομή και γεωμετρία γεωλογικών σχηματισμών)
- Τοπογραφικοί – γεωμορφολογικοί
- Υδρολογικοί, κλιματολογικοί και υδρογεωλογικοί
- Μηχανικοί

Οι παράγοντες αστάθειας οφείλονται σε έναν, ή σε συνδυασμό, από τους ακόλουθους:

- Αλλαγή της κλίσης της επιφάνειας του εδάφους και εσωτερικής γεωμετρίας του υλικού. Στις περιπτώσεις εκσκαφών στη βάση πρανών για τη διάνοιξη οδών ή λόγω διάβρωσης των υλικών του πρανούς μπορεί να επέλθει αστοχία. Επιπλέον στα βραχώδη πρανή η ύπαρξη δομικών ασυνεχειών και ο δυσμενής προσανατολισμός του πρανούς οδηγεί συχνά σε αστοχία.

- Ανθρώπινη επέμβαση μέσω επιβολής φόρτισης στην κορυφή του πρανούς (επιχώματα, κτίρια κλπ).
- Σεισμική φόρτιση: Ιδιαίτερα σε πρανή που αποτελούνται από χαλαρά ή μικρής συνεκτικότητας υλικά κατά τη διάρκεια του σεισμικού κραδασμού επέρχεται μείωση του συνέχειας μεταξύ των κόκκων, ή μείωση της συνοχής και το πρανές οδηγείται σε αστοχία.
- Η παρουσία υψηλής στάθμης υδροφόρου ορίζοντα, ή και επιφανειακού νερού. Η μόνιμη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται μέσα στο πρανές ασκεί υδροστατικές πιέσεις που μειώνουν την ευστάθεια του πρανούς, ενώ στα βραχώδη πρανή η εναλλαγή των φάσεων νερού (νερό, πάγος κλπ), αυξάνει το εύρος των ασυνεχειών και ασκεί πιέσεις, ενώ παράλληλα διευκολύνει και την κυκλοφορία νερού σε βαθύτερα σημεία. Επιπλέον, όταν το νερό κινείται μεταξύ περατού και λιγότερο περατού στρώματος λειτουργεί ως << λιπαντικό >> μέσο που βοηθά στην αστοχία.

1.3 Μορφές κατολισθήσεων

Μία από τις πληρέστερες ταξινομήσεις που έχουν προταθεί, θεωρείται η ταξινόμηση κατά Varnes (1978). Στην ταξινόμηση, αυτή λαμβάνονται υπόψη αρκετοί παράγοντες, όπως το είδος της κίνησης, το είδος των υλικών που μετασχηματίστηκαν, η μορφή της κίνησης, κλπ. Διακρίνονται τα εξής είδη κατολισθήσεων:

1. Καταπτώσεις: Πρόκειται για αποσπάσεις μαζών διαφόρων μεγεθών από απότομα πρανή και στη συνέχεια μετακίνηση τους λόγω βαρύτητας με τη μορφή ελεύθερης πτώσης, αναπηδήματος και κύλισης. Η κίνηση είναι γρήγορη έως πολύ γρήγορη και συνήθως αυξάνει προς τα κάτω λόγω βαρύτητας. Διακρίνονται ανάλογα με το είδος της μάζας που πέφτει, σε πτώσεις βράχων, πτώσεις κορημάτων και σε πτώσεις εδάφους.
2. Ανατροπές: Πρόκειται για πτώσεις μαζών, στις οποίες η αρχική κίνηση περιλαμβάνει μία περιστροφή γύρω από ένα σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας. Προκαλείται κυρίως από τη βαρύτητα και από τις δυνάμεις που ασκούνται από τα γειτονικά τεμάχια ή από την επίδραση του νερού που γεμίζει τις

ασυνέχειες. Η ανατροπή σαν κίνηση πλήττει κυρίως βραχώδη πρανή, ενώ η ανατροπή κορημάτων και γαιών είναι ένα σπάνιο φαινόμενο που όταν εμφανιστεί οφείλεται, κατά κύριο λόγο, σε υποσκαφή της βάσης του πρανούς λόγω φυσικών διεργασιών (π.χ. διάβρωση) ή ανθρώπινων παρεμβάσεων (π.χ. λατομεία).

3. Ολισθήσεις: Πρόκειται για μετακινήσεις, οι οποίες συνοδεύονται οπωσδήποτε με θραύση κατά μήκος μίας ή περισσότερων επιφανειών. Διακρίνονται δύο τύποι ολισθήσεων από τους οποίους, στο μεν πρώτο υπάρχει μία περιστροφική κίνηση της μάζας γύρω από ένα νοητό άξονα, στο δε δεύτερο υπάρχει μία μετάθεση της μάζας χωρίς να ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο τόξο. Επίσης διακρίνονται δύο τύποι ανάλογα με το αν η μετακινούμενη μάζα έχει υποστεί μικρές ή μεγάλες παραμορφώσεις.

1.4 Μελέτη κατολισθήσεων

Ανάλογα με τον προσδιορισμό εκ των υστέρων της ταχύτητας της κατολισθαίνουσας μάζας γίνεται διαχωρισμός των κατολισθήσεων από την Διεθνή Ένωση Γεωλογικών Επιστημών, International Union Of Geological Sciences (IUGS), σε δύο κατηγορίες:

1. “Αργές κατολισθήσεις”, η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει τις πολύ αργές, τις αργές και τις μέτριες ταχύτητες μετακίνησης. Το ανώτατο όριο μετακίνησης είναι 1.8 m/hour.
2. “Ταχείς κατολισθήσεις”, η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει τις γρήγορες, πολύ γρήγορες και εξαιρετικά πολύ γρήγορες ταχύτητες μετακίνησης. Το κατώτατο όριο είναι 1.8 m/hour και στις πολύ ταχείς κατολισθήσεις η ταχύτητα μετακίνησης είναι μερικά μέτρα το δευτερόλεπτο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι κατηγορίες που προτείνει η Διεθνής Ένωση Γεωλογικών Επιστημών για τη περιγραφή των κατολισθήσεων.

ΚΛΑΣΕΙΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΟΡΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (mm/sec)
7	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΤΑΧΥΣ	> 5 m/sec	> 5x10 ³
6	ΠΟΛΗ ΓΡΗΓΟΡΗ	3 m/min έως 5 m/sec	50 έως 5x10 ³
5	ΓΡΗΓΟΡΗ	1.8 m/hour έως 3 m/min 13 m/month έως 1.8	0.5 έως 50
4	ΜΕΤΡΙΑ	m/hour	5x10 ⁻³ έως 0.5
3	ΑΡΓΗ	1.6 m/year έως 13 m/month	50x10 ⁻⁶ έως 5x10 ⁻³
2	ΠΟΛΥ ΑΡΓΗ	16 mm/year έως 1.6 m/year	0.5x10 ⁻⁶ έως 50x10 ⁻⁶
1	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΠΟΛΥ ΑΡΓΗ	≤ 16 mm/year	≤ 0.5x10 ⁻⁶

Πίνακας 1.1 : Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση την ταχύτητα μετακίνησης [swr.nmfs.noaa.gov/]
Table 1.1 : Sort landslides based on the speed of moving [swr.nmfs.noaa.gov/]

1.5 Μέθοδοι έρευνας κατολισθήσεων

Για τη μελέτη μίας κατολίσθησης συνήθως απαιτείται εκτεταμένη και ολοκληρωμένη γεωλογική και γεωτεχνική έρευνα. Πρέπει να μελετηθεί η γεωλογική δομή της περιοχής, τα πετρογραφικά και φυσικά χαρακτηριστικά των βραχωδών σχηματισμών, καθώς και οι τοπικά επικρατούσες υδρογεωλογικές συνθήκες. Σύμφωνα με τους Zaruba και Mencl (1976) απαιτείται να γίνουν τα ακόλουθα:

1. Έρευνα προκειμένου να οριοθετηθεί η περιοχή μελέτης και στη συνέχεια να ορισθούν οι θέσεις των γεωτρήσεων, των φρεάτων, ο κλίμακός των γεωφυσικών μετρήσεων, εφόσον απαιτείται κλπ.
2. Λεπτομερής τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής, λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση, ακόμα και με χρήση αεροφωτογραφιών. Ταυτόχρονα στο εργαστήριο γίνονται οι δοκιμές εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής. Το στάδιο αυτό ολοκληρώνεται με τη πλήρη γεωτεχνική μελέτη, καθώς και με τα προτεινόμενα μέτρα αποκατάστασης της αστοχίας.
3. Γεωλογικός έλεγχος των προτεινόμενων διορθωτικών εργασιών υπαίθρου.
4. Παρακολούθηση με μετρήσεις οργάνων της αποτελεσματικότητας των μέτρων αποκατάστασης.

Η χρήση αεροφωτογραφιών σχετίζεται με γεγονότα μεγάλης έκτασης και έχει άμεση εφαρμογή στην έρευνα κατολισθαίνουσας περιοχής, καθώς την αποτυπώνει τρισδιάστατα. Δίνει τη δυνατότητα να ορισθούν ακριβώς τα όρια της κατολίσθησης (φρύδι, πρανές μπροστά από το φρύδι, πόδι κατολίσθησης κλπ). Επιπλέον το μέγεθος της κατολίσθησης μπορεί να μετρηθεί από τη μετατόπιση γραμμικών χαρακτηριστικών όπως οδικό ή σιδηροδρομικό δίκτυο, επιφανειακά στραγγιστήρια κλπ.



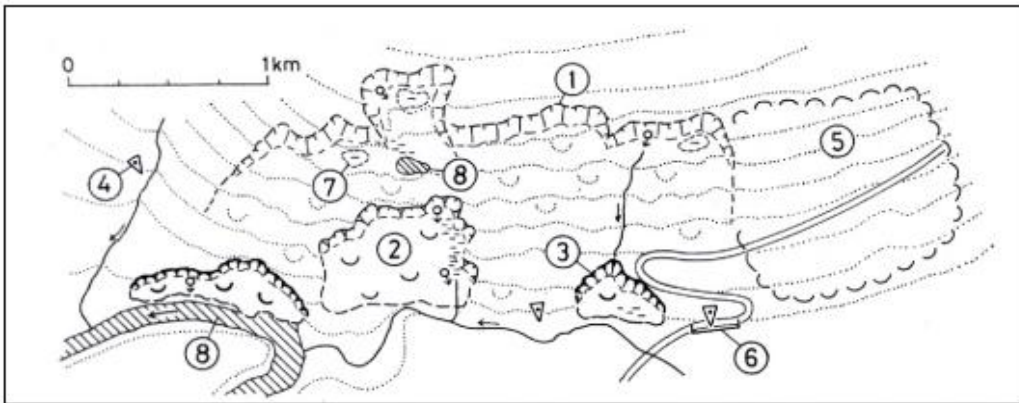
Σχήμα 1.3 : Άποψη κατολίσθησης στην περιοχή Μαλακάσα Αττικής από αεροφωτογραφία [Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας]

Figure 1.3 : View of Malakasa landslide area (Attiki) from air photo [University of Thessaly]

Η χρήση των διαθέσιμων γεωλογικών χαρτών είναι απαραίτητη. Συνήθως όμως έχουν μεγάλη κλίμακα, δεν αφορούν μόνο τη περιοχή ενδιαφέροντος και παρουσιάζουν τα εδαφικά υλικά που υπέρκεινται των βραχωδών σχηματισμών. Συνεπώς είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα τεχνικό-γεωλογικός χάρτης της περιοχής όπου και θα σημειώνονται με τους κατάλληλους συμβολισμούς όλα τα στοιχεία που δηλώνουν τη θέση και την έκταση της μάζας της κατολίσθησης και συγκεκριμένα φαινόμενα στην επιφάνεια του εδάφους (π.χ μικρές συγκεντρώσεις νερού σε πλαγιές, ισούψεις με χαρακτηριστικές μορφές, βυθίσματα, εμφάνιση νερού με τη μορφή πηγών που αποτελεί βασικό παράγοντα αστοχίας του πρανούς κλπ).

Στο απόσπασμα του τοπογραφικού χάρτη που δίνεται, διακρίνονται με την παρακάτω αρίθμηση τα εξής χαρακτηριστικά της κατολίσθησης:

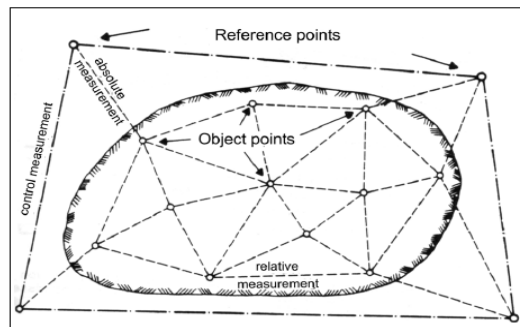
- (1) φρύδι παλαιάς κατολίσθησης
- (2) παλαιά κατολίσθηση που δεν παρουσίασε νέες μετακινήσεις
- (3) ενεργή κατολίσθηση
- (4) μικροκατολισθήσεις που δεν απεικονίζονται λόγω κλίμακας του χάρτη
- (5) περιοχή επιρρεπής σε κατολίσθηση
- (6) τεχνικά έργα που κινδυνεύουν από κατολίσθηση
- (7) βυθίσματα
- (8) μικρές λεκάνες και ρέματα



Σχήμα 1.4 : Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη με προσθήκη ειδικών συμβόλων που αφορούν χαρακτηριστικά της κατολίσθησης [Ruber et al., 1965, Zaruba, 1982].
 Figure 1.4 : Extract from topographic map symbols with added special features on the landslide [Ruber et al., 1965, Zaruba, 1982].

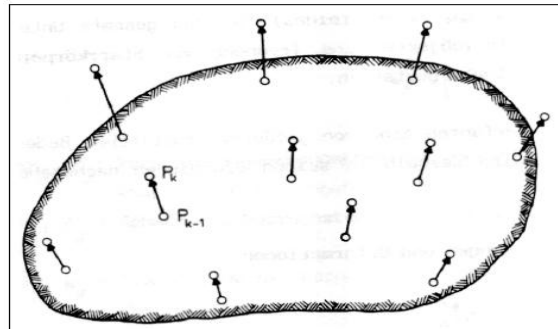
Παράλληλα των προτεινόμενων διορθωτικών εργασιών υπαίθρου χρειάζεται συστηματική παρακολούθησή τους μέσω τοπογραφικών μετρήσεων. Οι μετρήσεις παραμόρφωσης σε κατολισθήσεις αποτελούν σήμερα έναν σημαντικό κλάδο της τεχνικής γεωδαισίας. Η κλασική ιδέα είναι ότι η κατολίσθηση πρέπει να εκπροσωπείται από διακριτά σημεία μέτρησης, ώστε η περιγραφή των παραμορφώσεων της περιοχής της κατολίσθησης να γίνεται από τη μέτρηση μετατοπίσεων σημείων εντός της κατολίσθησης (Σχήμα 1.5). Συγκεκριμένα με τις συμβατικές γεωδαιτικές μεθόδους επιλέγονται σημεία μέσα στη μάζα που είχε κατολισθήσει, καθώς και σημεία που μένουν σταθερά και γίνονται μετρήσεις

αναφορικά με τη σχετική τους μετακίνηση. Είναι προφανές ότι τα σημεία που χαρακτηρίζονται σταθερά πρέπει να είναι εκτός της κατολίσθησης και πάνω σε σταθερό γεωλογικό υπόβαθρο. Με το τρόπο αυτό είναι δυνατόν να παρατηρήσουμε ποια σημεία εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές μετατοπίσεις. Τις περισσότερες φορές τα διανύσματα μετατόπισης και η γραφική αναπαράστασή τους είναι τα αποτελέσματα των γεωδαιτικών ερευνών (Σχήμα 1.6). Οι μετρήσεις (ταχυμετρίας, GPS) γίνονται σε δύο τουλάχιστον εποχές και το χρονικό διάστημα μεταξύ τους εξαρτάται από την πορεία εξέλιξης του φαινομένου.



Σχήμα 1.5 : Σύνδεση σημείων εντός της κατολίσθησης μέσω γεωδαιτικών μετρήσεων [Pelzer, 1985]

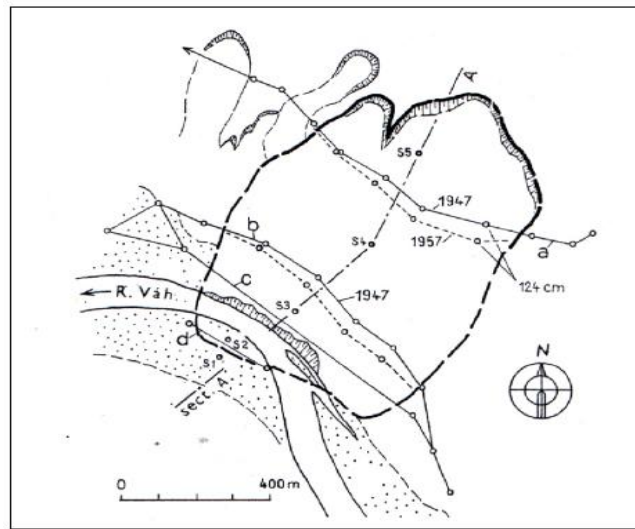
Figure 1.5 : Geodetic measurements between observation points at a landslide prone area [Pelzer, 1985]



Σχήμα 1.6 : Γραφική αναπαράσταση των φορέων μετατόπισης για κάθε σημείο της κατολίσθησης [Pelzer, 1985]

Figure 1.6 : Landslide displacement vectors at a landslide prone area [Pelzer, 1985]

Παρακάτω δίνονται δύο παραδείγματα δικτύων γεωδαιτικών ελέγχων μετακινήσεων σε κατολισθήσεις:

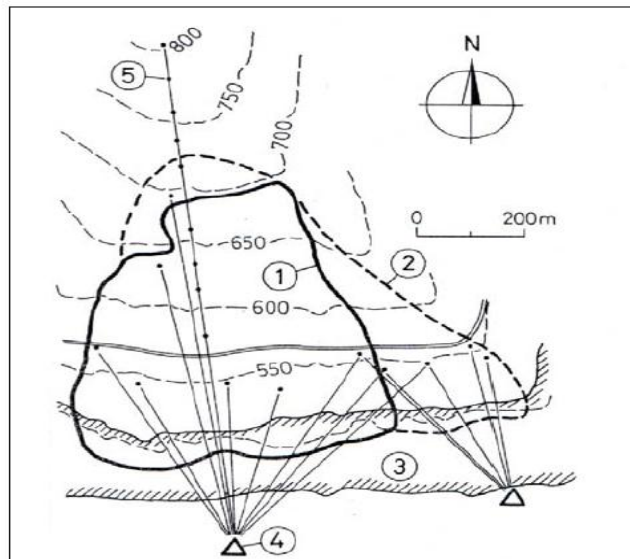


Σχήμα 1.7 : a, b γεωδαιτικές οδεύσεις ελέγχου μετακινήσεων στην κατολισθαίνουσα μάζα. Τα c, d είναι οι τριγωνομετρικές εξαρτήσεις σημείων ελέγχου [Pertrasek και Zaruba, 1959, Zaruba, 1982].

Figure 1.7 : Topographic survey traverse lines (a, b) and topographic triangulation points (c,d) [Pertrasek and Zaruba, 1959, Zaruba, 1982]

Στο παρακάτω παράδειγμα δικτύου γεωδαιτικού ελέγχου κατολίσθησης περιγράφονται οι περιοχές που συμμετέχουν στην διαδικασία της γεωδαιτικής παρακολούθησης με την παρακάτω αρίθμηση:

- (1) όριο παλαιάς κατολίσθησης
- (2) οριοθέτηση περιοχής που ενδεχομένως οδηγεί σε αστοχία
- (3) ταμιευτήρας Sance πάνω στο ποταμό Ostravice
- (4) τριγωνομετρικά σημεία στο σταθερό τμήμα του πρανούς
- (5) σημεία ελέγχου



Σχήμα 1.8 : Γεωδαιτικοί έλεγχοι σε κατολίσθηση στη περιοχή Resice
[Novosad, 1977, Zaruba, 1982]

Figure 1.8 : Geodetic controls at the landslide area Resice [Novosad , 1977, Zaruba, 1982]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι γεωδαιτικές μέθοδοι παρακολούθησης παραμορφώσεων και τα τοπογραφικά όργανα καθώς και ο υπόλοιπος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται.

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ
Εργασίες προσανατολισμού	Θεοδόλιχο, οπτικό laser, ταινίες invar κλπ.
Συμβατικές εργασίες	Total Station, Θεοδόλιχο, Ηλεκτρονικά όργανα
Δορυφορικός εντοπισμός	μέτρησης αποστάσεων (EDM), Χωροβάτης
Ακρίβεια τριγωνισμού	Δέκτες GPS, GLONASS και GALILEO
Γεωμετρική ακρίβεια	Ακρίβεια Total Station, Θεοδόλιχου και EDM
Τεχνική Laser scanner	Ακρίβεια του εξοπλισμού
Τεχνική Laser scanner	Laser scanner
Συμβολομετρία με τεχνική εικόνας SAR	Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων SAR

Πίνακας 1.2 : Γεωδαιτικές μέθοδοι παρακολούθησης κατολισθήσεων και εξοπλισμός που χρησιμοποιείται ανάλογα με τη μέθοδο [www.fig.net/pub/fig2011/papers/]

Table 1.2 : Geodetic methods for monitoring landslides and equipment used according to the method [www.fig.net/pub/fig2011/papers/]

1.6 Χρήση GPS στη μελέτη κατολισθήσεων

Στη σημερινή εποχή το GPS χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα για το προσδιορισμό της θέσης βασιζόμενο στον δορυφορικό εντοπισμό του σημείου. Ο σκοπός των μετρήσεων GPS στη μελέτη κατολισθήσεων είναι να προσδιορίσει τις συντεταγμένες των σημείων αναφοράς που έχουν επιλεγεί να εκπροσωπήσουν την κατολίσθηση στη περιοχή. Υπολογίζεται το διάνυσμα βάσης για κάθε σημείο και με ειδικές μεθόδους ανάλυσης μελετώνται οι διαφορές μεταξύ των περιόδων. Η μέτρηση με GPS χρησιμοποιείται με επιτυχία στην παρακολούθηση τεκτονικών μετακινήσεων, εξασφαλίζοντας υψηλή ακρίβεια οριζοντιογραφικά, ενώ υψομετρικά όχι πάντα. Επιλέγεται ως τεχνική μέτρησης σε μεγάλες κατασκευές όπως φράγματα, γέφυρες, ψηλά κτίρια κλπ.

Ένας λόγος που χρησιμοποιείται συχνά για την παρακολούθηση της καθίζησης του εδάφους είναι η ευκολία χρήσης που προσφέρει. Δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και από το φως της ημέρας, δεν απαιτείται οπτική επαφή μεταξύ των σημείων και οι μετρήσεις πληρούν τις απαιτήσεις ακρίβειας. Για την επίτευξη υψηλής ακρίβειας σε τέτοιου είδους εργασίες γίνεται χρήση δεκτών διπλής συχνότητας και εφαρμογή στατικών μεθόδων προσδιορισμού θέσης. Για αρκετή ώρα παρατήρησης (συνήθως 24 ώρες), η ακρίβεια σχετικού προσδιορισμού της θέσης με το GPS πλησιάζει τη τάξη του χιλιοστού.

Για τη μελέτη της κατολίσθησης είναι σημαντικό η διαχρονική παρακολούθηση της, για αυτό και γίνονται μετρήσεις σε διαφορετικές εποχές, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων και η εξαγωγή συμπερασμάτων για την εξέλιξη της. Η παρακολούθηση της κατολίσθησης με τη χρήση GPS γίνεται συνήθως με επαναλαμβανόμενες σειρές μετρήσεων ανάλογα με την εξέλιξη του φαινομένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΙΚΤΥΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Γεωδαιτικό δίκτυο ορίζεται ένα σύνολο σημείων πάνω στη Φυσική Γήινη Επιφάνεια (Φ.Γ.Ε), που συνδέονται με απευθείας μεταξύ τους παρατηρήσεις ή και με παρατηρήσεις σε σημεία έξω από τη Φ.Γ.Ε με χρήση γεωδαιτικών αισθητήρων. Σκοπός των μετρήσεων είναι να δοθούν στα σημεία συντεταγμένες ή άλλου είδους τιμές, ώστε να χρησιμεύουν σαν σημεία ελέγχου για μελλοντικές εργασίες. Τα σημεία του δικτύου ονομάζονται κορυφές και η θέση τους προσδιορίζεται σε μία, δύο, τρεις ή τέσσερις (χρόνος) διαστάσεις.

Ως φυσικό σύστημα, δηλαδή ένα τμήμα της φυσικής πραγματικότητας που ‘‘απομονώνεται’’ για να μελετηθεί με τη βοήθεια κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, το δίκτυο είναι ένα σύνολο σημείων που βρίσκεται μέσα στο φυσικό χώρο. Για να είναι δυνατή η πλήρης περιγραφή του απαιτείται να προσδιοριστεί ο ελάχιστος αριθμός ανεξάρτητων καθοριστικών παραμέτρων. Σε περίπτωση που οι παρατηρήσεις είναι λιγότερες από τον παραμετρικό βαθμό του μοντέλου ή δεν περιέχουν ικανή πληροφορία για τον πλήρη προσδιορισμό των παραμέτρων του, τότε υπάρχει αδυναμία βαθμού και δεν είναι δυνατή η περιγραφή του.

Βασικά είδη γεωδαιτικών δικτύων είναι τα εξής:

- Δίκτυο κατακορύφου ελέγχου: Προσδιορίζονται οι αποστάσεις των σημείων από μία επιφάνεια αναφοράς (γεωειδές, ελλειψοειδές, επίπεδο). Οι υπολογισμοί γίνονται σε μονοδιάστατο χώρο.
- Δίκτυο οριζοντίου ελέγχου: Προσδιορίζονται οι θέσεις των προβολών σε μία επιφάνεια αναφοράς (ελλειψοειδές, σφαίρα, επίπεδο). Υπολογίζονται σε δισδιάστατο χώρο.
- Τρισδιάστατα: Προσδιορίζονται με ενιαία διαδικασία οι θέσεις των κορυφών στο χώρο, ως προς κάποιο σύστημα αναφοράς (Γεωκεντρικό, Τοποκεντρικό). Υπολογίζονται σε τρισδιάστατο χώρο.

- Τετραδιάστατα είναι τα τρισδιάστατα σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο (εποχή).

Πύκνωση ή επέκταση δικτύου ορίζεται η διαδικασία, κατά την οποία προσδιορίζεται η θέση ενός ή περισσότερων νέων σημείων που θα αποτελέσουν κορυφές του υπάρχοντος δικτύου. Η διαδικασία της πύκνωσης εφαρμόζεται είτε με επίγειες μεθόδους, είτε με δορυφορικό εντοπισμό με τη χρήση δεκτών GPS.

2.2 Πύκνωση δικτύων με δορυφορικό εντοπισμό

Με τη χρήση δεκτών του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού γίνεται ταυτόχρονη πύκνωση και στις τρεις διαστάσεις, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά. Για να εκτελεστεί η διαδικασία κρίνεται απαραίτητη η γνώση των συντεταγμένων ενός σημείου, το οποίο π.χ είναι τριγωνομετρικό της Γ.Υ.Σ. ή υπάρχουσα γνωστή κορυφή του δικτύου ή μόνιμος σταθμός GPS και μπορεί να απέχει απόσταση από μερικά μέτρα έως αρκετά χιλιόμετρα. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου πύκνωσης δικτύου είναι ότι, δεν απαιτείται ορατότητα μεταξύ των αγνώστων κορυφών του δικτύου ή των γνωστών και αγνώστων σημείων και ότι ακόμα και σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων είναι δυνατή η σύνδεση τους.

2.2.1 Κριτήρια σχεδιασμού και επιλογής βάσεων GPS

Τα βασικά κριτήρια με τα οποία επιλέγονται οι θέσεις των νέων σημείων του δικτύου, είναι να παρατηρούν ελεύθερο ορίζοντα, δηλαδή να μην υπάρχουν τριγύρω ψηλά κτίρια, δένδρα ή αντικείμενα προκειμένου να εξασφαλίζεται η οπτική επαφή του δέκτη με την ουράνια σφαίρα. Να αποφεύγονται θέσεις, οι οποίες είναι κοντά σε κεραίες για λόγους παρεμβολών, είτε κοντά σε επιφάνειες ή αντικείμενα που εμφανίζουν υψηλή ανακλαστικότητα. Για το προγραμματισμό των εργασιών πεδίου τα κριτήρια αφορούν το οικονομικό κόστος αλλά και την επιδιωκόμενη ακρίβεια και αξιοπιστία.

Σε ένα δίκτυο GPS το οποίο αποτελείται από N κορυφές, είναι δυνατόν να σχηματιστούν στο δίκτυο $N(N-1)/2$ βάσεις. Επιλέγεται ένας αριθμός βάσεων που πρόκειται να μετρηθεί σε μία ή περισσότερες μετρητικές περιόδους και από τις μετρήσεις θα καθοριστεί η γεωμετρική μορφή του δικτύου. Οι βάσεις είναι διανύσματα στο φυσικό χώρο, δηλαδή ευθύγραμμα τμήματα που περιγράφονται από το μέτρο, τη διεύθυνση και τη φορά τους. Χαρακτηρίζονται ως ανεξάρτητες όταν

περιγράφονται με μοναδικό τρόπο ως γραμμικός συνδυασμός των υπολοίπων βάσεων του δικτύου.

Η συνθήκη αυτή είναι ισοδύναμη με την εξής, μαθηματική έκφραση :

Τα $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3, \dots, \mathbf{x}_n$ είναι διανύσματα ενός διανυσματικού χώρου S για να είναι γραμμικώς ανεξάρτητα, απαιτείται να ικανοποιείται η σχέση:

$$\lambda_1 \mathbf{x}_1 + \lambda_2 \mathbf{x}_2 + \lambda_3 \mathbf{x}_3 + \dots + \lambda_n \mathbf{x}_n = 0 \Rightarrow \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_n = 0.$$

Ανάλογα τώρα με το διαθέσιμο αριθμό δεκτών GPS σε σχέση με τα σημεία ενός δικτύου διακρίνονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

- Να υπάρχουν δύο δέκτες GPS για χρήση ($R=2$), όλες οι μετρημένες βάσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Σε κάθε μέτρηση βάσης αντιστοιχεί μία περίοδος, οπότε απαιτείται μεγαλύτερη χρονική διάρκεια εργασιών πεδίου. Χρησιμοποιείται για δίκτυα πύκνωσης με λίγα σημεία και δεν χρειάζεται ακριβής σχεδιασμός των εργασιών υπαίθρου.
- Να υπάρχουν διαθέσιμοι περισσότεροι από δύο αλλά λιγότεροι από το πλήθος των κορυφών ($2 < R < N$). Σε κάθε περίοδο μετρώνται $R(R-1)/2$ βάσεις. Για να ολοκληρωθεί η μέτρηση του δικτύου απαιτείται ένας αριθμός περιόδων. Από περίοδο σε περίοδο ένας αριθμός σημείων μένει κοινός με σκοπό να συνδέονται μεταξύ τους οι μετρήσεις, αλλά και για να γίνει έλεγχος της ποιότητας των αποτελεσμάτων από τη συνόρθωση του δικτύου. Οι ανεξάρτητες βάσεις που μετρώνται ανά περίοδο είναι $R-1$ και η επιλογή τους δεν είναι μοναδική και διαφέρει ανάλογα με τα κριτήρια που θέτονται από το χρήστη.

Τα κριτήρια είναι τα εξής:

1. Προτιμώνται βάσεις μικρού μήκους, επειδή επιλύονται ευκολότερα οι ασάφειες φάσης, καθώς στις μικρές αποστάσεις πολλά σφάλματα που υπάρχουν στις μετρήσεις (π.χ ατμοσφαιρικά) σχεδόν απαλείφονται.
2. Η γεωμετρική μορφή του δικτύου καθορίζει την επιλογή των ανεξάρτητων βάσεων και το τρόπο λήψης των παρατηρήσεων.

3. Η διάρκεια των παρατηρήσεων καθορίζεται την επιλογή ή μη μεγάλων βάσεων.

- Να χρησιμοποιούνται N δέκτες, όσα είναι τα σημεία του δικτύου ($R=N$). Το πλήθος των ανεξάρτητων βάσεων παραμένει $N-1$. Χρήση της τεχνικής αυτής γίνεται στα παγκόσμια και ηπειρωτικά δίκτυα μόνιμων σταθμών, σε περιπτώσεις μελέτης περιγραφής μετακινήσεων τεκτονικών πλακών καθώς και μικρομετακινήσεων. Με αυτό το τρόπο μετρήσεων, συνήθως η κάθε περίοδος έχει ισχύ μίας μέρας και συνολικά οι μετρήσεις διαρκούν μερικές μέρες. Για την επίλυση του δικτύου χρησιμοποιούνται επιστημονικά προγράμματα επεξεργασίας μετρήσεων.

Γενικά, κατά τον σχεδιασμό του δικτύου και το προγραμματισμό για την οργάνωση και εκτέλεση των μετρήσεων υπάρχουν ορισμένοι κανόνες που συνίσταται να τηρηθούν και είναι οι παρακάτω:

- Να δημιουργούνται κλειστά γεωμετρικά σχήματα, ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός των σφαλμάτων κλεισίματος ανά βρόγχο.
- Σε κάθε εποχή το σημείο πρέπει να μετριέται τουλάχιστον δύο φορές.
- Να προτιμώνται σημεία με μικρή απόσταση μεταξύ τους, ώστε να γίνει γρήγορη επίλυση των ασαφειών φάσης για τις βάσεις που θα δημιουργηθούν.
- Όταν το δίκτυο περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό κορυφών, δέον να χρησιμοποιούνται παραπάνω από δύο δέκτες στις εργασίες πεδίου.
- Ανά περίοδο πρέπει να έχει προγραμματιστεί να μετρηθεί ένας αριθμός κοινών βάσεων.
- Για τον έλεγχο της εξωτερικής αξιοπιστίας ενός δικτύου είναι καλό να περιέχονται μόνιμοι σταθμοί GPS π.χ της EUREF, IGS.
- Ο χρόνος μέτρησης των βάσεων αυξάνεται σε σχέση με το μέγεθος της βάσης και την αβεβαιότητα που προδιαγράφεται. Όταν επιδιώκεται υψηλή ακρίβεια σε βάσεις μεγάλου μήκους απαιτείται αυξημένος χρόνος παρατήρησης, ώστε να δημιουργηθούν πλεονάζουσες παρατηρήσεις κατά τη συνόρθωση, για να

είναι δυνατή η ατμοσφαιρική και ιονοσφαιρική διόρθωση των βάσεων και η επίλυση των παραμέτρων τους.

- Ο χρόνος που θα μετρηθεί κάθε βάση επηρεάζεται επίσης από τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων, το μέγεθος της βάσης, το είδος της συχνότητας λήψης L1 ή L1/ L2 και το τύπο του δέκτη.

2.2.2 Μέθοδοι μέτρησης που χρησιμοποιούνται

Για την κάλυψη των απαιτήσεων τοπογραφικών εργασιών υψηλής ακρίβειας όπως είναι η πύκνωση δικτύου, η κλασσική μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι ο σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης, στον οποίο οι δέκτες μένουν στάσιμοι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων από μερικά λεπτά έως αρκετές ώρες. Η μέθοδος επιβάλλει τη χρήση τουλάχιστον δύο δεκτών GPS για το σχετικό προσδιορισμό της θέσης των επιλεγμένων σημείων και τη δημιουργία διανυσμάτων βάσης με τη λήψη ταυτόχρονων μετρήσεων.

Στη περίπτωση χρήσης δύο δεκτών, ο χρόνος παραμονής σε κάθε σημείο μέτρησης για δέκτη μίας συχνότητας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 min για αποστάσεις μέχρι 5 km από το σημείο αναφοράς, στο οποίο ο ένας από τους δύο δέκτες παραμένει καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων (συνήθως είναι τριγωνομετρικό ή σημείο με γνωστές συντεταγμένες). Η βέλτιστη απαιτούμενη διάρκεια εξαρτάται από την απόσταση των σημείων, από τον αριθμό και τη γεωμετρία των δορυφόρων. Για αποστάσεις μεγαλύτερες των 5 km και μέχρι 15 km ο δέκτης είναι καλό να παραμείνει για τουλάχιστον 1 h. Όταν απαιτείται μέγιστη ακρίβεια μετρώνται όσο το δυνατόν περισσότερες βάσεις με την απαίτηση να φτιάχνονται κλειστά γεωμετρικά σχήματα, π.χ τρίγωνα ή τετράπλευρα με μία έστω διαγώνιο μετρημένη ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος των σφαλμάτων στις μετρήσεις. Για το λόγο αυτό για τη μέτρηση δικτύων με αυτή τη μέθοδο είναι καλύτερο να διατίθενται τουλάχιστον 3 δέκτες, έτσι ώστε να μετρώνται κάθε φορά τρίγωνα από βάσεις και να μειώνεται ο χρόνος μετακίνησης. Τέλος, οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν με την συγκεκριμένη τεχνική για συνήθεις εργασίες είναι της τάξης του $5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$.

Εκτός από το σχετικό στατικό εντοπισμό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν δευτερευόντως ο γρήγορος στατικός προσδιορισμός και η ψευδοκινηματική τεχνική.

1. Ο γρήγορος στατικός προσδιορισμός (rapid static) είναι μία κλασσική στατική τεχνική και μοιάζει με το σχετικό στατικό προσδιορισμό. Γενικά χρησιμοποιείται μεγαλύτερος ρυθμός λήψης των παρατηρήσεων συνήθως 5-10 sec και η διαφορά του από τον κλασσικό στατικό προσδιορισμό είναι ότι χρησιμοποιούνται μετρήσεις λίγων λεπτών για κάθε βάση, τόσες όσες απαιτούνται ώστε να επιλυθεί ικανοποιητικά το πρόβλημα της ασάφειας φάσης. Στη μέθοδο αυτή ο ένας δέκτης παραμένει σταθερός σε γνωστό σημείο και ο άλλος περιφέρεται στα υπόλοιπα άγνωστα σημεία παραμένοντας σε αυτά λίγα μόνο λεπτά (το μήκος της βάσης να είναι μικρότερο από 15 km). Ο χρόνος παραμονής είναι ανάλογος του μήκους της βάσης, αν είναι μέρα ή νύχτα (τη νύχτα χρειάζεται λιγότερος χρόνος, γιατί η ιονόσφαιρα είναι πιο ήπια) και του αριθμού των δορυφόρων. Οι δέκτες πρέπει να είναι διπλής συχνότητας, ενώ κατά τη μετακίνηση των δεκτών από σημείο σε σημείο, δε χρειάζεται η λήψη του δορυφορικού σήματος και οι δέκτες μπορούν να είναι κλειστοί. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται εδώ είναι της τάξης $5-10\text{mm} \pm 1\text{ppm}$. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε δίκτυα κατώτερης τάξης, πυκνώσεις δικτύων, στη λήψη φωτοσταθερών και στην πολυγωνομετρία.
2. Η ψευδοκινηματική τεχνική (pseudokinematic) είναι μία στατική μέθοδος και στηρίζεται στη μεθοδολογία ότι ο κινητός δέκτης θα πρέπει να στηθεί στα άγνωστα σημεία δύο φορές. Μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης επίσκεψης θα πρέπει να έχει μεσολαβήσει χρονικό διάστημα 1-2 ωρών, ώστε να προλάβει να αλλάξει η γεωμετρία των δορυφόρων, για να είναι δυνατή η επίλυση της ασάφειας φάσης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτής της τεχνικής είναι ότι το κάθε σημείο προσδιορίζεται από το σύνολο των μετρήσεων των δύο επισκέψεων. Χρησιμοποιείται εναλλακτικά της γρήγορης στατικής για τις περιπτώσεις που για κάποιο λόγο είναι ανάγκη να γίνει επίσκεψη στα ίδια σημεία δύο φορές π.χ. άλλη μέρα ή για ορισμένα σημεία που δεν είχαν μετρηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια. Η σχετική ακρίβεια είναι και εδώ της τάξης του εκατοστού, είναι κατάλληλη για προσδιορισμούς θέσεων όπως τα πολυγωνικά σημεία. Για να είναι παραγωγική η μέθοδος η απόσταση από τον ακίνητο δέκτη δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 περίπου Km.

Επισημαίνεται ότι σήμερα, με την εξάπλωση του δορυφορικού σήματος η εφαρμογή των δύο αυτών παραλλαγών τείνει να εξαλειφθεί.

2.2.3 Τεχνικές πύκνωσης

Η πύκνωση ενός δικτύου GPS γίνεται με δύο διαφορετικές τεχνικές, η μία είναι η επίλυση “μεμονωμένων” βάσεων και η άλλη η ενιαία επίλυση ως δίκτυο. Σκοπός και των δύο τεχνικών είναι ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των αγνώστων σημείων του δικτύου.

2.2.3.1 Επίλυση μεμονωμένων βάσεων

Η συγκεκριμένη τεχνική εφαρμόζεται όταν διατίθενται δύο μόνο δέκτες και χρησιμοποιείται για τα συνήθη δίκτυα με μικρό αριθμό σημείων. Ο ένας δέκτης τοποθετείται σε ένα σημείο και ο άλλος περιφέρεται στα υπόλοιπα. Ο αριθμός των βάσεων που πρόκειται να μετρηθεί είναι ανάλογος του αριθμού των αγνώστων κορυφών.

Από την επίλυση των ανεξάρτητων βάσεων προκύπτουν για κάθε άγνωστο σημείο τα εξής:

- 1) Οι συνιστώσες dE , dN και dUp του διανύσματος βάσης σε τρισδιάστατο προσανατολισμένο τοπικό σύστημα αναφοράς.
- 2) Οι καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς.
- 3) Οι ελλειψοειδείς γεωδαιτικές συντεταγμένες φ, λ σε συνδυασμό με το γεωμετρικό υψόμετρο h .
- 4) Οι συντεταγμένες x, y σε κάποιο προβολικό σύστημα.
- 5) Ο υπολογισμός του ορθομετρικού υψομέτρου H αν είναι γνωστή η αποχή του γεωειδούς στη συγκεκριμένη περιοχή.
- 6) Τα σφάλματα προσδιορισμού των παραπάνω μεγεθών.

2.2.3.2 Ενιαία επίλυση ως δίκτυο

Σε ένα δίκτυο N κορυφών θα πρέπει να μετρηθούν περισσότερες από τον παραμετρικό βαθμό $r=3(N-1)$ βάσεις. Βαθμός ελευθερίας r ονομάζεται η διαφορά $n-m$, αν n ο αριθμός των μετρήσεων και m ο αριθμός των αγνώστων καθοριστικών ανεξάρτητων παραμέτρων με την προϋπόθεση ότι $n>m$. Ενώ ο μέγιστος αριθμός των βάσεων που μπορεί να μετρηθεί είναι ο αριθμός των δυνατών βάσεων $n_{\max}= N(N-1)/2$ μεταξύ των κορυφών του δικτύου. Όλες οι βάσεις που μετρώνται και επιλύονται μεμονωμένα είναι ανεξάρτητες και ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Οι μετρήσεις απαιτείται να είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργούνται “βρόγχοι”, δηλαδή κλειστά γεωμετρικά σχήματα κυρίως μοναδιαία τρίγωνα με την ίδια λογική των χωροσταθμικών δικτύων. Σε κάθε βρόγχο τα αθροίσματα $\sum \Delta X_i$, $\sum \Delta Y_i$, $\sum \Delta Z_i$ πρέπει να είναι θεωρητικά μηδέν, οπότε το σφάλμα κλεισίματος για κάθε μία από τις τρεις συνιστώσες θα είναι ίσο με $\sigma_{Kx}= 0 - \sum \Delta X_i$, $\sigma_{Ky}= 0 - \sum \Delta Y_i$ και $\sigma_{Kz}= 0 - \sum \Delta Z_i$. Από τον υπολογισμό των σφαλμάτων κλεισίματος δίνεται η δυνατότητα να εντοπιστούν χονδροειδή σφάλματα και να εκτιμηθεί η αξιοπιστία της λύσης.

Για συνήθεις εφαρμογές όπως είναι τα δορυφορικά δίκτυα, με σκοπό την αποτύπωση μίας περιοχής ή τη χάραξη ενός τεχνικού έργου και όταν διατίθενται περισσότεροι από δύο δέκτες οι βάσεις συνορθώνονται ως μεμονωμένες, επειδή τα σχετικά λογισμικά αγνοούν τη μεταξύ τους συσχέτιση. Στη περίπτωση αυτή θα πρέπει να επιλεγούν οι ανεξάρτητες μεταξύ τους βάσεις, αν K ο αριθμός των δεκτών που μετρούν, τότε οι μεταξύ τους βάσεις είναι $(K-1)/2$ από τις οποίες οι $K-1$ είναι ανεξάρτητες.

Από την επίλυση του δικτύου προκύπτουν τα παρακάτω:

- Οι συνορθωμένες συντεταγμένες των αγνώστων σημείων του δικτύου όπως:
 - 1) οι συνιστώσες dE , dN και dUp σε τρισδιάστατο προσανατολισμένο τοπικό σύστημα αναφοράς, όπου το επίπεδο θεωρητικά εφάπτεται σε κάποιο σημείο του δικτύου, το οποίο μπορεί να είναι είτε το σταθερό σημείο ή το κέντρο βάρους του δικτύου.
 - 2) οι τρισδιάστατες καρτεσιανές συντεταγμένες X , Y , Z στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς.

- 3) οι ελλειψοειδείς γεωδαιτικές συντεταγμένες φ, λ και το h.
 - 4) οι συντεταγμένες x,y σε κάποιο προβολικό σύστημα και το ορθομετρικό υψόμετρο αν είναι γνωστή η αποχή του γεωειδούς N στη συγκεκριμένη περιοχή από τοπικό ή παγκόσμιο μοντέλο.
- Οι αβεβαιότητες των συντεταγμένων των αγνώστων σημείων.
 - Στατιστικοί δείκτες για τον έλεγχο της ακρίβειας και της αξιοπιστίας της επίλυσης.

2.3 Συνόρθωση δικτύων

Στην απλή περίπτωση που υπάρχουν δύο μόνο διαθέσιμοι δέκτες για χρήση, όπου οι συντεταγμένες αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς των βάσεων, οι οποίες είναι ανεξάρτητες και ασυσχέτιστες μεταξύ τους. Οι εξισώσεις παρατήρησης που σχηματίζονται κατά τη συνόρθωση κάθε βάσης r_{ij} μεταξύ των κορυφών P_i, P_j γράφονται, ως εξής:

$$\begin{bmatrix} \Delta X_{ij}^b \\ \Delta Y_{ij}^b \\ \Delta Z_{ij}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{ij}^{(\Delta X)} \\ v_{ij}^{(\Delta Y)} \\ v_{ij}^{(\Delta Z)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ή

$$\mathbf{r}_{ij}^b = \mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i + \mathbf{v}_{ij} \quad (2)$$

Αν αντικατασταθεί το $\mathbf{r}_i = \mathbf{r}_i^0 + \mathbf{x}_i$ και $\mathbf{r}_j = \mathbf{r}_j^0 + \mathbf{x}_j$, όπου $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j$ οι προσεγγιστικές συντεταγμένες και $\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j$ οι διορθώσεις των προσεγγιστικών συντεταγμένων, η σχέση γίνεται

$$\begin{bmatrix} \Delta X_{ij}^b \\ \Delta Y_{ij}^b \\ \Delta Z_{ij}^b \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_j^o - X_i^o \\ Y_j^o - Y_i^o \\ Z_j^o - Z_i^o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta X_j \\ \delta Y_j \\ \delta Z_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{ij}^{(\Delta X)} \\ v_{ij}^{(\Delta Y)} \\ v_{ij}^{(\Delta Z)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ή

$$\mathbf{r}_{ij}^b - \mathbf{r}_{ij}^o = \mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i + \mathbf{v}_{ij} \quad (4)$$

ή

$$\mathbf{b}_{ij} = \mathbf{A}_{ij} \mathbf{x}_{ij} + \mathbf{v}_{ij} \quad (5)$$

$$\text{όπου } \mathbf{b}_{ij} = \mathbf{r}_{ij}^b - \mathbf{r}_{ij}^o = \mathbf{r}_{ij}^b - (\mathbf{r}_j^o - \mathbf{r}_i^o), \mathbf{A}_{ij} = \begin{bmatrix} -\mathbf{I}_3 & \mathbf{I}_3 \end{bmatrix}, \mathbf{x}_{ij} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_i \\ \mathbf{x}_j \end{bmatrix}$$

Ο \mathbf{I}_3 είναι ο 3x3 μοναδιαίος πίνακας. Το σύστημα των εξισώσεων παρατήρησης των βάσεων γράφεται ως εξής:

$$\mathbf{b} = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{v} \quad (6)$$

Οι πίνακες \mathbf{N} και \mathbf{u} του συστήματος των κανονικών εξισώσεων ακολουθούν τη σχέση

$$\mathbf{N} \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{u} \quad (7)$$

και είναι διαστάσεων $(3n \times 3n)$, όπου n είναι ο αριθμός των κορυφών του δικτύου έχοντας τη παρακάτω δομή σε μορφή πινάκων

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} \ddots & \vdots & & \vdots & \\ \cdots & \mathbf{N}_{ii} & \cdots & \mathbf{N}_{ij} & \cdots \\ & \vdots & \ddots & \vdots & \\ \cdots & \mathbf{N}_{ji} & \cdots & \mathbf{N}_{jj} & \cdots \\ & \vdots & & \vdots & \ddots \end{bmatrix}, \mathbf{u} = \begin{bmatrix} \vdots \\ \mathbf{u}_i \\ \vdots \\ \mathbf{u}_j \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (8)$$

Οι υποπίνακες \mathbf{N}_{ij} και \mathbf{u}_i είναι διαστάσεων 3x3 και 3x1 αντίστοιχα.

Στη λύση με γνωστά σημεία διατηρούνται σταθερές οι συντεταγμένες ενός ή περισσότερων σημείων (ελάχιστες ή πλεονάζουσες δεσμεύσεις αντίστοιχα). Αν γίνει απομάκρυνση για τις αντίστοιχες σειρές - στήλες του πίνακα \mathbf{N} και αντίστοιχα των στοιχείων που περιλαμβάνονται στη σχέση και μετατεθούν οι άγνωστες παράμετροι στο σύστημα των κανονικών εξισώσεων μπορεί να γραφεί:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{N}_{11} & \mathbf{N}_{12} \\ \mathbf{N}_{12}^T & \mathbf{N}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_1 \\ \hat{\mathbf{x}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{N}_{11}^{-1} \mathbf{u}_1 \quad \text{και} \quad \hat{\mathbf{x}}_2 = \mathbf{0} \quad (10)$$

Τα διανύσματα των αγνώστων και των γνωστών συντεταγμένων αντίστοιχα.

Όταν οι διαθέσιμοι δέκτες GPS είναι πάνω από δύο, οι τεχνικές συνόρθωσης που εφαρμόζονται οι παρακάτω:

- η συνόρθωση των επιμέρους περιόδων: Σε κάθε περίοδο λαμβάνεται υπόψη η συσχέτιση μεταξύ των παρατηρήσεων και κάθε περίοδος οδηγεί σε εκτιμήσεις συντεταγμένων και σε ένα πλήρη πίνακα συμμεταβλητοτήτων για τα αντίστοιχα σημεία. Υπάρχει στη συγκεκριμένη τεχνική πλεονάζουσα πληροφορία, γι' αυτό και θεωρείται πιο ορθή θεωρητικά.
- η συνόρθωση των βάσεων όλων των περιόδων: Με το τρόπο αυτό χρησιμοποιούνται τόσο οι ανεξάρτητες όσο και οι εξαρτημένες βάσεις. Τη τεχνική αυτή ακολουθούν τα συνήθη προγράμματα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων, που αν και είναι ικανοποιητική για συνήθεις εργασίες, για δίκτυα υψηλής ακρίβειας δεν προτείνεται λόγω της ελλιπούς εκτίμησης των στατιστικών παραμέτρων. Σε αυτή τη περίπτωση η πλεονάζουσα πληροφορία προέρχεται από τα κοινά σημεία μεταξύ των περιόδων και του γεγονότος ότι έχουν μετρηθεί περισσότερο από μία φορά.

Η συνόρθωση ενός δικτύου GPS γίνεται στις τρεις διαστάσεις και στο σύστημα WGS'84 ή σε κάποιο από τα συστήματα ITRF. Από τις δύο κλασσικές μεθόδους συνόρθωσης αυτή που εφαρμόζεται συνήθως σε τρισδιάστατα δίκτυα είναι η μέθοδος των εμμέσων παρατηρήσεων, διότι:

- προσδιορίζονται αμέσως οι θέσεις των κορυφών ή οι μετατοπίσεις τους.
- υπολογίζεται σαν υποπροϊόν της λύσης ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας των θέσεων ή των μετατοπίσεων των κορυφών. Με την εκτέλεση των κατάλληλων μετασχηματισμών υπολογίζονται και για τα άλλα στοιχεία του δικτύου οι αβεβαιότητες τους.
- εύκολα γίνεται ο προγραμματισμός της διαδικασίας σε υπολογιστή, ώστε γρήγορα να μας δίνονται τα αποτελέσματα.

Για να είναι δυνατή η συνόρθωση των δικτύων GPS απαιτείται να γίνει άρση των ατελειών τους. Οι ατέλειες ενός τέτοιου δικτύου είναι τρεις, όσες είναι οι άγνωστες τιμές για το προσδιορισμό της θέσης. Το δίκτυο συνορθώνεται στην αρχή ως ελεύθερο ή με ελάχιστες δεσμεύσεις για να ελεγχθούν οι παρατηρήσεις πέρα από τις συνορθώσεις των επιμέρους περιόδων και τον έλεγχο που γίνεται σε καθεμία. Συγκεκριμένα στην περίπτωση που επιλυθεί με εξωτερικές δεσμεύσεις το δίκτυο, με τις οποίες σταθεροποιούνται τα κατάλληλα στοιχεία σε αριθμό και είδος που είναι αναγκαία για την άρση των ατελειών, αρκεί η σταθεροποίηση μίας κορυφής. Αν επιλυθεί με εσωτερικές δεσμεύσεις, ενώ η αδυναμία βαθμού του δικτύου είναι ίση με τρία και αναφέρεται στη δυνατότητα μετάθεσης του συστήματος αναφοράς κατά τη διεύθυνση των τριών αξόνων, οι δεσμεύσεις δίνονται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \delta X_i &= \sum_{i=1}^N (X_i - X_i^o) = 0 \\ \sum_{i=1}^N \delta Y_i &= \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_i^o) = 0 \\ \sum_{i=1}^N \delta Z_i &= \sum_{i=1}^N (Z_i - Z_i^o) = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Με την εισαγωγή των κατάλληλων εξισώσεων δέσμευσης μεταξύ των συντεταγμένων των κορυφών, ο πίνακας C θα πάρει τη παρακάτω μορφή:

$$\mathbf{C} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (12)$$

2.4 Έλεγχος του δικτύου

Ο έλεγχος της ποιότητας ενός δικτύου γίνεται με τις παρακάτω τεχνικές:

- με κριτήρια ακρίβειας, αξιοπιστίας και με τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων.

- με τη βοήθεια νέων μετρήσεων στα σημεία του δικτύου και τη σύγκριση τους με τις αντίστοιχες τιμές που υπολογίζονται από τις συντεταγμένες της συνόρθωσης.

2.4.1 Κριτήρια ακρίβειας, αξιοπιστίας και στατιστικοί έλεγχοι

Για να είναι δυνατός ο έλεγχος της αξιοπιστίας του δικτύου, απαιτείται να έχει προηγηθεί επίλυση με τις ελάχιστες δεσμεύσεις. Η priori εκτίμηση της μεταβλητότητας σε αυτές τις περιπτώσεις είναι πολύ μεγαλύτερη από την a-posteriori, όπως προκύπτει είτε σε επίπεδο μεμονωμένης βάσης, είτε των βάσεων μίας περιόδου, είτε όλου του δικτύου. Με αποτέλεσμα να υπάρχει μία υπεραισιόδοξη εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όλες οι τεχνικές ολικού ελέγχου του δικτύου να αποτυγχάνουν (test X^2 , test F), εκτός αν διορθωθούν οι a-priori εκτιμήσεις της μεταβλητότητας. Ο λόγος που η a-priori εκτίμηση αποκλίνει σε μεγάλο βαθμό από την a-posteriori είναι ότι, στην a-priori δεν συνυπολογίζεται η φυσική συσχέτιση των πρωτογενών παρατηρήσεων και το μεγάλο πλήθος τους.

Ο έλεγχος της ακρίβειας του δικτύου σε τρεις διαστάσεις γίνεται συνήθως με τη σχεδίαση των ελλειψοειδών σφάλματος. Για την καλύτερη κατανόηση τους εκφράζονται σε τοποκεντρικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (“north-east-up”), ώστε να υπολογισθούν οι ελλείψεις σφάλματος, οι σχετικές ακρίβειες και τα διαστήματα εμπιστοσύνης. Για να γίνει έλεγχος της εξωτερικής αξιοπιστίας του δικτύου, απαιτείται να συμπεριληφθούν στο δίκτυο τουλάχιστον δύο σημεία πολύ υψηλής ακρίβειας όπως σταθμοί της IGS και της EUREF.

Οι στατιστικές μέθοδοι, εφαρμόζονται για τον εντοπισμό συστηματικών ή χονδροειδών σφαλμάτων στο στάδιο των εκτιμήσεων των βάσεων, αλλά απαιτούνται και κατά την τελική συνόρθωση του δικτύου. Ο λόγος είναι ότι στο στάδιο της ανάλυσης των πρωτογενών δεδομένων να έγιναν δεκτές οι υποθέσεις ότι δεν υπάρχουν τέτοιου είδους σφάλματα, αλλά κατά τη συνόρθωση όλων των βάσεων του δικτύου εξαιτίας της καλύτερης εσωτερικής αξιοπιστίας ορισμένες να απορριφθούν.

Η αποδοχή των υποθέσεων στο στάδιο της αξιολόγησης της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της συνόρθωσης δεν εκφράζει απαραίτητα ότι όλες οι παραδοχές ικανοποιούνται. Ορισμένες φορές σημαίνει ότι τα αποτελέσματα δεν είναι ικανά να μας δείξουν αν οι αρχικές μηδενικές υποθέσεις δεν ισχύουν. Στην περίπτωση που

μερικά συστηματικά ή χονδροειδή σφάλματα παραμείνουν στις μετρήσεις, για να αξιολογηθεί η ποιότητα στην εκτίμηση της θέσης των σημείων δεν αρκεί μόνο η μέτρηση της ακρίβειας και ο έλεγχος για τον εντοπισμό των συστηματικών ή χονδροειδών σφαλμάτων και η απομάκρυνση τους. Αλλά να υπάρχει γνώση για το μέγεθος των σφαλμάτων που δεν εντοπίζονται (εσωτερική αξιοπιστία) και της επίδρασης που έχουν στην τελική εκτίμηση των θέσεων (εξωτερική αξιοπιστία).

Για τη μελέτη της αξιοπιστίας ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο τόσο στο στάδιο του σχεδιασμού όσο και της συνόρθωσης είναι ο αριθμός πλεονασμού r_i της κάθε παρατήρησης που ορίζεται ο λόγος του συνορθωμένου σφάλματος προς την αρχική μεταβλητότητα της παρατήρησης. Οι τιμές του κυμαίνονται $0 \leq r_i \leq 1$ και εξαρτάται από τη γεωμετρία του δικτύου και τον αριθμό των παρατηρήσεων που συμμετέχουν στον έλεγχο. Από το άθροισμα των αριθμών r_i προκύπτουν οι βαθμοί ελευθερίας r του δικτύου.

2.4.2 Νέες μετρήσεις στα σημεία του δικτύου

Η διαδικασία, η οποία ακολουθείται σε αυτή τη περίπτωση είναι η παρακάτω:

- Επιλέγονται και εκτελούνται οι μετρήσεις (βάσεις GPS). Οι νέες μετρήσεις περιέχονται στο διάνυσμα y^b .
- Υπολογίζονται τα αντίστοιχα μεγέθη χρησιμοποιώντας τις εκτιμήσεις των συντεταγμένων του δικτύου.
- Υπολογίζονται τα σφάλματα των νέων παρατηρήσεων ως εξής

$$\tilde{\mathbf{v}} = \mathbf{y}^b - \mathbf{y}(\hat{\mathbf{x}}) \quad (13)$$

- Υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας τους από τη σχέση

$$\mathbf{C}_{\tilde{\mathbf{v}}} = \mathbf{P}^{-1} + \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{C}_{\hat{\mathbf{x}}} \left(\frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}} \right)^T \quad (14)$$

2.5 Δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί με γρήγορους ρυθμούς η εγκατάσταση και λειτουργία μόνιμων σταθμών GPS. Η Διεθνής Υπηρεσία Παγκόσμιων Συστημάτων Δορυφορικής Πλοήγησης, IGS (International GNSS Service), όπου τα αρχικά GNSS σημαίνουν Global Navigation Satellite System, από το 1994 ελέγχει ένα δίκτυο σταθμών σε ολόκληρο το κόσμο, το οποίο συνεχώς διευρύνεται. Ενώ είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση και τη διάθεση των προϊόντων και των δεδομένων GPS για τους μόνιμους σταθμούς που διαθέτει.

Εκτός όμως από το δίκτυο σταθμών της IGS έχει αναπτυχθεί ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών από την αντίστοιχη Ευρωπαϊκή Υπηρεσία, την EPN (Euref Permanent Network). Σήμερα αποτελείται από περίπου 170 εγκατεστημένους σταθμούς ανά την Ευρώπη. Μία από τις γεωδαιτικές προδιαγραφές είναι η χρήση δεκτών δύο συχνοτήτων, με δώδεκα κανάλια παρακολούθησης σε κάθε συχνότητα. Όσοι από τους σταθμούς ανήκουν και στο δίκτυο της IGS πληρούν επιπλέον κάποιες ειδικές διατάξεις. Τα δεδομένα παρέχονται ελεύθερα και είναι σε Rinex Format όπως της IGS.

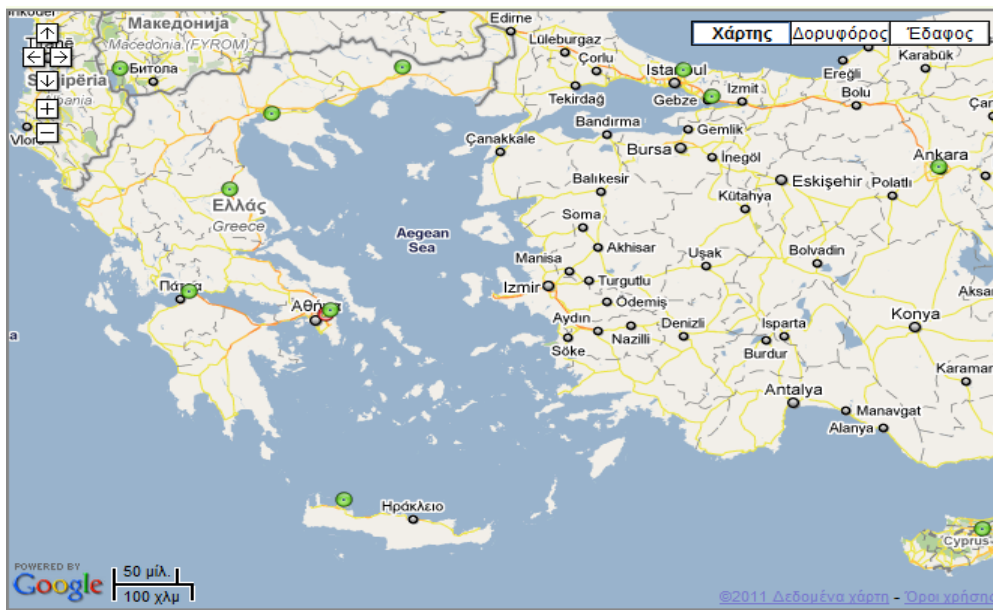
Τα στοιχεία τα οποία διατίθενται είναι τα ακόλουθα:

- Εφημερίδες ακριβούς τροχιάς (Precise GPS Orbits).
- Παράμετροι περιστροφής της γης.
- Συντεταγμένες και διανύσματα ταχύτητας των σταθμών παρακολούθησης.
- Χρονικές παράμετροι των δεκτών στους σταθμούς παρακολούθησης και των δορυφόρων.
- Εκτίμηση της ζενίθιας τροποσφαιρικής καθυστέρησης στους σταθμούς παρακολούθησης.
- Παραγωγή ατμοσφαιρικών χαρτών για κάθε μέρα τους έτους.

Στην Ελλάδα υπάρχουν σταθμοί της EPN στις ακόλουθες περιοχές:

1. Στη Θεσσαλονίκη (AUT1)
2. Στη Ξάνθη (DUTH)

3. Στη Λάρισα (LARM)
4. Στην Αθήνα (NOA1)
5. Στη Πάτρα (PATO)
6. Στα Χανιά (TUC2)



Σχήμα 2.1 : Σταθμοί της EUREF στην Ελλάδα (με πράσινο χρώμα) [www.epncb.oma.be/]
 Figure 2.1 : EUREF permanent GNSS stations in Greece (green color) [www.epncb.oma.be/]

Το κεντρικό γραφείο ελέγχου του δικτύου (Euref Permanent Network – Central Bureau) εφαρμόζει σειρά από ποιοτικούς ελέγχους στα δεδομένα που συλλέγει από το δίκτυο των μόνιμων σταθμών, οι οποίες αφορούν τη πληρότητα του αριθμού παρατηρήσεων, την επίδραση εμποδίων σε αυτές όπως περιορισμένη ορατότητα προς δορυφόρους καθώς και το εύρος των συστηματικών σφαλμάτων π.χ πολυανακλάσεις κ.α. Ο στόχος όλων αυτών των ενεργειών είναι να εξασφαλιστεί η υψηλή ποιότητα των δεδομένων που παρέχει στους ενδιαφερόμενους χρήστες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΡΓΟ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ / ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ

Στην περιοχή Αγίου Δημητρίου του νομού Αιτωλοακαρνανίας κατασκευάστηκε το έργο του Ευήνου, το οποίο περιλαμβάνει την κατασκευή φράγματος, την δημιουργία ταμιευτήρα και την κατασκευή του αγωγού σύνδεσης Ευήνου-Μόρνου. Το έργο αποτέλεσε την δεύτερη φάση υλοποίησης του συστήματος υδροδότησης της μείζονος περιοχής της Αθήνας. Σκοπός του σχεδιασμού και της υλοποίησης του έργου είναι η ενίσχυση του βασικού ταμιευτήρα του Μόρνου από νερά της γειτονικής λεκάνης του Ευήνου. Η έναρξη των εργασιών εκτέλεσης του έργου έγινε το 1992 με την κατασκευή χωμάτινου φράγματος και το έργο περατώθηκε το 2001. Στη συνέχεια ακολούθησε η πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα που ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2002. Το συγκεκριμένο έργο παρέχει κατά μέσο όρο περίπου 220 εκατομμύρια m³ νερού ετησίως για την ύδρευση της Αθήνας, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 25% της συνολικής παροχής του Ευήνου. Σύμφωνα με μελέτες της ΕΥΔΑΠ η Αττική θα τροφοδοτείται ετησίως από Ευήνο-Μόρνο-Υλική με συνδυασμένη διαχείριση των υδάτων πάνω από 600 εκατομμύρια m³, ποσότητα που καλύπτει τις ανάγκες των κατοίκων του Λεκανοπεδίου έως το 2030.

3.1 Περιγραφή περιοχής

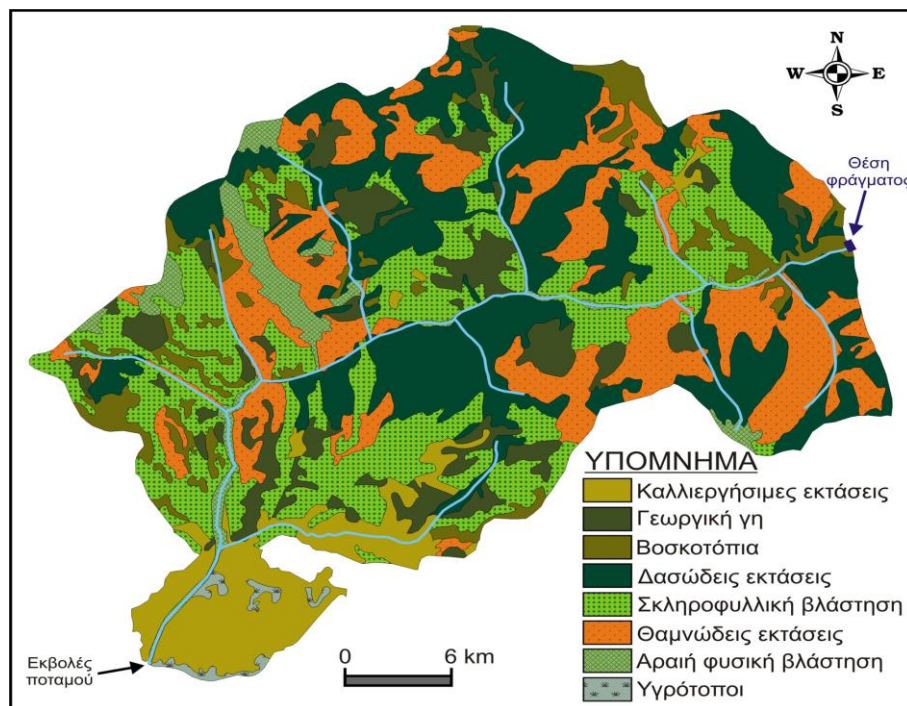
Το έργο του Ευήνου βρίσκεται στην Ορεινή Ναυπακτία. Τα Όρη Ναυπακτίας βρίσκονται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νομού Αιτωλοακαρνανίας πάνω από τη πόλη της Ναυπάκτου και έχουν μέγιστο υψόμετρο 1472 m. Γεωγραφικά ορίζονται μεταξύ των κοιλάδων του Μόρνου και του Ευήνου, ενώ βορειοανατολικά συνδέονται με τις απολήξεις των Βαρδουσίων.

Ο Ευήνος (ονομαζόμενος και ως Φιδάρης λόγω των διακλαδώσεων που σχηματίζει στα όρη της Αιτωλοακαρνανίας), πηγάζει στα βουνά Κόρακας και Τσεκούρι, ενώ εκβάλει στον Πατραϊκό Κόλπο κοντά στο χωριό Κρυονέρι ανατολικά της λιμνοθάλασσας του Μεσολογγίου. Εκεί βρίσκεται και το χωριό Ευηνοχώρι, στο οποίο έχει δώσει το όνομά του.

Ο Ευήνος τέμνει την βόρεια Ναυπακτία διατρέχοντας περίπου 113 km μέχρι την εκβολή του και έτσι είναι το φυσικό σύνορο μεταξύ Τριγωνίδας και Ναυπακτίας που

στις εκβολές του έχει φτιάξει μια τριγωνική πεδιάδα που σιγά-σιγά επεκτείνει με τις προσχώσεις του. Κατά την διαδρομή του δέχεται τα νερά ενός πλήθους παραποτάμων με κυριότερους τους Κότσαλο, Πορτιάρη, Φιδάκια και Γιδομαντρίτη.

Στο παρακάτω χάρτη φαίνονται οι χρήσεις γης που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος. Παρατηρούνται μεγάλες εκτάσεις σκληροφυλλικής βλάστησης και εκτεταμένες θαμνώδεις και δασώδεις εκτάσεις. Μικρότερη έκταση καταλαμβάνουν τα εδάφη για βοσκοτόπια και γεωργική χρήση, καθώς επίσης και τα εδάφη με αραιή φυσική βλάστηση. Τέλος, στις εκβολές του Ευήνου παρατηρούνται μεγάλες καλλιεργήσιμες εκτάσεις καθώς και μικρού μεγέθους υγρότοποι.

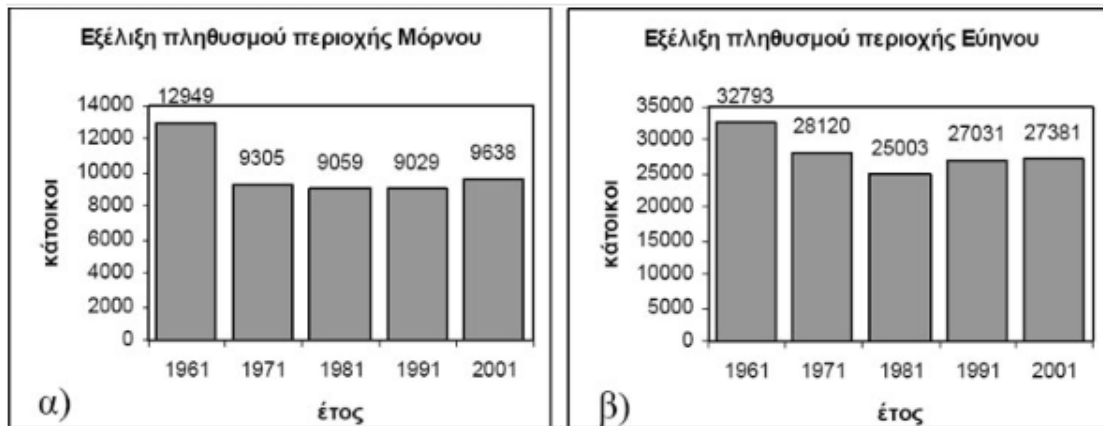


Σχήμα 3.1 : Χάρτης χρήσεων γης για το τμήμα της λεκάνης απορροής του Ευήνου ποταμού από τη θέση του φράγματος έως τις εκβολές του [Καρύμπαλης, 2009]

Figure 3.1 : Map of land use portion of the basin Evinos river from the location of the dam to the river mouth [Karympalis, 2009]

Στα γραφήματα που παρουσιάζονται παρακάτω συμμετέχουν 39 κοινότητες για τη λεκάνη του Ευήνου και 35 για το Μόρνο. Από την ανάγνωση τους παρατηρείται αύξηση του πληθυσμού στην απογραφή του 2001 των κοινοτήτων που βρίσκονται στις λεκάνες απορροής τόσο του Μόρνου όσο και του Ευήνου σε σχέση με τις δύο προηγούμενες απογραφές του 1991 και του 1981 αντίστοιχα. Μετά τη περίοδο 1960-1970 που εμφανίστηκε το μεγάλο <<κύμα>> μετακίνησης προς τα αστικά κέντρα,

παρατηρείται μια ανοδική τάση της εξέλιξης του πληθυσμού στις συγκεκριμένες περιοχές τα τελευταία χρόνια.



Σχήμα 3.2 : Διαχρονική εξέλιξη του πληθυσμού των κοινοτήτων που βρίσκονται στις λεκάνες απορροής (α) του Μόρνου, (β) του Ευήνου και καταλαμβάνουν εκτάσεις που βρίσκονται από τη θέση των φραγμάτων έως τις εκβολές των ποταμών [Εθνική Στατική Υπηρεσία Ελλάδος]

Figure 3.2 : Evolution of the population communities located in catchment areas (a) Mornos, (b) Evinos and occupy land in the position of the dams to rivers mouth [National Statistical Service of Greece]

3.2 Τεχνικά στοιχεία φράγματος

Το φράγμα του Ευήνου κατασκευάστηκε τη περίοδο 1992-1997. Η έναρξη διάστρωσης υλικού πυρήνα έγινε το Μάιο του 1995 και το επίχωμα ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο του 1997. Πρόκειται για χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα και σώματα στήριξης από αμμοχάλικα και λιθορριπή, συνολικού ύψους 126 m και μήκους περίπου 600 m στη στέψη. Ο ταμιευτήρας έχει συνολικό όγκο $145 \times 10^6 \text{ m}^3$, εκ του οποίου ο όγκος πάνω από το κατώφλι της υδροληψίας της σήραγγας είναι $135 \times 10^6 \text{ m}^3$.



Σχήμα 3.3 : Γενική άποψη του φράγματος [Google Earth]
Figure 3.3 : General view of the dam [Google Earth]

Ο υπερχειλιστής και η σήραγγα εκτροπής τοποθετήθηκαν στο αριστερό αντέρεισμα. Η τοπογραφία και οι δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες απέτρεψαν το δημιουργία ανοιχτού υπερχειλιστή και το έργο υπερχείλισης κατασκευάστηκε στο μεγαλύτερο μήκος του υπόγειο. Το έργο διαστασιολογήθηκε και ελέγχθηκε, ώστε να είναι δυνατή η παροχέτευση της διοδευμένης Μέγιστης Πιθανής Πλημμύρας.

Το έργο απαγωγής πλημμύρας αποτελείται από υπερχειλιστή με στέψη μήκους 40 m και διατομής τροποποιημένης πεταλοειδούς με επίπεδο πυθμένα και εσωτερική διάμετρο 10 m. Η προσαρμογή από 40 σε 10 m είναι μεγάλη και γι' αυτό το λόγο απαιτήθηκε βελτιστοποίηση της γεωμετρίας της επιφάνειας συναρμογής σε φυσικό υδραυλικό μοντέλο. Η σήραγγα έχει μήκος 290 m, ενώ ακολουθεί τμήμα κλειστού ορθογωνικού αγωγού μήκους 140 m, πλάτους 10 m και διάταξη αναπήδησης (flip bucket) στο κατάντη άκρο του αγωγού. Ο κίνδυνος σπηλαίωσης αντιμετωπίστηκε με την κατασκευή διατάξεων αερισμού του πυθμένα του αγωγού.



Σχήμα 3.4 : Υπερχειλιστής Φράγματος Ευήνου [Δήμος Πλατάνου]
Figure 3.4 : Spillway of Dam Evinos [Platanos]

Για την εκτροπή του ποταμού κατασκευάστηκε αγωγός και σήραγγα συνολικού μήκους 960 m και διατομής πεταλοειδούς διαμέτρου 7.60 m. Το έργο χρησιμεύει και ως εκκενωτής πυθμένα του ταμιευτήρα. Για τη διατήρηση της ροής στην κοίτη του ποταμού και την εξασφάλιση της οικολογικής ισορροπίας στη περιοχή κατασκευάστηκε αγωγός, με τον οποίο από τον ταμιευτήρα διοχετεύεται συνεχώς παροχή ενός κυβικού μέτρου ανά δευτερόλεπτο στη κατάντη του φράγματος λίμνη κατάδυσης του υπερχειλιστή, ώστε να μη διαταραχθεί η ζωή στο ποταμό.



Σχήμα 3.5 : Σήραγγα εκτροπής και εκκένωσης Φράγματος Ευήνου [Δήμος Πλατάνου]
Figure 3.5 : Tunnel diversion and discharge utilities of Dam Evinos [Platanos]

Παράγοντες, οι οποίοι επηρέασαν το σχεδιασμό του έργου είναι:

- Η γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου.
- Η έντονη και απότομη διακύμανση της παροχής του ποταμού.
- Η σημαντική παροχή φερτών υλών.
- Πρόβλεψη για μελλοντική εκτροπή προς τον ταμιευτήρα του Αγίου Δημητρίου νερών του γειτονικού Κρικελοπόταμου.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	
Τύπος φράγματος	Χωμάτινο, με αργιλικό "πυρήνα"
Μέγιστο ύψος φράγματος	107 m
Μέγιστο ύψος φράγματος (από στάθμη θεμελίωσης)	127 m
Μήκος στέψης	640 m
Πλάτος στέψης	10 m
Μέγιστο πλάτος με βάση	610 m
Υψόμετρο στέψης	+519 μ.υ.θ
Ανώτερη στάθμη πλημμύρας	+517 μ.υ.θ
Κλίσεις πρανών	Ανάντη 1:2,3 - Κατάντη 1:2
Όγκος υλικού φράγματος	14x10 ⁶ m ³
Στάθμη υπερχειλίσσης	+505 μ.υ.θ
Παροχή υπερχειλιστή	400 m ³ /s
Παραγωγή εκκενωτού πυθμένα	100 m ³ /s
Κατώτατη στάθμη εκκένωσης	
(χαμηλή είσοδος)	+430 μ.υ.θ
(υψηλή είσοδος)	+450 μ.υ.θ

Πίνακας 3.1 : Περιγραφή τεχνικών στοιχείων του φράγματος [ΕΥΔΑΠ]
Table 3.1 : Technical description of dam [EYDAP]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ	
Επιφάνεια στη στάθμη Υπερχείλισης	3.6 km ²
Λεκάνη απορροής	352 km ²
Μέση βροχόπτωση	1219 mm/y
Μέση εισροή	280x10 ⁶ m ³ /y
Μέση εκροή	300x10 ⁶ m ³ /y
Μέγιστη χωρητικότητα	138x10 ⁶ m ³
Μέγιστος ωφέλιμος όγκος	113x10 ⁶ m ³
Κανονική στάθμη λειτουργίας πύργου υδροληψίας	+458 μ.υ.θ
Ελάχιστη στάθμη λειτουργίας πύργου υδροληψίας	+444.7 μ.υ.θ
Στάθμη εισόδου σήραγγας Ευήνου-Μόρνου	+435 μ.υ.θ

Πίνακας 3.2 : Περιγραφή χαρακτηριστικών ταμιευτήρα Ευήνου [ΕΥΔΑΠ]
Table 3.2 : Description reservoir characteristics Evinos [EYDAP]

3.3 Σύνδεση Ευήνου-Μόρνου

Η Σήραγγα Ευήνου-Μόρνου έχει συνολικά μήκος 29.400 m, εσωτερική διάμετρο 3.5 m και κατασκευάστηκε σε διάστημα μικρότερο των δύο ετών. Οι κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος της σήραγγας είναι λεπτοκοκκώδης φλύσχης (30%), χαοτικός και ψαμμιτικός φλύσχης (40%), ασβεστόλιθος του ανωτέρου κρητιδικού (20%) , μεταβατικές ζώνες και αργιλικός σχιστόλιθος (10%). Μετά την ολοκλήρωση του έργου τα νερά των Βαρδουσίων πλημμύρισαν την κοιλάδα του Αγίου Δημητρίου. Δημιούργησαν μια τεχνητή λίμνη 3,5 km² και μέσω της σήραγγας προσαγωγής φτάνουν στον ταμιευτήρα του Μόρνου και από εκεί στην Αττική.

Λόγω των επιτακτικών αναγκών ενίσχυσης της ύδρευσης της Αθήνας και εξαιτίας του γεγονότος ότι η σήραγγα Ευήνου-Μόρνου ολοκληρώθηκε αρκετά νωρίτερα από το φράγμα, κατασκευάστηκε προσωρινά έργο υδροδότησης, το οποίο λειτούργησε μεταξύ 1995 και 1999 τροφοδοτώντας τον ταμιευτήρα του Μόρνου με πάνω από 100x10⁶ m³ νερού ετησίως. Το έργο αυτό αποτελείται από χαμηλό φράγμα ανάντη του κύριου φράγματος αλλά μέσα στα όρια του ταμιευτήρα, δεξαμενή εξάμμοσης και αγωγό Φ2000 για τη μεταφορά με βαρύτητα του νερού από τη δεξαμενή εξάμμοσης στη σήραγγα Ευήνου-Μόρνου. Η παροχευτικότητα του ήταν περίπου 12 m³/s.

3.4 Περιγραφή κατολίσθησης στο Φράγμα του Ευήνου

Κατά την κατασκευή του έργου ενεργοποιήθηκαν δύο κατολισθήσεις στο αριστερό πρηνές του ταμιευτήρα. Η πρώτη μόλις ανάντη της περιοχής εισόδου του υπερχειλιστή (κατολίσθηση 1993) και η δεύτερη 500 m ανάντη του άξονα του φράγματος (κατολίσθηση ΕΟ 24). Σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση κατολισθήσεων στα πρηνή του φράγματος έπαιξαν οι γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής. Θεωρείται σκόπιμο να μελετηθούν και να διερευνηθούν οι συνθήκες που οδήγησαν στην εμφάνιση των κατολισθήσεων για να γίνει καλύτερα κατανοητή η περιγραφή του μηχανισμού της κατολίσθησης. Επίσης, θα αναφερθούν παρακάτω τα μέτρα αντιμετώπισης που εφαρμόστηκαν, η κατασκευή τους και η συμπεριφορά τους με τη πάροδο του χρόνου.

3.4.1 Γεωλογία - Γεωμορφολογία

Η ευρύτερη περιοχή δομείται από φλύσχη της ζώνης της Πίνδου. Η περιοχή της κατολίσθησης χαρακτηρίζεται από πρηνή με κλίσεις κυρίως 10° - 20° . Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής καλύπτεται από κολλούβια του φλύσχη και στη περιοχή της κοίτης απαντώνται άμμοι, χάλικες και κροκάλες που απέθεσε ο ποταμός Ευήνος και οι παραπόταμοί του. Υπόβαθρο της περιοχής είναι ο ιλυολιθικός φλύσχη, χρώματος ερυθρωϊδούς-γκρίζου που εμφανίζεται λεπτοστρωματώδης, πτυχωμένος και διερρηγμένος με λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη και διατμημένες επιφάνειες.

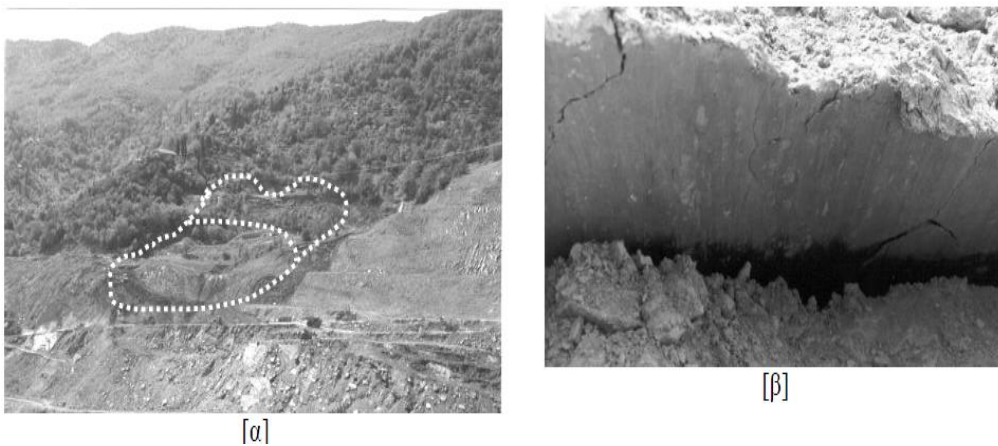
Από τα υψηλότερα τμήματα της πλαγιάς, όπου οι ασβεστόλιθοι επωθήθηκαν πάνω στο φλύσχη, μέχρι την περιοχή της κοίτης παρατηρούνται σημαντικά πάχη υλικών μανδύα που προέκυψαν είτε από επί τόπου αποσάθρωση του φλύσχη, είτε συνηθέστερα από μετακινήσεις αποσαθρωμένων υλικών προς τα κατόντη. Εκεί όπου η μορφολογία του αναγλύφου το επιτρέπει έχουν συγκεντρωθεί σημαντικά πάχη υλικών μανδύα. Από την επαφή ασβεστόλιθου – φλύσχη στο ανώτερο τμήμα της κλιτύς έως την κοίτη του ποταμού έχουν παρατηρηθεί, και αναφερθεί ιστορικά, πολλές κατολισθήσεις. Μάρτυρας σε αυτό είναι οι πολλές ρηγματωμένες, μερικές μέχρι καταστροφής οικίες. Οι κατολισθήσεις αν και διακριτές, σχετίζονται μεταξύ τους, καθώς η μετακίνηση της μίας επηρεάζει συνήθως τις όμορες της. Τα τελευταία 15 έτη που η περιοχή επιθεωρείται τακτικά έχει διαπιστωθεί ότι οι ρυθμοί μετακίνησης ποικίλουν και είναι της τάξεως των λίγων εκατοστών ανά έτος.

3.4.2 Ιστορικό-Διερεύνηση

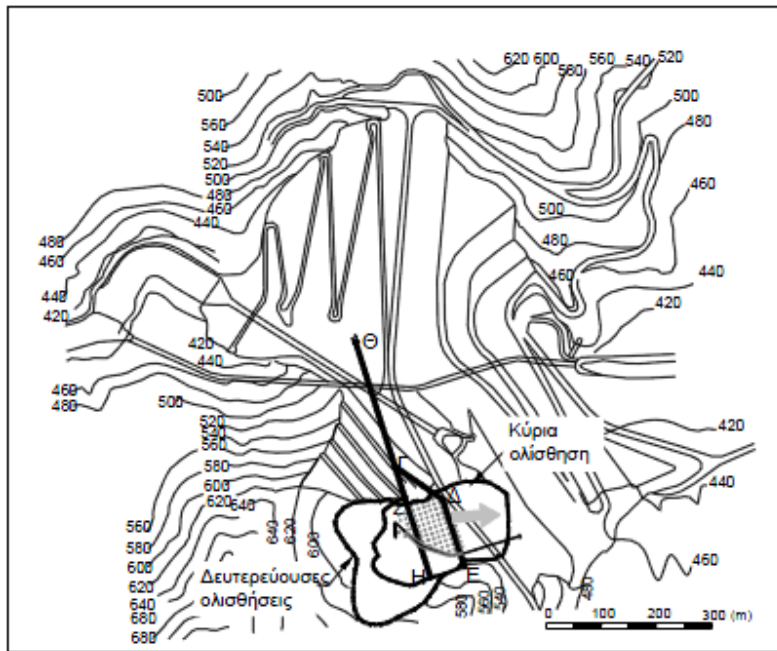
Κατολίσθηση του 1993

Η κατολίσθηση ενεργοποιήθηκε τον Αύγουστο του 1993 λόγω εκσκαφών στον πόδα της, κατά την κατασκευή της νέας οδού πρόσβασης προς το φράγμα. Έρευνες έδειξαν ότι η επιφάνεια ολίσθησης βρισκόταν σε βάθος 25 m και αφορούσε 600000 m³ αργιλικών κολλουβίων, τα οποία ολίσθαιναν κοντά στην επαφή τους με τον υποκείμενο ψαμμιτικό φλύσχη. Ο υδροφόρος ορίζοντας στην κατολίσθηση ήταν πολύ ψηλά σε αντίθεση με τη γειτονική περιοχή του υπερχειλιστή.

Εγκαταστάθηκαν φρέατα αντλήσεων ως προσωρινά μέτρα σταθεροποίησης, τα οποία ήταν αποδοτικά για ένα έτος περίπου, αλλά προοδευτικά αχρήστευσαν από τη συνεχιζόμενη μετακίνηση. Τον Αύγουστο του 1994 μετά από μια πολύ ισχυρή νεροποντή έγινε αιφνίδια μετακίνηση της ήδη ενεργοποιημένης μάζας καθώς και επέκταση της κατολίσθησης προς τα άνω (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6 : (α) γενική άποψη κατολίσθησης, (β) επιφάνεια ολίσθησης [ΕΥΔΑΠ]
Figure 3.6 : (α) overview of landslide, (b) sliding surface [EYDAP]



Σχήμα 3.7 : Θέση κατολίσθησης [ΕΥΔΑΠ]
Figure 3.7 : Position of landslide [ΕΥΔΑΠ]

Κατολίσθηση της Επ.Ο. 24

Από το πρώτο έτος της κατασκευής των έργων, το 1993, εντοπίστηκε ένας ερπυσμός στο αριστερό πρανάς, 100 m περίπου πάνω από την ανώτατη στάθμη του ταμιευτήρα και 500 m περίπου ανάντη του άξονα του φράγματος. Στη περιοχή δεν έγιναν αξιόλογα χωματουργικά έργα. Κοντά στη κεφαλή της έγινε μικρή διεύρυνση της υπάρχουσας οδού για να κατασκευασθεί το τεχνικό διέλευσης του χειμάρρου Ξηρόρεμα, ενώ στον πόδα έγινε εκσκαφή ύψους 2 m περίπου για την διέλευση της Ε.Ο. 24.

Αμέσως μετά την κατασκευή του τεχνικού το 1993 διαπιστώθηκαν ρηγματώσεις στους πλευρικούς τοίχους. Οι ρωγμές συνέχισαν να διευρύνονται κάθε υγρή περίοδο. Την Άνοιξη του 1996, μετά από μια ιδιαίτερα υγρή περίοδο, οι ρωγμές διευρύνθηκαν πολύ και παρατηρήθηκε μεγάλη καθίζηση εκατέρωθεν του τεχνικού σε εύρος 150 m περίπου (Σχήμα 3.8). Οι καθιζήσεις συνεχίστηκαν μέχρι τον Μάιο οπότε και επιβραδύνθηκαν. Στο διάστημα αυτό η συνολική καθίζηση ήταν της τάξεως των 3 m με οριζόντια μετακίνηση της τάξεως του 1 m.



Σχήμα 3.8 : Άποψη του σπασμένου τεχνικού [ΕΥΔΑΠ]
Figure 3.8 : View of broken technical work [ΕΥΔΑΠ]

Τα κλισιόμετρα υπέδειξαν επίσης ότι υπήρχε τάση επέκτασης της κατολίσθησης προς τα άνω στον οικισμό περί την εκκλησία του Αγίου Γεωργίου. Με δεδομένη την αφαίρεση από την περιοχή της κοίτης αμμοχάλικου πάχους 10 έως 15 m δημιουργήθηκε ανησυχία σχετικά με πιθανή επέκταση της κατολίσθησης και προς τα κάτω, μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα.

Για το λόγο αυτό όλη η περιοχή από το σπασμένο τεχνικό μέχρι την κοίτη αντιμετωπίστηκε από τα έργα σταθεροποίησης. Ο ρυθμός μετακίνησης κατά τη φάση των ερευνών και μελετών τα επόμενα έτη ήταν κυμαινόμενος από λίγα εκατοστά ανά έτος έως λίγα εκατοστά ανά μήνα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανίχνευση μετακινήσεων και σε περιοχές εκτός της εκδηλωθείσας κατολίσθησης. Αν και κρίθηκε ότι η κατολίσθηση αυτή δεν εγκυμονεί κίνδυνο για την λειτουργία του ταμιευτήρα και του φράγματος, προκρίθηκε η κατασκευή σταθεροποιητικών μέτρων κυρίως για την προστασία της Ε.Ο. 24.

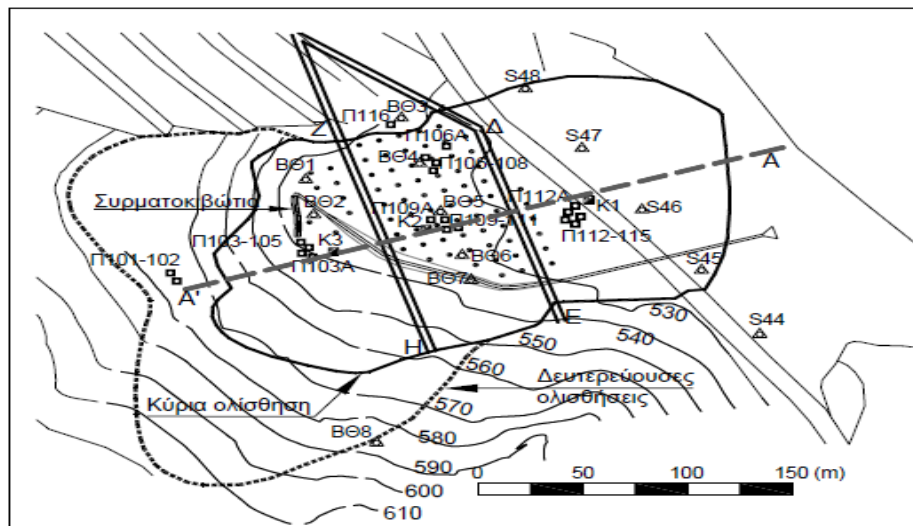
3.4.3 Μέτρα σταθεροποίησης

Για την “Κατολίσθηση 1993” τα μέτρα οριστικής σταθεροποίησης περιελάμβαναν:

- Διευθέτηση της επιφανειακής απορροής με κατασκευή έργων σύλληψης και απαγωγής του νερού των ρεμάτων που εισέρεαν στη κατολίσθηση.
- Αποστραγγιστική σήραγγα μήκους 690 m σε δύο κλάδους που εισέρχεται κατάντη του φράγματος σε υψόμετρο 475.30 m και διέρχεται κάτω από την κατολίσθηση εντός του ψαμμιτικού φλύσχη.

- Στην κεντρική περιοχή της κατολίσθησης διανοίχτηκαν 71 κατακόρυφα φρέατα στράγγισης Φ300 mm (Σχήμα 3.9) σε κάρναβο 10 x 10 m περίπου με μέσο μήκος 35 m. Τα φρέατα διαπερνούν την επιφάνεια ολίσθησης και επιτρέπουν την στράγγιση δια βάρυτητας προς τον στραγγισμένο από τη σήραγγα υποκείμενο ψαμμιτικό φλύσχη.
- Επέκταση του αναχώματος ώστε να δρα ως αντίβαρο ποδός.

Τα έργα ολοκληρώθηκαν στις αρχές του 2001. Έκτοτε, η κατολίσθηση είναι απολύτως σταθεροποιημένη και τα έργα στράγγισης λειτουργούν αποτελεσματικά.



Σχήμα 3.9 : Διάταξη έργων αποκατάστασης [ΕΥΔΑΠ]
Figure 3.9 : Order of restoration projects [EYDAP]

Για την κατολίσθηση της Ε.Ο 24 τα μέτρα σταθεροποίησης περιελάμβαναν:

- Εκτροπή του χειμάρρου που διατρέχει την κατολίσθηση σε παρακείμενο χείμαρρο, που έγινε υψηλότερα από την κεφαλή της.
- Αποστραγγιστικές σήραγγες μήκους 700 m περίπου, με ακτινικές αποστραγγιστικές γεωτρήσεις που βοηθούν τη στράγγιση της κατολίσθησης.
- Επίχωμα ποδός από προϊόντα εκσκαφών του φράγματος εδραζόμενο στο επίπεδο της κοίτης για να αποτρέψει γενικευμένη ολίσθηση του πρανούς.

Τα έργα κατασκευάστηκαν το διάστημα 2000-2002 και τοποθετήθηκε σειρά οργάνων παρακολούθησης. Εγκαταστάθηκαν όργανα στα πλαίσια των ερευνών για τη μελέτη των μέτρων σταθεροποίησης, καθώς επίσης και περαιτέρω όργανα για την παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων. Η ενόργανη παρακολούθηση περιλαμβάνει μετρήσεις βάθρων επιφανειακών μετακινήσεων, πιεσομέτρων σε διάφορα βάθη, κλισιομέτρων και παροχών της στραγγιστικής σήραγγας. Αρκετά κλισιόμετρα χρειάστηκε να αντικατασταθούν μετά την έμφραξή τους λόγω μεγάλων μετακινήσεων. Για την αξιολόγηση των μετρήσεων ελήφθησαν υπόψη και οι μετρήσεις του βροχομετρικού σταθμού του φράγματος.

3.4.4 Μέθοδοι παρακολούθησης

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται στις εργασίες παρακολούθησης των δύο κατολισθήσεων περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Τοπογραφικές μετρήσεις, με τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών (μέτρηση γωνιών και αποστάσεων) προσδιορίζεται η οριζοντιογραφική θέση των βάθρων επιφανειακών μετακινήσεων από τα σημεία του δικτύου του φράγματος. Ενώ με χωροβάτες από τις χωροσταθμικές αφετηρίες (REPER) που υπάρχουν στη περιοχή του φράγματος προσδιορίζεται το ορθομετρικό υψόμετρο των βάθρων επιφανειακών μετακινήσεων.
2. Χρήση πιεσόμετρων, τα οποία είναι διάσπαρτα τοποθετημένα στην περιοχή και από τις μετρήσεις τους είναι δυνατή η αποτύπωση της μεταβολής της πιεσομετρικής στάθμης. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων των πιεσόμετρων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:
 - Πιεσόμετρα, τοποθετημένα σε βάθος έως 15 m περίπου δεν έχουν επηρεασθεί σημαντικά από τις στραγγιστικές σήραγγες. Πιθανώς απαιτούνται περισσότερες αποστραγγιστικές γεωτρήσεις δια των σηράγγων.
 - Τα «βαθιά» πιεσόμετρα, τοποθετημένα σε βάθος άνω των 15m περίπου, έχουν σημαντικά επηρεασθεί από τις στραγγιστικές σήραγγες με πτώση της πιεσομετρικής στάθμης έως και 10m περίπου.

- Όσο βαθύτερα βρίσκονται τα πιεσόμετρα τόσο λιγότερο επηρεάζονται από τις βροχοπτώσεις.
 - Τα πιεσόμετρα που βρίσκονται εκτός της περιοχής των σηράγγων δεν έχουν επηρεασθεί σημαντικά.
3. Χρήση κλισιόμετρων για τη μέτρηση μετακινήσεων του εδάφους (διατμητικές μετακινήσεις, ερπυσμούς, καθιζήσεις κλπ). Από τα κλισιόμετρα που μετρώνται τα Γ103Α, Γ107, IN1 και IN2 βρίσκονται στο σώμα της κατολίσθησης, ενώ οι Γ105Α και Γ101 βρίσκονται εκτός της περιοχής αυτής. Οι μετρήσεις που αξιολογήθηκαν αφορούν την περίοδο κατά τη διάρκεια της κατασκευής των έργων σταθεροποίησης αλλά και μετά. Οι μετακινήσεις που εμφανίζουν επιβεβαιώνουν τον γενικό ερπυσμό που υπάρχει στην περιοχή.
4. Διατάξεις μέτρησης παροχής στην έξοδο αποστραγγιστικής σήραγγας με τις οποίες μετριέται η εκροή στην έξοδο της σήραγγας και μελετάται το κατά πόσον επηρεάζεται από το ύψος βροχής. Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι οι εκροές είναι ανάλογες των βροχοπτώσεων και η απόκριση των σηράγγων στις βροχοπτώσεις είναι ταχεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΑΝΑΜΕΤΡΗΣΗΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ – ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της εργασίας έγιναν μετρήσεις GPS σε συγκεκριμένα σημεία (βάθρα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου για τον έλεγχο μετακινήσεων στο φράγμα) που έχουν τοποθετηθεί στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος του Ευήνου και σε περιοχές που παρουσιάζουν ενδείξεις μικρομετακίνησης (στο φράγμα και γύρω από το αριστερό αντέρεισμα στην περιοχή της κατολίσθησης του πρανούς το 1993).

Συγκεκριμένα, στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ευήνου στην ορεινή Ναυπακτία στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας (φράγμα και ευρύτερη περιοχή ταμιευτήρα) έγινε συλλογή μετρήσεων GPS το τετραήμερο από 27/3/2011 έως και 30/3/2011 σε οκτώ (8) βάθρα του δικτύου. Τα 7 βάθρα είναι του τοπικού τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος που χρησιμοποιεί η ΕΥΔΑΠ (T1, T3, T4, A, B, Δ, E) και το ένα βάθρο είναι τριγωνομετρικό σημείο 4^{ης} τάξης της Γ.Υ.Σ. (T73 – Φ.Χ. ΚΛΕΠΑ, «Σταυρούδι»). Επίσης, για τον έλεγχο της στέψης του φράγματος και για τον έλεγχο της κατολίσθησης του αριστερού πρανούς του φράγματος, έγιναν μετρήσεις με GPS σε τρία (3) βάθρα (S64, S68, S73) που βρίσκονται στα κατάντη της στέψης, και σε τρία (3) βάθρα (S44, S47, S48) που βρίσκονται στον πόδα της κατολίσθησης του αριστερού πρανούς κατά μήκος του δρόμου πλησίον στον υπερχειλιστή του φράγματος.

4.2 Γεωδαιτικό υπόβαθρο

4.2.1 Πρωτεύον και δευτερεύον τριγωνομετρικό δίκτυο

Για την εγκατάσταση του πρωτεύοντος δικτύου χρησιμοποιήθηκαν δύο τριγωνομετρικά της Γ.Υ.Σ. ως βάση, το τριγωνομετρικό 69 και το τριγωνομετρικό 73. Δημιουργήθηκαν επιπλέον 4 σημεία τριγωνομετρικού σχεδιασμού:

- κατάντη του άξονα του φράγματος τα T1 και T2

- ανάντη του άξονα του φράγματος τα T3 και T4

Τα τριγωνομετρικά αυτά σημεία αποτέλεσαν το πρωτεύον δίκτυο για τις επόμενες εργασίες. Αυτά τα σημεία τοποθετήθηκαν σε σταθερές περιοχές του φράγματος, και συγκεκριμένα στα αντερείσματα, προκειμένου να υπολογίζεται με ακρίβεια η θέση των βάθρων ελέγχου επιφανειακών μετακινήσεων. Τα σημεία T1, T2, T3 και T4 βρίσκονται σε αποστάσεις >1000 m από το φράγμα στις γύρω κορυφές και θεωρούνται γενικά σταθερά σημεία (μακριά από κατολισθήσεις, και εγκατεστημένα στο βραχώδες υπόβαθρο).

Παρακάτω δίνονται οι συντεταγμένες και το ορθομετρικό υψόμετρο των σημείων του πρωτεύοντος δικτύου.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ			
	X(m)	Y(m)	H(m)
T73	-9938,136	-8507,122	728,21
T69	-11678,77	-9502,486	646,93
T1	-12307,779	-9166,384	498,876
T2	-11343,531	-8415,567	534,165
T3	-11320,062	-9707,931	590,392
T4	-9971,258	-10048,797	557,556

Πίνακας 4.1 : Συντεταγμένες των σημείων του πρωτεύοντος τριγωνομετρικού δικτύου [ΕΥΔΑΠ]
Table 4.1 : Point coordinates of the primary trigonometric network [EYDAP]

Κατά το τελευταίο χρονικό διάστημα πριν την έναρξη της διαδικασίας κατάκλισης, δημιουργήθηκε από το πρωτεύον δίκτυο ένα δευτερεύον δίκτυο, με αντίστοιχα σημεία τριγωνισμού Α, Β, Γ, Δ, Ε και Ζ για τον έλεγχο των βάθρων επιφανειακών μετακινήσεων και οι συντεταγμένες τους παρουσιάζονται παρακάτω:

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ		
	X(m)	Y(m)
A	-11646,452	-8834,402
B	-11369,207	-8684,665
Γ	-11329,511	-8702,553
Δ	-11165,983	-8866,267
E	-11522,841	-9355,884
Z	-	-

Πίνακας 4.2 : Συντεταγμένες των σημείων του δευτερεύοντος τριγωνομετρικού δικτύου [ΕΥΔΑΠ]
Table 4.2 : Point coordinates of the secondary trigonometric network [EYDAP]

Τα βάθρα αποτελούν ομάδες ελέγχων, δηλαδή βάθρα κατάντη του φράγματος ελεγχόμενα από τα τριγωνομετρικά Α και Ε (στήνουν το γεωδαιτικό σταθμό στο Α και σκοπεύουν το Ε), βάθρα ανάντη ελεγχόμενα από τριγωνομετρικά Δ και Β (στήνουν το γεωδαιτικό σταθμό στο Δ και σκοπεύουν το Β) , βάθρα εκσκαφών υπερχειλιστή και κατολίστησης '93 ελεγχόμενα από τριγωνομετρικά Τ3 και Ε (στήνουν το γεωδαιτικό σταθμό στο Τ3 και σκοπεύουν το Ε) και κατολίστησης δρόμου από Τ3 και Τ4 (στήνουν το γεωδαιτικό σταθμό στο Τ3 και σκοπεύουν το Τ4). Όλα τα δευτερεύοντα τριγωνομετρικά είναι και χωροσταθμικές αφετηρίες. Πέραν αυτών, στο χωροσταθμικό δίκτυο έχουν ενσωματωθεί τα παλιά REPER της μελέτης του φράγματος και έχουν εγκατασταθεί άλλα 9 τον αριθμό. Η πληθώρα των REPER καθιστά εύκολο τον έλεγχο των βάθρων.



Σχήμα 4.1 : Πρωτεύον και δευτερεύον τριγωνομετρικό δίκτυο του Φράγματος Ευήνου [Google Earth]

Figure 4.1 : Primary and secondary trigonometric network of Evinos Dam [Google Earth]

4.2.2 Σημεία ελέγχου επιφανειακών μετακινήσεων

Βάθρα ελέγχου των επιφανειακών μετακινήσεων τοποθετήθηκαν σε ολόκληρη την έκταση της περιοχής του φράγματος. Τα βάθρα ελέγχου επιφανειακών μετακινήσεων που έχουν τοποθετηθεί στην περιοχή του φράγματος είναι τα εξής :

- S 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 111, 125, 126 και 127 στο κατάντη πρανές του σώματος του φράγματος.

- S 74 και 75 στο δεξιό αντέρεισμα επί του δρόμου (στη νοητή προέκταση του άξονα του φράγματος).
- S 3, 4, 5, 8, 9, 114, 115, 116, 117, 118, 119 και 120 στο αριστερό αντέρεισμα.
- S 42, 43, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62 στο πρανές πάνω από τον υπερχειλιστή. Σημειώνεται ότι τα βάθρα 113 - 127 έχουν πλέον καλυφθεί από τα νερά του ταμιευτήρα.

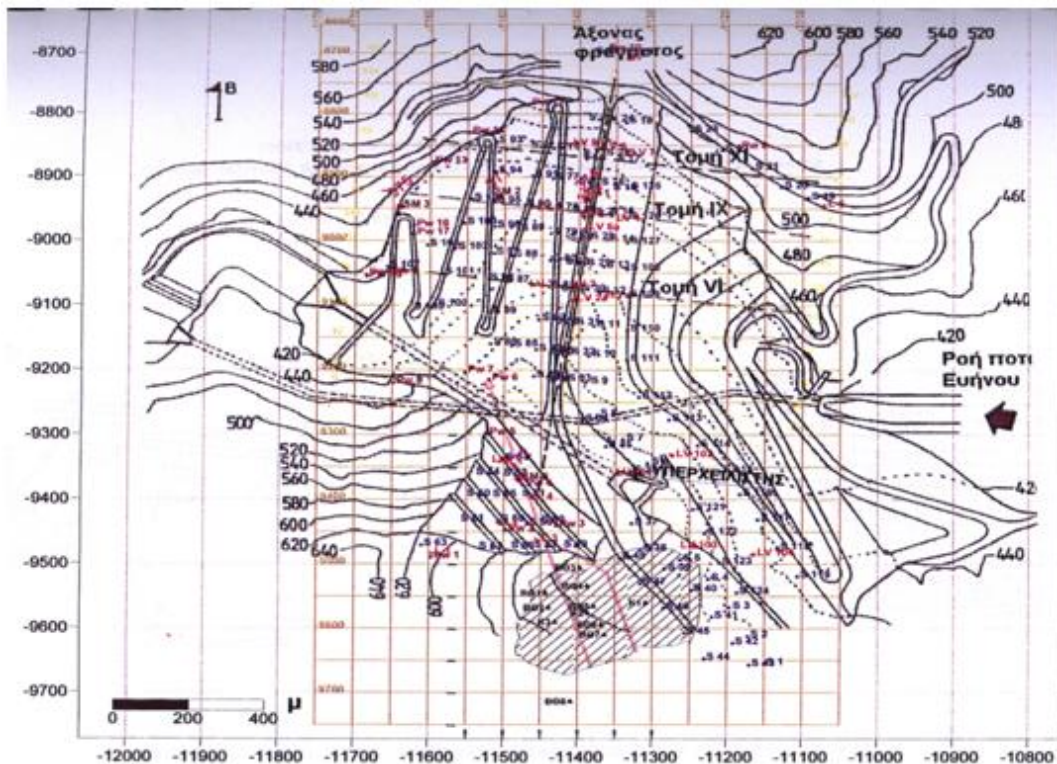
Επίσης βάθρα επιφανειακών μετακινήσεων υπάρχουν και στην περιοχή της κατολίσθησης του 1993 (Εικόνα 5.2). Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά σε αυτήν, καθώς αποτελεί την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας και τα βάθρα μετακινήσεων που έχουν τοποθετηθεί είναι:

- στα κλισιόμετρα K1, K2, K3
- S44-S48
- B01-B08



Σχήμα 4.2 : Περιοχή της κατολίσθησης “1993” [Google Earth]
Figure 4.2 : Location of the landslide “1993” [Google Earth]

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα βάθρα επιφανειακών μετακινήσεων της περιοχής του φράγματος και της κατολίστησης.



Σχήμα 4.3 : Θέσεις γεωδαιτικών βάθρων επιφανειακών μετακινήσεων και λοιπών οργάνων παρακολούθησης [ΕΥΔΑΠ]

Figure 4.3 : Location of geodetic monuments and other sensors [EYDAP]

4.3 Επαναμέτρηση τριγωνομετρικού δικτύου και επιλεγμένων σημείων παρακολούθησης

4.3.1 Σχεδιασμός δικτύου/εργασιών πεδίου

Πριν την εκτέλεση των μετρήσεων υπαίθρου από 27/03/2011-30/03/2011 στο φράγμα του Ευήνου, είχε προηγηθεί στο γραφείο ο σχεδιασμός των εργασιών πεδίου. Ο σχεδιασμός αποτελεί μία απαραίτητη προεργασία πριν γίνουν οι μετρήσεις, καθώς οργανώθηκαν όλα τα επιμέρους ζητήματα που συνδέονται με τις εργασίες πεδίου. Ο σχεδιασμός περιελάμβανε τα σημεία που πρόκειται να μετρηθούν ανά ημέρα, το χρόνο που θα μετράνε οι δέκτες σε κάθε σημείο, τη σειρά τοποθέτησης των δεκτών και τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί.

Αρχικά με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, χάρτες και τεχνικές εκθέσεις, έγινε η μελέτη του δικτύου του φράγματος. Εντοπίστηκαν οι θέσεις των σημείων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος δικτύου (Σχήμα 4.1), καθώς επίσης εντοπίστηκαν τα βάθρα επιφανειακών μετακινήσεων στη στέψη και την “Κατολίσθηση 1993” (Σχήμα 4.3).

Στη συνέχεια έχοντας επιλέξει τα σημεία που επρόκειτο να μετρηθούν, ακολούθησε ο σχεδιασμός των εργασιών υπαίθρου ανά ημέρα. Αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν τέσσερις δέκτες GPS στις μετρήσεις πεδίου, ώστε να είναι εφικτό να μετρηθούν όλα τα σημεία που έχουν προγραμματιστεί, να έχουμε μεγάλης διάρκειας παρατηρήσεις και πληρότητα μετρήσεων μέσω του στατικού εντοπισμού των σημείων. Επίσης, η χρήση 4 δεκτών έχει σαν σκοπό να ελαττωθούν οι μετακινήσεις στο φράγμα μεταξύ των περιοχών μέτρησης, καθώς τα σημεία απείχαν μεταξύ τους αρκετή απόσταση και οι μετακινήσεις γινόταν με αυτοκίνητο. Γίνεται αντιληπτό ότι η επιλογή του αριθμού των δεκτών και γενικότερα ο σχεδιασμός των εργασιών πεδίου αποβλέπει στην επίτευξη πληρότητας της εργασίας και μείωση του χρόνου παραμονής στο φράγμα λόγω του αυξημένου οικονομικού κόστους.

Έχοντας 4 διαθέσιμους δέκτες κάθε ημέρα για τη μέτρηση των σημείων του δικτύου δύο έμεναν σταθεροί, ενώ οι άλλοι δύο μετακινούνταν από σημείο σε σημείο με τη συμπλήρωση 2h καταγραφής. Ακολουθώντας το σκεπτικό αυτό κάθε ημέρα μετρήθηκαν 6 σημεία του δικτύου, 2 σημεία στα οποία οι δέκτες θα έμεναν καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων της ημέρας και 4 σημεία από τους δύο κινούμενους δέκτες. Κάθε κινούμενος δέκτης μετρούσε 2 σημεία από δύο ώρες το καθένα. Για λόγους ασφαλείας επιλέχθηκαν τα σημεία E , T3 και T73 να κρατηθούν σταθερά τις ημέρες των μετρήσεων.

Επίσης κατά το σχεδιασμό, κάθε σημείο του δικτύου είχε προγραμματιστεί να μετρηθεί τουλάχιστον δύο φορές, ώστε να υπάρχει πληθώρα παρατηρήσεων και μετρήσεις κοινών σημείων σε διαφορετικές ημέρες. Ενώ από περίοδο σε περίοδο είχε προβλεφθεί να μετρηθεί ένας αριθμός κοινών βάσεων, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση μεταξύ των περιόδων. Οι κοινές βάσεις υπερβαίνανε το 10 % του συνόλου των μετρημένων βάσεων, καθώς κάθε ημέρα γινόταν μέτρηση τουλάχιστον τριών βάσεων της προηγούμενης ημέρας. Όσον αφορά τα βάθρα της κατολίσθησης και της στέψης είχε προγραμματιστεί να μετρηθούν μία φορά για περίπου 0,5 h.

Κατά το σχεδιασμό είχε προβλεφθεί η σειρά τοποθέτησης των δεκτών να είναι ως εξής:

- Πρώτα γίνεται η τοποθέτηση των δεκτών που δεν πρόκειται να αλλάξουν θέση κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της ημέρας.
- Δεύτερον η τοποθέτηση των κινούμενων δεκτών και η μετακίνησή τους γίνεται μεταξύ σημείων που απέχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Η σειρά τοποθέτησης των δεκτών ήταν δυνατόν να αλλάξει πάντα όμως σε σχέση με το βέλτιστο τρόπο κατανομής των μετακινήσεων στο φράγμα. Τέλος προτιμήθηκαν οι δέκτες R8 να χρησιμοποιούνται ως κινούμενοι δέκτες, καθώς οι συγκεκριμένοι έχουν ενσωματωμένη τη κεραία και εξοικονομείται χρόνος κατά την τοποθέτηση του εξοπλισμού.

4.3.2 Γεωδαιτικός εξοπλισμός

Στις εργασίες πεδίου χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις δέκτες, δύο διαφορετικών ειδών:

- Δύο δέκτες Trimble 4700 συνοδευόμενοι από κεραίες L1/L2 και μπαταρίες τροφοδοσίας.



- Δύο δέκτες Trimble R8 που έχουν ενσωματωμένη τη κεραία L1/L2 με εσωτερική τροφοδοσία.



Τα δύο παραπάνω είδη δεκτών μπορούν να καταγράψουν στις συχνότητες L1, L1/ L2 και αυτό τους επιτρέπει να λύσουν με ικανοποιητική ακρίβεια βάσεις >>20 Km.

Οι δέκτες R8 έχουν και τη δυνατότητα εντοπισμού τόσο δορυφόρων GLONASS όσο και γεωστατικών δορυφόρων EGNOS, οι οποίοι στέλνουν διορθώσεις τροχιών και άλλα στοιχεία. Εκτός από τους δέκτες ο εξοπλισμός περιελάμβανε δύο κεραίες Compact L1/L2 w/Ground Plane και δύο μπαταρίες τροφοδοσίας που συνδέονται με τους δέκτες Trimble 4700, βάσεις κέντρωσης, τρικόχλιο, αντάπτορες βάσεων, μετροταινίες και μαγνητικές πυξίδες. Η σειρά τοποθέτησης του εξοπλισμού και οι ενέργειες που έγιναν στο <<στήσιμο>> κάθε δέκτη αντίστοιχα είναι οι εξής:

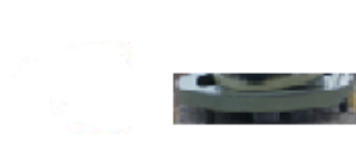
1. Τοποθέτηση της βάσης κέντρωσης πάνω στο βάθρο και εκτέλεση της διαδικασίας κέντρωσης.
2. Τοποθέτηση του τρικόχλιου πάνω στη βάση κέντρωσης και εκτέλεση οριζοντίωσης.
3. Τοποθέτηση του αντάπτορα πάνω από το τρικόχλιο.
4. Σύνδεση της αντένας, στη περίπτωση των δεκτών Trimble 4700 με το δέκτη.
5. Τοποθέτηση της κεραίας στον αντάπτορα.
6. Σύνδεση δέκτη GPS με μπαταρία τροφοδοσίας για τους δέκτες Trimble 4700.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε:

Βάση κέντρωσης Kernel



Μεταλλική βάση κέντρωσης



Τρικόχλιο



Μεταλλική μετροταινία 3m



Κεραία Compact L1/L2 w/gr
4700



Μπαταρία Trimble



Αντάπτορας τριχογλίου



Μαγνητική πυξίδα



4.3.3 Σύνοψη εργασιών

Η εκτέλεση των εργασιών πεδίου έγινε το διάστημα από 27/03/2011 έως 30/03/2011, στο φράγμα του Ευήνου, στην Ορεινή Ναυπακτία (νομός Αιτωλοακαρνανίας).



Σχήμα 4.4 : Περιγραφή ευρύτερης περιοχής Φράγματος Ευήνου [Google]
Figure 4.4 : Map of Evinos Dam area [Google]

Περιελάμβαναν τη μέτρηση με GPS των σημείων του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου του φράγματος, ενός τριγωνομετρικού της Γ.Υ.Σ. (T73) και τριών βάθρων επιφανειακών μετακινήσεων στη στέψη και στην κατολίσθηση του 1993. Οι μετρήσεις, οι οποίες εκτελούνται έως σήμερα για την παρακολούθηση των μετακινήσεων στο φράγμα γίνονται από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε, που είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση του έργου. Εφαρμόζονται επίγειες μέθοδοι με τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών, μετρώντας αποστάσεις και γωνίες για το προσδιορισμό της θέσης και χωροβάτες για το προσδιορισμό των υψομέτρων διαφορών από τα REPER που είναι εγκατεστημένα σε διάφορα σημεία του φράγματος.

Η διαδικασία των μετρήσεων περιελάμβανε αναγνώριση των βάθρων, κέντρωση και οριζοντίωση της κεραίας του οργάνου, προσανατολισμός της αντένας προς το βορρά, μέτρηση υψών και έναρξη της καταγραφής δεδομένων με την ενεργοποίηση του

δέκτη. Ο σκοπός του προσανατολισμού της κεραίας προς το βορρά είναι η εξάλειψη σφαλμάτων λόγω μετατόπισης του κέντρου φάσης. Στη συνέχεια συντάσσονταν το έντυπο υπαίθρου, το οποίο περιελάμβανε το ύψος κεραίας (το οποίο είχε ήδη μετρηθεί), την ημερομηνία και ώρα των μετρήσεων, το τύπο και S/N του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε και ανάλογα με το τύπο του δέκτη το όνομα του αρχείου καταγραφής.

Χρονικό εργασιών πεδίου

1^η ημέρα (27/03/2011): Ένας από τους τέσσερις δέκτες τοποθετήθηκε στο E και έμεινε σταθερός για όλο το διάστημα που γινόταν οι μετρήσεις των βάθρων της στέψης και της “Κατολίσθησης 1993”. Τα βάθρα επιφανειακών μετακινήσεων που μετρήθηκαν στη στέψη ήταν το S64, S68 και S73 , τα οποία βρίσκονται κατάντη του άξονα του φράγματος. Ενώ τα τρία βάθρα της κατολίσθησης που μετρήθηκαν ήταν το S44, S47 και S48. Η επιλογή τους βασίζεται στο γεγονός ότι από τη μελέτη των χρονοσειρών των μετρήσεων της ΕΥΔΑΠ για τα βάθρα της κατολίσθησης παρουσίαζαν τις μεγαλύτερες μετακινήσεις. Το S48 μετρήθηκε ξανά την τρίτη ημέρα των εργασιών πεδίου, καθώς υπήρξε ένα πρόβλημα στην αποθήκευση δεδομένων.

2^η ημέρα (28/03/2011): Αρχικά οι δύο σταθεροί δέκτες τοποθετήθηκαν στα σημεία E και T3, ενώ στη συνέχεια οι άλλοι δύο δέκτες τοποθετήθηκαν αρχικά στα σημεία Δ και A για 2 h και μετακινήθηκαν στα σημεία B, T1 αντίστοιχα, όπου παρέμειναν και εκεί για 2 h.

3^η ημέρα (29/03/2011): Οι δύο σταθεροί δέκτες τοποθετήθηκαν στα σημεία T3 και E, μετρήθηκε έπειτα το σημείο S48 για 0,5 h και μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης οι δύο δέκτες τοποθετήθηκαν αρχικά στα σημεία A και Δ για 2 h και μετακινήθηκαν στα σημεία T4, T1 αντίστοιχα, όπου παρέμειναν για άλλες 2 h .

4^η ημέρα (30/03/2011): Ο πρώτος δέκτης κατά σειρά τοποθέτησης, παρέμεινε στο σημείο T3 καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Πριν όμως στηθεί και ο δεύτερος σταθερός δέκτης στο T73, τοποθετήθηκε ένας δέκτης στο T4. Μετά την τοποθέτηση του τρίτου δέκτη στο T73 τοποθετήθηκε ο τέταρτος στο Δ. Οπότε μετακινήθηκαν μετά οι δύο δέκτες όταν συμπλήρωσαν 2 h καταγραφής από το T4 στο A και από το Δ στο B.

Από την περιγραφή των εργασιών πεδίου ανά ημέρα είναι φανερό ότι δεν μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των εργασιών υπαίθρου τα σημεία Γ, Ζ και T2, T69. Τα δύο πρώτα δεν μετρήθηκαν, καθώς δεν χρησιμοποιούνται από την ΕΥΔΑΠ ως σημεία ελέγχου βάθρων επιφανειακών μετακινήσεων. Ενώ στα άλλα δύο αν και έγινε προσπάθεια προσέγγισης τους, αποδείχθηκε πολύ δύσκολη η πρόσβαση σε αυτά. Η περιγραφή των σημείων που μετρήθηκαν δίνεται στο Παράρτημα Α.

Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά η περιγραφή ενός βάθρου του δικτύου του φράγματος:

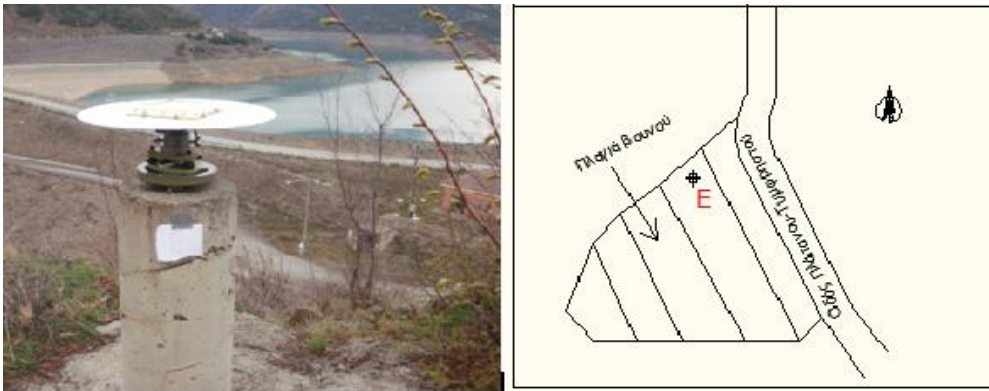
Κωδικός Σημείου: **E (Γεωδαιτικό Δίκτυο)**

Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 39' 59'' .75331$, $\lambda = 21^{\circ} 50' 09'' .30813$, $h = 576.599$ m

Ημερομηνίες Μέτρησης: **27/03/2011**
28/03/2011
29/03/2011

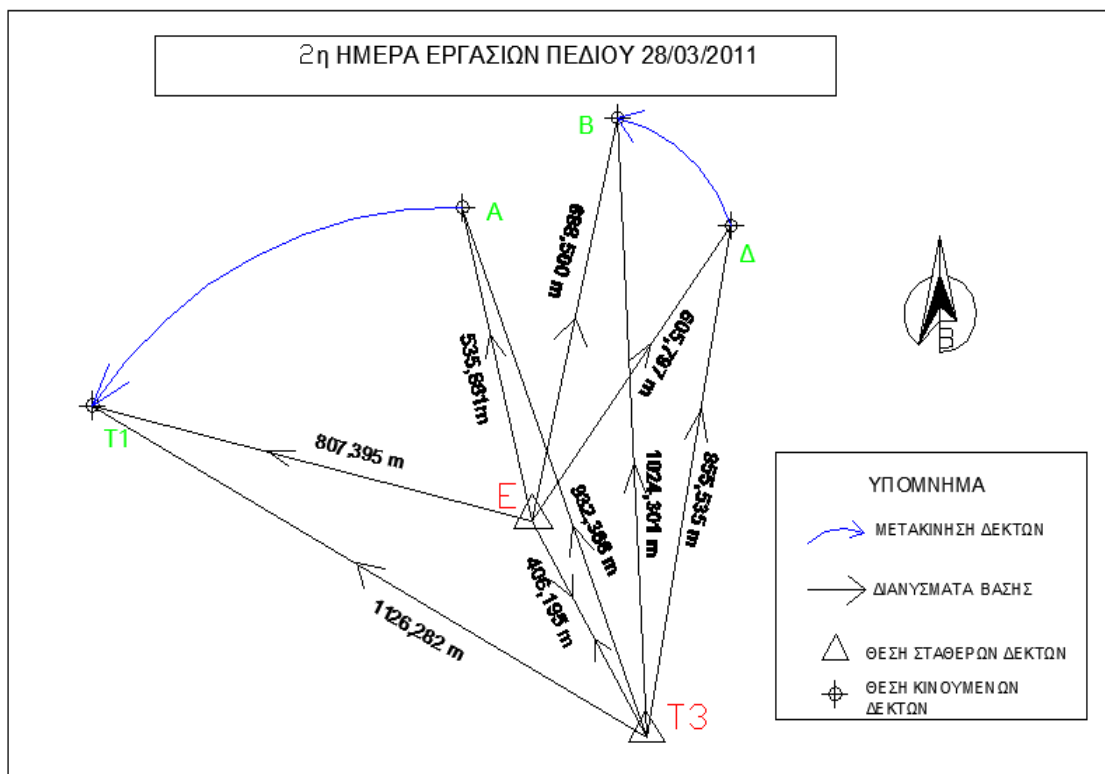
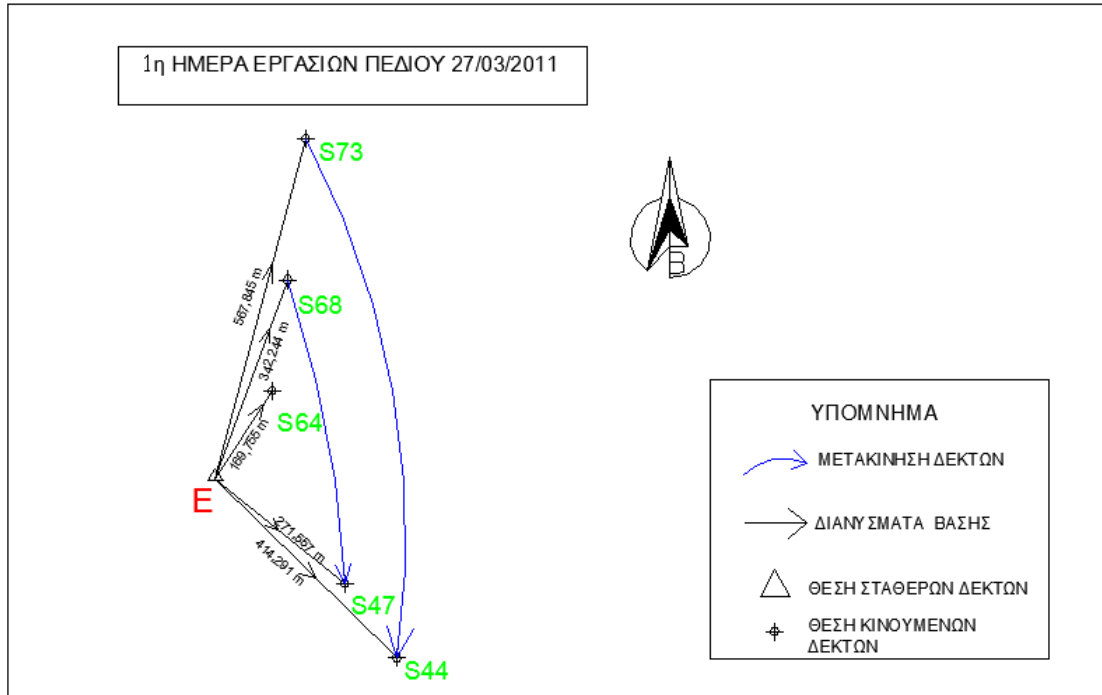
Περιγραφή βάθρου:

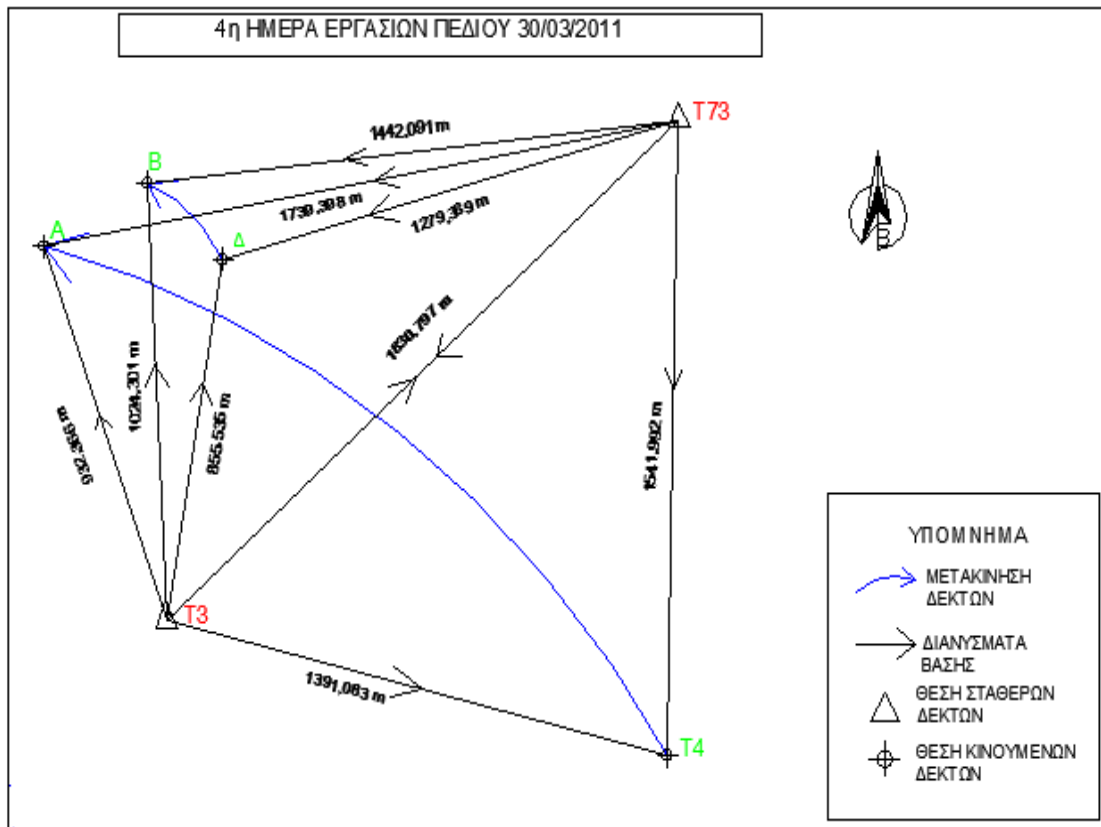
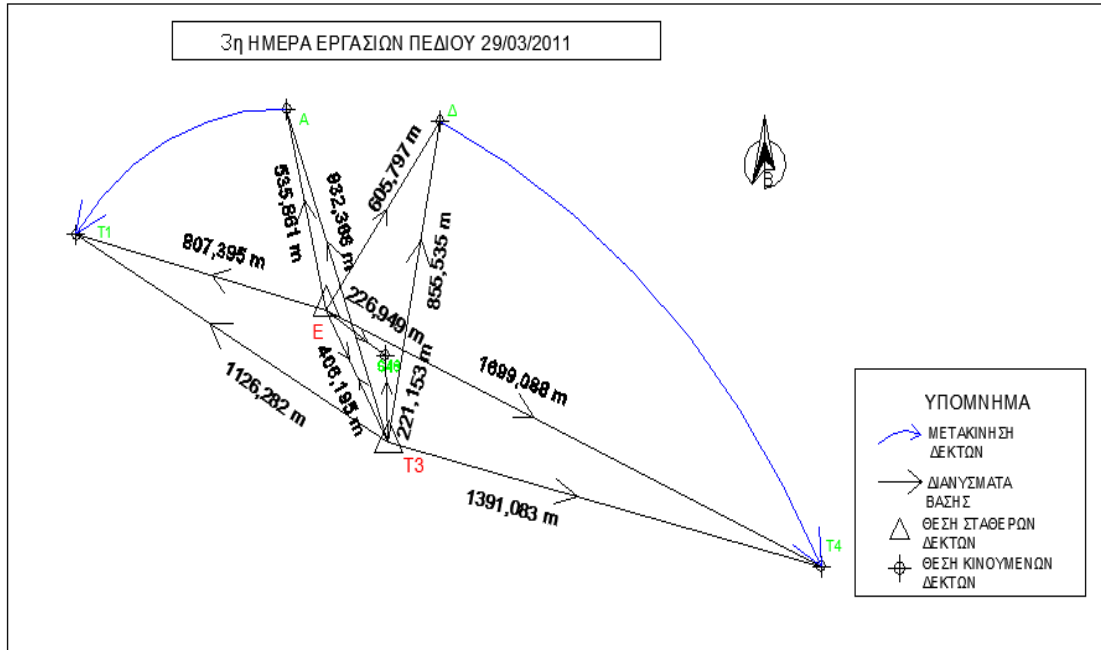
Το βάθρο του σημείου E έχει ύψος 1.07 m.



Σχήμα 4.5 : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου E
Figure 4.5 : Photograph and drawing of point E

Στα παρακάτω σχέδια φαίνονται τα σημεία που μετρήθηκαν ανά ημέρα, οι μετρημένες βάσεις και οι μετακινήσεις των δεκτών. Εκτός αυτών, εμφανίζονται τα σημεία όπου οι δέκτες κρατήθηκαν σταθεροί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα σημεία που μετρήθηκαν από τους κινούμενους δέκτες.





Στους παρακάτω πίνακες δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των μετρήσεων, όπως η σειρά τοποθέτησης των δεκτών ανά ημέρα, το είδος του δέκτη που τοποθετήθηκε σε κάθε σημείο, το σημείο μέτρησης, το όνομα του αρχείου που δημιουργήθηκε από το δέκτη και ο χρόνος μέτρησης κάθε δέκτη.

1η Ημέρα Εργασιών Πεδίου 27/03/2011				
A/A ΔΕΚΤΗ	ΔΕΚΤΕΣ	ΣΗΜΕΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ	ΩΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (ΧΡΟΝΟΣ GPS)
1	Trimble 4700	E	10470860	12.33 - 15.43
2	R8	S64	37050860	12.54 - 14.05
3	R8	S68	02110860	13.14 - 14.08
4	Trimble 4700	S73	93410860	13.31 - 14.11
2	R8	S47	02110861	14.34 - 15.10
4	Trimble 4700	S44	93410861	14.53 - 15.26

2η Ημέρα Εργασιών Πεδίου 28/03/2011				
A/A ΔΕΚΤΗ	ΔΕΚΤΕΣ	ΣΗΜΕΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ	ΩΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (ΧΡΟΝΟΣ GPS)
1	Trimble 4700	E	93410870	06.34 - 15.56
2	Trimble 4700	T3	10470870	10.38 - 16.33
3	R8	Δ	02110871	11.05 - 13.05
4	R8	A	37050871	11.24 - 13.28
3	R8	B	02110870	13.36 - 15.38
4	R8	T1	37050870	13.53 - 15.46

3η Ημέρα Εργασιών Πεδίου 29/03/2011				
A/A ΔΕΚΤΗ	ΔΕΚΤΕΣ	ΣΗΜΕΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ	ΩΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (ΧΡΟΝΟΣ GPS)
1	Trimble 4700	T3	10470880	10.51 - 16.51
2	Trimble 4700	E	93410880	11.24 - 16.13
3	R8	S48	02110880	11.44 - 12.16
4	R8	Δ	37050880	11.55 - 13.38
3	R8	A	02110881	12.24 - 14.30
4	R8	T4	37050883	14.19 - 16.31
3	R8	T1	02110882	14.35 - 16.00

4η Ημέρα Εργασιών Πεδίου 30/03/2011				
A/A ΔΕΚΤΗ	ΔΕΚΤΕΣ	ΣΗΜΕΙΑ	ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ	ΩΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (ΧΡΟΝΟΣ GPS)
1	Trimble 4700	T3	93410890	07.22 - 15.12
2	R8	T4	37050890	07.48 - 09.57
3	Trimble 4700	T73	10470890	08.45 - 14.35
4	R8	Δ	02110891	09.15 - 11.34
3	R8	A	37050892	10.17 - 12.30
4	R8	B	02110890	12.18 - 14.01

Οι δυσκολίες κατά την περίοδο των μετρήσεων αφορούν κυρίως:

- Τις μετακινήσεις από το τόπο διαμονής προς τη περιοχή του φράγματος που γινόταν οι μετρήσεις. Η περιοχή που βρισκόταν ο ξενώνας είναι το χωριό Πλάτανος, το οποίο αποτελεί τον πιο κοντινό οικισμό από το φράγμα με χώρους διαμονής. Η απόσταση είναι περίπου 20 km και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο δρόμος είναι αρκετά στενός, χρειαζόταν για τη μετακίνηση μας και αντίστοιχα για την επιστροφή από το πεδίο σχεδόν 0,5 h.

- Οι μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των σημείων μέτρησης, αποτελούσαν ένα χρονοβόρο στοιχείο της διαδικασίας των μετρήσεων.
- Οι γρήγορες αλλαγές του καιρού, δημιούργησαν προβλήματα στην εκτέλεση των μετρήσεων και καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό τη πορεία τους. Ιδιαίτερα την άνοιξη, όπου πραγματοποιήθηκαν οι εργασίες πεδίου οι καιρικές συνθήκες μεταβάλλονται απότομα και είναι σχεδόν απρόβλεπτες. Για παράδειγμα, τη τρίτη ημέρα των εργασιών πεδίου οι μετρήσεις λόγω έντονης βροχόπτωσης το πρωί άρχισαν στις 2 το μεσημέρι, κάτι που είχε σαν αποτέλεσμα να ολοκληρωθούν με το τελευταίο φως της ημέρας.
- Η αδυναμία αποθήκευσης των δεδομένων αυτόματα από ένα δέκτη R8, είχε σαν συνέπεια να γίνεται η διαδικασία σχηματισμού αρχείου με το χειριστήριο.
- Η πυκνή βλάστηση σε συνδυασμό με την έντονη βροχόπτωση δεν κατέστησαν δυνατή τη πρόσβαση στο T69.
- Η πρόσβαση ούτε στο T2 δεν ήταν εφικτή, λόγω της κακής κατάστασης του χωματόδρομου που οδηγούσε στο σημείο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΕΥΗΝΟΥ

5.1 Εισαγωγικά

Στο στάδιο αυτό μελετάται η επεξεργασία των μετρήσεων GPS, με σκοπό την επίλυση του δορυφορικού δικτύου του φράγματος Ευήνου. Προσδιορίζονται από την επίλυση οι συντεταγμένες των βάθρων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος και των τριών επιλεγμένων σημείων ελέγχου της στέψης και της “Κατολίσθησης 1993”. Η επίλυση των δορυφορικών δεδομένων έγινε σε ένα εμπορικό πρόγραμμα επεξεργασίας μετρήσεων GPS. Η διαδικασία της επίλυσης περιλαμβάνει:

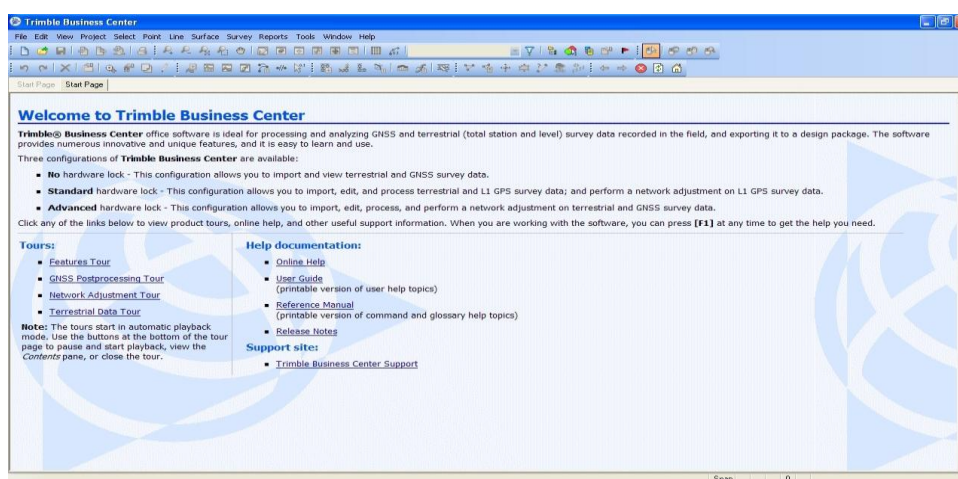
1. Εισαγωγή των μετρήσεων GPS στο πρόγραμμα επεξεργασίας και ρύθμιση των παραμέτρων επίλυσης
2. Επίλυση των δορυφορικών βάσεων
3. Συνόρθωση του δορυφορικού δικτύου
4. Απόδοση του προϊόντος επίλυσης

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επέμβει ως ένα βαθμό στην απόδοση της τελικής λύσης και το επιτυγχάνει με:

- την βελτίωση της αρχικής λύσης με “κόψιμο δορυφόρων”, αλλαγή της γωνίας αποκοπής δορυφόρων (μάσκα) κ.α
- τον έλεγχο των λυμένων βάσεων με το κλείσιμο τριγώνων
- τα βάρη των παρατηρήσεων για το στοχαστικό μοντέλο που απαιτείται στην διαδικασία της επίλυσης (συνόρθωσης)
- τους στατιστικούς ελέγχους των αποτελεσμάτων, κλπ.

5.2 Διαδικασία επίλυσης δορυφορικού δικτύου - Λογισμικό Trimble Business Center (TBC)

Η επίλυση των μετρήσεων GPS έγινε με το πρόγραμμα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων TBC (Trimble Business Center). Είναι το πρόγραμμα που παρέχει αυτή τη περίοδο η εταιρία Trimble με την αγορά δεκτών GPS, ώστε να μπορούν οι χρήστες να επεξεργάζονται τις μετρήσεις που πραγματοποίησαν στο πεδίο.

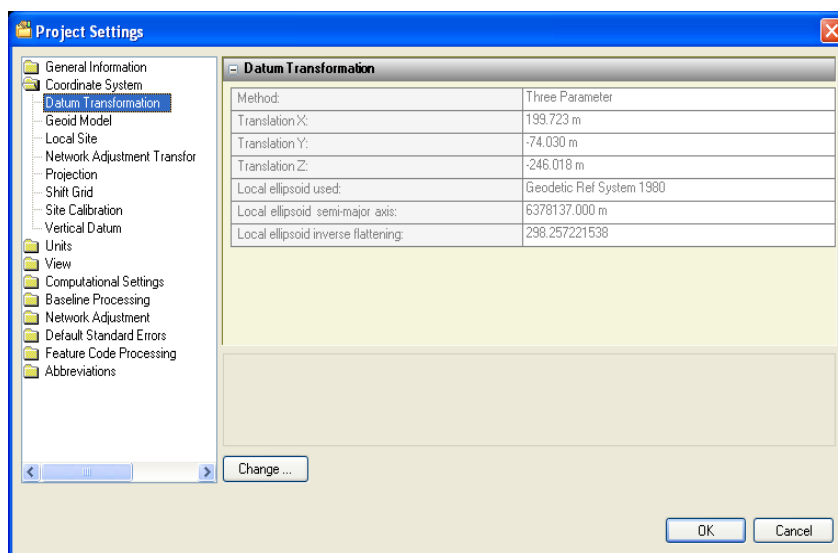


Σχήμα 5.1 : Περιβάλλον εργασίας Trimble Business Center (TBC)
Figure 5.1 : Interface of Trimble Business Center (TBC) software

Η διαδικασία που ακολουθείται από το πρόγραμμα για την επίλυση των δεδομένων που έχουν προέλθει από μετρήσεις με δέκτες GPS είναι η παρακάτω:

1. Δημιουργία εργασίας (project): Το project είναι στην ουσία ένας φάκελος, στον οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα προς επίλυση, τα ενδιάμεσα αρχεία που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία των δεδομένων, διάφορα reports και logs του προγράμματος κ.α. Στην περίπτωση που έχει δημιουργηθεί ήδη κάποιο project γίνεται η επιλογή "Open Project", διαφορετικά συντάσσεται ένα νέο επιλέγοντας "New Project".
2. Ορισμός των παραμέτρων εργασίας όπως: μονάδες μέτρησης, το σύστημα αναφοράς και οι ρυθμίσεις υπολογισμού των συντεταγμένων. Στο "Project Settings" → "Select Coordinate System Type" επιλέγεται το σύστημα αναφοράς, ενώ για το μοντέλο γεωειδούς δίνεται η επιλογή "Geoid Model". Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα επίσης δίνεται η δυνατότητα αναφοράς των

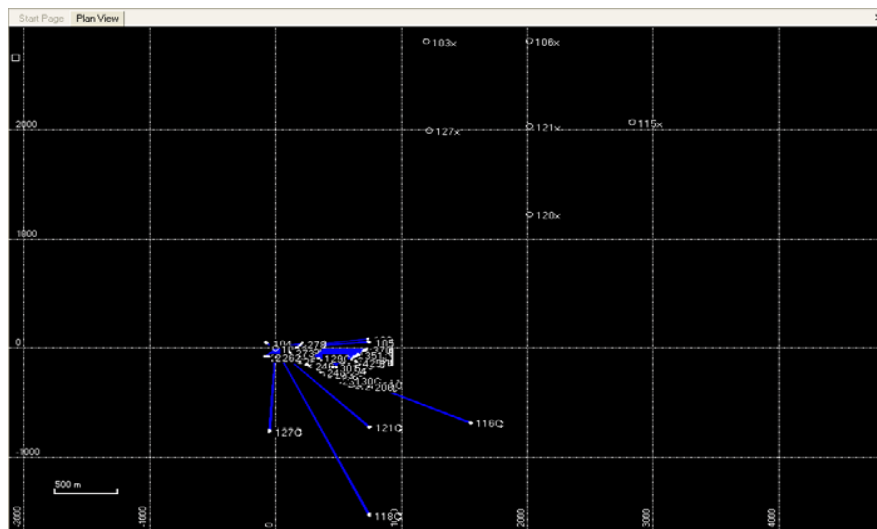
συντεταγμένων στο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ'87), καθώς και η χρήση ενός μοντέλου γεωειδούς που έχει σχεδιαστεί τα τελευταία χρόνια του EGM2008 και το οποίο παρέχει καλύτερη γνώση της αποχής του γεωειδούς συγκριτικά με τα προηγούμενα μοντέλα.



Σχήμα 5.2 : Παράμετροι μετασχηματισμού από το WGS84 στο ΕΓΣΑ87 [Trimble]
Figure 5.2 : Datum transformation from WGS84 to EGSA87 [Trimble]

- Εισαγωγή των δεδομένων από τους δέκτες στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Γίνεται είτε ενσύρματα, είτε με Bluetooth επιλέγοντας από το χειριστήριο τα αρχεία της εργασίας. Η επιλογή του αρχείου γίνεται με βάση την ονομασία του κάθε αρχείου δεδομένων, η οποία δίνεται με ένα 8-ψήφιο αριθμό που υποδηλώνει τα εξής: τα 4 πρώτα ψηφία αφορούν τα 4 τελευταία ψηφία του σειριακού αριθμού του δέκτη GPS που χρησιμοποιήθηκε, τα 3 επόμενα στην ημερολογιακή ημέρα του έτους και το τελευταίο στην αύξουσα αρίθμηση των αρχείων καταγραφής του δέκτη την συγκεκριμένη ημέρα.
- Μεταφορά αρχείου δεδομένων στο πρόγραμμα επεξεργασίας: Τα αρχεία φορτώνονται στο λογισμικό επίλυσης, είτε με το format αποθήκευσης της Trimble, είτε σε μορφή rinex που είναι αναγνώσιμα από όλα τα προγράμματα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων. Κατά την εισαγωγή του αρχείου ορίζεται το όνομα του σημείου, το ύψος κεραίας (αν δεν έχουν εισαχθεί στο πεδίο κατά τη μέτρηση), σημείο αναφοράς ύψους, το είδος κεραίας και δέκτη. Για όσα σημεία υπάρχει κοινός χρόνος μέτρησης, το TBC το αντιλαμβάνεται και δημιουργεί μία βάση ενώνοντας τα σημεία μεταξύ τους, ακόμα και αν ο χρόνος παρατήρησης είναι πολύ μικρός.

5. Ορισμός βάσης σταθμών: Επιλέγεται το σημείο με γνωστές συντεταγμένες και με την εντολή “Add Coordinate”, γίνεται η εισαγωγή των συντεταγμένων του στο πρόγραμμα και επιλέγεται “Survey Control” για το είδος του σημείου.
6. Επίλυση βάσεων: Γίνεται επιλογή των βάσεων στο σχεδιαστικό παράθυρο του προγράμματος και με την επιλογή “Survey->Process Baselines” επιλύονται.



Σχήμα 5.3 : Παρουσίαση επιλυμένων βάσεων [Trimble]
 Figure 5.3 : Successfully solved GPS baselines [Trimble]

Εάν κάποιες βάσεις αλλοιώσουν την ποιότητα της λύσης θα φανεί από το <<κλείσιμο>> των τριγώνων που το πρόγραμμα σχηματίζει.

Οι δείκτες που εξετάζονται για να κριθεί η ποιότητα της λύσης είναι οι ακόλουθοι:

α) Ratio: Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο, άνω του 5. Επειδή η επίλυση γίνεται με χρήση MET, το ratio είναι ο λόγος της μεταβλητότητας της επιλεγείσας ως βέλτιστης επίλυσης μετά από ένα αριθμό επαναλήψεων σε σχέση με τη μεταβλητότητα της αμέσως προηγούμενης. Όσο πλησιάζει τη μονάδα, τόσο πιο κοντινές είναι οι λύσεις, άρα τόσο μεγαλώνει η αβεβαιότητα για το αν η λύση είναι τελικά η ορθή ή όχι.

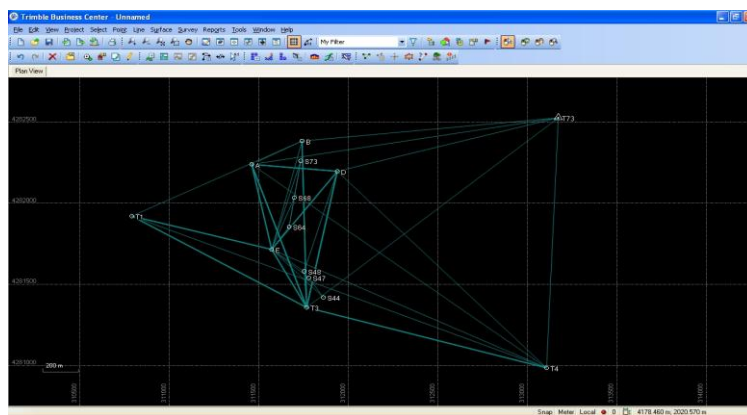
β) RMS (Root Mean Square): Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και δείχνει την ποιότητα της παρατηρήσεων αποστάσεων από τους δορυφόρους. Είναι ανεξάρτητο από τη γεωμετρία των δορυφόρων.

5.3 Είδη επιλύσεων

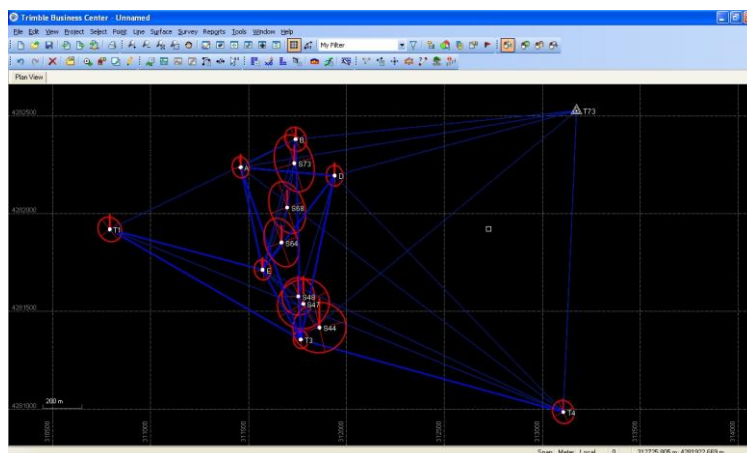
Για τον προσδιορισμό της θέσης των βάθρων που μετρήθηκαν στο φράγμα του Ευήνου με GPS (βάθρα δικτύου και τρία βάθρα στη στέψη και την κατολίσθηση), έγιναν δύο διαφορετικές επιλύσεις με σκοπό να ελεγχθούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν. Στην πρώτη κρατήθηκε σταθερό το τριγωνομετρικό T73 της Γ.Υ.Σ., το οποίο μετρήθηκε περίπου 6 ώρες την τέταρτη ημέρα των εργασιών υπαίθρου. Εισήχθησαν στο πρόγραμμα οι συντεταγμένες του βάθρου στη προβολή του ΕΓΣΑ'87 και το ορθομετρικό υψόμετρο, τα στοιχεία δόθηκαν από την Γ.Υ.Σ..

Τα στοιχεία του βάθρου είναι τα παρακάτω:

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΒΑΘΡΟΥ	x (m)	y (m)	H (m)	Hβάθρου (m)
T73	313174,217	4282526,992	728,271	1,09



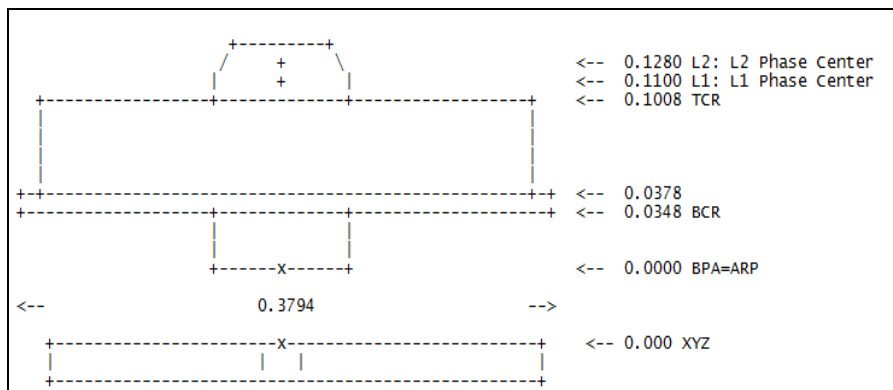
Σχήμα 5.5 : Επίλυση δικτύου GPS από το τριγωνομετρικό T73 [Trimble Business Center]
Figure 5.5 : Solving the network GPS from trigonometric point T73 [Trimble Business Center]



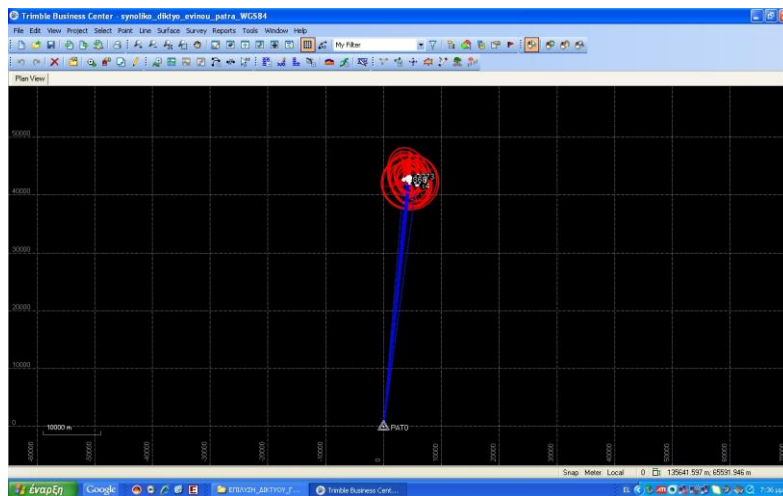
Σχήμα 5.6 : Ελλείψεις σφάλματος δικτύου GPS Ευήνου [Trimble Business Center]
Figure 5.6 : Error ellipses for Evinos GPS network [Trimble Business Center]

Η δεύτερη επίλυση αφορά την χρήση ως βασικού σημείου το μόνιμο σταθμό της EUREF στην Πάτρα. Τα στοιχεία που εισήχθησαν στην περίπτωση αυτή στο πρόγραμμα, είναι οι ελλειψοειδείς συντεταγμένες του σταθμού στο WGS84, το γεωμετρικό υψόμετρο και το ύψος της κεραίας. Το πρόγραμμα δεν αναγνώρισε το συγκεκριμένο είδος δέκτη και αντένας, για αυτό και εισήχθησαν ως άγνωστης ποιότητας (unknown external) στο πρόγραμμα. Ενώ έγινε η αναγωγή του ύψους της κεραίας στο κέντρο φάσης του οργάνου. Παρακάτω δίνονται τα στοιχεία του σταθμού της Πάτρας:

	φ	λ	h (m)
PATO	38° 17' 01",1613	21° 47' 12",3002	121,042
Δέκτης:	TPS GB-1000		
Κεραία:	ASH700936E		



Σχήμα 5.7: Γεωμετρία κεραίας ASH700936E [EUREF]
Figure 5.7 : Layout geometry of antenna ASH700936E [EUREF]



Σχήμα 5.8 : Επίλυση δικτύου GPS από το σταθμό της Πάτρας [Trimble Business Center]
Figure 5.8 : Solving the network GPS from station at Patra [Trimble Business Center]

Κατά την επεξεργασία των βάσεων και στις δύο επιλύσεις έγιναν αφαιρέσεις δορυφόρων GPS για τη βελτίωση της ποιότητας των λύσεων. Οι αφαιρέσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

1η Ημέρα Εργασιών Πεδίου 27/03/2011			
A/A ΔΕΚΤΗ	ΔΕΚΤΕΣ	ΣΗΜΕΙΑ	ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ GPS
1	Trimble 4700	E	SV 16, 20
2	R8	S64	SV 16
3	R8	S68	-
4	Trimble 4700	S73	-
2	R8	S47	-
4	Trimble 4700	S44	-

2η Ημέρα Εργασιών Πεδίου 28/03/2011			
A/A ΔΕΚΤΗ	ΔΕΚΤΕΣ	ΣΗΜΕΙΑ	ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ GPS
1	Trimble 4700	E	SV 15,30
2	Trimble 4700	T3	SV 24, 30, 27, 11
3	R8	Δ	SV 24
4	R8	A	SV 28
3	R8	B	-
4	R8	T1	SV 4, 23

3η Ημέρα Εργασιών Πεδίου 29/03/2011			
A/A ΔΕΚΤΗ	ΔΕΚΤΕΣ	ΣΗΜΕΙΑ	ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ GPS
1	Trimble 4700	T3	SV 30, 24
2	Trimble 4700	E	SV 17, 27, 32
3	R8	S48	-
4	R8	Δ	SV 32
3	R8	A	-
4	R8	T4	SV 2
3	R8	T1	-

4η Ημέρα Εργασιών Πεδίου 30/03/2011			
A/A ΔΕΚΤΗ	ΔΕΚΤΕΣ	ΣΗΜΕΙΑ	ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ GPS
1	Trimble 4700	T3	SV 30, 19
2	R8	T4	-
3	Trimble 4700	T73	SV 30
4	R8	Δ	SV 8
3	R8	A	SV 2
4	R8	B	SV 23

Η αφαίρεση δορυφόρων και οι διορθώσεις στα συγκεκριμένα διαστήματα που υπήρχε “θόρυβος” στις μετρήσεις, βελτίωσε σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των επιλυμένων βάσεων. Παρακάτω δίνεται η περιγραφή της λύσης των βάσεων και με τους δύο τρόπους επίλυσης (T73 και Πάτρα).

Επίλυση βάσεων από T73 (Γ.Υ.Σ.)						
A/A	Από σταθμό	Προς σταθμό	Μήκος βάσης (m)	Είδος λύσης	Ratio	RMS (m)
1	S68	S73	228,825	Fixed	10,6	0,006
2	S68	S64	180,990	Fixed	69,1	0,005
3	S68	E	343,226	Fixed	13,9	0,008
4	S73	S64	409,814	Fixed	13,7	0,005
5	S73	E	568,501	Fixed	14,6	0,006
6	S64	E	171,762	Fixed	58,2	0,007
7	E	S44	414,784	Fixed	12,3	0,006
8	E	S47	272,469	Fixed	20,3	0,006
9	S44	S47	146,392	Fixed	27,8	0,004
10	B	T73	1455,171	Fixed	11,3	0,009
11	B	A	315,848	Fixed	23,6	0,005
12	B	T3	1025,829	Fixed	7,6	0,009
13	Δ	T73	1296,305	Fixed	11,8	0,007
14	A	T73	1752,869	Fixed	22,6	0,006
15	T4	T73	1551,717	Fixed	14,8	0,007
16	T3	T73	1836,302	Fixed	36	0,009
17	A	Δ	481,56	Fixed	32	0,006
18	A	T3	935,55	Fixed	14,1	0,009
19	T3	Δ	858,344	Fixed	6,5	0,007
20	T3	T4	1391,588	Fixed	6,2	0,008
21	Δ	T4	1681,333	Fixed	11,9	0,009
22	A	Δ	481,553	Fixed	13,9	0,007
23	A	T3	935,55	Fixed	14,2	0,008
24	A	E	536,858	Fixed	11,8	0,009
25	Δ	T3	858,349	Fixed	19	0,009
26	Δ	E	606,335	Fixed	13,8	0,010
27	T3	E	408,632	Fixed	55,3	0,009
28	T3	B	1025,827	Fixed	3,1	0,010
29	T3	T1	1130,070	Fixed	3,7	0,010
30	E	B	688,635	Fixed	5	0,009
31	E	T1	808,835	Fixed	16,1	0,009
32	B	T1	1055,605	Fixed	13,3	0,008
33	Δ	A	481,559	Fixed	79,4	0,006
34	Δ	T3	858,356	Fixed	11,4	0,008
35	Δ	E	606,337	Fixed	7,3	0,010
36	Δ	S48	644,509	Fixed	16,6	0,010
37	A	T3	935,550	Fixed	6,5	0,006
38	A	E	536,852	Fixed	6,1	0,007
39	A	T4	2069,468	Fixed	17,5	0,007
40	T3	E	408,638	Fixed	3	0,008
41	T3	S48	231,182	Fixed	21	0,007
42	T3	T4	1391,591	Fixed	4,1	0,008
43	T3	T1	1130,080	Fixed	26,2	0,008
44	E	S48	228,136	Fixed	54,9	0,008
45	E	T4	1699,284	Fixed	4,1	0,010
46	E	T1	808,839	Fixed	55,7	0,007
47	T4	T1	2498,233	Fixed	53,3	0,009

Επίλυση βάσεων από το σταθμό της Πάτρας

A/A	Από σταθμό	Προς σταθμό	Μήκος βάσης (m)	Είδος λύσης	Ratio	RMS (m)
1	S68	S73	228,825	Fixed	10,6	0,006
2	S68	S64	180,990	Fixed	69,1	0,005
3	S68	E	343,226	Fixed	13,9	0,008
4	S68	PATO	43060,666	Fixed	4,1	0,016
5	S73	S64	409,814	Fixed	13,7	0,005
6	S73	E	568,501	Fixed	14,6	0,006
7	S73	PATO	43289,330	Fixed	20	0,012
8	S64	E	171,762	Fixed	58,2	0,007
9	S64	PATO	42879,798	Fixed	24,2	0,013
10	E	S44	414,784	Fixed	12,3	0,006
11	E	S47	272,469	Fixed	20,3	0,006
12	E	PATO	42729,380	Fixed	5,9	0,015
13	S44	PATO	42473,152	Fixed	53,9	0,009
14	S47	PATO	42582,398	Fixed	29,8	0,009
15	S44	S47	146,392	Fixed	27,8	0,004
16	A	B	315,848	Fixed	23,6	0,005
17	A	Δ	481,560	Fixed	32	0,006
18	A	T3	935,550	Fixed	14,1	0,009
19	A	PATO	43235,826	Fixed	44,7	0,010
20	B	T3	1025,829	Fixed	7,6	0,009
21	B	PATO	43412,628	Fixed	4,3	0,016
22	Δ	T4	1681,333	Fixed	12	0,009
23	Δ	T3	858,344	Fixed	6,5	0,007
24	Δ	PATO	43253,531	Fixed	34,9	0,012
25	T3	T4	1391,588	Fixed	6,2	0,008
26	T3	PATO	42401,228	Fixed	8,6	0,015
27	T4	PATO	42229,535	Fixed	2,7	0,016
28	A	Δ	481,553	Fixed	13,9	0,007
29	A	T3	935,550	Fixed	14,2	0,008
30	A	E	536,858	Fixed	11,8	0,009
31	A	PATO	43235,390	Fixed	30,6	0,012
32	Δ	T3	858,349	Fixed	19	0,009
33	Δ	E	606,335	Fixed	13,8	0,010
34	Δ	PATO	43253,541	Fixed	18,1	0,014
35	T3	E	408,632	Fixed	55,3	0,009
36	T3	B	1025,827	Fixed	3,1	0,010
37	T3	T1	1130,070	Fixed	3,7	0,010
38	T3	PATO	42401,225	Fixed	21,3	0,014
39	E	B	688,635	Fixed	5	0,009
40	E	T1	808,835	Fixed	16,1	0,009
41	E	PATO	42729,370	Fixed	10,8	0,017
42	B	PATO	43412,629	Fixed	17	0,014
43	T1	PATO	42844,609	Fixed	52,4	0,011
44	B	T1	1055,605	Fixed	13,3	0,008
45	Δ	A	481,559	Fixed	79,4	0,006
46	Δ	T3	858,356	Fixed	11,4	0,008
47	Δ	E	606,337	Fixed	7,3	0,010
48	Δ	S48	644,509	Fixed	16,6	0,010
49	Δ	PATO	43253,529	Fixed	15,6	0,016
50	A	T3	935,550	Fixed	6,5	0,006
51	A	E	536,852	Fixed	6,1	0,007
52	A	T4	2069,468	Fixed	17,5	0,007
53	A	PATO	43235,384	Fixed	32,3	0,013

54	T3	E	408,638	Fixed	2,9	0,008
55	T3	S48	231,182	Fixed	21	0,007
56	T3	T4	1391,591	Fixed	4,1	0,008
57	T3	T1	1130,080	Fixed	26,2	0,008
58	T3	PATO	42401,223	Fixed	19,4	0,015
59	E	S48	228,136	Fixed	54,9	0,008
60	E	T4	1699,284	Fixed	4,1	0,010
61	E	T1	808,839	Fixed	55,7	0,007
62	E	PATO	42729,369	Fixed	34,2	0,017
63	S48	PATO	42617,533	Fixed	28,1	0,013
64	T4	PATO	42229,530	Fixed	8,8	0,013
65	T1	PATO	42844,616	Fixed	27,5	0,011
66	T4	T1	2498,233	Fixed	53,8	0,008

Από την μελέτη των βάσεων προκύπτει ότι:

- Έχουν επιλυθεί οι ασάφειες, οι λύσεις είναι fixed (ακέραιες διαφορές φάσης).
- Ο δείκτης αξιοπιστίας της λύσης Ratio είναι > 5 στο σύνολο σχεδόν των βάσεων.
- Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) κυμαίνεται στα 0,010 m.
- Οι βάσεις από το σταθμό της Πάτρας επιλύθηκαν, αν και το μήκος τους είναι αρκετά μεγαλύτερο συγκριτικά με τις υπόλοιπες βάσεις της περιοχής του φράγματος.
- Η χρήση δεκτών GPS στις εργασίες πεδίου που λειτουργούν στη συχνότητα L1/L2 δίνει τη δυνατότητα επίλυσης μεγάλων σε μήκος βάσεων.

5.4 Αποτελέσματα επιλύσεων-Συγκρίσεις

Οι παρακάτω ελλειψοειδείς γεωδαιτικές συντεταγμένες στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS'84 μαζί με το γεωμετρικό υψόμετρο αποτελούν τα αποτελέσματα της συνόρθωσης για τα βάθρα του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος του Ευήνου, των τριών βάθρων ελέγχου της στέψης και των τριών βάθρων ελέγχου της “Κατολίσθησης 1993”. Τα αποτελέσματα προέκυψαν βάση της επίλυσης από το τριγωνομετρικό T73 της Γ.Υ.Σ.:

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Meter)	Height Error (Meter)	Fixed
A	N38°40'16.65717"	E21°50'04.16650"	544.625	0.014	
B	N38°40'21.52504"	E21°50'15.62519"	566.565	0.013	
D	N38°40'15.64538"	E21°50'24.04066"	552.090	0.014	
E	N38°39'59.75331"	E21°50'09.30814"	576.600	0.013	
S44	N38°39'50.39387"	E21°50'21.60250"	557.100	0.032	
S47	N38°39'54.25576"	E21°50'18.08333"	554.320	0.030	
S48	N38°39'55.49547"	E21°50'16.96523"	553.255	0.021	
S64	N38°40'04.36044"	E21°50'13.15174"	550.221	0.018	
S68	N38°40'10.17352"	E21°50'14.18259"	550.716	0.019	
S73	N38°40'17.52581"	E21°50'15.45881"	550.358	0.020	
T1	N38°40'05.86213"	E21°49'36.83203"	529.371	0.016	
T3	N38°39'48.34758"	E21°50'17.71390"	620.798	0.013	
T4	N38°39'37.34964"	E21°51'13.51537"	588.080	0.014	
T73	N38°40'27.34564"	E21°51'14.81819"	758.993	?	LLh

Baseline Processing Report

Acceptance Summary

Processed	Passed	Flag	Fail
47	47	0	0

Loop Closure Results

Summary

Legs in loop: 3
 Number of Loops: 146
 Number Passed: 146
 Number Failed: 0

	Length (Meter)	Δ Horiz (Meter)	Δ Vert (Meter)	PPM
Pass/Fail Criteria		0.050	0.050	
Best		0.000	0.000	0.922
Worst		0.025	0.050	19.316
Average Loop	2695.834	0.010	0.014	7.041
Standard Error	1138.450	0.025	0.005	3.906

Precision Confidence Level: 95%

Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (Meter)	Semi-minor axis (Meter)	Azimuth
A	0.005	0.004	170°
B	0.007	0.005	150°
D	0.005	0.004	177°
E	0.005	0.004	169°
S44	0.013	0.012	77°
S47	0.013	0.012	63°
S48	0.009	0.008	178°
S64	0.013	0.008	160°
S68	0.013	0.009	161°
S73	0.015	0.009	163°
T1	0.006	0.006	142°
T3	0.005	0.004	170°
T4	0.006	0.005	155°

Τα αποτελέσματα της συνόρθωσης των σημείων του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος και των σημείων ελέγχου της στέψης και της κατολίθησης βάση της επίλυσης από το σταθμό της Πάτρας:

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Meter)	Height Error (Meter)	Fixed
A	N38°40'16.65717"	E21°50'04.16649"	544.625	0.018	
B	N38°40'21.52503"	E21°50'15.62520"	566.564	0.019	
D	N38°40'15.64538"	E21°50'24.04066"	552.091	0.018	
E	N38°39'59.75331"	E21°50'09.30813"	576.599	0.018	
PAT0	N38°17'01.16130"	E21°47'12.30020"	121.042	?	LLh
S44	N38°39'50.39388"	E21°50'21.60249"	557.100	0.030	
S47	N38°39'54.25579"	E21°50'18.08331"	554.318	0.027	
S48	N38°39'55.49548"	E21°50'16.96523"	553.255	0.022	
S64	N38°40'04.36048"	E21°50'13.15172"	550.221	0.019	
S68	N38°40'10.17355"	E21°50'14.18258"	550.716	0.020	
S73	N38°40'17.52585"	E21°50'15.45880"	550.357	0.020	
T1	N38°40'05.86213"	E21°49'36.83203"	529.371	0.019	
T3	N38°39'48.34758"	E21°50'17.71390"	620.798	0.018	
T4	N38°39'37.34964"	E21°51'13.51537"	588.080	0.019	
T73	N38°40'27.34564"	E21°51'14.81819"	758.993	0.020	

Baseline Processing Report

Acceptance Summary

Processed	Passed	Flag	Fail
66	66	0	0

Loop Closure Results

Summary

Legs in loop: 3
 Number of Loops: 304
 Number Passed: 304
 Number Failed: 0

	Length (Meter)	Δ Horiz (Meter)	Δ Vert (Meter)	PPM
Pass/Fail Criteria		0.050	0.050	
Best		0.001	0.000	0.025
Worst		0.025	-0.048	19.146
Average Loop	46263.488	0.010	0.016	3.518
Standard Error	41890.630	0.028	0.005	4.363

Precision Confidence Level: 95%

Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (Meter)	Semi-minor axis (Meter)	Azimuth
A	0.006	0.005	164°
B	0.007	0.006	153°
D	0.006	0.005	168°
E	0.006	0.005	164°
S44	0.012	0.011	80°
S47	0.011	0.011	61°
S48	0.009	0.008	174°
S64	0.011	0.007	159°
S68	0.012	0.008	160°
S73	0.012	0.008	162°
T1	0.007	0.006	148°
T3	0.006	0.005	165°
T4	0.007	0.006	159°
T73	0.007	0.005	167°

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο επιλύσεων δίνει τα εξής συμπεράσματα:

- Οι ελλειψοειδείς γεωδαιτικές συντεταγμένες στο WGS'84 μαζί με το γεωμετρικό υψόμετρο που προέκυψαν από τη συνόρθωση του δικτύου GPS του Ευήνου, για κάθε σημείο ελέγχου είναι κοινές στις δύο επιλύσεις.
- Υπολογισμός ακεραίων λύσεων για το σύνολο των δορυφορικών βάσεων που σχηματίστηκαν κατά την εκτέλεση των δύο επιλύσεων.
- Κλείσιμο όλων των τριγώνων (Loop Closure) που σχηματίζονται από το πρόγραμμα επεξεργασίας για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του δικτύου.
- Η αβεβαιότητα της θέσης των βάθρων της στέψης και της “Κατολίσθησης 1993” είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με τα βάθρα του τριγωνομετρικού δικτύου. Ο λόγος είναι ότι τα συγκεκριμένα βάθρα μετρήθηκαν μία ημέρα για μικρό χρονικό διάστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΕΥΗΝΟΥ ΚΑΙ “ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ 1993”

6.1 Σύνοψη διαθέσιμων δεδομένων/στοιχείων

Για τα βάθρα του τριγωνομετρικού δικτύου του Φράγματος, τα διαθέσιμα στοιχεία είναι οι συντεταγμένες από παλαιότερες μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ (Κεφάλαιο 4: Πίνακας 4.1, 4.2), οι οποίες αναφέρονται στην περίοδο 1997 και είναι συντεταγμένες στην προβολή HATT. Επειδή τα σημεία αυτά θεωρούνται από την ΕΥΔΑΠ ως σταθερά, καθώς βρίσκονται σε βραχώδες υπόβαθρο στις γύρω κορυφές του φράγματος, δεν προσδιορίστηκε μετέπειτα η θέση τους από τα τοπογραφικά συνεργεία που εκτελούσαν κατά περιόδους μετρήσεις ελέγχου μετακινήσεων για τη στέψη και την “Κατολίσθηση 1993”. Εκτός των συντεταγμένων HATT, διαθέσιμα στοιχεία για το τριγωνομετρικό δίκτυο του Φράγματος είναι και οι ελλειψοειδείς γεωδαιτικές συντεταγμένες στο WGS’84 που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων GPS που έγιναν το 2011 στο Φράγμα (Κεφάλαιο 5, Ενότητα 5.4: Αποτελέσματα επιλύσεων-Συγκρίσεις).

Εν αντιθέσει με τα βάθρα του τριγωνομετρικού δικτύου, τα βάθρα της “Κατολίσθησης 1993” ελέγχονται κάθε χρόνο μετά το 2001 με συστηματικές συμβατικές μετρήσεις. Ο έλεγχος γίνεται από τα σημεία του δικτύου T3 και E (στο T3 στήνεται το όργανο και σκοπεύεται το E). Στα πρώτα έτη μέχρι το 2004 οι μετρήσεις ήταν συνεχείς κατά τη διάρκεια του χρόνου, μετά ελαττώθηκαν στις 2-3 μετρήσεις ανά έτος. Τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία επίγειων μετρήσεων π αφορούν την χρονική περίοδο 2008-2009. Ο προσδιορισμός της θέσης των βάθρων γίνεται στην προβολή HATT και τα διαθέσιμα στοιχεία είναι οι συντεταγμένες των σημείων και όχι το πρωτογενές υλικό (γωνίες και αποστάσεις), το ίδιο ισχύει και με τα βάθρα του τριγωνομετρικού δικτύου του Φράγματος. Τέλος, για την ανάλυση της κινηματικής εξέλιξης της “Κατολίσθησης 1993”, διαθέσιμα επιπλέον δεδομένα είναι οι ελλειψοειδείς συντεταγμένες στο WGS’84 για τα βάθρα “S44”, “S47” και “S48”,

οι οποίες προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων GPS που έγιναν το 2011 στην κατολίσθηση (Κεφάλαιο 5, Ενότητα 5.4: Αποτελέσματα επιλύσεων-Συγκρίσεις).

6.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

Η ανάλυση μικρομετακινήσεων για το δορυφορικό δίκτυο του Φράγματος και της “Κατολίσθησης 1993” στηρίζεται σε δύο βασικές μεθοδολογίες:

1. Υπολογισμός σχετικής θέσης δύο συστημάτων αναφοράς. Εφαρμόζεται στα σημεία ελέγχου του τριγωνομετρικού δικτύου του Φράγματος και των σημείων ελέγχου “S44”, “S47” και “S48” που μετρήθηκαν το 2011 με GPS. Με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι δυνατή η σύνδεση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων GPS με τις συντεταγμένες HATT των συμβατικών μετρήσεων. Η διαδικασία υπολογισμού έγινε με το πρόγραμμα DIFF. Το πρόγραμμα δέχεται ως δεδομένα εισόδου συντεταγμένες όχι στην προβολή, αλλά στο ελλειψοειδές αναφοράς, είτε γεωγραφικές με το γεωμετρικό υψόμετρο (ϕ , λ , h), είτε τρισδιάστατες καρτεσιανές X , Y , Z . Στην περίπτωση των προβολικών συντεταγμένων HATT, έγινε η αναγωγή τους στο ελλειψοειδές αναφοράς BESSEL. Οι μετρήσεις GPS είναι εκφρασμένες με τρισδιάστατες συντεταγμένες στο ελλειψοειδές GRS80, οπότε εισάγονται απευθείας στο πρόγραμμα. Το πρόγραμμα στο τέλος δίνει τις διορθωμένες από στροφή και κλίμακα μεταθέσεις των σημείων. Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία η ανάλυση αφορά την οριζοντιογραφική μετακίνηση των σημείων ελέγχου, καθώς από τις επίγειες μετρήσεις δεν υπάρχει γνώση του γεωμετρικού υψομέτρου.
2. Υπολογισμός διαφορών από τις συμβατικές μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ για τα βάθρα της “Κατολίσθησης 1993”. Οι χρονοσειρές αποτελούνται από τις συντεταγμένες στην προβολή HATT των σημείων και επιπλέον το ορθομετρικό τους υψόμετρο. Οι διαφορές προκύπτουν με την αφαίρεση των μετρήσεων από την αρχική ή τελική μέτρηση. Με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία γίνεται ανάλυση της κινηματικής συμπεριφοράς των βάρων της “Κατολίσθησης 1993” και στις τρεις διαστάσεις για την περίοδο 2001-2009.

Με την ολοκλήρωση των δύο μεθοδολογιών ανάλυσης ακολουθεί ο σχεδιασμός γραφημάτων χρονοσειρών. Τα γραφήματα βοηθούν αρχικά στην οπτική παρατήρηση της μετακίνησης των βάθρων, στην διαπίστωση του εύρους της μετακίνησης και στην μελέτη της κίνησης στο πέρασμα του χρόνου. Για την καλύτερη παρουσίαση των γραφημάτων οι διαφορές δίνονται σε mm και ο χρόνος σε δεκαδική μορφή (π.χ στον άξονα του χρόνου η τιμή 1.2, το 1 δηλώνει το έτος δηλαδή 2001 και το 0.2 την ημερομηνία δηλαδή στις 15/03). Στα διαγράμματα που αφορούν την οριζοντιογραφία έχουν προστεθεί 100 mm στις διαφορές, για να είναι πιο εύκολη η ανάγνωση τους.

Σε κάθε γράφημα δίνεται η εξίσωση της ευθείας παρεμβολής και το τετράγωνο του λόγου συσχέτισης R^2 . Η κλίση της ευθείας $Y = aX + \beta$, δηλαδή το a , περιγράφει την ταχύτητα μετακίνησης, που αποτελεί βασικό στοιχείο για την πρόβλεψη της μετακίνησης των σημείων στο μέλλον. Το R^2 περιγράφει την γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών X και Y . Όταν το $R^2 = 1$ υπάρχει τέλεια γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών, ενώ όταν το $R^2 = 0$ οι μεταβλητές είναι γραμμικά ασυσχέτιστες.

Διαδικασία υπολογισμού σχετικής θέσης δύο συστημάτων αναφοράς

1. Μέση μετάθεση μεταξύ των δύο ομάδων συντεταγμένων ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$).
2. Τυπικές αποκλίσεις των $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$.
3. Διαφορές συνταγμένων, υπολογίζοντας ή όχι και την μέση μετάθεση ($\Delta\Delta X, \Delta\Delta Y, \Delta\Delta Z$).
4. Στροφή των $\Delta\Delta X, \Delta\Delta Y, \Delta\Delta Z$ σε τοποκεντρικές συντεταγμένες ($\Delta\Delta N, \Delta\Delta E, \Delta\Delta U$). Η στροφή γίνεται μέσω των τύπων:

$$\Delta\Delta N = -\sin\varphi \cos\lambda \Delta\Delta X - \sin\varphi \sin\lambda \Delta\Delta Y + \cos\varphi \Delta\Delta Z$$

$$\Delta\Delta E = -\sin\lambda \Delta\Delta X + \cos\lambda \Delta\Delta Y$$

$$\Delta\Delta U = \cos\varphi \cos\lambda \Delta\Delta X + \cos\varphi \sin\lambda \Delta\Delta Y + \sin\varphi \Delta\Delta Z$$

όπου φ, λ οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου για το οποίο γίνεται η στροφή.

5. Υπολογισμός της μέσης μετάθεσης ($\Delta\Delta N, \Delta\Delta E, \Delta\Delta U$) και των τυπικών αποκλίσεων των $\Delta\Delta N, \Delta\Delta E, \Delta\Delta U$.
6. Υπολογισμός στροφής και κλίμακας.

Προσδιορισμός του κέντρου του δικτύου:

$$n_{cen} = \sum n_i / k$$

$$e_{cen} = \sum e_i / k$$

Προσδιορισμός των ποσοτήτων:

$$S_{e2} = \sum (e_i - e_{cen})^2$$

$$S_{n2} = \sum (n_i - n_{cen})^2$$

$$S_{ede} = \sum (e_i - e_{cen}) de_i$$

$$S_{ndn} = \sum (n_i - n_{cen}) dn_i$$

$$S_{edn} = \sum (e_i - e_{cen}) dn_i$$

$$S_{nde} = \sum (n_i - n_{cen}) de_i$$

Υπολογισμός στροφής και κλίμακας:

$$scale = (S_{ede} + S_{ndn}) / (S_{e2} + S_{n2})$$

$$rotation = (S_{nde} - S_{edn}) / (S_{e2} + S_{n2})$$

7. Διορθώσεις από στροφή και κλίμακα:

$$\delta\Delta N = scale (n_i - n_{cen}) - rotation (e_i - e_{cen})$$

$$\delta\Delta E = rotation (n_i - n_{cen}) + scale (e_i - e_{cen})$$

8. Τελικές μεταθέσεις ($\Delta\Delta\Delta N$, $\Delta\Delta\Delta E$).

$$\Delta\Delta\Delta N = \Delta\Delta N - \delta\Delta N$$

$$\Delta\Delta\Delta E = \Delta\Delta E - \delta\Delta E$$

6.3 Ανάλυση δορυφορικού δικτύου Φράγματος Ευήνου

Η διαδικασία ανάλυσης μικρομετακινήσεων για το γεωδαιτικό δίκτυο του φράγματος παρουσιάζεται παρακάτω:

DIONYSOS SATELLITE OBSERVATORY

N.T.U. Athens

PROGRAM DIFF

06-23-2011 13:02:53

From 2011 to 1997

	X (m)	Y (m)	Z (m)
A	,4629031.007	1854526.383	3964149.907
A	,4628904.550	1854662.774	3964233.200
B	,4628856.754	1854755.065	3964280.858
B	,4628730.339	1854891.401	3964364.112
D	,4628875.745	1854981.930	3964130.225
D	,4628749.334	1855118.194	3964213.504
E	,4629310.327	1854772.297	3963762.784
E	,4629183.835	1854908.594	3963846.171
T1	,4629458.887	1853985.758	3963880.349
T1	,4629332.332	1854122.239	3963963.752
T3	,4629470.773	1855055.626	3963515.682
T3	,4629344.257	1855191.826	3963599.142
T4	,4629141.567	1856377.599	3963230.429
T4	,4629015.142	1856513.510	3963313.869

Diffs between two sets

	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
A	, 126.457	-136.391	-83.293
B	, 126.415	-136.336	-83.255
D	, 126.411	-136.264	-83.279
E	, 126.493	-136.297	-83.387
T1	, 126.556	-136.481	-83.403

T3 , 126.516 -136.200 -83.460

T4 , 126.426 -135.912 -83.440

X translation: 126.468 ρ 0.056

Y translation: -136.269 ρ 0.182

Z translation: -83.360 ρ 0.083

Remaining diffs between two sets after a 3D translation

		ΔΔX (m)	ΔΔY (m)	ΔΔZ (m)
A	,	-0.011	-0.122	0.066
B	,	-0.052	-0.067	0.105
D	,	-0.057	0.005	0.080
E	,	0.025	-0.028	-0.027
T1	,	0.088	-0.213	-0.044
T3	,	0.049	0.069	-0.101
T4	,	-0.042	0.357	-0.080

Remaining diffs converted to North-East-Up

		ΔΔN (m)	ΔΔE (m)	ΔΔU (m)
A	,	0.086	-0.109	-0.002
B	,	0.128	-0.043	0.008
D	,	0.095	0.026	0.011
E	,	-0.029	-0.036	-0.007
T1	,	-0.036	-0.230	-0.025
T3	,	-0.123	0.046	-0.008
T4	,	-0.121	0.347	0.023

North translation: 0.000 ρ 0.104

East translation: 0.000 ρ 0.178

Up translation: 0.000 ρ 0.016

Center at E= 572915.148 - N= 4280231.241

Coefficients: scale = 233.571 ppm, rotate = -49.23180 ppm

Computed diffs based on coefficients scale, rotate

		δΔN (m)	δΔE (m)
A	,	0.078	-0.095
B	,	0.127	-0.038
D	,	0.095	0.019
E	,	-0.038	-0.039
T1	,	-0.034	-0.232
T3	,	-0.109	0.026
T4	,	-0.119	0.358



ΤΕΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Remaining diffs at North-East after scalling and rotating (horizontal only)

		ΔΔN (m)	ΔΔE (m)
A	,	0.009	-0.015
B	,	0.001	-0.005
D	,	0.000	0.007
E	,	0.008	0.003
T1	,	-0.002	0.001
T3	,	-0.014	0.019
T4	,	-0.002	-0.011

North translation: 0.000 ρ 0.008 (τυπική απόκλιση)

East translation: 0.000 ρ 0.012 (τυπική απόκλιση)

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της επίλυσης με το DIFF για το βασικό γεωδαιτικό δίκτυο του Ευήνου προκύπτει ότι:

- Εντοπίζονται μικρότερες διαφορές θέσης στα πέντε από τα επτά βάθρα κατά την διεύθυνση Βορράς-Νότος.
- Το σημείο T3 εμφανίζει τις μεγαλύτερες διαφορές, όμως δεν προκύπτει συμπέρασμα για μετακίνηση, καθώς σε διάστημα 14 ετών οι διαφορές στη θέση είναι 14 mm κατά την διεύθυνση Βορράς-Νότος και 19 mm κατά την διεύθυνση Ανατολής-Δύσης. Ο λόγος είναι ότι ανά έτος προκύπτει διαφορά 1 mm και 1.4 mm αντίστοιχα.
- Η ακρίβεια των μετρήσεων και των επιλύσεων δικαιολογεί τέτοιου μεγέθους διαφορές, οπότε για τα σημεία του δικτύου δεν προκύπτουν ενδείξεις για μετακίνηση.

6.4 Ανάλυση στοιχείων “Κατολίσθησης 1993”

6.4.1 Σημεία ελέγχου “S44”, “S47”, “S48”

Για τα τρία σημεία της “Κατολίσθησης 1993” που μετρήθηκαν με GPS, μελετήθηκε με το DIFF η οριζοντιογραφική κινηματική τους εξέλιξη. Οι τελικές μεταθέσεις είναι εκφρασμένες από το 2011 προς τις παρακάτω ημερομηνίες μέτρησης:

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΒΑΘΡΟ: S44		ΒΑΘΡΟ: S47		ΒΑΘΡΟ: S48	
	ΔΔΔΝ (m)	ΔΔΔΕ (m)	ΔΔΔΝ (m)	ΔΔΔΕ (m)	ΔΔΔΝ (m)	ΔΔΔΕ (m)
05/08/2001	-0,002	0	0,007	-0,001	-0,006	0,001
05/09/2001	-0,001	-0,002	0,005	0,009	-0,004	-0,007
15/09/2001						
25/09/2001						
05/10/2001	-0,002	0	0,007	0,002	-0,005	-0,001
15/10/2001	-0,002	0	0,008	0	-0,006	0
25/10/2001	-0,002	0	0,008	0	-0,006	0
05/11/2001	-0,002	-0,001	0,006	0,004	-0,005	-0,003
15/11/2001	-0,002	0	0,008	0,001	-0,006	-0,001
25/11/2001	-0,002	0,001	0,008	-0,003	-0,006	0,003
05/12/2001	-0,002	0	0,009	0	-0,007	0
15/12/2001	-0,002	0	0,012	0	-0,009	0
25/12/2001	-0,002	0	0,009	0	-0,007	0
05/01/2002	-0,001	0	0,006	-0,001	-0,004	0,001
15/01/2002	-0,001	0	0,006	-0,001	-0,004	0
25/01/2002	-0,002	0	0,008	-0,001	-0,006	0
05/02/2002	-0,002	0,001	0,008	-0,005	-0,006	0,004
15/02/2002	-0,002	0,002	0,009	-0,008	-0,006	0,006
25/02/2002	-0,002	0,001	0,007	-0,004	-0,005	0,003

Κεφάλαιο 6: Ανάλυση μικρομετακινήσεων δορυφορικού δικτύου φράγματος Ευήνου και
 “Κατολίσθησης 1993”

05/03/2002	-0,002	0,002	0,008	-0,007	-0,006	0,005
15/03/2002	-0,001	0,002	0,005	-0,008	-0,004	0,006
25/03/2002	-0,001	0,002	0,005	-0,007	-0,004	0,005
05/04/2002	-0,001	0	0,006	-0,001	-0,004	0,001
15/04/2002	-0,001	0	0,006	-0,002	-0,004	0,001
25/04/2002	-0,001	0	0,006	-0,002	-0,005	0,001
05/05/2002	-0,001	0	0,006	-0,001	-0,004	0,001
15/05/2002	-0,001	0	0,006	-0,002	-0,004	0,001
25/05/2002	-0,001	0	0,006	-0,002	-0,005	0,001
05/06/2002	-0,001	0	0,004	-0,001	-0,003	0,001
15/06/2002	-0,001	0	0,003	0	-0,003	0
25/06/2002	-0,001	0	0,003	-0,001	-0,002	0,001
05/07/2002	-0,001	0	0,004	-0,001	-0,003	0,001
15/07/2002	-0,001	0	0,003	0	-0,003	0
25/07/2002	-0,001	0	0,003	-0,001	-0,002	0,001
05/08/2002	-0,001	0,002	0,005	-0,008	-0,004	0,006
15/08/2002	-0,001	0,002	0,005	-0,007	-0,004	0,006
25/08/2002	-0,001	0,001	0,004	-0,006	-0,003	0,004
05/09/2002	-0,001	0,002	0,006	-0,007	-0,005	0,005
15/09/2002	-0,001	0,001	0,006	-0,006	-0,004	0,004
25/09/2002	-0,001	0,001	0,005	-0,005	-0,004	0,003
05/10/2002	-0,001	0,002	0,005	-0,007	-0,004	0,005
15/10/2002	-0,002	0,002	0,007	-0,008	-0,005	0,006
25/10/2002	-0,001	0,001	0,005	-0,005	-0,004	0,004
05/11/2002	-0,001	0,001	0,004	-0,006	-0,003	0,004
15/11/2002	-0,001	0,001	0,003	-0,005	-0,002	0,004
25/11/2002	-0,001	0,001	0,003	-0,004	-0,002	0,003
15/03/2003						
15/04/2003						
15/06/2003	0,001	0,002	-0,006	-0,006	0,004	0,005
15/07/2003	0,002	0,002	-0,006	-0,008	0,005	0,006
25/08/2003	0,003	0,001	-0,01	-0,006	0,008	0,004
05/09/2003	0,002	0,001	-0,009	-0,006	0,007	0,004
25/09/2003	0,002	0,001	-0,007	-0,006	0,005	0,005
15/10/2003	0,002	0,001	-0,007	-0,006	0,005	0,005
15/11/2003	0,001	0,002	-0,004	-0,007	0,003	0,005
15/12/2003	0,002	0,001	-0,008	-0,006	0,006	0,005
15/01/2004	0,002	0,002	-0,008	-0,007	0,006	0,005
15/02/2004	0,002	0,002	-0,008	-0,007	0,006	0,005
15/03/2004	0,001	0,002	-0,005	-0,009	0,004	0,007
15/04/2004	0,001	0,001	-0,004	-0,006	0,003	0,004
15/05/2004	0,001	0,001	-0,004	-0,005	0,003	0,003
15/06/2004	0,002	0,001	-0,008	-0,005	0,006	0,003
15/07/2004	0,002	0,002	-0,008	-0,007	0,006	0,006
15/08/2004	0,002	0,001	-0,007	-0,005	0,005	0,004
15/09/2004	0,001	0,002	-0,005	-0,007	0,004	0,006
15/10/2004	0,001	0,002	-0,004	-0,007	0,003	0,006
15/11/2004	0,001	0,001	-0,005	-0,004	0,004	0,003
15/12/2004	0,001	0,001	-0,005	-0,006	0,004	0,005
15/01/2005	0,001	0,001	-0,004	-0,005	0,003	0,004
15/05/2005	0,001	0,001	-0,006	-0,003	0,005	0,002
15/10/2005	0,001	0	-0,005	0,001	0,004	-0,001
15/05/2006	0,001	0,001	-0,004	-0,002	0,003	0,002
10/06/2006						
01/11/2007	0,002	0,002	-0,009	-0,007	0,007	0,005
01/05/2008	0,002	0,002	-0,008	-0,008	0,006	0,006
01/11/2008	0,002	0,001	-0,01	-0,004	0,007	0,003
01/11/2009						

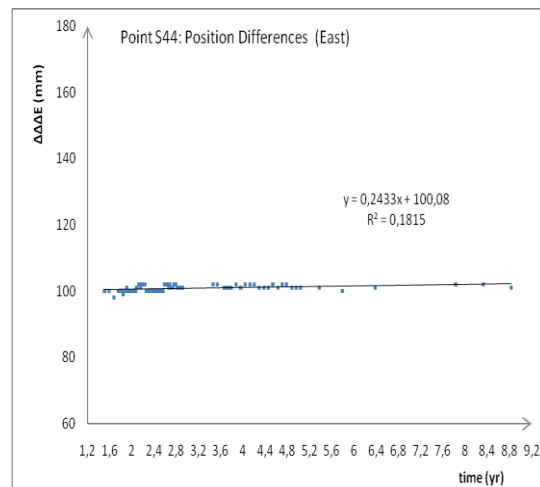
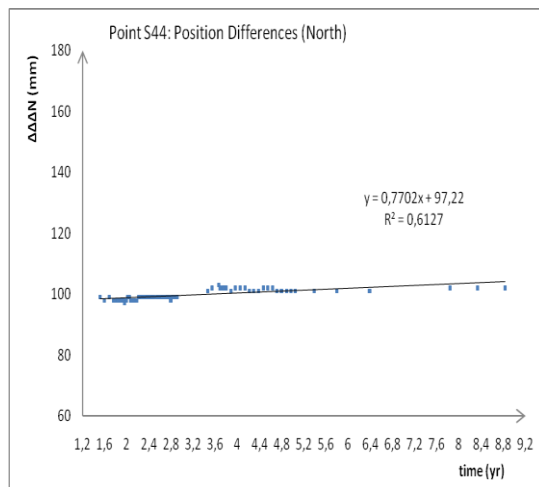
Πίνακας 6.1 : Διαφορές θέσης των σημείων ελέγχου “S44”, “S47”, “S48” [DIFF]
 Table 6.1 : Position differences for control points “S44”, “S47”, “S48” [DIFF]

Η μελέτη των αποτελεσμάτων της ανάλυσης με το DIFF των τριών επιλεγμένων σημείων της “Κατολίσθησης 1993” έδωσε τα εξής συμπεράσματα:

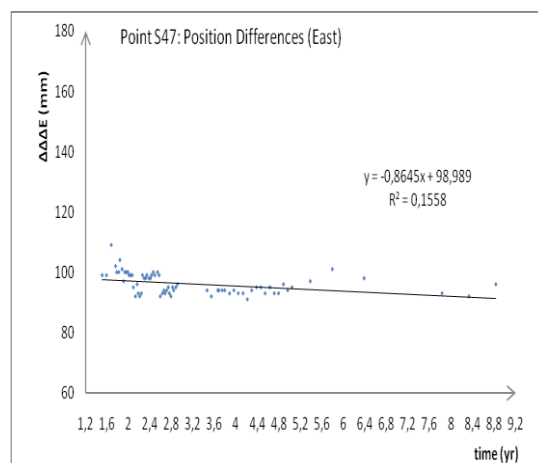
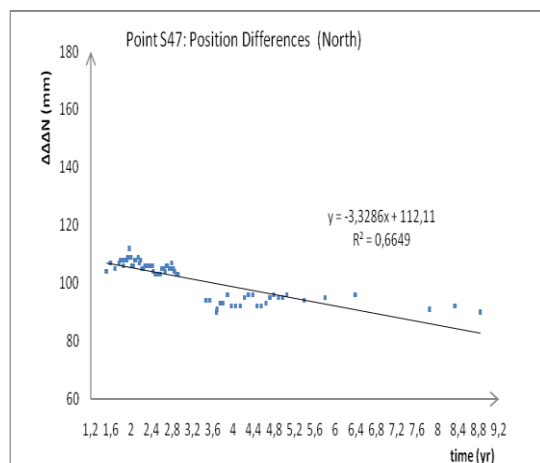
- Για τα τρία βάθρα της κατολίσθησης που μετρήθηκαν με GPS γίνονται διαφορετικές παρατηρήσεις. Το σημείο S44 εμφανίζει διαφορές έως 2 mm, οπότε δεν προκύπτει ένδειξη μετακίνησης.
- Το σημείο S47 εμφανίζει διαφορές έως 1.2 cm, με τις μεγαλύτερες τιμές να παρουσιάζονται κατά την διεύθυνση Βορράς-Νότος. Παρατηρείται λοιπόν να υπάρχει μετακίνηση του κατά το διάστημα 2001-2011.
- Το σημείο S48 εμφανίζει διαφορές έως 8 mm, με το μεγαλύτερο ποσοστό των διαφορών όμως να κυμαίνεται έως 6 mm. Δεν είναι δυνατόν να βγει συμπέρασμα αν οφείλεται σε μετακίνηση ή αν οφείλεται στην εκτέλεση των μετρήσεων.

Διαγράμματα ΔΔΔΕ/ΔΔΔΝ

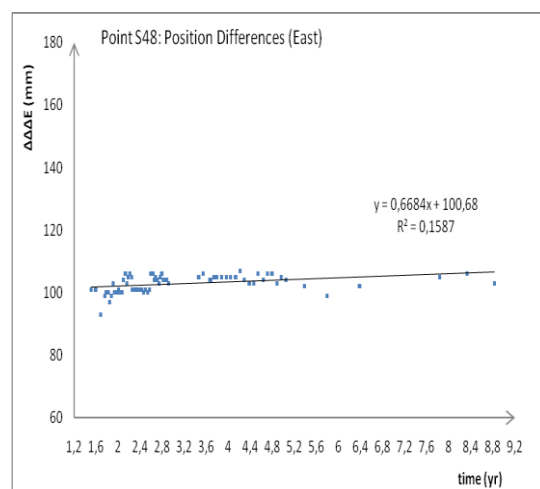
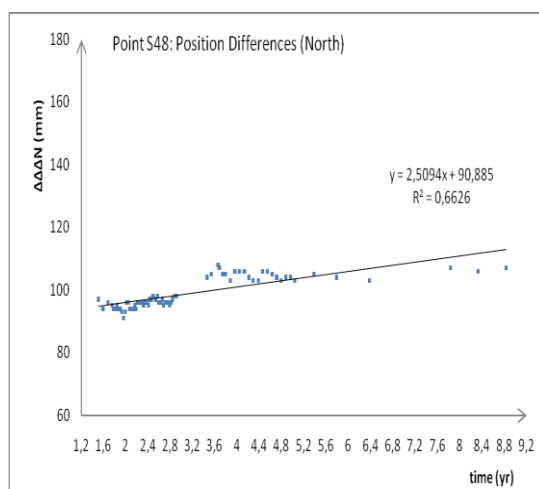
S44



S47



S48



6.4.2 Λοιπά σημεία ελέγχου

Για τα υπόλοιπα βάθρα της “Κατολίσθησης 1993” μελετήθηκαν οι μεταθέσεις κατά X, Y (στη προβολή HATT) και H (ορθομετρικό υψόμετρο) των σημείων. Οι διαφορές ΔNorth, ΔEast κατά την οριζοντιογραφική ανάλυση προέκυψαν βάση της τελευταίας διαθέσιμης μέτρησης από τις χρονοσειρές της ΕΥΔΑΠ. Ο υπολογισμός διαφορών ΔHeight για την ανάλυση κατακόρυφων μετακινήσεων έγινε βάση της πρώτης μέτρησης, από τη σειρά μετρήσεων που εκτελεί το τοπογραφικό συνεργείο της ΕΥΔΑΠ με χωροβάτες. Με τον τρόπο αυτό φαίνεται η καθίζηση που παρατηρείται στα σημεία ελέγχου από το 2001 και έπειτα.

Τα αποτελέσματα των διαφορών δίνονται στο Παράρτημα Β. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά οι διαφορές τριών βάθρων ελέγχου “Κ1”, “Κ2”, “Κ3” :

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	<u>ΒΑΘΡΟ: Κ1</u>			<u>ΒΑΘΡΟ: Κ2</u>			<u>ΒΑΘΡΟ: Κ3</u>		
	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)
5/8/2001									
5/9/2001						0	-0,008	-0,019	0
15/9/2001				0,007	-0,001	0	-0,005	-0,018	0
25/9/2001	0,063	0,013	0	0,006	-0,001	0	-0,004	-0,017	0
5/10/2001	0,063	0,011	0	0,004	-0,001	0	-0,005	-0,018	-0,001
15/10/2001	0,064	0,01	0	0,008	-0,006	0	-0,006	-0,02	-0,001
25/10/2001	0,064	0,009	-0,001	0,008	-0,005	0	-0,007	-0,021	-0,001
5/11/2001				0,008	-0,004	0	-0,007	-0,02	-0,001
15/11/2001				0,009	-0,002	0,002	-0,009	-0,02	0
25/11/2001				0,007	-0,001	0,002	-0,008	-0,02	0
5/12/2001				0,007	-0,002	0,001	-0,006	-0,02	0
15/12/2001				0,011	-0,004	0,001	-0,005	-0,022	-0,002
25/12/2001				0,009	-0,005	0	-0,007	-0,022	-0,003
5/1/2002				0,01	-0,005	0	-0,006	-0,021	-0,003
15/1/2002				0,008	-0,003	0	-0,002	-0,024	-0,003
25/1/2002				0,011	0	0	-0,004	-0,023	-0,004
5/2/2002				0,01	-0,002	0	-0,006	-0,021	-0,004
15/2/2002				0,008	-0,003	0	-0,003	-0,02	-0,004
25/2/2002				0,007	-0,004	0	-0,004	-0,019	-0,004
5/3/2002	0,012	0,001		0,008	0	0	-0,002	-0,019	-0,004
15/3/2002	0,017	0,003		0,012	-0,001	0	-0,002	-0,018	-0,004
25/3/2002	0,022	0,005		0,013	-0,001	0	-0,001	-0,016	-0,004
5/4/2002	0,017	0,004	-0,012	0,012	0,001	-0,002	-0,007	-0,013	-0,005
15/4/2002	0,016	0,005	-0,012	0,011	0	-0,002	-0,007	-0,013	-0,005

Κεφάλαιο 6: Ανάλυση μικρομετακινήσεων δορυφορικού δικτύου φράγματος Ευήνου και
“Κατολίσθησης 1993”

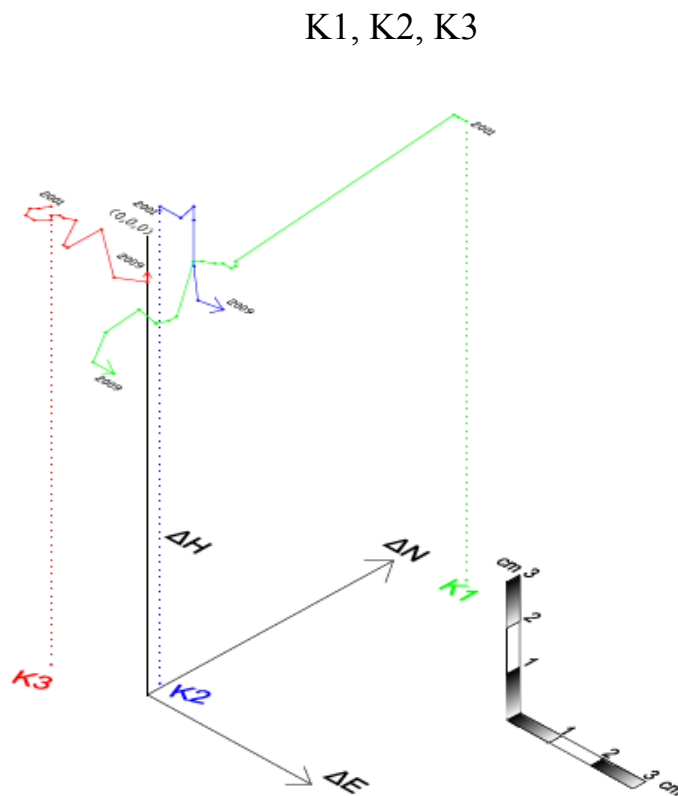
25/4/2002	0,015	0,005	-0,012	0,011	0	-0,002	-0,007	-0,012	-0,005
5/5/2002	0,017	0,004	-0,012	0,012	0,001	-0,002	-0,007	-0,013	-0,005
15/5/2002	0,016	0,005	-0,012	0,011	0	-0,002	-0,007	-0,013	-0,005
25/5/2002	0,015	0,005	-0,012	0,011	0	-0,002	-0,007	-0,012	-0,005
5/6/2002	0,015	0,003	-0,012	0,011	0	-0,002	-0,007	-0,012	-0,005
15/6/2002	0,015	0,003	-0,012	0,009	-0,001	-0,002	-0,008	-0,014	-0,005
25/6/2002	0,014	0,002	-0,012	0,008	-0,003	-0,002	-0,008	-0,013	-0,005
5/7/2002	0,015	0,003	-0,012	0,011	0	-0,002	-0,007	-0,012	-0,005
15/7/2002	0,015	0,003	-0,012	0,009	-0,001	-0,002	-0,008	-0,014	-0,005
25/7/2002	0,014	0,002	-0,012	0,008	-0,003	-0,002	-0,008	-0,013	-0,005
5/8/2002	0,013	0,003	-0,012	0,011	0	-0,002	-0,006	-0,015	-0,005
15/8/2002	0,013	0,001	-0,012	0,012	-0,001	-0,002	-0,007	-0,017	-0,005
25/8/2002	0,013	0,001	-0,012	0,011	-0,002	-0,002	-0,008	-0,018	-0,005
5/9/2002	0,014	0	-0,012	0,011	-0,003	-0,002	-0,007	-0,018	-0,005
15/9/2002	0,013	0	-0,012	0,012	-0,004	-0,003	-0,009	-0,018	-0,005
25/9/2002	0,013	0	-0,012	0,011	-0,002	-0,003	-0,009	-0,019	-0,005
5/10/2002	0,012	-0,001	-0,012	0,01	-0,003	-0,003	-0,01	-0,02	-0,005
15/10/2002	0,012	-0,001	-0,012	0,011	-0,003	-0,003	-0,009	-0,021	-0,005
25/10/2002	0,011	0	-0,012	0,009	-0,004	-0,003	-0,009	-0,021	-0,005
5/11/2002	0,013	-0,002	-0,012	0,008	-0,003	-0,003	-0,011	-0,019	-0,005
15/11/2002	0,014	-0,004	-0,013	0,01	0,002	-0,003	-0,009	-0,018	-0,006
25/11/2002	0,014	-0,004	-0,013	0,01	0,004	-0,003	-0,008	-0,02	-0,006
15/3/2003	0,022	-0,009	-0,008	0,016	-0,005	0,01	0,002	-0,021	0,005
15/4/2003	0,015	0,003	-0,008	0,013	-0,003	0,01	0,003	-0,014	0,007
15/6/2003			-0,014	0,013	0,002	0,005			0,003
15/7/2003			-0,014	0,012	0,002	0,005			0,003
25/8/2003	-0,004	0,015	-0,017	0,005	0,009	0,006			0,007
5/9/2003	0,001	0,004	-0,017	0,005	0,004	0,006	-0,009	-0,004	0,005
25/9/2003	0,003	0,004	-0,017	0,008	0,004	-0,004			-0,005
15/10/2003	0,003	0,004	-0,017	0,008	0,004	-0,004			-0,005
15/11/2003	-0,001	0,002	-0,017	0,007	0,001	-0,003			-0,003
15/12/2003	-0,001	0,003	-0,017	0,007	0,003	0,004			0,005
15/1/2004	-0,001	0,002	-0,017	0,006	0,001	0,003			0,002
15/2/2004	-0,001	0,002	-0,017	0,006	0,001	0,003			0,002
15/3/2004	0,003	-0,004	-0,019	0,006	0,001	-0,001	-0,003	-0,008	-0,001
15/4/2004	0,001	-0,003	-0,02	-0,003	0,012	-0,005			-0,006
15/5/2004	0,001	-0,003	-0,018	0,007	0,002	-0,001	0,008	-0,005	-0,003
15/6/2004	-0,007	-0,003	-0,019	0,012	0,005	-0,002			-0,006
15/7/2004	-0,015	-0,003	-0,019	0,009	0,005	-0,006			-0,008
15/8/2004	-0,009	-0,003	-0,018	0,009	0,004	-0,005			-0,006
15/9/2004			-0,018	0,009	0,003	-0,003			-0,005
15/10/2004			-0,019	0,009	0,003	-0,005			-0,006
15/11/2004			-0,023	0,005	0,001	0			-0,004
15/12/2004			-0,023	0,005	0,001	0			-0,005

Κεφάλαιο 6: Ανάλυση μικρομετακινήσεων δορυφορικού δικτύου φράγματος Ευήνου και
“Κατολίσθησης 1993”

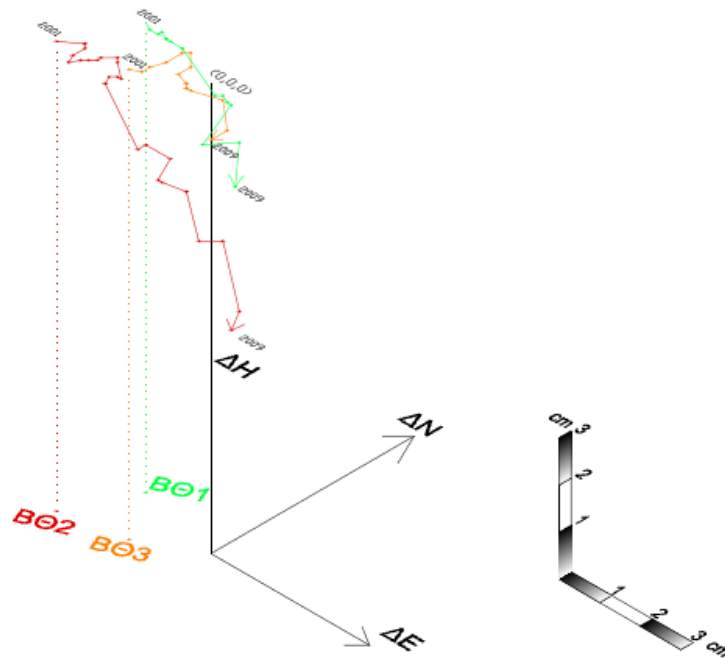
15/1/2005			-0,023	0,005	0,003	0			-0,004
15/5/2005			-0,023	0,007	0,004	-0,008	-0,005	-0,003	-0,01
15/10/2005	-0,009	-0,004	-0,025	0,011	0,006	-0,007	-0,005	-0,003	-0,008
15/5/2006				0,012	0,003	-0,006	-0,001	0,001	-0,009
10/6/2006	0,005	-0,005	-0,024						
1/4/2007			-0,029			-0,011			-0,014
1/11/2007	-0,003	-0,005	-0,031	0,005	0,007	-0,013	0,001	0	-0,015
1/5/2008	-0,003	0,002	-0,029	0,003	0,015	-0,01	-0,001	-0,002	-0,014
1/11/2008	0	0	-0,03	0,001	0,018	-0,012	0	0	-0,015
1/11/2009			-0,03	0	0				-0,01

Πίνακας 6.2 : Διαφορές θέσης των σημείων ελέγχου “Κ1”, “Κ2”, “Κ3” [ΕΥΔΑΠ]
Table 6.2 : Position differences for control points “Κ1”, “Κ2”, “Κ3” [ΕΥΔΑΠ]

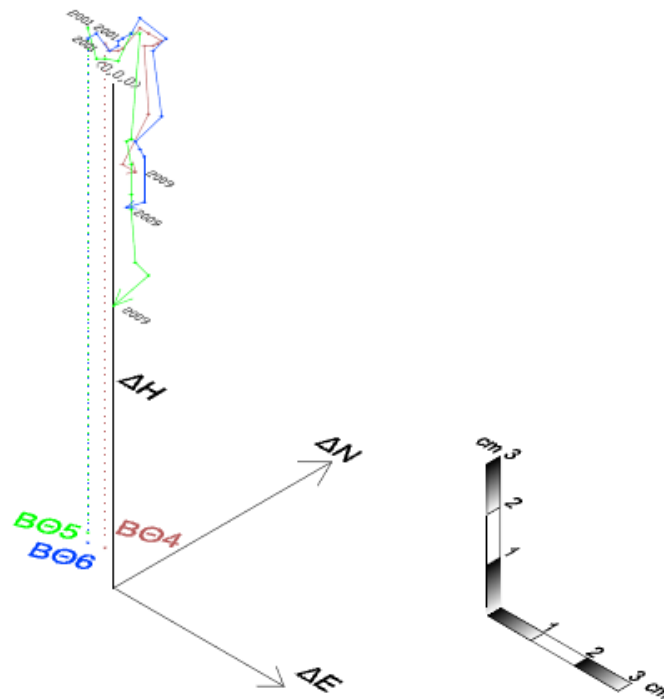
Εξέλιξη των μετακινήσεων των σημείων ελέγχου της “Κατολίσθησης 1993”
στο χρόνο



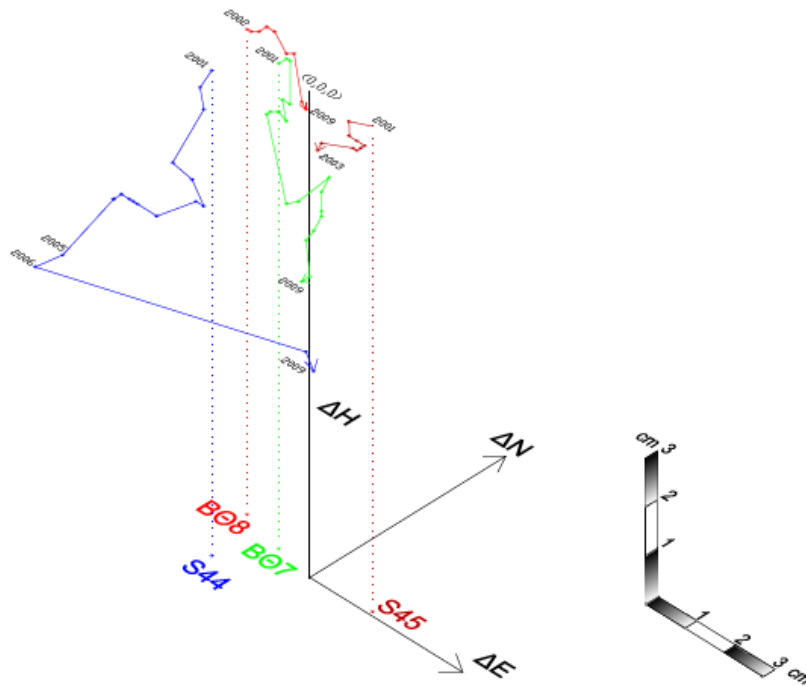
B01, B02, B03



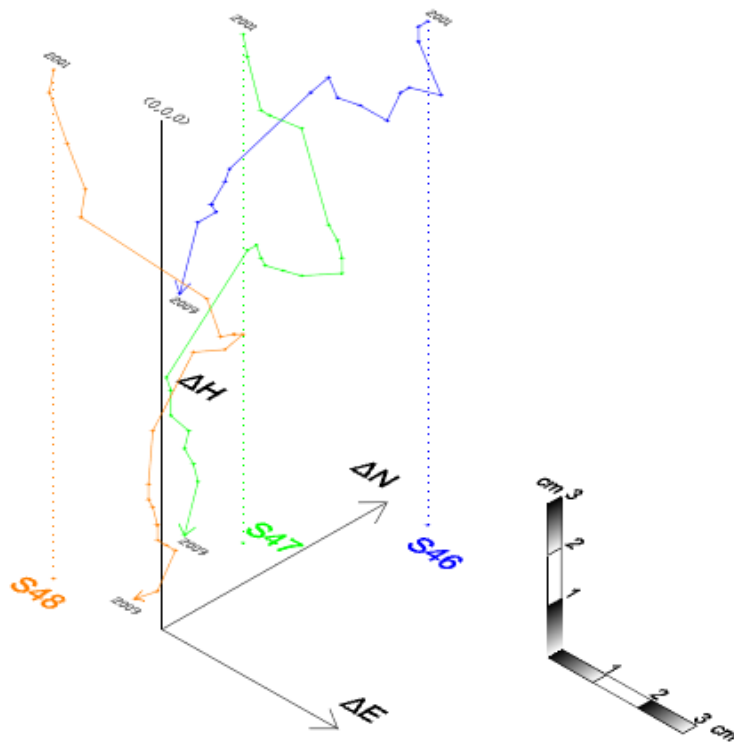
B04, B05, B06



B07, B08, S44, S45



S46, S47, S48



Παρατηρήσεις που προκύπτουν από την μελέτη των μετακινήσεων οριζοντιογραφικά:

- Το αρχικό συμπέρασμα είναι, ότι οι διαφορές που προέκυψαν για τα επιλεγμένα σημεία παρακολούθησης της κατολίσθησης από τις υπάρχουσες μετρήσεις είναι μεγαλύτερης τάξης μεγέθους από τις διαφορές σε τοπικό προσανατολισμένο σύστημα αναφοράς.
- Τα βάθρα που έχουν μετρηθεί λιγότερο από το 2001 έως το 2009 είναι τα K1, K3, BΘ8 και S45. Στα K1, K3 έγιναν περιορισμένες μετρήσεις στο διάστημα των εννέα ετών. Στο BΘ8 οι μετρήσεις άρχισαν το 2002, ενώ στο S45 μετρήσεις έγιναν τα δύο πρώτα χρόνια το 2001 και το 2002.
- Για τα βάθρα K2, BΘ1-BΘ8, S46-S48 οι διαφορές θέσης έχουν προκύψει αφαιρώντας τις συντεταγμένες από την μέτρηση στις 01/11/2009. Για τα βάθρα K1, K3, S44 αφαιρώντας τις συντεταγμένες από την μέτρηση στις 01/11/2008 και για το S45 αφαιρώντας τις συντεταγμένες από την μέτρηση στις 25/11/2002.
- Στο βάθρο K1 οι διαφορές θέσης κατά Y για το 2001 είναι της τάξης των 6 cm. Ενώ παρατηρείται μείωση τους για το 2002 και έπειτα με τις διαφορές να είναι της τάξης του 1 cm και μικρότερες. Το ίδιο συμβαίνει και κατά X με τις διαφορές για το 2001 να κυμαίνονται κοντά στο 1 cm και για το 2002 και έπειτα να είναι μικρότερες από 5 mm.
- Στο βάθρο K2 οι διαφορές θέσης κυμαίνονται τόσο κατά Y όσο και κατά X από μερικά χιλιοστά έως 1-2 cm. Δεν είναι δυνατή η κατηγοριοποίηση τους σε σχέση με το χρόνο, καθώς εμφανίζονται κοινές τιμές των διαφορών θέσης σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα.
- Στο βάθρο K3 οι διαφορές θέσης κυμαίνονται κατά Y έως 1 cm, ενώ κατά X για τα έτη 2001, 2002, 2003 οι διαφορές είναι της τάξης των 1-2 cm. Από τα μέσα του 2003 και έπειτα έως το 2008 είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών.
- Τα βάθρα BΘ1-BΘ8 εμφανίζουν διαφορές θέσης κατά Y μέχρι 1.5 cm. Με τις μικρότερες τιμές να τις εμφανίζει το BΘ7 μερικά χιλιοστά. Από το 2004 και έπειτα οι διαφορές θέσης κατά την διεύθυνση Βορράς-Νότος είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών.

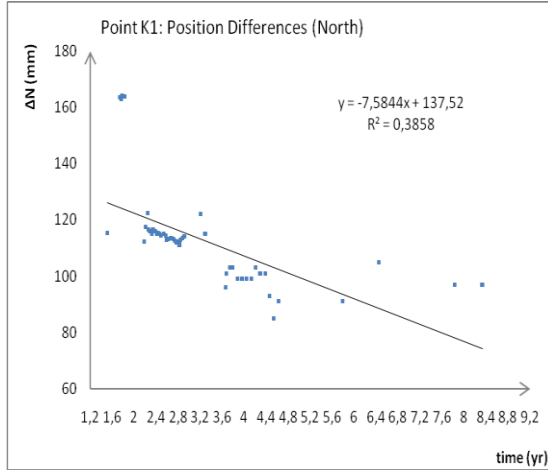
- Κατά την διεύθυνση X οι διαφορές των βάθρων ΒΘ1 και ΒΘ2 για τα έτη 2001 και 2002 είναι της τάξης των 2 cm. Από τα τέλη του 2003 και έπειτα οι διαφορές κυμαίνονται από μερικά χιλιοστά έως 1.3 cm. Για τα βάθρα ΒΘ3-ΒΘ7 οι διαφορές κατά X κυμαίνονται κάτω από 2 cm, αλλά από τα τέλη του 2003 οι διαφορές είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών. Για το ΒΘ8 οι διαφορές μέχρι τα τέλη του 2003 είναι της τάξης των 2 cm και μέχρι το 2006 της τάξης του 1 cm, από εκεί και έπειτα οι διαφορές κυμαίνονται σε λίγα χιλιοστά.
- Στο βάθρο S44 οι διαφορές κατά Y κυμαίνονται από μερικά χιλιοστά έως 2 cm, ενώ κατά X μέχρι 4.6 cm. Με το μεγαλύτερο ποσοστό των μετρήσεων κατά την διεύθυνση X να κυμαίνεται στα 2 έως 3 cm. Οι μεγαλύτερες διαφορές και στις δύο διευθύνσεις εμφανίζονται τα έτη 2005 και 2006.
- Στο βάθρο S45 οι διαφορές κατά Y είναι της τάξης του χιλιοστού και κατά X από μερικά χιλιοστά μέχρι 2 cm.
- Στο βάθρο S46 οι διαφορές κατά Y είναι της τάξης των 5 cm για το 2001 και 2002. Η πρώτη μέτρηση του 2003 εμφανίζει διαφορά 2.4 cm και από εκεί και έπειτα οι διαφορές είναι κάτω των 2 cm. Ενώ κατά X, οι διαφορές κυμαίνονται έως 1.3 cm. Με το μεγαλύτερο ποσοστό να είναι της τάξης του χιλιοστού.
- Στο βάθρο S47 οι τιμές κυμαίνονται για το 2001 και 2002 κατά Y από 2-4 cm. Από το 2003 και έπειτα οι διαφορές είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών. Κατά X οι διαφορές είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών και μόνο τον Αύγουστο του 2002 και 2003 οι τιμές των διαφορών υπερβαίνουν για λίγο το 1 cm.
- Στο βάθρο S48 οι διαφορές κατά Y κυμαίνονται από χιλιοστά έως 1.3 cm. Εκτός του 2002 όπου οι διαφορές είναι της τάξης των 2 cm. Κατά X οι διαφορές κυμαίνονται για το 2001 στα 2 cm και για το 2002 και έπειτα κάτω από 1.5 cm.

Η μελέτη των διαφορών υψομέτρων μας δίνει τα παρακάτω συμπεράσματα:

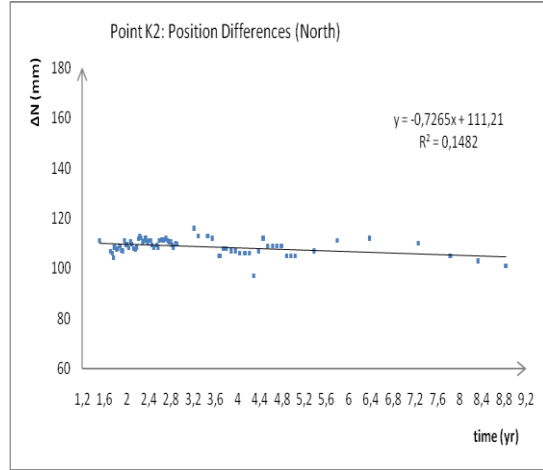
- Στο βάθρο K1 παρατηρείται καθίζηση από το 2001 έως το 2009 της τάξης των 3 cm.
- Στο βάθρο K2 παρατηρείται καθίζηση από το 2001 έως το 2008 της τάξης του εκατοστού.
- Στο βάθρο K3 παρατηρείται καθίζηση από το 2001 έως το 2009 της τάξης του εκατοστού.
- Στα βάθρα S44 και S45 παρατηρείται καθίζηση από το 2001 έως το 2010 της τάξης των 5 και 2 cm αντίστοιχα.
- Στα βάθρα S46, S47 και S48 παρατηρείται καθίζηση από το 2001 έως το 2010 της τάξης των 3, 8 και 10 cm αντίστοιχα.
- Στα βάθρα BΘ1, BΘ2, BΘ3 παρατηρείται καθίζηση από το 2001 έως το 2009 της τάξης των 2, 4 και 1 cm αντίστοιχα.

Διαγράμματα χρονοσειρών ΔΝ, ΔΕ, ΔΗ

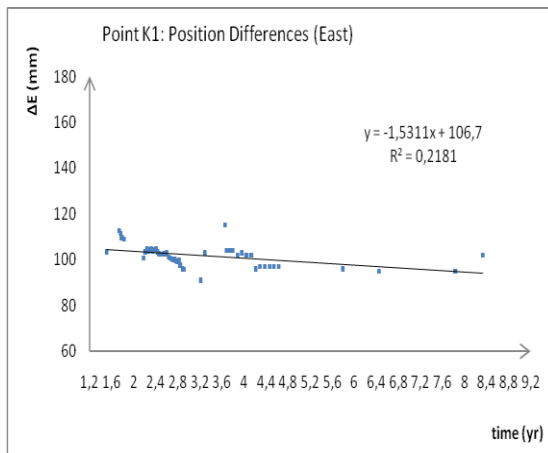
K1



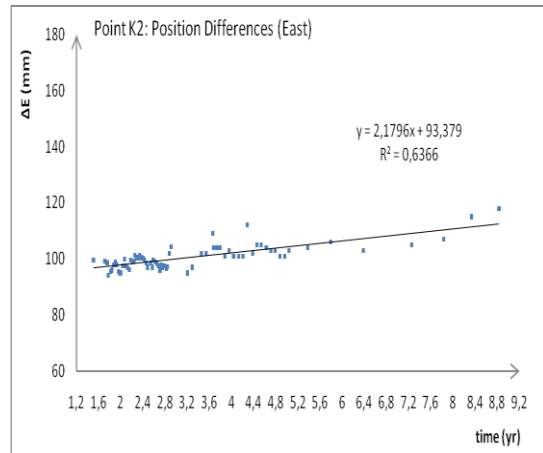
K2



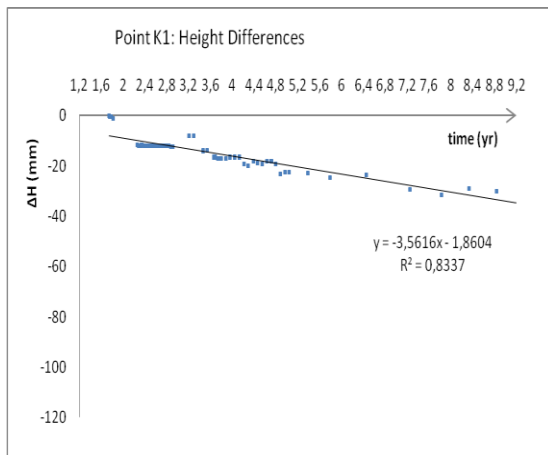
K1



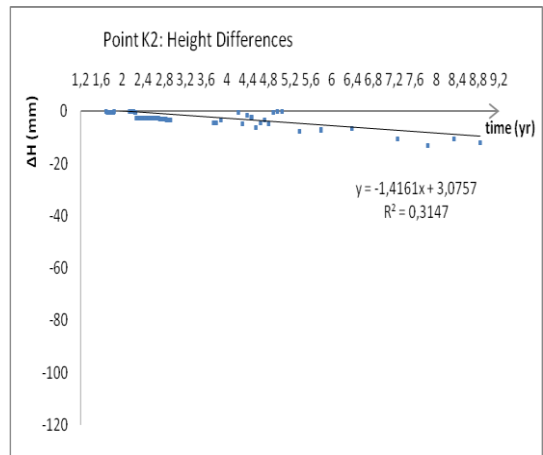
K2



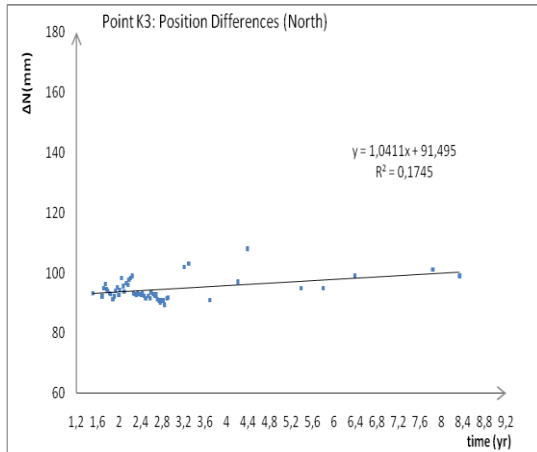
K1



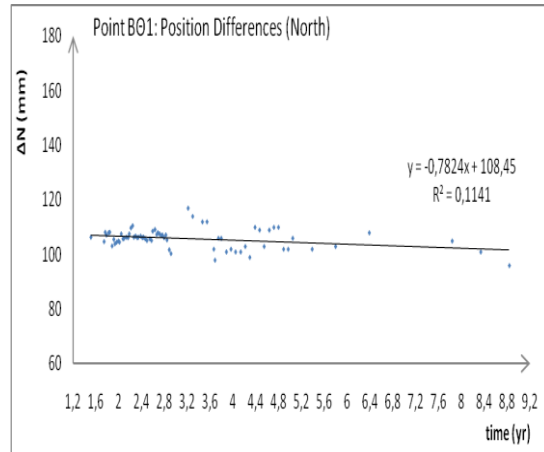
K2



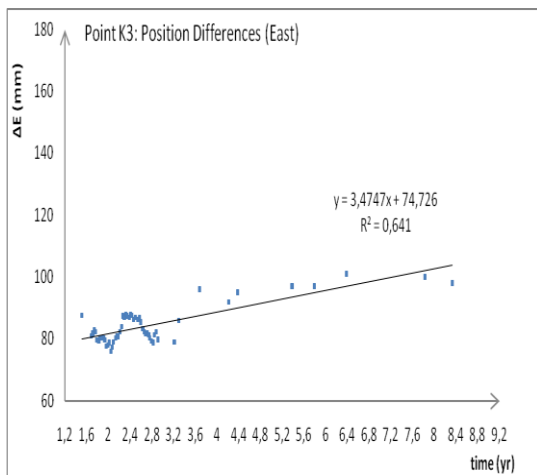
K3



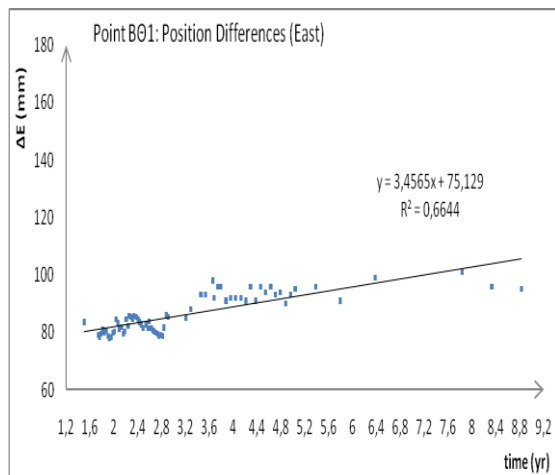
B01



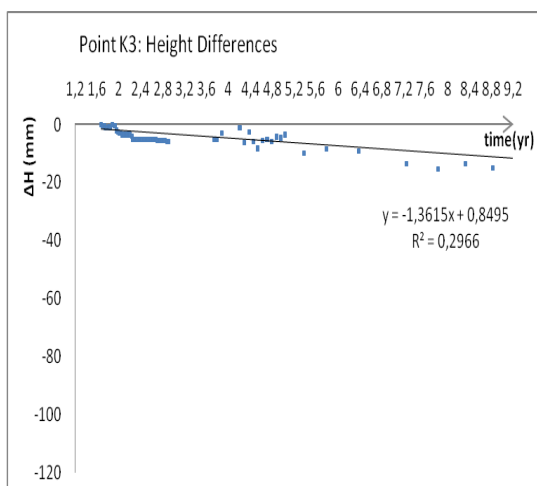
K3



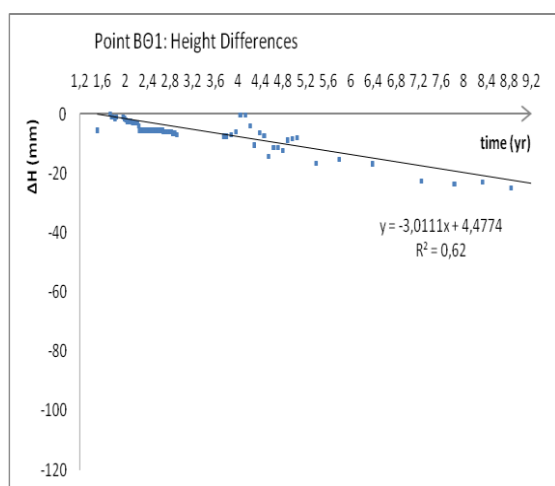
B01



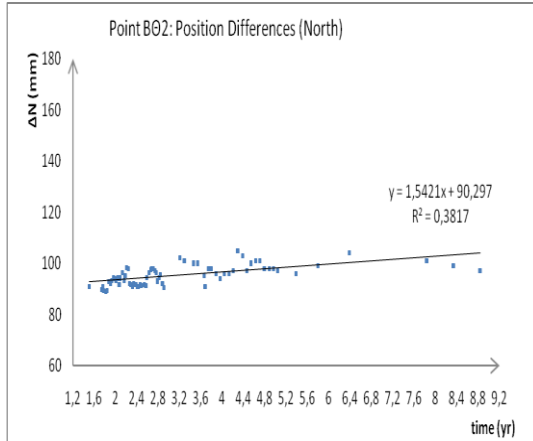
K3



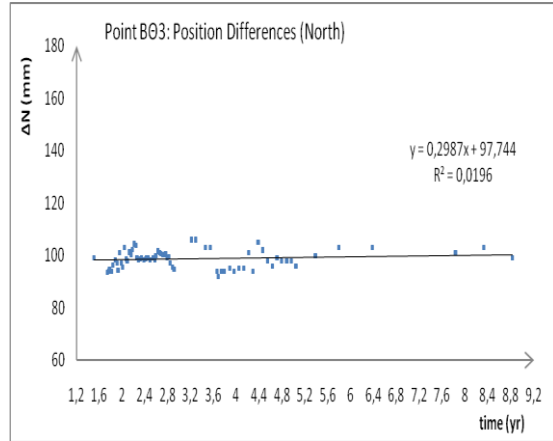
B01



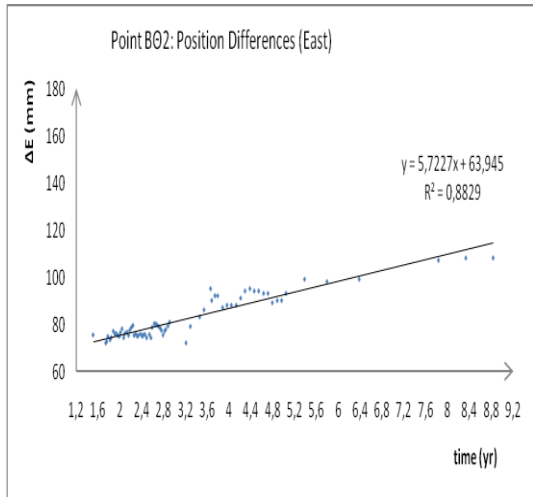
B02



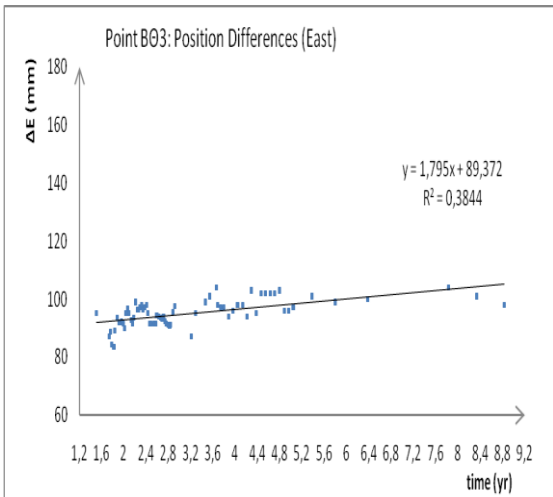
B03



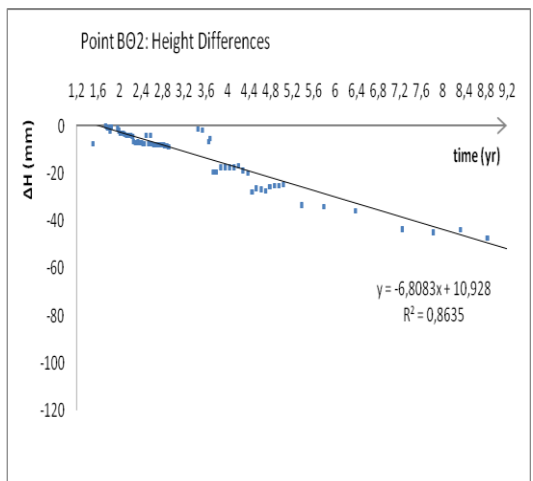
B02



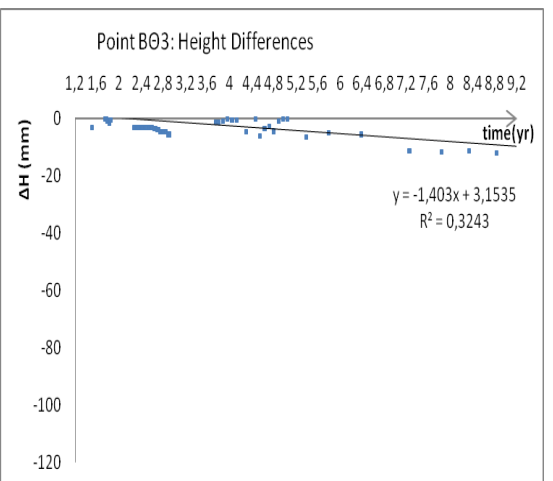
B03



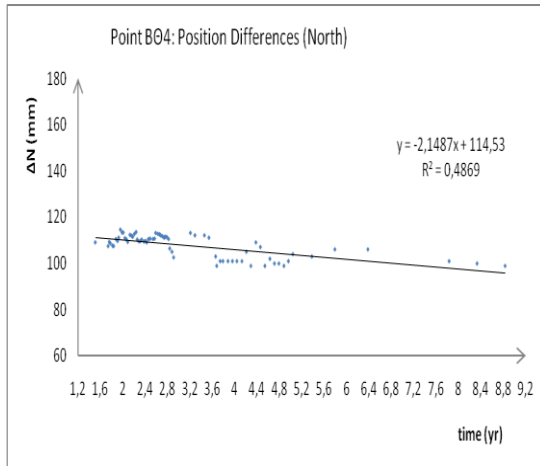
B02



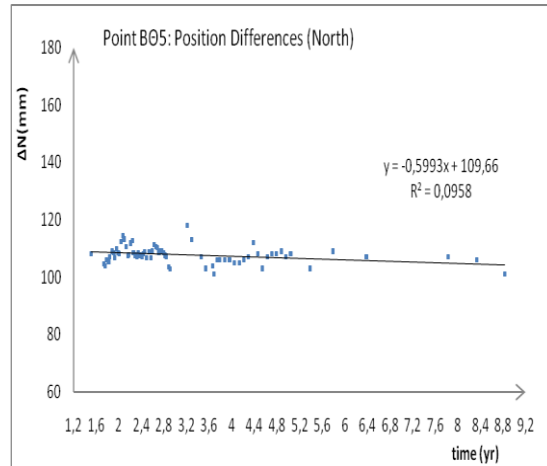
B03



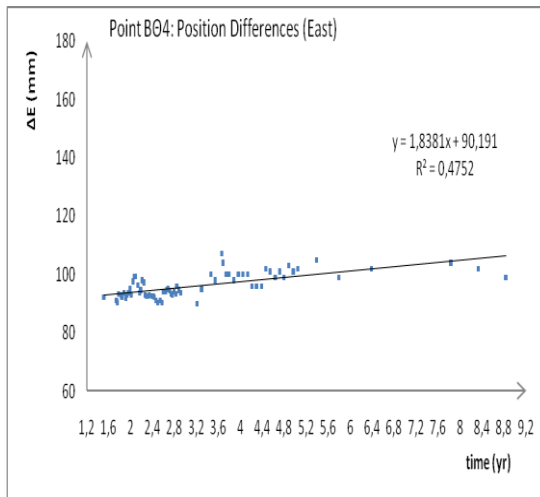
B04



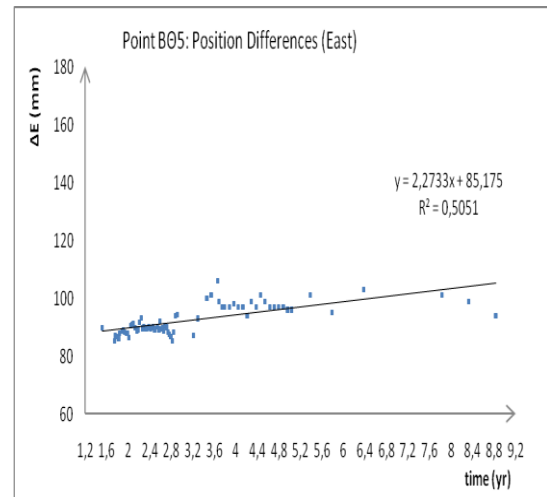
B05



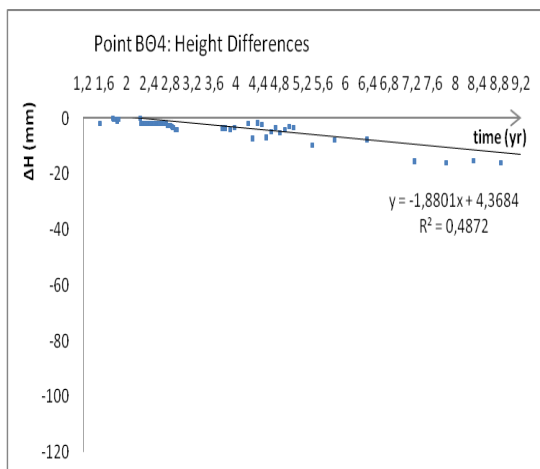
B04



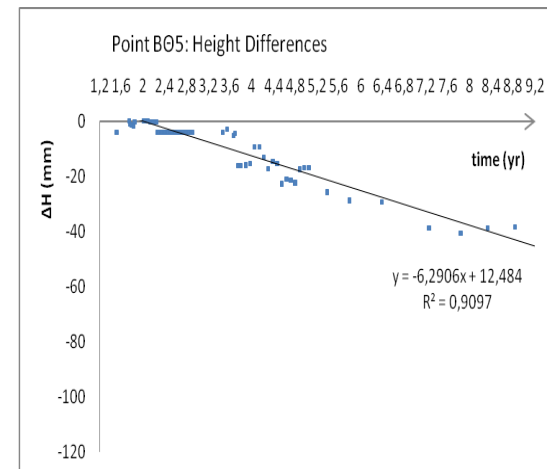
B05



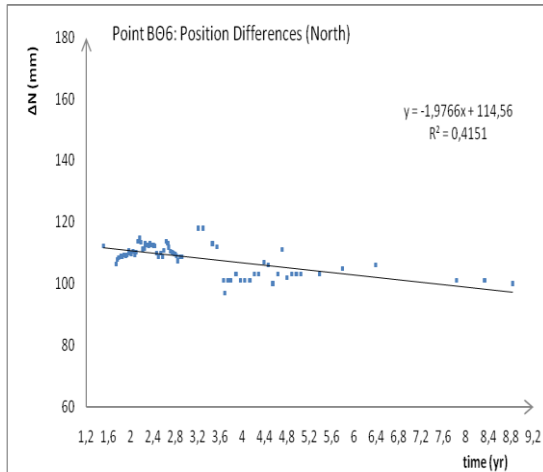
B04



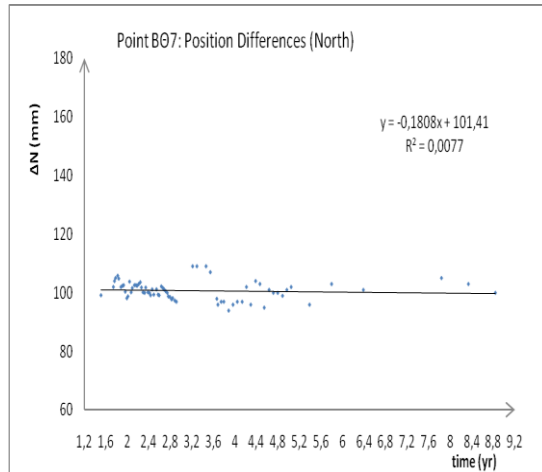
B05



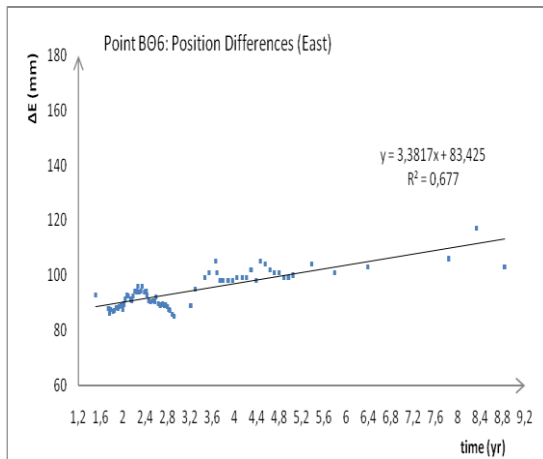
BΘ6



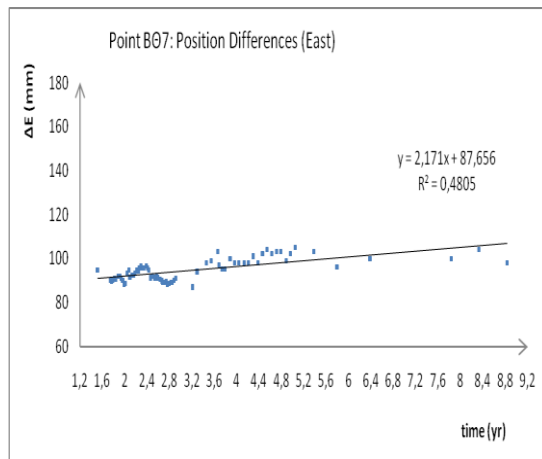
BΘ7



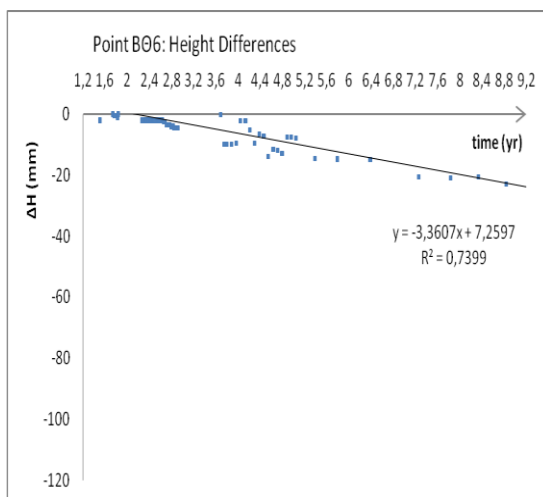
BΘ6



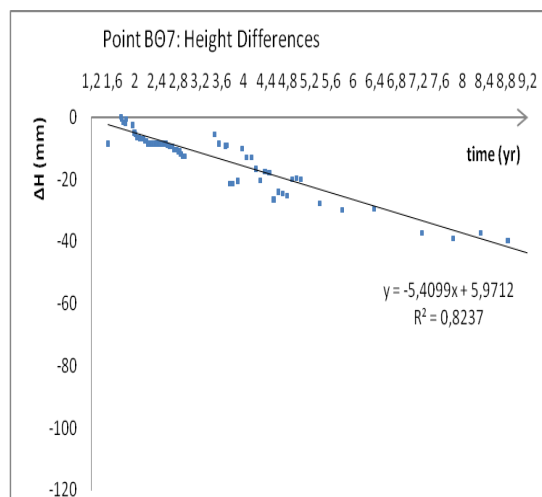
BΘ7



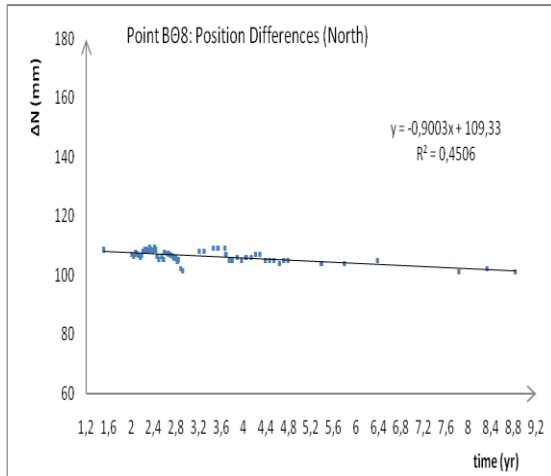
BΘ6



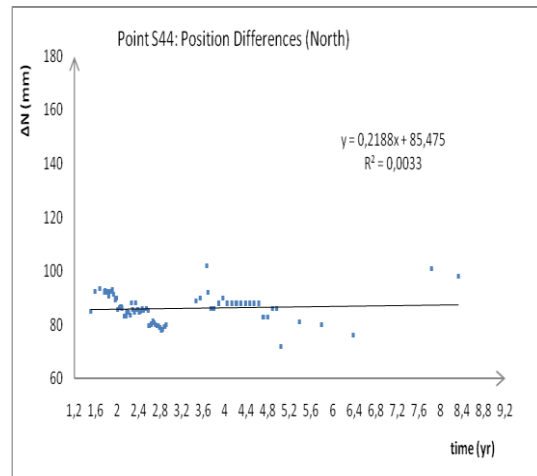
BΘ7



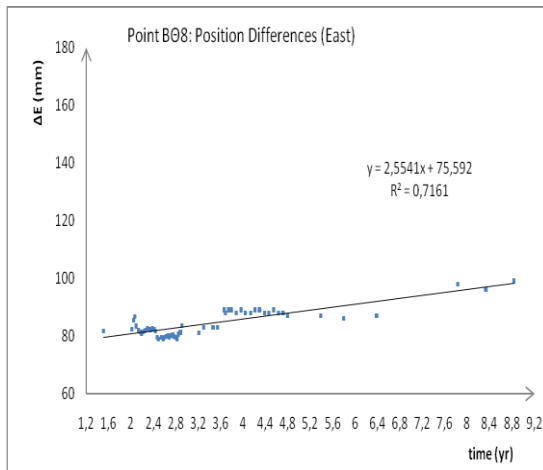
B08



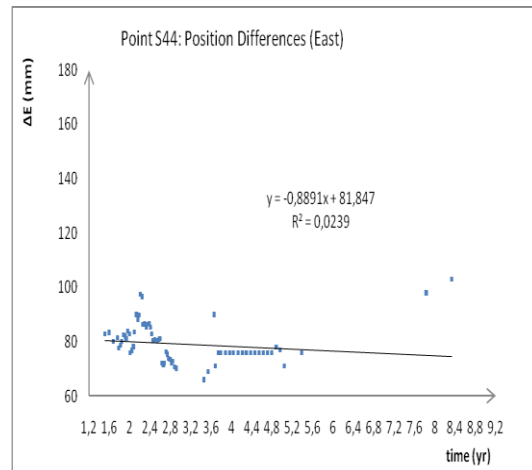
S44



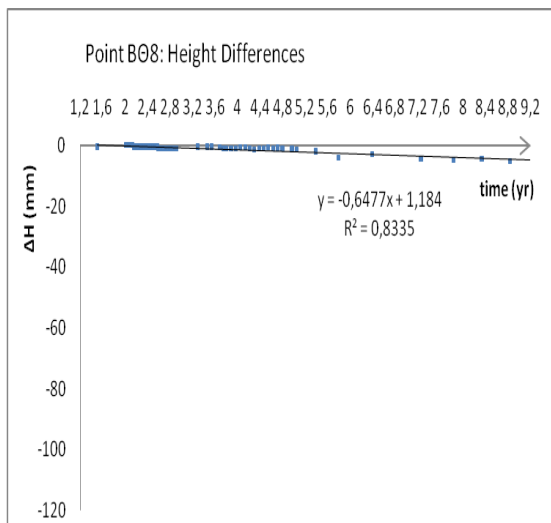
B08



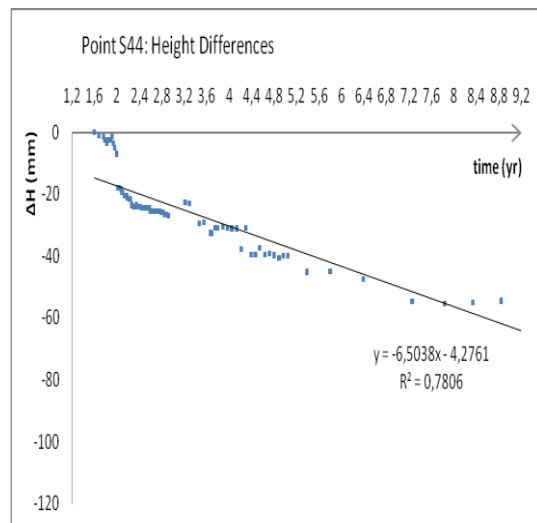
S44



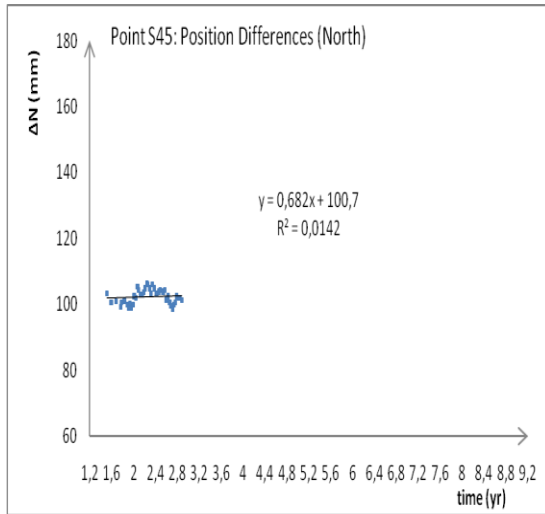
B08



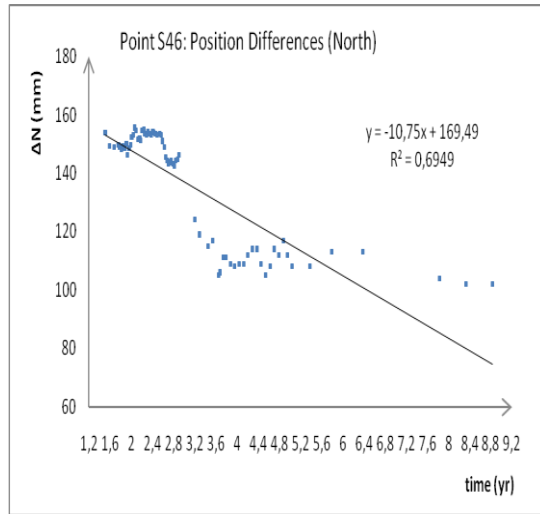
S44



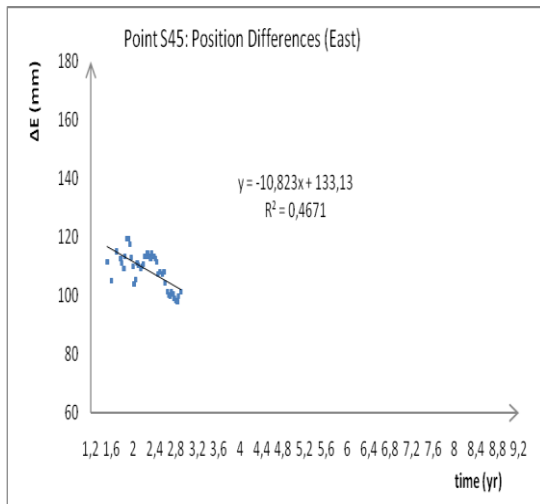
S45



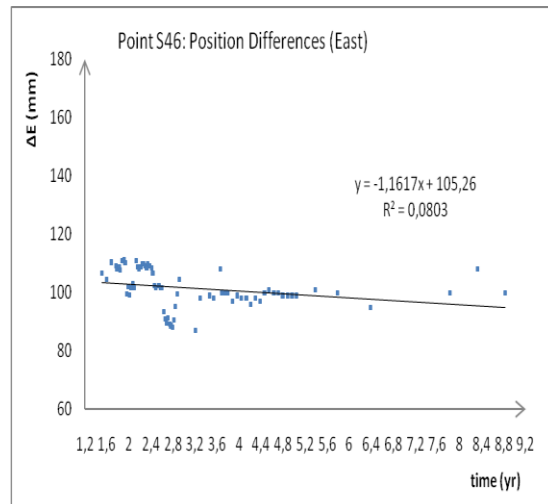
S46



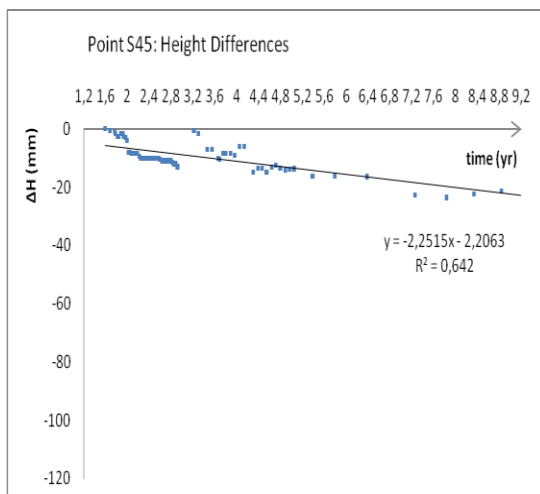
S45



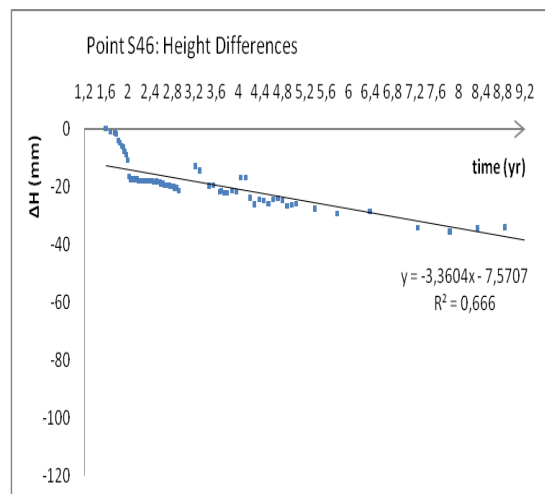
S46



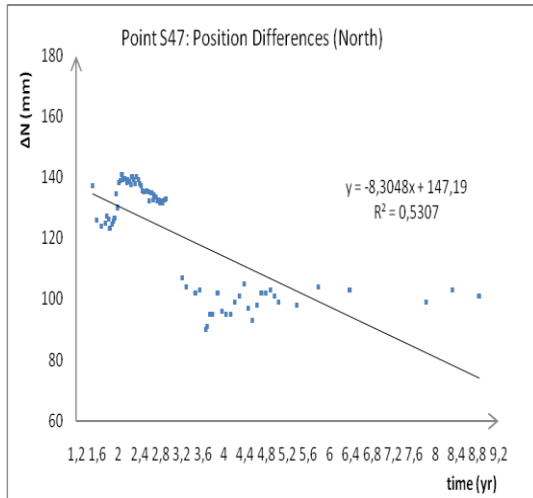
S45



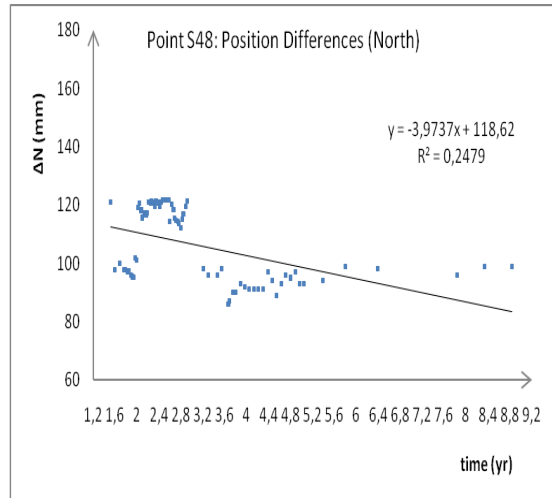
S46



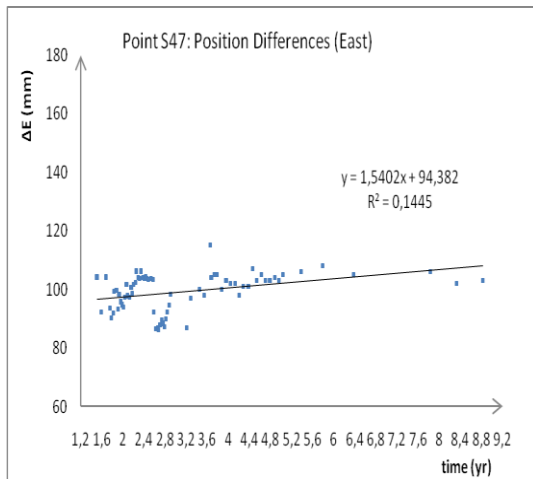
S47



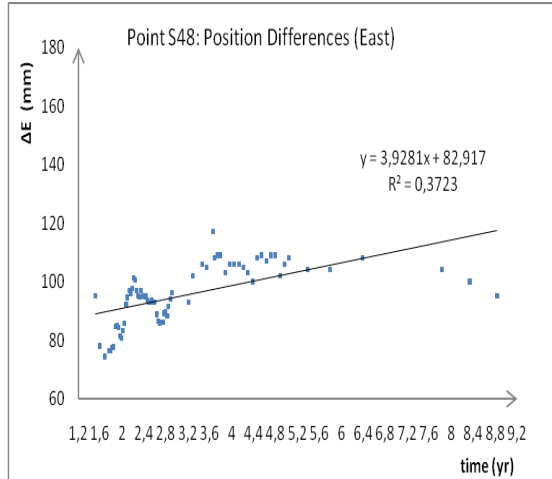
S48



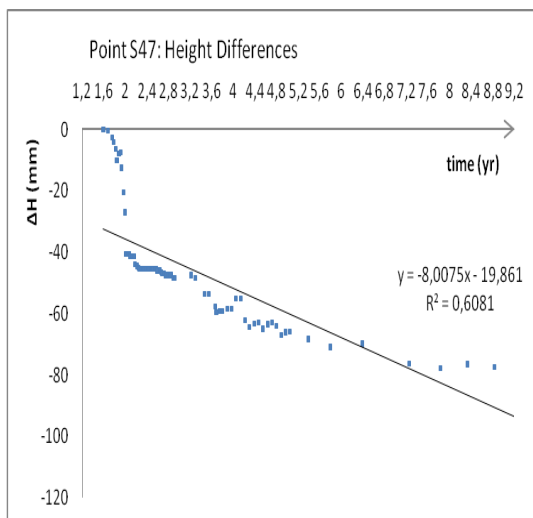
S47



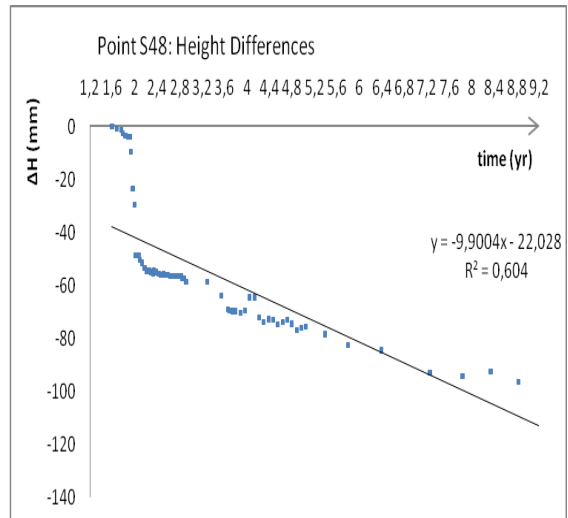
S48



S47



S48



6.4.3 Ταχύτητες μετακίνησης σημείων ελέγχου

Οι ταχύτητες μετακίνησης των βάθρων της κατολίσθησης προέκυψαν από τα διαγράμματα χρονοσειρών. Η κλίση της εξίσωσης προσαρμογής περιγράφει την ταχύτητα μετακίνησης σε mm ανά έτος. Αρχικά παρουσιάζονται οι ταχύτητες για τα τρία βάθρα της “Κατολίσθησης 1993” που μετρήθηκαν το 2011 με GPS.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2001→2011		
ΟΝΟΜΑ ΣΗΜΕΙΟΥ	V _n (mm/yr)	V _e (mm/yr)
S44	0,8	0,2
S47	-3,3	-0,9
S48	2,5	0,7

Πίνακας 6.3 : Οριζοντιογραφικές ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου “S44”, “S47”, “S48” από το DIFF

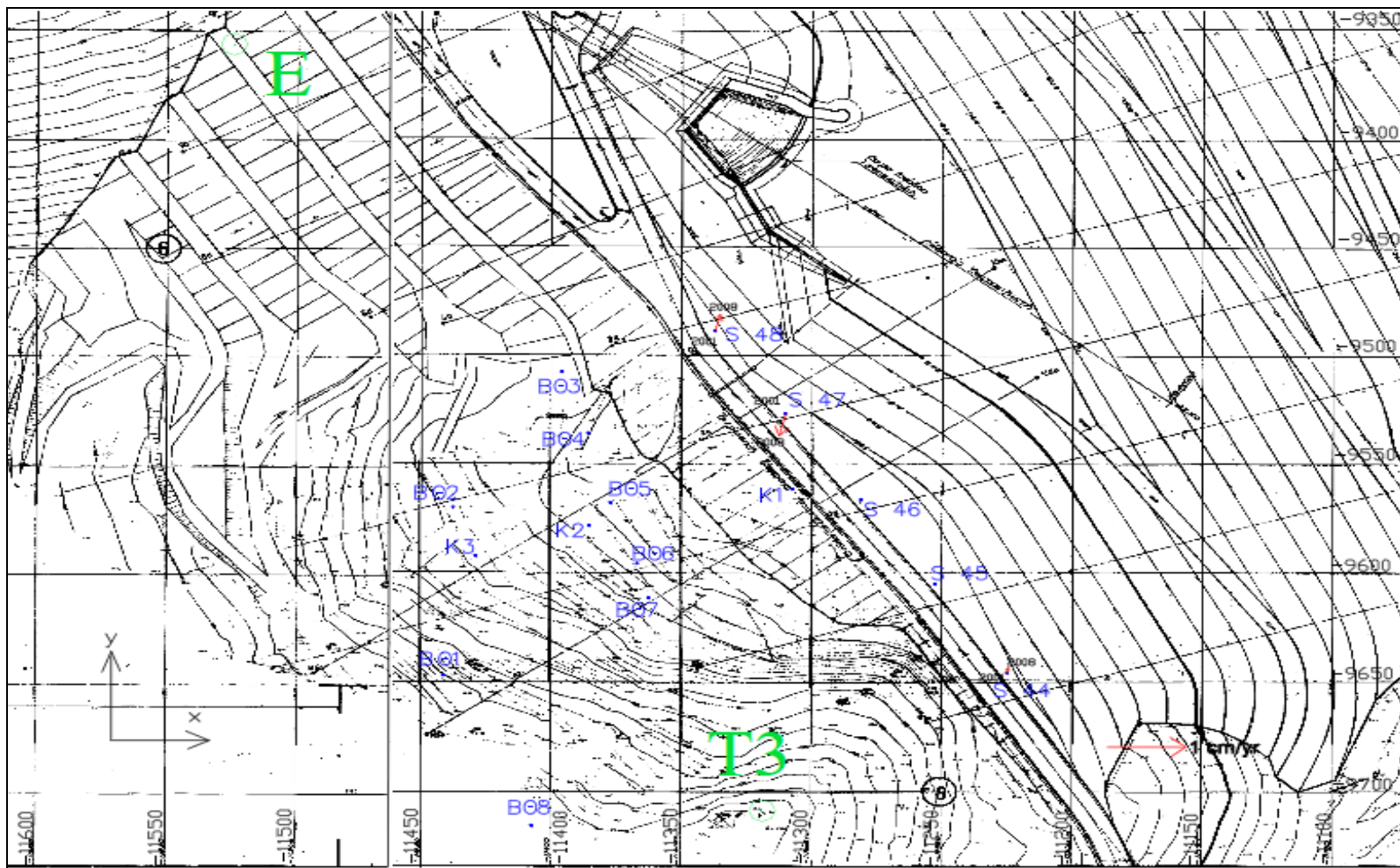
Table 6.3 : Horizontal displacement velocities of control points “S44”, “S47”, “S48” obtained using DIFF

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ταχύτητες όλων των βάθρων της “Κατολίσθησης 1993” από τις μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ την τελευταία δεκαετία.

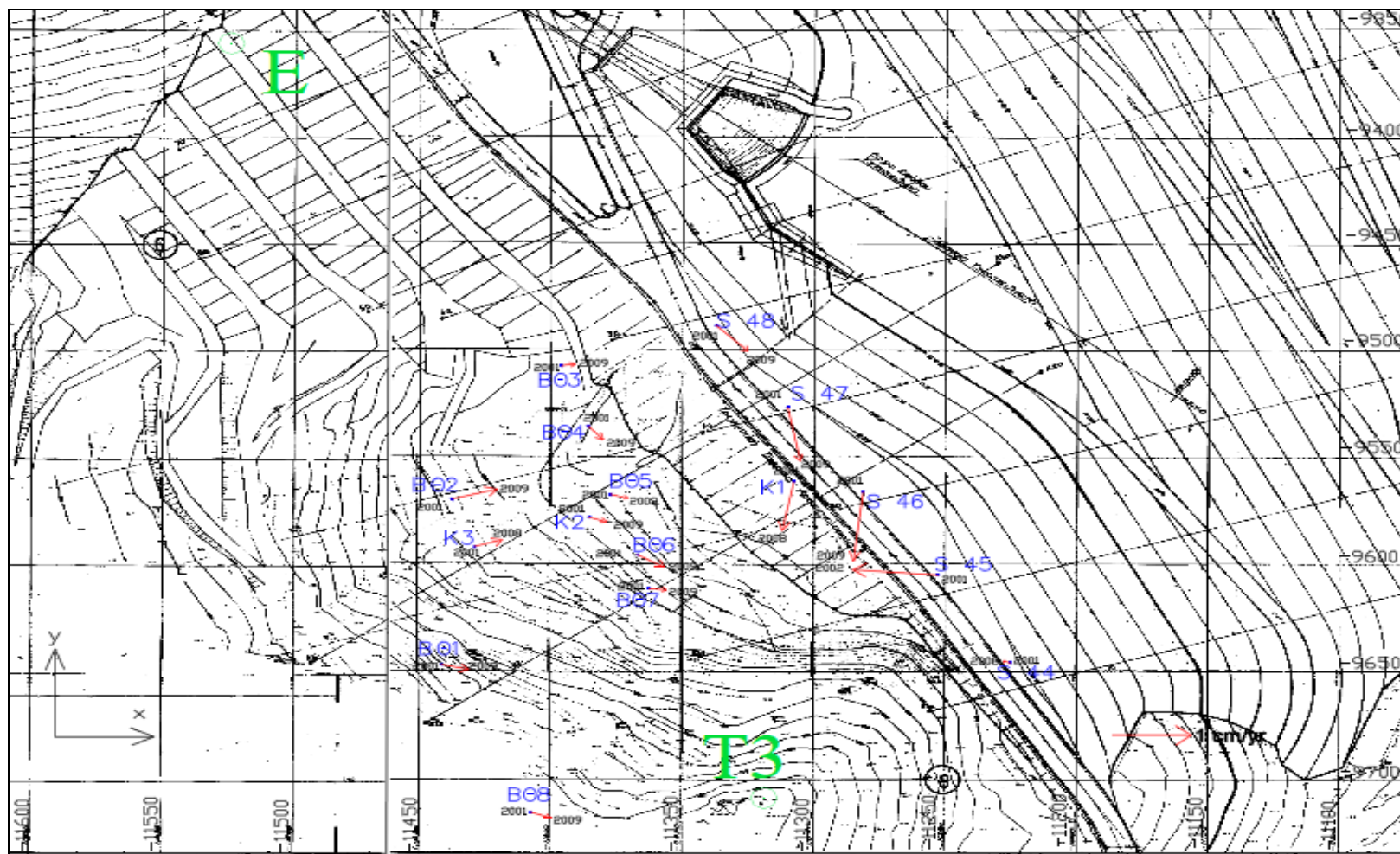
ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2001→2009			
ΟΝΟΜΑ ΣΗΜΕΙΟΥ	V _n (mm/yr)	V _e (mm/yr)	V _H (mm/yr)
K1	-7,6	-1,5	-3,6
K2	-0,7	2,2	-1,4
K3	1,0	3,5	-1,4
BΘ1	-0,8	3,5	-3,0
BΘ2	1,5	5,7	-6,8
BΘ3	0,3	1,8	-1,4
BΘ4	-2,1	1,8	-1,9
BΘ5	-0,6	2,3	-6,3
BΘ6	-2,0	3,4	-3,4
BΘ7	-0,2	2,2	-5,4
BΘ8	-0,9	2,6	-0,6
S44	0,2	-0,9	-6,5
S45	0,7	-10,8	-2,3
S46	-10,8	-1,2	-3,4
S47	-8,3	1,5	-8,0
S48	-4,0	3,9	-9,9

Πίνακας 6.4 : Ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου της κατολίσθησης από τις συμβατικές μετρήσεις

Table 6.4 : Displacement velocities of control points at the landslide area obtained using conventional surveying techniques



Σχήμα 6.1 : Χάρτης με τις οριζοντιογραφικές ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου “S44”, “S47”, “S48” από το DIFF
 Figure 6.1 : Map of horizontal displacement velocities of control points “S44”, “S47”, “S48” obtained using DIFF



Σχήμα 6.2 : Χάρτης με τις οριζοντιογραφικές ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου της κατολίσθησης από τις συμβατικές μετρήσεις
 Figure 6.2 : Map of horizontal displacement velocities of control points at the landslide area obtained using conventional surveying techniques

Ο υπολογισμός των ταχυτήτων μετακίνησης συνδέεται με την εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων για την κίνηση των βάθρων της “Κατολίσθησης 1993”. Από την μελέτη των ταχυτήτων μετακίνησης προκύπτει ότι:

- Το μέτρο των φορέων μετατόπισης των σημείων ελέγχου “S44”, “S47” και “S48” όπως προέκυψε από την ανάλυση με το DIFF είναι μικρότερου μεγέθους σε σχέση με την ανάλυση διαφορών από τις επίγειες μετρήσεις.
- Τα βάθρα που βρίσκονται στην πλαγιά εμφανίζουν οριζοντιογραφικά μικρότερες ταχύτητες μετακίνησης από τα βάθρα που είναι πλησίον του δρόμου που διέρχεται ακριβώς πάνω από τον ταμιευτήρα.
- Η κατεύθυνση των φορέων μετατόπισης των βάθρων που βρίσκονται στην πλαγιά είναι προς τα Ανατολικά, ακολουθούν την διεύθυνση της βαρύτητας. Από την ανάλυση διαφορών με βάση τις επίγειες μετρήσεις προκύπτει μία μέση μετακίνηση 1-2 mm/yr κατά την διεύθυνση Βορρά-Νότου και 2-3 mm/yr κατά την διεύθυνση Ανατολής-Δύσης.
- Τα βάθρα με την μεγαλύτερη μετακίνηση οριζοντιογραφικά βάση της ανάλυσης διαφορών από τις επίγειες μετρήσεις, είναι τα βάθρα του δρόμου “S45”, “S46” και “S47”. Η μετακίνηση βάση της επεξεργασίας των επίγειων μετρήσεων είναι 1 cm/yr κατά την διεύθυνση Ανατολής-Δύσης, 1 cm/yr κατά την διεύθυνση Βορρά-Νότου και 0,8 cm/yr κατά την διεύθυνση Βορρά-Νότου αντίστοιχα.
- Η μελέτη των ταχυτήτων κατά την κατακόρυφη διεύθυνση έδειξε ότι τα βάθρα “S47” και “S48” εμφανίζουν την μεγαλύτερη καθίζηση 8 mm/ yr και 1 cm/yr αντίστοιχα.
- Τα βάθρα “B02”, “B05”, “B07” και “S44” εμφανίζουν τις επόμενες μεγαλύτερες τιμές καθίζησης της τάξης των 6 mm/yr.
- Τα υπόλοιπα βάθρα εμφανίζουν καθίζηση έως 3 mm/yr.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Αντικείμενο ΔΕ

Κατολίσθηση εμφανίζεται με την διατάραξη της ισορροπίας εδαφικών ή βραχωδών μαζών κάτω από οριζόντιες εδαφικές επιφάνειες ή πίσω από πρανή λόγω φυσικών, γεωλογικών ή ανθρωπογενών επεμβάσεων. Η μελέτη των κινηματικών χαρακτηριστικών κατολισθήσεων με συμβατικές γεωδαιτικές μεθόδους στηρίζεται στην επιλογή σημείων μέσα στη περιοχή της κατολίσθησης και σημείων εκτός αυτής σε σταθερά γεωλογικό υπόβαθρο και γίνονται μετρήσεις αναφορικά με τη σχετική τους μετακίνηση. Τα αποτελέσματα των τοπογραφικών μελετών αποτελούν στοιχεία μετακίνησης των σημείων ελέγχου και του μέτρου ποιότητας τους (ακρίβεια, αξιοπιστία).

Στο πλαίσιο αυτής της Διπλωματικής Εργασίας επιχειρείται έλεγχος της κινηματικής συμπεριφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος Ευήνου, καθώς και της “Κατολίσθησης 1993” που σημειώθηκε στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος κατά την κατασκευή. Τα κύρια σημεία εξέλιξης του φαινομένου είναι:

- Η κατολίσθηση ενεργοποιήθηκε τον Αύγουστο του 1993 λόγω εκσκαφών στον πόδα της κατολίσθησης κατά την κατασκευή της νέας οδού πρόσβασης προς το φράγμα.
- Τα πρώτα μέτρα σταθεροποίησης είχαν προσωρινό χαρακτήρα και ήταν η εγκατάσταση φρεάτων αντλήσεων, τα οποία ήταν αποδοτικά για ένα έτος περίπου, αλλά προοδευτικά αχρήστευσαν από την συνεχιζόμενη μετακίνηση.
- Για το λόγο αυτό ελήφθησαν μέτρα οριστικής σταθεροποίησης της κατολίσθησης, όπως η κατασκευή έργων σύλληψης και απαγωγής του νερού, αποστραγγιστική σήραγγα, 71 κατακόρυφα φρέατα στράγγισης στην κεντρική περιοχή της κατολίσθησης και επέκταση του αναχώματος για να λειτουργήσει ως αντίβαρο ποδός. Τα έργα ολοκληρώθηκαν στις αρχές του 2001, από τότε και μετά μελετάται η αποτελεσματικότητά τους με συνεχείς τοπογραφικές μετρήσεις.

Για την επαναμέτρηση του τριγωνομετρικού δικτύου και επιλεγμένων σημείων της κατολίσθησης έγιναν μετρήσεις GPS το διάστημα 27/03/2011-30/03/2011 στην περιοχή Αγίου Δημητρίου Ευήνου. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις δέκτες GPS, οι οποίοι και τοποθετήθηκαν σε βάθρα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος δικτύου T1, T3, T4 και A, B, Δ, E αντίστοιχα του φράγματος και στο τριγωνομετρικό T73 της Γ.Υ.Σ. (Σταυρούδι, Φύλλο Χάρτη: Κλεπά), τα οποία βρίσκονται σε σταθερό γεωλογικό υπόβαθρο. Επίσης, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων τοποθετήθηκαν δέκτες GPS σε τρία βάθρα στη στέψη (S64, S68, S73) και σε τρία στον πόδα της κατολίσθησης του 1993 (S44, S47, S48) στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος ανάντη της περιοχής εισόδου του υπερχειλιστή, που αποτελούν τις περιοχές ελέγχου μετακινήσεων στην περιοχή του φράγματος και για το σκοπό αυτό έχουν κατασκευαστεί μόνιμα βάθρα ελέγχου επιφανειακών μετακινήσεων. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων περιγράφονται στην ενότητα 7.2.

7.2 Συμπεράσματα για το γεωδαιτικό δίκτυο και την “Κατολίσθηση 1993”

Για την μελέτη μετακινήσεων στο πρωτεύον και δευτερεύον δίκτυο του φράγματος έγινε σύγκριση σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς των θέσεων των βάθρων που μετρήθηκαν το 2011 με μετρήσεις GPS, με τη θέση των βάθρων όπως είχαν μετρηθεί κατά την κατασκευή του φράγματος με συμβατικές μετρήσεις και τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν είναι:

- Το δίκτυο δεν παρουσιάζει ενδείξεις μετακίνησης και ο λόγος είναι ότι ανά έτος προκύπτει διαφορά στη θέση των βάθρων της τάξης του 1mm και στις δύο οριζόντιες συνιστώσες κίνησης.
- Κατά τη διεύθυνση Βορράς-Νότος το δίκτυο παρουσιάζει ακόμη πιο ήπια κινηματική συμπεριφορά της τάξης 0,1-0.6 mm/yr.

Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη της κατολίσθησης του 1993 είναι:

- Η επίλυση σε προσανατολισμένο τοπικό σύστημα αναφοράς για τα τρία βάθρα της κατολίσθησης (S44, S47, S48) που μετρήθηκαν με GPS έδωσε μικρότερες διαφορές θέσης σε σχέση με τις διαφορές που προέκυψαν για τα

τρία βάθρα από τις διαφορές θέσης των συντεταγμένων HATT, καθώς στην πρώτη περίπτωση έχει γίνει διόρθωση από στροφή και κλίμακα.

- Από την τοποκεντρική επίλυση φαίνεται το βάθρο S47 να παρουσιάζει μια μικρή μετακίνηση κατά την διεύθυνση Βορράς-Νότος.
- Οι διαφορές για τα βάθρα της κατολίσθησης από επίγειες μετρήσεις που εκτελεί η ΕΥΔΑΠ έδειξαν ότι από το τέλος του 2002 που άλλαξε το συνεργείο μετρήσεων και τα χρησιμοποιούμενα όργανα παρατηρείται μια διακύμανση στις μετρήσεις, η οποία καθ' όλες τις ενδείξεις είναι αποτέλεσμα της μετρητικής διαδικασίας. Αυτό παρατηρείται στα αποτελέσματα των διαφορών σε όλα σχεδόν τα βάθρα της κατολίσθησης, καθώς οι διαφορές μέχρι τα τέλη του 2002 είναι μεγαλύτερες και έκτοτε μειώνονται οι τιμές τους.
- Το βάθρο S44 εμφανίζει στο ενδιάμεσο από το 2001 έως το 2009 τις μεγαλύτερες διαφορές κατά την διεύθυνση Ανατολή-Δύση την περίοδο 2005-2006, το οποίο επισημαίνεται και στην τεχνική έκθεση της ΕΥΔΑΠ. Μετά το 2006 όμως παρατηρείται μία σταθεροποίηση των διαφορών σε χαμηλές τιμές.
- Η κατεύθυνση των φορέων μετατόπισης για τα βάθρα που βρίσκονται στην πλαγιά είναι σύμφωνη με την κίνηση της βαρύτητας, με μικρότερο μέτρο σε σχέση με τα διανύσματα κατά μήκος του δρόμου πλησίον του υπερχειλιστή του φράγματος.
- Η μελέτη των καθιζήσεων έδειξε ότι τα βάθρα S48 και S47 εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές καθίζησης 1 cm/yr και 8 mm/yr, ενώ τα υπόλοιπα βάθρα εμφανίζουν καθίζηση έως 5 mm/yr.
- Τέλος, θεωρείται πολύ σημαντικό να τηρείται η συχνότητα των μετρήσεων που πλέον έχουν περιοριστεί σε δύο μετρήσεις τον χρόνο από αρμόδιο τοπογραφικό συνεργείο της ΕΥΔΑΠ. Η μελέτη της συμπεριφοράς της κατολίσθησης χρήζει διαρκούς παρακολούθησης και νέους κύκλους μετρήσεων καθώς επηρεάζει άμεσα την ασφάλεια του φράγματος.

Από την μελέτη της ΕΥΔΑΠ για τα υπόλοιπα όργανα παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται στην κατολίσθηση του 1993 προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις:

1. Το σύνολο των μετρήσεων από το 1996 έως την ολοκλήρωση των έργων αποστράγγισης έδειχνε εποχιακές διακυμάνσεις της στάθμης, οι οποίες ήταν περισσότερο έντονες στα βαθύτερα πιεσόμετρα. Με την κατασκευή των μέτρων αποστράγγισης επιτεύχθηκε μείωση της στάθμης στα βαθιά πιεσόμετρα τα οποία ανταποκρίνονται στις βροχοπτώσεις γρήγορα, αλλά η πίεση τους απομειώνεται εξίσου γρήγορα. Οι μετρήσεις επιβεβαιώνουν επίσης ότι η κύρια τροφοδοσία νερού γίνεται μέσω του κερματισμένου φλύσχη κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης. Αυτή τη χρονική περίοδο τα πιεσόμετρα δείχνουν ότι λειτουργούν ικανοποιητικά και ακολουθούν το επίπεδο των βροχοπτώσεων με μικρές διακυμάνσεις της ασκούμενης πίεσης.
2. Έχουν εγκατασταθεί τρία κλισιόμετρα τα K1, K2 και K3 στο σώμα της κατολίσθησης. Σε δύο από τα ανωτέρω στα K1, K2 παρουσιάζονται αθροιστικές αποκλίσεις που υπερβαίνουν τα 20 mm στα επιφανειακά τμήματα το διάστημα Οκτώβριος 2007-Σεπτέμβριος 2008. Γεγονός που επιβεβαιώνει επιφανειακή μετακίνηση αυτό το διάστημα, χωρίς ανησυχία για το μέλλον καθώς τα αποτελέσματα των κλισιομέτρων συνδυάζονται με εκείνα των τοπογραφικών βάθρων και των ανοικτών πιεσομέτρων. Οι εκτιμήσεις λοιπόν και των υπολοίπων, από τις μέχρι τώρα μετρήσεις συγκλίνουν στο ότι οι μετακινήσεις δεν είναι άξιες λόγου στο συγκεκριμένο χώρο.
3. Οι μετρήσεις των εκροών για το διάστημα Οκτώβριος 2007-Σεπτέμβριος 2008 είναι σχετικά μειωμένες σε σχέση με προηγούμενες τιμές. Οι μέσες τιμές της παροχαρακτηριστικότητας αυξήθηκαν και έγιναν σχετικά ανάλογες με τις μέσες τιμές των ετών '05 και '06 μόνο κατά την περίοδο που η στάθμη του ταμιευτήρα ήταν μεγαλύτερη από +485m. Σε τέτοια ύψη στάθμης η λίμνη ήταν για διάστημα πέντε (5) μηνών από τον Δεκέμβριο '07– Απρίλιο '08. Οι αρχικές μετρήσεις που δείχνουν αυξημένες παροχές παραπέμπουν στην αρχική στράγγιση του πρανούς που επιτεύχθηκε με τα μέτρα που λήφθηκαν (φρέατα - γεωτρήσεις, σήραγγα). Μετά τον Οκτώβριο 2001 αυξημένες εκροές φαίνεται πως είναι το επακόλουθο τόσο των σημαντικών βροχοπτώσεων, όσο και της παραμονής της στάθμης στον Ταμιευτήρα σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Gikas V., Paradissis D., Raptakis K., Antonatou O. (2005), **Deformation Studies of the Dam of Mornos Artificial Lake via Analysis of Geodetic Data**, FIG Working Week, Cairo, Egypt, April 16-21.

Gikas, V., Sakellariou, M. (2008), **Settlement Analysis of Mornos Earth Dam (Greece): Evidence from Numerical Modeling and Geodetic Monitoring**, Engineering Structures, Vol. 30, pp 3074–3081.

Παραδείσης, Δ. (2000), **Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας**, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Πολυτεχνείο.

Μήλας, Π. – Χ. Μπιλλήρης (2006), **Μετατροπές Συστημάτων Αναφοράς και Προβολικών Συστημάτων – Υψομετρικά Συστήματα Αναφοράς**, Τομέας Τοπογραφίας - Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Πολυτεχνείο.

Λογισμικό υπολογισμού σχετικής θέσης δύο συστημάτων αναφοράς, **DIFF** (1990), Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Πολυτεχνείο.

Αγατζά – Μπαλοδήμου, Α.Μ. (2007), **Θεωρία Σφαλμάτων & Συνορθώσεις II**, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Πολυτεχνείο.

Φωτίου, Α. - Χ. Πικριδάς (2006), **GPS ΚΑΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**, ΖΗΤΗ.

Λάμπρου, Ε. - Γ. Πανταζής (2010), **Εφαρμοσμένη Γεωδαισία**, ΖΗΤΗ.

Τσακίρη, Μ. (2005), **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ GPS**, Γεωδαισία II Σημειώσεις Μαθήματος, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Ε.Μ.Πολυτεχνείο.

Λέκκας, Ευθύμιος (1996), **Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές**, ΑΞΕΣ.

Ανδριτσάνος Β.Δ., Χ. Πικριδάς, Δ. Ρωσσικόπουλος, Η.Ν. Τζιαβός, Α. Φωτίου (1997), **Προσδιορισμός Υψομέτρων με το GPS για Χαρτογραφικές Εφαρμογές**, 4^ο Συνέδριο Χαρτογραφίας, Χαρτογραφία και Χάρτες στην Ανάδειξη και Προστασία του Περιβάλλοντος.

ΙΣΤΙΟΣΕΛΙΔΕΣ

Institute for Geodesy and Geophysics, Vienna University of Technology, Austria

<http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/29/92/85/PDF/nhess-5-755-2005.pdf>

The University of New South Wales <http://www.unsw.edu.au/>

Latest Results of Landslide Monitoring Project in Harbor of Ambarli Region

http://www.fig.net/pub/fig2011/papers/ts03f/ts03f_kalkan_bilgi_5318.pdf

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας <http://www.civ.uth.gr/>

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

http://e-topo.web.auth.gr/TOMEIS_INDEX/TOMEASA/Pikridas/Give/PUBLS/4.pdf

http://users.auth.gr/kvek/GPS_Kef_5.pdf

EUREF Homepage <http://www.epncb.oma.be/>

Δήμος Πλατάνου <http://www.dimosplatanou.gr/>

ΕΥΔΑΠ <http://www.eydap.gr/>

Ενημέρωση για τη Στερεά Ελλάδα <http://www.insterea.gr/>

Ηλεκτρονική Εγκυκλοπαίδεια

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%8D%CE%B7%CE%BD%CE%BF%CF%82>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. Αυτοσχέδια των σημείων που μετρήθηκαν κατά την διάρκεια των εργασιών πεδίου

Κωδικός Σημείου: **A** (Γεωδαιτικό Δίκτυο)

Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 40' 16'' .65717$, $\lambda = 21^{\circ} 50' 04'' .16649$, $h = 544.625$ m

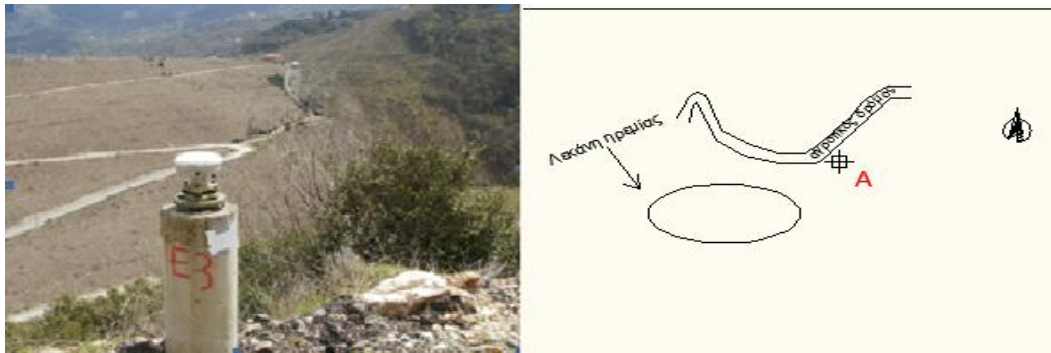
Ημερομηνίες Μέτρησης: **28/03/2011**

29/03/2011

30/03/2011

Περιγραφή βάθρου:

Το βάθρο του σημείου A έχει ύψος 0.73 m.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου A
Figure : Photograph and drawing of point A

Κωδικός Σημείου: **B** (Γεωδαιτικό Δίκτυο)

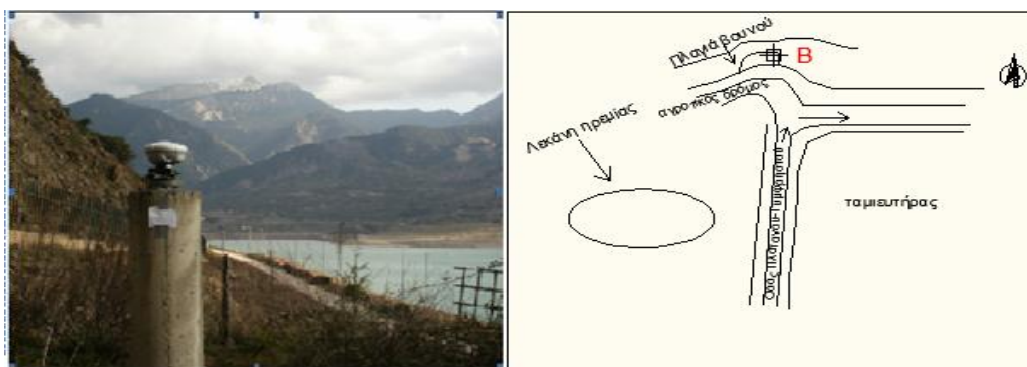
Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 40' 21'' .52503$, $\lambda = 21^{\circ} 50' 15'' .62520$, $h = 566.564$ m

Ημερομηνίες Μέτρησης: **28/03/2011**

30/03/2011

Περιγραφή βάθρου:

Το βάθρο του σημείου B έχει ύψος 1.14 m.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου B
Figure : Photograph and drawing of point B

Κωδικός Σημείου: **Δ (Γεωδαιτικό Δίκτυο)**

Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 40' 15'' .64538$, $\lambda = 21^{\circ} 50' 24'' .04066$, $h = 552.091$ m

Ημερομηνίες Μέτρησης: **28/03/2011**
29/03/2011
30/03/2011

Περιγραφή βάρου:

Το βάρου του σημείου Δ έχει ύψος 1.145 m.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου Δ
 Figure : Photograph and drawing of point D

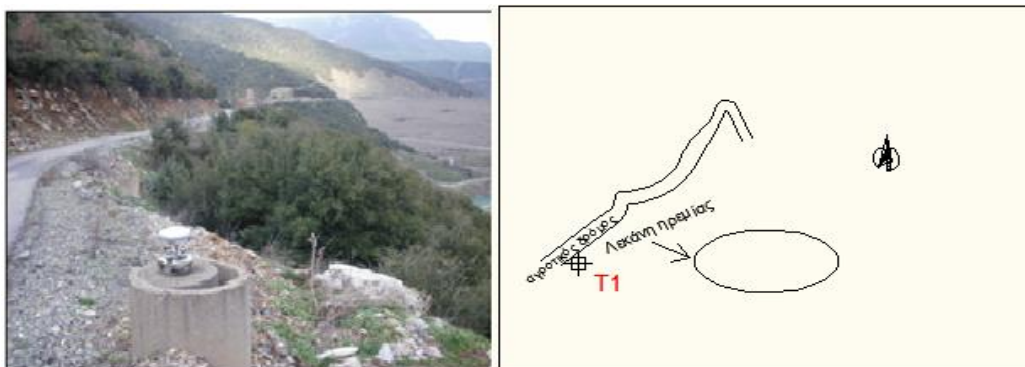
Κωδικός Σημείου: **T1 (Γεωδαιτικό Δίκτυο)**

Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 40' 05'' .86213$, $\lambda = 21^{\circ} 49' 36'' .83203$, $h = 529.371$ m

Ημερομηνίες Μέτρησης: **28/03/2011**
29/03/2011

Περιγραφή βάρου:

Το ύψος του βάρου του σημείου T1 δεν ήταν δυνατόν να μετρηθεί, καθώς περιμετρικά του άλλαζε το ύψος από το έδαφος.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου T1
 Figure : Photograph and drawing of point T1

Κωδικός Σημείου: **T3 (Γεωδαιτικό Δίκτυο)**

Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 39' 48'' .34758$, $\lambda = 21^{\circ} 50' 17'' .71390$, $h = 620.798$ m

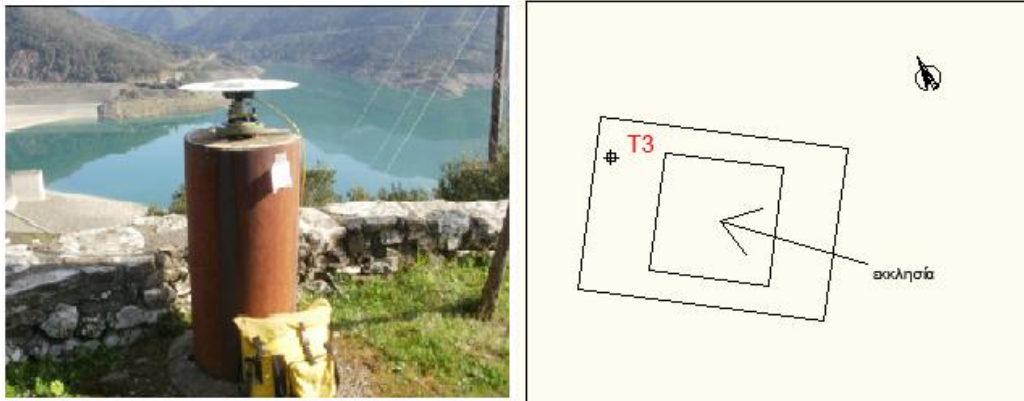
Ημερομηνίες Μέτρησης: **28/03/2011**

29/03/2011

30/03/2011

Περιγραφή βάρου:

Το βάθρο του σημείου T3 έχει ύψος 1.00 m.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου T3

Figure : Photograph and drawing of point T3

Κωδικός Σημείου: **T4 (Γεωδαιτικό Δίκτυο)**

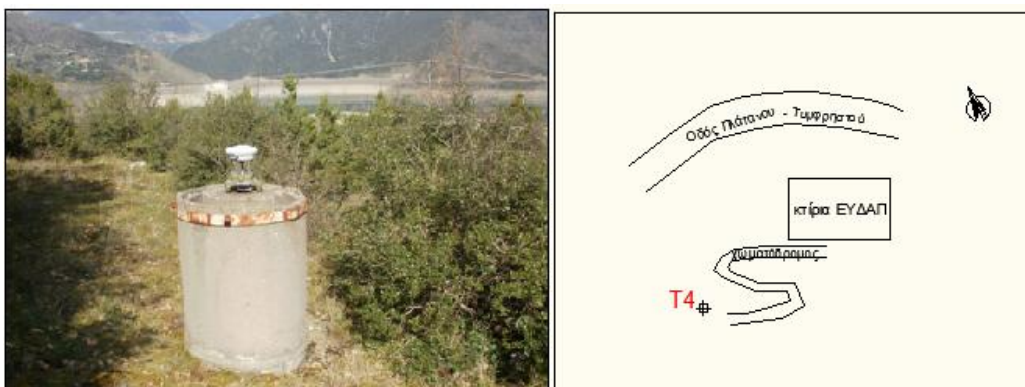
Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 39' 37'' .34964$, $\lambda = 21^{\circ} 51' 13'' .51537$, $h = 588.080$ m

Ημερομηνίες Μέτρησης: **29/03/2011**

30/03/2011

Περιγραφή βάρου:

Το βάθρο του σημείου T4 έχει ύψος 1.09 m.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου T4

Figure : Photograph and drawing of point T4

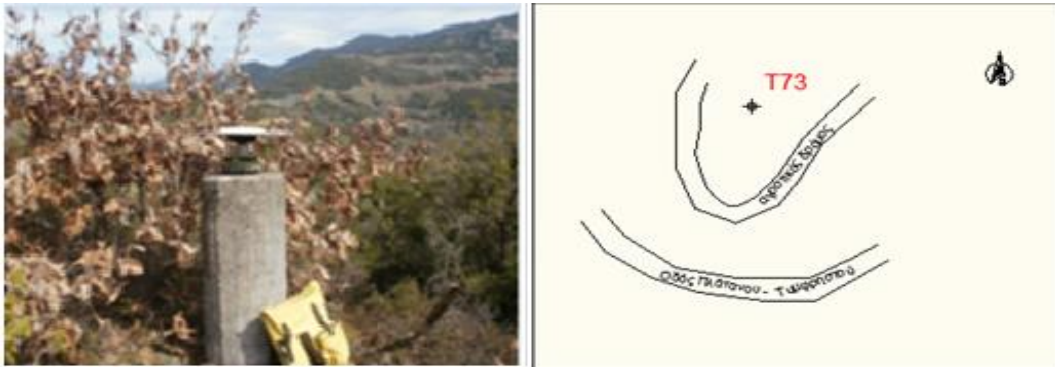
Κωδικός Σημείου: **T73 (Γ.Υ.Σ.)**

Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 40' 27''.34564$, $\lambda = 21^{\circ} 51' 14''.81819$, $h = 758.993$ m

Ημερομηνίες Μέτρησης: **30/03/2011**

Περιγραφή βάρου:

Το βάθρο του σημείου T73 έχει ύψος 1.09 m.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου T73
Figure : Photograph and drawing of point T73

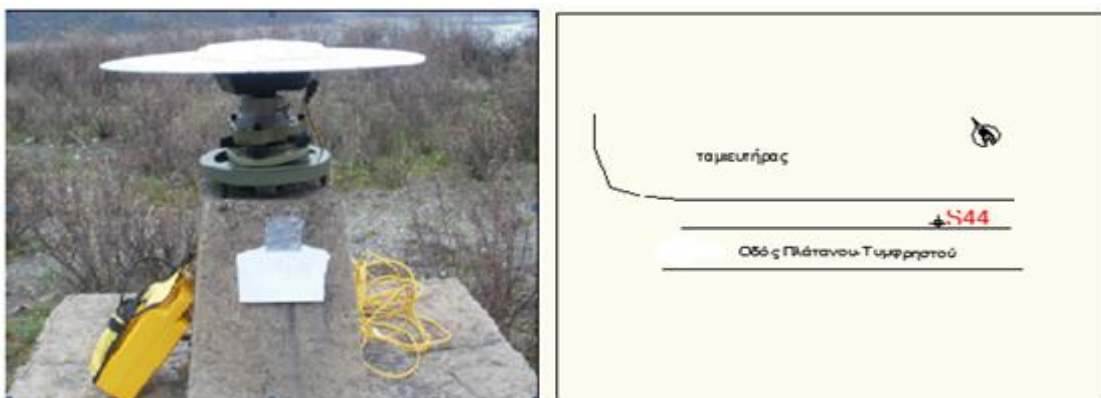
Κωδικός Σημείου: **S44 (Κατολίσθηση)**

Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 39' 50''.39388$, $\lambda = 21^{\circ} 50' 21''.60249$, $h = 557.100$ m

Ημερομηνίες Μέτρησης: **27/03/2011**

Περιγραφή βάρου:

Το ύψος του βάρου του σημείου S44 από το έδαφος είναι 0.76 m.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου S44
Figure : Photograph and drawing of point S44

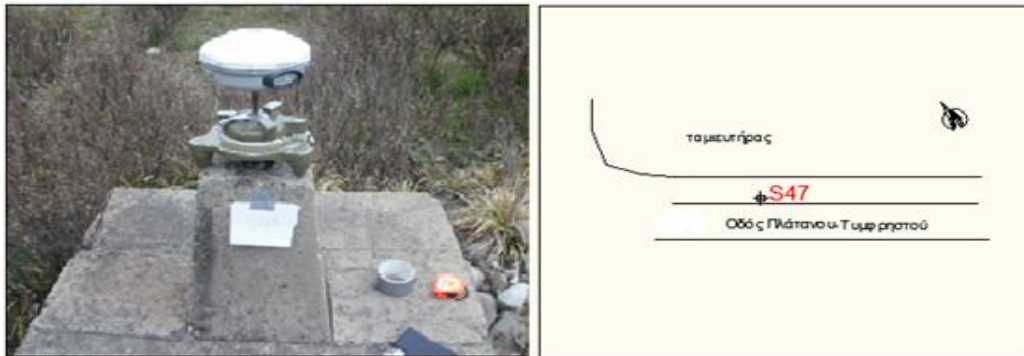
Κωδικός Σημείου: **S47** (Κατολίσθηση)

Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 39' 54'' .25579$, $\lambda = 21^{\circ} 50' 18'' .08331$, $h = 554.318$ m

Ημερομηνίες Μέτρησης: **27/03/2011**

Περιγραφή βάρου:

Το ύψος του βάρου του σημείου S47 από το έδαφος είναι 0.75 m.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου S47
Figure : Photograph and drawing of point S47

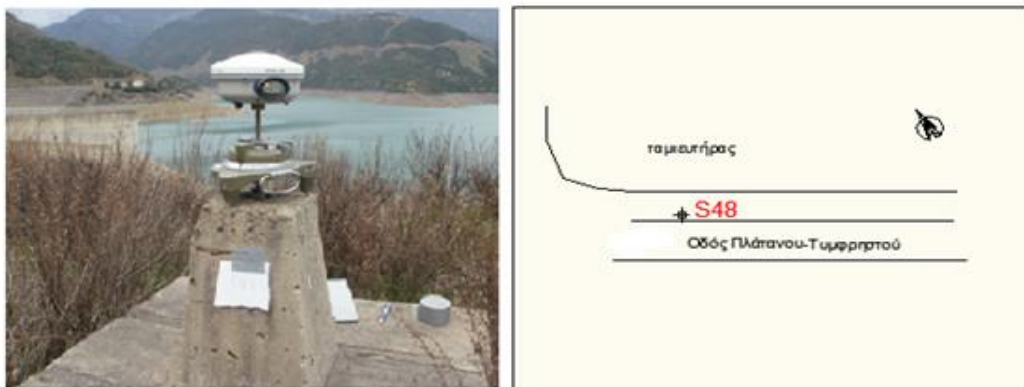
Κωδικός Σημείου: **S48** (Κατολίσθηση)

Συντεταγμένες στο WGS'84: $\varphi = 38^{\circ} 39' 55'' .49548$, $\lambda = 21^{\circ} 50' 16'' .96523$, $h = 553.255$ m

Ημερομηνίες Μέτρησης: **29/03/2011**

Περιγραφή βάρου:

Το ύψος του βάρου του σημείου S48 από το έδαφος είναι 0.945 m.



Σχήμα : Φωτογραφία και σκαρίφημα του σημείου S48
Figure : Photograph and drawing of point S48

**Β. Μεταβολές θέσης σημείων ελέγχου
“Κατολίσθησης 1993”**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΒΑΘΡΟ: ΒΘ1			ΒΑΘΡΟ: ΒΘ2			ΒΑΘΡΟ: ΒΘ3		
	ΔΝ (m)	ΔΕ (m)	ΔΗ (m)	ΔΝ (m)	ΔΕ (m)	ΔΗ (m)	ΔΝ (m)	ΔΕ (m)	ΔΗ (m)
5/8/2001									
5/9/2001									
15/9/2001									
25/9/2001	0,005	-0,021	0	-0,01	-0,028	0	-0,007	-0,013	0
5/10/2001	0,008	-0,022	-0,001	-0,009	-0,027	0	-0,006	-0,011	0
15/10/2001	0,007	-0,021	-0,001	-0,011	-0,025	-0,001	-0,005	-0,016	-0,001
25/10/2001	0,008	-0,019	-0,001	-0,011	-0,027	-0,002	-0,006	-0,017	-0,001
5/11/2001	0,008	-0,02	-0,001	-0,011	-0,026	0	-0,004	-0,011	0
15/11/2001	0,003	-0,019	0,001	-0,007	-0,023	0	-0,002	-0,006	0
25/11/2001	0,006	-0,021	0,002	-0,008	-0,024	0,001	-0,003	-0,008	0,002
5/12/2001	0,004	-0,022	0,001	-0,007	-0,024	0	-0,006	-0,008	0,002
15/12/2001	0,005	-0,022	-0,001	-0,006	-0,025	-0,001	0,001	-0,008	0,002
25/12/2001	0,005	-0,02	-0,001	-0,006	-0,025	-0,002	-0,003	-0,008	0,002
5/1/2002	0,005	-0,02	-0,002	-0,007	-0,024	-0,003	-0,004	-0,01	0,002
15/1/2002	0,008	-0,015	-0,002	-0,006	-0,022	-0,003	0,003	-0,005	0,002
25/1/2002	0,006	-0,017	-0,002	-0,008	-0,026	-0,003	-0,001	-0,003	0,002
5/2/2002	0,006	-0,019	-0,002	-0,006	-0,024	-0,004	-0,002	-0,005	0,002
15/2/2002	0,006	-0,018	-0,003	-0,004	-0,023	-0,004	0,001	-0,007	0,002
25/2/2002	0,006	-0,021	-0,003	-0,007	-0,025	-0,004	0	-0,008	0,002
5/3/2002	0,008	-0,02	-0,003	-0,005	-0,023	-0,004	0,002	-0,007	0,002
15/3/2002	0,01	-0,015	-0,003	-0,002	-0,021	-0,004	0,004	-0,001	0,001
25/3/2002	0,011	-0,018	-0,004	-0,002	-0,021	-0,005	0,004	-0,004	0,001
5/4/2002	0,006	-0,014	-0,005	-0,008	-0,025	-0,006	-0,001	-0,004	-0,003
15/4/2002	0,007	-0,015	-0,005	-0,008	-0,024	-0,007	-0,002	-0,003	-0,003
25/4/2002	0,006	-0,016	-0,005	-0,009	-0,025	-0,007	-0,001	-0,002	-0,003
5/5/2002	0,006	-0,014	-0,005	-0,008	-0,025	-0,006	-0,001	-0,004	-0,003
15/5/2002	0,007	-0,015	-0,005	-0,008	-0,024	-0,007	-0,002	-0,003	-0,003
25/5/2002	0,006	-0,016	-0,005	-0,009	-0,025	-0,007	-0,001	-0,002	-0,003
5/6/2002	0,006	-0,016	-0,005	-0,009	-0,025	-0,007	-0,001	-0,005	-0,003
15/6/2002	0,006	-0,017	-0,005	-0,008	-0,024	-0,007	-0,001	-0,009	-0,003
25/6/2002	0,005	-0,019	-0,005	-0,009	-0,026	-0,004	-0,002	-0,008	-0,003
5/7/2002	0,006	-0,016	-0,005	-0,009	-0,025	-0,007	-0,001	-0,005	-0,003
15/7/2002	0,006	-0,017	-0,005	-0,008	-0,024	-0,007	-0,001	-0,009	-0,003
25/7/2002	0,005	-0,019	-0,005	-0,009	-0,026	-0,004	-0,002	-0,008	-0,003
5/8/2002	0,009	-0,016	-0,005	-0,006	-0,021	-0,007	0	-0,006	-0,003
15/8/2002	0,009	-0,019	-0,005	-0,004	-0,02	-0,008	0,002	-0,006	-0,004
25/8/2002	0,007	-0,019	-0,005	-0,003	-0,02	-0,008	0,001	-0,006	-0,004
5/9/2002	0,008	-0,02	-0,006	-0,002	-0,02	-0,008	0,001	-0,007	-0,004
15/9/2002	0,008	-0,02	-0,006	-0,002	-0,021	-0,008	0	-0,006	-0,004

25/9/2002	0,007	-0,02	-0,006	-0,003	-0,022	-0,008	0	-0,008	-0,005
5/10/2002	0,007	-0,021	-0,006	-0,004	-0,023	-0,008	0,001	-0,008	-0,005
15/10/2002	0,006	-0,021	-0,006	-0,007	-0,025	-0,008	-0,001	-0,009	-0,005
25/10/2002	0,007	-0,021	-0,006	-0,006	-0,023	-0,008	0	-0,009	-0,005
5/11/2002	0,005	-0,018	-0,006	-0,004	-0,022	-0,009	-0,003	-0,009	-0,005
15/11/2002	0,002	-0,014	-0,006	-0,008	-0,021	-0,009	-0,004	-0,005	-0,005
25/11/2002	0	-0,015	-0,007	-0,009	-0,019	-0,009	-0,005	-0,003	-0,005
15/3/2003	0,015	-0,015	0,009	0,002	-0,028	0,006	0,006	-0,013	0,011
15/4/2003	0,014	-0,012	0,005	0,001	-0,021	0,004	0,006	-0,005	0,007
15/6/2003	0,012	-0,007	0,004	0	-0,017	-0,001	0,003	-0,001	0,007
15/7/2003	0,012	-0,007	0,004	0	-0,014	-0,002	0,003	0,001	0,007
25/8/2003	0,002	-0,002	0,005	-0,005	-0,005	-0,006	-0,006	0,004	0,004
5/9/2003	-0,002	-0,008	0,004	-0,009	-0,01	-0,005	-0,008	-0,002	0,005
25/9/2003	0,006	-0,004	-0,007	-0,002	-0,008	-0,019	-0,006	-0,003	-0,001
15/10/2003	0,006	-0,004	-0,007	-0,002	-0,008	-0,019	-0,006	-0,003	-0,001
15/11/2003	0,001	-0,009	-0,007	-0,004	-0,013	-0,017	-0,005	-0,006	-0,001
15/12/2003	0,002	-0,008	-0,006	-0,006	-0,012	-0,017	-0,006	-0,004	0
15/1/2004	0,001	-0,008	0	-0,004	-0,012	-0,017	-0,005	-0,002	0
15/2/2004	0,001	-0,008	0	-0,004	-0,012	-0,017	-0,005	-0,002	0
15/3/2004	0,003	-0,009	-0,004	-0,003	-0,009	-0,017	0,001	-0,006	0
15/4/2004	-0,001	-0,004	-0,01	0,005	-0,006	-0,019	-0,006	0,003	-0,005
15/5/2004	0,01	-0,009	-0,006	0,003	-0,005	-0,02	0,005	-0,005	0,001
15/6/2004	0,009	-0,004	-0,007	-0,003	-0,006	-0,028	0,002	0,002	0
15/7/2004	0,003	-0,006	-0,014	0	-0,006	-0,026	-0,002	0,002	-0,006
15/8/2004	0,009	-0,004	-0,011	0,001	-0,007	-0,027	-0,004	0,002	-0,003
15/9/2004	0,01	-0,007	-0,011	0,001	-0,007	-0,027	-0,001	0,002	-0,003
15/10/2004	0,01	-0,006	-0,012	-0,002	-0,011	-0,025	-0,002	0,003	-0,004
15/11/2004	0,002	-0,01	-0,009	-0,002	-0,01	-0,025	-0,002	-0,004	-0,001
15/12/2004	0,002	-0,007	-0,008	-0,002	-0,01	-0,025	-0,002	-0,004	0
15/1/2005	0,006	-0,005	-0,008	-0,003	-0,007	-0,025	-0,004	-0,003	0
15/5/2005	0,002	-0,004	-0,016	-0,004	-0,001	-0,033	0	0,001	-0,007
15/10/2005	0,003	-0,009	-0,015	-0,001	-0,002	-0,034	0,003	-0,001	-0,005
15/5/2006	0,008	-0,001	-0,017	0,004	-0,001	-0,036	0,003	0	-0,005
10/6/2006									
1/4/2007			-0,023			-0,044			-0,011
1/11/2007	0,005	0,001	-0,024	0,001	0,007	-0,045	0,001	0,004	-0,012
1/5/2008	0,001	-0,004	-0,023	-0,001	0,008	-0,044	0,003	0,001	-0,011
1/11/2008	-0,004	-0,005	-0,025	-0,003	0,008	-0,047	-0,001	-0,002	-0,012
1/11/2009	0	0	-0,023	0	0	-0,042	0	0	-0,012

Πίνακας : Διαφορές θέσης των σημείων ελέγχου “Β01”, “Β02”, “Β03” [ΕΥΔΑΠ]
 Table : Position differences for control points “Β01”, “Β02”, “Β03” [ΕΥΔΑΠ]

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΒΑΘΡΟ: Β04			ΒΑΘΡΟ: Β05			ΒΑΘΡΟ: Β06		
	ΔΝ (m)	ΔΕ (m)	ΔΗ (m)	ΔΝ (m)	ΔΕ (m)	ΔΗ (m)	ΔΝ (m)	ΔΕ (m)	ΔΗ (m)
5/8/2001									
5/9/2001									
15/9/2001									
25/9/2001	0,007	-0,009	0	0,005	-0,015	0	0,006	-0,012	0
5/10/2001	0,009	-0,01	-0,001	0,004	-0,013	-0,001	0,008	-0,014	0
15/10/2001	0,009	-0,007	-0,001	0,006	-0,013	-0,001	0,008	-0,012	0
25/10/2001	0,008	-0,007	-0,001	0,005	-0,014	-0,002	0,009	-0,013	-0,001
5/11/2001	0,007	-0,008	-0,001	0,007	-0,012	0	0,009	-0,013	0
15/11/2001	0,01	-0,006	0,001	0,009	-0,011	0,001	0,009	-0,012	0,002
25/11/2001	0,01	-0,008	0,002	0,008	-0,011	0,004	0,009	-0,012	0,005
5/12/2001	0,011	-0,007	0,001	0,007	-0,012	0,003	0,009	-0,011	0,004
15/12/2001	0,014	-0,006	0,001	0,01	-0,012	0,001	0,011	-0,011	0,002
25/12/2001	0,013	-0,005	0,001	0,009	-0,012	0	0,01	-0,012	0,001
5/1/2002	0,013	-0,007	0,001	0,008	-0,014	0	0,01	-0,011	0,001
15/1/2002	0,011	-0,002	0,001	0,012	-0,01	0	0,011	-0,009	0,001
25/1/2002	0,01	-0,001	0,001	0,014	-0,009	0	0,009	-0,007	0,001
5/2/2002	0,009	-0,001	0,001	0,013	-0,009	0	0,01	-0,008	0,001
15/2/2002	0,012	-0,004	0,001	0,011	-0,01	0	0,014	-0,009	0,001
25/2/2002	0,012	-0,006	0,001	0,007	-0,011	0	0,015	-0,009	0,001
5/3/2002	0,011	-0,005	0,001	0,008	-0,011	0	0,013	-0,008	0,001
15/3/2002	0,013	-0,002	0,001	0,012	-0,008	0	0,011	-0,006	0,001
25/3/2002	0,013	-0,003	0	0,013	-0,007	0	0,011	-0,006	0,001
5/4/2002	0,01	-0,007	-0,002	0,008	-0,01	-0,004	0,013	-0,004	-0,002
15/4/2002	0,009	-0,007	-0,002	0,008	-0,01	-0,004	0,013	-0,006	-0,002
25/4/2002	0,01	-0,008	-0,002	0,007	-0,011	-0,004	0,012	-0,006	-0,002
5/5/2002	0,01	-0,007	-0,002	0,008	-0,01	-0,004	0,013	-0,004	-0,002
15/5/2002	0,009	-0,007	-0,002	0,008	-0,01	-0,004	0,013	-0,006	-0,002
25/5/2002	0,01	-0,008	-0,002	0,007	-0,011	-0,004	0,012	-0,006	-0,002
5/6/2002	0,009	-0,008	-0,002	0,008	-0,01	-0,004	0,012	-0,007	-0,002
15/6/2002	0,01	-0,009	-0,002	0,009	-0,01	-0,004	0,01	-0,009	-0,002
25/6/2002	0,011	-0,01	-0,002	0,007	-0,011	-0,004	0,009	-0,01	-0,002
5/7/2002	0,009	-0,008	-0,002	0,008	-0,01	-0,004	0,012	-0,007	-0,002
15/7/2002	0,01	-0,009	-0,002	0,009	-0,01	-0,004	0,01	-0,009	-0,002
25/7/2002	0,011	-0,01	-0,002	0,007	-0,011	-0,004	0,009	-0,01	-0,002
5/8/2002	0,013	-0,006	-0,002	0,009	-0,008	-0,004	0,011	-0,008	-0,002
15/8/2002	0,013	-0,006	-0,002	0,011	-0,01	-0,004	0,014	-0,01	-0,002
25/8/2002	0,012	-0,005	-0,002	0,011	-0,011	-0,004	0,013	-0,011	-0,003
5/9/2002	0,012	-0,005	-0,002	0,01	-0,009	-0,004	0,012	-0,011	-0,003
15/9/2002	0,012	-0,006	-0,002	0,009	-0,01	-0,004	0,011	-0,01	-0,004
25/9/2002	0,011	-0,007	-0,003	0,009	-0,012	-0,004	0,01	-0,011	-0,004
5/10/2002	0,011	-0,007	-0,003	0,009	-0,012	-0,004	0,01	-0,011	-0,004
15/10/2002	0,011	-0,006	-0,003	0,008	-0,013	-0,004	0,01	-0,011	-0,004

25/10/2002	0,01	-0,007	-0,003	0,008	-0,015	-0,004	0,009	-0,012	-0,004
5/11/2002	0,006	-0,004	-0,004	0,007	-0,012	-0,004	0,007	-0,013	-0,005
15/11/2002	0,005	-0,005	-0,004	0,004	-0,006	-0,004	0,009	-0,014	-0,005
25/11/2002	0,003	-0,006	-0,004	0,003	-0,006	-0,004	0,009	-0,015	-0,005
15/3/2003	0,013	-0,01	0,008	0,018	-0,013	0,004	0,018	-0,011	0,01
15/4/2003	0,012	-0,005	0,004	0,013	-0,007	0,002	0,018	-0,005	0,011
15/6/2003	0,012	0	0,004	0,007	0	-0,004	0,013	-0,001	0,002
15/7/2003	0,011	-0,002	0,004	0,003	0,001	-0,003	0,012	0,001	0,001
25/8/2003	0,003	0,007	0,009	0,004	0,006	-0,005	0,001	0,005	0
5/9/2003	-0,001	0,004	0,007	0,001	-0,001	-0,005	-0,003	0,001	0
25/9/2003	0,001	0	-0,004	0,006	-0,003	-0,016	0,001	-0,002	-0,01
15/10/2003	0,001	0	-0,004	0,006	-0,003	-0,016	0,001	-0,002	-0,01
15/11/2003	0,001	-0,002	-0,004	0,006	-0,003	-0,016	0,003	-0,002	-0,01
15/12/2003	0,001	0	-0,004	0,006	-0,002	-0,015	0,001	-0,002	-0,01
15/1/2004	0,001	0	0,003	0,005	-0,003	-0,01	0,001	-0,001	-0,002
15/2/2004	0,001	0	0,003	0,005	-0,003	-0,01	0,001	-0,001	-0,002
15/3/2004	0,005	-0,004	-0,002	0,006	-0,006	-0,013	0,003	-0,001	-0,005
15/4/2004	-0,001	-0,004	-0,007	0,007	-0,001	-0,017	0,003	0,002	-0,01
15/5/2004	0,009	-0,004	-0,002	0,012	-0,003	-0,015	0,007	-0,002	-0,007
15/6/2004	0,007	0,002	-0,002	0,008	0,001	-0,015	0,006	0,005	-0,007
15/7/2004	-0,001	0,001	-0,007	0,003	-0,001	-0,023	0	0,004	-0,014
15/8/2004	0,002	-0,001	-0,005	0,007	-0,003	-0,021	0,003	0,002	-0,012
15/9/2004	0	0,001	-0,003	0,008	-0,003	-0,022	0,011	0,001	-0,012
15/10/2004	0	-0,001	-0,005	0,008	-0,003	-0,022	0,002	0,001	-0,013
15/11/2004	-0,001	0,003	-0,004	0,009	-0,003	-0,018	0,003	-0,001	-0,007
15/12/2004	0,001	0,001	-0,003	0,007	-0,004	-0,017	0,003	-0,001	-0,008
15/1/2005	0,004	0,002	-0,003	0,008	-0,004	-0,017	0,003	0	-0,008
15/5/2005	0,003	0,005	-0,01	0,003	0,001	-0,026	0,003	0,004	-0,014
15/10/2005	0,006	-0,001	-0,008	0,009	-0,005	-0,029	0,005	0,001	-0,015
15/5/2006	0,006	0,002	-0,008	0,007	0,003	-0,029	0,006	0,003	-0,015
10/6/2006									
1/4/2007			-0,016			-0,039			-0,021
1/11/2007	0,001	0,004	-0,016	0,007	0,001	-0,041	0,001	0,006	-0,021
1/5/2008	0	0,002	-0,015	0,006	-0,001	-0,039	0,001	0,017	-0,021
1/11/2008	-0,001	-0,001	-0,016	0,001	-0,006	-0,038	0	0,003	-0,023
1/11/2009	0	0	-0,007	0	0	-0,044	0	0	-0,021

Πίνακας : Διαφορές θέσης των σημείων ελέγχου “ΒΘ4”, “ΒΘ5”, “ΒΘ6” [ΕΥΔΑΠ]
 Table : Position differences for control points “ΒΘ4”, “ΒΘ5”, “ΒΘ6” [ΕΥΔΑΠ]

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	<u>ΒΑΘΡΟ: ΒΘ7</u>			<u>ΒΑΘΡΟ: ΒΘ8</u>		
	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)
5/8/2001						
5/9/2001						
15/9/2001						
25/9/2001	0,002	-0,01	0			
5/10/2001	0,004	-0,01	0			
15/10/2001	0,005	-0,01	-0,001			
25/10/2001	0,006	-0,009	-0,002			
5/11/2001	0,005	-0,009	0			
15/11/2001	0,002	-0,008	0,003			
25/11/2001	0,002	-0,008	0,005			
5/12/2001	0,003	-0,009	0,003			
15/12/2001	0	-0,01	-0,002			
25/12/2001	-0,002	-0,012	-0,005			
5/1/2002	-0,001	-0,011	-0,005	0,007	-0,018	0
15/1/2002	0,004	-0,007	-0,006	0,006	-0,015	0
25/1/2002	0	-0,005	-0,006	0,008	-0,013	0
5/2/2002	0,002	-0,009	-0,007	0,007	-0,017	0
15/2/2002	0,003	-0,008	-0,007	0,007	-0,018	0
25/2/2002	0,003	-0,008	-0,007	0,006	-0,019	0
5/3/2002	0,002	-0,007	-0,007	0,007	-0,019	0
15/3/2002	0,003	-0,005	-0,007	0,008	-0,019	0
25/3/2002	0,004	-0,006	-0,009	0,009	-0,018	0
5/4/2002	0,002	-0,004	-0,009	0,009	-0,018	0
15/4/2002	0	-0,004	-0,009	0,008	-0,017	0
25/4/2002	0	-0,004	-0,009	0,009	-0,018	0
5/5/2002	0,002	-0,004	-0,009	0,009	-0,018	0
15/5/2002	0	-0,004	-0,009	0,008	-0,017	0
25/5/2002	0	-0,004	-0,009	0,009	-0,018	0
5/6/2002	-0,001	-0,005	-0,009	0,009	-0,018	0
15/6/2002	0,001	-0,009	-0,009	0,006	-0,02	0
25/6/2002	-0,001	-0,008	-0,009	0,005	-0,021	0
5/7/2002	-0,001	-0,005	-0,009	0,009	-0,018	0
15/7/2002	0,001	-0,009	-0,009	0,006	-0,02	0
25/7/2002	-0,001	-0,008	-0,009	0,005	-0,021	0
5/8/2002	-0,001	-0,009	-0,009	0,008	-0,02	-0,001
15/8/2002	0,002	-0,01	-0,01	0,007	-0,02	-0,001
25/8/2002	0,002	-0,01	-0,01	0,007	-0,02	-0,001
5/9/2002	0,001	-0,011	-0,01	0,007	-0,021	-0,001
15/9/2002	0,001	-0,011	-0,01	0,007	-0,02	-0,001
25/9/2002	0	-0,011	-0,01	0,006	-0,02	-0,001
5/10/2002	-0,001	-0,012	-0,01	0,006	-0,02	-0,001

15/10/2002	-0,001	-0,011	-0,011	0,006	-0,021	-0,001
25/10/2002	-0,002	-0,011	-0,011	0,005	-0,021	-0,001
5/11/2002	-0,002	-0,011	-0,012	0,005	-0,019	-0,001
15/11/2002	-0,003	-0,01	-0,012	0,002	-0,019	-0,001
25/11/2002	-0,003	-0,009	-0,012	0,001	-0,016	-0,001
15/3/2003	0,009	-0,013	0,004	0,008	-0,019	
15/4/2003	0,009	-0,006	0,004	0,008	-0,017	0
15/6/2003	0,009	-0,002	-0,005	0,009	-0,017	0
15/7/2003	0,007	-0,001	-0,009	0,009	-0,017	0
25/8/2003	-0,002	0,003	-0,009	0,009	-0,011	
5/9/2003	-0,004	-0,003	-0,009	0,007	-0,012	-0,001
25/9/2003	-0,003	-0,005	-0,021	0,005	-0,011	-0,001
15/10/2003	-0,003	-0,005	-0,021	0,005	-0,011	-0,001
15/11/2003	-0,006	0	-0,02	0,006	-0,012	-0,001
15/12/2003	-0,004	-0,002	-0,01	0,005	-0,011	-0,001
15/1/2004	-0,003	-0,002	-0,013	0,006	-0,012	-0,001
15/2/2004	-0,003	-0,002	-0,013	0,006	-0,012	-0,001
15/3/2004	0,002	-0,002	-0,017	0,007	-0,011	-0,001
15/4/2004	-0,004	0,001	-0,02	0,007	-0,011	-0,001
15/5/2004	0,004	-0,002	-0,017	0,005	-0,012	-0,001
15/6/2004	0,003	0,002	-0,018	0,005	-0,012	-0,001
15/7/2004	-0,005	0,004	-0,026	0,005	-0,011	-0,001
15/8/2004	0,001	0,002	-0,024	0,004	-0,012	-0,001
15/9/2004	0	0,003	-0,024	0,005	-0,012	-0,001
15/10/2004	0	0,003	-0,025	0,005	-0,013	-0,001
15/11/2004	-0,001	-0,001	-0,02			
15/12/2004	0,001	0,002	-0,02			-0,001
15/1/2005	0,002	0,005	-0,02			-0,002
15/5/2005	-0,004	0,003	-0,028	0,004	-0,013	-0,002
15/10/2005	0,003	-0,004	-0,03	0,004	-0,014	-0,004
15/5/2006	0,001	0	-0,029	0,005	-0,013	-0,003
10/6/2006						
1/4/2007			-0,037			-0,004
1/11/2007	0,005	0	-0,039	0,001	-0,002	-0,005
1/5/2008	0,003	0,004	-0,037	0,002	-0,004	-0,005
1/11/2008	0	-0,002	-0,04	0,001	-0,001	-0,005
1/11/2009	0	0	-0,038	0	0	-0,005

Πίνακας : Διαφορές θέσης των σημείων ελέγχου “ΒΘ7”, “ΒΘ8” [ΕΥΔΑΠ]
Table : Position differences for control points “ΒΘ7”, “ΒΘ8” [ΕΥΔΑΠ]

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΒΑΘΡΟ: S44			ΒΑΘΡΟ: S45			ΒΑΘΡΟ: S46		
	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)
5/8/2001	-0,008	-0,017	0	0,001	0,005	0	0,049	0,004	0
5/9/2001	-0,007	-0,02	-0,001	0,001	0,015	0	0,049	0,01	-0,001
15/9/2001									
25/9/2001									
5/10/2001	-0,008	-0,019	-0,001	-0,001	0,013	-0,001	0,05	0,009	-0,001
15/10/2001	-0,007	-0,022	-0,003	0	0,011	-0,001	0,049	0,008	-0,002
25/10/2001	-0,008	-0,021	-0,004	0,001	0,009	-0,002	0,048	0,009	-0,004
5/11/2001	-0,009	-0,02	-0,003	0,001	0,013	-0,002	0,049	0,008	-0,005
15/11/2001	-0,008	-0,017	-0,003	0	0,019	-0,001	0,049	0,011	-0,006
25/11/2001	-0,007	-0,018	-0,001	-0,001	0,019	-0,001	0,05	0,011	-0,006
5/12/2001	-0,009	-0,019	-0,004	0	0,018	-0,002	0,046	0,01	-0,008
15/12/2001	-0,011	-0,016	-0,005	-0,001	0,013	-0,003	0,049	0	-0,009
25/12/2001	-0,01	-0,017	-0,007	0	0,01	-0,004	0,05	0,002	-0,011
5/1/2002	-0,014	-0,024	-0,018	0,002	0,004	-0,008	0,052	-0,001	-0,016
15/1/2002	-0,014	-0,023	-0,018	0,002	0,005	-0,008	0,053	0,002	-0,018
25/1/2002	-0,013	-0,022	-0,019	0,005	0,011	-0,008	0,056	0,003	-0,018
5/2/2002	-0,014	-0,016	-0,019	0,004	0,01	-0,008	0,055	0,002	-0,018
15/2/2002	-0,017	-0,01	-0,02	0,003	0,009	-0,008	0,052	0,011	-0,018
25/2/2002	-0,017	-0,012	-0,02	0,003	0,01	-0,008	0,052	0,009	-0,018
5/3/2002	-0,015	-0,01	-0,021	0,004	0,011	-0,008	0,051	0,008	-0,018
15/3/2002	-0,015	-0,003	-0,021	0,005	0,013	-0,01	0,055	0,009	-0,018
25/3/2002	-0,016	-0,003	-0,021	0,006	0,013	-0,01	0,055	0,01	-0,018
5/4/2002	-0,012	-0,014	-0,024	0,006	0,015	-0,01	0,054	0,01	-0,018
15/4/2002	-0,014	-0,013	-0,024	0,005	0,013	-0,01	0,053	0,009	-0,018
25/4/2002	-0,015	-0,015	-0,024	0,003	0,013	-0,01	0,054	0,008	-0,018
5/5/2002	-0,012	-0,014	-0,024	0,006	0,015	-0,01	0,054	0,01	-0,018
15/5/2002	-0,014	-0,013	-0,024	0,005	0,013	-0,01	0,053	0,009	-0,018
25/5/2002	-0,015	-0,015	-0,024	0,003	0,013	-0,01	0,054	0,008	-0,018
5/6/2002	-0,015	-0,017	-0,024	0,003	0,011	-0,01	0,054	0,007	-0,018
15/6/2002	-0,014	-0,02	-0,024	0,004	0,007	-0,01	0,054	0,002	-0,019
25/6/2002	-0,015	-0,019	-0,024	0,004	0,008	-0,01	0,053	0,002	-0,019
5/7/2002	-0,015	-0,017	-0,024	0,003	0,011	-0,01	0,054	0,007	-0,018
15/7/2002	-0,014	-0,02	-0,024	0,004	0,007	-0,01	0,054	0,002	-0,019
25/7/2002	-0,015	-0,019	-0,024	0,004	0,008	-0,01	0,053	0,002	-0,019
5/8/2002	-0,02	-0,019	-0,025	0,001	0,004	-0,01	0,051	0,002	-0,019
15/8/2002	-0,02	-0,028	-0,025	0,002	0,001	-0,011	0,049	-0,007	-0,019
25/8/2002	-0,019	-0,029	-0,025	0,001	0	-0,011	0,046	-0,009	-0,019
5/9/2002	-0,019	-0,028	-0,025	-0,001	0	-0,011	0,044	-0,01	-0,019
15/9/2002	-0,02	-0,024	-0,025	-0,001	0,001	-0,011	0,043	-0,009	-0,019
25/9/2002	-0,02	-0,025	-0,025	0	0,001	-0,011	0,044	-0,011	-0,019
5/10/2002	-0,02	-0,026	-0,025	0,001	-0,001	-0,011	0,044	-0,011	-0,02
15/10/2002	-0,021	-0,027	-0,026	0,002	-0,002	-0,011	0,043	-0,012	-0,02
25/10/2002	-0,022	-0,028	-0,026	0,002	-0,002	-0,011	0,042	-0,009	-0,02

5/11/2002	-0,022	-0,027	-0,026	0,002	0	-0,012	0,044	-0,005	-0,02
15/11/2002	-0,021	-0,029	-0,026	0,001	0,001	-0,012	0,045	-0,001	-0,02
25/11/2002	-0,02	-0,03	-0,027	0	0	-0,013	0,046	0,004	-0,021
15/3/2003			-0,023			0	0,024	-0,013	-0,013
15/4/2003			-0,023			-0,001	0,019	-0,002	-0,014
15/6/2003	-0,011	-0,034	-0,029			-0,007	0,015	-0,001	-0,02
15/7/2003	-0,01	-0,031	-0,029			-0,007	0,017	-0,002	-0,019
25/8/2003	0,002	-0,01	-0,033			-0,01	0,005	0,008	-0,022
5/9/2003	-0,008	-0,029	-0,033			-0,01	0,006	0	-0,021
25/9/2003	-0,014	-0,024	-0,031			-0,008	0,011	0	-0,022
15/10/2003	-0,014	-0,024	-0,031			-0,008	0,011	0	-0,022
15/11/2003	-0,012	-0,024	-0,03			-0,008	0,009	-0,003	-0,021
15/12/2003	-0,01	-0,024	-0,031			-0,009	0,008	-0,001	-0,022
15/1/2004	-0,012	-0,024	-0,031			-0,006	0,009	-0,002	-0,017
15/2/2004	-0,012	-0,024	-0,031			-0,006	0,009	-0,002	-0,017
15/3/2004	-0,012	-0,024	-0,038				0,012	-0,004	-0,024
15/4/2004	-0,012	-0,024	-0,031			-0,015	0,014	-0,002	-0,026
15/5/2004	-0,012	-0,024	-0,039			-0,013	0,014	-0,003	-0,025
15/6/2004	-0,012	-0,024	-0,039			-0,013	0,009	0	-0,025
15/7/2004	-0,012	-0,024	-0,038			-0,015	0,005	0,001	-0,026
15/8/2004	-0,012	-0,024	-0,039			-0,013	0,008	0	-0,025
15/9/2004	-0,017	-0,024	-0,039			-0,012	0,014	0	-0,024
15/10/2004	-0,017	-0,024	-0,04			-0,013	0,012	-0,001	-0,025
15/11/2004	-0,014	-0,022	-0,04			-0,014	0,017	-0,001	-0,027
15/12/2004	-0,014	-0,023	-0,04			-0,014	0,012	-0,001	-0,026
15/1/2005	-0,028	-0,029	-0,04			-0,014	0,008	-0,001	-0,026
15/5/2005	-0,019	-0,024	-0,045			-0,016	0,008	0,001	-0,028
15/10/2005	-0,02	-0,043	-0,045			-0,016	0,013	0	-0,029
15/5/2006	-0,024	-0,046	-0,047			-0,016	0,013	-0,005	-0,029
10/6/2006									
1/4/2007			-0,055			-0,023			-0,034
1/11/2007	0,001	-0,002	-0,055			-0,024	0,004	0	-0,036
1/5/2008	-0,002	0,003	-0,055			-0,022	0,002	0,008	-0,034
1/11/2008	0	0	-0,054			-0,021	0,002	0	-0,034
1/11/2009			-0,056			-0,021	0	0	-0,033

Πίνακας : Διαφορές θέσης των σημείων ελέγχου "S44", "S45", "S46" [ΕΥΔΑΠ]
Table : Position differences for control points "S44", "S45", "S46" [ΕΥΔΑΠ]

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	<u>ΒΑΘΡΟ: S47</u>			<u>ΒΑΘΡΟ: S48</u>		
	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔH (m)
5/8/2001	0,026	-0,008	0	-0,002	-0,022	0
5/9/2001	0,024	0,004	0	0	-0,026	-0,001
15/9/2001						
25/9/2001						
5/10/2001	0,025	-0,006	-0,003	-0,002	-0,024	-0,001
15/10/2001	0,027	-0,01	-0,004	-0,002	-0,024	-0,003
25/10/2001	0,026	-0,008	-0,007	-0,003	-0,023	-0,004
5/11/2001	0,023	-0,001	-0,01	-0,003	-0,022	-0,004
15/11/2001	0,025	0	-0,008	-0,004	-0,015	-0,004
25/11/2001	0,025	-0,007	-0,008	-0,005	-0,015	-0,004
5/12/2001	0,026	-0,002	-0,013	-0,005	-0,016	-0,01
15/12/2001	0,035	-0,004	-0,021	0,002	-0,019	-0,024
25/12/2001	0,03	-0,005	-0,027	0,001	-0,019	-0,029
5/1/2002	0,038	-0,006	-0,041	0,019	-0,017	-0,048
15/1/2002	0,039	-0,003	-0,041	0,021	-0,014	-0,048
25/1/2002	0,041	0,002	-0,041	0,018	-0,008	-0,048
5/2/2002	0,039	-0,002	-0,042	0,016	-0,005	-0,05
15/2/2002	0,04	-0,003	-0,042	0,017	-0,003	-0,052
25/2/2002	0,038	0,001	-0,042	0,017	-0,004	-0,053
5/3/2002	0,039	-0,001	-0,044	0,017	-0,002	-0,053
15/3/2002	0,038	0,002	-0,045	0,021	0,001	-0,054
25/3/2002	0,038	0,002	-0,045	0,021	0	-0,054
5/4/2002	0,04	0,006	-0,046	0,021	-0,003	-0,054
15/4/2002	0,039	0,004	-0,046	0,021	-0,005	-0,055
25/4/2002	0,038	0,004	-0,046	0,019	-0,005	-0,056
5/5/2002	0,04	0,006	-0,046	0,021	-0,003	-0,054
15/5/2002	0,039	0,004	-0,046	0,021	-0,005	-0,055
25/5/2002	0,038	0,004	-0,046	0,019	-0,005	-0,056
5/6/2002	0,037	0,004	-0,046	0,021	-0,005	-0,056
15/6/2002	0,036	0,004	-0,046	0,022	-0,006	-0,056
25/6/2002	0,035	0,003	-0,046	0,022	-0,007	-0,056
5/7/2002	0,037	0,004	-0,046	0,021	-0,005	-0,056
15/7/2002	0,036	0,004	-0,046	0,022	-0,006	-0,056
25/7/2002	0,035	0,003	-0,046	0,022	-0,007	-0,056
5/8/2002	0,032	-0,008	-0,046	0,014	-0,007	-0,056
15/8/2002	0,035	-0,013	-0,046	0,02	-0,011	-0,057
25/8/2002	0,033	-0,013	-0,047	0,018	-0,014	-0,057
5/9/2002	0,034	-0,014	-0,047	0,015	-0,014	-0,057
15/9/2002	0,033	-0,012	-0,047	0,015	-0,014	-0,057
25/9/2002	0,032	-0,01	-0,048	0,014	-0,014	-0,057
5/10/2002	0,032	-0,012	-0,048	0,014	-0,011	-0,057
15/10/2002	0,032	-0,013	-0,048	0,012	-0,01	-0,057
25/10/2002	0,032	-0,01	-0,048	0,015	-0,012	-0,057

5/11/2002	0,031	-0,008	-0,048	0,017	-0,008	-0,058
15/11/2002	0,032	-0,005	-0,048	0,02	-0,006	-0,058
25/11/2002	0,033	-0,002	-0,048	0,021	-0,004	-0,058
15/3/2003	0,007	-0,013	-0,048	-0,002	-0,007	
15/4/2003	0,004	-0,003	-0,048	-0,004	0,002	-0,058
15/6/2003	0,002	0	-0,054	-0,004	0,006	
15/7/2003	0,003	-0,002	-0,053	-0,002	0,005	-0,064
25/8/2003	-0,01	0,015	-0,058	-0,014	0,017	-0,069
5/9/2003	-0,009	0,004	-0,06	-0,013	0,008	-0,069
25/9/2003	-0,005	0,005	-0,059	-0,01	0,009	-0,07
15/10/2003	-0,005	0,005	-0,059	-0,01	0,009	-0,07
15/11/2003	0,002	0	-0,059	-0,007	0,003	-0,071
15/12/2003	-0,004	0,003	-0,059	-0,008	0,006	-0,069
15/1/2004	-0,005	0,002	-0,055	-0,009	0,006	-0,064
15/2/2004	-0,005	0,002	-0,055	-0,009	0,006	-0,064
15/3/2004	-0,001	-0,002	-0,062	-0,009	0,005	-0,072
15/4/2004	0,001	0,001	-0,064	-0,009	0,003	-0,074
15/5/2004	0,005	0,001	-0,063	-0,003	0	-0,073
15/6/2004	-0,003	0,007	-0,063	-0,006	0,008	-0,073
15/7/2004	-0,007	0,003	-0,065	-0,011	0,009	-0,075
15/8/2004	-0,002	0,005	-0,064	-0,007	0,007	-0,074
15/9/2004	0,002	0,003	-0,063	-0,004	0,009	-0,073
15/10/2004	0,002	0,003	-0,064	-0,005	0,009	-0,074
15/11/2004	0,003	0,004	-0,067	-0,003	0,002	-0,077
15/12/2004	0,001	0,003	-0,066	-0,007	0,006	-0,076
15/1/2005	-0,001	0,005	-0,066	-0,007	0,008	-0,076
15/5/2005	-0,002	0,006	-0,068	-0,006	0,004	-0,078
15/10/2005	0,004	0,008	-0,071	-0,001	0,004	-0,082
15/5/2006	0,003	0,005	-0,07	-0,002	0,008	-0,085
10/6/2006						
1/4/2007			-0,076			-0,093
1/11/2007	-0,001	0,006	-0,078	-0,004	0,004	-0,094
1/5/2008	0,003	0,002	-0,077	-0,001	0	-0,092
1/11/2008	0,001	0,003	-0,077	-0,001	-0,005	-0,096
1/11/2009	0	0	-0,079	0	0	-0,101

Πίνακας : Διαφορές θέσης των σημείων ελέγχου "S47", "S48" [ΕΥΔΑΠ]
Table : Position differences for control points "S47", "S48" [ΕΥΔΑΠ]