

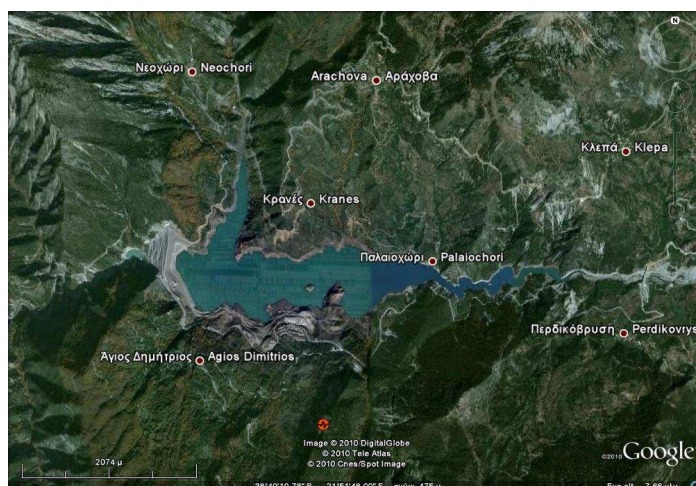


«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ / ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΕΥΗΝΟΥ»

ΑΝΤΩΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Δ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ – ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΓΚΙΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ – ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έγινε στα πλαίσια του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος «ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ» της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.. Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που γνώρισα, συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίησή της.

Πρώτο από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Βασίλειο Γκίκα για την πολύτιμη καθοδήγηση του την εμπιστοσύνη και εκτίμηση που μου έδειξε. Η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας έγινε πραγματικότητα χάρις τη δική του συνεργασία, καθοδήγηση και ενθάρρυνση. Οι συμβουλές και οι προτάσεις του κατά την διάρκεια της ανάλυσης καθώς επίσης οι διορθώσεις των κειμένων κατά την συγγραφή βελτίωσαν σημαντικά την τελική μορφή της εργασίας.

Τις ευχαριστίες μου εκφράζω και στον Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Δημήτριο Παραδείση για την σημαντική βοήθεια που μου έδωσε σε θέματα δορυφορικής και ανώτερης γεωδαισίας και στις οδηγίες για την επίλυση και επεξεργασία των δεδομένων GPS.

Ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της μεταπτυχιακής εργασίας, για τα εποικοδομητικά τους σχόλια και παρατηρήσεις.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να απευθύνω στο φίλο και συνάδελφο Τοπογράφο Μηχανικό Μιχάλη Μουλουδάκη για την καθοριστική του βοήθεια και συνεργασία, ιδιαίτερα στις δύσκολες συνθήκες των εργασιών πεδίου στην περιοχή του φράγματος Ευήνου κατά την συλλογή των δεδομένων GPS και στην ανταλλαγή απόψεων και γνώσεων για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες και μέλη «ΙΔΑΧ», της Σ.Α.Τ.Μ. του Ε.Μ.Π, κ. Βαγγέλη Ζαχαρή και κ. Αγγελική Μαρίνου οι οποίοι με την γνώση τους, την εμπειρία τους σε ανάλογες γεωδαιτικές εργασίες και το ήθος τους συνέβαλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Σημαντική ήταν η συμβολή του συναδέλφου μου, κ. Βασίλειο Σούλη, και της Διεύθυνσης Υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., για τις πληροφορίες σχετικά με την ιστορία του φράγματος και για τα δεδομένα που παραχώρησε και χρησιμοποίησα στην εργασία μου.

Ευχαριστώ τον προϊστάμενο της Υπηρεσίας μου κ. Επ. Πέππε για την κατανόηση της προσπάθειας που έκανα.

Επίσης τον φίλο και συνάδελφο τοπογράφο μηχανικό Αργύρη Μαρτυρίδη που συνέβαλλε στη καλύτερη κατανόηση τεχνικών και υπολογιστικών θεμάτων που με απασχολούσαν.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, καθώς και τον αδερφό μου, που με υπομονή και κουράγιο πρόσφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	iii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	vii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xiii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	xvii
ABSTRACT.....	xix

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....1

1. ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	1
2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	1
3. ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΧΩΜΑΤΙΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ7

1.1 ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	7
1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΑΧΩΜΑΤΩΝ.....	8
1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΧΩΜΑΤΙΝΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	9
1.4 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Η ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....15

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
2.1.1 Γενικά.....	15
2.1.2 Κατασκευές από Σκυρόδεμα.....	15
2.1.3 Χωμάτινες Κατασκευές.....	16
2.2 Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΑ ΧΩΜΑΤΙΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ.....	17
2.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	18
2.4 Η ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	20

2.5 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	21
2.5.1 Επίγεια Γεωδαιτικά Δίκτυα, Οριζοντίου και Τρισδιάστατου Ελέγχου.....	22
2.5.2 Γεωδαιτικά Δίκτυα Κατακορύφου Ελέγχου.....	23
2.5.3 Δορυφορικά Γεωδαιτικά Δίκτυα.....	25
2.5.4 Ολοκληρωμένα Γεωδαιτικά Δίκτυα.....	26
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ</u>	27
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ GPS.....	27
3.2 ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ (GPS).....	29
3.2.1. Ανάλυση Παρατηρήσεων Ψευδοαποστάσεων.....	29
3.2.2 Ανάλυση Παρατηρήσεων Διαφορών Φάσεων.....	30
3.3 ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ GPS.....	31
3.3.1 Βασικές Θεωρήσεις.....	31
3.3.2 Σημεία Ελέγχου.....	32
3.4 ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	33
3.4.1 Το μέγεθος της Βάσης.....	33
3.4.2 Πλεονάζουσες παρατηρήσεις.....	33
3.5 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΒΑΣΕΩΝ GPS.....	35
3.6 ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΚΑΙ Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ.....	38
3.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	39
3.8 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS.....	41
3.8.1 Μέθοδοι Σχετικού Προσδιορισμού Θέσης.....	41
3.8.2 Στατικός Προσδιορισμός Θέσης.....	41
3.9 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	43
3.10 ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ GPS.....	45
3.11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	46
3.12 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ GPS.....	46

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΦΡΑΓΜΑ ΕΥΗΝΟΥ</u>	49
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	49
4.1.1 Σύντομο Ιστορικό.....	49
4.1.2 Σήραγγα «Ευήνου – Μόρνου».....	51
4.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ.....	52
4.2.1 Βασικά Γεωμετρικά Μεγέθη Φράγματος και Ταμιευτήρα.....	52
4.2.2 Υδρολογικά Στοιχεία της Τεχνητής Λίμνης Ευήνου.....	54
4.3 ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ.....	56
4.3.1 Περιγραφή Φράγματος και Συναφών Έργων.....	56
4.3.2 Έργα Υπερχείλισεως.....	59
4.3.3 Σταθεροποίηση Αντερείσμάτων.....	60
4.3.3.1 Κατολίσθηση Αριστερού Αντερείσματος, 1993.....	60
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΕΠΑΝΑΜΕΤΡΗΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS</u>	63
5.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	63
5.2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ.....	65
5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	67
5.4 ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	72
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS</u>	81
6.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GPS.....	81
6.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS ΜΕ ΤΟ TRIMBLE BUSINESS CENTER (T.B.C.)..	82
6.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΛΥΣΕΩΝ.....	86
6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS.....	90

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ</u>	101
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	101
7.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΔΑΠ Α.Ε...	101
7.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ WGS-84 ΣΕ ΤΟΠΙΚΟ ΤΟΠΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ.....	103
7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΒΑΘΡΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ (1997 – 2011).....	105
7.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΥΔΑΠ Α.Ε. ΠΕΡΙΟΔΟΥ (1998–2009).....	112
7.5.1 Μελέτη Οριζόντιων Μετακινήσεων.....	112
7.5.2 Μελέτη Κατακόρυφων Μετακινήσεων.....	117
7.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	123
7.6.1 Διαγράμματα Χρονοσειρών.....	123
7.6.2 Ταχύτητες Μετακίνησης των Σημείων Αναφοράς και Ελέγχου του Φράγματος.....	132
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	135
8.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ.....	135
8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΕΥΗΝΟΥ.....	137
8.2.1 Γενικές Παρατηρήσεις.....	137
8.2.2 Τριγωνομετρικό Δίκτυο Φράγματος και Ταμιευτήρα.....	138
8.2.3 Στέψη Φράγματος.....	139
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u>	143
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	145

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Σχήμα 1.1: Κατηγορίες φραγμάτων ανάλογα με το υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους.....	8
Σχήμα 1.2: Χωμάτινα και Λιθόρριπτα φράγματα.....	11
Σχήμα 1.3: Αστοχίες στο ανάχωμα και στη θεμελίωση.....	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σχήμα 2.1 : Total Station (Leica TM30) υψηλής ακριβείας για την επίγεια μέτρηση γεωδαιτικού δικτύου και μικρομετακινήσεων.....	23
Σχήμα 2.2 : Ψηφιακός χωροβάτης ακριβείας (Leica NA 2002) και σταδία τύπου invar για την μέτρηση του υψομέτρου.....	24
Σχήμα 2.3 : Μέτρηση υψομέτρου και καθίζησης σε σημεία ελέγχου πάνω στο φράγμα με την χρήση ψηφιακού χωροβάτη και σταδίας invar.....	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σχήμα 3.1 : Οι μετρήσεις GPS προσδιορίζουν το τρισδιάστατο καρτεσιανό διάνυσμα $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ της βάσης μεταξύ δυο σημείων.....	27
Σχήμα 3.2 : Ανεξάρτητα διανύσματα σε δίκτυο GPS.....	34
Σχήμα 3.3 : Ανεξάρτητα διανύσματα σε δίκτυο GPS.....	34
Σχήμα 3.4 : «Κλείσιμο» των τριγώνων σε δίκτυο GPS.....	34
Σχήμα 3.5 : «Κλείσιμο» των τριγώνων σε δίκτυο GPS.....	35
Σχήμα 3.6 : Ανεξάρτητες και Εξαρτημένες βάσεις σε δίκτυο GPS.....	36
Σχήμα 3.7 : Ανεξάρτητες και εξαρτημένες βάσεις σε διαφορετικές περιόδους μετρήσεων.....	37
Σχήμα 3.8 : Διάγραμμα χρόνου παρατηρήσεων δορυφόρων σε σχέση με το μήκος της βάσης...38	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σχήμα 4.1: Υδροδοτικό Σύστημα Αθήνας.....	50
Σχήμα 4.2: Σήραγγα «Ευήνου – Μόρνου».....	51
Σχήμα 4.3: Ευρύτερη περιοχή τεχνητής λίμνης Ευήνου.....	53
Σχήμα 4.4: Δορυφορική εικόνα της τεχνητής λίμνης Ευήνου.....	53
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα μηνιαίων βροχοπτώσεων στη περιοχή του φράγματος Ευήνου.....	55
Σχήμα 4.6: Λεκάνη Απορροής της Τεχνητής Λίμνης Ευήνου.....	55

Σχήμα 4.7 : Κάτοψη του φράγματος με τις θέσεις των βασικών διατομών.....	56
Σχήμα 4.8 : Γενική άποψη του φράγματος.....	56
Σχήμα 4.9 : Διατομή ΙΧ του φράγματος.....	57
Σχήμα 4.10 : Μηκοτομή του φράγματος.....	57
Σχήμα 4.11 : Κατασκευή της στοάς τσιμεντενέσεων και του αναχώματος.....	57
Σχήμα 4.12 : Στέψη και ανάντη πρανές φράγματος Ευήνου.....	58
Σχήμα 4.13 : Στέψη και κατάντη πρανές φράγματος Ευήνου.....	58
Σχήμα 4.14 : Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της τεχνητής λίμνης Ευήνου.....	58
Σχήμα 4.15 : Όψη εισόδου υπερχειλιστή.....	59
Σχήμα 4.16 : Έξοδος υπερχειλιστή και οικολογική παροχή.....	59
Σχήμα 4.17 : Λεκάνη ηρεμίας στα κατάντη του φράγματος.....	59
Σχήμα 4.18 : Πανοραμική όψη φράγματος.....	59
Σχήμα 4.19 : Γενική άποψη κατολίσθησης.....	60
Σχήμα 4.20: Κατολίσθηση 1993 [α] Θέση κατολίσθησης – [β] Διάταξη έργων αποκατάστασης.....	61
Σχήμα 4.21: Κατολίσθηση 1993 – Διατομή Α-Α' με τα μέτρα σταθεροποίησης.....	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σχήμα 5.1 : Θέση φράγματος και ευρύτερη περιοχή ταμειυτήρα.....	63
Σχήμα 5.2: Απόσπασμα πινακίδων Γ.Υ.Σ. με αριθμούς 52861, 52863, (κλ. 1:5.000), Φ.Χ. ΚΛΕΠΑ (1:50.000), κέντρο φύλλου χάρτου, ($\varphi_0 = 38^{\circ} 45'$, $\lambda_0 = - 1^{\circ} 45'$).....	64
Σχήμα 5.3 : Θέσεις σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος και της ευρύτερης περιοχής.....	64
Σχήμα 5.4 : Δορυφορική εικόνα όπου φαίνονται οι θέσεις των τριγωνομετρικών σημείων της ΓΥΣ.....	66
Σχήμα 5.5: Εξοπλισμός GPS.....	68
Σχήμα 5.6: Γεωδαιτικός δέκτης GPS (μοντέλο R8) της εταιρίας TRIMBLE.....	69
Σχήμα 5.7 : Εξοπλισμός GPS.....	70
Σχήμα 5.8 : Προδιαγραφές και ακρίβειες του γεωδαιτικού δέκτη της εταιρείας TRIMBLE (μοντέλο R8, δυο συχνοτήτων L1 & L2).....	71
Σχήμα 5.9 : Προδιαγραφές και ακρίβειες του γεωδαιτικού δέκτη της εταιρείας TRIMBLE (μοντέλο 4700, δυο συχνοτήτων L1 & L2).....	71

Σχήμα 5.10: Φαίνονται τα σημεία που μετρήθηκαν στις 27/03/2011, οι μετρημένες βάσεις και οι μετακινήσεις των δεκτών. Εκτός αυτών, εμφανίζονται τα σημεία όπου οι δέκτες έμειναν σταθεροί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα σημεία που μετρήθηκαν από τους κινούμενους δέκτες.....	73
Σχήμα 5.11 : Το σημείο αναφοράς του δικτύου με κωδικό E, τα τρία (3) σημεία ελέγχου της στέψης με κωδικούς (S64, S68, S73) και τα τρία (3) σημεία ελέγχου για τον έλεγχο της κατολίσθησης με κωδικούς (S44, S47, S48) όπου μετρήθηκαν με GPS στις 27/3/2011.....	73
Σχήμα 5.12 : Σημείο ελέγχου στέψης (κατάντη) με κωδικό S64.....	74
Σχήμα 5.13: Σημείο ελέγχου στέψης (κατάντη) με κωδικό S73.....	74
Σχήμα 5.14 : Θέσεις σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος όπου μετρήθηκαν με GPS στις 28/03/2011.....	75
Σχήμα 5.15: Φαίνονται τα σημεία που μετρήθηκαν στις 28/03/2011, οι μετρημένες βάσεις και οι μετακινήσεις των δεκτών. Εκτός αυτών, εμφανίζονται τα σημεία όπου οι δέκτες έμειναν σταθεροί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα σημεία που μετρήθηκαν από τους κινούμενους δέκτες.....	75
Σχήμα 5.16 : Το σημείο αναφοράς με κωδικό E του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος.....	76
Σχήμα 5.17: Το σημείο αναφοράς με κωδικό T3 του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος.....	76
Σχήμα 5.18 : Θέσεις των σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος όπου μετρήθηκαν με GPS στις 29/03/2011.....	77
Σχήμα 5.19: Φαίνονται τα σημεία που μετρήθηκαν στις 29/03/2011, οι μετρημένες βάσεις και οι μετακινήσεις των δεκτών. Εκτός αυτών, εμφανίζονται τα σημεία όπου οι δέκτες έμειναν σταθεροί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα σημεία που μετρήθηκαν από τους κινούμενους δέκτες.....	77
Σχήμα 5.20: Το σημείο ελέγχου με κωδικό S48 για τον έλεγχο της κατολίσθησης του αριστερού πρανούς.....	78
Σχήμα 5.21: Το σημείο αναφοράς με κωδικό T4 του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος.....	78
Σχήμα 5.22: Φαίνονται τα σημεία που μετρήθηκαν στις 30/03/2011, οι μετρημένες βάσεις και οι μετακινήσεις των δεκτών. Εκτός αυτών, εμφανίζονται τα σημεία όπου οι δέκτες έμειναν σταθεροί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα σημεία που μετρήθηκαν από τους κινούμενους δέκτες.....	79

Σχήμα 5.23: Το τριγωνομετρικό σημείο της Γ.Υ.Σ. με κωδικό T73.....	79
Σχήμα 5.24: Το σημείο αναφοράς με κωδικό T1 του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος.....	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Σχήμα 6.1 : Παράμετροι επιλογής datum, του ΕΓΣΑ 87 σε σχέση με το WGS 84.....	83
Σχήμα 6.2 : Οι παράμετροι του WGS-84.....	84
Σχήμα 6.3 : Διανύσματα των επιλυμένων βάσεων.....	86
Σχήμα 6.4: Συνόρθωση του δικτύου, όπου φαίνονται οι βάσεις του συνολικού δικτύου για το διάστημα (27/03/11 έως και 30/03/11) και οι ελλείψεις σφάλματος του κάθε σημείου, με σταθερό σημείο το T73 της Γ.Υ.Σ.....	87
Σχήμα 6.5: Απόσπασμα από την επίλυση των βάσεων του δικτύου.....	88
Σχήμα 6.6: Δορυφόροι που αφαιρούνται λόγω διακοπής του σήματος κατά την διάρκεια των μετρήσεων για την επίλυση της βάσης T3-B.....	88
Σχήμα 6.7: Γεωμετρία κεραίας ASH700936E.....	89
Σχήμα 6.8: Επίλυση δικτύου GPS του φράγματος Εύηνου από τον σταθμό της EUREF στην Πάτρα.....	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Σχήμα 7.1: Τα σημεία αναφοράς του δικτύου (A,B,Δ,E,T3) απ' όπου γίνονται οι επίγειες παρατηρήσεις (διεύθυνση μηδενισμού) προς τα σημεία ελέγχου της στέψης (ανάντη και κατάντη) του φράγματος και για τον έλεγχο της κατολίσθησης του αριστερού πρηνούς από το τοπογραφικό συνεργείο της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.....	103
Σχήμα 7.2 : Τοπικό Τοποκεντρικό Σύστημα Συντεταγμένων.....	104
Σχήμα 7.3: Δορυφορική εικόνα όπου φαίνεται το σημείο με κωδικό E του δικτύου, τα τρία βάθρα της στέψης με κωδικούς (S64,S68,S73) και τα τρία βάθρα για τον έλεγχο της κατολίσθησης με κωδικούς (S44,S47,S48) όπου μετρήθηκαν με GPS.....	110
Σχήμα 7.4: Θέσεις τοπογραφικών βάθρων για τον έλεγχο μικρομετακινήσεων και λοιπών οργάνων παρακολούθησης στο φράγμα του Ευήνου.....	112
Σχήμα 7.5 : Σημείο ελέγχου στη στέψη (ανάντη) του φράγματος όπου φαίνεται στην πάνω δεξιά γωνία το σημείο, όπου γίνεται ο έλεγχος του υψομέτρου και της καθίζησης.....	118
Σχήμα 7.6 : Διάγραμμα καθιζήσεων για την ομάδα των βάθρων ελέγχου της στέψης (S33-S24) ανάντη. Η επεξεργασία έγινε με δεδομένα χωροστάθμησης από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε.....	131

Σχήμα 7.7 : Διάγραμμα καθιζήσεων για την ομάδα των βάθρων ελέγχου της στέψης (S64-S73)
κατάντη. Η επεξεργασία έγινε με δεδομένα χωροστάθμησης από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε.....132

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Πίνακας 1.1 : Αιτίες αστοχιών στα χωμάτινα φράγματα.....12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Πίνακας 3.1 : Βασικές συνθήκες μέτρησης δικτύων με GPS.....40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Πίνακας 4.1: Ύψος των περιοδικών (ανά έτος) βροχοπτώσεων στο Φράγμα.....54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πίνακας 5.1 : Τριγωνομετρικά σημεία της Γ.Υ.Σ. στην περιοχή του φράγματος.....65

Πίνακας 5.2 : Συντεταγμένες των σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος.....66

Πίνακας 5.3 : Δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των μετρήσεων, όπως η σειρά τοποθέτησης των δεκτών, 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.....72

Πίνακας 5.4 : Δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των μετρήσεων, όπως η σειρά τοποθέτησης των δεκτών, 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.....74

Πίνακας 5.5 : Δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των μετρήσεων, όπως η σειρά τοποθέτησης των δεκτών, 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.....76

Πίνακας 5.6 : Δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των μετρήσεων, όπως η σειρά τοποθέτησης των δεκτών, 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.....78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Πίνακας 6.1 : Γεωγραφικές συντεταγμένες στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS-84 των σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου και των σημείων ελέγχου της στέψης και στην περιοχή της κατολίσθησης του αριστερού πρηνούς του φράγματος.....90

Πίνακας 6.2 : Συγκεντρωτικός πίνακας αναφοράς των επιλυμένων βάσεων του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος.....	91
Πίνακας 6.3 : Αποτελέσματα από το κλείσιμο των βρόγχων (τριγώνων) του δικτύου.....	93
Πίνακας 6.4 : Στοιχεία των ελλείψεων σφάλματος των σημείων αναφοράς του δικτύου και των σημείων ελέγχου του φράγματος.....	94
Πίνακας 6.5 : Γεωγραφικές συντεταγμένες στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS-84 των σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου και των σημείων ελέγχου της στέψης και στην περιοχή της κατολίσθησης του αριστερού πρανούς του φράγματος.....	94
Πίνακας 6.6 : Συγκεντρωτικός πίνακας αναφοράς των επιλυμένων βάσεων του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος.....	95
Πίνακας 6.7 : Αποτελέσματα από το κλείσιμο των βρόγχων (τριγώνων) του δικτύου.....	99
Πίνακας 6.8 : Στοιχεία των ελλείψεων σφάλματος των σημείων αναφοράς του δικτύου και των σημείων ελέγχου του φράγματος.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Πίνακας 7.1: Τελικές μεταθέσεις (διαφορές συντεταγμένων) των σημείων ελέγχου της στέψης (S64, S68, S73) που μετρήθηκαν με GPS, από το 2011 προς τις παρακάτω ημερομηνίες. Έχουν υπολογιστεί σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς και έχουν διορθωθεί από στροφή και κλίμακα.....	110
Πίνακας 7.2: Συντεταγμένες Διατομών και Χ.Θ. στον άξονα του φράγματος.....	113
Πίνακας 7.3: Σημεία ελέγχου (ανάντη, κατάντη) και Χ.Θ. στη στέψη του φράγματος.....	113
Πίνακας 7.4: Διαφορές συντεταγμένων (ΔΕ) των σημείων ελέγχου της στέψης με κωδικό S24, S25, S26, S27, S28, S29. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τις συντεταγμένες των επίγειων δεδομένων της ΕΥΔΑΠ. Α.Ε.....	114
Πίνακας 7.5: Διαφορές συντεταγμένων (ΔΕ) των σημείων ελέγχου της στέψης με κωδικό S30, S31, S32, S33, S64, S65. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τις συντεταγμένες των επίγειων δεδομένων της ΕΥΔΑΠ. Α.Ε.....	115
Πίνακας 7.6: Διαφορές συντεταγμένων (ΔΕ) των σημείων ελέγχου της στέψης με κωδικό S66, S67, S68, S70, S71, S73. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τις συντεταγμένες των επίγειων δεδομένων της ΕΥΔΑΠ. Α.Ε.....	116
Πίνακας 7.7: Χωροσταθμικές Αφετηρίες (REPER) στην περιοχή του φράγματος.....	118

Πίνακας 7.8: Υψομετρικές διαφορές (ΔH) σημείων ελέγχου της στέψης, S24, S25, S26, S27, S28, S29. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τα ορθομετρικά υψόμετρα της ΕΥΔΑΠ και από το αρχικό υψόμετρο του κάθε βάρους (1998).....	119
Πίνακας 7.9: Υψομετρικές διαφορές (ΔH) των βάθρων της στέψης, S30, S31, S32, S33, S64, S66. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τα ορθομετρικά υψόμετρα της ΕΥΔΑΠ και από το αρχικό υψόμετρο του κάθε βάρους (1998).....	120
Πίνακας 7.10: Υψομετρικές διαφορές (ΔH) των βάθρων της στέψης, S67, S68, S69, S70, S71, S72, S73. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τα ορθομετρικά υψόμετρα της ΕΥΔΑΠ και από το αρχικό υψόμετρο του κάθε βάρους (1998).....	121
Πίνακας 7.11: Ταχύτητα μετακίνησης των σημείων αναφοράς του δικτύου του φράγματος για την περίοδο (1997 – 2011). Τα αποτελέσματα προέκυψαν από την επίλυση που έγινε σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς από δορυφορικά δεδομένα με GPS και επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.....	133
Πίνακας 7.12: Μέση ταχύτητα μετακίνησης και καθίζησης των σημείων ελέγχου της στέψης από τις επίγειες μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.....	133
Πίνακας 7.13: Μέση ταχύτητα μετακίνησης που προέκυψε από την επίλυση που έγινε σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς με δορυφορικά δεδομένα από GPS και επίγεια δεδομένα από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. για τα σημεία ελέγχου της στέψης S64, S68, S73.....	134

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της εργασίας είναι η επαναμέτρηση, η επίλυση και ο έλεγχος των μετακινήσεων του βασικού γεωδαιτικού δικτύου του φράγματος Ευήνου καθώς και επιλεγμένων σημείων ελέγχου στη στέψη του φράγματος με τη χρήση του δορυφορικού συστήματος GPS. Επίσης συγκρίσεις γίνονται σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. για το διάστημα (1997 – 2011). Συγκεκριμένα, στην περιοχή του Αγ. Δημητρίου Ευήνου, (ορεινή Ναυπακτία, Νομός Αιτωλοακαρνανίας) έγινε συλλογή μετρήσεων GPS το διάστημα από 27/3/2011 έως 30/3/2011.

Βασικός στόχος της εργασίας είναι, ο έλεγχος των επιφανειακών μετακινήσεων στο τοπικό γεωδαιτικό δίκτυο και στη στέψη του φράγματος Ευήνου, με την χρήση του δορυφορικού συστήματος GPS, σε συγκεκριμένα σημεία (βάθρα ελέγχου) που έχουν τοποθετηθεί στην περιοχή και στη στέψη του φράγματος και σε περιοχές που παρουσιάζουν ενδείξεις μικρομετακίνησης (θέση αριστερού αντερείσματος στην περιοχή της κατολίσθησης του πρανούς το 1993).

Παράλληλα, η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη μελέτη της διαχρονικής παρακολούθησης των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων ελέγχου της στέψης του φράγματος. Τα διαθέσιμα επίγεια γεωδαιτικά δεδομένα που δόθηκαν από την Διεύθυνση Υδροληψίας της Ε.Υ.Δ.Α.Π. Α.Ε. αφορούν επιπρόσθετα τα ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων ελέγχου που είναι εγκατεστημένα στη στέψη του φράγματος, για την ίδια χρονική περίοδο.

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων που έγινε σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς για τα επίγεια και τα δορυφορικά δεδομένα GPS για τον έλεγχο μετακινήσεων των σημείων αναφοράς του γεωδαιτικού δικτύου του φράγματος δεν προκύπτουν ενδείξεις για επιφανειακή μετακίνηση.

Γενική παρατήρηση για όλα τα σημεία ελέγχου της στέψης είναι, ότι κατά την τελική φάση κατασκευής του φράγματος (1998) και την αρχική πλήρωση του ταμιευτήρα (2001) οι μετακινήσεις ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τα τελευταία έτη λειτουργίας του (2009). Αυτή η συμπεριφορά του φράγματος θεωρείται φυσιολογική σε συνάρτηση με το χρόνο.

Από τα αντίστοιχα διαγράμματα παρατηρείται η ομαλή εξέλιξη των καθιζήσεων των βάθρων ελέγχου της στέψης και υπάρχει μία σταθεροποίηση των καθιζήσεων κατά το πέρασμα του χρόνου. Επίσης γίνεται ανάλυση και σχολιασμός στα αποτελέσματα που αφορούν την φάση κατασκευής, τη φάση πλήρωσης και λειτουργίας.

ABSTRACT

The scope of this Diploma Thesis is the remeasurement, computation and kinematic analysis of the geodetic control network of Evinos dam and of selective control points on the crest of the dam using the satellite system GPS, compared with ground measurements made by EYDAP SA for the period (1997 - 2011). Specifically, in St. Demetrios Evinos in the mountainous area of Nafpaktos (Prefecture of Aitolokarnania) were collected GPS measurements for the period (27/03/2011 - 30/03/2011).

The main objective of this survey is, the computation of surface movements on the local geodetic network and on the crest of the dam Evinos, using the satellite system GPS, to specific control points that have been placed around the dam and the crest of the dam and in areas with signs of movements (around the left abutment near the landslide of the slope in 1993).

Also, this survey aims to study the structural analysis of horizontal and vertical displacement of the control points of the crest of the dam. The available terrestrial geodetic data supplied by Department of Water Supply of EYDAP S.A., also concern the orthometric elevations of control points that are established on the crest of the dam, for the same period.

From the study of the results made in a topocentric reference system for terrestrial and satellite GPS data for controlling the control points of the geodetic network of the dam there are no indications of significant surface movement.

As a general comment, all control points of the crest are, that in the final phase of construction of the dam (1998) and the initial filling of the reservoir (2001) the movement was greater than the last years of operation (2009). This behavior of the dam is considered to be normal.

From the diagrams of displacement it appears a normal behaviour of the settlements of the control points of the crest, and there is a decrease of the settlements with time. Also, the thesis consideration, gives an analysis and comments to the results relating to the construction phase, the phase of filling and operation.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Γενικά η παρακολούθηση ενός φράγματος περιλαμβάνει αξιολόγηση των μετρήσεων που γίνονται με τη βοήθεια αισθητήρων (γεωτεχνικών, γεωδαιτικών, κ.α.) όσο και οπτικούς ελέγχους. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του φράγματος οι πλέον σημαντικές μετακινήσεις και καθιζήσεις της στέψης και του κυρίου «σώματος» του φράγματος αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της πρώτης πλήρωσης του ταμιευτήρα.

Σε αυτό το πλαίσιο η γεωδαιτική παρακολούθηση καθορίζει κυρίως την κατακόρυφη και την οριζόντια μετατόπιση επιλεγμένων επιφανειακών σημείων (βάθρα ελέγχου) σε σχέση με σημεία αναφοράς που βρίσκονται σε σταθερή περιοχή χρησιμοποιώντας επίγειες ή δορυφορικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης. Με τη σημερινή γεωδαιτική τεχνολογία η οποία χρησιμοποιεί γεωδαιτικούς σταθμούς με αυτόματη αναγνώριση στόχου, GPS και άλλους αισθητήρες, είναι εφικτή σε μεγάλο βαθμό η ολοκληρωμένη παρακολούθηση και ακρίβεια του οργάνου, πλήρης αυτοματοποίηση και σε πραγματικό χρόνο να γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων.

Ειδικότερα, η δορυφορική τεχνολογία εντοπισμού θέσης και συγκεκριμένα το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα GPS (Global Positioning System) προσφέρει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε τέτοιου είδους εφαρμογές αφού εργασίες παρακολούθησης μετακινήσεων μπορούν να ολοκληρωθούν σε χρόνο 10-20% του συνολικού χρόνου που απαιτείται με συμβατικές μετρήσεις (Duckrell & Stewart, 1998).

2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Βασικός στόχος της εργασίας είναι, ο έλεγχος των επιφανειακών μετακινήσεων στο τοπικό δίκτυο και στη στέψη του φράγματος του Ευήνου, με την χρήση του δορυφορικού συστήματος GPS, σε συγκεκριμένα σημεία (βάθρα ελέγχου) που έχουν τοποθετηθεί γύρω από το φράγμα και στη στέψη του φράγματος και σε περιοχές που παρουσιάζουν ενδείξεις μικρομετακίνησης (γύρω από το αριστερό αντέρεισμα στην περιοχή της κατολίσθησης του πρανούς το 1993).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την αρχή της κατασκευής του (1992) και κυρίως από την φάση της πρώτης πλήρωσης του φράγματος (2001) διεξάγονται επίγειες γεωδαιτικές μετρήσεις για την διαχρονική παρακολούθηση των επιφανειακών μετακινήσεων και των καθιζήσεων από τοπογραφικό συνεργείο της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. που αφορούν το φράγμα αλλά και την ευρύτερη περιοχή της τεχνητής λίμνης του Ευήνου. Οι μετρήσεις αυτές καλύπτουν μια χρονική περίοδο περίπου 11 ετών.

Παράλληλα, η παρούσα εργασία αποσκοπεί, στη μελέτη της διαχρονικής παρακολούθησης των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων ελέγχου της στέψης του φράγματος. Τα διαθέσιμα επίγεια γεωδαιτικά δεδομένα που δόθηκαν από την Διεύθυνση Υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., καλύπτουν την χρονική περίοδο (1998 – 2009) και περιλαμβάνουν τις συντεταγμένες στην προβολή HATT και τα ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων ελέγχου στη στέψη του φράγματος, για την ίδια χρονική περίοδο. Επίσης, γίνεται ανάλυση και σχολιασμός στα αποτελέσματα που αφορούν την φάση κατασκευής, τη φάση πλήρωσης και λειτουργίας για τα ανωτέρω έτη.

3. ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αυτή αποτελείται από οκτώ κεφάλαια. Συνοπτικά η εργασία έχει ως εξής :

- Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στη σκοπιμότητα κατασκευής και στους τύπους φραγμάτων ανάλογα με την ανάγκη που στοχεύουν να καλύψουν. Δίνεται η ταξινόμηση των φραγμάτων ανάλογα με το υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους. Αναφέρονται οι κατηγορίες των αναχωμάτων (χωμάτινα και λιθόριπτα) καθώς και οι βασικές απαιτήσεις ενός χωμάτινου φράγματος (ασφάλεια, σχεδιασμός, κατασκευή, λειτουργία). Τέλος, αναφέρονται τα βασικά αίτια αστοχίας ενός χωμάτινου φράγματος.
- Το δεύτερο κεφάλαιο, αναφέρεται στο ρόλο της παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς και της ασφάλειας των χωμάτινων φραγμάτων, καθώς και τις γεωδαιτικές μεθόδους παρακολούθησης (επίγειες και δορυφορικές). Ειδικότερα, γίνεται αναφορά για την παρακολούθηση των μετακινήσεων με χρήση του δορυφορικού συστήματος GPS.

- Το τρίτο κεφάλαιο, αναφέρεται στα δορυφορικά δίκτυα GPS. Γίνεται αναφορά στις εισαγωγικές έννοιες στα δίκτυα GPS, καθώς και στο είδος των παρατηρήσεων των δεκτών GPS (μετρήσεις ψευδοαποστάσεων και διαφορές φάσεων). Αναφέρονται τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού σε ένα δίκτυο GPS και οι απαιτήσεις ακριβείας σε οριζοντιογραφικό και υψομετρικό έλεγχο. Δίνονται οι απαιτήσεις ακριβείας των σημείων ελέγχου του δικτύου (αποστάσεις, πλεονάζουσες παρατηρήσεις). Αναφέρονται τα κριτήρια σχεδιασμού και επιλογής βάσεων GPS καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν τα δεδομένα μεταξύ των σημείων ελέγχου του δικτύου (το μήκος της βάσης, ο αριθμός των δορυφόρων και το μοντέλο γεωειδούς). Παρουσιάζονται οι διαδικασίες μέτρησης δικτύου GPS, οι τεχνικές μέτρησης και οι διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων. Γίνεται αναφορά στον τρόπο και στα στάδια συνόρθωσης δικτύων GPS, στον μετασχηματισμό συντεταγμένων GPS και στις διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου των αποτελεσμάτων.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται το φράγμα του Ευήνου. Δίνονται τα γενικά του χαρακτηριστικά, όπως ο τύπος του, η θέση του φράγματος, η σκοπιμότητα κατασκευής του και τα συναφή έργα. Γίνεται αναφορά στα τεχνικά έργα υποστήριξης του έργου. Αναφέρονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά μεγέθη του φράγματος και της ευρύτερης περιοχής του ταμιευτήρα. Γίνεται παράθεση, των βασικών γεωλογικών στοιχείων στην περιοχή του φράγματος και της λεκάνης απορροής. Τέλος, αναφέρονται τα μέτρα και ο τρόπος σταθεροποίησης του αριστερού αντερείσματος μετά την κατολίσθηση του 1993.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο, περιγράφεται η περιοχή μελέτης εργασίας, τα σημεία αναφοράς του γεωδαιτικού δικτύου όπως και τα σημεία ελέγχου της στέψης του φράγματος όπου έγιναν οι μετρήσεις με το σύστημα GPS. Παρουσιάζεται ο σχεδιασμός των εργασιών πεδίου και μετρήσεων με το σύστημα GPS, όπως οδηγίες και κανόνες για την προετοιμασία και την εκτέλεση των μετρήσεων. Επίσης, δίνονται οι προδιαγραφές και οι ακρίβειες των γεωδαιτικών δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις. Περιγράφεται το πρωτεύον και το δευτερεύον τοπικό γεωδαιτικό δίκτυο του φράγματος και δίνονται οι κωδικοί και οι συντεταγμένες των σημείων αναφοράς (δίκτυο) και των σημείων ελέγχου (στέψη). Τέλος, παρουσιάζεται η μεθοδολογία των μετρήσεων και περιγράφονται οι

εργασίες πεδίου κάθε ημέρας. Δίνονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες των σημείων αναφοράς και ελέγχου καθώς και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

- Στο έκτο κεφάλαιο, γίνεται η επεξεργασία των δορυφορικών μετρήσεων GPS που έγιναν στο Φράγμα του Ευήνου. Αναφέρονται οι διαδικασίες και τα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων GPS. Η επίλυση των μετρήσεων GPS έγινε με το εμπορικό λογισμικό (T.B.C.) της εταιρίας TRIMBLE και δίνονται τα βήματα της επεξεργασίας των παρατηρήσεων. Περιγράφονται οι επιλύσεις και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων GPS.
- Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση της κινηματικής συμπεριφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου και της στέψης του φράγματος. Η ανάλυση στηρίχθηκε στις υπάρχουσες μετρήσεις που έχουν γίνει και γίνονται από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. με επίγειες γεωδαιτικές μέθοδοι και με δορυφορικές παρατηρήσεις με GPS που έγιναν στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας. Παρουσιάζονται τα διαθέσιμα στοιχεία και η διαδικασία μετρήσεων στα σημεία ελέγχου στο φράγμα από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και περιγράφεται το γεωδαιτικό δίκτυο προσδιορισμού των οριζόντιων μετακινήσεων για τα σημεία αναφοράς του δικτύου αλλά και των σημείων ελέγχου της στέψης του φράγματος και δίνονται στοιχεία σχετικά με το σχεδιασμό του δικτύου. Στη συνέχεια γίνονται οι συγκρίσεις και ο έλεγχος των σημείων αναφοράς του δικτύου για τυχόν μετακινήσεις σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς για την περίοδο (1997–2011) με δορυφορικά δεδομένα GPS και επίγειες μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Δίνονται τα διαθέσιμα δεδομένα των επίγειων μετρήσεων της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. για την περίοδο (1998–2009) και τα αποτελέσματα των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων ελέγχου στη στέψη του φράγματος. Επίσης, παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τις κατακόρυφες μετακινήσεις (καθιζήσεις) στη στέψη του φράγματος και παρατίθενται τα διαθέσιμα δεδομένα για τις κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων ελέγχου στη στέψη του φράγματος. Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση, παρουσιάζονται διαγράμματα χρονοσειρών και εμφανίζονται οι ταχύτητες των μικρομετακινήσεων και των καθιζήσεων που προέκυψαν για τα σημεία αναφοράς του δικτύου και των σημείων ελέγχου της στέψης του φράγματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων και αναφέρονται τα συμπεράσματα με τα οποία η εργασία αυτή θα αποδειχθεί χρήσιμη για την διαχρονική παρακολούθηση των μετακινήσεων – παραμορφώσεων του φράγματος του Ευήνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΧΩΜΑΤΙΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

1.1 ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Οι υδραυλικές κατασκευές έχουν σκοπό την διαχείριση των υδατικών πόρων, έτσι ώστε να προκύψει η βέλτιστη χρησιμοποίησή τους. Με τις υδραυλικές κατασκευές μετατρέπεται η φυσική ροή του νερού σε ρυθμιζόμενη ροή, η οποία προσαρμόζεται σε χρήσεις προσοδοφόρες για την εθνική οικονομία κάθε χώρας, σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα, επιτυγχάνεται η βέλτιστη χρησιμοποίηση του νερού με την αποθήκευσή του σε ταμιευτήρες και με ρύθμιση της παροχής του, ανάλογα με την ποιότητα η οποία απαιτείται από το είδος των χρήσεων.

Οι υδραυλικές κατασκευές, ανάλογα με τη θέση προέλευσης των υδατικών πόρων, διακρίνονται σε παραποτάμιες, παραλίμιες και παράκτιες κατασκευές. Ανάλογα με την επίπτωση των κατασκευών στη ροή του ποταμού, οι υδραυλικές κατασκευές διακρίνονται σε έργα ανάσχεσης – εγκιβωτισμού και σε έργα μεταφοράς.

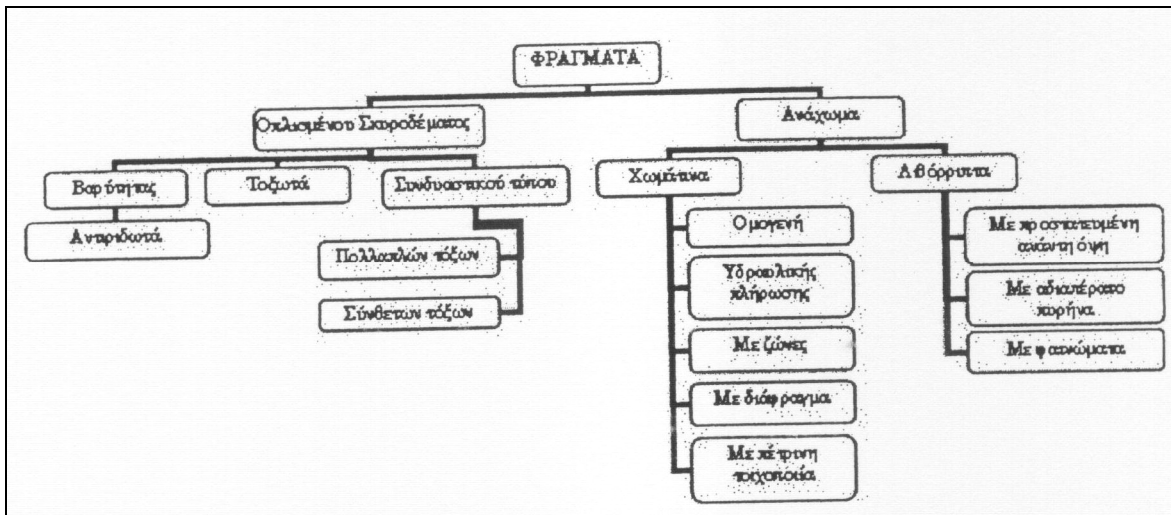
Η αναγκαιότητα κατασκευής των φραγμάτων, και κατ' επέκταση, των ταμιευτήρων πρέπει να εστιάζεται στις παρακάτω παραμέτρους :

- Οι υδάτινοι πόροι είναι ανανεώσιμοι και όχι αποθεματικοί,
- Η φυσική προσφορά νερού είναι μη προβλέψιμη και έχει έντονες διακυμάνσεις σε όλες τις χρονικές κλίμακες (πλημμύρες, ξηρασίες),
- Η παροχή νερού στην κατανάλωση (άρδευση, ύδρευση), πρέπει να γίνεται σε ρυθμούς που καθορίζονται από την ζήτηση,
- Χρειάζεται η αποθήκευση νερού,
- Οι φυσικές αποθήκες νερού (λίμνες, πηγάδια,) δεν επαρκούν ή δεν βρίσκονται εκεί που υπάρχει ζήτηση,
- Οι ταμιευτήρες αποτρέπουν τον κίνδυνο από το μεγαλύτερο μέρος των πλημμυρών στις κατάντη περιοχές,

- Οι ταμιευτήρες εξασφαλίζουν σημαντικό ύψος πτώσης, άρα μεγιστοποιούν το ενεργειακό δυναμικό του νερού

Ανάλογα με τη λειτουργία τους διακρίνονται σε φράγματα ανύψωσης της στάθμης, φράγματα αποθήκευσης και φράγματα παροχέτευσης. Ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο γίνονται, χαρακτηρίζονται ως φράγματα για άρδευση, για ύδρευση, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κλπ.

Τα φράγματα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την κατασκευή τους, τη λειτουργία τους και τη σκοπιμότητά τους. Από κατασκευαστική πλευρά κατατάσσονται σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 1.1: Κατηγορίες φραγμάτων ανάλογα με το υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους - “Categories Dam according to the material and the method of construction”, Πηγή : Κατηγοριοποίηση κατά Penman et al., 1999 και την The British Dam Society,

1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΑΧΩΜΑΤΩΝ

Τα αναχώματα ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του εδαφικού υλικού που χρησιμοποιείται κυρίως ως κατασκευαστικό υλικό, όπως τα χωμάτινα φράγματα και τα λιθόριπτα φράγματα.

Τα τελευταία μπορούν περαιτέρω να ταξινομηθούν σε ομάδες με βάση την σύνθεση των τμημάτων του φράγματος, (π.χ. με κεντρικό πυρήνα, με κεκλιμένο πυρήνα και με ειδική αδιαπέρατη επένδυση στα ανάντη του φράγματος), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2.

Το κυρίως «σώμα» των Λιθόριπτων φραγμάτων, θα πρέπει να έχει κατασκευαστική αντίσταση κατά της αστοχίας, και αποτελείται από λιθόριπτο κέλυφος με μεταβατικές ζώνες, καθώς και πυρήνα με αδιαπέραστες ζώνες με επένδυση στα ανάντη που ρόλο έχουν την ελαχιστοποίηση της διαρροής μέσα από το ανάχωμα. Το φίλτρο ζώνης θα πρέπει να παρέχεται σε κάθε τύπο Λιθόριπτων φραγμάτων έτσι ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση και η απώλεια εδαφικής ύλης λόγω της διαρροής μέσα από το ανάχωμα.

Στα χωμάτινα φράγματα, το «σώμα» του φράγματος είναι το μόνο που θα πρέπει να έχει συγχρόνως κατασκευαστική αντίσταση και αντίσταση κατά της διαρροής και της αστοχίας, μαζί με λειτουργίες αποχέτευσης.

Το χωμάτινο φράγμα αποτελείται από κατάλληλα εδάφη που προέρχονται από δανειοθαλάμους, ή από εκσκαφή και συμπιέζεται στη συνέχεια σε στρώσεις με μηχανικά μέσα. Μετά την προετοιμασία του θεμελίου, εδαφική ύλη από δανειοθαλάμους ή από εκσκαφές μεταφέρεται στην περιοχή του φράγματος και στη συνέχεια γίνεται η διάστρωση του σε στρώσεις με το κατάλληλο πάχος. Τα εδαφικά στρώματα στη συνέχεια συμπυκνώνονται με κατάλληλα μηχανήματα.

Βασικό πλεονέκτημα των χωμάτινων φραγμάτων είναι ότι μπορούν να προσαρμοστούν σε αδύναμη εδαφική ύλη, με την προϋπόθεση να γίνεται η κατάλληλη έρευνα για την γεωλογία της περιοχής (και ειδικότερα του θεμελίου), με τον κατάλληλο σχεδιασμό και τις απαιτούμενες δοκιμές.

Ο τύπος του φράγματος σε ένα έργο, καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες που συνδέονται με την τοπογραφία και τη γεωλογία της περιοχής στη θέση του φράγματος, καθώς και με την ποιότητα και την ποσότητα των διαθέσιμων υλικών κατασκευής.

1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΧΩΜΑΤΙΝΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

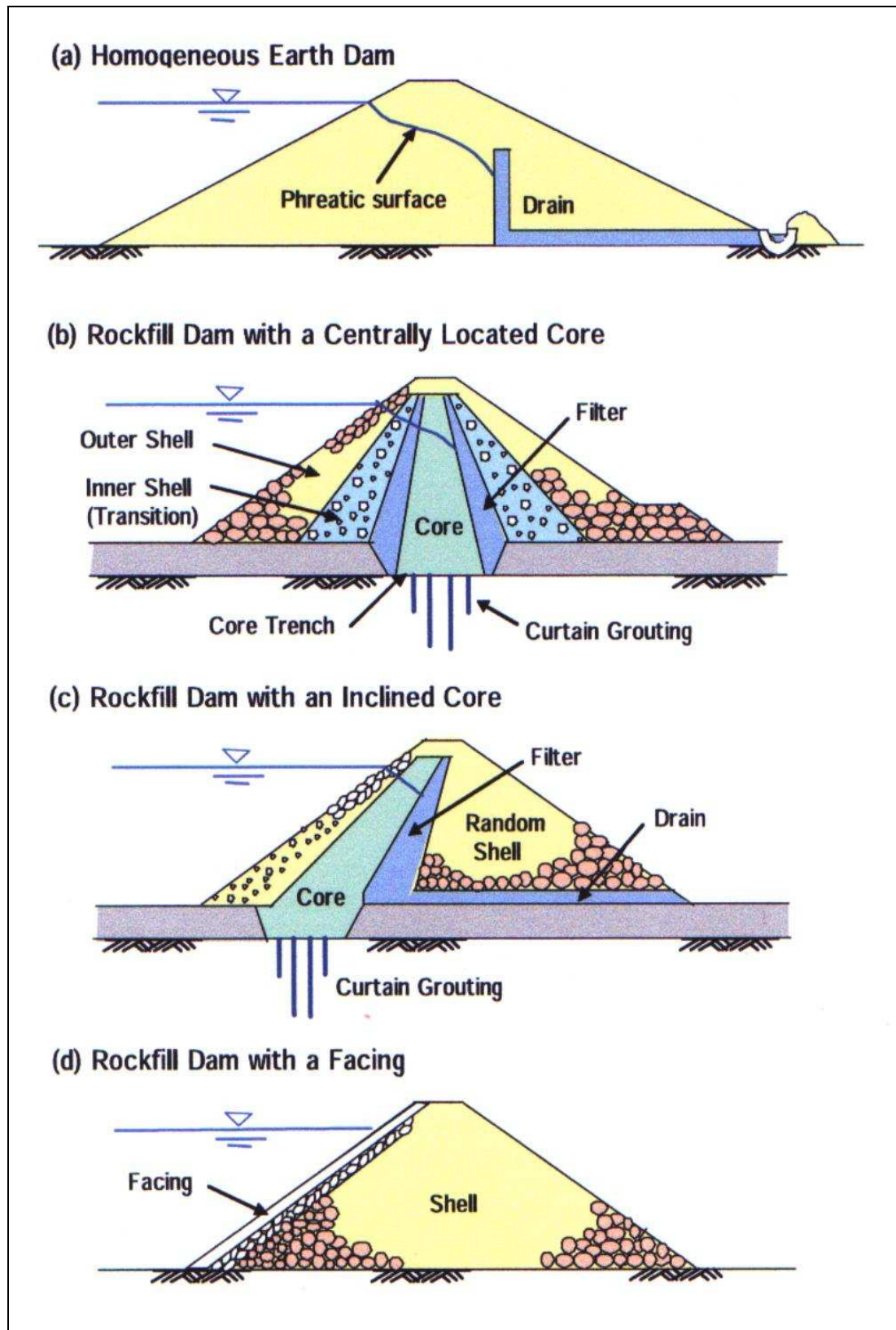
Τα φράγματα είναι ένα κρίσιμο και βασικό μέρος της εθνικής υποδομής ενός έθνους, για την αποθήκευση και διαχείριση των υδάτων που βρίσκονται μέσα σε λεκάνες απορροής. Προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ασφαλείας, ο σχεδιασμός, η κατασκευή, η λειτουργία και η τροποποίηση ενός φράγματος επιχώματος θα πρέπει να ακολουθούνται οι παρακάτω τεχνικές και διαχειριστικές απαιτήσεις :

1) Τεχνικές Απαιτήσεις :

- Το φράγμα, τα θεμέλια και τα αντερείσματα πρέπει να είναι σταθερά σε όλες τις στατικές και δυναμικές συνθήκες φόρτισης,
- Διαρροή η οποία ενδεχομένως να προκύψει μέσα από τα θεμέλια, τα αντερείσματα ή την επίωση του φράγματος πρέπει να ελέγχεται και να συγκεντρώνεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία του. Πρόθεση είναι να αποφευχθεί η υπερβολική πίεση του νερού στα ανάντη, στις σωληνώσεις των οργάνων μέτρησης, η αφαίρεση εδαφικής ύλης από διαρροή και η διάβρωση του υλικού σε ρωγμές, αρμούς και κοιλότητες. Επιπλέον, ο σκοπός του έργου μπορεί να επιβάλει περιορισμούς όσον αφορά τις επιτρεπόμενες ποσότητες των διαρροών. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να περιλαμβάνει μέτρα ελέγχου για τις διαρροές όπως, στα θεμέλια, στις στεγανές και αδιαπέρατες ζώνες στα ανάντη του φράγματος, στις μεταβατικές ζώνες, στο υλικό αποστράγγισης, στην επιφάνεια επαφής του πυρήνα και στα φρεάτια εκτόνωσης.
- Το ύψος του φράγματος πρέπει να είναι ικανοποιητικό για την αποφυγή υπερπήδησης του ύδατος πάνω από το φράγμα σε περιπτώσεις πλημμύρας και περιλαμβάνει την τιμή ανοχή της καθίζησης του θεμελίου και του επιχώματος.
- Ο υπερχειλιστής και η έξοδος του πρέπει να έχουν ικανή χωρητικότητα ύδατος έτσι ώστε σε περίπτωση που το νερό ανεβεί πάνω από την Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας στον ταμιευτήρα να μην έχουμε αστοχία και κατάρρευση του φράγματος.

2) Διαχειριστικές Απαιτήσεις :

- Περιβαλλοντική Ευθύνη,
- Κατάλληλα όργανα πάνω στο φράγμα ώστε να παρακολουθούν τις τυχόν αλλαγές,
- Τεκμηρίωση όλου του σχεδιασμού, της κατασκευής και των επιχειρησιακών σχεδίων,
- Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης : Προσδιορισμός, Επισημάνσεις και Αρμοδιότητες,
- Χρονοδιάγραμμα για τις περιοδικές επιθεωρήσεις, συνολική αναθεώρηση, αξιολόγηση και τροποποιήσεις ανάλογα με την περίπτωση



Σχήμα 1.2: Χωμάτινα και Λιθόρριπτα φράγματα – “Earth and Rock fills Dams”,
Πηγή : «Design and Construction of Embankment Dams» by Narita, Kunitomo, April 2000

1.4 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

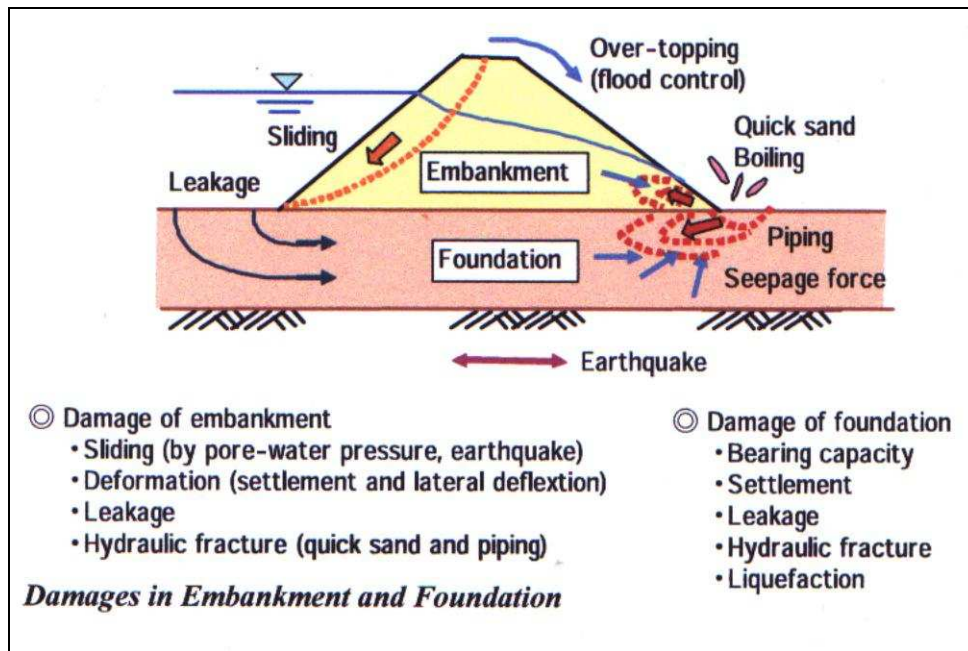
Οι περισσότερες απο τις καταστροφικές αστοχίες των χωμάτινων φραγμάτων προκαλούνται απο την υπερπήδηση του νερού πάνω από την στέψη του φράγματος λόγω πλημμυρών. Μολονότι τα χωμάτινα φράγματα δεν είναι σχεδιασμένα για να αντέχουν την διαβρωτική δράση του νερού σε περίπτωση υπερπήδησης του νερού πάνω από την στέψη, διάφορες περιπτώσεις δείχνουν ότι ο κύριος λόγος της αστοχίας είναι η ανεπαρκής χωρητικότητα του νερού στον υπερχειλιστή, δηλαδή ο σχεδιασμός που έχει γίνει είναι ανεπαρκής για την ποσότητα του νερού σε περίπτωση πλημμυρών.

Οι αστοχίες αυτού του τύπου όμως δεν μπορεί να αποτελέσουν αποφασιστικό ελάττωμα των χωμάτινων φραγμάτων, επειδή η συλλογή των διαθέσιμων δεδομένων υδρολογίας και η βελτίωση της μεθόδου σχεδιασμού μπορεί να ρυθμίσουν άμεσα το πρόβλημα. Άλλοι βασικοί παράγοντες που προκαλούν αστοχίες στο ανάχωμα είναι η διάβρωση από το νερό, η υψηλή πίεση πόρων νερού, δυνάμεις σεισμού, κλπ. Περισσότερο από το 50% των περιπτώσεων αστοχίας των χωμάτινων φραγμάτων οφείλεται σε διάβρωση από το νερό και το υπόλοιπο ποσοστό σε άλλους παράγοντες. Αρκετές τυπικές περιπτώσεις αστοχιών των χωμάτινων φραγμάτων φαίνονται στον πίνακα 1.1 και στο σχήμα 1.3

Πίνακας 1.1 : Αιτίες αστοχιών στα χωμάτινα φράγματα – “Causes of failure in earth fill dams”,

Πηγή : «Design and Construction of Embankment Dams» by Narita, Kunitomo, April 2000

ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	α) Συσσωρευμένη πίεση πόρων κατά την διάρκεια της κατασκευής
	β) Μείωση της διατμητικής αντοχής.
ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	α) Υδραυλική απόφραξη/ Διάβρωση του εσωτερικού/ Σωληνώσεις
	β) Υπερβολική υδροστατική πίεση λόγω γρήγορης απόσυρσης των υδάτων
	γ) Μείωση της διατμητικής αντοχής/ Καιρικές συνθήκες/ Διόγκωση του συμπιεσμένου εδάφους.
	δ) Δυνάμεις σεισμού
	ε) Καθίζηση και ράγισμα



Σχήμα 1.3 : Αστοχίες στο ανάχωμα και στη θεμελίωση - “Damages in Embankment and Foundation”,

Πηγή : «Design and Construction of Embankment Dams» by Narita, Kunitomo, April 2000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1.1 Γενικά

Τα φράγματα ως εγκαταστάσεις αποθήκευσης υδατικών πόρων και οι άλλες υδάτινες κατασκευές ελέγχου διαχείρισης πλημμυρών, δέχονται εξωτερικές φορτίσεις που προκαλούν παραμόρφωση και διαπερατότητα στην ίδια την κατασκευή όπως και των θεμελίων της. Οποιαδήποτε ένδειξη μη φυσιολογικής συμπεριφοράς μπορεί να απειλήσει την ασφάλεια της κατασκευής. Προσεκτική παρακολούθηση των φορτίων σε μια κατασκευή και η γνώση του τρόπου αντίδρασης της σε αυτά μπορεί να συμβάλουν στο να καθοριστεί η μη αναμενόμενη συμπεριφορά σε αυτή την κατασκευή.

Γενικά, η παρακολούθηση περιλαμβάνει τόσο τις μετρήσεις που γίνονται για τον έλεγχο της κατασκευής όσο και τους οπτικούς ελέγχους. Για να γίνει η παρακολούθηση των υδραυλικών κατασκευών, θα πρέπει να τοποθετηθούν μόνιμα πάνω στην κατασκευή εξοπλισμός με τα κατάλληλα όργανα ή και σημεία ελέγχου παρακολούθησης σύμφωνα με τις προδιαγραφές των παρατηρήσεων τον τύπο και το μέγεθος της κατασκευής όπως και τις συνθήκες της περιοχής.

2.1.2 Κατασκευές από Σκυρόδεμα

Οι παραμορφώσεις και οι περιοδικές παρατηρήσεις θα ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο της κατασκευής. Οι διαφορές στα υλικά κατασκευής είναι μια από τις μεγαλύτερες επιρροές για το πώς μια κατασκευή παραμορφώνεται. Για παράδειγμα, τα φράγματα από σκυρόδεμα παραμορφώνονται με διαφορετικό τρόπο από ότι τα χωμάτινα φράγματα. Για τα φράγματα από σκυρόδεμα όπως και για τις άλλες κατασκευές ελέγχου πλημμυρών από σκυρόδεμα, η

παραμόρφωση μπορεί να είναι ελαστική και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πίεση του νερού στον ταμιευτήρα (αυξομείωση στάθμης) και από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Η μόνιμη παραμόρφωση της κατασκευής μπορεί πολλές φορές να συμβεί επειδή το υπέδαφος προσαρμόζεται σε νέα φορτία, λόγω της γήρανσης του σκυροδέματος, ή την «κόπωση» του θεμέλιου βράχου της κατασκευής. Τέτοια παραμόρφωση δεν θεωρείται μη ασφαλή, όταν δεν υπερβαίνει μια προκαθορισμένη κρίσιμη τιμή.

Επομένως, οι περιοδικές παρατηρήσεις τυπικά ρυθμίζονται για παρατηρήσεις μακροπρόθεσμων μετακινήσεων όπως μη αναμενόμενες καθιζήσεις, πλάγιες μετακινήσεις, κλπ. Οι συμβατικοί γεωδαιτικοί μέθοδοι από εξωτερικά σημεία, είναι επαρκή για την παρακολούθηση αυτών των μακροπρόθεσμων τάσεων. Εξαιρετικά ακριβείς είναι συνήθως ο προσδιορισμός των σχετικών κινήσεων μεταξύ των μονόλιθων που οφείλονται λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας ή υδραυλικών φορτίων. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν μετρήσεις ρωγμών η σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των μονόλιθων κάτω από διαφορετικά υδραυλικά φορτία.

2.1.3 Χωμάτινες Κατασκευές

Τα χωμάτινα φράγματα και τα αναχώματα προφανώς παραμορφώνονται με διαφορετικό μηχανισμό σε σχέση με τα φράγματα από σκυρόδεμα. Στα χωμάτινα φράγματα η παραμόρφωση έχει σε μεγάλο βαθμό μόνιμα χαρακτηριστικά. Το ίδιο το βάρος του επιχώματος και η υδροστατική πίεση του νερού στον ταμιευτήρα ασκούν μια πολύ μεγάλη δύναμη στο υλικό πλήρωσης του φράγματος, (και στα θεμέλια εάν και αυτά αποτελούνται από χωμάτινο υλικό) με αποτέλεσμα την κάθετη παραμόρφωση της κατασκευής (καθίζηση). Η πίεση του νερού στον ταμιευτήρα επίσης προκαλεί μόνιμη οριζόντια παραμόρφωση στον άξονα του επιχώματος.

Οι απαιτήσεις ακριβείας στον έλεγχο της παραμόρφωσης είναι, εν γένει λιγότερο «αυστηρές» στα χωμάτινα φράγματα και οι παραδοσιακοί μέθοδοι ελέγχου στην κατασκευή συνήθως παρέχουν ικανοποιητική ακρίβεια. Τυπικοί έλεγχοι περιλαμβάνουν περιοδικές μετρήσεις οριζοντίων μετακινήσεων, χωροστάθμηση στη στέψη του φράγματος και στα πρηνή, την παρακολούθηση της καθίζησης και τον έλεγχο της ευστάθειας των πρηνών.

2.2 Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΑ ΧΩΜΑΤΙΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Η ασφάλεια στα χωμάτινα φράγματα εξαρτάται από τον σωστό σχεδιασμό της κατασκευής η οποία ελέγχεται μέσω της παρακολούθησης της συμπεριφοράς στις φάσεις κατασκευής και κατά την διάρκεια της λειτουργίας της κατασκευής. Οι παραμορφώσεις σε ένα χωμάτινο ή σε ένα λιθόρριπτο φράγμα αρχίζουν από τη φάση κατασκευής του. Αυτές οι παραμορφώσεις προκαλούνται από τις ενεργές τάσεις κατά την διάρκεια της κατασκευής από τα αλληπάλληλα στρώματα του εδαφικού υλικού και από τις επιδράσεις ερπυσμού των υλικών.

Οι παραμορφώσεις επίσης επηρεάζονται από τις παραμορφώσεις των θεμελίων, την μεταφορά και την αλληλεπίδραση των τάσεων μεταξύ των διαφορετικών ζωνών του φράγματος και άλλων παραγόντων. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του φράγματος οι σημαντικές μετακινήσεις της στέψης και του «σώματος» του φράγματος αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της πρώτης πλήρωσης του ταμιευτήρα. Αργότερα, η σοβαρότητα των παραμορφώσεων μειώνεται με το χρόνο, με εξαίρεση τις διακυμάνσεις που συνδέονται με τις περιοδικές διακυμάνσεις της στάθμης του ταμιευτήρα και τις σεισμικές ζώνες σε σχέση με τους σεισμούς.

Η ένταση, ο ρυθμός και η κατεύθυνση των μετακινήσεων σε μια συγκεκριμένη περιοχή του «σώματος» του φράγματος ή της στέψης του μπορεί να μεταβάλλεται κατά την διάρκεια των διαφορετικών φάσεων της κατασκευής και της λειτουργίας του ταμιευτήρα. Μεταβολές των τάσεων μπορεί να συμβούν σε διαφορετικά ύψη και σε διαφορετικές ζώνες του φράγματος. Αυτό μπορεί να προκληθεί για παράδειγμα από διαφορετικές καθιζήσεις μεταξύ του πυρήνα και των φίλτρων που βρίσκονται σε ζώνες στα κατάντη και στα ανάντη.

Εάν ο πυρήνας είναι πιο συμπιεσμένος σε σχέση με τις ζώνες που βρίσκονται στα ανάντη και στα κατάντη, η καθίζηση του είναι μεγαλύτερη από το ίδιο του το βάρος σε σχέση με τις ζώνες όπου βρίσκονται τα φίλτρα και με την επίδραση της κλίσης, η μάζα του πυρήνα στηρίζεται σε πιο άκαμπτες ζώνες φίλτρων. Αυτό προκαλεί την μείωση της κάθετης τάσης και κατά συνέπεια την πλευρική τάση που αναπτύσσεται προς την βάση του πυρήνα. Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να προκαλέσουν υδραυλικό σπάσιμο του υλικού και τον κίνδυνο της διάβρωσης των λεπτών σωματιδίων του πυρήνα.

Οι γεωτεχνικοί παράμετροι του εδαφικού υλικού παίζουν σημαντικό ρόλο στη σταθερότητα του φράγματος. Τα φράγματα που βρίσκονται σε περιοχές ενεργά σεισμικές είναι κατασκευασμένα με υλικό που χαρακτηρίζεται από τέτοιες γεωτεχνικές παραμέτρους οι οποίες επιτρέπουν σε ένα φράγμα να προσαρμόζεται καλύτερα στις αλλαγές των συνθηκών φόρτισης.

2.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Ένας από τους σημαντικότερους στόχους της παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς ενός φράγματος, είναι να εξακριβωθεί ότι η συμπεριφορά του εξεταζόμενου φράγματος ακολουθεί την προβλεπόμενη σχεδίαση στο χώρο και στον χρόνο. Ο σχεδιασμός της παρακολούθησης πρέπει να περιλαμβάνει (Chrzanowski, 1993):

- Τον προσδιορισμό του ελάχιστου αριθμού (πυκνότητα) και τις θέσεις των σημείων που είναι για παρακολούθηση (το σχέδιο παρακολούθησης θα πρέπει να περιλαμβάνει τα σημεία όπου αναμένονται οι μέγιστες μετακινήσεις),
- Τη συχνότητα των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, (η συχνότητα των μετρήσεων εξαρτάται από τον αναμενόμενο ρυθμό και το μέγεθος των παραμορφώσεων),
- Απαιτήσεις ακριβείας,

Σε περίπτωση όπου η περιοχή του ταμιευτήρα βρίσκεται σε σεισμικά ενεργό περιοχή, ο σχεδιασμός της παρακολούθησης πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν όχι μόνο για τα αποτελέσματα των φορτίσεων λόγω πλήρωσης του ταμιευτήρα και τη καθίζηση από το ίδιο το βάρος του φράγματος αλλά και από τις επιπτώσεις των κινήσεων του φλοιού της γης. Έτσι, προκειμένου να είναι σε θέση να διακριθεί μεταξύ διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν την ακεραιότητα του φράγματος, το τοπικό σχέδιο για την παρακολούθηση του φράγματος πρέπει να συμπληρώνεται από τον γεωδαιτικό έλεγχο για την σταθερότητα της ευρύτερης περιοχής που είναι γύρω από τον ταμιευτήρα και πρέπει να συνδέεται με το υπάρχον περιφερειακό κρατικό δίκτυο για την παρακολούθηση των μετακινήσεων του φλοιού της γης.

Η παρακολούθηση είναι σημαντική για ένα καλύτερο και ασφαλέστερο σχεδιασμό των μελλοντικών φραγμάτων μέσω της επαλήθευσης των παραμέτρων σχεδιασμού, όπου οι γεωτεχνικοί παράμετροι είναι ύψιστης σημασίας, (Szostak-Chrzanowski et. al., 2003). Ο προσδιορισμός των γεωτεχνικών παραμέτρων μπορεί να γίνει επί τόπου ή στο εργαστήριο.

Στο εργαστήριο δοκιμών τα επιλεγμένα δείγματα μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους λόγω των διαφορετικών περιοχών που ελήφθησαν, μπορεί επίσης να διαταράχθηκαν κατά την διάρκεια της συλλογής τους ή οι εργαστηριακές συνθήκες φόρτωσης μπορεί να διαφέρουν από τις φυσικές συνθήκες. Επιπλέον η σύγκριση των δεδομένων που παρατηρήθηκαν μαζί με τα προβλεπόμενα δεδομένα που λαμβάνονται κατά την διάρκεια του σχεδιασμού, μπορεί να δώσουν

πολύ σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις γεωτεχνικές παραμέτρους, (Szostak-Chrzanowski et. al.,2002).

Η Ελβετική επιτροπή για την ασφάλεια των φραγμάτων (Biedermann 1996) προτείνει ότι η παρακολούθηση των φραγμάτων θα πρέπει να πραγματοποιείται ως εξής :

- *Οπτικός Έλεγχος:* (\leq μια φορά την εβδομάδα). Δεδομένου ότι όλες οι πιθανές αστοχίες της κατασκευής δεν μπορούν να προβλεφθούν με τις μετρήσεις, ένας οπτικός έλεγχος από εξειδικευμένους ανθρώπους που γνωρίζουν την κατασκευή είναι απαραίτητη. Η οπτική επιθεώρηση πρέπει να καλύπτει όλες τις κατασκευές του φράγματος, την γύρω περιοχή και εάν είναι απαραίτητο, τις πλαγιές κατά μήκος του ταμιευτήρα,
- *Μετρήσεις:* (\leq μια φορά το μήνα) των βασικών παραμέτρων (δεικτών) της συμπεριφοράς του φράγματος, στις σήραγγες και στη γύρω περιοχή (συμπεριλαμβανομένης και των πρανών εάν είναι απαραίτητο). Αυτό είναι κατανοητό επειδή τα προβλήματα συμπεριφοράς της κατασκευής και του εδάφους συνήθως αναπτύσσονται αργά. Η γνώση της αξονικής μετατόπισης από ένα ή περισσότερα σημεία κατά μήκος της στέψης του φράγματος είναι ικανοποιητική για το σκοπό αυτό. Στα φράγματα από σκυρόδεμα, αυτές οι συχνές μετρήσεις διεξάγονται επί τόπου με όργανα άμεσης μέτρησης όπως, το εκκρεμές, κλισίμετρα, επιμηκυνσιόμετρα, κλπ. Τέτοιες μετρήσεις είναι πολύ ακριβής, εύκολο να γίνουν και οικονομικά αποδοτικές. Η αυτοματοποίηση λήψης και μετάδοσης αυτού του τύπου των μετρήσεων και ο έλεγχος είναι εύκολος εάν χρειαστεί.
- *Περιοδική Εξέταση Ασφαλείας:* (μεγάλα φράγματα: κάθε 5 χρόνια, μικρά φράγματα: όταν απαιτείται). Ο Biedermann (1996), προτείνει ότι ένα μειωμένο πρόγραμμα μετρήσεων του εγκατεστημένου γεωδαιτικού δικτύου μπορεί να μετρηθεί κατά την διάρκεια αυτών των πέντε ετησίων ελέγχων ασφαλείας του φράγματος. Στην ιδανική περίπτωση θα πρέπει αυτό να γίνει όταν η Ανώτατη Στάθμη του ταμιευτήρα φτάσει στο μέγιστο σημείο της και την ίδια εποχή του χρόνου που το εποχιακό αποτέλεσμα είναι συχνά πιο έντονο από τις αλλαγές που προκαλούνται από την στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα.

2.4 Η ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Η παρακολούθηση των χωμάτινων φραγμάτων μπορεί να χωριστεί σε: περιβαλλοντολογική, γεωτεχνική, γεωδαιτική και οπτικό έλεγχο. Η γεωτεχνική παρακολούθηση μπορεί να χωριστεί σε δυο ομάδες : α) φυσικές και β) γεωμετρικές μετρήσεις. Οι φυσικές μετρήσεις είναι : μετρήσεις της πίεσης των πόρων χρησιμοποιώντας πιεζόμετρο, μετρήσεις της διαφυγής νερού μέσα από το φράγμα, τη θεμελίωση, τα αντερείσματα και τη μέτρηση των τάσεων μέσα σε επιλεγμένες θέσεις στο φράγμα χρησιμοποιώντας χωμάτινα κελιά πίεσης. Οι γεωμετρικές μετρήσεις είναι: για παρακολούθηση της κλίσης χρησιμοποιώντας κλισίμετρα, τις μετατοπίσεις του θεμελίου χρησιμοποιώντας επιμηκυνσιόμετρα και τις κινήσεις του θεμελίου χρησιμοποιώντας κλισίμετρα.

Η γεωδαιτική παρακολούθηση καθορίζει την κατακόρυφη και την οριζόντια μετατόπιση των επιλεγμένων επιφανειακών σημείων σε σχέση με τα σημεία αναφοράς που βρίσκονται σε σταθερή περιοχή χρησιμοποιώντας επίγειες ή δορυφορικές τεχνικές προσδιορισμού θέσης. Με τη σημερινή γεωδαιτική τεχνολογία η οποία χρησιμοποιεί ρομποτικούς γεωδαιτικούς σταθμούς με αυτόματη αναγνώριση στόχου, GPS και άλλους αισθητήρες, μπορεί κανείς να επιτύχει ότι τον ενδιαφέρει, πρακτικά χρειάζεται ανάλυση και ακρίβεια του οργάνου, πλήρης αυτοματοποίηση και σε πραγματικό χρόνο να γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων. Οι κυριότεροι παράγοντες που περιορίζουν την γεωδαιτική ακρίβεια είναι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η ατμοσφαιρική διάθλαση, (Chrzanowski and Wilkins, 2006).

Τα γεωτεχνικά όργανα αφού τοποθετηθούν μέσα στη μάζα του φράγματος δεν μπορούν να επανελεγχθούν ή να διακριβωθούν. Επιπλέον, πολύ συχνά τα γεωτεχνικά όργανα παρέχουν αναξιόπιστα δεδομένα ή χαλάνε κατά την διάρκεια του χρόνου λειτουργίας του φράγματος. Οι γεωδαιτικές μετρήσεις με πλεονάζουσες παρατηρήσεις και τη δυνατότητα της στατιστικής αξιολόγησης της ποιότητας των δεδομένων παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα, ωστόσο, η πληροφορία που παρέχουν αφορά σε επιφανειακές μετακινήσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις ωστόσο συνιστάται η χρήση ολοκληρωμένων συστημάτων παρακολούθησης στα οποία τα γεωτεχνικά όργανα συνδυάζονται με γεωδαιτικές τεχνικές.

Ο σκοπός της τοποθέτησης οργάνων και της παρακολούθησης είναι η διατήρηση και η βελτίωση της ασφάλειας των φραγμάτων με την παροχή πληροφοριών όπως: 1) την αξιολόγηση κατά πόσο ένα φράγμα λειτουργεί όπως αναμενόταν και 2) να προειδοποιεί για τις αλλαγές που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια ενός φράγματος.

Τα όργανα μέτρησης και η διαδικασία παρακολούθησης πρέπει να σχεδιάζονται και να υλοποιούνται προσεκτικά για την επίτευξη καθορισμένων στόχων. Κάθε όργανο σε ένα φράγμα πρέπει να έχει ένα συγκεκριμένο σκοπό. Όργανα για μακροχρόνια παρακολούθηση θα πρέπει να είναι ανθεκτικά και εύκολα στη συντήρηση, επίσης θα πρέπει να μπορούν να ελέγχονται και να διακριβώνονται. Παρέχουν πληροφορίες :

- Για την κατάσταση της περιοχής πριν την κατασκευή,
- Επιβεβαιώνουν το σωστό σχεδιασμό και την ανάλυση υποθέσεων,
- Αξιολογούν την συμπεριφορά κατά την διάρκεια της κατασκευής, την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα και την λειτουργία της κατασκευής,
- Για την παρατήρηση της συμπεριφοράς των γνωστών γεωτεχνικών και κατασκευαστικών ανωμαλιών,
- Για την αξιολόγηση της κατάστασης της περιοχής γύρω από το φράγμα σε περίπτωση αστοχίας της κατασκευής.

2.5 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Οι γεωδαιτικές κυρίως μέθοδοι για την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς των φραγμάτων διακρίνονται σε επίγειες και δορυφορικές. Πρόσφατα, αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες και μεθοδολογίες που στηρίζονται στη χρήση συστημάτων σαρωτών laser και radar συνθετικού ανοίγματος. Όσον αφορά στις επίγειες μεθόδους μπορεί να γίνει:

- Ίδρυση τρισδιάστατων, οριζοντιογραφικών ή κατακορύφου ελέγχου δικτύων στο σώμα του φράγματος και στην ευρύτερη περιοχή.
- Συνεχής παρακολούθηση με σύγχρονους ρομποτικούς γεωδαιτικούς σταθμούς, σε μόνιμα τοποθετημένα σημεία στο κυρίως σώμα του φράγματος και στην ευρύτερη περιοχή.

Στις δορυφορικές μεθόδους γίνεται ίδρυση ενός δικτύου σημείων αντίστοιχου των τρισδιάστατων επίγειων δικτύων ελέγχου για την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς ταυτόχρονα και στις τρεις διαστάσεις, (παρέχεται μεγαλύτερη αβεβαιότητα στον υπολογισμό υψομέτρων).

2.5.1 Επίγεια Γεωδαιτικά Δίκτυα, Οριζοντίου και Τρισδιάστατου Ελέγχου

Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και επιμέλεια στην επιλογή της θέσης των κορυφών των επίγειων γεωδαιτικών δικτύων. Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής τους για την παρακολούθηση παραμορφώσεων σε φράγματα είναι:

- Χαρακτηριστικές – κατάλληλες θέσεις ώστε να καλύπτουν και να εξασφαλίζουν την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς των φραγμάτων και της ευρύτερης περιοχής τους.
- Εύκολη πρόσβαση, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί ο κατάλληλος γεωδαιτικός εξοπλισμός.
- Αμοιβαία ορατότητα μεταξύ τους ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες παρατηρήσεις (οριζοντιογραφικά και τρισδιάστατα δίκτυα).
- Τα σταθερά σημεία του δικτύου επιλέγονται να είναι σε τέτοια θέση, ώστε να εξασφαλίζεται η ανεξαρτησία της κινηματικής συμπεριφοράς του, σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία στο φράγμα.

Τα γεωδαιτικά δίκτυα οριζοντίου ελέγχου χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς ενός φράγματος στις δύο διαστάσεις (επίπεδο). Η εξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών στην ευχρηστία και η αύξηση της ακρίβειας μέτρησης των κατακόρυφων γωνιών και μηκών επιτρέπουν σήμερα την εξέλιξη των δικτύων αυτών σε τρισδιάστατα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση των παραμορφώσεων ενός φράγματος και στις τρεις διαστάσεις. Η απόσταση μεταξύ των κορυφών του τρισδιάστατου τοπικού δικτύου είναι συνήθως μερικές εκατοντάδες μέτρα.

Η σήμανση των σημείων ελέγχου γίνεται με ειδικές κατασκευές. Έτσι διευκολύνεται η τοποθέτηση του κατάλληλου γεωδαιτικού εξοπλισμού για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, εξασφαλίζεται η μονιμότητα και σταθερότητα των σημείων στο χώρο και στο χρόνο καθώς και ο μοναδικός ορισμός του σημείου ελέγχου σε όλες τις φάσεις των μετρήσεων.

Πραγματοποιούνται μετρήσεις μηκών, οριζόντιων γωνιών ή διευθύνσεων και κατακόρυφων γωνιών μεταξύ των σημείων του δικτύου, χρησιμοποιώντας σύγχρονους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς. Μετά από κατάλληλη επεξεργασία με τη Μ.Ε.Τ. (περίπτωση μεταβολής συντεταγμένων) προσδιορίζονται τόσο οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου όσο και οι αβεβαιότητές τους για κάθε φάση μέτρησης. Η επίλυση γίνεται σε

αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς θεωρώντας σταθερό ένα σημείο και μια διεύθυνση (ελάχιστες δεσμεύσεις). Ακολουθεί ο υπολογισμός της μεταβολής της θέσης (οριζοντιογραφικά και υψομετρικά) των κορυφών του δικτύου και ο έλεγχος της απόλυτης και σχετικής μεταβολής της θέσης τους, για ένα συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Έτσι είναι δυνατός ο ταυτόχρονος προσδιορισμός της μεταβολής της θέσης κάθε σημείου και στις τρεις διαστάσεις για τιμές που κυμαίνονται από μερικά mm έως 1cm.



Σχήμα 2.1 : Total Station (Leica TM30) υψηλής ακριβείας για την επίγεια μέτρηση γεωδαιτικού δικτύου και μικρομετακινήσεων – Total Station (Leica TM30) high precision measurement of the terrestrial geodetic network and surface movements, Πηγή : Leica

2.5.2 Γεωδαιτικά Δίκτυα Κατακόρυφου Ελέγχου

Τα δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου (υψομετρικά δίκτυα) χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κινηματικής συμπεριφοράς ενός φράγματος στη κατακόρυφη διεύθυνση μόνο (ανύψωση ή καθίζηση). Για την υλοποίησή τους χρησιμοποιούνται ειδικές ορειχάλκινες κατασκευές (μπουλόνια) διαφόρων μεγεθών στις οποίες εδράζεται ο χωροσταθμικός πήγης (σταδία) με μοναδικό τρόπο.

Στα δίκτυα αυτά οι μετρήσεις αποβλέπουν στον προσδιορισμό των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των σημείων ελέγχου και στην επίλυση ενός δικτύου με τη μέθοδο των

ελαχίστων τετραγώνων. Έτσι υπολογίζονται τα υψόμετρά τους και η ακρίβεια του προσδιορισμού τους, που είναι της τάξης του $\pm 1\text{mm}$ ή και καλύτερα.

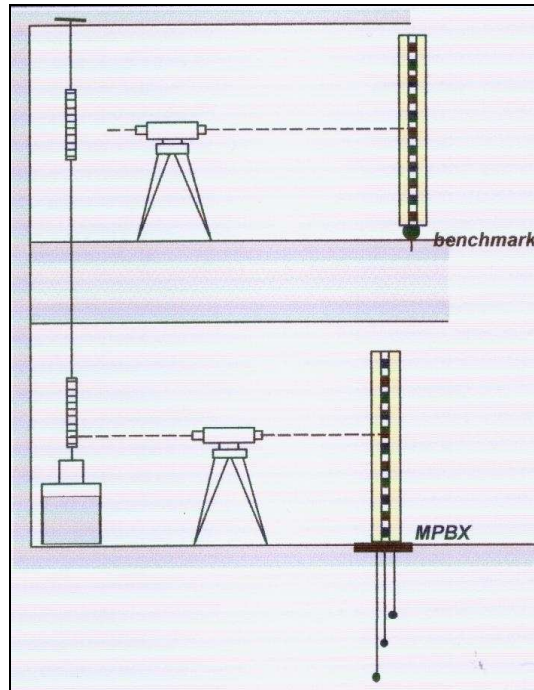
Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με τη μέθοδο της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμησης χρησιμοποιώντας ψηφιακό χωροβάτη και κωδικοποιημένες σταδίες. Όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες ή έντονο το τοπογραφικό ανάγλυφο εφαρμόζεται η μέθοδος της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας χρησιμοποιώντας ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό και παρελκόμενα ή η μέθοδος της Ειδικής Τριγωνομετρικής Υψομετρίας.

Η επιλογή των υψομετρικών συνδέσεων μεταξύ των σημείων ελέγχου προϋποθέτει τη διαδικασία της βελτιστοποίησης με τη βοήθεια της οποίας επιλέγεται ο συνδυασμός των συνδέσεων που πρέπει να πραγματοποιηθούν ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη ακρίβεια με τη μικρότερη χρονική επιβάρυνση. Η μέτρηση του δικτύου επαναλαμβάνεται σε διάφορες χρονικές περίοδοι (εποχές μετρήσεων).

Ακολουθεί ο υπολογισμός της μεταβολής της υψομετρικής θέσης των κορυφών του δικτύου μεταξύ δύο διαδοχικών φάσεων και ο έλεγχος της απόλυτης και σχετικής μεταβολής της θέσης τους, για ένα συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Με τα δίκτυα αυτά είναι δυνατός ο προσδιορισμός κατακόρυφων μεταβολών, ανάλογα με τη μορφή του δικτύου, την εφαρμοζόμενη μέθοδο μέτρησης και την παρεχόμενη ακρίβεια των οργάνων που θα χρησιμοποιηθούν.



Σχήμα 2.2 : Ψηφιακός χωροβάτης ακριβείας (Leica NA 2002) και σταδία τύπου invar για την μέτρηση του υψόμετρου – Precision digital level (Leica NA 2002) and invar bar code for measuring the altitude. Πηγή : US Army Corps of Engineers, (EM 1110-2-1009, 1 June 2002), ENGINEERING AND DESIGN, Structural Deformation Surveying, ENGINEER MANUAL



Σχήμα 2.3 : Μέτρηση υψομέτρου και καθίζησης σε σημεία ελέγχου πάνω στο φράγμα με την χρήση ψηφιακού χωροβάτη και σταδίας invar – Measurement of altitude and settlement in control points on the dam with the use of digital level and invar bar code. Πηγή : US Army Corps of Engineers, (EM 1110-2-1009, 1 June 2002), ENGINEERING AND DESIGN, Structural Deformation Surveying, ENGINEER MANUAL

2.5.3 Δορυφορικά Γεωδαιτικά Δίκτυα

Οι δορυφορικές γεωδαιτικές μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας δέκτες του συστήματος GPS, αποβλέπουν στον προσδιορισμό των διανυσμάτων στο χώρο, μεταξύ των κορυφών του τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου και φυσικά δεν απαιτείται αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των κορυφών του δικτύου. Η σήμανση των σημείων αυτών μπορεί να γίνει με κατασκευές αντίστοιχες με τα επίγεια τρισδιάστατα δίκτυα ή και με πιο μικρά – χαμηλά βάθρα και στυλεούς στήριξης των κεραιών του συστήματος .

Στα δίκτυα αυτά, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην επιλογή της θέσης των κορυφών τους, ώστε να βρίσκονται σε χώρο με ανοικτό ορίζοντα γύρω τους, να φαίνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο τμήμα της ουράνια σφαίρας και να μην επιλέγονται θέσεις κοντά σε φυσικά εμπόδια, τεχνητές κατασκευές, δέντρα και μεταλλικές κατασκευές. Έτσι προσδιορίζονται μετά από επίλυση κάθε φάσης μέτρησης, οι μεταβολές της θέσης των κορυφών του με ακρίβεια της

τάξης των μερικών χιλιοστών. Οι διαφορές των συντεταγμένων των σημείων του δικτύου προσδιορίζονται αρχικά στο παγκόσμιο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς WGS '84 και μετατρέπονται κατόπιν στο τοπικό σύστημα του φράγματος (τεχνικού έργου) χρησιμοποιώντας έναν πίνακα στροφής, που εξαρτάται από τη θέση του φράγματος πάνω στη γη (φ, λ είναι οι γεωδαιτικές συντεταγμένες του κέντρου βάρους του δικτύου).

Έτσι τελικά υπολογίζονται οι μεταβολές ΔN , ΔE , ΔU σε τοπικό τρισδιάστατο σύστημα στην περιοχή του φράγματος. Μ' αυτό τον τρόπο τα διανύσματα των μεταβολών των συντεταγμένων και οι διευθύνσεις τους είναι άμεσα αντιληπτά και μπορούν να συσχετιστούν.

2.5.4 Ολοκληρωμένα Γεωδαιτικά Δίκτυα

Οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί παρέχουν δυνατότητα προγραμματισμού ώστε να ανιχνεύουν και να μετρούν συγκεκριμένους στόχους (ανακλαστήρες) σε τακτά χρονικά διαστήματα, που είτε ορίζονται εκ των προτέρων είτε ελέγχονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή από το γραφείο. Έτσι μπορεί να γίνει εγκατάσταση ειδικών φορέων στόχων ή ανακλαστήρων οι οποίοι πακτώνονται στο σώμα του φράγματος.

Τα σημεία αυτά μετρούνται από δύο ή τρία τέτοια όργανα ταυτόχρονα με την ίδια πάντα σειρά μια και οι σταθμοί αυτοί έχουν τη δυνατότητα αναγνώρισης κάθε στόχου με κωδικό ώστε να γνωρίζει ο χρήστης ποιος στόχος μετράται κάθε στιγμή. Η διαδικασία μπορεί να επαναλαμβάνεται με εκ των προτέρων προγραμματισμό της συχνότητας μέτρησης ή με την εντολή μέσω ενός Η/Υ από το γραφείο.

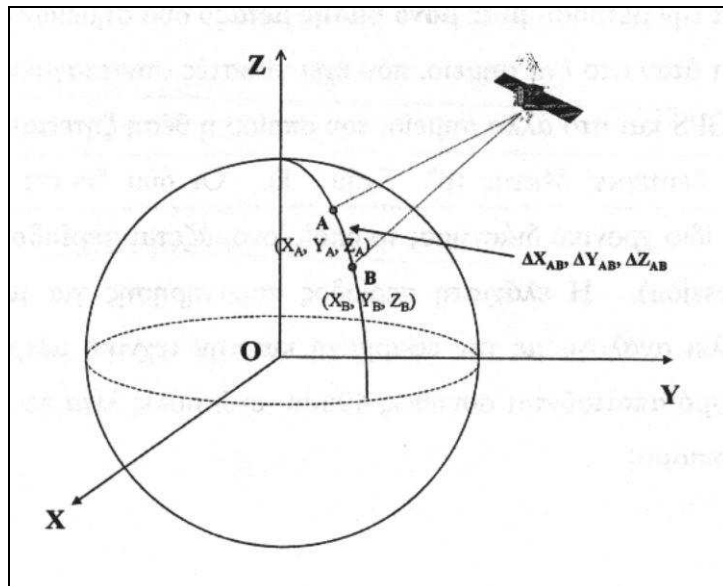
Οι μετρήσεις μεταφέρονται αυτόματα από το σταθμό σε Η/Υ και σε πρόγραμμα επίλυσης υπολογίζοντας τις συντεταγμένες των σημείων καθώς και τις αβεβαιότητές τους για κάθε φάση μέτρησης και ακολουθεί η επεξεργασία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων όπως προηγούμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ GPS

Στη Δορυφορική Γεωδαισία με εφαρμογή της μεθόδου στατικού σχετικού εντοπισμού προσδιορίζεται το τρισδιάστατο διάνυσμα ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) της βάσης μεταξύ των δυο σημείων, το οποίο αναφέρεται στο γεωκεντρικό καρτεσιανό σύστημα αναφοράς WGS-84, (σχήμα 3.1). Όταν το διάνυσμα αυτό προστεθεί αλγεβρικά στις WGS-84 συντεταγμένες του γνωστού σημείου (ενός εκ των κορυφών της βάσης) θα δώσει τις καρτεσιανές συντεταγμένες του δεύτερου σημείου στο ίδιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Όταν δίνονται παράμετροι μετασχηματισμού μεταξύ του συστήματος WGS84 και ενός τοπικού γεωδαιτικού, τότε οι προσδιοριζόμενες συντεταγμένες είναι δυνατόν να αναφέρονται κατευθείαν στο τοπικό σύστημα αναφοράς (π.χ. κρατικό σύστημα).



Σχήμα 3.1 : Οι μετρήσεις GPS προσδιορίζουν το τρισδιάστατο καρτεσιανό διάνυσμα $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ της βάσης μεταξύ δυο σημείων – The GPS measurements determine the tree-dimensional Cartesian vector $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, between two points in a baseline.

Ένα δίκτυο GPS προκύπτει από ένα μεγάλο αριθμό ανεξάρτητων βάσεων. Ο σκοπός του δικτύου είναι να προσδιορισθούν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων (κορυφών) που βρίσκονται στα άκρα κάθε βάσης.

Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των κορυφών μπορεί να γίνει με δυο τρόπους :

A) να γίνει ξεχωριστή επεξεργασία των μετρήσεων για κάθε μια μετρημένη βάση του δικτύου, και στην συνέχεια να συνορθωθούν ταυτόχρονα όλες μαζί οι βάσεις (συνόρθωση με M.E.T.),
B) να γίνει ταυτόχρονη επεξεργασία και επίλυση όλων των πρωτογενών παρατηρήσεων (ή συνδυασμός των πρωτογενών παρατηρήσεων) που έχουν προέλθει από τις βάσεις του δικτύου.

Συνήθως στην πράξη, μια τοπογραφική εργασία με χρήση GPS συνήθως περιλαμβάνει ένα μικρό αριθμό δεκτών για να προσδιορίσει τις συντεταγμένες ενός μεγαλύτερου αριθμού σημείων.

Σε ένα δίκτυο GPS που αποτελείται από N σημεία, σχηματίζονται $(N \text{ ανά } 2) = \frac{N(N-1)}{2}$

δυνατές βάσεις, εκ των οποίων ένας κατάλληλος αριθμός επιλέγεται συνήθως για να μετρηθεί.

Η γεωμετρική μορφή του δικτύου ορίζεται από το σύνολο των μετρημένων βάσεων σε μια ή περισσότερες μετρητικές περιόδους. Ο ρόλος του σωστού προγραμματισμού για την οργάνωση και εκτέλεση των παρατηρήσεων σε συνδυασμό με τον ικανοποιητικό σχεδιασμό του δικτύου είναι πολύ σημαντικός και γίνεται με κριτήρια οικονομικού κόστους, ακρίβειας και αξιοπιστίας.

Η χρήση του GPS στις τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές, μεταξύ άλλων, διευκολύνει σημαντικά την εκτέλεση των μετρήσεων, ιδιαίτερα στη μέτρηση δικτύων, με αποτέλεσμα το GPS να έχει επικρατήσει έναντι των κλασικών γεωδαιτικών οργάνων ως το κύριο μέσο. Επιπλέον οι μετρήσεις GPS (φάσεις) χαρακτηρίζονται από υψηλή εσωτερική ακρίβεια, προϋπόθεση για υψηλής ακρίβειας αποτελέσματα, της τάξης των μερικών χιλιοστών και γενικά καλλίτερης του εκατοστού για τις συνήθεις εφαρμογές.

Το κλειδί για υψηλής ακρίβειας αποτελέσματα βρίσκεται στη σωστή ανάλυση και επεξεργασία των παρατηρήσεων GPS, την οποία από μόνο του ένα πρόγραμμα-λογισμικό δεν εγγυάται εάν ο χρήστης δεν διαθέτει και ένα ικανοποιητικό επίπεδο σχετικών γνώσεων, π.χ. επίδραση της ατμόσφαιρας, επίλυση ασαφειών, μέθοδοι και σχεδιασμός μετρήσεων, συνόρθωση παρατηρήσεων, στατιστική αξιολόγηση, συστήματα αναφοράς και μετασχηματισμοί συντεταγμένων.

Ο χρήστης χρησιμοποιεί ένα δέκτη GPS, ο οποίος έχει την δυνατότητα να καταγράφει και να αναλύει τα σήματα ώστε να προσδιορίζονται δύο βασικά παρατηρούμενα μεγέθη: α)

ψευδοαποστάσεις μεταξύ δέκτη – δορυφόρου και β) μετρήσεις φάσεων μεταξύ του εκπεμπόμενου σήματος και ενός σήματος που παράγεται από τον δέκτη. Τα σήματα περιέχουν πληροφορία σχετικά με το χρόνο εκπομπής τους και τη θέση του δορυφόρου τη στιγμή εκπομπής, αλλά και συμπληρωματικές πληροφορίες σχετικές με την κατάσταση λειτουργίας και διάφορες διορθώσεις για την επίδραση της ατμόσφαιρας.

3.2 ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ (GPS)

3.2.1. Ανάλυση Παρατηρήσεων Ψευδοαποστάσεων

Η μέτρηση ψευδοαπόστασης σχετίζεται με το χρονικό διάστημα (διαφορά μεταξύ του χρόνου εκπομπής και του χρόνου λήψης του σήματος) η οποία μετατρέπεται σε απόσταση αν πολλαπλασιαστεί με την ταχύτητα του φωτός c .

Η απόσταση που προκύπτει δεν είναι η γεωμετρική απόσταση, αλλά μια ψευδοαπόσταση, λόγω των χρονικών καθυστερήσεων του σήματος κατά την διάδοση του στην ατμόσφαιρα (συστηματικά σφάλματα) καθώς και άλλων σφαλμάτων που οφείλονται στα χρονόμετρα του δορυφόρου και κυρίως του δέκτη. Τα συστηματικά σφάλματα λόγω (ιονόσφαιρας + τροπόσφαιρα) υπολογίζονται, με τη βοήθεια πληροφορίας που εκπέμπεται από τους δορυφόρους, από κατάλληλα μοντέλα ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα η επίδραση τους να περιορίζεται σημαντικά.

Το σφάλμα όμως του χρονομέτρου του δέκτη, επειδή δεν μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά σε κάθε χρονική στιγμή μέτρησης των ψευδοαποστάσεων, υπεισέρχεται ως άγνωστη παράμετρος στη συνόρθωση.

Οι δορυφόροι εκπέμπουν παράλληλα και τα στοιχεία της τροχιάς τους με τη βοήθεια των οποίων υπολογίζονται οι συντεταγμένες τους (x^i, y^i, z^i) στο γεωκεντρικό καρτεσιανό σύστημα αναφοράς (WGS-84) ανά πάσα χρονική στιγμή. Δηλαδή οι δορυφόροι έχουν γνωστές συντεταγμένες για κάθε χρονική στιγμή, οι οποίες θεωρούνται σταθερές (για τις συνήθεις εφαρμογές) και παίζουν το ρόλο των γνωστών τριγωνομετρικών σημείων των κλασικών γεωδαιτικών και τοπογραφικών δικτύων. Το ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός της θέσης του δέκτη, δηλαδή των συντεταγμένων του (x, y, z).

Το πρόβλημα μας λοιπόν, είναι ένα πρόβλημα πολλαπλής οπισθοτομίας με ταυτόχρονες παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων προς τέσσερις τουλάχιστον δορυφόρους. Για περισσότερους δορυφόρους απαιτείται εφαρμογή συνόρθωσης.

Αν r_1^i (σχέση 1), είναι η παρατηρούμενη ψευδοαπόσταση μεταξύ δορυφόρου i και ενός δέκτη 1, αυτή προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της χρονικής διαφοράς $t_1 - t^i$ με την ταχύτητα του φωτός c και γράφεται : $r_1^i = \rho_1^i + d_{ion} + d_{trop} + c \cdot \varepsilon_1$ (1)

όπου, ρ_1^i η γεωμετρική απόσταση δορυφόρου – δέκτη, d_{ion} και d_{trop} οι καθυστερήσεις (εκφρασμένες σε μονάδες απόστασης) λόγω ιονόσφαιρας και τροπόσφαιρας, αντίστοιχα, και ε_1 η χρονική υστέρηση του χρονομέτρου του δέκτη, σε σχέση με τον απόλυτο χρόνο αναφοράς.

Η γεωμετρική απόσταση ρ_1^i μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει των συντεταγμένων του δορυφόρου και των συντεταγμένων του δέκτη. Θα έχουμε τελικά, τη μη γραμμική εξίσωση παρατήρησης μιας ψευδοαπόστασης, r_1^i (σχέση 2):

$$r_1^i = \sqrt{(x^i - x_1)^2 + (y^i - y_1)^2 + (z^i - z_1)^2} + c \cdot \varepsilon_1 + d_{ion} + d_{trop} \quad (2)$$

με (x^i, y^i, z^i) τις συντεταγμένες του δορυφόρου τη στιγμή της εκπομπής του σήματος (γνωστές), (x_1, y_1, z_1) οι άγνωστες συντεταγμένες του δέκτη, ε_1 η άγνωστη χρονική υστέρηση και d_{ion} , d_{trop} γνωστές διορθώσεις από κατάλληλα μοντέλα. Οι παρατηρήσεις των ψευδοαποστάσεων είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους και θεωρούνται της ίδιας άγνωστης ακρίβειας. Έτσι, ο πίνακας βάρους είναι μοναδιαίος. Θα μπορούσε ακόμα να χρησιμοποιηθεί μια a priori εκτίμηση της μεταβλητότητας αναφοράς. Τα ανωτέρω αφορούν τον απόλυτο εντοπισμό θέσης

3.2.2 Ανάλυση Παρατηρήσεων Διαφορών Φάσεων

Πολύ ακριβέστερες από τις ψευδοαποστάσεις είναι οι μετρήσεις διαφορών φάσεων μεταξύ των φερόντων κυμάτων και των αντιστοίχων κυμάτων που παράγονται εσωτερικά στους δέκτες. Οι παρατηρήσεις αυτές, με δυο τουλάχιστον δέκτες GPS, χρησιμοποιούνται για τον σχετικό προσδιορισμό θέσεων με γεωδαιτικές ακρίβειες. Οι δορυφόροι εκπέμπουν κύματα σε δυο βασικές συχνότητες (L1 και L2) και οι δέκτες, αν είναι διπλής συχνότητας, μπορούν να κάνουν μετρήσεις φάσης και στις δυο συχνότητες. Για έναν δέκτη 1 και δορυφόρο i , η παρατηρούμενη παράμετρος στο δέκτη, που είναι η διαφορά φάσης, δίνεται από τη σχέση (3):

$$\phi_1^i = \phi_s(t^i) - \phi_R(t_1) = [-f_s^i \left(t_1 - \frac{\rho_1^i}{c} \right) + N_1^i] - \phi_R(t_1) \quad (3)$$

όπου $\phi_s(t^i)$ η φάση του κύματος που εκπέμπεται από τον δορυφόρο τη χρονική στιγμή t^i , $\phi_R(t_1)$ η φάση του παραγομένου στον δέκτη κύματος τη στιγμή της λήψης t_1 του δορυφορικού σήματος, ρ_1^i η γεωμετρική απόσταση του δορυφόρου-δέκτη, f_s^i η συχνότητα του φέροντος κύματος και c η ταχύτητα του φωτός. Η επίλυση φάσης βασίζεται σε διαφορές φάσης.

Κατά την πρώτη μέτρηση του δέκτη, ο δέκτης εγκλωβίζει το σήμα και μετρά την κλασματική διαφορά φάσης. Δεν μπορεί να μετρήσει την πλήρη φάση, δηλαδή και τον ακέραιο αριθμό κύκλων, N_1^i (ακέραιος αριθμός μηκών κύματος) που αντιστοιχεί στην απόσταση ρ_1^i .

Μετά την πρώτη μέτρηση ο δέκτης μπορεί να καταγράφει τις μεταβολές της φάσης σε όλες τις επόμενες μετρήσεις σε σχέση με την αρχική. Σχεδόν πάντοτε, για διάφορες αιτίες, π.χ. αδύνατο σήμα, εμπόδια γύρω από την κεραία, έχουμε αδυναμία λήψης του σήματος για κάποιο χρονικό διάστημα (που μπορεί να διαρκέσει και μερικά λεπτά) και έτσι οι επόμενες μετρήσεις φάσης θα είναι μετατοπισμένες κατά έναν ακέραιο αριθμό κύκλων που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα αδυναμίας λήψης του σήματος. Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό ως πρόβλημα ολίσθησης κύκλων και ξεπερνιέται με διάφορες γνωστές τεχνικές. Έτσι οι μετρήσεις φάσης, πριν την τελική συνόρθωση, διορθώνονται λόγω των σφαλμάτων αυτών.

3.3 ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ GPS

3.3.1 Βασικές Θεωρήσεις

Όταν υπολογίζεται ένα δίκτυο ελέγχου, πρέπει να χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα διανύσματα σε κάθε σημείο, έτσι ώστε να υπάρχουν πλεονάζουσες παρατηρήσεις. Για να έχουμε πολλά διανύσματα σε κάθε σημείο θα πρέπει να γίνουν πολλαπλές επαναλήψεις των παρατηρήσεων. Τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού σε ένα δίκτυο GPS είναι :

- α) Η θέση των γνωστών σημείων ελέγχου (fixed control point) να είναι σε σταθερό έδαφος,
- β) Να υπάρχουν πλεονάζουσες παρατηρήσεις,
- γ) Ύψομετρικές μετατροπές στο επιλεγμένο datum,
- δ) Σύνδεση των σημείων ελέγχου

3.3.2 Σημεία Ελέγχου

Χρειάζονται το ελάχιστο 3 γνωστά σημεία ελέγχου (fixed) σαν μέσο όρο σε μια εργασία για πλήρη συνόρθωση 3 διαστάσεων. Όσο περισσότερα είναι τα σημεία ελέγχου, τόσο περισσότερες και οι πλεονάζουσες παρατηρήσεις, με τα οποία τα αποτελέσματα ελέγχονται περισσότερο. Η ελάχιστη απαίτηση που χρειάζεται ένα δίκτυο είναι δύο γνωστά οριζοντιογραφικά σημεία ελέγχου. Σε οριζοντιογραφικές και υψομετρικές εργασίες, τα σημεία ελέγχου πρέπει να τοποθετηθούν στην αρχή στη μέση και στο τέλος της εργασίας.

Έχοντας υψόμετρα (γεωμετρικά) από GPS αρκετές φορές χρειάζεται να υπάρχουν, γνωστά υψομετρικά (ορθομετρικά) σημεία ελέγχου. Δεν μπορούμε να έχουμε ακριβή υψομετρικό έλεγχο, διότι δεν γνωρίζουμε με ακρίβεια πως το γεωειδές αλλάζει. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιούνται όσα περισσότερα σημεία ελέγχου. Όσο μεγαλύτερη υψομετρική ακρίβεια χρειάζεται η εργασία, τόσο ακριβέστερο υψομετρικό έλεγχο χρειαζόμαστε στα ορθομετρικά υψόμετρα. Εάν δεν υπάρχει δυνατότητα για υψομετρικό έλεγχο γύρω από την περιοχή εργασίας, θα πρέπει να «μεταφερθεί» υψόμετρο στην περιοχή εργασίας χρησιμοποιώντας τις συνήθεις μεθόδους υψομετρίας από κάποιο γνωστό απόλυτο ορθομετρικό υψόμετρο.

Αυτό συμβαίνει ιδίως σε ορεινές περιοχές, που το γεωειδές αλλάζει συνέχεια. Στο να μοντελοποιηθούν αυτές οι αλλαγές χρειάζεται να υπάρχουν αρκετά σε πυκνότητα γνωστά υψομετρικά σημεία ελέγχου.

Μικρές οριζοντιογραφικές και υψομετρικές εργασίες χρειάζονται κατ' ελάχιστο 4 γνωστά (fixed) υψομετρικά σημεία ελέγχου. Μεγαλύτερες οριζοντιογραφικές εργασίες χρειάζονται περισσότερο έλεγχο (ένα κάθε 10 km). Για ακόμα μεγαλύτερες εργασίες (πάνω από 10 km) χρειάζονται σημεία ελέγχου κατανεμημένα μέσα στην περίμετρο εργασίας.

Εάν χρησιμοποιείται πρόγραμμα (λογισμικό) συνόρθωσης δικτύου, μπορεί να προσαρμόσει τα άγνωστα υψομετρικά σημεία στο ίδιο datum όπως και τα γνωστά (fixed) σημεία. Εάν δεν χρησιμοποιείται λογισμικό συνόρθωσης δικτύου, θα χρειαστεί να γίνει (υπολογιστεί) γραμμική παρεμβολή και διόρθωση για τις αλλαγές του γεωειδούς.

3.4 ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.4.1 Το μέγεθος της Βάσης

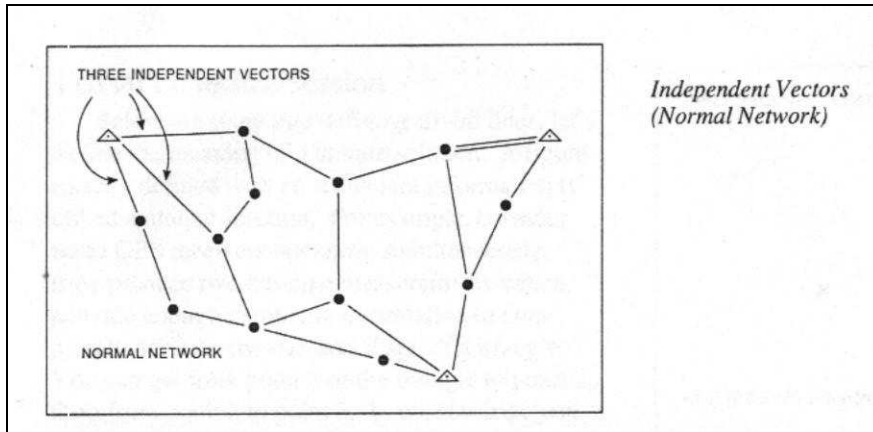
Για μεγαλύτερη ακρίβεια στην εργασία, επιδιώκονται μικρά μήκη (5-15 km) βάσεων. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος τόσο μεγαλύτερο είναι και το σφάλμα υπολογισμού για τον ίδιο χρόνο παρατήρησης. Θα πρέπει να υπάρχει fixed ακέραια λύση σε κάθε βάση. Εάν το διάνυσμα είναι μεγάλο, εφόσον γίνεται καλό θα είναι να χωριστεί σε τμήματα των 10-15 km, διαφορετικά αυξάνει ο χρόνος παρατηρήσεων. Είναι σημαντικό να έχουμε μόνο fixed λύσεις σε όλα τα διανύσματα. Εάν η εργασία είναι μεγάλη σε μήκος, θα πρέπει να υπάρχουν περισσότερα σημεία ελέγχου κατά μήκος της.

Το κάθε ένα σημείο ελέγχου πρέπει να επιδιώκεται να συνδεθεί στην εργασία το λιγότερο με τρία διανύσματα. Κατ' ελάχιστο, δυο ανεξάρτητες παρατηρήσεις (διαφορετικές περιόδους) πρέπει να γίνεται από τα σημεία ελέγχου. Αυτό επιτρέπει να υπάρχουν αρκετές πλεονάζουσες παρατηρήσεις. Ένας τρόπος να ελεγχθεί η εργασία είναι να παρατηρηθούν τα διανύσματα μεταξύ των σημείων ελέγχου και μετά να υπολογιστεί το σφάλμα κλεισίματος. Με τον τρόπο αυτό ελέγχουμε το πόσο καλά «κλείνουν» όλα τα γεωμετρικά σχήματα (τρίγωνα). Εάν γίνει αυτό αρχικά, θα υπάρχει βεβαιότητα ότι ο έλεγχος είναι επαρκής.

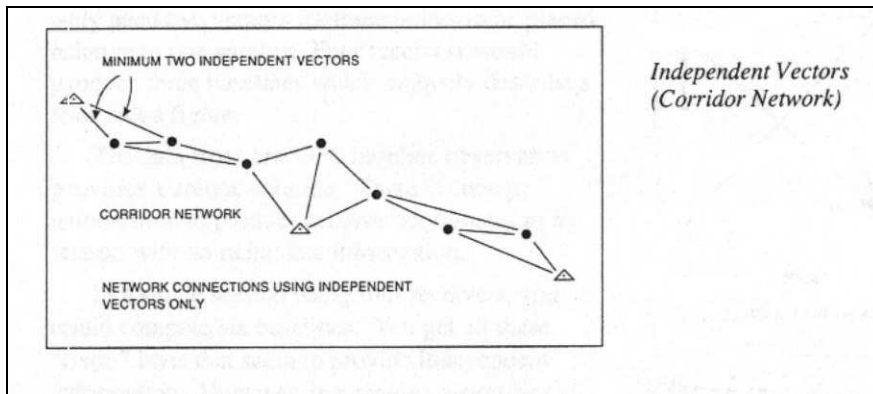
3.4.2 Πλεονάζουσες Παρατηρήσεις

Η ποιότητα των αποτελεσμάτων σε μια εργασία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον επαρκή πλεονασμό των παρατηρήσεων. Οι πλεονάζουσες παρατηρήσεις (πλήθος, κατανομή) έχουν καθοριστική σημασία στην τελική ποιότητα του δικτύου.

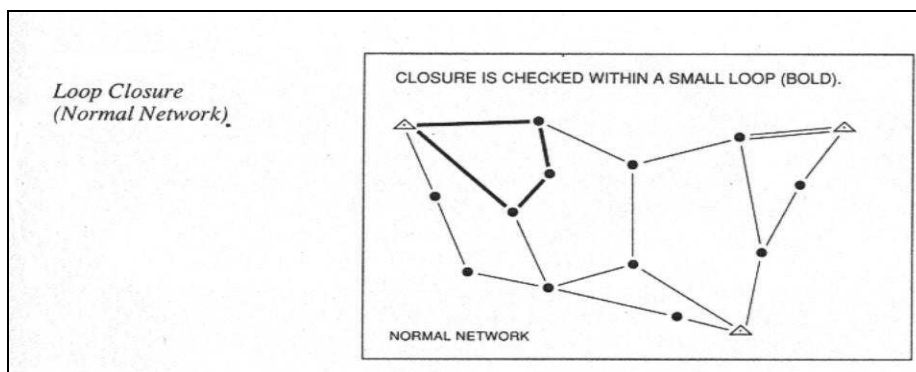
Μια εργασία μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να περιέχει αρκετά μικρά κλειστά πολύγωνα (loops) μέσα στο δίκτυο, (σχήμα 3.4). Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο στο σφάλμα κλεισίματος και την «ποιότητα» του διανύσματος βάσης μέσα σε κάθε πολύγωνο.



Σχήμα 3.2 : Ανεξάρτητα διανύσματα σε δίκτυο GPS – Independent vectors in a GPS network (normal Network), Πηγή : «GPS Surveyor’s Field Guide, A Field Guidebook for Static Surveying, Trimble Navigation»

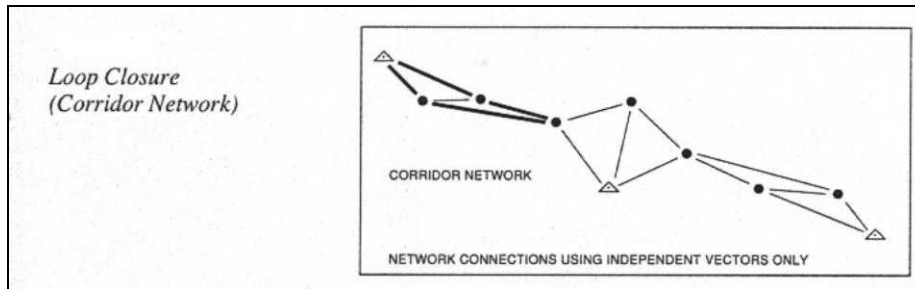


Σχήμα 3.3 : Ανεξάρτητα διανύσματα σε δίκτυο GPS - Independent vectors in a GPS network (Corridor Network), Πηγή : «GPS Surveyor’s Field Guide, A Field Guidebook for Static Surveying, Trimble Navigation»



Σχήμα 3.4 : «Κλείσιμο» των τριγώνων σε δίκτυο GPS – Loop closure in a GPS network (Normal Network), Πηγή : «GPS Surveyor’s Field Guide, A Field Guidebook for Static Surveying, Trimble Navigation»

Εάν υπάρχουν το λιγότερο δυο ανεξάρτητα διανύσματα που να προσδιορίζουν το κάθε σημείο, μπορούν στη συνέχεια να σχηματιστούν τα τρίγωνα, (σχήμα 3.5). Επίσης μπορούν τα ελεγχθούν τα διανύσματα χρησιμοποιώντας γνωστά σημεία ελέγχου στα άκρα μιας ανοιχτής όδευσης. Όμως, το σφάλμα κλεισίματος της ανοιχτής όδευσης εξαρτάται από την ποιότητα του ελέγχου που χρησιμοποιούμε.



Σχήμα 3.5 : «Κλείσιμο» των τριγώνων σε δίκτυο GPS - Loop closure in a GPS network (Corridor Network), Πηγή : «GPS Surveyor’s Field Guide, A Field Guidebook for Static Surveying, Trimble Navigation»

3.5 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΒΑΣΕΩΝ GPS

Ένα δορυφορικό δίκτυο ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού και μέτρησης του μπορεί να αποτελείται από εξαρτημένες και ανεξάρτητες βάσεις. Ως ανεξάρτητες βάσεις, ορίζεται εκείνος ο συνδυασμός βάσεων που ορίζει με πληρότητα όλες τις κορυφές ενός δικτύου. Οι εξαρτημένες βάσεις δεν προσθέτουν γεωμετρική πληροφορία σε ένα δίκτυο. Έτσι, για παράδειγμα σε μια εργασία με τρεις δέκτες έχουμε δυο ανεξάρτητες βάσεις και μια εξαρτημένη βάση. Με τέσσερις δέκτες έχουμε τρεις ανεξάρτητες βάσεις και τρεις εξαρτημένες βάσεις, (σχήμα 3.6). Οι εξαρτημένες βάσεις δεν προσθέτουν κάποια παραπάνω πληροφορία στην συνόρθωση του δικτύου.

Πολλές φορές, ιδιαίτερα από τα συνήθη λογισμικά, ακολουθείται η διαδικασία της επίλυσης των ασαφειών όλων των δυνατών βάσεων και κατόπιν της συνόρθωσης του δικτύου με όλες τις βάσεις που έχουν επιλυθεί. Αν όλες οι δυνατές βάσεις μπορούν να θεωρηθούν ως ανεξάρτητες τότε έχουμε και το πλεονέκτημα της αύξησης των βαθμών ελευθερίας και οι στατιστικοί έλεγχοι είναι πιο αξιόπιστοι. Το σύνολο των βάσεων, ανεξαρτήτων ή εξαρτημένων, οι οποίες επιλέγονται για τη συνόρθωση του δικτύου, δημιουργούν τη γεωμετρική μορφή του

δικτύου GPS. Σε κάθε περίοδο μέτρησης δημιουργούνται επιμέρους γεωμετρικά σχήματα, π.χ. τρίγωνα, πολύγωνα, μέσα στην ίδια χρονική διάρκεια παρατήρησης.

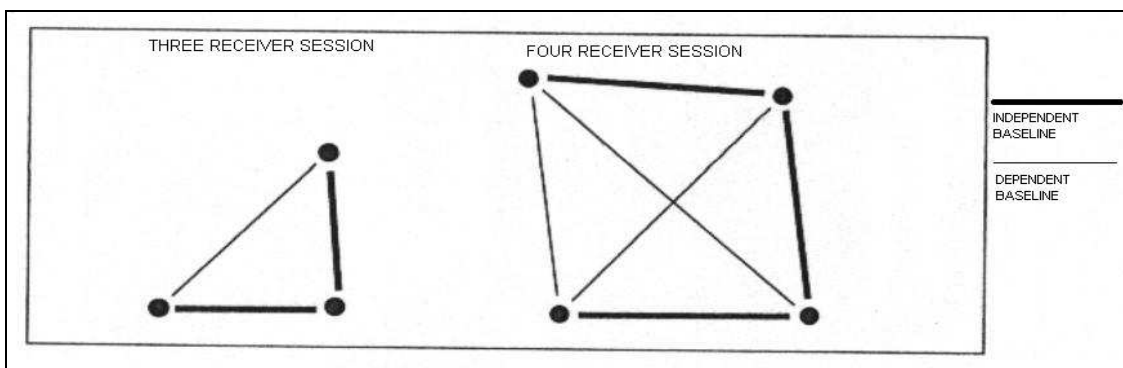
Στη βιβλιογραφία δίνονται διάφορες σχέσεις που προσδιορίζουν τον αριθμό των μετρητικών

περιόδων ενός δικτύου. Ο αριθμός των περιόδων S δίνεται από τη σχέση : $S = \frac{n \cdot m}{r}$, όπου

n : ο αριθμός επαναμέτρησης των σημείων,

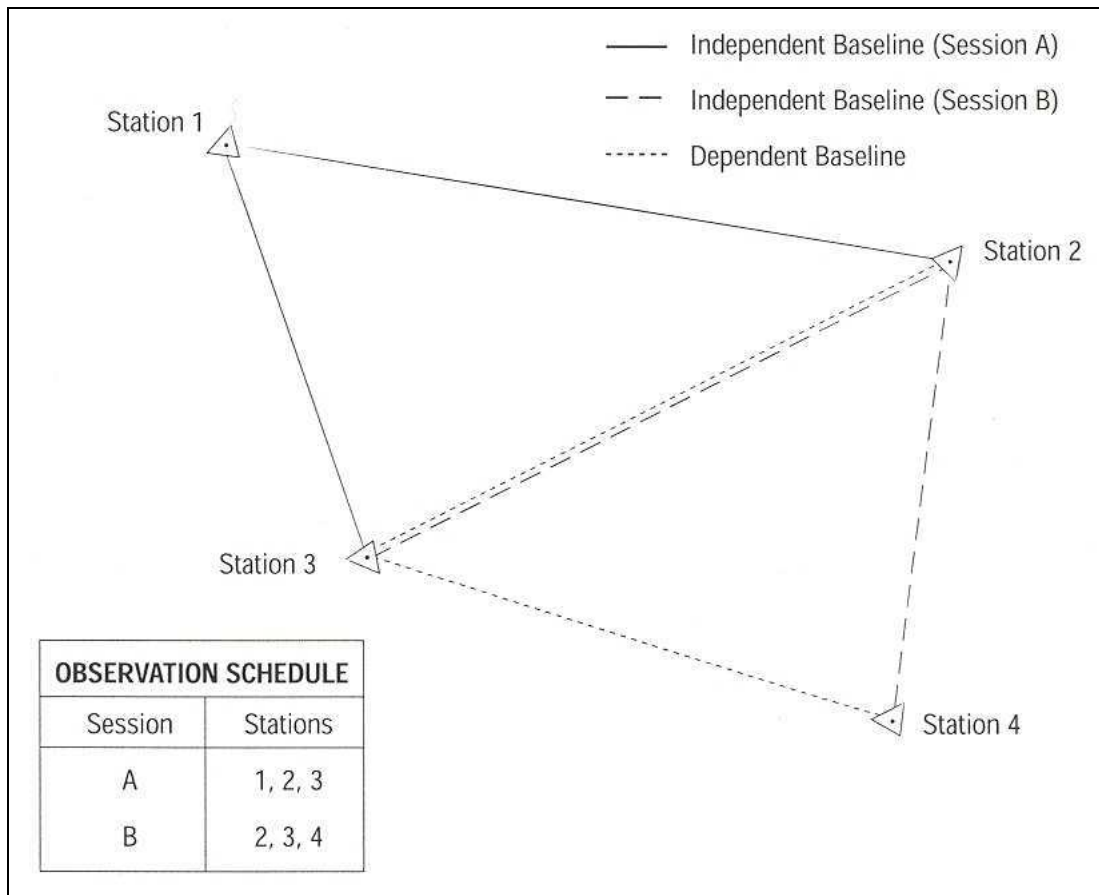
m : ο συνολικός αριθμός των σημείων του δικτύου,

r : ο αριθμός των δεκτών



Σχήμα 3.6 : Ανεξάρτητες και Εξαρτημένες βάσεις σε δίκτυο GPS – Independent and Dependent baselines in a GPS network, Πηγή : «GPS Surveyor’s Field Guide, A Field Guidebook for Static Surveying, Trimble Navigation»

Σε ένα δορυφορικό δίκτυο οι βάσεις σχηματίζονται κατά την επεξεργασία δεδομένων που συλλέγονται ταυτόχρονα από δέκτες GPS. Για κάθε περίοδο παρατήρησης υπάρχει μια λιγότερο ανεξάρτητη βάση, από τον αριθμό των δεκτών που συλλέγουν τα δεδομένα ταυτόχρονα κατά την διάρκεια της περιόδου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.7, οι τρεις δέκτες που είναι στις στάσεις 1,2,3 στην «Α» περίοδο έχει δυο ανεξάρτητες βάσεις και μια εξαρτημένη. Το μέγεθος της απόστασης και η κατεύθυνση των εξαρτημένων βάσεων έχουν υπολογιστεί από διαφορετική επεξεργασία, αλλά χρησιμοποιούν τα ίδια δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ανεξάρτητων βάσεων, οπότε και τα σφάλματα συσχετίζονται.



Σχήμα 3.7 : Ανεξάρτητες και εξαρτημένες βάσεις σε διαφορετικές περιόδους μετρήσεων – Independent and Dependent baselines at different measurement periods, Πηγή : Global Positioning System (GPS) Survey Guidelines - February 2010, NCDOT Location and Surveys Manual

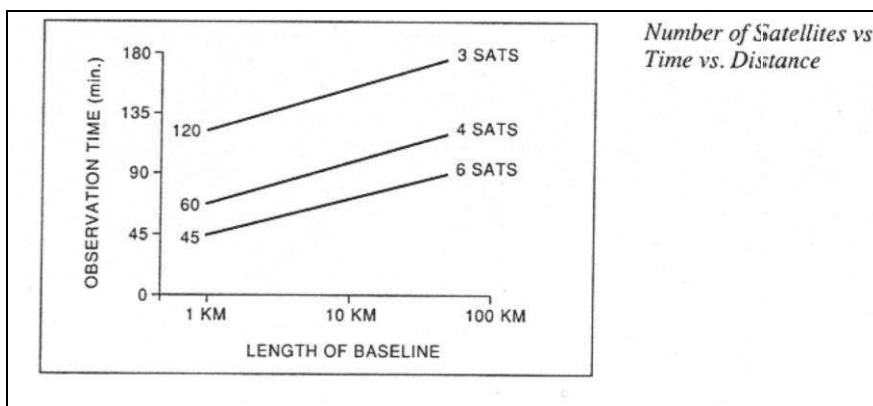
Ορισμένοι κανόνες που θα πρέπει να τηρούνται κατά το σχεδιασμό και τη μέτρηση δικτύων GPS είναι οι ακόλουθοι :

- Η γεωμετρία του δικτύου θα πρέπει να αποτελείται από κλειστά γεωμετρικά σχήματα ώστε να μπορούν να αξιολογηθούν τα σφάλματα κλεισίματος κάθε βρόγχου,
- Κάθε σημείο θα πρέπει να μετριέται τουλάχιστον δυο φορές σε διαφορετικές περιόδους,
- Σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό σημείων είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται περισσότεροι από δυο δέκτες,
- Σε περίπτωση που οι μετρήσεις διαρκούν πολλές ώρες ή και πολλές ημέρες, ένας ελάχιστος αριθμός ίδιων βάσεων θα πρέπει να μετρούνται κάθε περίοδο ή κάθε μέρα ώστε να υπάρχει έλεγχος,

- Εάν υπάρχει η δυνατότητα, ιδιαίτερα σε μεγάλου εύρους δίκτυα και ειδικού σκοπού, να συμπεριλαμβάνονται στα σημεία του δικτύου και σημεία από υπάρχοντα δίκτυα υψηλής ακρίβειας, π.χ. σημεία της IGS, του EUREF, μόνιμων κρατικών σταθμών, ώστε να ελέγχονται οι διαφορές των συντεταγμένων που προκύπτουν για αυτά από τη λύση του δικτύου που ιδρύουμε με τη λύση που δίνει η υπηρεσία των δικτύων υψηλής ακρίβειας για τη συγκεκριμένη εποχή μέτρησης.

3.6 ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΚΑΙ Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ

Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της βάσης, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι και η περίοδος των παρατηρήσεων. Μικρές βάσεις (κάτω των 10 km) συνήθως χρειάζονται 45 λεπτά παρατηρήσεων. Μικρές βάσεις συνήθως χρειάζονται 1 ώρα. Βάσεις πάνω από 20 km χρειάζονται πάνω από 1,5 ώρα ή παραπάνω χρόνο παρατηρήσεων. Μια περίοδο παρατηρήσεων χρειάζεται περίπου 1 ώρα παρατηρήσεων με 4 δορυφόρους και 45 λεπτά με 6 δορυφόρους. Χρησιμοποιώντας μεγαλύτερο αριθμό δορυφόρων αυξάνεται και η ακρίβεια της βάσης. Σε κάθε περίπτωση η εμπειρία σε δίκτυα GPS είναι αποφασιστικός παράγοντας του χρόνου των παρατηρήσεων σε σχέση με το μήκος της βάσης.



Σχήμα 3.8 : Διάγραμμα χρόνου παρατηρήσεων δορυφόρων σε σχέση με το μήκος της βάσης.- Diagram observation time and satellites in relation to the length of the baseline, Πηγή : «GPS Surveyor’s Field Guide, A Field Guidebook for Static Surveying, Trimble Navigation»

3.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Εκτός από την μέθοδο εντοπισμού, στις εργασίες πεδίου πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω στοιχεία :

- Χρόνος για την κατάληψη μιας στάσης,
- Αριθμός και είδος των δεκτών,
- Καλή δορυφορική γεωμετρία (δηλαδή ο παράγοντας DOP),
- Αριθμός των δορυφόρων που παρατηρούνται,
- Αριθμός των επαναλαμβανόμενων βάσεων για κάθε στάση,
- Γωνία ανύψωσης των δορυφόρων προς παρατήρηση,
- Διαδικασίες τοποθέτησης της κεραίας του δέκτη (ακριβής μέτρηση ύψους κεραίας).

Ο αποδεκτός αριθμός ορατών δορυφόρων για τοπογραφικές εργασίες στις οποίες εφαρμόζεται ο στατικός εντοπισμός με GPS είναι τέσσερις (ή περισσότεροι) δορυφόροι για τουλάχιστον 30 λεπτά της ώρας. Ειδικά για την διαδικασία τοποθέτησης της κεραίας, αυτή πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά ενώ ιδιαίτερη σημασία έχει το κέντρωμα της κεραίας στο σημείο που χρειάζεται να μετρηθεί καθώς και το ύψος οργάνου. Αν υπάρχει λάθος σε αυτή την διαδικασία, τότε θα επηρεαστεί όλη η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του δικτύου.

Σε ότι αφορά την διαθεσιμότητα και ορατότητα του δορυφορικού σχηματισμού κατά τις μετρήσεις ενός δικτύου, ισχύει γενικά ότι, οι δορυφόροι συνήθως δεν παρακολουθούνται ικανοποιητικά από τους δέκτες σε μικρότερη γωνία ανύψωσης των $15^{\circ} - 20^{\circ}$ λόγω των μεγάλων σφαλμάτων από την ατμοσφαιρική διάθλαση. Επομένως, κατά τις μετρήσεις επιδιώκεται να παρατηρούνται δορυφόροι που δίνουν καλύτερο γεωμετρικό σχηματισμό και συνεπώς καλύτερες τιμές DOP.

Κατά τις διαδικασίες προσδιορισμού της θέσης των κορυφών ενός δικτύου είναι χρήσιμο για ποιοτικό έλεγχο να υπάρχουν πλεονάζουσες παρατηρήσεις οι οποίες παρέχουν πληροφορία για την εσωτερική ακρίβεια με την οποία εκτελούνται οι μετρήσεις. Στη περίπτωση του GPS, αυτό επιτυγχάνεται από τη σχετική γεωμετρία μεταξύ των επίγειων σταθμών και των δορυφόρων που παρατηρούν. Ο πίνακας 3.1 συνοψίζει τις συνθήκες που πρέπει να επικρατούν κατά την διάρκεια των μετρήσεων δικτύου GPS.

Πίνακας 3.1 : Βασικές συνθήκες μέτρησης δικτύων με GPS – Basic measurement conditions networks with GPS, Πηγή: “Specifications for Geodetic Control Networks Using High-Production GPS Surveying Techniques”, Version 2, July 1995, California Geodetic Control Committee

Ακρίβεια	Οριζοντιογραφικά (m)			Υψομετρικά (m)	
	0.005-0.020	0.020-0.050	0.050-0.500	0.005-0.050	0.050-0.500
Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε σημεία, σε ποσοστό επί του συνόλου των σημείων					
Δυο φορές:	100%	100%	80%	100%	100%
Τρεις ή περισσότερες φορές:	10%	10%	0%	50%	25%
Διαφορά ηλιακού χρόνου μεταξύ επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Αρχή μετρήσεων μέχρι την επόμενη περίοδο μετρήσεων:	60 min.	45 min.	20 min.	120 min.	60 min.
Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις βάσεων μεταξύ σημείων					
Ποσοστό του συνολικού αριθμού των ανεξαρτήτων βάσεων:	5%	5%	5%	10%	10%
Παρατηρούμενοι δορυφόροι					
Ελάχιστη γωνία ύψους δορυφόρων, μοίρες πάνω από τον τοπικό ορίζοντα:	15	15	10	18	15
Ελάχιστος αριθμός δορυφόρων που παρατηρούνται κατά το 75% της εκάστοτε περιόδου μετρήσεων:	5	5	4	5	5
Μέγιστη τιμή PDOP κατά το 75% της εκάστοτε περιόδου μετρήσεων:	5	5	5	4	5
Τοποθέτηση κεραίας					
Μέγιστο σφάλμα εκκεντρότητας (συμπεριλαμβανομένων και σφαλμάτων του ηλεκτρικού κέντρου της κεραίας):	3 mm	5 mm	7 mm	5 mm	5 mm
Μέγιστο σφάλμα ύψους της κεραίας (συμπεριλαμβανομένων και σφαλμάτων του ηλεκτρικού κέντρου της αντένας):	5 mm	5mm	5 mm	3 mm	5 mm
Αριθμός μετρήσεων ύψους της κεραίας στην χρονική περίοδο των μετρήσεων:	2	2	2	2	2

3.8 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS

3.8.1 Μέθοδοι Σχετικού Προσδιορισμού Θέσης

Η μέθοδος μέτρησης και προσδιορισμού θέσης σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή εξαρτάται πάρα πολύ από την απαιτούμενη ακρίβεια, γεγονός που οδηγεί και στην κατάλληλη επιλογή των δεκτών GPS. Γενικά ο προσδιορισμός θέσης μπορεί να διακριθεί σε στατικό και κινηματικό προσδιορισμό, σε προσδιορισμό εκ των υστέρων και σε προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο και τέλος σε απόλυτο και σε σχετικό προσδιορισμό θέσης. Οι κατηγορίες αυτές μπορούν να χαρακτηρισθούν ως μέθοδοι, τεχνικές ή και διαδικασίες και συνδυάζονται μεταξύ τους σε μια εφαρμογή.

Ο όρος στατικός προσδιορισμός θέσης (static positioning) αναφέρεται στις περιπτώσεις εκείνες όπου ο δέκτης ή οι δέκτες GPS παραμένουν ακίνητοι σε όλη την διάρκεια των μετρήσεων στα διάφορα σημεία που αναπτύσσονται σε κάθε μετρητική περίοδο.

Στις τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος του σχετικού στατικού προσδιορισμού θέσης με επεξεργασία εκ των υστέρων (δίκτυα, πυκνώσεις δικτύων, πολυγωνομετρία και γενικά προσδιορισμοί σημείων αναφοράς με αυξημένες απαιτήσεις ακριβείας).

Πριν από την εκτέλεση των παρατηρήσεων GPS για οποιαδήποτε εφαρμογή, ιδίως για τον στατικό προσδιορισμό, απαιτείται μια κατάλληλη προετοιμασία και ένας καλός σχεδιασμός (planning a GPS survey).

3.8.2 Στατικός Προσδιορισμός Θέσης

Η σχετική ακρίβεια του στατικού προσδιορισμού σε σχέση με το μήκος της βάσης είναι της τάξης των $5\text{mm} + (0,5 \text{ έως } 1) \text{ ppm}$ με δέκτες δυο συχνοτήτων και $(5-10)\text{mm} + (1 \text{ έως } 2) \text{ ppm}$ για δέκτες μιας συχνότητας, όπου η διάρκεια μέτρησης είναι περίπου διπλάσια για τις συνήθεις βάσεις των μερικών χιλιομέτρων. Σε μεγάλες βάσεις, της τάξης των δεκάδων km, η διάρκεια των μετρήσεων είναι τουλάχιστον μερικές ώρες και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δέκτες διπλής συχνότητας κυρίως για την αντιμετώπιση του ιονοσφαιρικού σφάλματος.

Η σχετική ακρίβεια για την κατακόρυφη θέση (υψομετρική ακρίβεια) είναι γενικά λίγο χειρότερη, μια έως δυο φορές, σε σχέση με τη σχετική ακρίβεια στην οριζόντια θέση

(οριζοντιογραφική ακρίβεια). Η διαφορά αυτή οφείλεται στη γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού ο οποίος δεν είναι βέλτιστος για την κατακόρυφη συνιστώσα. Η τάξη μεγέθους των παραπάνω ακριβειών προϋποθέτει καλή γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού και είναι συνάρτηση κυρίως του μήκους των βάσεων καθώς και της δυνατότητας του δέκτη να εκτελεί μετρήσεις διατηρώντας σε υψηλές τιμές το λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR), που σημαίνει σήμα υψηλής ποιότητας.

Οι βάσεις μπορούν να είναι και της τάξης των μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων αρκεί να υπάρχουν ταυτόχρονα κοινοί παρατηρούμενοι δορυφόροι. Όσο μεγαλύτερη είναι η βάση τόσο περισσότερος χρόνος μετρήσεων απαιτείται επειδή το πρόβλημα της επίλυσης των ακεραίων ασαφειών γίνεται δυσκολότερο, κυρίως λόγω των ατμοσφαιρικών συνθηκών.

Στο σχετικό στατικό προσδιορισμό ο χρόνος συλλογής των δεδομένων διαρκεί συνήθως ένα δεκάλεπτο έως μερικές ώρες ή και μερικές ημέρες. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι για βάσεις μέχρι 5 km η διάρκεια των παρατηρήσεων είναι περίπου 15 λεπτά, για βάσεις από 5 km έως 15 km η διάρκεια αυξάνει σε περίπου μια ώρα ενώ για μεγαλύτερες βάσεις απαιτούνται μερικές ώρες. Ο ρυθμός καταγραφής των παρατηρήσεων επιλέγεται συνήθως στα 10 ή 15 sec για τις τρέχουσες εφαρμογές και στα 30 sec για πολύωρες περιόδους. Η γωνία αποκοπής ορίζεται κατά κανόνα στις 15° μοίρες, που σημαίνει ότι κάτω από αυτή την τιμή δεν παρακολουθούνται δορυφόροι και συνεπώς δεν καταγράφονται μετρήσεις.

Δυο ή περισσότεροι δέκτες που μετρούν ταυτόχρονα εναλλάσσονται σε διάφορα σημεία μέχρι να ολοκληρωθεί η μέτρηση των βάσεων που απαιτούνται για να έχουμε προσδιορισμό θέσης για όλα τα σημεία που ενδιαφέρουν. Η μετακίνηση των δεκτών στα σημεία απαιτεί έναν καλό σχεδιασμό εκ των προτέρων, ιδιαίτερα όταν διατίθενται πάνω από δυο δέκτες, ώστε να ελαχιστοποιείται ο χρόνος μεταξύ των εναλλαγών και παράλληλα να υλοποιηθεί η κατάλληλη γεωμετρική μορφή.

Προσοχή απαιτείται στις περιπτώσεις όπου ένα σημείο προσδιορίζεται μόνο από μια βάση και μετριέται μόνο μια φορά. Τότε δεν υπάρχει πλεονάζουσα πληροφορία και αν υπάρξει κάποιο λάθος δεν μπορεί να ελεγχθεί. Οι περιπτώσεις αυτές πρέπει να αποφεύγονται, ιδιαίτερα για σημεία ελέγχου στα οποία θα στηριχθεί στη συνέχεια μια ολόκληρη εφαρμογή, π.χ. μια τοπογραφική μελέτη αποτύπωσης. Η μέτρηση ενός δικτύου ολοκληρώνεται συνήθως σε έναν αριθμό μετρητικών περιόδων. Με δυο μόνο δέκτες κάθε μέτρηση βάσης αποτελεί και μια περίοδο μέτρησης. Με περισσότερους δέκτες, από περίοδο σε περίοδο, προφανώς ένας αριθμός σημείων πρέπει να είναι κοινός (τουλάχιστον ένα και κατά προτίμηση δύο για αύξηση και έλεγχο της ακρίβειας και αξιοπιστίας). Ένας ή περισσότεροι δέκτες μπορεί για κάποια διαστήματα να

παραμένουν στα ίδια σημεία και οι υπόλοιποι να μετακινούνται ανάλογα με το σχεδιασμό μέτρησης των βάσεων. Όσοι δέκτες μετακινούνται παραμένουν κλειστοί. Οι υπόλοιποι μπορούν στο ίδιο διάστημα να κλείσουν ή να μετρούν συνεχώς (εξαρτάται από την οικονομία στη μπαταρία και τη διαθέσιμη μνήμη).

Στην πράξη ενδιαφέρει συνήθως η ένταξη του δικτύου GPS σε ένα τοπικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Η διαδικασία αυτή ισοδυναμεί με ένα μετασχηματισμό των συντεταγμένων GPS που αναφέρονται στο WGS84 ή σε ένα ITRF και απαιτεί έναν ικανό αριθμό κοινών σημείων. Έτσι σε κάθε περίοδο μετρήσεων θα πρέπει να συμπεριληφθούν και κάποια σημεία με γνωστές συντεταγμένες ως προς το τοπικό σύστημα αναφοράς, π.χ. ως προς το ΕΓΣΑ87 (τουλάχιστον 2 και για έλεγχο 3).

3.9 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η επεξεργασία των δεδομένων GPS γίνεται συνήθως με τα εμπορικά λογισμικά επεξεργασίας που συνοδεύουν τους δέκτες. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επέμβει σε κάποιο βαθμό στην επίλυση ως εξής, προσδιορίζοντας :

- τον αριθμό των τριγώνων που αποτελούν το δίκτυο και της αποχής των κλεισμάτων τους,
- τα μοντέλα επεξεργασίας των δεδομένων (π.χ. είδος πρωτογενούς μέτρησης, μαθηματικά μοντέλα, κλπ.),
- τα βάρη των παρατηρήσεων για το στοχαστικό μοντέλο που απαιτείται στην διαδικασία της επίλυσης (συνόρθωσης),
- τους στατιστικούς ελέγχους των αποτελεσμάτων, κλπ.

Στις εργασίες μέτρησης δικτύων GPS, χρησιμοποιούνται τεχνικές μέτρησης στατικού εντοπισμού, και έτσι γίνεται εκ των υστέρων επεξεργασία (post-processing) των παρατηρήσεων για να προσδιορισθεί το διάνυσμα κάθε βάσης. Για τις ακρίβειες που απαιτούνται στις τοπογραφικές εργασίες χρησιμοποιούνται κυρίως οι μετρήσεις της φάσης του φέροντος κύματος. Στο πλαίσιο ποιοτικού ελέγχου των αποτελεσμάτων, μπορούν να επαληθευτούν οι λύσεις με τις τρισδιάστατες συντεταγμένες γνωστών τριγωνομετρικών σημείων που έχουν συμπεριληφθεί στο δίκτυο.

Τα στάδια που απαιτούνται κατά την διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων, συνοπτικά είναι :

α) *Εισαγωγή Δεδομένων και Παραμέτρων Επεξεργασίας:*

- *Προετοιμασία Επίλυσης :* πρέπει να δίνονται οι αρχικές (a priori) συντεταγμένες για τις δυο στάσεις όπου έχουν τοποθετηθεί οι δέκτες, το αρχείο εφημερίδας των δορυφόρων που παρατηρήθηκαν οι τροχιές, να προσδιορισθεί η βάση που πρόκειται να επιλυθεί (αν περισσότερες της μιας έχουν παρατηρηθεί σε μια περίοδο) και τα μετρημένα ύψη των κεραιών.
- *Επιλογή των παραμέτρων Επίλυσης :* αυτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βάσης που θα υπολογισθεί και αφορά τα μαθηματικά μοντέλα επίλυσης, τεχνικές συνδυασμών των παρατηρήσεων, τα ατμοσφαιρικά μοντέλα, κλπ. Επίσης, γίνεται επιλογή των αρχικών (a priori) τυπικών σφαλμάτων των παραμέτρων και των παρατηρήσεων, των κριτηρίων για την απόρριψη παρατηρήσεων, της χρήσης ή όχι μαθηματικών συσχετισμών μεταξύ των σταθμών, της γωνίας ύψους των δορυφόρων κάτω από την οποία δεν θα γίνονται οι παρατηρήσεις στην επίλυση, κλπ.

β) *Επεξεργασία Δεδομένων:* Υπάρχουν διαφορετικές τεχνικές επίλυσης των παρατηρήσεων φάσης που σχετίζονται με διαφορές των παρατηρήσεων ως προς τους δορυφόρους ή και δέκτες και που όλες έχουν σκοπό να μετατρέψουν τις (ασαφείς) μετρήσεις φάσης σε ακριβείς μετρήσεις απόστασης μεταξύ δορυφόρου – δέκτη. Οι συνηθέστερες είναι αυτή που βασίζεται σε υπολογισμό των τριπλών διαφορών και των διπλών διαφορών.

γ) *Το προϊόν της επίλυσης είναι :*

- Το διάνυσμα βάσης στο χώρο ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)
- Οι τελικές συντεταγμένες των αγνώστων σταθμών όπως καρτεσιανές (X, Y, Z) ή γεωδαιτικές (φ, λ, h) στο WGS84 ή σε άλλο datum και στοιχεία σχετικά με την βάση όπως το τελικό μήκος της.
- Οι προσδιορισμένες τυπικές αποκλίσεις και άλλα στατιστικά στοιχεία των συντεταγμένων που έχουν προσδιορισθεί. Στατιστικοί δείκτες για την ποιότητα της επίλυσης.

3.10 ΣΥΝΟΡΘΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ GPS

Στις συνήθεις περιπτώσεις, η συνόρθωση ενός δορυφορικού δικτύου ανάγεται σε συνόρθωση των ανεξάρτητων διανυσμάτων βάσης, όπου ορίζονται από τις συνιστώσες (ΔX , ΔY , ΔZ) στο WGS-84. Με περισσότερους από δυο δέκτες έχουμε τις εξής επιλογές :

- Η συνόρθωση του δικτύου να προέλθει από τη συνόρθωση των επιμέρους περιόδων όπου στη συνόρθωση κάθε περιόδου χρησιμοποιούνται π.χ. οι διπλές διαφορές των φάσεων και λαμβάνεται υπόψη η συσχέτιση μεταξύ των παρατηρήσεων. Κάθε περίοδος οδηγεί σε εκτιμήσεις συντεταγμένων και σε έναν πλήρη πίνακα μεταβλητοτήτων για τα αντίστοιχα σημεία. Στην περίπτωση αυτή, προφανώς υπάρχει πλεονάζουσα πληροφορία και αυτή η επίλυση – συνόρθωση είναι η σωστή από θεωρητική σκοπιά.
- Η συνόρθωση του δικτύου να προέλθει από τη συνόρθωση των βάσεων όλων των περιόδων. Στην περίπτωση αυτή αγνοείται η συσχέτιση μεταξύ των βάσεων που στην ίδια περίοδο έχουν κοινά σημεία και επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιούνται όλες οι δυνατές βάσεις, ανεξάρτητες και μη. Η συνόρθωση αυτή ακολουθείται από τα συνήθη λογισμικά, που αν και ικανοποιητική στις τρέχουσες περιπτώσεις, δεν είναι σωστή από θεωρητική σκοπιά, κυρίως όσον αφορά την εκτίμηση των στατιστικών παραμέτρων και θα πρέπει να αποφεύγεται για την επίλυση δικτύων υψηλής ακρίβειας. Η πλεονάζουσα πληροφορία προέρχεται από το γεγονός ότι μεταξύ των περιόδων ένα ποσοστό των σημείων είναι κοινό, δηλαδή έχει μετρηθεί περισσότερο από μια φορά.

Με τη συνόρθωση υπολογίζονται και τα μέτρα ακρίβειας των εκτιμήσεων παράλληλα με τους στατιστικούς ελέγχους αξιοπιστίας (έλεγχος μεταβλητότητας αναφοράς, εντοπισμός και απαλοιφή χονδροειδών σφαλμάτων, έλεγχος σταθερών σημείων), όπως γίνεται και με τα κλασικά γεωδαιτικά δίκτυα. Κατά τον σχεδιασμό ενός δικτύου GPS ένα μέτρο της ακρίβειας της θέσης του δέκτη λόγω της επίδρασης της γεωμετρίας του σχήματος δορυφόρων – δέκτη, είναι οι αριθμοί DOP (Dilution Of Precision). Οι αριθμοί αυτοί υπολογίζονται ως η τετραγωνική ρίζα του ίχνους του αντιστρόφου πίνακα των κανονικών εξισώσεων θεωρώντας μοναδιαίο πίνακα βάρους. Αν πάρουμε υπόψη μόνο τις τρεις μεταβλητότητες των τριών συντεταγμένων έχουμε τον αριθμό PDOP (Position DOP), ενώ αν προσθέσουμε και τη μεταβλητότητα της χρονικής παραμέτρου έχουμε τον αριθμό GDOP (Geometric DOP), κλπ. Όταν οι αριθμοί αυτοί ξεπερνούν μια οριακή τιμή η γεωμετρία δεν είναι καλή και πιθανόν να έχουμε προβλήματα αντιστροφής του πίνακα των κανονικών εξισώσεων.

3.11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για να επιβεβαιώσουμε ότι μια τοπογραφική εργασία με GPS έχει γίνει με ικανοποιητικό τρόπο πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω διαδικασίες :

- Ο χρήστης του συστήματος GPS πρέπει να ελέγχει τον εξοπλισμό, τις διαδικασίες μέτρησης, την επεξεργασία, κλπ. που θέλει να εφαρμόσει αρχικά σε ένα γνωστό «δίκτυο ελέγχου».
- Οι πολλαπλές καταλήψεις των στάσεων ενός δικτύου, αλλά και των βάσεων μεταξύ δυο σημείων, επιτρέπει να γίνονται έλεγχοι στα αποτελέσματα των επίλυσεων που είναι οι συντεταγμένες των άγνωστων στάσεων.
- Ο έλεγχος για τα κλεισίματα τριγώνων μεταξύ των βάσεων δίνει αξιόπιστη πληροφορία μόνο εάν οι βάσεις που σχηματίζουν τα τρίγωνα προέρχονται από τουλάχιστον δυο ανεξάρτητες περιόδους παρατήρησης. Παρόλα αυτά, ένας τέτοιος έλεγχος δεν αποτελεί στατιστικό έλεγχο, (έλεγχο αξιοπιστίας).
- Οι συντεταγμένες μιας κορυφής δικτύου που έχουν προέλθει από μια επίλυση βάσης, θα πρέπει να συγκριθούν με τις αντίστοιχες τελικές συντεταγμένες που προκύπτουν όταν χρησιμοποιηθούν σε μια ταυτόχρονη επίλυση όλες μαζί οι βάσεις του δικτύου συμπεριλαμβανομένης και της βάσης αυτής. Η στατιστικά αποδεκτή απόκλιση των τιμών των συντεταγμένων μεταξύ των δυο λύσεων πρέπει να ορίζεται και αυτή στις προδιαγραφές.

3.12 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ GPS

Ένα δίκτυο GPS συνορθώνεται αρχικά στις τρεις διαστάσεις στο WGS-84 ή σε ένα από τα συστήματα ITRF και στη συνέχεια εντάσσεται στο τοπικό γεωδαιτικό datum, π.χ. για την Ελλάδα στο ΕΓΣΑ-87. Η ένταξη αυτή είναι στην ουσία μια διαδικασία μετασχηματισμού συντεταγμένων μεταξύ δυο διαφορετικών συστημάτων αναφοράς όπου υπεισέρχεται και η χαρτογραφική απεικόνιση (προβολή) που κατά περίπτωση χρησιμοποιείται. Η ένταξη πραγματοποιείται συνήθως μέσω ενός μετασχηματισμού. Οι παράμετροι του μετασχηματισμού, αν δεν δίνονται ή δίνονται μεν αλλά η ακρίβεια τους δεν είναι ικανοποιητική, προσδιορίζονται με βάση κοινά σημεία στα δυο συστήματα αναφοράς, τουλάχιστον τρία για να υπάρχει και έλεγχος των σφαλμάτων. Στις περιπτώσεις εντάξεων δικτύων σε σύγχρονα διεθνή συστήματα που

στηρίζονται στα πλαίσια λαμβάνονται επιπλέον υπόψη και παράμετροι που εκφράζουν το ρυθμό μεταβολής των παραμέτρων του μετασχηματισμού.

Ο μετασχηματισμός ομοιότητας μπορεί να εφαρμοσθεί στις τρεις διαστάσεις αν τα γεωμετρικά υψόμετρα στο τοπικό σύστημα μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια παρόμοια με αυτή των οριζόντιων συντεταγμένων. Σε αντίθετη περίπτωση εφαρμόζεται ξεχωριστά ο μετασχηματισμός ομοιότητας στις δυο διαστάσεις για τον οριζόντιο έλεγχο. Αν ενδιαφέρει και ο υψομετρικός έλεγχος τότε ακολουθείται και για αυτόν μια ξεχωριστή διαδικασία.

Για να μπορούν να προσδιορισθούν παράμετροι μετασχηματισμού, είτε για το μετασχηματισμό ομοιότητας ή για οποιοδήποτε άλλο μοντέλο, απαιτούνται κάποια σημεία (κοινά σημεία) με γνωστές τις συντεταγμένες και στα δυο συστήματα, δηλαδή συντεταγμένες (X, Y, Z) ως προς το WGS-84 και (X, Y, Z) ως προς το τοπικό σύστημα, π.χ. ως προς το ΕΓΣΑ-87. Οι συντεταγμένες ως προς το τοπικό σύστημα υπολογίζονται συνήθως από τις προβολικές συντεταγμένες (x, y) ή από τις αντίστοιχες γεωδαιτικές (φ, λ) και γνωρίζοντας το ορθομετρικό υψόμετρο (H) καθώς και το υψόμετρο του γεωειδούς (N) . Από έναν χάρτη του γεωειδούς για το τοπικό datum, π.χ. για το ΕΓΣΑ-87, παίρνουμε μια τιμή για το υψόμετρο του γεωειδούς με μια ακρίβεια της τάξης του 1 m και υπολογίζουμε το αντίστοιχο γεωμετρικό υψόμετρο από τη σχέση $h = H + N$. Τώρα, τα (φ, λ, h) μετατρέπονται με τους γνωστούς τύπους σε (X, Y, Z) ως προς το ίδιο datum, π.χ. ως προς το ΕΓΣΑ-87. Έτσι, μπορεί να εφαρμοσθεί ο μετασχηματισμός ομοιότητας στις 3-Δ με την προϋπόθεση ότι η περιοχή εφαρμογής είναι της τάξης των μερικών χιλιομέτρων, διαφορετικά θα πρέπει η ακρίβεια των υψομέτρων να είναι συγκρίσιμη με αυτήν των οριζοντίων συντεταγμένων.

Αν δεν είμαστε σίγουροι για την ακρίβεια των υψομέτρων ή δεν διαθέτουμε καθόλου τιμές για υψόμετρα θα πρέπει να εφαρμόσουμε τον μετασχηματισμό στις δυο διαστάσεις ως εξής:

α) Προσεγγιστικός μετασχηματισμός των $(X, Y, Z)^W$ όλων των σημείων GPS σε $(X, Y, Z)^L$ στο τοπικό datum με βάση την όποια προσεγγιστική πληροφορία για τις παραμέτρους μετασχηματισμού, π.χ. με βάση τις μεταθέσεις $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ που για την περίπτωση WGS-84→ΕΓΣΑ-87 δίνονται με ακρίβεια της τάξης του 1 m, μετατροπή των $(X, Y, Z)^L$ σε $(\varphi, \lambda)^L$ σε προβολικές συντεταγμένες $(x^0, y^0)^L$ οι οποίες θεωρούνται προσεγγιστικές με την έννοια ότι δεν χαρακτηρίζονται από ακρίβεια που μας ικανοποιεί.

β) Για τα κοινά σημεία, μεταξύ των $(x^0, y^0)^L$ και των $(x, y)^L$ που διαθέτουμε ήδη στο τοπικό σύστημα εφαρμόζουμε τον κατάλληλο μετασχηματισμό (ομοιότητας ή αφινικό ή και γενικότερα έναν πολυωνυμικό). Ελέγχουμε την ποιότητα του μετασχηματισμού και αν είναι ικανοποιητική τον αποδεχόμαστε και τελικά μετασχηματίζουμε και τα υπόλοιπα μη κοινά σημεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΦΡΑΓΜΑ ΕΥΗΝΟΥ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.1.1 Σύντομο Ιστορικό

Στον ποταμό Εύηνο, στην περιοχή Αγίου Δημητρίου του Νομού Αιτωλοακαρνανίας (Ορεινή Ναυπακτία), κατασκευάστηκε το Φράγμα και η Σήραγγα Ευήνου - Μόρνου. Το έργο του Ευήνου (Φράγμα και Σήραγγα) αποτελεί την 2η φάση του συστήματος υδροδότησης της μείζονος περιοχής της Αθήνας, η οποία προέβλεπε την ενίσχυση του βασικού Ταμιευτήρα του Μόρνου από τη γειτονική λεκάνη του ποταμού Ευήνου.

Η έναρξη των εργασιών στον Εύηνο έγινε το 1992 με την κατασκευή χωμάτινου φράγματος το οποίο περατώθηκε τον Ιούνιο του 2001, οπότε και ξεκίνησε η διαδικασία της πρώτης πλήρωσης του ταμιευτήρα του Φράγματος, η οποία ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2002. Η διάνοιξη της σήραγγας «Ευήνου – Μόρνου» ξεκίνησε το 1992 και τελείωσε το 1995.

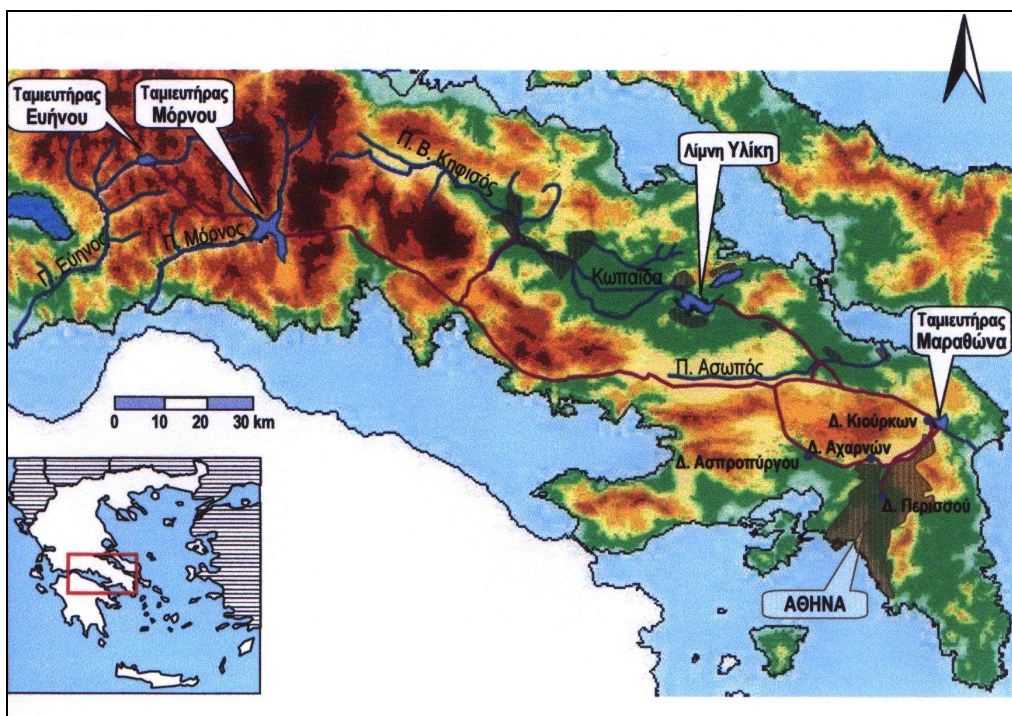
Η πλήρωση του ταμιευτήρα και η έναρξη της περιόδου λειτουργίας του φράγματος έλαβε χώρα μεταξύ 2001 και 2005. Η κατασκευή τέθηκε σε οριστική λειτουργία, τον Φεβρουάριο του 2005. Κατά την περίοδο αυτή, συγκεντρώθηκαν επαρκεί στοιχεία για την αξιολόγηση της γεωτεχνικής συμπεριφοράς του φράγματος και των σταθεροποιητικών έργων και στις δύο κατολισθήσεις που σημειώθηκαν (κατολίσθηση στο αριστερό αντέρεισμα '93, κατολίσθηση του επαρχιακού δρόμου Αγ. Δημητρίου - Αράχοβας).

Εξειδικευμένο προσωπικό του τμήματος για το φράγμα του Ευήνου, της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. είναι υπεύθυνο για την συλλογή και τη λήψη στοιχείων από τα εγκατεστημένα όργανα που υπάρχουν στο φράγμα. Στη συνέχεια προσωπικό της Διεύθυνσης Υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. αξιολογεί την συμπεριφορά του φράγματος. Η συγκέντρωση του νερού μέσα στον πυρήνα του φράγματος παρακολουθείται συνεχώς από κοινού με την οριζόντια μετακίνηση και ανάντη και κατόντη του σώματος του φράγματος. Η συμπεριφορά των έργων σταθεροποίησης στην περιοχή των κατολισθήσεων αξιολογούνται με μετρήσεις από όργανα που έχουν εγκατασταθεί στις περιοχές αυτές.

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε ορισμένες χαρακτηριστικές ημερομηνίες κατά τη λειτουργία του φράγματος. Την 25^η Ιουνίου 2001 ξεκίνησε η διαδικασία πλήρωσης του ταμιευτήρα του φράγματος. Στις 14 Οκτωβρίου 2002 η στάθμη ανήλθε στα 499,40 m, μόλις 5,6 m κάτω από τη στάθμη υπερχειλίσης (+505 m) και αποτέλεσε την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα. Η μέγιστη αυτή στάθμη επιτεύχθηκε με κλειστή την σήραγγα Ευήνου – Μόρνου, ενώ στη συνέχεια άνοιξε η σήραγγα και το νερό διοχετεύθηκε ελεύθερα προς τον ταμιευτήρα του Μόρνου. Την 1^η Φεβρουαρίου 2004 η στάθμη έφτασε στα 502,09 m που καθορίστηκε σαν η 2^η πλήρωση του ταμιευτήρα, δηλ. 2,91 m κάτω από τη στάθμη υπερχειλίσης, ενώ η 3^η πλήρωση έγινε στις 8 Μαρτίου 2005 με στάθμη στα 502,56 m, δηλ. 2,44 m κάτω από την υπερχειλίση.

Στο διάστημα από 1^{ης} Φεβρουαρίου έως 31 Μαΐου η στάθμη στον ταμιευτήρα έμεινε σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα +490 m και άνω, ενώ από τις 4/3/2006 λειτούργησε, για πρώτη φορά ο υπερχειλιστής. Από τον Οκτώβριο 2007 η στάθμη του ταμιευτήρα αυξανόταν. Για να αποφευχθούν κίνδυνοι υδραυλικής θραύσης λήφθηκε μέριμνα για τη διατήρηση της στάθμης στο επίπεδο των +480 m έως +500 m με παροχέτευση νερού μέσω της σήραγγας Ευήνου – Μόρνου.

Η αξιολόγηση των μετρήσεων των οργάνων έγινε από την ΕΔΑΦΟΣ ΕΠΕ μέχρι το 2003 που ήταν σύμβουλος για το έργο και σε συνεργασία με την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. μέχρι το 2005. Από το 2003 η ΕΥΔΑΠ έχει παραλάβει και λειτουργεί το φράγμα.



Σχήμα 4.1: Υδροδοτικό Σύστημα Αθήνας – Athens water supply system

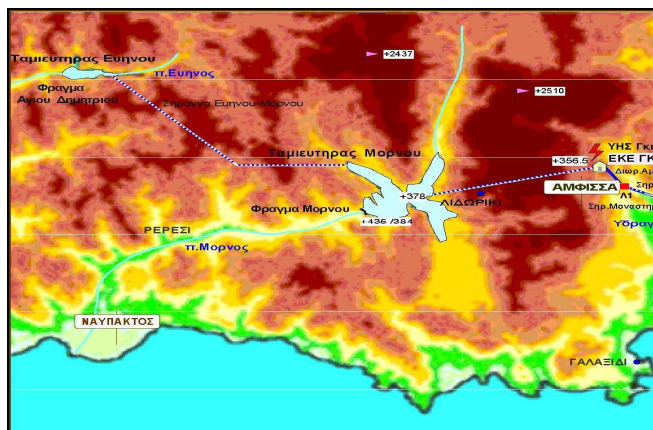
Πηγή : «Το Υδροδοτικό Σύστημα της Αθήνας», (Δημ.Κουτσογιάννης & Ανδ.Ευστρατιάδης)

4.1.2 Σήραγγα «Ευήνου – Μόρνου»

Η σήραγγα Ευήνου - Μόρνου αποτελεί στην ουσία την οδό μεταφοράς των υδάτων από το φράγμα Ευήνου στον ταμιευτήρα του Μόρνου. Η λειτουργία της σήραγγας είναι υπό πίεση με παροχή $27 \text{ m}^3/\text{sec}$. Η ελάχιστη στάθμη νερού στον ταμιευτήρα του Ευήνου για να λειτουργεί η σήραγγα Ευήνου - Μόρνου είναι $+ 444,70 \text{ m}$, η οποία εκβάλλει στον ταμιευτήρα Μόρνου σε υψόμετρο $+ 448 \text{ m}$ έως $+ 441 \text{ m}$.

Η σήραγγα μεταφοράς νερού «Ευήνου – Μόρνου» έχει συνολικό μήκος 29.393 m με εσωτερική διάμετρο $3,5 \text{ m}$ και διατρέχει όλους σχεδόν τους γεωλογικούς σχηματισμούς της ζώνης της ζώνης της Πίνδου. Η διάνοιξη της σήραγγας ξεκίνησε το 1992 και ολοκληρώθηκε σε διάστημα δύο ετών, κάτι που αποτελεί μεγάλο γεγονός και επιτυχία για την ολοκλήρωση σήραγγας μεγάλου μήκους. Η διάνοιξη έγινε συγχρόνως από τέσσερα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής, δύο από τα άκρα της σήραγγας (τμήματα AB1 & E1D1) και δύο από ενδιάμεση πρόσβαση (τμήματα CB1 & CD1). Τα δύο ακραία τμήματα διανοίχτηκαν με δύο μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM) χωρίς ασπίδα και αντιστήριξη με τη νέα αυστριακή Μέθοδο (NATM). Μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης ακολούθησε η επένδυση της σήραγγας από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα δύο ενδιάμεσα τμήματα διανοίχτηκαν με δύο μηχανήματα ολομέτωπης κοπής με διπλή ασπίδα, ακολουθούμενα από μηχανήματα τοποθέτησης της επένδυσης από προκατασκευασμένα στοιχεία.

Από το 1995 οπότε και ολοκληρώθηκε η κατασκευή Σήραγγας Ευήνου - Μόρνου καθώς και η κατασκευή του έργου προσωρινής υδροληψίας, έγινε δυνατή η μεταφορά νερού από τον Ευήνο στον Ταμιευτήρα του Μόρνου πριν την ολοκλήρωση του Φράγματος Ευήνου, της τάξεως των $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$, ώστε να αντιμετωπισθεί η ανομβρία που παρατηρήθηκε κατά το υπόψη διάστημα.



Σχήμα 4.2: Σήραγγα «Ευήνου – Μόρνου» - Tunnel «Evinos – Mornos» , Πηγή : ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

4.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

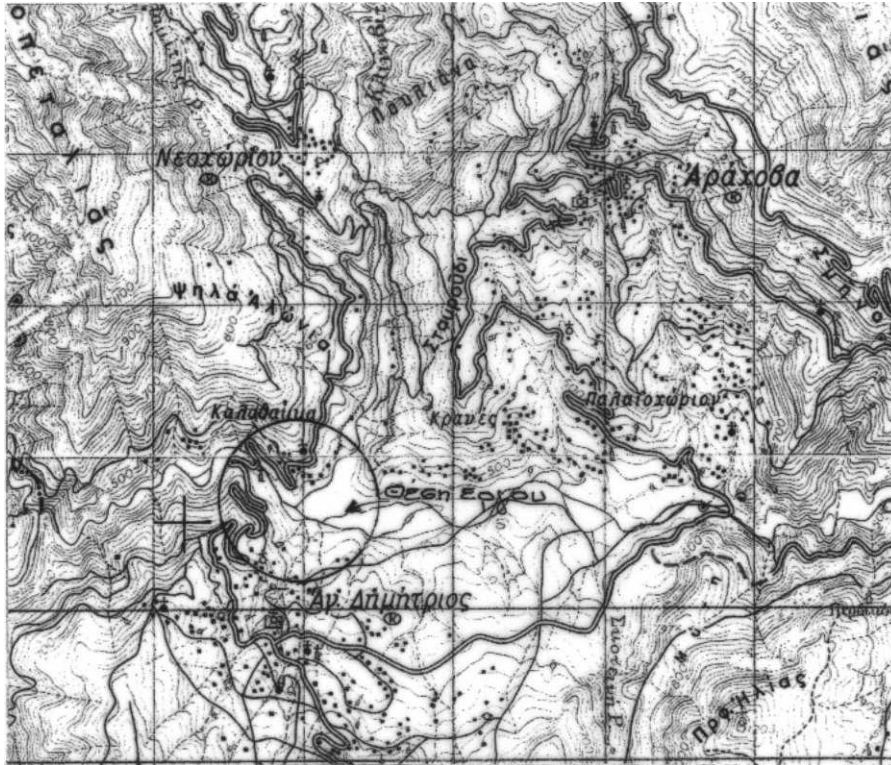
4.2.1 Βασικά Γεωμετρικά Μεγέθη Φράγματος και Ταμιευτήρα

Το Φράγμα αποτελείται από αδιαπέρατο αργιλικό πυρήνα, φίλτρο κατάντη του πυρήνα, στραγγιστήρια από χαλίκια στο ανάντη σώμα του Φράγματος και προστατευτική λιθορριπή στην ανάντη πλευρά. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος έχουν ως εξής :

- Τύπος Φράγματος: χωμάτινο, με αργιλικό "πυρήνα"
- 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 m
- Ανώτερη στάθμη πλημμύρας: + 517 m
- Κλίσεις πρανών: ανάντη 1:2,3 - Κατάντη 1:2
- Όγκος υλικού Φράγματος: $14 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- Στάθμη Υπερχείλισης: + 505 m
- Παροχή υπερχειλιστή: $400 \text{ m}^3 / \text{sec}$.
- Παροχή εκκενωτή πυθμένα: $100 \text{ m}^3 / \text{sec}$.
- Κατώτατη στάθμη εκκένωσης:
(χαμηλή είσοδος): + 430 m
(υψηλή είσοδος): + 450 m

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα Ευήνου έχουν ως εξής :

- Επιφάνεια στη στάθμη υπερχειλίσης: $3,6 \text{ km}^2$
- Λεκάνη απορροής: 352 km^2
- Μέση βροχόπτωση: 1219 mm/year (τυπική απόκλιση 463 mm/year)
- Μέση εισροή: $280 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{year}$
- Μέγιστη χωρητικότητα: $138 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- Μέγιστος ωφέλιμος όγκος: $113 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- Κανονική στάθμη λειτουργίας πύργου υδροληψίας: + 458 m
- Ελάχιστη στάθμη λειτουργίας πύργου υδροληψίας: + 444,70 m
- Στάθμη εισόδου σήραγγας Ευήνου - Μόρνου: + 435 m



Σχήμα 4.3: Ευρύτερη περιοχή τεχνητής λίμνης Ευήνου – Wider area artificial lake Evinos
Πηγή : Απόσπασμα από χάρτη της Γ.Υ.Σ. (κλ.1:50.000), Φ.Χ. ΚΛΕΠΑ



Σχήμα 4.4: Δορυφορική εικόνα της τεχνητής λίμνης Ευήνου – Satellite image of the artificial lake Evinos, Πηγή : Google Earth

4.2.2 Υδρολογικά Στοιχεία της Τεχνητής Λίμνης Ευήνου

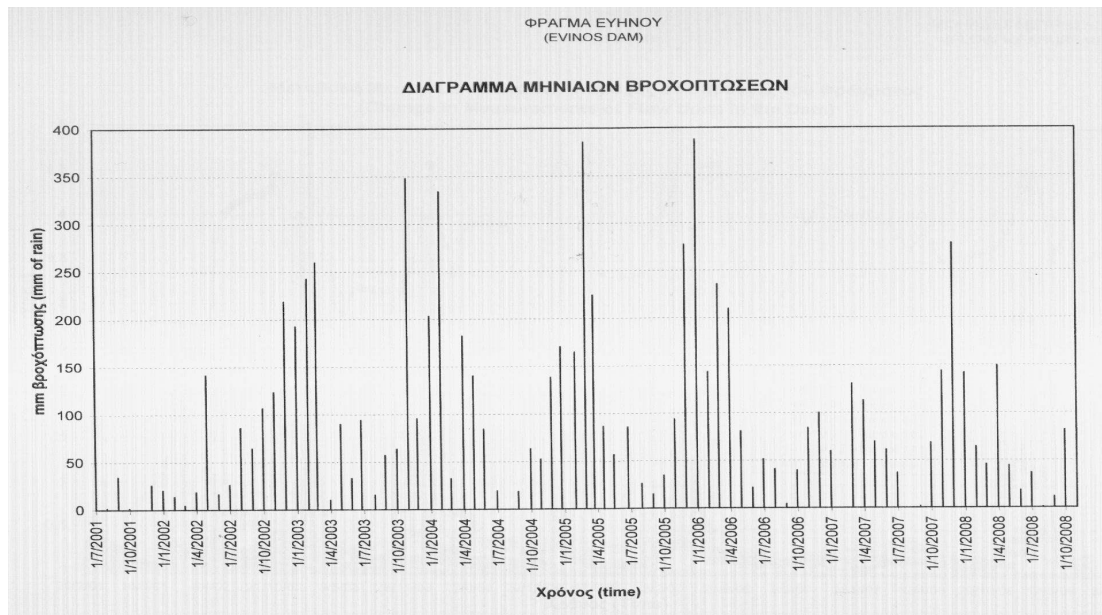
Στην περιοχή του φράγματος Ευήνου έχει εγκατασταθεί Μετεωρολογικός Σταθμός, ο οποίος παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη βροχόπτωση, την εξάτμιση και τις συνθήκες ανέμου, τα δεδομένα καταγράφονται υπό μορφή αρχείων σε Η/Υ.

Η πορεία των μηνιαίων βροχοπτώσεων από το 2001 (Ιούλιος), που είναι ο χρόνος έναρξης της πρώτης πλήρωσης του φράγματος, φαίνεται στο διάγραμμα μηνιαίων βροχοπτώσεων στο σχήμα 4.5. Αντίστοιχα στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί φαίνονται τα ύψη των βροχοπτώσεων για τα προηγούμενα έτη.

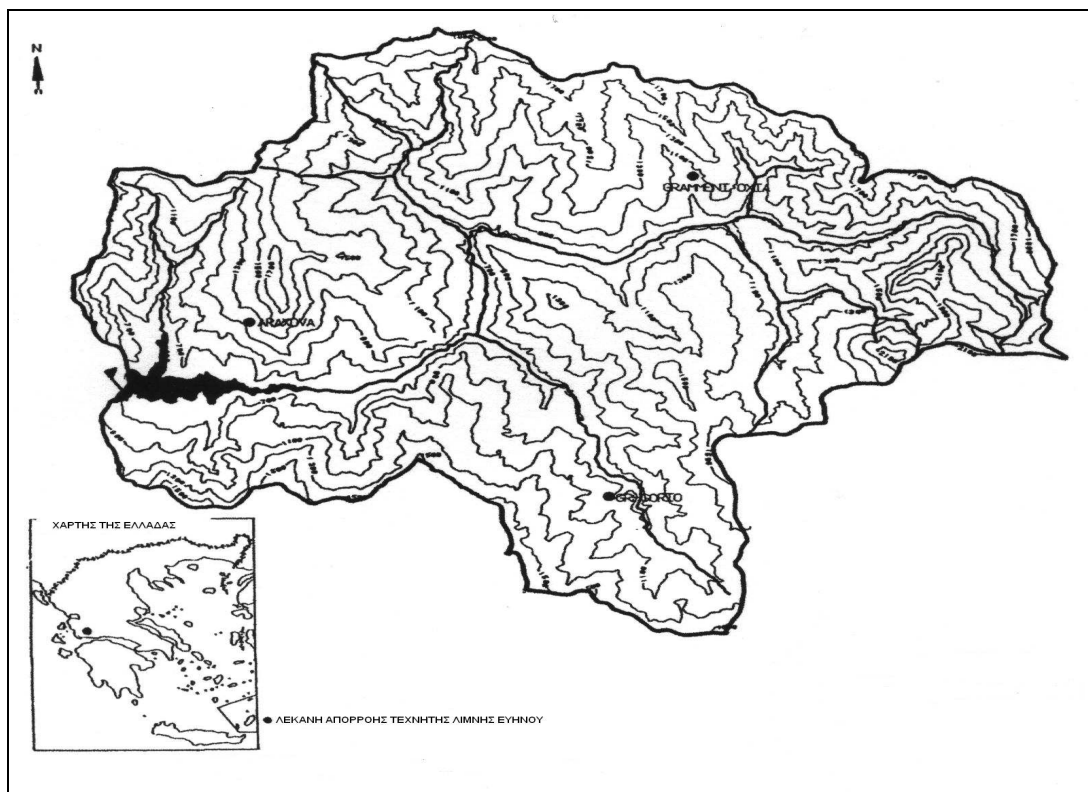
Πίνακας 4.1: Ύψος των περιοδικών (ανά έτος) βροχοπτώσεων στο Φράγμα – Amount of periodic (per year) rainfall in the dam, Πηγή : ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

Περίοδος Μετρήσεων	Ετήσιο Ύψος Βροχόπτωσης (mm)
Οκτώβριος 2002 – Σεπτέμβριος 2003	1469,5
Οκτώβριος 2003 – Σεπτέμβριος 2004	1367,1
Οκτώβριος 2004 – Σεπτέμβριος 2005	1446,6
Οκτώβριος 2005 – Σεπτέμβριος 2006	1568,3
Οκτώβριος 2006 – Σεπτέμβριος 2007	766,5
Οκτώβριος 2007 – Σεπτέμβριος 2008	1021,6

Η πορεία και τα ύψη των βροχοπτώσεων έχουν τη σημασία τους τόσο βεβαίως για τις εισροές στον ταμιευτήρα, αλλά κυρίως για τη γεωτεχνική συμπεριφορά των φυσικών πρανών, στα οποία έχουν γίνει εκτεταμένες παρεμβάσεις αντιστήριξης και αποστράγγισης λόγω της οριακής ευσταθούς ισορροπίας, ιδιαίτερα του αριστερού αντερείσματος.



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα μηνιαίων βροχοπτώσεων στη περιοχή του φράγματος Ευήνου – Diagram monthly rainfall in the area of the dam Evinos, Πηγή : ΕΥΔΑΠ Α.Ε.



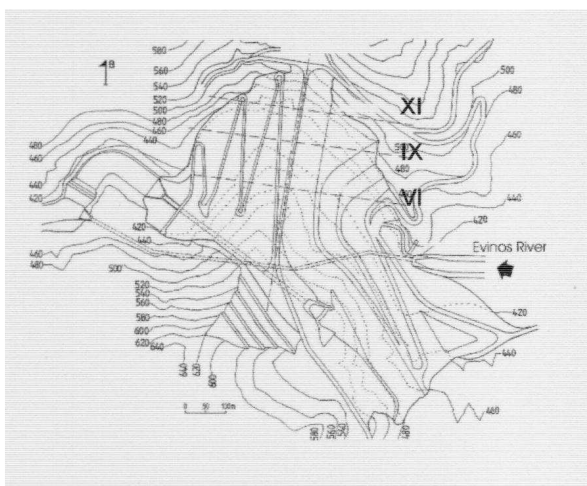
Σχήμα 4.6: Λεκάνη Απορροής της Τεχνητής Λίμνης Ευήνου – Basin of the artificial lake Evinos
 Πηγή : «Investigation of trend in hydrological time series of the Evinos River Basin», (S.G.Giakoumakis, G.Baloutsos)

4.3 ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

4.3.1 Περιγραφή Φράγματος και Συναφών Έργων

Στα σχήματα 4.7, 4.8 παρατίθεται αντίστοιχα η κάτοψη του φράγματος με τις θέσεις των βασικών διατομών και η γενική διάταξη του φράγματος, στο σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η χαρακτηριστική διατομή ΙΧ και στο σχήμα 4.10 δίνεται η μηκοτομή όπου φαίνονται και οι σήραγγες τσιμεντενέσεων. Η στέψη του φράγματος είναι στο + 519 m ενώ το κατώφλι του υπερχειλιστή βρίσκεται στο + 505 m. Για την επιτάχυνση της κατασκευής του φράγματος τοποθετήθηκε στοά τσιμεντενέσεων στην επαφή θεμελίωσης – πυρήνα στην ευρεία κοίτη και στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος (σχήμα 4.9, 4.11). Στο δεξιό αντέρεισμα διανοίχθηκαν σήραγγες τσιμεντενέσεων. Οι τσιμεντενέσεις κουρτίνας εκτελέστηκαν δια των στοών και σήραγγων ταυτόχρονα με την κατασκευή του αναχώματος.

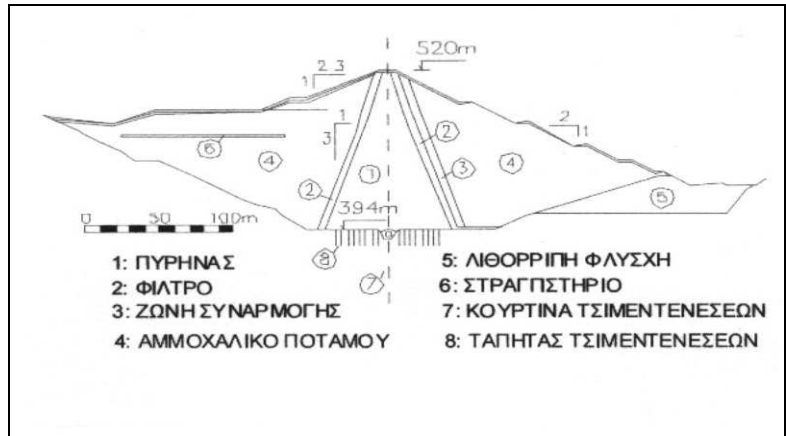
Η κατασκευή του φράγματος άρχισε το 1992. Η έναρξη διάστρωσης υλικού πυρήνα έγινε το Μάιο του 1995 και το επίχωμα ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο του 1997. Έχει ύψος 127m από τη στάθμη θεμελίωσης, ευρύ κεντρικό αργιλικό πυρήνα και κελύφη από αμμοχάλικα ποταμού και λιθορριπή ψαμμιτικού φλύσχη. Ο πυρήνας κατασκευάστηκε από ιλυολιθικό φλύσχη με ειδική μέθοδο απόληψης, έχει εξωτερική κλίση 3:1 (κατ.:οριζ.) και είναι εφοδιασμένος με πληθώρα οργάνων παρακολούθησης. Όργανα τοποθετήθηκαν στις διατομές ΙV, ΙΧ και ΧΙ του φράγματος καθώς και σε πολλές ενδιάμεσες θέσεις, ιδίως στη θεμελίωση.



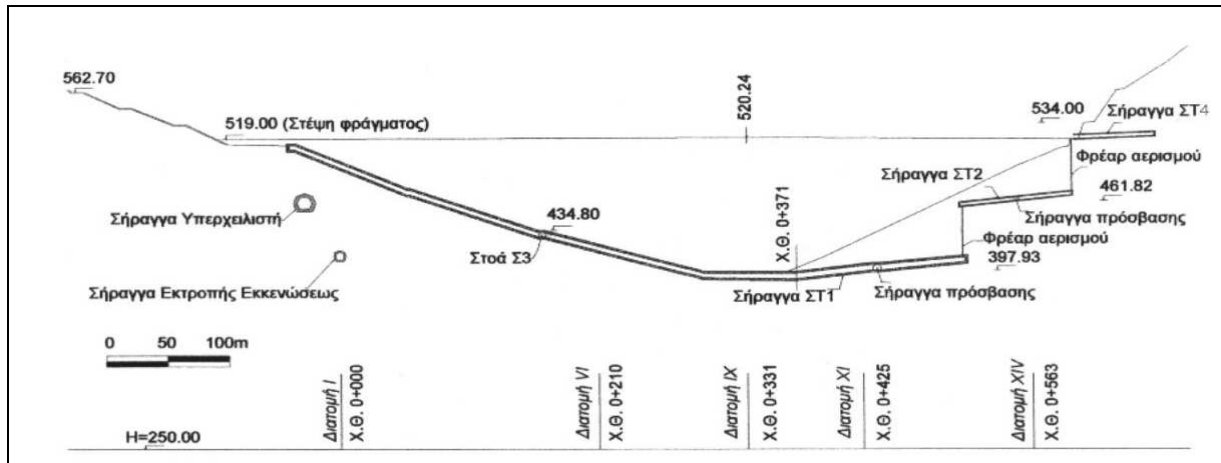
Σχήμα 4.7 : Κάτοψη του φράγματος με τις θέσεις των βασικών διατομών – Plan of the dam with the positions of basic sections, Πηγή : ΕΥΔΑΠ Α.Ε.



Σχήμα 4.8 : Γενική άποψη του φράγματος - General view of dam, Πηγή : Google Earth



Σχήμα 4.9 : Διατομή ΙΧ του φράγματος – Section IX of the dam
 Πηγή : «Το φράγμα του Ευήνου – Σχεδιασμός, Κατασκευή, Πλήρωση και Λειτουργία»
 (Γ. Ντουνιάς, Ι. Καραβοκύρης, Δ. Νικολάου)



Σχήμα 4.10 : Μηκοτομή του φράγματος – Profile of the dam
 Πηγή : «Το φράγμα του Ευήνου – Σχεδιασμός, Κατασκευή, Πλήρωση και Λειτουργία»
 (Γ. Ντουνιάς, Ι. Καραβοκύρης, Δ. Νικολάου)



Σχήμα 4.11 : Κατασκευή της στοάς τσιμεντενέσεων και του αναχώματος – Construction of the gallery grouting and embankment, Πηγή : «Το φράγμα του Ευήνου – Σχεδιασμός, Κατασκευή, Πλήρωση και Λειτουργία» (Γ. Ντουνιάς, Ι. Καραβοκύρης, Δ. Νικολάου)



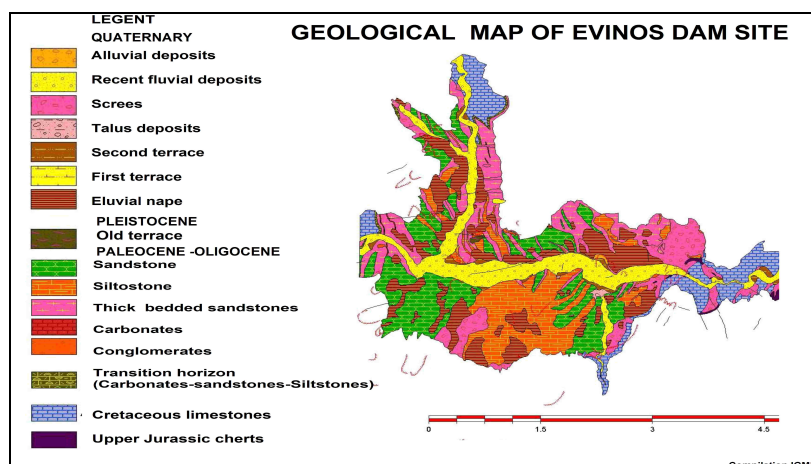
Σχήμα 4.12 : Στέψη και ανάντη πρανές φράγματος Ευήνου – Crest and Upstream slope dam Evinos



Σχήμα 4.13 : Στέψη και κατόντη πρανές φράγματος Ευήνου – Crest and Downstream slope dam Evinos

Ο γεωλογικός σχηματισμός στη λεκάνη κατάκλισης και στην περιοχή του φράγματος είναι φλύσσης αποτελούμενος από ανάμικτες, έντονα πτυχωμένες στρώσεις ψαμμιτών, αργλικών σχιστόλιθων και ιλύολιθων. Την διατομή του φράγματος αποτελούν κεντρικός πυρήνας, με υλικό από την αργλική φάση του φλύσση, μεταβατικές ζώνες φίλτρου και σώματα στήριξης από αμμοχάλικο του ποταμού και στα κατώτερα τμήματα από βραχώδη προϊόντα εκσκαφής.

Η στεγάνωση του υπεδάφους κάτω από το φράγμα και στα αντερείσματα εξασφαλίζεται με κουρτίνα τσιμεντενέσεων, μεγίστου βάθους ~ 70 m. Η παροχή σχεδιασμού του υπερχειλιστή είναι ίση με $1600\text{m}^3/\text{sec}$ και αντιστοιχεί σε καταιγίδα περιόδου επαναφοράς 10.000 year.



Σχήμα 4.14 : Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της τεχνητής λίμνης Ευήνου – Geological map the wider area of the artificial lake Evinos, Πηγή : ΙΓΜΕ

4.3.2 Έργα Υπερχείλισης

Λόγω της τοπογραφίας στην περιοχή του φράγματος, σε συνδυασμό με τον κίνδυνο αστάθειας πρανών σε μεγάλο ύψος σε περίπτωση εκτεταμένων εκσκαφών, το έργο υπερχειλίσης κατασκευάστηκε, στο μεγαλύτερο μήκος του, υπόγειο. Το μήκος της στέγης υπερχειλίσης είναι 40 m ενώ η διατομή της σήραγγας είναι τροποποιημένη πεταλοειδής με διάμετρο 10 m. Η προσαρμογή από 40 m σε 10 m είναι πολύ μεγάλη και για αυτό απαιτήθηκε βελτιστοποίηση της γεωμετρίας της επιφάνειας συναρμογής σε φυσικό υδραυλικό μοντέλο. Το μήκος της σήραγγας είναι 290 m περίπου ενώ ακολουθεί τμήμα ορθογωνικού αγωγού πλάτους 10 m και μήκους ~ 140 m. Στο μεγαλύτερο μήκος του ο αγωγός αυτός είναι κλειστός. Στο κατάντη άκρο του αγωγού κατασκευάστηκε διάταξη αναπήδησης (flip bucket).



Σχήμα 4.15 : Όψη εισόδου υπερχειλιστή - Entry spillway



Σχήμα 4.16 : Έξοδος υπερχειλιστή και οικολογική παροχή – Output spillway and ecological supply water



Σχήμα 4.17 : Λεκάνη ηρεμίας στα κατάντη του φράγματος – Basin calm downstream of the dam



Σχήμα 4.18 : Πανοραμική όψη φράγματος - Panoramic view of the dam

4.3.3 Σταθεροποίηση Αντρεϊσμάτων

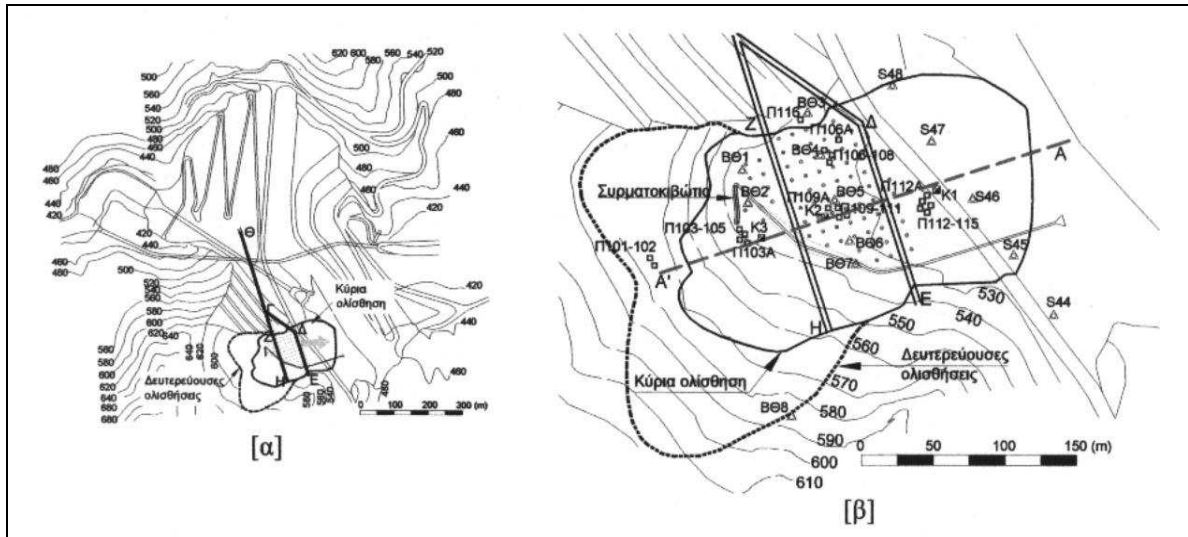
4.3.3.1 Κατολίσθηση Αριστερού Αντρεϊσματος, 1993

Κατά την κατασκευή του φράγματος Ευήνου εκδηλώθηκε κατολίσθηση στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος, ανάντη της εισόδου του υπερχειλιστή. Η κατολίσθηση ενεργοποιήθηκε λόγω εκσκαφών στον ‘πόδα’ της κατά την κατασκευή της νέας οδού πρόσβασης προς το φράγμα (διακεκομμένη γραμμή στο σχήμα 4.19 και σχήμα 4.20). Η έρευνα έδειξε ότι η επιφάνεια ολίσθησης βρισκόταν σε βάθος 25 m και αφορούσε αργιλικά κολλούβια τα οποία ολίσθαιναν κοντά στην επαφή τους με τον υποκείμενο ψαμμιτικό φλύσχη. Χαρακτηριστικό ήταν ότι ο υδροφόρος ορίζοντας ήταν πολύ ψηλά σε αντίθεση με την γειτονική περιοχή του υπερχειλιστή.

Τα μέτρα σταθεροποίησης που εκτελέστηκαν περιλάμβαναν την κατασκευή μικρού αναβαθμού, τη διευθέτηση της επιφανειακής απορροής, τη κατασκευή αποστραγγιστικής σήραγγας δυο κλάδων συνολικού μήκους 690 m που διέρχεται κάτω από τη κατολίσθηση εντός του ψαμμιτικού φλύσχη και 71 κατακόρυφων φρεατίων στράγγισης με μέσο μήκος ~ 35 m. Σε όλο το μήκος της σήραγγας ανοίχτηκαν αποστραγγιστικές γεωτρήσεις ακτινικά για να εξασφαλισθεί η γρήγορη στράγγιση της βραχομάζας. Η στράγγιση της κατολισθαίνουσας μάζας προς το στραγγιζόμενο από τη σήραγγα βραχώδες υπόβαθρο γίνεται λόγω βαρύτητας διάμεσο των φρεατίων που διαπερνούν την επιφάνεια ολίσθησης.

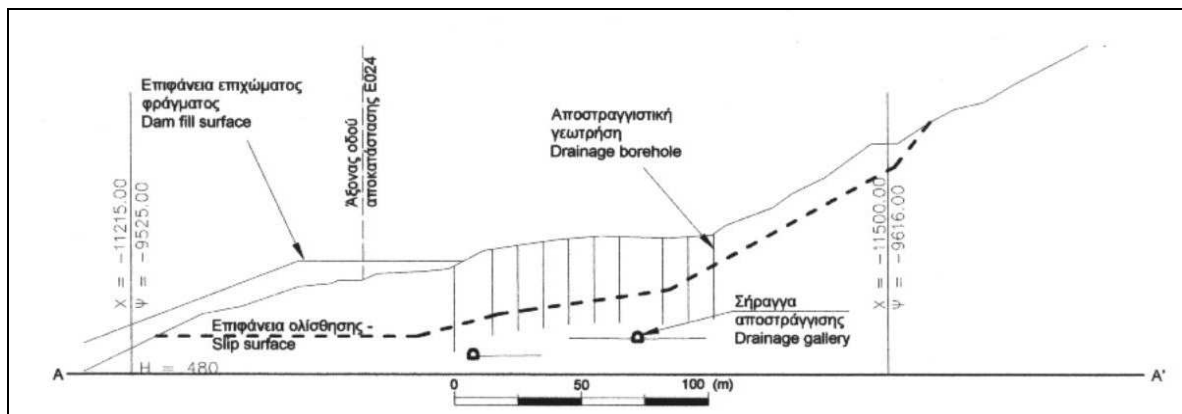


Σχήμα 4.19 : Γενική άποψη κατολίσθησης – General view of landslide , Πηγή : Google Earth



Σχήμα 4.20: Κατολίσθηση 1993 [α] Θέση κατολίσθησης – [β] Διάταξη έργων αποκατάστασης, Landslide in 1993 [a] position landslide – [b] Order of restoration projects

Πηγή : «Το φράγμα του Ευήνου – Σχεδιασμός, Κατασκευή, Πλήρωση και Λειτουργία»
(Γ. Ντουνιάς, Ι. Καραβοκύρης, Δ. Νικολάου)



Σχήμα 4.21: Κατολίσθηση 1993 – Διατομή Α-Α' με τα μέτρα σταθεροποίησης, Landslide in 1993 – Section A-A' with the project of stabilization

Πηγή : «Το φράγμα του Ευήνου – Σχεδιασμός, Κατασκευή, Πλήρωση και Λειτουργία»
(Γ. Ντουνιάς, Ι. Καραβοκύρης, Δ. Νικολάου)

Εγκαταστάθηκαν φρέατα αντλήσεων ως προσωρινά μέτρα σταθεροποίησης τα οποία ήταν αποδοτικά για ένα έτος περίπου αλλά προοδευτικά αχρηστεύτηκαν από τη συνεχιζόμενη μετακίνηση. Τον Αύγουστο του 1994 μετά από μια πολύ ισχυρή νεροποντή έγινε αιφνίδια μετακίνηση κατά ~ 20 m της ήδη ενεργοποιημένης μάζας καθώς και επέκταση της κατολίσθησης (διακεκομμένη γραμμή στο σχήμα 4.19 και σχήμα 4.20).

Τα μέτρα οριστικής σταθεροποίησης περιελάμβαναν:

- Διευθέτηση της επιφανειακής απορροής με κατασκευή έργων σύλληψης και απαγωγής του νερού των ρεμάτων που εισέρεαν στην 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. Έχει πεταλοειδή μορφή, πλάτος εκσκαφής 3,65 m και μέσο ύψος εκσκαφής 3,70 m. Η σήραγγα έχει επένδυση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ενισχυμένο με δομικό πλέγμα, πλην της πλάκας δαπέδου και των βάσεων των πλευρικών τοιχωμάτων έως ύψους 1,00 m από το δάπεδο, τα οποία κατασκευάστηκαν από συμβατικό σκυρόδεμα. Διανοίχτηκαν αποστραγγιστικές γεωτρήσεις για την ταχεία στράγγιση της βραχομάζας. Η θέση των σηράγγων φαίνεται στα σχήματα 4.20, 4.21. Ο κατώτερος, Βόρειος, κλάδος (ΔΕ) της σήραγγας τοποθετήθηκε στο πλησιέστερο προς τον ταμιευτήρα σημείο που θεωρήθηκε ασφαλές έναντι σημαντικών εισροών από τον ταμιευτήρα. Το δάπεδό του βρίσκεται σε υψόμετρο ~ 486 m.
- Στην κεντρική περιοχή της κατολίσθησης διανοίχτηκαν 71 κατακόρυφα φρέατα στράγγισης Φ300 mm (σχήμα 4.20 και 4.21) σε κάναβο ~ (10 x 10 m) με μέσο μήκος 35 m. Τα φρέατα διαπερνούν την επιφάνεια ολίσθησης και επιτρέπουν την στράγγιση λόγω βαρύτητας προς τον στραγγιζόμενο από τη σήραγγα υποκείμενο ψαμμιτικό φλύσχη.
- Επέκταση του αναχώματος (σχήμα 4.21)

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΕΠΑΝΑΜΕΤΡΗΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS

5.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

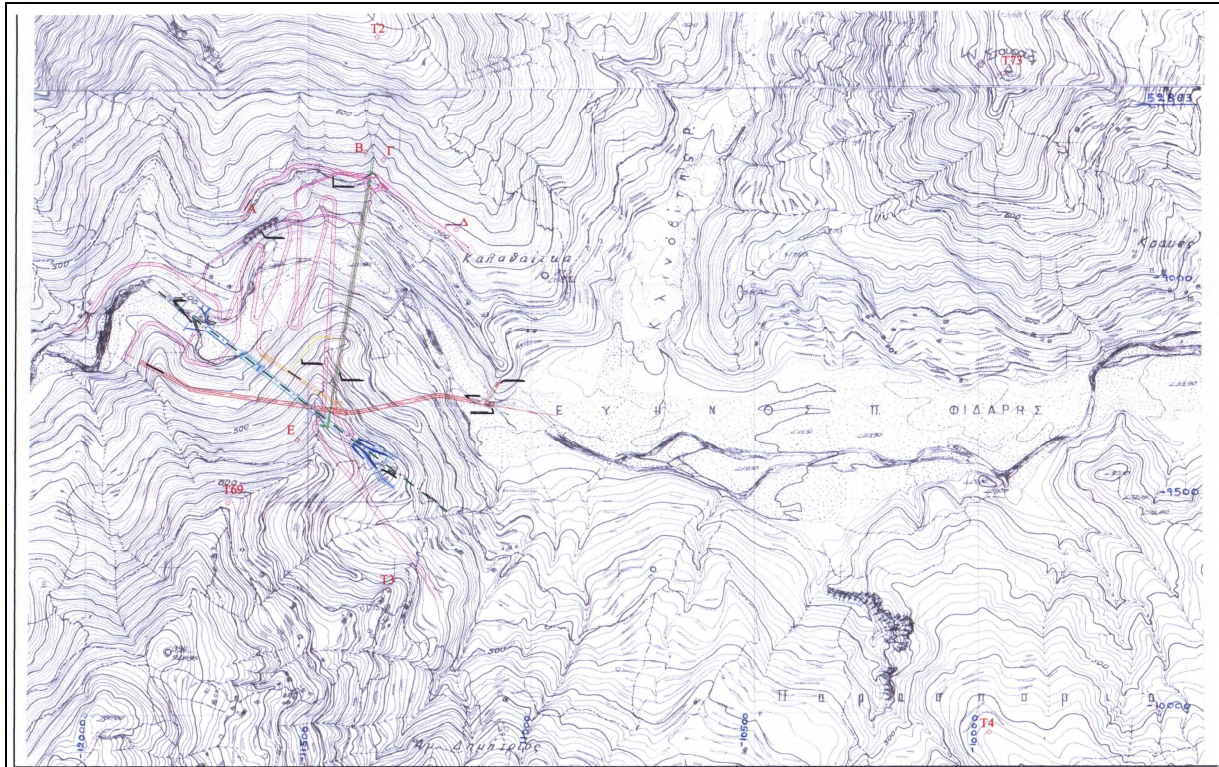
Στο κεφάλαιο 5 περιγράφει, αφενός την γεωδαιτική υποδομή του φράγματος και αφετέρου, τον σχεδιασμό των εργασιών πεδίου. Στα πλαίσια της εργασίας έγινε χρήση του συστήματος GPS για την επαναμέτρηση του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος Ευήνου και επιλεγμένων σημείων ελέγχου στη στέψη καθώς και στην περιοχή της κατολίσθησης του αριστερού αντερείσματος, 1993. Συγκεκριμένα, έγινε συλλογή μετρήσεων GPS το διάστημα από 27/3/2011 έως και 30/3/2011 σε οκτώ σημεία αναφοράς (βάθρα) του γεωδαιτικού δικτύου.

Τα επτά σημεία αναφοράς είναι του τοπικού τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος που χρησιμοποιεί η ΕΥΔΑΠ (T1, T3, T4, A, B, Δ, E) και ένα 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 σημεία ελέγχου (βάθρα) (S64, S68, S73) που βρίσκονται στα κατάντη της στέψης, και σε τρία σημεία ελέγχου (S44, S47, S48) που βρίσκονται στον πόδα της κατολίσθησης του αριστερού πρανούς κατά μήκος του δρόμου πλησίον στον υπερχειλιστή του φράγματος.



Σχήμα 5.1 : Θέση φράγματος και ευρύτερη περιοχή ταμιευτήρα – Location dam and reservoir wider area

Πηγή : Δήμος Πλατάνου Ναυπακτίας, www.dimosplatanou.gr



Σχήμα 5.2: Απόσπασμα πινακίδων Γ.Υ.Σ. με αριθμούς 52861, 52863, (κλ. 1:5.000), Φ.Χ. ΚΛΕΠΑ (1:5.000), κέντρο φύλλου χάρτου, ($\varphi_0 = 38^{\circ} 45'$, $\lambda_0 = - 1^{\circ} 45'$) – Part of plans G.Y.S with numbers 52861,52863 (scale 1:5.000)



Σχήμα 5.3 : Θέσεις σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος και της ευρύτερης περιοχής – Positions of reference points of the trigonometric network of the dam and surrounding area, Πηγή : Google Earth

5.2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΕΥΗΝΟΥ

Για την εγκατάσταση του πρωτεύοντος δικτύου του φράγματος από την Ε.ΥΔ.Α.Π. χρησιμοποιήθηκαν δύο τριγωνομετρικά της Γ.Υ.Σ. ως βάση, το τριγωνομετρικό με κωδικό «69» και το τριγωνομετρικό με κωδικό «73» (Φ.Χ. ΚΛΕΠΑ, κλ.1:50.000, αρ. πινακίδας Γ.Υ.Σ. 52863-52861, κλ.1:5.000)

Πίνακας 5.1 : Τριγωνομετρικά σημεία της Γ.Υ.Σ. στην περιοχή του φράγματος – Trigonometric points G.Y.S. near the dam, Πηγή : Γ.Υ.Σ.

ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΓΥΣ (ΕΓΣΑ 87)				
ΣΗΜΕΙΟ	X	Y	H	
T69 (Αγ. Δημήτριος)	311411,787	4281570,481	646,905	ύψος βάθρου 1,08
T73 (Σταυρούδι)	313174,217	4282526,992	728,271	ύψος βάθρου 1,09
ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΓΥΣ (HATT)				
ΣΗΜΕΙΟ	X	Y	H	
T69 (Αγ. Δημήτριος)	-11678,770	-9502,486	646,930	ύψος βάθρου 1,08
T73 (Σταυρούδι)	-9938,136	-8507,122	728,210	ύψος βάθρου 1,09
ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΓΥΣ (GRS80 – ΕΓΣΑ 87)				
ΣΗΜΕΙΟ	φ		λ	
(164069) T69 (Αγ. Δημήτριος)	38° 39' 45,5323''		21° 49' 56,8912''	
(164073) T73 (Σταυρούδι)	38° 40' 17,8870''		21° 51' 08,8398''	

Δημιουργήθηκαν επιπλέον 4 σημεία τριγωνομετρικού ελέγχου:

- κατάντη του άξονα του φράγματος τα T 1 και T 2
- ανάντη του άξονα του φράγματος τα T 3 και T 4

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 με κωδικούς T1, T2, T3 και T4 βρίσκονται σε αποστάσεις πέραν του χιλιομέτρου από το φράγμα στις γύρω κορυφές και θεωρούνται γενικά σταθερά σημεία (μακριά από κατολισθήσεις, και εγκατεστημένα στο βραχώδες υπόβαθρο).

Κατά το τελευταίο χρονικό διάστημα πριν την έναρξη της διαδικασίας κατάκλισης, δημιουργήθηκε από το πρωτεύον δίκτυο ένα δευτερεύον δίκτυο, με αντίστοιχα σημεία τριγωνισμού με κωδικούς Α, Β, Γ Δ, Ε τα στοιχεία των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2, για τον έλεγχο των βάθρων επιφανειακών μετακινήσεων:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΕΠΑΝΑΜΕΤΡΗΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS

Πίνακας 5.2 : Συντεταγμένες των σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος – Coordinates of reference points of geodetic network of the dam, Πηγή : ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

ΠΡΩΤΕΥΟΝ ΔΙΚΤΥΟ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ			
Φ.Χ. ΚΛΕΠΑ (1:50000) - ΓΥΣ (1:5000) : 52863, 52861			
ΣΗΜΕΙΟ	X	Y	H
T1	-12307,779	-9166,384	498,848
T2	-11343,531	-8415,567	734,165
T3	-11320,062	-9707,931	590,392
T4	-9971,258	-10048,797	557,556

ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ ΔΙΚΤΥΟ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ		
ΣΗΜΕΙΟ	X	Y
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



Σχήμα 5.4 : Δορυφορική εικόνα όπου φαίνονται οι θέσεις των τριγωνομετρικών σημείων της ΓΥΣ – Satellite image showing the positions of trigonometric points of G.Y.S., Πηγή : Google Earth

5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Η αρχική σκέψη για την εκτέλεση των εργασιών πεδίου ήταν, με τον χρονικό ορίζοντα των τεσσάρων ημερών και τον εξοπλισμό του συστήματος GPS (4 γεωδαιτικοί δέκτες δυο συχνοτήτων L1 & L2 της εταιρίας TRIMBLE, μοντέλα R8 και 4700) που είχαμε στη διάθεσή μας, να πετύχουμε όσες περισσότερες πλεονάζουσες παρατηρήσεις και τη μέτρηση όσον το δυνατόν περισσότερων βάσεων του δικτύου.

Τα σημεία αναφοράς του δικτύου που μετρήθηκαν ήταν γενικά σε καλή κατάσταση. Η βασική ιδέα για την μέτρηση του δικτύου σε σχέση με τον χρονικό προγραμματισμό ήταν να εγκαθίστανται σε κάθε ημέρα μετρήσεων, δυο από τους τέσσερις δέκτες GPS σε σημεία αναφοράς του δικτύου για πολλές ώρες και οι άλλοι δυο να μετακινούνται (~ 2 h ή λιγότερο), ανάλογα με τον χρονικό περιορισμό που υπήρχε έως το τέλος της ημέρας.

Η επιλογή της θέσης των δυο σημείων στα οποία εγκαταστάθηκαν οι δέκτες για μεγάλο χρονικό διάστημα, σχετίζεται με την ασφάλεια του εξοπλισμού, δηλαδή επιλέγονταν κάθε φορά τα πιο απομακρυσμένα σημεία αναφοράς – ελέγχου σε σχέση με την δυσκολία της προσέγγισης από ανθρώπους και την αποφυγή της κλοπής του εξοπλισμού.

Μερικοί γενικοί κανόνες και οδηγίες για την προετοιμασία και την εκτέλεση των μετρήσεων GPS :

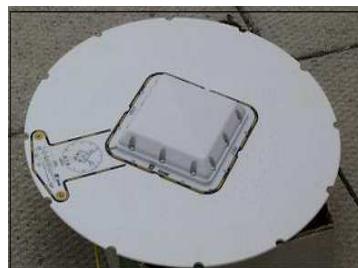
1. Αναγνώριση της περιοχής των εργασιών για την επιλογή της κατάλληλης θέσης σημείων (καλός ορίζοντας προς το δορυφορικό σχηματισμό, όχι κοντά σε σοβαρά εμπόδια και πηγές παρεμβολών, εύκολη προσβασιμότητα),
2. Επιλογή των δεκτών (τύπος και αριθμός) ανάλογα με την ακρίβεια και την ταχύτητα εκτέλεσης της εργασίας,
3. Επιλογή του κατάλληλου προσωπικού τόσο για την εκτέλεση των μετρήσεων όσο και την επεξεργασία,
4. Μελέτη του δορυφορικού σχηματισμού, με τη δημιουργία διαγράμματος ορατότητας με μέτρα D.O.P. και με βάση ένα πρόσφατο almanac σε οριακές περιπτώσεις όπου η λήψη κατάλληλου αριθμού δορυφόρων περιορίζεται λόγω εμποδίων. Τα στοιχεία εισαγωγής των εμποδίων εισάγονται με τα αζιμούθια, τις γωνίες ύψους και τις αποστάσεις των σημείων που τα ορίζουν σε σχέση με το συγκεκριμένο σημείο μέτρησης (χρήση χάρτη, θεοδολίχου, πυξίδας, κλπ.)

5. Προγραμματισμός των περιόδων μέτρησης (εποχές), δηλαδή καθορισμός του αριθμού των περιόδων, του χρόνου των μετρήσεων, επιλογή των σημείων μέτρησης σε κάθε περίοδο και των διαδρομών μεταξύ των περιόδων για την εναλλαγή των δεκτών στα διάφορα σημεία σύμφωνα με τον προγραμματισμό,
6. Δημιουργία κατάλληλων εντύπων στα οποία ο χρήστης θα καταγράφει κατά τη διάρκεια των μετρήσεων σημαντικές πληροφορίες, π.χ. εξασφάλιση σημείου, όνομα σημείου, έναρξη και πέρας των μετρήσεων, ύψος κεραίας, προσεγγιστική θέση, σύστημα αναφοράς, οδοιπορικό, στοιχεία εξοπλισμού και τυχόν προβλήματα,
7. Εξασφάλιση της επικοινωνίας μεταξύ των συνεργείων μέτρησης και της ασφάλειας του προσωπικού και του εξοπλισμού,

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων ιδιαίτερη μνεία λήφθηκε για την συμπλήρωση των εντύπων, ιδιαίτερα στην εισαγωγή στοιχείων στο δέκτη και στην καταγραφή σε έντυπο το ύψος της κεραίας και το όνομα του σημείου, την ασφάλεια του εξοπλισμού, την επάρκεια των μπαταριών και της μνήμης και τα τυχόν διαγνωστικά μηνύματα και προβλήματα του δέκτη. Οι προδιαγραφές και οι ακρίβειες των γεωδαιτικών δεκτών που χρησιμοποιήθηκαν στη μέτρηση του δικτύου φαίνονται στα σχήματα 5.8, 5.9

Όπως αναφέρθηκε στις εργασίες πεδίου χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τέσσερεις δέκτες, δύο διαφορετικών ειδών:

- Δύο δέκτες της Trimble 4700 (L1 & L2) συνοδευόμενοι από εξωτερική κεραία Compact L1/L2 w/gr με εξωτερική τροφοδοσία για πολλές ώρες παρατηρήσεων.



Δέκτης TRIMBLE 4700

εξωτερική μπαταρία

κεραία τύπου «Compact L1/L2 w/gr»

Σχήμα 5.5: Εξοπλισμός GPS – GPS equipment, Πηγή : Trimble

- Δύο δέκτες της Trimble R8 (L1 & L2) που έχουν ενσωματωμένη τη κεραία και την μπαταρία.



Σχήμα 5.6: Γεωδαιτικός δέκτης GPS (μοντέλο R8) της εταιρίας TRIMBLE – Geodetic receiver GPS (model R8, Trimble), Πηγή : Trimble

Οι δέκτες R8 έχουν και τη δυνατότητα εντοπισμού τόσο δορυφόρων GLONASS, GPS 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 που συνδεόταν με τους δέκτες Trimble 4700 με ειδικό καλώδιο, βάσεις κέντρωσης, τρικόχλια, προσαρμογέας βάσεων, μετροταινίες και μαγνητικές πυξίδες. Η σειρά τοποθέτησης του εξοπλισμού και οι ενέργειες που έγιναν στο πεδίο για την εγκατάσταση κάθε δέκτη αντίστοιχα ήταν οι εξής:

1. Κεντράρισμα της βάσης κέντρωσης πάνω στο σημείο αναφοράς – ελέγχου (βάθρο).
2. Οριζοντίωση του τρικόχλιου πάνω στη βάση κέντρωσης
3. Τοποθέτηση του προσαρμογέα πάνω από το τρικόχλιο.
4. Σύνδεση της κεραίας, (περίπτωση δεκτών Trimble 4700)
5. Τοποθέτηση της κεραίας στον προσαρμογέα

Στην περίπτωση χρήσης της βάσης Kernel δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί τρικόχλιο ούτε προσαρμογέας, καθώς είναι ενσωματωμένος ο προσαρμογέας και υπάρχει φυσαλίδα οριζοντίωσης. Παρακάτω παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΕΠΑΝΑΜΕΤΡΗΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS



Βάση κέντρωσης Kernel



Μεγάλη βάση κέντρωσης



Τρικόγλιο



Μεταλλική μετροταινία 3m



Αντάπτορας τριχογλίου



Μαγνητική πυξίδα



Μικρή βάση κέντρωσης μαζί με το τρικόγλιο



Σάκος μεταφοράς εξωτερικής κεραίας

Σχήμα 5.7 : Εξοπλισμός GPS - GPS equipment, Πηγή : Trimble

<ul style="list-style-type: none"> • 72 Channels: <ul style="list-style-type: none"> - GPS L1 C/A Code, L2C, L1/L2/L5 Full Cycle Carrier - GLONASS L1 C/A Code, L1 P Code, L2 P Code, L1/L2 Full Cycle Carrier - SBAS WAAS/EGNOS support¹ 	
Code differential GPS positioning²	
Horizontal.....	±0.25 m + 1 ppm RMS
Vertical.....	±0.50 m + 1 ppm RMS
WAAS differential positioning accuracy ³	typically <5 m 3DRMS
Static and FastStatic GPS surveying²	
Horizontal.....	±5 mm + 0.5 ppm RMS
Vertical.....	±5 mm + 1 ppm RMS
Kinematic surveying²	
Horizontal.....	±10 mm + 1 ppm RMS
Vertical.....	±20 mm + 1 ppm RMS
Initialization time.....	typically <10 seconds
Initialization reliability ⁴	typically >99.9%

Σχήμα 5.8 : Προδιαγραφές και ακρίβειες του γεωδαιτικού δέκτη της εταιρείας TRIMBLE (μοντέλο R8, δυο συχνοτήτων L1 & L2) – Specifications and accuracies of geodetic receiver of the company TRIMBLE (model R8, two frequencies L1&L2), Πηγή : TRIMBLE

PERFORMANCE SPECIFICATIONS													
Real-time Survey Performance <i>(Requires TSC1™ handheld with Trimble Survey Controller™ software.)</i>													
Modes:	Real-time stop & go, Real-time continuous												
Precision:	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Modes</th> <th>Latency</th> <th>Accuracy</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Hz fine</td> <td>0.4 second</td> <td>± 1 cm + 2 ppm Horizontal ± 2 cm + 2 ppm Vertical</td> </tr> <tr> <td>5 Hz fine</td> <td>0.1 second</td> <td>± 3 cm + 2 ppm Horizontal ± 5 cm + 2 ppm Vertical</td> </tr> <tr> <td>Coarse</td> <td>20 cm RMS</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Modes	Latency	Accuracy	1 Hz fine	0.4 second	± 1 cm + 2 ppm Horizontal ± 2 cm + 2 ppm Vertical	5 Hz fine	0.1 second	± 3 cm + 2 ppm Horizontal ± 5 cm + 2 ppm Vertical	Coarse	20 cm RMS	
Modes	Latency	Accuracy											
1 Hz fine	0.4 second	± 1 cm + 2 ppm Horizontal ± 2 cm + 2 ppm Vertical											
5 Hz fine	0.1 second	± 3 cm + 2 ppm Horizontal ± 5 cm + 2 ppm Vertical											
Coarse	20 cm RMS												
Range:	Up to 10km, depending on radios used												
Initialization													
Type:	Automatic while moving (on-the-fly [OTF]) or static												
Reliability:	≥99.9%												
Time:	<1 minute typical												
<i>All real-time survey performance criteria are a function of the number of satellites visible, obstructions, baseline length, multipath, reference station position accuracy and environmental effects.</i>													
Static Survey Performance (Postprocessing)													
Modes:	Static survey, FastStatic survey												
Precision:	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Horizontal:</th> <th>Vertical:</th> <th>Azimuth:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>±5 mm + 1 ppm (times baseline length)</td> <td>±10 mm + 1 ppm (times baseline length)</td> <td>1 arc second + 5"/baseline length in kilometers</td> </tr> </tbody> </table>	Horizontal:	Vertical:	Azimuth:	±5 mm + 1 ppm (times baseline length)	±10 mm + 1 ppm (times baseline length)	1 arc second + 5"/baseline length in kilometers						
Horizontal:	Vertical:	Azimuth:											
±5 mm + 1 ppm (times baseline length)	±10 mm + 1 ppm (times baseline length)	1 arc second + 5"/baseline length in kilometers											
<i>Assumes five satellites (min) tracked continuously using the recommended static surveying procedures utilizing the L1 and L2 signals at all sites; precise ephemerides and meteorological data may be required. FastStatic accuracy is a function of occupation time and observation conditions.</i>													
Kinematic Survey Performance (Postprocessing) <i>(Requires TSC1 handheld with Trimble Survey Controller software.)</i>													
Modes:	Continuous or stop & go												
Precision:	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Horizontal:</th> <th>Vertical:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>± 1 cm + 2 ppm (times baseline length ≤10km)</td> <td>± 2 cm + 1 ppm (times baseline length >10km)</td> </tr> <tr> <td>± 2 cm + 1 ppm (times baseline length)</td> <td>± 2 cm + 1 ppm (times baseline length)</td> </tr> </tbody> </table>	Horizontal:	Vertical:	± 1 cm + 2 ppm (times baseline length ≤10km)	± 2 cm + 1 ppm (times baseline length >10km)	± 2 cm + 1 ppm (times baseline length)	± 2 cm + 1 ppm (times baseline length)						
Horizontal:	Vertical:												
± 1 cm + 2 ppm (times baseline length ≤10km)	± 2 cm + 1 ppm (times baseline length >10km)												
± 2 cm + 1 ppm (times baseline length)	± 2 cm + 1 ppm (times baseline length)												
Occupation:	Continuous: 1 second measurement time Stop & go: 2 second (min) with 5 satellites												
General Performance													
Tracking:	9 channels (12 ch for CORS system only) L1 C/A code, L1/L2 full cycle carrier Fully operational during P-code encryption												
Datalogging:	Data is logged internally <i>(Additional data storage in the TSC1 or on the optional removable PC cards available for the TSC1)</i>												
Internal Data Storage:	120 hours of L1/L2 data while tracking 6 satellites at standard output 15 second epoch interval												
Standard Input/Output:	RTCM SC-104 input version 2.1 NMEA-0183 Navigation output												

Σχήμα 5.9 : Προδιαγραφές και ακρίβειες του γεωδαιτικού δέκτη της εταιρείας TRIMBLE (μοντέλο 4700, δυο συχνοτήτων L1 & L2) - Specifications and accuracies of geodetic receiver of the company TRIMBLE (model 4700, two frequencies L1&L2), Πηγή : TRIMBLE

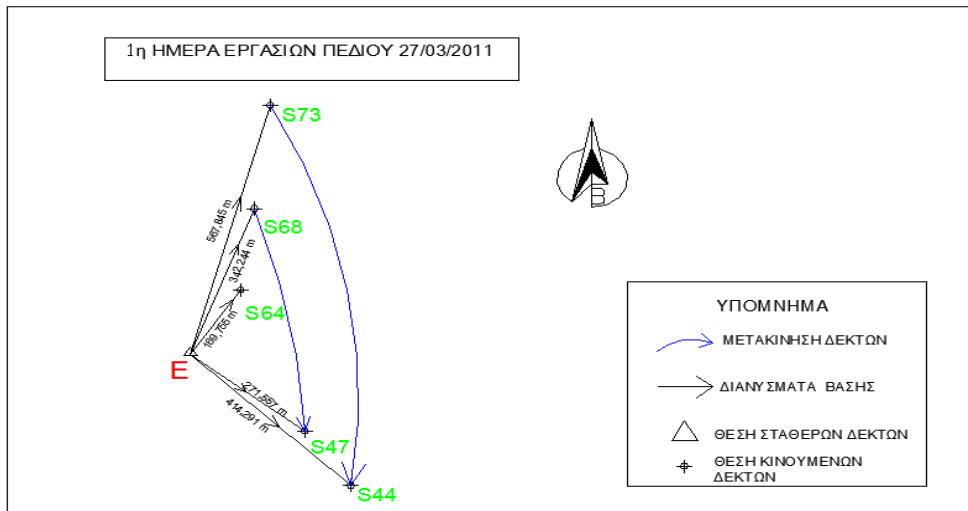
5.4 ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

1^η ΗΜΕΡΑ – 27/03/2011

Οι εργασίες πεδίου άρχισαν όπως αναφέραμε στις 27/03/2011, η αρχή έγινε με την μέτρηση του σημείου αναφοράς με κωδικό Ε του τριγωνομετρικού δικτύου, των τριών σημείων ελέγχου που βρίσκονται κατάντη της στέψης με κωδικούς (S64, S68, S73) και δυο σημείων ελέγχου με κωδικούς (S44, S47) που βρίσκονται πλησίον του δρόμου κοντά στον υπερχειλιστή του φράγματος για τον έλεγχο της κατολίσθησης, (σχήμα 5.11).

Πίνακας 5.3 : Δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των μετρήσεων, όπως η σειρά τοποθέτησης των δεκτών, 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 – Give a detailed list of measurements, such as the sequence placement of receivers, the type of receiver placed at each point, the measuring point, the file name created by the receiver and the measurement time of each receiver.

Α/Α ΔΕΚΤΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΕΚΤΗ	ΣΗΜΕΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΥΨΟΣ ΒΑΘΡΟΥ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ
					ΑΠΟ	ΕΩΣ	
1	Trimble 4700	Ε (βάθρο δικτύου)	0,21 m	1,07 m	15:30 pm	18:42 pm	10470860
2	Trimble R8	S64 (βάθρο στέψης)	0,173 m		15:55 pm	17:04 pm	37050860
3	Trimble R8	S68 (βάθρο στέψης)	0,175 m		16:12 pm	17:07 pm	02110860
4	Trimble 4700	S73 (βάθρο στέψης)	0,205 m		16:30 pm	17:10 pm	93410860
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΔΕΚΤΩΝ (3 -4)							
3	Trimble R8	S47 (βάθρο Κατολίσθησης)	0,185 m		17:33 pm	18:09 pm	02110861
4	Trimble 4700	S44 (βάθρο Κατολίσθησης)	0,20 m		17:52 pm	18:24 pm	93410861



Σχήμα 5.10: Φαίνονται τα σημεία που μετρήθηκαν στις 27/03/2011, οι μετρημένες βάσεις και οι μετακινήσεις των δεκτών. Εκτός αυτών, εμφανίζονται τα σημεία όπου οι δέκτες έμειναν σταθεροί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα σημεία που μετρήθηκαν από τους κινούμενους δέκτες – Shows the points measured at 27/03/2011, the measured bases and the movements of receivers. Besides, showing the points where the receivers were kept steady during the measurements and the points measured by the mobile receivers



Σχήμα 5.11 : Το σημείο αναφοράς του δικτύου με κωδικό E, τα τρία (3) σημεία ελέγχου της στέγης με κωδικούς (S64, S68, S73) και τα τρία (3) σημεία ελέγχου για τον έλεγχο της κατολίθησης με κωδικούς (S44, S47, S48) όπου μετρήθηκαν με GPS στις 27/3/2011 – The reference point of the network code E, the three (3) control points of crest with codes (S64, S68, S73) and three (3) control points to control the landslide with codes (S44, S47, S48) when measured by GPS at 27/03/2011, Πηγή : Google Earth



Σχήμα 5.12 : Σημείο ελέγχου στέψης (κατάντη) με κωδικό S64 – Control point of crest (downstream) with code S64



Σχήμα 5.13: Σημείο ελέγχου στέψης (κατάντη) με κωδικό S73 - Control point of crest (downstream) with code S73

2^η ΗΜΕΡΑ - 28/03/2011

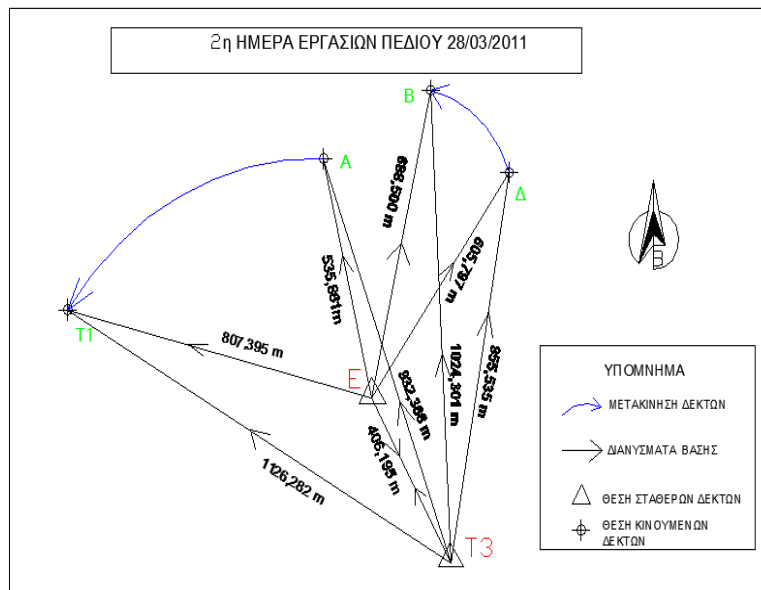
Στις 28/03/2011 συνεχίστηκαν οι μετρήσεις του δικτύου με το σύστημα (δέκτες) GPS με τα εξής βάθρα. Μετρήθηκαν τα σημεία αναφοράς του δικτύου με κωδικούς E, T3, Δ, A, B, T1 (σχήμα 5.14). Στα βάθρα E και T3 έγιναν πολύωρες παρατηρήσεις (7-9 ώρες, υπήρχαν μόνιμα οι δυο δέκτες) με σκοπό οι άλλοι δυο δέκτες να μετακινούνται στα υπόλοιπα επιλεγμένα βάθρα Δ, A, B, T1.

Πίνακας 5.4 : Δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των μετρήσεων, όπως η σειρά τοποθέτησης των δεκτών, 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 – Give a detailed list of measurements, such as the sequence placement of receivers, the type of receiver placed at each point, the measuring point, the file name created by the receiver and the measurement time of each receiver.

Α/Α ΔΕΚΤΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΕΚΤΗ	ΣΗΜΕΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΥΨΟΣ ΒΑΘΡΟΥ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ
					ΑΠΟ	ΕΩΣ	
1	Trimble 4700	E	0,235 m	1,07 m	9:33 am	18:56 pm	93410870
2	Trimble 4700	T3	0,205 m	1,00 m	13:37 pm	19:32 pm	10470870
3	Trimble R8	Δ	0,175 m	1,145 m	14:04 pm	16:04 pm	02110871
4	Trimble R8	A	0,145 m	~ 0,72 m	14:24 pm	16:28 pm	37050871
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΔΕΚΤΩΝ (3 - 4)							
3	Trimble R8	B	0,130 m	1,140 m	16:38 pm	18:38 pm	02110870
4	Trimble R8	T1	0,175 m	~ 1,00 m	16:52 pm	18:45 pm	37050870



Σχήμα 5.14 : Θέσεις σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος όπου μετρήθηκαν με GPS στις 28/03/2011 – Positions of reference points trigonometric network of the dam measured by GPS at 28/03/2011, Πηγή : Google Earth



Σχήμα 5.15: Φαίνονται τα σημεία που μετρήθηκαν στις 28/03/2011, οι μετρημένες βάσεις και οι μετακινήσεις των δεκτών. Εκτός αυτών, εμφανίζονται τα σημεία όπου οι δέκτες έμειναν σταθεροί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα σημεία που μετρήθηκαν από τους κινούμενους δέκτες – Shows the points measured at 28/03/2011, the measured bases and the movements of receivers. Besides, showing the points where the receivers were kept steady during the measurements and the points measured by the mobile receivers.



Σχήμα 5.16 : Το σημείο αναφοράς με κωδικό E του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος - Reference point with code E, of the trigonometric network of the dam



Σχήμα 5.17 : Το σημείο αναφοράς με κωδικό T3 του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος - Reference point with code T3, of the trigonometric network of the dam

3^η ΗΜΕΡΑ – 29/03/2011

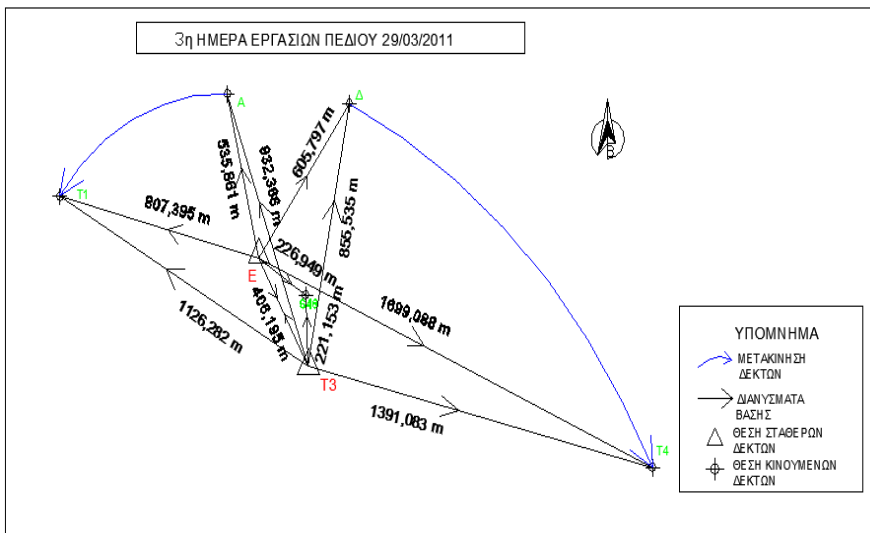
Στις 29/03/2011 συνεχίστηκαν οι μετρήσεις του δικτύου με το σύστημα (δέκτες) GPS με τα εξής βάθρα. Μετρήθηκαν τα σημεία αναφοράς του δικτύου με κωδικούς E, T3, Δ, A, T4, T1 και το σημείο ελέγχου της κατολίσθησης με κωδικό S48 που είναι πλησίον του υπερχειλιστή (σχήμα 5.18). Στα σημεία αναφοράς E και T3 έγιναν πολύωρες παρατηρήσεις (5-6 ώρες, υπήρχαν μόνιμα οι δυο δέκτες) με σκοπό οι άλλοι δυο δέκτες να μετακινούνται στα υπόλοιπα επιλεγμένα βάθρα Δ, A, T4, T1, S48.

Πίνακας 5.5 : Δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των μετρήσεων, όπως η σειρά τοποθέτησης των δεκτών, 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 – Give a detailed list of measurements, such as the sequence placement of receivers, the type of receiver placed at each point, the measuring point, the file name created by the receiver and the measurement time of each receiver.

Α/Α ΔΕΚΤΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΕΚΤΗ	ΣΗΜΕΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΥΨΟΣ ΒΑΘΡΟΥ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ
					ΑΠΟ	ΕΩΣ	
1	Trimble 4700	T3	0,227 m	1,00 m	13:49 pm	19:49 pm	10470880
2	Trimble 4700	E	0,210 m	1,07 m	14:22 pm	19:11 pm	93410880
3	Trimble R8	S48	0,190 m		14:43 pm	15:15 pm	02110880
4	Trimble R8	Δ	0,145 m	1,140 m	14:55 pm	16:37 pm	37050880
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΔΕΚΤΩΝ (3 - 4)							
3	Trimble R8	A	0,175 m	~ 0,72 m	15:23 pm	17:28 pm	02110881
4	Trimble R8	T4	0,130 m	1,090 m	17:17 pm	19:30 pm	37050883
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΔΕΚΤΗ 3							
3	Trimble R8	T1	0,175 m	~ 1,00 m	17:34 pm	19:00 pm	02110882



Σχήμα 5.18 : Θέσεις των σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος όπου μετρήθηκαν με GPS στις 29/03/2011 – Positions of reference points trigonometric network of the dam measured by GPS at 29/03/2011, Πηγή : Google Earth



Σχήμα 5.19: Φαίνονται τα σημεία που μετρήθηκαν στις 29/03/2011, οι μετρημένες βάσεις και οι μετακινήσεις των δεκτών. Εκτός αυτών, εμφανίζονται τα σημεία όπου οι δέκτες έμειναν σταθεροί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα σημεία που μετρήθηκαν από τους κινούμενους δέκτες – Shows the points measured at 29/03/2011, the measured bases and the movements of receivers. Besides, showing the points where the receivers were kept steady during the measurements and the points measured by the mobile receivers



Σχήμα 5.20: Το σημείο ελέγχου με κωδικό S48 για τον έλεγχο της κατολίσθησης του αριστερού πρανούς
- The control point with code S48, to control the landslide on the left abutment



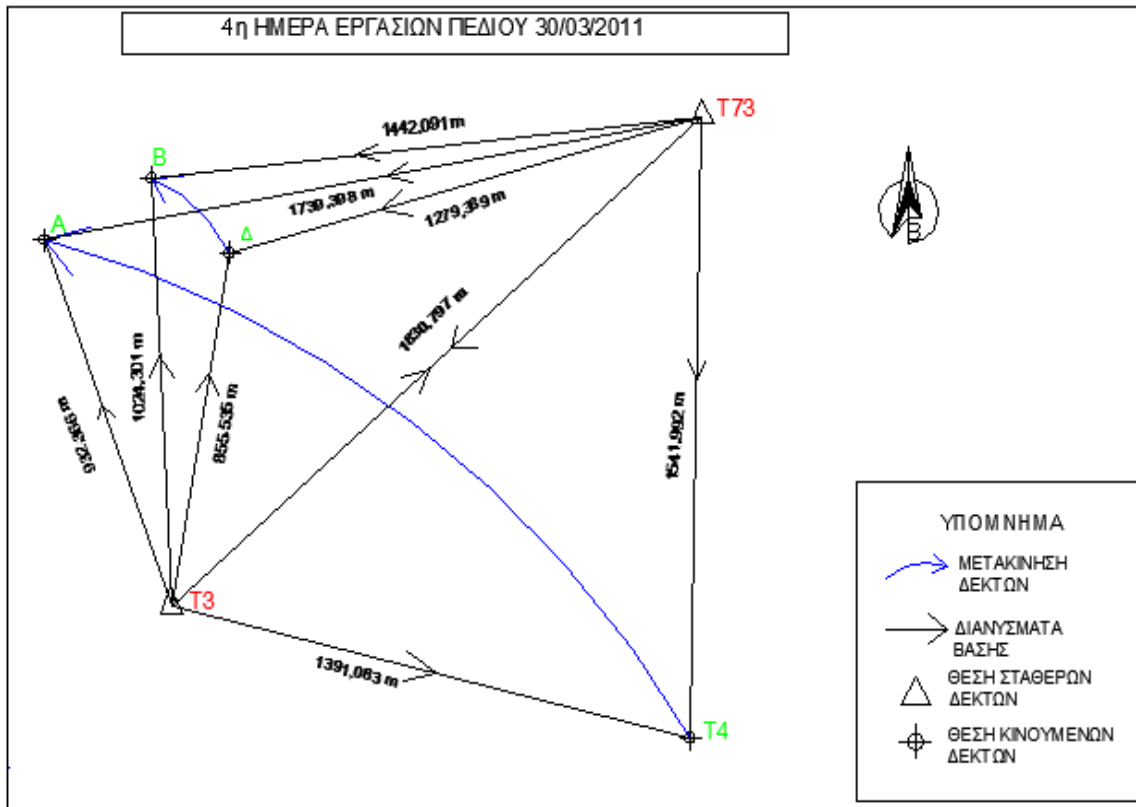
Σχήμα 5.21: Το σημείο αναφοράς με κωδικό T4 του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος
- The reference point with code T4 of the trigonometric network of the dam

4^η ΗΜΕΡΑ – 30/03/2011

Την τελευταία ημέρα στις 30/03/11 συνεχίστηκαν οι μετρήσεις του δικτύου με το σύστημα (δέκτες) GPS με τα εξής βάθρα. Μετρήθηκαν τα σημεία αναφοράς του δικτύου με κωδικούς T3, T4, Δ, Α, Β και το τριγωνομετρικό σημείο της Γ.Υ.Σ. με κωδικό T73 (Φ.Χ. ΚΛΕΠΑ, «Σταυρούδι») (σχήμα 5.18). Στα βάθρα T73 (ΓΥΣ) και T3 έγιναν πολύωρες παρατηρήσεις (6-8 ώρες, υπήρχαν μόνιμα οι δυο δέκτες) με σκοπό οι άλλοι δυο δέκτες να μετακινούνται στα υπόλοιπα επιλεγμένα σημεία αναφοράς.

Πίνακας 5.6 : Δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των μετρήσεων, όπως η σειρά τοποθέτησης των δεκτών, 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 – Give a detailed list of measurements, such as the sequence placement of receivers, the type of receiver placed at each point, the measuring point, the file name created by the receiver and the measurement time of each receiver.

Α/Α ΔΕΚΤΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΕΚΤΗ	ΣΗΜΕΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΥΨΟΣ ΒΑΘΡΟΥ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ		ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ
					ΑΠΟ	ΕΩΣ	
1	Trimble 4700	T3	0,210 m	1,00 m	10:20 am	18:11 pm	93410890
2	Trimble R8	T4	0,175 m	1,090 m	10:46 am	12:56 pm	37050890
3	Trimble 4700	T73 (ΓΥΣ)	0,20 m	1,09 m	11:43 am	17:34 pm	10470890
4	Trimble R8	Δ	0,175 m	1,145 m	12:14 pm	14:34 pm	02110891
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΔΕΚΤΩΝ (2 - 4)							
2	Trimble R8	A	0,175 m	~ 0,72 m	13:16 pm	15:30 pm	37050892
4	Trimble R8	B	0,130 m	1,135 m	15:16 pm	17:00 pm	02110890



Σχήμα 5.22: Φαίνονται τα σημεία που μετρήθηκαν στις 30/03/2011, οι μετρημένες βάσεις και οι μετακινήσεις των δεκτών. Εκτός αυτών, εμφανίζονται τα σημεία όπου οι δέκτες έμειναν σταθεροί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τα σημεία που μετρήθηκαν από τους κινούμενους δέκτες – Shows the points measured at 30/03/2011, the measured bases and the movements of receivers. Besides, showing the points where the receivers were kept steady during the measurements and the points measured by the mobile receivers



Σχήμα 5.23: Το τριγωνομετρικό σημείο της Γ.Υ.Σ. με κωδικό T73 - The trigonometric point of G.Y.S. with code T73



Σχήμα 5.24: Το σημείο αναφοράς με κωδικό T1 του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος - The reference point with code T1, trigonometric network of the dam

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS

6.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GPS

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η επεξεργασία των δορυφορικών μετρήσεων GPS, που έγιναν στο τριγωνομετρικό Δίκτυο και σε επιλεγμένα σημεία ελέγχου στη στέψη του φράγματος.

Η επεξεργασία των δεδομένων GPS γίνεται συνήθως με τα εμπορικά λογισμικά επεξεργασίας που συνοδεύουν τους δέκτες. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επέμβει σε κάποιο βαθμό στην επίλυση ως εξής, προσδιορίζοντας :

- τον αριθμό των τριγώνων που αποτελούν το δίκτυο και της αποχής των κλεισμάτων τους,
- τα μοντέλα επεξεργασίας των δεδομένων (π.χ. είδος πρωτογενούς μέτρησης, μαθηματικά μοντέλα, κλπ.),
- τα βάρη των παρατηρήσεων για το στοχαστικό μοντέλο που απαιτείται στην διαδικασία της επίλυσης (συνόρθωσης),
- τους στατιστικούς ελέγχους των αποτελεσμάτων, κλπ.

Στις εργασίες μέτρησης δικτύων GPS, χρησιμοποιούνται τεχνικές μέτρησης στατικού εντοπισμού, και έτσι γίνεται εκ των υστέρων επεξεργασία (post-processing) των παρατηρήσεων για να προσδιορισθεί το διάνυσμα κάθε βάσης. Για τις ακρίβειες που απαιτούνται στις τοπογραφικές εργασίες χρησιμοποιούνται κυρίως οι μετρήσεις της φάσης του φέροντος κύματος. Στο πλαίσιο ποιοτικού ελέγχου των αποτελεσμάτων, μπορούν να επαληθευτούν οι λύσεις με τις τρισδιάστατες συντεταγμένες γνωστών τριγωνομετρικών σημείων που έχουν συμπεριληφθεί στο δίκτυο. Τα στάδια που απαιτούνται κατά την διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων, συνοπτικά είναι :

α) *Εισαγωγή Δεδομένων και Παραμέτρων Επεξεργασίας:*

- *Προετοιμασία Επίλυσης :* πρέπει να δίνονται οι αρχικές (a priori) συντεταγμένες για τις δυο στάσεις όπου έχουν τοποθετηθεί οι δέκτες, το αρχείο εφημερίδας των δορυφόρων που παρατηρήθηκαν οι τροχιές, να προσδιορισθεί η βάση που πρόκειται να επιλυθεί (αν

περισσότερες της μιας έχουν παρατηρηθεί σε μια περίοδο) και τα μετρημένα ύψη των κεραιών.

- *Επιλογή των παραμέτρων Επίλυσης* : αυτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βάσης που θα υπολογισθεί και αφορά τα μαθηματικά μοντέλα επίλυσης, τεχνικές συνδυασμών των παρατηρήσεων, τα ατμοσφαιρικά μοντέλα, κλπ. Επίσης, γίνεται επιλογή των αρχικών (a priori) τυπικών σφαλμάτων των παραμέτρων και των παρατηρήσεων, των κριτηρίων για την απόρριψη παρατηρήσεων, της χρήσης ή όχι μαθηματικών συσχετισμών μεταξύ των σταθμών, της γωνίας ύψους των δορυφόρων κάτω από την οποία δεν θα γίνονται οι παρατηρήσεις στην επίλυση, κλπ.

β) *Επεξεργασία Δεδομένων*: Υπάρχουν διαφορετικές τεχνικές επίλυσης των παρατηρήσεων φάσης που σχετίζονται με διαφορές των παρατηρήσεων ως προς τους δορυφόρους ή και δέκτες και που όλες έχουν σκοπό να μετατρέψουν τις (ασαφείς) μετρήσεις φάσης σε ακριβείς μετρήσεις απόστασης μεταξύ δορυφόρου – δέκτη. Οι συνηθέστερες είναι αυτή που βασίζεται σε υπολογισμό των τριπλών διαφορών και των διπλών διαφορών.

γ) *Το προϊόν της επίλυσης είναι* :

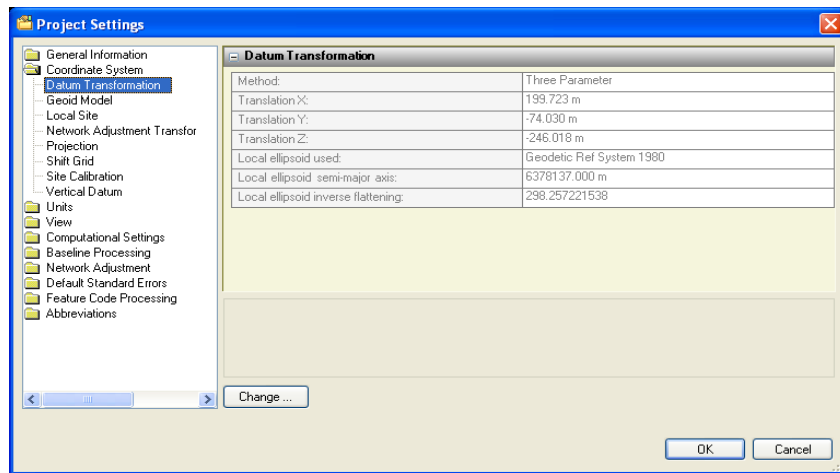
- Το διάνυσμα βάσης στο χώρο ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)
- Οι τελικές συντεταγμένες των αγνώστων σταθμών όπως καρτεσιανές (X, Y, Z) ή γεωδαιτικές (φ, λ, h) στο WGS84 ή σε άλλο datum και στοιχεία σχετικά με την βάση όπως το τελικό μήκος της.
- Οι προσδιορισμένες τυπικές αποκλίσεις και άλλα στατιστικά στοιχεία των συντεταγμένων που έχουν προσδιορισθεί. Στατιστικοί δείκτες για την ποιότητα της επίλυσης.

6.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS ΜΕ ΤΟ TRIMBLE BUSINESS CENTER (TBC)

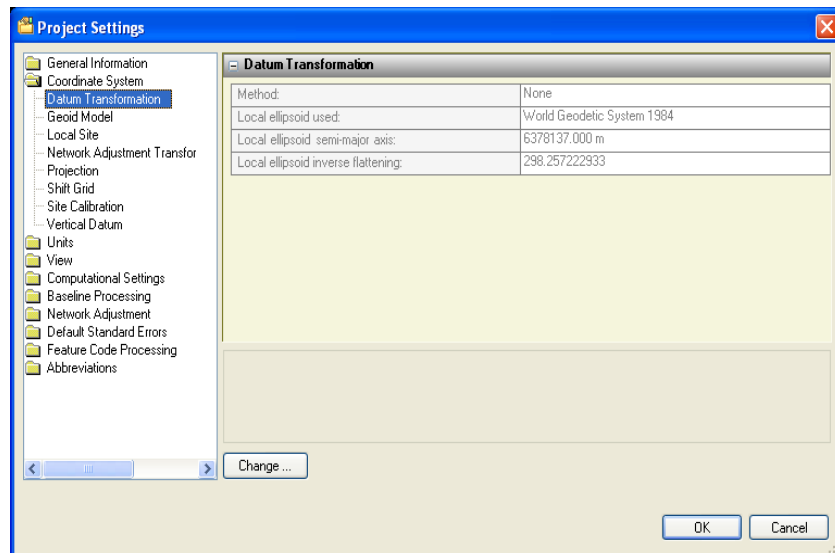
Η επίλυση των μετρήσεων G.P.S. έγινε με το πρόγραμμα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων T.B.C. (Trimble Business Center). Είναι το πρόγραμμα που παρέχει η εταιρία Trimble με την αγορά δεκτών G.P.S., ώστε να μπορούν οι χρήστες να επεξεργάζονται τις μετρήσεις που πραγματοποίησαν.

Η διαδικασία που ακολουθείται από το λογισμικό T.B.C. για την επίλυση των δεδομένων που έχουν προέλθει από μετρήσεις με δέκτες G.P.S. είναι η παρακάτω:

1. Δημιουργία – Ενεργοποίηση “project”: Το “project” είναι στην ουσία ένας ηλεκτρονικός φάκελος, προκαθορισμένης δομής, 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 έχουμε δημιουργήσει ήδη κάποιο project επιλέγουμε “Open Project”, διαφορετικά συντάσσουμε ένα νέο επιλέγοντας “New Project”.
2. Ορισμός των παραμέτρων του “project” όπως: μονάδες μέτρησης, το σύστημα αναφοράς και οι ρυθμίσεις υπολογισμού των συντεταγμένων. Στο “Project Settings” επιλέγεται το σύστημα αναφοράς που επιθυμείται , επιλέγοντας “Select Coordinate System Type” και το μοντέλο γεωειδούς με την 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 υπολογιστεί πρόσφατα, το EGM-2008



Σχήμα 6.1 : Παράμετροι επιλογής datum, του ΕΓΣΑ 87 σε σχέση με το WGS 84 – Parameters selection datum, the EGSA 87 relative to the WGS 84, Πηγή : T.B.C.



Σχήμα 6.2 : Οι παράμετροι του WGS-84 – The parameters of the WGS-84, Πηγή : T.B.C.

3. Εισαγωγή των δεδομένων. Γίνεται είτε ενσύρματα, είτε ασύρματα (“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.
4. Καταχώρηση του αρχείου δεδομένων στο πρόγραμμα επεξεργασίας: Τα αρχεία καταχωρούνται στο T.B.C. είτε με το format αποθήκευσης της Trimble, είτε σε μορφή “rinex” που επεξεργάζονται 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), το σημείο αναφοράς ύψους, το είδος κεραίας και δέκτη. Για όσα σημεία υπάρχει κοινός χρόνος μέτρησης, το T.B.C. το αντιλαμβάνεται και δημιουργεί μία βάση ενώνοντας τα σημεία μεταξύ τους, ακόμα και αν ο χρόνος παρατήρησης είναι πολύ μικρός.
5. Ορισμός σταθμού αναφοράς : Επιλέγεται το σημείο με γνωστές συντεταγμένες και με την εντολή “Add Coordinate”, εισάγονται οι συντεταγμένες του στο πρόγραμμα και επιλέγεται η εντολή “Survey Control” για το είδος του σημείου.

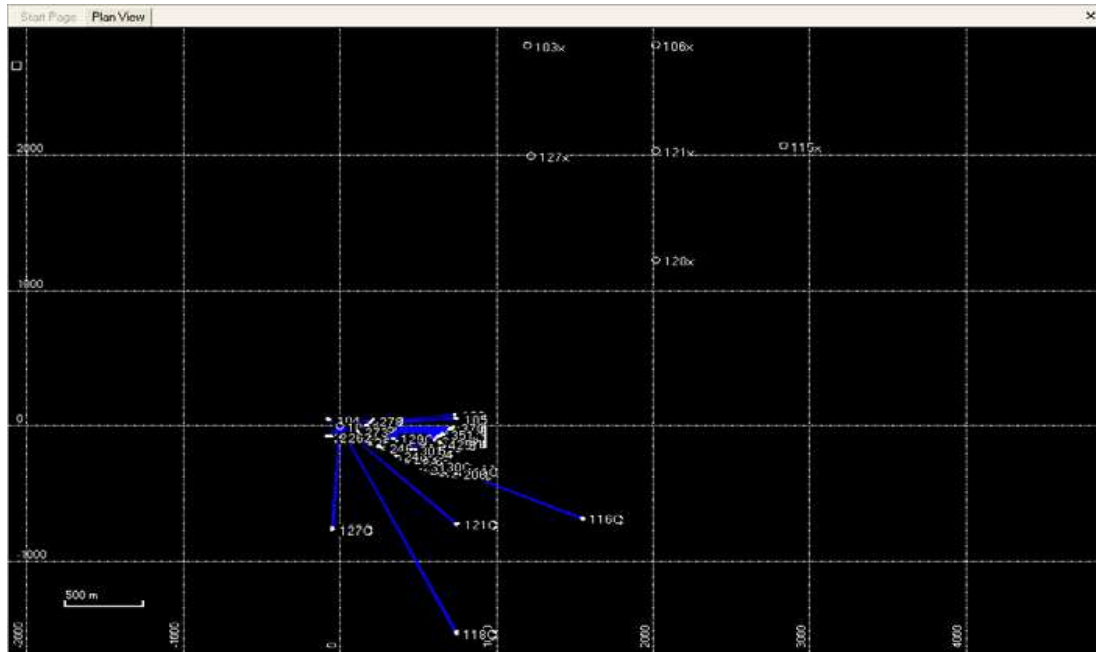
6. Επίλυση βάσεων: Επιλέγονται οι βάσεις στο σχεδιαστικό παράθυρο του προγράμματος και με την επιλογή “Survey->Process Baselines” επιλύονται. Εάν κάποιες βάσεις αλλοιώσουν την ποιότητα της λύσης θα φανεί από το «κλείσιμο» των τριγώνων που το πρόγραμμα σχηματίζει. Οι δείκτες που εξετάζουμε για να κρίνουμε την ποιότητα της λύσης είναι οι ακόλουθοι:

α) Ratio: Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο και άνω του 5. Επειδή η επίλυση γίνεται με χρήση της Μεθόδου Ελαχίστων Τετραγώνων (M.E.T.), το ratio είναι ο λόγος της μεταβλητότητας της επιλεγθείσας 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) R.M.S. (Root Mean Square): Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και δείχνει την ποιότητα των παρατηρήσεων από τους δορυφόρους. Είναι ανεξάρτητο από τη γεωμετρία των δορυφόρων.

Για την αντιμετώπιση προβληματικών βάσεων μπορεί μέσα από τη παρατήρηση του σήματος των δορυφόρων για κάθε σταθμό, δίνεται η δυνατότητα είτε να αφαιρεθεί κάποιος από τους δορυφόρους, εάν δεν εμφανίζει καλή λειτουργικότητα, είτε να διορθωθούν συγκεκριμένα διαστήματα που υπάρχει “θόρυβος” στις μετρήσεις επιλέγοντας “View->Timeline”,

γ) Αλλαγή της γωνίας ύψους αποκοπής δορυφόρων που χρησιμοποιείται για την επίλυση. Το μέγεθος αυτό δημιουργεί μία περιοχή απόρριψης δεδομένων τα οποία συλλέγονται σε γωνία μικρότερη της καθοριζόμενης. Τη γωνία ύψους αποκοπής δορυφόρων τη χρησιμοποιούμε για να ελαχιστοποιήσουμε το σφάλμα των πολυανακλάσεων και γενικά να απορρίψουμε τις παρατηρήσεις κακής ποιότητας. Βεβαίως, η επιλογή μεγάλης γωνίας ύψους αποκοπής ($>20^\circ$) αδυνατίζει πάρα πολύ τη λύση απορρίπτοντας κάποιους από τους δορυφόρους, ενώ αυξάνεται και η αβεβαιότητα στο προσδιορισμό του υψομέτρου καθώς η γεωμετρία των δορυφόρων χειροτερεύει.



Σχήμα 6.3 : Διανύσματα των επιλυμένων βάσεων – Vectors of resolved bases, Πηγή : T.B.C.

7. Συνόρθωση δικτύου: Με την ολοκλήρωση της επίλυσης των βάσεων και το κλείσιμο των βρόγχων, ακολουθεί η συνόρθωση του δικτύου επιλέγοντας τις εντολές “Adjustment -> Adjust” και στη συνέχεια “Report->Network Adjustment” για να γίνει η εξαγωγή των αποτελεσμάτων αυτής.
8. Εξαγωγή αποτελεσμάτων: Το TBC διαθέτει διάφορες δυνατότητες εξαγωγής των αποτελεσμάτων (export) όπως απλό αρχείο συντεταγμένων, αρχείο drawing (dwg για autocad), shapfile (shp για GIS εφαρμογές) κ.α.

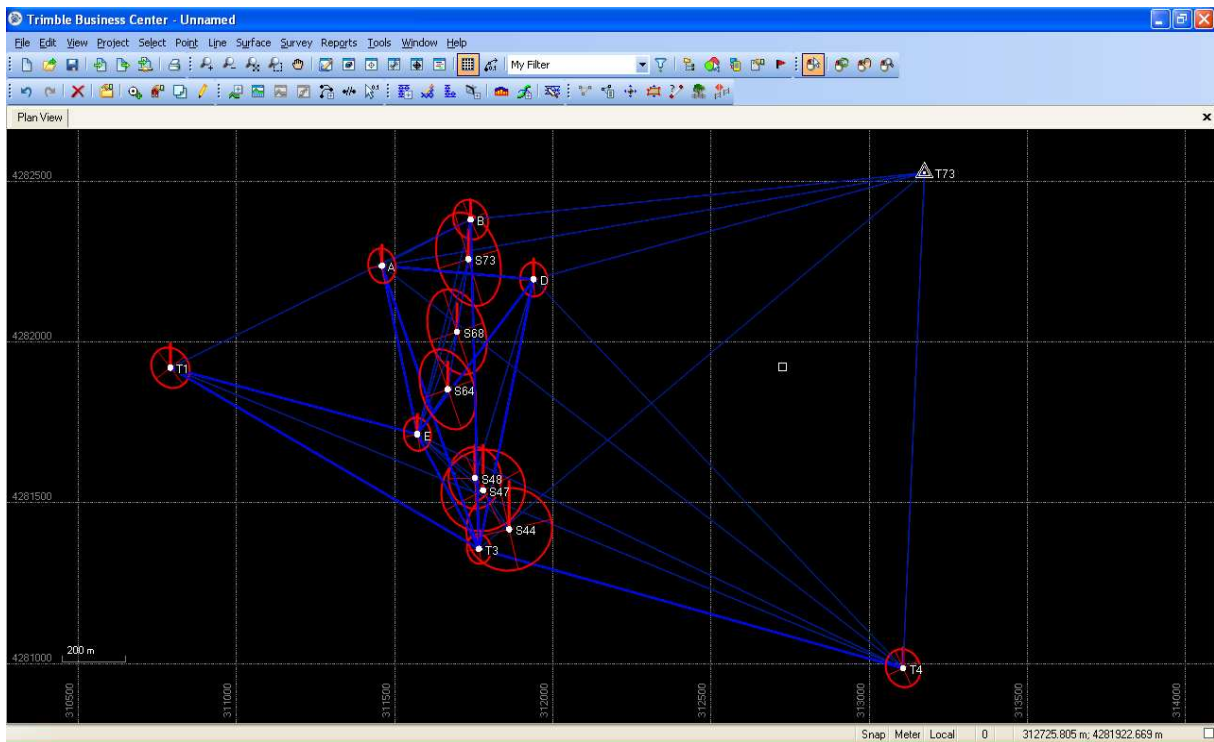
6.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΛΥΣΕΩΝ

Για την επίλυση των βάθρων που μετρήθηκαν στο φράγμα του Ευήνου με GPS, (τα σημεία αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου, τα τρία σημεία ελέγχου στη στέψη και τα τρία σημεία αναφοράς στην περιοχή της κατολίσθησης του αριστερού πρανούς –Βλ. Κεφάλαιο 5), έγιναν δύο διαφορετικές επιλύσεις με σκοπό να ελεγχθούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν.

Στην πρώτη επίλυση κρατήθηκε σταθερό ως βασικό σημείο με γνωστές συντεταγμένες το τριγωνομετρικό T73 (κωδικός 164073 – «Σταυρούδι») Φ.Χ. ΚΛΕΠΑ (1:50.000) της ΓΥΣ, το οποίο μετρήθηκε περίπου 6 ώρες την τέταρτη ημέρα των εργασιών υπαίθρου. Εισήχθησαν στο πρόγραμμα οι συντεταγμένες του βάθρου στην προβολή του ΕΓΣΑ'87 και το ορθομετρικό υψόμετρο του βάθρου, όπως δόθηκαν από τη ΓΥΣ. Τα στοιχεία του βάθρου είναι τα παρακάτω :

ΠΡΟΒΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΕΓΣΑ 87				
ΣΗΜΕΙΟ	x (m)	y (m)	H (m)	
T73	313174,217	4282526,992	728,271	ύψος βάθρου 1,09

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΕΓΣΑ 87		
ΣΗΜΕΙΟ	φ	λ
T73	38° 40' 17,8870''	21° 51' 08,8398''

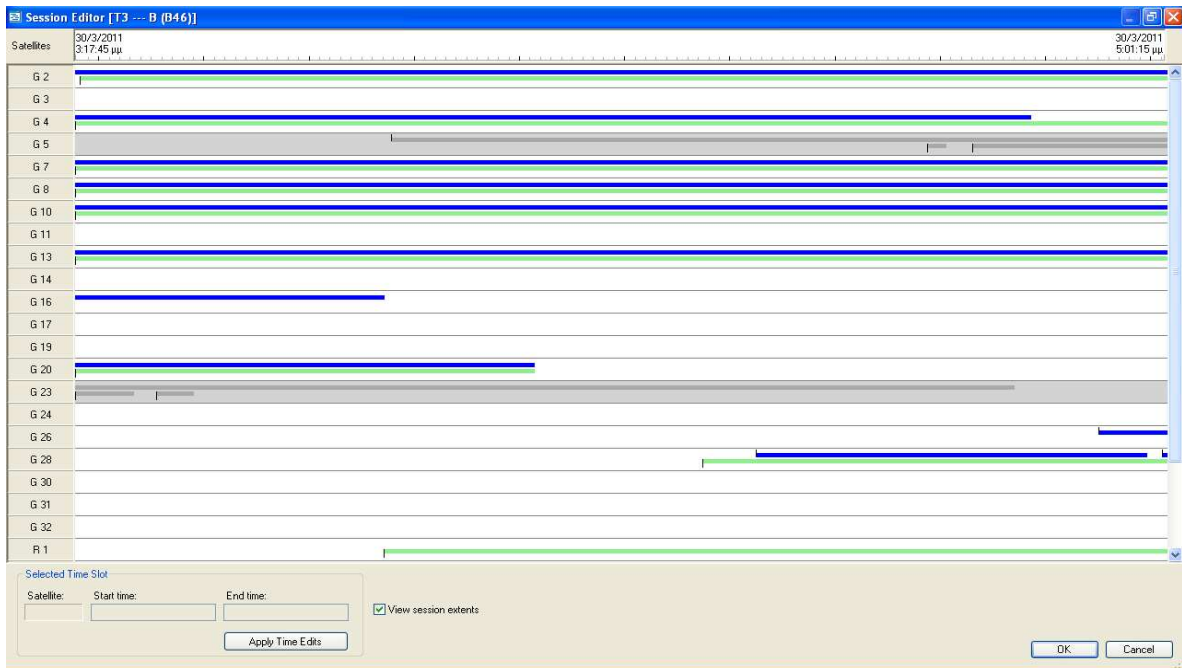


Σχήμα 6.4: Συνόρθωση του δικτύου, όπου φαίνονται οι βάσεις του συνολικού δικτύου για το διάστημα (27/03/11 έως και 30/03/11) και οι ελλείψεις σφάλματος του κάθε σημείου, με σταθερό σημείο το T73 της Γ.Υ.Σ. – Adjustment of the network, showing the baselines of the overall network for the period (27/03/2011 – 30/03/2011) and error ellipse of each point, with a fixed point with code T73 of G.Y.S., Πηγή : T.B.C.

Save	Observation	Solution	Horiz. Precisi	Vert. Precision	RMS	Ratio	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	T73 --- T3	Fixed	0.002	0.008	0.013	2.02	1835.281
<input checked="" type="checkbox"/>	A --- D	Fixed	0.003	0.005	0.014	2.05	481.540
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- A	Fixed	0.003	0.004	0.024	2.05	935.563
<input checked="" type="checkbox"/>	A --- D	Fixed	0.003	0.005	0.016	2.08	481.542
<input checked="" type="checkbox"/>	D --- A	Fixed	0.004	0.007	0.013	2.11	481.555
<input checked="" type="checkbox"/>	T73 --- B	Fixed	0.004	0.005	0.018	2.12	1455.178
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- B	Fixed	0.003	0.005	0.020	2.16	1025.823
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- T1	Fixed	0.003	0.006	0.018	2.19	1130.081
<input checked="" type="checkbox"/>	D --- T4	Fixed	0.005	0.010	0.013	2.44	1681.331
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- T4	Fixed	0.003	0.005	0.014	2.54	1391.602
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- B	Fixed	0.003	0.005	0.018	2.60	1025.838
<input checked="" type="checkbox"/>	B --- T1	Fixed	0.003	0.007	0.015	2.75	1055.596
<input checked="" type="checkbox"/>	E --- B	Fixed	0.003	0.005	0.011	2.88	688.634
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- D	Fixed	0.003	0.005	0.011	2.91	858.379
<input checked="" type="checkbox"/>	T4 --- A	Fixed	0.008	0.015	0.015	3.24	2063.458
<input checked="" type="checkbox"/>	E --- D	Fixed	0.002	0.005	0.010	3.54	606.348
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- A	Fixed	0.003	0.005	0.014	3.55	935.565
<input checked="" type="checkbox"/>	E --- T1	Fixed	0.003	0.006	0.008	3.99	808.846
<input checked="" type="checkbox"/>	E --- A	Fixed	0.003	0.004	0.023	4.35	536.857
<input checked="" type="checkbox"/>	D --- S48	Fixed	0.004	0.009	0.007	4.52	644.511
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- D	Fixed	0.003	0.005	0.013	4.74	858.365
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- A	Fixed	0.003	0.005	0.012	5.20	935.560
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- T4	Fixed	0.003	0.004	0.012	5.30	1391.601
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- E	Fixed	0.002	0.003	0.012	5.60	408.632
<input checked="" type="checkbox"/>	E --- T4	Fixed	0.003	0.006	0.009	5.65	1699.281
<input checked="" type="checkbox"/>	E --- A	Fixed	0.003	0.005	0.015	5.81	536.868
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- E	Fixed	0.002	0.003	0.012	5.97	408.626
<input checked="" type="checkbox"/>	T3 --- D	Fixed	0.003	0.005	0.010	8.32	858.375
<input checked="" type="checkbox"/>	T4 --- T1	Fixed	0.004	0.009	0.010	9.22	2498.230
<input checked="" type="checkbox"/>	E --- S48	Fixed	0.004	0.008	0.006	10.00	228.169
<input checked="" type="checkbox"/>	T73 --- A	Fixed	0.003	0.012	0.010	10.17	1752.871
<input checked="" type="checkbox"/>	F --- D	Fixed	0.003	0.005	0.010	11.00	606.349

Press <Save> to save processing results. 47 observations selected for saving

Σχήμα 6.5: Απόσπασμα από την επίλυση των βάσεων του δικτύου – Process of resolving baselines of the network, Πηγή : T.B.C.



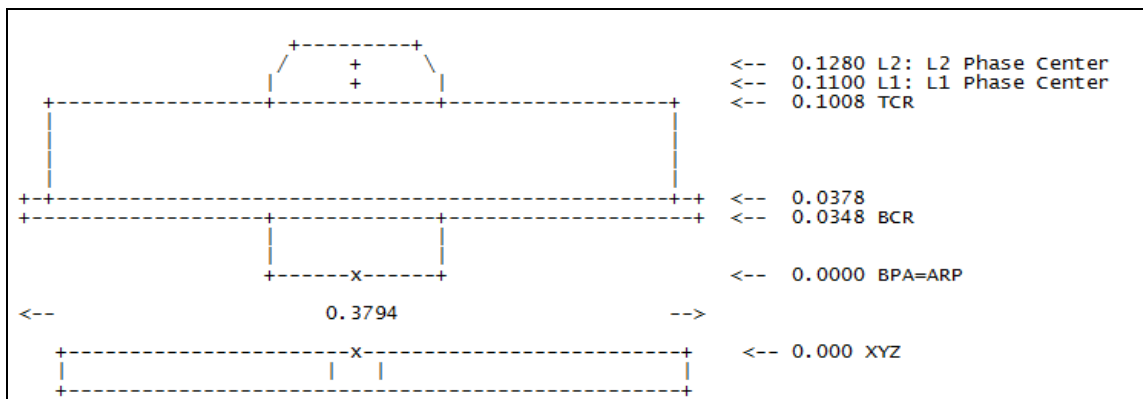
Σχήμα 6.6: Δορυφόροι που αφαιρούνται λόγω διακοπής του σήματος κατά την διάρκεια των μετρήσεων για την επίλυση της βάσης T3-B – Satellites are removed because of an interruption of the signal during the measurements to resolve the baseline T3-B, Πηγή : T.B.C.

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 γεωγραφικές συντεταγμένες του σταθμού, το γεωμετρικό υψόμετρο και το ύψος της κεραίας. Το πρόγραμμα δεν αναγνώρισε το συγκεκριμένο είδος δέκτη / κεραία, για αυτό και εισήχθησαν ως άγνωστης ποιότητας “unknown external” στο πρόγραμμα, ενώ έγινε η αναγωγή του ύψους της κεραίας στο κέντρο φάσης του δέκτη. Παρακάτω δίνονται τα στοιχεία του σταθμού της Πάτρας:

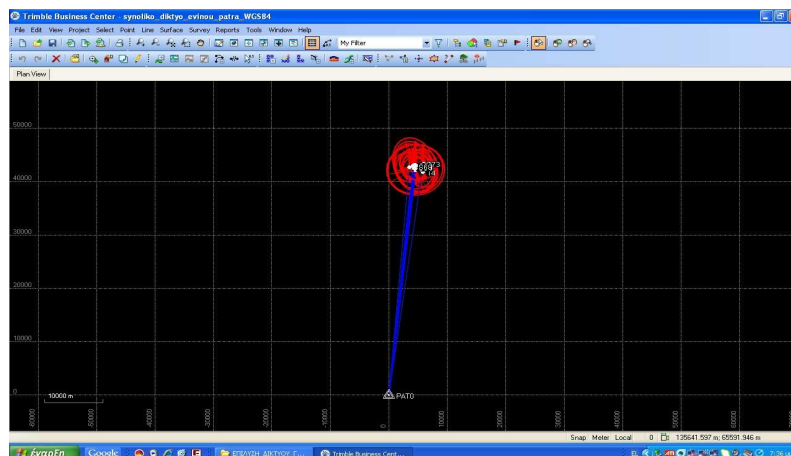
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟ WGS-84			
ΣΗΜΕΙΟ	φ	λ	h (m)
PATO	38° 17' 01,1613”	21° 47' 12,3002”	121,042

Δέκτης: TPS GB-1000

Κεραία: ASH700936E



Σχήμα 6.7: Γεωμετρία κεραίας ASH700936E – Geometry antenna ASH700936E, Πηγή: EUREF



Σχήμα 6.8: Επίλυση δικτύου GPS του φράγματος Εύηνου από τον σταθμό της EUREF στην Πάτρα – Solving G.P.S. network of the dam Evinos by EUREF station in Patras, Πηγή : T.B.C.

6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ G.P.S.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στη συνέχεια. Από την μελέτη τους προκύπτει ότι στις δύο επιλύσεις που έγιναν οι συντεταγμένες των σημείων αναφοράς και ελέγχου του φράγματος πρακτικά ταυτίζονται. Οι αποκλίσεις που εμφανίζονται σε ορισμένα σημεία είναι της τάξης του 0,00001''. Ο προσδιορισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων έγινε στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS-84. Τα παρακάτω αποτελέσματα προέκυψαν από την επίλυση από το τριγωνομετρικό T73 της ΓΥΣ :

Πίνακας 6.1 : Γεωγραφικές συντεταγμένες στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS-84 των σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου και των σημείων ελέγχου της στέψης και στην περιοχή της κατολίσθησης του αριστερού πρηνούς του φράγματος – Geographical coordinates in World Geographical System (W.G.S.-84) of reference points of the trigonometric network and control points of the crest and in landslide area on the left slope of the dam, Πηγή : T.B.C.

Point ID	Latitude (ϕ)	Longitude (λ)	Height (h) (m)	Height Error (m)
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	

Πίνακας 6.2 : Συγκεντρωτικός πίνακας αναφοράς των επιλυμένων βάσεων του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος – Summary table reporting the resolved baselines of trigonometric network of the dam, Πηγή : T.B.C.

Baseline Processing Report

Processing Summary

Observation	From	To	Occupation Start Time	Occupation Stop Time	Solution Type	H. Prec. (Meter)	V. Prec. (Meter)	Geodetic Az.	Ellipsoid Dist. (Meter)	ΔHeight (Meter)
T4 --- T1 (B36)	T4	T1	29/3/2011 5:35:00 μμ	29/3/2011 7:00:30 μμ	Fixed	0.004	0.009	290°37'19"	2497.322	-58.724
T4 --- A (B37)	T4	A	29/3/2011 5:18:45 μμ	29/3/2011 5:29:45 μμ	Fixed	0.008	0.015	305°52'16"	2068.819	-43.475
D --- T4 (B60)	D	T4	30/3/2011 12:15:30 μμ	30/3/2011 12:57:15 μμ	Fixed	0.005	0.010	134°37'44"	1680.796	35.996
E --- T4 (B50)	E	T4	29/3/2011 5:18:45 μμ	29/3/2011 7:12:45 μμ	Fixed	0.003	0.006	113°59'07"	1699.088	11.483
T3 --- T4 (B43)	T3	T4	29/3/2011 5:18:45 μμ	29/3/2011 7:31:15 μμ	Fixed	0.003	0.005	104°06'21"	1391.083	-32.736
T3 --- T4 (B68)	T3	T4	30/3/2011 10:48:00 πμ	30/3/2011 12:57:15 μμ	Fixed	0.003	0.004	104°06'20"	1391.084	-32.711
B --- T1 (B20)	B	T1	28/3/2011 4:52:45 μμ	28/3/2011 6:38:30 μμ	Fixed	0.003	0.007	242°45'14"	1054.852	-37.175
T3 --- B (B24)	T3	B	28/3/2011 4:36:00 μμ	28/3/2011 6:38:30 μμ	Fixed	0.007	0.008	357°10'29"	1024.303	-54.233
T3 --- B (B70)	T3	B	30/3/2011 3:17:45 μμ	30/3/2011 5:01:15 μμ	Fixed	0.004	0.005	357°10'28"	1024.310	-54.238
D --- S48 (B39)	D	S48	29/3/2011 2:55:15 μμ	29/3/2011 3:17:00 μμ	Fixed	0.004	0.009	195°23'31"	644.454	1.162
T3 --- A (B46)	T3	A	29/3/2011 3:24:30 μμ	29/3/2011 5:29:45 μμ	Fixed	0.003	0.004	339°26'10"	932.368	-76.172
T3 --- A (B69)	T3	A	30/3/2011 1:16:45 μμ	30/3/2011 3:30:00 μμ	Fixed	0.003	0.005	339°26'10"	932.366	-76.167
T3 --- A (B23)	T3	A	28/3/2011 2:24:15 μμ	28/3/2011 4:28:00 μμ	Fixed	0.003	0.005	339°26'12"	932.369	-76.164
T3 --- D (B42)	T3	D	29/3/2011 2:55:15 μμ	29/3/2011 4:38:15 μμ	Fixed	0.003	0.005	10°17'51"	855.540	-68.699
T3 --- D (B25)	T3	D	28/3/2011 2:05:15 μμ	28/3/2011 4:05:30 μμ	Fixed	0.003	0.005	10°17'53"	855.540	-68.704
T3 --- D (B71)	T3	D	30/3/2011 12:15:30 μμ	30/3/2011 2:34:45 μμ	Fixed	0.003	0.005	10°17'54"	855.529	-68.712
E --- T1 (B51)	E	T1	29/3/2011 5:35:00 μμ	29/3/2011 7:00:30 μμ	Fixed	0.003	0.007	283°29'42"	807.400	-47.235

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS

E --- T1 (B28)	E	T1	28/3/2011 4:52:45 μμ	28/3/2011 6:46:15 μμ	Fixed	0.003	0.006	283°29'41"	807.393	-47.219
S64 --- S73 (B10)	S64	S73	27/3/2011 4:30:45 μμ	27/3/2011 5:04:45 μμ	Fixed	0.006	0.006	7°49'20"	409.779	0.136
A --- B (B57)	A	B	30/3/2011 3:17:45 μμ	30/3/2011 3:30:00 μμ	Fixed	0.007	0.015	61°32'49"	315.061	21.965
E --- B (B30)	E	B	28/3/2011 4:36:00 μμ	28/3/2011 6:38:30 μμ	Fixed	0.003	0.005	12°48'53"	688.498	-10.017
E --- D (B49)	E	D	29/3/2011 2:55:15 μμ	29/3/2011 4:38:15 μμ	Fixed	0.003	0.005	36°00'26"	605.797	-24.508
E --- D (B31)	E	D	28/3/2011 2:05:15 μμ	28/3/2011 4:05:30 μμ	Fixed	0.002	0.005	36°00'27"	605.796	-24.511
A --- D (B40)	A	D	29/3/2011 3:24:30 μμ	29/3/2011 4:38:15 μμ	Fixed	0.003	0.005	93°42'47"	481.443	7.476
D --- A (B58)	D	A	30/3/2011 1:16:45 μμ	30/3/2011 2:34:45 μμ	Fixed	0.004	0.007	273°43'00"	481.456	-7.460
A --- D (B18)	A	D	28/3/2011 2:24:15 μμ	28/3/2011 4:05:30 μμ	Fixed	0.003	0.005	93°42'50"	481.441	7.458
E --- S48 (B52)	E	S48	29/3/2011 2:43:45 μμ	29/3/2011 3:17:00 μμ	Fixed	0.004	0.008	125°20'48"	226.950	-23.347
E --- A (B29)	E	A	28/3/2011 2:24:15 μμ	28/3/2011 4:28:00 μμ	Fixed	0.003	0.005	346°35'19"	535.862	-31.977
E --- A (B53)	E	A	29/3/2011 3:24:30 μμ	29/3/2011 5:29:45 μμ	Fixed	0.003	0.004	346°35'16"	535.855	-31.979
S68 --- S73 (B11)	S68	S73	27/3/2011 4:30:45 μμ	27/3/2011 5:08:15 μμ	Fixed	0.005	0.006	7°44'57"	228.803	-0.360
S47 --- S44 (B14)	S47	S44	27/3/2011 5:53:00 μμ	27/3/2011 6:10:00 μμ	Fixed	0.005	0.012	144°27'20"	146.356	2.784
S64 --- S68 (B3)	S64	S68	27/3/2011 4:14:00 μμ	27/3/2011 5:04:45 μμ	Fixed	0.004	0.005	7°54'53"	180.975	0.494
T73 --- T4 (B62)	T73	T4	30/3/2011 11:44:45 πμ	30/3/2011 12:57:15 μμ	Fixed	0.003	0.006	181°10'14"	1541.989	-170.916
T73 --- A (B63)	T73	A	30/3/2011 1:16:45 μμ	30/3/2011 3:30:00 μμ	Fixed	0.003	0.012	259°05'00"	1739.401	-214.350
T73 --- B (B64)	T73	B	30/3/2011 3:17:45 μμ	30/3/2011 5:01:15 μμ	Fixed	0.004	0.005	262°51'19"	1442.094	-192.433
T73 --- D (B65)	T73	D	30/3/2011 12:15:30 μμ	30/3/2011 2:34:45 μμ	Fixed	0.003	0.011	253°37'29"	1279.386	-206.910
T3 --- T1 (B44)	T3	T1	29/3/2011 5:35:00 μμ	29/3/2011 7:00:30 μμ	Fixed	0.003	0.007	298°39'27"	1126.287	-91.457
T3 --- T1 (B22)	T3	T1	28/3/2011 4:52:45 μμ	28/3/2011 6:46:15 μμ	Fixed	0.003	0.006	298°39'27"	1126.274	-91.418
T3 --- S48 (B45)	T3	S48	29/3/2011 2:43:45 μμ	29/3/2011 3:17:00 μμ	Fixed	0.004	0.008	355°18'19"	221.158	-67.539
E --- S73 (B9)	E	S73	27/3/2011 4:30:45 μμ	27/3/2011 5:11:00 μμ	Fixed	0.006	0.006	15°10'46"	567.845	-26.238

E --- S44 (B13)	E	S44	27/3/2011 5:53:00 μμ	27/3/2011 6:25:45 μμ	Fixed	0.004	0.009	134°09'21"	414.290	-19.501
E --- S68 (B7)	E	S68	27/3/2011 4:14:00 μμ	27/3/2011 5:08:15 μμ	Fixed	0.005	0.005	20°08'23"	342.242	-25.885
E --- S47 (B6)	E	S47	27/3/2011 5:34:00 μμ	27/3/2011 6:10:00 μμ	Fixed	0.004	0.008	128°37'37"	271.559	-22.279
E --- S64 (B5)	E	S64	27/3/2011 3:53:45 μμ	27/3/2011 5:04:45 μμ	Fixed	0.004	0.004	33°11'12"	169.754	-26.379
T3 --- E (B48)	T3	E	29/3/2011 2:24:45 μμ	29/3/2011 7:12:45 μμ	Fixed	0.002	0.003	329°58'52"	406.194	-44.200
E --- T3 (B27)	T3	E	28/3/2011 1:38:15 μμ	28/3/2011 6:56:00 μμ	Fixed	0.002	0.003	329°58'53"	406.194	-44.194
T3 --- T73 (B67)	T73	T3	30/3/2011 11:44:45 πμ	30/3/2011 5:35:15 μμ	Fixed	0.002	0.008	228°56'45"	1830.795	- 138.174

Acceptance Summary

Processed	Passed	Flag	Fail
47	47	0	0

Πίνακας 6.3 : Αποτελέσματα από το κλείσιμο των βρόγχων (τριγώνων) του δικτύου – Results of loop closure of the network, Πηγή : T.B.C.

Loop Closure Results

Summary

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

	Length (m)	ΔHoriz (m)	ΔVert (m)	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

Πίνακας 6.4 : Στοιχεία των ελλείψεων σφάλματος των σημείων αναφοράς του δικτύου και των σημείων ελέγχου του φράγματος – Components of error ellipse of reference points of the network and control points of the dam, Πηγή : T.B.C.

Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (m)	Semi-minor axis (m)	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 παρακάτω αποτελέσματα προέκυψαν από την επίλυση που έγινε από το σταθμό της EUREF στην Πάτρα :

Πίνακας 6.5 : Γεωγραφικές συντεταγμένες στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS-84 των σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου και των σημείων ελέγχου της στέφης και στην περιοχή της κατολίσθησης του αριστερού πρανούς του φράγματος – Geographical coordinates in World Geographical System (W.G.S.-84) of reference points of the trigonometric network and control points of the crest and in landslide area on the left slope of the dam, Πηγή : T.B.C

Point ID	Latitude (φ)	Longitude (λ)	Height (h) (m)	Height Error (m)
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	
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

Πίνακας 6.6 : Συγκεντρωτικός πίνακας αναφοράς των επιλυμένων βάσεων του τριγωνομετρικού δικτύου του φράγματος – Summary table reporting the resolved baselines of trigonometric network of the dam, Πηγή : T.B.C

Baseline Processing Report

Processing Summary

Observation	From	To	Occupation Start Time	Occupation Stop Time	Solution Type	H. Prec. (Meter)	V. Prec. (Meter)	Geodetic Az.	Ellipsoid Dist. (Meter)	ΔHeight (Meter)
PAT0 --- T3 (B72)	PAT0	T3	30/3/2011 10:21:45 πμ	30/3/2011 6:12:15 μμ	Fixed	0.005	0.022	6°04'10"	42395.879	499.771
PAT0 --- T3 (B47)	PAT0	T3	29/3/2011 1:50:45 μμ	29/3/2011 7:50:45 μμ	Fixed	0.006	0.025	6°04'10"	42395.886	499.770
PAT0 --- T3 (B26)	PAT0	T3	28/3/2011 1:38:15 μμ	28/3/2011 7:33:30 μμ	Fixed	0.006	0.025	6°04'10"	42395.887	499.758
PAT0 ---	PAT0	T73	30/3/2011	30/3/2011	Fixed	0.006	0.023	7°41'58"	43756.158	637.942

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS

T73 (B66)			11:44:45 πμ	5:35:15 μμ							
PAT0 --- E (B32)	PAT0	E	28/3/2011 9:34:15 πμ	28/3/2011 6:56:00 μμ	Fixed	0.004	0.021	5°44'54"	42724.673	455.550	
PAT0 --- E (B54)	PAT0	E	29/3/2011 2:24:45 μμ	29/3/2011 7:12:45 μμ	Fixed	0.006	0.029	5°44'54"	42724.674	455.546	
PAT0 --- E (B8)	PAT0	E	27/3/2011 3:33:15 μμ	27/3/2011 6:43:15 μμ	Fixed	0.008	0.038	5°44'54"	42724.685	455.551	
PAT0 --- A (B59)	PAT0	A	30/3/2011 1:16:45 μμ	30/3/2011 3:30:00 μμ	Fixed	0.010	0.041	5°30'54"	43231.117	423.588	
PAT0 --- A (B33)	PAT0	A	29/3/2011 3:24:30 μμ	29/3/2011 5:29:45 μμ	Fixed	0.013	0.041	5°30'54"	43231.113	423.588	
PAT0 --- T1 (B35)	PAT0	T1	29/3/2011 5:35:00 μμ	29/3/2011 7:00:30 μμ	Fixed	0.013	0.026	4°40'42"	42840.549	408.347	
PAT0 --- D (B55)	PAT0	D	30/3/2011 12:15:30 μμ	30/3/2011 2:34:45 μμ	Fixed	0.010	0.038	6°09'09"	43249.172	431.038	
PAT0 --- D (B41)	PAT0	D	29/3/2011 2:55:15 μμ	29/3/2011 4:38:15 μμ	Fixed	0.011	0.019	6°09'09"	43249.168	431.080	
PAT0 --- B (B17)	PAT0	B	28/3/2011 4:36:00 μμ	28/3/2011 6:38:30 μμ	Fixed	0.010	0.041	5°51'35"	43408.067	445.523	
PAT0 --- B (B56)	PAT0	B	30/3/2011 3:17:45 μμ	30/3/2011 5:01:15 μμ	Fixed	0.012	0.018	5°51'35"	43408.067	445.506	
PAT0 --- S64 (B4)	PAT0	S64	27/3/2011 3:53:45 μμ	27/3/2011 5:04:45 μμ	Fixed	0.014	0.017	5°51'10"	42875.453	429.169	
PAT0 --- S68 (B1)	PAT0	S68	27/3/2011 4:14:00 μμ	27/3/2011 5:08:15 μμ	Fixed	0.017	0.019	5°51'41"	43056.319	429.682	
PAT0 --- S47 (B2)	PAT0	S47	27/3/2011 5:34:00 μμ	27/3/2011 6:10:00 μμ	Fixed	0.015	0.030	6°03'19"	42578.003	433.252	
PAT0 --- S48 (B34)	PAT0	S48	29/3/2011 2:43:45 μμ	29/3/2011 3:17:00 μμ	Fixed	0.015	0.032	6°00'50"	42613.149	432.218	
PAT0 --- S73 (B12)	PAT0	S73	27/3/2011 4:30:45 μμ	27/3/2011 5:11:00 μμ	Fixed	0.021	0.023	5°52'16"	43285.003	429.292	
T3 --- E (B48)	T3	E	29/3/2011 2:24:45 μμ	29/3/2011 7:12:45 μμ	Fixed	0.002	0.003	329°58'52"	406.194	-44.200	
E --- T3 (B27)	E	T3	28/3/2011 1:38:15 μμ	28/3/2011 6:56:00 μμ	Fixed	0.002	0.003	149°58'48"	406.194	44.194	
T3 --- T73 (B67)	T3	T73	30/3/2011 11:44:45 πμ	30/3/2011 5:35:15 μμ	Fixed	0.002	0.008	48°56'09"	1830.795	138.174	
E --- A (B29)	E	A	28/3/2011 2:24:15 μμ	28/3/2011 4:28:00 μμ	Fixed	0.003	0.005	346°35'19"	535.862	-31.976	
E --- A (B53)	E	A	29/3/2011 3:24:30 μμ	29/3/2011 5:29:45 μμ	Fixed	0.003	0.004	346°35'16"	535.855	-31.979	
T73 --- D (B65)	T73	D	30/3/2011 12:15:30 μμ	30/3/2011 2:34:45 μμ	Fixed	0.003	0.011	253°37'29"	1279.386	- 206.910	
E --- B (B30)	E	B	28/3/2011 4:36:00 μμ	28/3/2011 6:38:30 μμ	Fixed	0.003	0.005	12°48'53"	688.498	-10.017	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS

E --- D (B49)	E	D	29/3/2011 2:55:15 μμ	29/3/2011 4:38:15 μμ	Fixed	0.003	0.005	36°00'26"	605.796	-24.506
E --- D (B31)	E	D	28/3/2011 2:05:15 μμ	28/3/2011 4:05:30 μμ	Fixed	0.002	0.005	36°00'27"	605.796	-24.511
T3 --- A (B23)	T3	A	28/3/2011 2:24:15 μμ	28/3/2011 4:28:00 μμ	Fixed	0.003	0.005	339°26'12"	932.369	-76.164
T3 --- A (B46)	T3	A	29/3/2011 3:24:30 μμ	29/3/2011 5:29:45 μμ	Fixed	0.003	0.004	339°26'10"	932.368	-76.172
T3 --- A (B69)	T3	A	30/3/2011 1:16:45 μμ	30/3/2011 3:30:00 μμ	Fixed	0.003	0.005	339°26'09"	932.367	-76.171
T3 --- D (B42)	T3	D	29/3/2011 2:55:15 μμ	29/3/2011 4:38:15 μμ	Fixed	0.003	0.005	10°17'51"	855.540	-68.699
T3 --- D (B25)	T3	D	28/3/2011 2:05:15 μμ	28/3/2011 4:05:30 μμ	Fixed	0.003	0.005	10°17'53"	855.540	-68.704
T3 --- D (B71)	T3	D	30/3/2011 12:15:30 μμ	30/3/2011 2:34:45 μμ	Fixed	0.003	0.005	10°17'54"	855.529	-68.712
T3 --- T4 (B43)	T3	T4	29/3/2011 5:18:45 μμ	29/3/2011 7:31:15 μμ	Fixed	0.003	0.005	104°06'21"	1391.083	-32.737
T3 --- T4 (B68)	T3	T4	30/3/2011 10:48:00 πμ	30/3/2011 12:57:15 μμ	Fixed	0.003	0.004	104°06'20"	1391.084	-32.711
T3 --- B (B24)	T3	B	28/3/2011 4:36:00 μμ	28/3/2011 6:38:30 μμ	Fixed	0.007	0.008	357°10'30"	1024.302	-54.236
T3 --- B (B70)	T3	B	30/3/2011 3:17:45 μμ	30/3/2011 5:01:15 μμ	Fixed	0.004	0.005	357°10'28"	1024.310	-54.238
E --- T1 (B51)	E	T1	29/3/2011 5:35:00 μμ	29/3/2011 7:00:30 μμ	Fixed	0.003	0.007	283°29'42"	807.400	-47.235
E --- T1 (B28)	E	T1	28/3/2011 4:52:45 μμ	28/3/2011 6:46:15 μμ	Fixed	0.003	0.006	283°29'41"	807.394	-47.219
T73 --- A (B63)	T73	A	30/3/2011 1:16:45 μμ	30/3/2011 3:30:00 μμ	Fixed	0.003	0.012	259°05'00"	1739.401	- 214.350
A --- D (B18)	A	D	28/3/2011 2:24:15 μμ	28/3/2011 4:05:30 μμ	Fixed	0.003	0.005	93°42'50"	481.441	7.458
D --- A (B58)	D	A	30/3/2011 1:16:45 μμ	30/3/2011 2:34:45 μμ	Fixed	0.004	0.007	273°43'00"	481.456	-7.460
A --- D (B40)	A	D	29/3/2011 3:24:30 μμ	29/3/2011 4:38:15 μμ	Fixed	0.003	0.005	93°42'47"	481.443	7.476
T3 --- T1 (B44)	T3	T1	29/3/2011 5:35:00 μμ	29/3/2011 7:00:30 μμ	Fixed	0.003	0.007	298°39'27"	1126.287	-91.457
T3 --- T1 (B22)	T3	T1	28/3/2011 4:52:45 μμ	28/3/2011 6:46:15 μμ	Fixed	0.003	0.006	298°39'27"	1126.274	-91.418
B --- T1 (B20)	B	T1	28/3/2011 4:52:45 μμ	28/3/2011 6:38:30 μμ	Fixed	0.003	0.007	242°45'14"	1054.852	-37.175
E --- T4 (B50)	E	T4	29/3/2011 5:18:45 μμ	29/3/2011 7:12:45 μμ	Fixed	0.003	0.006	113°59'07"	1699.088	11.483
T73 --- B (B64)	T73	B	30/3/2011 3:17:45 μμ	30/3/2011 5:01:15 μμ	Fixed	0.004	0.005	262°51'19"	1442.094	- 192.433

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS

E --- S64 (B5)	E	S64	27/3/2011 3:53:45 μμ	27/3/2011 5:04:45 μμ	Fixed	0.004	0.004	33°11'12"	169.754	-26.379
S64 --- S68 (B3)	S64	S68	27/3/2011 4:14:00 μμ	27/3/2011 5:04:45 μμ	Fixed	0.004	0.005	7°54'53"	180.975	0.494
E --- S68 (B7)	E	S68	27/3/2011 4:14:00 μμ	27/3/2011 5:08:15 μμ	Fixed	0.005	0.005	20°08'23"	342.242	-25.885
T73 --- T4 (B62)	T73	T4	30/3/2011 11:44:45 πμ	30/3/2011 12:57:15 μμ	Fixed	0.003	0.006	181°10'14"	1541.989	-170.916
S68 --- S73 (B11)	S68	S73	27/3/2011 4:30:45 μμ	27/3/2011 5:08:15 μμ	Fixed	0.005	0.006	7°44'57"	228.803	-0.360
E --- S47 (B6)	E	S47	27/3/2011 5:34:00 μμ	27/3/2011 6:10:00 μμ	Fixed	0.004	0.008	128°37'37"	271.559	-22.279
T3 --- S48 (B45)	T3	S48	29/3/2011 2:43:45 μμ	29/3/2011 3:17:00 μμ	Fixed	0.004	0.008	355°18'19"	221.158	-67.539
E --- S48 (B52)	E	S48	29/3/2011 2:43:45 μμ	29/3/2011 3:17:00 μμ	Fixed	0.004	0.008	125°20'48"	226.950	-23.347
E --- S73 (B9)	E	S73	27/3/2011 4:30:45 μμ	27/3/2011 5:11:00 μμ	Fixed	0.006	0.006	15°10'46"	567.845	-26.238
S64 --- S73 (B10)	S64	S73	27/3/2011 4:30:45 μμ	27/3/2011 5:04:45 μμ	Fixed	0.006	0.006	7°49'20"	409.779	0.136
T4 --- T1 (B36)	T4	T1	29/3/2011 5:35:00 μμ	29/3/2011 7:00:30 μμ	Fixed	0.004	0.009	290°37'19"	2497.322	-58.724
E --- S44 (B13)	E	S44	27/3/2011 5:53:00 μμ	27/3/2011 6:25:45 μμ	Fixed	0.004	0.009	134°09'21"	414.290	-19.501
S47 --- S44 (B14)	S47	S44	27/3/2011 5:53:00 μμ	27/3/2011 6:10:00 μμ	Fixed	0.005	0.012	144°27'20"	146.356	2.784
D --- S48 (B39)	D	S48	29/3/2011 2:55:15 μμ	29/3/2011 3:17:00 μμ	Fixed	0.004	0.009	195°23'31"	644.454	1.162
A --- B (B57)	A	B	30/3/2011 3:17:45 μμ	30/3/2011 3:30:00 μμ	Fixed	0.007	0.015	61°32'49"	315.061	21.965
D --- T4 (B60)	D	T4	30/3/2011 12:15:30 μμ	30/3/2011 12:57:15 μμ	Fixed	0.005	0.010	134°37'44"	1680.796	35.996
T4 --- A (B37)	T4	A	29/3/2011 5:18:45 μμ	29/3/2011 5:29:45 μμ	Fixed	0.008	0.015	305°52'16"	2068.819	-43.475

Acceptance Summary

Processed	Passed	Flag	Fail
66	66	0	0

Πίνακας 6.7 : Αποτελέσματα από το κλείσιμο των βρόγχων (τριγώνων) του δικτύου – Results of loop closure of the network, Πηγή : T.B.C.

Loop Closure Results

Summary				
Legs in loop:	3			
Number of Loops:	304			
Number Passed:	304			
Number Failed:	0			
	Length (m)	ΔHoriz (m)	ΔVert (m)	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

Πίνακας 6.8 : Στοιχεία των ελλείψεων σφάλματος των σημείων αναφοράς του δικτύου και των σημείων ελέγχου του φράγματος – Components of error ellipse of reference points of the network and control points of the dam, Πηγή : T.B.C.

Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (m)	Semi-minor axis (m)	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°

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η μελέτη των μετακινήσεων του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου και της στέψης του φράγματος. Η μελέτη στηρίχθηκε στις υπάρχουσες μετρήσεις που έχουν γίνει και γίνονται από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. με επίγειες γεωδαιτικές μεθόδους παρακολούθησης και με μετρήσεις GPS που έγιναν στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας, οι οποίες αφορούν το δορυφορικό εντοπισμό των σημείων αναφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου και των σημείων ελέγχου στη στέψη του φράγματος, που επιλέχθηκαν να μετρηθούν κατά το σχεδιασμό των εργασιών πεδίου (Κεφάλαιο 5).

Στο τελευταίο στάδιο της μελέτης και για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση της κινηματικής συμπεριφοράς του τριγωνομετρικού δικτύου και της στέψης του φράγματος, παρουσιάζονται διαγράμματα χρονοσειρών και εμφανίζονται οι μέσες ταχύτητες των μικρομετακινήσεων και των καθιζήσεων που προέκυψαν για τα βάθρα του φράγματος από την ανάγνωση των διαγραμμάτων.

7.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

Τα βάθρα του δικτύου και της στέψης του φράγματος, τα οποία μετρήθηκαν με GPS το διάστημα (27/03/2011-30/03/2011) είναι τα παρακάτω:

- Για το πρωτεύον δίκτυο: T1 (κατάντη του άξονα του φράγματος), T3, T4 (ανάντη του άξονα του φράγματος)
- Για το δευτερεύον δίκτυο: A, B, Δ, E
- Για τη στέψη του φράγματος: S64, S68, S73

Για τα σημεία αυτά έχουν υπολογιστεί οι γεωγραφικές συντεταγμένες στο WGS-84 για την εποχή 2011 (Βλ. Κεφάλαιο 6). Η επεξεργασία η οποία έγινε έχει να κάνει με τον έλεγχο των οριζοντιογραφικών μετακινήσεων των βάθρων του δικτύου και της στέψης που μετρήθηκαν το 2011, σε σχέση με τις παλαιότερες μετρήσεις (1998 – 2009).

Για τα σημεία αναφοράς του δικτύου οι συντεταγμένες είναι από παλαιότερες επίγειες μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., οι οποίες αναφέρονται στην περίοδο 1997, και συγκεκριμένα, τις συντεταγμένες στην προβολή HATT. Επειδή τα σημεία αυτά θεωρούνται από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. ως σταθερά, καθώς βρίσκονται σε βραχώδες υπόβαθρο στις γύρω κορυφές του φράγματος, δεν προσδιορίστηκαν μετέπειτα οι συντεταγμένες τους. 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.

Εν αντιθέσει τα σημεία ελέγχου της στέψης του φράγματος ελέγχονται κάθε χρόνο από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. μετά το 1998 με συστηματικές μετρήσεις. Σύμφωνα με το αρμόδιο συνεργείο για τις επίγειες μετρήσεις από την εταιρεία, ο έλεγχος της στέψης γίνεται από τα σημεία αναφοράς του δικτύου Δ, Β, Α και Ε.

Για τον έλεγχο των σημείων ελέγχου της στέψης στα ανάντη, ο Γεωδαιτικός Σταθμός τοποθετείται στο σημείο αναφοράς Δ και ο μηδενισμός για την έναρξη των μετρήσεων γίνεται στο σημείο αναφοράς Β. Για τον έλεγχο των σημείων ελέγχου της στέψης στα κατόντη, ο Γεωδαιτικός Σταθμός τοποθετείται στο σημείο ελέγχου Α και ο μηδενισμός για την έναρξη των μετρήσεων γίνεται στο σημείο ελέγχου Ε. Με αυτά τα σημεία αναφοράς του δικτύου, ελέγχονται τα βάθρα ελέγχου επιφανειακών μετακινήσεων της στέψης.

Στα πρώτα έτη μέχρι το 2004 οι μετρήσεις ήταν συνεχείς κατά τη διάρκεια του χρόνου, μετά ελαττώθηκαν στις 2-3 σειρές μετρήσεων ανά έτος. Οι τελευταίες χρονικά μετρήσεις αφορούν την εποχή (2008-2009). Ο προσδιορισμός της θέσης των σημείων ελέγχου της στέψης γίνεται στην προβολή HATT.

Τα δεδομένα είναι οι συντεταγμένες των σημείων (ο έλεγχος των σημείων ελέγχου της στέψης αναφέρεται μόνο κατά τον άξονα X της προβολής) και όχι η πρωτογενής πληροφορία (γωνίες και αποστάσεις), το ίδιο να αναφέρουμε ότι συμβαίνει και με τα σημεία αναφοράς του δικτύου.



Σχήμα 7.1: Τα σημεία αναφοράς του δικτύου (A,B,Δ,E,T3) απ’ όπου γίνονται οι επίγειες παρατηρήσεις (διεύθυνση μηδενισμού) προς τα σημεία ελέγχου της στέψης (ανάντη και κατάντη) του φράγματος και για τον έλεγχο της κατολίσθησης του αριστερού πρανούς από το τοπογραφικό συνεργείο της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.- The reference points of the network (A,B,D,E,T3), where are the sites for the ground observations to the control points of crest (upstream and downstream) of the dam and to control the landslide from the left abutment, from the topographic crew of EYDAP S.A., Πηγή: Google Earth

7.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ WGS-84 ΣΕ ΤΟΠΙΚΟ ΤΟΠΟΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

Όπως προκύπτει στην ενότητα 7.3 η ανάλυση των δεδομένων προϋποθέτει την μετατροπή των καρτεσιανών γεωκεντρικών συντεταγμένων των σημείων αναφοράς του δικτύου και των σημείων ελέγχου της στέψης του φράγματος σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς. Η διαδικασία μετατροπής έχει ως εξής :

Ο πίνακας μετασχηματισμού T (σχέση 1) είναι :

$$T = \begin{bmatrix} -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ -\sin\varphi\cos\lambda & -\sin\varphi\sin\lambda & \cos\varphi \\ \cos\varphi\cos\lambda & \cos\varphi\sin\lambda & \sin\varphi \end{bmatrix} \quad (1)$$

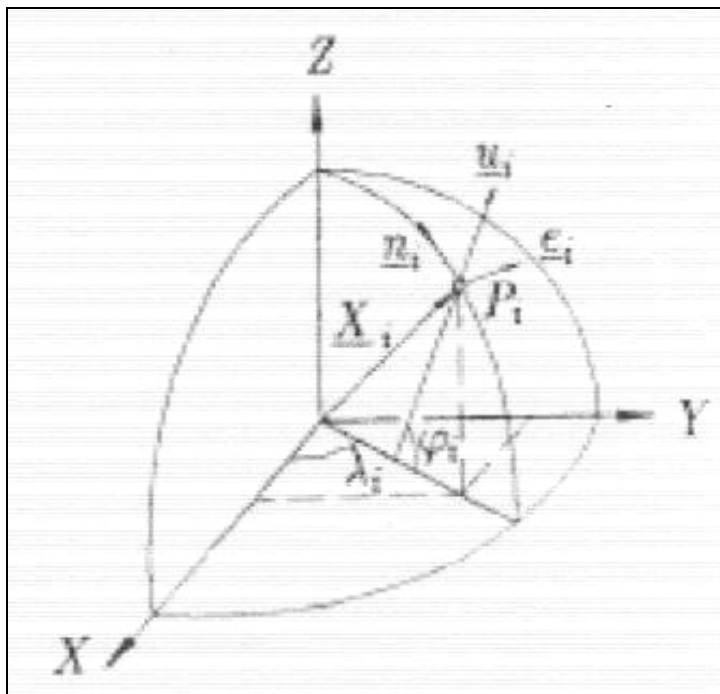
Το οριζόντιο επίπεδο (X_0, Y_0, Z_0) είναι εφαπτόμενο στο σημείο με τις καρτεσιανές συντεταγμένες. e, n, u είναι οι άξονες (τα στοιχεία) του δεξιόστροφου συστήματος και οι καρτεσιανές συντεταγμένες μετασχηματίζονται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (σχέση 2):

$$\begin{bmatrix} e_i \\ n_i \\ u_i \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας του τοπικού τοποκεντρικού συστήματος συντεταγμένων δίνεται από την εξίσωση (σχέση 3):

$$VCV_{ENH} = T \cdot VCV_{XYZ} \cdot T^T \quad (3)$$

Όπου VCV_{XYZ} είναι ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων. Αυτή η εξίσωση χρησιμοποιείται για μετατροπή από συντεταγμένες GPS σε τοπικό τοποκεντρικό σύστημα συντεταγμένων.



Σχήμα 7.2 : Τοπικό Τοποκεντρικό Σύστημα Συντεταγμένων – Local Topocentric Coordinate System,

Πηγή: Wellenhof et al. 1992

7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΒΑΘΡΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ (1997 – 2011)

Για την περίοδο (1997 – 2011) οι μετρήσεις των δύο αυτών εποχών αναφέρονται αντίστοιχα σε διαφορετικές προβολές, HATT και WGS-84. Για να βρεθούν οι μετακινήσεις των σημείων κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου, οι μετρήσεις θα πρέπει να αναφέρονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς.

Μία καλή εκτίμηση της μετακίνησης του κάθε σημείου είναι, αν από το διάνυσμα της διαφοράς των συντεταγμένων, αφαιρεθεί το διάνυσμα της μέσης μετάθεσης των σημείων της περιοχής, που προσεγγιστικά αντιστοιχεί σε μετάθεση των συντεταγμένων του 2011 στην εποχή των μετρήσεων του 1997 και μετέπειτα υπολογισμό της διαφοράς των συντεταγμένων των δύο περιόδων.

Έπειτα θα πρέπει οι συντεταγμένες να μεταφερθούν στα αντίστοιχα τοπικά συστήματα αναφοράς. Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στις υπολογισμένες μετακινήσεις, θα πρέπει αυτές να διορθωθούν από την στροφή και την διαφορά κλίμακας μεταξύ των δύο συστημάτων. Σημειώνεται επίσης ότι η διαφορά κλίμακας, στροφής και η μετάθεση των δυο συστημάτων, θα μπορούσαν να προσδιοριστούν σε μια ενιαία συνόρθωση, με παρατηρήσεις τις συντεταγμένες των δυο εποχών μέτρησης. Ως τελικές διαφορές συντεταγμένων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα εναπομένοντα σφάλματα της συνόρθωσης.

Για τον υπολογισμό των διορθώσεων αυτών χρησιμοποιείται η μεθοδολογία που περιγράφεται παρακάτω. (Λογισμικό “DIFF”: Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας Σ.Α.Τ.Μ - Ε.Μ.Π.)

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 συντεταγμένων, 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:

$$scale = (S_{ede} + S_{ndn}) / (S_{e2} + S_{n2}) \text{ σε ppm}$$

$$rotation = (S_{nde} - S_{edn}) / (S_{e2} + S_{n2}) \text{ σε ppm}$$

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 ($\Delta\Delta\Delta N$, $\Delta\Delta\Delta E$).

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

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

Ο υπολογισμός της σχετικής θέσης μεταξύ των συστημάτων αναφοράς από τις παλαιότερες μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και των μετρήσεων GPS (2011), έγιναν με το πρόγραμμα “DIFF”, (Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας Σ.Α.Τ.Μ - Ε.Μ.Π.). Στο πρόγραμμα εισήχθησαν οι συντεταγμένες για τα σημεία αναφοράς του δικτύου και για τα σημεία ελέγχου της στέψης του φράγματος (εποχή 2011) στο σύστημα αναφοράς του WGS-84, το ίδιο έγινε και για τις χρονοσειρές των μετρήσεων της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., καθώς επίσης και οι συντεταγμένες των βάθρων στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (UTM 34⁰ για την Ελλάδα).

Ο αλγόριθμος του λογισμικού είναι βασισμένος στη διαδικασία και στα βήματα που διατυπώθηκαν προηγουμένως για τον υπολογισμό της σχετικής θέσης μεταξύ των δύο συστημάτων αναφοράς. Η εισαγωγή της θέσης των σημείων στο πρόγραμμα, για τις δύο εποχές γίνεται είτε με γεωγραφικές συντεταγμένες, είτε με καρτεσιανές γεωκεντρικές συντεταγμένες. Επειδή όμως οι μετρήσεις που έχουμε τα παλαιότερα χρόνια είναι επίγειες και αναφέρονται στη προβολή HATT έγινε πρώτα η μετατροπή τους σε γεωγραφικές συντεταγμένες στο ελλειψοειδές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

αναφοράς του BESSEL. Το λογισμικό υπολογίζει τις τελικές διορθωμένες από στροφή και κλίμακα μεταθέσεις των σημείων εκφραζόμενες σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα συντεταγμένων. Σύμφωνα με τα προηγούμενα οι συντεταγμένες των σημείων, οι διαφορές των συντεταγμένων καθώς και οι τελικές μεταθέσεις για τα σημεία του δικτύου, όπως προέκυψαν από το λογισμικό “DIFF”:

DIONYSOS SATELLITE OBSERVATORY

N.T.U. Athens

PROGRAM DIFF

06-23-2011 13:02:53

From 2011 to 1997

Καρτεσιανές Γεωκεντρικές Συντεταγμένες στα δυο συστήματα αναφοράς (δορυφορικές παρατηρήσεις με GPS στο WGS-84 την εποχή 2011 και επίγειες παρατηρήσεις στο WGS-84 την εποχή 1997)

	X	Y	Z
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

Διαφορές συντεταγμένων στα δυο συστήματα αναφοράς - Diffs between two sets

	ΔX	ΔY	ΔZ
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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

X translation ($\overline{\Delta X}$) : 126.468 ρ 0.056 m ($\sigma_{\Delta X}$)

Y translation ($\overline{\Delta Y}$) : -136.269 ρ 0.182 m ($\sigma_{\Delta Y}$)

Z translation ($\overline{\Delta Z}$) : -83.360 ρ 0.083 m ($\sigma_{\Delta Z}$)

Αφαιρώντας από την κάθε διαφορά συντεταγμένων την μέση μετάθεση προκύπτουν :

Remaining diffs between two sets after a 3D translation

		$\Delta\Delta X$	$\Delta\Delta Y$	$\Delta\Delta Z$
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

Υπολογισμένες μετατοπίσεις κάθε σημείου, στο τοποκεντρικό του σύστημα. Μετατρέποντας τις διαφορές αυτές στα αντίστοιχα τοπικά συστήματα αναφοράς, προκύπτουν :

Remaining diffs converted to North-East-Up

		$\Delta\Delta N$	$\Delta\Delta E$	$\Delta\Delta U$
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 ($\overline{\Delta\Delta N}$) : 0.000 ρ 0.104 m ($\sigma_{\Delta\Delta N}$)

East translation ($\overline{\Delta\Delta E}$) : 0.000 ρ 0.178 m ($\sigma_{\Delta\Delta E}$)

Up translation ($\overline{\Delta\Delta U}$) : 0.000 ρ 0.016 m ($\sigma_{\Delta\Delta U}$)

Το κέντρο του δικτύου έχει συντεταγμένες στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή :

Center at E= 572915.148 - N= 4280231.241

Οι παραπάνω διαφορές πρέπει να διορθωθούν από την επίδραση της διαφοράς κλίμακας και της στροφής των δυο συστημάτων αναφοράς. Τελικά η στροφή και η διαφορά κλίμακας των δυο συστημάτων αναφοράς είναι : **Coefficients: scale = 233.571 ppm, rotate = -49.23180 ppm**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Οι διορθώσεις (στροφή και κλίμακα) των συντεταγμένων ΔΔΝ και ΔΔΕ που προκύπτουν για κάθε σημείο είναι :

Computed diffs based on coefficients scale, rotate

		δΔΝ	δΔΕ
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

Οι τελικές μεταθέσεις των σημείων από την εποχή 2011 στην εποχή 1997 είναι :

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

		ΔΔΔΝ	ΔΔΔΕ
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 ($\overline{\Delta\Delta\Delta N}$) : 0.000 ρ 0.008 m ($\sigma_{\Delta\Delta\Delta N}$)

East translation ($\overline{\Delta\Delta\Delta E}$) : 0.000 ρ 0.012 m ($\sigma_{\Delta\Delta\Delta E}$)

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα τρία σημεία ελέγχου της στέψης (S64, S68, S73) όπου έγιναν μετρήσεις GPS σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις. Οι τελικές μεταθέσεις των σημείων (διαφορές συντεταγμένων) είναι εκφρασμένες από το 2011 προς τις παρακάτω ημερομηνίες μέτρησης όπως φαίνεται στον πίνακα 7.1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 7.3: Δορυφορική εικόνα όπου φαίνεται το σημείο με κωδικό E του δικτύου, τα τρία βάθρα της στέψης με κωδικούς (S64,S68,S73) και τα τρία βάθρα για τον έλεγχο της κατολίθησης με κωδικούς (S44,S47,S48) όπου μετρήθηκαν με GPS – Satellite image showing the reference point with code E of the network, the three control points of the crest with codes (S64,S68,S73) and the three control points with codes (S44,S47,S48) for the control the landslide were measured by GPS, Πηγή : Google Earth

Πίνακας 7.1: Τελικές μεταθέσεις (διαφορές συντεταγμένων) των σημείων ελέγχου της στέψης (S64, S68, S73) που μετρήθηκαν με GPS, από το 2011 προς τις παρακάτω ημερομηνίες. Έχουν υπολογιστεί σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς και έχουν διορθωθεί από στροφή και κλίμακα – Final transfer (coordinate differences) of the control points of the crest (S64,S68,S73) measured by GPS, from 2011 to the following dates. They are calculated at topocentric reference system and they are corrected by rotate and scale.

ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	S64		S68		S73	
	ΔΔΔΝ (m)	ΔΔΔΕ (m)	ΔΔΔΝ (m)	ΔΔΔΕ (m)	ΔΔΔΝ (m)	ΔΔΔΕ (m)
30/3/1998	0.015	-0.004	-0.026	0.007	0.012	-0.003
21/10/1998	0.015	0.001	-0.026	-0.002	0.012	0.001
2/3/1999	0.015	-0.005	-0.026	0.009	0.012	-0.004
22/4/1999	0.015	0.000	-0.026	-0.001	0.012	0.000
20/10/1999	0.015	0.000	-0.026	-0.001	0.012	0.000
19/5/2000	0.015	-0.007	-0.026	0.012	0.012	-0.006
1/3/2001	0.015	-0.003	-0.026	0.006	0.012	-0.002
1/4/2001	0.015	-0.008	-0.026	0.015	0.012	-0.007
15/4/2001	0.015	0.002	-0.026	-0.003	0.012	0.001
1/5/2001	0.015	-0.002	-0.026	0.004	0.012	-0.002
15/5/2001	0.015	-0.004	-0.026	0.007	0.012	-0.003
1/6/2001	0.015	-0.003	-0.026	0.006	0.012	-0.003

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

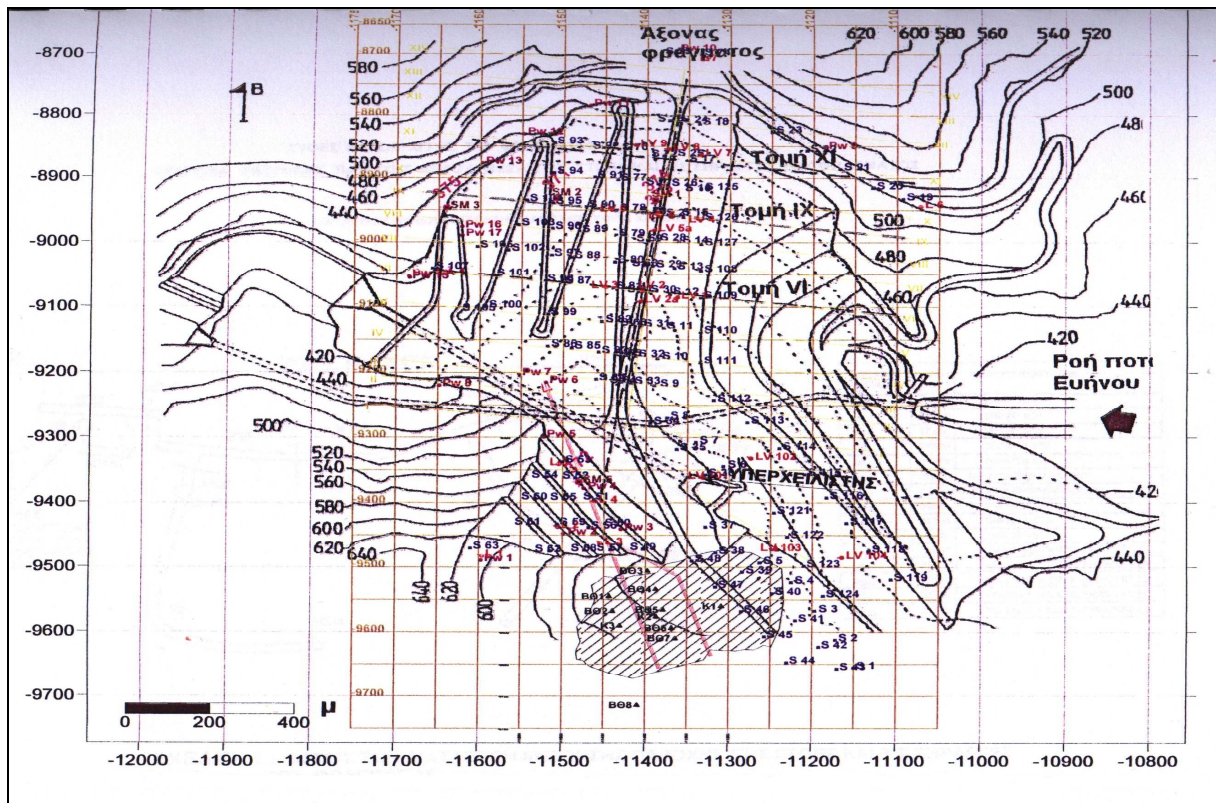
15/6/2001	0.015	-0.003	-0.026	0.006	0.012	-0.003
1/7/2001	0.015	-0.002	-0.026	0.004	0.012	-0.002
1/8/2001	0.015	-0.002	-0.026	0.003	0.012	-0.001
1/9/2001	0.015	-0.002	-0.026	0.003	0.012	-0.001
1/10/2001	0.015	-0.001	-0.026	0.003	0.012	-0.001
1/11/2001	0.015	-0.001	-0.026	0.002	0.012	-0.001
1/12/2001	0.015	-0.003	-0.026	0.005	0.012	-0.002
1/1/2002	0.015	-0.003	-0.026	0.006	0.012	-0.002
1/2/2002	0.015	-0.002	-0.026	0.004	0.012	-0.002
1/3/2002	0.015	-0.002	-0.026	0.004	0.012	-0.002
1/4/2002	0.015	-0.003	-0.026	0.005	0.012	-0.002
1/5/2002	0.015	-0.003	-0.026	0.005	0.012	-0.002
1/6/2002	0.015	-0.002	-0.026	0.004	0.012	-0.002
1/7/2002	0.015	-0.003	-0.026	0.006	0.012	-0.003
1/8/2002	0.015	-0.001	-0.026	0.002	0.012	-0.001
1/9/2002	0.015	0.000	-0.026	0.000	0.012	0.000
1/10/2002	0.015	-0.001	-0.026	0.001	0.012	0.000
1/11/2002	0.015	-0.001	-0.026	0.002	0.012	-0.001
1/3/2003	0.015	-0.004	-0.026	0.007	0.012	-0.003
1/4/2003	0.015	0.000	-0.026	0.000	0.012	0.000
1/5/2003	0.015	-0.002	-0.026	0.003	0.012	-0.001
1/6/2003	0.015	-0.002	-0.026	0.003	0.012	-0.002
1/7/2003	0.015	-0.001	-0.026	0.002	0.012	-0.001
1/8/2003	0.015	-0.004	-0.026	0.007	0.012	-0.003
1/9/2003	0.015	-0.001	-0.026	0.002	0.012	-0.001
1/10/2003	0.015	0.000	-0.026	0.000	0.012	0.000
1/11/2003	0.015	-0.001	-0.026	0.002	0.012	-0.001
1/12/2003	0.015	0.000	-0.026	0.000	0.012	0.000
1/1/2004	0.015	-0.001	-0.026	0.001	0.012	-0.001
1/2/2004	0.015	0.000	-0.026	-0.001	0.012	0.000
1/4/2004	0.015	0.001	-0.026	-0.001	0.012	0.001
1/5/2004	0.015	0.000	-0.026	-0.001	0.012	0.000
1/6/2004	0.015	-0.001	-0.026	0.002	0.012	-0.001
1/7/2004	0.015	0.000	-0.026	0.001	0.012	0.000
1/8/2004	0.015	0.000	-0.026	0.000	0.012	0.000
1/9/2004	0.015	-0.001	-0.026	0.002	0.012	-0.001
1/10/2004	0.015	-0.001	-0.026	0.001	0.012	-0.001
1/11/2004	0.015	0.001	-0.026	-0.001	0.012	0.001
1/12/2004	0.015	0.000	-0.026	0.000	0.012	0.000
1/1/2005	0.015	-0.002	-0.026	0.003	0.012	-0.002
1/10/2005	0.015	-0.002	-0.026	0.004	0.012	-0.002
1/11/2006	0.015	-0.002	-0.026	0.003	0.012	-0.001
1/11/2007	0.015	0.000	-0.026	0.000	0.012	0.000
1/6/2008	0.015	0.002	-0.026	-0.004	0.012	0.002
1/11/2008	0.015	0.002	-0.026	-0.003	0.012	0.002
1/11/2009	0.015	0.001	-0.026	-0.001	0.012	0.000

Θα πρέπει εδώ να αναφέρουμε ότι τα επίγεια δεδομένα (τελικές συντεταγμένες σε προβολή HATT) που είχαμε για την στέψη του φράγματος από τις χρονοσειρές της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. αναφέρονται μόνο κατά τον άξονα X (East). Η χρονική εξέλιξη της μεταβολής των διανυσμάτων αναφέρονται στην κάθετη στον άξονα του φράγματος μετακίνηση και κατά προσέγγιση είναι ~ ίσο με τη μεταβολή του ΔX.

7.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, (ΕΠΙΓΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΥΔΑΠ Α.Ε. ΠΕΡΙΟΔΟΥ, 1998 – 2009)

7.5.1 Μελέτη Οριζόντιων Μετακινήσεων

Τα σημεία ελέγχου των επιφανειακών μετακινήσεων τοποθετήθηκαν σε ολόκληρη την έκταση της περιοχής του φράγματος. Οι θέσεις τους φαίνονται στο σχήμα 7.4 και στα σχετικά σχέδια στο παράρτημα. Στη στέψη του φράγματος έχουν τοποθετηθεί τα σημεία ελέγχου από S24 έως S33 ανάντη του άξονα και τα σημεία ελέγχου από S64 έως S73 κατόντη του άξονα.



Σχήμα 7.4: Θέσεις τοπογραφικών βάθρων για τον έλεγχο μικρομετακινήσεων και λοιπών οργάνων παρακολούθησης στο φράγμα του Ευήνου – Positions of topographic control points to control surface movements and other monitoring instruments in the dam Evinos, Πηγή : ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Πίνακας 7.2: Συντεταγμένες Διατομών και Χ.Θ. στον άξονα του φράγματος – Coordinates sections and positions to the axis of the dam, Πηγή : ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

Α/Α ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ		Χ.Θ.
	X	Y	
I	-11423.980	-9284.000	0
II	-11428.000	-9241.420	43
III	-11424.250	-9214.680	70
IV	-11418.540	-9174.080	111
μεταξύ IV & V	-11418.000	-9167.000	115
V	-11412.010	-9127.540	158
VI	-11404.780	-9076.040	210
μεταξύ VI & VII	-11400.000	-9037.000	235
VII	-11398.100	-9028.510	258
VIII	-11393.370	-8994.840	292
IX	-11387.950	-8956.220	331
X	-11383.780	-8926.510	361
μεταξύ X & XI	-11382.000	-8909.000	380
XI	-11374.870	-8863.130	425
XII	-11367.230	-8808.670	480
XIII	-11361.380	-8767.070	522
XIV	-11355.680	-8726.470	563

Πίνακας 7.3: Σημεία ελέγχου (ανάντη, κατάντη) και Χ.Θ. στη στέψη του φράγματος – Control points (upstream, downstream) and positions on the crest of the dam, Πηγή : ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΕΨΗΣ (ΚΑΤΑΝΤΗ) ΟΜΑΔΑ (S64 – S73) Α.Υ. : 520 m		ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΕΨΗΣ (ΑΝΑΝΤΗ) ΟΜΑΔΑ (S24 – S33) Α.Υ. : 520 m	
Α/Α ΒΑΘΡΟΥ	Χ.Θ.	Α/Α ΒΑΘΡΟΥ	Χ.Θ.
S64	70	S24	480
S65	111	S25	425
S66	158	S26	380
S67	210	S27	331
S68	235	S28	292
S69	292	S29	235
S70	331	S30	210
S71	380	S31	158
S72	425	S32	111
S73	480	S33	70

Για την διαχρονική παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων της στέψης του φράγματος μελετήθηκαν οι μεταθέσεις των σημείων ελέγχου κατά την κάθετη διεύθυνση στον άξονα του φράγματος. Οι διαφορές (ΔE) των συντεταγμένων προέκυψαν από τη τελευταία μέτρηση των δεδομένων από τις χρονοσειρές της Ε.ΥΔ.Α.Π. Α.Ε.. Τα αποτελέσματα των διαφορών παρουσιάζονται στους πίνακες 7.4, 7.5, 7.6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Πίνακας 7.4: Διαφορές συντεταγμένων (ΔΕ) των σημείων ελέγχου της στέψης με κωδικό S24, S25, S26, S27, S28, S29. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τις συντεταγμένες των επίγειων δεδομένων της ΕΥΔΑΠ. Α.Ε. – Coordinate differences (DE) of the control points of the crest with codes S24, S25, S26, S27, S28, S29. The calculation of the coordinates resulting from the terrestrial data of EYDAP S.A.

ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	S24	S25	S26	S27	S28	S29
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)
30/3/98	0.074	0.088	0.073	0.038	0.075	0.047
21/10/98	0.052	0.059	0.074		0.053	0.039
2/3/99	0.045	0.096	0.078		0.047	0.043
22/4/99	0.071	0.085	0.087	0.074	0.078	0.074
20/10/99	0.071	0.085	0.087	0.074	0.078	0.074
1/3/01	0.010	0.018	0.028	0.020	0.025	0.020
1/4/01	0.010	0.018	0.028	0.020	0.025	0.020
15/4/01	0.011	0.019	0.031	0.022	0.028	0.022
1/5/01	0.010	0.017	0.026	0.017	0.021	0.017
15/5/01	0.014	0.022	0.030	0.021	0.026	0.019
1/6/01	0.017	0.023	0.031	0.020	0.023	0.016
15/6/01	0.014	0.022	0.029	0.018	0.023	0.013
1/7/01	0.013	0.020	0.027	0.016	0.020	0.015
1/8/01	0.013	0.020	0.028	0.019	0.022	0.017
1/9/01	0.012	0.019	0.027	0.017	0.022	0.017
1/10/01	0.012	0.019	0.026	0.018	0.022	0.016
1/11/01	0.010	0.018	0.027	0.015	0.022	0.017
1/12/01	0.009	0.017	0.025	0.015	0.021	0.014
1/1/02	0.010	0.016	0.023	0.014	0.021	0.013
1/2/02	0.008	0.015	0.023	0.012	0.021	0.013
1/3/02	0.007	0.015	0.023	0.013	0.019	0.014
1/4/02	0.005	0.021	0.018	0.009	0.016	0.009
1/5/02	0.005	0.022	0.017	0.007	0.016	0.009
1/6/02	0.004	0.012	0.015	0.004	0.007	0.003
1/7/02	0.003	0.009	0.012	0.003	0.006	0.002
1/8/02	0.002	0.006	0.011	0.001	0.007	0.003
1/9/02	0.001	0.004	0.011	0.000	0.007	0.003
1/10/02	-0.002	0.003	0.010	0.000	0.005	0.001
1/11/02	0.005	0.010	0.014	0.005	0.004	0.000
1/3/03	0.006	0.012	0.018	0.012	0.015	0.009
1/4/03	0.004	0.009	0.015	0.008	0.009	0.005
1/5/03	0.009	0.013	0.020	0.012	0.014	0.010
1/6/03	0.008	0.013	0.018	0.010	0.014	0.007
1/7/03	0.017	0.022	0.026	0.018	0.020	0.014
1/8/03	0.014	0.020	0.026	0.018	0.022	0.019
1/9/03	0.014	0.018	0.024	0.016	0.016	0.011
1/10/03	0.010	0.017	0.024	0.014	0.019	0.015
1/11/03	0.010	0.017	0.024	0.014	0.019	0.015
1/12/03	0.014	0.018	0.024	0.013	0.016	0.010
1/1/04	0.015	0.018	0.024	0.013	0.014	0.010
1/2/04	0.004	0.008	0.012	0.002	0.003	-0.005
1/4/04	0.010	0.015	0.019	0.010	0.009	0.006
1/5/04	0.007	0.009	0.013	0.007	0.008	0.006
1/6/04	0.002	0.006	0.011	0.005	0.004	-0.001
1/7/04	0.004	0.008	0.012	0.005	0.007	0.000
1/8/04	0.007	0.014	0.015	0.007	0.009	0.001
1/9/04	0.004	0.006	0.010	0.004	0.007	0.003
1/10/04	0.006	0.007	0.010	0.004	0.007	0.001

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

1/11/04	0.006	0.007	0.012	0.005	0.010	0.001
1/12/04	0.006	0.007	0.010	0.005	0.005	0.003
1/1/05	-0.001	0.005	0.010	0.005	0.007	0.005
1/10/05	0.003	0.004	0.006	-0.002	-0.002	-0.007
1/11/06	0.009	0.012	0.018	0.009	0.013	0.007
1/4/07						
1/11/07	-0.001	0.001	0.004	0.001	0.002	-0.002
1/6/08	0.006	0.006	0.006	0.005	0.002	0.003
1/11/08	0.006	0.005	0.006	0.003	0.002	0.001
1/11/09	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Πίνακας 7.5: Διαφορές συντεταγμένων (ΔΕ) των σημείων ελέγχου της στέψης με κωδικό S30, S31, S32, S33, S64, S65. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τις συντεταγμένες των επίγειων δεδομένων της ΕΥΔΑΠ. Α.Ε. – Coordinate differences (DE) of the control points of the crest with codes S30, S31, S32, S33, S64, S65. The calculation of the coordinates resulting from the terrestrial data of EYDAP S.A.

ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	S30	S31	S32	S33	S64	S65
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)
30/3/98	0.052	0.051	0.042	0.037	0.065	0.076
21/10/98	0.025	0.040	0.041	0.023	0.059	0.078
2/3/99	0.046	0.048	0.028	0.032	0.061	0.086
22/4/99	0.043	0.042	0.042	0.028	0.072	0.083
20/10/99	0.043	0.042	0.042	0.028	0.072	0.083
1/3/01	0.019	0.025	0.025	0.025	0.086	0.098
1/4/01	0.019	0.024	0.025	0.025	0.048	0.044
15/4/01	0.023	0.030	0.025	0.026	0.034	0.035
1/5/01	0.016	0.021	0.025	0.023	0.058	0.049
15/5/01	0.020	0.024	0.023	0.021	0.052	0.048
1/6/01	0.015	0.018	0.014	0.009	0.054	0.055
15/6/01	0.015	0.017	0.014	0.016	0.046	0.041
1/7/01	0.015	0.017	0.013	0.017	0.046	0.041
1/8/01	0.016	0.021	0.016	0.020	0.052	0.046
1/9/01	0.016	0.021	0.019	0.018	0.051	0.048
1/10/01	0.015	0.022	0.018	0.018	0.053	0.047
1/11/01	0.018	0.024	0.022	0.021	0.053	0.046
1/12/01	0.015	0.020	0.025	0.021	0.053	0.049
1/1/02	0.014	0.019	0.024	0.018	0.049	0.046
1/2/02	0.015	0.019	0.020	0.019	0.044	0.039
1/3/02	0.014	0.018	0.023	0.020	0.049	0.041
1/4/02	0.011	0.015	0.019	0.017	0.050	0.042
1/5/02	0.011	0.014	0.017	0.015	0.044	0.043
1/6/02	0.002	0.008	0.009	0.013	0.043	0.045
1/7/02	-0.001	0.005	0.004	0.009	0.041	0.042
1/8/02	0.006	0.010	0.010	0.011	0.038	0.039
1/9/02	0.007	0.008	0.011	0.011	0.041	0.036
1/10/02	0.005	0.008	0.011	0.010	0.044	0.037
1/11/02	-0.003	-0.002	0.002	0.001	0.043	0.035
1/3/03	0.010	0.013	0.008	0.014	0.040	0.039
1/4/03	0.009	0.011	0.007	0.005	0.052	0.052
1/5/03	0.010	0.017	0.010	0.011	0.046	0.036
1/6/03	0.009	0.015	0.008	0.007	0.029	0.031
1/7/03	0.011	0.015	0.012	0.011	0.035	0.035
1/8/03	0.015	0.020	0.015	0.016	0.032	0.027
1/9/03	0.010	0.012	0.009	0.003	0.023	0.034
1/10/03	0.012	0.013	0.014	0.014	0.041	0.030

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

1/11/03	0.012	0.013	0.014	0.014	0.040	0.037
1/12/03	0.006	0.009	0.008	0.010	0.036	0.032
1/1/04	0.009	0.009	0.004	0.011	0.039	0.030
1/2/04	-0.005	-0.007	-0.008	-0.010	0.037	0.030
1/4/04	0.004	0.007	0.003	0.001	0.043	0.033
1/5/04	0.003	0.003	-0.007	0.001	0.031	0.021
1/6/04	-0.002	0.006	0.000	0.006	0.046	0.040
1/7/04	0.003	0.005	0.001	0.001	0.025	0.017
1/8/04	0.003	0.007	0.000	0.002	0.029	0.024
1/9/04	0.001	0.009	0.004	0.004	0.032	0.024
1/10/04	0.000	0.010	0.004	0.005	0.030	0.025
1/11/04	0.001	-0.001	0.002	0.005	0.030	0.026
1/12/04	-0.002	0.006	0.002	0.003	0.030	0.026
1/1/05	0.005	0.006	0.004	0.011	0.032	0.024
1/10/05	-0.010	-0.008	-0.017	-0.016	0.038	0.032
1/11/06	0.011	0.006	0.009	0.008	0.030	0.031
1/4/07					0.021	0.022
1/11/07	0.000	-0.001	0.001	0.002		
1/6/08	0.003	-0.002	-0.004		0.018	0.012
1/11/08	0.004	-0.001	0.001		0.018	0.011
1/11/09	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Πίνακας 7.6: Διαφορές συντεταγμένων (ΔΕ) των σημείων ελέγχου της στέψης με κωδικό S66, S67, S68, S70, S71, S73. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τις συντεταγμένες των επίγειων δεδομένων της ΕΥΔΑΠ. Α.Ε. – Coordinate differences (DE) of the control points of the crest with codes S66, S67, S68, S70, S71, S73. The calculation of the coordinates resulting from the terrestrial data of EYDAP S.A.

ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	S66	S67	S68	S70	S71	S73
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)	ΔΕ (m)
30/3/98	0.084	0.066	0.080	0.102	0.132	0.071
21/10/98			0.071	0.072	0.095	0.089
2/3/99	0.062	0.062	0.084	0.080	0.116	0.078
22/4/99	0.072	0.074	0.074	0.105	0.113	0.075
20/10/99	0.072	0.074	0.074	0.105	0.113	0.075
1/3/01	0.091	0.104	0.109	0.130	0.129	0.092
1/4/01	0.049	0.044	0.050	0.050	0.054	0.030
15/4/01	0.038	0.054	0.057	0.061	0.060	0.032
1/5/01	0.061	0.036	0.043	0.044	0.051	0.032
15/5/01	0.048	0.041	0.048	0.046	0.050	0.025
1/6/01	0.057	0.048	0.053	0.046	0.048	0.023
15/6/01	0.048	0.041	0.046	0.043	0.047	0.023
1/7/01	0.048	0.041	0.046	0.043	0.047	0.023
1/8/01	0.051	0.048	0.050	0.046	0.051	0.029
1/9/01	0.044	0.045	0.048	0.046	0.050	0.030
1/10/01	0.051	0.046	0.048	0.045	0.047	0.028
1/11/01	0.048	0.046	0.047	0.045	0.048	0.027
1/12/01	0.048	0.046	0.047	0.044	0.048	0.029
1/1/02	0.047	0.041	0.048	0.042	0.046	0.026
1/2/02	0.042	0.035	0.045	0.039	0.041	0.024
1/3/02	0.040	0.038	0.045	0.038	0.041	0.023
1/4/02	0.042	0.039	0.045	0.041	0.043	0.022
1/5/02	0.041	0.034	0.043	0.035	0.038	0.020
1/6/02	0.042	0.037	0.041	0.034	0.036	0.019
1/7/02	0.043	0.038	0.039	0.038	0.036	0.019
1/8/02	0.041	0.034	0.041	0.034	0.037	0.022

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

1/9/02	0.040	0.029	0.037	0.033	0.036	0.023
1/10/02	0.038	0.028	0.037	0.031	0.035	0.025
1/11/02	0.036	0.027	0.038	0.030	0.034	0.025
1/3/03	0.037	0.028	0.036	0.026	0.034	0.021
1/4/03	0.046	0.043	0.048	0.036	0.039	0.016
1/5/03	0.028	0.030	0.035	0.031	0.034	0.017
1/6/03	0.031	0.026	0.029	0.031	0.035	0.015
1/7/03	0.032	0.026	0.033	0.032	0.033	0.015
1/8/03	0.026	0.027	0.027	0.027	0.030	0.011
1/9/03	0.027	0.025	0.030	0.027	0.030	0.011
1/10/03	0.035	0.029	0.033	0.031	0.033	0.011
1/11/03		0.032	0.030	0.031	0.032	0.013
1/12/03	0.031	0.030	0.031	0.030	0.031	0.013
1/1/04	0.034	0.030	0.030	0.031	0.032	0.014
1/2/04	0.031	0.028	0.030	0.030	0.032	0.013
1/4/04	0.032	0.028	0.030	0.027	0.027	0.012
1/5/04	0.023	0.026	0.022	0.027	0.027	0.012
1/6/04	0.039	0.033	0.031	0.034	0.032	0.011
1/7/04	0.021	0.019	0.024	0.023	0.024	0.012
1/8/04	0.028	0.020	0.024	0.025	0.026	0.012
1/9/04	0.027	0.023	0.023	0.027	0.029	0.009
1/10/04	0.025	0.023	0.027	0.026	0.027	0.014
1/11/04	0.025	0.022	0.026	0.027	0.027	0.013
1/12/04	0.026	0.025	0.023	0.025	0.026	0.015
1/1/05	0.025	0.025	0.025	0.025	0.027	0.013
1/10/05	0.037	0.028	0.035	0.032	0.033	0.016
1/11/06	0.028	0.029	0.030	0.030	0.028	0.014
1/4/07	0.021	0.018	0.019	0.014	0.016	0.002
1/11/07						
1/6/08	0.011	0.005	0.013	0.009	0.009	0.004
1/11/08	0.009	0.011	0.008	0.008	0.009	0.005
1/11/09	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

7.5.2 Μελέτη Κατακόρυφων Μετακινήσεων

Όλα τα δευτερεύοντα τριγωνομετρικά σημεία του δικτύου του φράγματος είναι και Χωροσταθμικές αφετηρίες. Πέραν αυτών, στο Χωροσταθμικό δίκτυο έχουν ενσωματωθεί οι παλαιές χωροσταθμικές αφετηρίες της μελέτης του φράγματος και έχουν εγκατασταθεί άλλα 9 Reper. Η μελέτη για τις κατακόρυφες μετακινήσεις των βάθρων της στέψης έγινε βάσει των μετρήσεων (δεδομένα χωροστάθμησης) της ΕΥΔΑΠ Α.Ε..

Οι μετρήσεις προσδιορισμού των καθιζήσεων άρχισαν από την κατασκευή του φράγματος και συνεχίζονται έως σήμερα. Στους πίνακες που ακολουθούν υπολογίστηκαν οι υπομετρικές διαφορές (ΔH) και οι καθιζήσεις των σημείων ελέγχου της στέψης από το 1998 έως την τελευταία διαθέσιμη μέτρηση (2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 7.5 : Σημείο ελέγχου στη στέψη (ανάντη) του φράγματος όπου φαίνεται στην πάνω δεξιά γωνία το σημείο, όπου γίνεται ο έλεγχος του υψομέτρου και της καθίζησης - Control point on the crest (upstream) of the dam, showing on the top right corner the point, which made the control of elevation and settlement.

Πίνακας 7.7: Χωροσταθμικές Αφετηρίες (REPER) στην περιοχή του φράγματος – Starting points (Reper) near the dam site, Πηγή: ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΑΦΕΤΗΡΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ				
Αρ. REPER	X	Y	H (m)	Περιγραφή
R1a	-11714.218	-8836.438	515.500	Δρόμος φράγματος. Διπλάτανος στο δεξιό πρηνές μπουλόνι πακτωμένο σε βράχο 408,00m από τον άξονα του φράγματος.
R2a	-16670.694	-8835.206	514.490	Στον ίδιο δρόμο με τον προηγούμενο σε απόσταση 365,00m από τον άξονα του φράγματος.
R3a	-11384.892	-8707.052	517.380	Δεξιό αντέρεισμα δίπλα στη στοά στο κατάντη πρηνές, μπουλόνι σε βράχο.
R4a	-11453.873	-9319.211	518.749	Αριστερό αντέρεισμα πάνω από την είσοδο της στοάς ΣΤ1.
R5a	-11527.375	-8818.693	454.234	Στο κατάντη τοίχιο της εισόδου της στοάς Σ2, μπουλόνι στο εξωτερικό μέρος του τοιχίου.
R6a	-11720.234	-8967.343	412.860	Στη στοά Σ1, 25m από την είσοδο της Σ1 στο δεξιό παραμέντο.
R6			643.413	Στον ανατολικό τοίχο της Ν.Α. γωνίας της εκκλησίας του Αγ. Γεωργίου της κοινότητας του Αγ. Δημητρίου.
R9			633.772	Στον νότιο τοίχο της ΝΔ γωνίας της εκκλησίας του Αγίου Δημητρίου της κοινότητας Περδικόβρυσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Πίνακας 7.8: Υψομετρικές διαφορές (ΔΗ) σημείων ελέγχου της στέψης, S24, S25, S26, S27, S28, S29. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τα ορθομετρικά υψόμετρα της ΕΥΔΑΠ και από το αρχικό υψόμετρο του κάθε βάθρου (1998) – Differences in height (DH) of control points of the crest, S24, S25, S26, S27, S28, S29. The computation resulted from the orthometric elevations from EYDAP S.A. and the initial height of each control point (1998).

ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	S24	S25	S26	S27	S28	S29
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔΗ (m)	ΔΗ (m)	ΔΗ (m)	ΔΗ (m)	ΔΗ (m)	ΔΗ (m)
30/3/98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21/10/98	-0.026	-0.035	-0.036		-0.039	-0.036
2/3/99	-0.043	-0.057	-0.057	-0.065	-0.059	-0.055
22/4/99	-0.051	-0.068	-0.067	-0.077	-0.069	-0.067
20/10/99	-0.057	-0.080	-0.080	-0.100	-0.082	-0.078
1/3/01	-0.057	-0.080	-0.080	-0.100	-0.082	-0.078
1/4/01	-0.057	-0.080	-0.080	-0.100	-0.082	-0.078
15/4/01	-0.057	-0.080	-0.080	-0.100	-0.082	-0.078
1/5/01	-0.057	-0.080	-0.080	-0.100	-0.082	-0.078
15/5/01	-0.057	-0.080	-0.080	-0.100	-0.082	-0.078
1/6/01	-0.058	-0.081	-0.082	-0.107	-0.084	-0.080
15/6/01	-0.058	-0.082	-0.084	-0.108	-0.084	-0.082
1/7/01	-0.058	-0.082	-0.084	-0.108	-0.084	-0.082
1/8/01	-0.059	-0.082	-0.085	-0.110	-0.086	-0.082
1/9/01	-0.059	-0.082	-0.086	-0.110	-0.086	-0.083
1/10/01	-0.061	-0.084	-0.087	-0.111	-0.088	-0.085
1/11/01	-0.063	-0.086	-0.088	-0.114	-0.090	-0.086
1/12/01	-0.064	-0.087	-0.089	-0.115	-0.091	-0.087
1/1/02	-0.064	-0.087	-0.089	-0.115	-0.091	-0.087
1/2/02	-0.064	-0.087	-0.090	-0.115	-0.092	-0.087
1/3/02	-0.064	-0.088	-0.090	-0.116	-0.092	-0.087
1/4/02	-0.065	-0.088	-0.090	-0.116	-0.093	-0.088
1/5/02	-0.066	-0.088	-0.090	-0.116	-0.093	-0.088
1/6/02	-0.066	-0.088	-0.091	-0.116	-0.093	-0.088
1/7/02	-0.066	-0.089	-0.091	-0.116	-0.093	-0.089
1/8/02	-0.067	-0.089	-0.091	-0.117	-0.094	-0.089
1/9/02	-0.067	-0.090	-0.091	-0.117	-0.094	-0.090
1/10/02	-0.067	-0.090	-0.092	-0.117	-0.095	-0.090
1/11/02	-0.075	-0.100	-0.101	-0.127	-0.103	-0.097
1/3/03	-0.082	-0.111	-0.114	-0.142	-0.115	-0.108
1/4/03	-0.086	-0.116	-0.119	-0.148	-0.121	-0.114
1/5/03	-0.087	-0.118	-0.121	-0.150	-0.123	-0.115
1/6/03	-0.086	-0.117	-0.121	-0.150	-0.122	-0.114
1/7/03	-0.091	-0.122	-0.126	-0.155	-0.127	-0.119
1/8/03	-0.090	-0.122	-0.126	-0.155	-0.127	-0.119
1/9/03	-0.090	-0.121	-0.125	-0.154	-0.126	-0.119
1/10/03	-0.094	-0.127	-0.130	-0.159	-0.131	-0.123
1/11/03	-0.094	-0.127	-0.130	-0.159	-0.131	-0.123
1/12/03	-0.095	-0.127	-0.132	-0.161	-0.132	-0.124
1/1/04	-0.096	-0.128	-0.132	-0.161	-0.133	-0.124
1/2/04	-0.095	-0.127	-0.131	-0.160	-0.132	-0.124
1/4/04	-0.099	-0.133	-0.131	-0.168	-0.139	-0.130
1/5/04	-0.098	-0.133	-0.137	-0.165	-0.138	-0.129

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

1/6/04	-0.099	-0.134	-0.138	-0.169	-0.139	-0.130
1/7/04	-0.099	-0.134	-0.138	-0.169	-0.140	-0.131
1/8/04	-0.101	-0.136	-0.140	-0.170	-0.141	-0.132
1/9/04	-0.099	-0.134	-0.139	-0.170	-0.140	-0.131
1/10/04	-0.101	-0.136	-0.140	-0.171	-0.141	-0.132
1/11/04	-0.110	-0.146	-0.150	-0.182	-0.151	-0.141
1/12/04	-0.105	-0.143	-0.158	-0.179	-0.150	-0.140
1/1/05	-0.107	-0.144	-0.150	-0.181	-0.151	-0.141
1/10/05	-0.116	-0.156	-0.161	-0.193	-0.162	-0.150
1/11/06	-0.128	-0.172	-0.180	-0.213	-0.181	-0.168
1/4/07	-0.127	-0.173	-0.180	-0.216	-0.183	-0.171
1/11/07	-0.134	-0.181	-0.186	-0.222	-0.187	-0.175
1/6/08	-0.137	-0.185	-0.193	-0.230	-0.195	-0.182
1/11/08	-0.139	-0.188	-0.196	-0.235	-0.198	-0.185
1/11/09	-0.144	-0.195	-0.205	-0.243	-0.207	-0.193

Πίνακας 7.9: Υψομετρικές διαφορές (ΔH) των βάθρων της στέψης, S30, S31, S32, S33, S64, S66. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τα ορθομετρικά υψόμετρα της ΕΥΔΑΠ και από το αρχικό υψόμετρο του κάθε βάθρου (1998) – Differences in height (DH) of control points of the crest, S30, S31, S32, S33, S64, S66. The computation resulted from the orthometric elevations from EYDAP S.A. and the initial height of each control point (1998)

ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	S30	S31	S32	S33	S64	S66
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔH (m)	ΔH (m)	ΔH (m)	ΔH (m)	ΔH (m)	ΔH (m)
30/3/98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21/10/98	-0.037	-0.029	-0.028	-0.023	-0.030	
2/3/99	-0.055	-0.044	-0.042	-0.036	-0.042	-0.053
22/4/99	-0.067	-0.053	-0.051	-0.046	-0.049	-0.060
20/10/99	-0.078	-0.061	-0.058	-0.052	-0.056	-0.068
1/3/01	-0.078	-0.061	-0.058	-0.052	-0.074	-0.088
1/4/01	-0.078	-0.061	-0.058	-0.052	-0.074	-0.088
15/4/01	-0.078	-0.061	-0.058	-0.052	-0.074	-0.088
1/5/01	-0.078	-0.061	-0.058	-0.052	-0.074	-0.089
15/5/01	-0.078	-0.061	-0.058	-0.052	-0.074	-0.089
1/6/01	-0.078	-0.063	-0.059	-0.052	-0.074	-0.089
15/6/01	-0.078	-0.063	-0.059	-0.053	-0.075	-0.090
1/7/01	-0.078	-0.063	-0.059	-0.053	-0.075	-0.090
1/8/01	-0.079	-0.063	-0.060	-0.054	-0.078	-0.093
1/9/01	-0.079	-0.064	-0.061	-0.054	-0.080	-0.095
1/10/01	-0.081	-0.064	-0.061	-0.054	-0.081	-0.087
1/11/01	-0.082	-0.064	-0.062	-0.054	-0.082	-0.098
1/12/01	-0.082	-0.065	-0.062	-0.054	-0.082	-0.099
1/1/02	-0.083	-0.066	-0.063	-0.055	-0.083	-0.099
1/2/02	-0.083	-0.066	-0.063	-0.055	-0.083	-0.101
1/3/02	-0.084	-0.066	-0.063	-0.055	-0.084	-0.101
1/4/02	-0.084	-0.067	-0.063	-0.055	-0.084	-0.101
1/5/02	-0.084	-0.067	-0.063	-0.056	-0.085	-0.102
1/6/02	-0.085	-0.068	-0.063	-0.056	-0.085	-0.102
1/7/02	-0.085	-0.068	-0.063	-0.056	-0.085	-0.102
1/8/02	-0.086	-0.068	-0.063	-0.056	-0.085	-0.102
1/9/02	-0.086	-0.068	-0.064	-0.057	-0.086	-0.103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

1/10/02	-0.087	-0.068	-0.064	-0.056	-0.086	-0.104
1/11/02	-0.092	-0.072	-0.069	-0.061	-0.087	-0.104
1/3/03	-0.102	-0.079	-0.079	-0.068	-0.095	-0.112
1/4/03	-0.107	-0.083	-0.082	-0.070	-0.100	-0.115
1/5/03	-0.108	-0.085	-0.083	-0.071	-0.102	-0.120
1/6/03	-0.107	-0.084	-0.083	-0.071	-0.102	-0.121
1/7/03	-0.113	-0.089	-0.087	-0.075	-0.102	-0.119
1/8/03	-0.112	-0.089	-0.087	-0.076	-0.107	-0.126
1/9/03	-0.112	-0.088	-0.087	-0.075	-0.107	-0.126
1/10/03	-0.115	-0.090	-0.089	-0.076	-0.106	-0.124
1/11/03	-0.115	-0.090	-0.089	-0.076	-0.111	-0.129
1/12/03	-0.117	-0.092	-0.091	-0.080	-0.110	-0.129
1/1/04	-0.118	-0.092	-0.091	-0.080	-0.111	-0.130
1/2/04	-0.117	-0.092	-0.091	-0.079	-0.111	-0.129
1/4/04	-0.123	-0.097	-0.096	-0.084	-0.110	-0.129
1/5/04	-0.123	-0.097	-0.096	-0.083	-0.114	-0.133
1/6/04	-0.123	-0.097	-0.096	-0.084	-0.114	-0.133
1/7/04	-0.124	-0.098	-0.096	-0.084	-0.116	-0.135
1/8/04	-0.124	-0.098	-0.097	-0.084	-0.115	-0.134
1/9/04	-0.124	-0.098	-0.097	-0.084	-0.117	-0.135
1/10/04	-0.125	-0.098	-0.097	-0.085	-0.115	-0.134
1/11/04	-0.133	-0.106	-0.104	-0.089	-0.116	-0.135
1/12/04	-0.132	-0.105	-0.104	-0.089	-0.126	-0.146
1/1/05	-0.133	-0.106	-0.105	-0.091	-0.121	-0.141
1/10/05	-0.142	-0.113	-0.111	-0.097	-0.124	-0.145
1/11/06	-0.159	-0.127	-0.125	-0.109	-0.131	-0.153
1/4/07	-0.162	-0.130	-0.127	-0.110	-0.142	-0.165
1/11/07	-0.165	-0.132	-0.129	-0.113	-0.143	-0.167
1/6/08	-0.171	-0.138	-0.135		-0.149	-0.173
1/11/08	-0.174	-0.140	-0.137		-0.150	-0.175
1/11/09	-0.182	-0.148	-0.145	-0.253	-0.154	-0.180

Πίνακας 7.10: Υψομετρικές διαφορές (ΔH) των βάθρων της στέψης, S67, S68, S69, S70, S71, S72, S73. Ο υπολογισμός τους προέκυψε από τα ορθομετρικά υψόμετρα της ΕΥΔΑΠ και από το αρχικό υψόμετρο του κάθε βάθρου (1998) – Differences in height (DH) of control points of the crest, S67, S68, S69, S70, S71, S72, S73. The computation resulted from the orthometric elevations from EYDAP S.A. and the initial height of each control point (1998)

ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	S67	S68	S69	S70	S71	S72	S73
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΔH (m)	ΔH (m)	ΔH (m)	ΔH (m)	ΔH (m)	ΔH (m)	ΔH (m)
30/3/98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21/10/98		-0.039	-0.044	-0.043	-0.039	-0.038	-0.027
2/3/99	-0.064	-0.059	-0.066	-0.066	-0.061	-0.059	-0.044
22/4/99	-0.075	-0.069	-0.076	-0.079	-0.072	-0.070	-0.053
20/10/99	-0.086	-0.080	-0.089	-0.102	-0.085	-0.082	-0.062
1/3/01	-0.111	-0.105	-0.115	-0.120	-0.109	-0.106	-0.078
1/4/01	-0.111	-0.105	-0.115	-0.120	-0.109	-0.106	-0.078
15/4/01	-0.111	-0.105	-0.115	-0.120	-0.109	-0.106	-0.078
1/5/01	-0.111	-0.105	-0.115	-0.120	-0.109	-0.106	-0.078
15/5/01	-0.111	-0.105	-0.115	-0.120	-0.109	-0.106	-0.078
1/6/01	-0.111	-0.105	-0.115	-0.120	-0.109	-0.106	-0.078

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

15/6/01	-0.112	-0.106	-0.118	-0.123	-0.112	-0.109	-0.080
1/7/01	-0.112	-0.106	-0.118	-0.123	-0.112	-0.109	-0.080
1/8/01	-0.116	-0.109	-0.118	-0.125	-0.113	-0.109	-0.080
1/9/01	-0.118	-0.111	-0.122	-0.127	-0.115	-0.111	-0.081
1/10/01	-0.119	-0.112	-0.123	-0.128	-0.115	-0.112	-0.082
1/11/01	-0.121	-0.114	-0.125	-0.129	-0.118	-0.114	-0.083
1/12/01	-0.123	-0.115	-0.126	-0.131	-0.120	-0.115	-0.084
1/1/02	-0.124	-0.116	-0.127	-0.132	-0.121	-0.115	-0.085
1/2/02	-0.125	-0.117	-0.128	-0.133	-0.121	-0.116	-0.085
1/3/02	-0.125	-0.117	-0.128	-0.134	-0.121	-0.117	-0.086
1/4/02	-0.125	-0.117	-0.129	-0.134	-0.122	-0.117	-0.086
1/5/02	-0.126	-0.117	-0.129	-0.134	-0.122	-0.117	-0.087
1/6/02	-0.126	-0.117	-0.129	-0.134	-0.122	-0.118	-0.087
1/7/02	-0.126	-0.118	-0.130	-0.134	-0.122	-0.118	-0.087
1/8/02	-0.127	-0.118	-0.130	-0.135	-0.123	-0.118	-0.087
1/9/02	-0.127	-0.118	-0.130	-0.135	-0.123	-0.118	-0.088
1/10/02	-0.128	-0.119	-0.130	-0.135	-0.124	-0.118	-0.088
1/11/02	-0.128	-0.119	-0.130	-0.135	-0.122	-0.119	-0.088
1/3/03	-0.136	-0.129	-0.139	-0.146	-0.134	-0.128	-0.097
1/4/03	-0.143	-0.136		-0.157	-0.144	-0.139	-0.104
1/5/03	-0.148	-0.141	-0.155	-0.162	-0.149	-0.144	-0.108
1/6/03	-0.149	-0.143	-0.158	-0.164	-0.151	-0.147	-0.109
1/7/03	-0.148	-0.142	-0.157	-0.164	-0.149	-0.146	-0.108
1/8/03	-0.155	-0.149	-0.163	-0.170	-0.156	-0.151	-0.113
1/9/03	-0.154	-0.148	-0.163	-0.170	-0.156	-0.152	-0.113
1/10/03	-0.153	-0.147	-0.162	-0.168	-0.155	-0.151	-0.112
1/11/03	-0.158	-0.153	-0.167	-0.175	-0.161	-0.156	-0.117
1/12/03	-0.158	-0.152	-0.167	-0.175	-0.161	-0.157	-0.117
1/1/04	-0.159	-0.153	-0.168	-0.175	-0.161	-0.151	-0.117
1/2/04	-0.159	-0.152	-0.168	-0.174	-0.161	-0.157	-0.118
1/4/04	-0.158	-0.152	-0.167	-0.175	-0.161	-0.157	-0.117
1/5/04	-0.163	-0.157	-0.173	-0.181	-0.166	-0.162	-0.121
1/6/04	-0.163	-0.157	-0.172	-0.180	-0.166	-0.162	-0.121
1/7/04	-0.165	-0.159	-0.174	-0.182	-0.168	-0.163	-0.122
1/8/04	-0.165	-0.158	-0.174	-0.181	-0.167	-0.163	-0.126
1/9/04	-0.166	-0.160	-0.175	-0.183	-0.169	-0.165	-0.124
1/10/04	-0.165	-0.159	-0.174	-0.182	-0.168	-0.164	-0.123
1/11/04	-0.166	-0.160	-0.175	-0.183	-0.170	-0.165	-0.124
1/12/04	-0.177	-0.171	-0.188	-0.196	-0.180	-0.176	-0.132
1/1/05	-0.173	-0.167	-0.182	-0.191	-0.176	-0.171	-0.128
1/10/05	-0.176	-0.161	-0.186	-0.195	-0.180	-0.175	-0.130
1/11/06	-0.186	-0.181	-0.197	-0.206	-0.191	-0.185	-0.139
1/4/07	-0.199	-0.194	-0.211	-0.222	-0.206	-0.200	-0.149
1/11/07	-0.202	-0.196	-0.214	-0.225	-0.209	-0.202	-0.149
1/6/08	-0.210	-0.194	-0.222	-0.233	-0.217	-0.211	-0.158
1/11/08	-0.211	-0.207	-0.226	-0.238	-0.221	-0.214	-0.161
1/11/09	-0.216	-0.212	-0.231	-0.243	-0.226	-0.218	-0.164

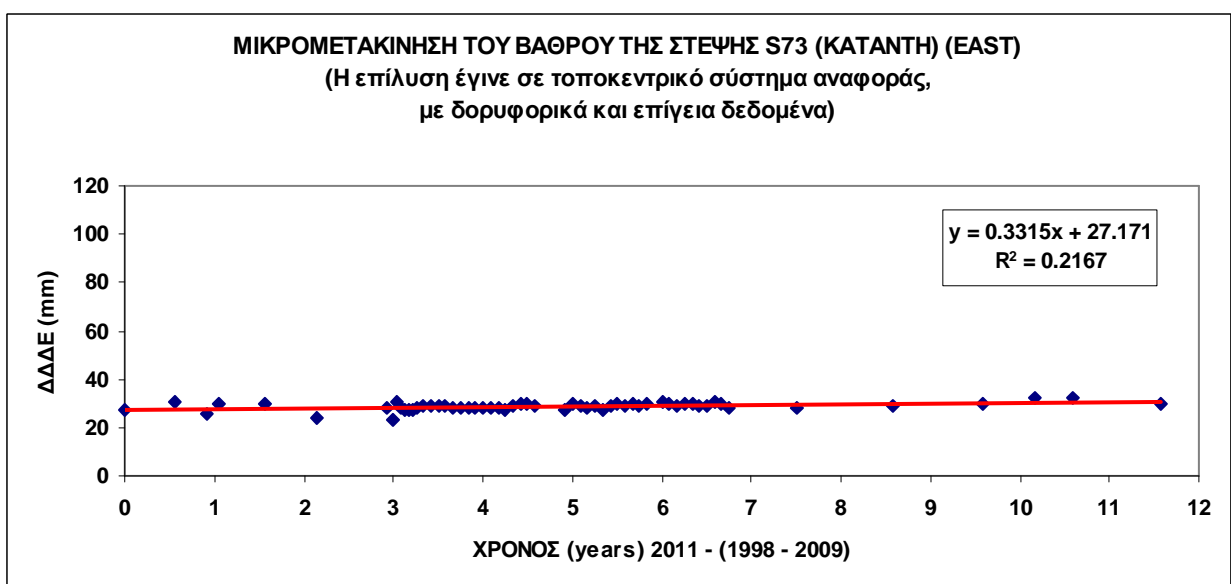
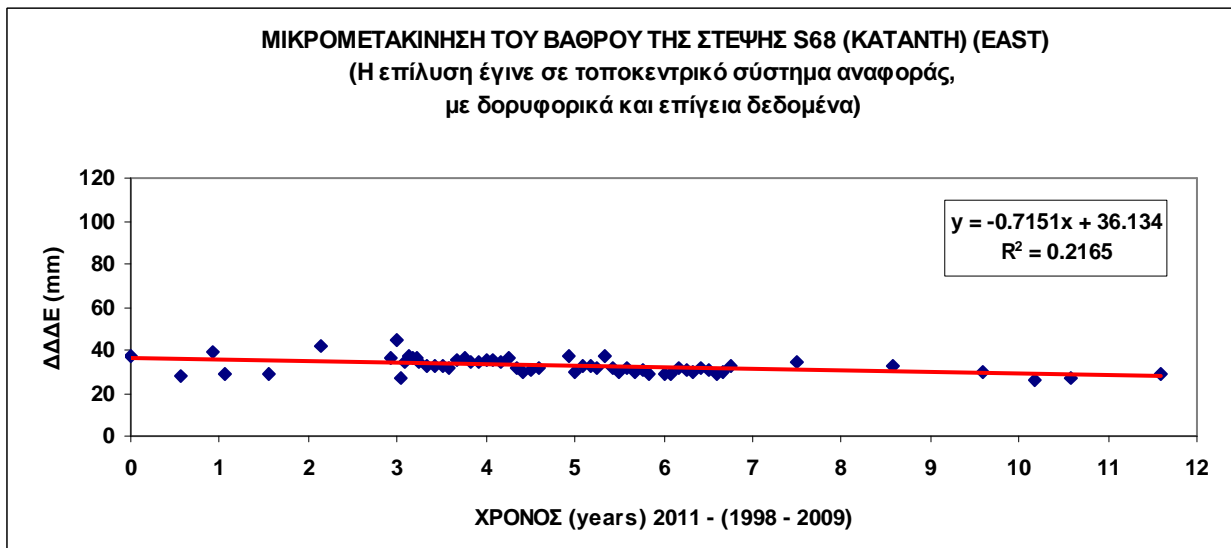
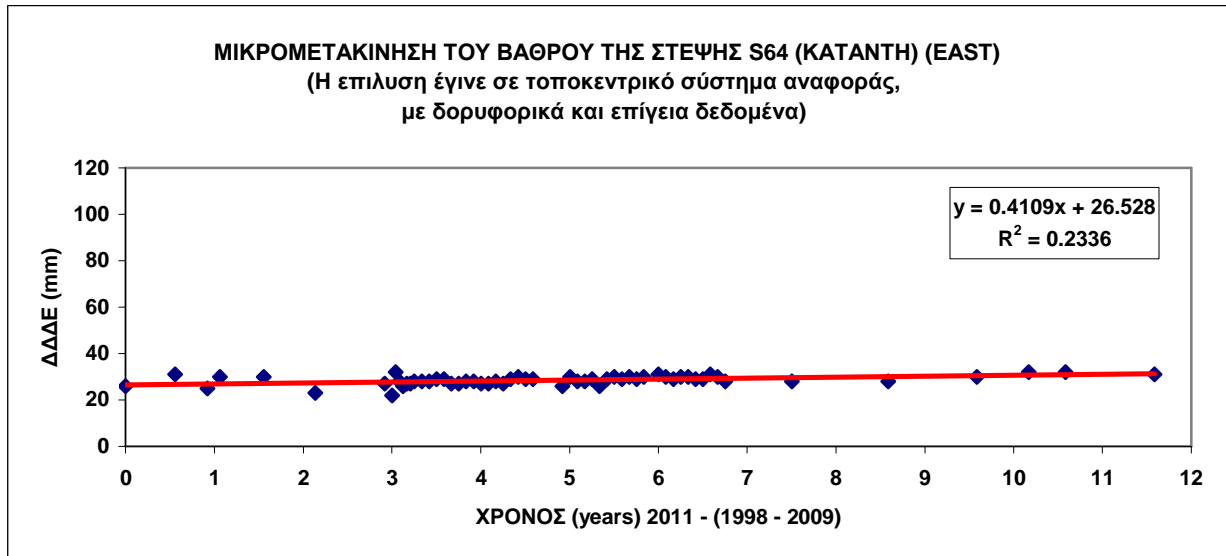
7.6 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα τελικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία του δικτύου και της στέψης του φράγματος παρουσιάζονται παρακάτω με την μορφή διαγραμμάτων με βάση τις χρονοσειρές των δεδομένων και τον υπολογισμό της ταχύτητας μετακίνησης και καθίζησης του κάθε βάρθρου.

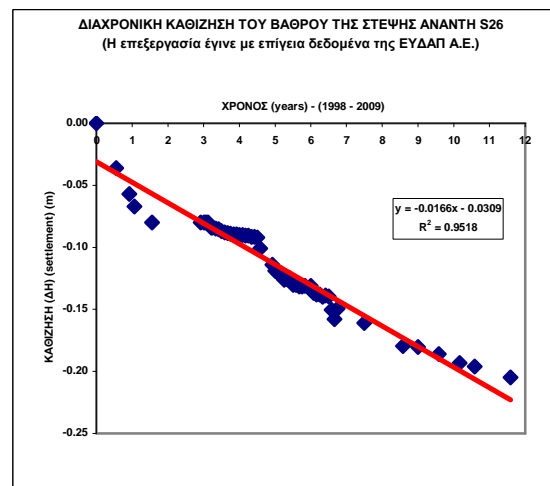
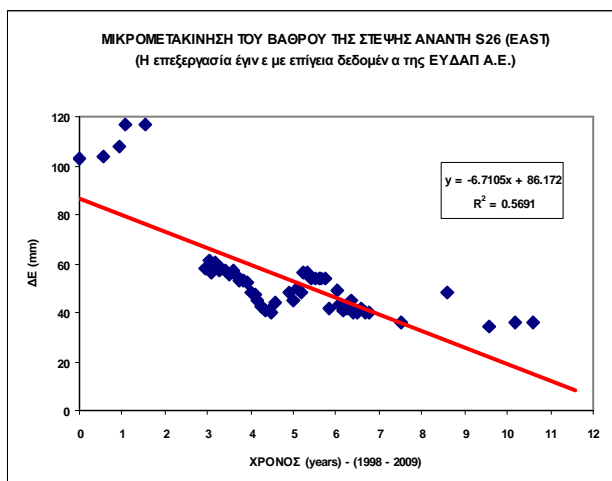
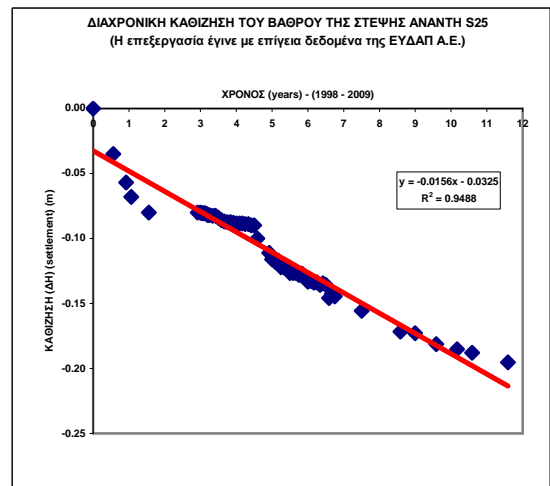
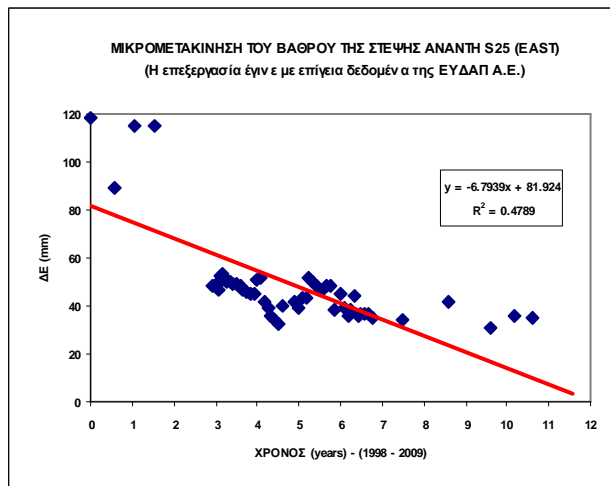
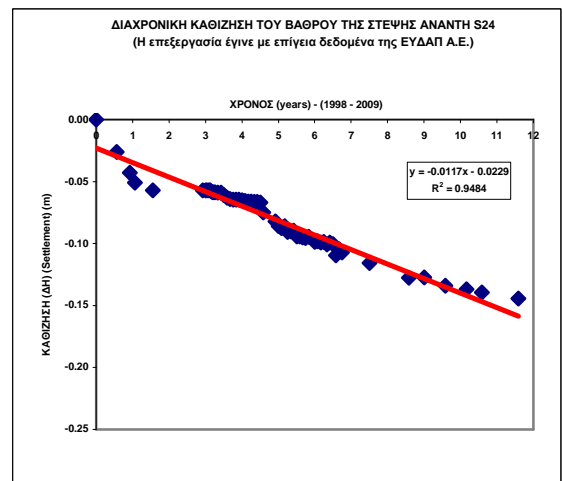
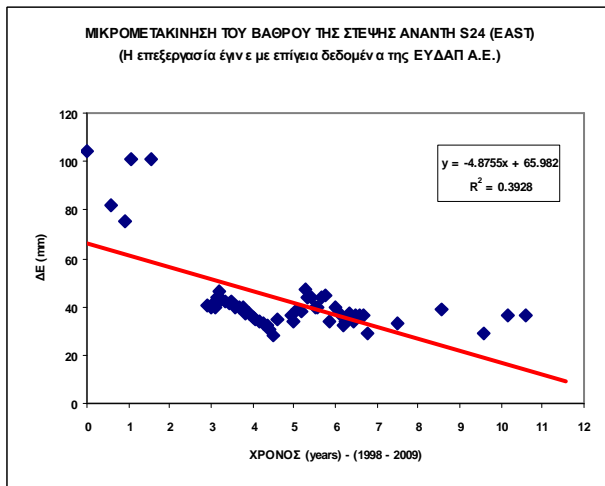
7.6.1 Διαγράμματα Χρονοσειρών

Αρχικά δίνονται σε διάγραμμα τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα τρία σημεία ελέγχου της στέψης που μετρήθηκαν με GPS και αφορούν την επίλυση που έγινε σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς. Στη συνέχεια παρουσιάζονται γραφικά οι οριζοντιογραφικές και υψομετρικές διαφορές των σημείων ελέγχου που προέκυψαν από τις επίγειες μετρήσεις που εκτελούνται την τελευταία δεκαετία από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. στην στέψη του φράγματος. Για την καλύτερη παρουσίαση των διαγραμμάτων οι διαφορές δίνονται σε χιλιοστά για την οριζοντιογραφική μικρομετακίνηση και σε μέτρα για την καθίζηση των σημείων ελέγχου της στέψης.

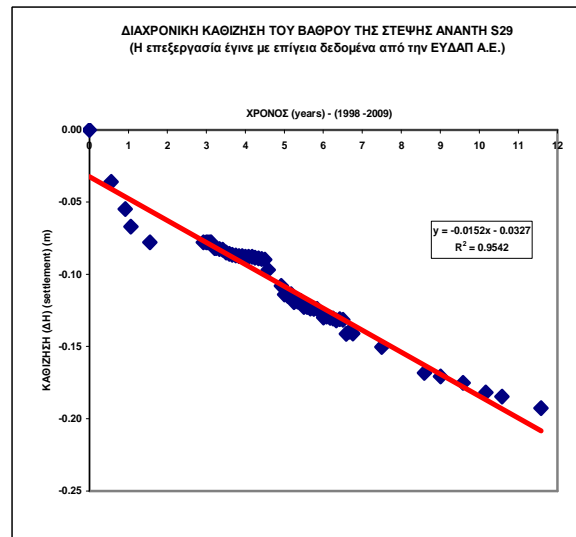
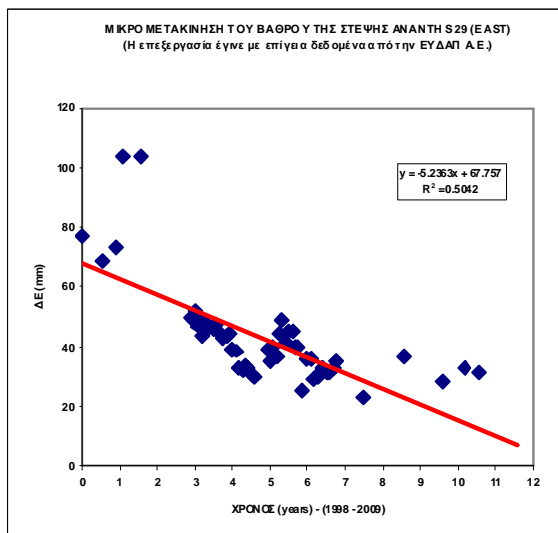
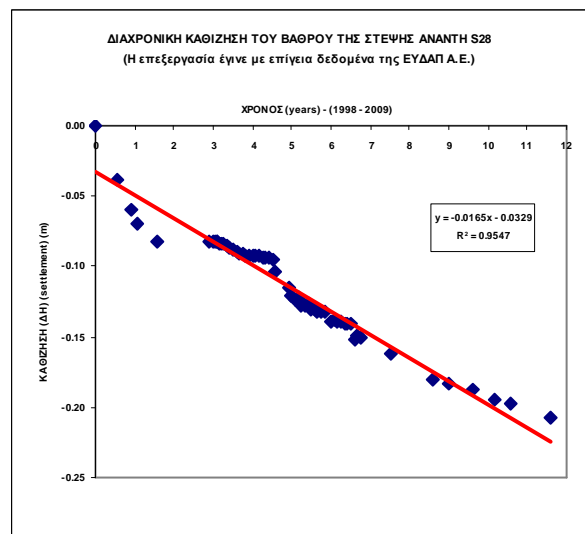
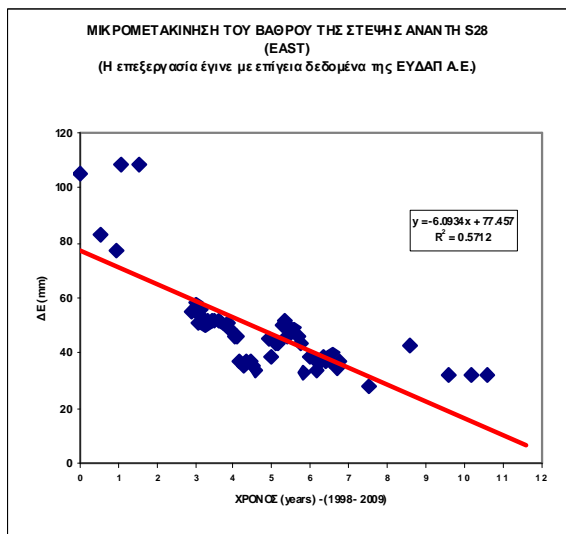
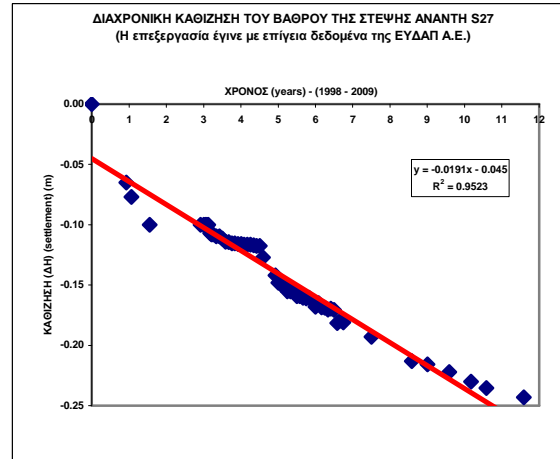
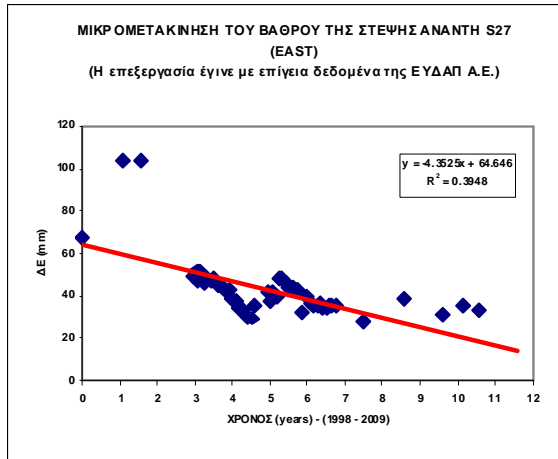
Ο χρόνος δίνεται σε ακέραια μορφή στον άξονα X των διαγραμμάτων (π.χ. στον άξονα του χρόνου η τιμή 0, αντιστοιχεί στο έτος έναρξης των μετρήσεων δηλαδή το 1998 και η τιμή 11 αντιστοιχεί στο έτος 2009). Στα διαγράμματα που αφορούν την οριζοντιογραφία έχουν προστεθεί 30 mm στις επιμέρους διαφορές, για 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 ($Y = \alpha X + \beta$), δηλαδή το α , περιγράφει την ταχύτητα μετακίνησης, ενώ το R^2 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.



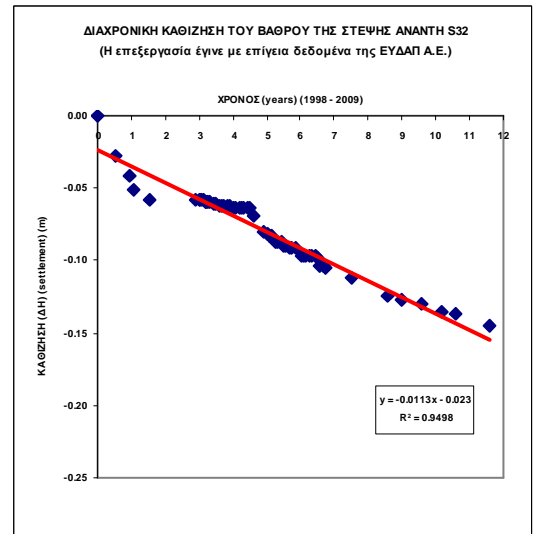
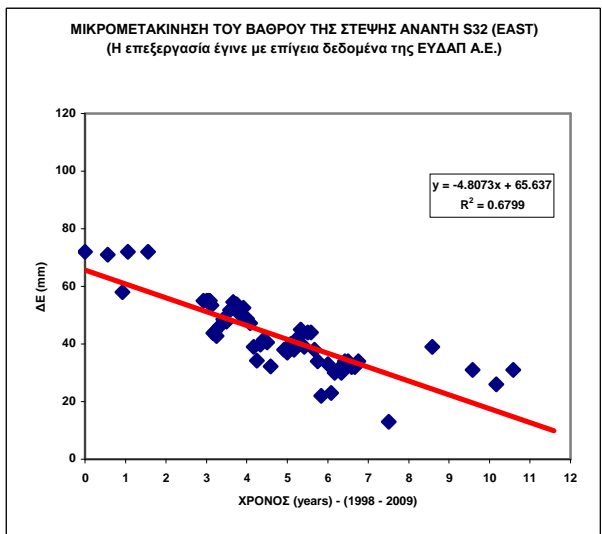
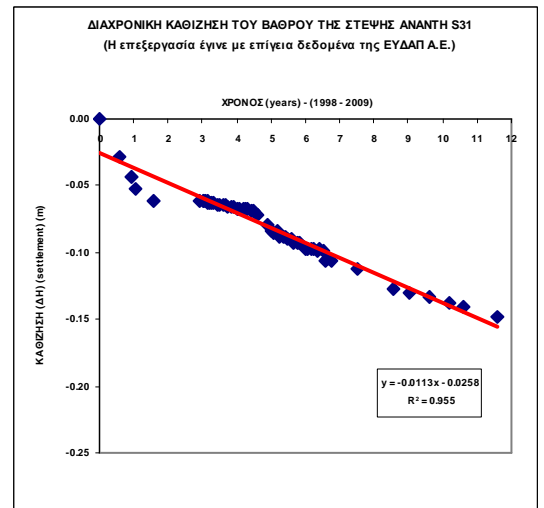
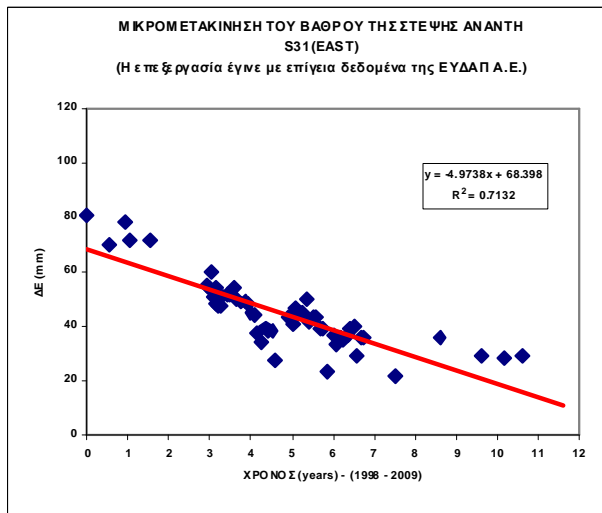
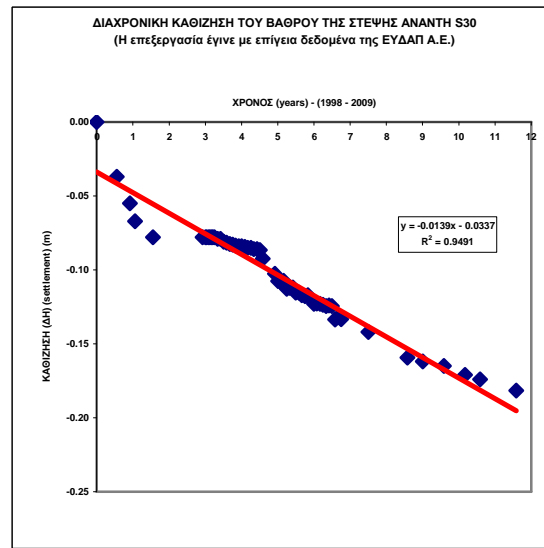
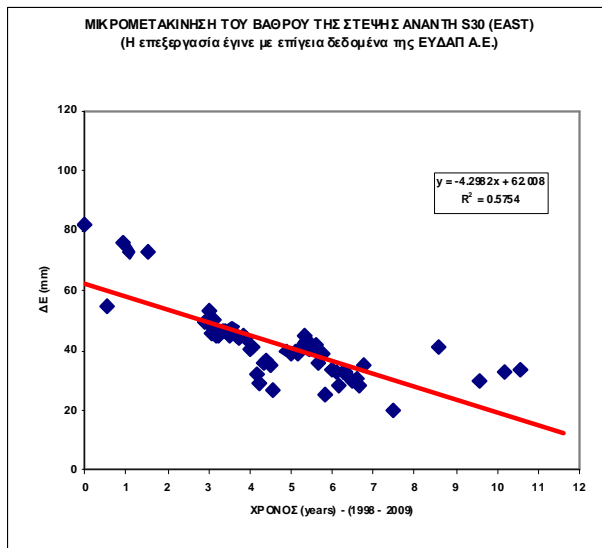
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



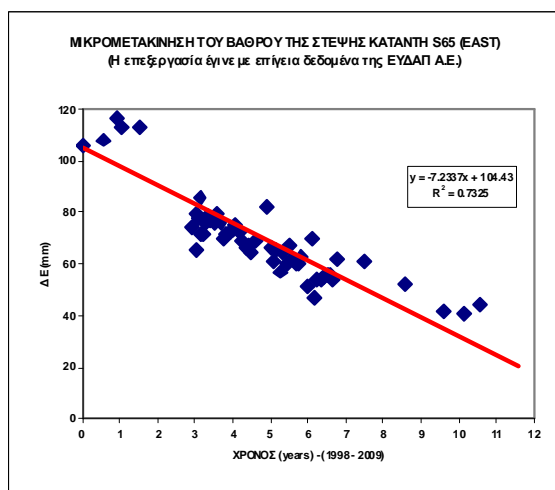
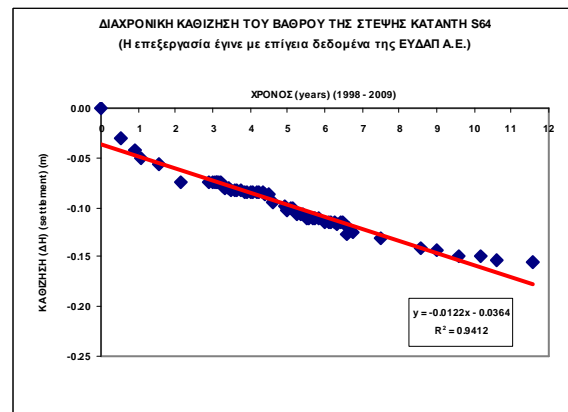
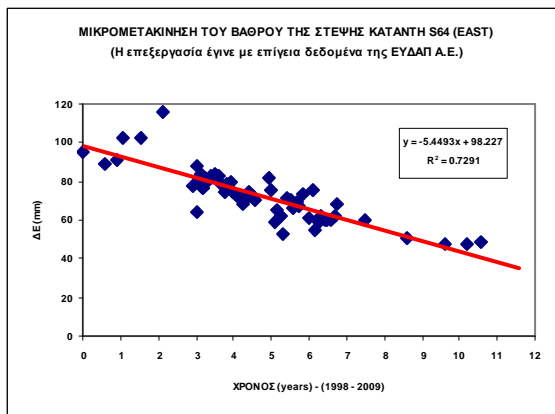
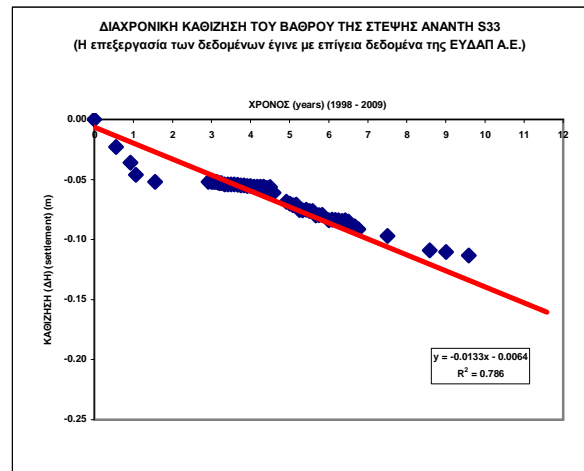
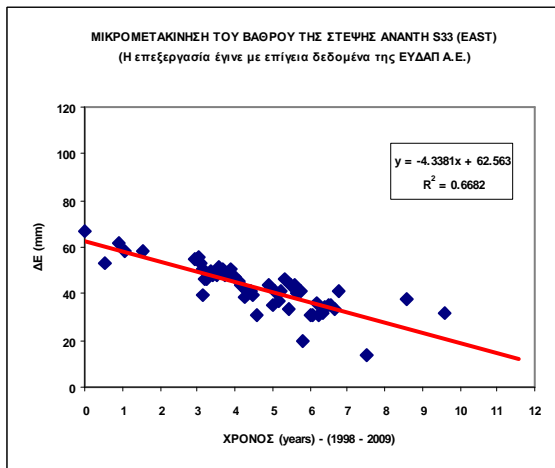
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

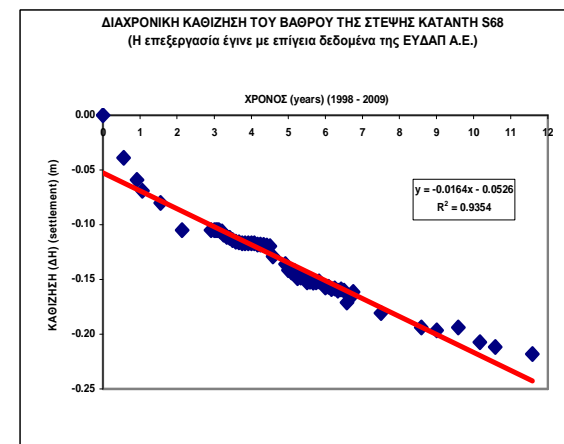
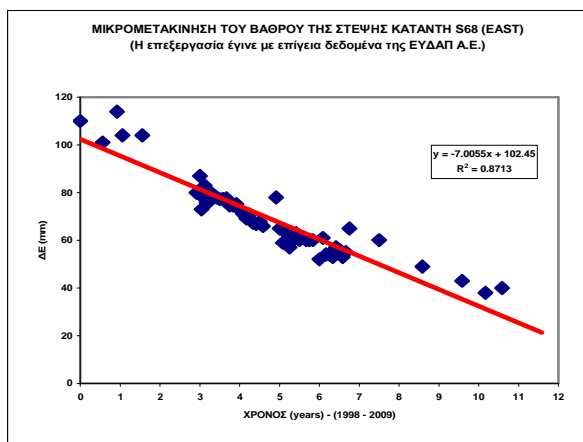
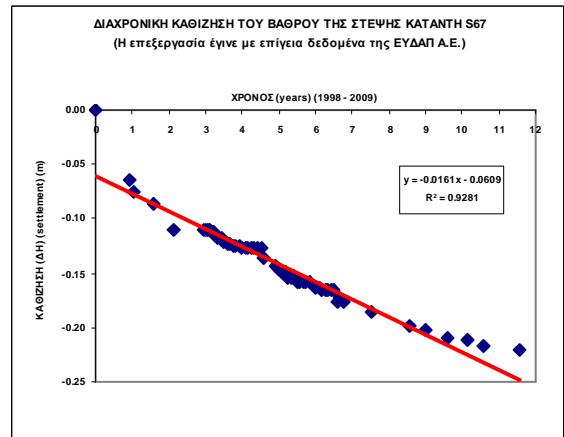
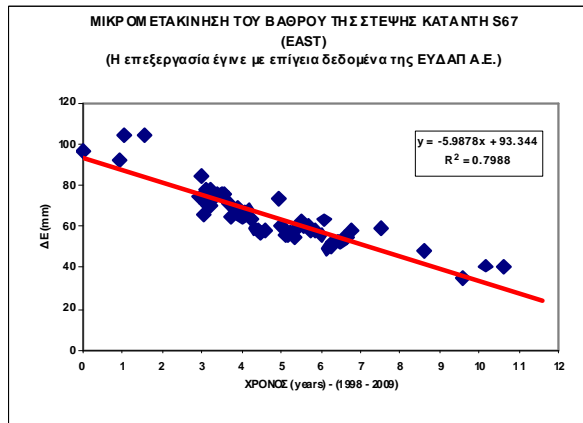
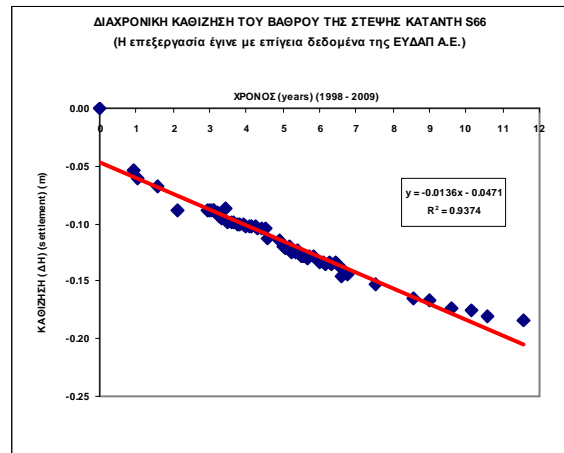
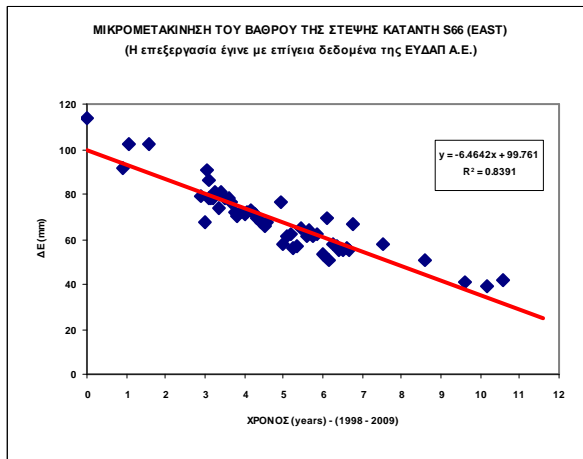


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

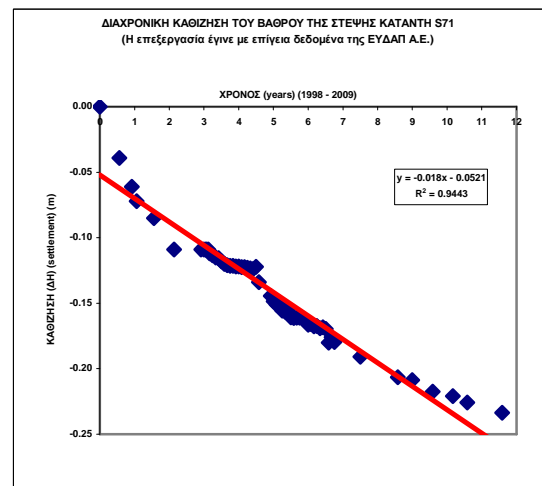
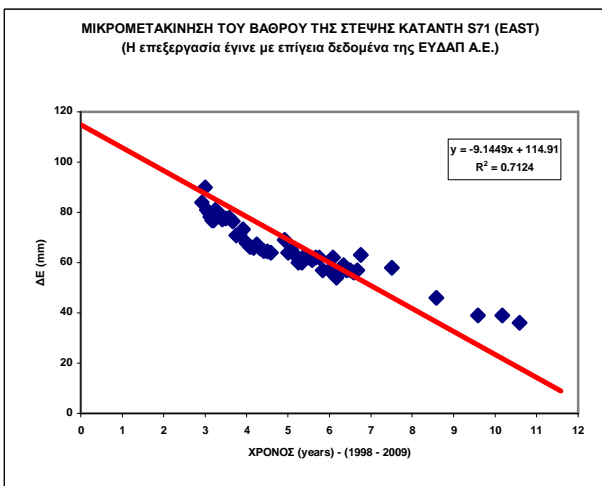
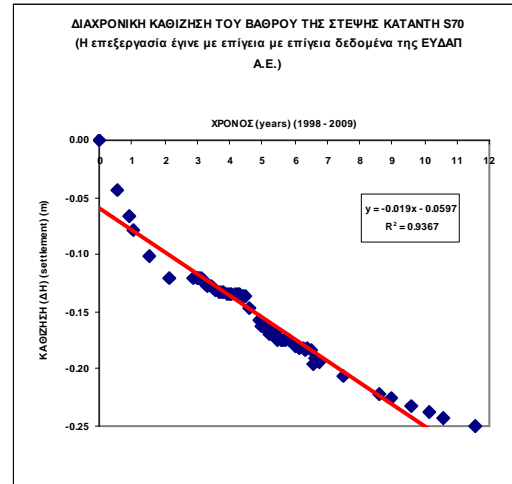
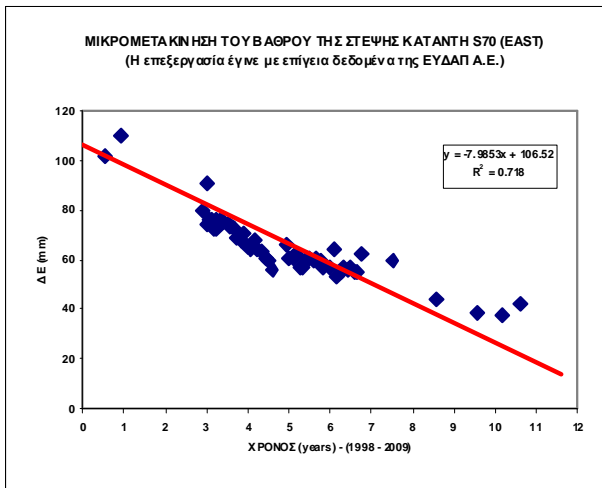
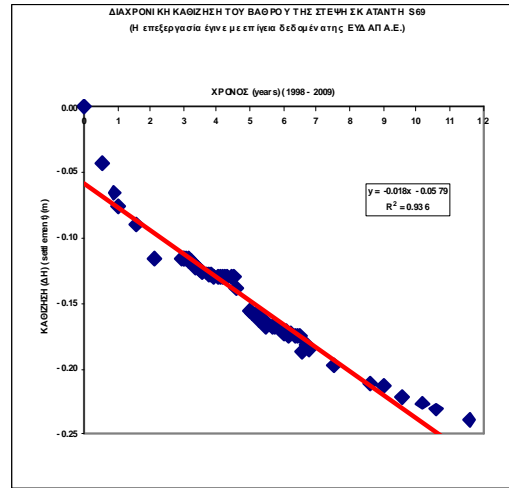


Ανεπαρκή υψομετρικά δεδομένα για το σημείο ελέγχου της στέψης S65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

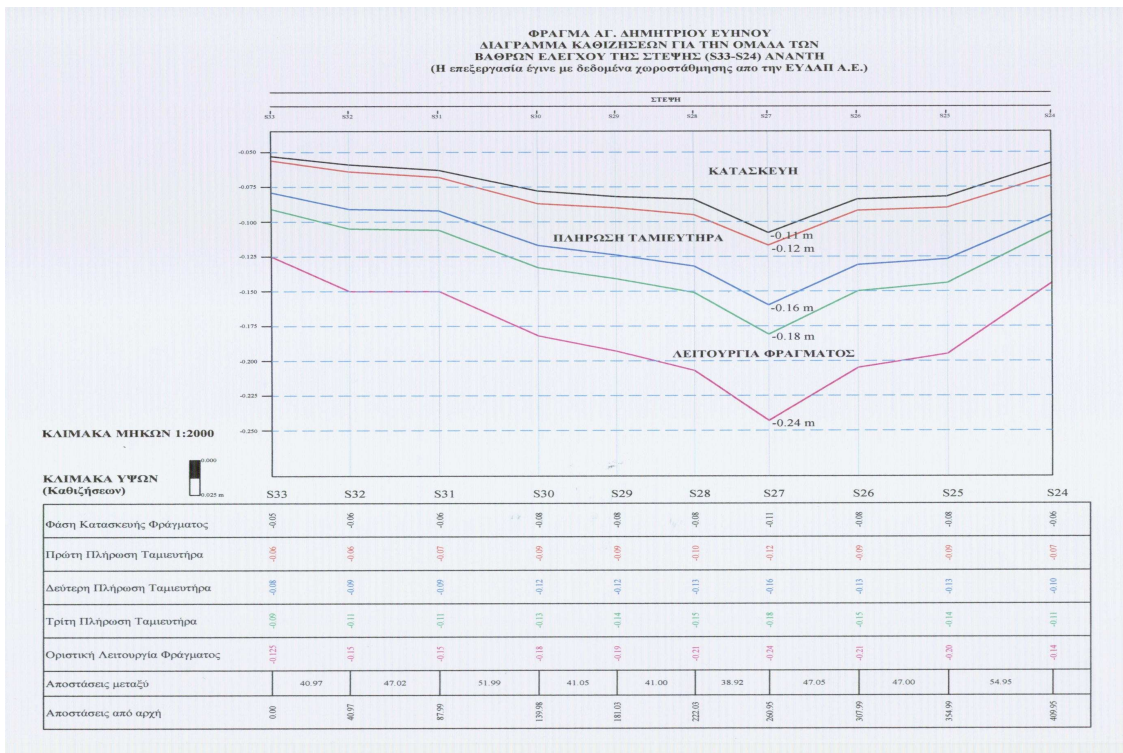
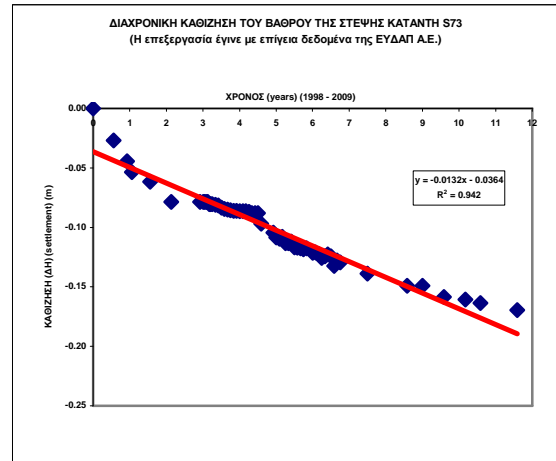
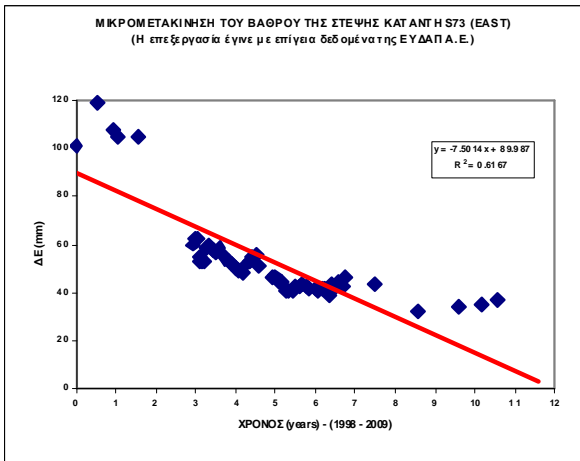
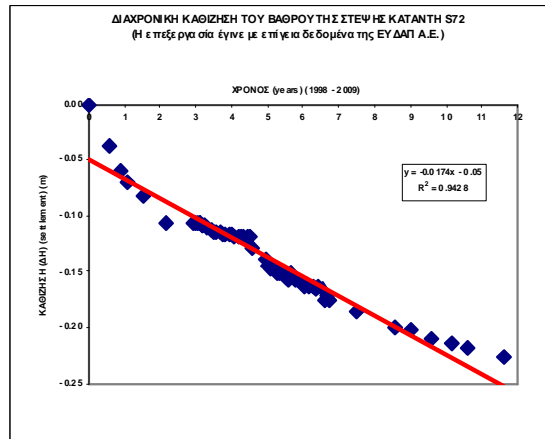


Ανεπαρκή οριζοντιογραφικά δεδομένα
για το σημείο έλεγχου της στέψης S69



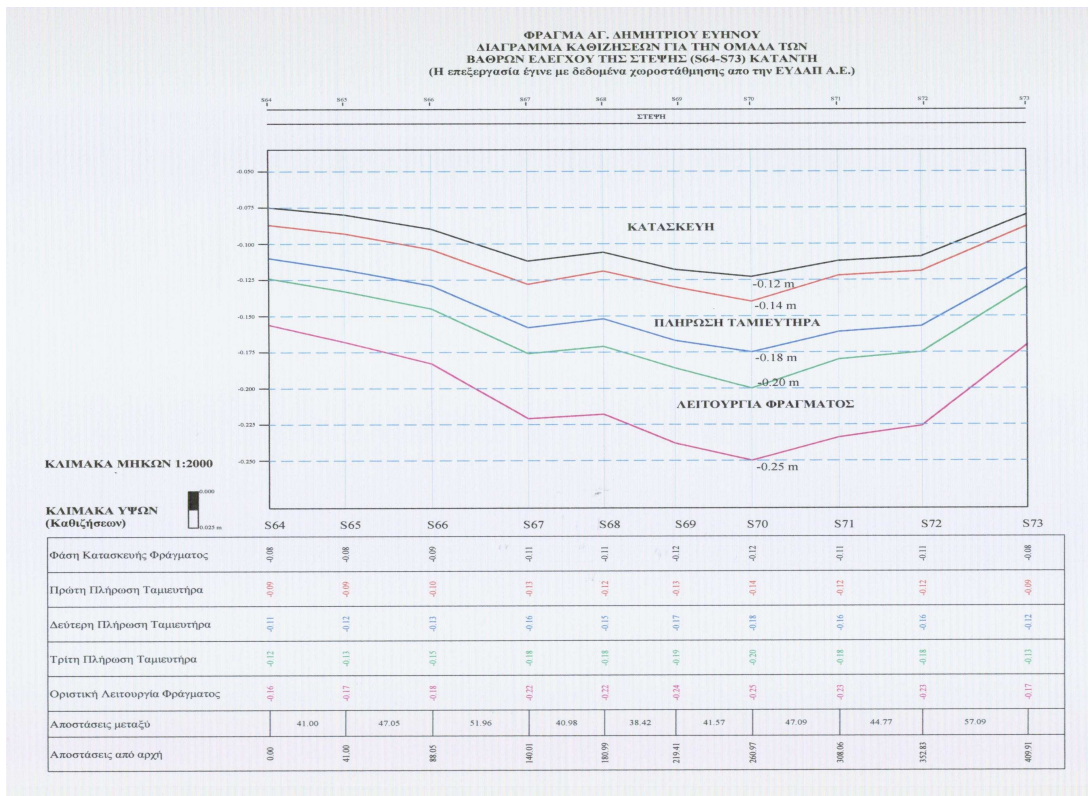
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Ανεπαρκή οριζοντιογραφικά δεδομένα για το σημείο ελέγχου της στέψης S72



Σχήμα 7.6 : Διάγραμμα καθιζήσεων για την ομάδα των βάθρων ελέγχου της στέψης (S33-S24) ανάντη. Η επεξεργασία έγινε με δεδομένα χωροστάθμησης από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. - Diagram settlements for the group of control points of the crest (S33-S24) upstream. The data processing was done with leveling by EYDAP S.A.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 7.7 : Διάγραμμα καθιζήσεων για την ομάδα των βάθρων ελέγχου της στέψης (S64-S73) κατάντη. Η επεξεργασία έγινε με δεδομένα χωροστάθμησης από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. - Diagram settlements for the group of control points of the crest (S64-S73) downstream. The data processing was done with leveling by EYDAP S.A

7.6.2 Ταχύτητες Μετακίνησης των Σημείων Αναφοράς και Ελέγχου του Φράγματος

Οι ταχύτητες μετακίνησης των σημείων ελέγχου της στέψης προέκυψαν από τα διαγράμματα χρονοσειρών. Η κλίση της εξίσωσης προσαρμογής περιγράφει την μέση ταχύτητα οριζοντιογραφικής μετακίνησης και την μέση ταχύτητα καθίζησης σε χιλιοστά ανά έτος.

Αρχικά παρουσιάζεται στον πίνακα 7.11 η ταχύτητα μετακίνησης των σημείων αναφοράς του δικτύου του φράγματος σε χιλιοστά ανά έτος που προέκυψε από την επίλυση που έγινε σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς με δορυφορικά δεδομένα από GPS (2011) και επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., (1997).

Στη συνέχεια στον πίνακα 7.12 παρουσιάζεται η μέση ταχύτητα μετακίνησης σε χιλιοστά ανά έτος με διεύθυνση κάθετη στον άξονα του φράγματος προς τα κατάντη και η μέση ταχύτητα καθίζησης των σημείων ελέγχου της στέψης σε χιλιοστά ανά έτος από τα επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. για το διάστημα (1998 – 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Τέλος στον πίνακα 7.13 δίνεται η μέση ταχύτητα οριζοντιογραφικής μετακίνησης με διεύθυνση κάθετη στον άξονα του φράγματος σε χιλιοστά ανά έτος, για τα τρία σημεία ελέγχου της στέψης που προέκυψε από την επίλυση που έγινε σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς με δορυφορικά δεδομένα από GPS το 2011 και επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

Πίνακας 7.11: Ταχύτητα μετακίνησης ανά έτος των σημείων αναφοράς του δικτύου του φράγματος για την περίοδο (1997 – 2011). Τα αποτελέσματα προέκυψαν από την επίλυση που έγινε σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς από δορυφορικά δεδομένα με GPS και επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.- Speed of movement of reference points per year of the network of the dam for the period (1997 – 2011). The results obtained from the resolution made at topocentric reference system from satellite data by GPS and terrestrial data of EYDAP S.A.

ΣΗΜΕΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ – ΠΕΡΙΟΔΟΣ (1997-->2011)			
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	V(north) (mm/yr)	V(east) (mm/yr)	V(total) (mm/yr)
A	-0.64	1.07	1.25
B	-0.07	0.36	0.36
Δ	0.00	-0.50	0.50
E	-0.57	-0.21	0.61
T1	0.14	-0.07	0.16
T3	1.00	-1.36	1.69
T4	0.14	0.79	0.80

Πίνακας 7.12: Μέση ταχύτητα μετακίνησης και καθίζησης ανά έτος των σημείων ελέγχου της στέψης από τις επίγειες μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. – Mean speed of movement and settlement per year for control points of the crest from the ground-based measurements of EYDAP S.A.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ (1998 – 2009) ΟΜΑΔΑ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΕΨΗΣ ΑΝΑΝΤΗ (S24 – S33)		
ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	Vmean (east) (mm/year)	Καθίζηση (mean) (ΔΗ) (mm/year)
S24	-4,88	-12
S25	-6,79	-16
S26	-6,71	-17
S27	-4,35	-19
S28	-6,09	-16
S29	-5,24	-15
S30	-4,30	-14
S31	-4,97	-11
S32	-4,81	-11
S33	-4,34	-13

ΠΕΡΙΟΔΟΣ (1998 – 2009) ΟΜΑΔΑ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΕΨΗΣ ΚΑΤΑΝΤΗ (S64 – S73)		
ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	Vmean (east) (mm/year)	Καθίζηση (mean) (ΔΗ) (mm/year)
S64	-5,45	-12
S65	-7,23	
S66	-6,46	-14
S67	-5,99	-16
S68	-7,00	-16
S69		-18
S70	-7,98	-19
S71	-9,14	-18
S72		-17
S73	-7,50	-13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Πίνακας 7.13: Μέση ταχύτητα μετακίνησης ανά έτος, που προέκυψε από την επίλυση που έγινε σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς με δορυφορικά δεδομένα από GPS και επίγεια δεδομένα από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. για τα σημεία ελέγχου της στέψης S64, S68, S73 – Mean speed of movement per year, resulting from the resolution made at topocentric reference system with satellite data from GPS and terrestrial data from EYDAP S.A. for control points of crest S64, S68, S73

ΠΕΡΙΟΔΟΣ (1998 – 2011)	
ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	V_{mean} (east) (mm/year)
S64	0,41
S68	-0,71
S73	0,33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

Το θέμα της ασφάλειας είναι ο κυριότερος λόγος των προγραμμάτων παρακολούθησης μετακινήσεων τεχνικών έργων ή φυσικών πρανών, ενώ η ακρίβεια και η συχνότητα των τοπογραφικών εργασιών παρακολούθησης είναι καθοριστικής σημασίας στο σχεδιασμό τέτοιων προγραμμάτων. Καθώς οι πολύ μικρές μετακινήσεις αποτελούν συχνά ένα «σημάδι» για πιθανές κατολισθήσεις, αστοχίες κατασκευής, θα πρέπει να ανιχνεύονται (εφόσον υπάρχουν) πρόδρομες μικρομετακινήσεις, εάν το πρόγραμμα παρακολούθησης χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη και αποφυγή ξαφνικών αστοχιών στην κατασκευή, κατολισθήσεων, κ.α..

Ανάλογα με το είδος του φράγματος ή πρανούς που χρειάζεται παρακολούθηση, υπάρχουν αντίστοιχες διεθνείς προδιαγραφές, ενώ η Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (International Committee on Large Dams, ICOLD) έχει προτείνει την συχνότητα παρακολούθησης με τοπογραφικές μετρήσεις για 5 κατηγορίες φραγμάτων (ICOLD, 1994).

Δεδομένου του χρόνου και κόστους που απαιτείται για την διεξαγωγή συμβατικών τοπογραφικών μετρήσεων, είναι φανερό ότι η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων φραγμάτων, φυσικών πρανών μπορεί να ωφεληθεί από γρηγορότερες και πιο αποτελεσματικές τεχνικές παρατήρησης. Η δορυφορική τεχνολογία εντοπισμού θέσης και συγκεκριμένα το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα GPS (Global Positioning System) προσφέρει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε τέτοιου είδους εφαρμογές δεδομένου ότι εργασίες παρακολούθησης μετακινήσεων μπορούν να ολοκληρωθούν σε χρόνο 10-20% του συνολικού χρόνου που απαιτείται με συμβατικές μετρήσεις (Duckrell & Stewart, 1998).

Οι δορυφορικές γεωδαιτικές μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας δέκτες του συστήματος GPS, αποβλέπουν στον προσδιορισμό των διανυσμάτων στο χώρο, μεταξύ των κορυφών του τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου και φυσικά είναι ανεξάρτητες από την αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των κορυφών του δικτύου.

Η ασφάλεια στα χωμάτινα φράγματα εξαρτάται από τον σωστό σχεδιασμό, την κατασκευή και την παρακολούθηση της συμπεριφοράς τους κατά την διάρκεια της κατασκευής καθώς και κατά την διάρκεια της λειτουργίας του. Οι παραμορφώσεις σε ένα χωμάτινο ή σε ένα λιθόρριπτο φράγμα αρχίζουν κατά την διάρκεια της κατασκευής του.

Η ένταση, ο ρυθμός και η κατεύθυνση των μετακινήσεων σε ένα συγκεκριμένο σημείο του «σώματος» του φράγματος ή της στέψης του μπορεί να μεταβάλλεται κατά την διάρκεια των διαφορετικών φάσεων της κατασκευής και της λειτουργίας του ταμιευτήρα. Επίσης, λόγω της συμπίεσης του υλικού οι κατακόρυφες μετακινήσεις είναι σημαντικές και χρειάζεται παρακολούθηση της κατασκευής ιδίως κατά την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα.

Εκτός από λόγους που αφορούν την ασφάλεια ενός φράγματος, η σχηματική παρακολούθηση του είναι χρήσιμη για τον έλεγχο του αρχικού σχεδιασμού του και την πληρέστερη μελέτη νέων κατασκευών. Ο σχεδιασμός της παρακολούθησης πρέπει να περιλαμβάνει (Chrzanowski, 1993):

- Τον προσδιορισμό του ελάχιστου αριθμού (πυκνότητα) και τις θέσεις των σημείων που είναι για παρακολούθηση (το σχέδιο παρακολούθησης θα πρέπει να περιλαμβάνει περιοχές όπου αναμένονται οι μέγιστες μετακινήσεις),
- Τη συχνότητα των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, (η συχνότητα των μετρήσεων εξαρτάται από τον αναμενόμενο ρυθμό και το μέγεθος των παραμορφώσεων),
- Απαιτήσεις ακριβείας

Η παρακολούθηση είναι σημαντική για ένα καλύτερο και ασφαλέστερο σχεδιασμό των μελλοντικών φραγμάτων μέσω της επαλήθευσης των παραμέτρων σχεδιασμού, όπου οι γεωτεχνικοί παράμετροι είναι ύψιστης σημασίας, (Szostak-Chrzanowski et. al., 2003)

Σε αυτή την Μεταπτυχιακή Εργασία μελετάται το χωμάτινο φράγμα του Ευήνου, το οποίο έχει ιδιαίτερη σημασία, δεδομένου ότι η τεχνητή λίμνη του Ευήνου τροφοδοτεί την τεχνητή λίμνη του Μόρνου που καλύπτει τις ανάγκες σε πόσιμο νερό της μείζονος περιοχής της Αθήνας.

8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΕΥΗΝΟΥ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν για τα επιμέρους στοιχεία του έργου έχουν ως εξής :

8.2.1 Γενικές Παρατηρήσεις

- Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της περιόδου ενδιαφέροντος (Οκτ. 2008 – Σεπτ. 2009) είναι η διατήρηση της στάθμης του Ταμιευτήρα μεταξύ +480 m έως +500 m.
- Σχετικά με τις καθιζήσεις, οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στην ενδιάμεση διατομή ΙΧ, λόγω του μεγαλύτερου βάρους υπερκειμένων γαιών που επιβάλλεται στη συγκεκριμένη διατομή. Σε όλα τα όργανα η καθίζηση αυξάνεται με την αύξηση του βάθους. Μετά από ένα κρίσιμο βάθος οι τιμές των καθιζήσεων σταθεροποιούνται και ακολουθεί σταδιακή μείωση τους. Τα παραπάνω έρχονται σε συμφωνία με τη διεθνή βιβλιογραφία για τα αποτελέσματα των μετρούμενων καθιζήσεων σε φράγματα με αργιλικό πυρήνα.
- Οι οριζόντιες μετακινήσεις στην στέψη του φράγματος Ευήνου κατά την περίοδο (Οκτ. 2008–Σεπτ. 2009) εμφανίζονται σταθεροποιημένες όπως και οι καθιζήσεις της στέψης για την ίδια περίοδο μετρήσεων. Περισσότεροι κύκλοι μετρήσεων θα επιβεβαιώσουν την σταθεροποίηση των μετακινήσεων, οριζόντιων και κατακόρυφων της στέψης του φράγματος.
- Οι παραμορφώσεις στο φράγμα μετρώνται με διάφορα όργανα και με βάρθρα ελέγχου επιφανειακών μετακινήσεων (S). Παρατηρείται από τα σχήματα 7.6, 7.7 ότι μετά το πέρας της κατασκευής του φράγματος οι τιμές των καθιζήσεων αρχίζουν να αυξάνονται με την πλήρωση του ταμιευτήρα. Το ίδιο συμβαίνει και με τις αυξομειώσεις της στάθμης τα επόμενα χρόνια. Οι οριζόντιες μετακινήσεις δείχνουν ότι έχουν σταθεροποιηθεί, ενώ ο ρυθμός των καθιζήσεων έχει μειωθεί σε σχέση με τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του φράγματος

- Από την παρακολούθηση του φράγματος του Ευήνου και την αξιολόγηση των μετρήσεων των εγκατεστημένων οργάνων προκύπτει ότι η συμπεριφορά του είναι φυσιολογική σε σχέση με την ανάπτυξη των παραμορφώσεων που μετρήθηκαν τα τελευταία χρόνια λειτουργίας του.

8.2.2 Τριγωνομετρικό Δίκτυο Φράγματος και Ταμιευτήρα

Από την σύγκριση και τον έλεγχο που έγινε σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς για τα σημεία αναφοράς (T1, T3, T4, A, B, Δ, E) του γεωδαιτικού δικτύου, για την περίοδο (1997 – 2011) με δορυφορικά δεδομένα GPS και επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., σύμφωνα με τον πίνακα 7.11, προκύπτουν τα εξής :

- Για το γεωδαιτικό δίκτυο του φράγματος προκύπτουν μικρότερες διαφορές θέσης στα πέντε από τα επτά σημεία αναφοράς κατά τον άξονα Y (North).
- Το σημείο αναφοράς T3 του δικτύου εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές, όμως δεν προκύπτει συμπέρασμα για μετακίνηση, καθώς σε διάστημα 14 ετών οι διαφορές στη θέση είναι 14 mm κατά τον άξονα Y (North) και 19 mm κατά τον άξονα X (East). Οπότε για τα σημεία αναφοράς του δικτύου δεν προκύπτουν ενδείξεις μετακίνησης.

8.2.3 Στέψη Φράγματος

Από την μελέτη των πινάκων 7.1, 7.13 για τα τρία σημεία ελέγχου της στέψης του φράγματος (S64, S68, S73) και τη σύγκριση που έγινε σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς για την περίοδο (1998 - 2011) με δορυφορικά δεδομένα GPS και επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., προκύπτει ότι :

- Για τα τρία σημεία ελέγχου της στέψης που μετρήθηκαν με GPS δεν προκύπτουν ενδείξεις μετακίνησης κατά τον άξονα X (East).
- Η επίλυση που έγινε για τα τρία σημεία ελέγχου της στέψης σε κοινό τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς από δορυφορικά δεδομένα από GPS και επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., παρατηρείται ότι η μέση τιμή της ταχύτητας μετακίνησης με διεύθυνση

κάθετα στον άξονα του φράγματος, προς τα ανάντη, είναι της τάξεως των 5 mm για τα σημεία ελέγχου S64 και S73 που βρίσκονται στα δυο άκρα του φράγματος. Η μέση τιμή της ταχύτητας μετακίνησης με διεύθυνση κάθετη στον άξονα του φράγματος, προς τα κατάντη, για το σημείο ελέγχου S68 που βρίσκεται στη μέση της στέψης του φράγματος είναι της τάξεως των -9 mm. Οι τιμές των διανυσμάτων μετακίνησης είναι πολύ μικρές σε συνάρτηση με το χρόνο παρατήρησης του φράγματος.

Οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από την μελέτη των πινάκων 7.4, 7.5, 7.6, από τα επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. για την περίοδο (1998 – 2009) είναι :

- Το αρχικό συμπέρασμα είναι ότι, οι διαφορές που προέκυψαν από τη διαχρονική μετακίνηση στα σημεία ελέγχου της στέψης από τις υπάρχουσες επίγειες μετρήσεις της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. (προβολή HATT) είναι μεγαλύτερες σε τάξη μεγέθους από τις διαφορές που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών παρατηρήσεων με GPS. Ο λόγος είναι ότι τα αποτελέσματα από τις δορυφορικές παρατηρήσεις με GPS έχουν μετασχηματιστεί σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς (επίπεδο σύστημα συντεταγμένων) και έχουν διορθωθεί από στροφή και κλίμακα, οπότε και δείχνουν την πραγματική κατεύθυνση όλων των μετακινήσεων που προκύπτουν στα σημεία ελέγχου της στέψης.
- Μια γενική παρατήρηση για όλα τα βάθρα της στέψης από τα δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. είναι, ότι κατά την τελική φάση κατασκευής του φράγματος (1998) και την αρχική πλήρωση του ταμιευτήρα (2001) οι μετακινήσεις ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τα τελευταία έτη λειτουργίας του (2009). Αυτή η συμπεριφορά του φράγματος θεωρείται φυσιολογική σε συνάρτηση με το χρόνο. Δηλαδή οι διαφορές στις τιμές των μετακινήσεων των βάθρων κατά την κάθετη διεύθυνση στον άξονα του φράγματος προς τα κατάντη, σε σχέση με την τελευταία μέτρηση κυμαίνονται από 13-14 cm κατά τα πρώτα έτη λειτουργίας του φράγματος, έως 1-2 cm σύμφωνα με τις τελευταίες μετρήσεις.
- Από το 2007 και μετά βλέπουμε μια σταθεροποίηση στις τιμές των οριζόντιων μετακινήσεων των βάθρων της στέψης.

Από τη μελέτη των υψομετρικών διαφορών (ΔΗ) και των καθιζήσεων στα σημεία ελέγχου της στέψης του φράγματος που δίνονται στους πίνακες 7.8, 7.9, 7.10 και στα σχήματα

7.6, 7.7 από τα δεδομένα χωροστάθμησης της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η μέγιστη καθίζηση στη στέψη του φράγματος, μετά την κατασκευή των βάθρων είναι ~ 0.25 m.. 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 Α.Ε.
- Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρείται η ομαλή εξέλιξη των καθιζήσεων των βάθρων της στέψης και υπάρχει μία σταθεροποίηση των καθιζήσεων κατά το πέρασμα του χρόνου.

Ο υπολογισμός των ταχυτήτων μετακίνησης και καθίζησης συνδέεται με την εξαγωγή συμπερασμάτων για την κίνηση των σημείων ελέγχου της στέψης. Από την μελέτη των ταχυτήτων μετακίνησης και καθίζησης προκύπτει ότι:

- Η αξιολόγηση της ευστάθειας του φράγματος επιτυγχάνεται μέσω της συστηματικής μέτρησης των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων ελέγχου της στέψης. Η οριζόντια κίνηση των σημείων ελέγχου της στέψης μεταβάλλεται στο πέρασμα του χρόνου και επηρεάζεται άμεσα με την ποσότητα ύδατος του ταμιευτήρα. Η καθίζηση των σημείων ελέγχου της στέψης αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου μετά την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα. Η συνολική καθίζηση της στέψης του φράγματος είναι της τάξεως των 25 cm και θεωρείται ασφαλής για χωμάτινα φράγματα.
- Οι μέσες τιμές των διανυσμάτων μετακίνησης όπως και οι μέσες τιμές της καθίζησης για τα κεντρικά σημεία ελέγχου της στέψης του φράγματος είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τα σημεία ελέγχου που βρίσκονται στα δυο άκρα του φράγματος. Σύμφωνα με τον πίνακα 7.12 για την περίοδο (1998-2009) από τα επίγεια δεδομένα της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., προκύπτει μέση τιμή από 6-9 cm για το διάνυσμα μετακίνησης με διεύθυνση κάθετα στον άξονα του φράγματος, προς τα κατάντη και από 16-19 cm μέση τιμή καθίζησης για τα κεντρικά σημεία ελέγχου της στέψης. Από 4-6 cm η μέση τιμή για το διάνυσμα μετακίνησης με διεύθυνση κάθετα στον άξονα του φράγματος, προς τα κατάντη και από 12 -16 cm μέση τιμή καθίζησης για τα σημεία ελέγχου της στέψης που βρίσκονται στα δυο άκρα του φράγματος.

Ο γεωδαιτικός έλεγχος αποδεικνύει ότι οι κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις που άρχισαν με την κατασκευή του φράγματος έχουν πλήρως αναπτυχθεί και πλέον εξελίσσονται με αργούς ρυθμούς. Οι πιθανές εναλλαγές στα διανύσματα μετακίνησης των σημείων ελέγχου της στέψης αποδίδονται στην περιοδική αυξομείωση της στάθμης του ταμιευτήρα. Πολύ σημαντικός κρίνεται ο έλεγχος της στέψης του φράγματος στο τέλος και στην αρχή της υδρολογικής περιόδου.

Συνοψίζοντας, η γεωδαιτική παρακολούθηση του φράγματος του Ευήνου από το 1998 επιβεβαιώνει ότι οι αλλαγές πάνω του ήταν προοδευτικές (κλιμακωτές). Η μελέτη που έγινε στο δίκτυο και στη στέψη του φράγματος βασισμένη στα επίγεια και στα δορυφορικά δεδομένα GPS, αλλά και στα δεδομένα της γεωμετρικής χωροστάθμησης μας αποδεικνύουν ότι η διαδικασία της διαχρονικής παραμόρφωσης στο φράγμα έχει ξεκινήσει αρκετά χρόνια πριν, αναπτύχθηκε σταδιακά και αργά. Αυτή η παρατήρηση επαληθεύτηκε από την ανάλυση που έγινε στην παρούσα εργασία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΣΧΕΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- [1] Μουτάφης Ν. Ι., «**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΕΩΦΡΑΓΜΑΤΩΝ**», Σημειώσεις μαθήματος Δ.Π.Μ.Σ., Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., (2004)
- [2] «**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΜΟΡΝΟΥ**», Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Τομέας Τοπογραφίας Ε.Μ.Π., Αθήνα, (6/1996)
- [3] Μήλας Π., Μπιλλήρης Χ., «**ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα., (2003)
- [4] Πυθαρούλη Ι. Στυλιανή., «**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ**», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολ.Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα., (2007)
- [5] Αγάτζα - Μπαλοδήμου Α.Μ., «**ΘΕΩΡΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΡΘΩΣΕΙΣ Ι**», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα., (2003)
- [6] Α. Φωτίου και Χ. Πικριδάς, Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΑΠΘ, «**ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ GPS ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**»
- [7] Γ. Θ. Ντουνιάς Δρ Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ ΑΕ, Ι. Γ. Καραβοκύρης Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ & ΣΥΝ/ΤΕΣ ΑΕ, Δ. Νικολάου Πολιτικός Μηχανικός, Γενικός, Διευθυντής ΥΠΕΧΩΔΕ, «**ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΕΥΗΝΟΥ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΠΛΗΡΩΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ**»
- [8] Α. Φωτίου – Χ. Πικριδάς, «**GPS ΚΑΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2006
- [9] Α. Δερμάνης – Α. Φωτίου, «**ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΝΟΡΘΩΣΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ**», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 1995
- [10] Δ. Παραδείσης, καθηγητής Ε.Μ.Π., «**ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**», Τομέας Τοπογραφίας Ε.Μ.Π., Αθήνα, Νοέμβριος 2000

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- [11] U.S. Army Corps of Engineers, «**GENERAL DESIGN AND CONSTRUCTION CONSIDERATIONS FOR EARTH AND ROCK-FILL DAMS**», Engineering and Design, Engineer Manual, EM 1110-2-2300, 30 July 2004
- [12] NARITA, Kunitomo, Dr. Eng., Prof., Dept. of Civil Eng., Aichi Institute of Technology, «**DESIGN AND CONSTRUCTION OF EMBANKMENT DAMS**», April 2000
- [13] Burr Bassell, M. Am. Soc. C. E., Consulting Engineer, «**EARTH DAMS – A STUDY**», New York, The Engineering News Publishing Company, 1904.
- [14] United States Department of Agriculture (U.S.D.A.), Natural Resources Conservation Service (N.R.C.S.), Conservation Engineering Division, «**EARTH DAMS AND RESERVOIRS TR-60**», July 2005
- [15] State of Tasmania, Water Resources Division, Department of Primary Industries and Water, «**GUIDELINES FOR THE CONSTRUCTION OF EARTH-FILL DAMS**», Water Resources Policy, Policy #2008/1, November 2008
- [16] Nuno Lima, Institute of Tropical Sciences Research, J. Casaca, M.J. Henriques, Division of Applied Geodesy, National Laboratory for Civil Engineering, «**ACCURACY OF DISPLACEMENT MONITORING AT LARGE DAMS WITH GPS**», Lisbon, Portugal
- [17] Levent TAŞCI, Fýrat University, 23119 Elazığ, Turkey, GEODESY AND CARTOGRAPHY 2008, «**DAM DEFORMATION MEASUREMENTS WITH GPS**»
- [18] Anna Szostak-Chrzanowski, Michel Massiéra, and Adam Chrzanowski, TS 68 – Deformation Measurements of Dams, «**KINEMATIC ANALYSIS OF BEHAVIOUR OF LARGE EARTH DAMS**», Shaping the Change, XXIII FIG Congress, Munich, Germany, October 8- 13, 2006
- [19] Dr. J. M. Rueger, School of Surveying and Spatial Information Systems, University of New South Wales, UNSW SYDNEY NSW 2052, «**OVERVIEW OF GEODETIC DEFORMATION MEASUREMENTS OF DAMS**», ANCOLD 2006 Conference
- [20] US Army Corps of Engineers, ENGINEERING AND DESIGN, «**STRUCTURAL DEFORMATION SURVEYING**», ENGINEER MANUAL, EM 1110-2-1009, 1 June 2002

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [21] Associate Prof. Mualla Yalçinkaya and Research Assist. Kamil Teke, Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering and Architecture, Geodesy and Photogrammetry Engineering Department, «**STRATEGY FOR DESIGNING GEODETIC GPS NETWORKS WITH HIGH RELIABILITY AND ACCURACY**», 61080, Trabzon, Turkey
- [22] Jeffrey A. Behr, Orion Monitoring Systems, Inc., «**GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) APPLICATIONS FOR DEFORMATION MONITORING**», Geotechnical Instrumentation for Field Measurements, University of Florida's Division of Continuing Education, March 12, 2001
- [23] «**SPECIFICATIONS FOR GPS SURVEYS - APPENDIX – F**», BUREAU OF DESIGN AND ENVIRONMENT, SURVEY MANUAL, ILLINOIS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, DIVISION OF HIGHWAYS, February 24, 1994, Revised March 1, 1996, Revised May, 2001
- [24] «**GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) SURVEY GUIDELINES**», NCDOT Location and Surveys Manual, FEBRUARY 2010
- [25] «**GUIDELINES AND SPECIFICATIONS FOR GPS SURVEYS**», RELEASE 2.1, GEODETIC SURVEY DIVISION CANADA CENTRE FOR SURVEYING SURVEYS, MAPPING AND REMOTE SENSING SECTOR, December 1992
- [26] Mr. Gregory A. Helmer, PLS Chairperson, c/o Robert Bein, William Frost & Associates, California Geodetic Control Committee, «**SPECIFICATIONS FOR GEODETIC CONTROL NETWORKS USING HIGH-PRODUCTION GPS SURVEYING TECHNIQUES**», Version 2.0, July 1995
- [27] Angelopoulos A., Soulis V.J., Malandraki V., «**GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL BEHAVIOUR OF EVINOS DAM FOLLOWING THE IMPOUNDMENT**»
- [28] «**GPS SURVEYOR'S FIELD GUIDE**», A Field Guidebook for Static Surveying, Trimble Navigation, Part No.20390