



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



**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ
ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΕΠΙΓΕΙΕΣ
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΤΑΛΟΥΚΑ ΚΡΥΣΤΑΛΙΑ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

Επιβλέπων Καθηγητής

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

Εξεταστική Επιτροπή

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

Σταθάς Δημοσθένης, Καθηγητής της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με τη βοήθειά τους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας .

Ευχαριστώ θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές, τον κ. Γεωργόπουλο Γιώργο, Λέκτορα ΕΜΠ και την κα. Τελειώνη Ελισάβετ, Λέκτορα ΕΜΠ για την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο προσωπό μου με την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, την συνεχή υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Ακόμη θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στο συνάδερφο και φίλο μου, Στουρνάρα Βασίλη για την άψογη και ευχάριστη συνεργασία, τη βοήθεια και την καθοριστική συμβολή του στην εκπόνηση της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του Υδροηλεκτρικού Σταθμού της Δ.Ε.Η. για τη σημαντική βοήθειά που μας παρείχαν στη συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων και στην ολοκλήρωση ορισμένων εργασιών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για την κατανόηση και τη συμπαράστασή της σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
<i>Κεφάλαιο 1^ο</i>	12
<i>Εισαγωγή</i>	12
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	13
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	13
1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	14
<i>Κεφάλαιο 2^ο</i>	17
<i>Τα Φράγματα</i>	17
2 ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ	18
2.1 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	18
2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	19
2.3 ΤΥΠΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	20
2.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ.....	27
2.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	30
<i>Κεφάλαιο 3^ο</i>	33
<i>Το φράγμα Ταυρωπού</i>	33
3 ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΑΥΡΩΠΟΥ	34
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	34
3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	35
3.3 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	36
3.4 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ (ΥΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ)	37
3.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΑΥΡΩΠΟΥ.....	38
3.5.1 Γενικά – Σώμα Φράγματος	38
3.5.2 Οι Υπερχειλιστές	40
3.5.3 Οι Εκκενωτές Πυθμένα	42
3.5.3 Η Σήραγγα Εκτροπής	44
<i>Κεφάλαιο 4^ο</i>	45
<i>Η αναγκαιότητα της παρακολούθησης παραμορφώσεων φραγμάτων</i>	45
4 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	46

4.1 ΓΕΝΙΚΑ	46
4.2 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	47
4.2.1 Γεωτεχνικές Μέθοδοι και Όργανα	47
4.2.2 Ανίχνευση Μετακινήσεων με Σύρματα από Χάλυβα και Εκκρεμή	48
4.2.3 Εγκατάσταση Δικτύου Αισθητήρων με Οπτικές Ίνες	49
4.3 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ	49
4.3.1 Επίγειες Μέθοδοι	50
4.3.2 Δορυφορικές Μέθοδοι	52
<i>Κεφάλαιο 5^ο</i>	53
<i>Παρακολούθηση παραμορφώσεων του φράγματος Ταυρωπού</i>	53
5 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΑΥΡΩΠΟΥ	54
5.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΚΚΡΕΜΩΝ.....	54
5.1.1 Θέσεις Εκκρεμών και Θαλάμων Μετρήσεων	54
5.1.2 Μετρήσεις	58
5.1.3 Υπολογισμοί Οριζόντιων Μετακινήσεων μέσω των Εκκρεμών	60
5.1.4 Υπολογισμοί Οριζόντιων Μετακινήσεων μέσω των Εκκρεμών κατά την Ακτίνα και Εφαπτομένη	67
5.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	70
<i>Κεφάλαιο 6^ο</i>	72
<i>Δίκτυο οριζοντίου ελέγχου</i>	72
6 ΔΙΚΤΥΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	73
6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	73
6.2 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	73
6.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	75
6.4 ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ	78
6.4.1 Επιλογή Οργάνων και Παρελκομένων	78
6.4.2 Έλεγχοι Οργάνων και Παρελκομένων	79
6.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	82
6.5.1 Μέτρηση Στοιχείων Δικτύου - Επεξεργασία Μετρήσεων	82
6.5.2 Διορθώσεις Μηκών.....	84
6.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	86
<i>Κεφάλαιο 7^ο</i>	90
<i>Επίλυση Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου</i>	90
7 ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	91

7.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	91
7.2	Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....	91
7.2.1	Μέθοδος Επίλυσης - Προσωρινές Τιμές	91
7.2.2	Εκτίμηση Βαρών	92
7.3	ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....	92
	<i>Κεφάλαιο 8^ο</i>	97
	<i>Προσδιορισμός Οριζόντιων Μετακινήσεων</i>	97
8	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ	98
8.1	ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ.....	98
8.2	ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	101
	<i>Κεφάλαιο 9^ο</i>	103
	<i>Η Διαδικασία Σάρωσης του Φράγματος</i>	103
9	Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	104
9.1	ΓΕΝΙΚΑ	104
9.2	ΟΙ ΣΑΡΩΣΕΙΣ	104
9.3	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	104
9.3.1	Διαχείριση Νέφους Σημείων	104
9.3.2	Δημιουργία της Επιφάνειας του Φράγματος – Τομές	105
9.4	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΜΕ Μ.Ε.Τ.	109
9.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΚΑΙ Μ.Ε.Τ.....	111
	<i>Κεφάλαιο 10^ο</i>	117
	<i>Χρονοδιάγραμμα Εργασιών</i>	117
10.	ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	118
10.1	ΓΕΝΙΚΑ	118
10.2	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	118
	<i>Κεφάλαιο 11^ο</i>	121
	<i>Συμπεράσματα και Προτάσεις</i>	121
11	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	122
11.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	122
11.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	124

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

Αριθμός	Τίτλος	Σελίδα
1	Η κατανομή εργασιών της Διπλωματικής Εργασίας	119
2	Η κατανομή των εργασιών πεδίου	119
3	Η κατανομή των εργασιών πεδίου	120

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Αριθμός	Τίτλος	Σελίδα
1	Ταξινόμηση φραγμάτων	22

ΕΙΚΟΝΕΣ

Αριθμός	Τίτλος	Σελίδα
1	Φράγμα από σκυρόδεμα (τύπου βαρύτητας) στο Λάδωνα ποταμό.	23
2	Φράγμα Stony George. Αντιρηδωτό φράγμα.	24
3	Φράγμα Ταυρωπού. Τοξωτό φράγμα.	25
4	Χωμάτινο φράγμα για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.	26
5	Λιθόρριπτο φράγμα στην περιοχή Ραμπεντώσας με πλάκα επένδυσης από σκυρόδεμα (αντιπλημμυρικό φράγμα).	27
6	ΥΗΣ Ταυρωπου.	38
7	Οι δύο υπερχειλιστές ανάντη και κατόντη (σε λειτουργία).	40
8	Οι δύο εκκενωτές, από κανάντη.	43

9	Το φράγμα Malpasset πριν (1959) και μετά την καταστροφή του (2000).	47
10	Δίκτυο στόχων στο σώμα φράγματος.	51
11	Στοά για μετρήσεις εκκρεμών.	56
12	Συσκευή αναγνώσεων στα εκκρεμή.	59
13	Βάθρο με εξαναγκασμένη κέντρωση.	74
14	Σήμανση κορυφών της ΔΕΗ.	74
15	Κορυφή ΣΤ	76
16	Έλεγχος για κυκλικό σφάλμα σε σήραγγα.	80
17	Επιφάνεια προσαρμοσμένη στο νέφος σημείων.	107
18	Οριζόντιες τομές στις στάθμες 750, 760, 770, 780 m.	107
19	Οριζόντια τομή στη στάθμη των 780 m.	108

ΠΙΝΑΚΕΣ

Αριθμός	Τίτλος	Σελίδα
1	Ακρίβειες μέτρησης μηκών και γωνιών των γεωδαιτικών σταθμών.	78
2	Αποτελέσματα ελέγχου για ύπαρξη κυκλικού σφάλματος.	81
3	Τελικές γωνίες δικτύου Α' και Β' φάσης.	83
4	Διορθώσεις μηκών (σε ppm) από θερμοκρασία και πίεση για Α' και Β' Φάση μετρήσεων.	85
5	Τελικά μήκη δικτύου Α' και Β' φάσης.	86
6	Υψομετρικές διαφορές και υψόμετρα κορυφών Δ.Ο.Ε. (Αποτελέσματα από	89

	Γεωμετρικές Χωροσταθμήσεις).	
7	Υψομετρικές διαφορές και υψόμετρα κορυφών (Αποτελέσματα από Τριγωνομετρική Υψομετρία).	89
8	Προσωρινές συντεταγμένες σε m.	91
9	Στοιχεία δικτύου Α' Φάση.	92
10	Συντεταγμένες κορυφών δικτύου με τις αβεβαιότητές τους (Α'ΦΑΣΗ).	93
11	Στοιχεία δικτύου Β' Φάση.	95
12	Συντεταγμένες κορυφών δικτύου με τις αβεβαιότητές τους (Β'ΦΑΣΗ).	95
13	Στοιχεία απόλυτων ελλείψεων σφάλματος - Μονοδιάστατος έλεγχος για ύπαρξη απόλυτων μετακινήσεων κορυφών.	98
14	Στοιχεία σχετικών ελλείψεων σφάλματος - Μονοδιάστατος έλεγχος για ύπαρξη σχετικών μετακινήσεων μεταξύ των κορυφών.	101
15	Προσωρινές τιμές σε m.	110
16	Τελικές τιμές κέντρων και ακτίνων των κυκλικών τόξων από επεξεργασία λογισμικού και Μ.Ε.Τ. Α' Φάσης – Τιμές ακτίνων από ΔΕΗ.	113
17	Τελικές τιμές κέντρων και ακτίνων των κυκλικών τόξων από επεξεργασία λογισμικού και Μ.Ε.Τ. Β' Φάσης – Τιμές ακτίνων από ΔΕΗ.	114

ΣΧΗΜΑΤΑ

Αριθμός	Τίτλος	Σελίδα
1	Σχηματική τομή φράγματος βαρύτητας (Krynine et.al,1957).	24

2	Απεικόνιση των δυνάμεων που δρουν σε ένα φράγμα.	28
3	Σχηματική απεικόνιση των δυνάμεων που σκούνται σε ένα φράγμα από σκυρόδεμα.	29
4	Κατανομή δυνάμεων σε αντηριδωτό φράγμα.	29
5	Κατανομή φορτίων σε τοξωτά φράγματα.	30
6	Πάχη φράγματος στα διάφορα υψόμετρα.	39
7	Κατά μήκος τομή των εκκενωτών πυθμένα στη βάση του φράγματος Ταυρωπού.	43
8	Θέση εκκρεμών A, B, C.	54
9	Θέσεις και τα υψόμετρα των σημείων εξάρτησης και μετρήσεων.	56
10	Τομή – Εκκρεμές C.	57
11	Τομή – Εκκρεμή A - B.	58
12	Μετρήσεις με συσκευή αναγνώσεων στα εκκρεμή.	60
13	Μετακινήσεις στα σημεία ανάρτησης των εκκρεμών.	62
14	Μετακίνηση σε ενδιάμεσους σταθμούς, E προς τα ανάντη.	63
15	Μετρήσεις στο εκκρεμές A.	64
16	Μετρήσεις στο εκκρεμές B.	65
17	Μετατοπίσεις στο εκκρεμές C.	67
18	Διανύσματα μετακίνησης κατά ακτίνα και εφαπτομένη.	68
19	Κάτοψη φράγματος – Θέσεις θαλάμων μετρήσεων σε σχέση με τον άξονα των	69

	κέντρων.	
20	Θέση σημείων F11 και KM σε σχέση με τη στέψη του φράγματος.	71
21	Γεωμετρία Δικτύου.	77
22	Χωροσταθμικές οδεύσεις.	88
23	Απόλυτες ελλείψεις σφάλματος (39,7%) και διανύσματα μετακίνησης κορυφών δικτύου.	100
24	Σχετικές ελλείψεις σφάλματος (39,7%) και διανύσματα μετακίνησης πλευρών δικτύου.	102

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα φράγματα, έχουν ειδικές απαιτήσεις χάραξης στη φάση της κατασκευής, αλλά και παρακολούθησης της συμπεριφοράς τους κατά τη φάση λειτουργίας τους. Οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες μετακινήσεις τους μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα, μέχρι και την αστοχία τους, με συνέπεια τη διακινδύνευση ανθρώπινων ζωών, δημόσιας και ιδιωτικής περιουσίας.

Το φράγμα Ταυρωπού -γνωστό και ως φράγμα λίμνης Πλαστήρα- του νομού Καρδίτσας, το μοναδικό τοξωτό φράγμα από οπλισμένο σκυρόδεμα, με διπλή καμπυλότητα, στην Ελλάδα, κατασκευάστηκε από τη ΔΕΗ το 1960 με σκοπό τη συμβολή στον εξηλεκτισμό της χώρας, την άρδευση και ύδρευση μεγάλου μέρους του Θεσσαλικού κάμπου. Στο φράγμα Ταυρωπού, προσδιορίζονται από ειδικευμένο προσωπικό της ΔΕΗ που έχει την ευθύνη της λειτουργίας του, οριζόντιες μετακινήσεις με τη χρήση εκκρεμών κάθε μήνα και κατακόρυφες μετακινήσεις με τη μέθοδο της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης ανά εξάμηνο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη διαδικασία ανίχνευσης των οριζόντιων μετακινήσεων του συγκεκριμένου φράγματος στο χρονικό διάστημα Αύγουστος 2011 – Νοέμβριος 2011 με την ίδρυση ενός γεωδαιτικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου και τη σάρωση της επιφάνειας του φράγματος τις ίδιες χρονικές στιγμές.

Το Δίκτυο Οριζοντίου Ελέγχου (Δ.Ο.Ε.) που ιδρύθηκε αποτελείται από επτά κορυφές, τέσσερις από τις οποίες έχουν εγκατασταθεί στο σώμα του φράγματος (τρεις στη στέψη του και μία στην κατάντη επιφάνειά του). Η μέτρηση των στοιχείων του δικτύου (οριζόντιες γωνίες και αποστάσεις μεταξύ των κορυφών του) έγινε τον Αυγουστο και το Νοέμβριο 2011 χρησιμοποιώντας Ολοκληρωμένο Γεωδαιτικό Σταθμό υψηλής ακρίβειας. Η συνόρθωση των παρατηρήσεων και η επίλυση του δικτύου έγινε με τις ίδιες αρχικές συνθήκες. Από την επίλυση προέκυψε το διάνυσμα των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς για τις δύο χρονικές στιγμές μέτρησης και οι αντίστοιχοι πίνακες μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας.

Στη συνέχεια, προσδιορίζονται, για το χρονικό διάστημα που αναφέρθηκε, οι στατιστικά σημαντικές οριζόντιες μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου για επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης (95%).

Επιπρόσθετα πραγματοποιήθηκε σάρωση της επιφάνειας του φράγματος στις δύο φάσεις, με τη χρήση εικονοσταθμού, με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας προσδιορισμού της μετακίνησης ολόκληρης της επιφάνειας του φράγματος, καθώς και τη σύγκριση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του με αυτά των κατασκευαστικών σχεδίων. Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιήθηκε προσαρμογή επιφάνειας στο νέφος σημείων μέσω λογισμικού καθώς και προσαρμογή καμπύλης σε αυτό σε διάφορες στάθμες μέσω της M.E.T. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα κατασκευαστικά στοιχεία που δόθηκαν από τη ΔΕΗ.

ABSTRACT

The monitoring of the static behavior of large dams is of great importance since their safety is crucial for people living downstream. The Tavropos dam – known also as Plastiras Lake dam, sited in the area of Karditsa, was constructed during 1960 by the Public Electricity Power of Greece. The dam's horizontal displacements are determined through monthly measurements of the pendulums established while the vertical displacements are estimated through geometric leveling every six months.

This diploma thesis deals with the geodetic monitoring of the above mentioned dam for the time interval August - November 2011, using geodetic methodology.

For this purpose, a Horizontal Control Network (H.C.N.) was established in the region. The network consists of seven points, four of which are established on the dam's downstream body (three on the dam's crest). The network's elements (horizontal angles and distances between the network's points) were measured using Total stations of high precision during two measuring epochs August and November 2011. The observations of both epochs were adjusted using Least Squares Method, with the same initial conditions, and the coordinates of the

network's points in a local reference system were estimated together with the corresponding covariance matrices for the two measuring epochs.

Following, the statistically significant horizontal displacements of the network's points, for the above mentioned time interval were estimated for a confidence level (95%).

Moreover, the downstream surface of the dam was scanned during the same measuring epochs, using an Imaging Total Station in order to investigate the possibility of the dam monitoring using scanning technology.

For this purpose, the points cloud of each scanning was approximated with a surface using special software. The cross sections (curves) of the resulting surfaces at selected height levels were compared to each other for the two measuring epochs. These curves were also compared to those estimated through least squares techniques using as observations the coordinates of the points for the same height levels. Finally all the curves were compared to those of the dam's construction plans, provided by the Public Company of Electricity.

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η μελέτη παραμορφώσεων σε φράγματα δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της κινηματικής τους συμπεριφοράς, με στόχο την πρόληψη δυσμενών καταστάσεων και αντιμετώπιση πιθανών αστοχιών που ενδέχεται να προκληθούν σε αυτές.

Η διαχρονική παρακολούθηση των παραμορφώσεων και πιο συγκεκριμένα των οριζόντιων μετακινήσεων φραγμάτων αποτελεί ένα από τα πεδία της επιστήμης της Γεωδαισίας. Η γεωδαιτική μεθοδολογία αξιοποιεί για αυτό το σκοπό την ίδρυση Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου το οποίο αποτελείται από σημεία τα οποία βρίσκονται πάνω ή και εκτός της υπό μελέτη κατασκευής και μετρώνται σε διάφορες φάσεις. Πρόκειται για δισδιάστατο δίκτυο, με την επίλυση του οποίου προκύπτουν οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου στις διάφορες φάσεις. Προκύπτουν έτσι οι απόλυτες και οι σχετικές μεταβολές των θέσεων των κορυφών του δικτύου στις αντίστοιχες χρονικές περιόδους που μετρήθηκαν και εξετάζεται η κινηματική συμπεριφορά της κατασκευής.

Τα φράγματα αποτελούν κατασκευές πολλαπλής σκοπιμότητας καθώς καλύπτουν όχι μόνο ενεργειακές αλλά και ζωτικές ανάγκες της ευρύτερης περιοχής στην οποία δομούνται. Ωστόσο κρίνεται πως όποια κι αν είναι η ποιότητα μελέτης και κατασκευής, ο κίνδυνος αστοχίας δεν μπορεί να μηδενιστεί. Επομένως η μελέτη παραμορφώσεων σε φράγματα αποτελεί, αν μη τι άλλο, αντικείμενο εξαιρετικής σημαντικότητας καθώς συμβάλλει στην πρόληψη δυσμενών καταστάσεων και διασφαλίζει το σκοπό για τον οποίο δομήθηκαν.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι ο προσδιορισμός των οριζόντιων μετακινήσεων του Φράγματος Ταυρωπού - Λίμνης Πλαστήρα του Νομού Καρδίτσας, στο διάστημα Αύγουστος 2011 – Νοέμβρης 2011, με τη χρήση της Γεωδαιτικής Μεθοδολογίας.

Για το σκοπό αυτό ιδρύθηκε μικροτριγωνομετρικό δίκτυο ελέγχου στην περιοχή του φράγματος, λαμβάνοντας υπ' όψιν την ιδιαιτερότητα της περιοχής σε επίπεδο λειτουργικότητας, αναγλύφου, γεωμετρίας, έκτασης και τέλος υψηλής επισκεψιμότητας.

Για τις μετρήσεις των στοιχείων του δικτύου αξιοποιήθηκαν ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που εξασφάλιζαν την επιθυμητή ακρίβεια για μια τέτοιου είδους εργασία. Η συνόρθωση του δικτύου έγινε με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.) και ειδικότερα με τη μέθοδο των εμμέσων παρατηρήσεων. Οι επιλύσεις έγιναν με τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με το test χ^2 (ολικός έλεγχος) για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και με έλεγχο των παρατηρήσεων (κατά Baarda), για ανίχνευση χονδροειδών και συστηματικών σφαλμάτων στις παρατηρήσεις.

Επίσης, με σκοπό την ανίχνευση μετακινήσεων σε όλη την επιφάνεια του φράγματος, πραγματοποιήθηκε σάρωση της κατάντη επιφάνειας του φράγματος με εικονοσταθμό και κατ' επέκταση μοντελοποίηση του αντικειμένου στο χώρο με νέφος σημείων σε τρεις διαστάσεις. Μέσω λογισμικού προσαρμόστηκε επιφάνεια στο νέφος σημείων για τις δύο φάσεις ενώ μέσω της Μ.Ε.Τ. έγινε προσαρμογή καμπύλης σε αυτό σε διάφορα ύψη. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με στοιχεία που δίνονται στα σχετικά αρχεία της ΔΕΗ.

1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποτελείται από 13 κεφάλαια και ένα παράρτημα.

Η εσωτερική οργάνωση της εργασίας είναι η εξής:

Το **1^ο Κεφάλαιο** περιλαμβάνει την εισαγωγή, στην οποία αναλύονται ο σκοπός και η δομή της παρούσας εργασίας.

Το **2^ο Κεφάλαιο** αφορά στα φράγματα. Συγκεκριμένα αναλύεται η αναγκαιότητα κατασκευής, ο σχεδιασμός και οι υπάρχοντες τύποι αυτών, η κατανομή δυνάμεων και τάσεων στις κατασκευές τους καθώς και οι επιπτώσεις λόγω της δόμησης και λειτουργίας τους.

Στο **3^ο Κεφάλαιο** γίνεται λόγος για τα χαρακτηριστικά του φράγματος Ταυρωπού και της ευρύτερης περιοχής. Συγκεκριμένα παρατίθενται στοιχεία που αφορούν στα γεωλογία της περιοχής, στη λεκάνη απορροής και στην υδρολογία ενώ αναλύεται η λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού Πλαστήρα. Ακόμη αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σώματος της κατασκευής ενώ γίνεται εκτενής αναφορά σε επιμέρους τμήματα, όπως οι υπερχειλιστές, οι εκκενωτές πυθμένα και η σήραγγα εκτροπής.

Στο **4^ο Κεφάλαιο** τεκμηριώνεται η αναγκαιότητα παρακολούθησης παραμορφώσεων φραγμάτων ενώ αναφέρονται οι μη γεωδαιτικές και οι γεωδαιτικές μέθοδοι μελέτης παραμορφώσεων αυτών.

Στο **5^ο Κεφάλαιο** αναπτύσσεται ο έλεγχος της συμπεριφοράς του φράγματος Ταυρωπού που γίνεται στο πλαίσιο της επιτήρησης τεχνικών έργων από την ΔΕΗ. Συγκεκριμένα περιγράφεται η θέση των εκκρεμών και των θαλάμων μετρήσεων, τεκμηριωμένη με εικόνες και σχέδια. Αναλύεται η διαδικασία των μετρήσεων στα εκκρεμή και ο υπολογισμός των οριζόντιων μετακινήσεων.

Το **6^ο Κεφάλαιο** αφορά στην αναγνώριση της περιοχής μελέτης, στην εγκατάσταση των κορυφών του Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου. Γίνεται λόγος για την επιλογή των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τους ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν. Περιγράφεται η διαδικασία μετρήσεων των στοιχείων του δικτύου, η επεξεργασία των μετρήσεων και οι απαραίτητες διορθώσεις στα μήκη. Τέλος περιγράφεται ο προσδιορισμός των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου.

Το **7^ο Κεφάλαιο** αφορά στη διαδικασία, στη μέθοδο επίλυσης και στους ελέγχους του δικτύου οριζοντίου ελέγχου. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των επιλύσεων Α και Β φάσης.

Στο **8^ο Κεφάλαιο** παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανίχνευσης μετακινήσεων, ουσιαστικά οι απόλυτες και οι σχετικές μεταβολές στις θέσεις των κορυφών του δικτύου. Παρουσιάζονται οι απόλυτες και σχετικές ελλείψεις σφάλματος και τα αντίστοιχα διανύσματα μετακίνησης.

Το **9^ο Κεφάλαιο** αφορά στη διαδικασία της σάρωσης. Περιγράφεται με βήματα η διαδικασία επεξεργασίας των στοιχείων της σάρωσης ενώ με ανάλογο τρόπο περιγράφεται η προσαρμογή επιφάνειας στο νέφος σημείων που προέκυψε από κάθε φάση. Γίνεται προσομοίωση μαθηματικών καμπύλων των οριζόντιων τομών

του νέφους των σημείων σε διάφορα ύψη μέσω της Μ.Ε.Τ. Παρατίθεται πίνακας με τα αποτελέσματα των 2 τρόπων προς σύγκριση με αντίστοιχα στοιχεία από το αρχείο της ΔΕΗ.

Στο **10^ο Κεφάλαιο** περιλαμβάνεται το χρονοδιάγραμμα των εργασιών που απαιτήθηκαν και διαγράμματα που αφορούν τις επιμέρους εργασίες.

Το **11^ο Κεφάλαιο** περιλαμβάνει τα συμπεράσματα και τις προτάσεις που προέκυψαν από την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Το **Παράρτημα**, στο οποίο περιέχονται οι έλεγχοι των οργάνων για κυκλικό σφάλμα, η περιγραφή των κορυφών του δικτύου, οι μετρήσεις των στοιχείων του δικτύου και τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτύου σε δύο φάσεις.

Κεφάλαιο 2^ο
Τα Φράγματα

2 ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

2.1 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Το φράγμα είναι τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη ενός φυσικού ρεύματος (ποταμού) για την αποκοπή της ροής , με σκοπό την αποθήκευση , παροχέτευση ή ανάσχεση της πλημμυρικής παροχής του ρεύματος. Η λειτουργικότητα των φραγμάτων είναι πολλαπλή μιας και προσφέρει ανεκτίμητες παροχές στον άνθρωπο.

Η κατασκευή φραγμάτων από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ Α.Ε.) παρόλο που είχε ως πρωτεύοντα στόχο την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών της χώρας, αποτελεί πλέον δραστηριότητα πολλαπλής σκοπιμότητας, που καλύπτει ζωτικές ανάγκες ευρύτερης εθνικής σημασίας, όπως ύδρευση, άρδευση και αντιπλημμυρική προστασία. Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανθρώπινης αυτής επέμβασης και της μετατροπής του φυσικού ποτάμιου συστήματος σε λιμναίου, κυρίαρχη είναι η συμβολή της στη διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας και στη γενικότερη διατήρηση οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας τους.

Η ΔΕΗ Α.Ε., από τα μέσα της δεκαετίας του '50 μέχρι σήμερα, εκμεταλλεόμενη το έντονο φυσικό ανάγλυφο της χώρας μας, έχει κατασκευάσει 15 μεγάλα και 9 μικρά (με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη των 15MW) Υδροηλεκτρικά Εργοστάσια (ΥΗΕ), τα οποία βρίσκονται ήδη σε λειτουργία. Σε διαδικασία κατασκευής βρίσκονται ακόμα 6 ΥΗΕ (Μεσοχώρα, Συκιά, Πευκόφυτο, Μετσοβίτικο, Ιλαρίωνας και Τέμενος) συνολικής ισχύος 653.30MW, παρ' ότι ο αρχικός σχεδιασμός της ΔΕΗ ήταν να τεθούν σε λειτουργία μέχρι το 2013.

Τα ΥΗΕ της ΔΕΗ, είναι έργα αιχμής, αφού είναι δυνατό να τίθενται αμέσως σε λειτουργία και να διασφαλίζουν την ετοιμότητα και ισορροπία του συστήματος. Με τα μεγάλα ΥΗΕ που λειτουργούν σήμερα, αξιοποιείται το 30-35% περίπου του τεχνικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού της χώρας, καλύπτοντας το 10% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και διαθέτοντας το 30% περίπου της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος του διασυνδεδεμένου συστήματος. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί καθαρή ανανεώσιμη ενέργεια με μηδενικό

κόστος καυσίμου και μηδενικές εκπομπές ρύπων. Η ευελιξία των μονάδων επιτρέπει τη χρήση της για την κάλυψη των αιχμών ζήτησης ενώ υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης για ώρες ανάγκης.

Η προσφορά τους στη δημιουργία νέων υγροτόπων ήταν και είναι τεράστια και αποδείχτηκε κερδοφόρα για την ανάπτυξη του οικότουρισμού. Στις περιοχές όπου βρίσκονται τα ΥΗΕ, παρουσιάζεται μεγάλη ποικιλία στις μορφές ζωής, στα είδη της χλωρίδας και της πανίδας. Η βιοποικιλότητα της ευρύτερης περιοχής των ΥΗΕ συνδέεται άμεσα ή έμμεσα με αυτά, προσδίδοντάς τους τόσο τουριστικό όσο και επιστημονικό ενδιαφέρον. Οι νέοι οικότοποι, με λιμναίες πλέον οικολογικές συνθήκες, ευνοούν την ανάπτυξη αρκετών υδρόβιων οργανισμών (ψαριών και αμφίβιων), που προσφέρουν τροφή και καταφύγιο σε μεγάλο αριθμό αποδημητικών ή μη πουλιών ενώ πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι δόθηκε η δυνατότητα να αναπτυχθούν οι ιχθυοκαλλιέργειες, ένας τομέας που υπήρξε αρκετά υποανάπτυκτος στη χώρα μας.

Τέλος, η παρουσία ΥΗΕ συμβάλλει σημαντικά και στη διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας. Δεδομένου δε, ότι οι απαιτήσεις σε νερό - δυνάμει ανανεούμενο αγαθό- συνεχώς αυξάνονται, η αποθήκευση αυτού του αγαθού γίνεται πλέον επιτακτική ανάγκη.

2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Απαραίτητα στοιχεία για τον σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση των έργων ενός ταμιευτήρα είναι:

- Η μορφολογία της περιοχής.
- Τα υδρολογικά στοιχεία: η έκταση της λεκάνης απορροής, η μέση ετήσια απορροή, οι πλημμυρικές παροχές.
- Η γεωλογία της περιοχής: στρωματογραφία, τεκτονική, συνθήκες στεγανότητας, υπόγεια ύδατα.
- Οι γεωχημικές παράμετροι.

Οι συνθήκες υπεδάφους και τα δίκτυα ροής, κάτω από το φράγμα αλλά και μέσα από αυτό, είναι οι παράμετροι που θα καθορίσουν τον τρόπο θεμελίωσης, τον τρόπο αναχαίτισης των υπόγειων διαφυγών, καθώς και την διάταξη, για την αποτροπή φαινομένων υδραυλικής θραύσης, των φίλτρων στο κατάντες σώμα στήριξης. Χαμηλή σεισμικότητα και υψηλή αντοχή των υλικών κατασκευής επιτρέπουν μεγαλύτερες κλίσεις των πρανών. Η μικρή διαπερατότητα απαιτεί μικρότερο πάχος πυρήνα. Ένα σωστά σχεδιασμένο φράγμα θα πρέπει να αντανακλά τις τοπικές συνθήκες.

Αίτια που μπορούν να οδηγήσουν σ' ένα αναποτελεσματικό φράγμα είναι:

- Ανεπαρκής μελέτη των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής του φράγματος.
- Ανεπιτυχής θεμελίωση, ολίσθηση του φράγματος.
- Αστοχία πρανούς.
- Υπερχείλιση του νερού πάνω από την στέψη του φράγματος.

2.3 ΤΥΠΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τα φράγματα είναι έργα δαπανηρά, παρουσιάζουν όμως μακροπρόθεσμα μεγάλα οικονομικά οφέλη και για τον λόγο αυτό επιδιώκεται η κατασκευή τους. Ανάλογα με τον σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει η κατασκευή ενός φράγματος, μελετάται και βρίσκειται τόσο ο καλύτερος τύπος όσο και οι απαιτούμενες διαστάσεις του. Τα φράγματα είναι έργα ιδιόμορφα που δεν είναι δυνατόν να τυποποιηθούν εφ' όσον το καθένα έχει τη δική του λειτουργία, τους δικούς του φυσικούς παράγοντες και το δικό του φυσικό περιβάλλον, παράμετροι που παίζουν σπουδαίο ρόλο για την θεμελίωση του.

Τα φράγματα μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

1. Ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν:

- **Φράγματα συγκέντρωσης νερού** (συγκέντρωση νερού σε επιφανειακούς ταμιευτήρες).

- **Φράγματα εκτροπής:** Μόνιμα ή προσωρινά (εκτροπή της ροής του νερού είτε για διευθέτηση είτε για εκτέλεση εργασιών εν ξηρώ).
- **Φράγματα ανάσχεσης** (ανάσχεση της ορμής είτε για μείωση της διάβρωσης είτε για τεχνητό εμπλουτισμό).
- **Φράγματα ρύθμισης** (έλεγχος και πρόβλεψη πλημμυρών).

2. Ανάλογα με τον σκοπό εκμετάλλευσης:

α). Φράγματα απλής σκοπιμότητας

- Υδροηλεκτρικά
- Αρδευτικά
- Υδρευτικά
- Αντιπλημμυρικά
- Εμπλουτισμού υδροφόρων

β). Διπλής σκοπιμότητας

- Συνδυασμός των προηγούμενων ανά δύο.

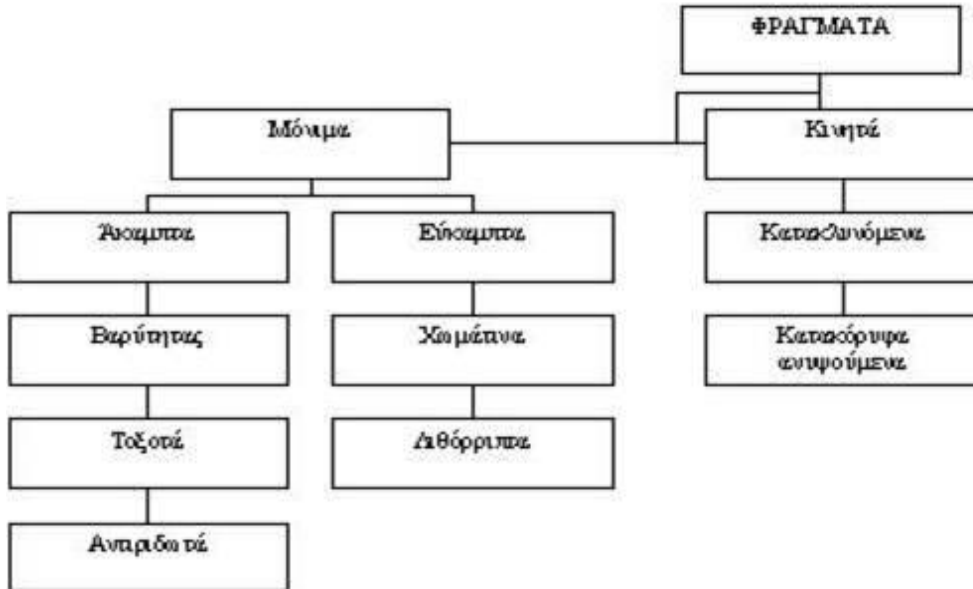
γ). Πολλαπλής σκοπιμότητας

- Συνδυασμός των προηγούμενων ανά τρία ή περισσότερα.

3. Ανάλογα με το ύψος:

- Πολύ μεγάλα φράγματα. Ύψος >150m.
- Μεγάλα φράγματα. Ύψος = 15m ή 5m < Ύψος < 15m και περιεκτικότητα σε νερό πάνω από 3.000.000m³.

- Μικρά φράγματα. Ύψος <15m.



Διάγραμμα 1: Ταξινόμηση φραγμάτων [24].

Diagram 1: Classification of dams [24].

4. Τα φράγματα μπορούν να διακριθούν από κατασκευαστικής πλευράς και γεωμετρίας σε τρεις κατηγορίες:

α). Τα άκαμπτα φράγματα από σκυρόδεμα ή και κάποια παλαιότερα λιθόκτιστα.

β). Τα εύκαμπτα φράγματα ή χωμάτινα που κατασκευάζονται από γαιώδη υλικά.

γ). Μικτές κατηγορίες των δύο πρώτων, «υβριδικά φράγματα».

Πιο αναλυτικά είναι:

α). ΑΚΑΜΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

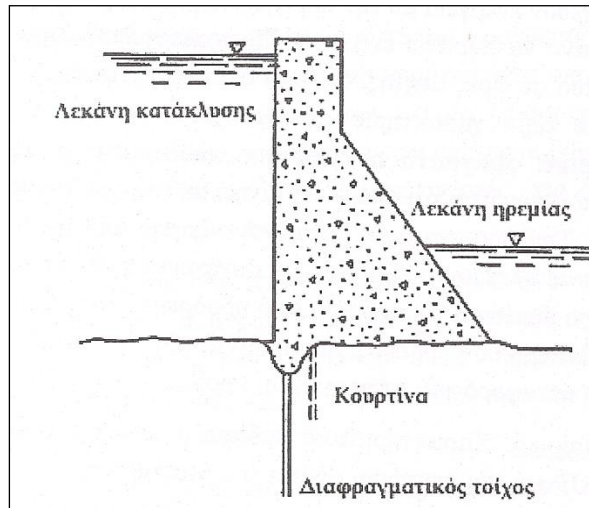
- **Φράγματα βαρύτητας σκυροδέματος**

Στα φράγματα βαρύτητας σκυροδέματος το ίδιο το βάρος του φράγματος εξασφαλίζει την παραλαβή των δυνάμεων ολίσθησης και ανατροπής που εξασκεί σ' αυτά το νερό. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι κυρίως οι υδροστατικές, στην ανάντι και ενδεχόμενα στην κατάντι πλευρά, η δύναμη της άνωσης, το ίδιο βάρος του φράγματος και η δύναμη της τριβής με το έδαφος. Η χάραξη του φράγματος σε οριζοντιογραφία μπορεί να είναι ευθεία γραμμή ή καμπύλη, ανάλογα με την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής και τις λειτουργικές ανάγκες που το φράγμα εξυπηρετεί.



Εικόνα 1: Φράγμα από σκυρόδεμα (τύπου βαρύτητας) στο Λάδωνα ποταμό [27].

Image 1: Concrete Dam (gravity type) at the Ladon river [27].



Σχήμα 1: Σχηματική τομή φράγματος βαρύτητας (Krynine et.al,1957) [7].

Figure 1: Cross-section of a gravity dam (Krynine et.al, 1957) [7].

- **Αντηριδωτά φράγματα**

Τα αντηριδωτά φράγματα είναι ουσιαστικά κούφια φράγματα βαρύτητας που αποτελούνται από κεκλιμένες πλάκες (επίπεδες ή τοξωτές) από σκυρόδεμα, οι οποίες στηρίζονται στα δύο άκρα τους σε κατακόρυφες αντηρίδες, τοποθετημένες ανά 15 έως 35 m, οι οποίες μεταφέρουν με την σειρά τους τις δυνάμεις στο έδαφος. Βασικό πλεονέκτημα τους, είναι το γεγονός ότι απαιτούν περίπου 40% λιγότερο σκυρόδεμα από ένα αντίστοιχο συμπαγές φράγμα σκυροδέματος, ενώ μειονέκτημα είναι ότι απαιτούν σημαντικά υψηλότερο κόστος εργασίας.



Εικόνα 2: Φράγμα Stony George. Αντηριδωτό φράγμα [27].

Image 2: Stony George Dam [27].

- **Τοξωτά φράγματα**

Τα τοξωτά φράγματα κατασκευάζονται συνήθως σε στενές χαράδρες μικρού πλάτους των οποίων τα πλευρικά τοιχώματα αποτελούνται από άρρηκτο βράχο έτσι ώστε να μεταφέρονται με ασφάλεια σε αυτά οι οριζόντιες δυνάμεις που ασκούνται από το νερό στο φράγμα. Τα φράγματα αυτά έχουν σε κάτοψη τοξοειδή μορφή και λειτουργούν στατικά σαν αμφίπακτα τόξα.



Εικόνα 3: Φράγμα Ταυρωπού. Τοξωτό φράγμα [27].

Image 3: Tavrpos dam Arch dam [27].

β). ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

- **Χωμάτινα φράγματα βαρύτητας**

Χωμάτινα χαρακτηρίζονται τα φράγματα που κατασκευάζονται από γαιώδη υλικά. Η μορφή των φραγμάτων αυτών έχει τραπεζοειδή διατομή και στέψη διαμορφωμένη σε δρόμο. Ο τραπεζοειδής όγκος του φράγματος με το βάρος του ισορροπεί την υδροστατική πίεση των υδάτων. Έχουμε έτσι στατική λειτουργία παρόμοια με τα φράγματα βαρύτητας. Στο εσωτερικό της διατομής του φράγματος και κατά μήκος του άξονά του κατασκευάζεται ένα στρώμα αδιαπέρατο, αποτελούμενο από συμπυκνωμένη, υψηλής πλαστιμότητας άργιλο, που αποτελεί τον λεγόμενο πυρήνα της διατομής. Από τον πυρήνα και μέχρι ορισμένο βάθος

κατασκευάζεται διάφραγμα για την ανακοπή της υπόγειας ροής του νερού. Γύρω από τον πυρήνα τοποθετούνται υλικά όχι απαραίτητα αδιαπέρατα, που διαμορφώνουν το σώμα του φράγματος. Τα χωμάτινα φράγματα προτιμούνται από τα φράγματα από σκυρόδεμα γιατί δεν απαιτούν άριστη ποιότητα του εδάφους.



Εικόνα 4: Χωμάτινο φράγμα για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος [27].

Image 4: Earthen dam for electricity production [27].

- **Λιθόρριπτα φράγματα**

Ένα λιθόρριπτο φράγμα κατασκευάζεται ως ένα ανάχωμα με λίθους διαφόρων μεγεθών που εξασφαλίζουν την σταθερότητα της ανάντη αδιαπέρατης ζώνης. Στην ίδια κατηγορία κατατάσσονται και τα φράγματα με κεντρικό χωμάτινο αδιαπέρατο πυρήνα με την κύρια διαφορά ότι η κύρια μάζα της επιχωμάτωσης αποτελείται από λίθους. Οι λίθοι που απαρτίζουν το σώμα στήριξης του φράγματος πρέπει να έχουν γωνίες (ακανόνιστο σχήμα), δηλ. να προέρχονται από λατομείο. Στην ιδανική περίπτωση οι λίθοι πρέπει να είναι ομοιόμορφου μεγέθους και να μη περιέχονται χαλίκια ή λεπτότεροι κόκκοι γιατί τα υλικά αυτά θα υποχωρήσουν μεταξύ των λίθων μεγαλύτερου μεγέθους με αποτέλεσμα την αστάθεια όλης της κατασκευής. Συνήθως η λιθορριπή τοποθετείται κατά στρώσεις, κάθε μία πάχους της τάξεως του 1m, και κάθε μία συμπιέζεται με δονητή.



Εικόνα 5: Λιθόρριπτο φράγμα στην περιοχή Ραμπεντώσας με πλάκα επένδυσης από σκυρόδεμα (αντιπλημμυρικό φράγμα) [27].

Image 5: Rockfill dam in the area of Rapentosa with concrete lining (flood barrier) [27].

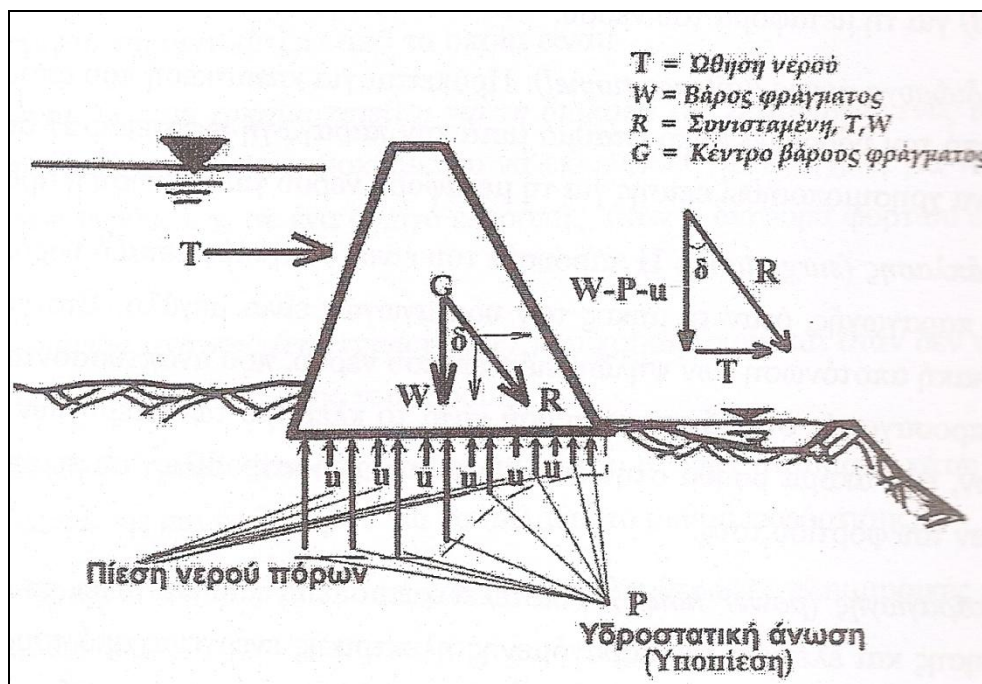
2.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Οι δυνάμεις που δρουν σε ένα φράγμα είναι οι ακόλουθες:

- **Το βάρος του σώματος του φράγματος (W)**, που δρα στο κέντρο βάρους του σώματος του φράγματος.
- **Οι ανυψωτικές δυνάμεις (u)**. Οι δυνάμεις αυτές (πίεση του νερού των πόρων) μειώνουν το βάρος του φράγματος, καθώς ενεργούν αντίθετα από αυτό στο βυθισμένο τμήμα του σώματος του φράγματος.
- **Οι υδροστατικές πιέσεις (P)**. Αυτές οι δυνάμεις είναι διαφορετικές λόγω διαφοράς του φορτίου. Έτσι, έχουν αυξημένη τιμή στο εσωτερικό τμήμα της βάσης του φράγματος (πτέρνα), που μειώνεται συνεχώς όσο προχωρούμε προς το εξωτερικό τμήμα της βάσης του φράγματος (πόδας του φράγματος).
- **Η ώθηση της μάζας του νερού (T)**, που αρχίζει να εφαρμόζεται μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα και προκύπτει από την πλευρική ώθηση της μάζας του νερού. Η χειρότερη περίπτωση από πλευράς αυτών των ωθήσεων είναι όταν ασκούνται με οριζόντια διεύθυνση.
- **Η συνισταμένη δύναμη (R)**. Η δύναμη αυτή θα πρέπει να έχει τέτοια κλίση που να την περιορίζει μέσα στη βάση του σώματος του φράγματος (η γωνία δ πρέπει να έχει μικρή τιμή). Σε αντίθετη περίπτωση η συνιστώσα της δύναμης αυτής

που ωθεί το φράγμα προς τα κατάντι θα είναι μεγάλη και συνεπώς το φράγμα θα οδηγηθεί σε αστοχία. Συνεπώς, το κύριο ζητούμενο είναι το διάνυσμα της δύναμης R να διατηρηθεί μέσα στη βάση του φράγματος με τον μικρότερο συντελεστή ασφαλείας.

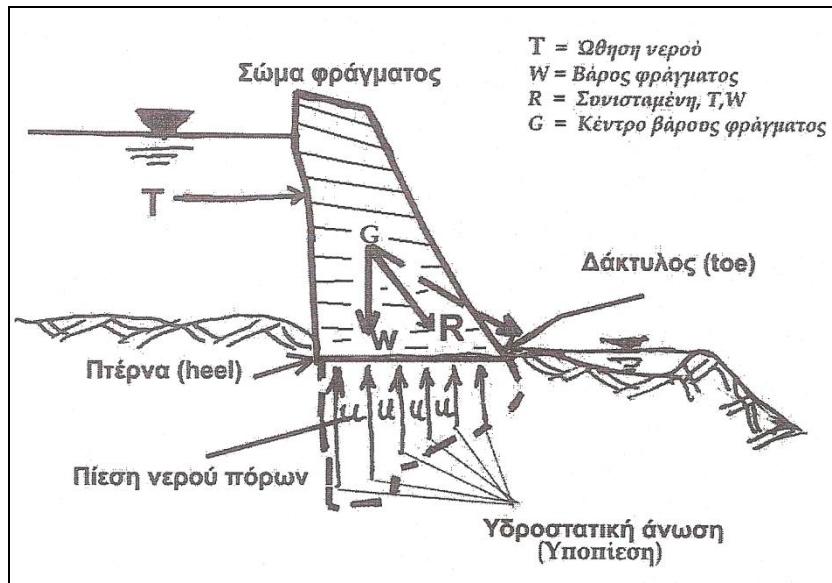
- **Η ροπή ανατροπής.** Η ροπή αυτή προκάλει την ολίσθηση του φράγματος προς τα κατάντι και προκύπτει από το φαινόμενο ανατροπής (ανύψωση στην πτέρνα και πίεση προς τα κάτω στο δάκτυλο του φράγματος) που είναι συνέπεια της μικρής κλίσης της διανύσματος της δύναμης R , δηλαδή της μεγάλης γωνίας δ .
- **Δυναμικές φορτίσεις.** Εκτός από τις στατικές φορτίσεις υπάρχουν και οι δυναμικές που επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό ενός τόσο σημαντικού έργου. Οι δυνάμεις αυτές προκύπτουν από δονήσεις, όπως π.χ. από το νερό του ταμιευτήρα, ή από σεισμική δράση.



Σχήμα 2: Απεικόνιση των δυνάμεων που δρουν σε ένα φράγμα [7].

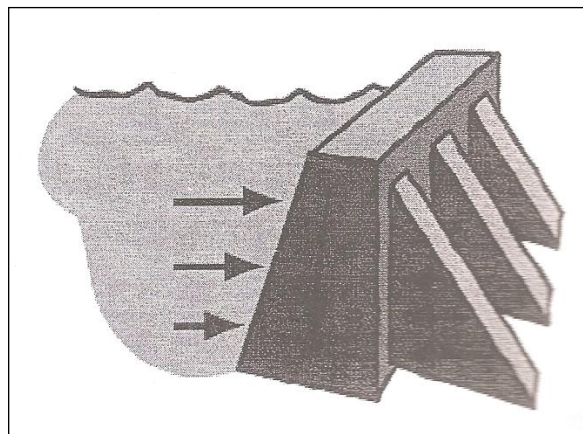
Figure 2: Representation of the forces acting on a dam [7].

Στα σχήματα παρουσιάζονται οι δυνάμεις που ασκούνται σε ορισμένους τύπους φραγμάτων.



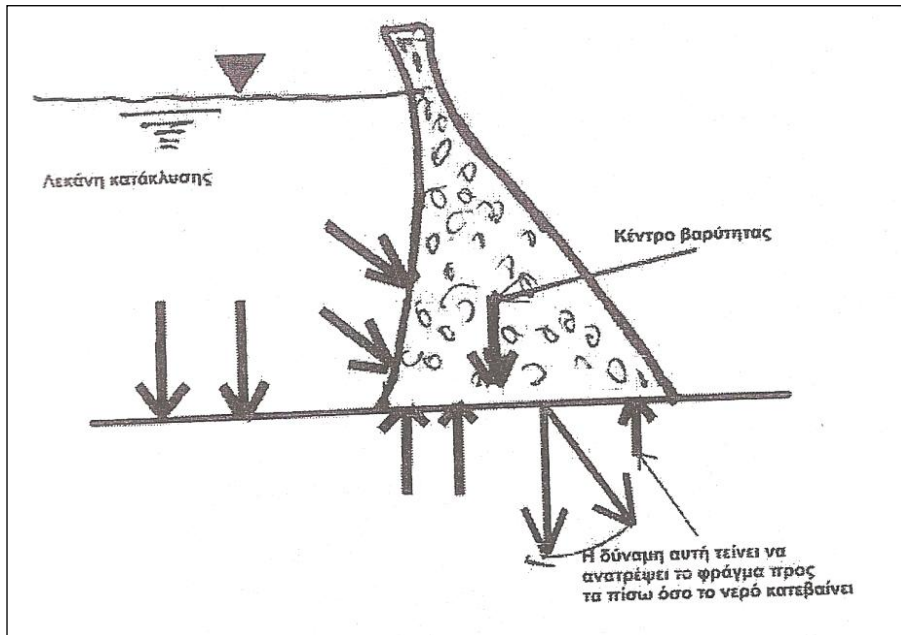
Σχήμα 3: Σχηματική απεικόνιση των δυνάμεων που σκούνται σε ένα φράγμα από σκυρόδεμα [7].

Figure 3: Representation of the forces acting on a concrete dam [7].



Σχήμα 4: Κατανομή δυνάμεων σε αντηριδωτό φράγμα [7].

Figure 4: Representation of the forces acting on a brace strut dam [7].



Σχήμα 5: Κατανομή φορτίων σε τοξωτά φράγματα [7].

Figure 5: Representation of the forces acting on an arcuate dam [7].

2.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τα φράγματα, μικρά και μεγάλα, εκτός από τη θετικότερη συμβολή τους στην διαχείριση του νερού υποκρύπτουν σημαντικές επιπτώσεις και κινδύνους οι οποίοι σχετίζονται με:

- **Υποτίμηση των παραμέτρων του περιβάλλοντος και υπερεκτίμηση των υδρολογικών εκτιμήσεων**, τόσο κατά το σχεδιασμό, όσο και κατά τη λειτουργία του έργου. Ως άμεσα αποτελέσματα εκτιμώνται αντίστοιχα, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος, άμεσα με τη λειτουργία του έργου ή και κατά την υπολειτουργία του εξαιτίας έλλειψης ικανής ποσότητας νερού. Σημειώνεται ότι ο μεγαλύτερος φόβος μια τέτοιας κατασκευής είναι το αν οι υδρολογικές εκτιμήσεις και υπολογισμοί είναι σωστοί.
- **Κατάκλιση, ολική ή μερική, οικισμών και γεωργικών εκτάσεων** μέσω «αναγκαστικής» ή με σύμφωνη γνώμη απαλλοτρίωσης.

- **Μετατροπή του φυσικού ποτάμιου συστήματος σε λιμναίο.** Θεωρείται μια από τις πιο σημαντικές και μάλιστα μόνιμες επιπτώσεις από την κατασκευή ενός φράγματος σε ένα ποταμό και τη δημιουργία τεχνητής λίμνης-ταμιευτήρα. Προφανώς ανάλογη μεταβολή υφίστανται οι συνθήκες ροής νερού όπου ανάντι του φράγματος έχουμε μεταβολή των ποτάμιων συνθηκών σε λιμναίες ενώ κατάντι έχουμε αναρρύθμιση παροχών, δηλαδή διακοπτόμενη ή και μηδενική ροή. Άμεση επίπτωση υπάρχει και στις συνθήκες μεταφοράς φερτών υλών καθώς η διακοπή της ροής του ποτάμιου συστήματος επιφέρει και τη διακοπή της τροφοδοσίας των κατάντη εκτάσεων με φερτές ύλες ή τη μειωμένη απόθεση φερτών λόγω της πιθανής ύπαρξης παραποτάμων. Αντίθετα παρουσιάζεται συγκράτηση, απόθεση φερτών στον ταμιευτήρα, ανάντι του φράγματος.
- **Αλλαγές στη χλωρίδα και στην πανίδα της περιοχής.** Αν μη τι άλλο επέρχονται αλλαγές στις συνθήκες διαβίωσης της υδρόβιας πανίδας ενώ επηρεάζονται και οι συνθήκες ανάπτυξης, κυρίως, της υδρόβιας χλωρίδας. Επιπτώσεις υπάρχουν ακόμη στη χερσαία πανίδα ενώ αναστρέψιμες θεωρούνται οι μεταβολές που επέρχονται στη χερσαία βλάστηση της περιοχής λόγω της αποψίλωσης και εκχέρσωσης, της κοπής και εκρίζωσης δένδρων και θάμνων. Ακόμη σημαντικό πρόβλημα θεωρείται η αλλοίωση του φυσικού τοπίου και η καταστροφή της φυσικής ομορφιάς του περιβάλλοντος λόγω της ύπαρξης ογκώδων οικοδομημάτων.
- **Τοπικές κλιματολογικές αλλαγές,** με χαρακτηριστικά παραδείγματα την αύξηση της υγρασίας στην περιοχή λόγω της αυξημένης εξάτμισης στην επιφάνεια της λίμνης και την έκλυση αερίων, διοξειδίου του άνθρακα ή και μεθάνιο από τη σήψη οργανικών υλών στους ταμιευτήρες.
- **Αυξημένη, λόγω υψηλού υδραυλικού φορτίου, διήθηση νερού στα πετρώματα που προκαλεί μακροπρόθεσμα τη διάβρωση τους.** Ο εμπλουτισμός του υπόγειου ορίζοντα με νερό & με υλικά, σε διάλυμα ή σε αιώρηση, οι επιπτώσεις στον υπόγειο υδροφόρο και σε πηγές καθώς και η πιθανή διάλυση ορυκτών όπως το ορυκτό αλάτι, ο αμίαντος είναι στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν.

- **Αυξημένο κίνδυνο τοπικών σεισμών**, αφού επιβαρύνεται με επιπλέον φορτία ο φλοιός της γης. Υπάρχουν ενδείξεις «πυροδότησης» σεισμών μετά την πλήρωση ταμιευτήρων, όπως π.χ. συνέβη μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα του φράγματος των Κρεμαστών.

Τα φράγματα έχουν να προσφέρουν αναμφίβολα πολλά. Αυτό που χρειάζεται για να εξασφαλιστεί η ισορροπία, είναι να γίνονται προσεκτικές μελέτες πριν την κατασκευή οποιουδήποτε φράγματος ανάλογα πάντα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή. Με αυτόν τον τρόπο θα αποφευχθούν κάποια από τα πιθανά προβλήματα, που μπορεί να αποβούν μοιραία στο μέλλον.

Κεφάλαιο 3^ο

Το φράγμα Ταυρωπού

3 ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΑΥΡΩΠΟΥ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το φράγμα Ταυρωπού κατασκευάστηκε από τη ΔΕΗ (1955-1960) και αποτέλεσε το μεγαλύτερο έργο της τότε εποχής για το Νομό Καρδίτσας αλλά και για ολόκληρη την Ελλάδα. Βρίσκεται στη θέση του άλλοτε οροπεδίου της Νεβρόπολης ,συνδέοντας τα βουνά Ίταμο και Νιάλα, 25 χιλιόμετρα δυτικά της Καρδίτσας και ανήκει διοικητικά στον δήμο Ιτάμου.

Λέγεται ότι την ιδέα κατασκευής του φράγματος συνέλαβε το 1925 ο Στρατηγός Νικόλαος Πλαστήρας λόγω των καταστροφικών πλημμύρων που είχαν σημειωθεί στην περιοχή καθώς και στη Μακεδονία από συνεχείς βροχοπτώσεις. Έπειτα από μακρές διαπραγματεύσεις η εκτέλεση του έργου ανατέθηκε στη Γαλλική εταιρεία OMNIUM LYONNAIS- COTECI (OL-CO) , με σύμβαση που υπογράφηκε το 1955. Η εταιρεία αυτή άλλαξε τη μελέτη που είχε προηγηθεί από τη εταιρεία KNAPPEN και αντί για χωμάτινο φράγμα προκρίθηκε η κατασκευή φράγματος από οπλισμένο σκυρόδεμα στην αρχικά επιλεγμένη θέση «Κακαβάκια». Τον έλεγχο και την επίβλεψη του έργου είχε η ΔΕΗ , με τεχνικό Σύμβουλο την εταιρεία EBASCO.

Το έργο σε ποσοστό 40% χρηματοδοτήθηκε από τις Γαλλικές πιστώσεις. Στις 14 Δεκεμβρίου 1955 έγινε η θεμελίωση του έργου από τον τότε Πρωθυπουργό της Ελλάδας Κων/νο Καραμανλή. Στις 30 Οκτωβρίου 1960 ολοκληρώθηκε η κατασκευή του έργου, το συνολικό κόστος του οποίου έφθασε τα 30 εκατ. δολάρια. Σήμερα τη διαχείριση του φράγματος έχει αναλάβει η ΔΕΗ.

Η τεχνική λίμνη του Μέγδοβα ή Ταυρωπού , που επίσημα πήρε το όνομα του εμπνευστή της και ήδη είναι γνωστή στο πανελλήνιο, ως λίμνη Νικ. Πλαστήρα άλλαξε ριζικά το τοπίο και της ορεινής αλλά και της πεδινής ζώνης του Νομού Καρδίτσας. Το σκεπτικό της κατασκευής της ήταν η συμβολή της στον εξηλεκτρισμό της χώρας και η άρδευση μεγάλου μέρους του Θεσσαλικού κάμπου.

Οι παραπάνω στόχοι όχι μόνο επιτεύχθηκαν, αλλά και υπερκεράστηκαν, αφού από τα νερά της λίμνης αρδεύεται σχεδόν ο μισός κάμπος του Ν. Καρδίτσας και μεγάλο μέρος της Λαρισινής πεδιάδας, αλλά και υδρεύονται οι πόλεις της Καρδίτσας, των Σοφάδων και 35 ακόμα κοινότητες.

Η κατασκευή της Λίμνης Πλαστήρα συνέβαλε καθοριστικά στην ανάπτυξη του τουρισμού και κατ' επέκταση στην αναβάθμιση της ορεινής ζώνης του νομού. Τα γραφικά χωριά η τουριστική υποδομή που δημιουργήθηκε , τα μνημεία και η ιστορία, η πλούσια βλάστηση με τα πανύψηλα έλατα, τα πλατάνια και τις βελανιδιές στις βουνοκορφές καθώς και η πλούσια ιχθυοπανίδα με την ορεινή πέστροφα, την πλατίτσα, τον κορέγγο, την πέρκα, τα χέλια και τα γριβάρια έχουν αναγάγει τη λίμνη Πλαστήρα σε πόλο έλξης Ελλήνων και ξένων επισκεπτών , όλη τη διάρκεια του χρόνου.

3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ο νομός Καρδίτσας στον οποίο ανήκει η περιοχή μελέτης, βρίσκεται στην επαφή μεταξύ υποπελαγονικής και της ζώνης Ολονού Πίνδου και αποτελούν την δυτική ζώνη των οφειολίθων της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα πιστεύεται ότι οι δύο ζώνες αντιπροσωπεύουν μια παλιά ωκεάνια περιοχή με ιζήματα αβυσσικά -πετρολογικά και η υποπελαγονική αποτελούσε το χώρο της κατωφέρειας της πελαγονικής προς τον ωκεανό. Έτσι στην περιοχή έχουμε την πλήρη ανάπτυξη της οφειολιθικής ακολουθίας και τα ασβεστολιθικά (νηριτικά ή πελαγικά) ιζήματα ενώ πάνω σε αυτά επικάθεται ο φλύσχης που είναι και το τελευταίο ίζημα της αλπικής ορογένεσης που έπληξε τον ελληνικό χώρο.

Πιο ειδικά το νοτιοδυτικό τμήμα του νομού, που αφορά και στην περιοχή του φράγματος Ταυρωπού και καταλαμβάνει το 50,4% της έκτασης, απαρτίζεται από την οροσειρά της Πίνδου και τις απολήξεις της. Η έντονη φύση του αναγλύφου της οφείλεται στις τριτογενείς αλπικές πτυχώσεις των σχηματισμών που καταλαμβάνουν τους παλαιογεωγραφικούς χώρους της ζώνης της Πίνδου και της ενότητας της Δυτικής Θεσσαλίας. Οι πτυχώσεις αυτές μαζί με τα λοιπά τεκτονικά γεγονότα που ακολούθησαν είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία των οροσειρών που στην περιοχή έχουν κυρίως βόρεια έως βορειοδυτική κατεύθυνση.

Στην περιοχή υπάρχουν μικρά κοιτάσματα χρωμίτη τα οποία φιλοξενούνται σε περιδοτιτεδουνίτες, σερπεντινίτες και τα οποία είναι μη εκμεταλλεύσιμα με τα σημερινά δεδομένα. Επίσης στην περιοχή συναντώνται μικρά μη εκμεταλλεύσιμα

κοιτάσματα μαγγανίου τα οποία φιλοξενούνται μέσα σε διαβάσεις και δολερίτες. Στο δυτικό ορεινό τμήμα επικρατούν οι ασβεστόλιθοι και οι ραδιολαρίτες. Τέλος είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι στην περιοχή επικρατεί εφελκυστικό πεδίο τάσεων με αποτέλεσμα την δημιουργία και εμφάνιση κανονικών ρηγμάτων με κατεύθυνση κυρίως ΒΔ -ΝΑ τα οποία είναι μικρά και μικρού εστιακού βάθους και τα οποία εμφανίζουν μικρή συσσώρευση ενέργειας και σεισμούς οι οποίοι συνήθως δεν ξεπερνούν τα 5 R. Τα σημαντικότερα ρήγματα της περιοχής είναι αυτό του Μουζακίου και αυτό των Σοφάδων τα οποία στο παρελθόν έχουν δώσει σεισμούς έως και 5,5 R.

3.3 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη απορροής του φράγματος υπάγεται διοικητικά στο νομό Καρδίτσας, προέρχεται υδρολογικά από τη λεκάνη του Αχελώου (Ταυρωπός ή Μέγδοβας).

Τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής είναι:

- Έκταση: 167 km²
- Μέγιστο υψόμετρο: +2140m
- Μέσο υψόμετρο: +1459 m
- Ελάχιστο υψόμετρο: +800 m
- Μέση παροχή: 6,4 m³/sec

Η λίμνη-ταμιευτήρας σχηματίστηκε όταν τα νερά του ποταμού Μέγδοβα κατέκλυσαν το οροπέδιο, με την ολοκλήρωση της κατασκευής του φράγματος.

Τα χαρακτηριστικά της λίμνης - ταμιευτήρα είναι:

- Συνολικός όγκος - Χωρητικότητα: 400 x 10⁶ m³
- Ωφέλιμος όγκος: 300 x 10⁶ m³
- Συνολική επιφάνεια: 25,20 km²
- Μέγιστο μήκος: 12 km
- Μέγιστο πλάτος: 4 km

- Μέγιστο βάθος: 60 m
- Ανώτατο υψόμετρο πυθμένα: 750 m
- Ανώτατη στάθμη: 792 m
- Κατώτατη στάθμη: 776,00 m.

3.4 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ (ΥΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ)

Η λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού είναι με λίγα λόγια η εξής:

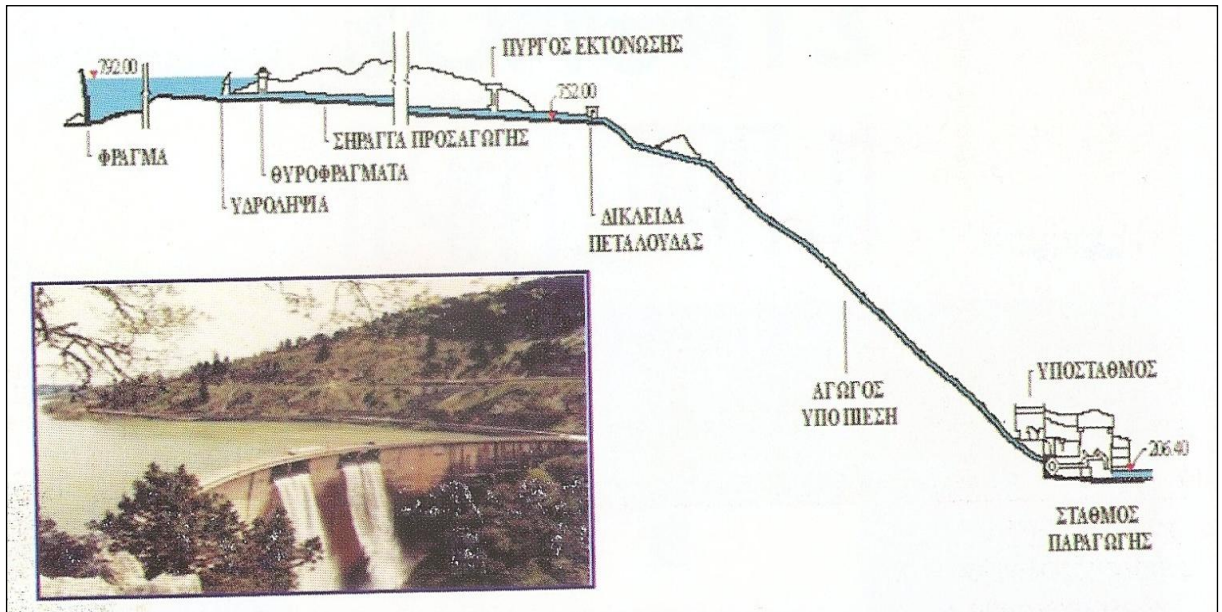
Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Πλαστήρα διαθέτει σύστημα υδροληψίας, παροχής 26,40 m³/sec, που αποτελείται από 2 θύρες υδροληψίας, 2 σχάρες σκουπιδιών και 2 συρταρωτά θυροφράγματα διατάσεων 2,80 X 3,50 m.

Τα νερά της λίμνης, από την υδροληψία, με μια υπόγεια σήραγγα μήκους 3.750 m και σε βάθος 40 m, οδηγούνται στον αγωγό καταπτώσεως που έχει μήκος 3.500 m.

Το νερό του αγωγού καταλήγει στο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο ισχύος 400 MW στο χωριό Μητρόπολη, στην περιοχή του Μοσχάτου πέφτοντας από ύψος 575 m.

Εκεί μέσω ρυθμιστικών βαλβίδων το νερό πέφτει πάνω στους υδροστρόβιλους και τους αναγκάζει σε περιστροφική κίνηση. Οι στρόβιλοι είναι συνδεδεμένοι με τη γεννήτρια η οποία μετατρέπει την κινητική τους ενέργεια σε ηλεκτρική. Ο σταθμός παραγωγής είναι υπαίθριος και διαθέτει 3 γεννήτριες ίδιας ισχύος κάθε μια από τις οποίες είναι συνδεδεμένη με 2 υδροστρόβιλους, τύπου PELTON με 2 ακροφύσια, τοποθετημένους εκατέρωθεν αυτής. Στρόβιλοι και γεννήτρια είναι συνδεδεμένα πάνω στον ίδιο άξονα και σε οριζόντια διάταξη. Η γεννήτρια ισχύος 43,3 MW περιστρέφεται με ταχύτητα 500 στρ/λεπτό παράγοντας ρεύμα συχνότητας 50 Hz και τάσεως 15KV.

Το παραγόμενο ρεύμα μετασχηματίζεται σε 150KV μεταφέρεται στον υποσταθμό και από εκεί διοχετεύεται στις γραμμές μεταφοράς και διασυνδεδεμένου δικτύου της Δ.Ε.Η.



Εικόνα 6: ΥΗΣ Ταυρωπου [11].

Image 6: Tavrpos hydroelectric station [11].

3.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΑΥΡΩΠΟΥ

3.5.1 Γενικά – Σώμα Φράγματος

Το φράγμα Ταυρωπού θεμελιώθηκε σε στρώμα συμπαγών ασβεστόλιθων λίγο διαπερατών σε βάθος 4-5 m κάτω από την κοίτη του ποταμού. Κατασκευάστηκαν διαφραγματικές κουρτίνες σε βάθος 40 m και 24 m αντίστοιχα. Για το σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκαν αδρανή της περιοχής. Τσιμέντο με 10% πρόσμιξη θηραϊκής γης στο κλίνκερ και σε ποσότητα 250 kg/m³. Χρησιμοποιήθηκε αερακτικό FRO-8. Σε προκαταρκτική μελέτη στο ΕΜΠ επιτεύχθηκαν εκείνη την εποχή αντοχές της τάξεως των 300-400 kg/cm² με απαιτούμενη αντοχή γύρω στα 250 kg/cm².

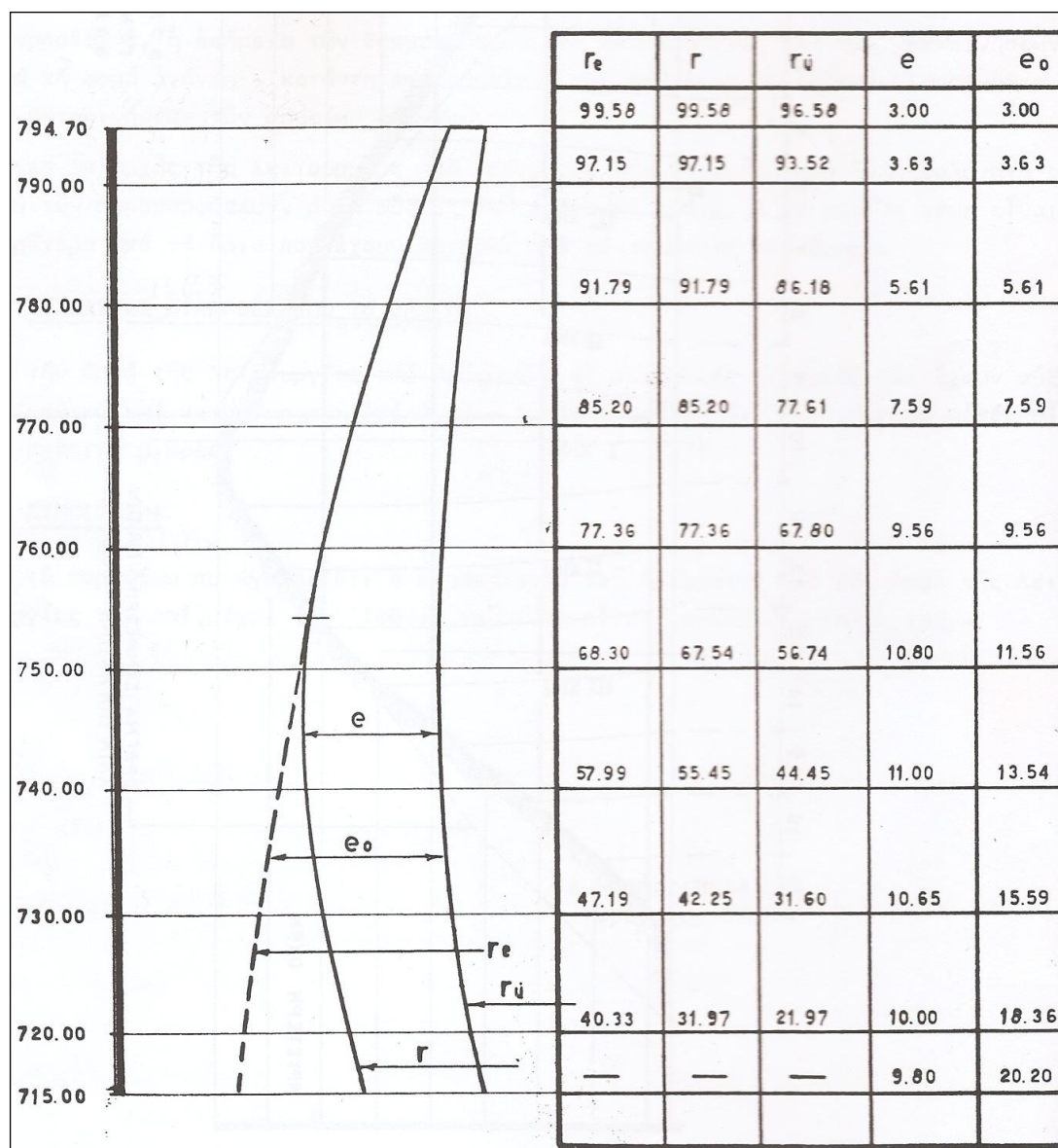
Το φράγμα του Ταυρωπού είναι το μοναδικό τοξωτό φράγμα με διπλή καμπυλότητα στην Ελλάδα. Είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα και βρίσκεται σε υψόμετρο 795 m περίπου από τη μέση στάθμη της θάλασσας (μ.σ.θ.). Η στέψη του είναι καμπυλωτό τόξο, μήκους 220.00 m (Υψομ. 795,20 m). Το ύψος του φράγματος είναι 83 m, το πλάτος στη βάση 19 m ενώ στην κορυφή 3,50 m. Ο όγκος του φράγματος υπολογίζεται να είναι 100 x 103 m³.

Από στατικής άποψης είναι δυνατό να θεωρηθεί ότι το φράγμα αποτελείται από δύο μέρη:

A). Πραγματικός θόλος

B). Πρόσθετη ζώνη σκυροδέματος, ανάντι του φράγματος, που χρησιμεύει ως αντισεισμικό έρεισμα

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα πάχη, e , του φράγματος στα διάφορα



υψόμετρα.

Σχήμα 6: Πάχη φράγματος στα διάφορα υψόμετρα [11].

Figure 6: Dam's thickness at different levels [11].

Όπου:

e: τα πάχη του κυρίως θόλου του φράγματος.

e_i: τα πάχη αυτού συμπεριλαμβανομένου και του αντισεισμικού ερείσματος.

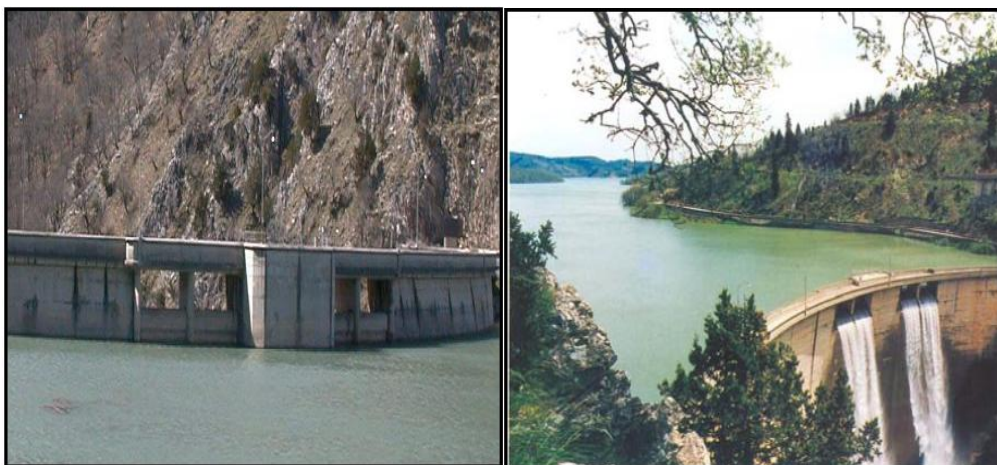
Ο κυρίως θόλος υφίσταται ουσιαστικά το ίδιο βάρος, την υδροστατική πίεση, τις πρόσθετες επιβαρύνσεις λόγω θερμοκρασίας και σεισμικών δονήσεων.

Η ζώνη του σκυροδέματος, κατασκευασμένη προς τα ανάντη του φράγματος (αντισεισμικό έρεισμα) διακόπτεται από οριζόντιους αρμούς, μη υποβληθέντες σε τσιμεντενέσεις και με δυνατότητα να διαχωριστούν κατά την παραμόρφωση του λεπτού ενεργού θόλου. Κύριος σκοπός της ζώνης αυτής είναι η εξασφάλιση της σταθερότητας των μη ενσφηνωθέντων τμημάτων των τόξων, κατά τη διάρκεια της κατασκευής, σε περίπτωση σεισμικών δονήσεων με κατεύθυνση προς τα κατάντη (ανατροπή προς τα ανάντη).

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά μέρη του φράγματος.

3.5.2 Οι Υπερχειλιστές

Το φράγμα Ταυρωπού είναι το μοναδικό στην Ελλάδα το οποίο διαθέτει ανοικτούς υπερχειλιστές ελεύθερης πτώσης.



Εικόνα 7: Οι δύο υπερχειλιστές ανάντη και κατάντη (σε λειτουργία) [14].

Image 7: The two spillways - upstream and downstream view (running) [14].

Οι υπερχειλιστές του αποτελούνται από δύο ζεύγη ελευθέρων στομιών περίπου στο μέσο της στέψης, σε υψόμετρο +792 m, που οδηγούν το νερό στον κατάντη πόδα του φράγματος ύστερα από πτώση 70 m. Κάθε ανοικτό στόμιο έχει διαστάσεις 3.50 × 2.50 m. Συνολικά, το άνοιγμα των υπερχειλιστών είναι 14.00 × 2.50 m ενώ η μέγιστη παροχή τους φθάνει τα 460 m³/s στην ανώτατη στάθμη της λίμνης (+794.30 m). Ο συγκεκριμένος τύπος υπερχειλιστή είναι ο ιδανικός για τοξωτό φράγμα καθώς δεν αποτελεί ξεχωριστό έργο ενώ μειώνει τις δαπάνες κατασκευής του στο ελάχιστο.

Η κινητική ενέργεια του νερού υποβαθμίζεται σε πρώτο στάδιο κατά τη διάρκεια της πτώσης και σε δεύτερο στάδιο κατά την πρόσκρουση του νερού στον πόδα του φράγματος, όπου κατάλληλα διαμορφωμένη διώρυγα με ενισχυμένο σκυρόδεμα και κλίση προς τα κατάντη οδηγεί το νερό στην παλαιά κοίτη του ποταμού.

Η ρύθμιση της στάθμης του ταμιευτήρα γίνεται και με τη βοήθεια της σήραγγας προσαγωγής η οποία παρέχει 26.40 m³/s όταν λειτουργεί ο σταθμός. Αυτό σημαίνει ότι η υπερχείλιση από το φράγμα μπορεί να υποβοηθηθεί και από ένα έργο το οποίο έχει άλλη λειτουργία και συνολικά ανέρχεται στα 486.40 m³/s. Η εμπειρία από τη λειτουργία του έργου έδειξε ότι αφενός η ρυθμιστική ικανότητα του ταμιευτήρα και αφετέρου η προληπτική ταπείνωση της στάθμης του σε περίπτωση πλημμύρας από τον αγωγό προσαγωγής, δημιουργούν συνθήκες που κάνουν σπάνια την υπερχείλιση από τα ελεύθερα στόμια.

Παρά τη σπανιότητα του φαινομένου, λόγω του μεγάλου ύψους πτώσης (70 m περίπου) το έργο υποβάθμισης ενέργειας στον κατάντη πόδα του φράγματος φθείρεται έντονα κατά τη λειτουργία του υπερχειλιστή αφού το νερό της πλημμύρας συμπαρασύρει στερεά αντικείμενα, τα οποία ορισμένες φορές πέφτουν πάνω στο σκυρόδεμα στη βάση του φράγματος και το τραυματίζουν. Η ίδια η δύναμη του νερού άλλωστε προκαλεί αρκετές ζημιές στο σκυρόδεμα. Για να αποφευχθεί μεγάλης έκτασης ζημιά που θα έχει ως αποτέλεσμα δαπανηρή επισκευή, το σημείο στο οποίο καταλήγει το νερό ελέγχεται σε ετήσια βάση και συμπληρώνεται με νέες στρώσεις σκυροδέματος, ενώ γίνεται επιδιόρθωση παλαιότερων φθορών όποτε χρειάζεται.

Ωστόσο ένα φράγμα με τόσο μικρό όγκο σκυροδέματος θα ήταν δυνατόν εκτός από αναπάντεχα και απρόβλεπτα φυσικά φαινόμενα, να καταστραφεί και από ανθρώπινη δραστηριότητα, π.χ. από έκρηξη στο κέντρο της ανάντη πλευράς. Για να αποφευχθούν οι καταστροφές, έστω και την τελευταία στιγμή, στο έργο προστέθηκαν δύο ακόμα κατασκευές ασφαλείας, οι εκκενωτές πυθμένα και η διάταξη ανατίναξης της φραγής στη σήραγγα εκτροπής.

3.5.3 Οι Εκκενωτές Πυθμένα

Οι εκκενωτές πυθμένα αποτελούνται από δύο δίδυμους αγωγούς εσωτερικής διαμέτρου 2.20 m ο καθένας. Στην ανάντη πλευρά η είσοδος των αγωγών είναι κατασκευασμένη με ειδικές εσχάρες από σκυρόδεμα οι οποίες εμποδίζουν τη διέλευση μεγάλων αντικειμένων όπως κορμοί δέντρων και κατακρημνίσματα τα οποία θα μπορούσαν να τους φράξουν. Αμέσως μετά την εισόδο, ένα κατακόρυφο θυρόφραγμα μπορεί να απομονώσει τον αγωγό για επισκευές και συντήρηση (Σχ.7,2). Ο χειρισμός αυτού του θυροφράγματος ελέγχεται από δωμάτιο στο μέσο του φράγματος και σε υψόμετρο +789.95 m.

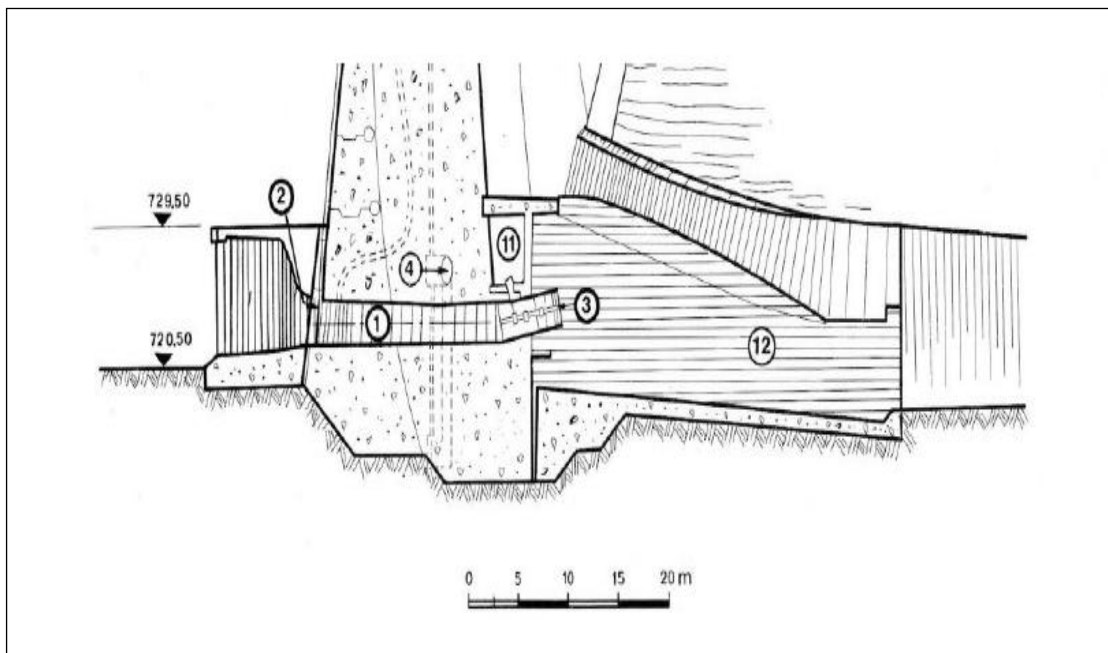
Το έργο εξόδου του κάθε εκκενωτή είναι και το πιο ενδιαφέρον. Πρόκειται για μία βαλβίδα κοίλης φλέβας (Σχ.7,3) σχεδιασμένη έτσι ώστε να αποτονώνει την ενέργεια του νερού διασπείροντας τη ροή. Οι εκκενωτές ανοίγουν με ένα μηχανικό σύστημα από δύο ηλεκτρικούς κινητήρες συνδεδεμένους σε σειρά, που μετακινούν προς τα πίσω το κυλινδρικό κάλυμμα της βαλβίδας επιτρέποντας έτσι τη ροή του νερού.

Οι δύο εκκενωτές μπορούν να ανοίξουν και χειροκίνητα. Ελέγχονται από δωμάτιο στο οποίο έχει τοποθετηθεί και ο υδραυλικός μηχανισμός ανοίγματος των βαλβίδων τους, το οποίο βρίσκεται στη χαμηλότερη προσβάσιμη στοά στο σώμα του φράγματος σε υψόμετρο +725 m. (Σχ.7.4,11). Αυτός ο σχεδιασμός είναι από τη φύση του προβληματικός καθώς σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και ενώ το έργο κινδυνεύει, η πρόσβαση σε ένα τόσο χαμηλό και δύσκολο σημείο είναι εξαιρετικά επικίνδυνη. Ο σχεδιασμός κάθε εκκενωτή απαιτεί τη λειτουργία του σε τακτά χρονικά διαστήματα έτσι ώστε να απομακρύνονται τα φερτά που καθιζάνουν στην είσοδό του.



Εικόνα 8: Οι δύο εκκενωτές, από κανάντη[14].

Image 8: The two bottom evacuators –downstream view [14].



Σχήμα 7: Κατά μήκος τομή των εκκενωτών πυθμένα στη βάση του φράγματος Ταυρωπού [14].

Figure 7: Longitudinal section of the Tavrōpos dam bottom evacuators [14].

1.Εκκενωτής πυθμένα, 2.Ανάντη θυρόφραγμα, 3.Βαλβίδα κοίλης φλέβας, 4. Στοά πρόσβασης, 11. Δωμάτιο χειρισμού, 12. Διώρυγα από σκυρόδεμα.

Να σημειωθεί ότι η διάταξη που παρουσιάζεται στο σχέδιο, προστατεύεται από ειδικά κατασκευασμένο τοίχο (Σχ.7,12), με θύρα για την πρόσβαση των συνεργείων συντήρησης.

3.5.3 Η Σήραγγα Εκτροπής

Η σήραγγα εκτροπής μήκους 145 m και εσωτερικής διαμέτρου 5.26 m είναι επενδυμένη με σκυρόδεμα ενώ το τελευταίο τμήμα της (μήκους περίπου 60 m) είναι σκαμμένο σε βράχο χωρίς επένδυση.

Περίπου 10 m πριν το τέλος του σκυροδέματος (70 m από το τέλος της σήραγγας) τοποθετήθηκε το 1959 ειδικό μεταλλικό πώμα έτσι ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία πλήρωσης του ταμιευτήρα. Το μεταλλικό πώμα προστατεύεται με δύο μεταλλικές θύρες.

Η σήραγγα εκτροπής στο φράγμα του Ταυρωπού έχει - εξαιτίας της κακής κατάστασης των εκκενωτών - σημαντικό πλέον ρόλο για τη λειτουργία του έργου. Σε περίπτωση που απαιτηθεί το άμεσο άδειασμα του ταμιευτήρα και αφού η πιθανότητα να μη λειτουργήσουν οι εκκενωτές είναι μεγάλη, έχει καταστρωθεί ειδικό σχέδιο ανατίναξης του πώματος με το οποίο έχει φραγεί η εκτροπή με την τοποθέτηση εκρηκτικών στις ειδικές εσοχές που διαθέτει στην επιφάνειά του. Προφανώς μετά την ανατίναξη της φραγής αυτής, το νερό δεν μπορεί να σταματήσει παρά μόνο όταν ο ταμιευτήρας αδειάσει.

Η ίδια η σήραγγα διατηρείται σε άριστη κατάσταση με μόνο ορισμένες μικρές κατακρημνίσεις βράχων από την οροφή της, χωρίς όμως καμία επικίνδυνη συνέπεια. Σε αντίθεση με τον εκκενωτή, η εκτροπή δεν διαθέτει έργο καταστροφής ενέργειας κατάντη, ακριβώς γιατί δεν έχει σχεδιαστεί να λειτουργήσει παρά μόνο ως έκτακτη λύση.

Κεφάλαιο 4^ο

Η αναγκαιότητα της παρακολούθησης παραμορφώσεων φραγμάτων

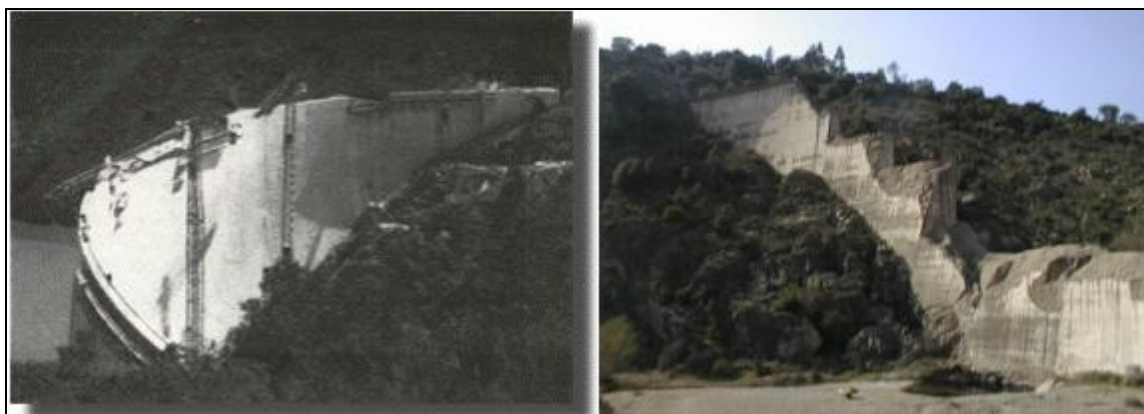
4 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Είναι γεγονός ότι τα μεγάλα σε μέγεθος και έκταση τεχνικά και βιομηχανικά έργα έχουν ειδικές απαιτήσεις χάραξης στη φάση της κατασκευής, αλλά και παρακολούθησης της συμπεριφοράς τους κατά τη φάση λειτουργίας τους. Στα φράγματα, όπως και σε κάθε είδους έργα υποδομής οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες μετακινήσεις μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα, έως και αστοχία αυτών.

Όσο πλήρης και αν είναι η μελέτη ενός φράγματος και όσο καλή και αν είναι η κατασκευή του, η διακινδύνευση δε μπορεί να μηδενιστεί. Ένα φράγμα μπορεί να έχει μικρή πιθανότητα να αστοχήσει, αλλά ταυτόχρονα να αποτελεί μεγάλο κίνδυνο σε περίπτωση κατάρρευσης, ιδίως όταν κατοικεί μεγάλος αριθμός ανθρώπων στη ζώνη κατάκλισης. Εφόσον όλα τα φράγματα έχουν μια διακινδύνευση, οσοδήποτε μικρή και αν είναι αυτή, αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή, τη δημόσια και ιδιωτική περιουσία.

Είναι αρκετές οι περιπτώσεις αστοχίας χωμάτινων φραγμάτων που έχουν συμβεί στο παρελθόν. Οι αστοχίες των φραγμάτων από σκυρόδεμα είναι σημαντικά λιγότερες από αυτές των χωμάτινων φραγμάτων. Η γνωστότερη στους Ευρωπαίους καταστροφή φράγματος από σκυρόδεμα είναι αυτή του Malpasset στη Γαλλία. Παρότι η θέση του φράγματος είχε θεωρηθεί από ορισμένους ως ακατάλληλη, η αρμόδια υπηρεσία, βασισμένη σε γεωλογικές και υδρολογικές μελέτες ενέκρινε την κατασκευή του. Κατόντη του φράγματος παρατηρήθηκαν ρηγματώσεις οι οποίες δεν διερευνήθηκαν. Δύο εβδομάδες από τον εντοπισμό των ρηγματώσεων, στις 2 Δεκεμβρίου 1959, το φράγμα κατέρρευσε προκαλώντας το θάνατο 500 ανθρώπων.



Εικόνα 9: Το φράγμα Malpasset πριν (1959) και μετά την καταστροφή του (2000) [23].

Image 9: The Malpasset dam before (1959) and after its disaster (2000) [23].

Αποδεικνύεται έτσι η αναγκαιότητα της συστηματικής παρακολούθησης παραμορφώσεων φραγμάτων με την εφαρμογή γεωδαιτικών και μη γεωδαιτικών μεθόδων υψηλής ακρίβειας.

4.2 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

4.2.1 Γεωτεχνικές Μέθοδοι και Όργανα

Οι γεωτεχνικές μέθοδοι χρησιμοποιούν γεωτεχνικές οργανομετρήσεις προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την κινηματική συμπεριφορά του εδάφους ή γενικά γεωτεχνικών κατασκευών.

Ορισμένα γεωτεχνικά όργανα και μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Το **πιεζόμετρο** για τη μέτρηση της πίεσης του νερού.
2. Το **κλισιόμετρο** για την καταγραφή των κλίσεων.
3. Το **κλινόμετρο** για τη μέτρηση των στροφών μιας κατασκευής.
4. Το **μηκυνσιόμετρο** για την άμεση μέτρηση των μεταβολών του μήκους μεταξύ δύο σημείων, στα οποία αγκυρώνεται.

Οι κυριότερες παράμετροι που μετρώνται με τέτοιου είδους όργανα είναι οι μετακινήσεις των σημείων ελέγχου, η πίεση του νερού στη θεμελίωση, οι διαρροές στη θεμελίωση και στα αντιρείσματα και η παρουσία ρωγμών.

4.2.2 Ανίχνευση Μετακινήσεων με Σύρματα από Χάλυβα και Εκκρεμή

1. Η **ευθυγράμμιση με οριζόντια σύρματα από χάλυβα** που επιτρέπει την ανίχνευση οριζόντιων μετακινήσεων στις σήραγγες, και αν είναι η μόνη επιλογή, στην στέψη των φραγμάτων από σκυρόδεμα.

2. Τα **εκκρεμή**. Οι κυριότερες παράμετροι που μετρώνται με τέτοιου είδους όργανα είναι οι μετακινήσεις των σημείων ελέγχου, η πίεση του νερού στη θεμελίωση, οι διαρροές στη θεμελίωση και στα αντερείσματα και η παρουσία ρωγμών.

Μια βασική μέθοδος παρακολούθησης οριζόντιων μετατοπίσεων φραγμάτων ως προς τη βάση τους είναι μέσω της εγκατάστασης σε κατακόρυφα τμήματα του φράγματος, εκκρεμών αριθμού ανάλογου με το μήκος της στέψης.

Συνήθως το κάθε εκκρεμές αποτελείται από ένα νήμα από ανοξείδωτο χάλυβα, ένα βαρύδιο τάσης, μία συσκευή εξάρτησης του νήματος και ένα δοχείο απόσβεσης των ταλαντώσεων.

Τα σημεία εξάρτησης των εκκρεμών εκλέγονται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη στάθμη της στέψης ενώ τα κατώτατα άκρα όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη βάση του φράγματος. Τα νήματα διέρχονται από κατακόρυφους σωλήνες εντοιχισμένους στο σωμα του φράγματος, διαμέτρου 30-40 cm ενώ μόνο τα άκρα του εκκρεμούς και τα γειτονικά τμήματα των σταθμών ανάγνωσης είναι προσιτά.

Σταθμοί ανάγνωσης τοποθετούνται στη στάθμη των οριζόντιων στοών που διατρέχουν το σώμα του φράγματος σε διάφορα ύψη. Τα κατώτατα άκρα των εκκρεμών, που βρίσκονται κάτω από τη στάθμη της χαμηλότερης στοάς επισκέψεως καταλήγουν σε φρεάτια διαμέτρου 1 m ώστε να δίνεται η δυνατότητα να λαμβάνεται μέτρηση στα κατώτατα άκρα των εκκρεμών. Εκεί τα βαρύδια τάσης είναι εμβαπτισμένα σε δοχείο με υγρό (νερό, έλαιο, ή γλυκερίνη) για την απόσβεση των ταλαντώσεων.

Τα όργανα μετρήσεων είναι τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν τον προσδιορισμό των μετατοπίσεων σε δύο διευθύνσεις (συνήθως κατά τη διεύθυνση ανάντη-κατάντη και κατά την κάθετη στην πρώτη διεύθυνση) ενώ χρησιμοποιείται μια συσκευή ανάγνωσης που μεταφέρεται από σταθμό σε σταθμό ανάγνωσης όπου τοποθετείται κατάλληλα. Η διάταξη των εκκρεμών πρέπει να

είναι τέτοια ώστε σε περίπτωση που χρειαστεί αντικατάσταση ενός νήματος να τοποθετείται ακριβώς στην ίδια με την προηγούμενη θέση.

Οι μετρήσεις των παραμορφώσεων του φράγματος με τη χρήση εκκρεμών, άρα και την τοποθέτηση αυτών, πρέπει να αρχίσουν πριν την αποπεράτωση της κατασκευής του και να συνεχίζονται πάντα σε ίσα χρονικά διαστήματα. Παράλληλα με τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα, του νερού και του σκυροδέματος είναι δυνατός ο έλεγχος της συμπεριφοράς του φράγματος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

4.2.3 Εγκατάσταση Δικτύου Αισθητήρων με Οπτικές Ίνες

Μια άλλη σύγχρονη μέθοδος είναι με την εγκατάσταση κατάλληλου δικτύου αισθητήρων με οπτικές ίνες με δύο πιθανές περιπτώσεις.

Η πρώτη περίπτωση είναι η εγκατάσταση ενός εκτεταμένου, με χωρικές οπτικές ίνες, δικτύου αισθητήρων για την ανίχνευση της σχετικής παραμόρφωσης ενός ολόκληρου φράγματος, κέλυφος. Θεωρητική μελέτη έχει αξιολογηθεί στη βάση των τυπικών καταστάσεων φόρτωσης στο φράγμα σκυροδεμάτος Schiffenen, κοντά σε Fribourg (Ελβετία).

Η δεύτερη περίπτωση αφορά στην εγκατάσταση δύο μακρινών αισθητήρων οπτικών ινών (30 m και 40 m) αγκυρωμένους σε βράχο για να παρακολουθεί την μετατόπιση του φράγματος σε σχέση με το υπέδαφός του. Αυτοί οι αισθητήρες έχουν εγκατασταθεί στο φράγμα Emosson.

4.3 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Η διαχρονική παρακολούθηση των παραμορφώσεων και ο έλεγχος της κινηματικής συμπεριφοράς ενός φράγματος αποτελεί ένα από τα πεδία εφαρμογής της γεωδαισίας. Οι γεωδαιτικές μέθοδοι για την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς φραγμάτων διακρίνονται σε επίγειες και δορυφορικές.

4.3.1 Επίγειες Μέθοδοι

Όσον αφορά στις επίγειες μεθόδους μπορεί να γίνει:

α). Ίδρυση Γεωδαιτικών Δικτύων Ελέγχου στο σώμα του φράγματος και στην ευρύτερη περιοχή.

Κορυφές του γεωδαιτικού δικτύου αποτελούν τα **σημεία ελέγχου**, σημεία πάνω στην κατασκευή, η κινηματική συμπεριφορά της οποίας ελέγχεται καθώς και τα **σημεία αναφοράς**, σημεία που ιδρύονται εκτός της κατασκευής, σε σταθερές θέσεις.

Σε ότι αφορά στα **επίγεια γεωδαιτικά δίκτυα**, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή της θέσης των κορυφών ώστε να βρίσκονται σε χαρακτηριστικές – κατάλληλες θέσεις που να εξασφαλίζουν την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς των φραγμάτων και της ευρύτερης περιοχής τους.

Συνήθως στις μελέτες παραμορφώσεων ο έλεγχος κατά την κατακόρυφη και την οριζόντια έννοια γίνεται ξεχωριστά. Υπάρχουν δηλαδή:

- **Τα δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου** που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς ενός φράγματος σε κατακόρυφη μόνο διεύθυνση (ανύψωση ή καθίζηση).
- **Τα δίκτυα οριζοντίου ελέγχου**, χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς ενός φράγματος στις δύο διαστάσεις. Η σήμανση των κορυφών γίνεται με ειδικές κατασκευές που εξασφαλίζουν κυρίως μονιμότητα και σταθερότητα στο χώρο και το χρόνο. Μετρώνται μήκη, οριζόντιες γωνίες ή διευθύνσεις και κατακόρυφες γωνίες μεταξύ των σημείων. Προσδιορίζονται οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου και οι αβεβαιότητές τους για κάθε φάση μέτρησης, με τη μέθοδο μεταβολής συντεταγμένων της Μ.Ε.Τ.. Η επίλυση γίνεται συνήθως σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς θεωρώντας τις ίδιες ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις και αρχικές συνθήκες. Ακολουθεί ο υπολογισμός της μεταβολής της θέσης των κορυφών του δικτύου και ο στατιστικός έλεγχος της απόλυτης και σχετικής μεταβολής της θέσης τους, για επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Τέλος δίνεται η δυνατότητα **αυτόματης παρακολούθησης δικτύου στόχων** (ή ανακλαστήρων) στο σώμα του φράγματος, με τη χρήση ρομποτικών γεωδαιτικών σταθμών που παρέχουν δυνατότητα προγραμματισμού ώστε να

ανιχνεύουν και να μετρούν συγκεκριμένους στόχους σε τακτά χρονικά διαστήματα, που είτε ορίζονται εκ των προτέρων είτε ελέγχονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή από το γραφείο.



Εικόνα 10: Δίκτυο στόχων στο σώμα φράγματος [17].

Image 10: Network's control points on the dam's body [17].

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

β). Σάρωση της επιφάνειας του φράγματος με εικονο-γεωδαιτικούς σταθμούς ή σαρωτές (laser scanner).

Υπό έλεγχο είναι η δυνατότητα ανίχνευσης μετακινήσεων σε φράγματα μέσω **σάρωσης της επιφάνειας του φράγματος.**

Σάρωση μπορεί να γίνει με **εικονο-γεωδαιτικούς σταθμούς** που μετρούν μήκη χωρίς ανακλαστήρα με ακρίβεια που σήμερα φθάνει τα $\pm 2\text{mm}$, ορίζοντας συγκεκριμένο βήμα (σε οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση) καθώς και με τους σύγχρονους **σαρωτές** (laser scanner) όπου η ακρίβεια μέτρησης είναι της τάξης των μερικών mm.

Έτσι μπορεί να δημιουργηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο της επιφάνειάς του για κάθε διαφορετική χρονική στιγμή με στόχο τη διερεύνηση της κινηματικής συμπεριφοράς του φράγματος από διάφορες αιτίες.

4.3.2 Δορυφορικές Μέθοδοι

Με τη χρήση δεκτών GPS, προσδιορίζονται τα διανύσματα στο χώρο, μεταξύ των κορυφών του τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου χωρίς να είναι απαραίτητη η αμοιβαία ορατότητα μεταξύ τους.

Η σήμανση των σημείων αυτών μπορεί να γίνει με κατασκευές αντίστοιχες με τα επίγεια δίκτυα. Οι κορυφές που επιλέγονται πρέπει να βρίσκονται σε χώρο με ανοικτό οριζόντα γύρω τους και μακριά από φυσικά εμπόδια, τεχνητές και μεταλλικές κατασκευές.

Προσδιορίζονται, μετά από επίλυση κάθε φάσης μέτρησης, οι μεταβολές της θέσης των κορυφών του με ακρίβεια της τάξης των μερικών mm.

Κεφάλαιο 5^ο

Παρακολούθηση παραμορφώσεων του φράγματος Ταυρωπού

5 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΑΥΡΩΠΟΥ

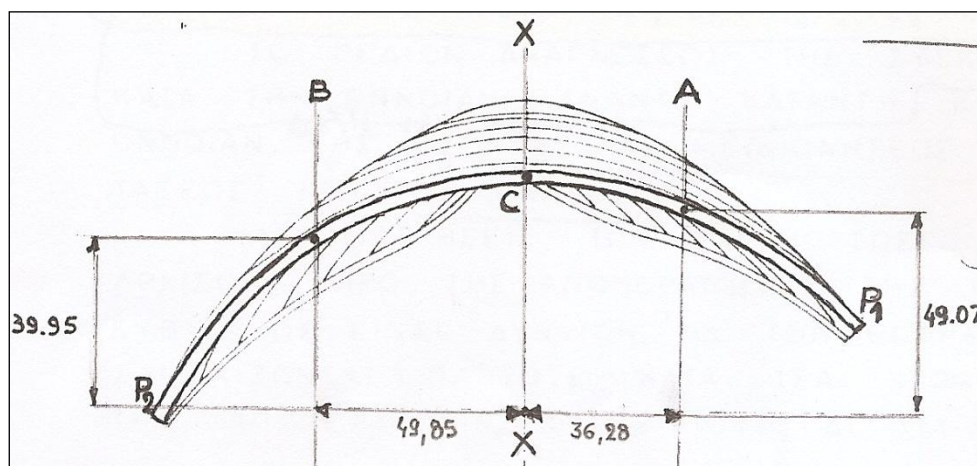
Οι παραμορφώσεις του φράγματος Ταυρωπού προσδιορίζονται από ειδικευμένο προσωπικό της ΔΕΗ που έχει την ευθύνη της λειτουργίας του:

1. Οριζόντιες μετακινήσεις με τη χρήση εκκρεμών κάθε μήνα.
2. Κατακόρυφες μετακινήσεις με τη μέθοδο της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης ανά εξάμηνο.

5.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΚΚΡΕΜΩΝ

5.1.1 Θέσεις Εκκρεμών και Θαλάμων Μετρήσεων

Στο φράγμα Ταυρωπού έχουν εγκατασταθεί τρία εκκρεμή (A, B, C) σε τμήματα του σώματός του. Το κεντρικό εκκρεμές φέρει το γράμμα C και δια μέσου αυτού διέρχεται ο άξονας X-X του φράγματος, ενώ τα A και B βρίσκονται αντίστοιχα δεξιά και αριστερά του άξονα, στο μέσο περίπου του διαστήματος CP1 – CP2 (Σχ.7).



Σχήμα 8: Θέση εκκρεμών A, B, C [11].

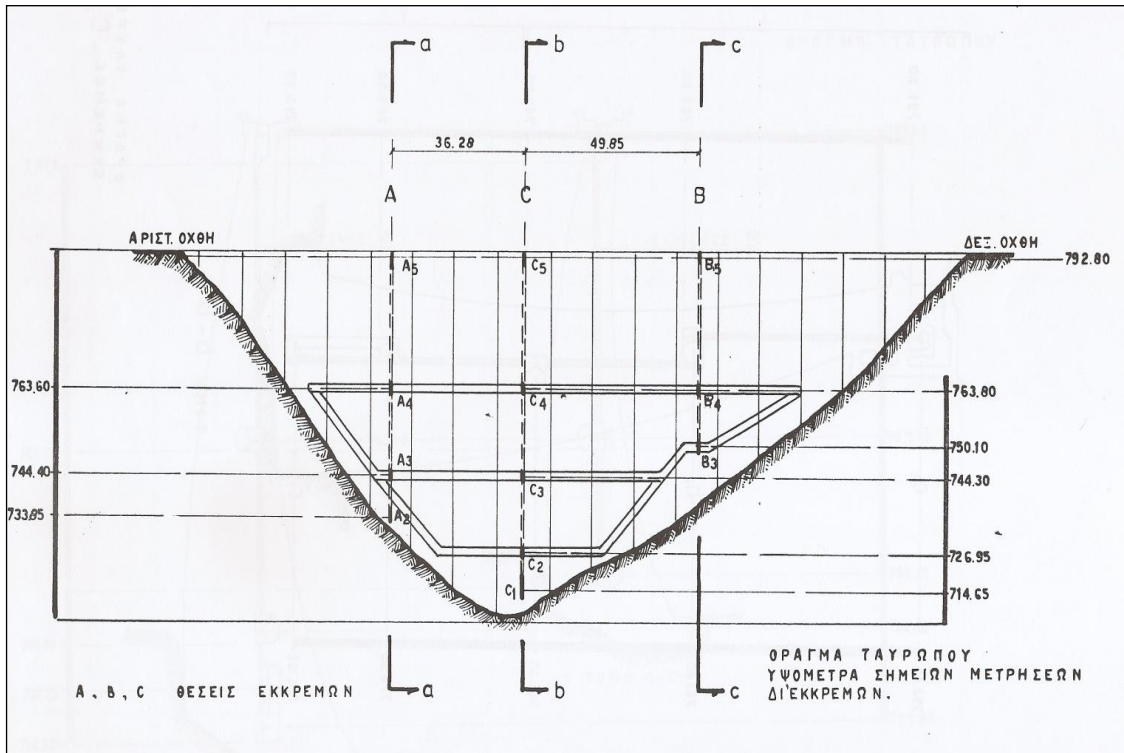
Figure 8: Position of pendulums A, B, C [11].

Τα εκκρεμή έχουν εξαρτηθεί από τους θαλάμους που βρίσκονται κοντά στη στέψη του φράγματος (A5, B5, C5) μέσω ειδικών συσκευών εξάρτησης.

Το κεντρικό εκκρεμές C χωρίζεται σε δύο καθ' ύψος τμήματα C5-C4 (μήκος νήματος εκκρεμούς 34 m) και C4-C1 (μήκος νήματος εκκρεμούς 50 m) , λόγω της κλίσης του φράγματος προς τα κατόντη κατά τον άξονα X – X. Το τμήμα C4-C1, έχει εξαρτηθεί από πρόσθετη συσκευή εξαρτήσεως στο θάλαμο C4.

Συνολικά οι θάλαμοι μετρήσεων ανέρχονται στους 9. Για τα εκκρεμή A και B χαρακτηρίζονται με τους κωδικούς A4, A3, A2, B4, B3 ενώ τα νήματα των εκκρεμών έχουν μήκος 62m και 40m αντίστοιχα. Για το εκκρεμές C οι θάλαμοι μέτρησης χαρακτηρίζονται C4, C3, C2 ενώ στο κατώτατο τμήμα του C1, το οποίο βρίσκεται κάτω από τη στάθμη της χαμηλότερης στοάς επίσκεψης έχει κατασκευαστεί φρεάτιο διαμέτρου 1m μέσα στο οποίο έχει τοποθετηθεί επιπλέον θάλαμος μετρήσεων (Σχήμα 8).

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται οι στοές επίσκεψης, οι θέσεις και τα υψόμετρα των σημείων εξάρτησης και μετρήσεων των τριών εκκρεμών, ενώ στην εικόνα 11 φαίνεται τμήμα της στοάς που συνδέει τους θαλάμους μέτρησης.

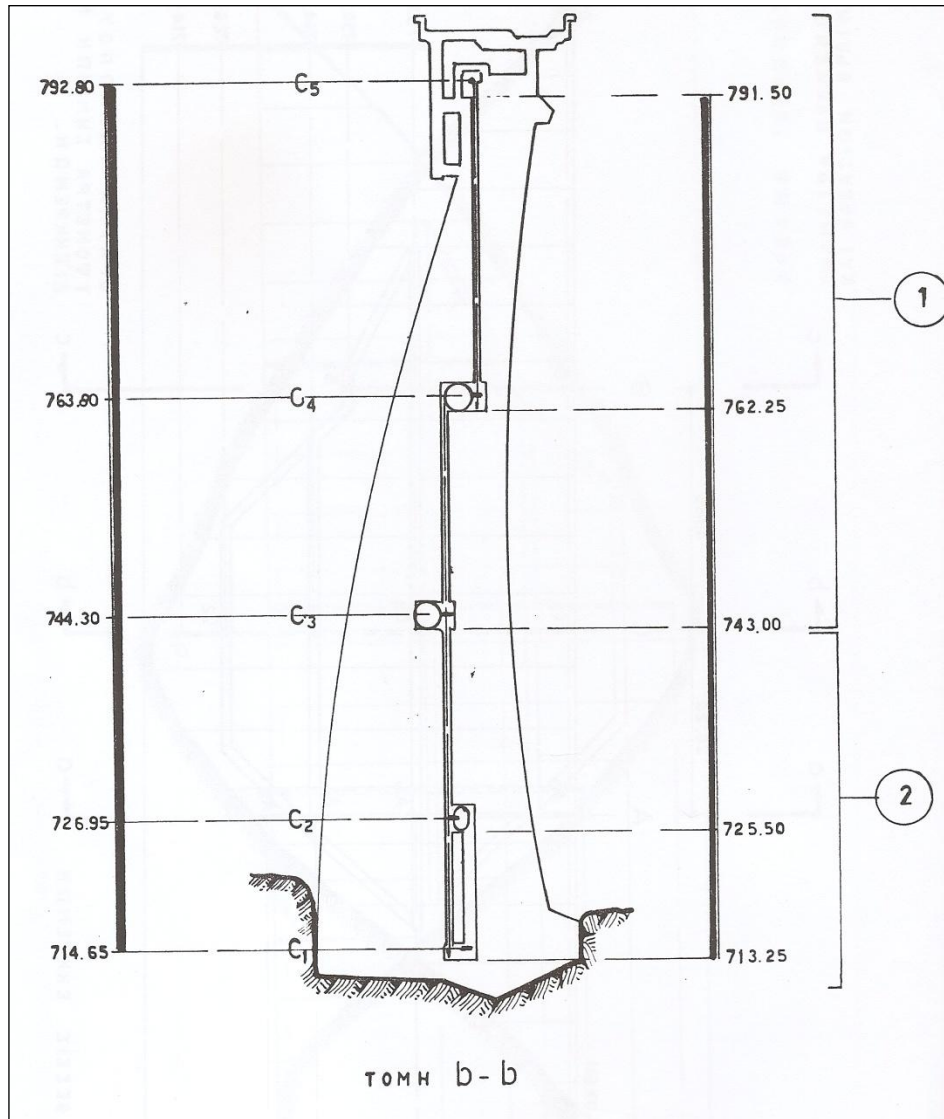


Σχήμα 9: Θέσεις και τα υψόμετρα των σημείων εξάρτησης και μετρήσεων [11].

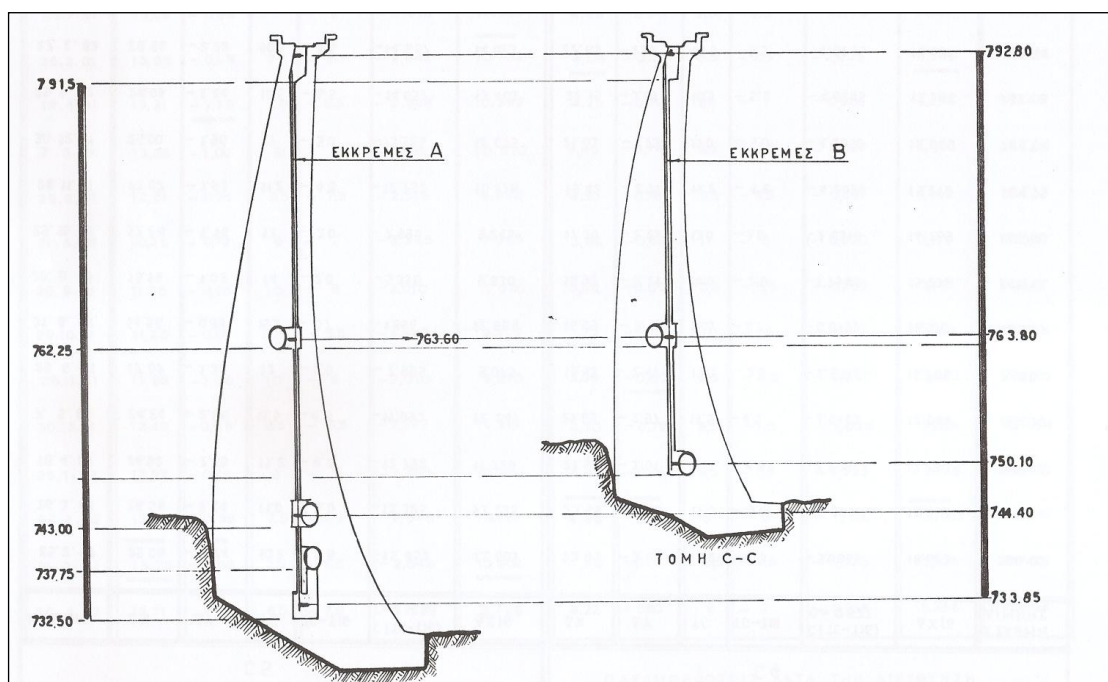
Figure 9: The positions of the suspension and measurement points [11].



Εικόνα 11: Στοά για μετρήσεις εκκρεμών.
Image 11: Gallery for pendulums measurements.



Σχήμα 10: Τομή – Εκκρεμές C [11].
 Figure 10: Cross-section - Pendulum C [11].



Σχήμα 11: Τομή –Εκκρεμή Α – Β [11].

Figure 11: Cross-section – Pendulums A & B [11].

5.1.2 Μετρήσεις

Για τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων του φράγματος πραγματοποιούνται μετρήσεις στα εκκρεμή, στους θαλάμους μέτρησης, από ειδικευμένο προσωπικό της ΔΕΗ. Χρησιμοποιώντας ειδική συσκευή αναγνώσεων (Εικόνα 12, Σχήμα 11) προσδιορίζεται η θέση του κάθε εκκρεμούς κατά τις διευθύνσεις Χ-Χ και την κάθετη σε αυτή Υ-Υ (Σχήμα 8). Από τις αναγνώσεις αυτές μετά από κατάλληλους υπολογισμούς προσδιορίζονται οι παραμορφώσεις του φράγματος στις θέσεις των θαλάμων μέτρησης, με ακρίβεια της τάξης $\pm 0,01\text{mm}$.

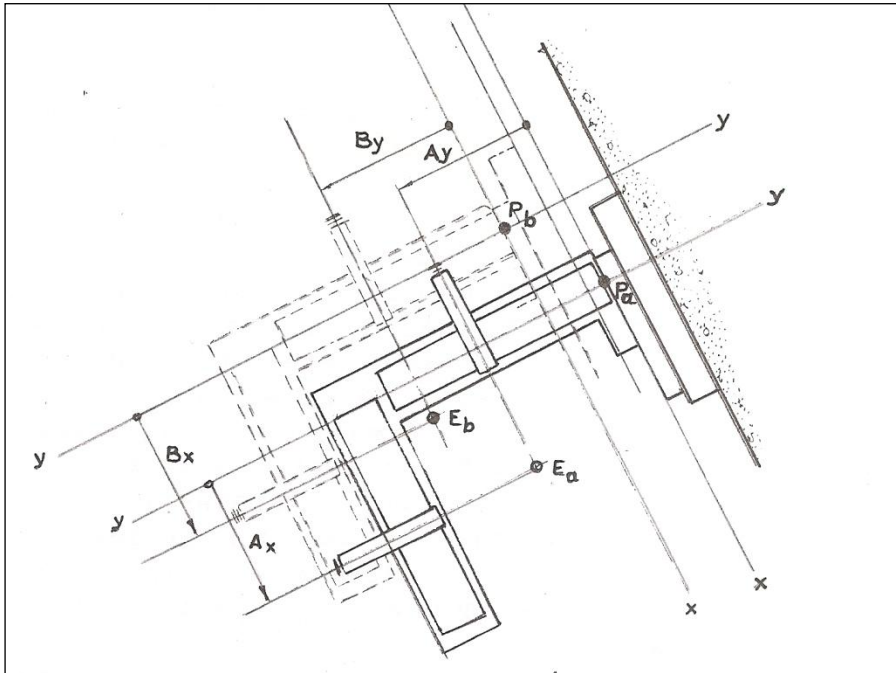
Όπως έχει αναφερθεί οι μετρήσεις των παραμορφώσεων του φράγματος με τη χρήση εκκρεμών, πρέπει να αρχίσουν πριν την αποπεράτωση της κατασκευής του και να συνεχίζονται σε ίσα χρονικά διαστήματα. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις στο εκκρεμές C ξεκίνησαν την 02-10-1959, ενώ στα εκκρεμή Α, Β την 27-10-1959. Με βάση το αρχείο της ΔΕΗ, οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε 2 ημέρες και για 2 μήνες από την πρώτη μέτρηση (02-10-1959 έως 04-12-1959). Στη συνέχεια οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε 5-7 ημέρες για διάστημα 1,5 χρόνου περίπου (04-11-1959 έως 31-08-1961). Έκτοτε οι μετρήσεις πραγματοποιούνται μία φορά το

μήνα. Σημειώνεται ότι κάθε φορά που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις στα εκκρεμή λαμβάνονται και μετρήσεις θερμοκρασίας καθώς εκτιμάται ότι η θερμοκρασιακή μεταβολή παίζει σημαντικό ρόλο στις παραμορφώσεις που υφίσταται το φράγμα.



Εικόνα 12: Συσκευή αναγνώσεων στα εκκρεμή.

Image 12: Pendulums reading device.



Σχήμα 12: Μετρήσεις με συσκευή αναγνώσεων στα εκκρεμή [11].

Figure12: Measurements with the pendulums reading device [11].

Η θέση του μηδενός του οργάνου (P_a , P_b) κατά τις χρονικές στιγμές t_1 , t_2 σε έναν οποιονδήποτε θάλαμο μετρήσεων είναι εκείνη που μας ενδιαφέρει δεδομένου ότι η αλλαγή της θέσεως του μηδενός του οργάνου από P_a τη χρονική στιγμή t_1 σε P_b τη χρονική στιγμή t_2 θα είναι και η μετακίνηση του φράγματος σε αυτή τη θέση και για το χρονικό διάστημα $\Delta t = t_2 - t_1$.

5.1.3 Υπολογισμοί Οριζόντιων Μετακινήσεων μέσω των Εκκρεμών

Οι μετατοπίσεις του φράγματος υπολογίζονται κατά την διεύθυνση του άξονα του φράγματος (X-X) και σε διεύθυνση κάθετα σε αυτόν (Y-Y) και χαρακτηρίζονται με τα στοιχεία δ_x και δ_y αντίστοιχα.

Για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων του φράγματος πρέπει να έχουμε υπόψιν ότι:

- Οι παραμορφώσεις, οι υπολογιζόμενες με τη χρήση εκκρεμών, είναι σχετικές προς τη βάση του φράγματος και συγκεκριμένα σχετικές προς τα σημεία των κατώτατων θαλάμων μετρήσεων των εκκρεμών A_2 , B_3 , C_1 (Σχήμα 8).

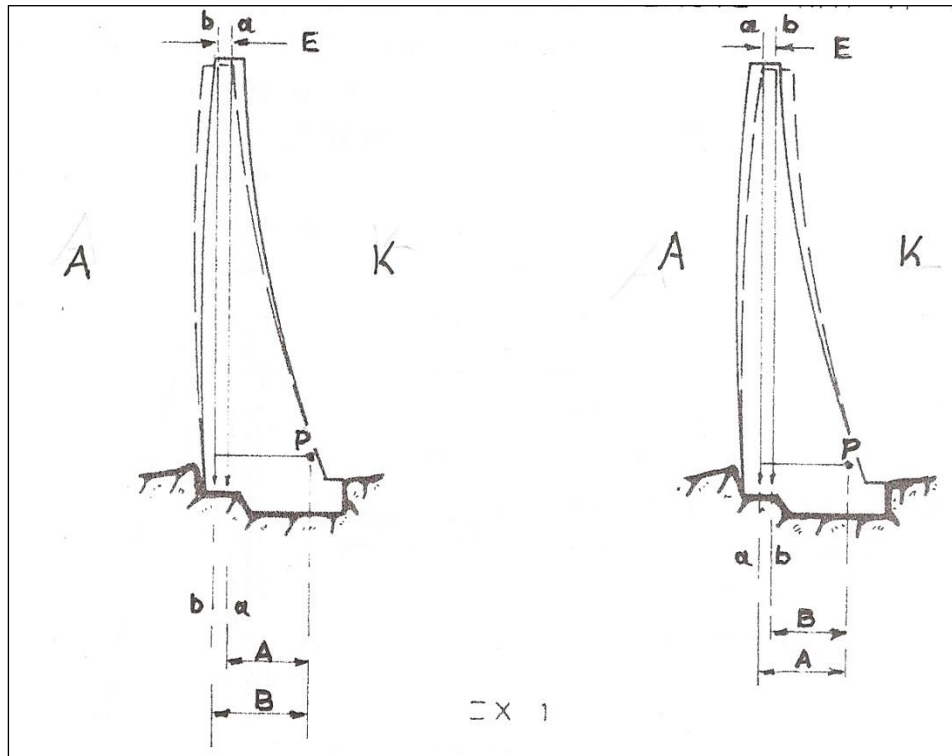
- Υπολογίζονται τόσες μετατοπίσεις, όσες και οι θέσεις των θαλάμων στο φράγμα.
- Κάθε φορά γίνονται μετρήσεις σε όλους τους θαλάμους.
- Οι άξονες $(X-X)_{\text{ΟΡΓ}}$ και $(Y-Y)_{\text{ΟΡΓ}}$ του οργάνου μέτρησης ως προς τους οποίους γίνονται οι μετρήσεις πρέπει σε όλους τους θαλάμους του κάθε εκκρεμούς να είναι παράλληλοι μεταξύ τους. Στην αντίθετη περίπτωση πρέπει να γίνει αναγωγή των μετρήσεων στο ίδιο σύστημα αξόνων.

1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΣ ΤΩΝ ΕΚΚΡΕΜΩΝ

Οι μετακινήσεις στα σημεία ανάρτησης των εκκρεμών είναι σχετικές ως προς τη βάση του φράγματος και ειδικότερα είναι σχετικές ως προς τα σημεία των κατώτατων θαλάμων μετρήσεων των εκκρεμών. Αν α-α η αρχική θέση ενός εκκρεμούς και Α η αρχική μέτρηση στον κατώτατο θάλαμο μετρήσεων τη χρονική στιγμή τα, μετά από χρονικό διάστημα Δt η νέα θέση αυτού του εκκρεμούς θα είναι b-b και η μέτρηση Β. Επομένως η οριζόντια μετακίνηση του φράγματος στο σημείο ανάρτησης θα είναι:

$$E = A - B \quad (1)$$

Αν $A > B$, τότε $E > 0$ και το φράγμα θα έχει μετακινηθεί προς τα κατόντη, ενώ στην αντίθετη περίπτωση $E < 0$ το φράγμα έχει μετακινηθεί προς τα ανάντη (Σχήμα 13).



Σχήμα 13: Μετακινήσεις στα σημεία ανάρτησης των εκκρεμών [11].

Figure 13: Movements at suspension points of the pendulums [11].

2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

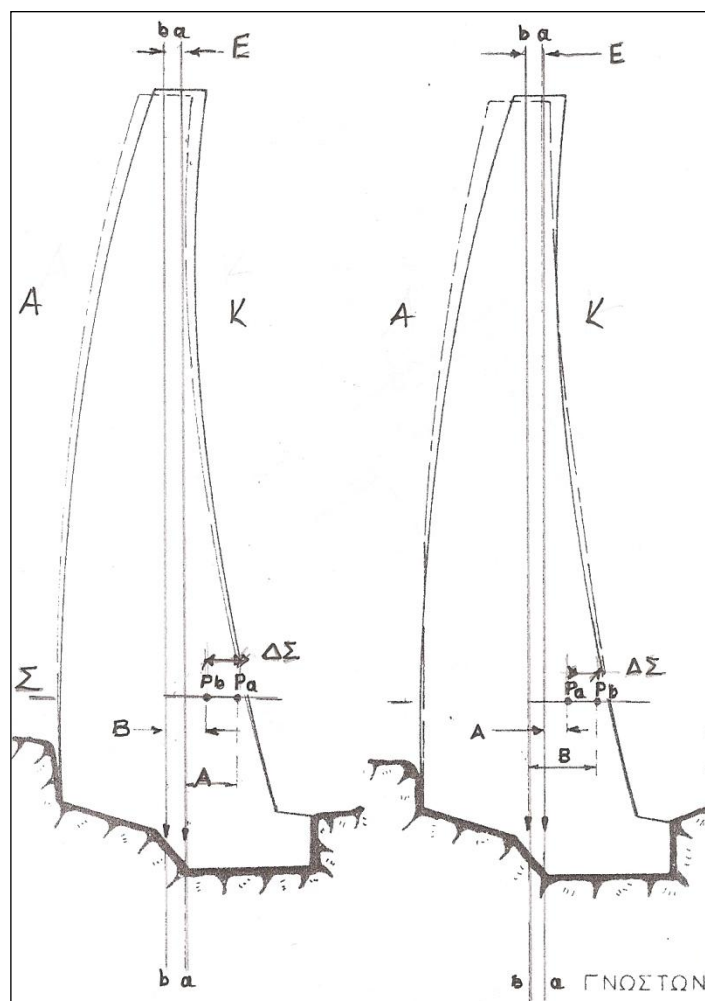
Στους ενδιάμεσους σταθμούς μετρήσεων υπάρχει η ιδιαιτερότητα ότι μετά την παρέλευση χρόνου t τόσο το εκκρεμές όσο και η θέση του μηδενός του οργάνου θα έχουν μετακινηθεί. Για το λόγο αυτό εκτός από τις μετρήσεις (αρχική και μετά από χρόνο t), τις οποίες πρέπει να έχουμε υπόψιν στο θάλαμο αυτό, είναι απαραίτητη η γνώση της φοράς και του μεγέθους της μετατόπισης του φράγματος στο σημείο αναρτήσεως του εκκρεμούς.

Έτσι σε ενδιάμεσους σταθμούς αν E η μετατόπιση του φράγματος στο σημείο αναρτήσεως του εκκρεμούς μετά από χρόνο Δt , ΔS η αντίστοιχη μετατόπιση στον ενδιάμεσο σταθμό, A και P_A η αρχική μέτρηση και αρχική θέση του μηδενός του οργάνου και B και P_B αντίστοιχα μετά από χρόνο Δt .

Η μετακίνηση του φράγματος στη θέση αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta S = B + (\pm E - A) \quad (2)$$

Αν $\Delta S > 0$, θα υπάρχει μετακίνηση του φράγματος προς τα κατόντη, ενώ αν $\Delta S < 0$ θα υπάρχει μετατόπιση προς τα ανάντη (Σχήμα 14).



Σχήμα 14: Μετακίνηση σε ενδιάμεσους σταθμούς, E προς τα ανάντη [11].
Figure 14: Movements at intermediate measurement stations – E for upstream [11].

3. ΑΝΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΞΟΝΩΝ

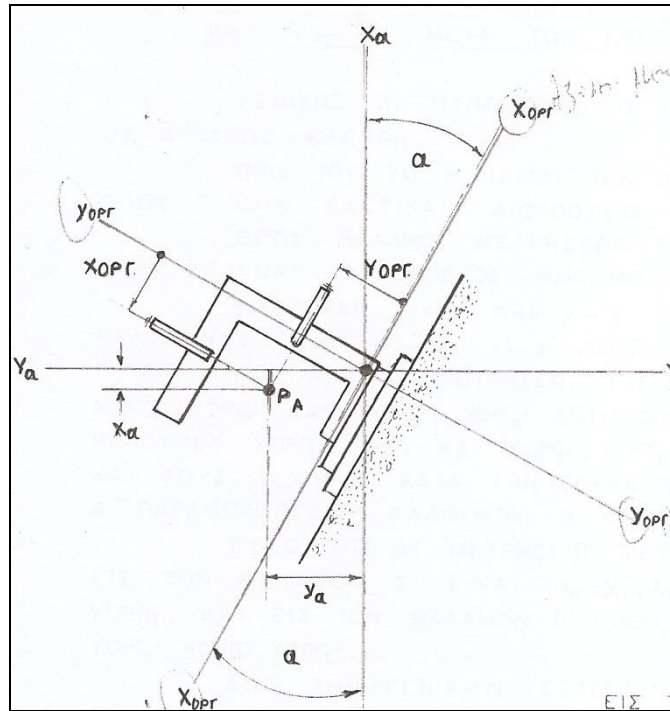
Έστω ότι οι βάσεις των οργάνων είναι με τέτοιο τρόπο τοποθετημένες έτσι ώστε οι άξονες $(X-X)_{ΟΡΓ}$ και $(Y-Y)_{ΟΡΓ}$ των οργάνων μετρήσης στους θαλάμους Σ και Σ' δεν είναι παράλληλοι προς τους άξονες $X-X$, $Y-Y$ (Σχήματα 15,16), ως προς τους οποίους πρόκειται να υπολογισθούν οι μετακινήσεις. Έτσι οι άξονες $(X-X)_{ΟΡΓ}$ και $(Y-Y)_{ΟΡΓ}$ πρέπει να στραφούν δεξιόστροφα κατά γωνία α (γωνία στροφής) για να ταυτιστούν με τους άξονες $X-X$, $Y-Y$ του φράγματος.

Έτσι η μετατροπή των μετρήσεων από το σύστημα αξόνων του οργάνου σε αυτό του φράγματος γίνεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_{OPΓ} \\ Y_{OPΓ} \end{bmatrix} \quad (3)$$

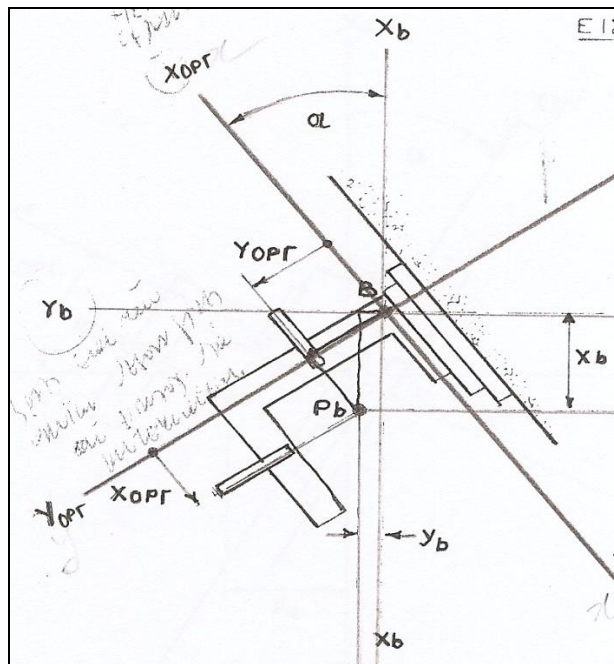
Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

α). Μετρήσεις στο εκκρεμές Α, ($\alpha^B = 400 - \alpha$ και $X \equiv X_\alpha, Y \equiv Y_\alpha$).



Σχήμα 15: Μετρήσεις στο εκκρεμές Α [11].
Figure 15: Measurements at pendulum A [11].

β). Μετρήσεις στο εκκρεμές Β, ($\alpha^B = \alpha^B$ και $X \equiv X_b, Y \equiv Y_b$).



Σχήμα 16: Μετρήσεις στο εκκρεμές Β [11].
Figure 16: Measurements at pendulum B [11].

γ). Μετρήσεις στο εκκρεμές C, δεν απαιτείται υπολογισμός δεδομένου ότι $\alpha^C = 0$ και $X \equiv X_{OPΓ}, Y \equiv Y_{OPΓ}$.

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ X – X ΚΑΙ Y – Y ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

Έστω ότι οι θάλαμοι μετρήσεων ενός εκκρεμούς είναι οι Σ και Σ' , όπου Σ' ο κατώτατος θάλαμος μετρήσεων, $(X-X)_{OPΓ}$ και $(Y-Y)_{OPΓ}$ οι άξονες μετρήσεων στον θάλαμο Σ και $(X-X)'_{OPΓ}$ και $(Y-Y)'_{OPΓ}$ στο θάλαμο Σ' αντίστοιχα. Οι αρχικές μετρήσεις στους θαλάμους Σ και Σ' καλούνται $X_{OPΓ}^{t1}, Y_{OPΓ}^{t1}$ και $X_{OPΓ}^{t1'}, Y_{OPΓ}^{t1}'$ αντίστοιχα. Αυτές μετά από χρόνο $\Delta t = t_2 - t_1$ είναι $X_{OPΓ}^{t2}, Y_{OPΓ}^{t2}$ και $X_{OPΓ}^{t2'}, Y_{OPΓ}^{t2}'$ αντίστοιχα. Οι άξονες κατά τη φορά των οποίων πρέπει να υπολογισθούν οι παραμορφώσεις καλούνται X, Y .

Οι μετακινήσεις κατά τους άξονες X-X και Y-Y του φράγματος υπολογίζονται μέσω των σχέσεων 4, 5.

$$\Delta S = B + (\pm E - A) \quad (4)$$

Προκύπτει για την παραμόρφωση του φράγματος ανάντη-κατόντη ως προς τον άξονα X - X:

$$\Delta S_x = X_{\text{ΟΡΓ}}^{t2} + [\pm(X_{\text{ΟΡΓ}}^{t1'} - X_{\text{ΟΡΓ}}^{t2'}) - X_{\text{ΟΡΓ}}^{t1}] \quad (5)$$

και ως προς τον άξονα Y - Y:

$$\Delta S_y = Y_{\text{ΟΡΓ}}^{t2} + [\pm(Y_{\text{ΟΡΓ}}^{t1'} - Y_{\text{ΟΡΓ}}^{t2'}) - Y_{\text{ΟΡΓ}}^{t1}] \quad (6)$$

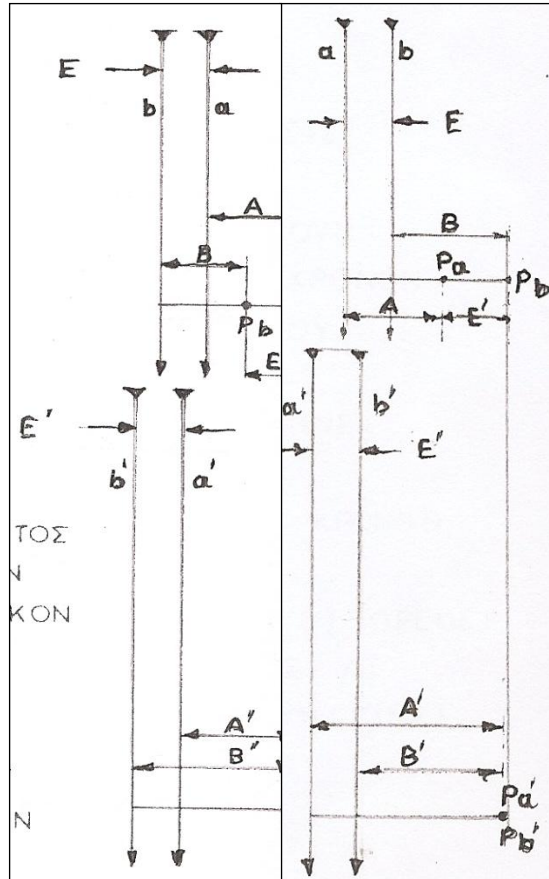
5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΚΚΡΕΜΕΣ C.

Στην περίπτωση του εκκρεμούς C λόγω της γεωμετρίας του φράγματος έχουν τοποθετηθεί δύο εκκρεμή, σε διαφορετικές στάθμες: (C5-C4, C4-C1). Η στάθμη **763,80 m**, στην οποία καταλήγει το άνω εκκρεμές (C5-C4), είναι και η στάθμη από την οποία αναρτάται το κάτω εκκρεμές (C4-C1). Η μετατόπιση του φράγματος στο σημείο ανάρτησης του άνω εκκρεμούς δεν υπολογίζεται όπως περιγράφηκε παραπάνω, διότι στον κατώτατο θάλαμο μετρήσεων του άνω εκκρεμούς το «μηδέν» του οργάνου μετά από χρόνο Δt θα έχει μετατοπιστεί (Σχήμα 17). Η μετατόπιση αυτή του μηδενός του οργάνου είναι ίδια κατά μέγεθος και φορά με αυτή που έχει υπολογιστεί στο σημείο ανάρτησης του κάτω εκκρεμούς.

Ετσι, για το εκκρεμές C η μετατόπιση υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$E = A + (\pm E' - B) \quad (7)$$

Αν η μετατόπιση E' είναι προς τα κατόντη θέτουμε στην εξίσωση $+E'$, ενώ εάν η μετατόπιση E' είναι προς τα ανάντη θέτουμε στην εξίσωση $-E'$. Έτσι αν $E > 0$, θα υπάρχει μετατόπιση προς τα κατόντη, ενώ αν $E < 0$, θα υπάρχει μετατόπιση προς τα ανάντη (Σχήμα 17).

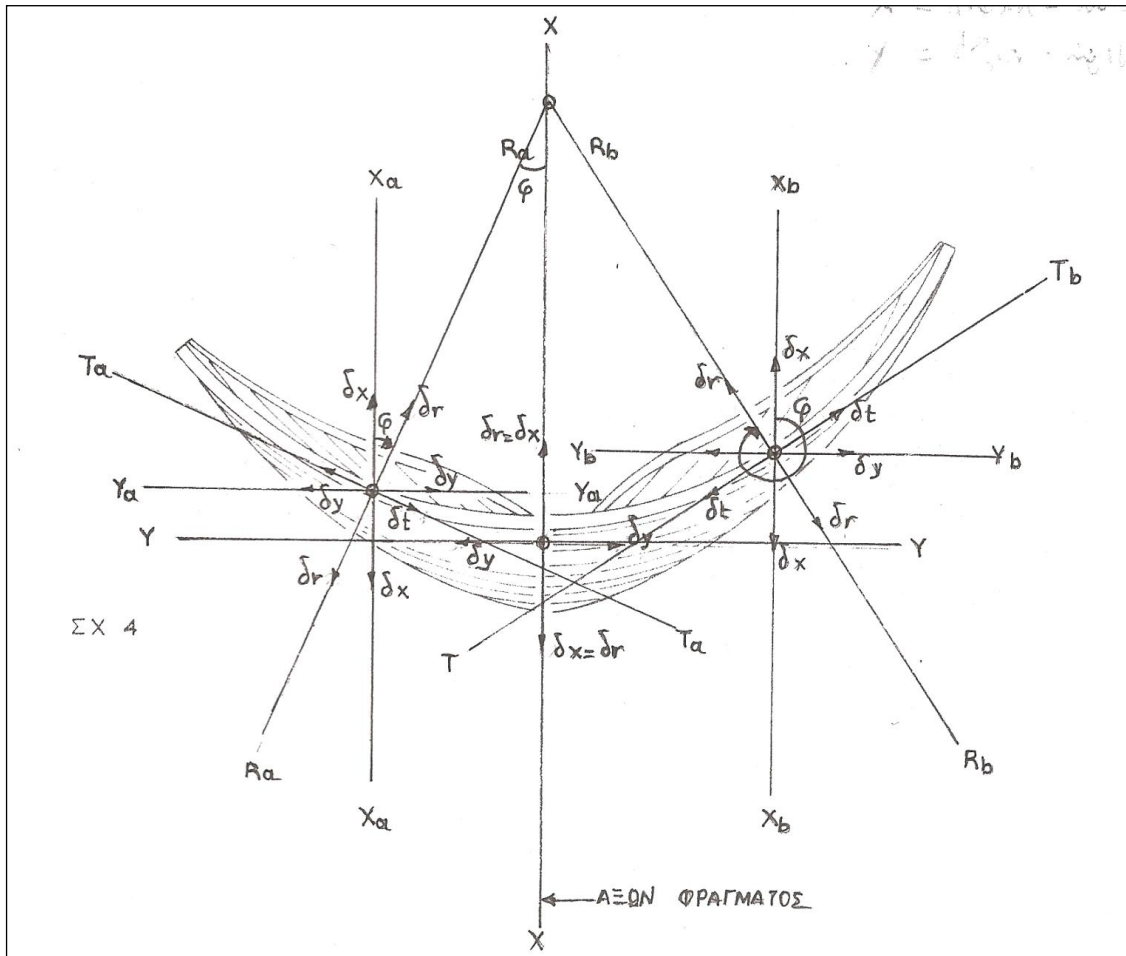


Σχήμα 17: Μετατοπίσεις στο εκκρεμές C [11].

Figure 17: Displacements at pendulum C [11].

5.1.4 Υπολογισμοί Οριζόντιων Μετακινήσεων μέσω των Εκκρεμών κατά την Ακτίνα και Εφαπτομένη

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως υπολογίζονται μετατοπίσεις κατά ακτίνα δr και κατά την εφαπτομένη δt , όπως φαίνεται στο σχήμα 18, μέσω της σχέσης 8 που δίνεται παρακάτω.



Σχήμα 18: Διανύσματα μετακίνησης κατά ακτίνα και εφαπτομένη [11].

Figure 18: Displacement vectors towards the radius and the tangent [11].

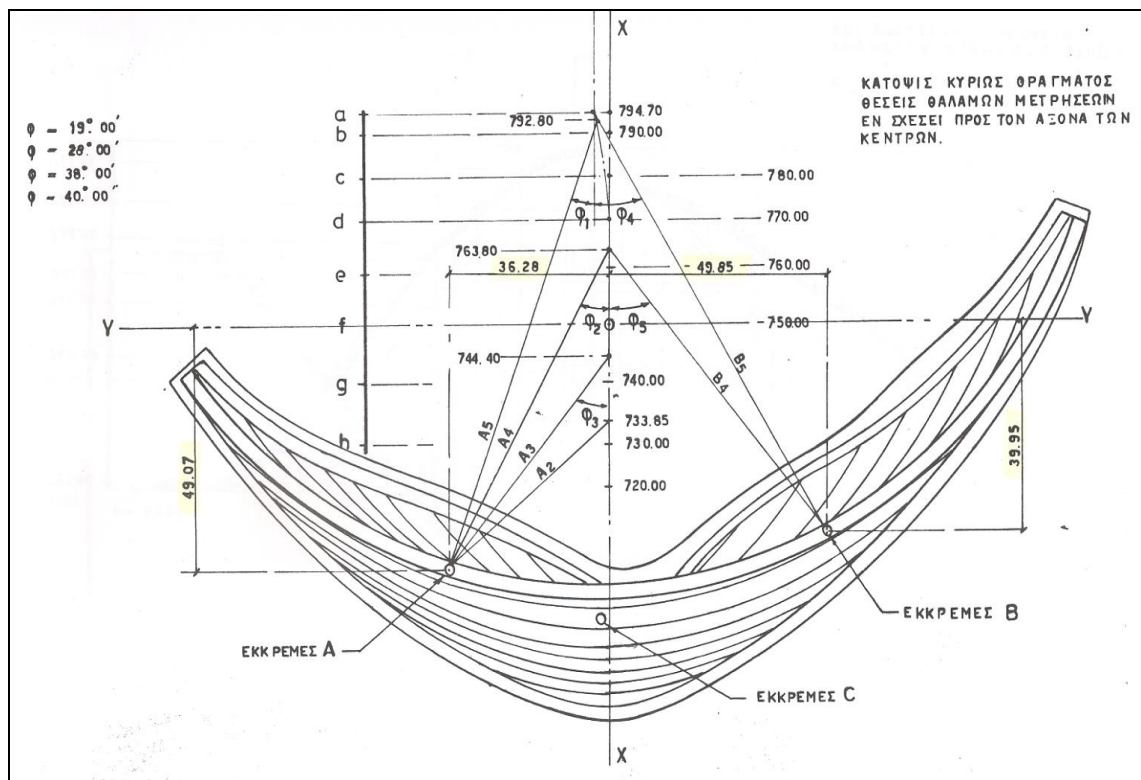
Οι σχέσεις που πραγματοποιούν τη στροφή των αξόνων με τη μορφή πινάκων είναι οι εξής:

$$\begin{bmatrix} \delta r \\ \delta t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix} \quad (8)$$

Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- α). Για τις μετρήσεις που εκτελούνται στα εκκρεμή Α, όπου $\phi^B = \phi$ και $X \equiv X_\alpha, Y \equiv Y_\alpha$
- β). Για τις μετρήσεις που εκτελούνται στα εκκρεμή Β, όπου $\phi^B = (400 - \phi)^B$ και $X \equiv X_b, Y \equiv Y_b$
- γ). Για τις μετρήσεις που εκτελούνται στα εκκρεμή C, $\phi^B = 0$ αφού οι άξονες ταυτίζονται.

Σημειώνεται ότι η γωνία ϕ στον κάθε θάλαμο μετρήσεων του εκκρεμούς είναι διαφορετική, όπως φαίνεται στο σχήμα 19 Στο ίδιο σχήμα αναγράφονται και τα μεγέθη των γωνιών ϕ .



Σχήμα 19: Κάτοψη φράγματος – Θέσεις θαλάμων μετρήσεων σε σχέση με τον άξονα των κέντρων [11].

Figure 19: Horizontal plan of the dam- position of the measurement chambers [11].

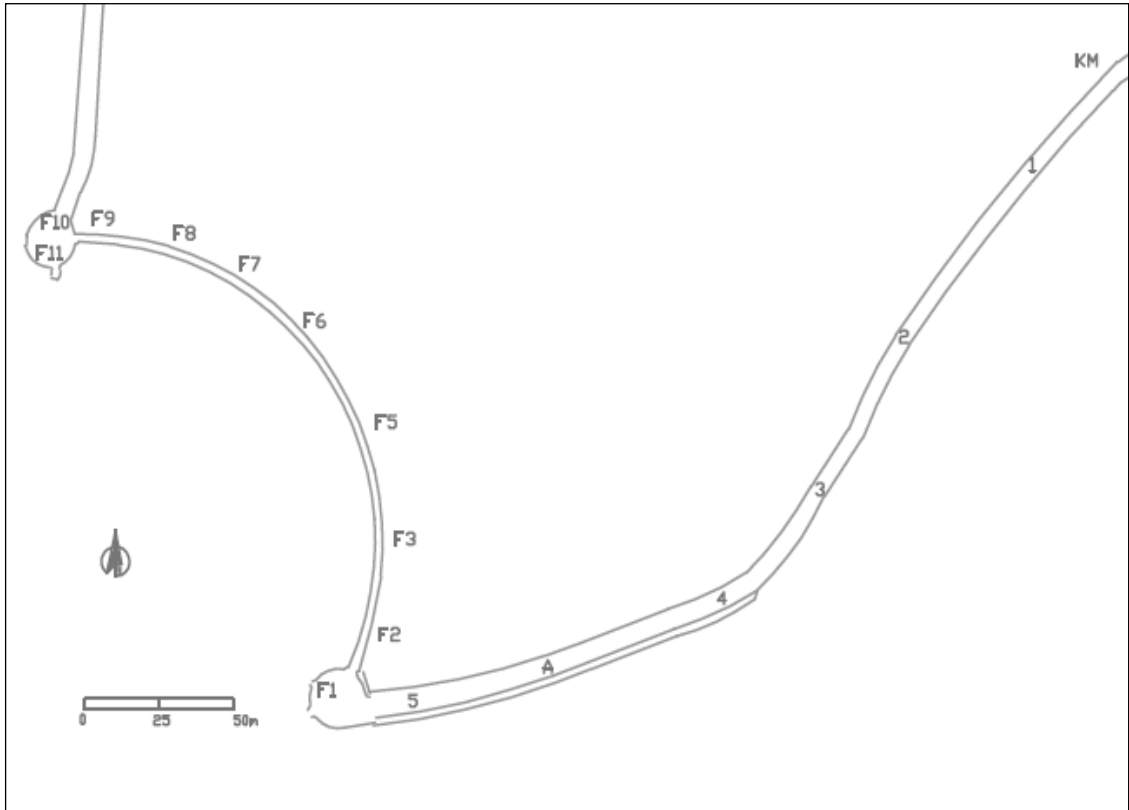
Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι οι κρίσιμες οριζόντιες μετακινήσεις, με βάση το σχετικό αρχείο της ΔΕΗ, είναι για τη θέση C5, $\delta=0,032$ mm για το Χειμώνα και $\delta=0,005$ mm για το Καλοκαίρι, προς τα κατάντη.

5.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Η κινηματική συμπεριφορά του φράγματος ελέγχεται σε κατακόρυφη διεύθυνση, ανά εξάμηνο, από αρμόδιο τοπογράφο της Δ.Ε.Η. Συγκεκριμένα εφαρμόζεται η μέθοδος της γεωμετρικής χωροστάθμησης χρησιμοποιώντας ψηφιακό χωροβάτη και κωδικοποιημένες σταδίες. Οι μετρήσεις αποβλέπουν στον προσδιορισμό των υψομέτρων των υψομετρικών αφετηριών F11, F10, F9, F8, F7, F6, F5, F3, F2, F1 στη στέψη του φράγματος και 5, A, 4, 3, 2, 1, ΚΜ στον παραλίμνιο δρόμο (Σχήμα 20) με ακρίβεια της τάξης του ± 1 mm.

Επισημαίνεται ότι ως υψομετρική αφετηρία από το 1966 είχε θεωρηθεί η ΚΜ (Σχήμα 20) που βρίσκεται πλησίον του εστιατορίου «Κοιμωμένη». Από τον Ιούλιο 2011 επιλέχθηκε ως σταθερή υψομετρική αφετηρία η F11, με υψόμετρο $H_{F11} = 795,541$ m, που βρίσκεται κοντά στην αναμνηστική πλάκα δυτικά του φράγματος, διότι υπήρχε υποψία μετακίνησης (καθίζησης) της αφετηρίας ΚΜ.

Στο σχήμα 20 φαίνεται η θέση των σημείων F11 και ΚΜ σε σχέση με τη στέψη του φράγματος.



Σχήμα 20: Θέση σημείων F11 και KM σε σχέση με τη στέψη του φράγματος.

Figure 20: Benchmarks on thw dam's crest and the road nearby.

Κεφάλαιο 6^ο
Δίκτυο οριζοντίου ελέγχου

6 ΔΙΚΤΥΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το κεφάλαιο αυτό, αναφέρεται στα στάδια της διαδικασίας εγκατάστασης, μέτρησης και επεξεργασίας των στοιχείων του μικροτριγωνομετρικού δικτύου οριζοντίου ελέγχου (Δ.Ο.Ε.) που ιδρύθηκε στο φράγμα Ταυρωπού. Το δίκτυο ιδρύθηκε το 2011 στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, με στόχο τον προσδιορισμό των οριζόντιων μετακινήσεων της κατασκευής στο διάστημα Αύγουστος - Νοέμβριος 2011 ή και σε επόμενες χρονικές στιγμές.

6.2 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η αναγνώριση της ευρύτερης περιοχής του φράγματος κατέδειξε την ιδιαίτερη προσοχή που πρέπει να δοθεί για την υλοποίηση ενός δικτύου ελέγχου, κατάλληλου για μετρήσεις υψηλής ακρίβειας με την ελάχιστη αλλοίωση και παρέμβαση τόσο στην ίδια την κατασκευή όσο και στο ευρύτερο φυσικό περιβάλλον.

Σημαντικό ρόλο επίσης στην τελική επιλογή των κορυφών έπαιξαν η πυκνή κίνηση οχημάτων, σε συνδυασμό με τη μεγάλη επισκεψιμότητα λόγω τουριστικού ενδιαφέροντος, το δυσπρόσιτο στο κατάντη τμήμα του φράγματος και κυρίως στη βάση τού.

Εντοπίστηκαν στην ευρύτερη περιοχή, από κατάντη, υλοποιημένα βάθρα με σύστημα εξαναγκασμένης κέντρωσης. Αντίστοιχη κατασκευή βρέθηκε στη στέψη του φράγματος, πάνω από το εκκρεμές C (Εικόνα 13). Στην κατάντη επιφάνεια του φράγματος, εντοπίστηκαν 2 στόχοι, ένας περίπου στο μέσο ύψος και ένας κοντά στη βάση του φράγματος. Επιπλέον, στη στέψη του φράγματος, στο ρείθρο του πεζοδρομίου καθώς και στον παραλίμνιο δρόμο εντοπίστηκαν υλοποιημένες, με βίδες (Εικόνα 14), οι εγκαταστημένες από τη ΔΕΗ χωροσταθμικές αφετηρίες που χρησιμεύουν ως σημεία ελέγχου των κατακόρυφων μετακινήσεων (Σχήμα 20).



Εικόνα 13: Βάθρο με εξαναγκασμένη κέντρωση.

Image 13: Concrete pillar with forced centering device.



Εικόνα 14: Σήμανση κορυφών της ΔΕΗ.

Image 14: Signage PPC points.

6.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Το δίκτυο που ιδρύθηκε αποτελείται από 7 κορυφές, ΠΛ, ΦΥΛ, Α, Β, C, ΠΟΔΙ, ΣΤ. Συγκεκριμένα οι κορυφές **A**, **C**, και **B** βρίσκονται πάνω στη στέψη του φράγματος σε απόσταση της τάξης των 45m μεταξύ τους και σχεδόν πάνω από τα εκκρεμή Α, C και Β αντίστοιχα που υπάρχουν στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος. Οι κορυφές Α, Β υλοποιήθηκαν στο ρείθρο του πεζοδρομίου της στέψης του φράγματος με ατσαλένιο καρφί. Η κορυφή **C** είναι το υλοποιημένο βάθρο της Δ.Ε.Η. (Εικόνα 13), που βρίσκεται περίπου στο μέσο της στέψης του φράγματος και φέρει σύστημα εξαναγκασμένης κέντρωσης.

Η κορυφή με το όνομα **ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ** (ΠΛ) βρίσκεται εκτός του σώματος του φράγματος, κοντά στην αριστερή από κατάντη άκρη της στέψεως, δίπλα στο μνημείο που έχει στηθεί στη μνήμη του Νικολάου Πλαστήρα . Η κορυφή με το όνομα **ΦΥΛΑΚΙΟ** (ΦΥΛ) βρίσκεται επίσης εκτός του σώματος του φράγματος, κοντά στη δεξιά από κατάντη άκρη της στέψεως και πάνω στη σκεπή του κτιρίου που χρησιμοποιείται ως φυλάκιο. Οι κορυφές ΠΛ και ΦΥΛ υλοποιήθηκαν επίσης με ατσαλένιο καρφί.

Η κορυφή με το όνομα **ΠΟΔΙ** (ΠΟΔΙ) βρίσκεται εκτός του σώματος του φράγματος, στο ύψος της βάσης του από κατάντη. Υλοποιήθηκε με ατσαλένιο καρφί πάνω σε αυτοσχέδια αλουμινένια βάση για μεγαλύτερη σταθερότητα.

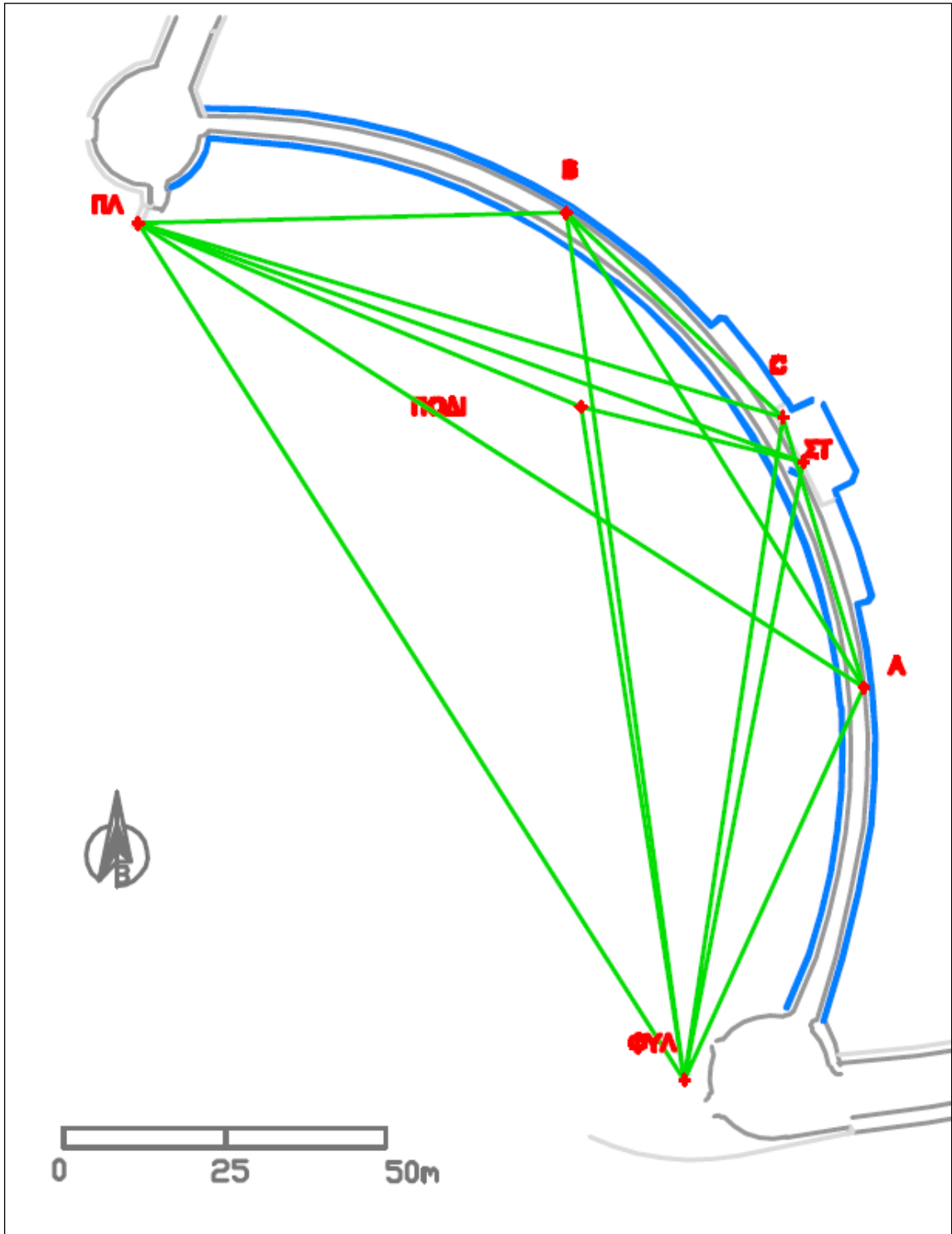
Τέλος χρησιμοποιήθηκε ως κορυφή **ΣΤΟΧΟΣ** (ΣΤ) που είναι υλοποιημένος στην κατάντη επιφάνεια του φράγματος (Εικόνα 15).

Η αναλυτική περιγραφή και η φωτογραφική τεκμηρίωση των κορυφών του δικτύου δίνεται στο παράρτημα.



Εικόνα 15: Κορυφή ΣΤ.
Image 15: Point ST.

Στο σχήμα 21 παρουσιάζονται οι θέσεις των κορυφών και οι πλευρές του δικτύου σε σχέση με το φράγμα.



Σχήμα 21: Γεωμετρία Δικτύου.

Figure 21: The horizontal control network's geometry.

6.4 ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ

6.4.1 Επιλογή Οργάνων και Παρελκομένων

Το όργανο που επιλέχθηκε για τις μετρήσεις των στοιχείων του δικτύου είναι ο εικονοσταθμός TOPCON IS01. Πρόκειται για ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό που δίνει και τη δυνατότητα σάρωσης μιας επιφάνειας. Επειδή διαπιστώθηκε ότι δεν ήταν δυνατή η σκόπευση σε δεύτερη θέση τηλεσκοπίου σε μεγάλες κλίσεις (σκοπεύσεις από-προς ΠΟΔΙ, καθώς και προς ΣΤ) με τον εικονοσταθμό TOPCON IS01, επιλέχθηκε για τις μετρήσεις αυτές το όργανο TOPCON GPT3105N.

ΟΡΓΑΝΟ	ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ		ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΓΩΝΙΑΣ
	ΜΕ ΠΡΙΣΜΑ	ΧΩΡΙΣ ΠΡΙΣΜΑ	
TOPCON IS01	$\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$	$\pm 5 \text{ mm}$ για $< 250 \text{ m}$ $\pm 10 \text{ mm} \pm 10 \text{ ppm}$ (για $> 250 \text{ m}$)	$\pm 3 \text{ cc}$
TOPCON GPT3105N	$\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$	$3 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$	$\pm 15 \text{ cc}$

Πίνακας 1: Ακρίβειες μέτρησης μηκών και γωνιών των γεωδαιτικών σταθμών.
Table 1: Measurement' precision of lengths and angles of the total stations.

Τα παρελκόμενα που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις του δικτύου συνίσταντο σε:

- 3 τρικόχλια με δυνατότητα οπτικής κέντρωσης
- 2 απλά κατάφωτα-πρίσματα με δυνατότητα προσαρμογής στα τρικόχλια
- 3 τρίποδες αλουμινίου
- βάση εξαναγκασμένης κέντρωσης για τις μετρήσεις από την κορυφή C
- 2 μεταλλικές μετροταινίες, με υποδιαίρέσεις mm για τη μέτρηση υψών οργάνου – σκόπευσης
- αγκωνοειδές πρίσμα, για τις πολύ κεκλιμένες σκοπεύσεις

Για τον προσδιορισμό των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου πραγματοποιήθηκε διπλή Γεωμετρική Χωροστάθμηση (με εξαίρεση τις κορυφές ΠΟΔΙ και ΣΤ). Για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός χωροβάτης Sprinter της Leica Geosystems. Πρόκειται για όργανο που δίνει τη δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού υψομέτρου ή υψομετρικής διαφοράς με ακρίβεια $\pm 1,5$ mm/km μέσω μιας απλής διαδικασίας μέτρησης και καταγραφής.

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης:

- 2 απλές, κωδικοποιημένες σταδίες (BarCode) με ενσωματωμένη αεροστάθμη για την κατακορύφωσή τους
- 2 ειδικές χωροσταθμικές βάσεις (χελώνες) για την έδραση των σταδίων
- 1 τρίποδας αλουμινίου

6.4.2 Έλεγχοι Οργάνων και Παρελκομένων

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε έλεγχος ύπαρξης κυκλικού σφάλματος.

- **ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ**

Η ύπαρξη κυκλικού σφάλματος, συστηματικού σφάλματος σε περιοδική μορφή, οφείλεται στη συμβολή του κυρίου σήματος με δευτερεύοντα σήματα μικρότερης έντασης που υπάρχουν στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα των Total Station ή των EDM. Με τον έλεγχο για την ύπαρξη κυκλικού σφάλματος προσδιορίζεται ταυτόχρονα και η σταθερά του συστήματος οργάνου-ανακλαστήρα.

Εφ' όσον πρόκειται για περιοδικό σφάλμα μπορεί η αντίστοιχη διόρθωση να εκφραστεί, στην πιο απλή περίπτωση με τη μορφή:

$$y = A + B \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda_m} L_o - \varphi_o \right) \quad (9)$$

Όπου: A = σταθερός προσδιοριστέος όρος ή σταθερά οργάνου-ανακλαστήρα

B = προσδιοριστέος συντελεστής

φ_o = προσδιοριστέα φάση

L_o = το μήκος που μετρήθηκε

λ_m = το μήκος κύματος της διαμορφωμένης ακτινοβολίας

Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιήθηκε στη σήραγγα που βρίσκεται στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδάριο της Σ.Α.Τ.Μ., όπου βρίσκονται τοποθετημένα σε ευθεία 50 μέτρων 25 βάρθρα με απόσταση μεταξύ τους 1,2,3 ή και 5 m.



Εικόνα 16: Έλεγχος για κυκλικό σφάλμα σε σήραγγα.

Image 16: Checking of the Total Station's cyclic error in the metrology tunnel.

Ελέγχθηκαν και οι 2 γεωδαιτικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν, TOPCON IS01 και TOPCON GPT3105N και το μήκος της διαμορφωμένης ακτινοβολίας θεωρήθηκε $\lambda_m = 20m$.

Το όργανο τοποθετήθηκε σταθερά στο ακραίο βάθρο όπου πραγματοποιήθηκε η διαδικασία κέντρωσης και οριζοντίωσης. Μετρήθηκαν οριζόνιες αποστάσεις, σε 2 πλήρεις περιόδους, προς το κατάφωτο που τοποθετούνταν σε κάθε βάθρο διαδοχικά. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι διαφορές των μετρημένων αυτών αποστάσεων από τις αντίστοιχες που είχαν προσδιοριστεί παλιότερα μέσω αντίστοιχης διαδικασίας και θεωρούνται γνωστές.

Δόθηκαν προσωρινές τιμές στους αγνώστους A,B και ϕ_0 και με τη μέθοδο των ελαχίστων των τετραγώνων προσδιορίστηκαν οι εξής τιμές:

	TOPCON IS01	TOPCON GPT3105N
A	0,0029m \pm 0,0002m	0,0032m \pm 0,0002m
B	-0,0003m \pm 0,0003m	0,0003m \pm 0,0003m
Φ_0	0,3968rad \pm 6*10 ⁻⁵ rad	-0,8906rad \pm 0,9099rad

Πίνακας 2: Αποτελέσματα ελέγχου για ύπαρξη κυκλικού σφάλματος.

Table 2: Results of the detection of the cyclic error.

Από τον έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% διαπιστώθηκε ότι για τα 2 όργανα που ελέγχθηκαν ο συντελεστής B είναι στατιστικά μη σημαντικός. Έτσι και για τις δύο περιπτώσεις θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει κυκλικό σφάλμα ενώ παράλληλα προσδιορίστηκε η σταθερά οργάνου-καταφώτου $A=0,003m$.

6.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

6.5.1 Μέτρηση Στοιχείων Δικτύου - Επεξεργασία Μετρήσεων

Δεδομένου ότι σκοπός της εργασίας είναι ο προσδιορισμός των οριζόντιων μετακινήσεων στο φράγμα, το δίκτυο Οριζοντίου Ελέγχου στο φράγμα Ταυρωπού μετρήθηκε σε 2 ανεξάρτητες φάσεις. Η πρώτη φάση διεξήχθη το χρονικό διάστημα 10-11 Αυγούστου 2011 όταν η στάθμη της λίμνης ήταν στα 789,61 m και η δεύτερη το χρονικό διάστημα 22-23 Νοέμβρη 2011 όταν η στάθμη ήταν 786,65 m. Στο διάστημα αυτό έχουμε μεγάλη μείωση της στάθμης της λίμνης-ταμιευτήρα (-3m) λόγω της άρδευσης των καλλιεργειών της ευρύτερης περιοχής.

Κάθε φάση μετρήσεων των στοιχείων του δικτύου ολοκληρώθηκε σε 2 διαδοχικές ημέρες. Οι μετρήσεις γίνονταν κυρίως πρωινές ώρες.

Η μέτρηση των στοιχείων του δικτύου περιελάμβανε τον προσδιορισμό οριζοντίων, κατακορύφων γωνιών και κεκλιμένων αποστάσεων.

Οι γωνιομετρήσεις έγιναν με τη μέθοδο των πλήρων περιστροφών σε 2 πλήρεις περιόδους. Ως στόχοι χρησιμοποιήθηκαν κατάφωτα προσαρμοσμένα πάνω σε τρικόχλια, με εξαίρεση την κορυφή Στ, όπου έγινε σκόπευση στον στόχο χωρίς πρίσμα. Ταυτόχρονα μετρήθηκαν κεκλιμένα μήκη, ύψη οργάνου και ύψη στόχων.

Η επεξεργασία των μετρήσεων συνοψίζεται στα εξής:

1. Υπολογισμός μέσου όρου μετρήσεων οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών
2. Υπολογισμός οριζόντιων αποστάσεων

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές των γωνιών όπως προέκυψαν μετά την επεξεργασία τους για τις δύο φάσεις μετρήσεων.

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΩΝΙΕΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2011 Hz (grad)	ΝΟΕΜΒΡΗΣ 2011 Hz (grad)
ΦΥΛ-ΠΛ-Α	372,3390	372,3416
ΦΥΚ-ΠΛ-Σ	354,7088	354,7154
ΦΥΛ-ΠΛ-Β	334,5477	334,5579
ΦΥΛ-Β-Α	372,9351	372,9374
ΦΥΛ-Β-Σ	356,6839	356,6841
ΦΥΛ-Β-ΠΛ	107,0528	107,0639
ΦΥΛ-Σ-Α	372,0823	372,0879
ΦΥΛ-Σ-Β	138,6117	138,6094
ΦΥΛ-Σ-ΠΛ	109,1440	109,1523
ΦΥΛ-Α-Σ	154,2029	154,2168
ΦΥΛ-Α-Β	136,9828	136,9924
ΦΥΛ-Α-ΡΛ	108,8957	108,9089
ΠΛ-ΦΥΛ-Β	27,4900	27,4862
ΠΛ-ΦΥΛ-Σ	45,5623	45,5595
ΠΛ-ΦΥΛ-Α	63,4441	63,4356
ΠΛ-ΦΥΛ-ΠΟΔΙ	26,4255	26,4225
ΠΛ-ΠΟΔΙ-ΦΥΛ	265,2908	265,2708
ΦΥΛ-ΠΛ-ΣΤ	358,0395	358,0405
ΠΛ-ΦΥΛ-ΣΤ	48,2170	48,2163
ΠΛ-ΠΟΔΙ-ΣΤ	190,3913	190,3583
ΦΥΛ-ΠΛ-ΠΟΔΙ	361,1394	361,1518

Πίνακας 3: Τελικές γωνίες δικτύου Α' και Β' φάσης.
Table 3: The network's horizontal angles for A and B measuring epochs.

Το σύνολο των μετρήσεων και η επεξεργασία τους περιλαμβάνεται στο παράρτημα της παρούσης εργασίας.

6.5.2 Διορθώσεις Μηκών

Τα μετρημένα μήκη διορθώθηκαν λόγω:

1. Ύπαρξης σταθεράς οργάνου-καταφώτου

Πραγματοποιήθηκε διόρθωση σταθεράς οργάνου-καταφώτου στα μετρημένα μήκη με πρίσμα $\delta_1 = -0,003\text{m}$.

2. Επίδρασης θερμοκρασίας-πίεσης

Οι διορθώσεις στα μετρημένα μήκη λόγω καθυστέρησης διάδοσης της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και για τις 2 φάσεις μετρήσεων προέκυψαν από την σχέση:

$$\delta_2(\text{ppm}) = 279,85 - \frac{79,585 \times P(\text{hPa})}{273,15 + T(\text{C})} \quad (10)$$

και το διορθωμένο μήκος είναι:

$$l_{\text{διορθ}} = (1 + \delta_2 \times 10^{-6}) \times l_{\text{μετρημένο}} \quad (11)$$

Οι τιμές των διορθώσεων δ_2 για τις δύο φάσεις μετρήσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΦΑΣΗ	T (°C)	P (hPa)	δ ₂ (ppm)
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2011	22	1005	10
ΝΟΕΜΒΡΗΣ 2011	8	1025	-10

Πίνακας 4: Διορθώσεις μηκών (σε ppm) από θερμοκρασία και πίεση για Α' και Β' Φάση μετρήσεων.

Table 4: Atmospheric corrections (in ppm) for A and B measuring epochs.

Έτσι τα τελικά μήκη προκύπτουν από τον τύπο:

$$l_{\text{διορθ}} = l_{\text{μετρημένο}} + \delta_1 + \delta_2 \quad (12)$$

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει όλες τις αποστάσεις του δικτύου όπως προέκυψαν μετά την επεξεργασία και τις διορθώσεις που προαναφέρθηκαν για τις δύο φάσεις μετρήσεων.

ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΗΚΗ		ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2011 (m)	ΝΟΕΜΒΡΗΣ 2011 (m)
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ		
ΠΛ	ΦΥΛ	157,943	157,939
ΠΛ	A	133,914	133,907
ΠΛ	C	104,713	104,707
ΠΛ	B	66,509	66,505
B	ΦΥΛ	136,084	136,079
B	A	87,126	87,117
B	C	46,39	46,386
C	ΦΥΛ	104,193	104,186
C	A	43,83	43,825
A	ΦΥΛ	67,136	67,134
ΠΛ	ΠΟΔΙ	74,503	74,501
ΦΥΛ	ΠΟΔΙ	105,875	105,872
ΦΥΛ	ΣΤ	97,891	97,888
ΠΛ	ΣΤ	109,81	109,812
ΠΟΔΙ	ΣΤ	35,585	35,57

Πίνακας 5: Τελικά μήκη δικτύου Α' και Β' φάσης.

Table 5: Horizontal distances between the network's points for A and B measuring epochs.

6.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

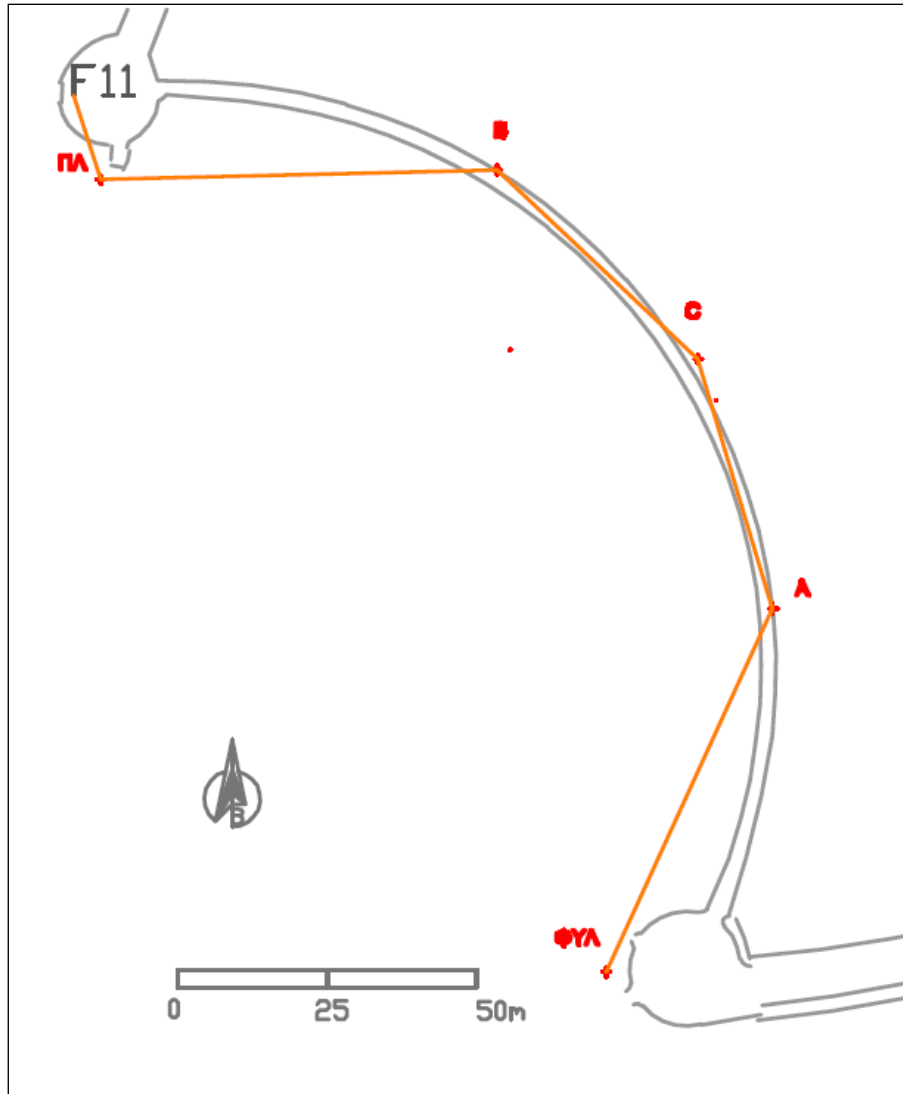
Οι μετρήσεις των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των κορυφών του δικτύου πραγματοποιήθηκαν:

- Με τη **μέθοδο της διπλής γεωμετρικής χωροστάθμησης** χρησιμοποιώντας τον ψηφιακό χωροβάτη Sprinter της εταιρείας Leica και απλές κωδικοποιημένες σταδίες.

Οι γεωμετρικές χωροσταθμήσεις για τον προσδιορισμό των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου πραγματοποιήθηκαν στις 21/07 και 04/08. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν απογευματινές και πρωινές ώρες αντίστοιχα και διήρκησαν περίπου 3 ώρες.

Συγκεκριμένα με τη μέθοδο της διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης προσδιορίστηκαν τα υψόμετρα των κορυφών ΠΛ, Α, C, Β, ΦΥΛ. Ως σταθερή κορυφή χρησιμοποιήθηκε η υψομετρική αφετηρία F11 της ΔΕΗ με υψόμετρο $H_{F11}=795,541\text{m}$. Η ακρίβεια προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών είναι της τάξης του $\sigma_{\Delta H} = \pm 0,5\text{mm}$.

Στο σχήμα 22 παρουσιάζονται οι θέσεις των κορυφών, των οποίων τα υψόμετρα προσδιορίστηκαν με Γεωμετρική Χωροστάθμηση καθώς και οι χωροσταθμικές οδεύσεις.



Σχήμα 22: Χωροσταθμικές οδεύσεις.
Figure 22: Network's points and leveling routes.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα της Γ.Χ.

ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΟΔΕΥΣΕΙΣ	ΔΗ (m)		ΔΗ (m)	Η (m)	
	ΜΕΤΑΒΑΣΗ	ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ		F11	795,541
F11-ΠΛ	0,402	-0,402	0,402	ΠΛ	795,943
ΠΛ-Β	-0,402	0,401	-0,402	Β	795,542
Β-Σ	2,142	-2,142	2,142	Σ	797,684
Σ-Α	-2,158	2,157	-2,158	Α	795,526
Α-ΦΥΛ	2,866	-2,865	2,866	ΦΥΛ	798,392

Πίνακας 6: Υψομετρικές διαφορές και υψόμετρα κορυφών Δ.Ο.Ε. (Αποτελέσματα από Γεωμετρικές Χωροσταθμίσεις).

Table 6: Geometric leveling results and heights of the benchmarks.

- Με τη μέθοδο της **Τριγωνομετρικής Υψομετρίας** προσδιορίστηκαν οι υψομετρικές διαφορές από τους κορυφές ΠΛ, ΦΥΛ προς τις κορυφές ΠΟΔΙ, ΣΤ. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TOPCON GPT3100N.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται παρακάτω:

ΔΗ(m)		Η (m)	
ΠΛ-ΠΟΔΙ	-59,966	ΠΟΔΙ	735,977
ΦΥΛ-ΠΟΔΙ	-62,385		
ΦΥΛ-ΣΤ	-36,435	ΣΤ	761,964
ΠΛ-ΣΤ	-33,972		

Πίνακας 7: Υψομετρικές διαφορές και υψόμετρα κορυφών (Αποτελέσματα από Τριγωνομετρική Υψομετρία).

Table 7: Height differences from trigonometric leveling.

Κεφάλαιο 7^ο
Επίλυση Δικτύου Οριζοντίου Ελέγχου

7 ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το Γεωδαιτικό Δίκτυο Οριζοντίου Ελέγχου επιλύθηκε σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς με σταθερή κορυφή την κορυφή ΠΛ και ημισταθερή την κορυφή ΦΥΛ. Το δίκτυο επιλύθηκε και για τις δύο φάσεις μέτρησης με τις ίδιες αρχικές συνθήκες και τις ελάχιστες εξωτερικές δεσμεύσεις.

Ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι το σύνολο των οριζοντίων γωνιών και αποστάσεων που μετρήθηκαν. Έτσι και στις δύο φάσεις μέτρησης μετρήθηκαν 21 οριζόντιες γωνίες και 15 αποστάσεις ($n = 36$).

7.2 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

7.2.1 Μέθοδος Επίλυσης - Προσωρινές Τιμές

Η μέθοδος συνόρθωσης που ακολουθήθηκε ήταν αυτή των έμμεσων παρατηρήσεων και ειδικότερα η μέθοδος μεταβολής των συντεταγμένων.

Ως προσωρινές τιμές και για τις δύο επιλύσεις χρησιμοποιήθηκαν αυτές που δίνονται στον πίνακα 8.

A/A	ΚΩΔ.	X (m)	Y (m)
1.	ΠΛ	5221,000	5104,000
2.	ΦΥΛ	5305,853	4970,786
3.	B	5287,491	5105,620
4.	A	5333,805	5031,827
5.	C	5321,273	5073,827
6.	ΠΟΔΙ	5289,815	5075,439
7.	ΣΤ	5324,361	5066,904

Πίνακας 8: Προσωρινές συντεταγμένες σε m.

Table 8: Initial coordinates' estimates of the network's points.

7.2.2 Εκτίμηση Βαρών

Για την εκτίμηση των βαρών στις πλευρομετρήσεις με ανακλαστήρα θεωρήθηκε σφάλμα $\sigma_s = \pm 0,003m$, ενώ για τις πλευρομετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα θεωρήθηκε $\sigma_s = \pm 0,005m$ (προς ΣΤ).

Για την εκτίμηση των βαρών στις γωνιομετρήσεις με βάση το κριτήριο του Ferrero εκτιμήθηκε $\sigma_\gamma = \pm 25^{cc}$.

7.3 ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

➤ Α΄ ΦΑΣΗ

Πλήθος παρατηρήσεων	n	36
Πλήθος αγνώστων παραμέτρων	m	11
Βαθμοί ελευθερίας	r	25
σ_o a-priori	σ_o	± 1
σ_o a-posteriori	$\hat{\sigma}_o$	$\pm 1,13$

Πίνακας 9: Στοιχεία δικτύου Α΄ Φάση.

Table 9: Networks elements (A measuring epoch).

➤ **Συντεταγμένες κορυφών δικτύου με τις αβεβαιότητές τους**

A/A	ΚΩΔ	X (m)	σ _x (m)	Y (m)	σ _y (m)
1.	ΠΛ	5221,000	0	5104,000	0
2.	ΦΥΛ	5305,853	±0,001	4970,786	±0,001
3.	B	5287,491	±0,002	5105,629	±0,002
4.	A	5333,806	±0,001	5031,832	±0,002
5.	C	5321,274	±0,002	5073,835	±0,002
6.	ΠΟΔΙ	5289,820	±0,002	5075,447	±0,001
7.	ΣΤ	5324,363	±0,003	5066,914	±0,003

Πίνακας 10: Συντεταγμένες κορυφών δικτύου με τις αβεβαιότητές τους (Α΄Φάση).

Table 10: Adjusted coordinates of the network's points together with their standard deviations (A measuring epoch).

➤ **Στατιστικοί έλεγχοι**

Μετά την επίλυση έγινε ολικός έλεγχος αξιοπιστίας με το τεστ χ^2 καθώς και σάρωση δεδομένων κατά Baarda για την ανίχνευση χονδροειδών σφαλμάτων ή και μικρού μεγέθους συστηματικών σφαλμάτων.

- Ολικός έλεγχος δικτύου (Test χ^2):

Πρέπει να ισχύει:

$$\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \leq \frac{\chi_{r,(1-\alpha)}^2}{r} \quad (13)$$

Όπου:

$\sigma_o^2 = 1$ το a-priori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους, $\hat{\sigma}_o^2$ το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους και r οι βαθμοί ελευθερίας και επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($\alpha=0,05$), (Πίνακας 9).

Από τη Σχέση 13 Είναι $31,62 \leq 37,65$ και επομένως ισχύει η αρχική υπόθεση.

- Σάρωση κατά Baarda:

Στη συνέχεια γίνεται ο έλεγχος των παρατηρήσεων (σάρωση δεδομένων κατά Baarda), για ανίχνευση πιθανών χονδροειδών σφαλμάτων στις παρατηρήσεις, σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$\left| \frac{v_i}{\sigma_{vi}} \right| \leq \sqrt{F_{1,\infty,(1-\alpha_o)}} \quad \text{ή} \quad \left| \frac{v_i}{\sigma_{vi}} \right| \leq z_{(1-\alpha_o/2)} \quad (14)$$

όπου:

v_i = υπόλοιπο της i παρατήρησης

α_o = το επίπεδο σημαντικότητας (συνήθως $\alpha_o = 0.001$)

σ_{vi} =τυπικό σφάλμα του υπολοίπου που δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_{vi}^2 = \sigma_{ii}^2 - \sigma_{ii}^2 \quad (15) \text{ ως διαφορά των μεταβλητοτήτων των παρατηρήσεων πριν και}$$

μετά τη συνόρθωση.

Ο έλεγχος είναι επιτυχής για κάθε μια παρατήρηση.

➤ **Β' ΦΑΣΗ**

Πλήθος παρατηρήσεων	n	36
Πλήθος αγνώστων παραμέτρων	m	11
Βαθμοί ελευθερίας	r	25
σ_0 a-priori	σ_0	± 1
σ_0 a-posteriori	$\hat{\sigma}_0$	$\pm 1,12$

Πίνακας 11: Στοιχεία δικτύου Β' Φάση.

Table 11: Networks elements (B measuring epoch).

➤ **Συντεταγμένες κορυφών δικτύου με τις αβεβαιότητές τους**

A/A	ΚΩΔ	X (m)	σ_x (m)	Y (m)	σ_y (m)
1.	ΠΛ	5221,000	0,000	5104,000	0,000
2.	ΦΥΛ	5305,852	$\pm 0,001$	4970,787	$\pm 0,001$
3.	Β	5287,486	$\pm 0,002$	5105,620	$\pm 0,002$
4.	Α	5333,795	$\pm 0,001$	5031,832	$\pm 0,002$
5.	Σ	5321,269	$\pm 0,002$	5073,830	$\pm 0,002$
6.	ΠΟΔΙ	5289,812	$\pm 0,002$	5075,437	$\pm 0,002$
7.	ΣΤ	5324,357	$\pm 0,003$	5066,909	$\pm 0,002$

Πίνακας 12: Συντεταγμένες κορυφών δικτύου με τις αβεβαιότητές τους (Β'ΦΑΣΗ).

Table 12: Adjusted coordinates of the network's points together with their standard deviations (B measuring epoch).

➤ **Στατιστικοί έλεγχοι**

- Ολικός έλεγχος δικτύου (Test χ^2):

Με βάση τα στοιχεία του δικτύου για τη Β' Φάση και από τη σχέση 13 προκύπτει $31,36 \leq 37,65$, (Πίνακας 12). Επομένως, ισχύει η αρχική υπόθεση.

- Σάρωση κατά Baarda:

Ο έλεγχος και για τη δεύτερη φάση μετρήσεων έδειξε ότι σε καμμία παρατήρηση δεν ανιχνεύεται χονδροειδές σφάλμα.

Κεφάλαιο 8^ο
Προσδιορισμός Οριζόντιων
Μετακινήσεων

8 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

Ο προσδιορισμός των οριζόντιων μετακινήσεων στο φράγμα Ταυρωπού, έγινε με τη σύγκριση των τελικών συντεταγμένων των ΦΥΛ, Α, Β, C, ΠΟΔΙ, ΣΤ του Δ.Ο.Ε στο χρονικό διάστημα Αυγούστος - Νοέμβριος 2011.

8.1 ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ

Υπολογίζεται το διάνυσμα της μεταβολής θέσης της κάθε κορυφής (δr) και η διεύθυνση αυτού ($a_{\delta r}$) καθώς και τα στοιχεία της έλλειψης σφάλματος κάθε κορυφής. Έπειτα πραγματοποιήθηκε μονοδιάστατος έλεγχος μετακίνησης, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

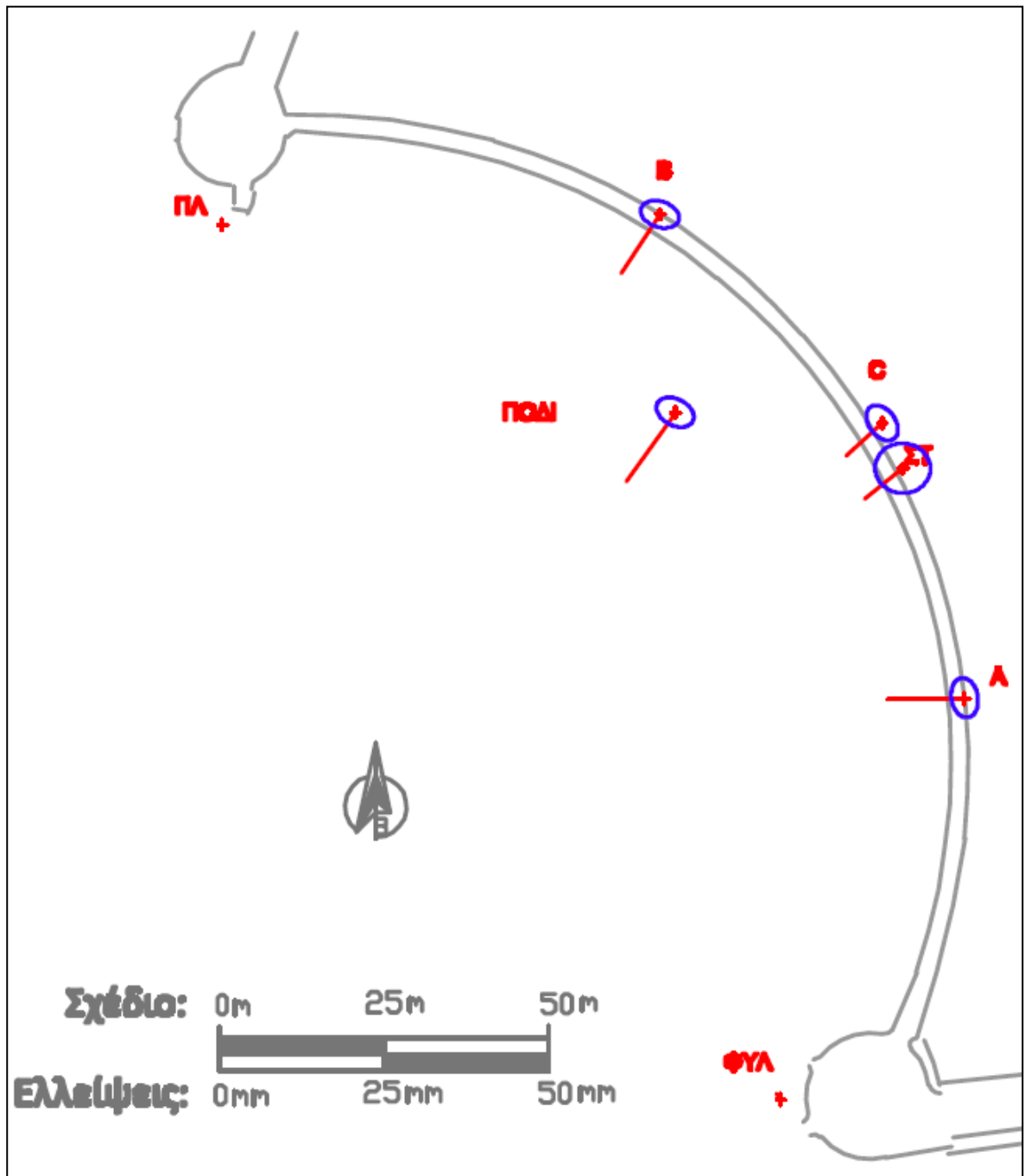
Τα στοιχεία των απόλυτων ελλείψεων σφάλματος και ο μονοδιάστατος έλεγχος φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

A/A	ΚΩΔ.	σ _υ (mm)	σ _ν (mm)	θ (grad)	δ _r (mm)	σ _{δ_r} (mm)	a _{δ_r} (g)	σ _υ *z (mm)	ΥΠΑΡΞΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ
1.	ΠΛ								-
2.	ΦΥΛ	2		163,89	1	±2	363,89	4	ΟΧΙ
4.	Β	3	2	180,57	10	±3	235,65	6	ΝΑΙ
5.	Α	3	2	111,14	12	±2	300,00	6	ΝΑΙ
6.	C	3	2	141,57	7	±3	252,62	6	ΝΑΙ
7.	ΠΟΔΙ	3	2	169,81	13	±3	239,11	6	ΝΑΙ
8.	ΣΤ	4	4	194,92	7	±4	257,00	8	ΟΧΙ

Πίνακας 13: Στοιχεία απόλυτων ελλείψεων σφάλματος - Μονοδιάστατος έλεγχος για ύπαρξη απόλυτων μετακινήσεων κορυφών.

Table 13: Absolute error ellipses - One dimensional test of the statistical significance of the absolute displacement vectors.

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 13 οι κορυφές A, B, C και ΠΟΔΙ παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική μετακίνηση για το διάστημα Αύγουστος – Νοέμβριος 2011. Στο σχήμα 23 παρουσιάζονται οι απόλυτες ελλείψεις σφάλματος για επίπεδο εμπιστοσύνης 39,7%, και τα διανύσματα μετακίνησης για κάθε κορυφή του δικτύου, σε σχέση με το φράγμα.



Σχήμα 23: Απόλυτες ελλείψεις σφάλματος (39,7%) και διανύσματα μετακίνησης κορυφών δικτύου.

Figure 23: Absolute error ellipses (39,7%) and displacement vectors of the network's points.

8.2 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ

Ο έλεγχος για οριζόντιες μετακινήσεις των κορυφών του δικτύου ολοκληρώνεται με την εξέταση της μεταβολής των σχετικών θέσεων των κορυφών του δικτύου. Η εξέταση αυτή θα γίνει για τις πλευρές που σχηματίζονται μεταξύ των κορυφών που βρίσκονται στη στέψη καθώς και μεταξύ αυτών που βρίσκονται στη στέψη και στη βάση του φράγματος.

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα στοιχεία των ελλείψεων σφάλματος των πλευρών που φαίνονται στον πίνακα 14. Με αντίστοιχο τρόπο αυτού των απόλυτων μετακινήσεων πραγματοποιείται μονοδιάστατος έλεγχος σχετικής μετακίνησης μεταξύ των αντίστοιχων κορυφών (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

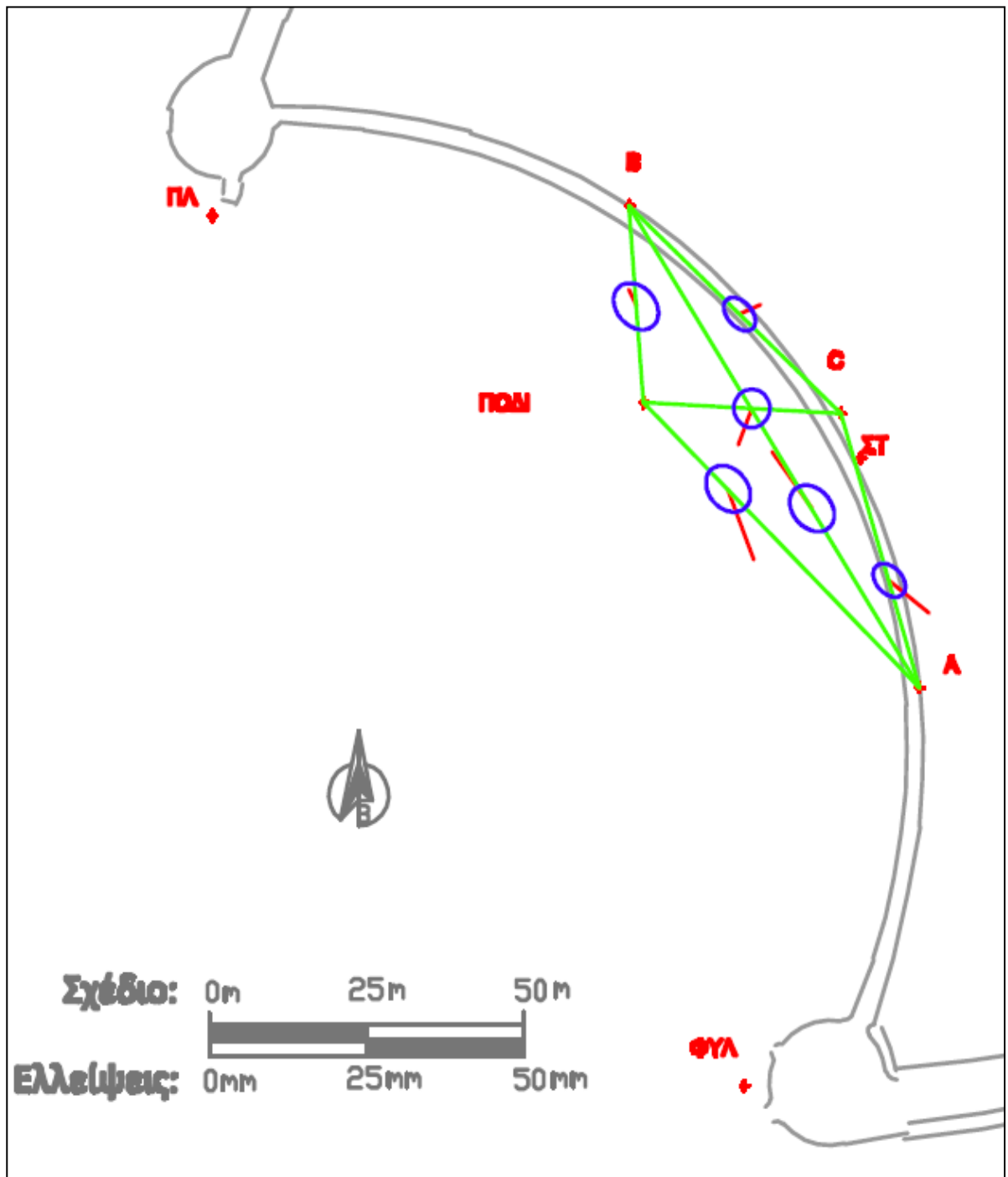
Τα στοιχεία των σχετικών ελλείψεων σφάλματος καθώς και ο μονοδιάστατος έλεγχος φαίνονται στον πίνακα 14.

A/A.	ΚΩΔ.	σ _u (mm)	σ _v (mm)	θ (grad)	δΔr (mm)	σδΔr (mm)	αδΔr (g)	σ _u *z (mm)	ΥΠΑΡΞΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ
1.	B-A	3	3	150,00	11	±3	360,24	6	ΝΑΙ
2.	B-C	3	2	150,00	4	±3	75,09	6	ΟΧΙ
3.	B-ΠΟΔΙ	4	3	150,00	3	±5	369,55	8	ΟΧΙ
4.	A-C	3	2	150,00	8	±3	143,75	6	ΝΑΙ
5.	A-ΠΟΔΙ	4	3	150,00	11	±4	176,00	8	ΝΑΙ
6.	C-ΠΟΔΙ	4	3	150,00	6	±5	222,14	8	ΟΧΙ

Πίνακας 14: Στοιχεία σχετικών ελλείψεων σφάλματος - Μονοδιάστατος έλεγχος για ύπαρξη σχετικών μετακινήσεων μεταξύ των κορυφών.

Table 14: Relative error ellipses - One dimensional test of the statistical significance of the relative displacement vectors.

Στο σχήμα 24 παρουσιάζονται οι σχετικές ελλείψεις σφάλματος και τα διανύσματα μετακίνησης για κάθε πλευρά του δικτύου, σε σχέση με το φράγμα.



Σχήμα 24: Σχετικές ελλείψεις σφάλματος (39,7%) και διανύσματα μετακίνησης πλευρών δικτύου.

Figure 24: Relative error ellipses (39,7%) and displacement vectors of the network's points.

Κεφάλαιο 9^ο

Η Διαδικασία Σάρωσης του Φράγματος

9 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

9.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με σκοπό την ανίχνευση της δυνατότητας χρήσης εκονοσταθμού για τον προσδιορισμό μετακινήσεων στο σώμα του φράγματος πραγματοποιήθηκε σάρωση της επιφάνειάς του τις ίδιες χρονικές στιγμές με αυτές της μέτρησης των στοιχείων του Δ.Ο.Ε.

Χρησιμοποιήθηκε ο εικονοσταθμός TOPCON ISO1, ενώ επιλέχθηκε ως πυκνότητα σάρωσης 0,5m οριζόντια και 0,5m κατακόρυφα.

9.2 ΟΙ ΣΑΡΩΣΕΙΣ

Ως στάσεις οργάνου χρησιμοποιήθηκαν οι κορυφές του δικτύου ΠΛ και ΦΥΛ. Από κάθε στάση δημιουργήθηκαν 3 ζώνες σάρωσης. Η πρώτη από τη στέψη του φράγματος μέχρι και λίγα μέτρα κάτω από τους υπερχειλιστές στα 790m περίπου, η δεύτερη από τα 790m μέχρι το μέσο του φράγματος και η τελευταία από τη μέση περίπου μέχρι τη βάση(όσο αυτό ήταν δυνατό). Στη σαρωθείσα επιφάνεια από τις 2 στάσεις υπήρχε οριζόντια επικάλυψη, όσο το οριζόντιο άνοιγμα των 2 υπερχειλιστών, δηλαδή 14m.

Μέσω του λογισμικού του οργάνου προσδιορίστηκαν αυτόματα, συνολικά και από τις 2 στάσεις οι τρισδιάστατες συντεταγμένες, στο σύστημα αναφοράς του δικτύου, από 27892 σημεία για την πρώτη φάση μετρήσεων και 25498 για τη δεύτερη τα οποία δημιούργησαν ένα νέφος σημείων αντίστοιχα για κάθε φάση.

9.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

9.3.1 Διαχείριση Νέφους Σημείων

Για τη διαχείριση των νεφών σημείων που προέκυψαν από τη σάρωση της επιφάνειας στις δύο φάσεις μετρήσεων επιλέχθηκε το λογισμικό Realworks Survey

Standart, που δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης και επεξεργασίας του νέφους σημείων καθώς και την προσαρμογή επιφάνειας σε αυτό.

Τα βήματα της διαχείρισης του νέφους ήταν συνοπτικά τα εξής:

- **Εισαγωγή των συντεταγμένων (X, Y, H) των σημείων σάρωσης** στο περιβάλλον του λογισμικού ακολουθώντας τη διαδρομή **File → Open** και επιλογή του αρχείου συντεταγμένων σε μορφή dxf.
- **Μετατροπή των δύο αρχείων με τα δεδομένα από τη σάρωση Α' και Β' φάσης σε δύο ξεχωριστά αντικείμενα (Objects)** σε παράθυρο του προγράμματος για την παραπέρα επεξεργασία καθενός από αυτά.
- **Καθαρισμός του θορύβου κάθε νέφους**, που υπήρχε λόγω της σκόπευσης σημείων που δεν βρίσκονταν στην επιφάνεια του φράγματος (πχ. δέντρα). Μέσω του εργαλείου **Tools → Segmentation Tool** έγινε διαλογή των σημείων που επρέπε να απομακρυνθούν.
- **Δημιουργία ξεχωριστού αντικειμένου (Object) με τα απομακρυσμένα σημεία** μέσω της επιλογής **Create**.

Έτσι δημιουργήθηκαν δύο αντικείμενα χωρίς θόρυβο, ένα για κάθε φάση, στα οποία προσαρμόστηκε επιφάνεια όπως περιγράφεται παρακάτω.

9.3.2 Δημιουργία της Επιφάνειας του Φράγματος – Τομές

Η διαδικασία δημιουργίας επιφάνειας προσαρμοσμένης στο νέφος σημείων και η δημιουργία οριζόντιων τομών μέσω του συγκεκριμένου λογισμικού συνοψίζεται στα εξής βήματα:

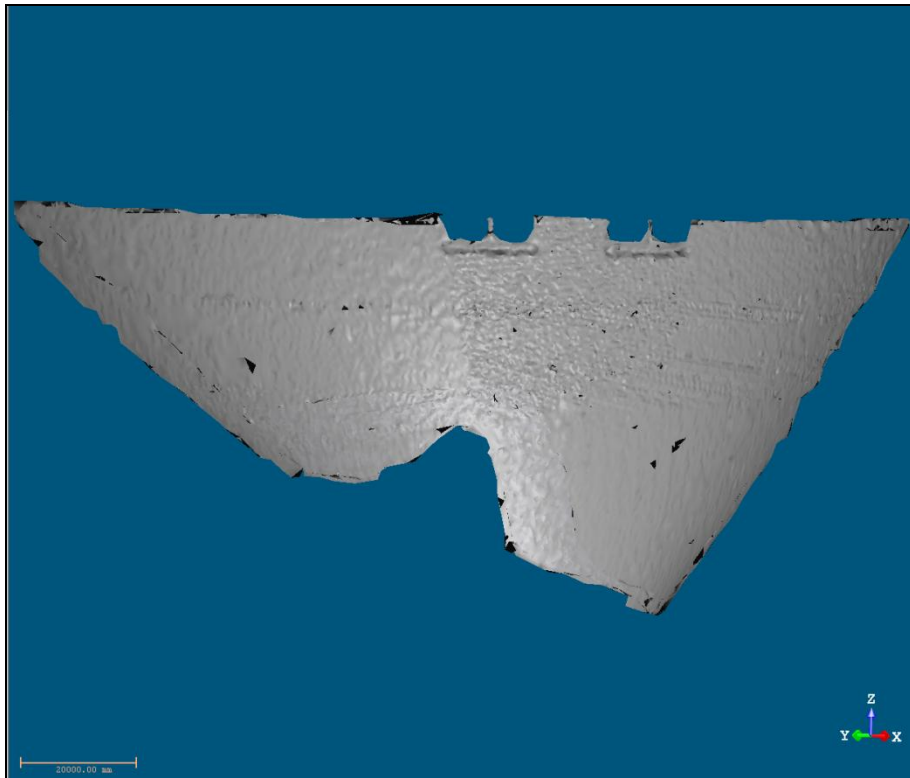
- **Δημιουργία επιφάνειας στο επιλεγμένο αντικείμενο** χωρίς προβολή της σε κάποιο στερεό (**no projection**) μέσω του εργαλείου **Mesh Creation Tool**.
- **Επεξεργασία της επιφάνειας που δημιουργήθηκε**, όπως λείανση (smooth), αφαίρεση κορυφών (remove peaks), μέσω του εργαλείου **Mesh Editing Tool**. (Εικόνα 17).

Η επεξεργασία των δεδομένων σάρωσης με τη χρήση λογισμικού εξαρτάται από πλήθος παραμέτρων όπως η ακρίβεια της μέτρησης μήκους χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, η υφή της επιφάνειας, το χρώμα, η απόσταση, το μέγεθος της επιφάνειας, η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης κ.λπ.

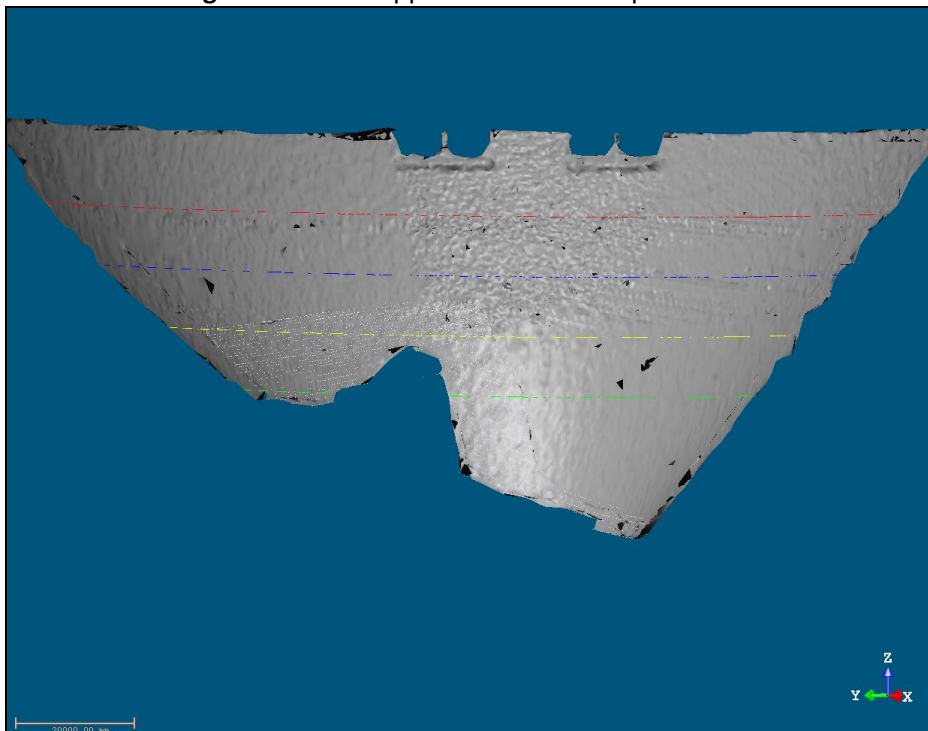
- **Πραγματοποίηση τομών στην επιφάνεια** που προκύπτει από κάθε φάση σάρωσης. Οι τομές αυτές είναι παράλληλες στο επίπεδο που σχηματίζουν οι άξονες Χ-Χ' και Υ-Υ' του λογισμικού οι οποίοι ταυτίζονται με τους άξονες του δικτύου οριζοντίου ελέγχου και βρίσκονται σε συγκεκριμένα υψόμετρα (780m, 770m, 760m, 750m), μέσω του εργαλείου **(Tools-Cutting Plane Tool)**. Τα συγκεκριμένα υψόμετρα επιλέχθηκαν διότι σε αυτά μεταβάλλεται η ακτίνα καμπυλότητας του φράγματος, σύμφωνα με τα στοιχεία που διέθεσε η ΔΕΗ.
- **Μετατροπή των τομών** στα υψόμετρα 780m, 770m, 760m, 750m **σε νέα αντικείμενα μέσω της εντολής (Objects)**. (Εικόνες 18, 19).
- **Εξαγωγή** των νέων αυτών αντικειμένων **σε περιβάλλον Autocad** για παραπέρα επεξεργασία, μέσω της εντολής **(Export Selection)**.

Οι τομές που προέκυψαν προσεγγίστηκαν με κυκλικά τόξα σε κάθε στάθμη και για τις δύο φάσεις, οι τιμές των κέντρων και των ακτίνων των οποίων παρατίθενται στους Πίνακες 16, 17. Συγκεκριμένα για την προσαρμογή κυκλικού τόξου σε κάθε τομή επιλέχθηκαν τα δύο ακραία σημεία αυτής καθώς και το σημείο που βρίσκεται στη μεσοκάθετο της αντίστοιχης χορδής.

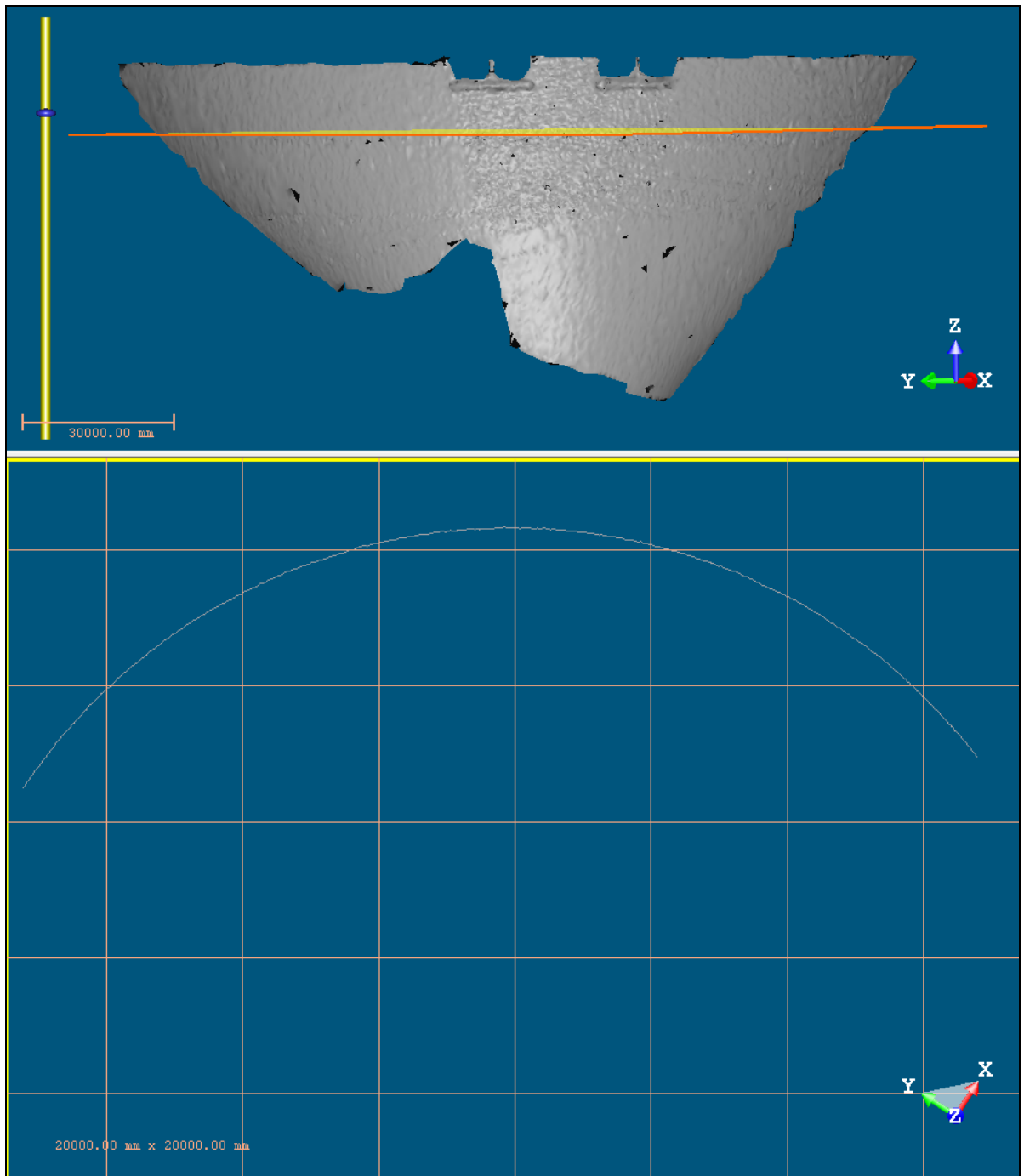
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο φάσεων δεν έδωσε τη δυνατότητα ανίχνευσης μετακινήσεων ανάλογων με αυτές που προέκυψαν από την επίλυση του δικτύου.



Εικόνα 17: Επιφάνεια προσαρμοσμένη στο νέφος σημείων.
Image 17: Surface approximated to the points cloud.



Εικόνα 18: Οριζόντιες τομές στις στάθμες 750, 760, 770, 780 m.
Image 18: Horizontal cuts on levels 750, 760, 770, 780 m.



Εικόνα 19: Οριζόντια τομή στη στάθμη των 780 m.
Image 19: Horizontal cut on level 780 m.

9.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΜΕ Μ.Ε.Τ.

Όπως προαναφέρθηκε, ο προσδιορισμός των οριζόντιων μετακινήσεων του φράγματος δεν ήταν δυνατός με τη χρήση λογισμικού. Για το λόγο αυτό αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα της σάρωσης για την προσομοίωση μαθηματικής καμπύλης σε διάφορα υψόμετρα και για τις δύο φάσεις μετρήσεων.

Επιλέχθηκαν, τα υψόμετρα 780m, 770m, 760m και 750m. Δημιουργήθηκαν ζώνες των 10cm (-5cm, +5cm) σε κάθε υψόμετρο για να υπάρχει μεγαλύτερο πλήθος σημείων – παρατηρήσεων. Έτσι για τη στάθμη 780m χρησιμοποιήθηκαν σημεία με υψόμετρο από 779,950m έως 780,050m, για την στάθμη των 770m από 769,950m έως 770,050m και ούτω καθεξής.

Η προσαρμογή των σημείων σε κυκλικό τόξο πραγματοποιήθηκε με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων.

Η γενική μορφή της εξίσωσης του κύκλου είναι η εξής:

$$fi = \sqrt{(xi - xo)^2 + (yi - yo)^2} - Ro \quad (18)$$

όπου οι άγνωστες ανεξάρτητες παράμετροι είναι τρεις, οι συντεταγμένες του κέντρου του κυκλικού τόξου και η ακτίνα του (x_0, y_0, R_0) .

Επειδή η παραπάνω σχέση δεν είναι γραμμική αναπτύσσεται κατά Taylor με τη βοήθεια προσωρινών συντεταγμένων (x_0, y_0, R_0) . Τα (x_0, y_0) προέκυψαν από την εύρεση του κέντρου του τόξου που προσαρμόστηκε στο νέφος σημείων της κάθε ζώνης μέσω σχεδιαστικού προγράμματος ενώ ως R_0 χρησίμευσαν οι ακτίνες καμπυλότητας που δίνονται στο αρχείο της Δ.Ε.Η. για κάθε στάθμη.

Οι προσωρινές τιμές θεωρήθηκαν ίδιες και για τις δύο φάσεις Αυγούστου και Νοέμβρη και είναι οι εξής:

ΣΤΑΘΜΗ (m)	x _o (m)	y _o (m)	R _o (m)
780	5245,844	5028,512	86,180
770	5253,975	5033,308	77,610
760	5262,924	5037,736	67,800
750	5273,527	5043,084	56,740

Πίνακας 15: Προσωρινές τιμές σε m.

Table 15: Initial estimates for the best fitting circles (centers' coordinates and radius).

Κάθε μέτρηση δίνει μία εξίσωση παρατήρησης της μορφής:

$$\alpha_{i1}\delta x + \alpha_{i2}\delta y + \alpha_{i3}\delta z = \delta l_i + u \quad (19)$$

Έτσι ο πίνακας σχεδιασμού A, με τους συντελεστές των αγνώστων έχει τη μορφή:

$$A = \begin{array}{ccc} \frac{\theta_{f1}}{x_o} & \frac{\theta_{f1}}{y_o} & -1 \\ \frac{\theta_{f2}}{x_o} & \frac{\theta_{f2}}{y_o} & -1 \\ \vdots & & \\ \frac{\theta_{fv}}{x_o} & \frac{\theta_{fv}}{y_o} & -1 \end{array}$$

και ο πίνακας δl ως εξής,

$$\delta l = \begin{array}{c} R_o - \sqrt{(x_1 - x_o)^2 + (y_1 - y_o)^2} \\ R_o - \sqrt{(x_2 - x_o)^2 + (y_2 - y_o)^2} \\ \vdots \\ R_o - \sqrt{(x_v - x_o)^2 + (y_v - y_o)^2} \end{array}$$

Έγινε επίλυση και ελέγχθηκαν τα υπόλοιπα των παρατηρήσεων. Στη συνέχεια εξαιρέθηκαν οι παρατηρήσεις με υπόλοιπο $v_i = l_i - \hat{l}_i > 0,05m$ και επαναλήφθηκε η επίλυση.

Πραγματοποιήθηκε μονοδιάστατος έλεγχος, με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, για να διαπιστωθεί αν οι διορθώσεις δx , δy , δR που προκύπτουν από την κάθε επίλυση είναι στατιστικά σημαντικές.

Οι τελικές τιμές των συντεταγμένων των κέντρων των κυκλικών τόξων και των ακτίνων τους, για κάθε στάθμη και στις δύο φάσεις, δίνονται στους Πίνακες 16, 17. Επιπλέον, για κάθε κύκλο που υπολογίστηκε, προσδιορίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης ρ , από τη σχέση :

$$\rho^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (20)$$

Όπου:

y_i : το y κάθε σημείου που χρησιμοποιήθηκε στη συνόρθωση

\hat{y}_i : το y κάθε σημείου όπως υπολογίζεται από την εξίσωση του κύκλου μετά τη συνόρθωση

\bar{y} : ο μέσος όρος των y ($\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$).

9.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΡΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΚΑΙ Μ.Ε.Τ.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες 16, 17 με τις τελικές τιμές των συντεταγμένων κέντρων των κυκλικών τόξων, των ακτίνων, τα αντίστοιχα *a-posteriori* τυπικά σφάλματα, τους συντελεστές συσχέτισης ρ της προσομοίωσης στις αντίστοιχες στάθμες. Στους ίδιους πίνακες δίνονται και οι αντίστοιχες τιμές των κέντρων των κυκλικών τόξων και των ακτίνων τους, όπως προέκυψαν από την

επεξεργασία του νέφους με τη χρήση του λογισμικού Realworks, για κάθε στάθμη για τις δύο φάσεις.

Σε κάθε πίνακα παρατίθεται, για σύγκριση, η ακτίνα κάθε στάθμης όπως αυτή δίνεται για τη χρονολογία 1962 από το αρχείο της Δ.Ε.Η. με όνομα «ΦΡΑΓΜΑ ΚΑΚΑΒΑΚΙΩΝ 1962».

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2011														
ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΜΕ Μ.Ε.Τ.									ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ			ΡΔΕΗ (m) 1962	R(M.E.T)- (ΔΕΗ) (mm)
	n	$\hat{\sigma}_o(m)$	xo	$\hat{\sigma}_x(m)$	yo	$\hat{\sigma}_y(m)$	Ro	$\hat{\sigma}_R(m)$	ρ	xo	yo	Ro		
780	40	$\pm 0,028$	5245,502	$\pm 0,036$	5028,303	$\pm 0,023$	86,180	$\pm 0,037$	0,99	5245,581	5028,386	86,045	86,18	0
770	31	$\pm 0,024$	5253,975	$\pm 0,033$	5033,250	$\pm 0,021$	77,515	$\pm 0,034$	0,89	5253,905	5033,299	77,467	77,61	-95
760	21	$\pm 0,029$	5263,218	$\pm 0,054$	5038,000	$\pm 0,049$	67,800	$\pm 0,064$	0,99	5263,287	5038,13	67,606	67,80	0
750	11	$\pm 0,021$	5273,186	$\pm 0,056$	5042,935	$\pm 0,033$	56,869	$\pm 0,057$	0,89	5273,379	5042,981	56,638	56,74	129

Πίνακας 16: Τελικές τιμές κέντρων και ακτίνων των κυκλικών τόξων από επεξεργασία λογισμικού και Μ.Ε.Τ. Α' Φάσης – Τιμές ακτίνων από ΔΕΗ.

Table 16: Final values of centers and rays of circular arcs processing by software and L.S.M. (A measuring epoch). – Values of rays by PPC.

ΝΟΕΜΒΡΗΣ 2011														
ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΜΕ Μ.Ε.Τ.									ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ			RΔΕΗ (m) 1962	R(M.E.T) -R(ΔΕΗ) (mm)
	n	$\hat{\sigma}_o(m)$	xo	$\hat{\sigma}_x(m)$	yo	$\hat{\sigma}_y(m)$	Ro	$\hat{\sigma}_R(m)$	ρ	xo	yo	Ro		
780	47	$\pm 0,025$	5245,306	$\pm 0,030$	5028,201	$\pm 0,016$	86,320	$\pm 0,029$	0,98	5245,407	5028,222	86,165	86,18	140
770	24	$\pm 0,031$	5253,975	$\pm 0,048$	5033,189	$\pm 0,034$	77,555	$\pm 0,051$	0,92	5253,953	5033,270	77,467	77,61	-55
760	20	$\pm 0,028$	5263,218	$\pm 0,068$	5038,038	$\pm 0,040$	67,800	$\pm 0,071$	0,92	5263,354	5038,111	67,608	67,80	0
750	10	$\pm 0,025$	5273,411	$\pm 0,053$	5042,988	$\pm 0,035$	56,689	$\pm 0,051$	1	5273,354	5042,957	56,648	56,74	-51

Πίνακας 17: Τελικές τιμές κέντρων και ακτίνων των κυκλικών τόξων από επεξεργασία λογισμικού και Μ.Ε.Τ. Β' Φάσης – Τιμές ακτίνων από ΔΕΗ.

Table 17: Final values of centers and rays of circular arcs processing by software and L.S.M. (B measuring epoch). – Values of rays by PPC.

Κεφάλαιο 10^ο
Χρονοδιάγραμμα Εργασιών

10. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

10.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, με τη σειρά που προστάζουν τα στάδια της Γεωδαιτικής μεθοδολογίας.

10.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Πριν την έναρξη των εργασιών στο πεδίο πραγματοποιήθηκαν κάποιες ενέργειες κυρίως σε ότι αφορά στη συγκέντρωση των απαραίτητων πληροφοριών και στοιχείων για το φράγμα Ταυρωπού από την αρμόδια υπηρεσία της ΔΕΗ, στην αναγνώριση της περιοχής μελέτης, στην ίδρυση του νέου δικτύου και στην εξοικείωση με τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της εργασίας. Οι εργασίες αυτές διήρκεσαν 15 ημέρες.

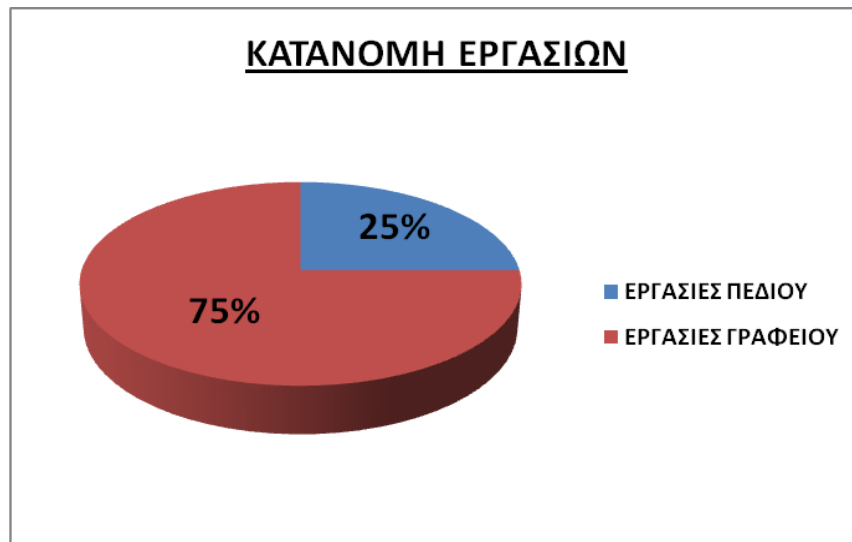
Σε ότι αφορά στην πρώτη φάση, πραγματοποιήθηκαν οι εργασίες πεδίου με τον έλεγχο των δύο ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών και του χωροβάτη, στην περιοχή του ΕΜΠ για 3 ημέρες. Ακολούθησε η διαδικασία των μετρήσεων του δικτύου 2 ημέρες, των γεωμετρικών χωροσταθμήσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου 1 ημέρα καθώς και η διαδικασία της σάρωσης της επιφάνειας του φράγματος 1 ημέρα. Ανάλογες εργασίες πραγματοποιήθηκαν κατά τη δεύτερη φάση μετρήσεων, με εξαίρεση τις γεωμετρικές χωροσταθμήσεις που γίνανε μόνο στην πρώτη φάση. Για τις εργασίες αυτές απαιτήθηκαν συνολικά 10 ημέρες με μέσο όρο μετρήσεων υπαίθρου 6 ώρες.

Στη συνέχεια ακολούθησε το στάδιο της επεξεργασίας των μετρήσεων που διήρκεσε 8 ημέρες. Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την επεξεργασία των στοιχείων που μετρήθηκαν, τη συνόρθωση του δικτύου σε υπολογιστικό φύλλο Excel και τους στατιστικούς ελέγχους του δικτύου και των παρατηρήσεων.

Τέλος, για τις εργασίες γραφείου απαιτήθηκαν 65 ημέρες, όπου εκτός από όσα προαναφέρθηκαν, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των οριζόντιων μετακινήσεων του φράγματος, οι σχετικές ελλείψεις σφάλματος, ο υπολογισμός των υψομέτρων των κορυφών, η επεξεργασία των δεδομένων της σάρωσης με την

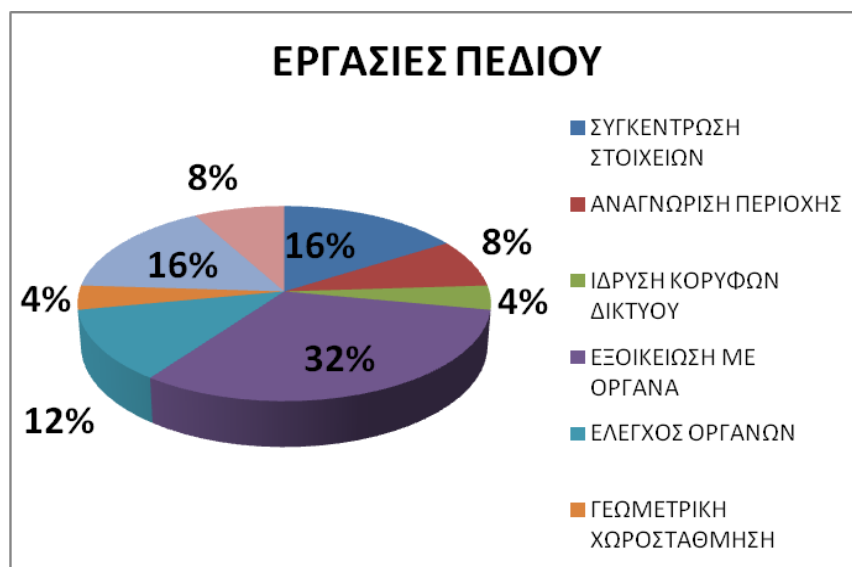
προσαρμογή επιφάνειας και καμπύλων σε αυτά και η συγγραφή του τεύχους της διπλωματικής εργασίας.

Συγκεντρωτικά, απαιτήθηκαν 25 ημέρες για τις εργασίες πεδίου και 73 ημέρες για την ολοκλήρωση των εργασιών γραφείου. Στα επόμενα γραφήματα παρουσιάζεται η κατανομή των εργασιών πεδίου και γραφείου (Γράφημα 1), η κατανομή των επιμέρους εργασιών πεδίου (Γράφημα 2) και γραφείου (Γράφημα 3).



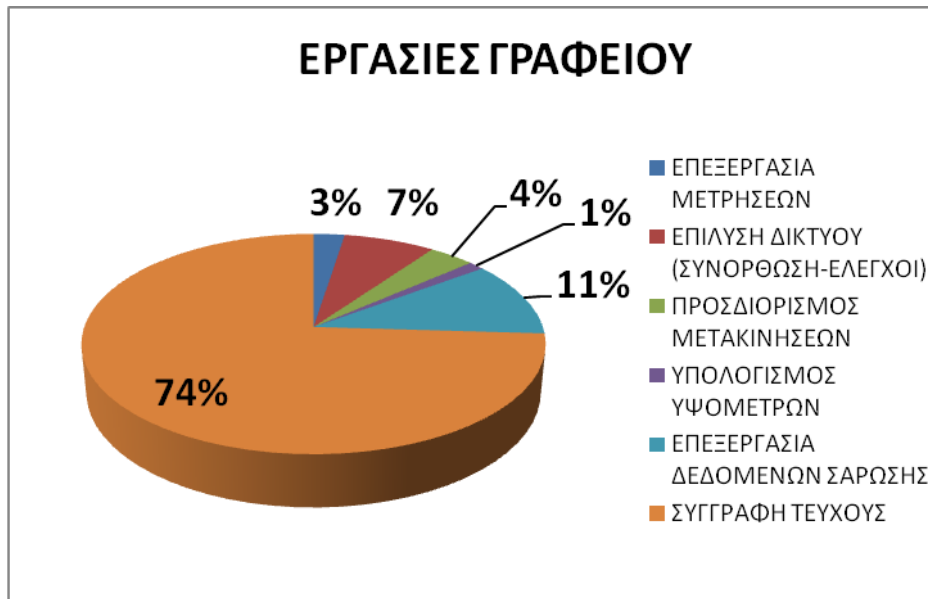
Γράφημα 1: Η κατανομή εργασιών της Διπλωματικής Εργασίας.

Graph 1: Work Distribution During the Dissertation.



Γράφημα 2: Η κατανομή των εργασιών πεδίου.

Graph 2: Field Work Distribution.



Γράφημα 3: Η κατανομή των εργασιών γραφείου.

Graph 3: Office Work Distribution.

Κεφάλαιο 11^ο

Συμπεράσματα και Προτάσεις

11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

11.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Σε ότι αφορά στις μετρήσεις των στοιχείων του δικτύου και τα αποτελέσματα αυτών.

- Η χρήση των σύγχρονων γεωδαιτικών οργάνων και του κατάλληλου εξοπλισμού σε όλα τα στάδια της εργασίας μείωσε σημαντικά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου και γραφείου, αφού χρειάστηκε λιγότερος χρόνος τόσο για τις μετρήσεις όσο και για την επεξεργασία τους.
- Το δίκτυο που ιδρύθηκε έχει ευαισθησία $\pm 6\text{mm}$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Έτσι είναι βέβαιο ότι οποιαδήποτε μετακίνηση μεγαλύτερη των 6mm θα εντοπιστεί με πιθανότητα 95%.
- Το πλεονέκτημα της γεωδαιτικής μεθοδολογίας για τη μελέτη των παραμορφώσεων γενικά, και των φραγμάτων ειδικότερα, είναι ότι οι πιθανές μετακινήσεις μπορούν άμεσα να συσχετισθούν αφού προσδιορίζονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς.
- Το μέγεθος των ελλείψεων είναι μικρό, κάτι που συνδέεται με τα μικρά στοιχεία του πίνακα μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας.
- Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξέταση των αποτελεσμάτων των ελέγχων μετακινήσεων. Παρότι οι φάσεις των μετρήσεων βρίσκονταν χρονικά κοντά μεταξύ τους (διάστημα 3 μηνών), παρατηρήθηκε στην πλειονότητα, μεταβολή απόλυτης θέσης σημείων που ξεπέρασαν το στατιστικό όριο για τον μονοδιάστατο έλεγχο. Η μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική μετακίνηση (13mm) εντοπίστηκε στην κορυφή ΠΟΔΙ, στη βάση του φράγματος ενώ η μικρότερη (7mm) στην κορυφή C. Σε ότι αφορά τις σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των κορυφών της στέψης αλλά και αυτών με την κορυφή στη βάση του φράγματος, παρατηρείται μετακίνηση στατιστικά σημαντική στις 3 από τις 6 που ελέγχθηκαν.

- Η διεύθυνση των απόλυτων διανυσμάτων μετακίνησης προς τα κατάντι, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η στάθμη της λίμνης από πρώτη σε δεύτερη φάση μετρήσεων μειώνεται περίπου 3m, αποδεικνύει ότι οι όποιες μετακινήσεις δεν οφείλονται μόνο στη μεταβολή της στάθμης της λίμνης, αλλά είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης της υδροστατικής πίεσης και των θερμοκρασιακών μεταβολών του σκυροδέματος.

Όσον αφορά στη διαδικασία της σάρωσης της επιφάνειας του φράγματος.

- Η σάρωση δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης του νέφους σημείων για τον προσδιορισμό της μορφής και την άμεση δημιουργία 2D ή και 3D μοντέλων του φράγματος στις αντίστοιχες χρονικές στιγμές.

- Η χρήση του εικονοσταθμού για τη σάρωση της επιφάνειας του φράγματος δεν έδωσε τη δυνατότητα προσδιορισμού μετακινήσεων της τάξης του 1 cm που εντοπίστηκαν σε σημεία αυτού μέσω της επίλυσης του Δ.Ο.Ε.

- Σε ότι αφορά στην επεξεργασία μέσω λογισμικού, η παράθεση και σύγκριση των επιφανειών (προσαρμοσμένων στο νέφος σημείων), που δημιουργήθηκαν για τις δύο φάσεις μέσω του λογισμικού δεν έδωσε τη δυνατότητα προσδιορισμού μετακινήσεων για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα καθώς υπήρχαν επικαλύψεις μεταξύ των δύο επιφανειών. Σε επόμενο βήμα δημιουργήθηκαν τομές στις δύο επιφάνειες σε διάφορες στάθμες. Το γεγονός ότι οι τομές δεν αποτελούσαν «αυστηρά» κυκλικά τόξα αντιμετωπίστηκε με την προσαρμογή κυκλικού τόξου σε κάθε μια από αυτές με τη χρήση σχεδιαστικού πακέτου. Ωστόσο ούτε η σύγκριση των αντίστοιχων κυκλικών τόξων κάθε φάσης έδωσε τη δυνατότητα προσδιορισμού μετακινήσεων στο φράγμα.

- Εκτιμάται ότι η τελική ακρίβεια της σάρωσης επηρεάζεται από την ακρίβεια μέτρησης μήκους χωρίς πρίσμα ($\pm 5\text{mm}$) και τις πλάγιες σκοπεύσεις από τις στάσεις ΠΛ, ΦΥΛ, από όπου πραγματοποιήθηκε η σάρωση με συνέπεια οι αλλοιώσεις που προκύπτουν από την επεξεργασία του νέφους σημείων μέσω του λογισμικού να επηρεάζουν σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα.

- Η προσαρμογή καμπύλης κυκλικού τόξου στο νέφος σημείων σε αντίστοιχες στάθμες για τις δύο φάσεις μετρήσεων μέσω της Μ.Ε.Τ. έδωσε τη δυνατότητα σύγκρισης με τα αποτελέσματα της επεξεργασίας μέσω λογισμικού καθώς και με

τα αντίστοιχα κατασκευαστικά στοιχεία (1962) που δόθηκαν από τη ΔΕΗ. Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των τιμών των ακτίνων που δίνονται από τα κατασκευαστικά στοιχεία με αυτές που προκύπτουν από τη Μ.Ε.Τ. οφείλεται τόσο στους παράγοντες που επηρέασαν το αποτέλεσμα της σάρωσης (ακρίβεια, θόρυβος, εποπτεία) όσο και στην μεταβολή τους μετά την πλήρωση της λίμνης - ταμιευτήρα.

11.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την εξαγωγή των παραπάνω συμπερασμάτων προκύπτουν οι ακόλουθες προτάσεις:

- Προτείνεται επαναμέτρηση των στοιχείων του Δ.Ο.Ε. το μήνα Μάιο 2012. Η μέτρηση των στοιχείων του δικτύου που ιδρύθηκε στην περιοχή τους μήνες Αύγουστο, Νοέμβριο και Μάιο θα ήταν σημαντική για τον έλεγχο της συμπεριφοράς του φράγματος καθ' όλο το χρόνο. Σε αυτά τα διαστήματα παρουσιάζονται οι μέγιστες μεταβολές τόσο στη θερμοκρασία όσο και στη στάθμη της λίμνης -ταμιευτήρα (βροχοπτώσεις- χιονοπτώσεις Νοέμβριος - Μάιος και άρδευση Μάιος - Αύγουστος).
- Εγκατάσταση σημείων ελέγχου σε όλο το σώμα του φράγματος με κατάλληλη πυκνότητα.
- Προτείνεται τις ίδιες χρονικές στιγμές να πραγματοποιείται έλεγχος της κατακόρυφης κινηματικής συμπεριφοράς του φράγματος, με την ίδρυση και μέτρηση ενός δικτύου κατακόρυφου ελέγχου το οποίο θα περιλαμβάνει και τις κορυφές του δικτύου οριζοντίου ελέγχου.
- Σε επόμενη φάση, προτείνεται η σάρωση της επιφάνειας του φράγματος από στάση οργάνου που θα βρίσκεται από κατάντη, πάνω στον άξονα συμμετρίας (άξονα Χ-Χ) του φράγματος. Η σάρωση να γίνει με μικρότερο βήμα και σε χρονικές στιγμές που εντοπίζεται η υψηλότερη και χαμηλότερη στάθμη της λίμνης-ταμιευτήρα καθώς και η υψηλότερη και χαμηλότερη θερμοκρασία για να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά στη δυνατότητα προσδιορισμού των μετακινήσεων στο φράγμα με τον εικονοσταθμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ. (2005), **Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις I**, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
2. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ. (2005), **Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις II**, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
3. Γεωργόπουλος Γ., Δογγούρης Σ., Λάμπρου Ε., Μπαλοδήμος Δ., Πανταζής Γ., (2005), **Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας**, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
4. Δερμάνης Δ., Ρωσσικόπουλος Δ., Φωτίου Α., (1994), **Τοπογραφικοί Υπολογισμοί και Συνορθώσεις Δικτύων – Ανάλυση Προγραμμάτων και Παραδείγματα**, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
5. Μπαλοδήμος Δ., Σταθάς Δ., (1993), **Γεωδαιτικά Όργανα και Μέθοδοι Μέτρησης Γωνιών και Μηκών**, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
6. Μπαλοδήμος Δ., Αραμπατζή Ο., (2004), **Υψομετρία**, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
7. Ρόζος Δημ., (2007), **Τεχνική Γεωλογία II**, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
8. Παπαγεωργίου Γ., Τσίτουρας Χ., (2004), **Αριθμητική Ανάλυση**, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
9. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., **Παρακολούθηση παραμορφώσεων φραγμάτων με γεωδαιτικές μεθόδους**, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
10. **Overview of Geodetic Deformation Measurements of Dams**, Dr.J.M.Rueger, School of Surveying and Spatial Information Systems, University of New South Wales.
11. Αρχείο Δ.Ε.Η., Δ.Ε.Η. Υ.Ε.Κ.Ε.Τ., **Φράγμα Κακαβακίων 1962, Συμπεριφορά Φράγματος Ταυρωπού Ιούνιος 1982, ΥΗΣ ΤΑΥΡΩΠΟΥ.**
12. **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οφέλη από την κατασκευή των μεγάλων φραγμάτων της Δ.Ε.Η. Α.Ε.**, Τζιτζή Σ. Π., Μηχανολόγος Μηχανικός, ΔΕΗ ΑΕ, Διεύθυνση Περιβάλλοντος Παραγωγής/Τομέας ΥΗΣ.

13. **1^ο Πανελλήνιο συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων** (ΤΕΕ, ΤΕΕ – Τμ. Κεντρ. & Δυτικής Θεσσαλίας, 13-15 Νοεμβρίου, 2008, Λάρισα).
14. **Υπερχειλιστές και εκκενωτές πυθμένα στα τέσσερα παλαιότερα φράγματα της ΔΕΗ από σκυρόδεμα**, Δημόπουλος Δ., Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., Στεφανάκος Ι.Π., Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Λέκτορας Ε.Μ.Π.
15. **Υδρολογική διερεύνηση της διαχείρισης της λίμνης Πλαστήρα**, Ημερίδα για την παρουσίαση του ερευνητικού έργου «Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα» Καρδίτσα –30 Μαρτίου 2002, Κουτσογιάννης Δ., Ευστρατιάδης Α.& Κουκουβίνος Α., Τομέας Υδατικών Πόρων, Ε.Μ.Π.
16. Πίτσαβος Δ., (2009), « **Οικιστική εξέλιξη Δήμου Νεβρόπολης Αγράφων Ν. Καρδίτσας** » Διπλωματική Εργασία, Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
17. Τέμενος Κ. (2007), «**Παρακολούθηση παραμορφώσεων του φράγματος του Κούρη στην Κύπρο**», Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
18. «**Μελέτη της Μακροχρόνιας Παραμόρφωσης του Φράγματος Κρεμαστών με βάση ανάλυση Γεωδαιτικών Δεδομένων και Μεταβολών Στάθμης Ταμιευτήρα**», Πυθαρούλη Σ., (2007), Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών.
19. Πετρολέκας Κ., (2008), «**Έλεγχος Μικρομετακινήσεων του Μνημείου της Κλεψύδρας στην Ακρόπολη Αθηνών**», Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα.
20. «**Υπολογισμός των μετακινήσεων των μεγάλων φραγμάτων – Τριγωνισμοί υψηλής ακριβείας**», Βλάχος Δ., Τεχνικά Χρονικά, Αύγουστος 1970.

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

- 21.** Earth. Google. com
- 22.** Ecourses. Dbnet. Ntua. gr
- 23.** Egpaid. BlogSpot. com
- 24.** portal. tee. gr
- 25.** Library. Tee. gr
- 26.** itia. ntua. gr
- 27.** thessalia. Gr
- 28.** Εικόνες για φράγματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Περιγραφή Κορυφών Δικτύου

1. ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ

ΚΩΔ.ΚΟΡΥΦΗΣ

ΠΛ

X: 5221,000 m

Y: 5104,000 m

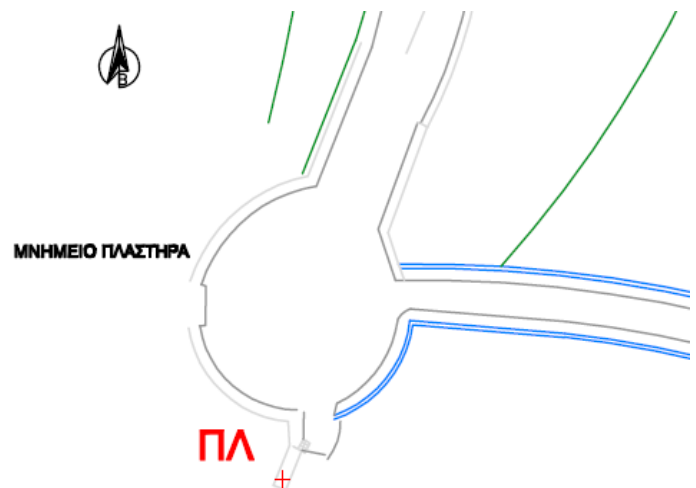
H : 795,943 m

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η κορυφή ΠΛ υλοποιήθηκε με καρφί, ενισχυμένο με εποξειδική ρητίνη πάνω σε κεφαλόσκαλο.

Βρίσκεται αριστερά της στέψης του φράγματος από κατάντη και σε απόσταση 14m από το μνημείο «Πλαστήρα» .

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ



2. ΦΥΛΑΚΙΟ

ΚΩΔ.ΚΟΡΥΦΗΣ

ΦΥΛ

X: 5305,853 m

Y: 4970,786 m

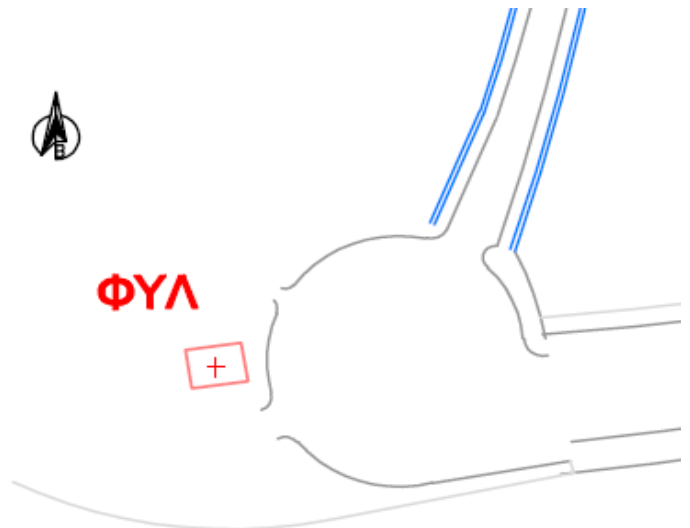
H: 798,392 m

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η κορυφή ΦΥΛ υλοποιήθηκε με καρφί, ενισχυμένο με εποξειδική ρητίνη, στη σκεπή του φυλακίου του φράγματος.

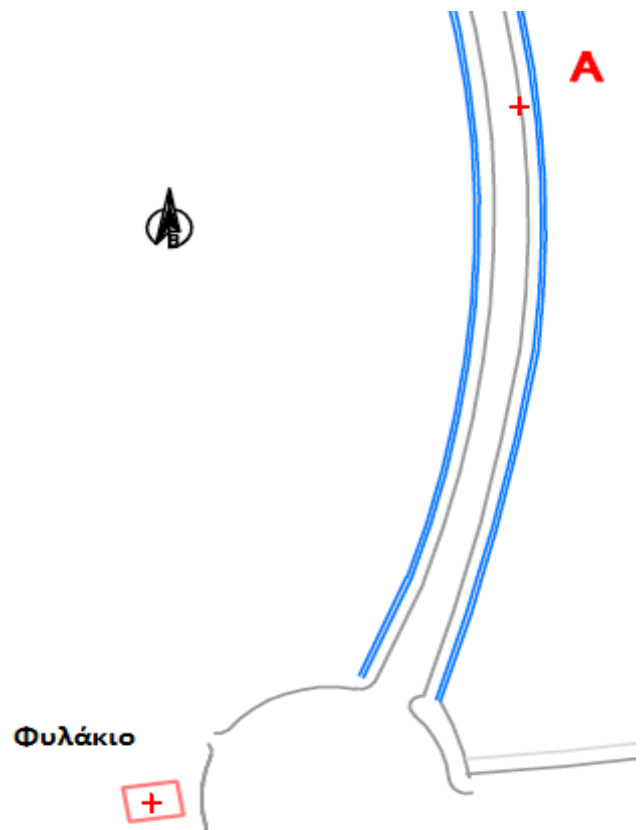
Βρίσκεται δεξιά της στέψης του φράγματος από κατάντη και σε απόσταση 20m από τη στέψη του φράγματος.

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ



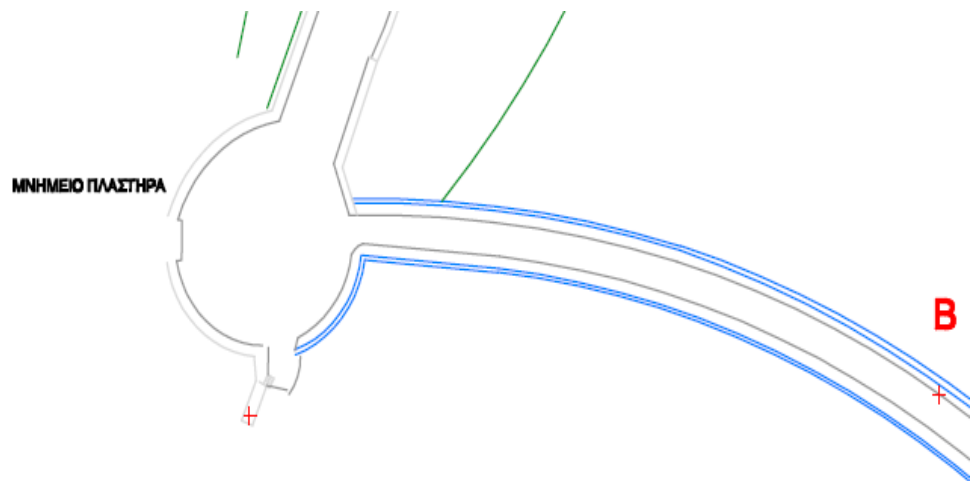
3. A

ΚΩΔ.ΚΟΡΥΦΗΣ	A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
<p>X: 5033,806 m</p> <p>Y: 5031,832 m</p> <p>H: 795,526 m</p>		<p>Η κορυφή A υλοποιήθηκε με καρφί, ενισχυμένο με εποξειδική ρητίνη, στο ρήθρο του πεζοδρομίου της στέψης του φράγματος.</p> <p>Βρίσκεται στη δεξιά, από κατάντη, μεριά της στέψης, και σε απόσταση 67m από το Φυλάκιο.</p>
		ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ



4. B

ΚΩΔ.ΚΟΡΥΦΗΣ	B	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
<p>X: 5287,491 m</p> <p>Y: 5105,629 m</p> <p>H: 795,542 m</p>		<p>Η κορυφή B υλοποιήθηκε με καρφί, ενισχυμένο με εποξειδική ρητίνη, στο ρήθρο του πεζοδρομίου της στέψης του φράγματος.</p> <p>Βρίσκεται στην αριστερή, από κατάντη, μεριά της στέψης, και σε απόσταση 74m από το μνημείο «Πλαστήρα».</p>
		ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ



5. ζ

ΚΩΔ.ΚΟΡΥΦΗΣ

ζ

X: 5321,274 m

Y: 5073,835 m

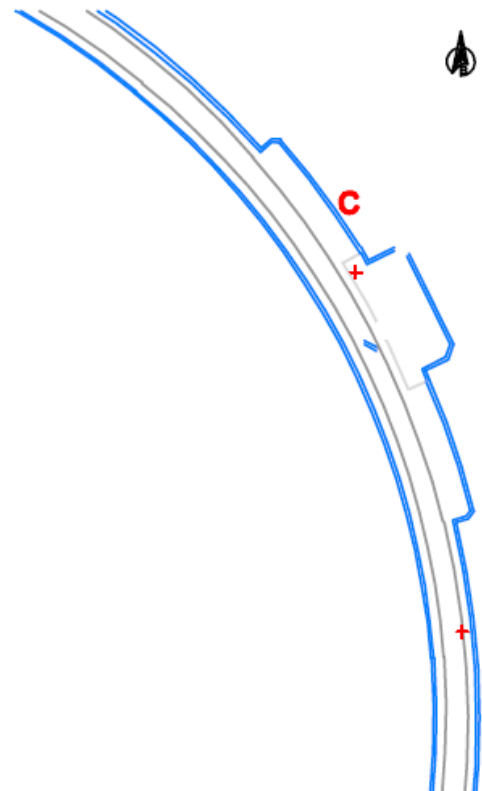
H: 797,684 m

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Κορυφή - κέντρο μπουλονιού σε τσιμεντένιο βάθρο εξαναγκασμένης κέντρωσης.

Το βάθρο βρίσκεται στο μέσο περίπου της στέψης του φράγματος, πάνω σε προβλήτα ύψους 1,5m.

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ



6. ΠΟΔΙ

ΚΩΔ.ΚΟΡΥΦΗΣ

ΠΟΔΙ

X: 5289,820 m

Y: 5075,447 m

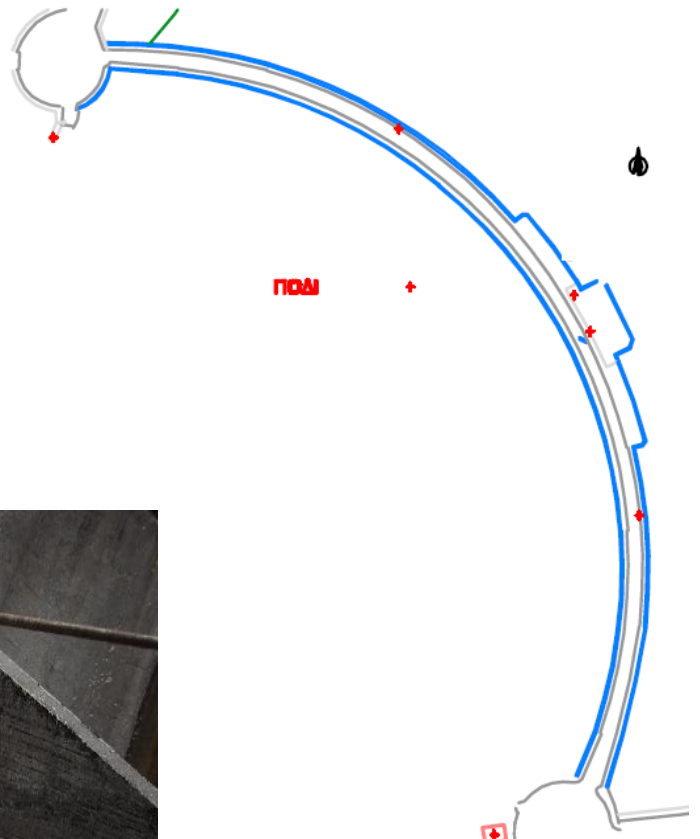
H: 735,977 m

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η κορυφή ΠΟΔΙ ιδρύθηκε με καρφί, πάνω σε στερεωμένο φύλλο αλουμινίου, σε τσιμεντένιο πλάτωμα.

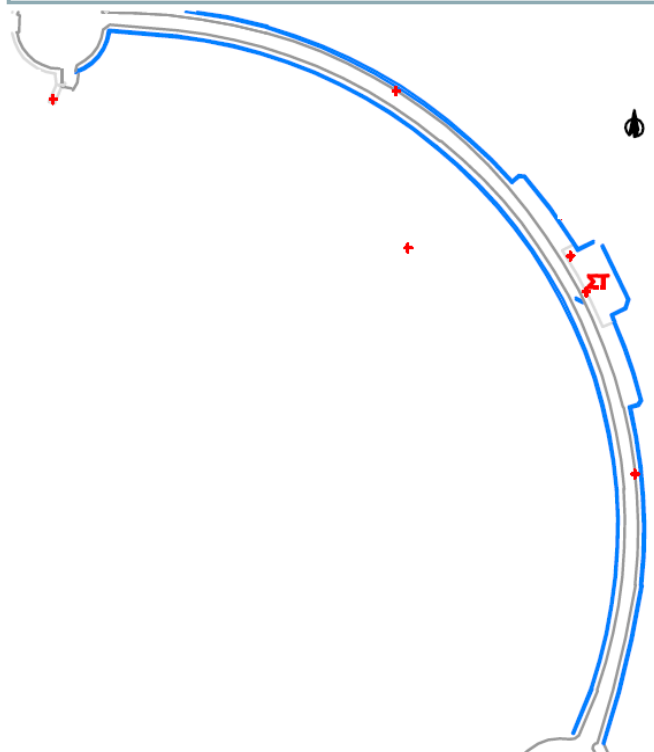
Βρίσκεται στον πόδα του φράγματος, λίγο αριστερά, από κατάντη, του άξονα Χ-Χ' του φράγματος.

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ



7. ΣΤΟΧΟΣ

ΚΩΔ.ΚΟΡΥΦΗΣ	ΣΤ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
<p>X: 5324,363 m</p> <p>Y: 5066,914 m</p> <p>H: 761,964 m</p>		<p>Χρησιμοποιήθηκε ως κορυφή στόχος τοποθετημένος στο σώμα του φράγματος από την κατασκευή αυτού.</p> <p>Βρίσκεται στο σώμα του φράγματος, στο μέσο αυτού κατά μήκος και περίπου στο μέσο ύψος του.</p>
		ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΡΓΑΝΩΝ – ΚΥΚΛΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ/ΚΤΙΡΙΟ ΛΑΜΠΑΔΑΡΙΟ 01

➤ **ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ**

1. TOPCON IS01

ΒΑΘΡΟ- ΑΠΟΣΤΑΣΗ		ΘΕΣΗ H I			ΘΕΣΗ II		
		Az	V	SD	Az	V	SD
50	1περ	0	100,0997	49,9992	200,0072	299,8959	49,9988
	2περ	0	100,0998	49,9986	200,0049	299,8966	49,9996
49	1περ	0	100,1011	48,997	200,0071	299,891	48,9968
	2περ	0	100,1022	48,9966	200,0075	299,8934	48,9972
48	1περ	0	100,1006	47,9978	200,0065	299,8955	47,9974
	2περ	0	100,099	47,9968	200,0066	299,8945	47,9972
47	1περ	0	100,1035	46,998	200,0061	299,8893	46,9986
	2περ	0	100,1026	46,998	200,0048	299,8916	46,9982
46	1περ	0	100,1091	46,0004	200,0071	299,888	46,0008
	2περ	0	100,1051	46,0004	200,0073	299,8868	46,0008
45	1περ	0	100,1052	44,999	200,0074	299,888	44,9992
	2περ	0	100,105	44,9988	200,0063	299,8905	44,9992
42	1περ	0	100,1166	41,9964	200,0061	299,878	41,9964
	2περ	0	100,1164	41,9962	200,005	299,8792	41,9964
40	1περ	0	100,1163	39,9994	200,0044	299,876	39,9992
	2περ	0	100,1199	39,999	200,0087	299,8788	39,9992
38	1περ	0	100,1294	37,9964	200,0069	299,8662	37,9962
	2περ	0	100,1279	37,9962	200,0077	299,8633	37,9962
35	1περ	0	100,1415	34,9976	200,0054	299,8565	34,998
	2περ	0	100,1403	34,9978	200,0048	299,8549	34,998
34	1περ	0	100,1472	33,9978	200,0061	299,8458	33,998
	2περ	0	100,1453	33,9976	200,0051	299,8484	33,9982
30	1περ	0	100,1572	29,997	200,007	299,8417	29,997
	2περ	0	100,1505	29,997	200,0039	299,842	29,9972
29	1περ	0	100,1821	28,993	200,0074	299,8118	28,9936
	2περ	0	100,1832	28,9932	200,0055	299,8157	28,9936
26	1περ	0	100,1852	25,9972	200,0131	299,8073	25,9976
	2περ	0	100,1872	25,9972	200,01	299,8057	25,9978
25	1περ	0	100,1892	24,997	200,0067	299,8011	24,9974
	2περ	0	100,1895	24,9972	200,0097	299,8041	24,9974
23	1περ	0	100,2128	22,997	200,0087	299,7792	22,9976
	2περ	0	100,2144	22,9972	200,008	299,7809	22,9974

22	1περ	0	100,2172	21,9978	200,0071	299,7768	21,9982
	2περ	0	100,2181	21,9978	200,0085	299,7759	21,998
20	1περ	0	100,2483	19,9986	200,006	299,7434	19,9986
	2περ	0	100,2503	19,9984	200,0073	299,7434	19,9988
18	1περ	0	100,2803	17,998	200,0075	299,7145	17,9984
	2περ	0	100,2812	17,9978	200,0072	299,7145	17,9984
15	1περ	0	100,3509	15,0208	200,0095	299,6398	15,0212
	2περ	0	100,3551	15,0214	200,0073	299,6413	15,0214
14	1περ	0	100,361	14,0002	200,0042	299,6349	14,0008
	2περ	0	100,361	14,0004	200,0062	299,6354	14,0004
10	1περ	0	100,4957	10,001	200,0046	299,501	10,0014
	2περ	0	100,4967	10,0012	200,0078	299,4948	10,0012
6	1περ	0	100,8314	5,998	200,005	299,1667	5,9984
	2περ	0	100,8285	5,9982	200,0089	299,1651	5,9984
5	1περ	0	101,045	5,0146	200,0044	298,9443	5,0152
	2περ	0	101,0513	5,0146	200,0066	298,9445	5,0154
2	1περ	0	102,554	2	200,0062	297,4474	2
	2περ	0	102,5469	2	200,0065	297,4446	2

2. TOPCON GPT 3105N

ΒΑΘΡΟ- ΑΠΟΣΤΑΣΗ		ΘΕΣΗ I			ΘΕΣΗ II		
		Az	V	SD	Az	V	SD
50	1περ	0,0000	100,0860	49,997	200,0070	299,9250	49,998
	2περ	0,0000	100,0860	49,997	200,0070	299,9220	49,998
49	1περ	0,0000	100,0880	48,997	200,0060	299,9210	48,997
	2περ	0,0000	100,0870	48,997	200,0070	299,9230	48,997
48	1περ	0,0000	100,0850	47,997	200,0060	299,9230	47,998
	2περ	0,0000	100,0840	47,998	200,0070	299,9240	47,998
47	1περ	0,0000	100,0875	46,998	200,0070	299,9180	46,999
	2περ	0,0000	100,0880	46,998	200,0080	299,9210	46,998
46	1περ	0,0000	100,0880	46,001	200,0060	299,9180	46,001
	2περ	0,0000	100,0910	46	200,0050	299,9175	46,001
45	1περ	0,0000	100,0880	44,997	200,0070	299,9180	44,998
	2περ	0,0000	100,0890	44,997	200,0050	299,9200	44,998
42	1περ	0,0000	100,1010	41,996	200,0060	299,9070	41,996
	2περ	0,0000	100,1050	41,996	200,0070	299,9070	41,996
40	1περ	0,0000	100,1030	39,999	200,0050	299,9060	39,999
	2περ	0,0000	100,1040	39,999	200,0030	299,9100	39,999
38	1περ	0,0000	100,1100	37,997	200,0050	299,8980	37,998
	2περ	0,0000	100,1110	37,997	200,0040	299,8980	37,998
35	1περ	0,0000	100,1210	34,998	200,0050	299,8880	34,998
	2περ	0,0000	100,1190	34,998	200,0030	299,8900	34,998
34	1περ	0,0000	100,1260	33,998	200,0060	299,8870	33,999

	2περ	0,0000	100,1230	33,998	200,0030	299,8870	33,999
30	1περ	0,0000	100,1310	29,996	200,0060	299,8790	29,997
	2περ	0,0000	100,1330	29,997	200,0050	299,8790	29,997
29	1περ	0,0000	100,1590	28,993	200,0050	299,8500	28,994
	2περ	0,0000	100,1590	28,994	200,0040	299,8500	28,994
26	1περ	0,0000	100,1530	25,997	200,0040	299,8550	25,997
	2περ	0,0000	100,1520	25,997	200,0050	299,8560	25,997
25	1περ	0,0000	100,1580	24,997	200,0030	299,8540	24,998
	2περ	0,0000	100,1600	24,997	200,0040	299,8520	24,997
23	1περ	0,0000	100,1750	22,998	200,0030	299,8360	22,998
	2περ	0,0000	100,1760	22,998	200,0040	299,8360	22,998
22	1περ	0,0000	100,1770	21,999	200,0040	299,8330	21,999
	2περ	0,0000	100,1790	21,999	200,0050	299,8330	21,999
20	1περ	0,0000	100,2050	19,998	200,0050	299,8060	19,998
	2περ	0,0000	100,2030	19,998	200,0050	299,8070	19,998
18	1περ	0,0000	100,2270	17,998	200,0050	299,7830	17,999
	2περ	0,0000	100,2270	17,999	200,0060	299,7830	17,999
15	1περ	0,0000	100,2910	15,021	200,0050	299,7190	15,021
	2περ	0,0000	100,2910	15,021	200,0050	299,7190	15,021
14	1περ	0,0000	100,2880	13,999	200,0040	299,7200	14,000
	2περ	0,0000	100,2885	13,999	200,0040	299,7220	13,999
10	1περ	0,0000	100,3970	10	200,0100	299,6130	10,000
	2περ	0,0000	100,3970	10	200,0050	299,6140	10,000
6	1περ	0,0000	100,6550	5,998	200,0070	299,3560	5,998
	2περ	0,0000	100,6550	5,998	200,0070	299,3540	5,998
5	1περ	0,0000	100,8380	5,014	200,0070	299,1690	5,014
	2περ	0,0000	100,8390	5,014	200,0070	299,1700	5,014
2	1περ	0,0000	102,0240	1,999	200,0080	297,9850	1,999
	2περ	0,0000	102,0230	1,999	200,0080	297,9910	2,000

➤ ΜΗΚΗ

ΒΑΘΡ Ο	ΑΠΟΣΤΑ ΣΗ	ΓΝΩΣΤΑ ΜΗΚΗ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΑ ΜΗΚΗ	
			TOPCON IS01	TOPCON GPT3105N
B26	50	50,00263	49,9990	49,9975
B25	49	49,0006	48,9968	48,9970
B24	48	48,00001	47,9972	47,9977
B23	47	47,00223	46,9981	46,9982
B22	46	46,00385	46,0005	46,0007
B21	45	45,00134	44,9990	44,9975
B20	42	41,99875	41,9963	41,9960
B19	40	40,00119	39,9991	39,9990
B18	38	38,00014	37,9962	37,9974
B17	35	35,00013	34,9978	34,9979
B16	34	34,00208	33,9978	33,9984

B15	30	29,99986	29,9970	29,9967
B14	29	28,99642	28,9932	28,9937
B13	26	25,99986	25,9973	25,9969
B12	25	24,99963	24,9971	24,9972
B11	23	23,00152	22,9972	22,9979
B10	22	22,00008	21,9978	21,9989
B9	20	20,00099	19,9984	19,9979
B8	18	18,00204	17,9980	17,9986
B7	15	15,02294	15,0210	15,0208
B6	14	14,0027	14,0002	13,9991
B5	10	10,00309	10,0009	9,9998
B4	6	6,00095	5,9977	5,9977
B3	5	5,01481	5,0143	5,0136
B2	2	2,00381	1,9984	1,9982

➤ **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Μ.Ε.Τ. - ΠΙΝΑΚΑΣ Vx**

1. TOPCON IS01

	A	B	φo
Vx =	3,30815E-08	6,05E-09	2,20761E-09
	6,04974E-09	7,73E-08	3,79206E-09
	2,20761E-09	3,79E-09	3,23561E-09

2. TOPCON GPT3105N

	A	B	φo
Vx =	3,8E-08	5,64E-09	1,66E-05
	5,6E-09	6,89E-08	4,64E-05
	1,7E-05	4,64E-05	0,827997

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

➤ Α΄ ΦΑΣΗ

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000	PL	FYL	1,6840	1,5640	249,9998	157,9580	99,0592
	PL	A	1,6840	1,2950	222,3367		100,3767
	PL	C	1,6840	0,2680	204,7069	104,7170	99,7971
	PL	B	1,6840	1,3950	184,5458	66,5140	100,6562
	PL	B	1,6840	1,3950	384,5479	66,5140	299,3413
	PL	C	1,6840	0,2680	4,7074	104,7160	300,2010
	PL	A	1,6840	1,2950	22,3352		299,6186
	PL	FYL	1,6840	1,5640	49,9987	157,9580	300,9381
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	PL	FYL	1,6840	1,5640	249,9997	157,9570	99,0595
	PL	A	1,6840	1,2950	222,3401		100,3798
	PL	C	1,6840	0,2680	204,7073	104,7160	99,7985
	PL	B	1,6840	1,3950	184,5468	66,5150	100,6547
	PL	B	1,6840	1,3950	384,5470	66,5150	299,3414
	PL	C	1,6840	0,2680	4,7102	104,7160	300,1977
	PL	A	1,6840	1,2950	22,3408		299,6164
	PL	FYL	1,6840	1,5640	49,9986	157,9580	300,9389
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000	B	FYL	1,547	1,386	249,9998	136,118	98,6195
	B	A	1,3890	1,2930	222,9350		100,1469
	B	C	1,547	0,268	206,6820	46,403	98,6783
	B	PL	1,3890	1,5800	357,0512	66,5130	99,5022
	B	PL	1,3890	1,5800	157,0548	66,5130	300,4930
	B	C	1,547	0,268	6,6847	46,402	301,3233
	B	A	1,3890	1,2930	22,9352		299,8494
	B	FYL	1,547	1,386	50,0011	136,117	301,3825
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	B	FYL	1,547	1,386	249,9999	136,118	98,6170
	B	A	1,3890	1,2930	222,9334		100,1461
	B	C	1,547	0,268	206,6850	46,404	98,6765
	B	PL	1,3890	1,5800	357,0509	66,5130	99,5012
	B	PL	1,3890	1,5800	157,0523	66,5130	300,4965
	B	C	1,547	0,268	6,6870	46,403	301,3205
	B	A	1,3890	1,2930	22,9348		299,8496
	B	FYL	1,547	1,386	49,9973	136,119	
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000	C	FYL	0,3540	1,5640	249,9995	104,2110	98,8294
	C	A	0,3540	1,2930	222,0817	43,8490	101,7719
	C	B	0,3540	1,4030	388,6125		101,5082
	C	PL	0,3540	1,5800	359,1442	104,7160	100,3011

	C	PL	0,3540	1,5800	159,1474	104,7160	299,6953
	C	B	0,3540	1,4030	188,6144		298,4892
	C	A	0,3540	1,2930	22,0833	43,8490	298,2240
	C	FYL	0,3540	1,5640	50,0029	104,2110	301,1656
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	C	FYL	0,3540	1,5660	250,0001	104,2110	98,8278
	C	A	0,3540	1,2930	222,0821	43,8490	101,7726
	C	B	0,3540	1,4030	388,6107		101,5090
	C	PL	0,3540	1,5800	359,1430	104,7160	100,3012
	C	PL	0,3540	1,5800	159,1457	104,7160	299,6939
	C	B	0,3540	1,4030	188,6132		298,4891
	C	A	0,3540	1,2930	22,0861	43,8500	298,2226
	C	FYL	0,3540	1,5660	50,0017	104,2110	301,1674
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000	A	FYL	1,589	1,562	249,9999	67,208	97,1120
	A	C	1,4860	0,2680	4,2048	43,8440	98,4822
	A	B	1,589	1,526	386,9811	87,130	99,6279
	A	PL	1,589	1,443	358,8936	133,916	99,8390
	A	PL	1,589	1,443	158,8971	133,915	300,1621
	A	B	1,589	1,526	186,9844	87,129	300,3742
	A	C	1,4860	0,2680	204,2067	43,8450	301,5126
	A	FYL	1,589	1,562	50,0034	67,207	302,8910
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	A	FYL	1,589	1,562	250,0001	67,208	97,1130
	A	C	1,4860	0,2680	4,2018	43,8450	98,4844
	A	B	1,589	1,526	386,9834	87,131	99,6267
	A	PL	1,589	1,443	358,8961	133,916	99,8370
	A	PL	1,589	1,443	158,8993	133,916	300,1631
	A	B	1,589	1,526	186,9859	87,130	300,3736
	A	C	1,4860	0,2680	204,2031	43,8460	301,5119
	A	FYL	1,589	1,562	50,0016	67,208	302,8920
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000	FYL	PL	1,6280	1,5800	49,9994	157,9620	101,0037
	FYL	B	1,6280	1,4020	77,4883		101,4455
	FYL	C	1,6280	0,2680	95,5619	104,2170	101,2708
	FYL	A	1,6280	1,2900	113,4428		103,0468
	FYL	A	1,6280	1,2900	313,4449		296,9497
	FYL	C	1,6280	0,2680	295,5638	104,2160	298,7257
	FYL	B	1,6280	1,4020	277,4916		298,5516
	FYL	PL	1,6280	1,5800	250,0027	157,9630	298,9942
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	FYL	PL	1,6280	1,5800	49,9996	157,9620	101,0006
	FYL	B	1,6280	1,4020	77,4919		101,4449
	FYL	C	1,6280	0,2680	95,5629	104,2170	101,2710
	FYL	A	1,6280	1,2900	113,4450		103,0467
	FYL	A	1,6280	1,2900	313,4468		296,9508
	FYL	C	1,6280	0,2680	295,5640	104,2150	298,7266

	FYL	B	1,6280	1,4020	277,4915		298,5515
	FYL	PL	1,6280	1,5800	250,0016	157,9620	298,9972
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000	PL	FYL	1,6620	1,5590	0,0000	157,9600	99,0620
		PODI	1,674	1,480	361,1387	95,740	143,2280
		PODI	1,674	1,480	161,1411	95,734	256,7750
		FYL	1,6620	1,5590	200,0030	157,9610	300,9490
	PL	FYL	1,703	1,43	163,8931	157,957	99,1212
		ST	1,703	0	121,9345	115,467	119,9977
		ST	1,703	0	321,9349	115,463	280,0029
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	PL	FYL	1,6620	1,5590	0,0000	157,9600	99,0600
		PODI	1,674	1,480	361,1414	95,741	143,2265
		PODI	1,674	1,480	161,1433	95,736	256,7760
		FYL	1,6620	1,5590	200,0010	157,9610	300,9500
	PL	FYL	1,703	1,43	163,8932	157,956	99,1216
		ST	1,703	0	121,9378	115,45	119,9981
		ST	1,703	0	321,9377	115,452	280,0025
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000	FYL	PL	1,630	1,589	0,0000	157,963	101,0130
		PODI	1,6280	1,4830	26,4240	122,9600	133,9660
		PODI	1,6280	1,4830	226,4290	122,9600	266,0390
		PL	1,630	1,589	200,0020	157,966	298,9930
	FYL	PL	1,519	1,616	363,8932	157,961	100,9486
		ST	1,519	0	12,1139	104,992	123,5435
		ST	1,519	0	212,1178	104,976	276,4531
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	FYL	PL	1,630	1,589	0,0000	157,964	101,0110
		PODI	1,6280	1,4830	26,4240	122,9610	133,9660
		PODI	1,6280	1,4830	226,4300	122,9600	266,0400
		PL	1,630	1,589	200,0030	157,966	298,9920
	FYL	PL	1,519	1,616	363,8932	157,96	100,9452
		ST	1,519	0	12,1122	104,998	123,5436
		ST	1,519	0	212,1129	104,992	276,4526
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000	PODI	PL		1,5960	0,0000	95,6420	56,8560
		Π.ΣΤ		1,5590	190,3910	43,1470	61,7360
		FYL		1,562	265,2901	122,889	66,0990
		FYL		1,562	65,2927	122,890	333,9060
		Π.ΣΤ		1,5590	390,3930	43,1470	338,2690
		PL		1,5960	200,0040	95,6420	343,1490
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	PODI	PL		1,5960	0,0000	95,6430	56,8530

		Π.ΣΤ		1,5590	190,3950	43,1460	61,7400
		FYL		1,562	265,2916	122,888	66,1010
		FYL		1,562	65,2933	122,889	333,9050
		Π.ΣΤ		1,5590	390,3960	43,1480	338,2680
		PL		1,5960	200,0060	95,6410	343,1510

➤ **Β' ΦΑΣΗ (ΝΟΕΜΒΡΗΣ 2011)**

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1	FYL	PL	1,511	1,53	49,9999	157,965	100,9771
		B	1,511	1,39	77,4861	136,117	101,388
		C	1,511	0,265	95,5582	104,208	101,1903
		A	1,511	1,355	113,4352	67,204	102,8637
		A	1,511	1,355	313,4407	67,204	297,1328
		C	1,511	0,265	295,5619	104,21	298,8072
		B	1,511	1,39	277,49	136,117	298,6074
		PL	1,511	1,53	250,0042	157,965	299,0207
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2	FYL	PL	1,511	1,53	49,9997	157,965	100,9781
		B	1,511	1,39	77,4869	136,117	101,3883
		C	1,511	0,265	95,5607	104,209	101,1895
		A	1,511	1,355	113,4349	67,204	102,8671
		A	1,511	1,355	313,4395	67,205	297,1323
		C	1,511	0,265	295,5652	104,208	298,8064
		B	1,511	1,39	277,4898	136,116	298,6078
		PL	1,511	1,53	250,0042	157,964	299,0208
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000							
	A	FYL	1,4940	1,4490	249,9997	67,1940	97,3199
	A	C	1,4940	0,2660	4,2187	43,8380	98,6362
	A	B	1,4940	1,3130	386,9924	87,1210	100,1175
	A	PL	1,4940	1,4780	358,9090	133,9120	99,8061
	A	PL	1,4940	1,4780	158,9145	133,9130	300,1938
	A	B	1,4940	1,3130	186,9970	87,1210	299,8814
	A	C	1,4940	0,2660	204,2223	43,8390	301,3612
	A	FYL	1,4940	1,4490	50,0032	67,1940	302,6789
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000							
	A	FYL	1,4940	1,4490	249,9997	67,1950	97,3202
	A	C	1,4940	0,2660	4,2141	43,8390	98,6338
	A	B	1,4940	1,3130	386,9911	87,1220	100,1178
	A	PL	1,4940	1,4780	358,9090	133,9140	99,8039
	A	PL	1,4940	1,4780	158,9106	133,9140	300,1959

	A	B	1,4940	1,3130	186,9967	87,1220	299,8820
	A	C	1,4940	0,2660	204,2195	43,8390	301,3636
	A	FYL	1,4940	1,4490	50,0050	67,1950	302,6739
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000							
	C	FYL	0,3500	1,4270	249,9996	104,2050	98,9082
	C	A	0,3500	1,3530	222,0876	43,8430	101,6805
	C	B	0,3500	1,3910	388,6115	46,4030	101,5161
	C	PL	0,3500	1,5300	359,1518	104,7130	100,3394
	C	PL	0,3500	1,5300	159,1552	104,7130	299,6557
	C	B	0,3500	1,3910	188,6136	46,4040	298,4785
	C	A	0,3500	1,3530	22,0927	43,8430	298,3141
	C	FYL	0,3500	1,4270	50,0036	104,2050	301,0866
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000							
	C	FYL	0,3500	1,4270	249,9997	104,2060	98,9094
	C	A	0,3500	1,3530	222,0856	43,8430	101,6804
	C	B	0,3500	1,3910	388,6074	46,4040	101,5188
	C	PL	0,3500	1,5300	359,1508	104,7120	100,3403
	C	PL	0,3500	1,5300	159,1575	104,7130	299,6558
	C	B	0,3500	1,3910	188,6112	46,4030	298,4787
	C	A	0,3500	1,3530	22,0919	43,8430	298,3131
	C	FYL	0,3500	1,4270	50,0033	104,2060	301,0861
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000							
	B	FYL	1,4700	1,4270	249,9999	136,1120	98,6808
	B	A	1,4700	1,3530	222,9382	87,1200	100,0906
	B	C	1,4700	0,2660	206,6789	46,3990	98,6996
	B	PL	1,4700	1,5300	357,0647	66,5100	99,5563
	B	PL	1,4700	1,5300	157,0684	66,5100	300,4399
	B	C	1,4700	0,2660	6,6842	46,3980	301,2946
	B	A	1,4700	1,3530	22,9377	87,1210	299,9034
	B	FYL	1,4700	1,4270	49,9978	136,1120	301,3127
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000							
	B	FYL	1,4700	1,4270	249,9999	136,1120	98,6840
	B	A	1,4700	1,3530	222,9346	87,1200	100,0925
	B	C	1,4700	0,2660	206,6838	46,3980	98,7000
	B	PL	1,4700	1,5300	357,0585	66,5110	99,5548
	B	PL	1,4700	1,5300	157,0616	66,5110	300,4394
	B	C	1,4700	0,2660	6,6870	46,3990	301,2946
	B	A	1,4700	1,3530	22,9368	87,1210	299,9050

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	PL	FYL	1,7080	1,4490	0,0000	157,9550	99,1210
		PODI	1,7080	1,6140	361,1540	95,6760	143,1820
		Π.ΣΤ	1,692	0,0000	358,0410	115,463	119,9980
		Π.ΣΤ	1,692	0,0000	158,0450	115,465	280,0060
		PODI	1,7080	1,6140	161,1570	95,6750	256,8230
		FYL	1,7080	1,4490	200,0040	157,9550	300,8880
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
1,0000	PODI	PL	1,6700	1,6440	0,0000	95,6040	56,8940
		Π.ΣΤ	1,6700	0,0000	190,3600	43,0630	61,8770
		FYL	1,6700	1,4490	265,2730	122,7680	66,2080
		FYL	1,6700	1,4490	65,2770	122,7680	333,8000
		Π.ΣΤ	1,6700	0,0000	390,3630	43,0650	338,1260
		PL	1,6700	1,6440	200,0060	95,6040	343,1140
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Υ.Ο.	Υ.Σ.	Az	SD	z
2,0000	PODI	PL	1,6700	1,6440	0,0000	95,6040	56,8950
		Π.ΣΤ	1,6700	0,0000	190,3570	43,0640	61,8760
		FYL	1,6700	1,4490	265,2700	122,7700	66,2090
		FYL	1,6700	1,4490	65,2700	122,7690	333,8000
		Π.ΣΤ	1,6700	0,0000	390,3600	43,0670	338,1300
		PL	1,6700	1,6440	200,0010	95,6040	343,1130

ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΥΠΑΡΞΗ ΧΟΝΔΡΟΕΙΔΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΒΑΡΔΑΑ ΓΙΑ 99,9%

$$Z_{0,9995}=3,29$$

Α' ΦΑΣΗ		Β' ΦΑΣΗ	
υ	υ/συ=	υ	υ/συ=
0,0000	0,05581	0,0000	0,110059
0,0000	0,32063	0,0000	0,897855
0,0000	0,02393	0,0000	1,043777
0,0000	0,06899	0,0000	0,50065
0,0000	0,72993	0,0000	0,302778
0,0001	2,14455	0,0001	2,018856
0,0000	1,22905	0,0001	2,350694
0,0000	0,40119	0,0000	0,970136
0,0000	0,92647	0,0000	0,010952
0,0000	0,47968	-0,0001	1,985804
0,0000	0,40762	0,0000	0,36152
0,0000	0,25334	0,0000	0,769787
0,0000	0,21431	0,0000	0,64419
0,0000	0,52743	0,0000	0,749131
0,0000	0,1162	0,0000	0,409021
0,0001	1,63407	0,0000	0,75259
-0,0001	2,63555	0,0000	0,218347
0,0000	1,08639	0,0000	0,123143
0,0000	0,15055	-0,0001	1,806523
0,0000	1,31183	0,0000	1,245484
0,000	1,72432	0,0000	0,942445
0,000	0,18105	0,002	0,757229
0,002	0,88152	-0,001	0,49785
0,000	0,14913	0,002	0,975314
0,002	1,03712	0,000	0,132554
0,002	0,93856	-0,002	0,639987
0,000	0,15037	-0,001	0,59511
0,001	0,48288	0,003	1,243057
0,002	0,86136	0,003	1,100133
0,002	0,91282	0,000	0,159629
0,005	2,11981	0,002	0,729149
0,005	2,02496	0,004	1,682462
-0,008	3,12745	-0,001	0,241152
0,002	0,41311	-0,009	2,026103
0,004	1,04038	-0,001	0,12406
0,003474	0,86239	0,013	3,154056

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΠΙΝΑΚΕΣ V_x

➤ **Α΄ ΦΑΣΗ**

Επίλυση με τις Ελάχιστες Εξωτερικές Δεσμεύσεις

	XB	YB	XA	YA	XC	YC	XPODI	YPODI	XΠΣΤ	YΠΣΤ	D PL-FYL
Vx=	0,00000443	0,00000070	0,00000119	0,00000088	0,00000196	0,00000044	0,00000005	0,00000007	0,00000027	0,00000007	0,00000061
	0,00000070	0,00000226	0,00000003	0,00000118	0,00000011	0,00000116	0,00000004	0,00000006	0,00000022	0,00000005	0,00000049
	0,00000119	0,00000003	0,00000136	0,00000040	0,00000120	0,00000014	0,00000007	0,00000009	0,00000034	0,00000009	0,00000077
	0,00000088	0,00000118	0,00000040	0,00000428	0,00000076	0,00000147	0,00000008	0,00000011	0,00000041	0,00000010	0,00000093
	0,00000196	0,00000011	0,00000120	0,00000076	0,00000273	0,00000118	0,00000007	0,00000009	0,00000036	0,00000009	0,00000080
	0,00000044	0,00000116	0,00000014	0,00000147	0,00000118	0,00000322	0,00000003	0,00000004	0,00000017	0,00000004	0,00000038
	0,00000005	0,00000004	0,00000007	0,00000008	0,00000007	0,00000003	0,00000427	0,00000108	0,00000103	0,00000070	0,00000016
	0,00000007	0,00000006	0,00000009	0,00000011	0,00000009	0,00000004	0,00000108	0,00000213	0,00000077	0,00000346	0,00000021
	0,00000027	0,00000022	0,00000034	0,00000041	0,00000036	0,00000017	0,00000103	0,00000077	0,00000902	0,00000026	0,00000082
	0,00000007	0,00000005	0,00000009	0,00000010	0,00000009	0,00000004	0,00000070	0,00000346	0,00000026	0,00000836	0,00000020
	0,00000061	0,00000049	0,00000077	0,00000093	0,00000080	0,00000038	0,00000016	0,00000021	0,00000082	0,00000020	0,00000183

➤ Β' ΦΑΣΗ

	XB	YB	XA	YA	XC	YC	ΧΡΟΔΙ	ΥΡΟΔΙ	ΧΠΣΤ	ΥΠΣΤ	D PL-FYL
Vx=	0,00000432	-	0,00000138	-	0,00000180	-	0,00000026	-	0,00000022	-	0,00000074
	-0,00000077	0,00000231	-	0,00000118	-	0,00000127	-	0,00000013	-	0,00000007	-
	0,00000138	-	0,00000198	-	0,00000130	-	0,00000050	-	0,00000043	-	0,00000143
	-0,00000082	0,00000118	-	0,00000406	-	0,00000151	-	0,00000015	-	0,00000008	-
	0,00000180	-	0,00000130	-	0,00000248	-	0,00000030	-	0,00000026	-	0,00000086
	-0,00000051	0,00000127	-	0,00000151	-	0,00000124	-	0,00000012	-	0,00000007	-
	0,00000026	-	0,00000050	-	0,00000030	-	0,00000026	-	0,00000136	-	0,00000089
	-0,00000012	0,00000013	-	0,00000015	-	0,00000012	-	0,00000149	-	0,00000308	-
	0,00000022	-	0,00000043	-	0,00000026	-	0,00000136	-	0,00000859	-	0,00000078
	-0,00000007	0,00000007	-	0,00000008	-	0,00000007	-	0,00000308	-	0,00000585	-
	0,00000074	-	0,00000143	-	0,00000086	-	0,00000089	-	0,00000078	-	0,00000257

ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ - ΠΙΝΑΚΑΣ Vδx

	X B	Y B	X A	Y A	X C	Y C	X PODI	Y PODI	X ΠΣΤ	Y ΠΣΤ	D PL FYL
Vδx=	8,7556E-06	-1,46458E-06	2,5662E-06	-1,7036E-06	3,75804E-06	-9,45379E-07	3,1E-07	-5E-08	4,9635E-07	-3E-09	1,3E-06
	-1,465E-06	4,56742E-06	-2,7685E-07	2,3555E-06	-2,94746E-07	2,42842E-06	-3E-07	6,8E-08	-4,5014E-07	1,8E-08	-1E-06
	2,5662E-06	-2,76846E-07	3,3394E-06	-9,1264E-07	2,49825E-06	-5,17023E-07	5,6E-07	-1E-07	7,7778E-07	-5E-08	2,2E-06
	-1,704E-06	2,3555E-06	-9,1264E-07	8,3415E-06	-1,3994E-06	2,97914E-06	-4E-07	3,7E-08	-6,8309E-07	-2E-08	-2E-06
	3,758E-06	-2,94746E-07	2,4982E-06	-1,3994E-06	5,20838E-06	-2,41347E-06	3,7E-07	-5E-08	6,1711E-07	6,5E-09	1,7E-06
	-9,454E-07	2,42842E-06	-5,1702E-07	2,9791E-06	-2,41347E-06	6,51718E-06	-3E-07	7,8E-08	-3,9361E-07	2,9E-08	-1E-06
	3,0866E-07	-3,06714E-07	5,6315E-07	-3,8728E-07	3,66907E-07	-2,89992E-07	8,8E-06	-3E-06	2,3946E-06	-1E-06	1,1E-06
	-5,014E-08	6,81099E-08	-1,4574E-07	3,7304E-08	-4,80977E-08	7,79768E-08	-3E-06	5,1E-06	1,0653E-06	6,5E-06	-2E-07
	4,9635E-07	-4,50139E-07	7,7778E-07	-6,8309E-07	6,17106E-07	-3,93608E-07	2,4E-06	1,1E-06	1,7613E-05	-3E-07	1,6E-06
	-2,733E-09	1,82804E-08	-5,1167E-08	-1,8369E-08	6,54457E-09	2,88435E-08	-1E-06	6,5E-06	-2,7398E-07	1,4E-05	-4E-08
	1,347E-06	-1,2514E-06	2,1991E-06	-1,8122E-06	1,65606E-06	-1,11846E-06	1,1E-06	-2E-07	1,5989E-06	-4E-08	4,4E-06

Μετρήσεις Παραμορφώσεων
ΕΚΚΡΕΜΗ & ΚΛΙΝΟΜΕΤΡΟ

α/α μέτρησης	1216
Ημερομηνία	25-7-2011
Στάθμη Λίμνης	789,61
Μέγ. Θερμ.	27
Ελαχ. Θερμ.	15
Παρατηρητής	Λαζινός Ν.

Θάλαμοι	α/ε	ΕΚΚΡΕΜΗ			ΚΛΙΝΟΜΕΤΡΟ		
		ανάγνωση (μ.ο)	α/ε	παραμόρφωση κατά ακτίνα δα κατά εφαπτομένη δε	α/ε	A θέση	B θέση
ΕΚΚΡΕΜΕΣ C	C5	Ια	0,00	δα	20,04	κα	
		Ιε	0,00	δε	-2,54	κε	
	C4	Ια	81,10	δα	23,03	κα	
		Ιε	77,10	δε	-3,17	κε	
	C3	Ια	81,10	δα	16,45	κα	
		Ιε	68,10	δε	-2,36	κε	
	C2	Ια	62,40	δα	5,26	κα	
		Ιε	77,90	δε	-1,00	κε	
C1	Ια	66,40	δα	0,00	κα		
	Ιε	83,60	δε	0,00	κε		
ΕΚΚΡΕΜΕΣ A	A5	Ια	0,00	δα	2,05	κα	
		Ιε	0,00	δε	-2,00	κε	
	A4	Ια	68,40	δα	9,59	κα	
		Ιε	64,10	δε	1,93	κε	
	A3	Ια	75,30	δα	3,10	κα	
		Ιε	49,80	δε	1,07	κε	
A2	Ια	68,90	δα	0,00	κα		
	Ιε	90,30	δε	0,00	κε		
ΕΚΚΡΕΜΕΣ B	B5	Ια	0,00	δα	-2,86	κα	
		Ιε	0,00	δε	2,81	κε	
	B4	Ια	87,40	δα	1,98	κα	
		Ιε	94,40	δε	-2,34	κε	
	B3	Ια	86,80	δα	0,00	κα	
		Ιε	112,20	δε	0,00	κε	

α: άξονας οργάνου κατά ακτίνα
ε: άξονας οργάνου κατά εφαπτομένη

δα : παραμόρφωση κατά ακτίνα
+ = κατόντη
- = ανάντη

δε : παραμόρφωση κατά εφαπτομένη
+ = δεξιά όχθη
- = αριστερά όχθη

Μετρήσεις Παραμορφώσεων
ΕΚΚΡΕΜΗ & ΚΛΙΝΟΜΕΤΡΟ

α/α μέτρησης	1219
Ημερομηνία	30-10-11
Στάθμη Λίμνης	786,63
Μέγ. Θερμ.	14
Ελαχ. Θερμ.	4
Παρατηρητής	ΛΑΖΙΝΟΣ Ν.

Θάλαμοι		α/ε	ΕΚΚΡΕΜΗ				ΚΛΙΝΟΜΕΤΡΟ	
			ανάγνωση (μ.ο)	α/ε	παραμόρφωση κατά ακτίνα δα κατά εφαπτομένη δε	α/ε	A θέση	B θέση
ΕΚΚΡΕΜΕΣ C	C5	Ια	0,00	δα	12,24	κα		
		Ιε	0,00	δε	-3,14	κε		
	C4	Ια	82,90	δα	17,03	κα		
		Ιε	78,90	δε	-1,97	κε		
	C3	Ια	81,00	δα	10,35	κα		
		Ιε	69,10	δε	-0,16	κε		
	C2	Ια	65,10	δα	1,96	κα		
		Ιε	77,70	δε	0,00	κε		
	C1	Ια	72,40	δα	0,00	κα		
		Ιε	82,40	δε	0,00	κε		
	ΕΚΚΡΕΜΕΣ A	A5	Ια	0,00	δα	0,81	κα	
			Ιε	0,00	δε	-3,24	κε	
A4		Ια	67,90	δα	7,82	κα		
		Ιε	64,30	δε	0,62	κε		
A3		Ια	75,90	δα	2,58	κα		
		Ιε	49,40	δε	-0,08	κε		
A2		Ια	70,40	δα	0,00	κα		
		Ιε	91,20	δε	0,00	κε		
ΕΚΚΡΕΜΕΣ B	B5	Ια	0,00	δα	-4,96	κα		
		Ιε	0,00	δε	3,91	κε		
	B4	Ια	88,70	δα	1,32	κα		
		Ιε	95,10	δε	-1,56	κε		
	B3	Ια	88,90	δα	0,00	κα		
		Ιε	111,10	δε	0,00	κε		

α: άξονας οργάνου κατά ακτίνα
ε: άξονας οργάνου κατά εφαπτομένη

δα : παραμόρφωση κατά ακτίνα
+ = κατόντη
- = ανάντη

δε : παραμόρφωση κατά εφαπτομένη
+ = δεξιά όχθη
- = αριστερά όχθη