

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## Πτυχιακή Εργασία

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ  
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ  
ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΟΥΡΗ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ  
ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Αθηνά Παντελίδου

Λεμεσός, 2013



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## **Πτυχιακή Εργασία**

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ  
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ  
ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΟΥΡΗ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ  
ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Αθηνά Παντελίδου

Σύμβουλος Καθηγητής

Δημήτρης Σκαρλάτος

Λέκτορας ΤΕΠΑΚ

Λεμεσός, 2013

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Αθηνά Παντελίδου, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το καλοκαίρι του 2012, ξεκίνησαν οι εργασίες για τον προσδιορισμό των κατακόρυφων μετακινήσεων στο φράγμα του Κούρη. Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που με βοήθησαν και με στήριξαν όλο αυτό το διάστημα.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα του Τμήματος ΠΟΜΗΓΕ του Τεχνολογικού Πανεπιστήμιου Κύπρου, Δρ. Δημήτρη Σκαρλάτο που μου εμπιστεύθηκε το θέμα της εργασίας αυτής. Τον ευχαριστώ θερμά για την βοήθεια που παρείχε στην οργάνωση της παρούσας εργασίας, την παροχή οργάνων από το πανεπιστήμιο και την εξασφάλιση αδειών για την ασφαλή εκτέλεση των μετρήσεων στο φράγμα Κούρη.

Τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στον Επίκουρο Καθηγητή της Σ.Α.Τ.Μ του Ε.Μ.Π κ. Γεώργιο Πανταζή, για την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε καθ'ολη την διάρκεια υλοποίησης της εργασίας μέχρι και την ολοκλήρωση αυτής. Επίσης τον ευχαριστώ θερμά για το ενδιαφέρον που έδειξε σε ότι αφορά την ορθή εκπόνηση και παρουσίαση αυτής, αλλά και για την υπομονή και κατανόηση που έδειξε στους προβληματισμούς μου.

Επίσης, επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά τους αγαπητούς μου συμφοιτητές και φίλους Γιώργο Σταύρου και Κωνσταντίνο Κωνσταντίνου, για την πολύτιμη βοήθεια τους στις μετρήσεις πεδίου αλλά και για την υπομονή και επιμονή που επέδειξαν, έτσι ώστε να ολοκληρωθούν με επιτυχία οι μετρήσεις.

Τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στον κύριο Μιχάλη Καραϊσκάκη και Γιαννάκη Γιωργούδη, αλλά και στην κυρία Στέλλα Πατσάλι, από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, οι οποίοι μου παρείχαν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ιστορία του φράγματος και τη γεωλογία της περιοχής.

Ευχαριστώ θερμά τον Λέκτορα του Τμήματος ΠΟΜΗΓΕ του Τεχνολογικού Πανεπιστήμιου Κύπρου, Δρ. Λύσανδρο Παντελίδη, ο οποίος με τις εξειδικευμένες γνώσεις του στη γεωτεχνική μηχανική, με βοήθησε να κατανοήσω και να καταγράψω πιθανές αιτίες που συνέβαλλαν στις μετακινήσεις του φράγματος.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την αγάπη μου και την ευγνωμοσύνη μου σε όλη την οικογένεια μου, η οποία μου συμπαραστάθηκε καθόλη τη διάρκεια υλοποίησης της εργασίας αυτής, με μεγάλη υπομονή και στήριξη, για την ολοκλήρωση της συγγραφής της.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την μέτρηση και επίλυση ενός υφιστάμενου δικτύου κατακόρυφου ελέγχου, το οποίο έχει εγκατασταθεί στη περιοχή της στέψης του φράγματος του Κούρη, στην Κύπρο, με σκοπό τον προσδιορισμό των κατακόρυφων μετακινήσεων.

Τα κεφάλαια που αποτελούν τη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι τα παρακάτω :

Στο Κεφάλαιο 1, γίνεται μια γενική αναφορά στον ορισμό του φράγματος και στους τύπους κατασκευής φραγμάτων που υπάρχουν μέχρι σήμερα. Ακολούθως γίνεται αναφορά στον αριθμό και το είδος φραγμάτων που υπάρχουν στην Κύπρο, ποιές οι ανάγκες που οδήγησαν στην κατασκευή του έργου του Νότιου Αγωγού και κατά συνέπεια του φράγματος του Κούρη, για το οποίο γίνεται λεπτομερής περιγραφή της κατασκευής και των γεωλογικών και γεωμορφολογικών στοιχείων της ευρύτερης περιοχής του φράγματος.

Το Κεφάλαιο 2, αναφέρεται στο σχεδιασμό των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, στον οποίο αναλύονται οι μέθοδοι μέτρησης του δικτύου κατακόρυφου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν, όπως η Ψήφιακη Γεωμετρική Χωροστάθμηση και η Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας (ΤΡΥΑ). Επίσης γίνεται μια αναφορά στα πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα που φέρουν οι δύο μέθοδοι και μια περιγραφή του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε στο πεδίο για την εκτέλεση των μετρήσεων. Ακολούθως περιγράφεται αναλυτικά η εκτέλεση των μετρήσεων.

Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται η επεξεργασία των μετρήσεων και συγκεκριμένα η διαδικασία κλεισίματος των βρόγχων που σχηματίζονται στο κατακόρυφο δίκτυο για την περίοδο 2012. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της επίλυσης του δικτύου που έχει γίνει με την Μέθοδο Ελάχιστων Τετραγώνων, τόσο με τις έξι (6) υψομετρικές αφετηρίες όσο και με πέντε (5) υψομετρικές αφετηρίες. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στον στατιστικό έλεγχο και έλεγχο παρατηρήσεων κατά Baarda, που χρησιμοποιούνται για έλεγχο της επίλυσης του δικτύου.

Το κεφάλαιο 4, αναφέρεται στην επίλυση του δικτύου με μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατά την χρονική περίοδο 2006, όπου ακολουθείται η διαδικασία

κλεισίματος των βρόγχων και γίνεται συνόρθωση του δικτύου με πέντε (5) υψομετρικές αφετηρίες.

Στο κεφάλαιο 5, γίνεται περιγραφή της μεθοδολογίας προσδιορισμού των κατακόρυφων μετακινήσεων των κορυφών του δικτύου, σχετικών και απόλυτων. Στην συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός τους.

Στο κεφάλαιο 6, προσδιορίζεται η ταχύτητα μεταβολής των απόλυτων μετακινήσεων για την χρονική περίοδο 2006-2012.

Στα κεφάλαια 7 και 8, αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τον έλεγχο μετακινήσεων και την σύγκριση των δικτύων κατακορύφου ελέγχου κατά την περίοδο 2006-2012, και γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής προτάσεων που ίσως να φανούν χρήσιμες σε μελλοντικές αντίστοιχες μελέτες.



# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ .....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xiii
<b>1. ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΚΟΥΡΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Το έργο του Νότιου Αγωγού .....	2
1.3 Φράγμα του Κούρη.....	4
1.3.1 Γεωλογία περιοχής του φράγματος του Κούρη.....	7
1.3.1.1 Σχεδιασμός της κουρτίνας τσιμεντενέσεων.....	8
1.3.1.2 Σχεδιασμός στένης του φράγματος.....	9
<b>2.ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....</b>	<b>10</b>
2.1 Εγκατάσταση.....	10
2.2 Οι μέθοδοι μέτρησης.....	11
2.2.1 Ψηφιακή Γεωμετρική Χωροστάθμηση.....	12
2.2.1.1 Ανάλυση Μεθοδολογίας.....	13
2.2.1.2 Εξοπλισμός.....	15
2.2.1.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα της μεθόδου.....	16
2.2.2 Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας (ΤΡΥΑ).....	17
2.2.2.1 Ανάλυση Μεθοδολογίας .....	17

2.2.2.2 Εξοπλισμός.....	20
2.2.2.3 Πλεονεκτήματα μεθόδου.....	22
2.3 Εκτέλεση μετρήσεων .....	22
2.3.1 Γεωμετρική Χωροστάθμιση.....	22
2.3.2 Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας .....	28
<b>3.ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2012.....</b>	<b>32</b>
3.1 Κλείσιμο Βρόγχων.....	32
3.2 Επίλυση Δικτύου.....	35
3.2.1 Επίλυση Δικτύου με τις 6 υψομετρικές αφετηρίες.....	35
3.2.2 Επίλυση Δικτύου με 5 υψομετρικές αφετηρίες.....	39
3.2.3 Στατιστικός Έλεγχος.....	41
3.2.4 Στατιστικός Έλεγχος Παρατηρήσεων Κατά Baarda.....	42
<b>4.ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2006.....</b>	<b>45</b>
4.1 Κλείσιμο Βρόγχων.....	45
4.2 Συνόρθωση Δικτύου.....	45
<b>5.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2006- 2012.....</b>	<b>48</b>
5.1 Μεθοδολογία.....	48
5.2 Απόλυτες Μετακινήσεις .....	49
5.3 Σχετικές Μετακινήσεις.....	53
<b>6.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>57</b>
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>59</b>
<b>8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>65</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>67</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>68</b>
Μετρήσεις της Γεωμετρικής Χωροστάθμισης.....	69

Μετρήσεις της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας (ΤΡΥΑ).....	81
Επίλυση δικτύου το 2012, με 6 σημεία.....	88
Επίλυση δικτύου το 2012, με 5 σημεία.....	91
Επίλυση δικτύου το 2006, με 5 σημεία.....	94
Διαγράμματα ταχύτητας απόλυτων μετακινήσεων.....	97

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ψηφιακού χωροβάτη Leica DNA010.....	16
Πίνακας 2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού Leica TCR1203.....	21
Πίνακας 2.3: Αποτέλεσμα ελέγχου από το μέσο της απόστασης.....	23
Πίνακας 2.4: Αποτέλεσμα ελέγχου από το άκρο της απόστασης.....	24
Πίνακας 2.5: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων γεωμετρικής χωροσταθμής.....	27
Πίνακας 2.6 :Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων με ΤΡΥΑ.....	31
Πίνακας 3.1 : Κλεισίματα Τριγώνων .....	34
Πίνακας 3.2: Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των 6 κορυφών του δικτύου.....	35
Πίνακας 3.3: Εξισώσεις παρατήρησης.....	36
Πίνακας 3.4: Συνορθωμένα υψόμετρα των 6 υψομετρικών αφετηρίων.....	37
Πίνακας 3.5: Αβεβαιότητες των υψομέτρων των έξι κορυφών .....	38
Πίνακας 3.6: Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των 5 κορυφών του δικτύου.....	40
Πίνακας 3.7: Εξισώσεις παρατήρησης.....	40
Πίνακας 3.8: Τελικά αποτελέσματα από πίνακα x και πίνακα $V_x$ , των 5 κορυφών..	41
Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα ελέγχου παρατηρήσεων από μέθοδο Baarda .....	44
Πίνακας 4.1 : Κλεισίματα Τριγώνων .....	45
Πίνακας 4.2: Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου 2006.....	46

Πίνακας 4.3:Εξισώσεις παρατήρησης.....	46
Πίνακας 4.4: Οι καλλίτερες τιμές των υψομέτρων κατά το 2006.....	47
Πίνακας 4.5: Αβεβαιότητες υψομέτρων υψομετρικών αφετηριών κατά το 2006.....	47
Πίνακας 5.1 : Προσδιορισμός μεταβολής υψομέτρων κατά την περίοδο 2006-2012.....	49
Πίνακας 5.2: Προσδιορισμός τυπικού σφάλματος.....	50
Πίνακας 5.3: Προσδιορισμός θορύβου των μετρήσεων για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.....	50
Πίνακας 5.4: Προσδιορισμός των απόλυτων μετακινήσεων.....	51
Πίνακας 5.5: Προσδιορισμός μεταβολής υψομέτρων κατά την περίοδο 2006-2012.....	53
Πίνακας 5.6: Προσδιορισμός τυπικού σφάλματος.....	54
Πίνακας 5.7: Προσδιορισμός των σχετικών μετακινήσεων .....	55
Πίνακας 6.1: Τιμές απόλυτων μετακινήσεων των σημείων απο το έτος 2006 μέχρι το έτος 2012.....	57
Πίνακας 6.2: Προσδιορισμός ταχύτητας μεταβολής απόλυτων μετακινήσεων.....	58

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ**

Χάρτης 1.1: Το έργο του Νότιου Αγωγού.....	3
Χάρτης 1.2: Η λεκάνη απορροής του φράγματος του Κούρη.....	6

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 1.1: Γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος του άξονα του φράγματος.....	7
Σχήμα 1.2 : Σχέδιο και διατομή των τσιμεντενέσεων.....	8
Σχήμα 1.3: Τυπική διατομή του επιχώματος της στρέψης του φράγματος.....	9
Σχήμα 2.1: Το γεωδαιτικό δίκτυο κατακορύφου ελέγχου.....	10
Σχήμα 2.2: Διαδικασία γεωμετρικής χωροστάθμησης της μοναδιαίας εφαρμογής ....	14
Σχήμα 2.3: Διαδικασία εφαρμογής της χωροσταθμικής όδευσης.....	15

Σχήμα 2.4 : Σχηματική παράσταση της μοναδιαίας διαδικασίας της μεθόδου ΤΡΥΑ.....	18
Σχήμα 2.5 : Σχηματική παράσταση της μεθόδου ΤΡΥΑ με δύο ενδιάμεσες στάσεις...19	
Σχήμα 2.6 : Διαδικασία ελέγχου από το μέσο της απόστασης .....	23
Σχήμα 2.7: Διαδικασία ελέγχου από το άκρο της απόστασης.....	24
Σχήμα 2.8 : Σχηματική παράσταση απόκλισης σκοπευτικού άξονα.....	25
Σχήμα 2.9 : Σχηματική απεικόνιση των 15 υψομετρικών διαφορών.....	26
Σχήμα 3.1: Σχηματική παράσταση κλεισίματος υψομετρικών βρόγχων.....	33
Σχήμα 5.1: Απεικόνιση διανύσματος μεταβολών απόλυτων μετακινήσεων.....	51
Σχήμα 5.2: Απεικόνιση διανύσματος μεταβολών απόλυτων μετακινήσεων ανιόντων σημείων την περίοδο 2006-2012.....	52
Σχήμα 5.3: Απεικόνιση διανύσματος μεταβολών απόλυτων μετακινήσεων κατιόντων σημείων την περίοδο 2006-2012.....	52
Σχήμα 5.4: Απεικόνιση διανύσματος μεταβολών σχετικών μετακινήσεων.....	56
Σχήμα 7.1: Χρονική εξέλιξη (-30 χρόνια) των μετακινήσεων σημείου ελέγχου στη στέψη του φράγματος του Μόρνου.....	64

## **ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1.1: Το φράγμα του Κούρη.....	4
Εικόνα 1.2: Τυπική τομή χωμάτινου φράγματος.....	5
Εικόνα 2.1: Υφιστάμενος δρόμος στη στέψη του φράγματος.....	11
Εικόνα 2.2: Ορειχάλκινο μπουλόνιο, τοποθετημένο στο μαντρότοιχο.....	11
Εικόνα 2.3: Σκόπευση προς την υψομετρική αφετηρία (reper).....	28
Εικόνα 2.4: Πάνω μέρος της ορειχάλκινης κατασκευής.....	30
Εικόνα 7.1 & 7.2: Κατάσταση υφιστάμενου πεζοδρομίου κατά μήκος της στέψης φράγματος.....	61
Εικόνα 7.3: Οι σεισμικές ζώνες της Κύπρου.....	63
Εικόνα 7.4: Χωρική κατανομή, ως προς το μέγεθος, των τοπικών σεισμών της Κύπρου που έχουν καταγραφεί από ενόργανες καταγραφές κατά την περίοδο 1896-2010. ....	63

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Κύπρος στο παρελθόν έχει αντιμετωπίσει πολλά σοβαρά προβλήματα ύδρευσης και άρδευσης, εξαιτίας της ανομβρίας που την ταλάνιζε για αιώνες. Τα προβλήματα αυτά οδήγησαν την κυβέρνηση στη κατασκευή του έργου του Νότιου Αγωγού. Το έργο αυτό είναι το μεγαλύτερο έργο υδατικής ανάπτυξης σε σημασία και κλίμακα που ανέλαβε ποτέ η Κυπριακή Κυβέρνηση, με την κύρια υδαταποθήκη του να αποτελεί το φράγμα του Κούρη στη Λεμεσό. Το φράγμα του Κούρη κατασκευάστηκε το 1988 και αποτελεί το μεγαλύτερο φράγμα που κατασκευάστηκε μέχρι σήμερα στην Κύπρο.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας, έχει συμβάλλει θετικά στον τομέα της Τεχνικής Γεωδαισίας, η οποία ασχολείται με την σωστή τοποθέτηση ενός τεχνικού έργου στο χώρο και τον έλεγχο της ορθής και ασφαλούς λειτουργίας του με την πάροδο του χρόνου. Έτσι είναι δυνατή η έγκαιρη αντιμετώπιση σοβαρών αστοχιών οι οποίες έχουν κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Πλέον, νέες μέθοδοι και σύγχρονα όργανα χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό, παρέχοντας την απαιτούμενη ακρίβεια και ελαχιστοποιώντας τον χρόνο εκτέλεσης των μετρήσεων στο πεδίο.

Σε αυτό το πλαίσιο αναγκών και νέων εφαρμογών, η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο τον προσδιορισμό των κατακόρυφων μετακινήσεων της επιφάνειας του εδάφους πάνω στην οποία εδράζεται η στέγη του φράγματος του Κούρη, στη Κύπρο, και την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς του. Ο προσδιορισμός τους γίνεται με τη μέτρηση και επίλυση ενός υφιστάμενου δικτύου κατακόρυφου ελέγχου κατά την περίοδο 2012, με την χρήση σύγχρονων μεθόδων ακριβείας. Οι σύγχρονες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι η Ψήφιακη Γεωμετρική Χωροστάθμιση και η Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στα κεφάλαια που ακολουθούν.

Επίσης γίνεται μια σύγκριση των μετρήσεων αυτών με αντίστοιχες μετρήσεις που έγιναν τον Ιούλιο και τον Δεκέμβριο του έτους 2006, στο πλαίσιο υλοποίησης αντίστοιχης διπλωματικής μελέτης το 2007, και αξιολογούνται τα τελικά αποτελέσματα.

Τέλος, γίνεται αναφορά στα τελικά συμπεράσματα που έχουν προκύψει, και καταγράφονται κάποιες προτάσεις οι οποίες μπορούν να φανούν χρήσιμες σε

μελλοντικές έρευνες που σχετίζονται με κατακόρυφες μετακινήσεις τεχνικών έργων .  
Η εργασία παραδόθηκε το Μάιο του 2013.

# 1.ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΚΟΥΡΗ

## 1.1 Γενικά

Φράγμα είναι ένα τεχνικό έργο το οποίο κατασκευάζεται στη κοίτη ενός φυσικού ποταμού, έτσι ώστε να ανακόψει τη συνέχεια της ροής του. Σκοπός της κατασκευής αυτής είναι η αποθήκευση και η χρήση του νερού για άρδευση, ύδρευση, εμπλουτισμό, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπλημμυρική προστασία, δημιουργία τεχνικής λίμνης κ.α. Η σπουδαιότητα της κατασκευής των φραγμάτων από οικονομική αλλά και από κοινωνική άποψη είναι ύψιστης σημασίας, αφού αναμφίβολα συμβάλλουν στην ανάπτυξη και την ευημερία του τόπου.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι φραγμάτων που συνήθως κατασκευάζονται, όπως τα φράγματα βαρύτητας (από σκυρόδεμα ή κτιστά με πέτρα), τοξωτά φράγματα από σκυρόδεμα, χωμάτινα φράγματα κ.α. Η επιλογή του τύπου του φράγματος που θα κατασκευαστεί, εξαρτάται από τις τεχνοοικονομικές και περιβαλλοντικές μελέτες που θα πραγματοποιηθούν.

Στην Κύπρο, το πρώτο φράγμα κατασκευάστηκε το 1900, στα Κούκλια, το οποίο ήταν τύπου χωμάτινο. Κατά την περίοδο 1945-1958 κατασκευάστηκαν άλλα δεκαπέντε (15) φράγματα, από τα οποία τα δεκατρία (13) ήταν βαρύτητας και τα δύο (2) χωμάτινα. Αργότερα όμως με την ίδρυση της Κυπριακής Δημοκρατίας και την δημιουργία του Τμήματος Αναπτύξεων Υδάτων (Τ.Α.Υ), άρχισε η κατασκευή μεγάλου αριθμού φραγμάτων, από τα οποία τα περισσότερα ήταν τύπου χωμάτινα. Η επιλογή του τύπου αυτού έγινε κυρίως για οικονομικούς λόγους, αλλά και λόγω της τοπογραφίας και της γεωλογίας της περιοχής του κάθε φράγματος. Έτσι οι τύποι φραγμάτων που υιοθετήθηκαν τελικά στη Κύπρο, ήταν τα χωμάτινα φράγματα με αργιλικό πυρήνα, τα λιθόρριπτα φράγματα με αργιλικό πυρήνα, τα φράγματα βαρύτητας με σκυρόδεμα και οι εξωποτάμιες δεξαμενές. Μέχρι και σήμερα, η Κύπρος διαθέτει πέραν των εκατόν (100) φραγμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για άρδευση και ύδρευση, ενώ η συνολική χωρητικότητα όλων των φραγμάτων ανέρχεται στα 327.5 περίπου εκατομμύρια κυβικά μέτρα (ΕΚΜ) νερού.

Η λειτουργία, συντήρηση και ασφάλεια του κάθε φράγματος ανάλογα με την γεωγραφική του θέση, βρίσκεται υπό την επιτήρηση και επίβλεψη του αντίστοιχου Επαρχιακού Γραφείου του Τμήματος. Η διασφάλιση της ορθής λειτουργίας του κάθε



φράγματος από το αντίστοιχο Επαρχιακό Γραφείο του Τμήματος, επιτυγχάνεται με τις συχνές επιθεωρήσεις από τον Μηχανικό Ασφαλείας που έχει οριστεί από τον Διευθυντή για κάθε φράγμα, αλλά και με επιθεωρήσεις από ανεξάρτητο εμπειρογνώμονα, τη συστηματική συντήρηση, παρακολούθηση και ανάλυση των ενόργανων καταγραφών αλλά και την λήψη των απαραίτητων διορθωτικών μέτρων, όπου και εάν αυτά απαιτούνται.

## **1.2 Το έργο του Νότιου Αγωγού**

Η υψηλή ανάγκη για άδρευση και ύδρευση, η αύξηση του πληθυσμού, η αλματώδης ανάπτυξη του τουρισμού, η βιομηχανική και γεωργική ανάπτυξη κατά την δεκαετία του 1970, είχαν ως αποτέλεσμα την εξάντληση των υδροφόρων στρωμάτων σε πολλές περιοχές της Κύπρου. Αυτό είχε ως συνέπεια την αδυναμία παροχής ικανοποιητικών ποσοτήτων πόσιμου και αδρεύσιμου νερού. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προωθήθηκε η κατασκευή του έργου του Νότιου Αγωγού.

Σκοπός του έργου αυτού, είναι η συλλογή και αποθήκευση πλεονασμάτων νερού, που προηγουμένως κατευθύνονταν προς τη θάλασσα, και η μεταφορά τους, μέσω διαπεριφερειακού αγωγού, στις περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη ανάγκη νερού. Το έργο αυτό είναι το μεγαλύτερο έργο υδατικής ανάπτυξης σε σημασία και κλίμακα που ανέλαβε ποτέ η Κυπριακή Κυβέρνηση. Παρόλο που το έργο ήταν τεράστιο, πολύπλοκο και δαπανηρό στην εκτέλεση του για τα κυπριακά δεδομένα, εντούτοις ήταν αρκετά πρωτοποριακό και ζωτικότερο για την Κύπρο, αφού συνέβαλε στην οικονομική και γεωργική ανάπτυξη του τόπου.

Το έργο καλύπτει σχεδόν όλο το μήκος των νότιων περιοχών της Κύπρου (χάρτης 1.1), από τον ποταμό Διάριζο της Πάφου, στα δυτικά, μέχρι και τα Κοκκινοχώρια, στα ανατολικά. Η επιλογή των περιοχών αυτών έγινε με σκοπό το έργο να συμβάλλει στη γεωργική ανάπτυξη παραλιακών περιοχών μεταξύ Λεμεσού και Αμμοχώστου και παράλληλα να ικανοποιήσει τις υδρευτικές ανάγκες των πόλεων της Λεμεσού, Λάρνακας, Αμμοχώστου, Λευκωσίας, αρκετών κοινοτήτων, καθώς και τις ανάγκες του τουρισμού και της βιομηχανίας των νότιων, ανατολικών και κεντρικών περιοχών της νήσου.



**Χάρτης 1.1: Το έργο του Νότιου Αγωγού**

**Πηγή: Απο επίσημη ιστοσελίδα Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων**

Το έργο λόγω του μεγέθους του και των ψηλών ετήσιων δαπανών, έχει εκτελεστεί σε δύο φάσεις.

Η πρώτη φάση άρχισε το 1984 και περιλάμβανε :

- την κατασκευή του φράγματος του Κούρη, στον ομώνυμο ποταμό, χωρητικότητας 115 Ε.Κ.Μ
- την κατασκευή του κεντρικού αγωγού μήκους 110 Km
- την κατασκευή του φράγματος της Άχνας, χωρητικότητας 6.8 Ε.Κ.Μ
- την κατασκευή των αρδευτικών δικτύων στα Κοκκινοχώρια, στην Αθένου, στους Τρούλλους και στο Αβδελλερό, που καλύπτουν συνολική έκταση 9.767 εκτάρια
- την εγκατάσταση του συστήματος τηλεμετρίας (ηλεκτρονικοί υπολογιστές μέσω των οποίων παρέχεται συνεχώς πλήρης εικόνα της λειτουργίας του Έργου και η δυνατότητα διορθωτικών ενεργειών)

Η πρώτη φάση συμπληρώθηκε το 1994 με ολική δαπάνη 97 περίπου εκατομμυρίων λιρών Κύπρου ( ≈ 155 εκατομμύρια Ευρώ).

Η δεύτερη φάση, περιλαμβάνει τα έργα :

- εκτροπή του ποταμού Διάριζου με σήραγγα μήκους 14.5 Km
- τα έργα εκτροπής του ποταμού Χαποτάμι
- κατασκευή του διυλιστηρίου νερού στη Λεμεσό και Τερσεφάνου
- κατασκευή του αγωγού Τερσεφάνου - Λευκωσίας, μήκους 36.5 Km
- υδροδότηση εννιά κοινοτήτων δυτικά της Λεμεσού
- κατασκευή αρδευτικών δικτύων στις περιοχές Ακρωτηρίου, Παρεκκλησιάς, Μαζωτού, Κιτίου και Αραδίππου που θα καλύψουν συνολική έκταση 41.59 Km<sup>2</sup>

### 1.3 Φράγμα του Κούρη

Το φράγμα του Κούρη (εικόνα 1.1) αποτελεί τον βασικό πυρήνα του έργου του Νότιου Αγωγού, αφού είναι η κύρια υδαταποθήκη του. Είναι το μεγαλύτερο φράγμα που κατασκευάστηκε μέχρι σήμερα στην Κύπρο και ο βασικός σκοπός του είναι η συσσώρευση και αποθήκευση νερού, και η μεταφορά αυτού με διαπεριφερειακό αγωγό στις περιοχές όπου υπάρχει ανάγκη νερού.

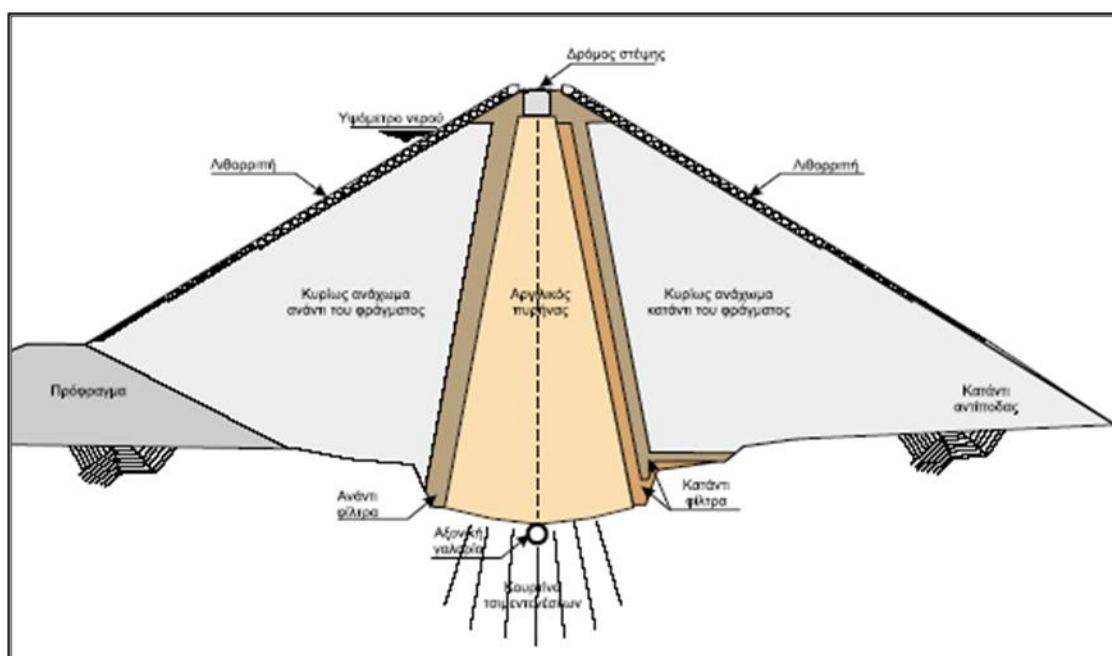


**Εικόνα 1.1: Το φράγμα του Κούρη**

Η επιλογή του τύπου κατασκευής του φράγματος προτάθηκε στην έκθεση του 1968 του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων (Τ.Α.Υ) σε συνεργασία με το Πρόγραμμα Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών. Ακολούθησαν εδαφοτεχνικές έρευνες μεταξύ

1970 και 1971 από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, ενώ το 1979 ολοκληρώθηκε η προμελέτη του φράγματος από τους βρετανούς σύμβουλους μηχανικούς Howard Humphreys and Partners. Τα τελικά σχέδια και η επίβλεψη ανατέθηκαν στους σύμβουλους Μηχανικούς SOGREAH Γαλλίας και Hydroconsult Κύπρου το 1981, ενώ τα Τμήματα Αναπτύξεως Υδάτων και Γεωλογικής Επισκόπησης ανάλαβαν επιπρόσθετες εδαφοτεχνικές έρευνες. Το συμβόλαιο για την κατασκευή του φράγματος κατακυρώθηκε τον Ιούλιο του 1984 στην Κοινοπραξία IMPREGILO S.p.A Ιταλίας και Ιωάννου και Παρασκευαΐδη (J&P) Κύπρου.

Οι εργασίες κατασκευής άρχισαν την 1<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 1984 και διέρκησαν τέσσερα (4) χρόνια. Η αναγκαιότητα συσσώρευσης νερού, όσο το δυνατό νωρίτερα, οδήγησε στην επίσπευση των εργασιών κατασκευής, ώστε να αρχίσει η συλλογή νερού το χειμώνα 1987-88, περίπου 10 μήνες πριν την ολοκλήρωση του έργου. Παρόλες τις δυσκολίες που προέκυψαν κατά την θεμελίωση του φράγματος και που είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου της εργασίας, εντούτοις με την χρήση επιπρόσθετων χωματουργικών μηχανημάτων, ο στόχος για συλλογή νερού τον χειμώνα 1987-88 επιτεύχθηκε. Η συνολική δαπάνη για την κατασκευή του φράγματος του Κούρη ήταν περίπου 29 εκατομμύρια Λίρες Κύπρου.

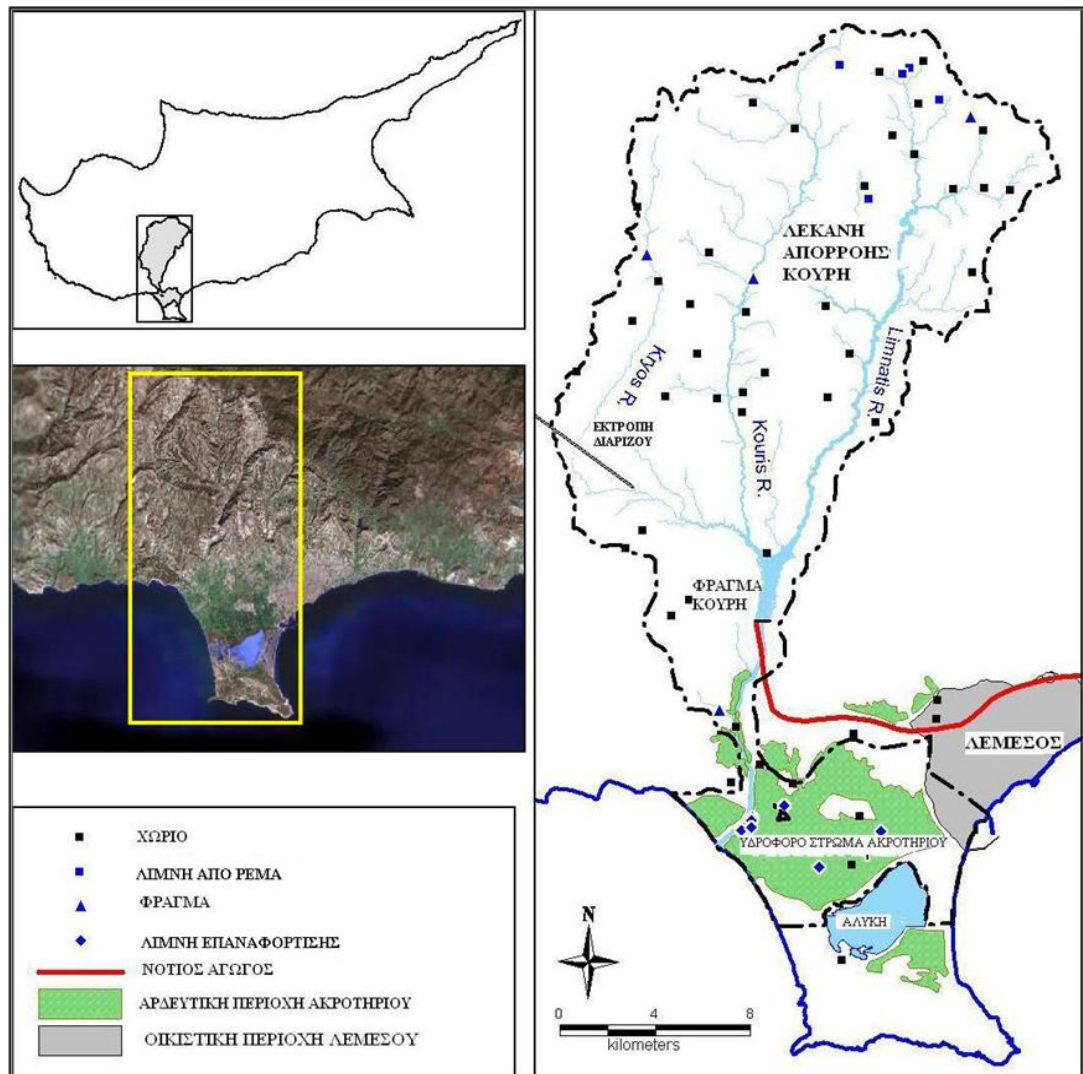


Εικόνα 1.2: Τυπική τομή χωμάτινου φράγματος

Πηγή: Σχέδια του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων κατά την μελέτη



Το φράγμα, είναι τύπου χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα (εικόνα 1.2), έχει χωρητικότητα 115 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων (Ε.Κ.Μ) και ύψος 110m. Το μήκος του αναχώματος είναι 550m και ο όγκος κατασκευής του 9.400.000m<sup>3</sup>. Η λίμνη του φράγματος σε υψόμετρο 247m από τη μέση στάθμη της θάλασσας, έχει επιφάνεια 3.6 Km<sup>2</sup> και εκτείνεται 5Km βόρεια, ενώ η λεκάνη απορροής έχει έκταση 308Km<sup>2</sup> (χάρτης 1.2). Ο υπερχειλιστής του φράγματος έχει μέγιστη παροχή 1.925 m<sup>3</sup>/sec.



**Χάρτης 1.2: Η λεκάνη απορροής του φράγματος του Κούρη**

**Πηγή:Απο επίσημη ιστοσελίδα Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων**

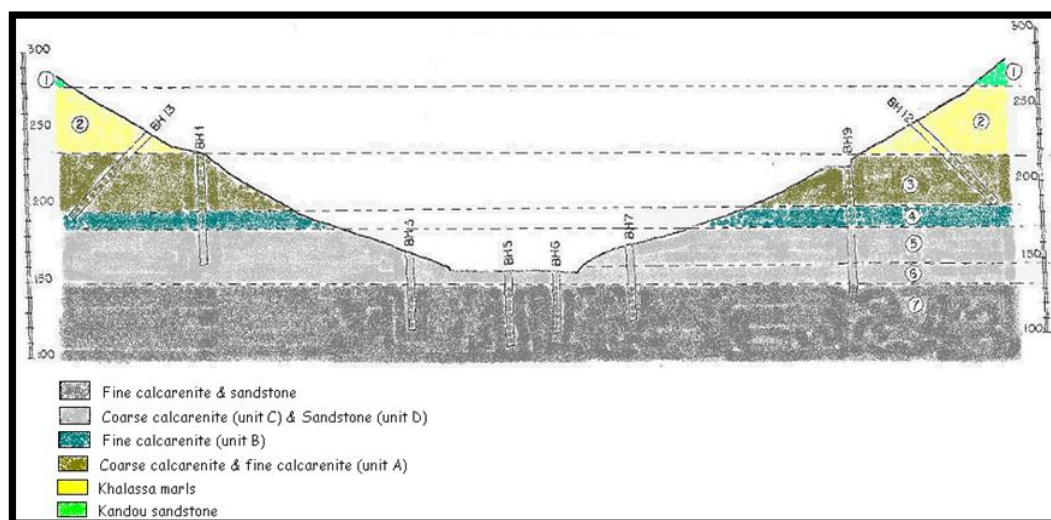
Η παροχή νερού από το φράγμα Κούρη άρχισε από το Φεβρουάριο του 1988, για αρδευτικούς σκοπούς προς στο φράγμα της Άχνας, περιοχή Κοκκινοχωριών, στο φράγμα Κιτίου, την περιοχή Ακρωτηρίου και για σκοπούς εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα στο δέλτα του Κούρη.

Η αποθήκευση νερού στο φράγμα του Κούρη γίνεται από τους ποταμούς Λιμνάτι, Κρυό, τον ομώνυμο ποταμό Κούρη και έχει ενισχυθεί με την εκτροπή νερού από τον ποταμό Διαρίζο στη λίμνη του φράγματος με σήραγγα διαμέτρου 2.4 – 2.6 m και μήκους 14.5 Km. Η εκτροπή του Διαρίζου αποτελεί μέρος της δεύτερης φάσης του Σχεδίου Νοτίου Αγωγού και η κατασκευή του άρχισε μέσα στο 1990 και τέθηκε σε λειτουργία αρχές του 1995. [Τελεβάντο Μ., 2004]

Το φράγμα του Κούρη υπερχείλισε για πρώτη φορά το 2004 (μεσημέρι της 4<sup>ης</sup> Μαρτίου 2004). Η μέγιστη ποσότητα νερού που αποθηκεύτηκε στο φράγμα κατά τη χρονιά αυτή ήταν 115 Ε.Κ.Μ. νερού.

### 1.3.1 Γεωλογία περιοχής του φράγματος του Κούρη

Με την ολοκλήρωση των απαραίτητων εκσκαφών, έγινε μια γεωλογική επισκόπηση της περιοχής σε κλίμακα 1:1000 και διερευνητικές γεωτρήσεις που έγιναν το 1971 και το 1981. Η γεωλογική τομή της περιοχής, με βάση τις γεωτρήσεις, είναι πανομοιότυπη για τα δύο αντερείσματα, με μια μικρή κλίση από τη δεξιά στην αριστερή όχθη, λόγω της κλίσης του άξονα του φράγματος λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του γεωλογικού σχηματισμού (σχήμα 1.1).



**Σχήμα 1.1: Γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος του άξονα του φράγματος**

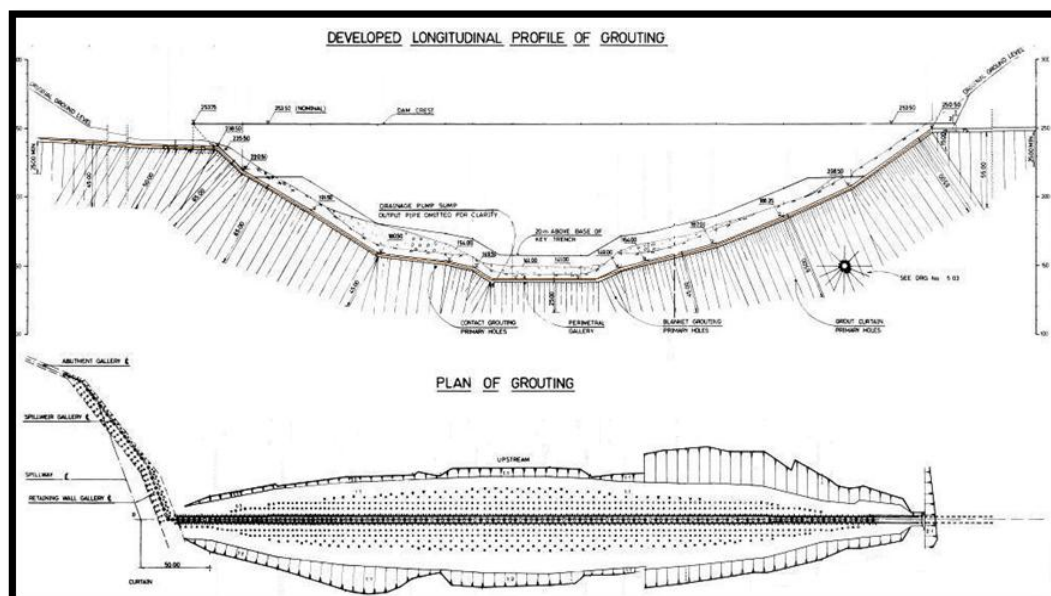
**Πηγή: Από σχέδια του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων κατά την μελέτη**

Από το πιο πάνω σχήμα παρατηρείται ότι το φράγμα εδράζεται σε διαφορετικούς σχηματισμούς. Συγκεκριμένα η στέψη των αντερεισμάτων εδράζεται στις μάργες Άλασσας, ο κυρίως όγκος του φράγματος πάνω στις σειρές χονδρόκοκκου ασβεστιτικού αρενίτη και ψαμμίτη (Ενότητες Α έως Δ) και στο κέντρο

της κοιλάδας το φράγμα εδράζεται πάνω στο τμήμα λεπτόκοκκου ασβεστιτικού αρενίτη και ψαμμίτη.

### 1.3.1.1 Σχεδιασμός της κουρτίνας τσιμεντενέσεων

Στόχος της τοποθέτησης των τσιμεντενέσεων είναι η αντιμετώπιση της διαπερατότητας από υλικά που επιτρέπουν αυτήν, έτσι ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως η ρηγματώση. Αρχικά στη περιοχή όπου εδράζεται το φράγμα του Κούρη, έγιναν κάποιες γεωτρήσεις με τη βοήθεια δοκιμών άντλησης και μετρήθηκε επί τόπου από τα test Lugeon, η διαπερατότητα των υλικών. Το μόνο διαπερατό στρώμα είναι αυτό του χονδρόκοκκου ασβεστιτικού αρενίτη και ψαμμίτη, το οποίο βρίσκεται μεταξύ δύο σχεδόν αδιαπέραστων στρωμάτων, των μάργων Άλασσας και του λεπτόκοκκου ασβεστιτικού αρενίτη και ψαμμίτη.



Σχήμα 1.2 : Σχέδιο και διατομή των τσιμεντενέσεων

Πηγή: Από σχέδια του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων κατά την μελέτη

Λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογία της περιοχής, τα αποτελέσματα των δοκιμών Lugeon και τον υπολογισμό των απωλειών του φράγματος έγινε ο σχεδιασμός της κουρτίνας τσιμεντενέσεων.

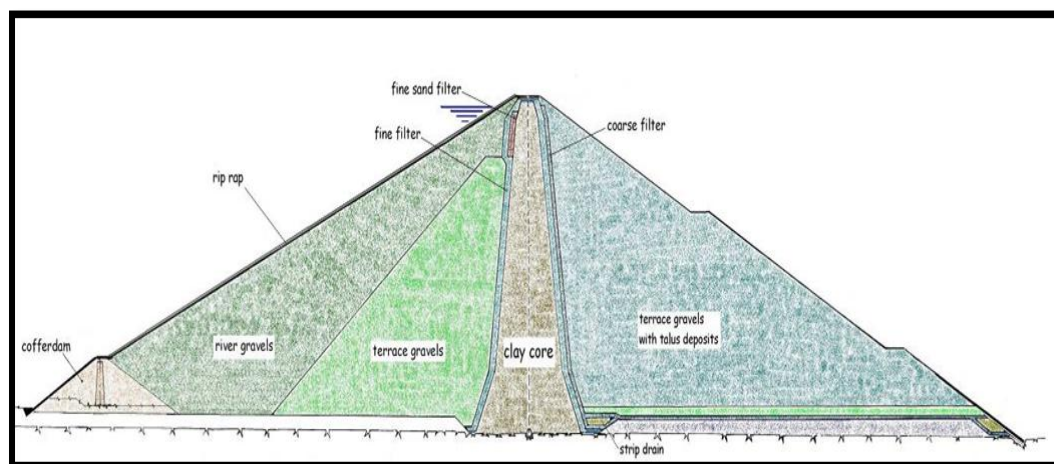
Η κουρτίνα τσιμεντενέσεων σχεδιάστηκε για να καλύπτει ολόκληρο το στρώμα χονδρόκοκκου ασβεστιτικού αρενίτη και ψαμμίτη (πάχους 80 έως 85m). Επιπλέον κάτω από την κοίτη του ποταμού, η κουρτίνα διεισδύει στο στρώμα λεπτόκοκκου ασβεστιτικού αρενίτη και ψαμμίτη σε βάθος 25m (σχήμα 1.2). [Τέμενος Κ.,2007]

### 1.3.1.2 Σχεδιασμός στέψης του φράγματος

Το φράγμα του Κούρη, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, είναι τύπου χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα. Η στέψη του φράγματος επομένως, αποτελείται από τον αργιλικό πυρήνα, ο οποίος βρίσκεται μεταξύ ενός φίλτρου από άμμο στην ανάντη πλευρά και ενός πιο χονδρού φίλτρου από άμμο στην κατάντη πλευρά (σχήμα 1.3). Η ανάντη πλευρά του φράγματος αποτελείται από επεξεργασμένα χαλίκια, χαλίκια και βράχους από τον υφιστάμενο ποταμό του Κούρη. Η κατάντη πλευρά αποτελείται από επεξεργασμένα χαλίκια και βράχους από τον υφιστάμενο ποταμό του Κούρη. Επίσης στην βάση της κατάντης πλευράς έχει κατασκευαστεί μια λωρίδα αποστράγγισης (γαλαρία), η οποία διανοίχτηκε στη σύνδεση του αργιλικού πυρήνα και του εδάφους κατά όλο το μήκος του φράγματος και συνδέεται με τις γαλαρίες του δεξιού και αριστερού αντερείσματος. Αυτές οι γαλαρίες επεκτείνονται από τη κουρτίνα τσιμεντενέσεων εκατό (100) m μέσα στα αντερείσματα.

Ο σκοπός των γαλαριών είναι η αποστράγγιση, η παρακολούθηση της κουρτίνας τσιμεντενέσεων καθώς και δυνατότητα τοποθέτησης επιπρόσθετων τσιμεντενέσεων σε περίπτωση εκτεταμένης διαρροής. Η διαμήκης προβολή της κουρτίνας τσιμεντενέσεων καθορίστηκε κυρίως από τη γεωμετρία των διαφόρων γεωλογικών στρωμάτων.

Ο δρόμος στον οποίο είναι εγκατεστημένο το δίκτυο, είναι κατασκευασμένος πάνω στον αργιλικό πυρήνα της στέψης του φράγματος και αποτελείται από υπόβαση, βάση και ασφαλτική στρώση.



Σχήμα 1.3: Τυπική διατομή του επιχώματος της στέψης του φράγματος

Πηγή: Από σχέδια του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων κατά την μελέτη

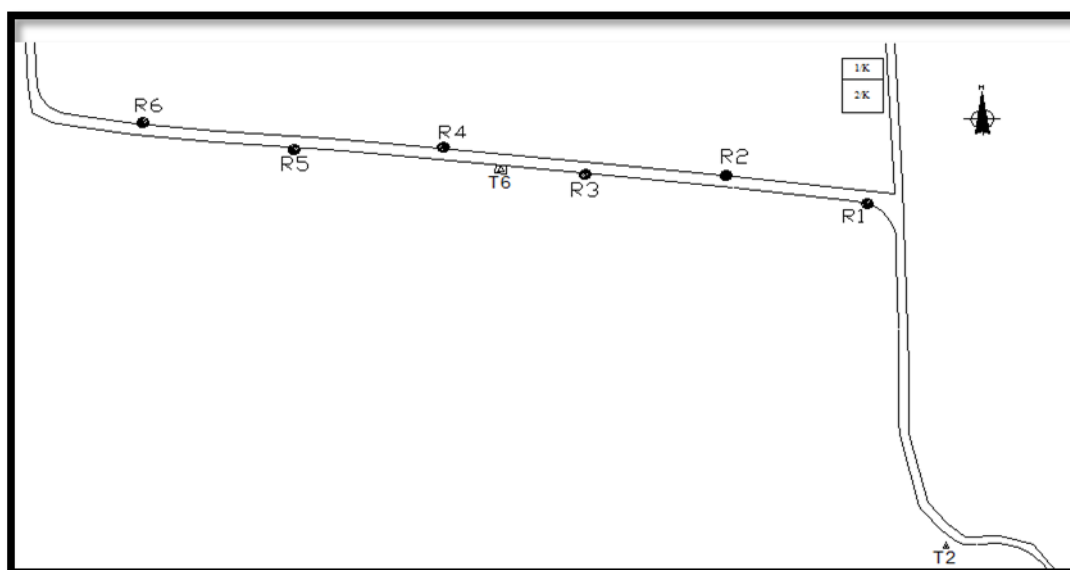


## 2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

### 2.1 Εγκατάσταση

Για τον προσδιορισμό και την παρακολούθηση των κατακόρυφων μετακινήσεων του φράγματος του Κούρη, έχει εγκατασταθεί από το έτος 2006 ένα δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου στο φράγμα, το οποίο αποτελείται από 7 σημεία ελέγχου. Από αυτά, τα έξι (6) είναι υψομετρικές αφετηρίες (repers), οι οποίες τοποθετήθηκαν κατά μήκος της στέψης του φράγματος ανά εκατό (100) m εκατέρωθεν του δρόμου (σχήμα 2.1).[Τέμενος Κ.,2007]

Το έβδομο σημείο είναι, τσιμεντένιο βάθρο  $T_2$ , το οποίο αποτελεί την σταθερή κορυφή του υψομετρικού δικτύου. Επίσης αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου που είχε εγκατασταθεί, για σκοπούς μετρήσεων, κατά το στάδιο υλοποίησης αντίστοιχης διπλωματικής εργασίας κατά το έτος 2006. Τα έξι σημεία έχουν τοποθετηθεί σε αυτές τις θέσεις, έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης ορατότητα με την σταθερή κορυφή  $T_2$ .



Σχήμα 2.1: Το γεωδαιτικό δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου

Η επιλογή της σταθερής κορυφής του δικτύου κατακόρυφου ελέγχου  $T_2$ , έχει γίνει έτσι ώστε να βρίσκεται εκτός της ζώνης επιρροής των μετακινήσεων της στέψης του φράγματος. Είναι μακριά από το κυρίως σώμα του, και παράλληλα δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης του κατακόρυφου δικτύου με υπάρχον τριδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο.

Οι υψομετρικές αφετηρίες έχουν υλοποιηθεί με ορειχάλκινα μπουλόνια, τα οποία είναι τοποθετημένα στο μαντρότοιχο (εικόνα 2.1, εικόνα 2.2) κατά μήκος του δρόμου στη στέγη του φράγματος σε ύψος περίπου 30 – 40cm.[Τέμενος Κ.,2007]



**Εικόνα 2.1: Υφιστάμενος δρόμος στη στέγη του φράγματος**



**Εικόνα 2.2: Ορειχάλκινο μπουλόνιο, τοποθετημένο στο μαντρότοιχο**

## **2.2 Οι μέθοδοι μέτρησης**

Για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών μεταξύ των υψομετρικών αφετηριών υπάρχουν διάφορες επίγειες μέθοδοι, όπως η γεωμετρική χωροστάθμιση, η τριγωνομετρική υψομετρία, η βαρομετρική υψομετρία και η υδροστατική ή

υδραυλική χωροστάθμηση. Υπάρχουν επίσης και οι δορυφορικές μέθοδοι χρησιμοποιώντας το δορυφορικό σύστημα GPS.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων στη στέψη του φράγματος για τον προσδιορισμό των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των υψομετρικών αφετηριών, έχει επιλεγεί η Ψηφιακή Γεωμετρική Χωροστάθμηση, ενώ για τον προσδιορισμό των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των υψομετρικών αφετηριών με το σταθερό σημείο  $T_2$ , έχει επιλεγεί η Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας (ΤΡΥΑ).

Η επιλογή των πιο πάνω μεθόδων, έχει γίνει επειδή η αβεβαιότητα που παρέχουν στις προσδιοριζόμενες υψομετρικές διαφορές είναι της τάξης των 3-4 mm, ενώ όσο αφορά τη ΤΡΥΑ έχει το πλεονέκτημα, σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους, να μην απαιτεί την τοποθέτηση τρίποδα σε υψομετρικές αφετηρίες (repers), όπου στη πραγματικότητα είναι αδύνατο να συμβεί.

### **2.2.1 Ψηφιακή Γεωμετρική Χωροστάθμηση**

Η γεωμετρική χωροστάθμηση είναι μια από τις μεθόδους άμεσου προσδιορισμού ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας. Για την εφαρμογή της, απαραίτητη είναι η χρήση ενός χωροβάτη, καθώς και δύο τουλάχιστον αριθμημένων πήχων, τοποθετημένοι κατακόρυφα στα σημεία όπου χρειάζεται να προσδιοριστεί η υψομετρική διαφορά, που ονομάζονται σταδίες ή χωροσταθμικοί πήχεις.

Για το σκοπό αυτό, απαραίτητος εξοπλισμός είναι :

- Χωροβάτης
- χωροσταθμικοί πήχεις (σταδίες )
- χωροσταθμικές βάσεις (χελώνες )
- Τρίποδας

Ο χωροβάτης χρησιμοποιείται στη μέθοδο αυτή, επειδή μπορεί να οριζοντιώνει με μεγάλη ακρίβεια την σκοπευτική του γραμμή, υλοποιώντας στο χώρο κατά την περιστροφή της γύρω από τον πρωτεύοντα άξονα ΠΠ΄, ένα οριζόντιο επίπεδο.[Πανταζής Γ.,2010]

Οι βασικές συνθήκες λειτουργίας του χωροβάτη είναι:

- Ο σκοπευτικός άξονας  $\Sigma\Sigma'$  να είναι παράλληλος με την κανονική ευθεία  $ΚΚ'$  της αεροστάθμης
- Η κανονική ευθεία  $ΚΚ'$  της αεροστάθμης να είναι κάθετη στον πρωτεύοντα άξονα  $\Pi\Pi'$

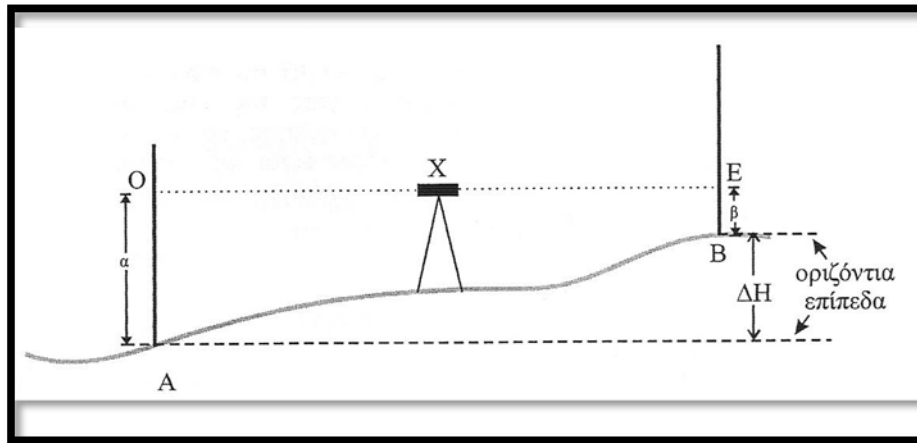
Με τις ίδιες αρχές λειτουργεί και ο ψηφιακός χωροβάτης που έχει χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση των μετρήσεων στην εργασία αυτή, με την μόνη διαφορά ότι η ανάγνωση της σταδίας γίνεται αυτόματα από το όργανο, το οποίο έχει ενσωματωμένη μια CCD κάμερα, που καταγράφει την ένδειξη της σταδίας. Απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία του είναι οι ψηφιακές σταδίες, οι οποίες έχουν χαραγμένο ραβδοκώδικα, που είναι αποθηκευμένος στο όργανο και έτσι το όργανο μπορεί αυτόματα να διαβάζει τις αναγνώσεις της σταδίας.

Για τη σωστή εκτέλεση των μετρήσεων απαραίτητο παρελκόμενο είναι οι χωροσταθμικές βάσεις (χελώνες), οι οποίες είναι ειδικές βάσεις που χρησιμοποιούνται για τη σταθερή έδραση των σταδίων στο έδαφος.

### **2.2.1.1 Ανάλυση Μεθοδολογίας**

Σε δύο σημεία Α και Β τοποθετούνται κατακόρυφα οι σταδίες (με τη χρήση της σφαιρικής αεροστάθμης που φέρουν). Σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο τοποθετείται ο ψηφιακός χωροβάτης του οποίου, η σκοπευτική γραμμή οριζοντιώνεται με τη βοήθεια μιας σωληνωτής αεροστάθμης συνδεδεμένης με ένα κοχλία οριζοντίωσης ή αυτόματα, μέσω ενός ισοσταθμητή (οπτικομηχανικού ή ηλεκτρονικού μηχανισμού με βασικό εξάρτημα ένα μικρό εκκρεμές).

Θεωρώντας ως φορά κίνησης αυτή από το Α προς το Β, σκοπεύεται η σταδία στο σημείο Α και λαμβάνεται η ανάγνωση  $\alpha$  (σχήμα 2.2), γνωστή ως οπισθοσκόπευση (όπισθεν). Ακολούθως σκοπεύεται η σταδία στο σημείο Β και λαμβάνεται η ανάγνωση  $\beta$ , γνωστή ως εμπροσθοσκόπευση(εμπροσθεν). [Πανταζής Γ,2010]



**Σχήμα 2.2: Διαδικασία γεωμετρικής χωροστάθμησης της μοναδιαίας εφαρμογής**

Η ορθομετρική υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο σημείων είναι ίση με:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = \text{ορθομετρική υψομετρική διαφορά μεταξύ των A και B}$$

Όπου:

$H_A$  = ορθομετρικό υψόμετρο του A, δηλαδή υψόμετρο της χωροσταθμικής επιφάνειας που διέρχεται από το σημείο A

$H_B$  = ορθομετρικό υψόμετρο του B, δηλαδή υψόμετρο της χωροσταθμικής επιφάνειας που διέρχεται από το σημείο B

$\alpha, \beta$  = αναγνώσεις στις σταδίες στα A και B αντίστοιχα

Τότε:

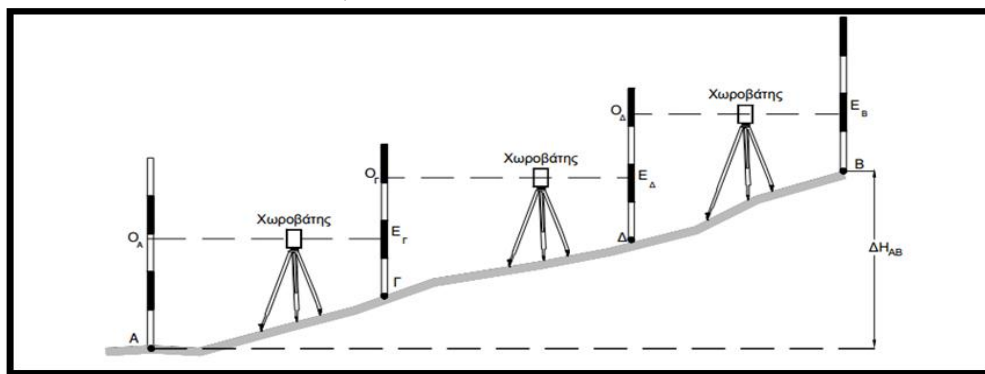
$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = \text{Όπισθεν} - \text{έμπροσθεν} = \alpha - \beta$$

Εάν η απόσταση μεταξύ των σημείων A και B είναι αρκετά μεγάλη τόσο υψομετρικά όσο και οριζοντιογραφικά εφαρμόζεται διαδοχικά και επαναλαμβανόμενα η διαδικασία της μοναδιαίας γεωμετρικής χωροστάθμησης (χωροσταθμική όδευση) ως εξής:

- Τοποθετείται αρχικά ο χωροβάτης σε απόσταση περίπου 20m (αν είναι οπτικομηχανικός) ή έως 100m (αν είναι ψηφιακός) από το σημείο A όπου τοποθετείται η σταδία (σχήμα 2.3). Μια άλλη σταδία τοποθετείται πάνω σε χωροσταθμική βάση σε ένα τυχαίο σημείο Γ, σε αντίστοιχη απόσταση. Λαμβάνονται οι αναγνώσεις  $O_A$  (όπισθεν στο A) και  $E_\Gamma$  (έμπροσθεν στο Γ).

- Στη συνέχεια ο χωροβάτης αλλάζει θέση. Τοποθετείται εμπρός από τη σταδία που βρίσκεται στο σημείο Γ, ενώ η σταδία από το σημείο Α μετακινείται σε ένα άλλο τυχαίο σημείο Δ. Λαμβάνονται οι αναγνώσεις  $O_{\Gamma}$  και  $E_{\Delta}$  και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι ο χωροβάτης να φθάσει κοντά στο σημείο Β.
- Η υψομετρική διαφορά  $\Delta H_{AB}$  ορίζεται ως η διαφορά του αθροίσματος των  $n$  εμπροσθεν αναγνώσεων από το άθροισμα των  $n$  όπισθεν αναγνώσεων, δηλαδή:

$$\Delta H = H_B - H_A = \sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n E_i$$



**Σχήμα 2.3: Διαδικασία εφαρμογής της χωροσταθμικής όδευσης**

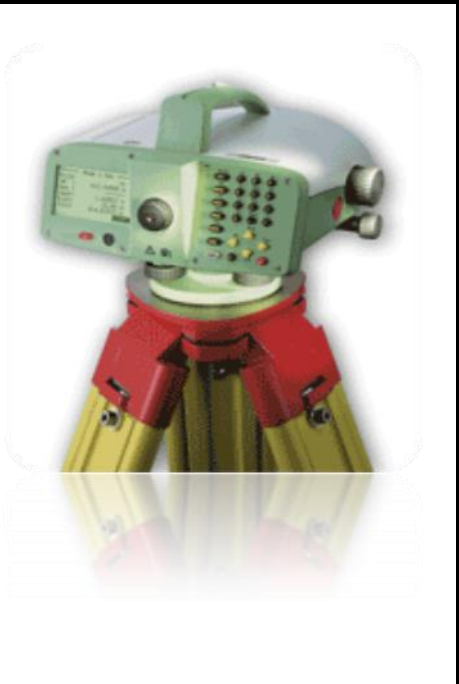
Η μέθοδος πραγματοποιείται πάντοτε τουλάχιστον δύο φορές σε μετάβαση (aller) από το σημείο Α προς το σημείο Β, και σε επιστροφή (retour) από το σημείο Β προς το σημείο Α, με διαφορετική διαδρομή και στάσεις έτσι ώστε να είναι ανεξάρτητες οι μετρήσεις μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή δίνει επίσης την δυνατότητα ελέγχου της αβεβαιότητας των μετρήσεων και προσδιορισμού τυχόν λαθών που μπορεί να προκύψουν, αφού οι δύο τιμές της υψομετρικής διαφοράς (aller-retour) πρέπει να είναι ίσες και αντίθετες. Βέβαια επειδή υπάρχουν τυχαία σφάλματα στις μετρήσεις δεν μπορεί οι δύο αυτές τιμές να είναι ακριβώς ίσες, γι' αυτό και η τελική τιμή της υψομετρικής διαφοράς προκύπτει από τον μέσο όρο των δύο αυτών τιμών.

### 2.2.1.2 Εξοπλισμός

Για τον προσδιορισμό των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των υψομετρικών αφετηριών (repers) χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός χωροβάτης Leica DNA 010. Η επιλογή του συγκεκριμένου τύπου χωροβάτη έγινε επειδή η ψηφιακή επεξεργασία

εικόνας επιτρέπει στα δεδομένα ύψους και απόστασης να καταγράφονται ηλεκτρονικά και έτσι αποφεύγονται λάθη που μπορεί να προκύψουν κατά τη χειρονακτική καταγραφή δεδομένων. Στον πίνακα 2.1, παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά (specifications) του χωροβάτη.

**Πίνακας 2.1: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ψηφιακού χωροβάτη Leica DNA010**

<b>Κατασκευάστρια Εταιρία</b>	Leica (Ελβετία)	
<b>Τύπος Οργάνου</b>	DNA010	
<b>Ηλεκτρονική Ανάγνωση</b>	0.2mm	
<b>Ακρίβεια Ηλεκτρονικής Μέτρησης</b>	±1.5mm/km (απλή σταδία)	
<b>Min / Max Απόσταση Ηλεκτρονικής Μέτρησης</b>	1.8m / 110m	
<b>Χρόνος Μέτρησης</b>	3 sec	
<b>Μεγέθυνση</b>	24 ×	

Εκτός από τον χωροβάτη DNA010, χρησιμοποιήθηκε και ο παρακάτω εξοπλισμός :

- δύο κωδικοποιημένες σταδίες μήκους 4m
- ένας τρίποδας
- δυο χωροσταθμικές βάσεις (χελώνες) για την έδραση των σταδίων
- σύστημα επικοινωνίας VHF

### 2.2.1.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα της μεθόδου

Σημαντικά πλεονεκτήματα της χρήσης του ψηφιακού χωροβάτη είναι ότι μειώνεται ο χρόνος παραμονής στο πεδίο, εξαλείφεται το χονδροειδές σφάλμα ανάγνωσης του παρατηρητή, η απόσταση μεταξύ χωροβάτη - σταδίας κατά τη μέτρηση μπορεί να φθάσει τα 100m και λαμβάνονται η επαναλαμβανόμενες

αναγνώσεις πάνω στη σταδία, όπου στην οθόνη του οργάνου εμφανίζεται ο μέσος όρος τους, η τυπική του απόκλιση  $\sigma$  και ο αριθμός  $n$  των αναγνώσεων. Μειονέκτημα των ψηφιακών χωροβατών είναι η αδυναμία μέτρησης σε περιβάλλον με περιορισμένο ή πολύ έντονο ή ανομοιόμορφο φωτισμό.

### 2.2.2 Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας (ΤΡΥΑ)

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών μεταξύ τριγωνομετρικών ή πολυγωνικών σημείων ή υψομετρικών αφετηρίων, με ακρίβεια αντίστοιχη της γεωμετρικής χωροστάθμησης. Για την εφαρμογή της, απαραίτητος εξοπλισμός είναι :

- Ένας γεωδαιτικός σταθμός (με τη δυνατότητα χρήσης Reflectorless)
- Δύο συστήματα γωνιομετρικού στόχου (στόχος, ανάπτορας τριχογλίου, τρικόγλιο) ή ανακλαστήρας (ανακλαστήρας, ανάπτορας τριχογλίου, τρικόγλιο)
- Τρεις τρίποδες

Η δυνατότητα μέτρησης μήκους από τους γεωδαιτικούς σταθμούς, χωρίς την χρήση ανακλαστήρα, δίνει πλέον την δυνατότητα μέτρησης μήκους και σε απρόσιτα σημεία (που απέχουν μεγάλη ή μικρή απόσταση), αφού πριν ήταν αδύνατο να μετρηθεί λόγω της αδυναμίας τοποθέτησης του ανακλαστήρα στα σημεία αυτά.

Κατά την σκόπευση στο επιθυμητό σημείο μετρώνται τα αντίστοιχα μήκη και οι ζενίθιες γωνίες. Εάν τα δύο σημεία δεν είναι και τα δύο ορατά από τον γεωδαιτικό σταθμό, τότε απαιτούνται ενδιάμεσες στάσεις. Κατά τις ενδιάμεσες στάσεις οι μετρήσεις γίνονται ταυτόχρονα και αμοιβαία σε μετάβαση και επιστροφή, έτσι η τιμή κάθε επιμέρους υψομετρικής διαφοράς προκύπτει από τον μέσο όρο των δύο τιμών. [Λάμπρου Ε., 2007]

#### 2.2.2.1 Ανάλυση Μεθοδολογίας

Για δύο σημεία  $A, B$  που είναι και τα δύο ορατά από κάποια θέση εγκατάστασης του γεωδαιτικού σταθμού και δεν απέχουν μεγάλη απόσταση από αυτόν, μετρούνται οι ζενίθιες γωνίες  $z_A, z_B$  και τα μήκη  $D_A, D_B$  (σχήμα 2.4). Κατόπιν



υπολογίζονται οι υψομετρικές διαφορές  $\Delta H_A$ ,  $\Delta H_B$  μεταξύ κάθε σημείου και του κέντρου του γεωδαιτικού σταθμού.

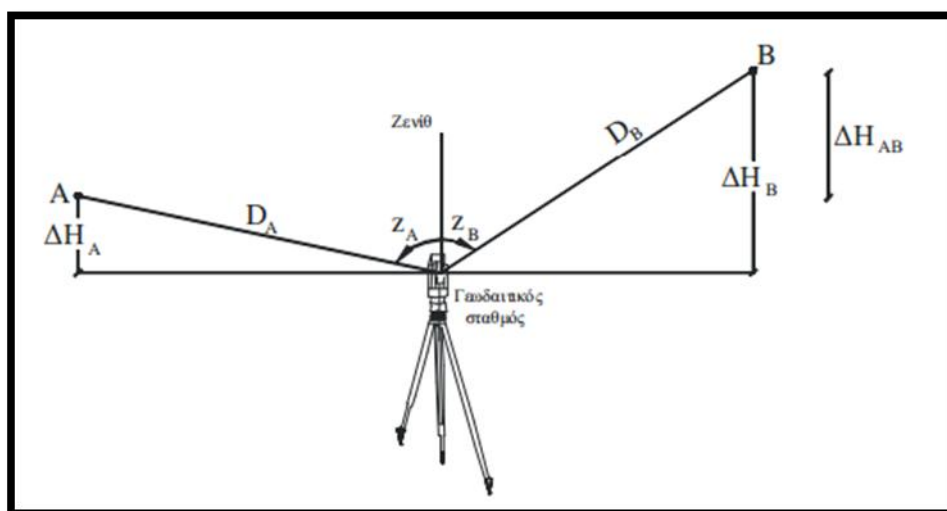
Η υψομετρική διαφορά  $\Delta H_{AB}$  μεταξύ των σημείων A, B προκύπτει από τη σχέση :

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A$$

όπου,

$$\Delta H_A = \cos Z_A \cdot D_A + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_A^2}{2R} \cdot \sin^2 Z_A \quad \text{και}$$

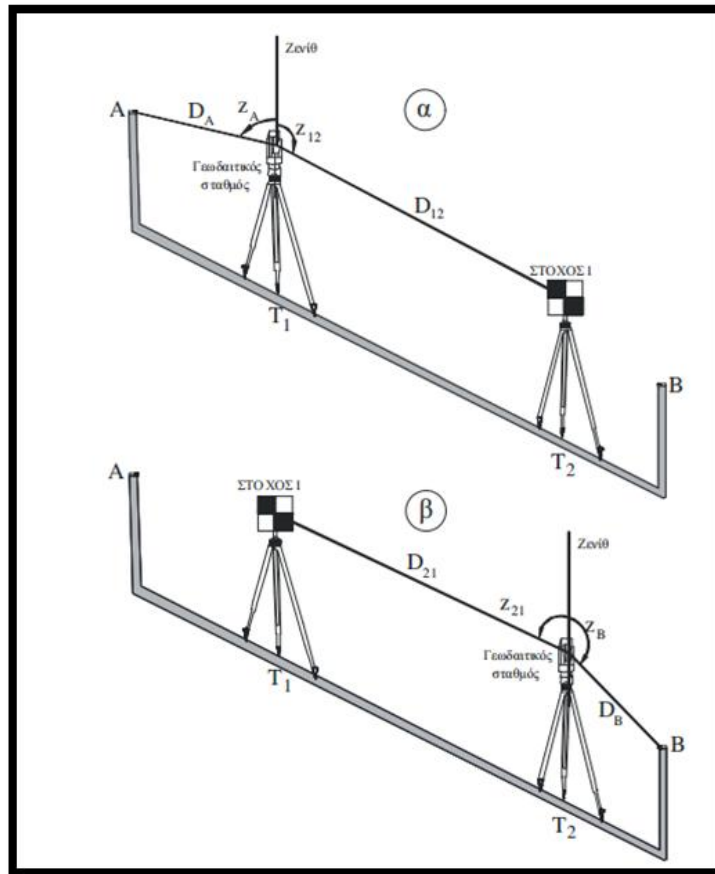
$$\Delta H_B = \cos Z_B \cdot D_B + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_B^2}{2R} \cdot \sin^2 Z_B$$



**Σχήμα 2.4 : Σχηματική παράσταση της μοναδιαίας διαδικασίας της μεθόδου ΤΡΥΑ**

Στην περίπτωση που τα σημεία A και B, δεν είναι και τα δύο ορατά από κάποια θέση όπου μπορεί να τοποθετηθεί ο γεωδαιτικός σταθμός, ή η μεταξύ τους απόσταση είναι μεγάλη εφαρμόζεται η παρακάτω διαδικασία (σχήμα 2.5).

Τοποθετείται σε τυχαία θέση, κοντά στο σημείο A (σε απόσταση περίπου 20m) ο τρίποδας  $T_1$  με τρικόγλιο και τον γεωδαιτικό σταθμό (σχήμα 2.5α). Αντίστοιχο σύστημα με τρίποδα  $T_2$ , τρικόγλιο και γωνιομετρικό στόχο, τοποθετείται κοντά στο σημείο B.



**Σχήμα 2.5 : Σχηματική παράσταση της μεθόδου ΤΡΥΑ με δύο ενδιάμεσες στάσεις**

Ο γεωδαιτικός σταθμός που βρίσκεται στον τρίποδα  $T_1$  σκοπεύει αρχικά προς το σημείο A και μετράται το μήκος  $D_A$  και η ζενίθια γωνία  $z_A$ . Στη συνέχεια σκοπεύει προς το στόχο ( $T_2$ ) και μετρά το μήκος  $D_{12}$  και τη ζενίθια γωνία  $z_{12}$ . Κατόπιν αλλάζουν θέση ο γωνιομετρικός στόχος και ο γεωδαιτικός σταθμός, οι οποίοι αποσπώνται από τα τρικόγλια τους με προσοχή χωρίς να επέλθει καμία μεταβολή στη θέση του κάθε συστήματος τρικόγλιο - τρίποδας. Ο γεωδαιτικός σταθμός, που βρίσκεται πια στον τρίποδα  $T_2$  (σχήμα 2.5β) μετρά (σε επιστροφή) το μήκος  $D_{21}$  και τη ζενίθια γωνία  $z_{21}$  προς τον στόχο που βρίσκεται στον τρίποδα  $T_1$ . Ύστερα σκοπεύοντας προς το σημείο B μετρά το μήκος  $D_B$  και τη ζενίθια γωνία  $z_B$ . [Τέμενος Κ.,2007]

Η ορθομετρική υψομετρική διαφορά  $\Delta H_{AB}$  προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A + \frac{\Delta H_{12} - \Delta H_{21}}{2}$$

$$\text{όπου, } \Delta H_{12} = \cos z_{12} \cdot D_{12} + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_{12}^2}{2R} \cdot \sin^2 z_{12}$$

$$\Delta H_{21} = \cos z_{21} \cdot D_{21} + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_{21}^2}{2R} \cdot \sin^2 z_{21}$$

ενώ οι υψομετρικές διαφορές  $\Delta H_A$ ,  $\Delta H_B$  δίνονται από τις σχέσεις:

$$\Delta H_A = \cos z_A \cdot D_A + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_A^2}{2R} \cdot \sin^2 z_A \quad \text{και}$$

$$\Delta H_B = \cos z_B \cdot D_B + (1 - \kappa) \cdot \frac{D_B^2}{2R} \cdot \sin^2 z_B$$

Για περισσότερες ενδιάμεσες στάσεις εφαρμόζεται ο πιο κάτω τύπος:

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A + \sum_{i=2}^n \frac{\Delta H_{i-1,j} - \Delta H_{i,j-1}}{2}$$

όπου :

H = ορθομετρικό υψόμετρο

D = μετρούμενο μήκος

z = ζενίθια (κατακόρυφη) γωνία

$\Delta H$  = ορθομετρική υψομετρική διαφορά

$\kappa$  = συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης

R = ακτίνα καμπυλότητας της γης = 6371Km

### 2.2.2.2 Εξοπλισμός

Για την πραγματοποίηση του προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών με τη μέθοδο της ΤΡΥΑ, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο γεωδαιτικός σταθμός να έχει δυνατότητα μέτρησης μήκους και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, δηλαδή χρήση Reflectless και να πληρεί τις απαιτήσεις όσον αφορά την ακρίβεια μέτρησης γωνιών και μηκών. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR 1203, ο οποίος πληρεί όλα τα πιο πάνω. Στον πίνακα

2.2, παρουσιάζονται μερικά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Εκτός από τον γεωδαιτικό σταθμό χρησιμοποιήθηκε και ο παρακάτω εξοπλισμός :

- στόχοι της εταιρείας Leica
- τρεις τρίποδες
- τρικόχλια
- σύστημα επικοινωνίας VHF

**Πίνακας 2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού Leica TCR1203**

	
<b>Κατασκευαστής</b>	Leica (Ελβετία)
<b>Μεγέθυνση</b>	30 ×
<b>Ακρίβεια μέτρησης γωνιών</b>	3", 1 mgon
<b>Ακρίβεια μέτρησης μηκών</b>	2mm ± 2ppm (με ανακλαστήρα)  3mm ± 2ppm (χωρίς ανακλαστήρα)
<b>Βεληνεκές</b>	3000m (με ανακλαστήρα) 80m (χωρίς ανακλαστήρα)
<b>Χρόνος μέτρησης</b>	1 sec (με ανακλαστήρα)  3 sec (χωρίς ανακλαστήρα έως 30m)
<b>Τύπος Laser</b>	Class 2
<b>Χωρητικότητα μνήμης</b>	4000 καταγραφές

### 2.2.2.3 Πλεονεκτήματα μεθόδου

Τα πλεονεκτήματα της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας (ΤΡΥΑ) είναι ότι οι μετρήσεις γίνονται ταυτόχρονα και αμοιβαία σε μετάβαση και επιστροφή, με αποτέλεσμα η τιμή κάθε επιμέρους υψομετρικής διαφοράς να προκύπτει από τον μέσο όρο των δύο τιμών. Έτσι με αυτό τον τρόπο εξαλείφεται η επίδραση της μεταβολής του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης αλλά και η επίδραση της καμπυλότητας της γής. Επίσης η ΤΡΥΑ είναι απαλλαγμένη από το σφάλμα μέτρησης των υψών οργάνου και στόχου αφού δεν χρειάζεται να μετρηθούν κατά την διαδικασία μέτρησης. Επομένως είναι γρήγορη και ευέλικτη αφού δεν χρειάζεται να επαναληφθεί η ίδια διαδρομή, έχει ικανοποιητική ακρίβεια αντίστοιχη της γεωμετρικής χωροστάθμησης ενώ οι τρίποδες τοποθετούνται σε τυχαίες θέσεις και δεν χρειάζεται κέντρωση.

## 2.3 Εκτέλεση μετρήσεων

Η εκτέλεση των μετρήσεων, τόσο με τη μέθοδο της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμησης όσο και με τη μέθοδο της ΤΡΥΑ, έγινε από συνεργείο 4 ατόμων (ένας παρατηρητής, 2 βοηθοί και ένας γραφέας). Οι μετρήσεις και για τις δύο μεθόδους ολοκληρώθηκαν σε χρονικό διάστημα περίπου 9 ωρών.

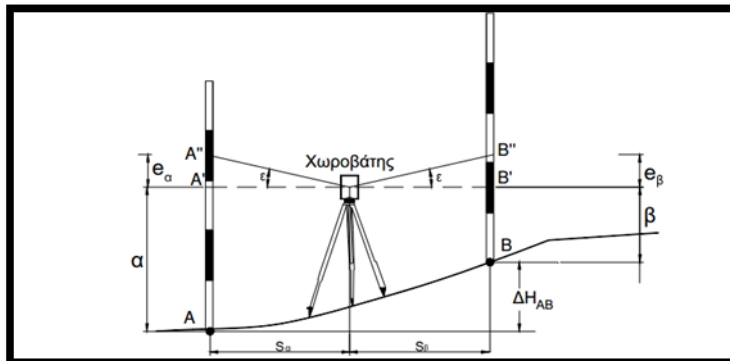
### 2.3.1 Γεωμετρική Χωροστάθμηση

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις με την ψηφιακή γεωμετρική χωροστάθμηση για τον προσδιορισμό των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των υψομετρικών αφετηριών που βρίσκονται τοποθετημένες στη στέψη του φράγματος. Πριν από την έναρξη των μετρήσεων προηγήθηκε ο έλεγχος μέσου-άκρου, για να ελεγχθεί η απόκλιση του σκοπευτικού άξονα του ψηφιακού χωροβάτη από την κανονική της θέση.

Η διαδικασία ελέγχου της απόκλισης του σκοπευτικού άξονα που ακολουθήθηκε στο πεδίο είναι η εξής :

- Επιλέγονται δύο σημεία Α και Β που απέχουν μεταξύ τους απόσταση περίπου 50m.

- Τοποθετείται ο χωροβάτης σε σημείο της μεσοκαθέτου της ευθυγραμμίας AB (όπου  $S_\alpha = S_\beta$ , σχήμα 2.6) και μετράται-υπολογίζεται η υψομετρική διαφορά  $\Delta H_{AB}$ .



**Σχήμα 2.6 : Διαδικασία ελέγχου από το μέσο της απόστασης**

Στον πίνακα 2.3, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας ελέγχου από το μέσο.

**Πίνακας 2.3: Αποτέλεσμα ελέγχου από το μέσο της απόστασης**

ΟΠΙΣΘΕΝ (ΣΗΜΕΙΟ Α)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (ΣΗΜΕΙΟ Β)
1.3939 m	1.4193 m
ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ $\Delta H = (O) - (E) = 0.0254 \text{ m}$	

Αυτή η υψομετρική διαφορά είναι η σωστή, ανεξαρτήτως της απόκλισης του σκοπευτικού άξονα, από την κανονική του θέση, αφού τοποθετώντας τον χωροβάτη σε ίση απόσταση από το σημείο A και από το σημείο B, το σφάλμα εξαλείφεται. Όταν η σκοπευτική γραμμή αποκλίνει από την οριζόντια θέση, τότε ο χωροβάτης σκοπεύει τις δύο σταδίες στις θέσεις A'' και B'' (αντί των σωστών A', B'), αποκλίνοντας κατά αποστάσεις  $e_\alpha$  και  $e_\beta$ .

Όμως:

$$\left. \begin{aligned} e_\alpha &= \tan \varepsilon \cdot S_\alpha \\ e_\beta &= \tan \varepsilon \cdot S_\beta \end{aligned} \right\} \text{αφού} \quad \overleftrightarrow{S_\alpha = S_\beta} \quad e_\alpha = e_\beta$$

Όπου  $\epsilon$  η γωνία απόκλισης της σκοπευτικής γραμμής από την οριζόντια θέση.

Η υψομετρική διαφορά και σ' αυτή την περίπτωση είναι η σωστή, αφού προκύπτει από τη σχέση:  $\Delta H_{AB} = (\alpha + e_\alpha) - (\beta + e_\beta) = \alpha - \beta = 0.0254 \text{ m}$

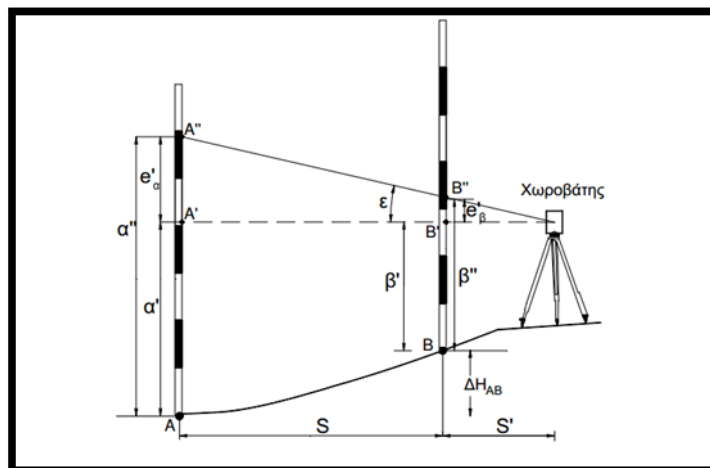
- Ακολουθώς τοποθετείται ο χωροβάτης κοντά στο ένα άκρο, δηλαδή στο B, στην ελάχιστη απόσταση εστίασης  $S'$  (σχήμα 2.7). Εάν η σκοπευτική γραμμή είναι οριζόντια τότε λαμβάνονται οι αναγνώσεις  $\alpha'$  και  $\beta'$  και η υψομετρική διαφορά είναι :

$$\Delta H'_{AB} = \alpha' - \beta' = \Delta H_{AB}$$

**Πίνακας 2.4: Αποτέλεσμα ελέγχου από το άκρο της απόστασης**

ΟΠΙΣΘΕΝ (ΣΗΜΕΙΟ Β)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (ΣΗΜΕΙΟ Α)
1.4367 m	1.4106 m
ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ $\Delta H = (O) - (E) = -0.0261 \text{ m}$	

Παρατηρείται ότι η διαφορά τους (0.0254 - 0.0261) ισούται με 0.0007m, δηλαδή ο σκοπευτικός άξονας αποκλίνει κατά  $\pm 0.7 \text{ mm}$ , όπου είναι πολύ μικρό σφάλμα.

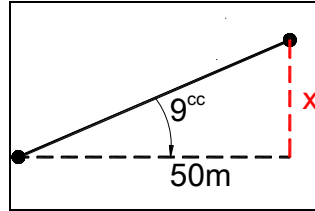


**Σχήμα 2.7: Διαδικασία ελέγχου από το άκρο της απόστασης**

Η γωνιά απόκλισης ισούται :

$$\epsilon = (\Delta H_{AB} - \Delta H'_{AB}) / S = 9^{cc}$$

Η γωνία  $\varepsilon$ , κατά την οποία αποκλίνει ο σκοπευτικός άξονας του χωροβάτη, ισούται με  $9^{\circ}$ . Επομένως η απόκλιση στην κατακόρυφη διεύθυνση (σχήμα 2.8), όπως και η διόρθωση σε κάθε ανάγνωση, που λαμβάνεται με τον χωροβάτη, είναι ίση με  $x = \tan(9^{\circ}) \cdot 50\text{m} = 0.7 \text{ mm}$ .



**Σχήμα 2.8 : Σχηματική παράσταση απόκλισης σκοπευτικού άξονα**

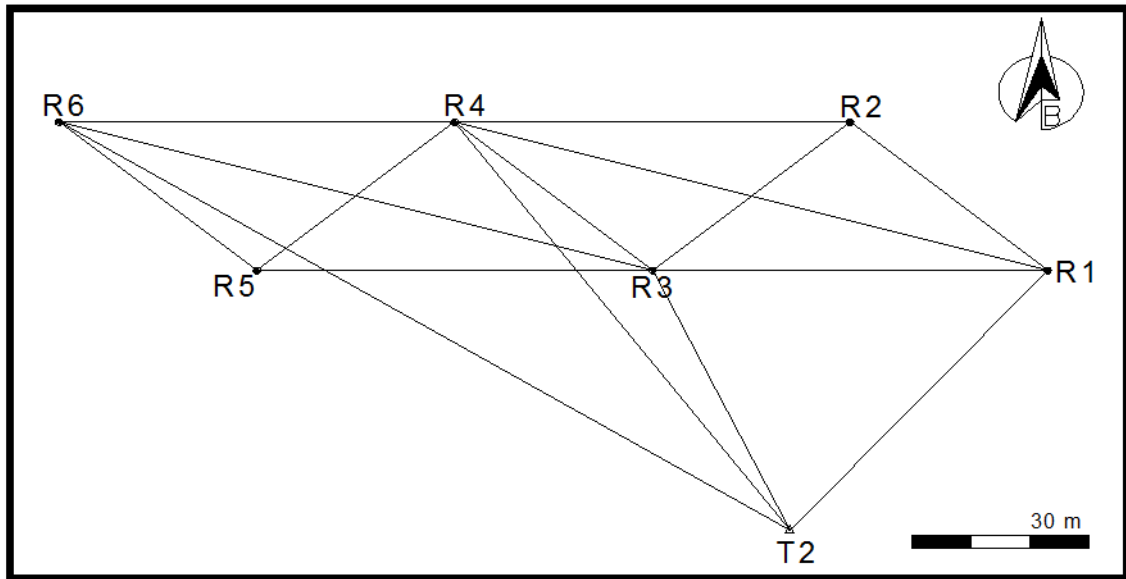
Η απόκλιση αυτή έχει αξιολογηθεί ως μη σημαντική, γιατί παρότι η ανάγνωση του χωροβάτη είναι  $0.1\text{mm}$ , η ακρίβεια μέτρησης του φθάνει το  $\pm 1.5\text{mm}$ , επομένως η απόκλιση αυτή μπορεί να αγνοηθεί. Επίσης έγινε προσπάθεια ελαχιστοποίησης του σφάλματος αυτού στο πεδίο κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, τοποθετώντας κάθε φορά το χωροβάτη στο μέσο της απόστασης μεταξύ των δύο σταδίων.

Αφού έγινε ο έλεγχος μέσου – άκρου, ακολούθησε η εκτέλεση των μετρήσεων με τη μέθοδο της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμισης για επιλεγμένες έντεκα (11) διαδρομές. Η επιλογή των διαδρομών είχε γίνει στο πλαίσιο πραγματοποίησης της διπλωματικής εργασίας του φοιτητή Κωνσταντίνου Τέμενου, το 2006, ακολουθώντας τη διαδικασία βελτιστοποίησης. Στην διαδικασία αυτή συνηθίζεται να δοκιμάζονται διάφορα σενάρια με διαφορετικό αριθμό σημείων, διαφορετικές μεθόδους μέτρησης και διαφορετικό εξοπλισμό. Ακολούθως για κάθε σενάριο υπολογίζεται η τιμή του ίχνους του πίνακα μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας και δημιουργείται ένα διάγραμμα βελτιστοποίησης. [Πανταζής Γ.,2010]

Από το διάγραμμα αυτό είναι δυνατό να επιλεγεί το καταλληλότερο σενάριο με τις αντίστοιχες διαδρομές, όργανα και μεθόδους ανάλογα με τις ανάγκες της εργασίας και την ακριβεία που ζητείται.

Στο σχήμα 2.9 που ακολουθεί απεικονίζονται οι έντεκα (11) υψομετρικές διαφορές όπου θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμισης και οι αντίστοιχες τέσσερις (4) όπου θα εφαρμοστεί η μέθοδος της ΤΡΥΑ. Συνολικά οι διαδρομές είναι δεκαπέντε (15).





**Σχήμα 2.9 : Σχηματική απεικόνιση των 15 υψομετρικών διαφορών**

Οι μετρήσεις για τον προσδιορισμό των υψομετρικών διαφορών κάθε διαδρομής έγιναν σε μετάβαση (aller) και επιστροφή (retour), ενώ ταυτόχρονα στο πεδίο γίνονταν και οι αντίστοιχοι έλεγχοι κλεισίματος aller-retour, έτσι ώστε να ελεγχθούν αν οι μετρήσεις είναι αποδεκτές ή εάν θα χρειαζόταν να επαναληφθούν.

Το κλείσιμο (Κλ) aller-retour υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον πιο κάτω τύπο:

$$Κλ = \Delta H_{\text{aller}} - \Delta H_{\text{retour}}, \text{ με σφάλμα } \sigma_{κλ} = 2 \cdot \sigma_{\varepsilon} \cdot \sqrt{n} \quad \text{για } n = \text{στάσεις} = n_1 = n_2$$

Επειδή ο ψηφιακός χωροβάτης παρέχει ανάγνωση με 0.1mm, έπρεπε το κλείσιμο να είναι μικρότερο από 1mm για να είναι αποδεκτές οι μετρήσεις. Στον πίνακα 2.5 που ακολουθεί παραθέτονται τα αποτελέσματα των χωροσταθμίσεων.

Πίνακας 2.5: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων γεωμετρικής χωροστάθμισης

α/α διαδρομής	ΑΠΟ - ΠΡΟΣ	ΑΝΑΓΝΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΤΑΔΙΑ		Ο - Ε	ΠΡΟΣΩΡΙΝΟ ΔΗ (m)	ΟΡΙΣΤΙΚΟ ΔΗ (m)
		ΟΠΙΣΘ	ΕΜΠΡΟ			
		ΕΝ	ΣΘΕΝ			
1	R1-R4	1.5163	1.3677	0.1486	0.9974	<b>0.9966</b>
		1.5778	1.1091	0.4687		
		1.5617	1.1816	0.3801		
	R4-R1	1.2298	1.7608	-0.5310	-0.9957	
		1.3665	1.6838	-0.3173		
		1.3279	1.4753	-0.1474		
2	R4-R6	0.8701	1.6646	-0.7945	-0.6831	<b>-0.6830</b>
		1.2906	1.1792	0.1114		
	R6-R4	1.1791	1.2833	-0.1042	0.6829	
		1.7007	0.9136	0.7871		
3	R6-R5	0.8397	1.1947	-0.3550	-0.3550	<b>-0.3551</b>
	R5-R6	1.1847	0.8295	0.3552	0.3552	
4	R1-R3	1.4949	1.2947	0.2002	0.7882	<b>0.7889</b>
		1.5972	1.0092	0.5880		
	R3-R1	0.9440	1.6646	-0.7206	-0.7897	
		1.3223	1.3914	-0.0691		
5	R3-R6	1.1625	1.0372	0.1253	0.4750	<b>0.4752</b>
		1.7297	1.3800	0.3497		
	R6-R3	1.1933	1.1064	0.0869	0.4753	
		1.5461	1.2240	0.3221		
		1.5032	1.4369	0.0663		
6	R1-R2	1.4584	0.9916	0.4668	0.4668	<b>0.4664</b>
	R2-R1	1.0296	1.4955	-0.4659	-0.4659	
7	R2-R4	1.2678	0.9786	0.2892	0.5294	<b>0.5301</b>
		1.3548	1.1146	0.2402		
	R4-R2	1.1719	1.6645	-0.4926	-0.5308	
		1.2279	1.2661	-0.0382		
8	R4-R5	0.9102	1.2377	-0.3275	-0.3275	<b>-0.3276</b>
	R5-R4	1.2305	0.9027	0.3278	0.3278	
9	R2-R3	1.3020	0.9799	0.3221	0.3221	<b>0.3224</b>
	R3-R2	0.9529	1.2757	-0.3228	-0.3228	
10	R3-R5	1.4146	1.4638	-0.0492	-0.1207	<b>-0.1205</b>
		1.2048	1.2763	-0.0715		
	R5-R3	1.2694	1.1976	0.0718	0.1204	
		1.4564	1.4078	0.0486		
11	R3-R4	1.3044		0.2072	0.2072	<b>0.2071</b>
	R4-R3	1.1713	1.3783	-0.2070	-0.2070	

### 2.3.2 Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας

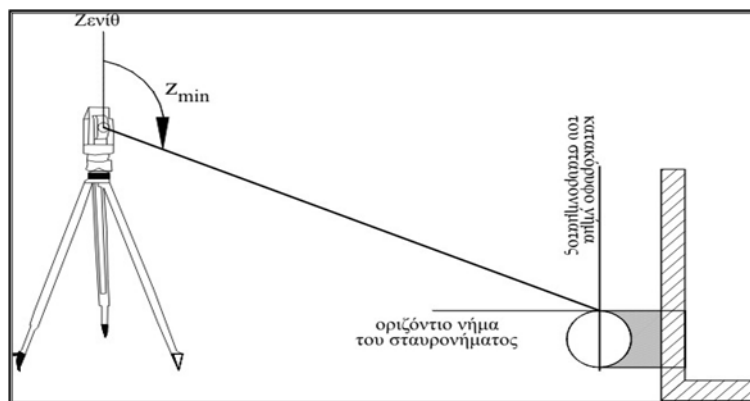
Με την ολοκλήρωση των χωροσταθμίσεων με τις έντεκα (11) διαδρομές και την σύνδεση των υψομετρικών αφετηριών, υψομετρικά, στη στέψη του φράγματος, ακολούθησε η σύνδεση τους με την σταθερή κορυφή του δικτύου, το βάθρο  $T_2$ .

Επειδή η σταθερή κορυφή απέχει κατά πολύ από την στέψη του φράγματος, η σύνδεση της με τις υψομετρικές αφετηρίες έγινε με την μέθοδο της ΤΡΥΑ. Οι διαδρομές που έχουν επιλεγεί από τη βελτιστοποίηση είναι τέσσερις (4), και έτσι θα συνδεθούν οι τέσσερις υψομετρικές αφετηρίες, που έχουν επιλεγεί, με το  $T_2$ , ανάλογα με τις διαδρομές. Από τις τέσσερις αφετηρίες, οι δύο είναι στην ανάντη μεριά του φράγματος ( $R_4, R_6$ ) και οι άλλες δύο στην κατόντη ( $R_1, R_3$ ).

Για τις αφετηρίες  $R_3, R_4$  και  $R_6$  χρησιμοποιήθηκαν 2 τρίποδες αφού υπήρχε ορατότητα με το σημείο  $T_2$  ενώ για το  $R_1$ , όπου δεν υπήρχε ορατότητα χρησιμοποιήθηκαν 3 τρίποδες.

Η διαδικασία είχε ως εξής :

- Τοποθετήθηκε σε κοντινή απόσταση ( $\sim 3m$ ) από το βάθρο  $T_2$  ο ένας από τους δύο τρίποδες και σε κοντινή απόσταση από το  $reper$  ο άλλος.
- Ξεκινώντας από το βάθρο  $T_2$ , το όργανο τίθεται σε λειτουργία Reflectorless και λάμβανε μέτρηση στην κεφαλή της υψομετρικής αφετηρίας (εικόνα 2.3) Δόθηκε μεγάλη προσοχή ώστε η ακτίνα να προσπίπτει ακριβώς πάνω στο κέντρο γι' αυτό τοποθετήθηκε μια πλάκα στη μεσοκάθετο της βίδας. Έτσι εξαλείφθηκε ο κίνδυνος η ακτίνα να προσπεράσει την βίδα και προσκρούσει οπουδήποτε αλλού πίσω της.



Εικόνα 2.3: Σκόπευση προς την υψομετρική αφετηρία ( $reper$ )

- Οι μετρήσεις έγιναν σε δύο περιόδους και σε κάθε περίοδο τα δεδομένα που καταγράφονταν ήταν η ζενίθια γωνιά και το κεκλιμένο μήκος. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε η διαφορά της μιας περιόδου από την άλλη στις ζενίθιες γωνίες να μην υπερβαίνει τα  $30^{\circ} - 40^{\circ}$ . Το όριο αυτό εκτιμήθηκε ως το επιτρεπόμενο, από το γεγονός ότι, παρόλο που το όργανο δίνει αβεβαιότητα  $9^{\circ} - 10^{\circ}$ , εντούτοις πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες που αφορούν την διάθλαση, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες αλλά και την αβεβαιότητα σκόπευσης.
- Κατόπιν γινόταν σκόπευση στον ανακλαστήρα που είχε τοποθετηθεί στον άλλο τρίποδα και μετά εναλλαγή του ανακλαστήρα με το όργανο. Για τη μέτρηση αυτή, ο γεωδαιτικός σταθμός τίθεται σε λειτουργία μέτρησης μήκους σε πρίσμα. Δόθηκε προσοχή στη διατήρηση της αρχικής θέσης κάθε συστήματος τρίποδα – τρικόχλιο, κατά την εναλλαγή του γεωδαιτικού σταθμού και του ανακλαστήρα. Ακολουθεί σκόπευση στον ανακλαστήρα και μέτρηση της κατακόρυφης γωνιάς και της κεκλιμένης απόστασης.
- Ακολουθούσε σκόπευση προς το reper (λειτουργία Reflectorless) και μέτρηση του κεκλιμένου μήκους και της ζενίθιας γωνιάς.
- Η κατασκευή των υπομετρικών αφετηριών (reper) είναι τέτοια (κυλινδρική ή σφαιρική) ώστε να εδράζεται πάντοτε στο ίδιο μοναδικό σημείο ο υπομετρικός πήχης. Το πρόβλημα στη ΤΡΥΑ ανάγεται στη σκόπευση αυτού του μοναδικού σημείου κατά τη μέτρηση του μήκους και της αντίστοιχης ζενίθιας γωνιάς. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.4, η θέση του σημείου αυτού μπορεί να οριστεί ως αυτή όπου το οριζόντιο σταυρόνημα του τηλεσκοπίου του γεωδαιτικού σταθμού εφάπτεται στο πάνω μέρος της ορειχάλκινης κατασκευής έτσι ώστε η ένδειξη της ζενίθιας γωνιάς να είναι η ελάχιστη.
- Το πρόβλημα επιλύεται με προσεκτική σκόπευση και χρήση πλάκας όπως στο βάθρο T2 (εικόνα 2.4).[Τέμενος Κ.,2007]



**Εικόνα 2.4: Πάνω μέρος της ορειχάλκινης κατασκευής**

Ακολουθεί ο τελικός πίνακας των μετρήσεων με την μέθοδο της ΤΡΥΑ.

Πίνακας 2.6: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων με ΤΡΥΑ

ΥΨΟΜΕΤΡΙ ΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ	Z (I) ( <sup>€</sup> )	Z(II) ( <sup>€</sup> )	SD (I) (m)	SD(II) (m)	SD (μέσο) (m)	Z ( <sup>€</sup> )	Z <sub>TEA</sub> ( <sup>€</sup> )	ΔΗ (m)	ΔΗ ΤΕΛΙΚΟ (m)	
<b>T2-R6</b>										
<b>T2</b>	121.1105	278.8838	4.8869	4.8869	4.8872	121.1133	121.1124	<b>-1.5912</b>	<b>23.3572</b>	
	121.1111	278.8883	4.8874	4.8874		121.1114				
<b>1</b>	97.6950	302.3008	634.5249	634.5249	634.5249	97.6971	97.6984	<b>22.9353</b>		
	97.6971	302.2980	634.5249	634.5249		97.6996				
<b>2</b>	102.3084	297.6894	634.524	634.524	634.524	102.3194	102.3092	<b>-23.0105</b>		
	102.3080	297.6898	634.524	634.524		102.3091				
<b>R6</b>	109.2278	290.7725	8.354	8.354	8.354	109.2277	109.2282	<b>-1.2067</b>		
	109.2303	290.7730	8.354	8.354		109.2287				
<b>T2-R3</b>										
<b>T2</b>	121.1105	278.8838	4.8869	4.8869	9.7743	121.1133	121.1124	<b>-1.5912</b>		<b>23.8369</b>
	121.1111	278.8883	4.8874	4.8874		121.1114				
<b>1</b>	96.0042	303.9922	376.0736	376.0736	376.0736	96.0060	96.0060	<b>23.5784</b>		
	96.0036	303.9916	376.0736	376.0736		96.0060				
<b>2</b>	103.9976	295.9982	376.073	376.073	376.072	103.9997	103.9996	<b>-23.6114</b>		
	103.9968	295.9975	376.072	376.072		103.9996				
<b>R3</b>	109.7154	290.2854	8.874	8.874	8.874	109.7150	109.7154	<b>-1.3490</b>		
	109.7169	290.2853	8.874	8.874		109.7158				
<b>T2-R4</b>										
<b>T2</b>	121.7297	278.2691	4.181	4.181	4.182	121.7303	121.7283	<b>-1.3994</b>	<b>24.0428</b>	
	121.7256	278.2730	4.183	4.183		121.7263				
<b>1</b>	96.6374	303.3626	449.750	449.750	449.750	96.6374	96.6353	<b>23.7593</b>		
	96.6331	303.3666	449.750	449.750		96.6332				
<b>2</b>	103.3717	296.6279	449.7512	449.7512	449.7509	103.3719	103.3724	<b>-23.8137</b>		
	103.3723	296.6264	449.7506	449.7506		103.3729				
<b>R4</b>	108.2623	291.7412	8.8284	8.8284	8.8274	108.2605	108.2592	<b>-1.1420</b>		
	108.2532	291.7373	8.8264	8.8264		108.2579				
<b>R1-T2</b>										
<b>T2</b>	121.1105	278.8838	4.8869	4.8869	4.8872	121.1133	121.1124	<b>-1.5912</b>		<b>23.0524</b>
	121.1111	278.8883	4.8874	4.8874		121.1114				
<b>1</b>	96.6439	303.3534	450.5245	450.5245	450.5244	96.6453	96.6457	<b>23.7268</b>		
	96.6435	303.3516	450.5244	450.5244		96.6460				
<b>2</b>	103.3570	296.6369	450.524	450.524	450.524	103.3601	103.3602	<b>-23.7684</b>		
	103.3579	296.6375	450.524	450.524		103.3602				
<b>3</b>	100.1570	299.8383	299.003	299.003	299.003	100.1594	100.1593	<b>-0.7482</b>		
	100.1561	299.8378	299.003	299.003		100.1592				
<b>4</b>	99.8482	300.1489	299.0038	299.0038	299.0040	99.8496	99.8502	<b>0.7035</b>		
	99.8486	300.1472	299.0041	299.0041		99.8507				
<b>R1</b>	110.1196	289.8838	9.9434	9.9434	9.9420	110.1154	110.2892	<b>-1.5999</b>		
	110.1143	289.8852	9.9420	9.9420		<b>110.4631</b>				

### 3. ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2012

#### 3.1 Κλείσιμο Βρόγχων

Ο πρώτος έλεγχος που γίνεται μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων και πριν την συνόρθωση του δικτύου, είναι το κλείσιμο των κλειστών βρόγχων ή μοναδιαίων τριγώνων, από τα οποία αποτελείται το υψομετρικό δίκτυο. Η διαφορά του αθροίσματος των υψομετρικών διαφορών σε κάθε βρόγχο από την τιμή μηδέν, η οποία αποτελεί την αληθή τιμή του κλεισίματος βρόγχου, ονομάζεται σφάλμα κλεισίματος του βρόγχου. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να εντοπιστούν τυχόν χονδροειδή σφάλματα στις μετρήσεις και να επαναληφθούν για να διορθωθούν, ενώ επίσης μπορεί να εκτιμηθεί η τάξη μεγέθους της αβεβαιότητας προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών.

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κλεισίματος στον μοναδιαίο βρόγχο (τρίγωνο) είναι ο εξής :

$$\text{Κλ}=\Delta\text{H}_1+\Delta\text{H}_2+\Delta\text{H}_3$$

όπου  $\Delta\text{H}_1, \Delta\text{H}_2, \Delta\text{H}_3 =$  οι τρεις τιμές των υψομετρικών διαφορών .

Το σφάλμα κλεισίματος προσδιορίζεται με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στην προηγούμενη σχέση, από τον πιο κάτω τύπο:

$$\sigma_{\text{κλ}} = \pm \sqrt{\sigma_{\Delta\text{H}_1}^2 + \sigma_{\Delta\text{H}_2}^2 + \sigma_{\Delta\text{H}_3}^2}$$

όπου  $\sigma_{\Delta\text{H}}$  = η αβεβαιότητα κάθε διαδρομής αντίστοιχα.

Για τον προσδιορισμό της a-posteriori αβεβαιότητας της γεωμετρικής χωροστάθμισης χρησιμοποιείται ο πιο κάτω τύπος :

$$\sigma_{\Delta\text{H}_T} = \pm \sigma_\varepsilon \cdot \sqrt{n}$$

όπου  $\sigma_\varepsilon =$  σφάλμα εκτίμησης στις αναγνώσεις της σταδίας =  $\pm 0.1 \text{ mm}$

$$n = \text{στάσεις} = n_1 = n_2$$

Από τις μετρήσεις που φαίνονται στο παράρτημα (σελ.69), ο μέσος όρος της αβεβαιότητας της γεωμετρικής χωροστάθμισης είναι  $\sigma_{\Delta\text{H}} = \pm 0.5 \text{ mm}$ .

Επομένως το σφάλμα κλεισίματος ενός βρόγχου, που οι υψομετρικές διαφορές έχουν προσδιοριστεί με γεωμετρική χωροστάθμιση, είναι:

$$\sigma_{\kappa\lambda} = \pm\sqrt{\sigma_{\Delta H_1}^2 + \sigma_{\Delta H_2}^2 + \sigma_{\Delta H_3}^2} = \sqrt{3} \cdot 0.5\text{mm} = \pm 0.86\text{mm}$$

Για τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της ΤΡΥΑ χρησιμοποιείται ο πιο κάτω τύπος:

$$\sigma_{\Delta H_{AB}} = \pm\sqrt{2 \cdot \sigma_{\Delta H_A}^2 + \frac{n-1}{2} \cdot \sigma_{\Delta H_B}^2}$$

$$\text{όπου } \sigma_{\Delta H_{AB}} = \pm\sqrt{(\cos z \cdot \sigma_D)^2 + (D \cdot \sin z)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_z}{\rho_{cc}}\right)^2} \text{ και}$$

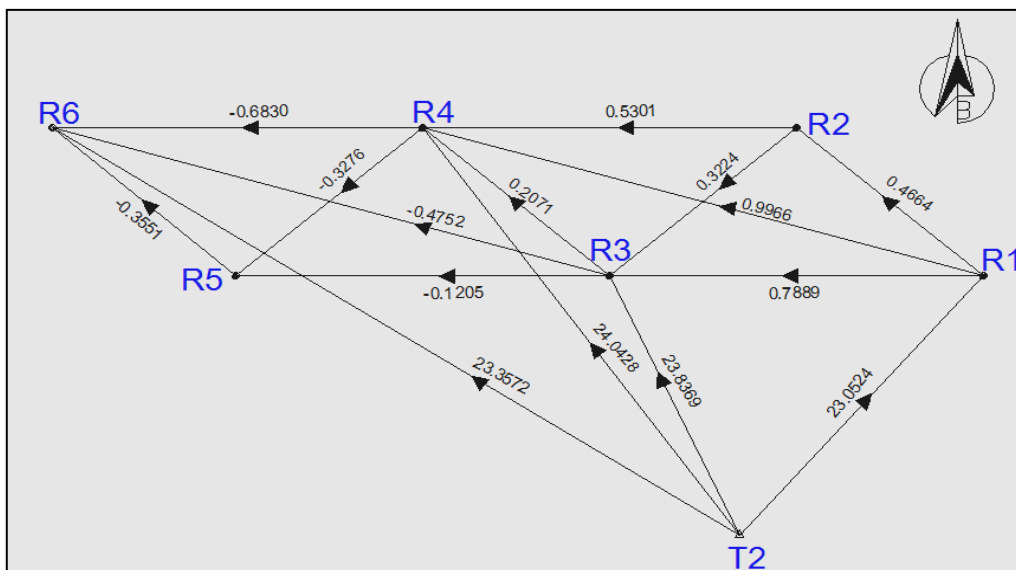
$\sigma_{\Delta H_{ij}}$  =ίδιος τύπος με το αντίστοιχο μήκος

Από τις μετρήσεις που φαίνονται στο παράρτημα (σελ.81), ο μέσος όρος της αβεβαιότητας της ΤΡΥΑ, είναι  $\sigma_{\Delta H} = \pm 2.5\text{mm}$

Επομένως το επιτρεπόμενο σφάλμα κλεισίματος των βρόγχων, όπου οι υψομετρικές διαφορές έχουν προσδιοριστεί με την ΤΡΥΑ, είναι:

$$\sigma_{\kappa\lambda} = \pm\sqrt{\sigma_{\Delta H_1}^2 + \sigma_{\Delta H_2}^2 + \sigma_{\Delta H_3}^2} = \sqrt{3} \cdot 2.5\text{mm} = \pm 4.33\text{mm}$$

Χρησιμοποιώντας το πιο κάτω διάγραμμα (σχήμα 3.1), έγινε έλεγχος για χονδροειδή σφάλματα με κλεισίματα των βρόγχων. Παρατηρείται ότι το μέγιστο κλείσιμο είναι 6.2 mm και το ελάχιστο 0 mm. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 3.1.



Σχήμα 3.1: Σχηματική παράσταση κλεισίματος υψομετρικών βρόγχων



**Πίνακας 3.1 : Κλεισίματα Τριγώνων**

<b>ΤΡΙΓΩΝΟ</b>	<b>ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΑ (mm)</b>
<i>R1-R2-R4</i>	<b>-0.1</b>
<i>R1-R3-R4</i>	<b>-0.6</b>
<i>R1-R2-R3</i>	<b>-0.1</b>
<i>R2-R3-R4</i>	<b>-0.6</b>
<i>R3-R4-R5</i>	<b>0</b>
<i>R4-R6-R5</i>	<b>-0.3</b>
<i>R3-R4-R6</i>	<b>-0.7</b>
<i>R3-R6-R5</i>	<b>0.4</b>
<i>T2-R4-R6</i>	<b>2.6</b>
<i>T2-R3-R4</i>	<b>1.2</b>
<i>T2-R1-R3</i>	<b>4.4</b>
<i>T2-R1-R4</i>	<b>6.2</b>
<i>T2-R3-R6</i>	<b>4.5</b>

Ο έλεγχος γινόταν στο πεδίο, όπου κατά τον πρώτο έλεγχο στη γεωμετρική χωροστάθμηση, η διαδρομή R<sub>1</sub>-R<sub>4</sub> και η διαδρομή R<sub>4</sub>-R<sub>6</sub> έπρεπε να επαναληφθούν, όπως και έγινε, έτσι ώστε να δίνουν τα επιτρεπόμενα κλεισίματα. Το ίδιο έγινε και με την ΤΡΥΑ, όπου η διαδρομή T<sub>2</sub>-R<sub>4</sub> και η διαδρομή T<sub>2</sub>-R<sub>1</sub> παρουσίαζαν πρόβλημα κατά το κλείσιμο των βρόγχων, και έτσι οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν για να δώσουν καλύτερα αποτελέσματα.

## 3.2 Επίλυση Δικτύου

### 3.2.1 Επίλυση Δικτύου με τις 6 υψομετρικές αφετηρίες

Για τη συνόρθωση του δικτύου χρησιμοποιείται η Μέθοδος Ελάχιστων Τετραγώνων, όπου με τις ελάχιστες δεσμεύσεις, δηλαδή μια σταθερή κορυφή, θα προσδιοριστούν τα υψόμετρα των κορυφών του υψομετρικού δικτύου αλλά και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες τους.

Κατά την επίλυση του υψομετρικού δικτύου, ως δεδομένα χρησιμοποιούνται οι προσδιορισμένες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών αλλά και μεταξύ των κορυφών με την σταθερή κορυφή  $T_2$ . Επίσης γνωστό είναι και το υψόμετρο της κορυφής  $T_2$ , το οποίο ισούται με την τιμή 252.8m. Τα ζητούμενα στην επίλυση είναι οι καλλίτερες τιμές των ορθομετρικών υψομέτρων  $H$  των κορυφών  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$  με τις αντίστοιχες αβεβαιότητες τους.

**Πίνακας 3.2: Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των 6 κορυφών του δικτύου**

Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου		
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΣΗ	R1-R2	0.4664 m
	R3-R4	0.2071 m
	R4-R5	-0.3276 m
	R5-R6	-0.3551 m
	R1-R3	0.7889 m
	R1-R4	0.9966 m
	R2-R3	0.3224 m
	R2-R4	0.5301 m
	R3-R5	-0.1205 m
	R3-R6	-0.4752 m
	R4-R6	-0.683 m
ΤΡΥΑ	T2-R6	23.3572 m
	T2-R4	24.0428 m
	T2-R3	23.8369 m
	T2-R1	23.0524 m

Για τον προσδιορισμό του βαθμού ελευθερίας εφαρμόζεται ο πιο κάτω τύπος :

$$r = n - m$$

όπου  $n =$  μετρημένες υψομετρικές διαφορές  $=15$ ,  $m =$  άγνωστοι  $=6$ .

Άρα από τον πιο πάνω τύπο υπολογίζεται το  $r = n - m = 15 - 6 = 9$ , και επομένως το σύστημα μπορεί να επιλυθεί.

Για κάθε υψομετρική διαφορά  $\Delta H_{ij}$  με αποτέλεσμα 1, σχηματίζεται μια εξίσωση παρατήρησης της μορφής :

$$H_i - H_j = 1 + v$$

Έτσι χρησιμοποιώντας τις μετρημένες υψομετρικές διαφορές, δημιουργούνται οι πιο κάτω δεκαπέντε(15) εξισώσεις παρατήρησης:

**Πίνακας 3.3:Εξισώσεις παρατήρησης**

Αρ.εξ	Εξισώσεις Παρατήρησης
1)	$H_{R2} - H_{R1} = 0.4664 + U_1$
2)	$H_{R4} - H_{R3} = 0.2071 + U_2$
3)	$H_{R5} - H_{R4} = -0.3276 + U_3$
4)	$H_{R6} - H_{R5} = -0.3551 + U_4$
5)	$H_{R3} - H_{R1} = 0.7889 + U_5$
6)	$H_{R4} - H_{R1} = 0.9966 + U_6$
7)	$H_{R3} - H_{R2} = 0.3224 + U_7$
8)	$H_{R4} - H_{R2} = 0.5301 + U_8$
9)	$H_{R5} - H_{R3} = -0.1205 + U_9$
10)	$H_{R6} - H_{R3} = -0.4752 + U_{10}$
11)	$H_{R6} - H_{R4} = -0.6830 + U_{11}$
12)	$H_{R6} - H_{T2} = 23.3572 + U_{12} \Rightarrow H_{R6} = 276.1572 + U_{12}$
13)	$H_{R4} - H_{T2} = 24.0428 + U_{13} \Rightarrow H_{R4} = 276.8428 + U_{13}$
14)	$H_{R3} - H_{T2} = 23.8369 + U_{14} \Rightarrow H_{R2} = 276.6369 + U_{14}$
15)	$H_{R1} - H_{T2} = 23.0524 + U_{15} \Rightarrow H_{R1} = 275.8524 + U_{15}$

Από τις πιο πάνω εξισώσεις προκύπτει το εξής σύστημα:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{\delta l} + \mathbf{v}$$

όπου,

$\mathbf{A}$  = ο πίνακας των συντελεστών των αγνώστων (διαστάσεων  $n \times m$ )

$\mathbf{x}$  = ο πίνακας – στήλη των άγνωστων  $H_i$ , δηλαδή των υψομέτρων  $H$  των κορυφών (διαστάσεων  $m \times 1$ )

$\mathbf{\delta l}$  = ο πίνακας – στήλη των σταθερών όρων, δηλαδή των μετρημένων υψομετρικών διαφορών (διαστάσεων  $n \times 1$ )

$\mathbf{v}$  = οι τιμές των  $n$  υπολοίπων (πιθανών σφαλμάτων)

Για την επίλυση του κανονικού συστήματος, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{\delta l} \Rightarrow \mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{\delta l} \Rightarrow \mathbf{x} = \mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{u} ,$$

όπου  $\mathbf{P}$  = ο πίνακας βαρών, αφού οι μετρήσεις είναι **ανισοβαρείς**, αφού έχουν προσδιοριστεί με διαφορετική μέθοδο και έχουν διαφορετική αβεβαιότητα.

Οι πιο πάνω πίνακες έχουν υπολογιστεί στο λογισμικό Excel με βάση τις μετρήσεις και παρατίθενται στο Παράρτημα (σελ.88). Αναλυτικά τα αποτελέσματα από τον πίνακα  $\mathbf{x}$ , δηλαδή οι τιμές των υψομέτρων, παρατίθενται στον πίνακα 3.4 που ακολουθεί.

**Πίνακας 3.4: Συνορθωμένα υψόμετρα των 6 υψομετρικών αφετηριών**

Υψόμετρα αφετηριών	
$H_{R1}$	275.848 m
$H_{R2}$	276.314 m
$H_{R3}$	276.637 m
$H_{R4}$	276.844 m
$H_{R5}$	276.516 m
$H_{R6}$	276.161 m

Οι πιο πάνω τιμές είναι και οι καλλίτερες τιμές των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου. Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας, προσδιορίζεται το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους που δίνεται από την σχέση :

$$\hat{\sigma}_0 = \pm \sqrt{\frac{[Pvv]}{n-m}}, \text{ όπου } v = \delta l - A \cdot x$$

Από τους υπολογισμούς στο αρχείο Excel, το τελικό αποτέλεσμα είναι  $\hat{\sigma}_0 = \pm 0.9 \text{ mm}$

Ακολούθως υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας –συμμεταβλητότητας των αγνώστων, δηλαδή οι αβεβαιότητες των προσδιορισμένων καλλίτερων τιμών των αγνώστων υψομέτρων των κορυφών  $R_{1,2,3,4,5,6}$  του κατακόρυφου δικτύου. Ο προσδιορισμός του πίνακα δίνεται από την σχέση  $V_x = \hat{\sigma}_0^2 \cdot N^{-1} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot (A^T \cdot P \cdot A)^{-1}$  και παρατίθεται στο παράρτημα (σελ.88).

Η τετραγωνική ρίζα των στοιχείων της διαγωνίου του πίνακα  $V_x$  δίνει τις αβεβαιότητες των υψομέτρων, όπως παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα:

**Πίνακας 3.5: Αβεβαιότητες των υψομέτρων των έξι κορυφών**

Κορυφή	Αβεβαιότητα (mm)
R <sub>1</sub>	±1.2
R <sub>2</sub>	±1.2
R <sub>3</sub>	±1.2
R <sub>4</sub>	±1.2
R <sub>5</sub>	±1.2
R <sub>6</sub>	±1.2

### 3.2.2 Επίλυση δικτύου με 5 υψομετρικές αφετηρίες

Τα αποτελέσματα της συνόρθωσης για την μελέτη αυτή, θα βασιστούν στην επίλυση του δικτύου με πέντε (5) υψομετρικές αφετηρίες. Η επιλογή αυτή έγινε για τον λόγο το ότι η κορυφή  $R_6$  που είχε τοποθετηθεί το 2006, δεν υπήρχε στον υφιστάμενο μαντρότοιχο την χρονιά αυτή που έγιναν οι μετρήσεις, δηλαδή το 2012. Αυτό οφείλεται στις εργασίες που εκτελέστηκαν στο υφιστάμενο δρόμο πριν μερικά χρόνια, με αποτέλεσμα να χαθεί η σταθερή κορυφή. Έτσι πριν ξεκινήσουν οι μετρήσεις τον Ιούνιο του 2012, χρησιμοποιώντας το όργανο GPS είχε εντοπιστεί η θέση της κορυφής  $R_6$  με βάση τις γνωστές συντεταγμένες της και έτσι τοποθετήθηκε καινούργιο ορειχάλκινο μπουλόνι. Επειδή δεν υπήρχε γνώση του ακριβούς ύψους του μπουλονιού από το πεζοδρόμιο, τοποθετήθηκε σε αυθαίρετο ύψος. Γι' αυτό και δεν μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις έξι (6) κορυφές που έχουν προσδιοριστεί πιο πάνω, με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του 2006, αφού το  $R_6$  είναι υψομετρικά διαφορετικά τοποθετημένο. Γι' αυτό και θα γίνει επίλυση του δικτύου κατά το 2012 με τις πέντε (5) σταθερές κορυφές, εκτός του  $R_6$ . Τα αποτελέσματα αυτά θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα του δικτύου κατά το 2006, το οποίο θα επιλυθεί ξανά χωρίς την κορυφή  $R_6$ .

Για την συνόρθωση του δικτύου θα χρησιμοποιηθεί και πάλι η μέθοδος Ελάχιστων Τετραγώνων. Ως δεδομένα τώρα θα χρησιμοποιηθούν οι προσδιορισμένες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  αλλά και μεταξύ των κορυφών αυτών με την σταθερή κορυφή  $T_2$ . Επίσης ως δεδομένο χρησιμοποιείται και το υψόμετρο της κορυφής  $T_2=252.8m$ , ενώ τα ζητούμενα τώρα θα είναι οι καλλίτερες τιμές των υψομέτρων  $H$  των κορυφών  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  με τις αντίστοιχες αβεβαιότητες τους.

**Πίνακας 3.6: Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των 5 κορυφών του δικτύου**

Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου		
<b>ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΣΗ</b>	R1-R2	0.4664 m
	R3-R4	0.2071 m
	R4-R5	-0.3276 m
	R1-R3	0.7889 m
	R1-R4	0.9966 m
	R2-R3	0.3224 m
	R2-R4	0.5301 m
	R3-R5	-0.1205 m
<b>ΤΡΥΑ</b>	T2-R4	24.0428 m
	T2-R3	23.8369 m
	T2-R1	23.0524 m

Έτσι με βάση τις μετρημένες υψομετρικές διαφορές, δημιουργούνται οι πιο κάτω έντεκα (11) εξισώσεις παρατήρησης:

**Πίνακας 3.7: Εξισώσεις παρατήρησης**

Αρ.εξ	Εξισώσεις Παρατήρησης
1)	$H_{R2}-H_{R1}=0.4664+U_1$
2)	$H_{R4}-H_{R3}=0.2071+U_2$
3)	$H_{R5}-H_{R4}=-0.3276+U_3$
4)	$H_{R3}-H_{R1}=0.7889+U_4$
5)	$H_{R4}-H_{R1}=0.9966+U_5$
6)	$H_{R3}-H_{R2}=0.3224+U_6$
7)	$H_{R4}-H_{R2}=0.5301+U_7$
8)	$H_{R5}-H_{R3}=-0.1205+U_8$
9)	$H_{R4}-H_{T2}=24.0428+U_9 \Rightarrow H_{R4}=276.8428+U_9$
10)	$H_{R3}-H_{T2}=23.8369+U_{10} \Rightarrow H_{R2}=276.6369+U_{10}$
11)	$H_{R1}-H_{T2}=23.0524+U_{11} \Rightarrow H_{R1}=275.8524+U_{11}$

Με βάση τις πιο πάνω εξισώσεις θα δημιουργηθούν καινούργιοι πίνακες για επίλυση του συστήματος  $A \cdot x = dI + u$ . Οι πίνακες αυτοί έχουν προσδιοριστεί στο λογισμικό excel και παρατίθενται στο παράρτημα (σελ.91).

Οι τιμές από τον πίνακα  $x$ , που έχει προσδιοριστεί, είναι και οι καλλίτερες τιμές των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου. Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας, προσδιορίζεται το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους που

$$\text{δίνεται από την σχέση : } \hat{\sigma}_0 = \pm \sqrt{\frac{[P_{uu}]}{n - m}} = \pm 0.8 \text{mm}$$

Ακολούθως υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας –συμμεταβλητότητας  $Vx$  των αγνώστων, δηλαδή οι αβεβαιότητες των προσδιορισμένων καλλίτερων τιμών των άγνωστων υψομέτρων των κορυφών  $R_{1,2,3,4,5}$ , του κατακόρυφου δικτύου. Ο πίνακας  $Vx$  είναι αναρτημένος στο Παράρτημα (σελ.91). Η τετραγωνική ρίζα των στοιχείων της διαγωνίου δίνει τις αβεβαιότητες των υψομέτρων. Στον πίνακα 3.8, παρουσιάζονται τα τελικά υψόμετρα και οι αβεβαιότητες των υψομέτρων των πέντε κορυφών.

**Πίνακας 3.8: Τελικά αποτελέσματα από πίνακα  $x$  και πίνακα  $Vx$ , των 5 κορυφών**

Κορυφή	Υψόμετρα (m)	Αβεβαιότητα (mm)
R <sub>1</sub>	275.849	±1.2
R <sub>2</sub>	276.315	±1.2
R <sub>3</sub>	276.638	±1.2
R <sub>4</sub>	276.845	±1.2
R <sub>5</sub>	276.5178	±1.2

### 3.2.3 Στατιστικός Έλεγχος

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του δικτύου, χρειάζεται να εκτιμηθεί η μεταβλητότητα του πληθυσμού των παρατηρήσεων, από μια σειρά μετρήσεων. Για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης, μπορούν να υπολογιστούν τα διαστήματα μέσα στα οποία αναμένεται να βρίσκεται η μεταβλητότητα του πληθυσμού. Εάν η



μεταβλητότητα (a posteriori μεταβλητότητα μονάδας βάρους) βρίσκεται μέσα στο διάστημα που συνδέεται με ένα προκαθορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης σημαίνει ότι η επίλυση του δικτύου είναι σωστή και δεν έγιναν χονδροειδή σφάλματα, αν όχι τότε θα πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία επίλυσης ή και να απορριφθούν ορισμένες μετρήσεις.

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% , το διάστημα ισούται  $\leq 16.92$ , και για τον έλεγχο αξιοπιστίας, εφαρμόζεται το test  $\chi^2$  με βάση την σχέση :

$$\frac{\hat{\sigma}_o^2 \times r}{\sigma_o^2} < \chi_{r,(1-\alpha)}^2 \quad \text{όπου,}$$

- Βαθμός Ελευθερίας :  $r = 9$
- A-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους  $\hat{\sigma}_o = \pm 0.9 \text{ mm}$
- A-priori μεταβλητότητα της μονάδας βάρους  $\sigma_o$

$$\text{Επομένως } \frac{\hat{\sigma}_o^2 \times r}{\sigma_o^2} \leq \chi_{9,0.95}^2 \Rightarrow 7.29 < 16.92.$$

Από τον έλεγχο αξιοπιστίας (test  $\chi^2$ ), προκύπτει πως η επίλυση είναι σωστή αφού η μεταβλητότητα βρίσκεται εντός του διαστήματος για το προκαθορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης 95% .

### 3.2.4 Στατιστικός Έλεγχος Παρατηρήσεων Κατά Baarda

Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται για συνολικό έλεγχο του δικτύου και έλεγχο των παρατηρήσεων, αμέσως μετά την συνόρθωση του δικτύου με τις ελάχιστες δεσμεύσεις και εφόσον είναι γνωστό το a priori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους. Με τον έλεγχο αυτό, εξασφαλίζεται η ανυπαρξία τυχών συστηματικών σφαλμάτων που δεν έχουν ανιχνευτεί, τα οποία συμμετέχοντας στον προσδιορισμό των τελικών υψομέτρων των σημείων, δίνουν λανθασμένα αποτελέσματα, από τα οποία εξάγονται και εσφαλμένα συμπεράσματα για τις κατακόρυφες μετακινήσεις των κορυφών.

Κατά τον έλεγχο των μεμονωμένων παρατηρήσεων, θεωρείται ότι μόνο η παρατήρηση που εξετάζεται έχει συστηματικό σφάλμα. Για την παρατήρηση αυτή ισχύει η παρακάτω ανισότητα:

$$\hat{w}_i = \left| \frac{U_i}{\hat{\sigma}_{U_i}} \right| \leq \sqrt{F_{1, \infty, (1 - \alpha_0)}}$$

ή

$$\hat{W}_i = \left| \frac{U_i}{\hat{\sigma}_{U_i}} \right| \leq z_{(1 - \alpha_0 / 2)}$$

όπου  $\alpha_0$ : το επίπεδο σημαντικότητας του μονοδιάστατου ελέγχου

$u_i$ : υπόλοιπα ή φαινόμενα σφάλματα

$\sigma_{u_i}$ : τυπικά σφάλματα υπολοίπων  $\hat{\sigma}^2_{u_i} = \hat{\sigma}^2_{li} - \hat{\sigma}^2_{\hat{l}_i}$

(διαγώνια στοιχεία του πίνακα  $\hat{V}_U = \hat{\sigma}^2_0 \cdot Q_U = \hat{V}_l - \hat{V}_{\hat{l}}$  )

$z$ : οριακές τιμές για τυποποιημένη κανονική κατανομή

$F_{r1, r2}$ : οριακές τιμές για την κατανομή Fischer (F)

Για την επίτευξη της διαδικασίας ελέγχου, αρχικά επιλέγεται το επίπεδο σημαντικότητας του μονοδιάστατου ελέγχου ίσο με  $\alpha_0 = 0.001$  και η ισχύς του ελέγχου ίση με  $1 - \beta_0 = 0.80$ .

Με βάση το  $\alpha_0$  και  $1 - \beta_0$ , υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ των υποθέσεων,  $\delta_0 = \sqrt{\lambda_0}$  που αντιστοιχεί σε εκκεντρότητα της κατανομής, η οποία προσδιορίζεται από το αντίστοιχο νομογράφημα από όπου προκύπτουν :

$$\lambda_0 = 17 \text{ και } \sqrt{F_{1, \infty, (1 - \alpha_0)}} = 3.29 .$$

Συνεπώς, στον έλεγχο μεμονωμένων παρατηρήσεων κατά Baarda, για κάθε παρατήρηση θα ισχύει η μηδενική υπόθεση  $H_0$ , εφόσον ισχύει η πάρακατω ανισότητα:

$$\hat{W}_i = \left| \frac{U_i}{\hat{\sigma}_{U_i}} \right| \leq 3.29$$

Η διαδικασία ελέγχου των παρατηρήσεων με την μέθοδο αυτή, έχει εφαρμοστεί στο δίκτυο που επιλύθηκε τόσο με τις έξι (6) υψομετρικές αφετηρίες όσο και με τις πέντε (5) υψομετρικές αφετηρίες. Οι παρατηρήσεις για το δίκτυο με τις έξι

αφετηρίες ήταν συνολικά δεκαπέντε (15), ενώ στο δίκτυο με τις πέντε αφετηρίες ήταν συνολικά έντεκα (11) .

Αναλυτικά τα αποτελέσματα του λόγου των υπολοίπων και των αντίστοιχων τυπικών σφαλμάτων τους, σε απόλυτη τιμή φαίνονται στον πίνακα 3.9. Όλες οι παρατηρήσεις όπως φαίνονται σε αυτόν δεν φέρουν κανένα συστηματικό ή μεμονωμένο σφάλμα, αφού όπως προέκυψε η τιμή του απόλυτου λόγου τους είναι μικρότερη από την τιμή 3.29 .

**Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα ελέγχου παρατηρήσεων από μέθοδο Baarda**

Αριθμός Παρατηρήσεων:	Wi, για δίκτυο με έξι υψομετρικές αφετηρίες:	Wi, για δίκτυο με πέντε υψομετρικές αφετηρίες:	Ικανοποίηση του επιτρεπόμενου ορίου : $\leq 3.29$
1	-0.004555	-0.03037	NAI
2	-0.613245	-0.45714	
3	0.320722	0.22857	
4	0.028200	-0.21699	
5	-0.100220	0.52593	
6	0.486597	-0.38658	
7	-0.295623	0.35622	
8	0.291069	-0.22857	
9	-0.292523	-0.98219	
10	0.535677	-0.41070	
11	-0.251078	1.39289	
12	-1.564169	-	
13	-0.473831	-	
14	0.128882	-	
15	1.909109	-	

## 4.ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

2006

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει επίλυση του δικτύου με βάση τις μετρήσεις που έχουν προκύψει κατά το έτος 2006, χωρίς όμως να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς η σταθερή κορυφή  $R_6$ , για τον λόγο που έχει αναφερθεί πιο πάνω.

### 4.1 Κλείσιμο Βρόγχων

Με βάση τα κλεισίματα των βρόγχων έγινε έλεγχος για χονδροειδή σφάλματα. Παρατηρείται ότι το μέγιστο κλείσιμο είναι 9.9 mm και το ελάχιστο -0.3 mm. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 : Κλεισίματα Τριγώνων

ΤΡΙΓΩΝΟ	ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΑ (mm)
$R_1-R_2-R_4$	-1.1
$R_1-R_3-R_4$	-0.3
$R_1-R_2-R_3$	-1.2
$R_2-R_3-R_4$	-0.4
$R_3-R_4-R_5$	0.4
$T_2-R_3-R_4$	9.9
$T_2-R_1-R_3$	2.6
$T_2-R_1-R_4$	4.6

### 4.2 Συνόρθωση Δικτύου

Για τη συνόρθωση του δικτύου θα χρησιμοποιηθεί και πάλι η μέθοδος Ελάχιστων Τετραγώνων. Τα δεδομένα τώρα που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι προσδιορισμένες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  αλλά και μεταξύ των κορυφών αυτών με την σταθερή κορυφή  $T_2$ , κατά την διάρκεια των μετρήσεων το 2006. Επίσης ως δεδομένο χρησιμοποιείται και το υψόμετρο της κορυφής  $T_2=252.8m$ . Ενώ τα ζητούμενα τώρα θα είναι οι καλλίτερες τιμές των υψομέτρων  $H$  των κορυφών  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  με τις αντίστοιχες αβεβαιότητες τους .

**Πίνακας 4.2: Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου 2006**

Υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του δικτύου		
<b>ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΣΗ</b>	R1-R2	0.4919 m
	R3-R4	0.2097 m
	R4-R5	-0.3455 m
	R1-R3	0.8357 m
	R1-R4	1.0435 m
	R2-R3	0.3434 m
	R2-R4	0.5529 m
	R3-R5	-0.1352 m
<b>ΤΡΥΑ</b>	T2-R4	24.115 m
	T2-R3	23.905 m
	T2-R1	23.061 m

**Για τον προσδιορισμό του βαθμού ελευθερίας  $r=n-m$ :**

όπου  $n=11$  και  $m=5$ ,  $r=n-m=11-5=6$ , το σύστημα μπορεί να επιλυθεί.

Έτσι με βάση τις μετρημένες υψομετρικές διαφορές, δημιουργούνται έντεκα (11) εξισώσεις παρατήρησης:

**Πίνακας 4.3: Εξισώσεις παρατήρησης**

Αρ.εξ	Εξισώσεις Παρατήρησης
1)	$H_{R2}-H_{R1}=0.4919+U_1$
2)	$H_{R4}-H_{R3}=0.2097+U_2$
3)	$H_{R5}-H_{R4}=-0.3455+U_3$
4)	$H_{R3}-H_{R1}=0.8357+U_4$
5)	$H_{R4}-H_{R1}=1.0435+U_5$
6)	$H_{R3}-H_{R2}=0.3434+U_6$
7)	$H_{R4}-H_{R2}=0.5529+U_7$
8)	$H_{R5}-H_{R3}=-0.1352+U_8$
9)	$H_{R4}-H_{T2}=24.115+U_9 \Rightarrow H_{R4}=276.915+U_9$
10)	$H_{R3}-H_{T2}=23.905+U_{10} \Rightarrow H_{R2}=276.705+U_{10}$
11)	$H_{R1}-H_{T2}=23.061+U_{11} \Rightarrow H_{R1}=275.861+U_{11}$

Από τις πιο πάνω εξισώσεις δημιουργούνται οι πίνακες που παρατίθενται στο παράρτημα (σελ.94), οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν για την επίλυση του συστήματος  $\mathbf{A}*\mathbf{x}=\mathbf{\delta l}+\mathbf{u}$ , στο λογισμικό excel. Για την επίλυση του κανονικού συστήματος θα χρησιμοποιηθεί η σχέση  $\mathbf{A}^T*\mathbf{P}*\mathbf{A}*\mathbf{x}=\mathbf{A}^T*\mathbf{P}*\mathbf{\delta l} \Rightarrow \mathbf{x}=(\mathbf{A}^T*\mathbf{P}*\mathbf{A})^{-1} * \mathbf{A}^T* \mathbf{P}*\mathbf{\delta l} \Rightarrow \mathbf{x}=\mathbf{N}^{-1} * \mathbf{u}$ . Ο πολλαπλασιασμός των πινάκων και η επίλυση του συστήματος έχει γίνει στο λογισμικό Excel. Αναλυτικά τα αποτελέσματα από τον πίνακα x είναι τα εξής:

**Πίνακας 4.4:Οι καλλίτερες τιμές των υψομέτρων κατά το 2006**

Κορυφή	Υψόμετρο
$H_{R1}$	275.867 m
$H_{R2}$	276.359 m
$H_{R3}$	276.702 m
$H_{R4}$	276.912 m
$H_{R5}$	276.567 m

Οι πιο πάνω τιμές είναι και οι καλλίτερες τιμές των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου. Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας, προσδιορίζεται το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους που δίνεται από την σχέση :

$$\hat{\sigma}_0 = \pm \sqrt{\frac{[P_{uu}]}{n - m}} = \pm 1.9 \text{ mm}$$

Ακολούθως υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας–συμμεταβλητότητας των αγνώστων. Ο προσδιορισμός του πίνακα γίνεται από την σχέση  $\mathbf{Vx}=\sigma_0^2*\mathbf{N}^{-1}$  και είναι αναρτημένος στο παράρτημα(σελ.94).Η τετραγωνική ρίζα των στοιχείων της διαγωνίου δίνει τις αβεβαιότητες των υψομέτρων, όπως παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα:

**Πίνακας 4.5:Αβεβαιότητες υψομέτρων υψομετρικών αφετηριών κατά το 2006**

Κορυφή	Αβεβαιότητα (mm)
R <sub>1</sub>	±1.9
R <sub>2</sub>	±2.1
R <sub>3</sub>	±1.9
R <sub>4</sub>	±1.9
R <sub>5</sub>	±2.3

## **5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2006- 2012**

### **5.1 Μεθοδολογία**

Ο προσδιορισμός των μετακινήσεων ενός τεχνικού έργου είναι πολύ σημαντικός και απαραίτητος, αφού έτσι ελέγχεται η σταθερότητα και η συμπεριφορά του, τόσο κατά τη διάρκεια της κατασκευής, όσο και καθόλη την διάρκεια ζωής του. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στους μηχανικούς να παρακολουθούν την ‘υγεία’ των κατασκευών και να λαμβάνουν στο σωστό χρονικό διάστημα τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα, όπου και εάν αυτά απαιτούνται. Ο έλεγχος της συμπεριφοράς και της σταθερότητας εφαρμόζεται κυρίως σε φράγματα, γέφυρες, μεγάλα κτηριακά συγκροτήματα, πολυώροφα κτήρια, ειδικά κτηριακά συγκροτήματα όπως προκατασκευασμένα, μεταλλικά κτήρια, μνημεία κ.α.

Για τον προσδιορισμό των μετακινήσεων ενός τεχνικού έργου, χρειάζεται να υπολογιστεί η απόλυτη και η σχετική μετακίνηση αυτής. Ως **απόλυτη μετακίνηση** ορίζεται η μεταβολή της θέσης ενός σημείου σε σχέση με το σημείο που θεωρείται σταθερό. Ως **σχετική μετακίνηση** ορίζεται η μεταβολή της θέσης ενός σημείου σε σχέση με κάποιο άλλο γειτονικό [Πανταζής Γ.,2010]. Οι υπολογισμοί γίνονται χρησιμοποιώντας δύο ή περισσότερες σειρές (φάσεις) μετρήσεων που έχουν συλλεγεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Στο φράγμα του Κούρη, έχουν υπολογιστεί και ελεγχθεί οι απόλυτες και σχετικές μετακινήσεις στα σημεία του υψομετρικού δικτύου, που έχει εγκατασταθεί στο φράγμα για τον σκοπό αυτό, με βάσει τις μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί την χρονική περίοδο 2006 και 2012.

## 5.2 Απόλυτες Μετακινήσεις

Οι απόλυτες μετακινήσεις που έχουν προσδιοριστεί για το υψομετρικό δίκτυο, στο φράγμα του Κούρη, ορίζουν την μεταβολή της θέσης των σημείων  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  σε σχέση με το σημείο που θεωρείται σταθερό, δηλαδή το  $T_2$ .

Για τον προσδιορισμό των απόλυτων μετακινήσεων, αρχικά υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας μεταβολών  $V\delta_x$  του διανύσματος μεταβολής των σημείων του δικτύου για τις δύο σειρές μετρήσεων που έχουν γίνει. Ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας μεταβολών  $V\delta_x$ , ισούται με το άθροισμα των πινάκων μεταβλητότητας –συμμεταβλητότητας  $V^1_x$  και  $V^2_x$ , για την χρονική περίοδο 2012 και 2006 αντίστοιχα.

$$V\delta_x (m^2) = V^1_x + V^2_x = \begin{vmatrix} 0.00000515 & 0.00000455 & 0.00000425 & 0.00000425 & 0.00000425 \\ 0.00000455 & 0.00000587 & 0.00000455 & 0.00000455 & 0.00000455 \\ 0.00000425 & 0.00000455 & 0.00000507 & 0.00000433 & 0.00000470 \\ 0.00000425 & 0.00000455 & 0.00000433 & 0.00000507 & 0.00000470 \\ 0.00000425 & 0.00000455 & 0.00000470 & 0.00000470 & 0.00000668 \end{vmatrix}$$

Ακολούθως υπολογίζεται το διάνυσμα μεταβολής  $\delta H_i$ , το οποίο ισούται με την αφαίρεση των τελικών υψομέτρων,  $H_{i2}$  και  $H_{i1}$ , των σημείων του υψομετρικού δικτύου για την χρονική περίοδο 2012 και 2006 αντίστοιχα.

**Πίνακας 5.1 : Προσδιορισμός μεταβολής υψομέτρων κατά την περίοδο 2006-2012**

Υψόμετρα	Κατά το 2006 (m)	Κατά το 2012 (m)	Μεταβολή Υψομέτρων $\delta H_i$ (mm)
$H_{R1}$	275.867	275.849	-18
$H_{R2}$	276.359	276.315	-44
$H_{R3}$	276.702	276.638	-65
$H_{R4}$	276.912	276.845	-67
$H_{R5}$	276.567	276.518	-49



Η πιο πάνω μεταβολή  $\delta H_i$  που αντιστοιχεί για κάθε κορυφή, συγκρίνεται με το αντίστοιχο τυπικό σφάλμα  $\sigma_{\delta H_i}$  πολλαπλασιασμένο με  $z$  και εξετάζεται αν η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από το θόρυβο των μετρήσεων.

Ο προσδιορισμός του τυπικού σφάλματος δίνεται από την τετραγωνική ρίζα των στοιχείων της διαγωνίου του πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας μεταβολών  $V\delta_x$  του διανύσματος μεταβολής των σημείων του δικτύου, για τις δύο σειρές μετρήσεων που έχουν γίνει.

**Πίνακας 5.2: Προσδιορισμός τυπικού σφάλματος**

<u>Απο πίνακα <math>V\delta_x</math></u>	$\sigma_{\delta HR1} = \pm 2.3 \text{ mm}$
	$\sigma_{\delta HR2} = \pm 2.4 \text{ mm}$
	$\sigma_{\delta HR3} = \pm 2.3 \text{ mm}$
	$\sigma_{\delta HR4} = \pm 2.3 \text{ mm}$
	$\sigma_{\delta HR5} = \pm 2.6 \text{ mm}$

Οι μεταβολές των υψομέτρων θα ελεγχθούν εάν συνιστούν μεταβολή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95 % ( $z_{95} = 1.96$ ). Για κάθε κορυφή συγκρίνεται η μεταβολή  $\hat{\delta H}_i^{I,II}$  με το αντίστοιχο τυπικό σφάλμα ( $\sigma_{\delta H_i}$ ) πολλαπλασιασμένο με  $z_{95}$  και εξετάζεται αν η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από το ( $\sigma_{\delta H_i} \cdot z_{95}$ ). Εάν η τιμή είναι μεγαλύτερη από το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού αυτού τότε το σημείο του υψομετρικού δικτύου παρουσιάζει απόλυτη μετακίνηση.

**Πίνακας 5.3: Προσδιορισμός θορύβου των μετρήσεων για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%**

Σφάλμα μεταβολής Υψομέτρων	Θόρυβος μετρήσεων $= \sigma_{\delta H_i} \cdot z$ , για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (mm)
$\sigma_{\delta HR1}$	$\pm 4.4$
$\sigma_{\delta HR2}$	$\pm 4.7$
$\sigma_{\delta HR3}$	$\pm 4.4$
$\sigma_{\delta HR4}$	$\pm 4.4$
$\sigma_{\delta HR5}$	$\pm 5.1$

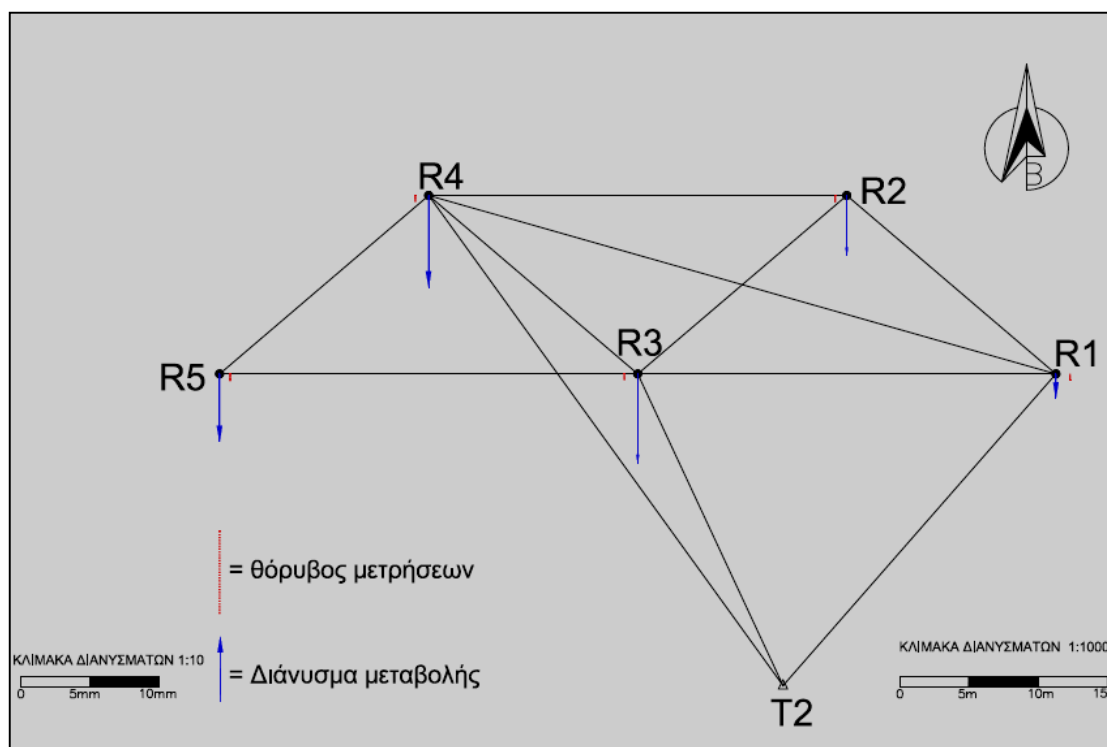
Ακολουθεί ο πίνακας με τα αποτελέσματα του προγράμματος επίλυσης excel για επίπεδο εμπιστοσύνης 95 %.

**Πίνακας 5.4: Προσδιορισμός των απόλυτων μετακινήσεων**

Σημείο	$\sigma_H$ (mm)	$\sigma_{H \cdot Z_{95}}$ (mm)	$\Delta H = H_i^{II} - H_i^I$ (mm)	Μετακίνηση
R1	±2.3	±4.4	-18	NAI
R2	±2.4	±4.7	-44	NAI
R3	±2.3	±4.4	-65	NAI
R4	±2.3	±4.4	-67	NAI
R5	±2.6	±5.1	-49	NAI

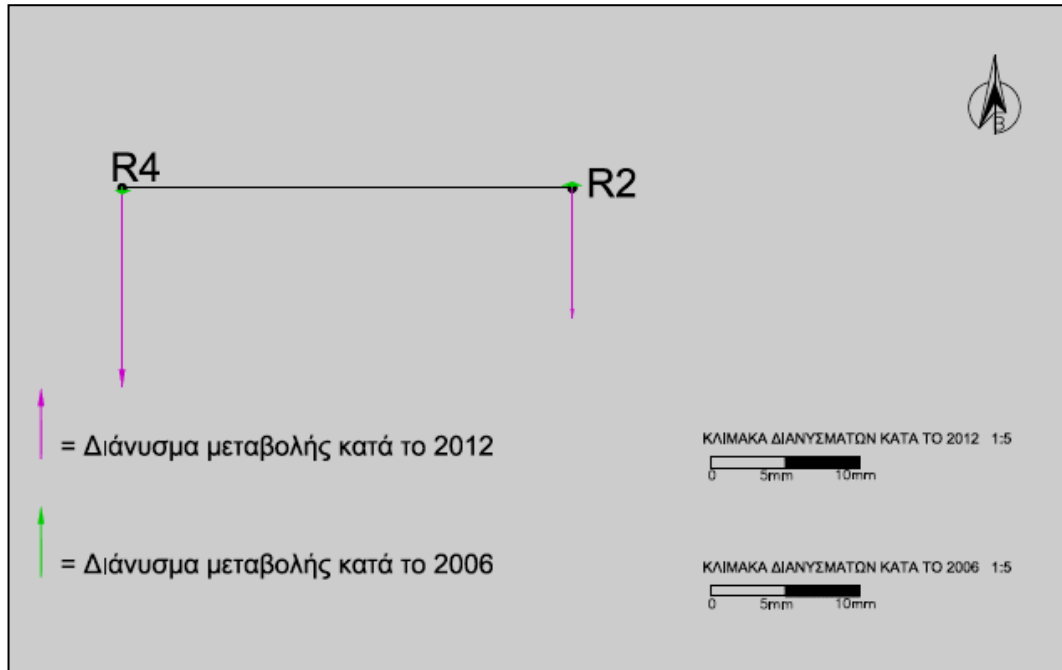
Από τον πιο πάνω πίνακα παρατηρείται ότι όλα τα σημεία υπόκεινται σε σημαντική και σχετικά μεγάλη καθίζηση. Κανένα σημείο δεν παρουσιάζει ανύψωση. Από όλα τα σημεία, αυτά που έχουν την μεγαλύτερη καθίζηση είναι τα ενδιάμεσα reper  $R_3$  και  $R_4$  με τιμή ίση -65 mm και -67 mm, αντίστοιχα.

Με βάση τις τιμές του πιο πάνω πίνακα, έχει σχεδιαστεί στο λογισμικό Autocad, διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται τα διανύσματα μεταβολών των απόλυτων μετακινήσεων, ως προς το σταθερό σημείο  $T_2$ .

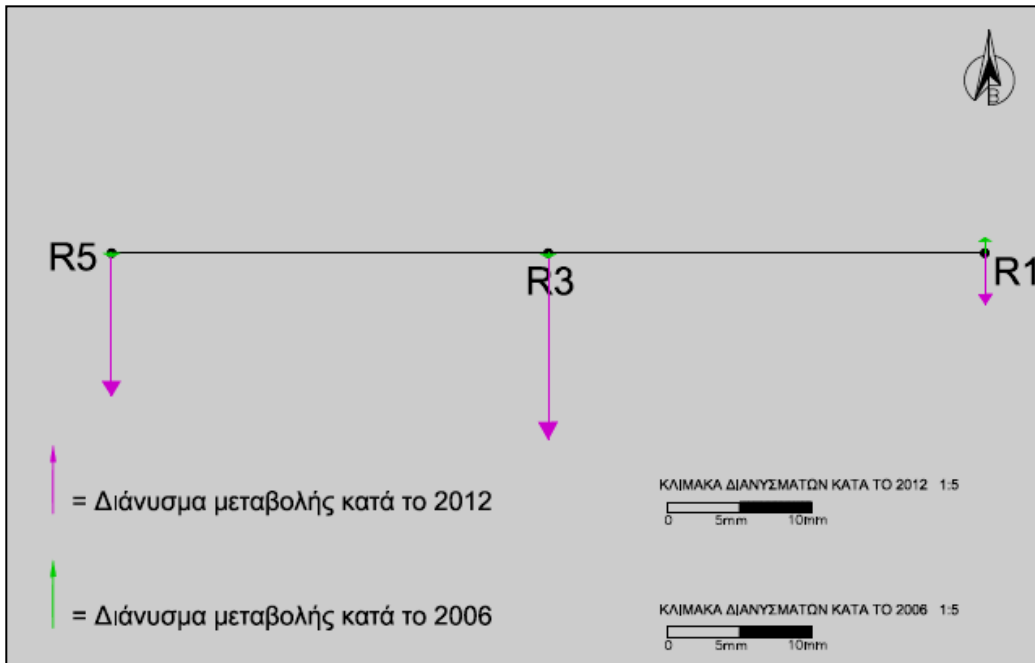


**Σχήμα 5.1: Απεικόνιση διανύσματος μεταβολών απόλυτων μετακινήσεων**

Στο λογισμικό Autocad, έχουν σχεδιαστεί επίσης ακόμη δύο σχεδιαγράμματα, στα οποία απεικονίζονται ξεχωριστά οι απόλυτες μετακινήσεις κατά την χρονική περίοδο 2006-2012 για τα ανιόντα σημεία και για τα αντίστοιχα κατιόντα σημεία, που έχουν τοποθετηθεί κατά μήκος της στέψης του φράγματος.



**Σχήμα 5.2: Απεικόνιση διανύσμων μεταβολών απόλυτων μετακινήσεων ανιόντων σημείων την περίοδο 2006-2012**



**Σχήμα 5.3: Απεικόνιση διανύσμων μεταβολών απόλυτων μετακινήσεων κατιόντων σημείων την περίοδο 2006-2012**

Από τα διαγράμματα, αυτά μπορεί κανείς να παρατηρήσει την μεγάλη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στις μετακινήσεις για όλα τα σημεία, μεταξύ των δύο περιόδων, και να συμπεράνει ότι με το πέρασμα των χρόνων οι μετακινήσεις κατακόρυφα αυξάνονται κατά πολύ. Επίσης παρατηρείται ότι τα σημεία R<sub>1</sub> και R<sub>2</sub>, κατά την χρονική περίοδο 2006 παρουσίαζαν κάποια μικρή ανύψωση, στην χρονική περίοδο 2012 παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη καθίζηση.

### 5.3 Σχετικές Μετακινήσεις

Οι σχετικές μετακινήσεις που έχουν προσδιοριστεί για το υψομετρικό δίκτυο, στο φράγμα του Κούρη, ορίζουν την μεταβολή της θέσης των σημείων R<sub>1</sub>,R<sub>2</sub>,R<sub>3</sub>,R<sub>4</sub>,R<sub>5</sub> μεταξύ τους, για την χρονική περίοδο 2012 και 2006.

Η σχετική μετακίνηση  $\delta\hat{H}_{i,j}^{I,II}$  των κορυφών i, j μεταξύ των δύο φάσεων μέτρησης δίνεται από την σχέση :

$$\delta\hat{H}_{i,j}^{I,II} = \delta(H_i - H_j)^{II} - \delta(H_i - H_j)^I$$

**Πίνακας 5.5: Προσδιορισμός μεταβολής υψομέτρων κατά την περίοδο 2006-2012**

Συνδέσεις	Κατά το 2006	Κατά το 2012	Μεταβολή του 2006 με 2012 (mm)
R1-R2	0.492	0.466	-26
R3-R4	0.209	0.207	-2
R4-R5	-0.345	-0.328	17
R1-R3	0.836	0.789	-47
R1-R4	1.045	0.996	-49
R2-R3	0.344	0.323	-21
R2-R4	0.553	0.530	-23
R3-R5	-0.136	-0.120	15
T2-R4	24.112	24.045	-67
T2-R3	23.902	23.838	-65
T2-R1	23.067	23.049	-18

Θα γίνει σύγκριση της μεταβολής  $\delta\hat{H}_{i,j}^{I,II}$  με το τυπικό σφάλμα  $\sigma_{\delta\Delta H_{i,j}}$  πολλαπλασιασμένο με  $z$  για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και θα εξεταστεί αν η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από το  $\sigma_{\delta\Delta H} \cdot z_{95}$ . Όπου  $\sigma_{\delta\Delta H_{i,j}}$ :

$$\sigma_{\delta\Delta H_{i,j}} = \sqrt{\sigma_{\delta H_i}^2 + \sigma_{\delta H_j}^2 - 2\sigma_{\delta H_i, \delta H_j}}$$

**Πίνακας 5.6: Προσδιορισμός τυπικού σφάλματος**

Υψομετρικές Διαφορές	Τυπικό σφάλμα $\sigma_{\delta\Delta H}$ (mm)
<i>R1-R2</i>	±1.4
<i>R3-R4</i>	±1.2
<i>R4-R5</i>	±1.5
<i>R1-R3</i>	±1.3
<i>R1-R4</i>	±1.3
<i>R2-R3</i>	±1.4
<i>R2-R4</i>	±1.4
<i>R3-R5</i>	±1.5
T2-R4	±2.3
T2-R3	±2.3
T2-R1	±2.3

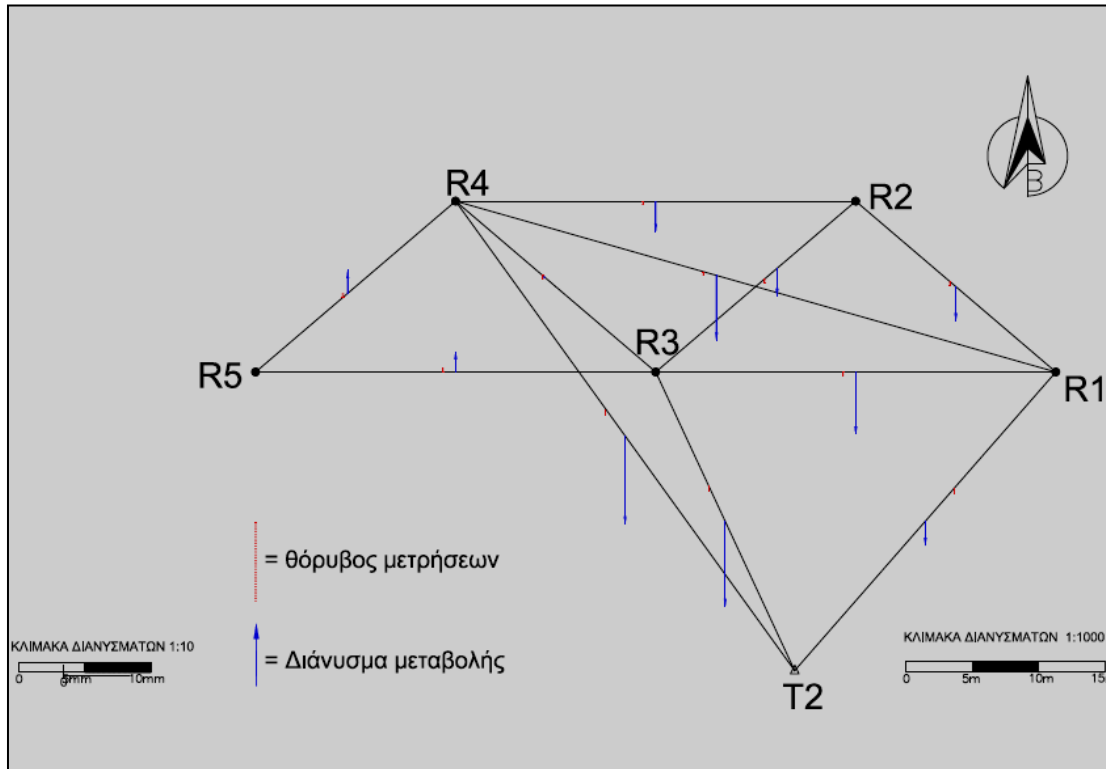
Ακολουθεί ο πίνακας 5.7 με τα αποτελέσματα του προγράμματος επίλυσης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95 %.

**Πίνακας 5.7: Προσδιορισμός των σχετικών μετακινήσεων**

ΑΠΟ - ΠΡΟΣ	$\sigma_{\delta\Delta H_{i,j}}$ (mm)	$\sigma_{\delta\Delta H_{i,j}} \cdot Z_{95}$ (mm)	$\delta\Delta H = \Delta H_i^{II} - \Delta H_i^I$ (mm)	ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ
R1 – R2	1.4	2.7	-26	<b>NAI</b>
R3 – R4	1.2	2.4	-2	<b>OXI</b>
R4 – R5	1.5	3.0	17	<b>NAI</b>
R1 – R3	1.3	2.6	-47	<b>NAI</b>
R1 – R4	1.3	2.6	-49	<b>NAI</b>
R2 – R3	1.4	2.7	-21	<b>NAI</b>
R2 – R4	1.4	2.7	-23	<b>NAI</b>
R3 – R5	1.5	3.0	15	<b>NAI</b>
T2– R4	2.3	4.4	-67	<b>NAI</b>
T2– R3	2.3	4.4	-65	<b>NAI</b>
T2– R1	2.3	4.4	-18	<b>NAI</b>

Από τον πιο πάνω πίνακα παρατηρείται ότι όλα τα σημεία υπόκεινται σε μια σχετική μετακίνηση μεταξύ τους, εκτός από τα σημεία R<sub>3</sub>-R<sub>4</sub>. Παρόλο που τα σημεία αυτά στις απόλυτες μετακινήσεις παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές μετακίνησης προς τα κάτω, εντούτοις στις σχετικές δεν παρουσιάζουν κάποια σχετική μετακίνηση. Αυτό οφείλεται στο ότι οι τιμές της απόλυτης μετακίνησης των δύο σημείων είναι πολύ κοντά και συνεπώς όσο μετακινείται το ένα σημείο (R<sub>3</sub>) προς το άλλο (R<sub>4</sub>), άλλο τόσο μετακινείται το άλλο σημείο (R<sub>4</sub>) προς το σημείο αυτό (R<sub>3</sub>). Επίσης η αρνητική τιμή στις τιμές των σχετικών μετακινήσεων υποδηλώνει ότι μεταξύ των δύο σημείων, το ένα σημείο μετακινείται προς τα πάνω και το άλλο προς τα κάτω σε σχέση με αυτό.

Χρησιμοποιώντας τις τιμές του πίνακα 5.7 έχει σχεδιαστεί στο λογισμικό Autocad, διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται τα διανύσματα των σχετικών μετακινήσεων και το οποίο παρουσιάζεται στο σχήμα 5.4.



**Σχήμα 5.4: Απεικόνιση διανύσματος μεταβολών σχετικών μετακινήσεων**

## 6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

Για τον προσδιορισμό της ταχύτητας εξέλιξης των επιφανειακών μετακινήσεων για το χρονικό διάστημα 2006-2012, χρειάστηκε να δημιουργηθούν τα διαγράμματα μεταβολής των απόλυτων μετακινήσεων των κορυφών που έχουν προσδιοριστεί κατά την περίοδο 2006 και 2012.

Αυτά τα διαγράμματα δημιουργήθηκαν στο λογισμικό Excel και επισυνάπτονται στο Παράρτημα (σελ.97).

Οι τιμές των μετακινήσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό της ταχύτητας μεταβολής των απόλυτων μετακινήσεων κατά την περίοδο 2006-2012 είναι οι εξής :

**Πίνακας 6.1: Τιμές απόλυτων μετακινήσεων των σημείων από το έτος 2006 μέχρι το έτος 2012**

Σημείο	Μετακίνηση κατά 2006(δύο φάσεις) (cm)	Μετακίνηση μεταξύ 2006-2012 (cm)
<b>R1</b>	0.54	-1.77
<b>R2</b>	0.13	-4.35
<b>R3</b>	-0.16	-6.45
<b>R4</b>	-0.21	-6.67
<b>R5</b>	0.01	-4.93

Για τον προσδιορισμό της ταχύτητας χρησιμοποιείται ο τύπος :  $\vec{v} = \frac{\overrightarrow{\Delta H}}{\Delta t}$

Όπου,  $\vec{v}$  = Ταχύτητα (σε cm/έτος)

$\overrightarrow{\Delta H}$  = Μεταβολή μετακινήσεων

$\Delta t$  = έτη

Θα υπολογιστούν για δύο διαφορετικές περιόδους, δύο διαφορετικές ταχύτητες. Συγκεκριμένα η πρώτη περίοδος αφορά την περίοδο Ιούλιο του έτους 2006 - Δεκέμβριο του έτους 2006, κατά την οποία θα χρησιμοποιηθούν ως μεταβολές μετακινήσεων  $\Delta H$ , οι τιμές των μετακινήσεων για το έτος 2006, όπως έχουν υπολογιστεί από την επεξεργασία των μετρήσεων που έγιναν το έτος αυτό.



Η δεύτερη περίοδος, αναφέρεται στην περίοδο Δεκέμβριο του έτους 2006 - Ιούνιο του έτους 2012, κατά την οποία θα χρησιμοποιηθούν ως μεταβολές μετακινήσεων ΔΗ, οι τιμές των μετακινήσεων για το έτος 2012, όπως έχουν από την αντίστοιχη επεξεργασία των δύο αυτών χρονικών στιγμών.

**Πίνακας 6.2: Προσδιορισμός ταχύτητας μεταβολής απόλυτων μετακινήσεων**

Σημείο	Μετακίνηση κατά 2006 (Δεκ – Ιούλιος) (cm)	Ταχύτητα μεταβολής κατά 2006 (cm/έτος)	Μετακίνηση μεταξύ 2006-2012 (cm)	Ταχύτητα μεταβολής μεταξύ 2006-2012 (cm/έτος)
<b>R<sub>1</sub></b>	0.54	<b>0.18</b>	-1.77	<b>0.39</b>
<b>R<sub>2</sub></b>	0.13	<b>0.04</b>	-4.35	<b>0.97</b>
<b>R<sub>3</sub></b>	-0.16	<b>0.05</b>	-6.45	<b>1.43</b>
<b>R<sub>4</sub></b>	-0.21	<b>0.07</b>	-6.67	<b>1.48</b>
<b>R<sub>5</sub></b>	0.01	<b>0.00</b>	-4.93	<b>1.10</b>

Από τον πίνακα 6.2, προκύπτει ότι η ταχύτητα των σημείων κατά την περίοδο 2006 - 2012 έχει αυξηθεί κατά πολύ.

Συγκεκριμένα για τα σημεία R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub> η αύξηση της ταχύτητας από το έτος 2006 μέχρι και το έτος 2012 κυμαίνεται από **1.10-1.48 cm/έτος**.

Τα σημεία R<sub>1</sub>,R<sub>2</sub> παρουσιάζουν μικρότερη αύξηση της ταχύτητας σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία, αφού αυτή κυμαίνεται από **0.21-0.93 cm/έτος**.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο αυτής της πτυχιακής εργασίας, μελετώνται οι κατακόρυφες μετακινήσεις, σημείων που έχουν τοποθετηθεί στη στέψη του φράγματος του Κούρη. Σκοπός είναι ο υπολογισμός των μετακινήσεων αυτών και ακολούθως η αξιολόγηση τους.

Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, συνδυάζονται εργασίες πεδίου (μετρήσεις) και εργασίες γραφείου (επεξεργασία μετρήσεων, επιλύσεις δικτύων, υπολογισμοί απόλυτων και σχετικών μετακινήσεων).

Τα συμπεράσματα, που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Η εκτέλεση των μετρήσεων, τόσο με την ψηφιακή γεωμετρική χωροστάθμιση όσο και με την ΤΡΥΑ, ολοκληρώθηκε σε χρονικό διάστημα περίπου 9 ωρών. Αυτό οφείλεται στο ότι εκτελέστηκαν οι μετρήσεις από συνεργείο 4 ατόμων (ένας παρατηρητής, 2 βοηθοί και ένας γραφέας), ενώ με την ολοκλήρωση των μετρήσεων έγινε επιτόπου έλεγχος των μετρήσεων για εντοπισμό σφαλμάτων και επανάληψη των διαδρομών άμεσα.
- Η επιλογή των δύο μεθόδων μέτρησης υψομετρικών διαφορών και η εφαρμογή τους στο πεδίο, επιβεβαίωσαν τα σημαντικά πλεονεκτήματα που φέρουν. Συγκεκριμένα με την ψηφιακή γεωμετρική χωροστάθμιση λόγω της δυνατότητας αυτόματης ανάγνωσης της σταδίας από το όργανο, έχει αποφευχθεί και εξαλειφθεί το σφάλμα ανάγνωσης μέτρησης από τον παρατηρητή. Επιπλέον η χρήση αυτή της μεθόδου επιτάχυνε τις μετρήσεις αφού η απόσταση μεταξύ χωροβάτη - σταδίας κατά τη μέτρηση μπορεί να φθάσει έως και τα 100m. Έτσι μειώθηκε κατά πολύ ο χρόνος εκτέλεσης των μετρήσεων και παραμονής στο πεδίο. Εντούτοις σε σχέση με την μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας (ΤΡΥΑ), η διαδικασία της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμισης ήταν λίγο πιο χρονοβόρα, αφού με την μέθοδο της ΤΡΥΑ οι μετρήσεις γίνονταν ταυτόχρονα και αμοιβαία σε μετάβαση και επιστροφή και δεν χρειαζόταν να επαναληφθεί η ίδια διαδρομή. Το πιο βασικό πλεονέκτημα της ΤΡΥΑ σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους, και που συνέβαλε συμβάλει κατά πολύ στην εκτέλεση των μετρήσεων, είναι ότι δεν απαιτείται

να τοποθετηθεί τρίποδας σε υψομετρικές αφετηρίες (repers) για την εκτέλεση των μετρήσεων, όπου στη πραγματικότητα είναι αδύνατο να συμβεί.

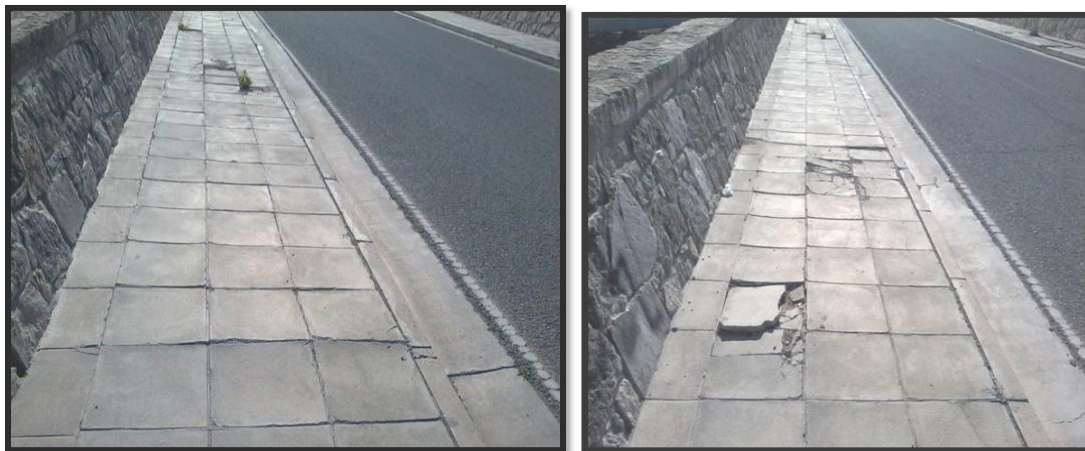
- Παρόλες τις διαφορές που προκύπτουν στις δύο μεθόδους, σε ότι αφορά την εκτέλεση των μετρήσεων και την διαδικασία που ακολουθείται για την κάθε μία, εντούτοις η ακρίβεια που παρέχουν και οι δύο στις μετρήσεις, είναι της τάξης των 3-4 χιλιοστών (mm).
- Κατά το **κλείσιμο των βρόγχων** παρατηρείται ότι οι μετρήσεις κατά την περίοδο 2012 έχουν εκτελεστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια και συνεπώς με μικρότερη αβεβαιότητα, αφού το μέγιστο κλείσιμο είναι 6.2mm και το ελάχιστο 0mm, σε σχέση με την περίοδο 2006 όπου το μέγιστο κλείσιμο είναι 10.2 mm και το ελάχιστο -0.3 mm. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις έχουν εκτελεστεί με διαφορετικό παρατηρητή κατά τις δύο περιόδους, ενώ όσο αφορά στην γεωμετρική χωροστάθμηση οι μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί με διαφορετικό σύστημα χωροβάτη-σταδίες που παρέχει διαφορετικής τάξης ακρίβεια στις μετρήσεις.
- Από το πιο πάνω συμπέρασμα ήταν αναμενόμενο η αβεβαιότητα προσδιορισμού των υψομέτρων του δικτύου να διαφέρει μεταξύ των δύο περιόδων 2006-2012, και συγκεκριμένα η αβεβαιότητα από την επίλυση του δικτύου κατά την περίοδο 2012 να είναι μικρότερη ( $\sigma = \pm 0.8\text{mm}$ ) από την αντίστοιχη του 2006 ( $\sigma = \pm 1.9\text{mm}$ ).

Όσον αφορά τα τελικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των μετρήσεων και έπειτα από την σύγκριση των υψομέτρων των κορυφών του δικτύου κατά την χρονική περίοδο 2006-2012 παρατηρείται ότι :

- Τα σημεία  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  παρουσιάζουν **σημαντική καθίζηση** που κυμαίνεται από [18 - 67mm], με τις μεγαλύτερες καθιζήσεις να εμφανίζονται στα ενδιάμεσα σημεία  $R_3$  και  $R_4$ , κατά μήκος της στέψης του φράγματος με **καθίζηση** 65 mm και 67mm αντίστοιχα.
- Σε ότι αφορά τις **σχετικές μετακινήσεις** μεταξύ των σημείων, αυτές κυμαίνονται από [-67 - +17], με την ψηλότερη τιμή να παρουσιάζεται στη σύνδεση  $T_2-R_4$ , όπου φαίνεται να είναι λογικό καθώς το σημείο  $T_2$  θεωρείται σταθερό επομένως η μετακίνηση του  $R_4$  προς αυτό θα είναι ίση με την απόλυτη μετακίνηση του  $R_4$ . Το ίδιο ισχύει και για τα σημεία  $R_3$  και  $R_5$ , ως προς το  $T_2$ .

- Τα σημεία R<sub>3</sub>-R<sub>4</sub> παρουσιάζουν την μικρότερη σχετική μετακίνηση μεταξύ τους, παρόλο που στις απόλυτες εμφανίζονται με τις μεγαλύτερες μετακινήσεις. Αυτό οφείλεται στο ότι το μέγεθος των απόλυτων μετακινήσεων που υπόκεινται τα δύο αυτά σημεία είναι σχεδόν το ίδιο με αποτέλεσμα η σχετική μετακίνηση των δύο να είναι πολύ μικρή, αφού όσο μετακινείται το ένα σημείο σε σχέση με το άλλο σημείο, άλλο τόσο μετακινείται το άλλο σημείο σε σχέση με το σημείο αυτό.
- Στις **ταχύτητες μεταβολής** της απόλυτης μετακίνησης από το 2006 μέχρι το 2012, όπως ήταν αναμενόμενο τις μεγαλύτερες τιμές φέρουν τα σημεία R<sub>3</sub>,R<sub>4</sub>.
- Γενικά, τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα, αφού με μια επίσκεψη στο πεδίο θα παρατηρήσει κανείς (εικόνα 7.1, 7.2) την παραμόρφωση που έχει υποστεί διαχρονικά τόσο ο δρόμος όσο και το υφιστάμενο πεζοδρόμιο που είναι κατασκευασμένα κατά μήκος της στέψης του φράγματος.

**Εικόνα 7.1 & 7.2: Κατάσταση υφιστάμενου πεζοδρομίου κατά μήκος της στέψης φράγματος**



Στο πλαίσιο της κατανόησης των πιθανών αιτιών που οδήγησαν στις κατακόρυφες μετακινήσεις της στέψης του φράγματος, ήταν απαραίτητη η ταυτόχρονη αναφορά και στις οριζόντιες μετακινήσεις. Επειδή η μελέτη των αιτιών αυτών απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις γεωτεχνικής μηχανικής, ζητήθηκε η συνδρομή του Δρ. Λύσανδρου Παντελίδη, Λέκτορα του Τμήματος ΠΟΜΗΓΕ του ΤΕΠΑΚ. Τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται παρακάτω:

- Οι υδροστατικές ωθήσεις του νερού, θεωρούνται ως το κυριότερο αίτιο πρόκλησης των παραμορφώσεων, καθώς μεταβάλλονται στο χρόνο και ως εκ

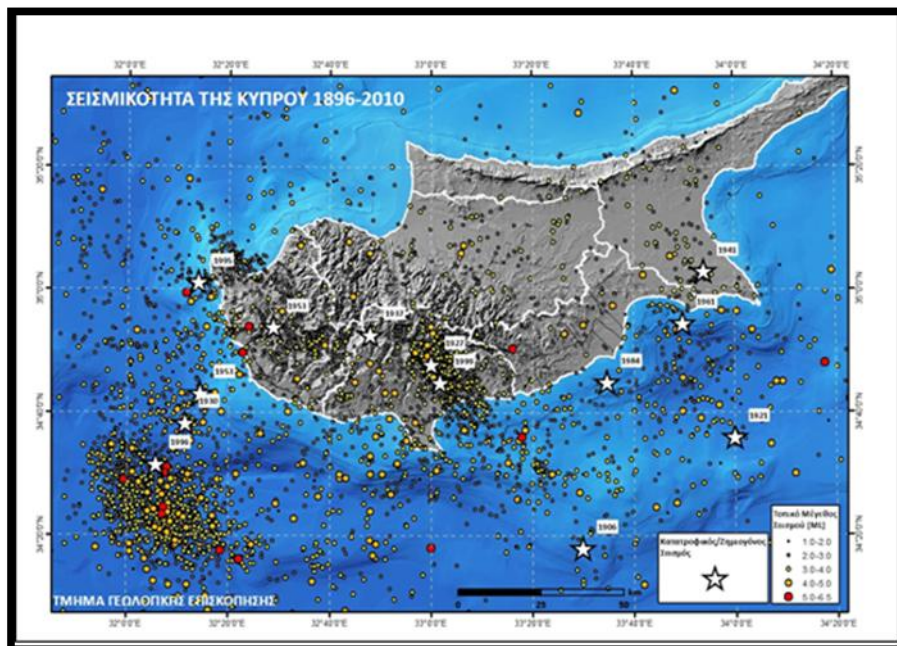
τούτου προκαλούν κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης στο φράγμα με ότι αυτό συνεπάγεται στην επιπόνηση του. Συγκεκριμένα κατά την αυξομείωση της στάθμης του νερού, το φράγμα συμπεριφέρεται ελαστικά αφού, κατά την αύξηση του νερού προκαλείται πίεση στο φράγμα με αποτέλεσμα να τείνει να μετακινηθεί προς την φορά του νερού, ενώ κατά την μείωση αυτού το φράγμα τείνει να επανέλθει στην αρχική του θέση. Επομένως, η συμπεριφορά αυτή σε συνδυασμό με το πέρασμα του χρόνου, δημιουργούν στο φράγμα μόνιμες παραμορφώσεις.

- Άλλα αίτια πρόκλησης μόνιμων και μη μόνιμων παραμορφώσεων είναι ο σεισμός και πιθανόν η διόγκωση της αργίλου του πυρήνα του φράγματος.
- Όσον αφορά στο σεισμό, το φράγμα βρίσκεται εντός της δυσμενέστερης από τις τρεις σεισμικές ζώνες της Κύπρου που έχουν καθοριστεί από την Επιτροπή Αναθεώρησης των Ζωνών του Κυπριακού Αντισεισμικού Κώδικα τον Οκτώβριο του 2004 (εικόνα 7.3). Μάλιστα, η σεισμική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή κρίνεται μάλλον ως αρκετά έντονη (εικόνα 7. 4).
- Η πιθανή διόγκωση του πυρήνα του φράγματος, προκαλείται όταν η στάθμη του φράγματος βρίσκεται στα υψηλότερα δυνατά επίπεδα. Αυτό συμβαίνει λόγω της αργίλου που βρίσκεται στον πυρήνα, η οποία υπόκειται σε κορεσμό και τείνει να διογκωθεί. Έτσι πολύ πιθανόν να μπορεί να υπερκεράσει τις τάσεις των υπερκείμενων γαιών και κατά συνέπεια να συμβάλει στην κατακόρυφη μετακίνηση της στέψης. Με την υποβάθμιση της στάθμης του νερού λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της στερεοποίησης με συνέπεια την υποβάθμιση του επιπέδου της στέψης.



Εικόνα 7.3: Οι σεισμικές ζώνες της Κύπρου

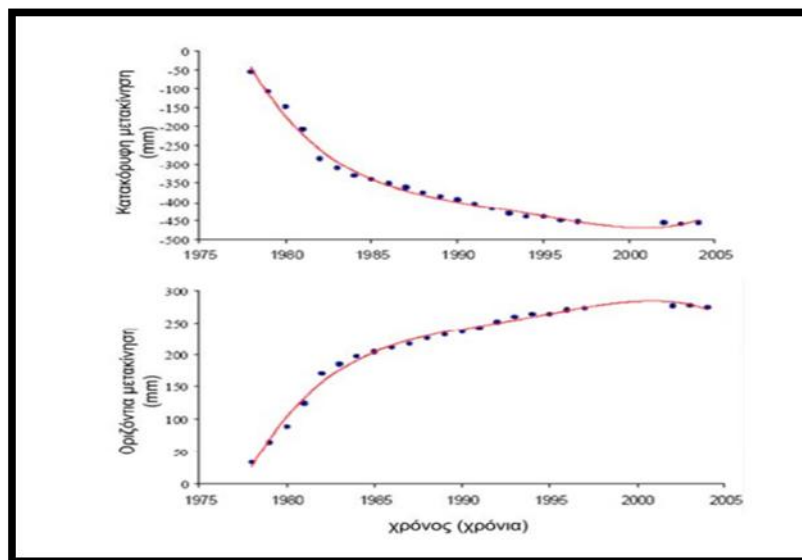
Πηγή: Επιτροπή Αναθεώρησης των Ζωνών του Κυπριακού Αντισεισμικού Κώδικα, τον Οκτώβριο του 2004



Εικόνα 7.4: Χωρική κατανομή, ως προς το μέγεθος, των τοπικών σεισμών της Κύπρου που έχουν καταγραφεί από ενόργανες καταγραφές κατά την περίοδο 1896-2010

Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου

- Η ανύψωση της στάθμης των υδάτων προκαλεί την αύξηση του όγκου του σώματος του φράγματος που βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού και κατά συνέπεια την αύξηση του ίδιου βάρους του, καθώς επίσης και την άσκηση κατακόρυφου φορτίου από το νερό που βρίσκεται πάνω από το πρηνές του φράγματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταφορά των επιπρόσθετων φορτίων στο επίπεδο της θεμελίωσης, τα οποία προφανώς να αποτελούν και αιτία κατακόρυφων (ελαστικών) μετακινήσεων του υλικού της θεμελίωσης.
- Επίσης, η παραμόρφωση του φράγματος προς τα κατάντη (οριζόντια μετακίνηση) λόγω της υδροστατικής πίεσης είναι λογικό να συνοδεύεται και από μία κατακόρυφη μετακίνηση (αρνητική), όπως συμβαίνει συνήθως στους φορείς που κάμπτονται ή γενικότερα παραμορφώνονται υπό φόρτιση.
- Από την εμπειρία είναι γνωστό ότι σε κάθε φράγμα της ίδιας κατηγορίας με αυτό του Κούρη (χωμάτινο φράγμα) λαμβάνουν χώρα μακροχρόνιες μετακινήσεις τόσο οριζόντιες όσο και κατακόρυφες. Στο σχήμα 7.1 δίνεται παράδειγμα που αφορά σε μετρήσεις στο φράγμα του Μόρνου το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Ναυπακτίας, στην Στερεά Ελλάδα.



**Σχήμα 7.1:** Χρονική εξέλιξη (-30 χρόνια) των μετακινήσεων σημείου ελέγχου στη στέψη του φράγματος του Μόρνου.

**Πηγή:** Διδακτορική Διατριβή Στυλιανής Ι.Πυθαρούλη το έτος 2007, Πανεπιστήμιο Πάτρας

- Οι διαστάσεις και η γενικότερη γεωμετρία του φράγματος του Μόρνου είναι αντίστοιχες με αυτές του Κούρη. Κατά την μελέτη των μετακινήσεων του φράγματος αυτού, σε περίοδο τριάντα (30) ετών, τα συμπεράσματα ήταν ότι οι ελαστικές παραμορφώσεις είναι πιο έντονες κατά τα πρώτα στάδια λειτουργίας του φράγματος ενώ με το πέρασμα του χρόνου δημιουργούνται οι μόνιμες-πλαστικές παραμορφώσεις. Οι μετακινήσεις όπως παρατηρείται και στο σχήμα 7.1, τείνουν ασυμπτωτικά σε κάποια τιμή.

## 8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο πλαίσιο εκπόνησης της πτυχιακής αυτής εργασίας και από τα συμπεράσματα που προέκυψαν γίνονται οι πιο κάτω προτάσεις, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν στο μέλλον σε αντίστοιχες μελέτες κατακόρυφων μετακινήσεων για το έργο αυτό ή άλλο παρόμοιο τεχνικό έργο.

- Προτείνεται η επαναμέτρηση του δικτύου κατακόρυφου ελέγχου σε τακτά χρονικά διαστήματα ανεξαρτήτως της πληρότητας ή μη του φράγματος, έτσι ώστε να παρακολουθείται διαχρονικά, η ταχύτητα εξέλιξης των κατακόρυφων μετακινήσεων. Από τα αποτελέσματα των διαφορετικών χρονικών στιγμών και την διαχρονική σύγκριση αυτών, θα εξάγονται συμπεράσματα που θα αφορούν όχι μόνο την "κατακόρυφη" κινηματική συμπεριφορά του φράγματος αλλά και τις ιδιότητες και την μηχανική συμπεριφορά των υλικών του γεωλογικού και γεωτεχνικού υποβάθρου της περιοχής μελέτης. Έτσι θα δίνεται η δυνατότητα στους μηχανικούς να παρακολουθούν την "υγεία" της κατασκευής, δηλαδή την αντοχή του υπεδάφους και της βάσης, και να λαμβάνουν στο σωστό χρονικό διάστημα τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα, όπου και εάν αυτά απαιτούνται.
- Το γεγονός ότι δεν παρατηρείται καμία ανύψωση θέτει ερωτήματα στο εάν οφείλεται, είτε στην πίεση που ασκεί ο όγκος του υπερφορτωμένου φράγματος και που να έχει ως αποτέλεσμα την καθίζηση του φράγματος, είτε στο σχεδιασμό του φράγματος σε σχέση με τις ιδιότητες του εδαφικού υλικού στο οποίο είναι εδραιωμένη η στέψη του φράγματος. Τα ερωτήματα αυτά μπορούν να απαντηθούν μέσα από μια σειρά μελετών και μετρήσεων που αφορούν τα γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, καθώς επίσης και τα υδρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης. Τα



προσδιορισμένα στοιχεία από τις μελέτες αυτές καλό θα ήταν να συσχετιστούν με τις προσδιορισμένες μεταβολές έτσι ώστε να δοθεί μια πιο σαφής και ξεκάθαρη εικόνα των επιφανειακών μετακινήσεων και εάν είναι εφικτό να προσδιοριστεί ο χαρακτήρας της εξέλιξης του φαινομένου.

- Η πύκνωση των σημείων του δικτύου περιμετρικά του φράγματος, θα προσφέρει περισσότερες πληροφορίες σε ότι αφορά την γενικότερη κινηματική συμπεριφορά του φράγματος, εκτός της στέψης του, όπου είναι εγκατεστημένο και το υφιστάμενο δίκτυο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ., (2009). *Θεωρία Σφαλμάτων & Συνορθώσεις II*, Αθήνα, Σ.Α.Τ.Μ Ε.Μ.Π

Λάμπρου, Ε. & Πανταζής, Γ. ( 2010). *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, ISBN 978-960-456-205-3

Τέμενος, Κ. (2007). “Παρακολούθηση Παραμορφώσεων του φράγματος του Κούρη στην Κύπρο”. Διπλωματική Εργασία, Σ.Α.Τ.Μ Ε.Μ.Π, Αθήνα.

### *Πηγές Διαδικτύου*

Βικιπαίδεια. “Φράγματα”. *Βικιπαίδεια*, <[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%81%CE%AC%CE%B3%CE%BC%CE%B1#.CE.A4.CF.8D.CF.80.CE.BF.CE.B9\\_.CF.86.CF.81.CE.B1.CE.B3.CE.BC.CE.AC.CF.84.CF.89.CE.BD](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%81%CE%AC%CE%B3%CE%BC%CE%B1#.CE.A4.CF.8D.CF.80.CE.BF.CE.B9_.CF.86.CF.81.CE.B1.CE.B3.CE.BC.CE.AC.CF.84.CF.89.CE.BD)>(Σεπτ.7,2012)

Ιωάννου, Ε.(2003). “Φράγματα”. *Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων*, <[http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/dams\\_gr/dams\\_gr?OpenDocument](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/dams_gr/dams_gr?OpenDocument) > (Σεπτ.15,2012)

Όμορφος, Χ. & Ιωάννου, Αιμ. (2000). “ΕΡΓΟ ΝΟΤΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ”. *Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος*, <[http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/booklets\\_gr/379A1216AD8FA0FEC2256DE5002CB7B6/\\$file/Page1\\_21\(2.05MB\).pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/booklets_gr/379A1216AD8FA0FEC2256DE5002CB7B6/$file/Page1_21(2.05MB).pdf)>(Σεπτ.15,2012)

Πυθαρούλη, Σ.(2007).“ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ”. *Νημερτής*, <[http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/563/1/Pytharouli\\_PhD\\_thesis\\_2007.pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/563/1/Pytharouli_PhD_thesis_2007.pdf) > (Φεβρ.5,2013)

Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης. (2005). “Χάρτες Σεισμικότητας”. *Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης*, <[http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlmapsearch\\_gr/dmlmapsearch\\_gr?OpenDocument](http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlmapsearch_gr/dmlmapsearch_gr?OpenDocument)> (Φεβρ.5,2013)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

## **Μετρήσεις Γεωμετρικής Χωροστάθμισης**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Αθηνά Παντελίδου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....1.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....2.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R1	1.4584	
		R2		0.9916
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
$\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.4668 \text{ m}$				
		R2	1.0296	
		R1		1.4955
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
$\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.4659 \text{ m}$				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R1-R2}</math> (m)</b>
$\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = 0.4664$
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\epsilon} * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
$\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{1} = 0.1$



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Αθηνά Παντελίδου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....2.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....3.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R2	1.3020	
		R3		0.9799
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.3221 \text{ m}</math></b>				
retour	2	R3	0.9529	
		R2		1.2757
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.3228 \text{ m}</math></b>				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R2-R3}</math> (m)</b>
<b><math>\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = 0.3224</math></b>
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\varepsilon} * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
<b><math>\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{1} = 0.1</math></b>



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012.. ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Αθηνά Παντελίδου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....3.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....4.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R3	1.3044	
		R4		1.0972
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
$\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.2072 \text{ m}$				
retour	2	R4	1.1713	
		R3		1.3783
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
$\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.2070 \text{ m}$				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R3-R4}</math> (m)</b>
$\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = 0.2071$
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\epsilon} * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
$\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{1} = 0.1$



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Αθηνά Παντελίδου  
ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....4.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....5.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R4	0.9102	
		R5		1.2377
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.3275 \text{ m}</math></b>				
retour	2	R5	1.2305	
		R4		0.9027
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.3278 \text{ m}</math></b>				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R4-R5}</math> (m)</b>
<b><math>\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = -0.3276</math></b>
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\epsilon} * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
<b><math>\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{1} = 0.1</math></b>





ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Αθηνά Παντελίδου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....5.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....6.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R5	0.8397	
		R6		1.1947
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.3550</math></b>				
retour	2	R6	1.1847	
		R5		0.8295
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.3552</math></b>				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R5-R6}</math> (m)</b>
<b><math>\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = -0.3551</math></b>
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\epsilon} * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
<b><math>\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{1} = 0.1</math></b>



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Αθηνά Παντελίδου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....1.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....3.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία(m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R1	1.4949	
		E1		1.2947
aller	2	E1	1.5972	
		R3		1.0092
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.7882 \text{ m}</math></b>				
retour	3	R3	0.9440	
		E1		1.6646
retour	4	E1	1.3223	
		R3		1.3914
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.7897 \text{ m}</math></b>				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R1-R3}</math> (m)</b>
<b><math>\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = 0.7889</math></b>
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\epsilon} * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
<b><math>\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{2} = 0.1414</math></b>



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Γιώργος Στάυρου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....1.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....4.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία(m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R1	1.5163	
		E1		1.3677
aller	2	E1	1.5778	
		E2		1.1091
aller	3	E2	1.5617	
		R4		1.1816
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.9974 \text{ m}</math></b>				
retour	4	R4	1.2298	
		E1		1.7608
retour	5	E1	1.3665	
		E2		1.6838
retour	6	E2	1.3279	
		R1		1.4753
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.9957 \text{ m}</math></b>				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R1-R4}</math> (m)</b>
<b><math>\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = 0.9966</math></b>
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμησης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\epsilon} * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
<b><math>\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{3} = 0.1732</math></b>



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Γιώργος Στάουρου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....2.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....4.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία(m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R2	1.2678	
		E1		0.9786
aller	2	E1	1.3548	
		R4		1.1146
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.5294 \text{ m}</math></b>				
retour	3	R4	1.1719	
		E1		1.6645
retour	4	E1	1.2279	
		R3		1.2661
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.5308 \text{ m}</math></b>				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R2-R4}</math> (m)</b>
<b><math>\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = 0.5301</math></b>
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\epsilon} * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
<b><math>\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{2} = 0.1414</math></b>



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Γιώργος Στάυρου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....3.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....5.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία(m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R3	1.4146	
		E1		1.4638
aller	2	E1	1.2048	
		R5		1.2763
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.1207 \text{ m}</math></b>				
retour	3	R5	1.2694	
		E1		1.1976
retour	4	E1	1.4564	
		R3		1.4078
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.1204 \text{ m}</math></b>				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R3-R5}</math> (m)</b>
<b><math>\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = -0.1205</math></b>
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_e * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
<b><math>\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{2} = 0.1414</math></b>



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Γιώργος Στάυρου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....3.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....6.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία(m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
retour	1	R6	1.1625	
		E1		1.0372
retour	2	E1	1.7297	
		R3		1.3800
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.4750 \text{ m}</math></b>				
retour	4	R6	1.1933	
		E1		1.1064
retour	5	E1	1.5461	
		E2		1.2240
retour	6	E2	1.5032	
		R3		1.4369
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.4753 \text{ m}</math></b>				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R1-R4}</math> (m)</b>
<b><math>\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = 0.4752</math></b>
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_e \cdot \sqrt{n}</math> (mm)</b>
<b><math>\sigma_{\Delta H} = 0.1 \cdot \sqrt{3} = 0.1732 \text{ m}</math></b>



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica DNA 010 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Γιώργος Στάυρου

ΑΠΟ Υψομετρική Αφετηρία R .....4.....

ΠΡΟΣ Υψομετρική Αφετηρία R.....6.....

	Στάση	Σκόπευση	Ανάγνωση στη σταδία(m) ΟΠΙΣΘΕΝ	Ανάγνωση στη σταδία (m) ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ
aller	1	R4	0.8701	
		E1		1.6646
aller	2	E1	1.2906	
		R6		1.1792
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (aller)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = -0.6831 \text{ m}</math></b>				
retour	3	R6	1.1791	
		E1		1.2833
retour	4	E1	1.7007	
		R4		0.9136
<b>ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (retour)</b>				
<b><math>\Delta H = (\Sigma O) - (\Sigma E) = 0.6829 \text{ m}</math></b>				

<b>Μέσος Όρος Υψομετρικής Διαφοράς <math>H_{R4-R6}</math> (m)</b>
<b><math>\Delta H = [\Delta H_{(aller)} + \Delta H_{(retour)}] / 2 = -0.6830</math></b>
<b>Αβεβαιότητα Χωροστάθμισης <math>\sigma_{\Delta H} = \sigma_{\epsilon} * \sqrt{n}</math> (mm)</b>
<b><math>\sigma_{\Delta H} = 0.1 * \sqrt{2} = 0.141</math></b>

**Μετρήσεις Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας  
(ΤΡΥΑ).**





ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

**ΕΝΤΥΠΟ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (ΤΡ.Υ.Α)**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012. ΟΡΓΑΝΟ: Leica TCR1203 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Κων/νος Κων/νου

ΑΠΟ R<sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> .....Τ2.....

ΠΡΟΣ R<sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>.....6.....

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> ...Τ2							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΑΡΧΗΣ)</sub>
1	T2	121.1105	278.8838	121.1133	121.1124	4.8869	-1.5912
		121.1111	278.8883	121.1114		4.8874	

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ

(ΔH = cos z · D)

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH	ΔH <sub>τελικό</sub>
1	2	97.6950	302.3008	97.6971	97.6984	634.5249	22.9353	
		97.6971	302.2980	97.6996		634.5249		

2	1	102.3084	297.6894	102.3194	102.3092	634.524	-23.0105	
		102.3080	297.6898	102.3091		634.524		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub> ...6							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>
2	R6	109.2278	290.7725	109.2277	109.2282	8.354	-1.2067
		109.2303	290.7730	109.2287		8.354	

$$\Delta H = \Delta H_{R(ΤΕΛΟΥΣ)} - \Delta H_{R(ΑΡΧΗΣ)} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta H_{i,i+1} - \Delta H_{i+1,i}}{2} = 23.3572 \text{ m}$$



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΕΝΤΥΠΟ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (ΤΡ.Υ.Α)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ:Leica TCR1203 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ:Κων/νος Κων/νου

ΑΠΟ R<sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> .....Τ2.....

ΠΡΟΣ R<sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>...3.....

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> ...Τ2							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΑΡΧΗΣ)</sub>
1	T2	121.1105	278.8838	121.1133	121.1124	4.8869	-1.5912
		121.1111	278.8883	121.1114		4.8874	

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ

(ΔH = cos z · D)

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH	ΔH <sub>τελικό</sub>
1	2	96.0042	303.9922	96.0060	96.0060	376.0736	23.5784	
		96.0036	303.9916	96.0060		376.0736		
2	1	103.9976	295.9982	103.9997	103.9996	376.073	-23.6114	
		103.9968	295.9975	103.9996		376.072		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub> ...3							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>
2	R3	109.7154	290.2854	109.7150	109.7154	8.874	-1.3490
		109.7169	290.2853	109.7158		8.874	

$$\Delta H = \Delta H_{R(ΤΕΛΟΥΣ)} - \Delta H_{R(ΑΡΧΗΣ)} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta H_{i,i+1} - \Delta H_{i+1,i}}{2} = 23.8369 \text{ m}$$



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΕΝΤΥΠΟ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (ΤΡ.Υ.Α)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ:Leica TCR1203 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ:Κων/νος Κων/νου

ΑΠΟ R<sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> .....Τ2..... ΠΡΟΣ R<sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>.....4.....

**ΠΡΩΤΗ(1) ΜΕΤΡΗΣΗ**

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> ...Τ2							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΑΡΧΗΣ)</sub>
1	Τ2	121.7297	278.2691	121.7303	121.7283	4.181	-1.3994
		121.7256	278.2730	121.7263		4.183	

**ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ**

(ΔH = cos z · D)

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH	ΔH <sub>τελικό</sub>
1	2	96.6374	303.3626	96.6374	96.6353	449.750	23.7593	
		96.6331	303.3666	96.6332		449.750		

2	1	103.3717	296.6279	103.3719	103.3724	449.7512	-23.8137	
		103.3723	296.6264	103.3729		449.7506		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub> ...4							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ Ι	ΘΕΣΗ ΙΙ	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>
2	R4	108.2623	291.7412	108.2605	108.2592	8.8284	-1.1420
		108.2532	291.7373	108.2579		8.8264	

$$\Delta H = \Delta H_{R(ΤΕΛΟΥΣ)} - \Delta H_{R(ΑΡΧΗΣ)} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta H_{i,i+1} - \Delta H_{i+1,i}}{2} = 24.0439 \text{ m}$$



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

**ΕΝΤΥΠΟ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (ΤΡ.Υ.Α)**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ:Leica TCR1203 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ:Γιώργος Σταύρου

ΑΠΟ R<sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> ...T2..... ΠΡΟΣ R<sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>.....4.....

**ΔΕΥΤΕΡΗ (2)ΜΕΤΡΗΣΗ**

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> ...T2							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΑΡΧΗΣ)</sub>
1	T2	121.1105	278.8838	121.1133	121.1124	4.8869	-1.5912
		121.1111	278.8883	121.1114		4.8874	

**ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ**

(ΔH = cos z · D)

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH	ΔH <sub>τελικό</sub>
1	2	96.6439	303.3534	96.6453	96.6457	450.5245	23.7268	
		96.6435	303.3516	96.6460		450.5244		

2	1	103.3570	296.6369	103.3601	103.3602	450.524	-23.7684	
		103.3579	296.6375	103.3602		450.524		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub> ...4							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>
2	R4	109.7858	290.2145	109.7856	109.7855	8.471	-1.2969
		109.7845	290.2138	109.7854		8.471	

$$\Delta H = \Delta H_{R(ΤΕΛΟΥΣ)} - \Delta H_{R(ΑΡΧΗΣ)} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta H_{i,i+1} - \Delta H_{i+1,i}}{2} = 24.0417 \text{ m}$$

**ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ= 24.0428 m**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

**ΕΝΤΥΠΟ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (ΤΡ.Υ.Α)**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ: Leica TCR1203 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Γιώργος Σταύρου

ΑΠΟ R<sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> ...T2..... ΠΡΟΣ R<sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>.....1.....

**ΠΡΩΤΗ(1) ΜΕΤΡΗΣΗ**

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> ...T2							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΑΡΧΗΣ)</sub>
1	T2	121.1105	278.8838	121.1133	121.1124	4.8869	-1.5912
		121.1111	278.8883	121.1114		4.8874	

**ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ**

(ΔH = cos z · D)

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH	ΔH <sub>τελικό</sub>
1	2	96.6439	303.3534	96.6453	96.6457	450.5245	23.7268	-23.7476
		96.6435	303.3516	96.6460		450.5244		
2	1	103.3570	296.6369	103.3601	103.3602	450.524	-23.7684	
		103.3579	296.6375	103.3602		450.524		
2	3	100.1570	299.8383	100.1594	100.1593	299.003	-0.7482	0.7258
		100.1561	299.8378	100.1592		299.003		
3	2	99.8482	300.1489	99.8496	99.8502	299.0038	0.7035	
		99.8486	300.1472	99.8507		299.0041		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub> ...1							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>
3	R1	110.1196	289.8838	110.1154	110.2892	9.9434	-1.5999
		110.1143	289.8852	110.4631		9.9420	

$$\Delta H = \Delta H_{R(ΤΕΛΟΥΣ)} - \Delta H_{R(ΑΡΧΗΣ)} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta H_{i,i+1} - \Delta H_{i+1,i}}{2} = -23.0302 \text{ m}$$



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Κατεύθυνση Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής)

ΕΝΤΥΠΟ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (ΤΡ.Υ.Α)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ...04/06/2012... ΟΡΓΑΝΟ:Leica TCR1203 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΣ: Κων/νος Κων/νου

ΑΠΟ R<sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> ...T2..... ΠΡΟΣ R<sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>.....1.....

**ΔΕΥΤΕΡΗ (2) ΜΕΤΡΗΣΗ**

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΑΡΧΗΣ)</sub> ...T2							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΑΡΧΗΣ)</sub>
1	T2	121.7297	278.2691	121.7303	121.7283	4.181	-1.3994
		121.7256	278.2730	121.7263		4.183	

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ

(ΔH = cos z · D)

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH	ΔH <sub>τελικό</sub>
1	2	95.0991	304.8973	95.1009	95.1006	303.207	23.3116	
		95.0990	304.8987	95.1002		303.207		
2	1	104.8892	295.1081	104.8906	104.8911	303.2075	-23.2722	
		104.8902	295.1069	104.8916		303.2075		
2	3	100.1419	299.8547	100.1436	100.1435	89.4671	-0.2016	
		100.1407	299.8540	100.1434		89.4671		
3	2	99.8524	300.1390	99.8567	99.8581	89.4673	0.1994	
		99.8581	300.1391	99.8595		89.4669		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ R <sub>(ΤΕΛΟΥΣ)</sub> ...1							
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΘΕΣΗ I	ΘΕΣΗ II	Μέση Τιμή	Γενικός Μ.Ο	ΜΗΚΟΣ	ΔH <sub>R(ΤΕΛΟΥΣ)</sub>
3	R1	109.5452	290.4495	109.5478	109.5489	9.4768	-1.4161
		109.5484	290.4483	109.5500		9.4763	

$$\Delta H = \Delta H_{R(ΤΕΛΟΥΣ)} - \Delta H_{R(ΑΡΧΗΣ)} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta H_{i,i+1} - \Delta H_{i+1,i}}{2} = 23.0747m$$

**ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ = 23.0524 m**

**Επίλυση δικτύου το 2012, με 6 σημεία**

Ακολουθούν πίνακες που έχουν προσδιοριστεί από το λογισμικό Excel κατά την επίλυση δικτύου το 2012 με τα 6 υψομετρικά σημεία.

Από τις εξισώσεις παρατήρησεις δημιουργούνται οι πιο κάτω πίνακες:

-1	1	0	0	0	0	=Πίνακας A	0.4664	= Πίνακας δl
0	0	-1	1	0	0		0.2071	
0	0	0	-1	1	0		-0.3276	
0	0	0	0	-	1		-0.3551	
-1	0	1	0	0	0		0.7889	
-1	0	0	1	0	0		0.9966	
0	-1	1	0	0	0		0.3224	
0	-1	0	1	0	0		0.5301	
0	0	-1	0	1	0		-0.1205	
0	0	-1	0	0	1		-0.4752	
0	0	0	-1	0	1		-0.683	
0	0	0	0	0	1		276.1572	
0	0	0	1	0	0		276.8428	
0	0	1	0	0	0		276.6369	
1	0	0	0	0	0		275.8524	

X1	=Πίνακας X
X2	
X3	
X4	
X5	
X6	

-1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=Ανάστροφος A <sup>T</sup>
1	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	
0	-1	0	0	1	0	1	0	-1	-1	0	0	0	1	0	
0	1	-1	0	0	1	0	1	0	0	-1	0	1	0	0	
0	0	1	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	



Ο πίνακας βαρών , υπολογίζεται από την σχέση  $P_i = \sigma_o^2 / \sigma^2 \Delta H_i$  , όπου

- $\sigma_o^2$  = η μεταβλητότητα της μονάδας βάρους = ±1mm
- $\sigma^2 \Delta H_i$  = η μεταβλητότητα της μετρούμενης υψομετρικής διαφοράς  $\Delta H_i$

Ο πίνακας έχει διαστάσεις n\*n ,όπου η τιμή του βάρους τοποθετείται στη διαγώνιο του πίνακα.

P=

4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16

Ο πίνακας  $V_x$  που δίνεται από την σχέση  $V_x = \sigma_o^2 * N^{-1}$  είναι ο πιο κάτω:

1.43585-06	1.360872-06	1.360872-06	1.354168-06	1.340761-06	1.36750-06
1.360872-06	1.385589-06	1.349629-06	1.360872-06	1.347398-06	1.34739-06
1.360872-06	1.349629-06	1.385589-06	1.360872-06	1.34739-06	1.347398-06
1.354168-06	1.360872-06	1.360872-06	1.435485-06	1.36750-06	1.340761-06
1.340761-06	1.347398-06	1.34739-06	1.367509-06	1.407732-06	1.327486-06
1.367509-06	1.347398-06	1.347398-06	1.340761-06	1.327486-06	1.407732-06

**Επίλυση δικτύου το 2012, με 5 σημεία**

Ακολουθούν πίνακες που έχουν προσδιοριστεί από το λογισμικό Excel κατά την επίλυση δικτύου το 2012, με τα 5 υψομετρικά σημεία.

Από τις εξισώσεις παρατήρησης δημιουργούνται οι πιο κάτω πίνακες :

-1	1	0	0	0	=Πίνακας A	0.4664	= Πίνακας δl
0	0	-1	1	0		0.2071	
0	0	0	-1	1		-0.3276	
-1	0	1	0	0		0.7889	
-1	0	0	1	0		0.9966	
0	-1	1	0	0		0.3224	
0	-1	0	1	0		0.5301	
0	0	-1	0	1		-0.1205	
0	0	0	1	0		276.8428	
0	0	1	0	0		276.6369	
1	0	0	0	0		275.8524	

X1	=Πίνακας X
X2	
X3	
X4	
X5	

-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	1	=Ανάστροφος A <sup>T</sup>
1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	
0	-1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	
0	1	-1	0	1	0	1	0	1	0	0	
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	

Ο πίνακας βαρών, υπολογίζεται από την σχέση  $P_i = \sigma_o^2 / \sigma^2 \Delta H_i$ , όπου

- $\sigma_o^2$  = η μεταβλητότητα της μονάδας βάρους = ±1mm
- $\sigma^2 \Delta H_i$  = η μεταβλητότητα της μετρούμενης υψομετρικής διαφοράς  $\Delta H_i$

Ο πίνακας έχει διαστάσεις n\*n ,όπου η τιμή του βάρους τοποθετείται στη διαγώνιο του πίνακα.

P=

4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.16

Ο πίνακας  $V_x$  που δίνεται από την σχέση  $V_x = \sigma_o^2 * N^{-1}$  είναι ο πιο κάτω:

0.00000141	0.00000138	0.00000137	0.00000137	0.00000137
0.00000138	0.00000144	0.00000138	0.00000138	0.00000138
0.00000137	0.00000138	0.00000141	0.00000137	0.00000139
0.00000137	0.00000138	0.00000137	0.00000141	0.00000139
0.00000137	0.00000138	0.00000139	0.00000139	0.00000147

## **Επίλυση δικτύου το 2006, με 5 σημεία**

Ακολουθούν οι πίνακες που έχουν προσδιοριστεί από το λογισμικό Excel κατά την επίλυση δικτύου το 2006, με τα 5 υψομετρικά σημεία.

Από τις εξισώσεις παρατήρησης δημιουργούνται οι πιο κάτω πίνακες :

<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> </table>	-1	1	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	-1	1	-1	0	1	0	0	-1	0	0	1	0	0	-1	1	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	=Πίνακας A	<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0.4919</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0.2097</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">-0.3455</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0.8357</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1.0435</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0.3434</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0.5529</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">-0.1352</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">276.915</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">276.705</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">275.861</td></tr> </table>	0.4919	0.2097	-0.3455	0.8357	1.0435	0.3434	0.5529	-0.1352	276.915	276.705	275.861	= Πίνακας δl
-1	1	0	0	0																																																																	
0	0	-1	1	0																																																																	
0	0	0	-1	1																																																																	
-1	0	1	0	0																																																																	
-1	0	0	1	0																																																																	
0	-1	1	0	0																																																																	
0	-1	0	1	0																																																																	
0	0	-1	0	1																																																																	
0	0	0	1	0																																																																	
0	0	1	0	0																																																																	
1	0	0	0	0																																																																	
0.4919																																																																					
0.2097																																																																					
-0.3455																																																																					
0.8357																																																																					
1.0435																																																																					
0.3434																																																																					
0.5529																																																																					
-0.1352																																																																					
276.915																																																																					
276.705																																																																					
275.861																																																																					

<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">X1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">X2</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">X3</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">X4</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">X5</td></tr> </table>	X1	X2	X3	X4	X5	=Πίνακας X
X1						
X2						
X3						
X4						
X5						

<table style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">-1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">1</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td><td style="padding: 2px 10px;">0</td></tr> </table>	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	1	-1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	=Ανάστροφος A <sup>T</sup>
-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	1																																														
1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0																																														
0	-1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0																																														
0	1	-1	0	1	0	1	0	1	0	0																																														
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0																																														

Ο πίνακας βαρών , υπολογίζεται από την σχέση  $P_i = \sigma_o^2 / \sigma^2 \Delta H_i$  , όπου

- $\sigma_o^2$  = η μεταβλητότητα της μονάδας βάρους = ±1mm
- $\sigma^2 \Delta H_i$  = η μεταβλητότητα της μετρούμενης υψομετρικής διαφοράς  $\Delta H_i$

Ο πίνακας έχει διαστάσεις n\*n ,όπου η τιμή του βάρους τοποθετείται στη διαγώνιο του πίνακα.

P=

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4

Ο πίνακας  $V_x$  δίνεται από την σχέση  $V_x = \sigma_o^2 * N^{-1}$  είναι ο πιο κάτω:

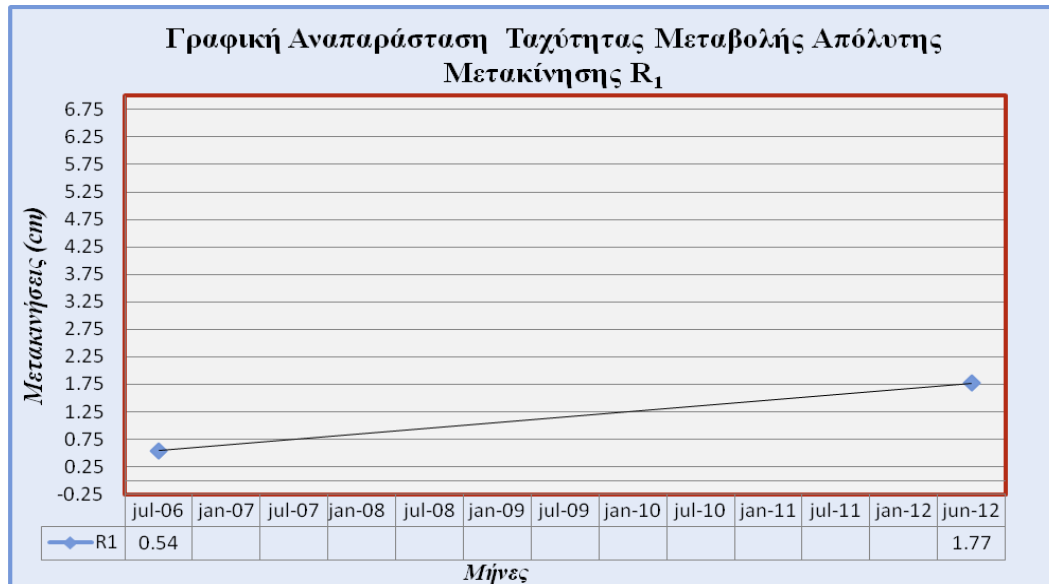
0.00000374	0.00000316	0.00000288	0.00000288	0.00000288
0.00000316	0.00000443	0.00000316	0.00000316	0.00000316
0.00000288	0.00000316	0.00000366	0.00000296	0.00000331
0.00000288	0.00000316	0.00000296	0.00000366	0.00000331
0.00000288	0.00000316	0.00000331	0.00000331	0.00000521

**Σχεδιαγράμματα ταχύτητας μεταβολής απόλυτων  
μετακινήσεων**

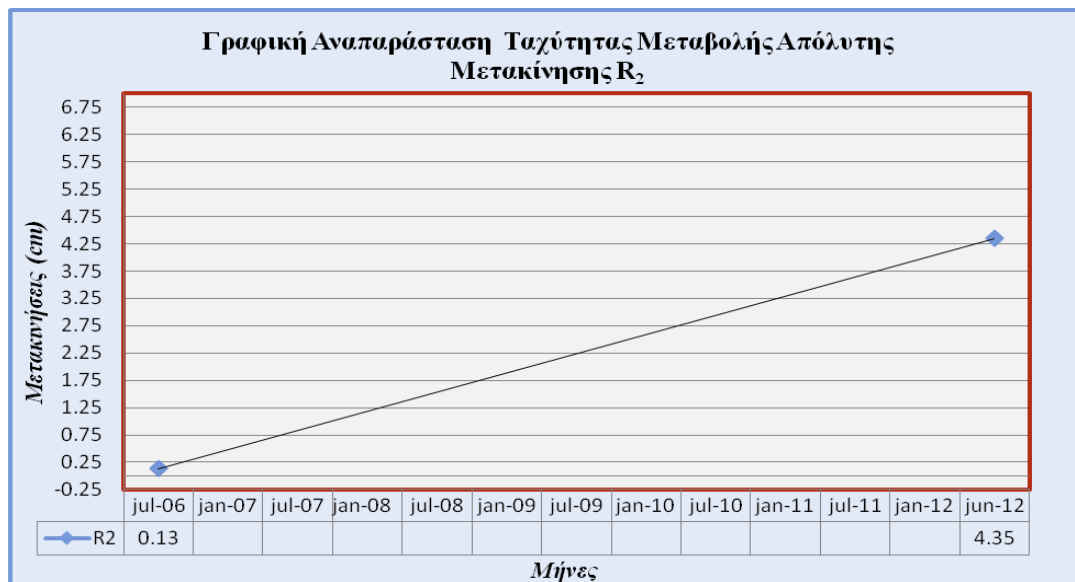


Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των ταχυτήτων των απόλυτων μετακινήσεων που έχουν προσδιοριστεί από το λογισμικό Excel .

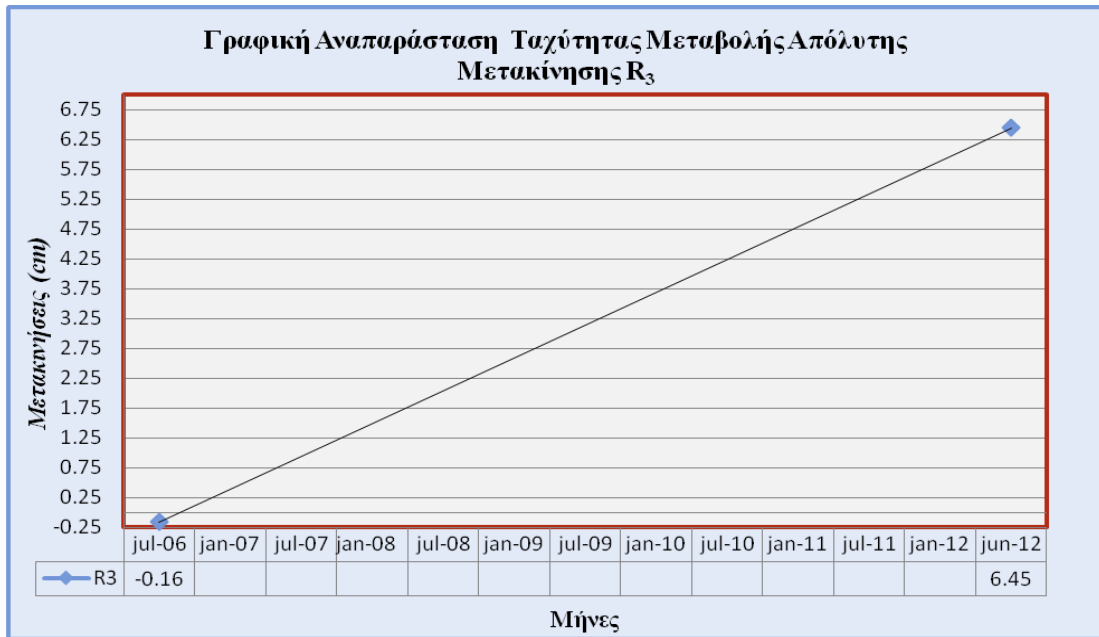
Σχεδιάγραμμα 1: Γραφική Αναπαράσταση Ταχύτητας Μεταβολής Απόλυτων Μετακινήσεων για R<sub>1</sub> σημείο, από 2006-2012



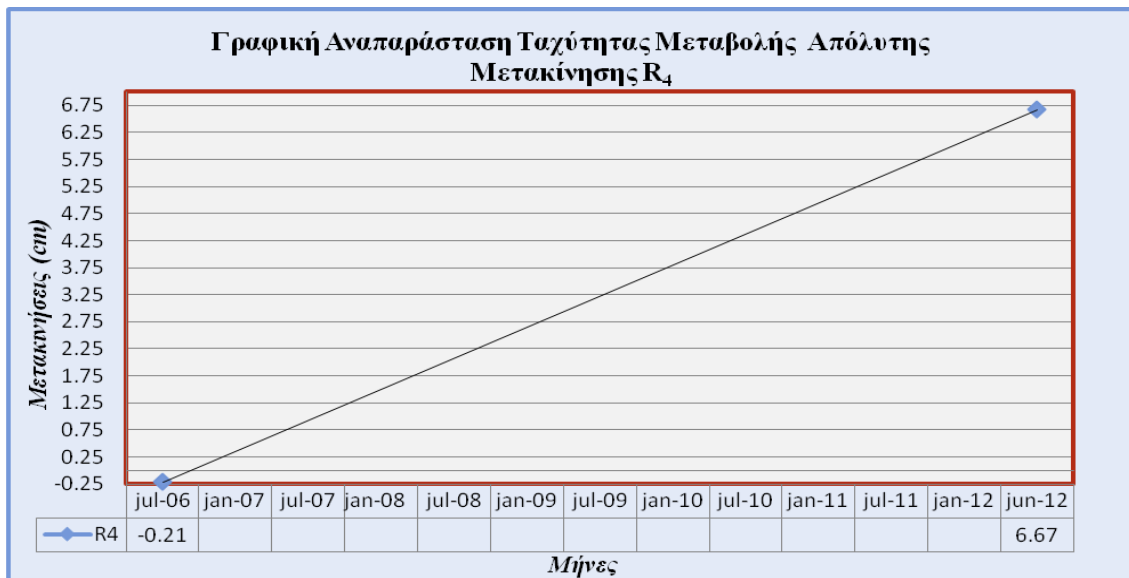
Σχεδιάγραμμα 2: Γραφική Αναπαράσταση Ταχύτητας Μεταβολής Απόλυτων Μετακινήσεων για R<sub>2</sub> σημείο, από 2006 2012



Σχεδιάγραμμα 3: Γραφική Αναπαράσταση Ταχύτητας Μεταβολής Απόλυτων Μετακινήσεων για R<sub>3</sub> σημείο, από 2006-2012



Σχεδιάγραμμα 4: Γραφική Αναπαράσταση Ταχύτητας Μεταβολής Απόλυτων Μετακινήσεων για R<sub>4</sub> σημείο, από 2006-2012



Σχεδιάγραμμα 5: Γραφική Αναπαράσταση Ταχύτητας Μεταβολής Απόλυτων Μετακινήσεων για R<sub>5</sub> σημείο, από 2006-2012

