

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## Πτυχιακή εργασία

ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ  
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΟΝ Η/Σ  
ΒΑΣΙΛΙΚΟ ΤΗΣ ΑΗΚ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ.  
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΚΑΙ  
ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Γεώργιος Σταύρου

Λεμεσός 2013



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## Πτυχιακή εργασία

ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ  
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΟΝ Η/Σ  
ΒΑΣΙΛΙΚΟ ΤΗΣ ΑΗΚ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ.  
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΚΑΙ  
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Γεώργιος Σταύρου

Σύμβουλος καθηγητής  
Δρ. Δημήτρης Σκαρλάτος  
Λέκτορας ΤΕΠΑΚ

Λεμεσός 2013

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Όνομα επίθετο φοιτητή, [Γεώργιος Σταύρου]

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.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή του ΕΜΠ κύριο Γιώργο Πανταζή καθώς επίσης και τον λέκτορα μας Δρ . Δημήτρη Σκαρλάτο που με την συμβολή και την «ανοχή» τους μου έδωσαν την ευκαιρία να ασχοληθώ με το θέμα αυτό. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κύριο Γιώργο Πανταζή, που με τις καθημερινές του παρεμβάσεις, έκανε την Λεμεσό να μοιάζει γειτονιά της Αθήνας εκμηδενίζοντας τις όποιες αδυναμίες της εξ αποστάσεως επικοινωνίας.

Επίσης τον συμφοιτητή και συνάδελφο Κωνσταντίνο Κωνσταντινίδη για την απεριόριστη και συνεχή υποστήριξη και συμμετοχή του σε όλη την διάρκεια των διεργασιών ετοιμασίας της πτυχιακής αυτής εργασίας.

Ιδιαίτερα τον συνάδελφο προϊστάμενο πολιτικής Μηχανικής κύριο Χρίστο Σταύρου, που με την δική του συμβολή τόσο διοικητικά όσο και οικονομικά βοήθησε στην εγκατάσταση και υλοποίηση του δικτύου αυτού.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία που ακολουθεί επικεντρώνεται στην μέτρηση και επίλυση ενός τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου ακριβείας στον Ηλεκτροπαραγωγό σταθμό Βασιλικός, με την χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού. Εφαρμόζονται τρεις διαφορετικοί τρόποι επίλυσης, σε μια προσπάθεια βελτίωσης του τελικού προϊόντος, αλλά και εντοπισμού των στοιχείων εκείνων των μετρήσεων που αυξάνουν την αβεβαιότητα σε τέτοιας φύσεως εργασία. Στο πλαίσιο αυτό, το δίκτυο επιλύεται μονοδιάστατα, δυσδιάστατα και τριδιάστατα και τα τελικά αποτελέσματα, τόσο σε υψομετρικό, όσο και οριζοντιογραφικό επίπεδο, συγκρίνονται με αποτελέσματα δορυφορικών μετρήσεων τα οποία έχουν προκύψει από αντίστοιχη εργασία που προηγήθηκε των επιγείων μετρήσεων [Κ. Κωνσταντινίδης].

Εκτός από την παρουσίαση του εξοπλισμού και την μεθοδολογία των μετρήσεων, για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, παρατίθενται κάποια βασικά στοιχεία για τις διαφορετικές προσεγγίσεις επίλυσης τέτοιων δικτύων, καταγράφοντας τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται κάθε φορά. Παρουσιάζονται οι μηχανισμοί ελέγχου και αξιολόγησης της ποιότητας των μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν, σε μια προσπάθεια αποτροπής χονδροειδών σφαλμάτων καθώς επίσης και ο έλεγχος αξιοπιστίας του δικτύου, αν δηλαδή τα μαθηματικά μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί έχουν επιτύχει το θεμιτό αποτέλεσμα.

Στην συνέχεια μέσα από τις συγκρίσεις, των διαφορετικών προσεγγίσεων, εντοπίζονται τα αδύνατα σημεία των τελικών αποτελεσμάτων καθώς επίσης οι διαφορές και η στατιστική αξιολόγηση με τις δορυφορικές μετρήσεις. Αξιολογούνται όλα τα ευρήματα των πιο πάνω διεργασιών και εξάγονται τα ανάλογα συμπεράσματα.

Τέλος παρουσιάζονται οι τρόποι αξιοποίησης του τελικού προϊόντος και γίνονται εισηγήσεις για την αναβάθμιση και ολοκλήρωση του.

**Λέξεις κλειδιά:** *Δίκτυα οριζοντίου ελέγχου, Δίκτυα κατακορύφου ελέγχου, Τριδιάστατα γεωδαιτικά δίκτυα, έλεγχος αξιοπιστίας του δικτύου, έλεγχος μέσης αβεβαιότητας.*

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	viii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	x
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xii
1    Περί Δικτύων .....	1
1.1    Κατηγορίες δικτύου.....	1
1.1.1    Δίκτυα οριζοντίου ελέγχου.....	2
1.1.2    Δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου.....	3
1.1.3    Τριδιάστατα Δίκτυα.....	3
2    Το τριδιάστατο δίκτυο στον Η/Σ Βασιλικό της ΑΗΚ.....	6
2.1    Περιγραφή δικτύου.....	6
2.1.1    Περιοχή εγκατάστασης.....	6
2.1.2    Εγκατάσταση τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου .....	7
2.1.3    Ονομασία των κορυφών του δικτύου .....	10
3    Μέτρηση του δικτύου με τη χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.....	12
3.1    Εξοπλισμός.....	12
3.1.1    Όργανα μετρήσεων.....	12
3.1.2    Παρελκόμενα.....	13
3.2    Μεθοδολογία μετρήσεων .....	14
3.2.1    Προκαταρτικές ενέργειες και περιγραφή της μεθόδου .....	14
3.2.2    Ανάλυση διαδικασίας των μετρήσεων .....	19
3.2.3    Στατιστικά στοιχεία μετρήσεων .....	21

3.3	Αποτελέσματα .....	22
3.3.1	Πίνακας μετρήσεων.....	22
3.3.2	Έλεγχοι.....	24
3.3.3	Προκαταρτικοί έλεγχοι.....	24
3.3.4	Κλείσιμο υψομετρικών βρόγχων.....	24
3.3.5	Κλείσιμο μοναδιαίων τριγώνων .....	26
4	Επιλύσεις.....	27
4.1	Υψομετρική επίλυση .....	27
4.1.1	Μαθηματικό μοντέλο .....	27
4.1.2	Αποτελέσματα της υψομετρικής επίλυσης.....	28
4.2	Επίλυση δικτύου οριζοντίου ελέγχου .....	30
4.2.1	Μαθηματικό μοντέλο-διαδικασία υπολογισμών .....	30
4.2.2	Αποτελέσματα της δυδιάστατης επίλυσης .....	33
4.3	Επίλυση τριδιάστατου δικτύου.....	37
4.3.1	Μαθηματικό μοντέλο .....	37
4.3.2	Αποτελέσματα της τριδιάστατης επίλυσης .....	38
5	Συγκρίσεις.....	42
5.1	Σύγκριση υψομέτρων .....	42
5.2	Σύγκριση συντεταγμένων διδιάστατης Vs τριδιάστατης επίλυσης.....	44
5.3	Σύγκριση επίγειων Vs δορυφορικών μεθόδων.....	45
5.3.1	Σύγκριση μηκών βάσεων.....	45
5.3.2	Σύγκριση συντεταγμένων .....	47
6	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα .....	50
7	Επίλογος- Προτάσεις.....	55
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	56
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ‘Α’ .....	1



8.1	Συγκριτικοί πίνακες .....	1
8.1.1	Πίνακας μετρήσεων.....	3
8.2	Στοιχεία επιλύσεων .....	10
8.2.1	Επίλυση υψομετρικού δικτύου.....	10
8.2.2	Επίλυση δικτύου οριζοντίου ελέγχου.....	11
8.2.3	Επίλυση τρισδιάστατου δικτύου.....	16

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ονομασίες κορυφών του δικτύου .....	10
Πίνακας 2: Απόσπασμα μετρήσεων οριζοντίων γωνιών.....	22
Πίνακας 3: Απόσπασμα πίνακα ζενίθιων γωνιών,μηκών, υψομετρικών διαφορών και αποστάσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου.....	23
Πίνακας 4: Πίνακας κλεισίματος υψομετρικών βρόγχων .....	25
Πίνακας 5: Πίνακας κλεισίματος μοναδιαίων τριγώνων.....	26
Πίνακας 6: Υψόμετρα των κορυφών και αβεβαιότητες.....	29
Πίνακας 7: Αποτελέσματα της δυδιάστατης επίλυσης.....	34
Πίνακας 8: Αποτελέσματα της τριδιάστατης επίλυσης.....	39
Πίνακας 9: Διαφορές υψομέτρων(1D-3D).....	42
Πίνακας 10: Διαφορές υψομέτρων(1D-GPS).....	43
Πίνακας 11: Διαφορές υψομέτρων(3D-GPS).....	43
Πίνακας 12: Συντεταγμένες δισδιάστατης και τριδιάστατης επίλυσης.....	44
Πίνακας 13: Διαφορές συντεταγμένων 2D-3D .....	44
Πίνακας 14: Σύγκριση μηκών τριδιάστατης επίλυσης και της επίλυσης του GPS.....	46
Πίνακας 15: Συντεταγμένες δυδιάστατης και της επίλυσης του GPS.....	47
Πίνακας 16: Διαφορές συντεταγμένων 3D-GPS.....	47
Πίνακας 17: Συντεταγμένες τριδιάστατης και της επίλυσης του GPS.....	48
Πίνακας 18: Διαφορές συντεταγμένων 3D-GPS.....	48
Πίνακας 19: Συνοπτικός πίνακας διαφορών συντεταγμένων όλων των επιλύσεων .....	48

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1: Τα σημεία ελέγχου ενός γεωδαιτικού δικτύου τρισδιάστατου ελέγχου στον υδατοφράκτη Κούρη[ Κ.Τέμενος διπλ. 2007].....	5
Εικόνα 2: Περιοχή μελέτης .....	6
Εικόνα 3: Θερμοηλεκτρικός σταθμός "Βασιλικός" στο Μαρί.....	7
Εικόνα 4:Τσιμεντένιο βάθρο πριν και μετά τη βαφή .....	8
Εικόνα 5: Μεταλλική πλάκα που υλοποιεί σημείο του δικτύου .....	8
Εικόνα 6: Μεταλλικό βάθρο.....	9
Εικόνα 7: Στρόγγυλη μεταλλική βάση .....	9
Εικόνα 8: Τα σημεία ελέγχου του γεωδαιτικού δικτύου τριδιάστατου ελέγχου .....	11
Εικόνα 9: Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TCR1202+.....	12
Εικόνα 10: Ο ανακλαστήρας GRP121 αριστερά και GRP 111 δεξιά .....	13
Εικόνα 11: Ο αντάπτορας GRT144 και το τρικόγλιο GDF112 .....	13
Εικόνα 12: Ο υπολογιστής πεδίου Getac, μοντέλο B300.....	14
Εικόνα 13: Μέτρηση του ύψους του οργάνου από τη χωροσταθμική βάση.....	16
Εικόνα 14: Ακριβής προσδιορισμός του ύψους του οργάνου –στόχου[Γ.Πανταζής].....	17
Εικόνα 15: Μέτρηση του ύψους της σκοπευτικής γραμμής του χωροβάτη.....	17
Εικόνα 16: Λήψη μέτρησης στην μεταλλική πλάκα(βάση τρικογλίου).....	18
Εικόνα 17: Ανακλαστήρας έτοιμος για μέτρηση .....	19
Εικόνα 18: Στιγμιότυπα από τις μέρες των μετρήσεων.....	20
Εικόνα 19: Η τεχνική υποστήριξη δεν σταματούσε ακόμα και το βράδυ.....	21
Εικόνα 20: Οι συνδέσεις των κορυφών του δικτύου.....	24
Εικόνα 21: Η έλλειψη σφάλματος.....	33
Εικόνα 22: Οι απόλυτες ελλείψεις σφάλματος της δυδιάστατης επίλυσης.....	35
Εικόνα 23: Οι σχετικές ελλείψεις σφάλματος της δυδιάστατης επίλυσης. ....	36

Εικόνα 24: Οι απόλυτες ελλείψεις σφάλματος της τριδιάστατης επίλυσης. ....	40
Εικόνα 25: Οι σχετικές ελλείψεις σφάλματος της τριδιάστατης επίλυσης. ....	41
Εικόνα 26. Έλεγχος σύγκλισης των διαφορών των τιμών των υψομέτρων για εμπιστοσύνης 95%.....	50
Εικόνα 27. Έλεγχος σύγκλισης των διαφορών συντεταγμένων για όριο εμπιστοσύνης 95%. 51	
Εικόνα 28. Έλεγχος σύγκλισης των διαφορών για όριο εμπιστοσύνης 95%.....	52
Εικόνα 29. Το τριδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο στο Η/Σ Βασιλικού (δορυφορική εικόνα 2011). .....	54

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕΠΑΚ :	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΒΤΠ :	Βιβλιοθήκη Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου
ΦΠΑ :	Φόρος Προστιθέμενης Αξίας
φ :	Γεωγραφικό πλάτος
λ :	Γεωγραφικό μήκος
h :	Γεωμετρικό υψόμετρο
x :	Τετμημένη σημείου
y :	Τεταγμένη σημείου
H :	Ορθομετρικό υψόμετρο
ΤΡΥΑ :	Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας
ΔΗ :	Ορθομετρική Υψομετρική διαφορά
S :	Απόσταση
D :	Μήκος (κεκλιμένη απόσταση)
ΕΜΠ :	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΝΜΣ :	Νόμος Μετάδοσης Σφαλμάτων
[NS] :	Χωρίς μέτρηση GPS
ΥΟ :	Ύψος οργάνου
z :	Ζενίθια γωνία
σ :	σφάλμα
σ <sub>0</sub> :	Τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους
β :	Οριζόντια γωνία

## ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

GPS :	Παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης
Monitoring :	Παρακολούθηση μετακινήσεων/παραμορφώσεων
TPS :	Τοπογραφία με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την εποχή των σπηλαίων και μετά, ο άνθρωπος προσπαθώντας να βελτιώσει τον τρόπο διαβίωσης του στην γη, χρειάστηκε να δημιουργήσει διάφορες κατασκευές, αρχικά για την δική του προστασία, από τα στοιχεία της φύσης και στη συνέχεια για να προφυλάξει τις επαγγελματικές του δραστηριότητες και να καλύψει τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες του.

Οι κατασκευές αυτές είτε από πέτρα, ξύλο, μπετόν ή σίδηρο, έγιναν με το πέρασμα του χρόνου πολύπλοκες και πιο απαιτητικές, τόσο στο στάδιο της ανέγερσης τους, όσο και στο στάδιο της συντήρησης και παρόλο που έλυσαν το βασικό πρόβλημα του ανθρώπου, την προστασία του δηλαδή από την επίδραση των φυσικών φαινομένων, οι ίδιες συνεχίζουν να έχουν ανάγκη από διαρκή παρακολούθηση της δομικής τους κατάστασης και αρτιότητας.

Για τον σκοπό αυτό, επιστρατεύοντας όλη τη διαθέσιμη σύγχρονη τεχνολογία και τις βελτιωμένες μεθοδολογίες γεωδαιτικών μετρήσεων, κατασκευάζονται σε όλο τον κόσμο σταθμοί και δίκτυα παρακολούθησης των παραμορφώσεων, ευαίσθητων και σημαντικών κατασκευών.

Πολλές τέτοιες κατασκευές, όπως ψηλά κτήρια, γέφυρες, ταμιευτήρες, μεγάλες βιομηχανικές μονάδες(υψηλές καμινάδες), έχουν σήμερα εγκατεστημένα, σε πραγματικό χρόνο πολλές φορές, τέτοια δίκτυα που καταγράφουν και αναλύουν συνεχώς την κατάσταση και τον βαθμό επικινδυνότητας τους, τόσο κατά τη διάρκεια της κανονικής τους λειτουργίας, όσο και κατά την εξέλιξη ακραίων καιρικών φαινομένων ή άλλων εξωτερικών επιδράσεων.

Η ακρίβεια εγκατάστασης και λειτουργίας τέτοιων δικτύων, έχει μεγάλη αξία και αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα για την επιτυχή και καταλυτική παρέμβαση όταν αυτό χρειαστεί. Ο εξοπλισμός μετρήσεων επίσης που χρησιμοποιείται σε τέτοιες περιπτώσεις, πρέπει να ανταποκρίνεται στις ανάγκες και τις απαιτήσεις των ζητούμενων μεγεθών και των ορίων αβεβαιότητας που καθορίζονται.

Οι περισσότερο συνηθισμένες μέθοδοι μετρήσεων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό παραμορφώσεων στα τεχνικά έργα περιλαμβάνουν κατά περίπτωση την ίδρυση και μέτρηση οριζόντιων, κατακόρυφων ή τριδιάστατων γεωδαιτικών δικτύων. Είναι δυνατός ο προσδιορισμός της μεταβολής των συντεταγμένων των σημείων ελέγχου με κλασικές γεωδαιτικές μεθόδους, όπως επίσης και ακριβής μέτρηση υψομετρικών διαφορών

σε περιπτώσεις προσδιορισμού καθιζήσεων στο έδαφος ή σε τεχνικά έργα [Κ. Τέμενος διπλ. 2007].

Ένα ιδιαίτερο κεφάλαιο στις εφαρμογές της Τεχνικής Γεωδαισίας έχει ανοίξει με τη χρήση του δορυφορικού Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης, GPS. Οι αλλαγές που έφερε το σύστημα αυτό στην επιστήμη της Γεωδαισίας είναι αρκετές και σημαντικές. Χρησιμοποιώντας δέκτες GPS με τη μέθοδο του σχετικού εντοπισμού επιτυγχάνεται ικανοποιητική ακρίβεια, γεγονός που καθιστά το σύστημα αυτό κατάλληλο για ευρύ φάσμα τέτοιων εφαρμογών στο αντικείμενο της Τεχνικής Γεωδαισίας [Κ. Τέμενος διπλ. 2007].

*Είναι όμως ικανή να αντικαταστήσει ισάξια τις παραδοσιακές γεωδαιτικές μεθόδους στις περιπτώσεις των τριδιάστατων δικτύων ελέγχου στον "κόσμο" των μετακινήσεων-παραμορφώσεων;*

Το ερώτημα αυτό προσπαθεί να απαντήσει η πτυχιακή αυτή εργασία μέσα από ένα συνδυασμό συγκρίσεων μεταξύ των διαφορετικών επιλύσεων σε μια, δύο και τρεις διαστάσεις, χρησιμοποιώντας αποτελέσματα από επίγειες μετρήσεις, που έχουν γίνει στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, αλλά και δορυφορικά δεδομένα που παραχωρήθηκαν από τον συνάδελφο Κ. Κωνσταντινίδη μέσα από σχετική μελέτη που βρίσκεται σε εξέλιξη.



# 1 Περί Δικτύων

Ως δίκτυο, ορίζεται ένα σύνολο υλοποιημένων σημείων στην επιφάνεια της Γης που συνδέονται μεταξύ τους μέσω γεωδαιτικών παρατηρήσεων. Τα σημεία αυτά, ονομάζονται κορυφές του δικτύου και χρησιμεύουν για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικών με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χώρου. Οι πληροφορίες αυτές, σε μια, δύο, τρεις ή τέσσερις διαστάσεις προκύπτουν μετά από κατάλληλη επεξεργασία – ανάλυση των παρατηρήσεων, με τη χρήση του αντίστοιχου μαθηματικού μοντέλου.

Η ίδρυση ενός νέου δικτύου σε μια περιοχή, έχει σκοπό την υποστήριξη των τοπογραφικών εργασιών μέσα σε αυτή και χαρακτηρίζεται ανάλογα, με βάση το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιεί. *Εξαρτημένο*, ονομάζεται ένα δίκτυο το οποίο αποτελεί πύκνωση του υφιστάμενου κρατικού δικτύου και για τη δημιουργία του ακολουθούνται προκαθορισμένοι κανόνες και παράμετροι, ενώ *ανεξάρτητο* ονομάζεται το δίκτυο που χρησιμοποιεί ένα τοπικό αυθαίρετο σύστημα αναφοράς και οι κανόνες δημιουργίας του προκύπτουν από τον σκοπό τον οποίο αυτό θα εξυπηρετεί.

Γιατί όμως χρειαζόμαστε τα δίκτυα; Η δημιουργία ενός δικτύου είναι απαραίτητη για τους πιο κάτω τουλάχιστον λόγους.

- Για να υλοποιηθεί ένα σύστημα αναφοράς μέσω της δημιουργίας ενός πλαισίου αναφοράς συντεταγμένων.
- Για την πύκνωση ενός υπάρχοντος πλαισίου αναφοράς συντεταγμένων.
- Για τον έλεγχο της ποιότητας των μετρήσεων και την ορθότητα της μοντελοποίησης τους μέσω κατάλληλων στατιστικών μεθόδων.
- Για την μελέτη διαφόρων φυσικών φαινομένων και γεωδυναμικών διεργασιών μέσω της επεξεργασίας γεωδαιτικών δεδομένων [Χ. Κωτσάκης, 2012]

## 1.1 Κατηγορίες δικτύου

Οι κατηγορίες δικτύου είναι ουσιαστικά τρεις. Τα Μονοδιάστατα ή κατακόρυφα δίκτυα ή υψομετρικά, στα οποία ανήκουν τα δίκτυα γεωμετρικής χωροστάθμησης, απλής τριγωνομετρικής υψομετρίας, τριγωνομετρικής υψομετρίας ακριβείας (ΤΡΥΑ) και τα μικτά. Τα Διδιάστατα ή δίκτυα οριζοντίου ελέγχου, σε τοπογραφικό ή προβολικό επίπεδο, τοπογραφικές συντεταγμένες (x, y), τριγωνομετρικά δίκτυα, τριπλευρικά δίκτυα, μικτά

δίκτυα, οδεύσεις (πολυγωνικό δίκτυο) κλπ και η τρίτη κατηγορία τα τριδιάστατα δίκτυα, όπως τα δίκτυα GPS, με γεωδαιτικές συντεταγμένες ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ), μικρά τριδιάστατα δίκτυα π.χ. για αποτυπώσεις μνημείων, παρακολούθηση μικρομετακινήσεων κλπ.

### 1.1.1 Δίκτυα οριζοντίου ελέγχου

Ως *οριζόντιο ή οριζοντιογραφικό δίκτυο ελέγχου*, ορίζεται το δίκτυο του οποίου είναι γνωστές ή προσδιορίζονται με κατάλληλες μετρήσεις οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες  $x$ ,  $y$  των κορυφών του. Το δίκτυο αυτό μπορεί να είναι τοπικό-αυθαίρετο ή ενταγμένο στο κρατικό σύστημα συντεταγμένων.

Τα μετρούμενα μεγέθη σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι οι οριζόντιες διευθύνσεις, τα μήκη και οι αντίστοιχες κατακόρυφες γωνίες μεταξύ των κορυφών. Από τα μεγέθη αυτά υπολογίζονται οι οριζόντιες γωνίες και οι αποστάσεις, απαιτούμενα στοιχεία για την επίλυση του δικτύου.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με βάση πάντα την απαιτούμενη ακρίβεια και το σκοπό κατασκευής του δικτύου, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται κάποιες τεχνικές οι οποίες βοηθούν στον έλεγχο των αποτελεσμάτων, τον εντοπισμό σφαλμάτων, ανεξάρτητα από την πηγή την οποία προέρχονται, όπως χονδροειδή, συστηματικά και τυχαία. Οι τεχνικές αυτές συνδέονται με τον τρόπο μέτρησης των γωνιών (πρώτη δευτέρα θέση του τηλεσκοπίου), τον αριθμό των περιόδων, τον τρόπο μέτρησης ύψους οργάνου και στόχου, τον τρόπο οριζοντίωσης του στόχου κλπ.

Με την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου, μια ακόμα σειρά ελέγχων πραγματοποιούνται με σκοπό πάντα την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την εκτίμηση του επιπέδου ακρίβειας του τελικού αποτελέσματος. Αυτοί συνδέονται με την εξαγωγή των μέσων όρων, των καλύτερων τιμών των μετρήσεων και το κλείσιμο τριγώνων, αποτελέσματα που είναι καθοριστικά για την απόφαση συνόρθωσης του δικτύου ή επιστροφής στο πεδίο για επανάληψη των μετρήσεων.

Η επίλυση του δικτύου με την εφαρμογή του ανάλογου μαθηματικού μοντέλου και ο προσδιορισμός των τιμών των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων  $x, y$  των κορυφών του δικτύου και των αβεβαιοτήτων τους είναι το επόμενο βήμα στη διαδικασία για την ολοκλήρωση των υπολογισμών, αντικείμενο που αναλύεται στην συνέχεια της εργασίας αυτής, στην ενότητα 4.2.

### 1.1.2 Δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου

Ορίζονται από ένα πλέγμα υψομετρικών οδεύσεων και συνδέονται με κορυφές του Εθνικού υψομετρικού δικτύου αν πρόκειται για κρατικό δίκτυο, ή με κορυφές γνωστού υψομέτρου αν πρόκειται για ανεξάρτητο δίκτυο. Απαραίτητη προϋπόθεση, κάθε νέα κορυφή να συνδέεται με τουλάχιστον τρεις(3) άλλες.[Γ. Πανταζής, 2011]

Για την μέτρηση του δικτύου αυτού απαιτούνται παρατηρήσεις υψομετρικών διαφορών όσον αφορά τη γεωμετρική χωροστάθμηση και παρατηρήσεις ζενιθίων γωνιών και μηκών για τις άλλες μεθόδους.

Και σε αυτή την περίπτωση όπως και προηγουμένως εφαρμόζονται κάποιες τεχνικές ελέγχου με σκοπό τη διασφάλιση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Όσον αφορά την μέτρηση με χωροβάτη, για τον έλεγχο της επίδρασης της διάθλασης, τοποθετείται πάντα ο χωροβάτης στο μέσο της περιοχής μέτρησης, ενώ στον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό, όπως και στα δίκτυα οριζοντίου ελέγχου χρησιμοποιούνται αυτές οι τεχνικές, οι οποίες βοηθούν στον έλεγχο των αποτελεσμάτων, τον εντοπισμό σφαλμάτων στο πεδίο και αναφέρονται στην προηγούμενη ενότητα 2.1.1.

Όπως και στην περίπτωση των δικτύων οριζοντίου ελέγχου με την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου, πραγματοποιούνται μια ακόμα σειρά ελέγχων με σκοπό πάντα την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την εκτίμηση της αβεβαιότητας των μετρήσεων και του τελικού αποτελέσματος. Οι έλεγχοι αυτοί αφορούν στο κλείσιμο των υψομετρικών βρόγχων και τα σφάλματα που εντοπίζονται σε αυτούς, σε μια προσπάθεια απομόνωσης των προβληματικών οδεύσεων, αποτελέσματα ομοίως καθοριστικά για την συνέχιση της διαδικασίας επίλυσης του δικτύου ή επιστροφής στο πεδίο μετρήσεων.

Η επίλυση του υψομετρικού δικτύου με την εφαρμογή του ανάλογου μαθηματικού μοντέλου και η εξαγωγή των υψομέτρων των κορυφών του και των αβεβαιοτήτων τους είναι το επόμενο βήμα στην διαδικασία για την ολοκλήρωση των υπολογισμών, αντικείμενο που περιλαμβάνεται στην συνέχεια της εργασίας αυτής στην παράγραφο 4.1.1.

### 1.1.3 Τριδιάστατα Δίκτυα

Ως τριδιάστατο δίκτυο ορίζεται το δίκτυο του οποίου είναι γνωστές ή προσδιορίζονται με κατάλληλες μετρήσεις οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες  $x$ ,  $y$  και τα υψόμετρα των κορυφών του  $H(z)$  ή  $X, Y, Z$  γεωκεντρικές συντεταγμένες

Ως επίγειο τριδιάστατο δίκτυο, αντικείμενο που αποτελεί και το θέμα της εργασίας αυτής, ορίζεται το δίκτυο του οποίου είναι γνωστές ή προσδιορίζονται με κατάλληλες μετρήσεις οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες  $x$ ,  $y$  και τα υψόμετρα των κορυφών του με ταυτόχρονη επίλυση. Το δίκτυο αυτό συνήθως είναι τοπικό-αυθαίρετο και όχι ενταγμένο στο κρατικό σύστημα συντεταγμένων.

Σε ένα τριδιάστατο δίκτυο πραγματοποιούνται μετρήσεις οριζοντίων διευθύνσεων, μηκών, κατακόρυφων ή ζενίθιων γωνιών και υψομετρικών διαφορών.

Κατά τη διάρκεια αυτών των μετρήσεων και με δεδομένο ότι στην περίπτωση του τριδιάστατου δικτύου η απαιτούμενη ακρίβεια είναι η μέγιστη από όλες τις άλλες κατηγορίες, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται εκείνες οι τεχνικές οι οποίες αποδίδουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Η επιλογή του κατάλληλου οργάνου καθορίζει αποφασιστικά στο τελικό αποτέλεσμα και έτσι όργανα υψηλής ακρίβειας είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται σε αυτές τις περιπτώσεις. Επιπλέον πέραν από την επιλογή ανάλογου εξοπλισμού μεγάλη σημασία έχει ο τρόπος κέντρωσης του εξοπλισμού, ο τρόπος μέτρησης ύψους οργάνου/στόχου καθώς επίσης και ο τρόπος οριζοντίωσης του στόχου.

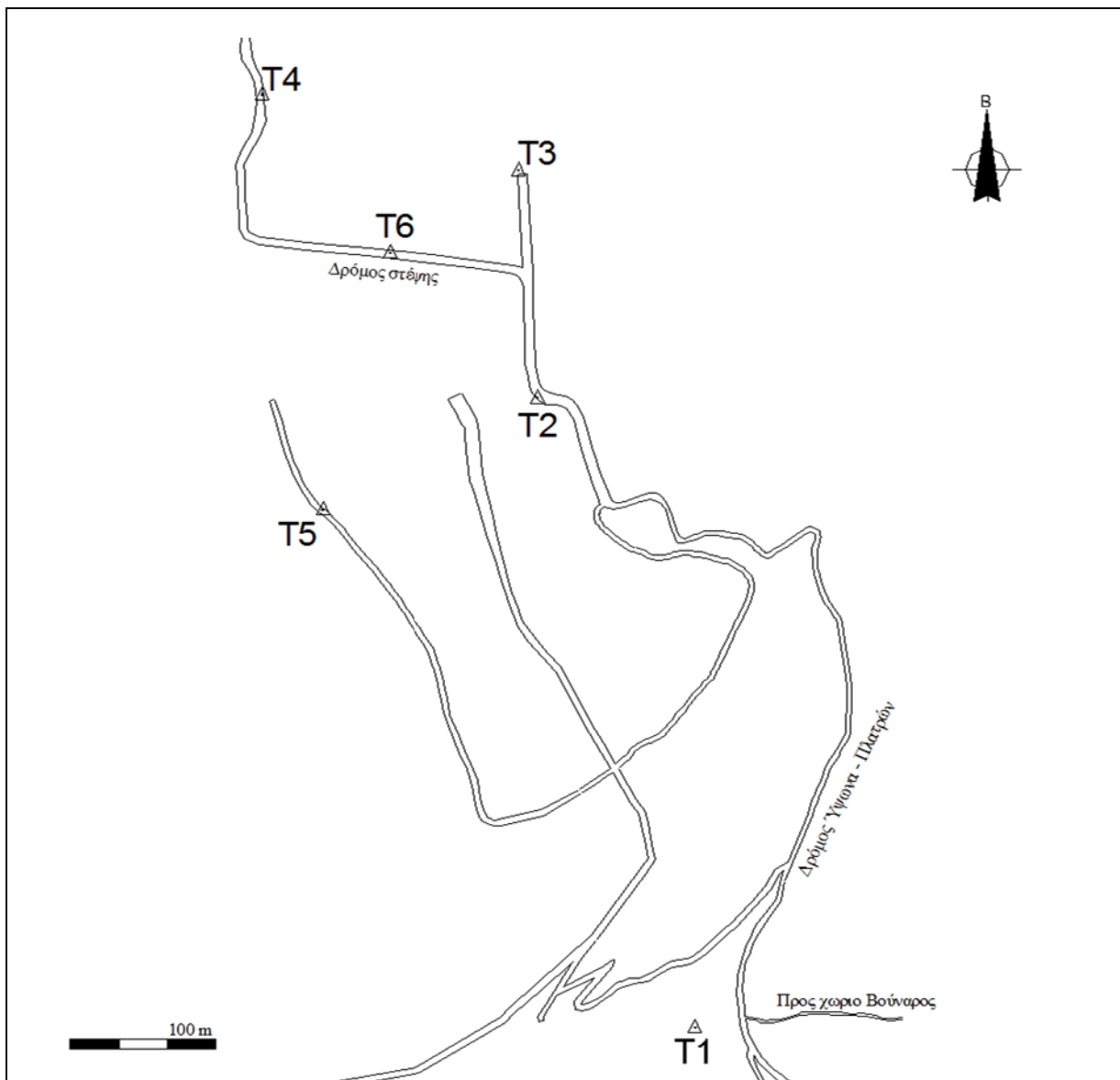
Με την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου, μια ακόμα σειρά ελέγχων πραγματοποιούνται με σκοπό πάντα την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την εκτίμηση του επιπέδου ακρίβειας του τελικού αποτελέσματος. Αυτή την φορά έχουν να κάνουν, με ένα συνδυασμό ελέγχων τόσο στο οριζοντιογραφικό κομμάτι των δεδομένων όσο και στο υψομετρικό. Εκτός από την εξαγωγή των μέσων όρων, των καλύτερων τιμών των μετρήσεων και το κλείσιμο τριγώνων, σε αυτή την περίπτωση έχουν να κάνουν και με το κλείσιμο των βρόγχων στο υψομετρικό. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, τα αποτελέσματα είναι καθοριστικά για την συνέχιση της διαδικασίας επίλυσης του δικτύου ή επιστροφής στο πεδίο μετρήσεων.

Η διαδικασία συνόρθωσης γίνεται και αυτή τη φορά με την εφαρμογή του ανάλογου μαθηματικού μοντέλου και την εξαγωγή των τιμών τόσο των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου όσο και των υψόμετρων που έχουν υπολογιστεί. Η παρουσίαση και ο τρόπος εφαρμογής του μοντέλου αυτού περιλαμβάνεται στην συνέχεια της εργασίας αυτής, στην ενότητα 4.3.

Που χρησιμοποιούνται όμως τα Τριδιάστατα δίκτυα; Μερικά παραδείγματα ακολουθούν.

- για την παρακολούθηση παραμορφώσεων ή μετακινήσεων τεχνικών έργων και κατασκευών όπως υδατοφράκτες (εικόνα 1), γέφυρες, κλπ
- Σε μετρήσεις βιομηχανικής γεωδαισίας.
- Στη χάραξη τεχνικών έργων(σιδηροδρομικών γραμμών, σηράγγων κλπ)

Στις περιπτώσεις αυτές και εφόσον το μέγεθος των πλευρών του δικτύου είναι της τάξης του 1Km τότε μπορεί να επιλυθεί ταυτόχρονα και στις τρεις διαστάσεις (τριδιάστατο δίκτυο). [Χ. Κωτσάκης, 2012].



Εικόνα 1: Τα σημεία ελέγχου ενός γεωδαιτικού δικτύου τριδιάστατου ελέγχου στον υδατοφράκτη Κούρη [Κ.Τέμενος διπλ. 2007]

## 2 Το τριδιάστατο δίκτυο στον Η/Σ Βασιλικό της ΑΗΚ

### 2.1 Περιγραφή δικτύου

Το δίκτυο με το οποίο καταπιάνεται η εργασία αυτή, αποτελείται από εννέα (9) κορυφές. Ιδρύθηκε με πρώτο στόχο την υποστήριξη των κατασκευαστικών εργασιών της βιομηχανικής μονάδας μέσα στην οποία έχει εγκατασταθεί. Ο τρόπος κατασκευής και επίλυσής του δίνει την δυνατότητα να υποστηρίξει τον έλεγχο μετακινήσεων, τόσο των κατασκευών όσο και του περιβάλλοντα χώρου. Έχει μετρηθεί με επίγειες και δορυφορικές μεθόδους γεγονός που προσδίδει μεγαλύτερη αξιοπιστία, αφού η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων επιβεβαιώνει το επίπεδο της ακριβείας του.

#### 2.1.1 Περιοχή εγκατάστασης

Η περιοχή εγκατάστασης του δικτύου βρίσκεται στη δυτική παραλιακή ζώνη της επαρχίας Λάρνακας κοντά στην κοινότητα Μαρί στο χώρο των εγκαταστάσεων του θερμοηλεκτρικού σταθμού "Βασιλικός" (εικόνα. 2).



Εικόνα 2: Περιοχή μελέτης

Ο θερμοηλεκτρικός σταθμός της ΑΗΚ στο Μαρί (εικόνα 3) αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα έργα υποδομής της Κυπριακής Δημοκρατίας. Οι χερσαίες εγκαταστάσεις του, καλύπτουν έκταση μεγαλύτερη των 40 εκταρίων. Στον χώρο αυτό αναπτύσσονται οι εγκαταστάσεις πέντε (5) μονάδων παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας, μαζί με όλη την απαραίτητη υποδομή για την αποθήκευση καυσίμων, η οποία εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του σταθμού και ικανοποιεί τις βασικές ανάγκες σε καύσιμα.



**Εικόνα 3: Θερμοηλεκτρικός σταθμός "Βασιλικός" στο Μαρί**

Η ανέγερση του θερμοηλεκτρικού σταθμού, ξεκίνησε το 1996, με τη πρώτη φάση του έργου, η οποία περιελάμβανε τις δύο πρώτες μονάδες παραγωγής, συνέχισε με την δεύτερη φάση για την τρίτη μονάδα, λίγο αργότερα και θα ολοκληρωνόταν με την κατασκευή της τέταρτης και πέμπτης μονάδας το καλοκαίρι του 2011.

Λίγο πριν την ολοκλήρωση των εργασιών και συγκεκριμένα στις 11 Ιουλίου το 2011, μετά από μια μεγάλη έκρηξη που συνέβη σε κοντινές στρατιωτικές εγκαταστάσεις, ο σταθμός σταμάτησε να λειτουργεί. Η έκρηξη κατέστρεψε τις βασικές υποδομές λειτουργίας του σε τέτοιο βαθμό, που η επιδιόρθωση των ζημιών συνεχίζεται ακόμη μέχρι σήμερα (Μάιος 2013).

### **2.1.2 Εγκατάσταση τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου**

Η ανάγκη για ανακατασκευή του σταθμού, οδήγησε την Αρχή Ηλεκτρισμού στην άμεση ίδρυση τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου ακριβείας, με κύριο στόχο τον έλεγχο της καταλληλότητας των κατεστραμμένων κτηρίων, την υποστήριξη των κατασκευαστικών εργασιών αλλά και την μελλοντική παρακολούθηση των μετακινήσεων τόσο των κατασκευών, όσο και του περιβάλλοντα χώρου.

Το δίκτυο που ιδρύθηκε αποτελείται από εννέα (9) σημεία. Τα επτά (7) από αυτά είναι υλοποιημένα με τσιμεντένια βάθρα (εικόνα 4), εκ των οποίων τα τέσσερα (4) τοποθετήθηκαν περιμετρικά του σταθμού ενώ τα άλλα τρία(3), περίξ του κεντρικού πυρήνα ανάπτυξης των εγκαταστάσεων.



**Εικόνα 4: Τσιμεντένιο βάθρο πριν και μετά τη βαφή**

Το όγδοο, μια πλάκα κατασκευασμένη από ανοξείδωτο ατσάλι τοποθετήθηκε στο πλευρό της τσιμεντένιας καμινάδας (εικόνα 5), σε ύψος 30m από το έδαφος, ενώ το ένατο, μια γαλβανισμένη μεταλλική κολόνα (εικόνα 6), έξω από την περιοχή των κυρίων εγκαταστάσεων, πάνω σε μια μονολιθική κατασκευή ύψους 4-5m από το έδαφος σε απόσταση περίπου 500m από το κεντρικό πυρήνα του σταθμού. Το σημείο αυτό επελέγη και ως το πλέον σταθερό σημείο του δικτύου.



**Εικόνα 5: Μεταλλική πλάκα που υλοποιεί σημείο του δικτύου**





**Εικόνα 6: Μεταλλικό βάθρο**

Για την σκυροδέτηση των βάθρων αυτών χρησιμοποιήθηκε πλαστική σωλήνα ύψους 1.30m και διαμέτρου 25cm. Η πλαστική σωλήνα γέμισε με οπλισμένο σκυρόδεμα και στο πάνω μέρος της τοποθετήθηκε στρόγγυλη μεταλλική βάση (Εικόνα 7), από ανοξείδωτο ατσάλι διαμέτρου 18cm. Η μεταλλική βάση έχει στο κάτω μέρος της μια προεξοχή για την αγκύρωση της μέσα στο μπετόν στην κορυφή του βάθρου.



**Εικόνα 7: Στρόγγυλη μεταλλική βάση μαζί με το προστατευτικό πώμα του κοιλία κέντρωσης.**

Στο πάνω μέρος της στο κέντρο της επιφάνειας, υπάρχει προεξοχή με βίδα 5/8 της ίντσας, διάμετρος η οποία χρησιμοποιείται από όλα τα γνωστά τοπογραφικά όργανα, όπου επάνω μπορεί να βιδωθούν με εξαναγκασμένη κέντρωση τόσο δέκτες του δορυφορικού συστήματος όσο και οποιοσδήποτε ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός.

Για την προστασία του τσιμέντου από τη διάβρωση, η σωλήνα/καλούπι δεν έχει αφαιρεθεί από τα βάθρα, αντίθετα έχει βαφτεί με κατάλληλη μπογιά και έχει επικολληθεί σε αυτή φωσφορούχα ταινία για τον καλύτερο εντοπισμό του βάθρου στον χώρο και προστασία από τυχόν διακινούμενα μηχανήματα σε συνθήκες σκότους. Επιπλέον σε κάθε βάθρο έχει τοποθετηθεί υψομετρική αφετηρία (reper), για μελλοντική ολοκλήρωση του δικτύου με επιπλέον υψομετρική πληροφορία.

### 2.1.3 Ονομασία των κορυφών του δικτύου

Για την ονομασία των κορυφών του δικτύου, εκτός από την αρίθμησή τους, χρησιμοποιήθηκαν χαρακτηριστικά σημεία του χώρου με σκοπό τον εύκολο προσδιορισμό της θέσης τους με βάση τις εγκαταστάσεις του σταθμού. Τα ονόματα εμφανίζονται με λατινικούς χαρακτήρες με σκοπό την εύκολη συνεννόηση, με το μεγάλο αριθμό των ξενόγλωσσων εν δυνάμει χρηστών του, οι οποίοι εργάζονται κατά καιρούς στις εταιρίες κατασκευής και συντήρησης του σταθμού.

Αριθμός σημείου	Ονομασία
1	SUBMARINE
2	Parking
3	Thalassa
2	Skopia
5	Kratiras
6	Pefka
7	Day Tank
8	Pumphouse
9	Kaminada

Πίνακας 1: Ονομασίες κορυφών του δικτύου

Η επιλογή των πιο πάνω θέσεων έγινε επίσης με σκοπό την δυνατότητα μέτρησης του δικτύου, τόσο με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό, όσο και με δέκτες του δορυφορικού συστήματος, γεγονός που έπρεπε να διασφαλίζει οπτική επαφή μεταξύ τους, αλλά και

ορατότητα ουρανού, μακριά όσον αυτό ήταν δυνατό από ψηλές μεταλλικές κατασκευές και εμπόδια. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα με μια πρώτη ματιά στην δορυφορική εικόνα της περιοχής όπου απεικονίζεται το δίκτυο (εικόνα 8).



**Εικόνα 8: Τα σημεία ελέγχου του γεωδαιτικού δικτύου τριδιάστατου ελέγχου.**

### 3 Μέτρηση του δικτύου με τη χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού

#### 3.1 Εξοπλισμός

Για τη μέτρηση του δικτύου χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός από την Αρχή Ηλεκτρισμού και το ΤΕΠΑΚ. Και στις δύο περιπτώσεις πρόκειται για εξοπλισμό της εταιρείας *Leica Geosystems*, τόσο για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό, όσο και τα παρελκόμενα. Για την καταγραφή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε υπολογιστής πεδίου της εταιρείας *Getac*, μοντέλο B300.

##### 3.1.1 Όργανα μετρήσεων

Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ο TCR1202+ (εικόνα 9), ακρίβειας δηλαδή  $\pm 2''$  ( $\pm 6''$ ) στις μετρήσεις γωνιών και  $\pm 1\text{mm} \pm 1.5\text{ppm}$  στη μέτρηση μηκών, με δυνατότητα μέτρησης και χωρίς ανακλαστήρα.



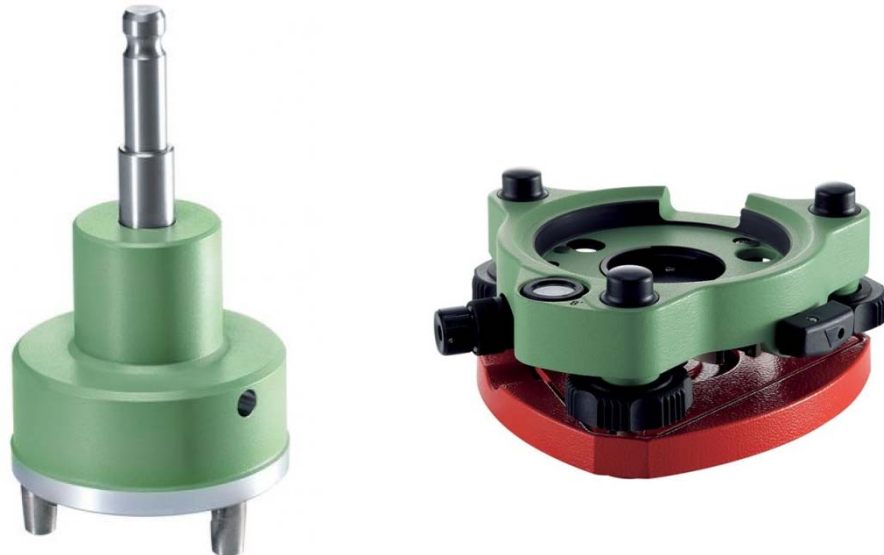
Εικόνα 9: Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TCR1202+

### 3.1.2 Παρελκόμενα

Οι ανακλαστήρες που χρησιμοποιήθηκαν, είναι τύπου GRP121, με συρόμενο φτερό, χρώματος μαυροκίτρινου και GRP111(εικόνα 10). Για την στήριξη τους χρησιμοποιήθηκε αντάπτορας GRT144 και τρικόγλιο GDF112 με δυνατότητα οπτικής κέντρωσης(εικόνα 11).



**Εικόνα 10: Ο ανακλαστήρας GRP121 αριστερά και GRP 111 δεξιά**



**Εικόνα 11: Ο αντάπτορας GRT144 και το τρικόγλιο GDF112**

Για την καταγραφή των μετρήσεων εκτός από την μνήμη του οργάνου, χρησιμοποιήθηκε όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο υπολογιστής πεδίου Getac, μοντέλο B300 (εικόνα 12), με σκοπό τον έλεγχο των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.



**Εικόνα 12: Ο υπολογιστής πεδίου Getac, μοντέλο B300**

## **3.2 Μεθοδολογία μετρήσεων**

Στην ενότητα που ακολουθεί περιγράφεται ο τρόπος διεξαγωγής των εργασιών πεδίου περιλαμβάνοντας όλες τις σημαντικές ενέργειες από την στιγμή της άφιξης στο κάθε σημείο μέτρησης, μέχρι και την εξαγωγή και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων.

Με δεδομένο ότι το υπό μέτρηση δίκτυο έχει σκοπό να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο μικρομετακινήσεων, όλες οι ενέργειες κατά τη διαδικασία των μετρήσεων έχουν προσαρμοστεί αναλόγως, με στόχο την επίτευξη αποτελέσματος μέγιστης δυνατής ακρίβειας ακόμα και κατά τη διάρκεια των επιμέρους εργασιών.

### **3.2.1 Προκαταρτικές ενέργειες και περιγραφή της μεθόδου**

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως το δίκτυο αποτελείται από εννέα (9) κορυφές. Παρόλο που κατά την φάση της εγκατάστασης, έγινε μεγάλη προσπάθεια για επίτευξη ορατότητας ανάμεσα σε όλες τις κορυφές του δικτύου, αυτό δεν κατέστη δυνατό σε όλες τις περιπτώσεις. Με αυτό το δεδομένο και λαμβάνοντας υπόψη τις μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των κορυφών αλλά και την περιορισμένη διαθεσιμότητα ανακλαστήρων, αποφασίστηκε η διεξαγωγή μιας δοκιμαστικής σειράς μετρήσεων, αφιερώνοντας μια ολόκληρη μέρα, με σκοπό αφενός, την εξοικείωση με την διαδικασία των μετρήσεων και αφετέρου την εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου για την ολοκλήρωσή τους.

Η πρώτη επίσκεψη έγινε το πρωί της 24<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 2012, ξεκινώντας με την εφαρμογή και εξοικείωση με την μέθοδο μέτρησης του ύψους οργάνου και στόχου με την χρήση ψηφιακού χωροβάτη [Ε.Λάμπρου, Γ.Πανταζής].

Η μέθοδος αυτή, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 3.2.1.1 που ακολουθεί, εφαρμόζεται για τον περιορισμό της αβεβαιότητας στην μέτρηση των υψών οργάνου/στόχου, που κατά γενική ομολογία ευθύνεται για την υποβάθμιση της ακρίβειας τέτοιου είδους εργασιών, αφού οι συμβατικές μέθοδοι δεν είναι ακριβείς και δεν μπορούν να δώσουν αποτελέσματα με αβεβαιότητα μικρότερη των  $\pm 5\text{mm}$ , γεγονός που τις καθιστά ακατάλληλες για δίκτυα ελέγχου μικρομετακινήσεων.

Στη συνέχεια για την διεξαγωγή των πρώτων μετρήσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου, έγινε τοποθέτηση του οργάνου στο σημείο 2-Parking και δύο ανακλαστήρων στο σημείο 1-Submarine και 3-Thalassa εφαρμόζοντας την μέθοδο μέτρησης ύψους οργάνου/στόχου που προαναφέρθηκε.

Οι μετρήσεις που έγιναν καταγράφηκαν στην μνήμη του οργάνου καθώς επίσης και στον υπολογιστή πεδίου σε περιβάλλον Excel σε ένα προκατασκευασμένο πίνακα μέσα από τον οποίο μπορούν να ελεγχθούν οι διαφορές μεταξύ των θέσεων του τηλεσκοπίου (I & II θέση) και των δύο περιόδων των μετρήσεων.

Στο φύλλο αυτό της Excel καταγράφονται επίσης και ενδείξεις υγρασίας και θερμοκρασίας για κάθε μέτρηση οι οποίες χρησιμοποιούνται για τις αντίστοιχες αναγωγές.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα της πρώτης μέρας φάνηκε η μεγάλη επίδραση στα αποτελέσματα, των μεγάλων διακυμάνσεων υγρασίας /θερμοκρασίας. Διαπιστώθηκε επίσης η δυσκολία διεξαγωγής της εργασίας μετά της δέκα (10), το πρωί, λόγω της αυξημένης εξάτμισης και της διάθλασης που αυτή προκαλεί, εμποδίζοντας τον εντοπισμό του ανακλαστήρα .

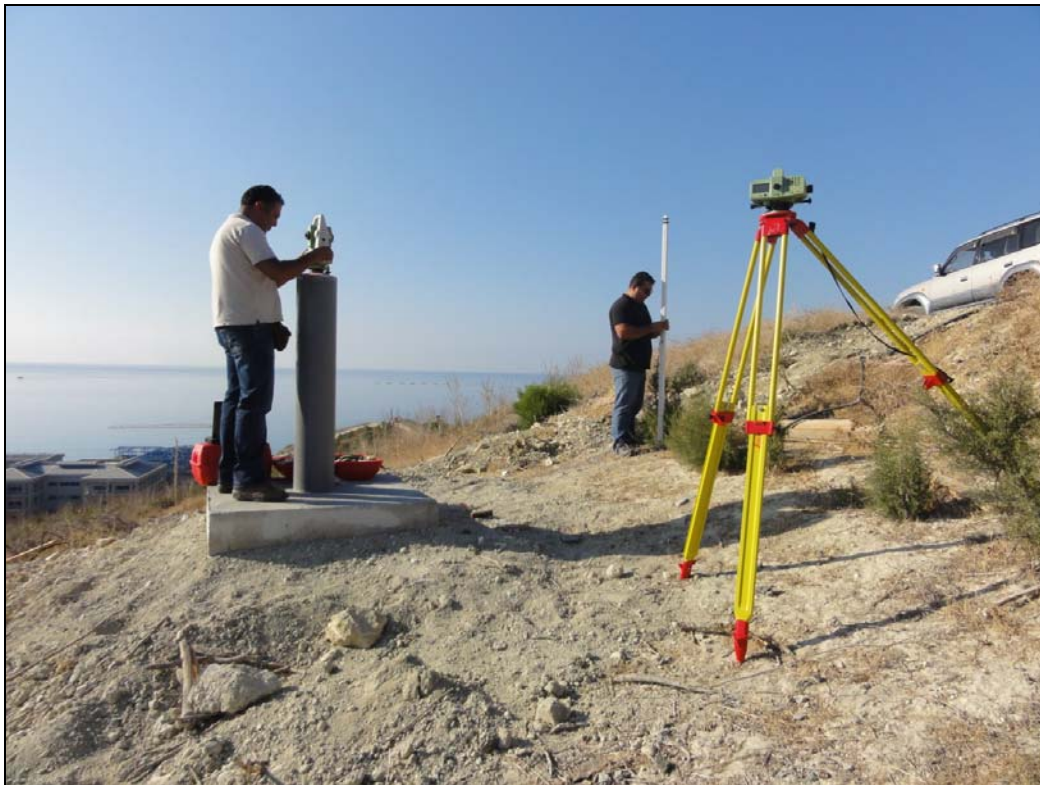
Με αυτά τα δεδομένα, οι μετρήσεις προγραμματίστηκαν να εκτελούνται απογευματινές ώρες, όπου ο ρυθμός μείωσης της θερμοκρασίας είναι αργός και η επίδραση στις μετρήσεις μπορεί να ελεγχθεί πιο εύκολα. Επίσης το απόγευμα ειδικά μετά τις τέσσερις (4) η διάθλαση δεν ενοχλεί ιδιαίτερα την σκόπευση, ενώ η εξάτμιση είναι περιορισμένη.

### 3.2.1.1 Μέτρηση ύψους οργάνου/στόχου

Η διαδικασία μέτρησης ύψους του οργάνου/στόχου με ακρίβεια χιλιοστού απαιτεί την χρήση του πιο κάτω εξοπλισμού.

- ψηφιακός χωροβάτης
- χωροσταθμική βάση
- σταδία διπλής όψεως(ψηφιακή/αναλογική)
- ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός

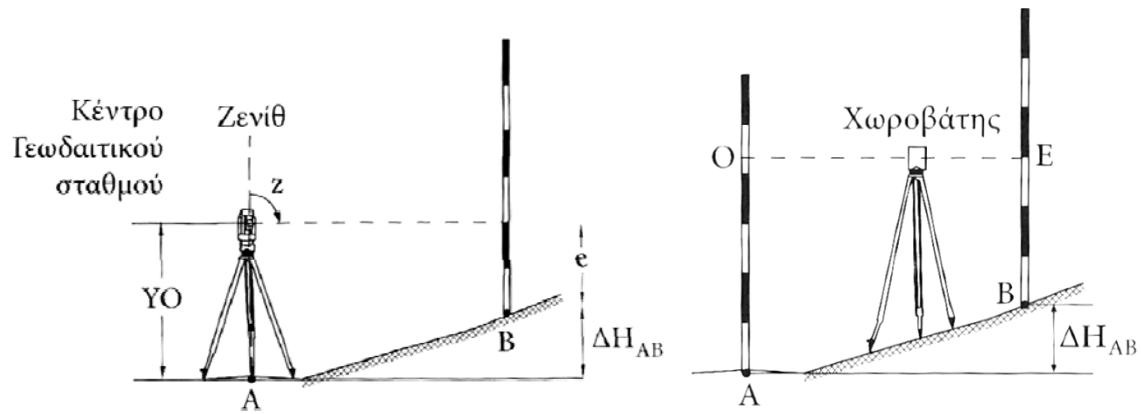
Για την μέτρηση του ύψους τοποθετείται ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός επάνω στον κοχλία εξαναγκασμένης κέντρωσης του σημείου ελέγχου. Στην συνέχεια αφού οριζοντιωθεί το όργανο ρυθμίζεται το τηλεσκόπιο σε οριζόντια θέση( $100^{\circ}$ ) και σκοπεύεται η αναλογική πλευρά της σταδίας, η οποία έχει τοποθετηθεί σε κάποιο σταθερό σημείο (χωροσταθμική βάση) σε απόσταση όχι μεγαλύτερη των δέκα(10) μέτρων από το όργανο, σε πρώτη και δεύτερη θέση του τηλεσκοπίου (Εικόνα 13). Με αυτό τον τρόπο προκύπτει το ύψος του οργάνου  $e$ , από την χωροσταθμική βάση(Εικόνα 13α). Τελικά  $e = \frac{e^I + e^{II}}{2}$



Εικόνα 13: Μέτρηση του ύψους του οργάνου από τη χωροσταθμική βάση



Στην συνέχεια, τοποθετείται ο ψηφιακός χωροβάτης στο μέσο περίπου της απόστασης χωροσταθμικής βάσης και σημείου ελέγχου. Αφού οριζοντιωθεί το όργανο, περιστρέφεται η σταδιά έτσι ώστε η ψηφιακή πλευρά της(barcode) να κοιτάζει τον χωροβάτη και λαμβάνει μέτρηση έμπροσθεν (E) από την χωροσταθμική βάση(Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Ακριβής προσδιορισμός του ύψους του οργάνου –στόχου[Γ.Πανταζής]



Εικόνα 15: Μέτρηση του ύψους της σκοπευτικής γραμμής του χωροβάτη

Περιστρέφεται μετά ο χωροβάτης προς την νέα θέση της σταδίας η οποία τοποθετείται επάνω στην οριζόντια πλάκα στην κορυφή του σημείου ελέγχου δίπλα στην βάση του τρικογλίου και λαμβάνεται μέτρηση Όπισθεν (Ο), (Εικόνα 16). Να σημειωθεί ότι προηγουμένως αφαιρείται προσεκτικά ο γεωδαιτικός σταθμός από το τρικόγλιο χωρίς αυτό να μετακινηθεί.

Υπολογίζεται η υψομετρική διαφορά  $\Delta H_{AB}=O-E$  (εικόνα 13α) και έτσι προκύπτει το ύψος του οργάνου  $YO$ , ως το άθροισμα των  $e$  και  $\Delta H_{AB}$ , δηλαδή:

$$YO = e + \Delta H_{AB}$$

Σε αυτή την περίπτωση η αβεβαιότητα προσδιορισμού του ύψους του οργάνου είναι ίση με  $\pm 0.3\text{mm}$ , αν θεωρηθεί ότι :

- η αβεβαιότητα των αναγνώσεων πάνω στην σταδία είναι  $\pm 0.1\text{mm}$  χρησιμοποιώντας ψηφιακό χωροβάτη και σταδίες
- η αβεβαιότητα ανάγνωσης  $e$ , του παρατηρητή πάνω στην σταδία μέσω του γεωδαιτικού σταθμού (ως χωροβάτη) είναι  $\pm 0.25\text{mm}$  [Γ. Πανταζής].

Με δεδομένο ότι οι κατακόρυφες διαστάσεις γεωδαιτικού σταθμού και ανακλαστήρα είναι όμοιες για το συγκεκριμένο σύστημα, έχει ταυτόχρονα υπολογιστεί και το ύψος του στόχου. Έτσι μπορεί να τοποθετηθεί ο ανακλαστήρας προσεκτικά με το στυλεοδάκι πάνω στο τρικόγλιο του σημείου ελέγχου και το σημείο είναι έτοιμο για μετρήσεις(Εικόνα 17).



Εικόνα 16: Λήψη μέτρησης στην μεταλλική πλάκα(βάση τρικογλίου)



**Εικόνα 17: Ανακλαστήρας έτοιμος για μέτρηση**

### **3.2.2 Ανάλυση διαδικασίας των μετρήσεων**

Ακολουθώντας τις διαδικασίες που περιγράφονται στις προηγούμενες παραγράφους, έχοντας προετοιμάσει και εγκαταστήσει αναγκαίο αριθμό ανακλαστήρων στις ορατές από το κάθε σημείο μέτρησης κορυφές, πραγματοποιούνται οι μετρήσεις.

Για την διευκόλυνση της διαδικασίας και την ευκολότερη διαχείριση των αποτελεσμάτων εισάγονται στο γεωδαιτικό σταθμό συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου, όπως αυτές έχουν υπολογιστεί από την επίλυση των δορυφορικών μετρήσεων. Έτσι είναι δυνατός ο εντοπισμός και η αποφυγή χονδροειδών σφαλμάτων κατά τη διάρκεια των σκοπεύσεων.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με την μέθοδο των πλήρων περιστροφών. Ξεκινούν όπου αυτό είναι εφικτό, με "μηδενισμό" στο σημείο 1-Submarine, με πρώτη θέση του τηλεσκοπίου και ακολουθώντας την φορά των δεικτών του ρολογιού καταλήγουν στο αρχικό σημείο ολοκληρώνοντας τον οριζόντιο κύκλο του οργάνου. Η τεχνική αυτή μας δίνει την δυνατότητα ενός προκαταρκτικού ελέγχου της κατάστασης του οργάνου διαμέσου της διεξαγωγής των μετρήσεων και την αποφυγή όπως και προηγουμένως χονδροειδών σφαλμάτων. Σε κάθε σκοπευόμενο σημείο γίνεται καταγραφή του ύψους οργάνου, ύψους στόχου, οριζόντιας και κατακόρυφης γωνίας και της κεκλιμένης απόστασης(μήκος) στον υπολογιστή πεδίου.

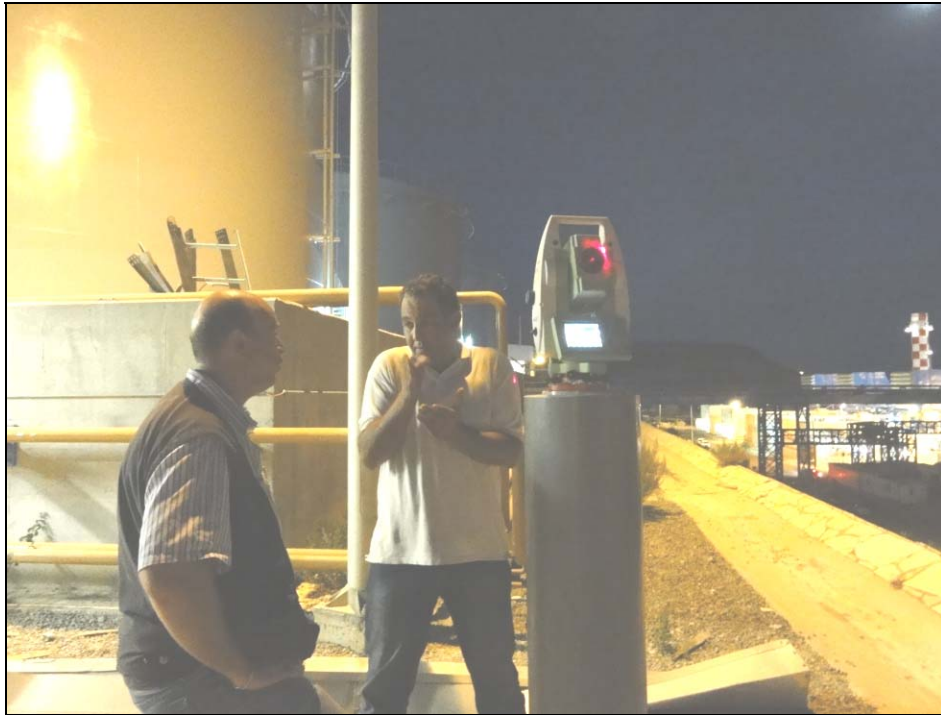
Στη συνέχεια με αντίθετη φορά από προηγουμένως, με το τηλεσκόπιο σε δεύτερη θέση, ξεκινώντας πάλι από το αρχικό σημείο, ολοκληρώνεται ο κύκλος καταλήγοντας και πάλι στο σημείο αρχής. Στη διάρκεια αυτής της φάσης των μετρήσεων και με δεδομένο ότι οι μετρήσεις καταγράφονται στο φύλλο ελέγχου της *Excel* στον υπολογιστή πεδίου, γίνονται οι συγκρίσεις με τις μετρήσεις της πρώτης θέσης και εξάγονται οι μέσες τιμές των μετρούμενων μεγεθών.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και για δεύτερη περίοδο μετρήσεων και όπως και προηγουμένως, εξάγονται οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων κάθε σκόπευσης, άμεσα με την ολοκλήρωση της κάθε δεύτερης περιόδου. Ταυτόχρονα με την ολοκλήρωση της δεύτερης περιόδου των μετρήσεων, υπολογίζεται η οριζόντια απόσταση και η υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων που συμμετέχουν στην μέτρηση.

Η πιο πάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται ανάμεσα σε όλες τις κορυφές του δικτύου και ολοκληρώνεται αφού οι μέσες τιμές και οι μέσοι όροι ικανοποιούν τα προκαθορισμένα όρια τα οποία προκύπτουν από την ακρίβεια του οργάνου.



**Εικόνα 18:** Στιγμιότυπα από τις μέρες των μετρήσεων



**Εικόνα 19: Η τεχνική υποστήριξη δεν σταματούσε ακόμα και το βράδυ**

### **3.2.3 Στατιστικά στοιχεία μετρήσεων**

Οι μετρήσεις ολοκληρώθηκαν με έξι (6) επισκέψεις στο πεδίο. Για μία κορυφή κρίθηκε αναγκαία η λήψη τρίτης και τέταρτης περιόδου μετρήσεων, λόγω αμφιβολιών στην καταγραφή των καιρικών συνθηκών και των διαφορών που εντοπίζονται μεταξύ πρώτης και δεύτερης περιόδου. Συνολικά έγιναν 218 μετρήσεις από το όργανο προς τον στόχο. Η μέτρηση ύψους οργάνου/στόχου με τον ψηφιακό χωροβάτη απαιτούσε χρόνο 10 λεπτά περίπου. Για την λήψη των μετρήσεων εργάστηκαν τις περισσότερες φορές δύο άτομα, ενώ κάποιες μέρες χρειάστηκε και τρίτο, κυρίως όταν απαιτείτο η μετακίνηση στόχων.

Συνολικά, για την διεξαγωγή των μετρήσεων χρειάστηκαν 32 ανθρωποώρες, ενώ η κατασκευή του δικτύου, η οποία κράτησε περίπου τρεις εβδομάδες, κόστισε σε υλικά και κόστος εργολάβου γύρω στις δεκατρείς (13) χιλιάδες ευρώ.

Ο έλεγχος της ποιότητας των μετρήσεων αμέσως μετά τη λήψη τους, με χρήση υπολογιστή πεδίου, δεν καθυστέρησε ιδιαίτερα την διαδικασία και αντιθέτως λειτούργησε καταλυτικά δίνοντας απαντήσεις σε περιπτώσεις αμφιβολιών διασφαλίζοντας την ποιότητα των αποτελεσμάτων.

### 3.3 Αποτελέσματα

#### 3.3.1 Πίνακας μετρήσεων

Στην ενότητα αυτή εμφανίζεται απόσπασμα από τους πίνακες των μετρήσεων του δικτύου μαζί με όλα τα υπόλοιπα στοιχεία τα απορρέουν από αυτές. Το σύνολο των αποτελεσμάτων επισυνάπτεται στο παράρτημα Α, στους πίνακες Α.1 & Α.2 στην ενότητα 8.1.1

**Πίνακας 2: Απόσπασμα μετρήσεων οριζοντίων γωνιών**

Περίοδος	Στάση	Ύψος Οργάνου	Σκόπευση Προς	Ύψος Σκόπευσης	Θέση I	Θέση II	Μέση Τιμή	Μέση ανηγμένη Τιμή	Γενικός Μ.Ο.
I	1	0.2390	2	0.2403	195.8534	395.8534	195.8534	0.0000	
I	1	0.2390	3	0.2399	190.4535	390.4535	190.4535	394.6001	<b>394.6007</b>
I	1	0.2390	8	0.2407	207.0564	7.0557	207.0561	11.2027	<b>11.2026</b>
I	1	0.2390	5	0.2409	244.7547	44.7565	244.7556	48.9022	<b>48.9021</b>
I	1	0.2390	6	0.2400	258.9032	58.8991	258.9012	63.0478	<b>63.0479</b>
I	1	0.2390	9	0.2405	223.8094	23.8104	223.8099	27.9565	<b>27.9567</b>
II	1	0.2390	2	0.2403	195.8529	395.8536	195.8533	0.0000	
II	1	0.2390	3	0.2399	190.4549	390.4541	190.4545	394.6013	
II	1	0.2390	8	0.2407	207.0573	7.0544	207.0559	11.2026	
II	1	0.2390	5	0.2409	244.7556	44.7550	244.7553	48.9021	
II	1	0.2390	6	0.2400	258.9013	58.9012	258.9013	63.0480	
II	1	0.2390	9	0.2405	223.8117	23.8087	223.8102	27.9570	

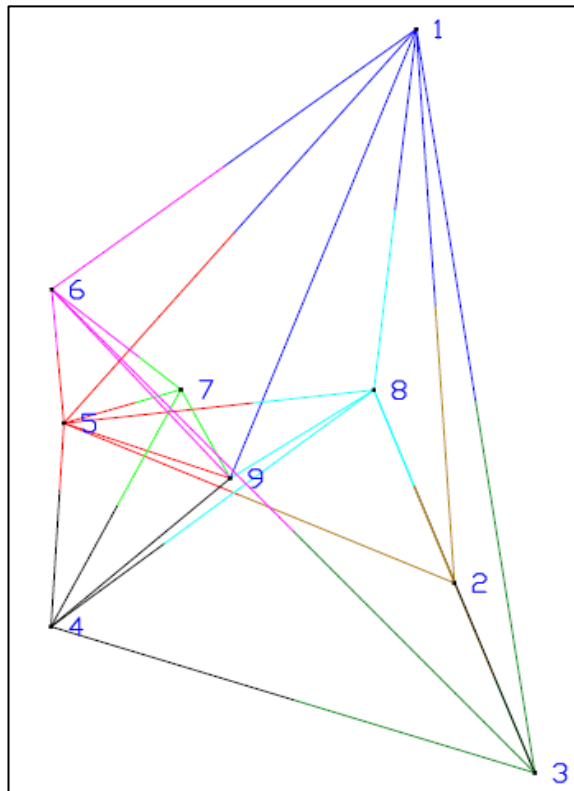
**Πίνακας 3: Απόσπασμα πίνακα ζενιθίων,μηκών, υψομετρικών διαφορών και αποστάσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου**

Από - Προς	(Z) (κατακόρυφη γωνία)	(D) Κεκλιμένο μήκος	Ύψος Οργάνου	Ύψος Σκόπευσης	(S) Οριζόντιο Μήκος	ΔΗ	(S) Μέσο	(ΔΗ) Μέσο
1-2	102.5139	620.2809	0.239	0.240	619.7973	-24.461	619.798	-24.449
2-1	97.4940	620.2788	0.240	0.239	619.7982	24.437		
1-3	101.9408	840.3397	0.239	0.240	839.9492	-25.566	839.950	-25.546
3-1	98.0696	840.3380	0.240	0.239	839.9517	25.525		
1-8	101.7390	405.6913	0.239	0.241	405.5400	-11.069	405.540	-11.062
8-1	98.2669	405.6910	0.241	0.239	405.5407	11.054		
1-5	96.9438	577.5007	0.239	0.241	576.8351	27.736	576.833	27.748
5-1	103.0631	577.5000	0.241	0.239	576.8315	-27.753		
5-1	103.0634	577.5000	0.241	0.239	576.8312	-27.755		
1-6	96.5194	483.7505	0.239	0.240	483.0275	26.451	483.025	26.449
6-1	103.4845	483.7470	0.240	0.239	483.0229	-26.448		
6-1	103.4844	483.7473	0.240	0.239	483.0232	-26.448		
2-3	100.3049	228.4943	0.240	0.240	228.4916	-1.091	228.492	-1.090
3-2	99.6976	228.4945	0.240	0.240	228.4919	1.089		
2-5	92.6563	453.1635	0.240	0.241	450.1518	52.172	450.150	52.176
5-2	107.3486	453.1640	0.241	0.240	450.1477	-52.179		

### 3.3.2 Έλεγχοι

#### 3.3.3 Προκαταρκτικοί έλεγχοι

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.1.1, στην παρουσίαση των δικτύων, μετά την λήψη των μετρήσεων ακολουθούν μια σειρά από έλεγχοι με σκοπό την αξιολόγηση των μετρήσεων και την συνέχιση της διαδικασίας συνόρθωσης. Ένας από αυτούς είναι το κλείσιμο των υψομετρικών βρόχων στην ενότητα που ακολουθεί.



Εικόνα 20: Οι συνδέσεις των κορυφών του δικτύου.

#### 3.3.4 Κλείσιμο υψομετρικών βρόγχων

Ένα υψομετρικό δίκτυο αποτελείται από κλειστούς βρόγχους ή μοναδιαία τρίγωνα. Πριν τη συνόρθωση πρέπει να ελέγχεται το κλείσιμο του κάθε βρόγχου όπου:

- Η αληθής τιμή του κλεισίματος κάθε βρόγχου είναι ίση με μηδέν.
- Η διαφορά του αθροίσματος των υψομετρικών διαφορών κάθε βρόγχου από την τιμή μηδέν, ονομάζεται σφάλμα κλεισίματος του υψομετρικού βρόγχου.



Έτσι, μπορούν να εντοπιστούν χονδροειδή σφάλματα στις μετρήσεις και να επαναληφθούν, ώστε να διορθωθούν. Επίσης από τις τιμές του κλεισίματος των βρόγχων μπορεί να εκτιμηθεί η τάξη μεγέθους της αβεβαιότητας προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών.

Ο πίνακας 4 που ακολουθεί, παρουσιάζει τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών.

**Πίνακας 4: Πίνακας κλεισίματος υψομετρικών βρόγχων**

α/α	βρόγχος	κλείσιμο (mm)	α/α	βρόγχος	σφάλμα κλεισίματος (mm)
1	1 - 2 - 3	7	13	3 - 2 - 8	-3
2	1 - 2 - 5	-18	14	1-8-4-5	-3
3	1 - 2 - 8	-7	15	1-8-2-5	-10
4	1 - 3 - 6	-7	16	1-5-4-8	3
5	1 - 3 - 8	-11	17	1-5-4-3	22
6	1 - 5 - 6	2	18	1 - 9 - 8	-9
7	1 - 5 - 8	5	19	7 - 9 - 5	-3
8	2 - 5 - 8	-5	20	5 - 9 - 4	-10
9	3 - 4 - 8	-7	21	7 - 9 - 4	-1
10	4 - 5 - 7	8	17	1-5-4-9	7
11	4 - 5 - 8	2	18	1 - 5 - 9	16
12	5 - 6 - 7	0	19	1 - 8 - 9	9

Αν στη σχέση προσδιορισμού της υψομετρικής διαφοράς  $\Delta H = D \cdot \cos z$  εφαρμοστεί ο νόμος μετάδοσης προκύπτει το σφάλμα προσδιορισμού της

$$\sigma_{\Delta H} = \sqrt{(\cos z)^2 \cdot \sigma_D^2 + (\sin z \cdot D)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_z}{\rho^{cc}}\right)^2}$$

Όπου στην περίπτωση μας είναι  $\sigma_{\Delta H} = \sqrt{(\cos z)^2 \cdot 0.002^2 + (\sin z \cdot D)^2 \cdot \left(\frac{6}{636620}\right)^2} = \pm 5\text{mm}$

Για ένα υψομετρικό βρόγχο που αποτελείται από 3 υψομετρικές διαφορές το κλείσιμο κ είναι ίσο με  $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = \kappa$

με αντίστοιχο σφάλμα  $\sigma_{\kappa} = \sqrt{\sigma_{\Delta H_1}^2 + \sigma_{\Delta H_2}^2 + \sigma_{\Delta H_3}^2} = \sqrt{3 \cdot \sigma_{\Delta H_1}^2} = \pm 8.66\text{mm}$  και για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι ίσο με  $1.96 \cdot 8.66\text{mm} = \pm 17\text{mm}$ .

Σύμφωνα με τα πιο πάνω, είναι ξεκάθαρο ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα σφάλματα στο κλείσιμο των υψομετρικών βρόγχων δεν είναι στατιστικά σημαντικά. Τα δύο τρίγωνα (1,2,5 &

1,3,8) που παρουσιάζουν ψηλότερες τιμές, προέρχονται από μετρήσεις της πρώτης μέρας από το σημείο 1-Submarine, όπου οι συνθήκες σκόπευσης δεν ήταν και οι καλύτερες ενώ τα άλλα δύο πολύγωνα(1,8,4,5 & 1,5,4,3) πέραν από το γεγονός που προαναφέρθηκε εμπλέκουν μεγαλύτερο αριθμό πλευρών(4 πλευρές) και μεγαλύτερες αποστάσεις και οι αυξημένες τιμές μπορούν να δικαιολογηθούν. Τέλος για τα τρίγωνα(5,9,4 & 1,5,9) που παρουσιάζουν αυξημένες τιμές να σημειωθεί ότι περιέχεται το σημείο 9-Kaminada, όπου οι μετρήσεις είναι μίας διεύθυνσης και το σφάλμα της διάθλασης παραμένει.

### 3.3.5 Κλείσιμο μοναδιαίων τριγώνων

Ομοίως με το κλείσιμο των υψομετρικών βρόγχων ακολουθεί το κλείσιμο των μοναδιαίων τριγώνων μεταξύ των υλοποιημένων τριγώνων του δικτύου (πίνακας 5).

**Πίνακας 5: Πίνακας κλεισίματος μοναδιαίων τριγώνων**

α/α	τρίγωνο	Κλείσιμο (cc)
1	1 – 2 – 3	18
2	1 – 2 – 5	25
3	1 – 2 – 8	11
4	1 – 3 – 6	4
5	1 – 3 – 8	17
6	1 – 5 – 6	9
7	1 – 5 – 8	25
8	2 – 5 – 8	34
9	3 – 4 – 8	1
10	4 – 5 – 7	4
11	4 – 5 – 8	6
12	5 – 6 – 7	15
13	3 – 2 – 8	10

Σε αυτή την περίπτωση το αποδεκτό σφάλμα για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ισούται με,

$$\sigma_{\kappa}(95\%) = \kappa \cdot 1.96 = \pm 20.36^{cc}$$

Όπου,  $\kappa = \alpha + \beta + \gamma$ ,  $\sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\beta}^2 + \sigma_{\gamma}^2 = \pm 6^{cc}$  και  $\sigma_{\kappa} = \sqrt{\sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\beta}^2 + \sigma_{\gamma}^2} = \sqrt{3 \cdot 6^2} = \pm 10.39^{cc}$

Με βάση τα πιο πάνω τα αποτελέσματα μπορεί να λεχθεί ότι με εξαίρεση τρία (3) τρίγωνα (1,2,5 & 1,5,8 & 2,5,8), τα σφάλματα δεν είναι στατιστικά σημαντικά.

## 4 Επίλυσεις

Η επίλυση του δικτύου έγινε χρησιμοποιώντας τις καλύτερες τιμές των μετρήσεων. Για την επίλυση του δικτύου χρησιμοποιήθηκε λογισμικό που έχει αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό από τον επίκουρο καθηγητή του ΕΜΠ, κύριο Γεώργιο Πανταζή. Η διαδικασία εκτελέστηκε με τρεις τρόπους. Μία επίλυση υψομετρική, μια δυδιάστατη και μία τριδιάστατη με βασικό σκοπό την απομόνωση και τον εντοπισμό τυχόν αδυναμιών των μετρήσεων και την εξαγωγή του καλύτερου αποτελέσματος.

### 4.1 Υψομετρική επίλυση

Η υψομετρική επίλυση του δικτύου έγινε χρησιμοποιώντας τις καλύτερες τιμές των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των κορυφών του δικτύου, χρησιμοποιώντας το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφεται στην συνέχεια. Από την επίλυση – συνόρθωση του δικτύου προσδιορίζονται τα υψόμετρα των κορυφών του και οι αντίστοιχες αβεβαιότητές τους.

#### 4.1.1 Μαθηματικό μοντέλο

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων με τις ελάχιστες δεσμεύσεις, μια σταθερή κορυφή, προσδιορίζονται:

- το υψόμετρο κάθε κορυφής του και
- η αβεβαιότητα προσδιορισμού του.

$\mathbf{m}$  = οι άγνωστοι (τα υψόμετρα των κορυφών)

$\mathbf{n}$  = οι μετρήσεις (οι μετρημένες υψομετρικές διαφορές)

$\mathbf{r} = \mathbf{n} - \mathbf{m}$  = Ο βαθμός ελευθερίας

Για κάθε υψομετρική διαφορά  $\Delta H_{ij} = H_j - H_i$  που μετράται με αποτέλεσμα  $l$ , σχηματίζεται μια εξίσωση παρατήρησης της μορφής:

$$H_j - H_i = l + v$$

Δημιουργούνται ( $\mathbf{n}$ ) τέτοιες εξισώσεις παρατήρησης, στις οποίες άγνωστοι ( $\mathbf{m}$ ) είναι τα υψόμετρα των κορυφών. Με τη μορφή πινάκων το σύστημα που επιλύεται είναι:

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

όπου:

- $\mathbf{A}$  ο πίνακας των συντελεστών των αγνώστων. Τα στοιχεία του πίνακα  $\mathbf{A}$  (διαστάσεων  $\mathbf{n} \times \mathbf{m}$ ) είναι -1, ή 1, ή 0
- $\widehat{\mathbf{X}}$  ο πίνακας στήλη των αγνώστων  $\mathbf{H}_i$ , (διαστάσεων  $\mathbf{x} = \mathbf{m} \times \mathbf{l}$ ), δηλαδή τα υψόμετρα  $\mathbf{H}$  των κορυφών.
- $\delta \mathbf{l}$  ο πίνακας στήλη των σταθερών όρων, διαστάσεων  $\mathbf{n} \times \mathbf{l}$ .

Η επίλυση του κανονικού συστήματος θεωρώντας, τις παρατηρήσεις ισοβαρείς, γίνεται με τη σχέση:

$$\widehat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \delta \mathbf{l} = \mathbf{N}^{-1} \cdot \delta \mathbf{l}$$

Όπου  $\mathbf{A}^T$  = ο ανάστροφος πίνακας του  $\mathbf{A}$

Από την επίλυση προσδιορίζονται οι τιμές των αγνώστων υψομέτρων. Ακολούθως υπολογίζονται οι τιμές των  $\mathbf{n}$  υπολοίπων (πιθανών σφαλμάτων)  $\mathbf{v}$ , χρησιμοποιώντας τη σχέση:

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

και το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους από την σχέση,  $\hat{\sigma}_o = \pm \sqrt{\frac{[\mathbf{uu}]}{\mathbf{n} - \mathbf{m}}}$

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας των αγνώστων, διαστάσεων  $\mathbf{m} \times \mathbf{m}$  από τη σχέση:

$$\mathbf{V}_x = \hat{\sigma}_o^2 \cdot \mathbf{N}^{-1}$$

Στον πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας, που είναι πίνακας τετραγωνικός και συμμετρικός, στη διαγώνιο βρίσκονται οι μεταβλητότητες (τυπικά σφάλματα) των αγνώστων, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία είναι οι συμμεταβλητότητες των αγνώστων. [Γ. Πανταζής].

$$\mathbf{V}_x = \begin{bmatrix} \sigma_{h_2}^2 & \sigma_{h_2h_3} & \sigma_{h_2h_4} & & & \\ \sigma_{h_2h_3} & \sigma_{h_3}^2 & \sigma_{h_3h_4} & & & \\ \sigma_{h_2h_4} & \sigma_{h_3h_4} & \sigma_{h_4}^2 & & & \\ & & & \dots & & \\ & & & & & \sigma_{h_r}^2 \end{bmatrix}$$

#### 4.1.2 Αποτελέσματα της υψομετρικής επίλυσης

Για την υψομετρική επίλυση του δικτύου ως σταθερή κορυφή θεωρήθηκε το σημείο 1 (Submarine) με υψόμετρο  $\mathbf{H}_1 = 35.504\mathbf{m}$ , το οποίο υπολογίστηκε με γεωμετρική χωροστάθμηση από κοντινή κορυφή N2, του παλαιού δικτύου.

Οι παρατηρήσεις θεωρήθηκαν ισοβαρείς.

Από την επίλυση του δικτύου προκύπτουν τα εξής στοιχεία :

- Τα συνορθωμένα υψόμετρα των σημείων
- Ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας των αγνώστων υψομέτρων
- Το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους

Από την επίλυση του δικτύου προκύπτει το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους ίσο με :  $\hat{\sigma}_o = \pm 1.2 \text{ mm}$ .

Έγινε έλεγχος αξιοπιστίας της λύσης για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, χρησιμοποιώντας το test  $\chi^2$ .

- Άγνωστοι : 7
- Παρατηρήσεις : 15 υψομετρικές διαφορές
- Βαθμός Ελευθερίας :  $r = 8$
- A-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους  $\hat{\sigma}_o = \pm 1.2 \text{ mm}$

Ο ολικός έλεγχος της αξιοπιστίας του δικτύου με τεστ  $\chi^2$  για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, σύμφωνα με την σχέση :

$$\frac{\hat{\sigma}_o^2 \times r}{\sigma_o^2} \leq \chi^2_{r,(1-\alpha)} \quad (1)$$

Επομένως  $\frac{\hat{\sigma}_o^2 \times r}{\sigma_o^2} \leq \chi^2_{8,0.95} \Rightarrow 11.52 < 15.51$

Από τον έλεγχο αξιοπιστίας (test  $\chi^2$ ), προκύπτει πως η αρχική υπόθεση είναι σωστή.

Στον πίνακα 6 παρατίθενται τα τελικά υψόμετρα των σημείων καθώς και οι μεταβλητότητες τους.

**Πίνακας 6: Υψόμετρα των κορυφών και αβεβαιότητες**

Σημείο	H (m)	$\sigma_H$ (mm)
1	35.504	
2	11.067	$\pm 2.7$
3	9.976	$\pm 2.8$
4	41.521	$\pm 2.5$
5	63.246	$\pm 2.0$
6	61.953	$\pm 2.3$
7	24.517	$\pm 2.6$
8	24.446	$\pm 2.2$

## 4.2 Επίλυση δικτύου οριζοντίου ελέγχου

Η επίλυση γίνεται με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (MET), περίπτωση μεθόδου μεταβολής συντεταγμένων, ώστε να προσδιοριστούν αρχικά οι διορθώσεις στις προσωρινές συντεταγμένες και ακολούθως οι καλύτερες τιμές των αγνώστων (συντεταγμένες των κορυφών) και το σφάλμα του προσδιορισμού τους [Γ. Πανταζής].

Για την επίλυση του δικτύου με τις ελάχιστες δεσμεύσεις, απαιτείται η γνώση των συντεταγμένων ενός σημείου του, της γωνίας διεύθυνσης μιας πλευράς του, που περιλαμβάνει το γνωστό σημείο καθώς και οι προσεγγιστικές τιμές για τις συντεταγμένες των κορυφών του.

### 4.2.1 Μαθηματικό μοντέλο-διαδικασία υπολογισμών

Για την επίλυση, αν το δίκτυο αποτελείται από  $n$  κορυφές και επιλυθεί με τις ελάχιστες δεσμεύσεις, απαιτούνται:

- $2 \cdot n - 3$  μετρήσεις (διευθύνσεων ή οριζόντιων γωνιών & αποστάσεων).
- Ο επιπλέον αριθμός των μετρήσεων που θα πραγματοποιηθούν, ονομάζεται βαθμός ελευθερίας  $r$  του δικτύου

Οι εξισώσεις παρατήρησης στην περίπτωση του δικτύου οριζοντίου ελέγχου είναι:

α) Απόστασης μεταξύ των σημείων  $i, j$

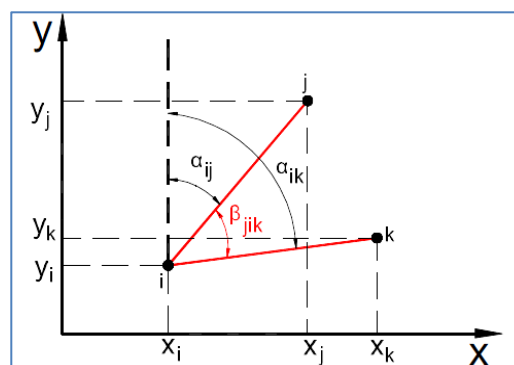
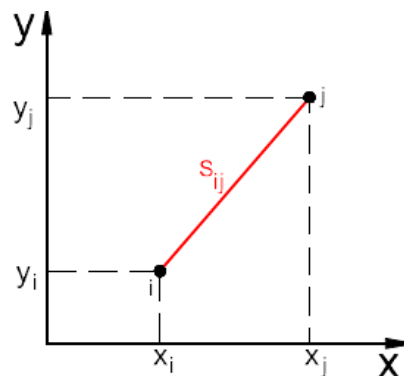
$$\sqrt{(\hat{x}_j - \hat{x}_i)^2 + (\hat{y}_j - \hat{y}_i)^2} = l + v \quad \#$$

#η οποία γραμμικοποιημένη γίνεται, #

$$-\frac{x_j^o - x_i^o}{S_{ij}^o} \cdot \delta x_i - \frac{y_j^o - y_i^o}{S_{ij}^o} \cdot \delta y_i + \frac{x_j^o - x_i^o}{S_{ij}^o} \cdot \delta x_j + \frac{y_j^o - y_i^o}{S_{ij}^o} \cdot \delta y_j = \delta l + v$$

Όπου,  $\delta l = l - S_{ij}^o$

β) Οριζόντιας γωνίας  $j, i, k$



$$\arctan \frac{\widehat{x}_k - \widehat{x}_i}{\widehat{y}_k - \widehat{y}_i} - \arctan \frac{\widehat{x}_j - \widehat{x}_i}{\widehat{y}_j - \widehat{y}_i} \mathbf{l} = \mathbf{l} + \nu$$

$$\left( \frac{y_j^o - y_i^o}{(S_{ij}^o)^2} - \frac{y_k^o - y_i^o}{(S_{ik}^o)^2} \right) \cdot \delta x_i + \left( \frac{x_k^o - x_i^o}{(S_{ik}^o)^2} - \frac{x_j^o - x_i^o}{(S_{ij}^o)^2} \right) \cdot \delta y_i - \frac{y_j^o - y_i^o}{(S_{ij}^o)^2} \cdot \delta x_j + \frac{x_j^o - x_i^o}{(S_{ij}^o)^2} \cdot \delta y_i + \frac{y_k^o - y_i^o}{(S_{ik}^o)^2} \cdot \delta x_k - \frac{x_k^o - x_i^o}{(S_{ik}^o)^2} \cdot \delta y_k = \delta \mathbf{l} + \nu$$

Όπου ,  $\delta \mathbf{l} = \mathbf{l} - \beta_{jik}^o = \mathbf{l} - \mathbf{a}_{ik}^o + \mathbf{a}_{ij}^o$

Αρχικά υπολογίζονται οι προσωρινές τιμές των συντεταγμένων  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{y}$  των κορυφών, χρησιμοποιώντας τα θεμελιώδη προβλήματα ή άλλες μαθηματικές σχέσεις.

Στην συνέχεια υπολογίζονται οι προσωρινές τιμές των μετρημένων μεγεθών (οριζόντιων γωνιών & αποστάσεων). Στο υπό μελέτη δίκτυο οι προσωρινές τιμές λήφθηκαν από τα αποτελέσματα των δορυφορικών μετρήσεων.

Κατόπιν υπολογίζονται οι συντελεστές των αγνώστων, σχηματίζεται ο πίνακας  $\mathbf{A}$  των συντελεστών των αγνώστων και ο πίνακας  $\delta \mathbf{l}$  (τα στοιχεία που αφορούν σε γωνίες διαιρούνται με  $\rho^{cc}$ ). Δημιουργούνται ( $\mathbf{n}$ ) εξισώσεις παρατήρησης, στις οποίες άγνωστοι ( $\mathbf{m}$ ) είναι οι διορθώσεις  $\delta \mathbf{x}$ ,  $\delta \mathbf{y}$  των συντεταγμένων.

Με τη μορφή πινάκων το σύστημα που επιλύεται είναι:

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

Επειδή στην επίλυση περιέχονται μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων πολλαπλασιάζεται κάθε γραμμή του πίνακα  $\mathbf{A}$  και το αντίστοιχο στοιχείο του πίνακα  $\delta \mathbf{l}$  με τη ρίζα του βάρους της παρατήρησης.

Για τον υπολογισμό βαρών κάθε μέτρησης ορίζεται ως a-priori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους  $\sigma_o = 1$ . Το a-priori τυπικό σφάλμα  $\sigma_\gamma$  των γωνιών, ορίζεται από την αβεβαιότητα μέτρησης των γωνιών ή προκύπτει από τη σχέση:

$$\sigma_\gamma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i^2}{3 \cdot n}}$$

Όπου  $\sum_{i=1}^n w_i^2$  το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων κλεισίματος των τριγώνων του δικτύου.

Το a-priori τυπικό σφάλμα  $\sigma_s$  των αποστάσεων, θεωρείται ίσο με αυτό που δίνει ο κατασκευαστής του οργάνου ή προκύπτει από την εφαρμογή του ΝΜΣ στη σχέση  $\sin z \cdot D$ .

Στην συνέχεια δημιουργείται το σύστημα των κανονικών εξισώσεων:

$$(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{A}) \cdot \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \delta l$$

Επιλύεται το σύστημα των κανονικών εξισώσεων:

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

Και υπολογίζονται οι διορθώσεις των συντεταγμένων  $x, y$  κάθε σημείου του δικτύου. Ακολούθως υπολογίζονται οι τιμές των  $n$  υπολοίπων (πιθανών σφαλμάτων)  $v$ , χρησιμοποιώντας τη σχέση:

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

Υπολογίζεται το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους από τη σχέση:

$$\hat{\sigma}_0 = \pm \sqrt{\frac{[\mathbf{P}vv]}{n-m}} = \pm \sqrt{\frac{P_1 \cdot v_1^2 + P_2 \cdot v_2^2 + \dots + P_n \cdot v_n^2}{n-m}}$$

Υπολογίζεται ο πίνακας μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας των αγνώστων (διαστάσεων  $m \times m$ ) από τη σχέση:

$$\mathbf{V}_x = \hat{\sigma}_0^2 \cdot \mathbf{N}^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta S_{12}}^2 & \sigma_{\Delta S_{12}H_2} & \sigma_{\Delta S_{12}x_3} & \dots & \dots \\ \sigma_{\Delta S_{12}H_2} & \sigma_{H_2}^2 & \sigma_{H_2x_3} & \dots & \dots \\ \sigma_{\Delta S_{12}x_3} & \sigma_{H_2x_3} & \sigma_{x_3}^2 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \sigma_{H_m}^2 \end{bmatrix}$$

Τα στοιχεία του πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των στοιχείων των ελλείψεων σφάλματος.

#### 4.2.1.1 Έλλειψη σφάλματος

Η έλλειψη σφάλματος περιγράφει την αβεβαιότητα προσδιορισμού της θέσης κάθε σημείου του δικτύου συνολικά για όλες τις δυνατές διευθύνσεις ως προς το σύστημα αναφοράς. Σχεδιάζεται με κέντρο το σημείο με στοιχεία που την χαρακτηρίζουν τα  $\sigma_u, \sigma_v, \tan(2\theta)$  και  $\tan(2\alpha)$ .

Όπου,

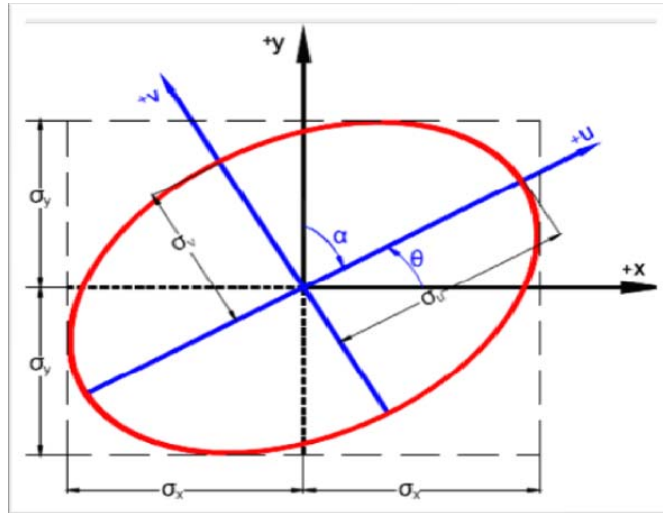
$$\sigma_u = \sigma_{\max} = \pm \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}}{2}}$$

$$\sigma_v = \sigma_{\min} = \pm \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}}{2}}$$



$$\tan(2\theta) = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}$$

$$\tan(2\alpha) = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_y^2 - \sigma_x^2}$$



Εικόνα 21: Η έλλειψη σφάλματος

#### 4.2.2 Αποτελέσματα της δυδιάστατης επίλυσης

Σε αυτή την περίπτωση η επίλυση έγινε θεωρώντας ως σταθερή κορυφή το σημείο **1** (Submarine) με συντεταγμένες  $x = 5000\text{m}$ ,  $y = 5000\text{m}$  που ορίστηκαν αυθαίρετα και σταθερή γωνία διεύθυνσης  $\alpha_{12} = 195.8515\text{g}$ . Οι παρατηρήσεις είναι ανισοβαρείς.

Η επίλυση έγινε θεωρώντας  $\sigma_s = \pm 2\text{mm}$ ,  $\sigma_{\gamma\omega\iota\omega\upsilon\acute{\nu}} = \pm 7^{\text{cc}}$  και a-ρριοιγί τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους ίσο με 1.

Τα στοιχεία της επίλυσης είναι:

Αριθμός κορυφών :	9
Αριθμός παρατηρήσεων μηκών :	23
Αριθμός παρατηρήσεων οριζοντίων γωνιών :	38
Συνολικός αριθμός παρατηρήσεων (n):	61
Αριθμός αγνώστων (m):	15
Βαθμοί ελευθερίας ( r ) :	46

A-posteriori τυπική απόκλιση :

1.167

Από την επίλυση του δικτύου προκύπτουν τα εξής στοιχεία :

- Οι τιμές των συντεταγμένων των σημείων.
- Ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας των συντεταγμένων.
- Το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους.

Από την επίλυση του δικτύου προκύπτει το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους που είναι ίσο με :  $\hat{\sigma}_o = \pm 1.167$ .

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ελέγχθηκε η αξιοπιστία της λύσης με το test  $\chi^2$ .

- Άγνωστοι : 15
- Παρατηρήσεις : 61
- Βαθμός Ελευθερίας :  $r = 46$
- A-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους  $\hat{\sigma}_o = \pm 1.167$

Ο ολικός έλεγχος της αξιοπιστίας του δικτύου με τεστ  $\chi^2$  για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, σύμφωνα με την σχέση :

$$\frac{\hat{\sigma}_o^2 \times r}{\sigma_o^2} \leq \chi^2_{r,(1-\alpha)}$$

Επομένως  $\frac{\hat{\sigma}_o^2 \times r}{\sigma_o^2} \leq \chi^2_{46,0.95} \Rightarrow 62.64 < 63.08$

Από τον έλεγχο αξιοπιστίας (test  $\chi^2$ ), προκύπτει πως η αρχική υπόθεση είναι σωστή.

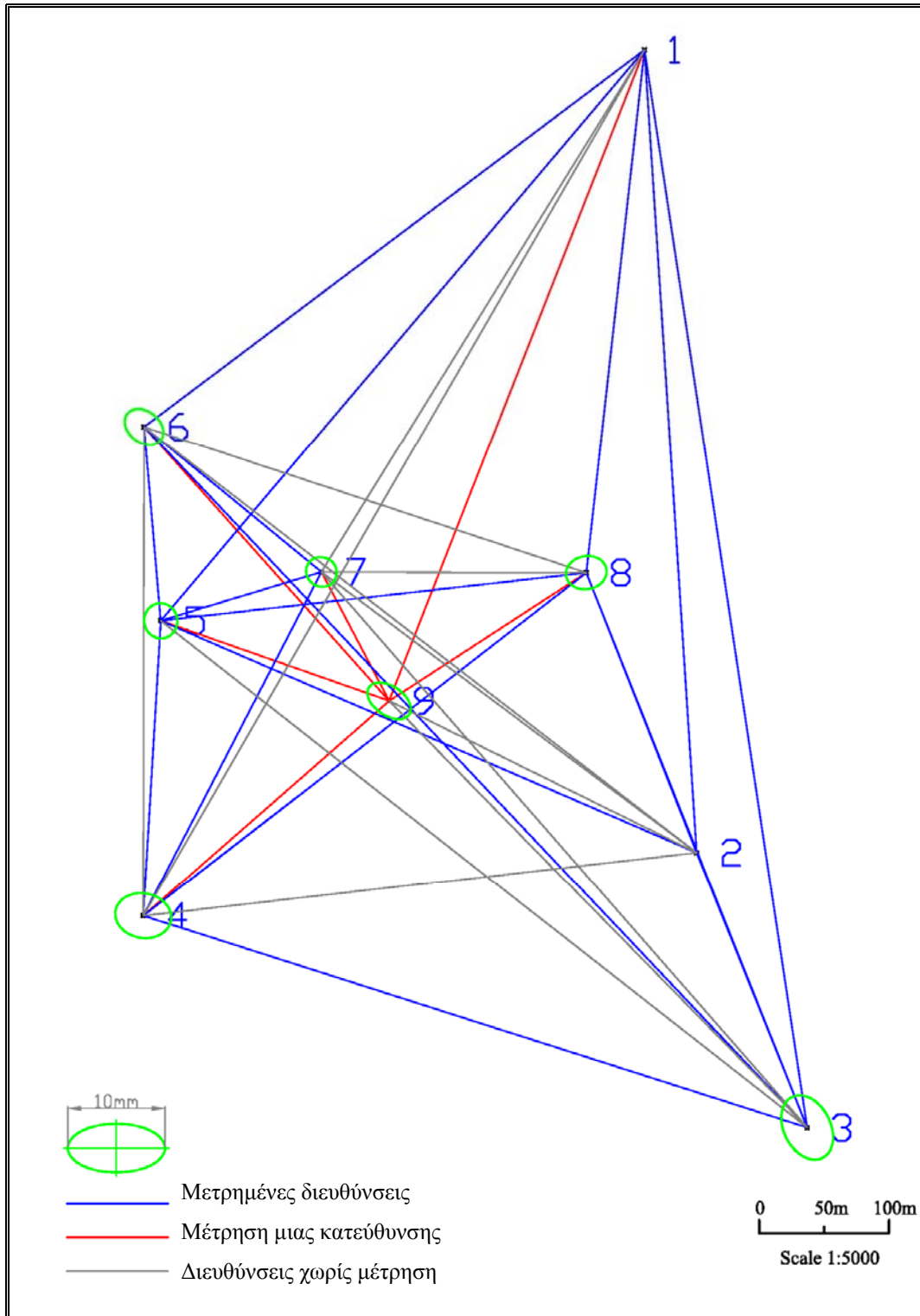
Στον πίνακα 7 παρατίθενται οι τελικές συντεταγμένες των σημείων καθώς και οι μεταβλητότητες τους.

**Πίνακας 7: Αποτελέσματα της δυδιάστατης επίλυσης**

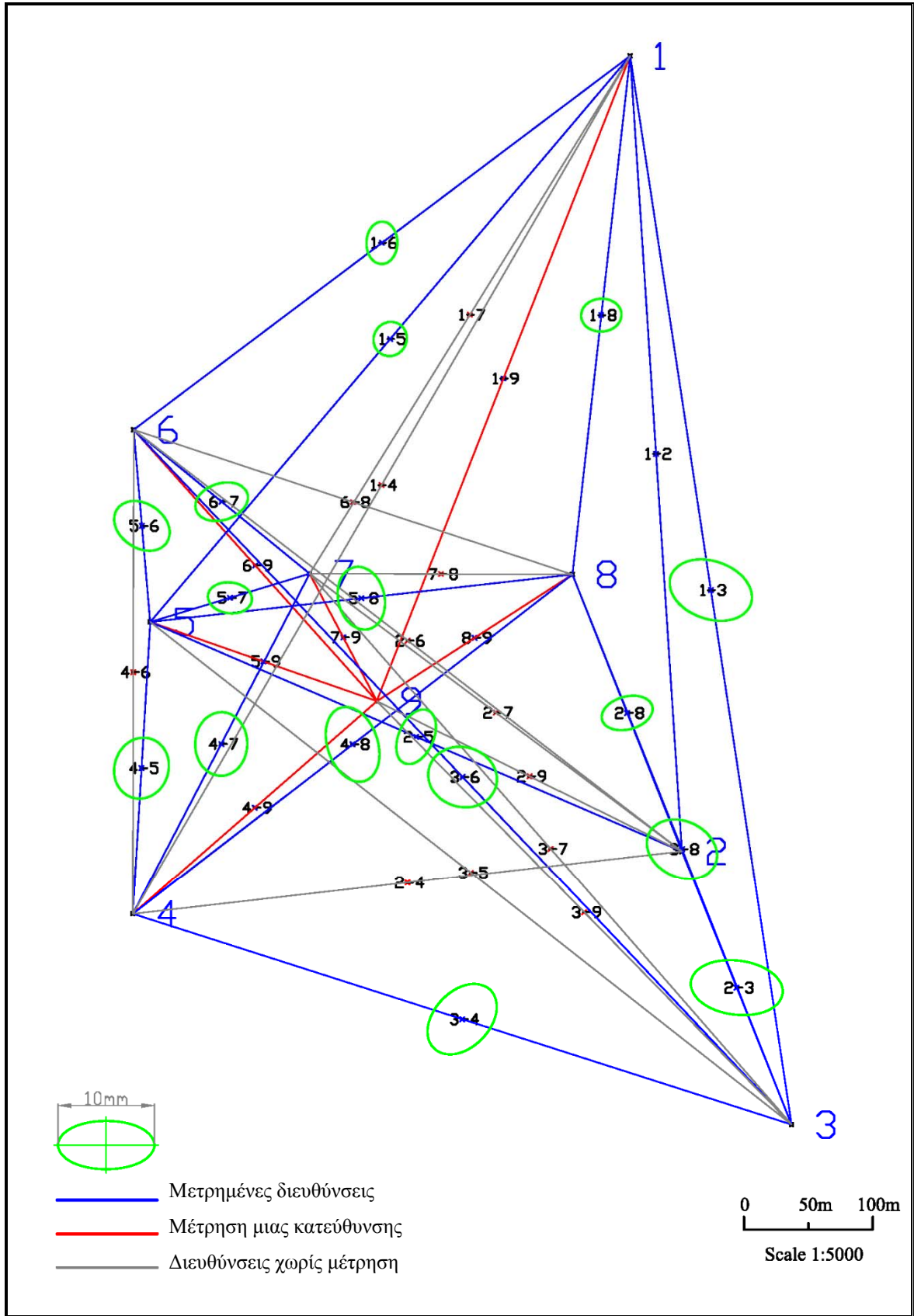
Σημείο	x (m)	y (m)	σx(mm)	σy(mm)
1	5000.000	5000.000		
2	5040.360	4381.518	±0.1	±1.0
3	5125.492	4169.481	±1.3	±1.1
4	4613.535	4332.706	±1.0	±1.2
5	4627.075	4559.924	±0.7	±0.7
6	4614.183	4709.375	±0.8	±0.8

7	4750.942	4597.537	±0.6	±0.7
8	4955.158	4596.946	±0.7	±0.9
9	4803.157	4498.416	±0.8	±0.9

Τα διαγράμματα που ακολουθούν περιέχονται τα στοιχεία των ελλείψεων σφάλματος.



Εικόνα 22: Οι απόλυτες ελλείψεις σφάλματος της δυδιάστατης επίλυσης.



Εικόνα 23: Οι σχετικές ελλείψεις σφάλματος της δυδιάστατης επίλυσης.

### 4.3 Επίλυση τριδιάστατου δικτύου

Για την επίλυση του τριδιάστατου δικτύου ακολουθείται η ίδια διαδικασία με αυτή του οριζοντιογραφικού δικτύου, θεωρώντας μία (1) σταθερή κορυφή (x, y, z) και τη γωνία διεύθυνσης μιας πλευράς του δικτύου γνωστή.

#### 4.3.1 Μαθηματικό μοντέλο

Αν το δίκτυο αποτελείται από  $n$  κορυφές και επιλυθεί με τις ελάχιστες δεσμεύσεις, δηλαδή ένα γνωστό σημείο και μια γνωστή διεύθυνση τότε απαιτούνται:

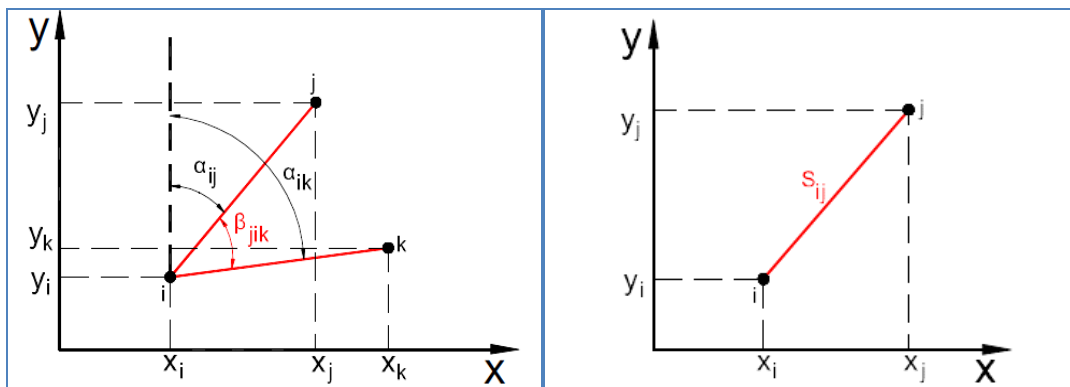
- $3 \cdot n - 4$  μετρήσεις (διευθύνσεων ή οριζόντιων γωνιών, μηκών και ζενίθιων γωνιών).
- Ο επιπλέον αριθμός των μετρήσεων που θα πραγματοποιηθούν, ονομάζεται βαθμός ελευθερίας  $r$  του δικτύου

Από την επίλυση προκύπτουν οι διορθώσεις στις προσωρινές τιμές των συν/νων x, y, z και ακολούθως οι καλλίτερες τιμές τους.

Οι εξισώσεις παρατήρησης της τριδιάστατη επίλυσης είναι:

Εξίσωση παρατήρησης οριζόντιας γωνίας  $\beta_{ijk}$

$$\left( \frac{y_j^o - y_i^o}{(S_{ij}^o)^2} - \frac{y_k^o - y_i^o}{(S_{ik}^o)^2} \right) \cdot \delta x_i + \left( \frac{x_k^o - x_i^o}{(S_{ik}^o)^2} - \frac{x_j^o - x_i^o}{(S_{ij}^o)^2} \right) \cdot \delta y_i - \frac{y_j^o - y_i^o}{(S_{ij}^o)^2} \cdot \delta x_j + \frac{x_j^o - x_i^o}{(S_{ij}^o)^2} \cdot \delta y_i + \frac{y_k^o - y_i^o}{(S_{ik}^o)^2} \cdot \delta x_k - \frac{x_k^o - x_i^o}{(S_{ik}^o)^2} \cdot \delta y_k = \delta l + v$$



Εξίσωση παρατήρησης ζενίθιας γωνίας  $Z_{ij}$

$$\frac{(x_j^o - x_i^o) \cdot (z_j^o - z_i^o)}{(D_{ij}^o)^2 S_{ij}^o} \cdot \delta x_i - \frac{(y_j^o - y_i^o) \cdot (z_j^o - z_i^o)}{(D_{ij}^o)^2 S_{ij}^o} \cdot \delta y_i + \frac{S_{ij}^o}{(D_{ij}^o)^2} \cdot \delta z_i + \frac{(x_j^o - x_i^o) \cdot (z_j^o - z_i^o)}{(D_{ij}^o)^2 S_{ij}^o} \cdot \delta x_j + \frac{(y_j^o - y_i^o) \cdot (z_j^o - z_i^o)}{(D_{ij}^o)^2 S_{ij}^o} \cdot \delta y_j - \frac{S_{ij}^o}{(D_{ij}^o)^2} \cdot \delta z_j = \delta l + v$$

Εξίσωση παρατήρησης μήκους  $D_{ij}$

$$-\frac{x_j^o - x_i^o}{D_{ij}^o} \cdot \delta x_i - \frac{y_j^o - y_i^o}{D_{ij}^o} \cdot \delta y_i - \frac{z_j^o - z_i^o}{D_{ij}^o} \cdot \delta z_i + \frac{x_j^o - x_i^o}{D_{ij}^o} \cdot \delta x_j + \frac{y_j^o - y_i^o}{D_{ij}^o} \cdot \delta y_j - \frac{z_j^o - z_i^o}{D_{ij}^o} \cdot \delta z_j = \delta l + v$$

Η διαδικασία των υπολογισμών γίνεται με πανομοιότυπη διαδικασία με την επίλυση του οριζοντιογραφικού δικτύου ελέγχου.

#### 4.3.2 Αποτελέσματα της τριδιάστατης επίλυσης

Η επίλυση του δικτύου έγινε θεωρώντας και σε αυτή την περίπτωση, ως σταθερή κορυφή το σημείο **1 (Submarine)** με συντεταγμένες  $x = 5000\text{m}$ ,  $y = 5000\text{m}$ ,  $H=35.504$  και σταθερή γωνία διεύθυνσης  $\alpha_{12} = 195.8515\text{g}$ . Οι παρατηρήσεις είναι ανισοβαρείς.

Η επίλυση έγινε θεωρώντας  $\sigma_D = \pm 1\text{mm}$ ,  $\sigma_{\gamma\omega\nu\iota\omega\nu} = \pm 6''$  και a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους ίσο με 1.

Τα στοιχεία της επίλυσης είναι:

Αριθμός κορυφών :	9
Αριθμός παρατηρήσεων μηκών :	24
Αριθμός παρατηρήσεων οριζοντίων γωνιών :	37
Αριθμός παρατηρήσεων κατακόρυφων γωνιών :	23
Συνολικός αριθμός παρατηρήσεων (n):	84
Αριθμός αγνώστων (m) :	23
Βαθμοί ελευθερίας (r) :	61
A-posteriori τυπική απόκλιση :	1.091

Από την επίλυση του δικτύου προκύπτουν τα εξής στοιχεία :

- Οι τιμές των συντεταγμένων των σημείων.
- Ο πίνακας μεταβλητότητας – συμμεταβλητότητας των συντεταγμένων.
- Το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους.

Από την επίλυση του δικτύου προκύπτει το a-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους που είναι ίσο με :  $\hat{\sigma}_0 = \pm 1.091$

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ελέγχθηκε η αξιοπιστία της λύσης με το test  $\chi^2$ .

- Άγνωστοι : 23
- Παρατηρήσεις : 84
- Βαθμός Ελευθερίας :  $r = 61$
- A-posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους  $\hat{\sigma}_0 = \pm 1.091$

Ο ολικός έλεγχος της αξιοπιστίας του δικτύου με τεστ  $\chi^2$  για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%,

σύμφωνα με την σχέση  $\frac{\hat{\sigma}_o^2 \times r}{\sigma_o^2} \leq \chi^2_{r,(1-\alpha)}$

Επομένως  $\frac{\hat{\sigma}_o^2 \times r}{\sigma_o^2} \leq \chi^2_{61,0.95} \Rightarrow 72.61 < 80.20$

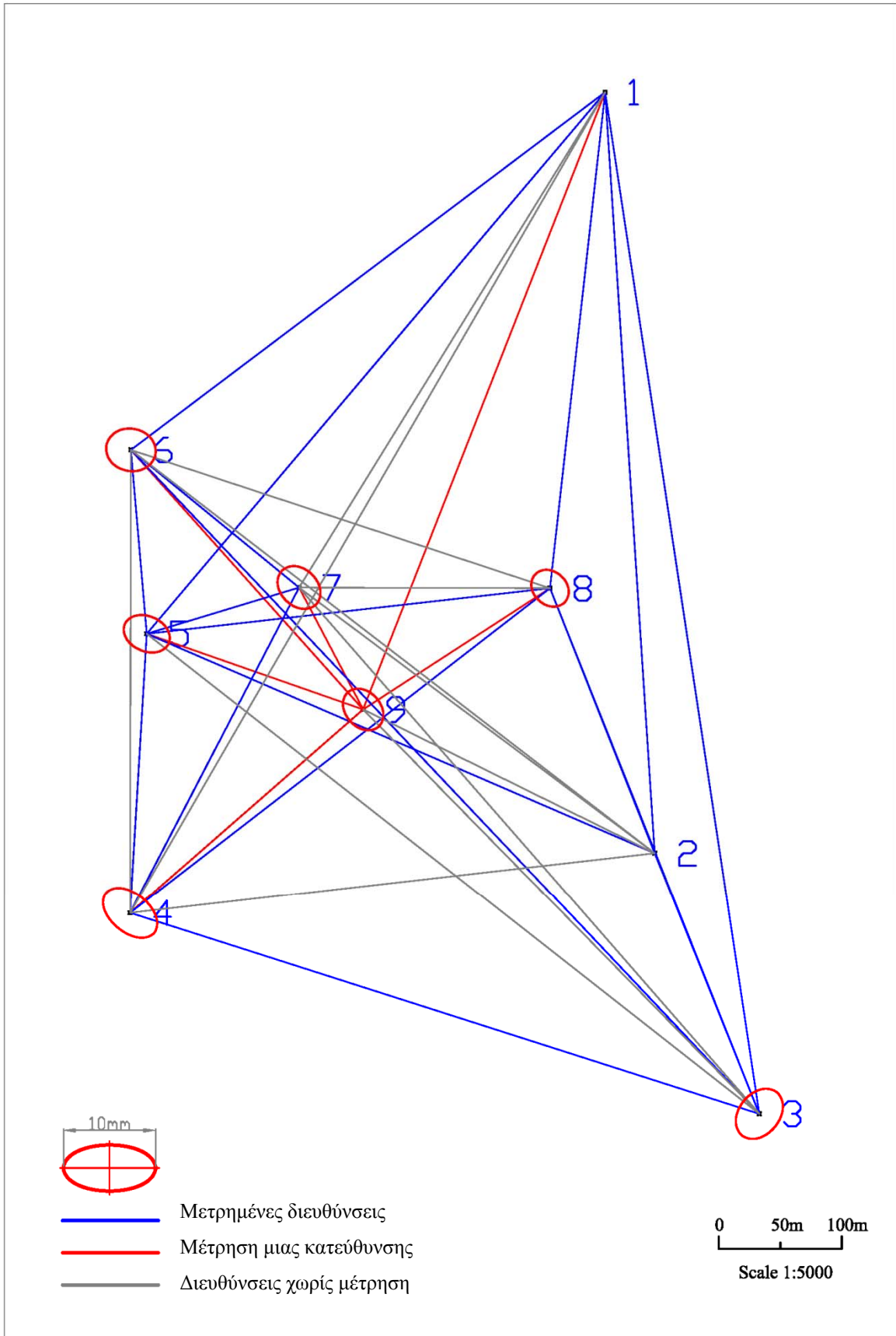
Από τον έλεγχο αξιοπιστίας (test  $\chi^2$ ), προκύπτει πως η αρχική υπόθεση είναι σωστή.

Στον πίνακα 8 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι συντεταγμένες και τα τελικά υψόμετρα των σημείων καθώς και οι μεταβλητότητες τους.

**Πίνακας 8: Αποτελέσματα της τριδιάστατης επίλυσης**

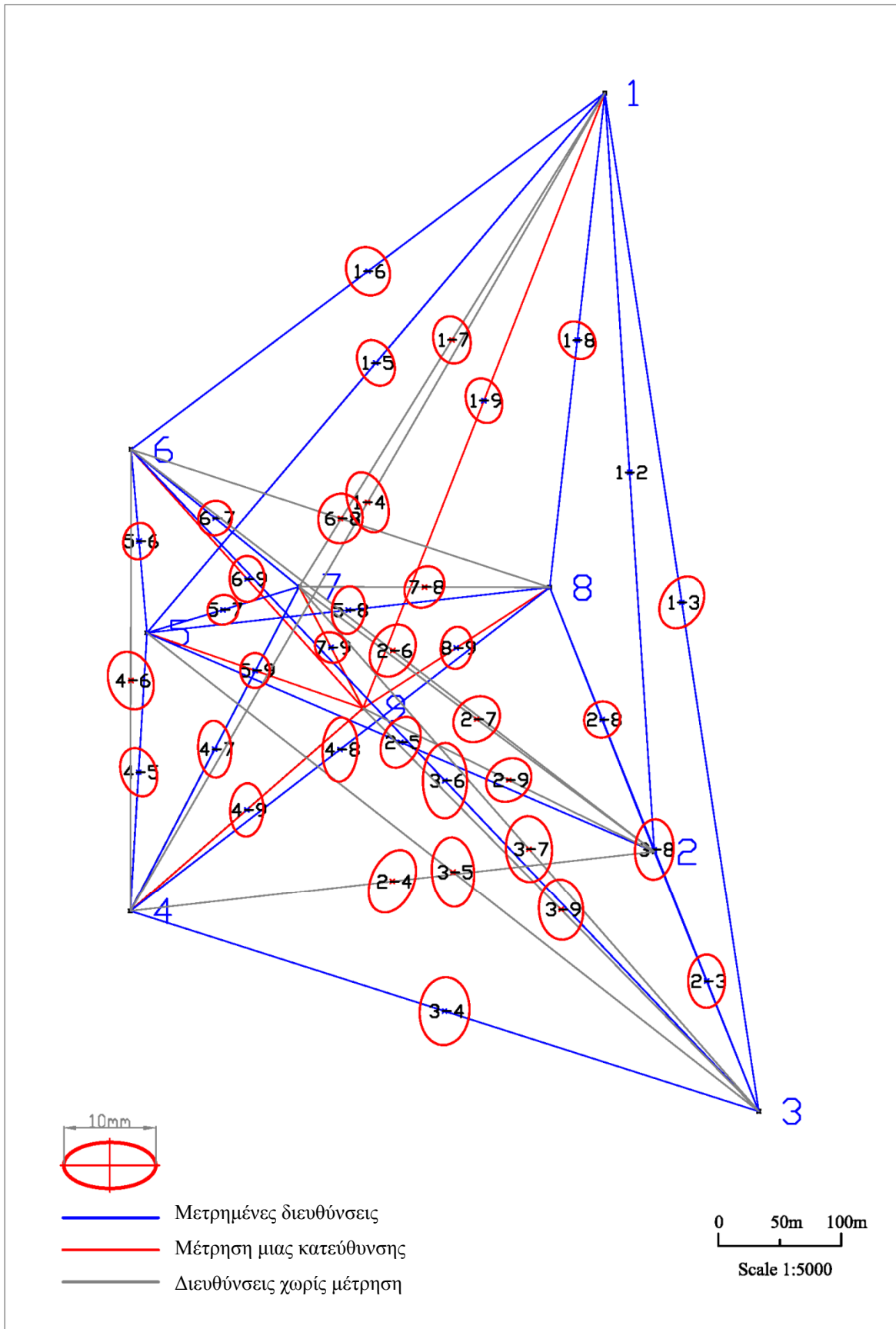
Σημείο	x (m)	y (m)	H (m)	$\sigma_x$ (mm)	$\sigma_y$ (mm)	$\sigma_H$ (mm)
1						
2	5040.36	4381.516	11.066	±0.1	±0.9	±2.8
3	5125.494	4169.475	9.976	±1.1	±1.1	±3.0
4	4613.534	4332.707	41.526	±1.1	±1.2	±2.7
5	4627.077	4559.927	63.242	±0.8	±1.0	±2.4
6	4614.189	4709.377	61.951	±0.9	±1.1	±2.5
7	4750.945	4597.539	24.513	±0.9	±0.9	±2.5
8	4955.158	4596.946	24.443	±0.8	±0.8	±2.4
9	4803.16	4498.418	44.578	±0.9	±0.9	±2.4

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα των απολύτων και σχετικών ελλείψεων σφάλματος.



Εικόνα 24: Οι απόλυτες ελλείψεις σφάλματος της τριδιάστατης επίλυσης.





Εικόνα 25: Οι σχετικές ελλείψεις σφάλματος της τριδιάστατης επίλυσης.

## 5 Συγκρίσεις

Στην ενότητα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλες οι συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων επιλύσεων του δικτύου με σκοπό τον εντοπισμό πιθανών διαφορών, την απομόνωσή τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

### 5.1 Σύγκριση υσομέτρων

Ο πίνακας 9 που ακολουθεί, παρουσιάζει τις διαφορές μεταξύ της υσομετρικής και της τριδιάστατης επίλυσης και τον υπολογισμό - έλεγχο της μέσης αβεβαιότητας προσδιορισμού του υσομέτρου  $H$  για κάθε κορυφή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% .

Ο έλεγχος της μέσης αβεβαιότητας υπολογίζεται βρίσκοντας την διαφορά  $\Delta H$  των υσομέτρων για κάθε κορυφή, χρησιμοποιώντας αρχικά τα αποτελέσματα της υσομετρικής και της τριδιάστατης επίλυσης. Η διαφορά συγκρίνεται με το αντίστοιχο σφάλμα της  $\sigma_{\Delta H}$  για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Οι σχέσεις που δίνουν τις τιμές αυτές είναι:

$$\Delta H = H_{3D} - H_{1D} \quad \text{και} \quad \sigma_{\Delta H} = \sqrt{\sigma_{H_{3D}}^2 + \sigma_{H_{1D}}^2}$$

Οι διαφορές οι οποίες είναι μικρότερες από το γινόμενο  $1.96 * \sigma_{\Delta H}$  χαρακτηρίζονται στον πίνακα 9 με το χαρακτηριστικό ✓ ενώ οι μεγαλύτερες με το (-).

Πίνακας 9: Διαφορές υσομέτρων(1D-3D)

Σημείο	$H_{1D}$ (m)	$H_{3D}$ (m)	$\Delta H$ (mm)	$\sigma_{\Delta H}$ (mm)	Όριο ( $\sigma_{\Delta H} * 1.96\%$ )	έλεγχος
1	35.504					
2	11.067	11.066	1	±2.7	±5	✓
3	9.976	9.976	0	±2.8	±6	✓
4	41.521	41.526	-5	±2.5	±5	✓
5	63.246	63.242	4	±2.0	±4	✓
6	61.953	61.951	2	±2.3	±4	✓
7	24.517	24.513	4	±2.6	±5	✓
8	24.446	24.443	3	±2.2	±4	✓
9		44.578				

Από τα αποτελέσματα του ελέγχου παρατηρείται ότι σε όλα τα σημεία, η διαφορά των τιμών των υσομέτρων μεταξύ των δύο επιλύσεων δεν ξεπερνά το όριο που καθορίστηκε.

Το ίδιο επαναλαμβάνεται για τα αποτελέσματα υψομετρικής επίλυσης και επίλυσης GPS αλλά και της 3D με αυτή του GPS. Ο πίνακας 10, παρουσιάζει τις διαφορές των τιμών των υψομέτρων μεταξύ της υψομετρικής και της δορυφορικής επίλυσης και τον υπολογισμό - έλεγχο της μέσης αβεβαιότητας για κάθε κορυφή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Από τα αποτελέσματα αυτού του ελέγχου διαπιστώνεται ότι σε όλα τα σημεία, η διαφορά των δύο τιμών από τις διαφορετικές επιλύσεις βρίσκεται εκτός του προκαθορισμένου ορίου.

**Πίνακας 10: Διαφορές υψομέτρων(1D-GPS)**

Σημείο	H <sub>1D</sub> (m)	H <sub>GPS</sub> (m)	ΔH (mm)	σ <sub>ΔH</sub> (mm)	Όριο 1.96*σ <sub>ΔH</sub>	Έλεγχος
1						
2	11.067	11.059	8.2	±2.7	±5	(-)
3	9.976	9.970	6.2	±2.8	±6	(-)
4	41.521	41.516	5.4	±2.5	±5	(-)
5	63.246	63.238	8.2	±2.0	±4	(-)
6	61.953	61.947	5.7	±2.3	±4	(-)
7	24.517	24.512	5.3	±2.6	±5	(-)
8	24.446	24.436	10.3	±2.2	±4	(-)
9		44.569				

Ομοίως με πιο πάνω, ο πίνακας 11, παρουσιάζει τις διαφορές στις τιμές των υψομέτρων μεταξύ της τριδιάστατης και της δορυφορικής επίλυσης και τον υπολογισμό - έλεγχο της μέσης αβεβαιότητας για κάθε κορυφή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Με βάση τα αποτελέσματα του ελέγχου φαίνεται ότι στα σημεία 2, 4, 8 & 9, η διαφορά των δύο επιλύσεων ξεπερνά το όριο που καθορίστηκε.

**Πίνακας 11: Διαφορές υψομέτρων(3D-GPS)**

Σημείο	H <sub>3D</sub> (m)	H <sub>GPS</sub> (m)	ΔH(mm)	σ <sub>ΔH</sub> (mm)	Όριο 95% (mm)	Έλεγχος
1						
2	11.066	11.059	7.2	±3.2	±6	(-)
3	9.976	9.970	6.2	±3.2	±6	✓
4	41.526	41.516	10.4	±2.9	±6	(-)
5	63.242	63.238	4.2	±2.7	±5	✓
6	61.951	61.947	3.7	±2.7	±5	✓
7	24.513	24.512	1.3	±2.7	±5	✓
8	24.443	24.436	7.3	±2.7	±5	(-)
9	44.578	44.569	9.5	±3.2	±6	(-)

## 5.2 Σύγκριση συντεταγμένων διδιάστατης Vs τριδιάστατης επίλυσης

Οι πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουν τις συντεταγμένες των κορυφών της δυδιάστατης και της τριδιάστατης επίλυσης (πίνακας 12) και τις μεταξύ τους διαφορές (πίνακας 13).

Πίνακας 12: Συντεταγμένες διδιάστατης και τριδιάστατης επίλυσης

Σημείο	Τελικές συντ/νες 2D		Τελικές συντ/νες 3D		
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	H (m)
1	5000.000	5000.000	5000.000	5000.000	35.504
2	5040.36	4381.518	5040.36	4381.516	11.066
3	5125.492	4169.481	5125.494	4169.475	9.976
4	4613.535	4332.706	4613.534	4332.707	41.526
5	4627.075	4559.924	4627.077	4559.927	63.242
6	4614.183	4709.375	4614.189	4709.377	61.951
7	4750.942	4597.537	4750.945	4597.539	24.513
8	4955.158	4596.946	4955.158	4596.946	24.443
9	4803.157	4498.416	4803.16	4498.418	44.578

Πίνακας 13: Διαφορές συντεταγμένων 2D-3D

Σημείο	$\Delta x$ (mm)	$\sigma_{\Delta x}$ (mm)	όριο 95% (mm)	έλεγχος	$\Delta y$ (mm)	$\sigma_{\Delta y}$ (mm)	όριο 95% (mm)	έλεγχος
1								
2	0	±0.1	±0.3	✓	2	±1.3	±3	✓
3	-2	±1.7	±3	✓	6	±1.6	±3	(-)
4	1	±1.5	±3	✓	-1	±1.7	±3	✓
5	-2	±1.1	±2	✓	-3	±1.2	±2	(-)
6	-6	±1.2	±2	(-)	-2	±1.4	±3	✓
7	-3	±1.1	±2	(-)	-2	±1.1	±2	✓
8	0	±1.1	±2	✓	0	±1.2	±2	✓
9	-3	±1.2	±2	(-)	-2	±1.3	±3	✓

[✓] = αποδεκτό, εντός των καθορισμένων ορίων

(-) = μη αποδεκτό, εκτός των καθορισμένων ορίων

Ο έλεγχος πραγματοποιείται υπολογίζοντας τη διαφορά των συντεταγμένων των κορυφών, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των δύο επιλύσεων. Η διαφορά συγκρίνεται με το ανάλογο  $\sigma$  για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

### 5.3 Σύγκριση επίγειων Vs δορυφορικών μεθόδων

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στην εισαγωγή της εργασίας αυτής, την ίδια περίοδο με τις επίγειες μετρήσεις για το δίκτυο της ΑΗΚ, έγιναν και δορυφορικές μετρήσεις με στατικό εντοπισμό, στο πλαίσιο άλλης πτυχιακής μελέτης που βρισκόταν σε εξέλιξη [Κ.Κωνσταντινίδης], με σκοπό την ανεξάρτητη επίλυση του δικτύου και την δυνατότητα αξιολόγησης και σύγκρισης των δύο αποτελεσμάτων.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι συγκρίσεις των δύο μεθόδων.

#### 5.3.1 Σύγκριση μηκών βάσεων

Ο πίνακας 14 που ακολουθεί παρουσιάζει τις διαφορές μεταξύ των τιμών των μηκών (D), της τριδιάστατης επίλυσης και της επίλυσης από μετρήσεις με το δορυφορικό σύστημα (GPS).

Υπολογίζεται η διαφορά των δύο μηκών  $\Delta D$ , και συγκρίνεται με την αντίστοιχη αβεβαιότητα  $\sigma_{\Delta D}$  για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Οι σχέσεις που δίνουν τις τιμές αυτές είναι:

$$\Delta D = D_{\text{TPS}} - D_{\text{GPS}} \quad \text{και} \quad \sigma_{\Delta D} = \sqrt{\sigma_{D_{\text{TPS}}}^2 + \sigma_{D_{\text{GPS}}}^2}$$

Οι διαφορές οι οποίες είναι μικρότερες από το γινόμενο  $1.96 * \sigma_{\Delta D}$  χαρακτηρίζονται στον πίνακα 14, που ακολουθεί με το χαρακτηριστικό ✓ ενώ οι μεγαλύτερες με το (-). Με το σύμβολο [NS] εμφανίζονται οι βάσεις χωρίς μέτρηση GPS.

**Πίνακας 14: Σύγκριση μηκών τρισδιάστατης επίλυσης και της επίλυσης του GPS**

Από	Προς	GPS Κεκλιμένο Μήκος	$\sigma_{GPS}$ (mm)	TPS Κεκλιμένο Μήκος	$\sigma_{TPS}$ (mm)	$\Delta D$ (mm)	$\sigma_{\Delta D}$ (mm)	Όριο $1.96 \cdot \sigma_{\Delta D}$ (mm)	Έλεγχος
1	5	577.497	±0.03	577.499	±1	2	±1	±2	✓
1	6	483.746	±0.02	483.748	±1	2	±1	±2	✓
1	9	538.900	±0.08	538.900	±1	0	±1	±2	✓
2	1	620.281	±0.05	620.282	±1	1	±1	±2	✓
2	5			453.165	±1	[NS]	[NS]	[NS]	[NS]
2	8	232.056	±0.04	232.054	±1	-2	±1	±2	✓
3	1	840.338	±0.03	840.340	±1	2	±1	±2	✓
3	2	228.494	±0.04	228.496	±1	2	±1	±2	✓
3	4			538.278	±1	[NS]	[NS]	[NS]	[NS]
3	6			745.405	±1	[NS]	[NS]	[NS]	[NS]
3	8	460.388	±0.03	460.385	±1	-3	±1	±2	(-)
4	5	228.659	±0.02	228.657	±1	-2	±1	±2	✓
4	9	251.843	±0.08	251.848	±1	-5	±1	±2	(-)
5	9	187.463	±0.09	187.449	±1	-14	±1	±2	(-)
6	5	150.008	±0.02	150.010	±1	2	±1	±2	✓
6	9	283.766	±0.11	283.753	±1	-13	±1	±2	(-)
7	4	298.841	±0.03	298.843	±1	2	±1	±2	✓
7	5	135.120	±0.05	135.122	±1	2	±1	±2	✓
7	6	180.583	±0.04	180.587	±1	4	±1	±2	(-)
7	9	113.823	±0.09	113.816	±1	-7	±1	±2	(-)
8	1	405.689	±0.03	405.692	±1	3	±1	±2	(-)
8	4			432.228	±1	[NS]	[NS]	[NS]	[NS]
8	5			332.435	±1	[NS]	[NS]	[NS]	[NS]
8	9	182.253	±0.08	182.254	±1	1	±1	±2	✓

Από τη σύγκριση των αντίστοιχων μηκών προκύπτει, ότι οι σημαντικότερες διαφορές, της τάξης του 1cm, παρατηρούνται στις συνδέσεις όλων των σημείων με το σημείο 9. Πιθανόν αυτό

οφείλεται στο γεγονός ότι το σημείο 9 (Kaminada) εμφανίζει δυναμική συμπεριφορά (ταλάντωση), ενώ λόγω της θέσης του δυσκολεύει τη μέτρηση με τους δέκτες του δορυφορικού συστήματος. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι διαφορές που παρατηρούνται είναι οριακές και οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην μικρή αβεβαιότητα (ίσως και πλασματική) των τιμών των μηκών που προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας το σύστημα GPS.

### 5.3.2 Σύγκριση συντεταγμένων

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των κορυφών δυδιάστατης επίλυσης και της επίλυσης του GPS (πίνακας 15) και τις διαφορές μεταξύ τους (πίνακας 16).

**Πίνακας 15: Συντεταγμένες δυδιάστατης και της επίλυσης του GPS**

Τελικές συντ/νες 2D			Τελικές συντ/νες GPS		
Σημείο	x(m)	y(m)	x(m)	y(m)	H(m)
1	5000.000	5000.000	5000.000	5000.000	35.504
2	5040.36	4381.518	5040.359	4381.521	11.059
3	5125.492	4169.481	5125.491	4169.480	9.970
4	4613.535	4332.706	4613.533	4332.708	41.516
5	4627.075	4559.924	4627.077	4559.925	63.238
6	4614.183	4709.375	4614.191	4709.372	61.947
7	4750.942	4597.537	4750.943	4597.544	24.512
8	4955.158	4596.946	4955.154	4596.952	24.436
9	4803.157	4498.416	4803.167	4498.412	44.569

**Πίνακας 16: Διαφορές συντεταγμένων 3D-GPS**

Σημείο	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)
1		
2	1	-3
3	1	1
4	2	-2
5	-2	-1
6	-8	3
7	-1	-7
8	4	-6
9	-10	4

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των κορυφών τριδιάστατης επίλυσης και της επίλυσης του GPS (πίνακας 17) και τις μεταξύ τους διαφορές (πίνακας 18) καθώς επίσης και ένας συνοπτικός πίνακας με τις διαφορές ανάμεσα στις διάφορες επιλύσεις (πίνακας 19).

**Πίνακας 17: Συντεταγμένες τριδιάστατης και της επίλυσης του GPS**

Τελικές συντ/νες 3D				Τελικές συντ/νες GPS		
Σημείο	x(m)	y(m)	H(m)	x(m)	y(m)	H(m)
1	5000.000	5000.000	35.504	5000.000	5000.000	35.504
2	5040.360	4381.516	11.066	5040.359	4381.521	11.059
3	5125.494	4169.475	9.976	5125.491	4169.480	9.970
4	4613.534	4332.707	41.526	4613.533	4332.708	41.516
5	4627.077	4559.927	63.242	4627.077	4559.925	63.238
6	4614.189	4709.377	61.951	4614.191	4709.372	61.947
7	4750.945	4597.539	24.513	4750.943	4597.544	24.512
8	4955.158	4596.946	24.443	4955.154	4596.952	24.436
9	4803.160	4498.418	44.578	4803.167	4498.412	44.569

**Πίνακας 18: Διαφορές συντεταγμένων 3D-GPS**

Σημείο	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta H$ (mm)
1			
2	1	-5	7
3	3	-5	6
4	1	-1	10
5	0	2	4
6	-2	5	4
7	2	-5	1
8	4	-6	7
9	-7	6	9

**Πίνακας 19: Συνοπτικός πίνακας διαφορών συντεταγμένων όλων των επιλύσεων**

Σημείο	Διαφορές συντ/νων(2D-3D)		Διαφορές συντ/νων(2D-GPS)		Διαφορές συντ/νων(3D-GPS)	
	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)
1						
2	0	2	1	-3	1	-5
3	-2	6	1	1	3	-5
4	1	-1	2	-2	1	-1
5	-2	-3	-2	-1	0	2
6	-6	-2	-8	3	-2	5
7	-3	-2	-1	-6	2	-5
8	0	0	4	-6	4	-6
9	-3	-2	-10	4	-7	6



Ο έλεγχος της μέσης αβεβαιότητας υπολογίζεται όπως και προηγουμένως βρίσκοντας την διαφορά των συντεταγμένων των κορυφών, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα όλων των επιλύσεων. Η διαφορά συγκρίνεται με το ανάλογο  $\sigma$  για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Λόγω της έκτασης των αποτελεσμάτων για όλους τους συνδυασμούς των επιλύσεων, αυτά επισυνάπτονται στο παράρτημα Α που επισυνάπτεται στο τέλος της εργασίας αυτής στην ενότητα 8.1.

## 6 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

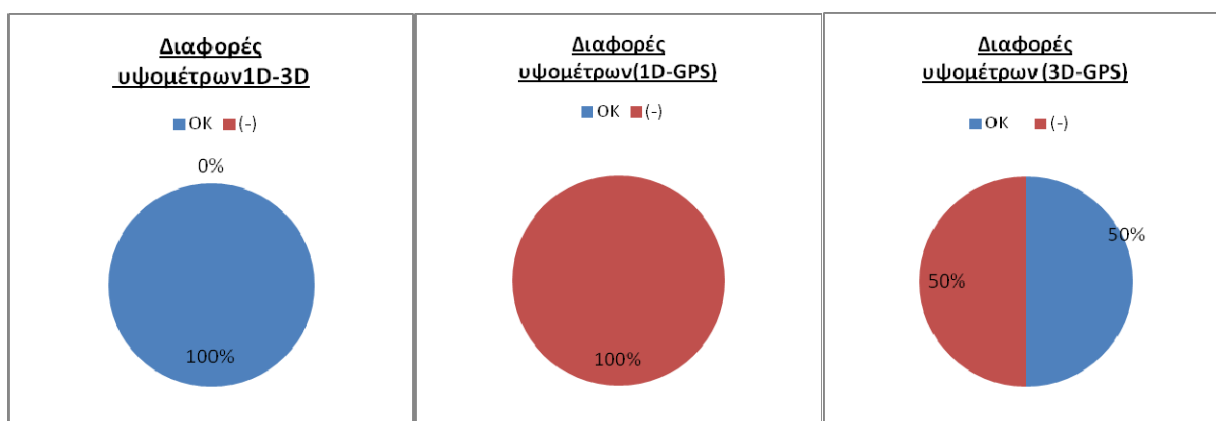
Αξιολογώντας τα αποτελέσματα των επιλύσεων και των συγκρίσεων που ακολούθησαν μπορούν να εξαχθούν αρκετά και ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Ξεκινώντας από τους συγκριτικούς πίνακες των υψομέτρων (σελίδες 42-43), εύκολα διακρίνουμε την διαφορά στα υπολογισμένα υψόμετρα από την υψομετρική επίλυση με τα υψόμετρα της τριδιάστατης επίλυσης και του GPS.

Τα γραφήματα που ακολουθούν (εικόνα 26), παρουσιάζουν ποιο ποσοστό των τιμών των κορυφών μεταξύ των λύσεων, ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ( (-)) και ποιο όχι(OK).

Από αυτά προκύπτει ότι:

- οι τιμές των υψομέτρων μεταξύ μονοδιάστατης (υψομετρικής) και τριδιάστατης επίλυσης συγκλίνουν σε ποσοστό 100%. Αυτό ίσως το στοιχείο αποτελεί και ένα έλεγχο της ορθότητας της τιμής των υψομέτρων
- οι τιμές των υψομέτρων μεταξύ υψομετρικής και δορυφορικής επίλυσης δεν περνούν το στατιστικό έλεγχο σε ποσοστό 100%.
- οι αντίστοιχες τιμές μεταξύ τριδιάστατης και δορυφορικής επίλυσης παρουσιάζουν σύγκλιση μόνο κατά 50%. Πιθανόν αυτό εξηγείται από την αδυναμία του συστήματος GPS στον προσδιορισμό της τρίτης συνιστώσας.

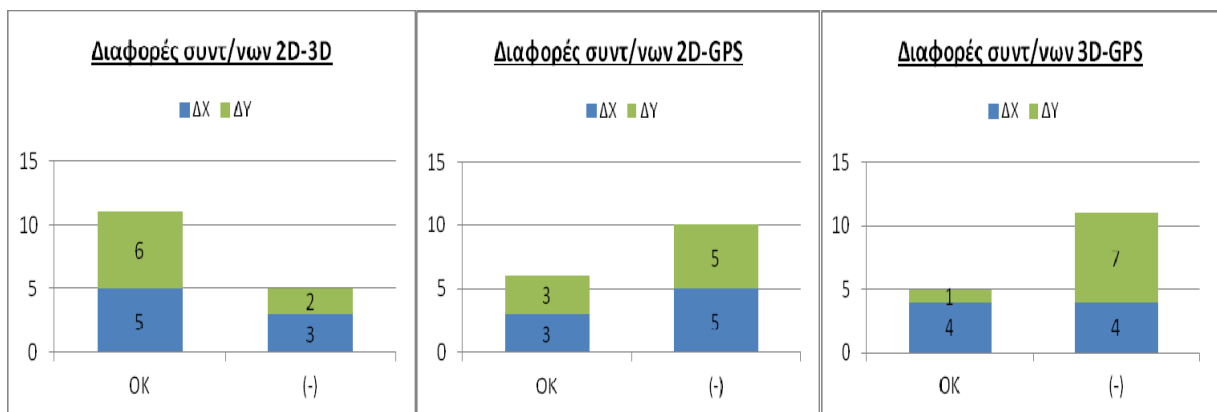


Εικόνα 26. Έλεγχος σύγκλισης των διαφορών των τιμών των υψομέτρων για εμπιστοσύνης 95%

Ανάλογες συγκρίσεις γίνονται μεταξύ των συντεταγμένων των τριών συνδυασμών ελέγχου τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στο παράρτημα Α και παρουσιάζονται συνοπτικά, στην εικόνα 27 που ακολουθεί.

Συγκρίνοντας τις τιμές των συντεταγμένων ανάμεσα στη δυδιάστατη (2D) και τριδιάστατη επίλυση (3D), διακρίνουμε ότι οι διαφορές, τόσο για  $x$ , όσο και για  $y$  στην πλειοψηφία τους βρίσκονται εντός της αβεβαιότητάς τους για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Οι μικρές αποκλίσεις που παρατηρούνται, οφείλονται στο γεγονός ότι στην τριδιάστατη επίλυση ο προσδιορισμός των συνιστωσών  $x$ ,  $y$  ενισχύεται με μια ακόμη παρατήρηση, αυτή της ζενίθιας γωνίας.

Όταν όμως συγκρίνονται οι αντίστοιχες τιμές μεταξύ 2D-GPS και 3D-GPS, δηλαδή όταν εισάγονται στοιχεία από δορυφορικές μετρήσεις, οι διαφορές και στους δύο άξονες, δεν βρίσκονται στην πλειοψηφία τους εντός των ορίων που καθορίζονται. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κατά  $y$  διαφορές, όπου και στις δύο περιπτώσεις των επιλύσεων η πλειοψηφία των διαφορών, βρίσκεται εκτός των ορίων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η απόκλιση των τιμών κατά  $y$  στη σύγκριση μεταξύ 3D-GPS, όπου 7 στις 8 τιμές ξεπερνούν τα όρια.



**Εικόνα 27. Έλεγχος σύγκλισης των διαφορών συντεταγμένων για όριο εμπιστοσύνης 95%.**

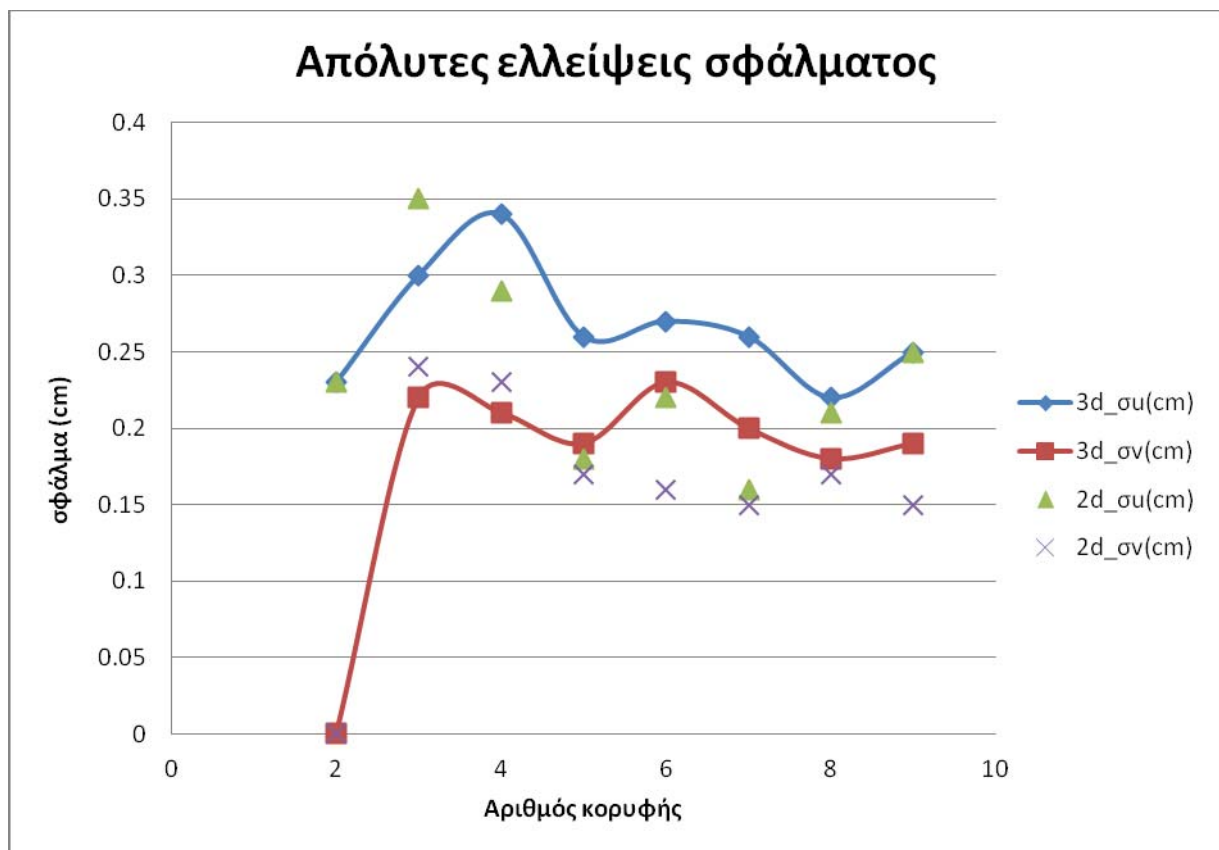
Βλέποντας τα μέχρι τώρα ευρήματα, προσπαθώντας να κατανοήσουμε καλύτερα τα αποτελέσματα των υπολογισμών και των συγκρίσεων μεταξύ των διαφορετικών επιλύσεων, χρειάζεται να μελετηθούν και οι ελλείψεις σφάλματος τόσο της δυδιάστατης όσο και της τριδιάστατης επίλυσης.

Ανατρέχοντας στις σελίδες 35-36 και 40-41, μπορούμε να δούμε όλα τα διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται οι ελλείψεις σφάλματος. Ξεκινώντας από τις απόλυτες ελλείψεις, μπορούμε να διακρίνουμε ότι η αβεβαιότητα του υπολογισμού των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου,

είναι ελαφρώς μικρότερη στην περίπτωση της δυδιάστατης επίλυσης (εικόνα 28), σε σχέση με την τρισδιάστατη επίλυση.

Χαρακτηριστική φαίνεται η διαφορά των διαστάσεων των ελλείψεων, κατά την διεύθυνση των μετρήσεων μίας κατεύθυνσης και στις περιπτώσεις των μη ορατών βάσεων όπου το σφάλμα (ο ημιάξονας της έλλειψης), είναι μεγαλύτερο (εικόνα 24-σελ.40). Αυτό ενισχύεται επιπλέον εάν παρατηρήσει κάποιος τον πίνακα με τις συγκρίσεις των μηκών (πίνακας 14), για όσες μετρήσεις αφορούν το σημείο εννιά (9-kaminada).

Επίσης με την πρώτη ματιά ειδικά στην τριδιάστατη επίλυση φαίνεται η αναλογικά μεγαλύτερη αβεβαιότητα στις σχετικές ελλείψεις σφάλματος στη διεύθυνση βορρά νότου (εικόνα 25-σελ. 41).



Εικόνα 28. Έλεγχος σύγκλισης των διαφορών για όριο εμπιστοσύνης 95%.

Προχωρώντας με τη ανάλυση των αποτελεσμάτων, ο συνοπτικός συγκριτικός πίνακας των συντεταγμένων (πίνακας 19- σελ.63), είναι καθοριστικός για την συνολική αξιολόγηση της εργασίας που εκτελέστηκε. Συγκεκριμένα μελετώντας τα περιεχόμενα του πίνακα και με δεδομένο ότι οι διαφορές στα περισσότερα σημεία είναι κάτω των **5mm** και καμία πάνω από **8mm**, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι κάτω από προϋποθέσεις το σύστημα GPS μπορεί

κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί για τέτοιες εφαρμογές νοουμένου ότι το ζητούμενο κινείται σε αυτά τα πλαίσια.

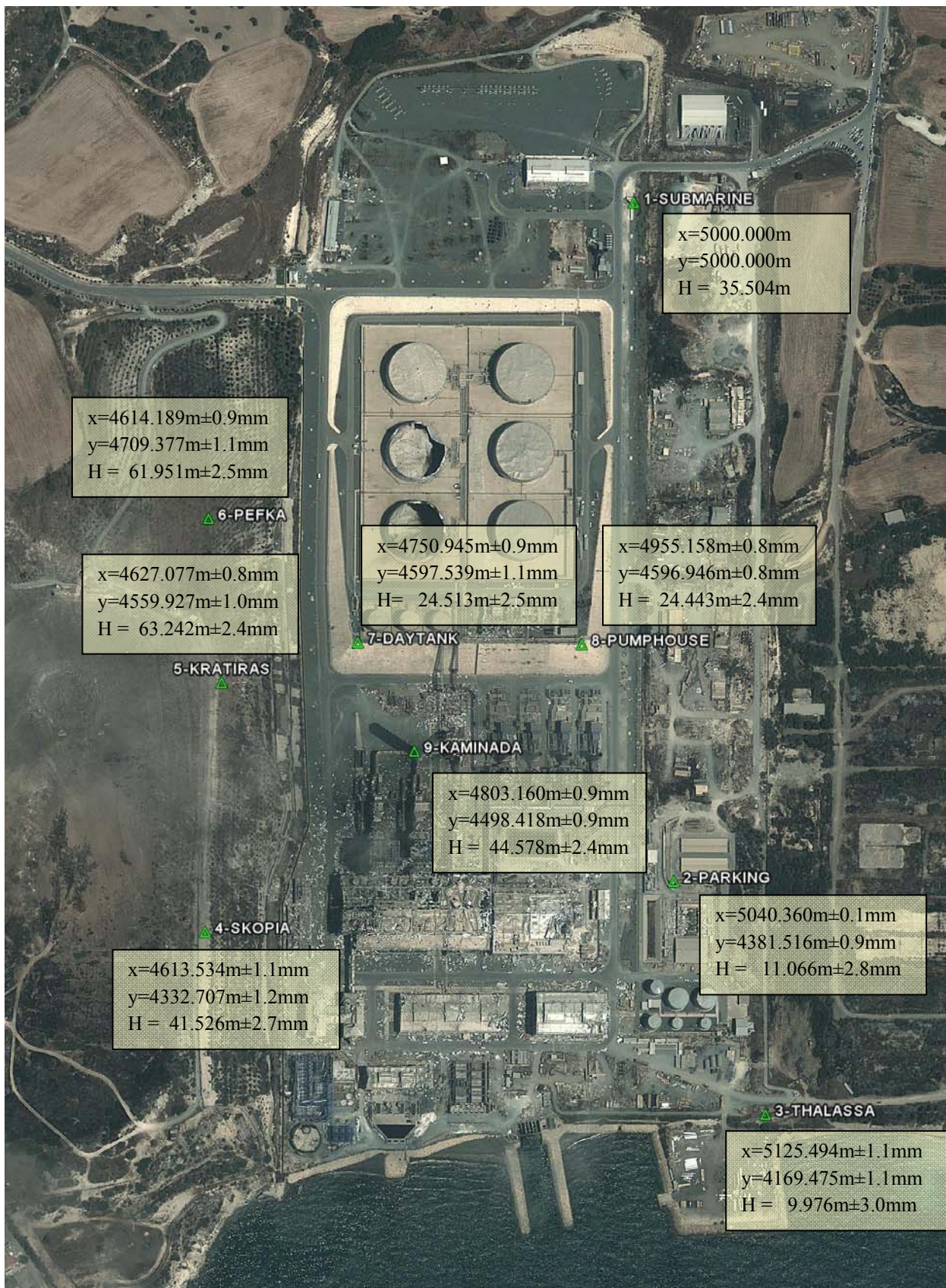
Είναι επίσης ξεκάθαρο ότι για εφαρμογές με απαιτήσεις κάτω των **5mm**, η χρήση του είναι απαγορευτική.

Ολοκληρώνοντας τα συμπεράσματα από αυτή την πτυχιακή εργασία, στη εικόνα 29 και στον αντίστοιχο πίνακα 20 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τελικές τιμές των συντεταγμένων των κορυφών του τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου και οι αντίστοιχες αβεβαιότητές τους, που εγκαταστάθηκε στο χώρο του Η/Σ "Βασιλικό" της ΑΗΚ.

Οι τιμές αυτές μετά την αξιολόγηση που προηγήθηκε είναι αυτές που προέκυψαν από τη τριδιάστατη επίλυση.

**Πίνακας 20. Τελικές συντεταγμένες τριδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου και αβεβαιότητες**

Σημείο	x (m)	y (m)	H (m)	$\sigma_x$ (mm)	$\sigma_y$ (mm)	$\sigma_H$ (mm)
<b>1_Submarine</b>	5000.000	5000.000	35.504			
<b>2_Parking</b>	5040.360	4381.516	11.066	±0.1	±0.9	±2.8
<b>3_Thalassa</b>	5125.494	4169.475	9.976	±1.1	±1.1	±3.0
<b>4_Skopia</b>	4613.534	4332.707	41.526	±1.1	±1.2	±2.7
<b>5_Kratiras</b>	4627.077	4559.927	63.242	±0.8	±1.0	±2.4
<b>6_Pefka</b>	4614.189	4709.377	61.951	±0.9	±0.11	±2.5
<b>7_Day Tank</b>	4750.945	4597.539	24.513	±0.9	±0.9	±2.5
<b>8_Pumphouse</b>	4955.158	4596.946	24.443	±0.8	±0.8	±2.4
<b>9_Kaminada</b>	4803.160	4498.418	44.578	±0.9	±0.9	±2.4



Εικόνα 29. Το τριδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο στο Η/Σ Βασιλικού (δορυφορική εικόνα 2011).

## 7 Επίλογος- Προτάσεις

Συνοψίζοντας το σύνολο της εργασίας που έχει εκτελεστεί, μπορεί να λεχθεί ότι αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την διεξαγωγή του συνόλου των τοπογραφικών εργασιών οι οποίες πραγματοποιούνται στο μέλλον στο χώρο του Ηλεκτροπαραγωγού σταθμού.

Ήδη με την συμπλήρωση της εργασίας τέθηκε το ζήτημα της παρακολούθησης των απότομων πρανών νότια του σημείου 7-Day tank. Για τον σκοπό αυτό τις προσεχείς μέρες θα τοποθετηθούν επί μονίμου βάσεως, ειδικά διαμορφωμένοι στόχοι πάνω στους τοίχους αντιστήριξης των πρανών, για να ξεκινήσει η καταγραφή της σημερινής τους θέσης με σκοπό την παρακολούθηση της μετακίνησης τους στο μέλλον.

Πέραν από την παρακολούθηση των πρανών, μια σημαντική εργασία που θα βασιστεί στην ύπαρξη του δικτύου στον χώρο είναι η παρακολούθηση της συμπεριφοράς της τσιμεντένιας καμινάδας του σταθμού κατά την διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων για να διαπιστωθεί εάν αυτή βρίσκεται εντός των ορίων του σχεδιασμού λειτουργίας της.

Αξίζει να αναφερθεί ότι μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης και της επίλυσης του δικτύου, μετά από αίτημα της Αρχής Ηλεκτρισμού, διοργανώθηκε εικοσιτετράωρη παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς – ταλάντωσης της καμινάδας με χρήση ρομποτικού ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού της εταιρίας Leica. Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε από την ομάδα monitoring που διαθέτει η εταιρεία, η οποία ήρθε για τον σκοπό αυτό από την Ιταλία, με ιδιαίτερα ενδιαφέροντα αποτελέσματα, χρησιμοποιώντας τρεις από τις κορυφές του εγκατεστημένου γεωδαιτικού δικτύου.

Κλείνοντας θα πρέπει να αναφερθεί ότι στους μελλοντικούς σχεδιασμούς συμπεριλαμβάνεται η μέτρηση και η επίλυση του υψομετρικού δικτύου, των υψομετρικών αφετηριών που έχουν τοποθετηθεί σε κάθε κορυφή, είτε στο πλαίσιο των υπηρεσιακών δραστηριοτήτων, είτε σε συνεργασία με το ΤΕΠΑΚ, σε μελλοντικές δραστηριότητες που μπορούν να διοργανωθούν στον χώρο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Ε. Λάμπρου, Γ. Πανταζής, Εφαρμοσμένη Γεωδαισία, Εκδόσεις Ζήτη, ISBN 978-456-205-3, Θεσσαλονίκη, **2010**
2. Πανταζής Γ., ΠΟΜ 331: Γεωδαισία ΙΙΙ, **2011**
3. Τέμενος Κ. 2007, Παρακολούθηση παραμορφώσεων του φράγματος του Κούρη στην Κύπρο, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ. Διπλωματική εργασία.
4. Α.Μ Αγατζά-Μπαλοδήμου, Θεωρία σφαλμάτων και συνορθώσεις ΙΙ, Αθήνα, **2009**
5. Κωτσάκης Χ. ; Τοπογραφικά Δίκτυα και Υπολογισμοί, Σημειώσεις **2012**



## 8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 'Α'

### 8.1 Συγκριτικοί πίνακες

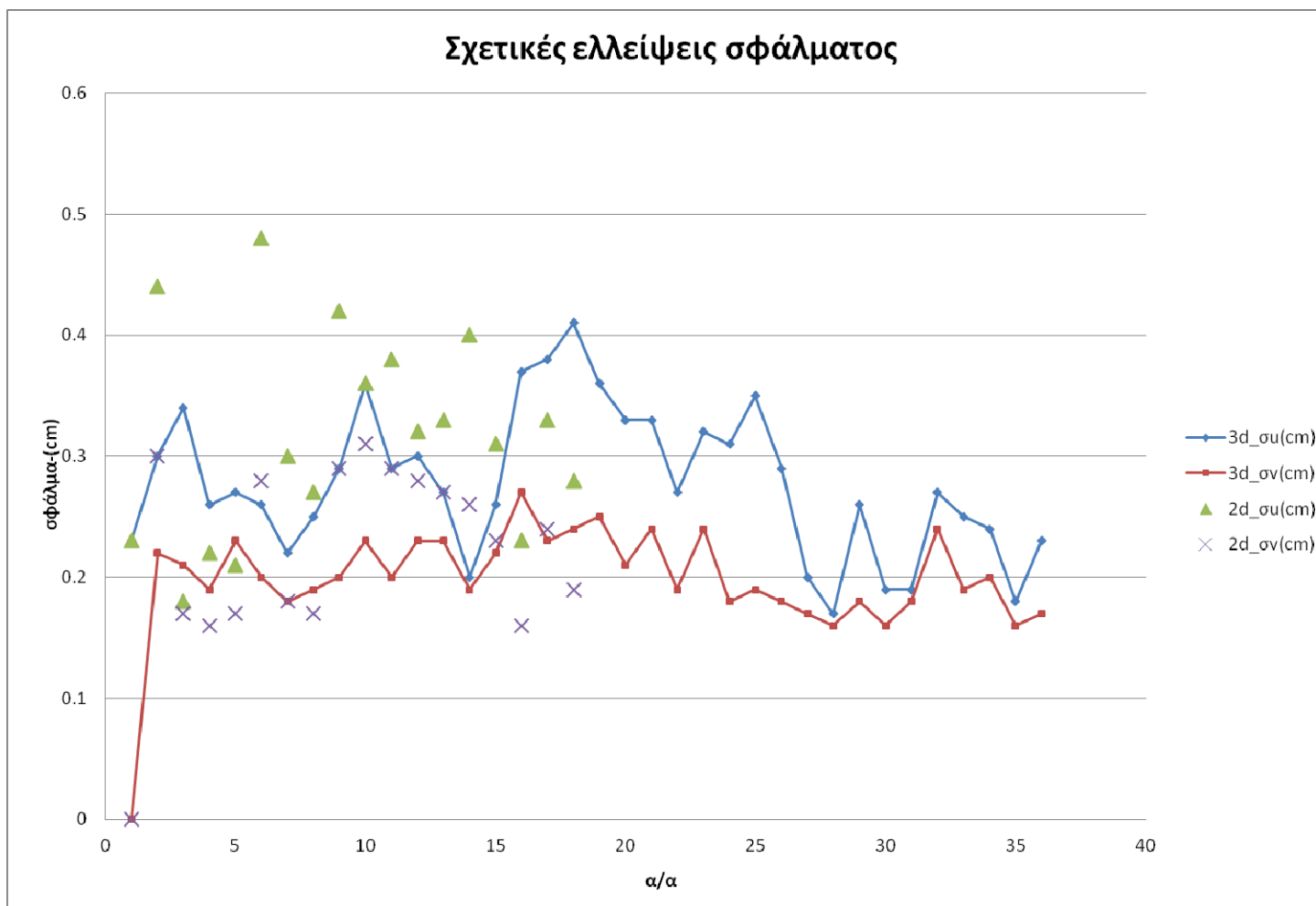
#### Διαφορές συντ/νων(2D-GPS)

Σημείο	Δx (mm)	Δy (mm)	σ <sub>Δx</sub> (mm)	όριο 95% (mm)	έλεγχος	σ <sub>Δy</sub> (mm)	όριο 95% (mm)	έλεγχος
1								
2	0.6	-2.7	±0.6	±1.3	✓	±1.3	±2.5	(-)
3	1.3	0.6	±1.4	±2.7	✓	±1.2	±2.4	✓
4	2.2	-2.4	±1.1	±2.1	(-)	±1.3	±2.5	✓
5	-2.1	-0.5	±0.8	±1.6	(-)	±0.8	±1.6	✓
6	-7.7	2.8	±0.9	±1.7	(-)	±0.9	±1.8	(-)
7	-0.5	-6.5	±0.7	±1.4	✓	±0.8	±1.6	(-)
8	3.6	-5.7	±0.9	±1.7	(-)	±1.1	±2.1	(-)
9	-10.1	4.2	±1.1	±2.2	(-)	±1.4	±2.8	(-)

#### Διαφορές συντ/νων(3D-GPS)

Σημείο	Δx (mm)	Δy (mm)	ΔH (mm)	σ <sub>Δx</sub>	όριο 95% (mm)	έλεγχος	σ <sub>Δy</sub> (mm)	όριο 95% (mm)	έλεγχος	σ <sub>ΔH</sub> (mm)	όριο 95% (mm)	έλεγχος
1												
2	0.6	-4.7	7.2	±0.6	±1.3	✓	±1.2	±2.3	(-)	±3.3	±6.4	(-)
3	3.3	-5.4	6.2	±1.2	±2.3	(-)	±1.2	±2.4	(-)	±3.2	±6.3	✓
4	1.2	-1.4	10.4	±1.2	±2.3	✓	±1.3	±2.5	✓	±2.9	±5.8	(-)
5	-0.1	2.5	4.2	±0.9	±1.8	✓	±1.1	±2.2	(-)	±2.7	±5.2	✓
6	-1.7	4.8	3.7	±1.0	±1.9	✓	±1.2	±2.3	(-)	±2.7	±5.4	✓

7	2.5	-4.5	1.3	±1.0	±1.9	(-)	±1.0	±1.9	(-)	±2.7	±5.3	✓
8	3.6	-5.7	7.3	±0.9	±1.8	(-)	±1.0	±1.9	(-)	±2.7	±5.4	(-)
9	-7.1	6.2	9.5	±1.2	±2.3	(-)	±1.4	±2.8	(-)	±3.2	±6.3	(-)



### 8.1.1 Πίνακας μετρήσεων

Στην ενότητα αυτή εμφανίζεται το σύνολο των μετρήσεων του δικτύου μαζί με όλα τα υπόλοιπα στοιχεία τα απορρέουν από αυτές.

**Πίνακας Α.1: Πίνακας μετρήσεων οριζοντίων γωνιών**

Περίοδος	Στάση	Ύψος Οργάνου	Σκόπευση Προς	Ύψος Σκόπευσης	Θέση I	Θέση II	Μέση Τιμή	Μέση ανηγμένη Τιμή	Γενικός Μ.Ο.
I	1	0.2390	2	0.2403	195.8534	395.8534	195.8534	0.0000	<b>0.0000</b>
I	1	0.2390	3	0.2399	190.4535	390.4535	190.4535	394.6001	<b>394.6007</b>
I	1	0.2390	8	0.2407	207.0564	7.0557	207.0561	11.2027	<b>11.2026</b>
I	1	0.2390	5	0.2409	244.7547	44.7565	244.7556	48.9022	<b>48.9021</b>
I	1	0.2390	6	0.2400	258.9032	58.8991	258.9012	63.0478	<b>63.0479</b>
I	1	0.2390	9	0.2405	223.8094	23.8104	223.8099	27.9565	<b>27.9567</b>
II	1	0.2390	2	0.2403	195.8529	395.8536	195.8533	0.0000	
II	1	0.2390	3	0.2399	190.4549	390.4541	190.4545	394.6013	
II	1	0.2390	8	0.2407	207.0573	7.0544	207.0559	11.2026	
II	1	0.2390	5	0.2409	244.7556	44.7550	244.7553	48.9021	
II	1	0.2390	6	0.2400	258.9013	58.9012	258.9013	63.0480	
II	1	0.2390	9	0.2405	223.8117	23.8087	223.8102	27.9570	
I	2	0.240	1	0.2390	395.8507	195.8527	395.8517	0.0000	<b>0.0000</b>
I	2	0.240	3	0.2399	175.6969	375.6952	175.6961	179.8444	<b>179.8435</b>
I	2	0.240	5	0.2409	325.9451	125.9449	325.9450	330.0933	<b>330.0928</b>
I	2	0.240	8	0.2407	376.0260	176.0245	376.0253	380.1736	<b>380.1732</b>
II	2	0.240	1	0.2390	395.8535	195.8525	395.8530	0.0000	
II	2	0.240	3	0.240	175.6963	375.6948	175.6956	179.8426	
II	2	0.240	5	0.241	325.9450	125.9455	325.9453	330.0923	

II	2	0.240	8	0.241	376.0262	176.0253	376.0258	380.1728	
I	3	0.240	1	0.239	390.4519	190.4495	390.4507	0.0000	<b>0.0000</b>
I	3	0.240	4	0.235	319.6480	119.6455	319.6468	329.1961	<b>329.1962</b>
I	3	0.240	6	0.240	351.7300	151.7286	351.7293	361.2786	<b>361.2788</b>
I	3	0.240	2	0.240	375.6923	175.6914	375.6919	385.2412	<b>385.2410</b>
I	3	0.240	8	0.241	375.8575	175.8569	375.8572	385.4065	<b>385.4067</b>
II	3	0.240	1	0.239	390.4497	190.4492	390.4495	0.0000	
II	3	0.240	4	0.235	319.6463	119.6451	319.6457	329.1963	
II	3	0.240	6	0.240	351.7280	151.7288	351.7284	361.2790	
II	3	0.240	2	0.240	375.6909	175.6898	375.6904	385.2409	
II	3	0.240	8	0.241	375.8570	175.8557	375.8564	385.4069	
I	8	0.241	3	0.240	175.8692	375.8681	175.8687	0.0000	<b>0.0000</b>
I	8	0.241	2	0.240	176.0322	376.0313	176.0318	0.1631	<b>0.1629</b>
I	8	0.241	4	0.238	258.0959	58.0938	258.0949	82.2262	<b>82.2266</b>
I	8	0.241	5	0.241	292.8600	92.8552	292.8576	116.9890	<b>116.9883</b>
I	8	0.241	9	0.241	263.3950	63.3942	263.3946	87.5260	<b>87.5272</b>
I	8	0.241	1	0.239	7.0643	207.0609	7.0626	231.1940	<b>231.1937</b>
I	8	0.241	3	0.240	175.8686	375.8676	175.8681	0.0006	<b>0.0001</b>
II	8	0.241	3	0.240	175.8672	375.8664	175.8668	0.0000	
II	8	0.241	2	0.240	176.0296	376.0295	176.0296	0.1627	
II	8	0.241	4	0.238	258.0950	58.0927	258.0939	82.2271	
II	8	0.241	5	0.241	292.8550	92.8540	292.8545	116.9877	
II	8	0.241	9	0.241	263.3952	63.3952	263.3952	87.5284	
II	8	0.241	1	0.239	7.0598	207.0605	7.0601	231.1934	
II	8	0.241	3	0.240	175.8676	375.8667	175.8672	-0.0003	

I	7	0.243	5	0.241	292.8544	92.8532	292.8538	0.0000	<b>0.0000</b>
I	7	0.243	6	0.240	355.2610	155.2585	355.2598	62.4060	<b>62.4061</b>
I	7	0.243	9	0.241	180.7575	380.7550	180.7563	287.9025	<b>287.8997</b>
I	7	0.243	4	0.238	242.0915	42.0914	242.0915	349.2377	<b>349.2377</b>
I	7	0.243	5	0.241	292.8546	92.8523	292.8535	0.0003	<b>0.0009</b>
II	7	0.243	5	0.241	292.8542	92.8551	292.8547	0.0000	
II	7	0.243	6	0.240	355.2615	155.2601	355.2608	62.4062	
II	7	0.243	9	0.241	180.7524	380.7507	180.7516	287.8969	
II	7	0.243	4	0.238	242.0900	42.0946	242.0923	349.2377	
II	7	0.243	5	0.241	292.8530	92.8532	292.8531	0.0015	
I	7	0.243	5	0.241	245.1159	45.1128	245.1144	0.0000	<b>0.0000</b>
I	7	0.243	6	0.240	307.5236	107.5199	307.5218	62.4074	<b>62.4074</b>
I	7	0.243	9	0.241	133.0169	333.0150	133.0160	287.9016	<b>287.9016</b>
I	7	0.243	4	0.237	194.3528	394.3505	194.3517	349.2373	<b>349.2372</b>
I	7	0.243	5	0.241	245.1151	45.1133	245.1142	399.9999	<b>399.9998</b>
II	7	0.243	5	0.241	245.1132	45.1121	245.1127	0.0000	
II	7	0.243	6	0.240	307.5206	107.5196	307.5201	62.4075	
II	7	0.243	9	0.241	133.0145	333.0138	133.0142	287.9015	
II	7	0.243	4	0.237	194.3499	394.3495	194.3497	349.2371	
II	7	0.243	5	0.241	245.1131	45.1115	245.1123	399.9997	
I	6	0.240	1	0.239	58.9022	258.9052	58.9037	0.0000	<b>0.0000</b>
I	6	0.240	7	0.243	143.6435	343.6470	143.6453	84.7416	<b>84.7401</b>
I	6	0.240	3	0.240	151.7343	351.7375	151.7359	92.8322	<b>92.8320</b>
I	6	0.240	9	0.241	153.5018	353.5022	153.5020	94.5983	<b>94.5981</b>
I	6	0.240	5	0.241	194.5271	394.5279	194.5275	135.6238	<b>135.6246</b>
I	6	0.240	1	0.239	58.9025	258.9030	58.9028	399.9991	<b>399.9990</b>

II	6	0.240	1	0.239	58.9037	258.9065	58.9051	0.0000	
II	6	0.240	7	0.243	143.6428	343.6446	143.6437	84.7386	
II	6	0.240	3	0.240	151.7365	351.7371	151.7368	92.8317	
II	6	0.240	9	0.241	153.5026	353.5035	153.5031	94.5980	
II	6	0.240	5	0.241	194.5293	394.5317	194.5305	135.6254	
II	6	0.240	1	0.239	58.9055	258.9024	58.9040	399.9989	
I	5	0.241	1	0.239	44.7572	244.7588	44.7580	0.0000	<b>0.0000</b>
I	5	0.241	7	0.243	81.2372	281.2372	81.2372	36.4792	<b>36.4791</b>
I	5	0.241	8	0.241	92.8509	292.8507	92.8508	48.0928	<b>48.0926</b>
I	5	0.241	9	0.241	121.3989	321.3975	121.3982	76.6402	<b>76.6407</b>
I	5	0.241	2	0.240	125.9491	325.9479	125.9485	81.1905	<b>81.1903</b>
I	5	0.241	4	0.237	203.7945	3.7945	203.7945	159.0365	<b>159.0361</b>
I	5	0.241	6	0.240	394.5272	194.5265	394.5269	349.7689	<b>349.7693</b>
I	5	0.241	1	0.239	44.7585	244.7560	44.7573	399.9993	<b>399.9996</b>
II	5	0.241	1	0.239	44.7595	244.7577	44.7586	0.0000	
II	5	0.241	7	0.243	81.2373	281.2378	81.2376	36.4790	
II	5	0.241	8	0.241	92.8514	292.8507	92.8511	48.0925	
II	5	0.241	9	0.241	121.3993	321.4004	121.3999	76.6413	
II	5	0.241	2	0.240	125.9489	325.9483	125.9486	81.1900	
II	5	0.241	4	0.237	203.7944	3.7943	203.7944	159.0358	
II	5	0.241	6	0.240	394.5280	194.5285	394.5283	349.7697	
II	5	0.241	1	0.239	44.7591	244.7580	44.7586	400.0000	
I	4	0.237	8	0.241	58.0928	258.0985	58.0957	0.0000	<b>0.0000</b>
I	4	0.237	3	0.240	119.6555	319.6614	119.6585	61.5628	<b>61.5619</b>
I	4	0.237	5	0.241	3.7957	203.7940	3.7949	345.6992	<b>345.6994</b>
I	4	0.237	7	0.243	30.4759	230.4759	30.4759	372.3803	<b>372.3800</b>

I	4	0.237	9	0.241	54.2845	254.2826	54.2836	396.1879	<b>396.1875</b>
I	4	0.237	8	0.241	58.0934	258.0924	58.0929	399.9973	<b>399.9968</b>
II	4	0.237	8	0.241	58.0905	258.0909	58.0907	0.0000	
II	4	0.237	3	0.240	119.6514	319.6520	119.6517	61.5610	
II	4	0.237	5	0.241	3.7914	203.7891	3.7903	345.6996	
II	4	0.237	7	0.243	30.4711	230.4699	30.4705	372.3798	
II	4	0.237	9	0.241	54.2783	254.2774	54.2779	396.1872	
II	4	0.237	8	0.241	58.0872	258.0868	58.0870	399.9963	

**Πίνακας Α. 2: Πίνακας ζενίθιων,γωνιών,μηκών, υψομετρικών διαφορών και αποστάσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου**

α/α	Από - Προς	(Z) (κατακόρυφη γωνία)	(D) Κεκλιμένο μήκος	Ύψος Οργάνου	Ύψος Σκόπευσης	(S) Οριζόντιο Μήκος	ΔΗ	(S) Μέσο	(ΔΗ) Μέσο
1	1-2	102.5139	620.2809	0.239	0.240	619.7973	-24.461	619.798	-24.449
1	2-1	97.4940	620.2788	0.240	0.239	619.7982	24.437		
2	1-3	101.9408	840.3397	0.239	0.240	839.9492	-25.566	839.950	-25.546
2	3-1	98.0696	840.3380	0.240	0.239	839.9517	25.525		
3	1-8	101.7390	405.6913	0.239	0.241	405.5400	-11.069	405.540	-11.062
3	8-1	98.2669	405.6910	0.241	0.239	405.5407	11.054		
4	1-5	96.9438	577.5007	0.239	0.241	576.8351	27.736	576.833	27.748
4	5-1	103.0631	577.5000	0.241	0.239	576.8315	-27.753		
4	5-1	103.0634	577.5000	0.241	0.239	576.8312	-27.755		
5	1-6	96.5194	483.7505	0.239	0.240	483.0275	26.451	483.025	26.449

5	6-1	103.4845	483.7470	0.240	0.239	483.0229	-26.448		
5	6-1	103.4844	483.7473	0.240	0.239	483.0232	-26.448		
7	2-3	100.3049	228.4943	0.240	0.240	228.4916	-1.091	228.492	-1.090
7	3-2	99.6976	228.4945	0.240	0.240	228.4919	1.089		
8	2-5	92.6563	453.1635	0.240	0.241	450.1518	52.172	450.150	52.176
8	5-2	107.3486	453.1640	0.241	0.240	450.1477	-52.179		
9	2-8	96.3286	232.0530	0.240	0.241	231.6672	13.379	231.667	13.380
9	8-2	103.6740	232.0530	0.241	0.240	231.6667	-13.381		
10	3-4	96.2695	538.2785	0.240	0.235	537.3547	31.544	537.354	31.542
10	4-3	103.7348	538.2788	0.237	0.240	537.3536	-31.541		
11	3-6	95.5600	745.4060	0.240	0.240	743.5939	51.983	743.591	51.989
11	6-3	104.4475	745.4053	0.240	0.240	743.5879	-51.994		
13	3-8	98.0006	460.3850	0.240	0.241	460.1579	14.471	460.158	14.474
13	8-3	102.0039	460.3858	0.241	0.240	460.1577	-14.475		
13	8-3	102.0041	460.3860	0.241	0.240	460.1579	-14.476		
14	4-8	102.5183	432.2263	0.237	0.241	431.8882	-17.080	431.889	-17.078
14	4-8	102.5183	432.2260	0.237	0.241	431.8878	-17.081		
14	8-4	97.4865	432.2273	0.241	0.238	431.8906	17.074		
15	5-8	107.4488	332.4335	0.241	0.241	330.1604	-38.800	330.163	-38.801
15	8-5	92.5539	332.4360	0.241	0.241	330.1649	38.802		
17	5-7	118.5065	135.1203	0.241	0.243	129.4507	-38.727	129.452	-38.727
17	7-5	81.4953	135.1210	0.243	0.241	129.4529	38.726		
17	7-5	81.4952	135.1210	0.243	0.241	129.4529	38.726		



18	6-7	113.2945	180.5848	0.240	0.243	176.6618	-37.436	176.662	-37.436
18	7-6	86.7073	180.5850	0.243	0.240	176.6627	37.435		
20	4-7	103.6263	298.8420	0.237	0.243	298.3572	-17.007	298.358	-17.013
20	7-4	96.3741	298.8430	0.243	0.237	298.3584	17.018		
27	5-6	100.5500	150.0090	0.241	0.240	150.0034	-1.294	150.003	-1.294
27	6-5	99.4529	150.0085	0.240	0.241	150.0029	1.291		
29	4-5	93.9453	228.6580	0.237	0.241	227.6247	21.718	227.623	21.718
29	5-4	106.0613	228.6570	0.241	0.237	227.6210	-21.734		

## 8.2 Στοιχεία επιλύσεων

### 8.2.1 Επίλυση υψομετρικού δικτύου

Επίλυση υψομετρικού δικτύου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95 %

Αριθμός κορυφών	:	8
Σταθερή κορυφή	:	1
Αριθμός παρατηρήσεων υψομετρικών διαφορών:		15
Αριθμός αγνώστων	:	7
Βαθμοί ελευθερίας	:	8
A-posteriori μεταβλητότητα	:	0.0000
A-posteriori τυπική απόκλιση	:	0.0012

#### ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ	$\sigma_{\Delta h}$	Συνορθωμενη
		(m)	(mm)	(m)
1	5	27.744	$\pm 2.5$	27.7418
1	6	26.45	$\pm 2.5$	26.4486
8	1	11.062	$\pm 2.5$	11.0584
3	2	1.09	$\pm 2.5$	1.0908
2	5	52.176	$\pm 2.5$	52.1785
2	8	13.38	$\pm 2.5$	13.3783
3	4	31.542	$\pm 2.5$	31.545
3	8	14.473	$\pm 2.5$	14.4692
4	5	21.726	$\pm 2.5$	21.7244
7	4	17.008	$\pm 2.5$	17.0045
8	4	17.077	$\pm 2.5$	17.0759
6	5	1.293	$\pm 2.5$	1.2932
7	5	38.727	$\pm 2.5$	38.7289
8	5	38.801	$\pm 2.5$	38.8002
7	6	37.434	$\pm 2.5$	37.4356

Τελικά υψόμετρα

Σημείο	H	σh
	(m)	(mm)
1	35.504	
2	11.067	±2.7
3	9.976	±2.8
4	41.521	±2.5
5	63.246	±2
6	61.953	±2.3
7	24.517	±2.6
8	24.446	±2.2

### 8.2.2 Επίλυση δικτύου οριζοντίου ελέγχου

Επίλυση δικτύου οριζοντίου ελέγχου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95 %

Αριθμός κορυφών : 9  
 Αριθμός παρατηρήσεων μηκών : 23  
 Αριθμός παρατηρήσεων οριζοντίων γωνιών : 38  
 Συνολικός αριθμός παρατηρήσεων : 61

Αριθμός αγνώστων : 15  
 Βαθμοί ελευθερίας : 46

A-posteriori μεταβλητότητα : 1.362  
 A-posteriori τυπική απόκλιση : 1.167

ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ

ΑΠΟ-	ΠΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ	σs	ΔΙΟΡΘΩΣΗ	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ
		m	mm	mm	m
1	2	619.798	±2	-0.02	619.798
1	3	839.95	±2	-1.79	839.9482
1	5	576.833	±2	2.67	576.8357
1	6	483.025	±2	2.24	483.0272
1	8	405.54	±2	0.38	405.5404
2	3	228.492	±2	-2.34	228.4897
2	5	450.15	±2	-0.51	450.1495
2	8	231.667	±2	-0.95	231.6661
3	4	537.354	±2	-3.44	537.3506
3	6	743.591	±2	-2.58	743.5884
3	8	460.158	±2	-1.89	460.1561
4	5	227.623	±2	-0.67	227.6223
4	7	298.358	±2	0.72	298.3587
4	8	431.889	±2	1.9	431.8909
5	6	150.003	±2	-1.55	150.0014
5	7	129.452	±2	-1.15	129.4509
5	8	330.163	±2	-1.62	330.1614
6	7	176.662	±2	1.89	176.6639
1	9	538.825	±2	0.87	538.8259
5	9	186.518	±2	-1.96	186.516
6	9	283.22	±2	0.15	283.2202
7	9	112.034	±2	0.71	112.0347
8	9	181.137	±2	7.31	181.1443

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΩΝΙΕΣ

ΣΚ	ΣΤ	ΣΚ	ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ (grad)	σβ (cc)	ΔΙΟΡΘΩΣΗ (cc)	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ (grad)
3	1	2	5.3993	±7	-2.44	5.39906
2	1	8	11.2026	±7	-1.33	11.20247
8	1	5	37.6995	±7	7.58	37.70026
5	1	6	14.1458	±7	4.01	14.1462
1	2	3	179.8435	±7	-10.07	179.84249
3	2	5	150.2493	±7	-4.01	150.2489
5	2	8	50.0804	±7	-4.34	50.07997
8	2	1	19.8269	±7	1.22	19.82702
4	3	6	32.0826	±7	-12.09	32.08139
6	3	2	23.9623	±7	4.63	23.96276
2	3	8	0.1657	±7	-3.13	0.16539
8	3	1	14.5933	±7	-8.43	14.59246
3	8	2	0.1629	±7	2.13	0.16311
2	8	4	82.0637	±7	-7.89	82.06291
5	8	1	114.2053	±7	13.98	114.2067
1	8	3	168.8065	±7	-9.4	168.80556
5	7	6	62.4074	±7	-3.23	62.40708
4	7	5	50.7626	±7	-7.6	50.76184
1	6	7	84.7401	±7	-2.91	84.73981
7	6	3	8.0919	±7	0.96	8.092
1	5	7	36.4791	±7	-5.54	36.47855
7	5	8	11.6136	±7	10.31	11.61463
8	5	2	33.0977	±7	-10.2	33.09668
2	5	4	77.8459	±7	-4.58	77.84544
6	5	1	50.2304	±7	2.18	50.23062
8	4	3	61.5619	±7	2.52	61.56215
7	4	8	27.62	±7	-6.96	27.6193
5	4	7	26.6807	±7	3.82	26.68108
8	1	9	16.7541	±7	7.19	16.75482

4	8	9	5.3006	±7	-7.53	5.29985
9	8	5	29.4612	±7	-6.62	29.46054
6	7	9	225.4941	±7	6.45	225.49475
9	7	4	61.3356	±7	2.26	61.33583
3	6	9	1.7662	±7	9.53	1.76715
9	6	5	41.0265	±7	5.86	41.02709
8	5	9	28.5481	±7	6.37	28.54874
9	5	2	4.5495	±7	-3.13	4.54919
7	4	9	23.8075	±7	-5.21	23.80698

Αρχικές συντεταγμένες

Σημείο	x <sub>0</sub> (m)	y <sub>0</sub> (m)
1	5000	5000
2	5040.36	4381.519
3	5125.494	4169.479
4	4613.535	4332.706
5	4627.074	4559.922
6	4614.186	4709.375
7	4750.945	4597.539
8	4955.158	4596.947
9	4803.141	4498.438

Διορθώσεις-Τελικές συντεταγμένες

Σημείο	D <sub>x</sub>	D <sub>y</sub>	x	y
	cm	cm	m	m
1				
2	0.01	-0.15	5040.36	4381.518
3	-0.21	0.17	5125.492	4169.481
4	0.04	-0.04	4613.535	4332.706
5	0.07	0.22	4627.075	4559.924
6	-0.34	0.01	4614.183	4709.375
7	-0.35	-0.19	4750.942	4597.537
8	0.03	-0.06	4955.158	4596.946
9	1.55	-2.2	4803.157	4498.416

Στοιχεία απολύτων ελλείψεων σφάλματος

Σημείο	$\sigma_x(\text{cm})$	$\sigma_y(\text{cm})$	$\sigma_u(\text{cm})$	$\sigma_v(\text{cm})$	$\theta(\text{grad})$
2	$\pm 0.01$	$\pm 0.1$	$\pm 0.23$	$\pm 0$	195.8515
3	$\pm 0.13$	$\pm 0.11$	$\pm 0.35$	$\pm 0.24$	129.7606
4	$\pm 0.1$	$\pm 0.12$	$\pm 0.29$	$\pm 0.23$	188.3143
5	$\pm 0.07$	$\pm 0.07$	$\pm 0.18$	$\pm 0.17$	108.4966
6	$\pm 0.08$	$\pm 0.08$	$\pm 0.22$	$\pm 0.16$	157.1281
7	$\pm 0.06$	$\pm 0.07$	$\pm 0.16$	$\pm 0.15$	164.7857
8	$\pm 0.07$	$\pm 0.09$	$\pm 0.21$	$\pm 0.17$	10.8831
9	$\pm 0.08$	$\pm 0.09$	$\pm 0.25$	$\pm 0.15$	162.0314

Στοιχεία σχετικών ελλείψεων σφάλματος

Από	Πρός	AZ(grad)	S(m)	$\sigma_S(\text{cm})$	$\sigma_A(\text{cm})$	$\sigma_u(\text{cm})$	$\sigma_v(\text{cm})$	$\theta(\text{grad})$
1	2	195.8515	619.796	0.23	0	0.23	0	0
1	3	190.4527	839.949	0.42	0.32	0.44	0.3	178.747
1	5	244.7536	576.838	0.17	0.18	0.18	0.17	63.743
1	6	258.9001	483.027	0.16	0.22	0.22	0.16	98.2279
1	8	207.0538	405.54	0.21	0.17	0.21	0.17	3.8293
2	3	175.6939	228.492	0.48	0.28	0.48	0.28	191.989
2	5	325.9427	450.148	0.2	0.28	0.3	0.18	73.1123
2	8	376.0235	231.665	0.26	0.18	0.27	0.17	16.7377
3	4	319.6486	537.35	0.36	0.36	0.42	0.29	51.1971
3	6	351.7309	743.588	0.36	0.32	0.36	0.31	182.502
3	8	375.8599	460.156	0.36	0.31	0.38	0.29	170.832
4	5	3.7889	227.619	0.28	0.32	0.32	0.28	79.2415
4	7	30.4698	298.359	0.27	0.33	0.33	0.27	98.441
4	8	58.0872	431.891	0.28	0.39	0.4	0.26	120.86
5	6	394.5237	150.008	0.29	0.26	0.31	0.23	162.241
5	7	81.2306	129.457	0.23	0.16	0.23	0.16	192.572
5	8	92.8459	330.167	0.25	0.32	0.33	0.24	114.655
6	7	143.6388	176.664	0.27	0.2	0.28	0.19	19.4635

Ισχύς του δικτύου [ rpm ]

Κλίμακας = 3.729

Προσανατολισμού = 3.288

### 8.2.3 Επίλυση τρισδιάστατου δικτύου

Επίλυση τρισδιάστατου δικτύου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95 %

Αριθμός κορυφών : 9

Αριθμός παρατηρήσεων μηκών : 24

Αριθμός παρατηρήσεων οριζοντίων γωνιών : 37

Αριθμός παρατηρήσεων κατακορύφων γωνιών : 23

Συνολικός αριθμός παρατηρήσεων : 84

Αριθμός αγνώστων : 23

Βαθμοί ελευθερίας : 61

A-posteriori μεταβλητότητα : 1.190

A-posteriori τυπική απόκλιση : 1.091

#### ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

##### ΜΗΚΗ

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ m	σs mm	ΔΙΟΡΘΩΣΗ mm	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ m
2	1	620.28	±1	1.61	620.2816
3	1	840.339	±2	1.03	840.34
1	5	577.5	±1	-0.91	577.4991
1	6	483.748	±1	-0.32	483.7477
8	1	405.691	±1	0.84	405.6918
3	2	228.494	±1	1.47	228.4955
2	5	453.164	±1	0.78	453.1648
2	8	232.053	±1	0.47	232.0535
3	4	538.279	±1	-1.36	538.2776
3	6	745.406	±2	-1.47	745.4045



3	8	460.386	±1	-0.8	460.3852
4	5	228.657	±1	0.18	228.6572
7	4	298.842	±1	1	298.843
8	4	432.227	±1	0.78	432.2278
6	5	150.009	±1	0.57	150.0096
7	5	135.122	±1	-0.31	135.1217
8	5	332.435	±1	-0.05	332.435
7	6	180.586	±1	0.88	180.5869
1	9	538.902	±1	-2.04	538.9
4	9	251.849	±1	-1.18	251.8478
9	5	187.449	±1	-0.21	187.4488
9	6	283.753	±1	-0.27	283.7527
7	9	113.816	±1	-0.48	113.8155
8	9	182.253	±1	1.21	182.2542

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΩΝΙΕΣ

ΣΚ.	ΣΤ.	ΣΚ.	ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ grad	σβ cc	ΔΙΟΡΘΩΣΗ cc	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ grad
3	1	2	5.3993	±6	-5.63	5.39874
2	1	8	11.2026	±6	-3.43	11.20226
8	1	5	37.6995	±6	5	37.7
5	1	6	14.1458	±6	5.32	14.14633
1	2	3	179.8435	±6	-8.93	179.84261
3	2	5	150.2493	±6	4.2	150.24972
5	2	8	50.0804	±6	-6.88	50.07971
8	2	1	19.8269	±6	10.61	19.82796
4	3	6	32.0826	±6	-3.11	32.08229
6	3	2	23.9623	±6	4.52	23.96275
2	3	8	0.1657	±6	1.52	0.16585
8	3	1	14.5933	±6	-4.96	14.5928
3	8	2	0.1629	±6	6.8	0.16358

2	8	4	82.0637	±6	3	82.064
5	8	1	114.2053	±6	13.87	114.20669
1	8	3	168.8065	±6	-2.98	168.8062
5	7	6	62.4074	±6	-3.3	62.40707
4	7	5	50.7626	±6	2.63	50.76286
1	6	7	84.7401	±6	-2.47	84.73985
7	6	3	8.0919	±6	-4.86	8.09141
1	5	7	36.4791	±6	0.15	36.47911
7	5	8	11.6136	±6	5.98	11.6142
8	5	2	33.0977	±6	-9.43	33.09676
2	5	4	77.8459	±6	0.84	77.84598
6	5	1	50.2304	±6	-1.98	50.2302
8	4	3	61.5619	±6	-3.72	61.56153
5	4	7	26.6807	±6	-5.02	26.6802
8	1	9	16.7541	±6	-1.3	16.75397
4	8	9	5.3006	±6	-15.53	5.29905
9	8	5	29.4612	±6	-7.16	29.46048
6	7	9	225.4941	±6	0.31	225.49413
9	7	4	61.3356	±6	3.36	61.33594
3	6	9	1.7662	±6	-10.11	1.76519
9	6	5	41.0265	±6	5.11	41.02701
8	5	9	28.5481	±6	-2.95	28.5478
9	5	2	4.5495	±6	-5.48	4.54895
7	4	9	23.8075	±6	6	23.8081

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΩΝΙΕΣ

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ grad	σβ cc	ΔΙΟΡΘΩΣΗ cc	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ grad
2	1	97.494	±6	-1.23	97.49388
3	1	98.0696	±6	-2.33	98.06937
1	5	96.9438	±6	-4.9	96.94331

1	6	96.5194	±6	2.49	96.51965
8	1	98.2669	±6	-7.78	98.26612
3	2	99.6976	±6	-2.66	99.69733
2	5	92.6563	±6	-7.08	92.65559
2	8	96.3286	±6	1.29	96.32873
3	4	96.2695	±6	-2.64	96.26924
3	6	95.56	±6	5.05	95.5605
3	8	98.0006	±6	3.38	98.00094
4	5	93.9453	±6	-4.47	93.94485
7	4	96.3759	±6	1.33	96.37603
8	4	97.4865	±6	-10.56	97.48544
6	5	99.4529	±6	-2.93	99.45261
7	5	81.495	±6	1.09	81.49511
8	5	92.5539	±6	5.3	92.55443
7	6	86.7078	±6	-4.82	86.70732
1	9	98.9312	±6	-11.16	98.93008
4	9	99.2288	±6	-1.62	99.22864
9	5	93.651	±6	6.86	93.65169
7	9	88.7192	±6	1.93	88.71939
8	9	92.9523	±6	9.02	92.9532

**Αρχικές συντεταγμένες**

<b>Σημείο</b>	<b>x<sub>0</sub> (m)</b>	<b>y<sub>0</sub> (m)</b>	<b>H<sub>0</sub> (m)</b>
1	5000	5000	35.504
2	5040.36	4381.519	11.046
3	5125.494	4169.479	9.958
4	4613.535	4332.706	41.449
5	4627.074	4559.922	63.176
6	4614.186	4709.375	61.891
7	4750.945	4597.539	24.463
8	4955.158	4596.947	24.425
9	4803.141	4498.438	44.57

Διορθώσεις			Τελικές συντ/νες			
Σημείο	Dx cm	Dy cm	Dh cm	x m	y m	H m
1						
2	0.02	-0.27	1.98	5040.36	4381.516	11.066
3	-0.02	-0.35	1.8	5125.494	4169.475	9.976
4	-0.1	0.09	7.74	4613.534	4332.707	41.526
5	0.25	0.54	6.56	4627.077	4559.927	63.242
6	0.25	0.17	6.03	4614.189	4709.377	61.951
7	-0.02	-0.02	5.01	4750.945	4597.539	24.513
8	-0.02	-0.12	1.82	4955.158	4596.946	24.443
9	1.87	-2.02	0.81	4803.16	4498.418	44.578

**Στοιχεία απολύτων ελλείψεων σφάλματος**

Σημείο	σx(cm)	σy(cm)	σh(cm)	σu(cm)	σv(cm)	θ(grad)	σz(cm)
2	±0.01	±0.09	±0.28	±0.23	0	195.8515	±0.55
3	±0.11	±0.11	±0.3	±0.3	±0.22	56.6412	±0.59
4	±0.11	±0.12	±0.27	±0.34	±0.21	155.9057	±0.53
5	±0.08	±0.1	±0.24	±0.26	±0.19	173.7219	±0.48
6	±0.09	±0.11	±0.25	±0.27	±0.23	188.4761	±0.5
7	±0.09	±0.09	±0.25	±0.26	±0.2	150.4132	±0.49
8	±0.08	±0.08	±0.24	±0.22	±0.18	152.775	±0.48
9	±0.09	±0.09	±0.24	±0.25	±0.19	146.6923	±0.48

**Στοιχεία σχετικών ελλείψεων σφάλματος**

Από	Πρός	AZ(grad)	S(m)	D(m)	σs(cm)	σA(cm)	σh(cm)	σu(cm)	σv(cm)	θ(grad)
1	2	195.8515	619.796	620.279	0.23	0	0.55	0.23	0	0.0000
1	3	190.4528	839.952	840.34	0.25	0.28	0.59	0.3	0.22	66.1884
1	4	233.4194	771.127	771.15	0.23	0.33	0.53	0.34	0.21	122.4863
1	5	244.7538	576.833	577.499	0.21	0.25	0.48	0.26	0.19	128.9682
1	6	258.9001	483.024	483.748	0.24	0.26	0.5	0.27	0.23	129.5760
1	7	235.2783	473.29	473.418	0.2	0.25	0.49	0.26	0.2	115.1349
1	8	207.0538	405.541	405.692	0.2	0.2	0.48	0.22	0.18	145.7213
1	9	223.8077	538.824	538.9	0.2	0.25	0.48	0.25	0.19	122.8846
2	3	175.6944	228.496	228.498	0.2	0.29	0.39	0.29	0.2	99.4425

2	4	292.7511	429.608	430.688	0.26	0.34	0.46	0.36	0.23	73.0497
2	5	325.9435	450.148	453.164	0.22	0.27	0.42	0.29	0.2	72.9726
2	6	341.746	537.692	540.096	0.25	0.29	0.46	0.3	0.23	66.7121
2	7	340.8197	361.145	361.396	0.25	0.25	0.43	0.27	0.23	47.1330
2	8	376.0233	231.664	232.051	0.2	0.2	0.37	0.2	0.19	57.4530
2	9	329.1504	264.442	266.559	0.24	0.23	0.42	0.26	0.22	43.0678
3	4	319.6491	537.352	538.278	0.27	0.37	0.51	0.37	0.27	95.1586
3	5	342.3051	633.145	635.382	0.23	0.38	0.48	0.38	0.23	104.3084
3	6	351.7314	743.59	745.405	0.24	0.41	0.51	0.41	0.24	99.3177
3	7	354.2384	568.793	568.978	0.25	0.36	0.49	0.36	0.25	103.1973
3	8	375.86	460.158	460.385	0.21	0.33	0.44	0.33	0.21	96.6181
3	9	350.6459	460.546	461.844	0.24	0.33	0.48	0.33	0.24	105.1108
4	5	3.7898	227.624	228.657	0.2	0.26	0.3	0.27	0.19	121.1465
4	6	0.1106	376.67	377.224	0.25	0.31	0.36	0.32	0.24	120.2943
4	7	30.47	298.358	298.843	0.18	0.31	0.3	0.31	0.18	103.8576
4	8	58.0876	431.89	432.228	0.2	0.35	0.36	0.35	0.19	96.6468
4	9	54.2781	251.829	251.848	0.18	0.29	0.3	0.29	0.18	97.1228
5	6	394.5236	150.004	150.01	0.18	0.2	0.24	0.2	0.17	82.9612
5	7	81.2329	129.453	135.122	0.17	0.16	0.19	0.17	0.16	28.3528
5	8	92.8471	330.163	332.435	0.18	0.26	0.3	0.26	0.18	93.2954
5	9	121.3949	186.517	187.449	0.16	0.19	0.22	0.19	0.16	99.7044
6	7	143.64	176.664	180.587	0.18	0.19	0.25	0.19	0.18	66.2942
6	8	120.2771	359.028	360.981	0.24	0.27	0.36	0.27	0.24	89.3086
6	9	153.4966	283.22	283.753	0.19	0.25	0.28	0.25	0.19	100.7015
7	8	100.1849	204.214	204.214	0.22	0.23	0.31	0.24	0.2	57.2262
7	9	169.1341	112.033	113.816	0.17	0.16	0.19	0.18	0.16	162.4372
8	9	263.3866	181.139	182.254	0.17	0.23	0.28	0.23	0.17	92.4623

**Ισχύς του δικτύου [ ppm ]**

**Κλίμακας** = 2.685

**Προσανατολισμού** = 3.263

**Υψομέτρου** = 5.667