



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΙΔΡΥΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΡΑΦΗΝΑΣ –
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΠΙΚΟΥ
ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΜΑΡΙΑΣ ΤΣΕΡΜΟΥ

Επιβλέπουσα : Ορθοδοξία Αραμπατζή
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

**ΙΔΡΥΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΡΑΦΗΝΑΣ –
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΠΙΚΟΥ
ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΜΑΡΙΑΣ ΤΣΕΡΜΟΥ

Επιβλέπουσα: Ορθοδοξία Αραμπατζή
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

(Υπογραφή)

.....
Ορθοδοξία Αραμπατζή
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Ευαγγελία Λάμπρου
Επικ.Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Δημοσθένης Σταθάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2013

(Υπογραφή)

.....

ΜΑΡΙΑ ΤΣΕΡΜΟΥ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Μαρία Τσέρμου, 2013

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά κάθε έναν από τους ανθρώπους που με στήριξαν όλο αυτό το διάστημα.

Πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το συμφοιτητή μου, Παναγιώτη Τζούρο, για την ευχάριστη συνεργασία μας, την πολύτιμη συμμετοχή του στις μετρήσεις πεδίου αλλά και την γενικότερη βοήθεια του στην ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Τη Λέκτορα της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, Ορθοδοξία Αραμπατζή, για την ανάθεση και επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας, την παροχή υλικού και χρήσιμων συμβουλών για κάθε επιμέρους εργασία καθώς και τη διόρθωση των κειμένων.

Την υποψήφιο διδάκτορα της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, Δήμητρα Τσίνη, για την υποστήριξη και βοήθειά της σε όλες τις φάσεις των εργασιών γραφείου.

Τον αναπληρωτή καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Βασίλειο Παγούνη, για την υποστήριξη και βοήθειά του σε όλες τις φάσεις των εργασιών πεδίου, όπως και για τα δεδομένα του μονιμού σταθμού των Τ.Ε.Ι.

Και φυσικά την οικογένειά μου, τον πατέρα μου Γεώργιο Τσέρμο, τη μητέρα μου Αριστούλα Θειακού, καθώς και τον αδερφό μου, Δημήτριο Τσέρμο, για τη συμμετοχή τους στην ίδρυση των υπομετρικών αφετηριών και τις εργασίες υπαίθρου αλλά και για την υποστήριξη και την υπομονή τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, αλλά και της φοίτησης μου στη ΣΑΤΜ.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό την ίδρυση αστικού Δικτύου Κατακορύφου Ελέγχου (Δ.Κ.Ε.) με δορυφορικές μεθοδολογίες όπως και το γεωμετρικό προσδιορισμό του τοπικού γεωειδούς. Η ίδρυση του δικτύου αυτού εστιάστηκε στον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων των σημείων από τα οποία αποτελείται. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το σύστημα GPS. Τα γεωμετρικά υψόμετρα σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα ορθομετρικά, που προέκυψαν από προηγούμενη διπλωματική εργασία [7] στην περιοχή, αποτέλεσαν τα απαραίτητα δεδομένα για το γεωμετρικό προσδιορισμό του τοπικού γεωειδούς. Το τελικό μοντέλο γεωειδούς διαμορφώθηκε με τη βοήθεια της Μεθόδου Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.). Όλα τα παραπάνω αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τα έργα ενός Μηχανικού καθώς μέσα από το μοντέλο γεωειδούς μπορεί να προσδιορίσει τη σχέση μεταξύ γεωμετρικού και ορθομετρικού υψομέτρου για οποιοδήποτε σημείο της περιοχής μελέτης.

Το δίκτυο στο οποίο αναφέρεται η Δ.Ε. ιδρύθηκε στη Ραφήνα και συγκεκριμένα στις περιοχές: Πρωτέα, Νηρέα και Ορειχαλκουργών (Πετρέλαια).

Λέξεις κλειδιά: Δικτύου Κατακορύφου Ελέγχου (Δ.Κ.Ε.), Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.), Ραφήνα, Πρωτέας, Νηρέας, Ορειχαλκουργοί (Πετρέλαια)

Abstract

This thesis was carried out with a view to establishing urban Vertical Control Network (V.C.N.), through satellite methodologies, and the geometric determination of the local geoid. The establishment of this network was designed to determine the geometric height of its network points. For this purpose, measurements with the GPS system were accomplished. The geometric heights in conjunction with the corresponding orthometric ones, arising from a previous thesis [7] in the area, were the necessary data for the geometric determination of the local geoid. The final geoid model was formed using the Least Squares Method (L.S.M.). All these are important tools for the engineering works as the geoid model can determine the relationship between geometric and orthometric heights for any point of the study area.

The network which is described in this thesis was established in the town of Rafina and specific at the areas: Proteus, Nereus and Oreichalkourgia (Petroleum).

Keywords: Vertical Control Network (V.C.N.), Least Squares Method (L.S.M.), Rafina, Proteus area, Nereus area and Oreichalkourgia (Petroleum) area.

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
	<i>1.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας</i>	<i>1</i>
	<i>1.2 Περιοχή μελέτης</i>	<i>2</i>
	<i>1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας</i>	<i>3</i>
2	ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	5
	<i>2.1 Φυσική γήινη επιφάνεια</i>	<i>5</i>
	<i>2.2 Ελλειψοειδές εκ περιστροφής (ΕΕΠ)</i>	<i>6</i>
	<i>2.3 Σφαίρα.....</i>	<i>6</i>
	<i>2.4 Οριζόντιο επίπεδο.....</i>	<i>6</i>
	<i>2.5 Γεωειδές</i>	<i>6</i>
	<i>2.6 Προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου της φ.γ.ε.....</i>	<i>7</i>
3	ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS	9
	<i>3.1 Γενικά.....</i>	<i>9</i>
	<i>3.2 Ιστορικά στοιχεία.....</i>	<i>10</i>
	<i>3.3 Τα λειτουργικά συστήματα του GPS.....</i>	<i>11</i>
	<i>3.4 Μορφή σήματος εκπομπής των δορυφόρων.....</i>	<i>11</i>
	<i>3.5 Τρόποι μέτρησης.....</i>	<i>11</i>
	<i>3.6 Εντοπισμός θέσης δικτύου με το σύστημα GPS.....</i>	<i>11</i>
	<i>3.6.1 Αρχή του εντοπισμού</i>	<i>11</i>
	<i>3.6.2 Τρόποι εντοπισμού</i>	<i>12</i>
	<i>3.6.3 Σφάλματα εντοπισμού στο σύστημα GPS.....</i>	<i>13</i>
	<i>3.7 Αρχή επίλυσης.....</i>	<i>13</i>
	<i>3.8 Εφαρμογή του GPS στη γεωδαισία-τοπογραφία.....</i>	<i>14</i>
4	ΤΟ ΓΕΩΕΙΔΕΣ	15
	<i>4.1 Γεωμετρικός προσδιορισμός γεωειδούς</i>	<i>15</i>

4.2 Προσομοίωση γεωειδούς.....	16	
4.3 Επιφάνειες που προσομοιάζουν το γεωειδές	17	
4.3.1 Επίπεδο	17	
4.3.2 Επιφάνεια 2ου βαθμού.....	18	
4.4 Αρχικός προσδιορισμός του h	18	
4.5 Συμπεράσματα	19	
5	ΙΔΡΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	20
5.1 Γενικά.....	20	
5.2 Σχεδιασμός δικτύου	21	
5.3 Αναγνώριση της περιοχής μελέτης και επιλογή της θέσης των σημείων του δικτύου	22	
5.4 Τα σημεία του δικτύου	23	
5.5 Επιλογή οργάνων.....	23	
5.5.1 Το σύστημα GPS 1200+ LEICA.....	23	
5.5.2 Ο δέκτης, το λογισμικό, η αποθήκευση και η εξαγωγή των δεδομένων	25	
5.5.3 Ερμηνεία και περιγραφή των εικονιδίων του χειριστηρίου.....	25	
5.6 Παρελκόμενα.....	26	
6	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ	27
6.1 Γενικά.....	27	
6.2 Μετρήσεις με το σύστημα GPS.....	27	
7	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	31
7.1 Επεξεργασία των μετρούμενων βάσεων.....	31	
7.2 Επιλογή του σταθερού σημείου για τις επιλύσεις.....	31	
7.2.1 Πρώτη επίλυση.....	32	
7.2.2 Δεύτερη επίλυση	33	
7.3 Αποτελέσματα των δύο επιλύσεων	33	
8	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ.....	35
8.1 Εισαγωγή.....	35	
8.2 Προσομοίωση γεωειδούς.....	36	

8.2.1	Επίπεδο	37
8.2.2	Επιφάνεια 2ου βαθμού	37
9	ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	38
9.1	Σύγκριση ορθομετρικών και γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών.....	39
10	ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	41
10.1	Συνολικό χρονοδιάγραμμα εργασιών.....	41
10.1.1	Χρονοδιάγραμμα εργασιών πεδίου	42
10.1.2	Χρονοδιάγραμμα εργασιών γραφείου	43
11	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	44
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ	46
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	47

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Η θέση του Δήμου Ραφήνας- Πικερμίου στην Αττική	3
Εικόνα 2: Το λιμάνι της Ραφήνας	3
Εικόνα 3: Σχετική θέση γεωειδούς, ελλειψοειδούς εκ περιστροφής και φ.γ.ε.	8
Εικόνα 4: Τεχνητός δορυφόρος	10
Εικόνα 5: Ο απόλυτος εντοπισμός θέσης	12
Εικόνα 6: Ο σχετικός εντοπισμός θέσης	13
Εικόνα 7: Η εφαρμογή του GPS στην τοπογραφία.....	14
Εικόνα 8: Έκκεντρες στάσεις υλοποιημένες με καρφί	21
Εικόνα 9: Ορειχάλκινο μπουλόνι	22
Εικόνα 10: Το σύστημα GPS 1200+	24
Εικόνα 11: Κυρίως μενού τηλεχειριστηρίου και εικονίδια	25
Εικόνα 12: Τα παρελκόμενα του GPS	26
Εικόνα 13: Έντυπο τεκμηρίωσης δορυφορικών μετρήσεων.....	30

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 1: Τα σημεία του δικτύου.....	23
Χάρτης 2: Απεικόνιση των βάσεων που μετρήθηκαν με το σύστημα GPS	29

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Αποτελέσματα 1ης επίλυσης	33
Πίνακας 2: Αποτελέσματα 2ης επίλυσης.....	34
Πίνακας 3: Ορθομετρικά υψόμετρα αφετηριών και βάθρων, αποτελέσματα γεωμετρικών χωροσταθμίσεων και τελικά ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων του δικτύου μας	36
Πίνακας 4: Συντεταγμένες ΕΓΣΑ, γεωμετρικά υψόμετρα 1ης επίλυσης, ορθομετρικά υψόμετρα και απόκλιση του γεωειδούς. ($N = h - H$)	37
Πίνακας 5: Γεωμετρικά υψόμετρα έκκεντρων στάσεων και των βάθρων της Γ.Υ.Σ. , γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές (γεωμετρική χωροστάθμιση), γεωμετρικά υψόμετρα αφετηριών και των βάθρων της Γ.Υ.Σ.....	39
Πίνακας 6: Ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα των υψομετρικών αφετηριών και των βάθρων της Γ.Υ.Σ.....	39
Πίνακας 7: Ορθομετρικά, γεωμετρικά υψόμετρα και ορθομετρικές και γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές	40

Ευρετήριο Γραφημάτων

Γράφημα 1: Συνολικό χρονοδιάγραμμα εργασιών	42
Γράφημα 2: Χρονοδιάγραμμα εργασιών πεδίου.....	42
Γράφημα 3: Χρονοδιάγραμμα εργασιών γραφείου.....	43

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ίδρυση δικτύου κατακόρυφου ελέγχου και ο προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων με τη χρήση GPS, με ακρίβεια που να καλύπτει τις ανάγκες των περισσότερων γεωδαιτικών εφαρμογών αστικής χρήσης. Συγκεκριμένα το κατακόρυφο δίκτυο αποτελεί συνέχεια του κατακόρυφου δικτύου που έχει ιδρυθεί στην περιοχή της Ραφήνας από το Τμήμα Τοπογραφίας του ΤΕΙ Αθήνας και συγκεκριμένα επέκταση του με 9 νέες υψομετρικές αφετηρίες που καλύπτουν τις περιοχές του Πρωτέα, του Νηρέα και των Ορειχαλκουργών (Πετρέλαια).

Για τον προσδιορισμό των απαιτούμενων ορθομετρικών υψομέτρων των αφετηριών που ιδρύθηκαν, συνδυάζονται δορυφορικές όπως και επίγειες μετρήσεις (Γ.Χ. και Ε.Τ.Υ.) για την παραγωγή ενός τοπικού μοντέλου γεωειδούς, στην περιοχή ίδρυσης του δικτύου. Συνοπτικά, προσδιορίστηκε το γεωμετρικό υψόμετρο 11 σημείων με

δορυφορικές μετρήσεις. Ο προσδιορισμός των γεωμετρικών υψομέτρων των σημείων, βάσει μετρήσεων GPS, έγινε με διαφορετικά λογισμικά επεξεργασίας δεδομένων GPS, με σκοπό να διαπιστωθεί κατά πόσο οι λύσεις από εμπορικά λογισμικά διαφοροποιούνται. Τα ορθομετρικά υψόμετρα πάρθηκαν από άλλη διπλωματική εργασία. [7]

Μετά την ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων του συστήματος GPS και την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων προσδιορίστηκε ένα μοντέλο του τοπικού γεωειδούς στην περιοχή μελέτης για την αναγωγή των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά.

1.2 Περιοχή μελέτης

Η Ραφήνα είναι πόλη της ανατολικής ακτής της Αττικής και ανήκει στον Δήμο Ραφήνας- Πικερμίου. Απέχει από την Αθήνα 28 χιλιόμετρα και 10 χιλιόμετρα από το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος ενώ ο πληθυσμός της υπολογίζεται ότι έχει ξεπεράσει τις 16.000 μόνιμους κατοίκους με πολλαπλάσιο αριθμό κατοίκων κατά τη καλοκαιρινή περίοδο. Η γεωγραφική της θέση την έχει καταστήσει ένα πολυσύχναστο παραθεριστικό θέρετρο και θεωρείται μία από τις σημαντικότερες πόλεις της Ανατολικής Αττικής. Το λιμάνι της έχει εξελιχθεί στο δεύτερο μετά τον Πειραιά επιβατικό λιμάνι προς Κυκλάδες και Εύβοια. Είναι το ένα από τα μεγαλύτερα λιμάνια στην Ελλάδα και ενώνει την Αττική εμπορικά και τουριστικά με πολλά νησιά (Κυκλάδες, Λήμνος, Χίος, Μυτιλήνη κ.α.) ενώ πλησιέστερα βρίσκονται η Εύβοια, η Άνδρος, η Τήνος, η Μύκονος, η Πάρος και η Σκύρος.

Σήμερα η Ραφήνα αποτελεί ουσιαστικά προάστιο της Αθήνας, χάρη στην Αττική οδό που βελτίωσε την πρόσβαση από το κέντρο της πόλης. Τα τελευταία χρόνια έχει γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη, καθώς ολοένα και περισσότερες ακτοπολικές γραμμές επιλέγουν το λιμάνι της.



Εικόνα 1: Η θέση του Δήμου Ραφήνας- Πικερμίου στην Αττική



Εικόνα 2: Το λιμάνι της Ραφήνας

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 11 κεφάλαια, η δομή και το περιεχόμενο των οποίων παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

Στο παρόν πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται ο σκοπός για τον οποίο πραγματοποιήθηκε η εργασία και περιγράφεται η περιοχή μελέτης όπως και η δομή της διπλωματικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται βασικοί ορισμοί, απαραίτητοι για την κατανόηση όσων περιγράφονται. Οι ορισμοί αυτοί αφορούν κυρίως μαθηματικές επιφάνειες και τρόπους προσδιορισμού της θέσης σημείων.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού τρισδιάστατης θέσης σημείων στη Φ.Γ.Ε., GPS (Global Positioning System). Γίνεται

αναφορά στα ιστορικά του στοιχεία, τα λειτουργικά του συστήματα και τις αρχές λειτουργίας, όπως και στους τρόπους, τις αρχές και τα σφάλματα προσδιορισμού θέσης των σημείων. Τέλος γίνεται αναφορά στις αρχές επίλυσης του συστήματος αλλά και στην εφαρμογή του GPS σε γεωδαισία και τοπογραφία.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά το γεωειδές. Η γνώση του γεωειδούς μιας περιοχής είναι απαραίτητο μέσο για την αναγωγή των ορθομετρικών υψομέτρων σε γεωμετρικά και αντίστροφα. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να προσδιοριστεί το γεωειδές, οι επιφάνειες που μπορούν να το προσομοιάσουν και η ακρίβεια με την οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτό.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η ίδρυση του δικτύου στην περιοχή όπως και τα όργανα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις. Συγκεκριμένα γίνεται λόγος για το σχεδιασμό και τα σημεία του δικτύου, την αναγνώριση της περιοχής μελέτης και τους δέκτες GPS που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται οι μετρήσεις πεδίου. Αναφέρεται η ημερομηνία και η διάρκεια των μετρήσεων ενώ περιγράφεται εκτενώς ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις GPS.

Το έβδομο κεφάλαιο αφορά την επεξεργασία των μετρήσεων. Περιγράφονται οι διαδικασίες μέσα από τις οποίες προέκυψαν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων. Επίσης γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών.

Το όγδοο κεφάλαιο αφορά το γεωμετρικό προσδιορισμό του γεωειδούς. Αρχικά αναφέρονται τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό αυτό. Στη συνέχεια προσδιορίζονται μέσω της MET οι παράμετροι των εξισώσεων των επιφανειών που προσομοιάζουν το τοπικό γεωειδές της περιοχής μελέτης.

Στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα όλων των εργασιών που έχουν προηγηθεί σε πίνακες.

Το δέκατο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στα χρονοδιαγράμματα τα οποία παριστάνουν γραφικά την κατανομή των διαφόρων εργασιών που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, στο ενδέκατο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας κατά τη διάρκεια εκπόνησης της.

2

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

2.1 Φυσική γήινη επιφάνεια

Φυσική γήινη επιφάνεια καλείται η πραγματική επιφάνεια της γης, περιλαμβάνει την τοπογραφική επιφάνεια καθώς και την επιφάνεια των ωκεανών και θεωρείται το όριο μεταξύ της συμπαγούς και της υδάτινης επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας. Αποτελεί το κύριο αντικείμενο μελέτης και αποτύπωσης στη Γεωδαισία.

Τοπογραφική επιφάνεια είναι η επιφάνεια πάνω στην οποία ζούμε και γίνονται όλες οι γεωμετρικές μετρήσεις. Η επιφάνεια της θάλασσας αποτελεί την επιφάνεια αναφοράς πάνω από την οποία μετρούνται τα υψόμετρα της στερεάς και κάτω από την οποία μετρούνται τα βάθη των θαλασσών. Επειδή όμως η επιφάνεια της θάλασσας μεταβάλλεται συνεχώς ως επιφάνεια αναφοράς λαμβάνεται τελικά η μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας (μ.σ.θ.).

2.2 Έλλειψοειδές εκ περιστροφής (ΕΕΠ)

Ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής δημιουργείται από την περιστροφή μιας έλλειψης γύρω από το μικρό άξονα της. Το ελλειψοειδές που ταυτίζεται περισσότερο με το γεωειδές ονομάζεται γήινο ή γεωκεντρικό ελλειψοειδές. Από την άλλη το ελλειψοειδές που ταιριάζει καλύτερα στο γεωειδές μιας συγκεκριμένης περιοχής καλείται γεωδαιτικό ελλειψοειδές, είναι παράλληλα μετατοπισμένο ως προς το γήινο και μπορεί να έχει ίδιες διαστάσεις με αυτό.

Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται το GRS 80(Geodetic Reference System 1980) στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87).

2.3 Σφαίρα

Η σφαίρα είναι μια απλή μαθηματική επιφάνεια η οποία προσεγγίζει σε μικρότερο βαθμό το γεωειδές. Ο ορισμός της γίνεται με κέντρο το κέντρο μάζας της γης και ακτίνα τη μέση ακτίνα καμπυλότητας του Ε.Ε.Π. Από την επιφάνεια της σφαίρας δε μετρώνται υψόμετρα.

2.4 Οριζόντιο επίπεδο

Το οριζόντιο επίπεδο δεν μπορεί να αποδώσει το μέγεθος και τη μορφή της γης επομένως δεν μπορεί να αποτελέσει επιφάνεια αναφοράς για ολόκληρη ή τμήμα της γης. Παρόλα αυτά για πολύ μικρές περιοχές όπου η καμπυλότητα της γης είναι ασήμαντη το οριζόντιο επίπεδο, το οποίο εφάπτεται στο γεωειδές, χρησιμοποιείται για να προβάλλονται πάνω σε αυτό οι μετρήσεις. Έτσι οι υπολογισμοί γίνονται με απλό τρόπο χρησιμοποιώντας τις σχέσεις της Ευκλείδειας γεωμετρίας.

2.5 Γεωειδές

Το γεωειδές ορίζεται ως εκείνη η ισοδυναμική επιφάνεια του πραγματικού γήινου πεδίου βαρύτητας, που προσαρμόζεται όσον το δυνατόν καλύτερα στη μέση στάθμη

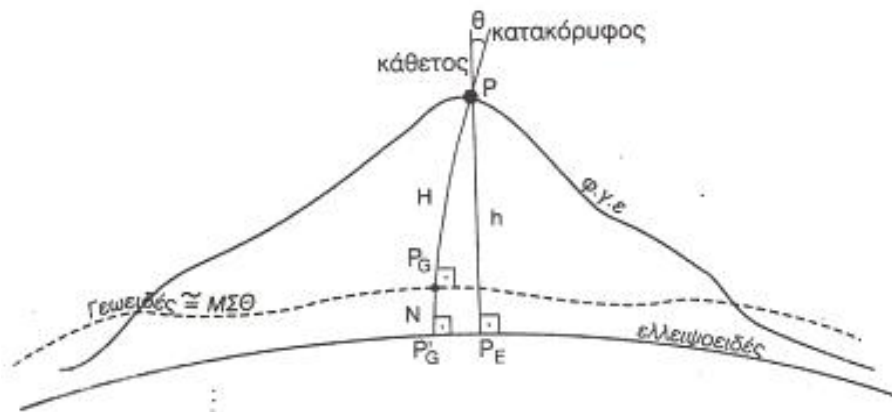
των θαλασσών στο σύνολο της γης. Το γεωειδές μπορεί να θεωρηθεί ότι ταυτίζεται με τη μέση στάθμη της θάλασσας με απόκλιση έως ένα μέτρο.

Από τον ορισμό του γεωειδούς προκύπτει πως η διεύθυνση της κατακορύφου είναι κάθετη σε αυτό σε κάθε σημείο του. Το γεωειδές είναι μια κλειστή επιφάνεια με τα κοίλα προς το εσωτερικό και στην οποία αναφέρονται τα ορθομετρικά υψόμετρα. Το γεωειδές προσομοιάζει με ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής με μέγιστη αποχή περίπου εκατό μέτρα. Η αποχή αυτή ονομάζεται αποχή του γεωειδούς και συμβολίζεται με N . Ο προσδιορισμός της αποχής αυτής αλλά και του γεωειδούς γενικότερα αποτελεί κύριο στόχο της Γεωδαισίας.

Για τον προσδιορισμό αυτόν εφόσον το γεωειδές προσομοιάζει με ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής είναι απαραίτητο να βρεθεί εκείνο το ελλειψοειδές το οποίο προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωειδές. Κατόπιν πάνω στο ελλειψοειδές αυτό μετρώνται τα γεωμετρικά υψόμετρα του κάθε σημείου της φ.γ.ε. ενώ πάνω στο γεωειδές τα ορθομετρικά. Η διαφορά των ορθομετρικών υψομέτρων (γεωειδές) και των γεωμετρικών (ελλειψοειδές) δίνουν την αποχή του γεωειδούς.

2.6 Προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου της φ.γ.ε.

Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου της φ.γ.ε. γίνεται ως προς μια επιφάνεια αναφοράς που όπως αναφέρθηκε στις παραπάνω παραγράφους μπορεί να είναι το γεωειδές, το ελλειψοειδές εκ περιστροφής, η σφαίρα και για πολύ μικρές περιοχές το οριζόντιο επίπεδο. Για να γίνει ο προσδιορισμός αυτός θα πρέπει να φέρουμε κάθετη προς την επιφάνεια αναφοράς. Η διεύθυνση της καθέτου αυτής για την περίπτωση του γεωειδούς και του οριζοντίου επιπέδου είναι η διεύθυνση της κατακορύφου. Για κάθε ένα σημείο λοιπόν μπορούμε να έχουμε την απόστασή του από το γεωειδές (κατακόρυφος) και την απόστασή του από το Ε.Ε.Π. (κάθετος) οι οποίες αναπαριστούν αντίστοιχα το γεωμετρικό (h) και ορθομετρικό (H) υψόμετρο του σημείου. Η διαφορά των δύο αποστάσεων ή υψομέτρων δίνει την απόκλιση ή αποχή του γεωειδούς (N). Η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατακόρυφο και την κάθετο λέγεται απόκλιση της κατακορύφου, συμβολίζεται με θ και δίνει την κλίση μεταξύ του γεωειδούς και του Ε.Ε.Π. Η τιμή της κυμαίνεται από $-10''$ έως $10''$.



Εικόνα 3: Σχετική θέση γεωειδούς, ελλειψοειδούς εκ περιστροφής και φ.γ.ε.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο τα γεωμετρικά υψόμετρα προσδιορίζονται με τη βοήθεια του συστήματος GPS ενώ τα ορθομετρικά (ή «περίπου ορθομετρικά») με κλασσικές μεθόδους όπως είναι η γεωμετρική χωροστάθμιση και η τριγωνομετρική υψομετρία υπό προϋποθέσεις .

Η θέση ενός σημείου μπορεί να περιγραφεί με τρεις παραμέτρους χρησιμοποιώντας ένα σύστημα συντεταγμένων. Όταν χρησιμοποιείται μια επιφάνεια αναφοράς, η απόσταση του από την επιφάνεια αυτή μας δίνει την τρίτη από τις παραμέτρους που ονομάζεται υψόμετρο.

3

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS

3.1 Γενικά

Το GPS αποτελεί ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού τρισδιάστατης θέσης σημείων στη Φ.Γ.Ε. με τη βοήθεια τεχνητών δορυφόρων. Βασίζεται στις αρχές λειτουργίας των παθητικών συστημάτων ναυσιπλοΐας και εξασφαλίζει συνεχή, παγκόσμια πλοήγηση (τρειςδιάστατη θέση, ταχύτητα, χρόνο) κάτω από οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες σε απεριόριστο αριθμό χρηστών. Όλα αυτά τα συστήματα παρέχουν τρισδιάστατη πληροφορία για τον προσδιορισμό θέσης, αλλά όσον αφορά στην τρίτη διάσταση (την υψομετρική πληροφορία), η ακρίβεια μειώνεται και για εργασίες μικρής έκτασης που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια, δεν μπορεί να συγκριθεί με την ακρίβεια που επιτυγχάνεται από τις επίγειες μεθόδους υψομετρίας.

Τα υψόμετρα που παρέχει το GPS είναι γεωμετρικά και αναφέρονται στο ελλειψοειδές WGS'84. Τα υψόμετρα που προκύπτουν από τις παραδοσιακές μεθόδους είναι (περίπου) ορθομετρικά και έχουν φυσική σημασία καθώς αναπαριστούν την απόσταση του σημείου από το τοπικό γεωειδές (τη μ.σ.θ.). Η βασική σχέση που συνδέει τα δύο αυτά υψόμετρα είναι :

$$h_i = H_i + N_i \quad (3.1)$$

όπου h_i = το γεωμετρικό υψόμετρο του σημείου

H_i = το ορθομετρικό υψόμετρο του σημείου και

N_i = αποχή του γεωειδούς από το ελλειψοειδές αναφοράς στο συγκεκριμένο σημείο.

3.2 Ιστορικά στοιχεία

Το GPS (Global Positioning System) αποτελεί το νεότερο σύστημα προσδιορισμού τρισδιάστατης θέσης σημείων στη Φ.Γ.Ε. με τη βοήθεια τεχνητών δορυφόρων. Το δορυφορικό σύστημα GPS άρχισε να σχεδιάζεται και να υλοποιείται σταδιακά τη δεκαετία του 1970 με ευθύνη του υπουργείου αμύνης των Η.Π.Α. Σχεδιάστηκε για την ικανοποίηση στρατιωτικών και δευτερευόντως πολιτικών αναγκών ναυσιπλοΐας και ονομάστηκε "NAVSTAR GPS" (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System). Η ευκολία εντοπισμού που παρείχε το σύστημα αυτό το έκανε γρήγορα δημοφιλές. Το παραπάνω σύστημα που ανέπτυξαν οι Η.Π.Α. δεν είναι μοναδικό. Υπάρχουν και άλλα δορυφορικά συστήματα τα οποία βρίσκονται υπό ανάπτυξη όπως :

- ♣ το ρωσικό δορυφορικό σύστημα GLONASS (GLObal Navigation Satellite System)
- ♣ το ευρωπαϊκό σύστημα GALILEO
- ♣ το COMPASS από την Κίνα το οποίο είναι γνωστό ως Beidou-1
- ♣ το ιαπωνικό QZSS και
- ♣ το δορυφορικό σύστημα από την Ινδία με ονομασία IRNSS



Εικόνα 4: Τεχνητός δορυφόρος

3.3 Τα λειτουργικά συστήματα του GPS

Το GPS αποτελείται από τρία λειτουργικά συστήματα: το τμήμα του διαστήματος, το τμήμα επίγειου ελέγχου και το τμήμα χρηστών. Το τμήμα του διαστήματος αποτελείται από τους δορυφόρους. Το επίγειο τμήμα ελέγχου παρακολουθεί και κατευθύνει τη λειτουργία κάθε δορυφόρου του συστήματος. Τέλος το τμήμα χρηστών παρακολουθεί τα σήματα των δορυφόρων.

3.4 Μορφή σήματος εκπομπής των δορυφόρων

Οι δορυφόροι εκπέμπουν ένα εξαιρετικά σύνθετο σήμα. Τα δεδομένα του σήματος περιλαμβάνουν πληθώρα πληροφοριών που αφορούν θέματα όπως η λειτουργία του δορυφόρου, οι διορθώσεις για την καθυστέρηση της διάδοσης του σήματος λόγω ιονόσφαιρας κ.ά. Επιπλέον περιέχουν πληροφορία για τις λιγότερο ακριβείς τροχιές και την κατάσταση λειτουργίας όλων των υπολοίπων δορυφόρων στο σχηματισμό, που χρειάζεται για τον προγραμματισμό της παρακολούθησης και των άλλων δορυφόρων, ενώ έχει προβλεφθεί χώρος για τη διαμόρφωση και εκπομπή ειδικών μηνυμάτων.

3.5 Τρόποι μέτρησης

Μετρήσεις στο σύστημα GPS μπορούν να γίνουν με δύο τρόπους. Είτε με τη χρήση του κώδικα όπου μετρώνται ψευδοαποστάσεις είτε με μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος όπου μετριέται η φάση του σήματος. Όλες οι μετρήσεις στο σύστημα GPS γίνονται με τη βοήθεια των δεκτών. Ένας δέκτης αποτελείται από τέσσερα ή περισσότερα κανάλια. Κάθε κανάλι μπορεί να είναι είτε τετραγωνισμού είτε συσχέτισης.

3.6 Εντοπισμός θέσης δικτύου με το σύστημα GPS

3.6.1 Αρχή του εντοπισμού

Η θέση του παρατηρητή προσδιορίζεται με μέτρηση των αποστάσεων προς τέσσερις δορυφόρους, με την ευθυγράμμιση του κώδικα που εκπέμπεται από τον δορυφόρο και

εκείνου που παράγεται από τον δέκτη. Από τις τέσσερις αυτές αποστάσεις που μετρώνται οι τρεις χρησιμεύουν για να προσδιορίσουν πλήρως και γεωμετρικά, από την τομή τριών σφαιρών, τη θέση X, Y, Z του παρατηρητή. Η απόσταση προς τον τέταρτο δορυφόρο αφορά τον τέταρτο άγνωστο που είναι το σφάλμα του χρονομέτρου που προκύπτει λόγω σφαλμάτων του ρολογιού του δέκτη.

3.6.2 Τρόποι εντοπισμού

Απόλυτος εντοπισμός

Ο όρος απόλυτος προσδιορισμός θέσης αναφέρεται στον προσδιορισμό της θέσης του σημείου στο οποίο είναι τοποθετημένος ένας δέκτης GPS χρησιμοποιώντας μόνο τις δικές του παρατηρήσεις. Μπορεί να είναι είτε στατικός είτε κινηματικός. Επίσης μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο είτε εκ των υστέρων.

Στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων. Όμως, όλο και συχνότερα η συνδυασμένη χρήση των μετρήσεων ψευδοαπόστασης και φάσης χρησιμοποιείται σε αρκετές εφαρμογές, ακόμα και στην τοπογραφία.



Εικόνα 5: Ο απόλυτος εντοπισμός θέσης

Σχετικός εντοπισμός

Ο σχετικός εντοπισμός θέσης σημείου απαιτεί την ύπαρξη δύο τουλάχιστον δεκτών, όπου ο ένας είναι τοποθετημένος στο άγνωστο σημείο και ο άλλος σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων. Στον σχετικό εντοπισμό χρησιμοποιούνται κυρίως οι μετρήσεις φάσης φέροντος κύματος και για την επεξεργασία τους ισχύουν πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις. Τελικά, υπολογίζεται μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των

μετρήσεων μέσω ειδικού λογισμικού, το τρισδιάστατο διάνυσμα $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ της βάσης μεταξύ του δέκτη αναφοράς (δέκτης που τοποθετείται στο γνωστό σημείο) και του μετακινούμενου δέκτη (δέκτης που παραμένει στο σημείο ενδιαφέροντος για το απαραίτητο χρονικό διάνυσμα). Οι βασικές παραλλαγές στην τεχνική μέτρησης του σχετικού εντοπισμού είναι ο στατικός, ο γρήγορος στατικός, ο ψευδοκινηματικός και ο κινηματικός εντοπισμός.

Η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί στο σχετικό εντοπισμό θέσης είναι περίπου $\pm 3-5$ mm.



Εικόνα 6: Ο σχετικός εντοπισμός θέσης

3.6.3 Σφάλματα εντοπισμού στο σύστημα GPS

Όλες οι μετρήσεις GPS επηρεάζονται από σφάλματα. Αυτά μπορεί να οφείλονται σε ποικίλους παράγοντες όπως το σήμα των δορυφόρων, η γεωμετρία τους, η επίδραση της ιονόσφαιρας. Μπορεί να υπάρξουν και τυχαία σφάλματα όπως απώλειες κύκλων φάσης αλλά και χονδροειδή όπως η λάθος κέντρωση του οργάνου.

3.7 Αρχή επίλυσης

Η αρχή επίλυσης μια βάσης ακολουθεί τα παρακάτω στάδια :

- ▲ Επεξεργασία ψευδοαποστάσεων .
- ▲ Σχηματισμός τριπλών διαφορών.
- ▲ Εντοπισμός απωλειών κύκλων.

- ⤴ Σχηματισμός διπλών διαφορών.
- ⤴ Εντοπισμός ακεραίων ασαφειών φάσης.
- ⤴ Υπολογισμός τελικών συντεταγμένων.

3.8 Εφαρμογή του GPS στη γεωδαισία-τοπογραφία

Στην τοπογραφία η βασική εφαρμογή με χρήση συστήματος GPS αφορά στη μέτρηση μιας βάσης μεταξύ δύο σημείων προκειμένου να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες του ενός. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση είναι εκείνη του σχετικού εντοπισμού που περιγράφηκε παραπάνω. Ένα δίκτυο GPS αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό ανεξάρτητων βάσεων. Ο σκοπός του δικτύου είναι να προσδιορισθούν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των κορυφών που ορίζουν το δίκτυο.



Εικόνα 7: Η εφαρμογή του GPS στην τοπογραφία

4

ΤΟ ΓΕΩΕΙΔΟΣ

4.1 Γεωμετρικός προσδιορισμός γεωειδούς

Σε ένα δίκτυο σημείων μιας περιοχής για τα οποία είναι γνωστά τα γεωμετρικά και ορθομετρικά τους υψόμετρα (π.χ. από παρατηρήσεις GPS και Γ.Χ. αντίστοιχα), τότε, με χρήση της εξίσωσης $H = h - N$, μπορεί να προκύψει η μορφή του γεωειδούς στην περιοχή με διάφορους τρόπους. Το τοπικό αυτό μοντέλο γεωειδούς μπορεί με τη σειρά του να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό ορθομετρικών υψομέτρων άλλων σημείων της περιοχής, των οποίων είναι γνωστά τα γεωμετρικά τους υψόμετρα.

Η βέλτιστη αυτή επιφάνεια μπορεί να είναι ένα επίπεδο που περιγράφεται από ένα πολυώνυμο 1^{ου} βαθμού και σε μικρές εκτάσεις μπορεί να πετύχει μεγάλες ακρίβειες ή μια επιφάνεια ανωτέρου βαθμού που περιγράφεται από ένα πολυώνυμο μεγαλύτερου βαθμού και προτιμάται για μεγάλες εκτάσεις.

Τα τελευταία χρόνια επιχειρείται μια προσπάθεια αξιοποίησης και εκμετάλλευσης όλων των διαθέσιμων δεδομένων σε μια περιοχή (χωροσταθμικών, GPS και βαρύτητας) για γεωμετρικό προσδιορισμό του γεωειδούς και απόκτησης πληροφορίας με όσο το δυνατόν καλύτερη ακρίβεια (π.χ. για την περιοχή της Βόρειας Ελλάδας). Στην επεξεργασία των δεδομένων αυτών, εκτός της κλασσικής συνόρθωσης, εφαρμόζονται

τεχνικές που βασίζονται στη θεωρία των στοχαστικών μεγεθών και συναρτήσεων και χρησιμοποιούν επίσης την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων. Τέτοιες τεχνικές είναι η ελαχιστοτετραγωνική παρεμβολή με χρήση συνάρτησης αυτοσυμμεταβλητότητας («*least squares interpolation*»), το φιλτράρισμα («*filtering*») καθώς και αυτή της «*least squares collocation*» .

4.2 Προσομοίωση γεωειδούς

Η μετατροπή των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά μέσα από τη σχέση που παρουσιάστηκε παραπάνω απαιτεί τη γνώση του N . Για αυτό και είναι ανάγκη να προσομοιαστεί το γεωειδές ώστε να προκύψει το N . Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που εφαρμόζονται για την προσομοίωση του γεωειδούς :

1. Παραδοχή ότι η μεταβολή της αποχής του γεωειδούς από το ελλειψοειδές N , για την μικρή έκταση που αποτυπώνεται (ενδεικτικά 10×10 km), είναι μηδενική δηλ. $\Delta N_{ij} = 0$. Τότε βάσει της παραπάνω σχέσης, ισχύει ότι $\Delta h_{ij} = \Delta H_{ij}$. Σε αυτή την περίπτωση αν είναι γνωστό το ορθομετρικό σε ένα σημείο, είτε στη θέση του σταθερού δέκτη ή σε κάποιο άλλο από τα χαρακτηριστικά σημεία, εύκολα υπολογίζονται τα ορθομετρικά υψόμετρα σε κάθε σημείο.
2. Παραδοχή ότι το γεωειδές στη μικρή περιοχή μπορεί να προσομοιάσει με μια γνωστή μαθηματική επιφάνεια π.χ. επίπεδο ή $2^{ου}$ βαθμού. Η τεχνική που εφαρμόζεται εδώ είναι ότι το δN είναι συνάρτηση βασικά των συντεταγμένων φ_i, λ_i αλλά μπορεί να εκφραστεί και σαν συνάρτηση των x_i, y_i , δηλαδή ότι ισχύουν οι σχέσεις:

$$\delta N = f(\varphi, \lambda) \quad \text{ή} \quad \delta N = f(x, y) \quad (4.2)$$

Ανάλογα με ποια μαθηματική επιφάνεια χρησιμοποιείται η συνάρτηση είναι και του ανάλογου βαθμού. Για παράδειγμα στην περίπτωση του επιπέδου είναι $1^{ου}$ αλλιώς είναι μεγαλύτερου βαθμού συνήθως $2^{ου}$.

Για να προσδιοριστεί η συνάρτηση απαιτείται, για ένα ελάχιστο αριθμό σημείων, να είναι γνωστά τόσο τα ορθομετρικά (H) όσο και τα γεωμετρικά τους υψόμετρα (h).

Ο αριθμός των απαραίτητων σημείων εξαρτάται από το βαθμό της συνάρτησης. Αν διατίθενται περισσότερα από τα αναγκαία σημεία, ο υπολογισμός των παραμέτρων της συνάρτησης γίνεται με την εφαρμογή της Μεθόδου των Ελαχίστων Τετραγώνων (MET).

4.3 Επιφάνειες που προσομοιάζουν το γεωειδές

4.3.1 Επίπεδο

Στην περίπτωση επιπέδου, η μορφή της εξίσωσης είναι:

$$\delta N = ax + by + c \quad (4.3.1.a)$$

Οι προσδιοριστέοι συντελεστές είναι τρεις άρα ο ελάχιστος αριθμός σημείων είναι τρία. Χρησιμοποιώντας τη σχέση (3.1) υπολογίζονται τα $\delta N_{i,i} = 1,2,3$ και λύνοντας το σύστημα των τριών εξισώσεων προσδιορίζονται τα a,b,c .

Αν τα σημεία είναι περισσότερα, έστω n , τότε εφαρμόζεται η MET: η Γενική Περίπτωση Συνόρθωσης, διότι σφάλματα περιέχουν και οι μετρήσεις $\delta N_{i,i} = 1,2,\dots,n$ αλλά και οι συντελεστές x_i, y_i όπως και η απλή μέθοδος των Εμμέσων Παρατηρήσεων, θεωρώντας χωρίς σφάλμα τα x_i, y_i , μια και δεν ενδιαφέρει η διόρθωσή τους παρά μόνο ο προσδιορισμός των συντελεστών a,b,c .

Οι εξισώσεις παρατήρησης είναι της μορφής:

$$a x_i + b y_i + c = \delta N_i + v_i \quad (4.3.1.β)$$

οι οποίες συνδέουν γραμμικά τα άγνωστα μεγέθη a,b,c με τις μετρήσεις N_i

Ο πίνακας A έχει διαστάσεις $n \times 3$ και ο $1 \times n$.

Η προσαρμογή επιπέδου είναι η διαδικασία που δε συνίσταται σε μεγαλύτερες εκτάσεις ή σε εκτάσεις με έντονο ανάγλυφο, όταν επιδιώκεται σχετικά υψηλή ακρίβεια. Αυτό γιατί θεωρεί ότι οι διαφορές ($h_i - H_i$) αναφέρονται σε μια ομαλή επιφάνεια γεωειδούς,

που με τη σειρά της προσεγγίζεται από μια εξίσου ομαλή επίπεδη επιφάνεια υπόθεση που δεν είναι ορθή για τις παραπάνω εκτάσεις.

4.3.2 Επιφάνεια 2^{ου} βαθμού

Η συνάρτηση σε αυτή την περίπτωση είναι της μορφής:

$$\delta N_i = a x_i^2 + b y_i^2 + c x_i y_i + d x_i + g y_i + k \quad (4.3.2)$$

Τα ελάχιστα γνωστά σημεία πρέπει να είναι 6, μια και οι προσδιοριστέοι συντελεστές είναι έξι.

Και εδώ, για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, εφαρμόζεται η μέθοδος των εμμέσων παρατηρήσεων όταν τα γνωστά σημεία είναι $n > 6$.

Η σχέση που συνδέει τους αγνώστους a, b, c, d, g, k με τις μετρήσεις δN_i είναι γραμμική, εφ' όσον οι συντεταγμένες θεωρούνται χωρίς λάθος.

Ο πίνακας A έχει διατάξεις $n \times 6$, ο 1×1 και ο πίνακας $P = I$ (μοναδιαίος), δηλαδή οι παρατηρήσεις θεωρούνται ισοβαρείς.

Είναι πιθανό στη συνόρθωση να μη χρησιμοποιούνται όλα τα σημεία που είναι γνωστά τα h και H , ώστε να χρησιμεύσουν αργότερα ως «σημεία ελέγχου». Αφού τελειώσει η συνόρθωση υπολογίζονται τα ορθομετρικά υψόμετρα τους που δίνει το τοπικό μοντέλο γεωειδούς που προσδιορίστηκε και συγκρίνονται με τα πραγματικά ορθομετρικά τους υψόμετρα.

4.4 Αρχικός προσδιορισμός του h

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει σημείο στην περιοχή με γνωστά το ορθομετρικό και γεωμετρικό του υψόμετρο, η αρχική τιμή που δίνεται για το h στο σταθερό σημείο μπορεί να προκύψει:

- ▲ Από χάρτη του γεωειδούς (μειωμένη ακρίβεια)
- ▲ Από τοπικό μοντέλο του γεωειδούς που ήδη υφίσταται για την περιοχή

(μεγαλύτερη ακρίβεια) αλλά τότε δεν συντρέχει λόγος να γίνουν όλες οι προαναφερθείσες ενέργειες.

- ♣ Από παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς
- ♣ Από Απόλυτο Εντοπισμό, αν ο δέκτης στο σταθερό σημείο λειτουργεί συνεχώς για μεγάλο χρονικό διάστημα, π.χ. 10 ώρες, παρέχοντας το h με τον τρόπο που αναφέρθηκε με μια ακρίβεια καλύτερη από $\pm 1\text{m}$.
- ♣ Από Αστρονομικές παρατηρήσεις για προσδιορισμό της απόκλισης της κατακόρυφου (μέσω των συνιστωσών της ξ και η). Από αυτές προσδιορίζεται το N και με γνωστό το H προκύπτει το h (μεγαλύτερη ακρίβεια).

4.5 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με όσα περιγράφηκαν παραπάνω οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν για τα ορθομετρικά υψόμετρα μπορούν να φτάσουν στις καλύτερες των περιπτώσεων τα λίγα έως 1 cm. Η ακρίβεια εξαρτάται και από την πυκνότητα των σημείων του δικτύου που όμως μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν σαφείς προδιαγραφές για αυτή. Σε συνδυασμό με τη μεθοδολογία, ακρίβειες της τάξης των μερικών εκατοστών για περιοχές μέχρι 30 x 30 km, όπου η κλίση του γεωειδούς θεωρείται ομαλή, είναι εφικτές.

Μια άλλη προσέγγιση του προβλήματος μετατροπής γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά προέκυψε κυρίως από την ανάγκη ελαχιστοποίησης των διαφορών που υπάρχουν ανάμεσα στα δύο είδη γεωειδών που περιγράφηκαν παραπάνω (βαρύτητα-GPS). Βασίζεται σε ένα μετασχηματισμό ομοιότητας, όπου ως άγνωστοι παράμετροι θεωρούνται τρεις μεταθέσεις και μια παράμετρος που εκφράζει την διαφορά κλίμακας.

Η σημερινή ανάπτυξη του GPS το καθιστά καλύτερο όσον αφορά το χρόνο και τη δαπάνη των εργασιών που απαιτούνται για τον προσδιορισμό πολλών πυκνών σημείων με γνωστά γεωμετρικά υψόμετρα σε μια περιοχή σε σχέση με τις αντίστοιχες εργασίες προσδιορισμού σημείων με γνωστά ορθομετρικά υψόμετρα των επίγειων υψομετρικών μεθόδων (Γ.Χ., Ε.Τ.Υ. κ.λ.π.).

Στην Ελλάδα ο υπολογισμός ενός τοπικού μοντέλου γεωειδούς που θα προκύπτει από κοινά σημεία γνωστού γεωμετρικού και ορθομετρικού υψομέτρου έχει γίνει η πιο δημοφιλής τεχνική στον κατακόρυφο προσδιορισμό θέσης με το GPS λόγω της ιδιαίτερης τοπογραφίας της.

5

ΙΔΡΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

5.1 Γενικά

Το γεωδαιτικό δίκτυο αποτελείται από σημεία της Φ.Γ.Ε. Σκοπός του γεωδαιτικού δικτύου είναι ο προσδιορισμός των συντεταγμένων ή άλλων τιμών των σημείων έτσι ώστε αυτά να χρησιμεύσουν ως σημεία αναφοράς ή ελέγχου για διάφορες εργασίες. Τα σημεία αυτά συνδέονται μεταξύ τους με απ' ευθείας παρατηρήσεις ή με παρατηρήσεις σε σημεία έξω από την Φ.Γ.Ε. Τα γεωδαιτικά δίκτυα χωρίζονται σε :

- ▲ Δίκτυα οριζοντίου ελέγχου
- ▲ Δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου ή χωροσταθμικά και
- ▲ Τρισδιάστατα δίκτυα

Το δίκτυο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ένα τρισδιάστατο γεωδαιτικό δίκτυο (με σκοπό να εξαχθεί από αυτό κύρια υψομετρική πληροφορία, που σκοπό έχει να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της περιοχής για ένα σύνολο έργων).

5.2 Σχεδιασμός δικτύου

Το μεγάλο πλεονέκτημα των δικτύων GPS είναι ότι δεν απαιτείται αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των κορυφών ή των άλλων στάσεων που θα μετρηθούν στο δίκτυο, παρά μόνο ανοιχτός ορίζοντας του σημείου ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί μεγάλος αριθμός δορυφόρων. Επίσης, οι κορυφές που θα επιλεγούν δε χρειάζεται να βρίσκονται σε περίπου ίσες αποστάσεις μεταξύ τους ή να είναι τοποθετημένες στις κορυφές λόφων κλπ όπως συνήθως γίνεται με τις στάσεις των συμβατικών δικτύων. Επιπλέον, οι κορυφές οι οποίες “μεταφέρουν” τον έλεγχο από μακρινά τριγωνομετρικά σημεία στο υπόλοιπο δίκτυο δεν είναι απαραίτητο να εντάσσονται στο δίκτυο GPS που πρόκειται να μετρηθεί.

Το δίκτυο της παρούσας εργασίας αποτελείται από εννέα υψομετρικές αφετηρίες (ορειχάλκινα μπουλόνια) και δύο βάθρα της Γ.Υ.Σ. Τα ορειχάλκινα μπουλόνια δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις μετρήσεις. Επομένως για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις GPS που απαιτούνται για τον προσδιορισμό των υψομέτρων, υλοποιήθηκαν εννέα έκκεντρες στάσεις η κάθε μία σε απόσταση έως τρία μέτρα (3m) από την αντίστοιχη υψομετρική της αφετηρία. Οι στάσεις αυτές υλοποιήθηκαν με καρφί σε άσφαλτο ή πλακάκια. Δύο από τις έκκεντρες στάσεις υλοποιήθηκαν εκτός του ορίου των 3 μέτρων και ήταν εκείνες της υψομετρικής αφετηρίας R7 και R130. Αυτό συνέβη διότι σε απόσταση 3 μέτρων οι μετρήσεις θα ήταν αδύνατες, λόγω ύπαρξης πολλών εμποδίων.



Εικόνα 8: Έκκεντρες στάσεις υλοποιημένες με καρφί



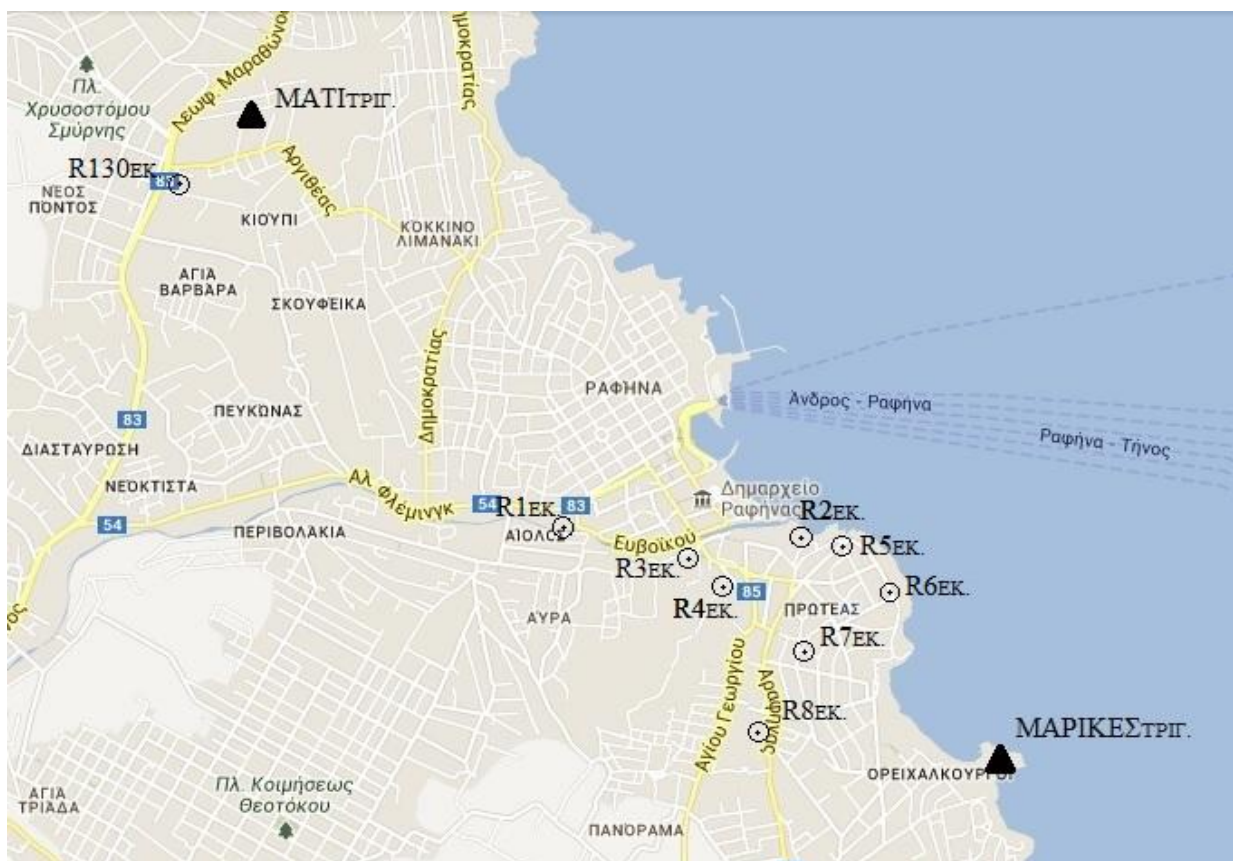
Εικόνα 9: Ορειχάλκινο μπουλόνι

5.3 Αναγνώριση της περιοχής μελέτης και επιλογή της θέσης των σημείων του δικτύου

Το δίκτυο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελείται από 11 σημεία. Τα δύο από τα σημεία αυτά είναι βάρη της Γ.Υ.Σ. και τα υπόλοιπα εννέα οι έκκεντρες στάσεις που ιδρύθηκαν κοντά στις αντίστοιχες υψομετρικές αφετηρίες τους. Πριν την ίδρυση των σημείων αυτών έγινε λεπτομερής αναγνώριση της περιοχής κατά την οποία λήφθηκαν υπ' όψη όσα αναφέρονται στο παραπάνω υποκεφάλαιο. Επίσης κατά την αναγνώριση της περιοχής μελέτης αναλυτικά εξετάστηκαν για τις έκκεντρες στάσεις :

- ▲ Η διαθεσιμότητα των δορυφόρων: μέσω κατάλληλου λογισμικού διαπιστώθηκε ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων που θα είναι ορατοί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
- ▲ Η ορατότητα δορυφόρων, η οποία εξασφαλίζεται μέσα από τον έλεγχο για εμπόδια που τυχόν βρίσκονται κοντά στις στάσεις (π.χ. δέντρα, κτίρια).
- ▲ Έλεγχος προσβασιμότητας των στάσεων που είναι απαραίτητος ώστε να εκτιμηθεί ο μη παραγωγικός χρόνος και οι καθυστερήσεις που συνήθως συνοδεύουν τις διαδικασίες πρόσβασης και κατάληψης των στάσεων ενώ έχει ιδιαίτερη σημασία για τις νυχτερινές παρατηρήσεις.
- ▲ Έλεγχος του περιβάλλοντα χώρου γύρω από το σημείο κατάληψης για την ύπαρξη εμποδίων, όπως υδάτινων επιφανειών, που μπορεί να προκαλέσουν σφάλματα λόγω πολλαπλών διαδρομών του σήματος (multipath).

5.4 Τα σημεία του δικτύου



Χάρτης 1: Τα σημεία του δικτύου

5.5 Επιλογή οργάνων

5.5.1 Το σύστημα GPS 1200+ LEICA

Για τις μετρήσεις με το σύστημα GPS χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού. Για τη μέθοδο αυτή επιλέχθηκε το ζεύγος οργάνων δύο συχνοτήτων GPS 1200+ LEICA. Το σύστημα GPS 1200+ LEICA συντίθεται από το δέκτη, το χειριστήριο και την κεραία. Ο δέκτης υπολογίζει την απόσταση προς τους

δορυφόρους, το χειριστήριο επιτρέπει στο χρήστη να χειρίζεται το σύστημα και τέλος η κεραία λαμβάνει τα δορυφορικά σήματα.

Οι δέκτες του συστήματος χρησιμοποιούν την τεχνολογία GNSS με δυνατότητα ανίχνευσης των σημερινών δορυφορικών σημάτων αλλά και άλλων μελλοντικών. Σε αυτά περιλαμβάνονται δικτυακές εφαρμογές GNSS όπως GPS L5, GALILEO, GAGAN, WAAS, MSAS, EGNOS καθώς και τα δορυφορικά σήματα COMPASS. Η δυνατότητα λήψης πολλών δορυφορικών σημάτων αυξάνει την ακρίβεια και αξιοπιστία των μετρήσεων.

Ο δέκτης που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει την τεχνολογία Smart Track, η οποία περιλαμβάνει τις τεχνολογίες GNSS, SmartCheck+ και SmartRTK. Στην τεχνολογία Smart Track διατίθεται έως 120 κανάλια ανάλογα με τις ρυθμίσεις που αφορούν τα δορυφορικά συστήματα και σήματα. Μέσω της τεχνολογίας SmartCheck+ ελέγχονται όλα τα αποτελέσματα των μετρήσεων GNSS ως προς την ακρίβειά τους. Η ακρίβεια εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων, η γεωμετρία αυτών, η επίδραση της ιονόσφαιρας και άλλοι όπως έχει αναλυθεί σε άλλο κεφάλαιο.



Εικόνα 10: Το σύστημα GPS 1200+

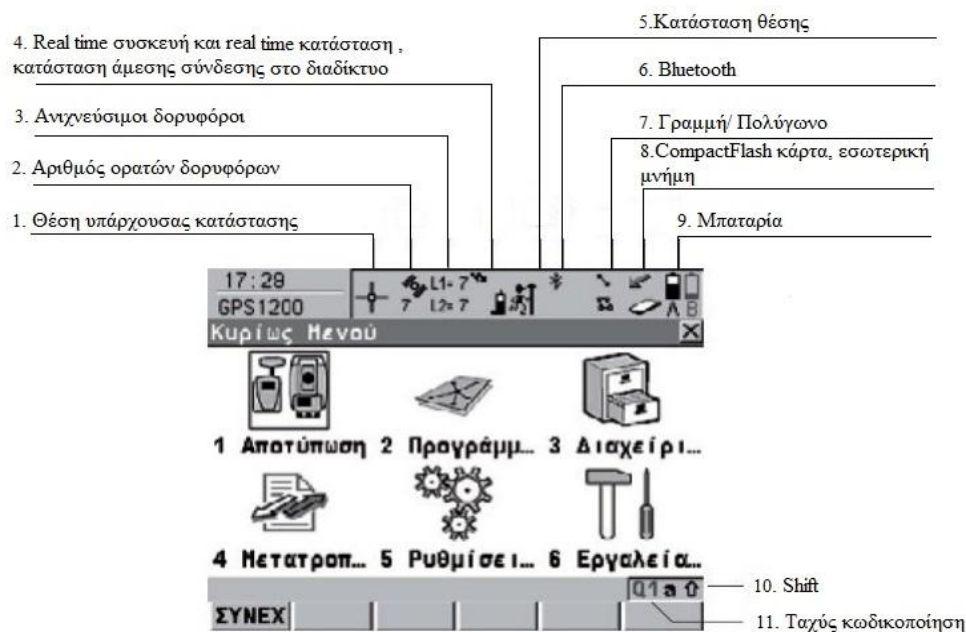
5.5.2 Ο δέκτης, το λογισμικό, η αποθήκευση και η εξαγωγή των δεδομένων

Το λογισμικό που διαθέτει ο δέκτης του συστήματος GPS 1200+ LEICA είναι το Smartworx. Το λογισμικό αυτό περιλαμβάνει προγράμματα εγκατάστασης και αποτύπωσης και ειδικά προγράμματα τοπογραφίας. Υπάρχουν επιπλέον και κάποια προσαρμοσμένα προγράμματα εφαρμογών για τις ανάγκες του χρήστη.

Όλες οι μετρήσεις και τα υπόλοιπα δεδομένα αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων στη μνήμη. Αυτή είναι η κάρτα CompactFlash ή μια εσωτερική μνήμη. Η κάρτα είναι η πρότυπη και μπορεί να εισάγεται και να απομακρύνεται. Η εξαγωγή των δεδομένων από μια εργασία μπορεί να γίνει με ένα εύρος ποικίλων ASCII διαμορφωμένων αρχείων. Το format εξόδου ορίζεται από το format manager που είναι ένα εργαλείο του προγράμματος Leica Geo Office (LGO).

5.5.3 Ερμηνεία και περιγραφή των εικονιδίων του χειριστηρίου

Στο κυρίως μενού του χειριστηρίου του συστήματος GPS 1200+ LEICA εμφανίζεται η οθόνη όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα όπου βρίσκεται η περιγραφή όλων των εικονιδίων της οθόνης.



Εικόνα 11: Κυρίως μενού τηλεχειριστηρίου και εικονίδια

5.6 Παρελκόμενα

Για τη διαδικασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν ως παρελκόμενα :

- ▲ Δύο τρίποδες αλουμινίου με επίπεδη κεφαλή
- ▲ Δύο βάσεις κέντρωσης
- ▲ Δύο τρικόχλια
- ▲ Δύο βάσεις στήριξης
- ▲ Ειδική μετροταινία που συνοδεύει τους δέκτες για τη μέτρηση του κατακόρυφου ύψους οργάνου σε τρίποδα
- ▲ Μετροταινία για τη μέτρηση του κατακόρυφου ύψους οργάνου σε βάση
- ▲ Εφεδρικές μπαταρίες



Εικόνα 12: Τα παρελκόμενα του GPS

6

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

6.1 Γενικά

Στις εργασίες πεδίου περιλαμβάνονται η αναγνώριση της περιοχής μελέτης που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και οι μετρήσεις του συστήματος GPS. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το δίκτυο αποτελείται από συνολικά έντεκα σημεία. Τα δύο από αυτά είναι βάθρα της Γ.Υ.Σ. και τα υπόλοιπα εννέα είναι υψομετρικές αφετηρίες και οι αντίστοιχες έκκεντρες στάσεις τους. Για το σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού με την οποία μετρήθηκαν συνολικά 39 βάσεις. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 18 του μήνα Απριλίου και διήρκεσαν συνολικά 6 ημέρες. Στα παρακάτω υποκεφάλαια περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις GPS.

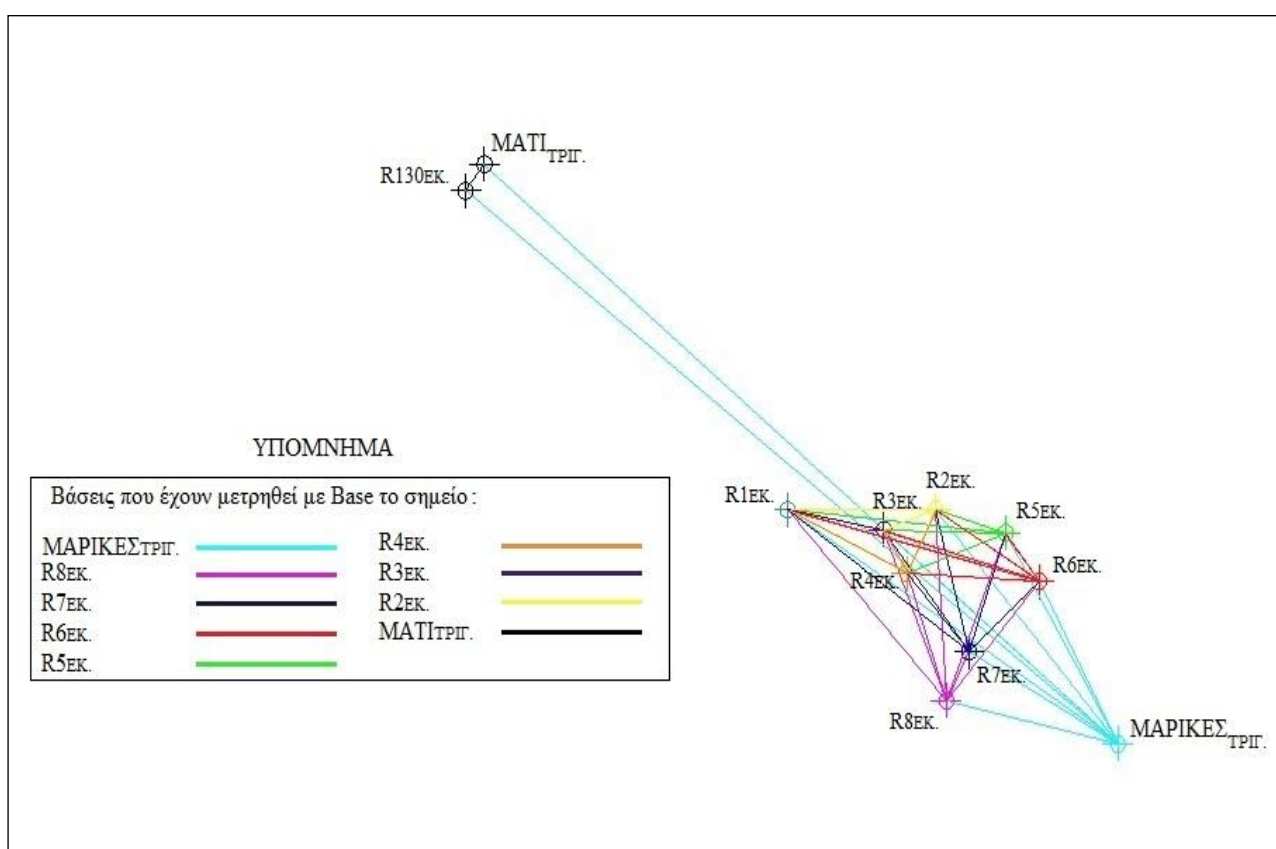
6.2 Μετρήσεις με το σύστημα GPS

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως η μέτρηση των 39 βάσεων έγινε με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού (Smart Rover PP) και με δύο δέκτες GPS 1200+ Leica δύο συχνοτήτων, ένας Base και ένας Rover. Για κάθε βάση ο κάθε ένας ήταν τοποθετημένος στο ένα από τα δύο σημεία που αποτελούν τη μετρούμενη βάση. Η διάρκεια των μετρήσεων ήταν μία ώρα για κάθε βάση και το διάστημα καταγραφής 15

sec. Στα εννέα από τα έντεκα σημεία η κεραία του δέκτη τοποθετήθηκε πάνω σε τρίποδα ο οποίος οριζοντιώθηκε και κεντρώθηκε στην υλοποιημένη με καρφί έκκεντρη στάση. Στα άλλα δύο σημεία η κεραία του δέκτη τοποθετήθηκε σε βάση κέντρωσης με τρικόγλιο πάνω στη στέγη του βάθρου της Γ.Υ.Σ.

Η διαδικασία μέτρησης των βάσεων ξεκινάει με την οριζοντίωση και κέντρωση του δέκτη. Ακολουθεί η συμπλήρωση του εντύπου τεκμηρίωσης δορυφορικών μετρήσεων (Εικόνα 13). Στο έντυπο αυτό καταγράφονται πληροφορίες που αφορούν την ημερομηνία και ώρα των μετρήσεων αλλά και τα γενικότερα χαρακτηριστικά της διαδικασίας όπως είναι το ύψος κεραίας. Στη συνέχεια γίνεται εκκίνηση της κεραίας και του τηλεχειριστηρίου και επιλέγεται το πρόγραμμα «αποτύπωση» από το μενού του τηλεχειριστηρίου. Μέσα από το μενού του προγράμματος δίνεται αρχικά ένα όνομα για την εργασία του χρήστη που στην προκειμένη περίπτωση είναι Rafina1. Στο σύστημα συντεταγμένων επιλέγεται το EGSA 87, στο σετ ρυθμίσεων επιλέγεται το Smartrover PP που είναι κατάλληλο για τη λειτουργία σχετικού στατικού εντοπισμού και οι κατάλληλες κεραίες ανάλογα με το που βρίσκεται ο δέκτης (βάθρο, τρίποδας). Τέλος με το πλήκτρο F1 ή την επιλογή <SYNEX.> από την οθόνη περνάμε στην επόμενη σειρά ρυθμίσεων. Πρώτο βήμα στην επόμενη σελίδα που εμφανίζεται είναι να συμπληρωθεί το όνομα του σημείου στο οποίο βρίσκεται ο δέκτης καθώς και το ύψος της κεραίας. Ύστερα, με το πλήκτρο F1 ή την επιλογή <ΛΗΨΗ> από την οθόνη γίνεται η έναρξη της καταγραφής των παρατηρήσεων. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης γίνεται έλεγχος της μπαταρίας, της μνήμης και της διαθεσιμότητας των δορυφόρων. Η μέτρηση ξεκινάει ταυτόχρονα εφόσον έχουν τοποθετηθεί και οι δύο δέκτες στα δύο σημεία της βάσης και λήγει ταυτόχρονα μετά την πάροδο της μίας ώρας. Όταν το τελειώσει το χρονικό διάστημα της μέτρησης με το διπλό πάτημα του πλήκτρου F1 γίνεται η διακοπή της καταγραφής των παρατηρήσεων και η αποθήκευση των δεδομένων. Στη συνέχεια ακολουθεί η επαναμέτρηση του ύψους κεραίας καθώς και ο έλεγχος της οριζοντίωσης. Τέλος, με το πλήκτρο F6 και το πλήκτρο esc πραγματοποιείται επιστροφή στο αρχικό μενού.

Συνολικά μετρήθηκαν 39 βάσεις. Οι 36 από τις 39 βάσεις προέκυψαν ως εξής : αρχικά ο δέκτης Base τοποθετήθηκε στο βάθρο ΛΑΚΚΑ-ΜΑΡΙΚΕΣ της Γ.Υ.Σ. Ενώ ο δέκτης Rover τοποθετήθηκε διαδοχικά σε όλα τα σημεία του δικτύου εκτός των R130 και του τριγωνομετρικού σημείου ΜΑΤΙ (Χάρτης 2). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για τις έκκεντρες στάσεις R1_{ΕΚ}- R8_{ΕΚ} χωρίς να επαναλαμβάνεται η επαναμέτρηση κάποιας από τις βάσεις. Όσον αφορά τις υπόλοιπες 3 βάσεις αυτές προέκυψαν από τα ζεύγη δεκτών Base-Rover : ΜΑΡΙΚΕΣ_{ΤΡΙΓ.}-ΜΑΤΙ_{ΤΡΙΓ.}, ΜΑΡΙΚΕΣ_{ΤΡΙΓ.}-R130_{ΕΚ} και ΜΑΤΙ_{ΤΡΙΓ.}-R130_{ΕΚ}.



Χάρτης 2: Απεικόνιση των βάσεων που μετρήθηκαν με το σύστημα GPS

ΕΝΤΥΠΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	
Κωδικός σημείου :	
Ημερομηνία μέτρησης :	
Εναρξη :	Λήξη :
Είδος σήμανσης :	
Τοποθέτηση κεραίας :	
Υψος κεραίας :	Τρόπος μέτρησης :
BASE / ROVER	

Εικόνα 13: Έντυπο τεκμηρίωσης δορυφορικών μετρήσεων

7

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

7.1 Επεξεργασία των μετρούμενων βάσεων

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων σειρά έχει η επεξεργασία αυτών. Τα δεδομένα των μετρήσεων φορτώθηκαν από τους δέκτες σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η επεξεργασία των μετρήσεων για τις 39 βάσεις του δικτύου έγινε με δύο τρόπους οι οποίοι δίνουν σαν αποτέλεσμα συντεταγμένες X,Y στο σύστημα ΕΓΣΑ'87 και γεωμετρικά υψόμετρα h για τα ελλειψοειδή ITRF 2008 και WGS'84_{ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΜΕΝΟ}.

7.2 Επιλογή του σταθερού σημείου για τις επιλύσεις

Για τις δύο επιλύσεις του δικτύου πρέπει να αποφασισθεί ποιο από τα έντεκα σημεία του θα χρησιμοποιηθεί ως σταθερό. Το σημείο αυτό θα πρέπει να έχει γνωστό γεωμετρικό υψόμετρο όπως και συντεταγμένες φ,λ. Επομένως από τα έντεκα σημεία του δικτύου αποκλείονται όλες οι έκκεντρες στάσεις καθώς δεν γνωρίζουμε για αυτές καθόλου συντεταγμένες. Απομένουν, λοιπόν, τα δύο τριγωνομετρικά σημεία ΛΑΚΚΑ-ΜΑΡΙΚΕΣ και ΜΑΤΙ για τα οποία έχουμε συντεταγμένες και γεωμετρικά υψόμετρα από τα δεδομένα της Γ.Υ.Σ. αλλά και από δεδομένα που συλλέχθηκαν από παρόμοιες εργασίες στην περιοχή μελέτης. Από τα δύο αυτά σημεία, το ΛΑΚΚΑ-ΜΑΡΙΚΕΣ φαίνεται να είναι το πιο κατάλληλο μιας και από αυτό έχουν μετρηθεί βάσεις προς όλα

τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου. Παρόλα αυτά, ύστερα από μετρήσεις, στο βάθρο του τριγωνομετρικού αυτού σημείου, παρατηρήθηκε πως οι διαστάσεις της κατασκευής του βάθρου, όπως τις δίνει η Γ.Υ.Σ., δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα [7]. Επομένως για να αποφύγουμε λάθη στην επίλυση τα οποία οφείλονται και σε άλλα ανακριβή δεδομένα, που αφορούν το τριγωνομετρικό ΛΑΚΚΑ-ΜΑΡΙΚΕΣ, διαλέξαμε το τριγωνομετρικό ΜΑΤΙ ως σταθερό σημείο για τους δύο τρόπους επίλυσης του δικτύου μας. Το τριγωνομετρικό ΜΑΤΙ ελέγχθηκε και αυτό ως προς την ορθότητα των δεδομένων του η οποία το υπέδειξε κατάλληλο για επιλογή.

7.2.1 Πρώτη επίλυση

Για την πρώτη επίλυση χρησιμοποιήθηκαν όλες οι μετρήσεις των βάσεων του δικτύου αλλά και μέρος των μετρήσεων που πραγματοποιεί ο μόνιμος σταθμός των Τ.Ε.Ι. Αθήνας, ο οποίος είναι τοποθετημένος εκεί από το τμήμα Τοπογραφίας, για τις μέρες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις μας. Στο περιβάλλον του προγράμματος Topcon Tools φορτώθηκαν τα δεδομένα των μετρήσεων του δικτύου μας όπως και τα αντίστοιχα του μόνιμου σταθμού και όλα σε μορφή RINEX. Ακολούθησε η επίλυση του συνολικού δικτύου με σταθερό σημείο τον μόνιμο σταθμό. Από τα αποτελέσματα αυτής της επίλυσης προέκυψε, ανάμεσα σε άλλα, το γεωμετρικό υψόμετρο h του τριγωνομετρικού σημείου της Γ.Υ.Σ. ΜΑΤΙ. Το γεωμετρικό αυτό υψόμετρο αναφέρεται στο ελλειψοειδές WGS'84 το οποίο είναι γεωκεντρικό. Ύστερα με το πρόγραμμα Leica Geo Office (LGO) έγινε επίλυση του δικτύου της παρούσας διπλωματικής εργασίας με σταθερό το τριγωνομετρικό ΜΑΤΙ. Για το σημείο αυτό δόθηκαν, ως δεδομένα για την επίλυση, οι συντεταγμένες του X, Y στο σύστημα ΕΓΣΑ'87 και το γεωμετρικό υψόμετρο h που προέκυψε από την προηγούμενη επίλυση και το οποίο πρώτα ανάχθηκε για να αναφέρεται στο μετατοπισμένο ελλειψοειδές WGS'84 που χρησιμοποιείται από το σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87. Όσον αφορά τις συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ'87 του σημείου αυτές προέκυψαν μετά από υπολογισμούς από τις φ, λ συντεταγμένες του σημείου για το WGS'84_{ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΜΕΝΟ}. Τα αποτελέσματα της επίλυσης με το LGO είναι τα γεωμετρικά υψόμετρα του τριγωνομετρικού ΛΑΚΚΑ-ΜΑΡΙΚΕΣ και όλων των έκκεντρων στάσεων.

7.2.2 Δεύτερη επίλυση

Για τη δεύτερη επίλυση χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι μετρήσεις που αφορούν τις 39 βάσεις του δικτύου της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η επίλυση πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Leica Geo Office (LGO) και με σταθερό σημείο, ξανά το τριγωνομετρικό σημείο της Γ.Υ.Σ. MATI. Για τη δεύτερη επίλυση δόθηκαν οι ίδιες συντεταγμένες φ,λ με την προηγούμενη. Όσον αφορά το γεωμετρικό υψόμετρο του σημείου της Γ.Υ.Σ. MATI έγινε η υπόθεση πως συμπίπτει με το ορθομετρικό και επομένως το γεωμετρικό υψόμετρό του σημείου τέθηκε ίσο με 89,340m όσο δηλαδή είναι το ορθομετρικό του σύμφωνα με τα δεδομένα της Γ.Υ.Σ. Τα αποτελέσματα της επίλυσης με το LGO είναι τα γεωμετρικά υψόμετρα του τριγωνομετρικού ΛΑΚΚΑ-ΜΑΡΙΚΕΣ και όλων των έκκεντρων στάσεων.

7.3 Αποτελέσματα των δύο επιλύσεων

Τα αποτελέσματα των δύο επιλύσεων, που πραγματοποιήθηκαν, φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

α/α	X _{ΕΓΣΑ} (m)	Y _{ΕΓΣΑ} (m)	h (m)
R1 _{EK.}	500166,686	4207574,433	16,909
R2 _{EK.}	500939,929	4207575,405	8,629
R3 _{EK.}	500668,003	4207483,536	12,743
R4 _{EK.}	500788,421	4207281,749	29,239
R5 _{EK.}	501304,797	4207469,244	20,278
R6 _{EK.}	501482,613	4207245,393	21,500
R7 _{EK.}	501116,249	4206920,080	31,662
R8 _{EK.}	500996,115	4206695,163	27,504
ΜΑΡΙΚΕΣ _{ΤΡΙΓ.}	501892,261	4206495,964	36,082
R130 _{EK.}	498481,426	4209045,179	92,801
MATI _{ΤΡΙΓ.}	498579,241	4209168,348	96,526

Πίνακας 1: Αποτελέσματα 1ης επίλυσης

α/α	X _{ΕΓΣΑ} (m)	Y _{ΕΓΣΑ} (m)	h (m)
R1 _{EK.}	500166,686	4207574,433	9,723
R2 _{EK.}	500939,929	4207575,405	1,442
R3 _{EK.}	500668,003	4207483,536	5,557
R4 _{EK.}	500788,421	4207281,749	22,052
R5 _{EK.}	501304,797	4207469,244	13,092
R6 _{EK.}	501482,613	4207245,393	14,314
R7 _{EK.}	501116,249	4206920,080	24,476
R8 _{EK.}	500996,115	4206695,163	20,317
ΜΑΡΙΚΕΣ _{ΤΡΙΓ.}	501892,261	4206495,964	28,896
R130 _{EK.}	498481,426	4209045,179	85,615
ΜΑΤΙ _{ΤΡΙΓ.}	498579,241	4209168,348	89,340

Πίνακας 2: Αποτελέσματα 2ης επίλυσης

8

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ

ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

8.1 Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε ένα δίκτυο σημείων μιας περιοχής για τα οποία είναι γνωστά τα γεωμετρικά και ορθομετρικά τους υψόμετρα (π.χ. από παρατηρήσεις GPS και Γ.Χ. αντίστοιχα), με χρήση της εξίσωσης $H = h - N$, μπορεί να προκύψει η μορφή του γεωειδούς στην περιοχή με διάφορους τρόπους. Το τοπικό αυτό μοντέλο γεωειδούς μπορεί με τη σειρά του να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό ορθομετρικών υψόμετρων άλλων σημείων της περιοχής, των οποίων είναι γνωστά τα γεωμετρικά τους υψόμετρα. Στο κεφάλαιο 4.3 αναφέρονται δύο τεχνικές που εφαρμόζονται για την προσομοίωση του γεωειδούς. Από τις τεχνικές αυτές, η πρώτη χρησιμοποιήθηκε στο κεφάλαιο 7.2.2 ως τρόπος επίλυσης του δικτύου. Η δεύτερη χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του γεωειδούς και περιγράφεται παρακάτω.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μετρήθηκε δίκτυο 11 σημείων για τα οποία υπολογίστηκαν τα γεωμετρικά τους υψόμετρα μετά από επεξεργασία μετρήσεων

GPS. Τα 11 αυτά σημεία είναι δύο βάθρα της Γ.Υ.Σ. και εννέα έκκεντρες στάσεις κοντά σε εννέα υψομετρικές αφετηρίες. Όσον αφορά τα ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων, εκείνο του βάθρου ΜΑΤΙ πάρθηκε από δεδομένα της Γ.Υ.Σ., ενώ τα ορθομετρικά υψόμετρα των έκκεντρων στάσεων προέκυψαν από γεωμετρικές χωροσταθμίσεις μεταξύ αυτών και των αντίστοιχων υψομετρικών τους αφετηριών. Τα ορθομετρικά υψόμετρα των αφετηριών πάρθηκαν από τη διπλωματική που αναφέρθηκε προηγουμένως [7]. Στους παρακάτω πίνακες εμφανίζονται τα ορθομετρικά υψόμετρα των αφετηριών και βάθρων, οι γεωμετρικές χωροσταθμίσεις και τα τελικά ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων του δικτύου μας.

α/α	H	ΔH	Ηέκκεντρων
R1	9,750	0,096	9,654
R2	1,450	0,048	1,402
R3	5,940	0,442	5,498
R4	22,585	0,586	21,999
R5	13,533	0,467	13,066
R6	14,832	0,540	14,292
R7	24,081	-0,342	24,423
R8	20,993	0,730	20,263
ΜΑΡΙΚΕΣ _{ΤΡΙΓ.}	27,440	1,455	28,895
R130	85,571	-0,014	85,585
ΜΑΤΙ _{ΤΡΙΓ.}	89,340	-	89,340

Πίνακας 3: Ορθομετρικά υψόμετρα αφετηριών και βάθρων, αποτελέσματα γεωμετρικών χωροσταθμίσεων και τελικά ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων του δικτύου μας

8.2 Προσομοίωση γεωειδούς

Προσομοίωση γεωειδούς είναι η δημιουργία ενός τοπικού μοντέλου γεωειδούς, η χρήση του οποίου μας επιτρέπει να μετατρέπουμε ορθομετρικά υψόμετρα σε γεωμετρικά. Για την προσομοίωση γίνεται η παραδοχή ότι το γεωειδές στην μικρή περιοχή μελέτης μπορεί να προσομοιάσει με μια γνωστή μαθηματική επιφάνεια π.χ. επίπεδο ή 2^{ου} βαθμού (αναλυτικά βλ. Κεφάλαιο 4.3) και να είναι γνωστά τα ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα για ένα σύνολο σημείων. Το σύνολο των σημείων αυτών είναι τα 11 σημεία του δικτύου για τα οποία γνωρίζουμε τα ορθομετρικά υψόμετρα αλλά και τα γεωμετρικά όπως προέκυψαν από την πρώτη επίλυση του κεφαλαίου 7.2.1 και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

α/α	X _{ΕΓΣΑ} (m)	Y _{ΕΓΣΑ} (m)	h (m)	H (m)	N (m)
R1 _{EK.}	500166,686	4207574,433	16,909	9,654	7,255
R2 _{EK.}	500939,929	4207575,405	8,629	1,402	7,227
R3 _{EK.}	500668,003	4207483,536	12,743	5,498	7,245
R4 _{EK.}	500788,421	4207281,749	29,239	21,999	7,240
R5 _{EK.}	501304,797	4207469,244	20,278	13,066	7,212
R6 _{EK.}	501482,613	4207245,393	21,500	14,292	7,208
R7 _{EK.}	501116,249	4206920,080	31,662	24,423	7,239
R8 _{EK.}	500996,115	4206695,163	27,504	20,263	7,241
ΜΑΡΙΚΕΣ _{ΤΡΙΓ.}	501892,261	4206495,964	36,082	28,895	7,187
R130 _{EK.}	498481,426	4209045,179	92,801	85,585	7,216
ΜΑΤΙ _{ΤΡΙΓ.}	498579,241	4209168,348	96,526	89,340	7,186

Πίνακας 4: Συντεταγμένες ΕΓΣΑ, γεωμετρικά υψόμετρα 1ης επίλυσης, ορθομετρικά υψόμετρα και απόκλιση του γεωειδούς. ($N = h - H$)

8.2.1 Επίπεδο

Σύμφωνα με όσα έχουν περιγραφεί στην παράγραφο 4.1.1 της διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν 9 από τα 11 σημεία και για αυτά (n=9) η εξίσωση είναι της μορφής :

$$-1.93 \cdot 10^{-5} x_i - 3.12 \cdot 10^{-5} y_i + 148.33 = \delta N_i + u_i \quad (8.2.1)$$

Η εξίσωση αυτή εφαρμόστηκε για τα υπόλοιπα 2 σημεία του δικτύου (R1, R8) που δε χρησιμοποιήθηκαν (σημεία ελέγχου) και επαληθεύτηκε για $\sigma = \pm 0.025m$.

8.2.2 Επιφάνεια 2^{ov} βαθμού

Σύμφωνα με όσα έχουν περιγραφεί στην παράγραφο 4.1.2 της διπλωματικής εργασίας και για αριθμό σημείων n=9, περισσότερα από έξι, προέκυψε ότι η εξίσωση είναι της μορφής :

$$\delta N_i = 2.52 \cdot 10^{-8} x_i^2 + 3.31 \cdot 10^{-11} y_i^2 + 5.60 \cdot 10^{-8} x_i y_i + (-0.26) x_i + (-0.028) y_i + 125002 \quad (8.2.2)$$

Η εξίσωση αυτή εφαρμόστηκε για τα υπόλοιπα 2 σημεία του δικτύου (R5,R7) που δε χρησιμοποιήθηκαν (σημεία ελέγχου) και δεν επαληθεύτηκε. Η μη επαλήθευση της εξίσωσης είναι απόλυτα δικαιολογημένη για τη μικρή και ομαλή περιοχή μελέτης μας.

9

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τελικά αποτελέσματα της όλης διαδικασίας είναι να προκύψουν τα γεωμετρικά υψόμετρα των υψομετρικών αφετηριών. Οι υψομετρικές διαφορές των αφετηριών θα αποτελέσουν μελλοντικά εργαλείο για τοπογραφικές εργασίες στην περιοχή μας. Τα γεωμετρικά υψόμετρα των αφετηριών θα προκύψουν από τη μεταφορά των γεωμετρικών υψομέτρων των έκκεντρων στάσεων στις αντίστοιχες υψομετρικές αφετηρίες μέσω μετρήσεων γεωμετρικής χωροστάθμησης. Με τις Γ.Χ. προκύπτουν ορθομετρικές υψομετρικές διαφορές. Επειδή όμως οι αποστάσεις μεταξύ των υψομετρικών αφετηριών και των αντίστοιχων έκκεντρων στάσεων είναι πολύ μικρές (της τάξης των 3 m), μπορεί να θεωρηθεί χωρίς σφάλμα ότι οι ορθομετρικές ταυτίζονται με τις αντίστοιχες γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές, δηλαδή $dN = 0$. Τα γεωμετρικά υψόμετρα είναι εκείνα που προέκυψαν από την πρώτη επίλυση του κεφαλαίου 7.2. Τα τελικά αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

α/α	h (m)	Δh (m)	αφετηριών (m)
R1 _{ΕΚ.}	16,909	0,096	17,005
R2 _{ΕΚ.}	8,629	0,048	8,677
R3 _{ΕΚ.}	12,743	0,442	13,185
R4 _{ΕΚ.}	29,239	0,586	29,825
R5 _{ΕΚ.}	20,278	0,467	20,745
R6 _{ΕΚ.}	21,500	0,540	22,040
R7 _{ΕΚ.}	31,662	-0,342	31,320
R8 _{ΕΚ.}	27,504	0,730	28,234
ΜΑΡΙΚΕΣ _{ΤΡΙΓ.}	36,082	1,455	34,627
R130 _{ΕΚ.}	92,801	-0,014	92,787
ΜΑΤΙ _{ΤΡΙΓ.}	96,526	0,000	96,526

Πίνακας 5: Γεωμετρικά υψόμετρα έκκεντρων στάσεων και των βάθρων της Γ.Υ.Σ. , γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές (γεωμετρική χωροστάθμηση), γεωμετρικά υψόμετρα αφετηριών και των βάθρων της Γ.Υ.Σ..

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συνολικά για τις εννέα υψομετρικές αφετηρίες και τα δύο βάθρα της Γ.Υ.Σ. τα ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα

α/α	H (m)	h (m)
R1	9,750	17,005
R2	1,450	8,677
R3	5,940	13,185
R4	22,585	29,825
R5	13,533	20,745
R6	14,832	22,040
R7	24,081	31,320
R8	20,993	28,234
ΜΑΡΙΚΕΣ _{ΤΡΙΓ.}	27,440	34,627
R130	85,571	92,787
ΜΑΤΙ _{ΤΡΙΓ.}	89,340	96,526

Πίνακας 6: Ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα των υψομετρικών αφετηριών και των βάθρων της Γ.Υ.Σ.

9.1 Σύγκριση ορθομετρικών και γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών

Για τα δεδομένα του πίνακα 6 δημιουργήθηκε ένας άλλος πίνακας (πίνακας 7) στον οποίο φαίνονται οι υψομετρικές διαφορές $dh_{i,j}$ και $\delta H_{i,j}$ για όλα τα σημεία που εξετάζονται:

α/α	H (m)	h (m)	δH_{ij} (m)	δh_{ij} (m)
R1	9,750	17,005		
R2	1,450	8,677	8,300	8,328
R3	5,940	13,185	-4,490	-4,508
R4	22,585	29,825	-16,645	-16,640
R5	13,533	20,745	9,052	9,080
R6	14,832	22,040	-1,299	-1,295
R7	24,081	31,320	-9,249	-9,280
R8	20,993	28,234	3,088	3,087
ΜΑΡΙΚΕΣ _{ΤΡΙΓ.}	27,440	34,627	-6,447	-6,394
R130	85,571	92,787	-58,131	-58,160
ΜΑΤΙ _{ΤΡΙΓ.}	89,340	96,526	-3,769	-3,739

Πίνακας 7: Ορθομετρικά, γεωμετρικά υψόμετρα και ορθομετρικές και γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές

Όπως φαίνεται από αυτόν, οι ορθομετρικές και γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές δε διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Η ελάχιστη διαφορά τους αποδεικνύει ένα ομαλό γεωειδές κάτι που είναι αναμενόμενο εφόσον η περιοχή μελέτης είναι παραθαλάσσια και μικρή σε έκταση. Επομένως η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο κεφάλαιο 7.2.2 (ταύτιση ορθομετρικού με γεωμετρικού υψομέτρου) μας έδωσε ρεαλιστικές γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές, παρόλο που τα γεωμετρικά υψόμετρα που προέκυψαν δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Έτσι η διαδικασία αυτή μπορεί να επιλεγεί για οποιοδήποτε σύνολο σημείων της περιοχής μελέτης μας για μελλοντικές εργασίες.

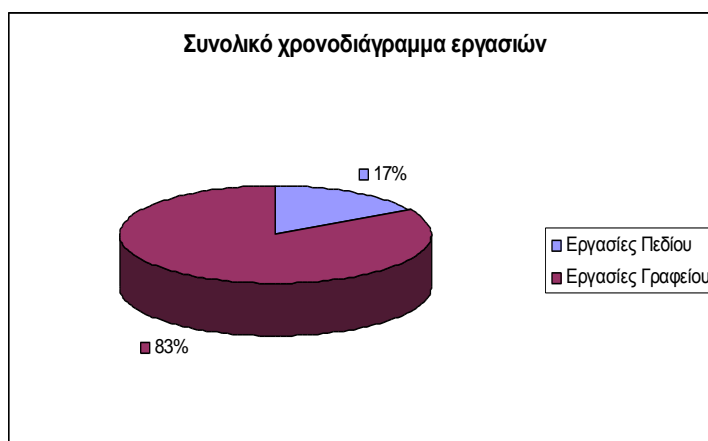
10

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χρονοδιαγράμματα των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

10.1 Συνολικό χρονοδιάγραμμα εργασιών

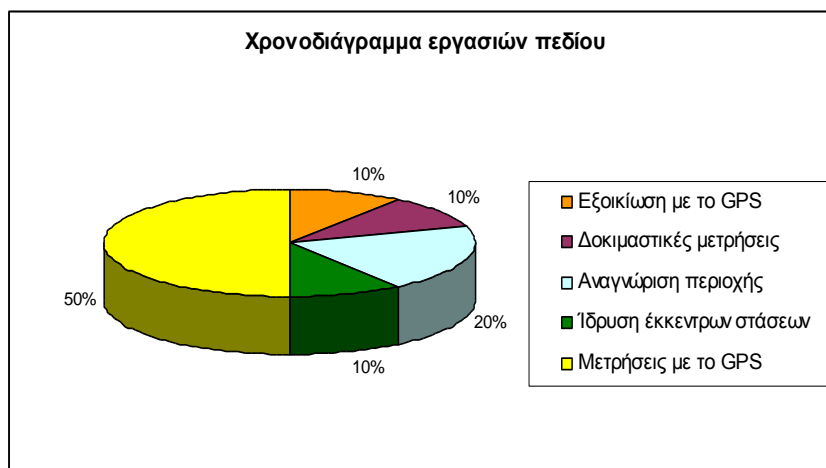
Αρχικά οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις εργασίες πεδίου και τις εργασίες γραφείου. Οι εργασίες πεδίου ολοκληρώθηκαν σε 10 μέρες ενώ οι εργασίες γραφείου σε 50 μέρες. Παρακάτω παρουσιάζεται το αντίστοιχο χρονοδιάγραμμα.



Γράφημα 1: Συνολικό χρονοδιάγραμμα εργασιών

10.1.1 Χρονοδιάγραμμα εργασιών πεδίου

Ακολουθεί το χρονοδιάγραμμα της πρώτης κατηγορίας, εργασίες πεδίου, που απεικονίζει τις υποκατηγορίες της. Οι υποκατηγορίες αυτές είναι: εξοικίωση με το GPS, δοκιμαστικές μετρήσεις, αναγνώριση περιοχής, ίδρυση έκκεντρων στάσεων, μετρήσεις με το GPS.



Γράφημα 2: Χρονοδιάγραμμα εργασιών πεδίου

10.1.2 Χρονοδιάγραμμα εργασιών γραφείου

Ακολουθεί το χρονοδιάγραμμα της δεύτερης κατηγορίας, εργασίες γραφείου, που απεικονίζει τις υποκατηγορίες της. Οι υποκατηγορίες αυτές είναι: επεξεργασία μετρήσεων, επιλύσεις δικτύου, προσομοίωση γεωειδούς, συγγραφή κειμένων.



Γράφημα 3: Χρονοδιάγραμμα εργασιών γραφείου

11

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο προσδιορισμός της τρίτης διάστασης ενός σημείου, υψόμετρο, είναι ένα από τα συχνά προβλήματα που καλείται να λύσει ο Μηχανικός προκειμένου να εκτελέσει τις εργασίες του. Σκοπός είναι να προσδιορίσει τη θέση του σημείου πάνω σε μια επιφάνεια η οποία να συνδέεται με το πεδίο βαρύτητας της γης, όπως το γεωειδές. Κάθε σημείο χαρακτηρίζεται συνήθως από δύο υψόμετρα, το ορθομετρικό και το γεωμετρικό. Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός του γεωμετρικού υψομέτρου σημείων και των μεταξύ τους υψομετρικών διαφορών. Οι υψομετρικές διαφορές είναι εκείνες που εμπλέκονται κυρίως στις διάφορες εργασίες του Μηχανικού. Τα γεωμετρικά υψόμετρα, παρόλα αυτά, με τη σύγχρονη τεχνολογία των GPS είναι ευκολότερο να αποκτηθούν. Επομένως εκτός από τον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων είναι απαραίτητη και η προσομοίωση γεωειδούς, μέθοδος που δίνει τη σχέση μεταξύ γεωμετρικών και ορθομετρικών υψομέτρων. Έτσι ο Μηχανικός είναι σε θέση να μετατρέψει γεωμετρικά σε ορθομετρικά υψόμετρα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία η προσομοίωση του γεωειδούς έδωσε την εξίσωση με την οποία γίνεται η μετατροπή. Επίσης παρουσιάστηκε πως το γεωειδές είναι ομαλό κάτι που σημαίνει πως γεωμετρικές και ορθομετρικές υψομετρικές διαφορές είναι σχεδόν ίδιες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η περιοχή μελέτης είναι αρκετά μικρή.

Συμπερασματικά όταν έχουμε περιοχές μικρές σε έκταση και ομαλού ανάγλυφου μπορούμε να προσδιορίσουμε είτε τις γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές με τη χρήση

δορυφορικών μεθόδων ή τις ορθομετρικές με τη χρήση επίγειων. Τα πλεονεκτήματα των δορυφορικών μεθόδων είναι πως αποτελούν μία σύγχρονη εύκολη στη χρήση μέθοδο με αξιόπιστα αποτελέσματα. Τα μειονεκτήματα τους είναι πως τα όργανα GPS χρειάζονται ανοιχτό ορίζοντα με αποτέλεσμα η μέθοδος να μην ενδείκνυται για πυκνοκατοικημένες περιοχές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

1. Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.-Μ., Μπιλήρρης Χ., Σταθάς Δ.: «**Εισαγωγή στη Γεωδαισία**», Σημειώσεις μαθήματος, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2008
2. Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.-Μ.: «**Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι**», Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2009
3. Αραμπατζή Ο.-Α.: «**Διερεύνηση των Μεθοδολογιών Προσδιορισμού Κατακόρυφης Θέσης Σημείου σε Έργα Μηχανικού – Εφαρμογές στον Ελλαδικό Χώρο**», Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2007
4. Παγούνης Β.: Δεδομένα μετρήσεων από Τ.Ε.Ι. Τοπογραφίας Αθήνας, Αθήνα Απρίλιος 2013
5. Πικρίδας Χ., Φωτίου Α. Ι.: «**GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές**», Σύγγραμμα, 2006
6. Σταθάς Δ.: «**«Γεωμετρικός» Προσδιορισμός Τοπικού Μοντέλου Γεωειδούς-Συνδυασμός Επίγειων Υψομετρικών Δεδομένων και Δεδομένων G.P.S.**», Σημειώσεις για τις ΜΓΑ ΙΙ, Ιούλιος 2010
7. Τζούρος Π.: «**Ίδρυση Αστικού Δικτύου Κατακορύφου Ελέγχου με Επίγειες Μεθοδολογίες στην Περιοχή της Ραφίνας**», Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π. – Ε.Γ.Γ., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα, Ιούνιος 2013
8. Τσακίρη Μ.: «**Γεωδαισία ΙΙ: Εισαγωγή στο GPS**», Σημειώσεις μαθήματος, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2005
9. Τσακίρη Μ.: «**Δίκτυα GPS**», Σημειώσεις μαθήματος, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2010
10. <http://el.wikipedia.org>
11. <https://maps.google.gr>
12. <https://www.google.gr>
13. <http://www.gps.gov>
14. <http://www.leica-geosystems.com>
15. <http://www.rafina.gr>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ

ΕΠΙΠΕΔΟ

Αριθμός συνολικών σημείων : 11

Αριθμός σημείων που συμμετέχουν στη μέθοδο : 9

Αριθμός σημείων για έλεγχο : 2 ($R_{1EK.}, R_{8EK.}$)

Πίνακας σχεδιασμού A:

$A_{9 \times 3} =$

500939,929	4207575,405	1
500668,003	4207483,536	1
500788,421	4207281,749	1
501304,797	4207469,244	1
501482,613	4207245,393	1
501116,249	4206920,080	1
501892,261	4206495,964	1
498481,426	4209045,179	1
498579,241	4209168,348	1

Διάνυσμα δl :

$\delta l_{9 \times 1} =$

7,227
7,245
7,240
7,212
7,208
7,239
7,187
7,216
7,186

Πίνακας βαρών του διανύσματος \hat{x} :

$N_{3 \times 3} = A^T P A =$

2,255E+12	1,89564E+13	4505252,9
1,8956E+13	1,59337E+14	37868685
4505252,94	37868684,9	9

Διάνυσμα u:

$$u_{3 \times 1} = A^T P \delta l =$$

32517713,5
273325736
64,95953

Διάνυσμα x:

$$x_{3 \times 1} = N^{-1} u =$$

-1,9336E-05
-3,1237E-05
148,332313

Τελικά η εξίσωση που προκύπτει είναι της μορφής :

$$-1.93 \cdot 10^{-5} x_i - 3.12 \cdot 10^{-5} y_i + 148.33 = \delta N_i + u_i$$

Έλεγχος για τα σημεία R1_{EK}, R8_{EK}.

Στοιχεία του σημείου R1_{EK} : $x_1 = 500166.6863$ m , $y_1 = 4207574.4334$ m

Σύμφωνα με την εξίσωση που προέκυψε το $N_1 = 7.2275$ m

Από τα δεδομένα μας το $N_1 = 7.2549$ m και $\Delta N_1 = 0.0274$ m το οποίο και είναι στα όρια του επιτρεπόμενου σφάλματος. (Σφάλμα μεθόδου : $\sigma = \pm 0.025$ m)

Στοιχεία του σημείου R8_{EK} : $x_8 = 500996.1153$ m , $y_8 = 4206695.1634$ m

Σύμφωνα με την εξίσωση που προέκυψε το $N_8 = 7.2390$ m

Από τα δεδομένα μας το $N_8 = 7.2405$ m και $\Delta N_8 = 0.0015$ m το οποίο και είναι μέσα στα όρια του επιτρεπόμενου σφάλματος. (Σφάλμα μεθόδου : $\sigma = \pm 0.025$ m)

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 2ου ΒΑΘΜΟΥ

Αριθμός συνολικών σημείων : 11

Αριθμός σημείων που συμμετέχουν στη μέθοδο : 9

Αριθμός σημείων για έλεγχο : 2 (R_{5EK}, R_{7EK})

Πίνακας σχεδιασμού A:

$A_{9 \times 6} =$

2,5017E+11	1,7704E+13	2,1045E+12	500166,686	4207574,433	1
2,5094E+11	1,7704E+13	2,1077E+12	500939,929	4207575,405	1
2,5067E+11	1,7703E+13	2,1066E+12	500668,003	4207483,536	1
2,5079E+11	1,7701E+13	2,107E+12	500788,421	4207281,749	1
2,5148E+11	1,7701E+13	2,1099E+12	501482,613	4207245,393	1
2,51E+11	1,7696E+13	2,1075E+12	500996,115	4206695,163	1
2,519E+11	1,7695E+13	2,1112E+12	501892,261	4206495,964	1
2,4848E+11	1,7716E+13	2,0981E+12	498481,426	4209045,179	1
2,4858E+11	1,7717E+13	2,0986E+12	498579,241	4209168,348	1

Διάνυσμα δI :

$\delta I_{9 \times 1} =$

7,255
7,227
7,245
7,240
7,208
7,241
7,187
7,216
7,186

Πίνακας βαρών P:

$$P_{9 \times 9} =$$

1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1

Πίνακας βαρών του διανύσματος \hat{x} :

$$N_{6 \times 6} = A^T P A =$$

5,6452E+23	3,9905E+25	4,7463E+24	1,128E+18	9,484E+18	2,254E+12
3,9905E+25	2,8209E+27	3,3551E+26	7,9739E+19	6,70427E+20	1,593E+14
4,7463E+24	3,3551E+26	3,9905E+25	9,484E+18	7,97389E+19	1,895E+13
1,128E+18	7,9739E+19	9,484E+18	2,254E+12	1,89511E+13	4503994,7
9,484E+18	6,7043E+20	7,9739E+19	1,8951E+13	1,59336E+14	37868565
2,254E+12	1,5934E+14	1,8951E+13	4503994,7	37868565,17	9

Διάνυσμα u:

$$u_{6 \times 1} = A^T P \delta l =$$

1,628E+13
1,1508E+15
1,3688E+14
32530794,4
273511261
65,00383

Διάνυσμα \hat{x} :

$$x_{6 \times 1} = N^{-1} u =$$

2,5185E-08
3,3083E-11
5,5969E-08
-0,2607832
-0,02833843
125002

Τελικά η εξίσωση που προκύπτει είναι της μορφής :

$$2.52 \cdot 10^{-8} x_i^2 + 3.31 \cdot 10^{-11} y_i^2 + 5.60 \cdot 10^{-8} x_i y_i + (-0.26) x_i + (-0.028) y_i + 125002 = \delta N_i + u_i$$

Έλεγχος για τα σημεία R5_{EK}, R7_{EK}.

Στοιχεία του σημείου R5_{EK} : $x_5= 501304.7972$ m , $y_5= 4207469.2438$ m

Σύμφωνα με την εξίσωση που προέκυψε το $N_5= 3.837$ m

Από τα δεδομένα μας το $N_5= 7.2118$ m επομένως συμπεραίνουμε πως για το σημείο αυτό δεν επαληθεύεται η εξίσωση δευτέρου βαθμού.

Στοιχεία του σημείου R7_{EK} : $x_7= 501116.2491$ m , $y_7= 4206920.0799$ m

Σύμφωνα με την εξίσωση που προέκυψε το $N_7= 3.853$ m

Από τα δεδομένα μας το $N_7= 7.2393$ m επομένως συμπεραίνουμε πως ούτε για το σημείο αυτό δεν επαληθεύεται η εξίσωση δευτέρου βαθμού.