



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ
ΤΟΠΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ ΣΤΗ
ΝΗΣΟ ΣΙΚΙΝΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΜΠΡΕΣΤΑΣ ΖΩΗΣ

Επιβλέποντες

Ορθοδοξία Αραμπατζή - Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αναστάσιος Μπίθας - Ε.ΔΙ.Π. Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING

DEPARTMENT OF TOPOGRAPHY

GEOMETRIC DETERMINATION
OF A LOCAL GEOID MODEL
AROUND THE ISLAND OF
SIKINOS

DIPLOMA THESIS:
BRESTAS ZOIS

Athens, October 2015

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ
ΤΟΠΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ
ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΙΚΙΝΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΜΠΡΕΣΤΑΣ ΖΩΗΣ

Επιβλέποντες: Ορθοδοξία Αραμπατζή - Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
Αναστάσιος Μπίθας - Ε.ΔΙ.Π. Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13^η Οκτώβρη 2015

(Υπογραφή)

.....

Ορθοδοξία Αραμπατζή
Επικ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Δημοσθένης Σταθάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Ελισάβετ Τελειώνη
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

(Υπογραφή)

.....

ΜΠΡΕΣΤΑΣ ΖΩΗΣ

Διπλωματούχος Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Μπρέστας Ζώης, 2015

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας 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 τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά κάθε έναν που με στήριξε όλο αυτό το διάστημα.

Πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το συμφοιτητή μου Παναγιώτη Διαλιάτση, για την συνεργασία και φιλία μας όλα τα χρόνια των προπτυχιακών σπουδών, κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου στην κοινή περιοχή της νήσου Σικίνου, αλλά και τη στήριξη και βοήθειά του για την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Την Επίκουρη Καθηγήτρια της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, Ορθοδοξία Αραμπατζή για την ανάθεση και επίβλεψη της Διπλωματικής Εργασίας.

Τον Αναστάσιο Μπίθα, Ε.ΔΙ.Π. ΕΜΠ, για την καθοριστική συμβολή του στις εργασίες πεδίου, αλλά και για την παροχή υλικού και συμβουλών για κάθε επιμέρους εργασία κατά τη συγγραφή της Διπλωματικής Εργασίας.

Τον υποψήφιο διδάκτορα της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, Γιώργο Πιινιώτη, για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε και τη βοήθειά του στην επεξεργασία των δορυφορικών μετρήσεων.

Και φυσικά την οικογένειά μου, για την στήριξη και εμπιστοσύνη τους όλα αυτά τα χρόνια των προπτυχιακών σπουδών, έχοντας την πρώτη και βασική συνεισφορά στην έως τώρα πορεία μου. Ξεχωριστά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου, Νικόλαο-Ορέστη Μπρέστα, για τα κοινά μας φοιτητικά χρόνια, την πείρα που μου μεταδίδει καθημερινά και ασφαλώς την καθοριστική συμμετοχή του στις εργασίες πεδίου κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη μελέτη του γεωειδούς στην περιοχή της νήσου Σικίνου. Το δίκτυο ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει ήδη υπάρχοντα τριγωνομετρικά σημεία, υλοποιημένα από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) και από το Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας του ΕΜΠ στο πλαίσιο των εργασιών των Μεγάλων Γεωδαιτικών Ασκήσεων II (ΜΓΑ II) από τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ. Η χρήση του δικτύου εστιάστηκε στον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων των κορυφών του, ο οποίος πραγματοποιήθηκε με δορυφορικές μεθόδους, με χρήση του συστήματος GPS.

Τα γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου, σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα ορθομετρικά –που προέκυψαν είτε από την ΓΥΣ, είτε από τις ΜΓΑ II- αποτέλεσαν τα απαραίτητα δεδομένα για το γεωμετρικό προσδιορισμό του τοπικού γεωειδούς. Το τελικό μοντέλο γεωειδούς προσδιορίστηκε με τη βοήθεια της Μεθόδου Ελαχίστων Τετραγώνων (ΜΕΤ).

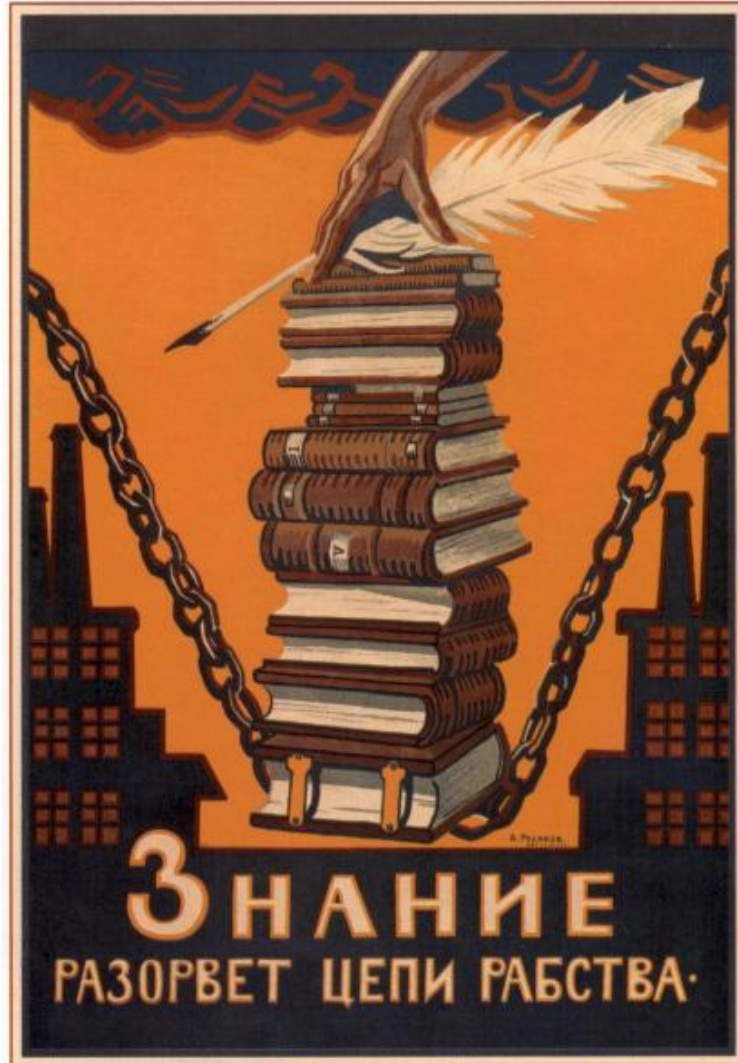
Οι παραπάνω διαδικασίες καθώς και τα αποτελέσματά τους, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τους Τοπογράφους Μηχανικούς, καθώς με γνωστό το μοντέλο γεωειδούς της περιοχής ενδιαφέροντος, μπορεί να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ ορθομετρικού και γεωμετρικού υψομέτρου.

Abstract

This diploma thesis has been elaborated focusing on the study and assessment of the geoid model around the island of Sikinos in the Cyclades. For this cause, use was made of existing field-implemented triangulation stations, installed both by the HELLENIC MILITARY GEOGRAPHICAL SERVICE (HMGS), and the Laboratory of Geodesy of the National Technical University of Athens (NTUA)-as an educational task during the annually-conducted geodetic summer course held by the School of Rural and Surveying Engineering. The main goal has been the evaluation of the geometric elevation of the points comprising the triangulation network, using satellite-geodesy methods based on the GPS system.

The final determination of the local geoid model was carried out by implementing the Least Squares Adjustment Method, using as input data the values of both geometric and (the corresponding) orthometric height of the triangulation network points. The values of the orthometric height that were taken into account derive from either the HMGS or the NTUA.

The abovementioned procedures as well as their conclusions and results, constitute important entities in the engineer's toolkit. By determining the geoid model of a specific area, it is possible to calculate the relationship between geometric and orthometric elevation.



«Η γνώση θα σπάσει τις αλυσίδες»
Σοβιετική αφίσα του Α. Ραντακόφ

Πίνακας περιεχομένων

Ευρετήριο Εικόνων.....	4
Ευρετήριο Χαρτών.....	5
Ευρετήριο Πινάκων.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : «Εισαγωγή».....	7
1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας.....	8
1.2 Περιοχή μελέτης.....	9
1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : «Βασικοί Ορισμοί».....	14
2.1 Φυσική Γήινη Επιφάνεια (ΦΓΕ).....	15
2.2 Γεωειδές.....	15
2.3 Ελλειψοειδές εκ Περιστροφής (ΕΕΠ).....	16
2.4 Σφαίρα.....	17
2.5 Οριζόντιο Επίπεδο.....	17
2.6 Προσδιορισμός Θέσης Σημείου στη Φυσική Γήινη Επιφάνεια.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : «Το Σύστημα GPS».....	20
3.1 Γενικά και Ιστορικά Στοιχεία.....	21
3.2 Λειτουργικά Συστήματα του GPS.....	22
3.3 Αρχή Λειτουργίας του Προσδιορισμού Θέσης με GPS.....	23
3.4 Τρόποι Μέτρησης.....	25
3.5 Τρόποι Προσδιορισμού Θέσης Δικτύου.....	25
3.5.1 Απόλυτος προσδιορισμός θέσης.....	26
3.5.2 Σχετικός προσδιορισμός θέσης.....	26
3.6 Σφάλματα στις μετρήσεις με GPS.....	28
3.7 Εφαρμογή του GPS στη Γεωδαισία-Τοπογραφία.....	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : «Το Γεωειδές»	30
4.1 Γεωμετρικός Προσδιορισμός Γεωειδούς.....	31
4.2 Προσομοίωση Γεωειδούς.....	32
4.3 Επιφάνειες που Προσομοιάζουν το Γεωειδές	33
4.3.1 Επίπεδο	33
4.3.2 Επιφάνεια 2 ^{ου} βαθμού	34
4.4 Αρχικός Προσδιορισμός του Γεωμετρικού Υψομέτρου (h).....	35
4.5 Σχόλια	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : «Εργασίες Πεδίου»	39
5.1 Ίδρυση Δικτύου.....	40
5.1.1 Γενικά.....	40
5.1.2 Υλοποίηση δικτύου κατακορύφου ελέγχου.....	41
5.2 Όργανα Μετρήσεων	43
5.2.1 Το σύστημα GPS LEICA 1200+	43
5.2.2 Ο δέκτης, το λογισμικό, η αποθήκευση και η εξαγωγή των δεδομένων.....	44
5.2.3 Ερμηνεία και περιγραφή των εικονιδίων του χειριστηρίου	45
5.2.4 Παρελκόμενα.....	45
5.3 Μετρήσεις με το Σύστημα GPS.....	46
5.3.1 Γενικά.....	46
5.3.2 Μέτρηση του δικτύου κατακορύφου ελέγχου	48
5.4 Μετρήσεις Ελέγχου Ορθομετρικού Υψομέτρου (H) με Επίγειες Μεθόδους.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : «Επεξεργασία Μετρήσεων»	53
6.1 Επεξεργασία Δορυφορικών Μετρήσεων	54
6.1.1 Επιλογή της σταθερής κορυφής του δικτύου για την επίλυση	55
6.1.2 Αποτελέσματα της επίλυσης.....	56

6.2 Επεξεργασία Επίγειων Μετρήσεων.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο : «Γεωμετρικός Προσδιορισμός Γεωειδούς».....	59
7.1 Εισαγωγή	60
7.2 Προσομοίωση γεωειδούς σε επίπεδο.....	60
7.3 Σύγκριση Ορθομετρικών και Γεωμετρικών Υψομετρικών Διαφορών	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ^ο «Συμπεράσματα».....	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67
ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	70
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	73

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Ενδεικτική εικόνα των δορυφόρων του συστήματος GPS	7
Εικόνα 2: Η θέση της Σικίνου στις Κυκλάδες.....	9
Εικόνα 3: Πεζοπορικός χάρτης Σικίνου.....	10
Εικόνα 4: Δορυφόρος του συστήματος GPS (GPS III satellite)	14
Εικόνα 5: Υψόμετρα σημείου P και απόκλιση της κατακορύφου	18
Εικόνα 6: Δορυφόρος του συστήματος GPS (GPS IIR satellite)	20
Εικόνα 7: Τα λειτουργικά μέρη του GPS.....	22
Εικόνα 8: Η θέση της κεραίας του δέκτη στην τομή 3 σφαιρών.....	24
Εικόνα 9: Προσδιορισμός τρισδιάστατης θέσης δέκτη από 4 δορυφόρους.....	24
Εικόνα 10: Απόλυτος προσδιορισμός θέσης.....	26
Εικόνα 11: Σχετικός προσδιορισμός θέσης	27
Εικόνα 12: Μέτρηση με το σύστημα GPS στο τριγωνομετρικό βάθρο της ΓΥΣ «Καυκάρες» ..	29

Εικόνα 13: Σχηματική παράσταση ΦΓΕ, γεωειδούς, ελλειψοειδούς και σφαίρας.....	30
Εικόνα 14: Μέτρηση με το σύστημα GPS στην κορυφή του δικτύου «T1 (Μώλος)»	39
Εικόνα 15: Το σύστημα GPS 1200+ της Leica	43
Εικόνα 16: Κυρίως μενού τηλεχειριστηρίου και εικονίδια	45
Εικόνα 17: Τα παρελκόμενα του GPS	46
Εικόνα 18: Έντυπο μετρήσεων GPS	48
Εικόνα 19: Το δίκτυο κατακορύφου ελέγχου (από το περιβάλλον του προγράμματος LEICA Geo Office).....	50
Εικόνα 20: Παλιρροιόμετρο.....	52
Εικόνα 21: Θέση παλιρροιομέτρου στο λιμάνι της Αλοπρόνιας	52
Εικόνα 22: Μέτρηση στο τριγωνομετρικό βάθρο της ΓΥΣ «Αλοπρόνια»	53
Εικόνα 23: Άποψη του περιβάλλοντος επεξεργασίας των δορυφορικών μετρήσεων με το πρόγραμμα LEICA Geo Office	54
Εικόνα 24: Σχετική θέση μόνιμων σταθμών αναφοράς GNSS της «METRICA A.E.» και της νήσου Σίκινο.....	56
Εικόνα 25: Άποψη της Αλοπρόνιας από το τριγωνομετρικό βάθρο της ΓΥΣ «ΣΙΚΙΝΟΣ (ΤΡΟΥΛΟΣ)»	59
Εικόνα 26: Ηλιοβασίλεμα στις Κυκλάδες από το μοναστήρι της Ζωοδόχου Πηγής στη Σίκινο	63

Ευρετήριο Χαρτών

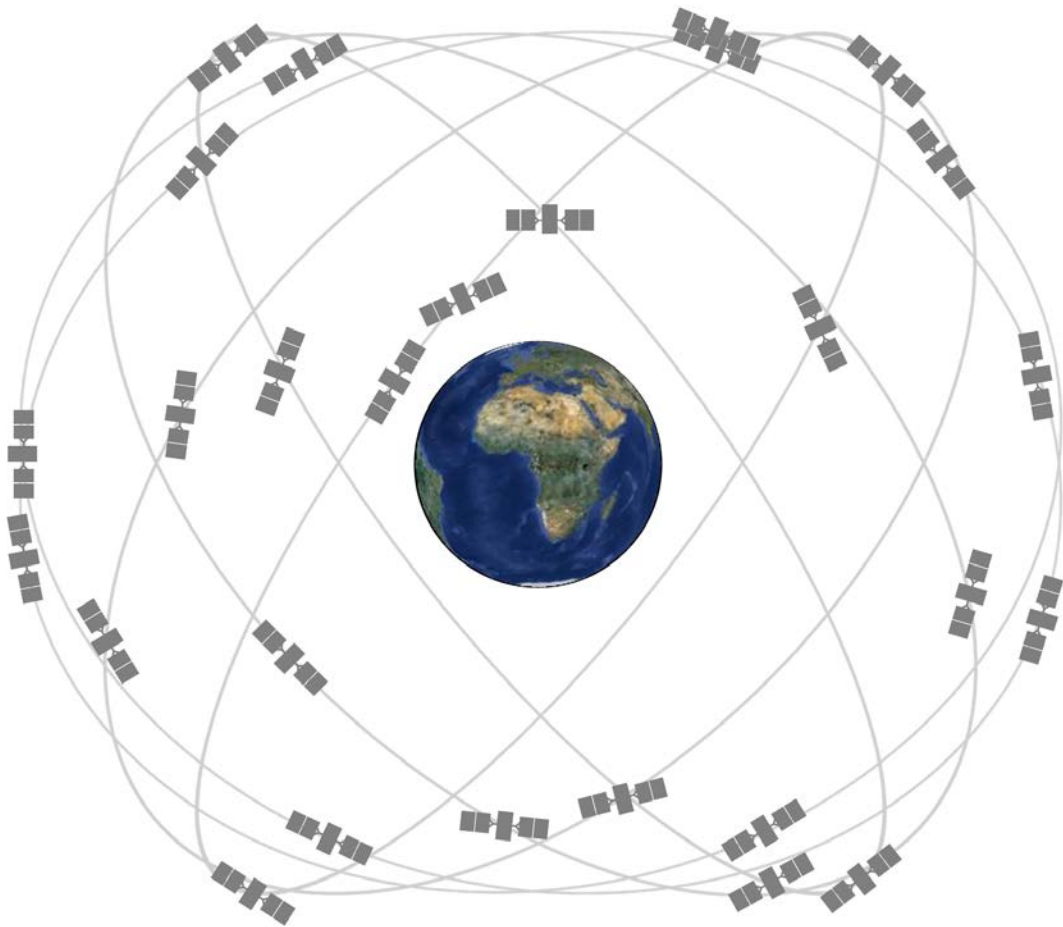
Χάρτης 1: Τοπογραφικός χάρτης της νήσου Σικίνου (Οινόης) από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ).....	11
Χάρτης 2: Ομαλοποιημένο (50km) γεωειδές, αναφερόμενο στο ελλειψοειδές του GRS 80 ($a=6.378.137\text{ m}$, $f=1/298,25722$) (πηγή: ΟΚΧΕ, 1987).....	36
Χάρτης 3: Αναμενόμενο (ομαλοποιημένο) γεωειδές στο ΕΓΣΑ '87 (πηγή: ΟΚΧΕ, 1987).....	37
Χάρτης 4: Το τριγωνομετρικό δίκτυο Α' τάξης (πηγή Βλάχος,1987)	40

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Αποτελέσματα της επίλυσης των δορυφορικών μετρήσεων	56
Πίνακας 2: <i>Οριζοντιογραφικές συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ 87, ορθομετρικά - γεωμετρικά υψόμετρα και αποχή του γεωειδούς των κορυφών του δικτύου.....</i>	61
Πίνακας 3: <i>Ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα, ορθομετρικές και γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές.....</i>	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

“ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ”



Εικόνα 1: Ενδεικτική εικόνα των δορυφόρων του συστήματος GPS

1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη του γεωειδούς στην περιοχή της Νήσου Σικίνου, ώστε να καθίσταται εύκολος και ακριβής ο προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων με χρήση δορυφορικών μεθόδων μέτρησης, όπως είναι το σύστημα GPS.

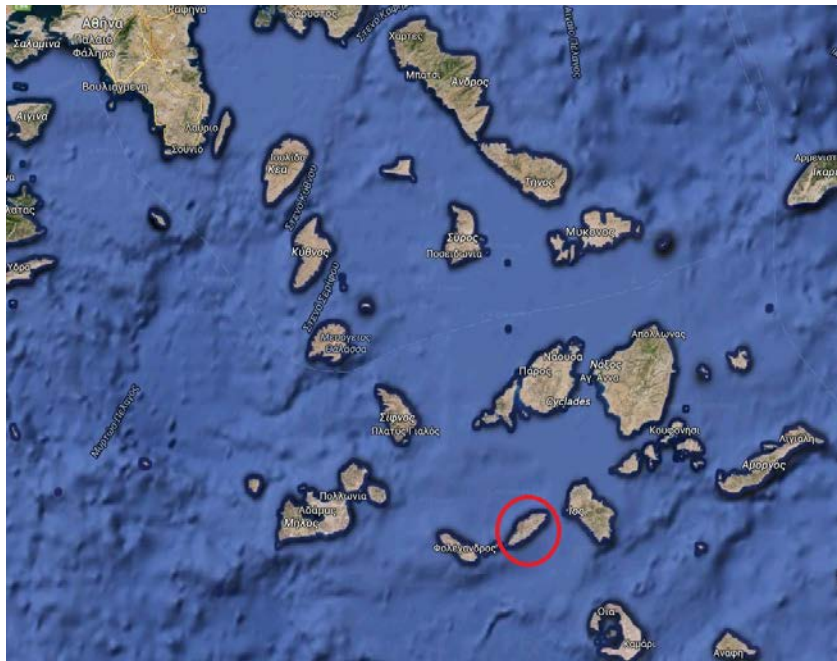
Η ίδρυση του δικτύου πραγματοποιήθηκε με ήδη υπάρχοντα τριγωνομετρικά σημεία, υλοποιημένα είτε από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) τα οποία είναι 4, είτε κατά τη διάρκεια των εργασιών των Μεγάλων Γεωδαιτικών Ασκήσεων II (ΜΓΑ II) από τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, τα οποία είναι 5. Οι κορυφές του δικτύου επιλέχθηκαν με άξονα την όσο το δυνατόν καλύτερη κάλυψη του νησιού σε σχήμα και μέγεθος.

Προσδιορίστηκαν τα γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου με δορυφορικές μεθόδους, με χρήση του συστήματος GPS, ενώ τα ορθομετρικά τους υψόμετρα είναι γνωστά είτε από την ΓΥΣ, είτε από τις επιλύσεις κατά τη διάρκεια των ΜΓΑ II.

Την επεξεργασία και την ανάλυση των μετρήσεων του συστήματος GPS, καθώς και την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων, ακολούθησε ο προσδιορισμός ενός βέλτιστου μοντέλου του τοπικού γεωειδούς της περιοχής μελέτης για την αναγωγή των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά.

1.2 Περιοχή μελέτης

Η Σίκινο είναι ένα κυκλαδίτικο νησί του Αιγαίου Πελάγους, βρίσκεται μεταξύ των νήσων Φολεγάνδρου και Ίου, σε απόσταση 14 και 10 μίλια αντίστοιχα. Από τον Πειραιά απέχει 102 μίλια. Η Σίκινο είχε πληθυσμό 260 άτομα στην απογραφή του 2011. Η επιφάνειά της εκτιμάται στα 41,676 km² ενώ έχει μήκος ακτών 40 χιλιόμετρα. Ο δε περίπλους της νήσου είναι 17 μίλια.



Εικόνα 2: Η θέση της Σικίνου στις Κυκλάδες

Η Σίκινο έχει τρεις οικισμούς: την Αλοπρόνοια, το Χωριό και το Κάστρο.

Κυριότερα βουνά της νήσου είναι ο Τρούλος (553μ.), ο Άγιος Μάμας (549μ.), η Αγία Μαρίνα (450μ.) και το λεγόμενο "Φρούδι του Μοναστηριού" (350μ.) όπου και η Μονή της Χρυσοπηγής.

Κυριότερος όρμος που αποτελεί και λιμένα επίνειο της νήσου, βρίσκεται ΝΑ, είναι η Αλοπρόνοια. Τον όρμο αυτό οι παλαιότεροι περιηγητές τον ονόμαζαν "Σαν Μπουρνιά" από το όνομα του καθολικού ιεραποστόλου Ιάκωβου των Μπουρνιών που ήταν και ιατρός. Με το όνομα αυτό φέρεται και σε παλαιούς χάρτες.



Εικόνα 3: Πεζοπορικός χάρτης Σικίνου

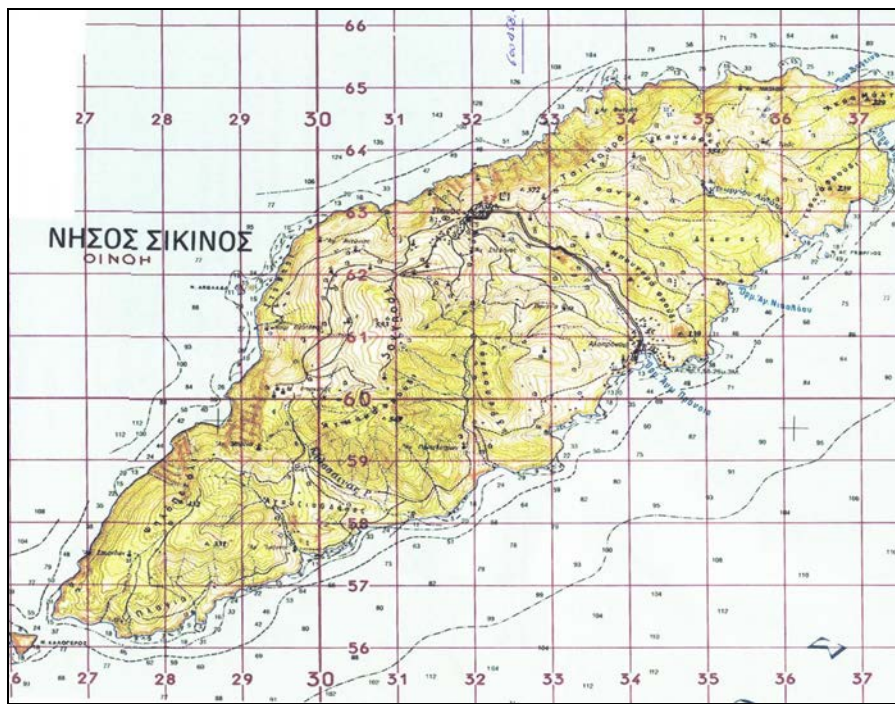
Σύμφωνα με την ελληνική μυθολογία η νήσος Σίκινοσ έλαβε το όνομά της από τον Σίκινο τον γιο του Θόαντα, Βασιλέως της Λήμνου, και εγγονού του Βάκχου και της Αριάδνης που διέμεναν στη Νάξο. Η Υψιπύλη προσπαθώντας να σώσει τον γιο της Θόαντα από τις Λήμνιες γυναίκες που προκάλεσαν τη σφαγή των συζύγων τους τον έκρυψε μέσα σε ξύλινη λάρνακα και τον έριξε στη θάλασσα. Παρασυρόμενη η λάρνακα αυτή από τα κύματα εκβράστηκε στη Σίκινο όπου οι αλιείς της περιοχής έσωσαν τον Θόαντα. Εκεί ο Θόας νυμφεύθηκε την εγχώρια νύμφη Νηΐδα με την οποία και απέκτησε τον Σίκινο οποίος και βασίλευσε στη νήσο.

Κατά τον Πλίνιο και τον Στέφανον τον Βυζάντιον το αρχαιότερο όνομα της νήσου αυτής ήταν "Οινόη".

Το όνομα Σίκινος διατηρήθηκε αναλλοίωτο από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Μόνο κατά την εποχή της Φραγκοκρατίας, για κάποιο χρονικό διάστημα περεφθάρει σε Σύκανδρος, όπως σημειώνει ο Φλωρεντινός ιερέας Χριστόφορος Βουεδολμόντης ή Μπουεντολμόντης που επισκέφθηκε τη νήσο το 1422 και αναφέρει πως το όνομά της οφείλεται στα πολλά σύκα που παράγει η νήσος.

Ναυτικοί χάρτες της εποχής αναφέρουν τη Σίκινο επίσης με τα ονόματα Zetine ή Setine και Setin.

Χαρακτηριστικό του νησιού υπήρξε μέχρι τα μέσα ακόμη του εικοστού αιώνα η άφθονη οινοπαραγωγή και, μέχρι σήμερα, η κορυφαία ποιότητα του μελιού του.



Χάρτης 1: Τοπογραφικός χάρτης της νήσου Σικίνου (Οινόης) από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ)

1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η δομή της διπλωματικής εργασίας αποτελείται από 8 κεφάλαια, η δομή και το περιεχόμενο των οποίων παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

Στο παρών πρώτο κεφάλαιο, αναφέρεται ο σκοπός της εργασίας, η περιοχή μελέτης και η δομή της διπλωματικής εργασίας.

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

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού τρισδιάστατης θέσης σημείων στη Φ.Γ.Ε., το GPS. 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 σημείων. Τέλος, γίνεται αναφορά στις αρχές επίλυσης του συστήματος, αλλά και στην εφαρμογή του GPS στην τοπογραφία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στο γεωειδές. Η γνώση του γεωειδούς μιας περιοχής είναι απαραίτητο δεδομένο για την αναγωγή των ορθομετρικών σε γεωμετρικά υψόμετρα και αντίστροφα. Επίσης, περιγράφονται οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να προσδιοριστεί το γεωειδές, οι επιφάνειες που το προσομοιάζουν και η ακρίβεια με την οποία μπορεί αυτό να πραγματοποιηθεί.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η ίδρυση του δικτύου στην περιοχή, όπως και τα όργανα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις. Τέλος, περιγράφονται οι εργασίες πεδίου που πραγματοποιήθηκαν, δηλαδή οι δορυφορικές και οι επίγειες μετρήσεις.

Το έκτο κεφάλαιο αφορά την επεξεργασία των μετρήσεων. Περιγράφονται οι διαδικασίες μέσα από τις οποίες προέκυψαν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Στο έβδομο κεφάλαιο προσδιορίζεται γεωμετρικά το γεωειδές. Αναφέρονται τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό του και η διαδικασία της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για την προσαρμογή της επιφάνειας εκείνης που προσομοιάζει κατάλληλα το γεωειδές.

Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας κατά τη διάρκεια εκπόνησής της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

“ ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ ”



Εικόνα 4: Δορυφόρος του συστήματος GPS (GPS III satellite)

2.1 Φυσική Γήινη Επιφάνεια (ΦΓΕ)

Με τον όρο φυσική γήινη επιφάνεια αναφερόμαστε στην πραγματική επιφάνεια της γης, η οποία περιλαμβάνει την τοπογραφική επιφάνεια καθώς επίσης 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.

Η τοπογραφική επιφάνεια υλοποιείται άμεσα στη φυσική μας εποπτεία και είναι η επιφάνεια πάνω στην οποία ζούμε και γίνονται όλες οι γεωδαιτικές μετρήσεις.

Η επιφάνεια της θάλασσας απετέλεσε (για πρακτικούς λόγους) την επιφάνεια (αναφοράς) πάνω από την οποία ο άνθρωπος μετρούσε τα υψόμετρα της στεριάς και κάτω από την οποία μετρούσε τα βάθη των θαλασσών. Επειδή όμως η στιγμιαία επιφάνεια της θάλασσας μεταβάλλεται συνεχώς ως επιφάνεια αναφοράς για την μέτρηση των υψομέτρων της φ.γ.ε., χρησιμοποιείται η μέση θέση (στάθμη) της επιφάνειας της θάλασσας.

Η μέση στάθμη της θάλασσας προσδιορίζεται με τη βοήθεια παλιρροιογράφων (σε εγκαταστάσεις κατά μήκος των ακτών) και με τη βοήθεια τεχνητών δορυφόρων (στους ωκεανούς), οι οποίοι από γνωστές θέσεις μετρούν την απόστασή τους από τη επιφάνεια της θάλασσας με χρήση ειδικών συσκευών ραντάρ.

2.2 Γεωειδές

Το γεωειδές ορίζεται ως εκείνη η ισοδυναμική επιφάνεια του πραγματικού γήινου πεδίου βαρύτητας, που προσαρμόζεται όσο το δυνατόν καλύτερα στη μέση στάθμη των θαλασσών στο σύνολο της

γης, με ακρίβεια $\pm 1\text{m}$. Από τον ορισμό του γεωειδούς προκύπτει ότι η διεύθυνση της κατακορύφου είναι κάθετη στην επιφάνειά του σε κάθε σημείο του. Ο προσδιορισμός του αποτελεί κύριο στόχο της γεωδαισίας.

Το γεωειδές είναι μια κλειστή επιφάνεια με τα κοίλα προς το εσωτερικό του και σε αυτήν αναφέρονται τα ορθομετρικά υψόμετρα (H). Το γεωειδές προσομοιάζει με ελλειψοειδές εκ περιστροφής, με μέγιστη αποχή περίπου 100 μέτρα. Η αποχή αυτή ονομάζεται υψόμετρο του γεωειδούς και συμβολίζεται ως N.

2.3 Ελλειψοειδές εκ Περιστροφής (ΕΕΠ)

Το ελλειψοειδές εκ περιστροφής είναι μια μαθηματική επιφάνεια η οποία δημιουργείται από την περιστροφή μιας έλλειψης γύρω από το μικρό άξονά της. Ορίζεται αν είναι γνωστά ο μεγάλος ημιάξονάς του a και η επιπλάτυνση f ($f = \frac{a-b}{a}$) ή ο μικρός ημιάξονάς του b και η εκκεντρότητά του e ($e = \sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}}$).

Γήινο ή γεωκεντρικό ελλειψοειδές θεωρείται εκείνο το οποίο, προσεγγίζει όσο το δυνατόν καλύτερα (σε διαστάσεις) το γεωειδές σε παγκόσμια κλίμακα. Από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς αυτού μετρώνται τα γεωμετρικά υψόμετρα (h).

Γεωδαιτικό ελλειψοειδές θεωρείται εκείνο που ταιριάζει καλύτερα στο γεωειδές μιας συγκεκριμένης περιοχής, είναι παράλληλα μετατοπισμένο ως προς το γήινο, και μπορεί να έχει τις ίδιες διαστάσεις με αυτό.

Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται σήμερα το GRS 80 (Geodetic Reference System 1980) στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 1987).

2.4 Σφαίρα

Η σφαίρα αποτελεί απλούστερη μαθηματική επιφάνεια, η οποία προσεγγίζει το γεωειδές με μικρότερη ακρίβεια από ότι ένα ΕΕΠ. Ορίζεται με κέντρο το κέντρο μάζας της γης και ακτίνα τη μέση ακτίνα καμπυλότητας του ΕΕΠ.

Τοπικά, για σχετικά μικρές εκτάσεις μπορεί η σφαίρα (εγγύτατη στο σημείο) να αντικαταστήσει το ελλειψοειδές με ικανοποιητική ακρίβεια.

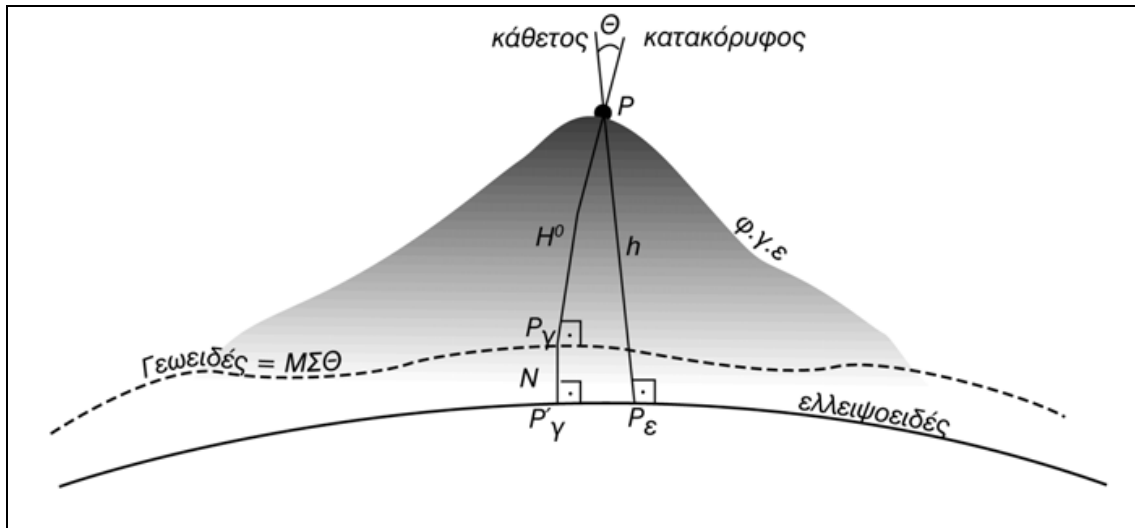
2.5 Οριζόντιο Επίπεδο

Ένα οριζόντιο επίπεδο δεν μπορεί να αποδώσει τη μορφή και το μέγεθος της γης και επομένως δεν αποτελεί υπό την έννοια αυτή, επιφάνεια αναφοράς για ολόκληρη ή για κάποιο σημαντικής έκτασης τμήμα της γης.

Για πολύ μικρές όμως εκτάσεις ή απλές εφαρμογές της Τοπογραφίας, όπου η επίδραση της καμπυλότητας της γης δεν είναι σημαντική (δηλαδή για συνηθισμένη ακρίβεια αποτύπωσης και διαστάσεις περίπου 10km x 10km), μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα οριζόντιο επίπεδο, πάνω στο οποίο προβάλλονται οι μετρήσεις και γίνονται οι υπολογισμοί με απλό τρόπο, χρησιμοποιώντας την Ευκλείδεια γεωμετρία.

Το οριζόντιο αυτό επίπεδο θεωρείται συνήθως εφαπτόμενο στο γεωειδές (μ.σ.θ.), στο μέσον της περιοχής που αποτυπώνεται και βέβαια είναι κάθετο στη διεύθυνση της κατακορύφου.

2.6 Προσδιορισμός Θέσης Σημείου στη Φυσική Γήινη Επιφάνεια



Εικόνα 5: Υψόμετρα σημείου P και απόκλιση της κατακορύφου

Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου της φ.γ.ε., πραγματοποιείται ως προς μια επιφάνεια αναφοράς, που όπως αναφέρθηκε μπορεί να είναι: το γεωειδές, το ελλειψοειδές εκ περιστροφής, η σφαίρα και για πολύ μικρές εκτάσεις το οριζόντιο επίπεδο.

Για τον προσδιορισμό θα πρέπει να φέρουμε από το σημείο αυτό κάθετη προς την επιφάνεια αναφοράς. Η διεύθυνση της καθέτου αυτής για την περίπτωση του γεωειδούς και του οριζοντίου επιπέδου είναι η διεύθυνση της κατακορύφου, ενώ για το ελλειψοειδές η διεύθυνση της καθέτου.

Η θέση ενός σημείου στο χώρο μπορεί να περιγραφεί με τρεις παραμέτρους χρησιμοποιώντας ένα σύστημα συντεταγμένων. Όταν χρησιμοποιείται μια επιφάνεια αναφοράς τότε η απόσταση του σημείου από την επιφάνεια αυτή (εκτός της σφαίρας) είναι η παράμετρος που στη γεωδαισία λέγεται υψόμετρο.

Η απόσταση ενός σημείου της φ.γ.ε. από το γεωειδές (κατακόρυφος) ονομάζεται ορθομετρικό υψόμετρο του σημείου και συμβολίζεται με H .

Η απόσταση ενός σημείου τα φ.γ.ε. από το ελλειψοειδές (κάθετος) ονομάζεται γεωμετρικό υψόμετρο του σημείου και συμβολίζεται με h .

Η διαφορά των δύο υψομέτρων προσδιορίζει το υψόμετρο ή αποχή του γεωειδούς και συμβολίζεται με N .

- Δηλαδή έχουμε: $h = H + N$ (Σχέση 1)

Η γωνία (θ) που σχηματίζεται μεταξύ της κατακορύφου και της καθέτου λέγεται απόκλιση της κατακορύφου και δίνει και την κλίση μεταξύ των δύο επιφανειών (γεωειδούς και Ε.Ε.Π.). Η τιμή της κυμαίνεται από $-10''$ έως $10''$.

Τα ορθομετρικά υψόμετρα προσδιορίζονται με επίγειες μεθόδους, δηλαδή κυρίως με γεωμετρική χωροστάθμηση και τριγωνομετρική υψομετρία, ενώ τα γεωμετρικά με δορυφορικές μεθόδους όπως με μετρήσεις GPS. Τέλος, τα υψόμετρα του γεωειδούς μπορούν να προκύψουν ως διαφορά των δύο προηγούμενων αλλά και με αστρογεωδαιτική χωροστάθμηση, όπου χρησιμοποιούνται γεωδαιτικές και αστρονομικές (απόκλιση της κατακορύφου) παρατηρήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

“ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS”



Εικόνα 6: Δορυφόρος του συστήματος GPS (GPS IIR satellite)

3.1 Γενικά και Ιστορικά Στοιχεία

Ο δορυφορικός εντοπισμός αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία χρησιμοποιούνται τεχνητοί δορυφόροι για τον ακριβή εντοπισμό σημείων στη ΦΓΕ.

Το σύστημα GPS (Global Positioning System) βασίζεται στις αρχές λειτουργίας των παθητικών δορυφορικών συστημάτων ναυσιπλοΐας και εξασφαλίζει συνεχή, παγκόσμια, κάτω από οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες πλοήγηση (τρισδιάστατη θέση, ταχύτητα, χρόνο) σε απεριόριστο αριθμό χρηστών.

Με τη βοήθεια του GPS, η απόλυτη θέση ενός σημείου εκφράζεται από τις καρτεσιανές συντεταγμένες του (X, Y, Z) ή ισοδύναμα από τις γεωδαιτικές (φ, λ, h) ως προς το «Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα 1984» («WGS84»).

Το NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging, Global Positioning System) ή απλά το GPS σχεδιάστηκε στη δεκαετία του 1970 και αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1980 με ευθύνη και υπό το συνεχή έλεγχο του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ. Πρόκειται για ένα σύστημα με πρωταρχικό σκοπό την κάλυψη στρατιωτικών αναγκών και στη συνέχεια πολιτικών αναγκών πλοήγησης.

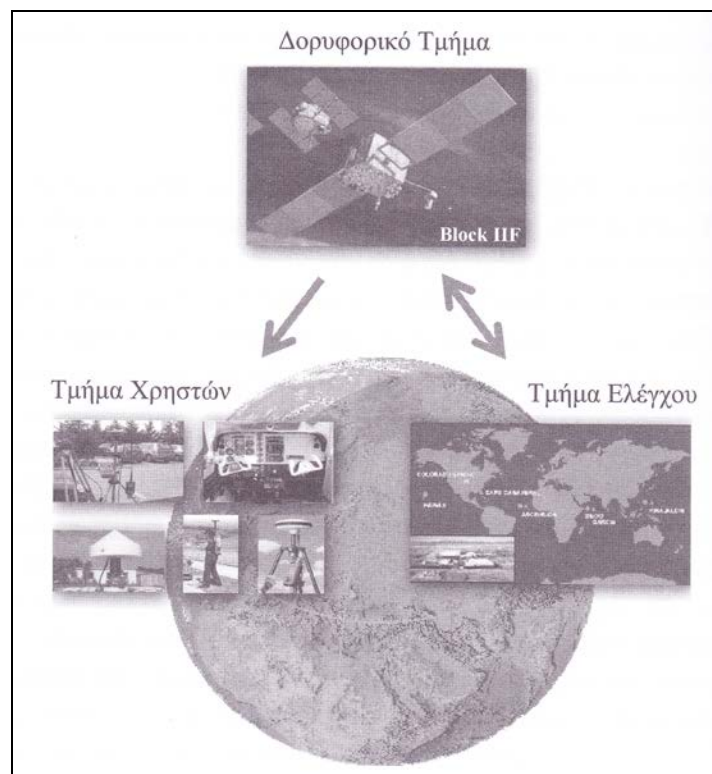
Το GPS ανήκει στην κατηγορία των συστημάτων GNSS (Global Navigation Satellite Systems), δηλαδή των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης.

Υπάρχουν αντίστοιχα και άλλα συστήματα GNSS, όπως:

- Το ρωσικό GLONASS
- Το πολιτικό σύστημα της ΕΕ Galileo

- Το σύστημα Compass που αποτελεί προέκταση του Βείδου της Λαϊκής Δημοκρατίας της Κίνας
- Το ιαπωνικό QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) και
- Το ινδικό IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System)

3.2 Λειτουργικά Συστήματα του GPS



Εικόνα 7: Τα λειτουργικά μέρη του GPS

Το σύστημα GPS χωρίζεται σε 3 τμήματα:

1. Το Τμήμα του Διαστήματος (ή Δορυφορικό Τμήμα): περιλαμβάνει τους δορυφόρους οι οποίοι εκπέμπουν τα σήματα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του συστήματος.
2. Το Τμήμα Ελέγχου: περιλαμβάνει τους γήινους σταθμούς που έχουν την ευθύνη της παρακολούθησης των δορυφόρων, των

υπολογισμών για τις τροχιές των δορυφόρων καθώς και όλο τον απαραίτητο καθημερινό έλεγχο του Τμήματος του Διαστήματος.

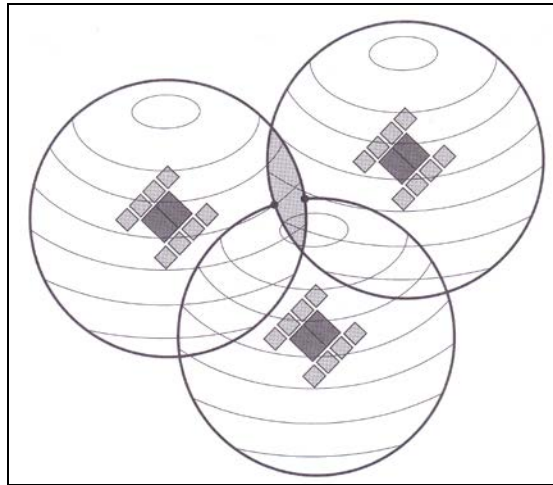
3. Το Τμήμα των Χρηστών: όλη η ποικιλία των εφαρμογών, οργάνων και υπολογιστικών τεχνικών που δίνουν στους χρήστες τις λύσεις εντοπισμού θέσης.

3.3 Αρχή Λειτουργίας του Προσδιορισμού Θέσης με GPS

Η αρχή λειτουργίας του προσδιορισμού θέσης με το GPS βασίζεται θεωρητικά στον «τριπλευρισμό», δηλαδή την ταυτόχρονη μέτρηση μηκών από τους δορυφόρους στους δέκτες.

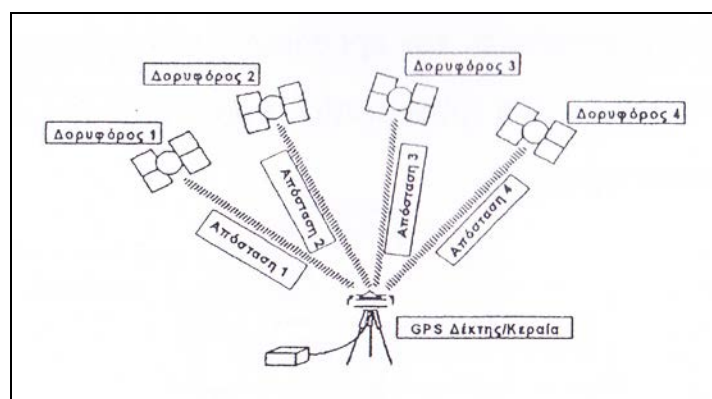
- Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει ο δέκτης GPS να μετρήσει το χρόνο που απαιτείται για να ταξιδέψει το σήμα από τον δορυφόρο στο δέκτη.
- Για να μετρηθεί ο χρόνος αυτός απαιτείται ακριβής χρονομέτρηση.
- Είναι απαραίτητη η ακριβής γνώση της θέσης των δορυφόρων στην τροχιά τους, κάθε χρονική στιγμή.
- Τέλος, πρέπει να γίνουν διορθώσεις για καθυστερήσεις που οφείλονται στην ατμόσφαιρα, καθώς το σήμα ταξιδεύει μέσα σε αυτήν.

Για την εύρεση της τρισδιάστατης θέσης ενός σημείου στη φ.γ.ε. με χρήση ενός δέκτη GPS, πρέπει να έχουμε ταυτόχρονες μετρήσεις απόστασης από τουλάχιστον 4 δορυφόρους.



Εικόνα 8: Η θέση της κεραίας του δέκτη στην τομή 3 σφαιρών

Στη μέτρηση ενός δορυφόρου οι πιθανές θέσεις του σημείου μας θα βρίσκονταν στην επιφάνεια μιας σφαίρας με κέντρο το δορυφόρο και ακτίνα την απόστασή του από την επιφάνεια της γης, ενώ με ταυτόχρονη μέτρηση από δύο δορυφόρους σε ένα κύκλο που θα προκύψει από την τομή των δύο σφαιρών. Αν υπάρχει ταυτόχρονη μέτρηση και από τρίτο δορυφόρο, οι πιθανές θέσεις του σημείου περιορίζονται σε δύο. Έτσι, για να αποφασίσουμε ποια είναι η πραγματική θέση μεταξύ των δύο σημείων που προκύπτουν από την τομή, μπορούμε να κάνουμε μία τέταρτη μέτρηση, η οποία συμβάλει και στον προσδιορισμό του σφάλματος του χρονομέτρου, το οποίο προκύπτει λόγω σφαλμάτων του ρολογιού του δέκτη.



Εικόνα 9: Προσδιορισμός τρισδιάστατης θέσης δέκτη από 4 δορυφόρους

3.4 Τρόποι Μέτρησης

Οι μετρήσεις στο σύστημα GPS μπορούν να γίνουν με δύο τρόπους. Είτε με τη χρήση του κώδικα όπου μετρούνται ψευδοαποστάσεις, είτε με μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος όπου μετριέται η φάση του σήματος. Οι μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος είναι ακριβέστερες κατά δύο τουλάχιστον τάξεις μεγέθους των αντίστοιχων μετρήσεων ψευδοαπόστασης. Για το λόγο αυτό αποτελούν το μοναδικό τύπο μετρήσεων μικρής αβεβαιότητας με το δορυφορικό σύστημα.

Οι μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος χρησιμοποιούνται πάντοτε στο σχετικό προσδιορισμό θέσεις στις γεωδαιτικές εφαρμογές, ενώ με τις μετρήσεις ψευδοαποστάσεων μπορεί να γίνει προσδιορισμός προσεγγιστικών συντεταγμένων και συγχρονισμός ρολογιών.

3.5 Τρόποι Προσδιορισμού Θέσης Δικτύου

Ο προσδιορισμός θέσης με GPS διακρίνεται γενικά σε δύο κατηγορίες:

1. Στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης (absolute positioning) και
2. Στον σχετικό προσδιορισμό θέσης (relative positioning)

Ο προσδιορισμός θέσης μπορεί να διακριθεί ακόμα σε στατικό (static) και κινηματικό (kinematic) ανάλογα με το αν το αντικείμενο που υπόκειται σε προσδιορισμό θέσης είναι ακίνητο ή κινείται. Η μέθοδος του στατικού προσδιορισμού και μάλιστα του σχετικού στατικού αφορά περισσότερο στις τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας, ενώ η μέθοδος του κινηματικού αφορά περισσότερο την πλοήγηση.

3.5.1 Απόλυτος προσδιορισμός θέσης

Ο όρος «απόλυτος προσδιορισμός θέσεις» αναφέρεται στον προσδιορισμό θέσης ενός σημείου στο οποίο είναι τοποθετημένος ένας δέκτης GPS, χρησιμοποιώντας μόνο τις δικές του παρατηρήσεις.

Ο απόλυτος προσδιορισμός μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο και άρα αναφερόμαστε στη λύση «ναυσιπλοΐας» (navigation solution), είτε εκ των υστέρων (post-processing) αξιοποιώντας όλες τις εποχές που έχουν μετρηθεί, δίνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στην τελική λύση.

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, όπως και στην τοπογραφία.



Εικόνα 10: Απόλυτος προσδιορισμός θέσης

3.5.2 Σχετικός προσδιορισμός θέσης

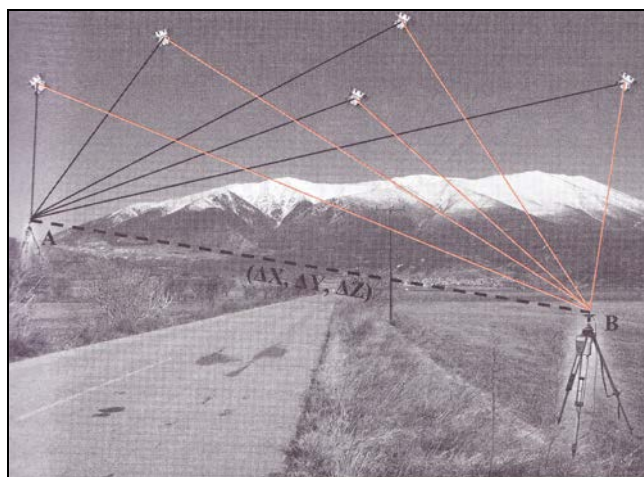
Στον σχετικό προσδιορισμό θέσης, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες σημείου ως προς ένα άλλο σημείο, του οποίου οι συντεταγμένες θεωρούνται γνωστές ως προς ένα σύστημα αναφοράς.

Στο σχετικό προσδιορισμό χρειάζονται τουλάχιστον δύο δέκτες που μετρούν ταυτόχρονα σε αντίστοιχα σημεία, ώστε χρησιμοποιώντας κατάλληλα τις ταυτόχρονες παρατηρήσεις και με την κατάλληλη επεξεργασία μέσω ειδικού λογισμικού, προσδιορίζεται η σχετική θέση μεταξύ των σημείων.

Δηλαδή, προσδιορίζεται το τρισδιάστατο διάνυσμα ΔX , ΔY , ΔZ της βάσης μεταξύ του δέκτη αναφοράς (reference receiver) και του δεύτερου δέκτη (σταθερού ή μετακινούμενου).

Οι βασικές παραλλαγές στην τεχνική μέτρησης του σχετικού εντοπισμού είναι: ο στατικός, ο γρήγορος στατικός, ο ψευδοκινηματικός και ο κινηματικός εντοπισμός.

Συνοπτικά, ο στατικός εντοπισμός δίνει ακρίβειες της τάξης των λίγων χιλιοστών και απαιτεί την ταυτόχρονη χρήση τουλάχιστον δύο δεκτών, όπου ο ένας τοποθετείται σε γνωστό σημείο και ο άλλος καταλαμβάνει για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα (πχ. 40-90 min) ένα δεύτερο σημείο του οποίου η θέση ζητείται να υπολογισθεί.



Εικόνα 11: Σχετικός προσδιορισμός θέσης

3.6 Σφάλματα στις μετρήσεις με GPS

Όλες οι μετρήσεις με το GPS επηρεάζονται από συστηματικά και τυχαία σφάλματα. Αυτά μπορεί να οφείλονται σε επιδράσεις της ατμόσφαιρας στο σήμα των δορυφόρων, αλλά και σε παράγοντες που αναφέρονται στην τροχιά των δορυφόρων καθώς και στις συντεταγμένες των επίγειων σταθμών. Τα σφάλματα αυτά περιληπτικά είναι:

- ❖ Σφάλματα εφημερίδας
- ❖ Σφάλματα διάθλασης
- ❖ Σφάλματα «πολλαπλής διαδρομής»
- ❖ Σφάλματα που οφείλονται στην εκκεντρότητα και τη μετακίνηση του κέντρου λήψης της κεραίας

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι:

- ❖ Η γεωμετρία των δορυφόρων
- ❖ Ο χρόνος παρατήρησης

3.7 Εφαρμογή του GPS στη Γεωδαισία-Τοπογραφία

Στην τοπογραφία, η βασική εφαρμογή με χρήση του συστήματος GPS αφορά στη μέτρηση μιας βάσης μεταξύ δύο σημείων (εκ των οποίων το ένα είναι ήδη γνωστό) προκειμένου να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες του άγνωστου σημείου σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σε αυτήν την περίπτωση είναι αυτή του σχετικού εντοπισμού.

Έτσι, η εφαρμογή του GPS συμβάλλει στην ίδρυση αστικών και άλλων δικτύων, στην πραγματοποίηση τοπογραφικών εργασιών ακριβείας (πχ. Τεχνική γεωδαισία), σε ακριβείς εργασίες παρακολούθησης

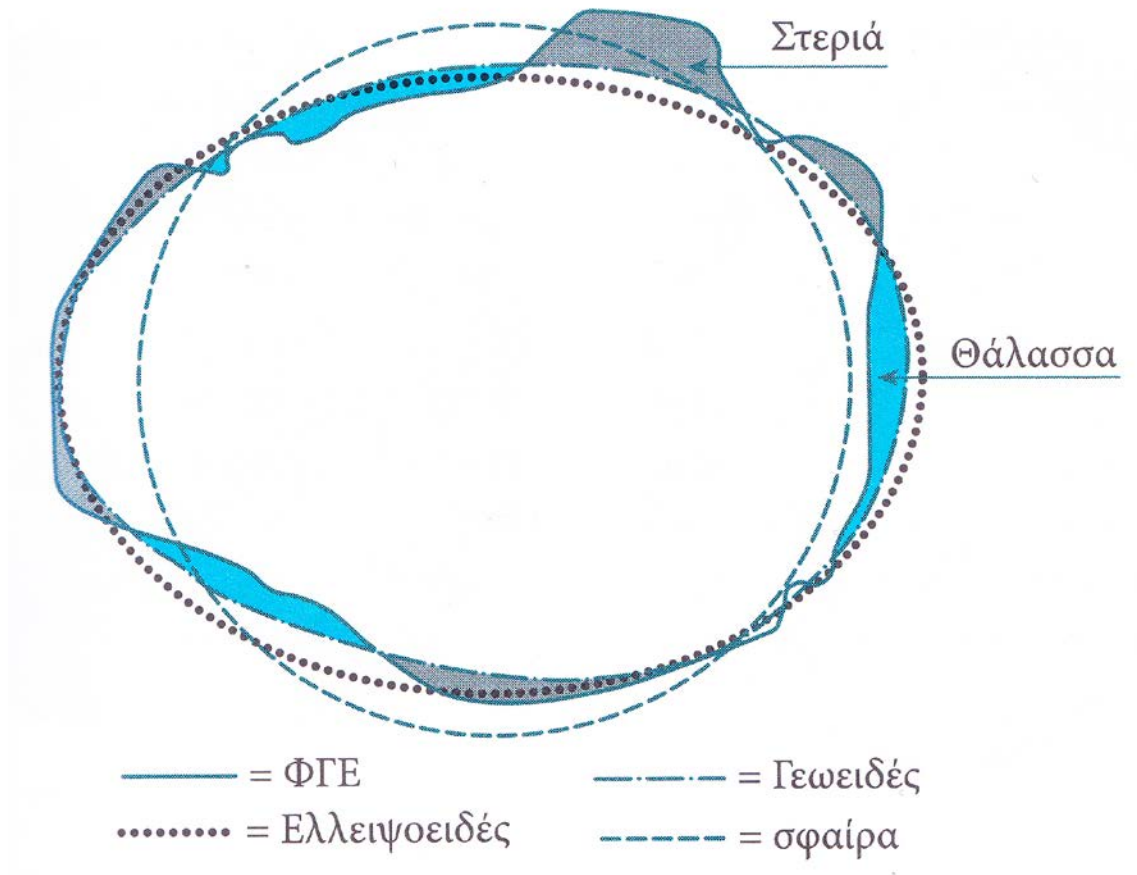
μετακινήσεων, αλλά και στον προσδιορισμό γεωειδούς και υψομετρικού δικτύου σε τοπική ή ευρύτερη κλίμακα.



Εικόνα 12: Μέτρηση με το σύστημα GPS στο τριγωνομετρικό βάθρο της ΓΥΣ
«Καυκάρες»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

“ΤΟ ΓΕΩΕΙΔΕΣ”



Εικόνα 13: Σχηματική παράσταση ΦΓΕ, γεωειδούς, ελλειψοειδούς και σφαίρας

4.1 Γεωμετρικός Προσδιορισμός Γεωειδούς

Αν σε ένα δίκτυο σημείων με γνωστές συντεταγμένες, είναι γνωστά τα γεωμετρικά και ορθομετρικά τους υψόμετρα (π.χ. με παρατηρήσεις GPS και Γ.Χ. αντίστοιχα), τότε μπορεί να προκύψει η μορφή του γεωειδούς της περιοχής με διάφορους τρόπους, με βάση την χρήση της εξίσωσης:

$$N_i = h_i - H_i$$

Τέτοιες μέθοδοι είναι η κατασκευή ενός χάρτη ίσων αποχών ή ο προσδιορισμός της εξίσωσης της βέλτιστης επιφάνειας που διέρχεται από τα γνωστά σημεία. Το τοπικό αυτό μοντέλο γεωειδούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό ορθομετρικών υψομέτρων άλλων σημείων της περιοχής, εφόσον υπάρχουν 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 (ενδεικτικά 10 × 10 km) μπορεί να πετύχει μεγάλες ακρίβειες ή μια επιφάνεια ανώτερου βαθμού που περιγράφεται από πολυώνυμο μεγαλύτερου βαθμού και προτιμάται για μεγαλύτερες 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. Στην επεξεργασία των δεδομένων αυτών, εκτός της κλασικής 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 της 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 με βάση τον τύπο $N_i = h_i - H_i$, επιβάλλει τη γνώση της αποχής του γεωειδούς ή αλλιώς του όρου N στην παραπάνω σχέση. Η προσομοίωση του γεωειδούς είναι εργαλείο στην εύρεση της τιμής του N και μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες τεχνικές, όπως:

- Με παραδοχή ότι η μεταβολή του γεωειδούς από το ελλειψοειδές (δηλ. το N), για μια μικρή έκταση (π.χ. 10×10 km) είναι μηδενική, δηλαδή: $\Delta N_{ij} = 0$.

Τότε, ισχύει και ότι: $\Delta h_{ij} = \Delta H_{ij}$

Σε αυτήν την περίπτωση, εάν έχουμε γνωστό ορθομετρικό υψόμετρο σε κάποιο σημείο (π.χ. στη θέση του σταθερού δέκτη), μπορούμε σε όλα τα σημεία της περιοχής ενδιαφέροντος να υπολογίσουμε τα ορθομετρικά υψόμετρα.

- Με παραδοχή ότι το γεωειδές μπορεί να προσομοιάσει με μια γνωστή μαθηματική επιφάνεια (π.χ. επίπεδο 2^{ου} βαθμού). Θεωρούμε ότι το δN είναι συνάρτηση των συντεταγμένων (φ , λ), αλλά και σας συνάρτηση των (x , y). Δηλαδή, ισχύει ότι:

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

Ανάλογα με το ποια μαθηματική επιφάνεια χρησιμοποιείται η συνάρτηση είναι και του ανάλογου βαθμού. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση του επιπέδου η συνάρτηση θα είναι 1^{ου} βαθμού.

Για τον προσδιορισμό της συνάρτησης απαιτείται –για ένα ελάχιστο αριθμό σημείων- να είναι γνωστά τόσο τα γεωμετρικά (h) όσο και τα ορθομετρικά (H) τους υψόμετρα. Ο αριθμός των απαιτούμενων 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 (ΜΕΤ).

4.3 Επιφάνειες που Προσομοιάζουν το Γεωειδές

4.3.1 Επίπεδο

Η εξίσωση που περιγράφει ένα επίπεδο είναι της μορφής:

$$h_i - H_i = N_i = \alpha x_i + \beta y_i + \gamma$$

Όπου, x_i, y_i : οι συντεταγμένες του σημείου i στην προβολή

α, β, γ : οι άγνωστες παράμετροι του επιπέδου

Με βάση την εξίσωση γίνεται κατανοητό ότι οι προσδιοριστέοι συντελεστές είναι 3, άρα και ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός σημείων είναι 3.

Χρησιμοποιώντας τη (Σχέση 1) και υπολογίζοντας τα δN_i , όπου $i = 1, 2, 3$, λύνοντας το σύστημα των τριών εξισώσεων προσδιορίζονται τα α, β, γ .

Εάν τα γνωστά σημεία είναι περισσότερα, έστω n , τότε εφαρμόζεται η ΜΕΤ:

- Η Γενική Περίπτωση Συνόρθωσης, αφού σφάλματα περιέχουν και οι μετρήσεις, άρα και ο όρος δN_i , με $i = 1, 2, \dots, n$, αλλά και οι συντελεστές x_i, y_i .

- Η απλή μέθοδος των Εμμέσων Παρατηρήσεων, θεωρώντας χωρίς σφάλμα τα x_i, y_i , αφού δεν ενδιαφέρει η διόρθωσή τους, παρά μόνο ο προσδιορισμός των άγνωστων παραμέτρων της εξίσωσης.

Οι εξισώσεις παρατήρησης είναι της μορφής:

$$ax_i + \beta y_i + \gamma = N_i + v_i$$

Οι οποίες συνδέουν γραμμικά τα άγνωστα μεγέθη α, β, γ με τις μετρήσεις N_i .

Ο πίνακας A έχει διαστάσεις $n \times 3$, ενώ ο πίνακας I $n \times 1$.

Η προσαρμογή επιπέδου είναι η διαδικασία που δεν συνιστάται σε μεγαλύτερες εκτάσεις ή σε εκτάσεις με έντονο ανάγλυφο όταν επιδιώκεται υψηλή ακρίβεια. Αυτό ισχύει γιατί η προσαρμογή επιπέδου θεωρεί ότι οι διαφορές $(h_i - H_i)$ αναφέρονται σε μια ομαλή επιφάνεια γεωειδούς, δεδομένο που δεν ισχύει για τις παραπάνω περιπτώσεις.

4.3.2 Επιφάνεια 2^{ου} βαθμού

Η εξίσωση που περιγράφει μια επιφάνεια 2^{ου} βαθμού είναι της μορφής:

$$h_i - H_i = N_i = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy + a_4 x^2 + a_5 y^2$$

Όπου, x_i, y_i : οι συντεταγμένες του σημείου i στην προβολή

a_0, a_1, \dots, a_5 : οι άγνωστες παράμετροι της επιφάνειας

Με βάση την εξίσωση γίνεται κατανοητό ότι οι προσδιοριστέοι συντελεστές είναι 6, άρα και ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός σημείων είναι 6.

Και σε αυτήν την περίπτωση –για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω- όταν τα γνωστά σημεία είναι περισσότερα από 6 ($n > 6$), εφαρμόζεται η μέθοδος των Εμμέσων Παρατηρήσεων. Εφόσον οι συντεταγμένες θεωρούνται χωρίς σφάλμα, η σχέση που συνδέει τους αγνώστους με τις μετρήσεις είναι γραμμική.

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

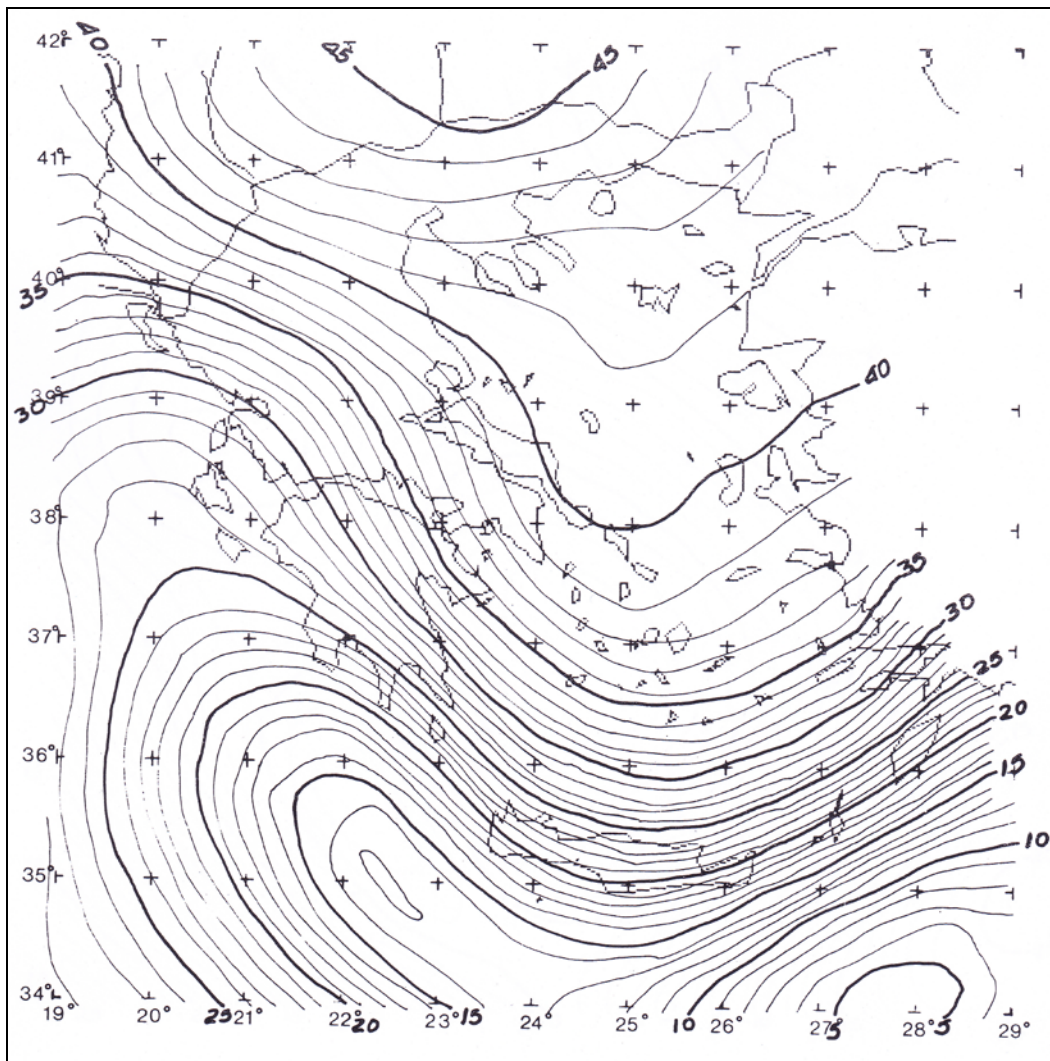
Στη συνόρθωση υπάρχει η επιλογή να μην χρησιμοποιούνται όλα τα σημεία που είναι γνωστά και το ορθομετρικό και το γεωμετρικό τους υψόμετρο, ώστε να χρησιμεύσουν ως «σημεία ελέγχου» αργότερα. Δηλαδή, αφού τελειώσει η συνόρθωση, υπολογίζονται τα ορθομετρικά τους υψόμετρα που δίνει το τοπικό μοντέλο γεωειδούς που προσδιορίστηκε και συγκρίνοντας τα με τα πραγματικά τους ορθομετρικά υψόμετρα, να υπάρχει η δυνατότητα επαλήθευσης και ελέγχου των αποτελεσμάτων της συνόρθωσης.

4.4 Αρχικός Προσδιορισμός του Γεωμετρικού Υψομέτρου (h)

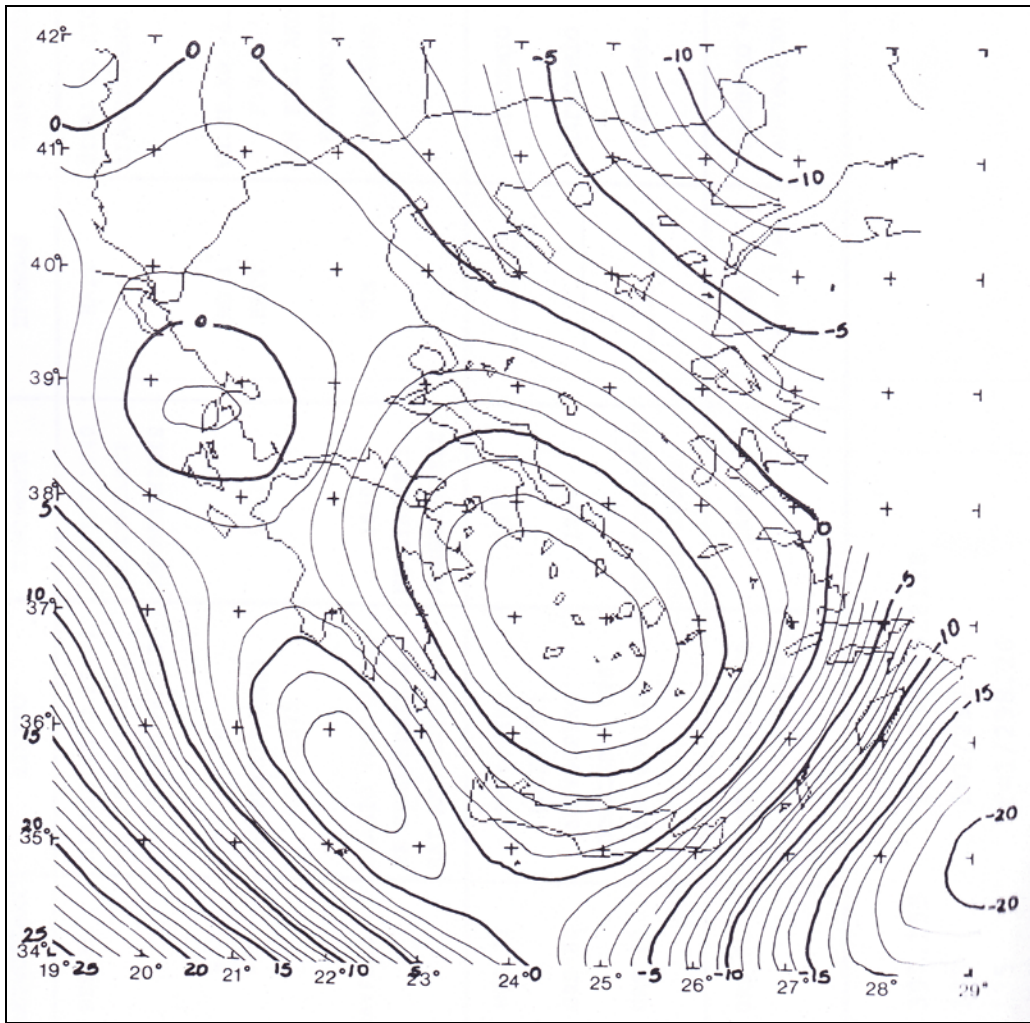
Στην περίπτωση που δεν υπάρχει σημείο στην περιοχή ενδιαφέροντος με γνωστά το ορθομετρικό και το γεωμετρικό του υψόμετρο, η αρχική τιμή που δίνεται για το h στο σταθερό σημείο μπορεί να προκύψει:

1. Από χάρτη του γεωειδούς (μειωμένη ακρίβεια).
2. Από τοπικό μοντέλο γεωειδούς που ήδη υφίσταται για την περιοχή (καλύτερη ακρίβεια), αλλά τότε δεν υπάρχει λόγος να γίνουν όλες οι προαναφερθείσες ενέργειες.
3. Από παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς (μικρή ακρίβεια).
4. Από Απόλυτο Εντοπισμό, εφόσον ο δέκτης στο σταθερό σημείο λειτουργεί συνεχώς για μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. 10 ώρες), παρέχοντας το h με ακρίβεια καλύτερη από $\pm 1\text{m}$.

5. Από Αστρονομικές παρατηρήσεις για προσδιορισμό της απόκλισης της κατακορύφου (μέσω των συνιστωσών ξ και η). Από αυτές προσδιορίζεται το N και με γνωστό το H προκύπτει το γεωμετρικό του υψόμετρο.



Χάρτης 2: Ομαλοποιημένο (50km) γεωειδές, αναφερόμενο στο ελλειψοειδές του GRS 80 ($a=6.378.137\text{ m}$, $f=1/298,25722$) (πηγή: ΟΚΧΕ, 1987)



Χάρτης 3: Αναμενόμενο (ομαλοποιημένο) γεωειδές στο ΕΓΣΑ '87 (πηγή: ΟΚΧΕ, 1987)

4.5 Σχόλια

Η σημερινή ανάπτυξη του GPS οδηγεί στον εύκολο προσδιορισμό σημείων με γνώση των γεωμετρικών τους υψομέτρων (h) σε μια περιοχή, ενώ ο αντίστοιχος των ορθομετρικών τους υψομέτρων (H), παρά την εξέλιξη των επίγειων υψομετρικών μεθόδων -όπως η Γ.Χ., η Ε.Τ.Υ. κλπ- εξακολουθεί να είναι πιο χρονοβόρος και δαπανηρός. Στην Ελλάδα, η ιδιαίτερη τοπογραφία της χώρας δυσχεραίνει περισσότερο τα πράγματα.

Έτσι, 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.

Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν σαφείς προδιαγραφές σχετικά με την πυκνότητα και την κατανομή των σημείων αυτών, σε συνδυασμό με την ικανοποίηση συγκεκριμένου επιπέδου ακρίβειας. Όμως, η μεθοδολογία δείχνει να δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για περιοχές μέχρι 50×50 km, σε περιοχές όπου η κλίση του γεωειδούς μπορεί να θεωρηθεί ομαλή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

“ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ”

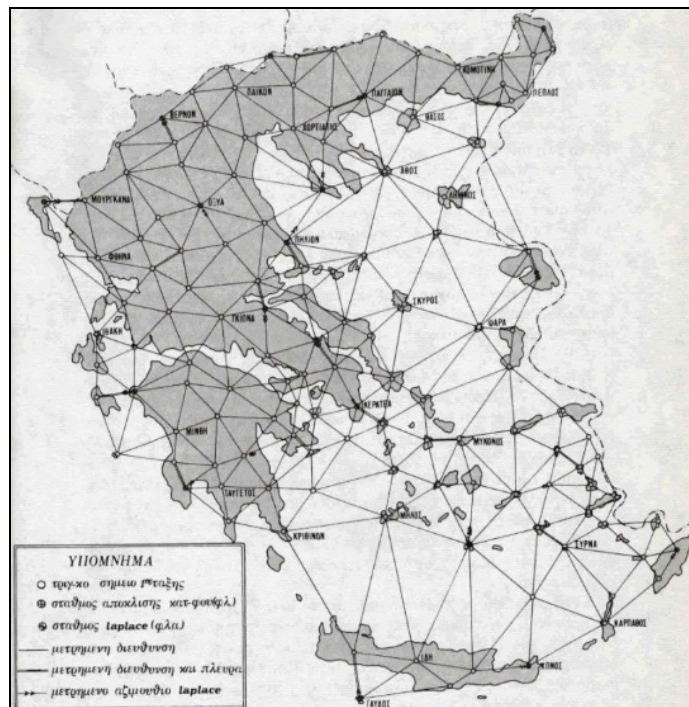


Εικόνα 14: Μέτρηση με το σύστημα GPS στην κορυφή του δικτύου «T1 (Μώλος)»

5.1 Ίδρυση Δικτύου

5.1.1 Γενικά

Ως γεωδαιτικό δίκτυο ορίζεται ένα σύνολο μόνιμων σημείων της Φ.Γ.Ε. σε μια περιοχή. Τα σημεία αυτά, που ονομάζονται και κορυφές του δικτύου, συνδέονται μεταξύ τους με μετρήσεις και είναι γνωστή η θέση τους σε μια, δύο, τρεις ή τέσσερις διαστάσεις, έτσι ώστε αυτά να χρησιμεύσουν ως σημεία αναφοράς ή ελέγχου σε διάφορες εργασίες.



Χάρτης 4: Το τριγωνομετρικό δίκτυο Α' τάξης (πηγή Βλάχος, 1987)

Έτσι τα γεωδαιτικά δίκτυα διακρίνονται αντίστοιχα σε:

- Υψομετρικά δίκτυα ή δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου
- Οριζοντιογραφικά δίκτυα ή δίκτυα οριζοντίου ελέγχου
- Τρισδιάστατα δίκτυα
- Τετραδιάστατα δίκτυα (δηλαδή τρισδιάστατα δίκτυα σε συγκεκριμένο χρόνο)

Σήμερα, η ίδρυση ενός δικτύου με δορυφορικές μεθόδους (GPS), προσφέρει ευελιξία στην επιλογή της θέσης των κορυφών του δικτύου, αφού δεν απαιτείται αμοιβαία ορατότητα μεταξύ τους, παρά μόνο ανοιχτός ορίζοντας στο σημείο, ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί μεγάλος αριθμός δορυφόρων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε ένα δίκτυο κατακορύφου ελέγχου, με στόχο την εξαγωγή της απαραίτητης υψομετρικής πληροφορίας που απαιτείται.

5.1.2 Υλοποίηση δικτύου κατακορύφου ελέγχου

Το δίκτυο της παρούσας εργασίας αποτελείται από 4 τριγωνομετρικά βάθρα της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) και 5 τριγωνομετρικά σημεία υλοποιημένα στο πλαίσιο των «Μεγάλων Γεωδαιτικών Ασκήσεων II» (ΜΓΑ II), τα οποία επιλέχθηκαν μετά από επιτόπου αναγνώριση της περιοχής μελέτης.

Από την αρχική προεπιλογή των κορυφών του δικτύου αφαιρέθηκε το τριγωνομετρικό της ΓΥΣ «ΑΓ. ΜΑΜΑΣ ΦΡΟΥΔΙ» λόγω πιο δύσκολης πρόσβασης σε σχέση με το αντίστοιχο «ΣΙΚΙΝΟΣ» το οποίο και επιλέχθηκε. Αντίστοιχα, αφαιρέθηκε και το τριγωνομετρικό της ΓΥΣ «ΠΛΑΓΙΑ» το οποίο ήταν αδύνατο –με τα δοσμένα μέσα- να προσεγγιστεί ώστε να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις.

Πρόβλημα παρουσιάστηκε και με το τριγωνομετρικό T4N το οποίο είχε καταστραφεί λόγω κατασκευής δημοτικού έργου. Έτσι, υλοποιήθηκε με καρφί εκ νέου, με όνομα T4-N (σε γειτονική θέση αφού δεν μας ενδιαφέρουν οι οριζοντιογραφικές του συντεταγμένες) και δόθηκε το ορθομετρικό υψόμετρο από την πλησιέστερη υψομετρική αφετηρία που υπήρχε, η οποία ήταν η R10, υλοποιημένη στο πλαίσιο των «ΜΓΑ II».

Έτσι, μετά από λεπτομερή αναγνώριση της περιοχής (έλεγχος προσβασιμότητας, ανοιχτού ορίζοντα των κορυφών κλπ) επιλέχθηκαν 4 βάθρα της ΓΥΣ, τα οποία καλύπτουν χονδροειδώς το σχήμα και το μέγεθος του νησιού. Αυτές θα είναι οι 4 κορυφές του δικτύου κατακορύφου ελέγχου της εργασίας μας, που θα αξιοποιηθούν για τον προσδιορισμό του τοπικού μοντέλου γεωειδούς. Δηλαδή:

- ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ
- ΚΑΥΚΑΡΕΣ
- ΣΙΚΙΝΟΣ
- ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ

Επίσης, επιλέχθηκαν 4 τριγωνομετρικά σημεία (από τις ΜΓΑ II) τα οποία εντάχθηκαν στο δίκτυο, αλλά δεν θα συμμετέχουν στην επίλυσή του, ώστε να αποτελέσουν «σημεία ελέγχου» στη συνέχεια. Αυτά είναι τα εξής:

- T1 (ΜΩΛΟΣ)
- T3
- T4
- T4-N
- T1 (ΕΠΙΣΚΟΠΗ)

5.2 Όργανα Μετρήσεων



Εικόνα 15: Το σύστημα GPS 1200+ της Leica

5.2.1 Το σύστημα GPS LEICA 1200+

Για τις μετρήσεις με το σύστημα GPS χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού, για την εύρεση των διανυσμάτων (ΔX , ΔY , ΔZ) μεταξύ των βάσεων.

Για τη μέθοδο αυτή επιλέχθηκε το ζεύγος οργάνων 2 συχνοτήτων, GPS LEICA 1200+, το οποίο αποτελείται από το δέκτη, την κεραία και το χειριστήριο. Ο δέκτης υπολογίζει την απόσταση προς τους δορυφόρους, ενώ η κεραία λαμβάνει τα δορυφορικά σήματα. Τέλος, το

χειριστήριο επιτρέπει στον χρήστη να χειρίζεται τις παραμέτρους του συστήματος.

Οι δέκτες του συστήματος χρησιμοποιούν την τεχνολογία GNSS με δυνατότητα ανίχνευσης των σημερινών δορυφορικών σημάτων, αλλά και των 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 διατίθενται 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.

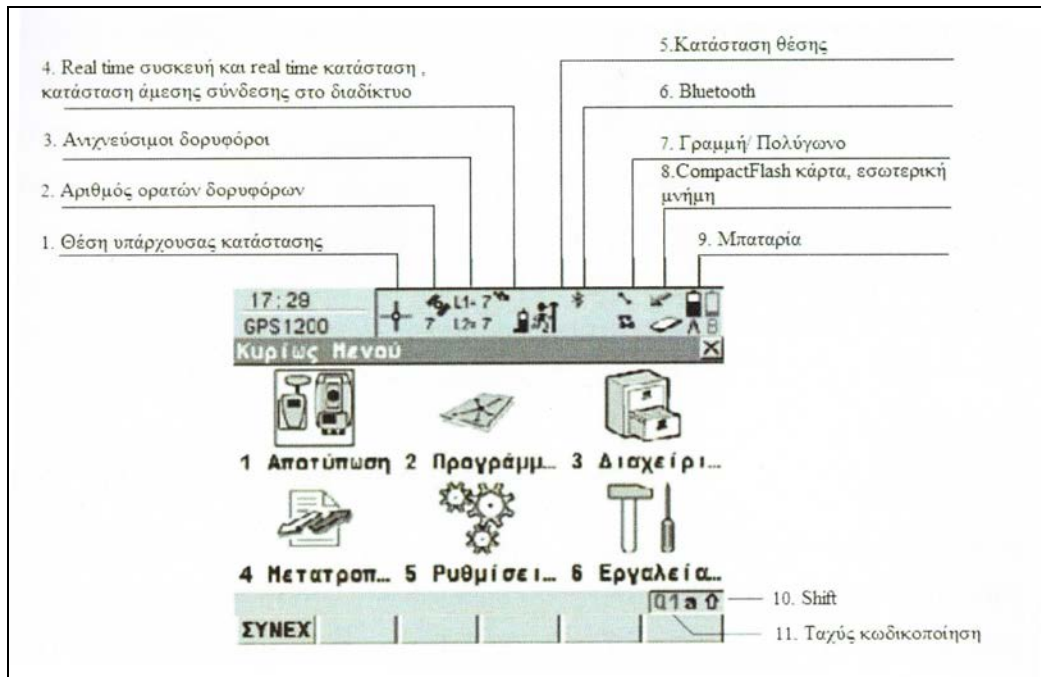
5.2.2 Ο δέκτης, το λογισμικό, η αποθήκευση και η εξαγωγή των δεδομένων

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 μια 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 το εύρος ποικίλων ASCII διαμορφωμένων αρχείων. Το

format εξόδου ορίζεται από το format manager που είναι ένα εργαλείο του προγράμματος Leica Geo Office (LGO).

5.2.3 Ερμηνεία και περιγραφή των εικονιδίων του χειριστηρίου



Εικόνα 16: Κυρίως μενού τηλεχειριστηρίου και εικονίδια

5.2.4 Παρελκόμενα

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν ως παρελκόμενα τα εξής:

- 2 τρίποδες αλουμινίου με επίπεδη κεφαλή
- 2 τρικόχλια
- 2 βάσεις κέντρωσης
- 2 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/βάθρο
- Εφεδρικές μπαταρίες



Εικόνα 17: Τα παρελκόμενα του GPS

5.3 Μετρήσεις με το Σύστημα GPS

5.3.1 Γενικά

Οι μετρήσεις των βάσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου πραγματοποιήθηκαν το διάστημα από τις 17/05/2015 έως και τις 20/05/2015 στην περιοχή της νήσου Σικίνου. Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού (Smart

Rover PP), με τη χρήση 2 δεκτών GPS LEICA 1200+, ενός BASE και ενός ROVER.

Σε κάθε μέτρηση ο ένας δέκτης ήταν τοποθετημένος στη μία κορυφή, ενώ ο δεύτερος σε άλλη κορυφή του δικτύου (από τις 2 αυτές κορυφές υλοποιείται μία βάση). Η διάρκεια της κάθε μέτρησης ήταν περίπου μισή ώρα (30'), με διάστημα καταγραφής μετρήσεων ανά 15 sec.

Η διαδικασία της μέτρησης μιας βάσης ξεκινάει με την κέντρωση και οριζοντίωση των δεκτών στις επιθυμητές κορυφές (βάθρο, καρφί ή κεφαλή). Ακολουθώντας, για κάθε κορυφή ξεχωριστά μετράται το ύψος οργάνου και σημειώνεται στο ειδικό έντυπο μετρήσεων με GPS ο τρόπος μέτρησης του ύψους οργάνου, ο κωδικός του δέκτη (BASE ή ROVER), η ώρα ανοίγματος του δέκτη, η ώρα έναρξης και λήξης της καταγραφής, καθώς και η ημερομηνία της μέτρησης, όπως και το σημείο αυτή πραγματοποιείται.

Κατά την εκκίνηση της κεραίας και του χειριστηρίου επιλέγεται στο μενού του χειριστηρίου το πρόγραμμα «αποτύπωση». Δημιουργούμε αρχείο εργασίας που θα εισαχθούν οι μετρήσεις με το κατάλληλο όνομα (επιλέχθηκε να δημιουργείται νέο αρχείο μετρήσεων ανά μέρα με όνομα sik151, sik152,...) και επιλέγεται ο τρόπος μέτρησης (Smart Rover PP), το σύστημα συντεταγμένων (EGSA 87) και οι κατάλληλη κεραία, ανάλογα με το που βρίσκεται ο δέκτης (βάθρο ή τρίποδα).

Στο επόμενο σετ ρυθμίσεων συμπληρώνεται το όνομα της κορυφής που «στέκεται» ο δέκτης, καθώς και το ύψος της κεραίας. Αφού συμπληρωθούν όλα τα στοιχεία, με την επιλογή «ΛΗΨΗ» ξεκινάει η καταγραφή των παρατηρήσεων. Κατά τη διάρκεια της λήψης, είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται έλεγχος της μπαταρίας, της διαθεσιμότητας δορυφόρων, καθώς και της ορθότητας της κέντρωσης

και οριζοντίωσης του δέκτη. Όταν παρέλθει ο επιθυμητός χρόνος μέτρησης, με την κατάλληλη επιλογή διακόπτεται η καταγραφή και αποθηκεύονται τα δεδομένα.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ
ΕΝΤΥΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS

Πρωτεύς: 10152, δευτερεύς: 10152

ΣΗΜΕΙΟ 10 (ΜΩΛΟΣ)					
Υψος οργάνου	Τρόπος μέτρησης ΥΟ	Κωδικός δέκτη	Στρα OPEN	Στρα έναρξης καταγραφής	Στρα λήξης καταγραφής
0.333	Αερομετρ.	BASE	16.55	16.55	20.56
Η βάση που μετράται είναι			ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	

Πρωτεύς: 11152, δευτερεύς: 11152

ΣΗΜΕΙΟ 11 (ΜΩΛΟΣ)					
Υψος οργάνου	Τρόπος μέτρησης ΥΟ	Κωδικός δέκτη	Στρα OPEN	Στρα έναρξης καταγραφής	Στρα λήξης καταγραφής
1.526	Συμμετρ.	ROVER	16.58	16.58	17.22
Η βάση που μετράται είναι			ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	

Πρωτεύς: 14152, δευτερεύς: 14152

ΣΗΜΕΙΟ 14 (ΡΟΝΕΑ)					
Υψος οργάνου	Τρόπος μέτρησης ΥΟ	Κωδικός δέκτη	Στρα OPEN	Στρα έναρξης καταγραφής	Στρα λήξης καταγραφής
1.445	Συμμετρ.	ROVER	17.37	17.37	17.58
Η βάση που μετράται είναι			ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	

Πρωτεύς: 15152, δευτερεύς: 15152

ΣΗΜΕΙΟ 15 (ΡΟΝΕΑ)					
Υψος οργάνου	Τρόπος μέτρησης ΥΟ	Κωδικός δέκτη	Στρα OPEN	Στρα έναρξης καταγραφής	Στρα λήξης καταγραφής
1.438	Συμμετρ.	ROVER	18.18	18.18	18.32
Η βάση που μετράται είναι			ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	

ΓΓ. ΑΑ. 05/2006

Εικόνα 18: Έντυπο μετρήσεων GPS

5.3.2 Μέτρηση του δικτύου κατακορύφου ελέγχου

Συνολικά μετρήθηκαν 19 βάσεις. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ανά ημέρα είναι οι εξής (BASE – ROVER):

ΗΜΕΡΑ 1^η:

- T1(ΜΩΛΟΣ) – ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ

ΗΜΕΡΑ 2^η:

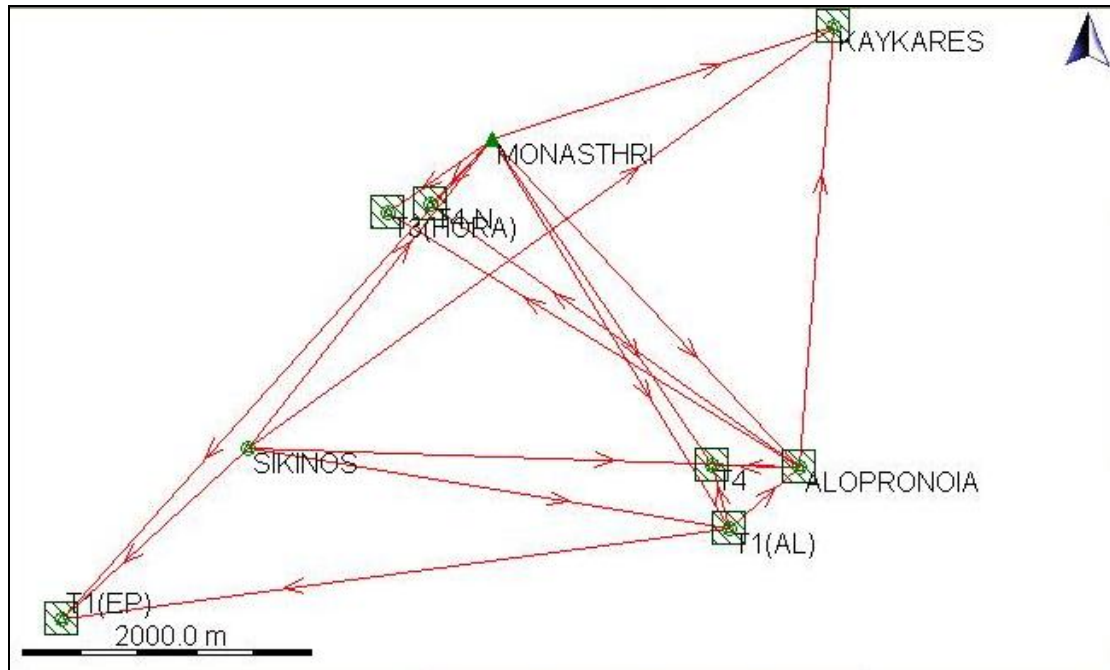
- ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ – ΚΑΥΚΑΡΕΣ
- ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ – ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ
- ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ – Τ1(ΜΩΛΟΣ)
- ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ – Τ4
- ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ – Τ4-N
- ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ – Τ3
- ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ – Τ1(ΕΠΙΣΚΟΠΗ)

ΗΜΕΡΑ 3^η:

- ΣΙΚΙΝΟΣ – Τ1(ΕΠΙΣΚΟΠΗ)
- ΣΙΚΙΝΟΣ – ΚΑΥΚΑΡΕΣ
- ΣΙΚΙΝΟΣ – ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ
- ΣΙΚΙΝΟΣ – ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ
- ΣΙΚΙΝΟΣ – Τ1(ΜΩΛΟΣ)
- ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ – ΚΑΥΚΑΡΕΣ
- ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ – Τ3
- ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ – Τ4-N
- ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ – Τ4

ΗΜΕΡΑ 4^η:

- Τ1(ΜΩΛΟΣ) – Τ1(ΕΠΙΣΚΟΠΗ)
- Τ1(ΜΩΛΟΣ) – Τ4



Εικόνα 19: Το δίκτυο κατακορύφου ελέγχου (από το περιβάλλον του προγράμματος LEICA Geo Office)

5.4 Μετρήσεις Ελέγχου Ορθομετρικού Υψομέτρου (H) με Επίγειες Μεθόδους

Με το πέρας των μετρήσεων με το σύστημα GPS πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με επίγειες μεθόδους για τον έλεγχο των ορθομετρικών υψομέτρων ορισμένων κορυφών του δικτύου. Έτσι, θα είναι εφικτό να επαληθευτεί η ορθότητα των δοσμένων από την ΓΥΣ ορθομετρικών υψομέτρων, καθώς και σε εκείνα που υλοποιήθηκαν και επιλύθηκαν κατά την περίοδο των ΜΓΑ II.

Αρχικά, κρίθηκε σκόπιμο να έχουμε ως αφετηρία των μετρήσεων το μηδέν των ορθομετρικών υψομέτρων που όπως αναφέρθηκε είναι η μέση στάθμη της θάλασσας. Για τον προσδιορισμό της τοποθετήθηκε στο λιμάνι της Αλοπρόνοιας ένα προσωρινό παλιρροιόμετρο (ξύλινη σταδία) και στην κορυφή του ένα καρφί, το οποίο χρησιμεύει για την

σύνδεσή του με τα υπόλοιπα σημεία ενδιαφέροντος (μέσω οπτικής επαφής). Στον παλιρροιόμετρο καταγράφηκαν οι ενδείξεις 5 ημερών –με αναγνώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας- και με τον μέσο όρο τους βρέθηκε το ορθομετρικό υψόμετρο του καρφιού.

Με τη μέθοδο της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης (ΓΧ) με μετάβαση και επιστροφή δόθηκε το υψόμετρο στο R2 και με την ίδια μέθοδο βρέθηκε η υψομετρική διαφορά μεταξύ του R1 και του T1(ΜΩΛΟΣ). Η υψομετρική διαφορά μεταξύ του R1 και του R2 είναι υπολογισμένη με ΓΧ κατά την διάρκεια των ΜΓΑ ΙΙ. Έτσι, υπολογίζεται το ορθομετρικό υψόμετρο της κορυφής T1(ΜΩΛΟΣ).

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τριγωνομετρικής υψομετρίας (ΤΥ) με τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό TOPCON GPT-3100N. Οι μετρήσεις έγιναν από την κορυφή T1(ΜΩΛΟΣ) προς ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ, από την κορυφή ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ προς ΚΑΥΚΑΡΕΣ και από την κορυφή ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ προς ΚΑΥΚΑΡΕΣ και προς ΣΙΚΙΝΟΣ. Τέλος, έγιναν αμοιβαίες ταυτόχρονες μετρήσεις με 2 ίδια γεωδαιτικά όργανα από την κορυφή ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ προς την κορυφή ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ, με στόχο τον ακριβή προσδιορισμό του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης (κ), ο οποίος χαρακτηρίζει την καμπυλότητα της οπτικής ακτίνας, όταν αυτή διέρχεται από τα στρώματα της ατμόσφαιρας. Όλες οι μετρήσεις έγιναν σε 2 θέσεις οργάνου και σε 2 περιόδους.

Με αυτή τη διαδικασία θα υπολογιστούν τα ορθομετρικά υψόμετρα των 5 παραπάνω κορυφών του δικτύου και οι αβεβαιότητές τους.



Εικόνα 20: Παλιρροιόμετρο



Εικόνα 21: Θέση παλιρροιομέτρου στο λιμάνι της Αλοπρόνιας

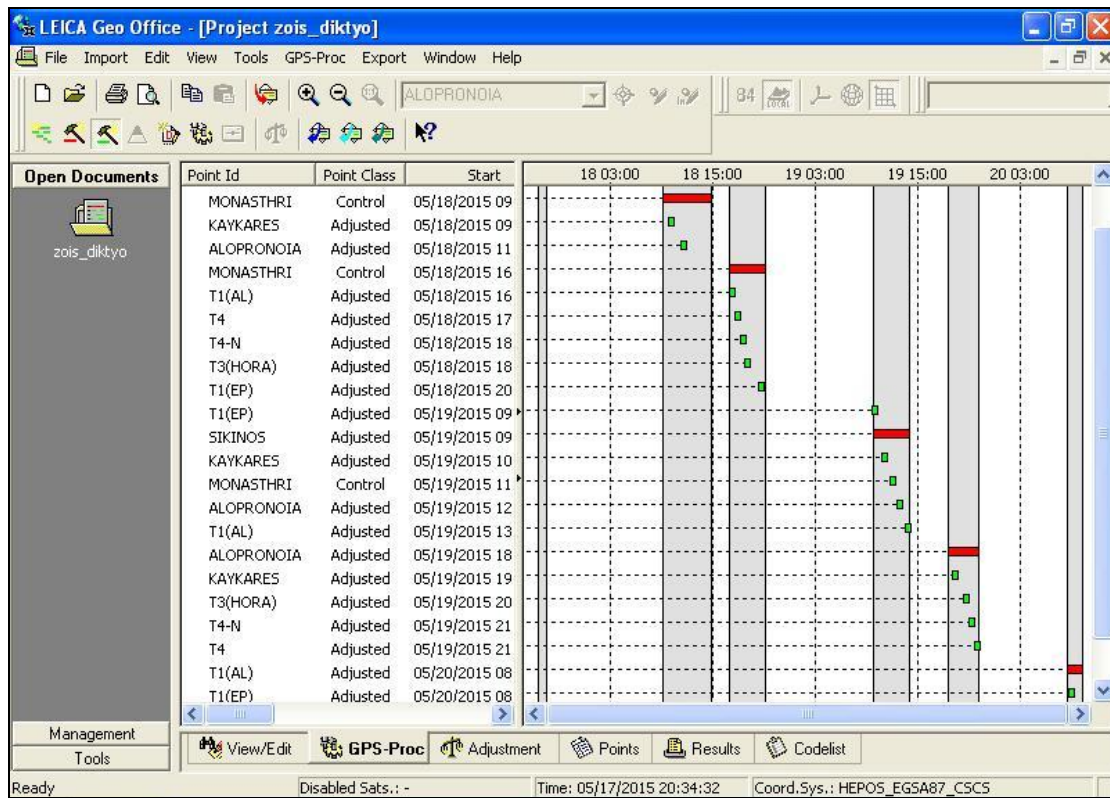
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

“ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ”



Εικόνα 22: Μέτρηση στο τριγωνομετρικό βάθρο της ΓΥΣ «Αλοπρόνοια»

6.1 Επεξεργασία Δορυφορικών Μετρήσεων



Εικόνα 23: Άποψη του περιβάλλοντος επεξεργασίας των δορυφορικών μετρήσεων με το πρόγραμμα LEICA Geo Office

Την ολοκλήρωση των μετρήσεων ακολουθεί η επεξεργασία αυτών. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις δορυφορικές μετρήσεις “περάστηκαν” από τους δέκτες σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με εγκατεστημένο το κατάλληλο λογισμικό (LEICA Geo Office). Η επεξεργασία των μετρήσεων για τις 19 βάσεις δίνει σαν αποτέλεσμα οριζοντιογραφικές συντεταγμένες (X,Y) στο ΕΓΣΑ 87 και γεωμετρικό υψόμετρο (h) για το ελλειψοειδές GRS 80.

6.1.1 Επιλογή της σταθερής κορυφής του δικτύου για την επίλυση

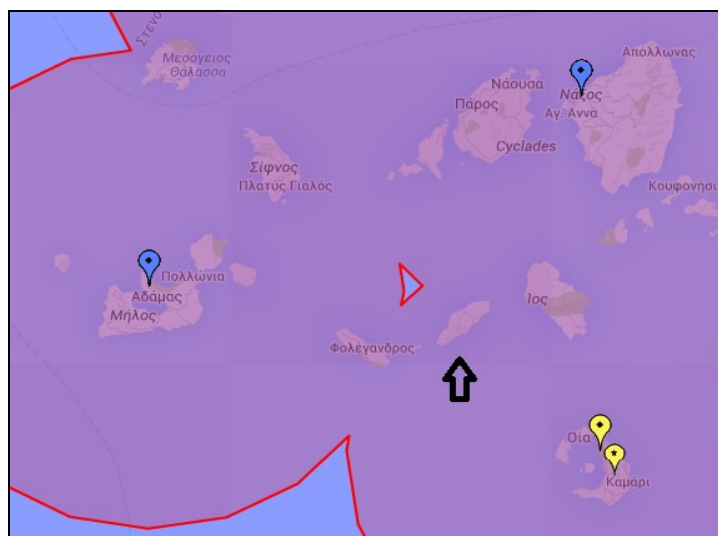
Επιλέχθηκε το τριγωνομετρικό βάθρο της ΓΥΣ «ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ» ως η σταθερή κορυφή του δικτύου μας, για το λόγο ότι σε αυτή την κορυφή έχουμε το περισσότερο χρόνο μετρήσεων με το GPS και έχουν μετρηθεί οι βάσεις ως προς όλες τις υπόλοιπες κορυφές του δικτύου.

Για να προσδιορίσουμε με ικανοποιητική ακρίβεια το γεωμετρικό υψόμετρο (h) της κορυφής, μας παραχωρήθηκαν από την εταιρία «METRICA A.E.» αρχεία τύπου RINEX από το μόνιμο δίκτυο σταθμών αναφοράς GNSS της εταιρίας. Πιο συγκεκριμένα, παραχωρήθηκαν για τις επιθυμητά χρονικά διαστήματα (χρονικά διαστήματα που συμπίπτουν χρονικά με τις δικές μας μετρήσεις) αρχεία από τους σταθμούς «MILO» (Μήλος), «NAXO» (Νάξος) και «SANT» (Σαντορίνη). Η Σίκινος είναι περίπου στο κέντρο βάρους των 3 αυτών σταθμών και έτσι ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων τους θα ανταποκρίνεται στην τιμή του γεωμετρικού υψομέτρου της κορυφής «ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ».

Θεωρώντας ως base τους μόνιμους σταθμούς της «METRICA A.E.» και ως rover την κορυφή «ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ» επιλύθηκαν οι 3 βάσεις, οι οποίες έδωσαν τα εξής αποτελέσματα:

1. ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ – ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ: 384,2666 m
2. ΝΑΞΟΣ – ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ: 384,2767 m
3. ΜΗΛΟΣ – ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ: 384,3072 m

Έτσι, από τον μέσο όρο των τριών τιμών, προκύπτει το γεωμετρικό υψόμετρο της κορυφής «ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ» με τιμή: $h = 384.2835 \text{ m}$



Εικόνα 24: Σχετική θέση μόνιμων σταθμών αναφοράς GNSS της «METRICA A.E.» και της νήσου Σίκινο

6.1.2 Αποτελέσματα της επίλυσης

Όνομα	X (m)	Y (m)	h (m)
T1 (ΕΠΙΣΚΟΠΗ)	597495.357	4058537.997	339.875
ΣΙΚΙΝΟΣ (ΤΡΟΥΛΟΣ)	598772.793	4059711.729	564.367
T3 (ΧΩΡΑ)	599741.227	4061323.803	278.454
T4-N	600030.483	4061384.886	278.064
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ	600458.574	4061832.323	383.174
T4 (ΤΑΡΑΤΣΑ)	601965.608	4059588.393	35.991
T1 (ΜΩΛΟΣ)	602083.071	4059163.582	12.598
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	602565.441	4059577.586	150.808
ΚΑΥΚΑΡΕΣ	602805.085	4062613.176	364.819

Πίνακας 1: Αποτελέσματα της επίλυσης των δορυφορικών μετρήσεων

Για την επίλυση χρησιμοποιήθηκαν όλες οι μετρημένες βάσεις του δικτύου με σταθερό σημείο και οριζοντιογραφικά (X,Y) και υψομετρικά (h) την κορυφή «ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ». Τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτύου φαίνονται στον Πίνακα 1.

Οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες αναφέρονται στο ΕΓΣΑ 87, ενώ τα γεωμετρικά υψόμετρα στο GRS 80. Για τις 4 κορυφές υλοποιημένες με βάθρο από τη ΓΥΣ τα υψόμετρα αναφέρονται στα μπουλόνια των βάθρων και όχι στη στέψη τους.

Παρατηρήθηκε ότι οριζοντιογραφικά η επίλυση είναι αποδεκτή με βάση τα δεδομένα από τη ΓΥΣ και τις ΜΓΑ II, τα οποία υπολογίστηκαν με επίγειες μεθόδους. Άρα, στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε ως τιμές των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων τα δεδομένα της ΓΥΣ και των ΜΓΑ II (Πίνακας 2), με εξαίρεση την κορυφή T4-N, για την οποία δεν διαθέτουμε δεδομένα και θα χρησιμοποιηθεί οι τιμές από την επίλυση μας.

6.2 Επεξεργασία Επίγειων Μετρήσεων

Με τη μέθοδο της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης και με αρχικό σημείο το καρφί του παλιρροιόμετρου, δόθηκε υψόμετρο στην κορυφή του δικτύου «T1(ΜΩΛΟΣ)». Θεωρήθηκε αβεβαιότητα για τη μέθοδο: $\pm 2\text{mm} / 3\text{m}$.

Η επεξεργασία των μετρήσεων που ακολούθησαν με τη μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας, καθώς και οι αμοιβαίες σκοπεύσεις μεταξύ των κορυφών «ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ» και «ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ» παρατίθενται στο Παράρτημα 1 της παρούσας έκδοσης.

Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας έγιναν οι εξής διορθώσεις στα μήκη των βάσεων του δικτύου:

- Αναγωγή στη χορδή του ελλειψοειδούς (μσθ)
- Αναγωγή λόγω χαρτογραφικής προβολής
- Διόρθωση για καμπυλότητα των οπτικών ακτίνων
- Στις αμοιβαίες μετρήσεις έγινε αναγωγή των κατακορύφων γωνιών ως προς το Ύψος Οργάνου (αφού οι μετρήσεις έγιναν προς στόχους με διαφορετικό ύψος από αυτό του οργάνου μας).

Οι επιλύσεις έδωσαν τιμές ορθομετρικών υψομέτρων (H) ικανοποιητικής τάξης μεγέθους ως προς τα δεδομένα των τριγωνομετρικών σημείων της ΓΥΣ.

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν στις περαιτέρω επιλύσεις ως ορθομετρικά υψόμετρα τα δεδομένα που προέκυψαν από την ΓΥΣ και τις εργασίες των ΜΓΑ II.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

“ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ”



Εικόνα 25: Άποψη της Αλοπρόνιας από το τριγωνομετρικό βάθρο της ΓΥΣ «ΣΙΚΙΝΟΣ (ΤΡΟΥΛΟΣ)»

7.1 Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε ένα δίκτυο σημείων μιας περιοχής για τα οποία είναι γνωστά τα γεωμετρικά και ορθομετρικά τους υψόμετρα, με χρήση της εξίσωσης $H = h - N$, μπορεί να προκύψει η μορφή του τοπικού μοντέλου γεωειδούς. Το τοπικό αυτό μοντέλο μπορεί με τη σειρά του να αξιοποιηθεί για τον προσδιορισμό ορθομετρικών υψομέτρων σημείων της περιοχής, με προσδιορισμό του γεωμετρικού τους υψόμετρου (πχ με μετρήσεις GPS).

7.2 Προσομοίωση γεωειδούς σε επίπεδο

Με τον όρο προσομοίωση γεωειδούς αναφερόμαστε στη δημιουργία μοντέλου, η χρήση του οποίου μας επιτρέπει την μετατροπή γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά και αντίστροφα.

Για την προσομοίωση γίνεται η παραδοχή ότι το γεωειδές -στην μικρή περιοχή μελέτης μας- μπορεί να προσομοιάσει με μια γνωστή μαθηματική επιφάνεια, στην περίπτωση μας με επίπεδο, όντας γνωστά τα ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα ενός συνόλου σημείων (αναλυτικά βλ. Κεφάλαιο 4.3).

Το σύνολο των σημείων αυτών είναι οι 9 κορυφές του δικτύου μας:

Όνομα	X (m)	Y (m)	H (m)	h (m)	N (m)
T1 (ΕΠΙΣΚΟΠΗ)	597495.350	4058537.971	328.460	339.875	11.415
ΣΙΚΙΝΟΣ (ΤΡΟΥΛΟΣ)	598772.799	4059711.680	552.957	564.367	11.410
T3 (ΧΩΡΑ)	599741.230	4061323.790	267.114	278.454	11.340
T4-N	600030.480	4061384.900	266.702	278.064	11.362
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ	600458.574	4061832.323	371.840	383.174	11.334
T4 (ΤΑΡΑΤΣΑ)	601965.580	4059588.350	24.710	35.991	11.281
T1 (ΜΩΛΟΣ)	602083.080	4059163.550	1.280	12.598	11.318
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	602565.409	4059577.511	139.460	150.808	11.348
ΚΑΥΚΑΡΕΣ	602805.099	4062613.100	353.536	364.819	11.283

Πίνακας 2: Οριζοντιογραφικές συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ 87, ορθομετρικά - γεωμετρικά υψόμετρα και αποχή του γεωειδούς των κορυφών του δικτύου

Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στην παράγραφο 4.3.1 της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε το δίκτυο να λυθεί με 4 από τις 9 κορυφές του, δηλαδή με τα τριγωνομετρικά της ΓΥΣ, για να υπάρχει ομοιογένεια στην πηγή των στοιχείων μας.

Αναλυτικά, η επίλυση με τη ΜΕΤ παρουσιάζεται στο Παράρτημα 2 του τεύχους. Η εξίσωση που προκύπτει είναι της μορφής:

$$-1.64 * 10^{-5} * x_i - 2.1 * 10^{-5} * y_i + 106.51 = \delta N_i + v_i$$

Το a posteriori τυπικό σφάλμα των αποτελεσμάτων υπολογίστηκε ίσο με 0,02 m.

Η εξίσωση αυτή εφαρμόστηκε για τα υπόλοιπα 5 σημεία του δικτύου που δεν χρησιμοποιήθηκαν και η προσαρμογή του γεωειδούς σε επίπεδο επαληθεύτηκε.

7.3 Σύγκριση Ορθομετρικών και Γεωμετρικών Υψομετρικών Διαφορών

Όνομα	H (m)	h (m)	δH_{ij}	δh_{ij}
T1 (ΕΠΙΣΚΟΠΗ)	328.460	339.875		
ΣΙΚΙΝΟΣ (ΤΡΟΥΛΟΣ)	552.957	564.367	-224.497	-224.492
T3 (ΧΩΡΑ)	267.114	278.454	285.843	285.913
T4-N	266.702	278.064	0.412	0.390
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ	371.840	383.174	-105.138	-105.110
T4 (ΤΑΡΑΤΣΑ)	24.710	35.991	347.130	347.183
T1 (ΜΩΛΟΣ)	1.280	12.598	23.430	23.393
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	139.460	150.808	-138.180	-138.210
ΚΑΥΚΑΡΕΣ	353.536	364.819	-214.076	-214.011

Πίνακας 3: Ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα, ορθομετρικές και γεωμετρικές υψομετρικές διαφορές

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 3, οι ορθομετρικές και γεωμετρικές διαφορές έχουν μικρές διαφορές, που φανερώνει ένα ομαλό γεωειδές στην περιοχή μελέτης μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

“ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ”



Εικόνα 26: Ηλιοβασίλεμα στις Κυκλάδες από το μοναστήρι της Ζωοδόχου Πηγής στη Σίκινο

Ο προσδιορισμός της τρίτης διάστασης ενός σημείου, δηλαδή του υψομέτρου του, είναι ένα από τα συχνά προβλήματα που καλείται να λύσει ο Μηχανικός, προκειμένου να εκτελέσει τις εργασίες του. Σκοπός είναι ο προσδιορισμός της θέσης του σημείου πάνω σε μια επιφάνεια, η οποία να συνδέεται με το πεδίο βαρύτητας της γης, όπως είναι το γεωειδές. Κάθε σημείο χαρακτηρίζεται από δύο υψόμετρα, το ορθομετρικό και το γεωμετρικό.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός του γεωμετρικού υψομέτρου σημείων με γνωστό ορθομετρικό υψόμετρο με δορυφορικές μετρήσεις. Το δίκτυο που επιλέχθηκε και προσδιορίστηκε προϋπήρχε, με κορυφές που επιλέχθηκαν να καλύπτουν χονδροειδώς το μέγεθος και σχήμα της νήσου και να είναι προσβάσιμες για το χρήστη των οργάνων μέτρησης.

Με τα σημερινά δεδομένα ανάπτυξης της τεχνολογίας, ο προσδιορισμός γεωμετρικών υψομέτρων με δορυφορικές μετρήσεις (πχ GPS) αποτελεί τον πιο εύκολο και γρήγορο τρόπο απόκτησης υψομέτρου. Επομένως, είναι αναγκαία η μελέτη και προσομοίωση του γεωειδούς της περιοχής ενδιαφέροντος, για την γνώση της σχέσης γεωμετρικών και ορθομετρικών υψομέτρων. Έτσι, ο Μηχανικός είναι σε θέση να μετατρέψει γεωμετρικά σε ορθομετρικά υψόμετρα.

Ο γεωμετρικός προσδιορισμός της αποχής (ή υψομέτρου) του γεωειδούς (N) αποτελεί στις μέρες μας την δημοφιλέστερη μεθοδολογία μετατροπής γεωμετρικών σε ορθομετρικά υψόμετρα. Απαιτεί την ύπαρξη κοινών σημείων GPS και επίγειας υψομετρίας. Κρίσιμο σημείο στην διαδικασία αυτή είναι η πυκνότητα και η κατανομή των κοινών αυτών σημείων, σε συνάρτηση με την απαιτούμενη από τον χρήστη ακρίβεια. Η μορφή του τοπικού γεωειδούς μπορεί να αποδοθεί (όπως

στην περίπτωση μας) με τον προσδιορισμό της εξίσωσης της βέλτιστης επιφάνειας που διέρχεται από τα σημεία αυτά.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτύου δείχνουν ότι η περιοχή της νήσου Σικίνου είναι περιοχή με ομαλό γεωειδές, όπως άλλωστε είχε αποδειχθεί και σε προηγούμενες μελέτες (Balodimos D. D.: «Geoidal Studies in Greece», Oxford 1972, καθώς και Χάρτης 2 και 3 στην παρούσα εργασία).

Μέσα από όλη την διαδικασία μελέτης έγινε φανερό ότι είναι απαραίτητη η καλή γνώση των συστημάτων και των επιφανειών αναφοράς των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, προκειμένου να γίνονται οι κατάλληλες μετατροπές -όπου αυτές χρειάζονται- για να υπάρχει κοινό υπόβαθρο στα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Η ενασχόληση με τα όργανα μετρήσεων και τα λογισμικά τους έδειξε την αναγκαία γνώση που χρειάζεται να κατέχει ο χρήστης, για να αποφεύγονται λάθη που ενδεχομένως κοστίζουν σε χρόνο, αλλά και στην αποφυγή εισαγωγής σφαλμάτων που θα καθορίσουν το τελικό αποτέλεσμα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις τεχνικών έργων, εκείνο που ενδιαφέρει τον Μηχανικό είναι οι (ορθομετρικές) υψομετρικές διαφορές και όχι το απόλυτο υψόμετρο ενός σημείου. Άλλωστε, οι μετασχηματισμοί γεωμετρικών υψομέτρων από τα διάφορα μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί ακόμα και σε επίπεδο Ελλάδας, πχ από το δίκτυο HEPOS, σε ορθομετρικά στο σύστημα αναφοράς του ΕΓΣΑ87 και στο ελλειψοειδές αναφοράς GRS80, γίνονται κατά προσέγγιση και η ακρίβεια δεν πρέπει να θεωρείται καλύτερη του 1 m (Κωτσάκης Χ. – Κατσάμπαλος Κ. – Γιαννίου Μ.: «Μοντέλο Μετασχηματισμού Συντεταγμένων μεταξύ του Συστήματος Αναφοράς του HEPOS

(HTRS07) και του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87)», Τ.Α.Τ.Μ. Α.Π.Θ. – Κτηματολόγιο Α.Ε., Οκτώβριος 2008). Γίνεται δηλαδή αντιληπτό ότι ενώ με τις δορυφορικές μετρήσεις οριζοντιογραφικά οι συντεταγμένες έχουν καλή ακρίβεια (ανάλογα και με τη μέθοδο μέτρησης), υψομετρικά δεν ισχύει το ίδιο.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η δημιουργία τοπικών μοντέλων γεωειδούς -με τη μέθοδο που αναλύθηκε στο παρόν τεύχος- και η συνένωση τους είναι η πιο ασφαλής μέθοδος για την εξαγωγή σωστών μετατροπών από γεωμετρικά σε ορθομετρικά υψόμετρα, αφού σήμερα οι δορυφορικές μετρήσεις GPS είναι ευρέως διαδεδομένες, λόγω της ευκολίας στη χρήση τους, αλλά και της αξιοπιστίας στα αποτελέσματα για τα συμβατικά έργα του Μηχανικού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Balodimos D. D.: «**Geoidal Studies in Greece**», Oxford 1972
2. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.-Μ.: «**Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι**», Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2009
3. Αραμπατζή Ο.: «**Διερεύνηση των Μεθοδολογιών Προσδιορισμού Κατακόρυφης Θέσης Σημείου σε Έργα Μηχανικού – Εφαρμογές στον Ελλαδικό Χώρο**», Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π. - Σ.Α.Τ.Μ. – Τομέας Τοπογραφίας - Εργ. Γεν. Γεωδαισίας, Αθήνα 2007
4. Βέης Γ. - Μπιλλήρης Χ. – Παπαζήση Κ.: «**Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας**», Ε.Μ.Π. - Σ.Α.Τ.Μ. – Τομέας Τοπογραφίας - Εργ. Ανώτερης Γεωδαισίας, Αθήνα 2009
5. Γεωργόπουλος Γ. – Γκίκας Β. – Τελειώνη Ε. – Τσακίρη Μ.: «**Γεωδαισία: Μετρήσεις-Διορθώσεις-Αναγωγές-Προσδιορισμός Θέσης**», Ε.Μ.Π. - Σ.Α.Τ.Μ. – Τομέας Τοπογραφίας - Εργ. Γεν. Γεωδαισίας, Αθήνα 2010
6. Κονδύλης Α. – Λιόγκας Α. – Μπίθας Α. – Φίλης Σ.: «**Μελέτη της Γεωδαιτικής Διάθλασης σε Ρυπασμένη Ατμόσφαιρα**», Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π. – Έδρα Γεν. Γεωδαισίας, Οκτώβρης 1981
7. Κωτσάκης Χ. – Κατσάμπαλος Κ. – Γιαννίου Μ.: «**Μοντέλο Μετασχηματισμού Συντεταγμένων μεταξύ του Συστήματος Αναφοράς του HEPOS (HTRS07) και του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87)**», Τ.Α.Τ.Μ. Α.Π.Θ. – Κτηματολόγιο Α.Ε., Οκτώβριος 2008
8. Κωτσάκης Χ.: «**HEPOS, Συστήματα/Πλαίσια Αναφοράς και Μετασχηματισμοί συντεταγμένων**», Δελτίο του Παν. Συλλόγου Διπλ. Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, τεύχος 191, Νοέμβριος - Δεκέμβριος 2008

9. Λάμπρου Ε. – Πανταζής Γ.: **«Εφαρμοσμένη Γεωδαισία»**, εκδόσεις Ζήτη
10. Οργανισμός Κτηματολογίου & Χαρτογραφήσεων Ελλάδας: **«Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς»**, Αθήνα, Δεκέμβριος 1987
11. Παραδείσης Δ.: **«Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας»**, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου – Τομέας Τοπογραφίας Ε.Μ.Π., Αθήνα, Νοέμβριος 2000
12. Ρέγας Δ.: **«Μέτρηση και Επίλυση Τρισδιάστατου Δικτύου Αναφοράς με Δορυφορικές Μεθόδους»**, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π. – Σ.Α.Τ.Μ. – Τομέας Τοπογραφίας, Αθήνα, Οκτώβριος 2014
13. Σταθάς Δ.: **«Γεωμετρικός Προσδιορισμός Τοπικού Μοντέλου Γεωειδούς – Συνδυασμός Επίγειων Υψομετρικών Δεδομένων και Δεδομένων GPS»**, Σημειώσεις για τις ΜΓΑ II, Ιούλιος 2010
14. Τσακίρη Μ.: **«Δίκτυα GPS – Σημειώσεις Μαθήματος»**, Ε.Μ.Π. - Σ.Α.Τ.Μ. – Εργ. Γεν. Γεωδαισίας, Αθήνα 2010
15. Τσακίρη Μ.: **«Εισαγωγή στο GPS»**, Γεωδαισία II – Σημειώσεις Μαθήματος, Ε.Μ.Π. - Σ.Α.Τ.Μ. – Εργ. Γεν. Γεωδαισίας, Αθήνα 2005
16. Τσέρμου Μ: **«Ίδρυση Αστικού Δικτύου Κατακορύφου Ελέγχου με Δορυφορικές Μεθοδολογίες στην Περιοχή της Ραφήνας – Γεωμετρικός Προσδιορισμός Τοπικού Γεωειδούς»**, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π. – Σ.Α.Τ.Μ. – Τομέας Τοπογραφίας, Αθήνα, Οκτώβριος 2013
17. Φωτίου Α. – Πικριδάς Χ.: **«GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές»**, εκδόσεις Ζήτη

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

1. <http://leica-geosystems.com/>
2. <http://www.gps.gov/>
3. <http://www.hepos.gr/>
4. <http://www.metrice.gr/>
5. <http://www.sikinos.gr/>
6. <http://www.wikipedia.gr/>
7. <https://www.google.gr/maps/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ (Η)**

Πίνακας 1: Συντεταγμένες κορυφών δικτύου

Όνομα	X	Y	H	σ_x	σ_y	σ_H
ΣΙΚΙΝΟΣ (ΤΡΟΥΛΟΣ)	598772.799	4059711.680	552.957	0.000	0.000	0.023
ΚΑΥΚΑΡΕΣ	602805.099	4062613.100	353.536	0.065	0.037	0.019
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ	600458.574	4061832.323	371.840	0.034	0.033	0.000
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	602565.409	4059577.511	139.460	0.055	0.021	0.000
T1 (ΜΩΛΟΣ)	602083.080	4059163.550	1.280	0.015	0.015	0.001
T1 (ΕΠΙΣΚΟΠΗ)	597495.350	4058537.971	328.460	-	-	0.100
T3 (ΧΩΡΑ)	599741.230	4061323.790	267.114	-	-	
T4 (ΤΑΡΑΤΣΑ)	601965.580	4059588.350	24.710	-	-	
T4-N	-	-	269.418	-	-	

Πίνακας 2: Πράξεις

Βάση	D _{ΕΓΣΑ} (m)	D _{ΦΓΕ}	σ_D	z (grad)	σ_z
T1(ΜΩΛΟΣ)-ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	635.607	635.783	0.066	86.4213	0.0008
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ-ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ	3085.801	3086.656	0.074	95.2351	0.0006
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ-ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	3085.801	3086.656	0.074	104.7988	0.0007
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ-ΚΑΥΚΑΡΕΣ	3044.919	3045.763	0.061	95.5575	0.0005
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ-ΚΑΥΚΑΡΕΣ	2472.872	2473.557	0.101	100.4878	0.0012
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ-ΣΙΚΙΝΟΣ	2708.856	2709.606	0.047	95.7720	0.0006

Συνέχεια Πίνακα 2

Βάση	Υ.Ο (m)	σ_{γ_0}	Υ.Σ. (m)	σ_{γ_S}	ΔH (m)	$\sigma_{\Delta H}$	ΔH (m)	$\sigma_{\Delta H}$
T1(ΜΩΛΟΣ)-ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	1.591	0.005	1.090	0.005	138.231	0.018		
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ-ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ	1.434	0.005	1.500	0.005	232.195	0.031		
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ-ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	1.452	0.005	1.523	0.005	-232.341	0.035		
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ-ΚΑΥΚΑΡΕΣ	1.434	0.005	1.120	0.005	213.813	0.025		
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ-ΚΑΥΚΑΡΕΣ	1.452	0.005	1.120	0.005	-18.218	0.047		
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ-ΣΙΚΙΝΟΣ	1.452	0.005	1.080	0.005	181.075	0.027		

Πίνακας 3: Ορθομετρικά υψόμετρα και οι διαφορές τους με τα δεδομένα της ΓΥΣ

Όνομα	H (m)	σ_H	ΔH
T1 (ΜΩΛΟΣ)	1.133	0.011	-0.147
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	139.364	0.021	-0.096
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ	371.632	0.031	-0.208
ΚΑΥΚΑΡΕΣ	353.295	0.033	-0.241
ΣΙΚΙΝΟΣ (ΤΡΟΥΛΟΣ)	552.707	0.041	-0.250

Πίνακας 4: Αποκλίσεις υψομετρικών διαφορών των βάσεων του δικτύου μεταξύ της παραπάνω επίλυσης (πίνακας 2) και των δεδομένων της ΓΥΣ

Βάση	ΔH (επίλυση)	ΔH (ΓΥΣ)	$\Delta H'$
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ-ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ	232.278	232.380	0.102
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ-ΚΑΥΚΑΡΕΣ	213.821	214.076	0.255
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ-ΚΑΥΚΑΡΕΣ	-18.219	-18.304	-0.085
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ-ΣΙΚΙΝΟΣ	181.088	181.117	0.029

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ (ΜΕΤ)

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Αριθμός συνολικών κορυφών: 9

Αριθμός κορυφών που συμμετέχουν στη μέθοδο: 4 (ΣΙΚΙΝΟΣ, ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ, ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ, ΚΑΥΚΑΡΕΣ)

(λόγω ομοιογένειας στην πηγή των στοιχείων)

Αριθμός κορυφών για έλεγχο: 5 (Τ1(ΕΠΙΣΚΟΠΗ), Τ4, Τ3, Τ1(ΜΩΛΟΣ) και Τ4-Ν)

Πίνακας Δεδομένων

Κορυφή	X	Y	N
Τ1 (ΕΠΙΣΚΟΠΗ)	597495.350	4058537.971	11.415
ΣΙΚΙΝΟΣ (ΤΡΟΥΛΟΣ)	598772.799	4059711.680	11.410
Τ3 (ΧΩΡΑ)	599741.230	4061323.790	11.340
Τ4-Ν	600030.480	4061384.900	11.362
ΜΟΝΑΣΤΗΡΙ	600458.574	4061832.323	11.334
Τ4 (ΤΑΡΑΤΣΑ)	601965.580	4059588.350	11.281
Τ1 (ΜΩΛΟΣ)	602083.080	4059163.550	11.318
ΑΛΟΠΡΟΝΟΙΑ	602565.409	4059577.511	11.348
ΚΑΥΚΑΡΕΣ	602805.099	4062613.100	11.283

Πίνακας σχεδιασμού A:

A4*3 =	598772.799	4059711.680	1
	600458.574	4061832.323	1
	602565.409	4059577.511	1
	602805.099	4062613.100	1

AT=	598772.799	600458.574	602565	602805
	4059711.68	4061832.32	4059578	4062613
	1	1	1	1

Διάνυσμα δl:

δl4*1=	11.410
	11.334
	11.348
	11.283

Κανονικός πίνακας N:

N3*3 = AT*P*A =	1.4455E+12	9.7649E+12	2404602
	9.7649E+12	6.5965E+13	1.6E+07
	2404601.88	16243734.6	4
N-1 =	1.058E-07	-4.778E-08	0.13044
	-4.778E-08	1.6525E-07	-0.6423
	0.13044215	-0.64234	2530085

Διάνυσμα u:

u3*1 = AT*P*δl =	27276537.7
	184261824
	45.3743

Διάνυσμα x:

x = N-1*u =	-1.6375E-05	= α
	-2.1011E-05	= β
	1.0651E+02	= γ

Το a posteriori τυπικό σφάλμα των αποτελεσμάτων υπολογίστηκε ίσο με 0,02 m.

ΑΡΑ

Η εξίσωση που προκύπτει από την προσαρμογή επιπέδου είναι της μορφής:

$$-1.64 * 10^{-5} * x_i - 2.1 * 10^{-5} * y_i + 106.51 = \delta N_i + v_i$$

Έλεγχος για τις κορυφές:

- T1 (ΕΠΙΣΚΟΠΗ):

Σύμφωνα με την εξίσωση προέκυψε το $N' = 11,454$ m.

Από τα δεδομένα μας το $N = 11,415$ m άρα το $\Delta N = 0,039$ m

Αποδεκτό βάσει επιτρεπόμενου σφάλματος μεθόδου.

- T3 (ΧΩΡΑ):

Σύμφωνα με την εξίσωση προέκυψε το $N' = 11,358$ m.

Από τα δεδομένα μας το $N = 11,340$ m άρα το $\Delta N = 0,018$ m

Αποδεκτό βάσει επιτρεπόμενου σφάλματος μεθόδου.

- T4-N:

Σύμφωνα με την εξίσωση προέκυψε το $N' = 11,352$ m.

Από τα δεδομένα μας το $N = 11,362$ m άρα το $\Delta N = - 0,010$ m

Αποδεκτό βάσει επιτρεπόμενου σφάλματος μεθόδου.

- T4 (ΤΑΡΑΤΣΑ):

Σύμφωνα με την εξίσωση προέκυψε το $N' = 11,358$ m.

Από τα δεδομένα μας το $N = 11,281$ m άρα το $\Delta N = 0,077$ m

Αποδεκτό βάσει επιτρεπόμενου σφάλματος μεθόδου.

- T1 (ΜΩΛΟΣ):

Σύμφωνα με την εξίσωση προέκυψε το $N' = 11,365$ m.

Από τα δεδομένα μας το $N = 11,318$ m άρα το $\Delta N = 0,047$ m

Αποδεκτό βάσει επιτρεπόμενου σφάλματος μεθόδου.