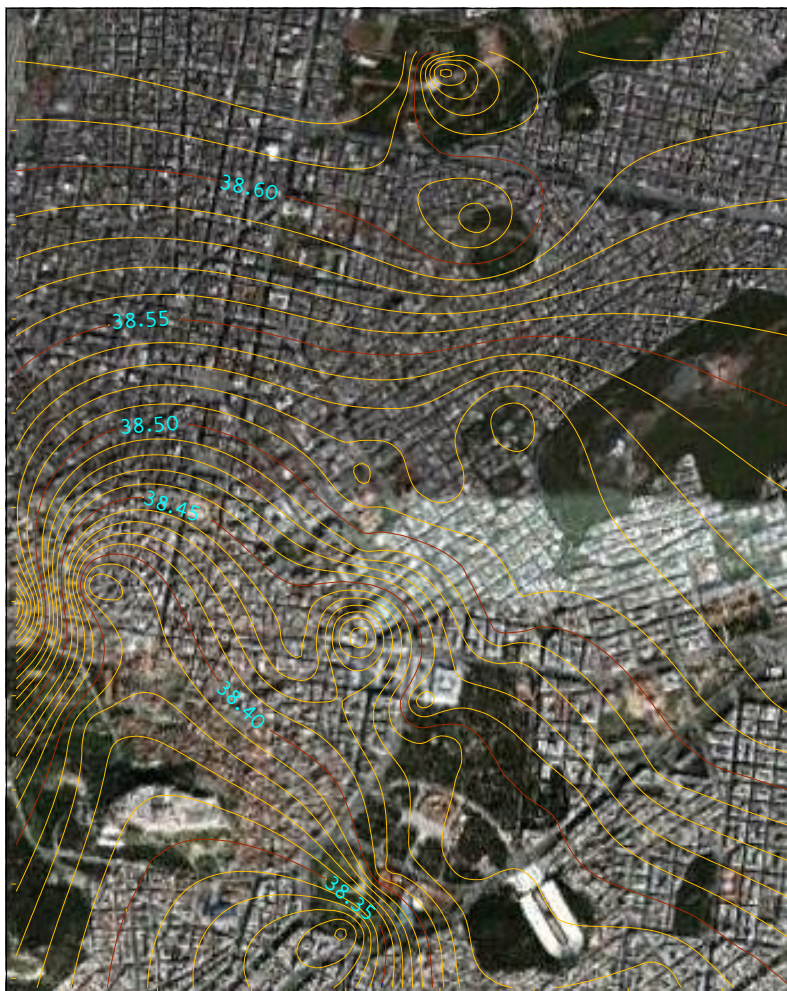




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ N ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ
ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΘΗΝΩΝ, ΠΡΟΑΣΤΙΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΧΩΡΩΝ ΤΟΥ 1920



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΠΟΥΜΠΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Γεώργιος Πανταζής

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011



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

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ Ν ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ
ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΘΗΝΩΝ, ΠΡΟΑΣΤΙΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΧΩΡΩΝ ΤΟΥ 1920**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΠΟΥΜΠΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Γεώργιος Πανταζής

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους επίκουρους καθηγητές της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ κ. **Πανταζή Γεώργιο** και κα. **Λάμπρου Ευαγγελία** για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν αναθέτοντας μου την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αλλά και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Ακόμη, ευχαριστώ τους φίλους και συμφοιτητές μου **Αποδουλιανάκη Λεωνίδα**, **Λαβδάκη Γιάννη**, **Μουλουδάκη Μιχάλη** και **Σαριδάκη Χάρη** για την σημαντικότερη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την διάρκεια των εργασιών πεδίου.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένεια μου, στους γονείς μου **Ζαχαρία** και **Μαρία** και στην αδελφή μου **Μαρίνα** για την στήριξη και συμπαράσταση τους σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και σε όλα τα χρόνια των φοιτητικών μου σπουδών.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Είναι γνωστό σε όλους τους μηχανικούς, ότι η ύπαρξη αλλά και η επέκταση των γεωδαιτικών δικτύων είναι πολύ σημαντική, ώστε να εκτελούνται οι διάφορες τοπογραφικές εργασίες με μεγαλύτερη ευκολία και ταυτόχρονα με μικρότερη αβεβαιότητα. Τα γεωδαιτικά δίκτυα αποτελούν μία ιδιαίτερης σημασίας υποδομή και αυτό είχε γίνει αντιληπτό ήδη από το 1918, όταν με την ίδρυση της Τοπογραφικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Συγκοινωνίας, εγκαινιάζονται οι ενέργειες για την δημιουργία σοβαρών τέτοιων υποδομών.

Τον Μάρτιο του 1920 αποφασίστηκε από την υπηρεσία αυτή η ίδρυση, η εγκατάσταση και η μέτρηση ενός χωροσταθμικού (υψομετρικού) δικτύου στην Αθήνα, στα προάστια και στα περίχωρα αυτής, με επικεφαλείς τους διπλωματούχους Αγρονόμους-Τοπογράφους μηχανικούς κ. Ι. Φάβρ, κ. Α. Σταύρου και κ. Κ. Δενδρινού, υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση του διπλωματούχου Αγρονόμου-Τοπογράφου μηχανικού και προϊσταμένου της Τοπογραφικής Υπηρεσίας κ. Δ. Ν. Λαμπαδάριου [Δ.Ν.Λαμπαδάριος,1921]. Το δίκτυο αυτό αποτελείτο από 320 υψομετρικές αφετηρίες (Repères) ενώ μέχρι σήμερα έχουν εντοπισθεί μόλις οι 67 από αυτές, εξαιτίας των πολλών αλλαγών που έχουν επιφέρει όλα αυτά τα χρόνια που πέρασαν.

Σήμερα(2011), με την ύπαρξη της τεχνολογίας του προσδιορισμού θέσης σημείου με δορυφορικό εντοπισμό (Global Positioning System/GPS), παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον η ιδέα του προσδιορισμού των γεωμετρικών υψομέτρων αλλά και του υψομέτρου του γεωειδούς, σε 37 από αυτές τις υψομετρικές αφετηρίες.

Επίσης, εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η δημιουργία ενός τοπικού μοντέλου γεωειδούς που αναφέρεται σε εκείνη την εποχή (1920) και στη σύγκριση του με ήδη υπάρχοντα παγκόσμια μοντέλα (EGM96, EGM2008). Η σύγκριση αυτή, δίνει την δυνατότητα να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την προσαρμογή του μοντέλου αυτού στα δεδομένα αλλά και για το πόσο καλά προσεγγίζουν τα παγκόσμια μοντέλα τη μορφή του γεωειδούς σε αστική περιοχή. Σύμφωνα με αυτά, γίνεται επίσης

εμπλουτισμός του παγκόσμιου μοντέλου γεωειδούς EGM2008 με τα στοιχεία που προκύπτουν από την σύγκριση των μοντέλων αυτών.

Τέλος, με την σύνδεση μιας υψομετρικής αφετηρίας του δικτύου του 1920 με μία της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), προσδιορίζεται η διαφορά της επιφάνειας αναφοράς του υψομετρικού δικτύου Αθηνών του 1920 με την επιφάνεια αναφοράς του Εθνικού Συστήματος Υψομέτρων (ΕΣΥ).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	I
Πρόλογος	II
Περιεχόμενα	IV
Πίνακες	VIII
Σχήματα	IX
Χάρτες	X
Εικόνες	X
Συμβολισμοί	XII
Περίληψη	XV
Εισαγωγή	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΓΕΩΕΙΔΕΣ

1.1. Γενικά	3
1.1.1. Η φυσική γήινη επιφάνεια	7
1.1.2. Το ελλειψοειδές εκ περιστροφής	7
1.1.3. Η σφαίρα	9
1.2. Το γεωειδές	10
1.2.1. Γενικά	10
1.2.2. Μέθοδοι προσδιορισμού του γεωειδούς	11
1.2.3. Παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΟΥΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ

2.1. Ιστορικά στοιχεία	17
------------------------------	----

2.2. Βασικές αρχές λειτουργίας	19
2.3. Μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού	21
2.3.1. Απόλυτος εντοπισμός θέσης	21
2.3.2. Σχετικός εντοπισμός θέσης	22
2.3.3. Άλλες μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού	23
2.3.4. Μέθοδοι σχετικού δορυφορικού εντοπισμού	24
2.4. Είδη μετρήσεων	25
2.4.1. Μέτρηση ψευδοαπόστασης	26
2.4.2. Μέτρηση φάσης του φέροντος κύματος	27
2.5. Δορυφορικά συστήματα εντοπισμού	29
2.5.1. Το σύστημα GPS	29
2.5.2. Το σύστημα GLONASS	33
2.5.3. Το σύστημα GALILEO	34
2.6. Προσδιορισμός βάσης	35
2.7. Πηγές σφαλμάτων	36
2.8. Κυριότερες εφαρμογές του δορυφορικού εντοπισμού θέσης	37
2.9. Δίκτυα μονίμων σταθμών GPS	38
2.9.1. Σημαντικότερα δίκτυα μονίμων σταθμών στον κόσμο	39
2.9.2. Εικονικοί σταθμοί αναφοράς-VRS	42
2.9.3. HEPOS-Το ελληνικό σύστημα δορυφορικού εντοπισμού	43
2.9.3.1. Υπηρεσίες “πραγματικού χρόνου”	46
2.9.3.2. Υπηρεσίες “μετεπεξεργασίας”	46
2.9.3.3. Το σύστημα αναφοράς του HEPOS	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ Ο ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ

3.1. Υψομετρικό δίκτυο Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων	51
3.1.1. Γενικά	51
3.1.2. Εγκατάσταση του δικτύου	52
3.1.3. Μέθοδος μέτρησης και όργανα	55
3.1.4. Υπολογισμός ορθομετρικών υψομέτρων των αφετηριών	56
3.1.5. Υψομετρικές αφετηρίες που παρέμειναν μέχρι σήμερα	58
3.2. Το δίκτυο που μελετήθηκε	61
3.2.1. Δίκτυο Αθηνών I	62
3.2.1.1. Ορθομετρικά υψόμετρα δικτύου Αθηνών I	64
3.2.2. Δίκτυο Αθηνών II	65
3.2.2.1. Ορθομετρικά υψόμετρα δικτύου Αθηνών II	69
3.3. Προσδιορισμός γεωμετρικών υψομέτρων δικτύου Αθηνών II	70
3.3.1. Εγκατάσταση νέων σημείων	70
3.3.2. Μετρήσεις GPS	72
3.3.3. Εξοπλισμός των μετρήσεων GPS	75
3.3.3.1. Δέκτης GPS Trimble 5800	76
3.3.4. Επεξεργασία των μετρήσεων GPS	78
3.3.4.1. Δεδομένα από μόνιμους σταθμούς αναφοράς του Herpos	78
3.3.4.2. Λογισμικό επεξεργασίας	80
3.3.4.3. Αποτελέσματα επιλύσεων-Γεωμετρικά υψόμετρα h	84
3.3.4.4. Προβλήματα κατά την επεξεργασία	86
3.3.5. Γεωμετρική χωροστάθμηση στο δίκτυο Αθηνών II	87
3.3.5.1. Εξοπλισμός γεωμετρικής χωροστάθμησης	89
3.3.5.2. Αποτελέσματα-Ορθομετρικά υψόμετρα νέων σημείων	91
3.3.6. Υψόμετρα δικτύου Αθηνών I	93
3.4. Σύνδεση με σημείο ΕΣΥ-Προσδιορισμός διαφοράς υψομετρικών επιφανειών	94

3.5. Προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Heros	96
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ N ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΠΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.1. Γενικά	101
4.2. Προσδιορισμός υψομέτρων γεωειδούς N	101
4.2.1. Δημιουργία χάρτη υψομέτρων γεωειδούς	104
4.3. Δημιουργία τοπικού μοντέλου γεωειδούς	107
4.3.1. Προσαρμογή σε απλή επίπεδη επιφάνεια	110
4.3.2. Προσαρμογή σε διγραμμική επιφάνεια	112
4.3.3. Προσαρμογή σε καμπύλη επιφάνεια 2 ^{ου} βαθμού	114
4.3.4. Προσαρμογή σε καμπύλη επιφάνεια 3 ^{ου} βαθμού	116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟ EGM08

5.1. Προσδιορισμός υψομέτρου γεωειδούς από EGM08	119
5.2. Εμπλουτισμός του παγκόσμιου μοντέλου γεωειδούς EGM08	121

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1. Συμπεράσματα	125
6.2. Προτάσεις	131

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	133
--------------------	-----

ABSTRACT	137
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	141

ΠΙΝΑΚΕΣ

3.1. Τα μέσα σφάλματα όπως υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις (1920)	57
3.2. Τα ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων από το 1920	64
3.3. Τα ορθομετρικά υψόμετρα από το 1920 του δικτύου Αθηνών ΙΙ	69
3.4. Στοιχεία μετρήσεων με το δορυφορικό σύστημα GPS	74
3.5. Στοιχεία από την επίλυση των βάσεων	83
3.6. Τα γεωμετρικά υψόμετρα των σημείων του δικτύου Αθηνών ΙΙ και οι αβεβαιότητες τους	85
3.7. Οι μετρήσεις γεωμετρικής χωροστάθμησης	88
3.8. Τα ορθομετρικά υψόμετρα των νέων κορυφών του Αθηνών ΙΙ με τις αβεβαιότητες τους	91
3.9. Οι αβεβαιότητες των ορθομετρικών υψομέτρων νέων κορυφών	92
3.10. Τα γεωμετρικά και ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων του δικτύου Αθηνών Ι	93
3.11. Η υψομετρική διαφορά των επιφανειών αναφοράς του ΕΣΥ και του δικτύου Αθηνών	96
3.12. Οι διαφορές των ορθομετρικών υψομέτρων του 1920 με αυτά από το μοντέλο του Heros	99
4.1. Ο προσδιορισμός της αποχής του γεωειδούς N, στα σημεία του δικτύου	103
4.2. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των κορυφών στο WGS84 (GRS80) και το υψόμετρο του γεωειδούς	109
4.3. Οι άγνωστες παράμετροι για την απλή επίπεδη επιφάνεια, οι αβεβαιότητες τους και ο στατιστικός έλεγχος αυτών	110

4.4. Τα υψόμετρα του γεωειδούς από την εξίσωση (4.4) και οι διαφορές τους με τα υπολογισθέντα από τις μετρήσεις	111
4.5. Οι άγνωστοι συντελεστές για την διγραμμική επιφάνεια, οι αβεβαιότητες τους και ο στατιστικός έλεγχος	112
4.6. Τα υψόμετρα του γεωειδούς από την εξίσωση (4.6) και οι διαφορές τους από αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις	113
4.7. Οι άγνωστοι συντελεστές για την καμπύλη επιφάνεια 2 ^ο βαθμού, οι αβεβαιότητες τους και ο στατιστικός έλεγχος	114
4.8. Τα υψόμετρα του γεωειδούς από την εξίσωση (4.8) και οι διαφορές τους από αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις	115
4.9. Οι τιμές των άγνωστων συντελεστών για την καμπύλη επιφάνεια 3 ^ο βαθμού, οι αβεβαιότητες τους και ο στατιστικός έλεγχος	117
4.10. Τα υψόμετρα του γεωειδούς από την εξίσωση (4.10) και οι διαφορές τους από αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις	118
5.1. Το υψόμετρο του γεωειδούς από το EGM08 και η διαφορά του με αυτό από τις επίγειες μετρήσεις	120
5.2. Οι τιμές των αγνώστων παραμέτρων για το 3-παραμετρικό μοντέλο, για τον εμπλουτισμό του EGM08	122
5.3. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της εξίσωσης 5.2, για τον εμπλουτισμό του EGM08	123

ΣΧΗΜΑΤΑ

1.1. Οι βασικές επιφάνειες αναφοράς σε σχηματική αναπαράσταση	5
1.2. Σχηματική παρουσίαση των διάφορων επιφανειών αναφοράς	6
1.3. Η σχέση του γεωειδούς και του ελλειψοειδούς και η απόκλιση της κατακορύφου	11
2.1. Ο απόλυτος εντοπισμός θέσης	22
2.2. Ο σχετικός προσδιορισμός θέσης σημείου	23

ΧΑΡΤΕΣ

3.1. Οι θέσεις των υψομετρικών αφετηριών του δικτύου Αθηνών I	63
3.2. Οι θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 77,89,110	66
3.3. Οι θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 101,105,107,108,122	67
3.4. Οι θέσεις των σημείων 11,20,92,93,107,109,110,120	67
3.5. Οι θέσεις των σημείων 1,16,17	68
3.6. Τα σημεία 26,31,37,40	68
4.1. Χάρτης τοπικού γεωειδούς με ισοδιάσταση ισοϋψών ανά 1 cm	105
4.2. Χάρτης τοπικού γεωειδούς με ισοδιάσταση ισοϋψών ανά 0.5 cm	106

ΕΙΚΟΝΕΣ

1.1. Το σφαιρικό σχήμα της Γης	4
1.2. Η ανώμαλη επιφάνεια του γεωειδούς	12
1.3. Το μοντέλο γεωειδούς EGM96	14
1.4. Το μοντέλο γεωειδούς EGM08	15
2.1. Ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος, Sputnik I	17
2.2. Ο σχηματισμός των δορυφόρων του συστήματος GPS	30
2.3. Οι σταθμοί του τμήματος ελέγχου του συστήματος GPS	32
2.4. Οι σταθμοί του δικτύου IGS	39
2.5. Οι μόνιμοι σταθμοί του συστήματος HEPOS	44
3.1. Μικρή ορειχάλκινη υψομετρική αφετηρία	53
3.2. Μεγάλη ορειχάλκινη υψομετρική αφετηρία	54
3.3. Πληροφορίες για τις υψομετρικές αφετηρίες που εντοπίστηκαν	60
3.4. Ο δέκτης GPS χειρός που χρησιμοποιήθηκε	71
3.5. Υλοποιημένη νέα κορυφή του δικτύου	72

3.6. Ο δέκτης GPS κατά την διάρκεια των μετρήσεων	73
3.7. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, “εν δράσει”	76
3.8. Ο δέκτης GPS Trimble 5800	77
3.9. Η ιστοσελίδα του συστήματος HEPOS	79
3.10. Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού “Trimble Geomatics Office”	82
3.11. Μετρήσεις γεωμετρικής χωροστάθμησης στον προαύλιο χώρο της Βουλής των Ελλήνων	89
3.12. Ο ψηφιακός χωροβάτης Topcon DL-102C	90
3.13. Η υψομετρική αφετηρία 26 που βρίσκεται στο Αστεροσκοπείο	95
3.14. Το βάθρο της ΓΥΣ στο Αστεροσκοπείο	95
3.15. Το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Heros TT	98

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

N	Υψόμετρο γεωειδούς
ζ	Υψόμετρο σχεδόν-γεωειδούς
a	Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς
f	Επιπλάτυνση ελλειψοειδούς
b	Μικρός ημιάξονας ελλειψοειδούς
e	Εκκεντρότητα ελλειψοειδούς
φ	Γεωδαιτικό πλάτος
λ	Γεωδαιτικό μήκος
h	Γεωμετρικό υψόμετρο
X,Y,Z	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς
R	Μέση ακτίνα καμπυλότητας της Γης
H	Ορθομετρικό υψόμετρο νέας υψομετρικής αφετηρίας
H'	Ορθομετρικό υψόμετρο παλαιάς υψομετρικής αφετηρίας
θ	Απόκλιση της κατακορύφου
c	Ταχύτητα του φωτός στο κενό
N,E,U	Northing, Easting, Up καρτεσιανές συντεταγμένες σε τοπικό σύστημα τρισδιάστατο σύστημα
x,y	Καρτεσιανές συντεταγμένες στην προβολή σε επίπεδο
σ	Τυπική απόκλιση
σ ₀	Τυπική απόκλιση της μονάδας βάρους
μ	Μέση ακρίβεια του δικτύου του 1920
σ _e	Αβεβαιότητα ανάγνωσης στην σταδία

$\alpha_0, \dots, \alpha_9$	Συντελεστές μαθηματικών επιφανειών
z_{95}	Συντελεστής για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%
ΓΥΣ	Γεωγραφική υπηρεσία στρατού
ΕΣΥ	Εθνικό σύστημα υψομέτρων
ΕΓΣΑ87	Ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς 1987
MET	Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων
ΜΣΘ	Μέση στάθμη θάλασσας
ΦΓΕ	Φυσική γήινη επιφάνεια
AGNES	Automated GPS Network Switzerland
ARGN	Australian Regional GPS Network
CACS	Canadian Active Control System
DGPS	Differential GPS
EGM	Earth Gravitational Model
EPN	European Permanent Network
ESA	European Space Agency
ETRF	European Terrestrial Reference Frame
ETRS	European Terrestrial Reference System
GEONET	GPS Earth Observation NETwork of Japan
GIS	Geographic Information System
Glonass	GLObal NAVigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service

GRS80	Geodetic Reference System 1980
GSM	Global System for Mobile
HEPOS	HElIenic Positioning System
HTRS07	HElIenic Terrestrial Reference System 2007
IGS	International GNSS Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
RINEX	Receiver INdependent EXchange Format
RTK	Real Time Kinematic
SWEPOS	SWedish Positioning System
TGO	Trimble Geomatics Office
UHF	Ultra High Frequency
VRS	Virtual Reference Station
WGS84	World Geodetic System 1984

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των υψομέτρων του γεωειδούς στη περιοχή που καλύπτει το χωροσταθμικό δίκτυο των Αθηνών, προαστίων και περιχώρων του 1920 και η δημιουργία ενός τοπικού χάρτη γεωειδούς από το οποίο θα μπορεί να γίνει απευθείας υπολογισμός του ορθομετρικού υψομέτρου ενός σημείου, όταν είναι γνωστό το γεωμετρικό του υψόμετρο. Επίσης, μελετούνται και κάποια άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία σχετικά με τις επιφάνειες αναφοράς στις οποίες βασίζονται τα υψόμετρα του 1920 και αυτά του 2011.

Αναλυτικά όλα όσα μελετήθηκαν παρουσιάζονται στα κεφάλαια που ακολουθούν ως εξής :

- Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη αναφορά στην φυσική γήινη επιφάνεια, στο ελλειψοειδές εκ περιστροφής και στην σφαίρα. Στην συνέχεια, γίνεται αναλυτικότερη παρουσίαση του γεωειδούς, στις διάφορες μεθόδους προσδιορισμού αυτού αλλά και των παγκοσμίων μοντέλων γεωειδούς που έχουν αναπτυχθεί.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο δορυφορικός εντοπισμός, ξεκινώντας με κάποια ιστορικά στοιχεία και τις βασικές αρχές λειτουργίας αυτού.

Στην συνέχεια, η προσοχή εστιάζεται στις διάφορες μεθόδους δορυφορικού εντοπισμού, στα είδη των μετρήσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν και στα δορυφορικά συστήματα που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται ή θα χρησιμοποιηθούν στο μέλλον.

Τέλος, αναφέρονται οι κύριες πηγές σφαλμάτων και οι κυριότερες εφαρμογές του δορυφορικού εντοπισμού και παρουσιάζονται τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα μονίμων σταθμών, με έμφαση στο HEPOS, το δίκτυο της Ελλάδας.

- Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το δίκτυο Αθηνών, προαστίων και περιχώρων, που μελετήθηκε. Γίνεται αναφορά στον τρόπο με

τον οποίο έγινε η εγκατάσταση του δικτύου, στις μεθόδους και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην μέτρηση του καθώς και στον υπολογισμό των υψομέτρων των κορυφών του.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα επιμέρους τμήματα του δικτύου, στα οποία χωρίστηκε ώστε να μελετηθεί ευκολότερα. Ακόμη, παρουσιάζονται οι μετρήσεις GPS που πραγματοποιήθηκαν, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε καθώς και η επεξεργασία αυτών που οδήγησε στον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου.

Τέλος, σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται η σύνδεση που έγινε με ΓΧ, μεταξύ μίας κορυφής του δικτύου και μίας του ΕΣΥ, ώστε να προσδιοριστεί η διαφορά των επιφανειών αναφοράς που χρησιμοποιούνται στα δύο αυτά δίκτυα.

- Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο προσδιορισμός των υψομέτρων του γεωειδούς στις υψομετρικές αφετηρίες του υπό μελέτη δικτύου.

Αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε ο συγκεκριμένος προσδιορισμός και παρουσιάζονται οι προσαρμογές τεσσάρων μαθηματικών επιφανειών που πραγματοποιήθηκαν, ώστε να δημιουργηθεί ένα τοπικό μοντέλο γεωειδούς για την περιοχή που μελετάται.

- Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται ο προσδιορισμός των υψομέτρων του γεωειδούς με την χρήση του παγκόσμιου μοντέλου EGM08. Ακόμη, παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών του γεωειδούς που προέκυψαν από το EGM08 με αυτές που προέκυψαν από τις μετρήσεις, καθώς και το μοντέλο που δημιουργήθηκε για τον εμπλουτισμό του παγκοσμίου μοντέλου EGM08.
- Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη του δικτύου Αθηνών, προαστίων και περιχώρων κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής

εργασίας και γίνονται κάποιες προτάσεις για την μελλοντική αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωδαισία έχει ως βασικό αντικείμενο τον προσδιορισμό του σχήματος και του μεγέθους της Γης, όπως επίσης και τον προσδιορισμό συντεταγμένων σημείων πάνω σε αυτή. Για τον λόγο αυτό έχουν οριστεί και υλοποιηθεί διάφορες επιφάνειες αναφοράς, σύμφωνα με τις οποίες γίνονται οι παραπάνω υπολογισμοί-προσδιορισμοί.

Οι διάφορες επιφάνειες αναφοράς που έχουν οριστεί, διαφοροποιούνται μεταξύ τους σε σχέση με το πόσο καλά προσεγγίζουν την πραγματική φυσική επιφάνεια της Γης αλλά και από την πολυπλοκότητα των μαθηματικών σχέσεων που τις εκφράζουν.

Το γεωειδές είναι μία επιφάνεια αναφοράς, που αποτελεί εδώ και χρόνια ένα πολύ σημαντικό τμήμα έρευνας και μελέτης της γεωδαισίας. Ορίζεται ως η ισοδυναμική επιφάνεια του πραγματικού γήινου πεδίου βαρύτητας που πλησιάζει περισσότερο τη φυσική πραγματικότητα [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010].

Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο (2011), η τεχνολογία του δορυφορικού εντοπισμού θέσης με το GPS βρίσκεται σε μεγάλη άνθηση, λόγω της ευκολίας και της ταχύτητας με την οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις. Το γεγονός αυτό, οδηγεί στην αναγκαιότητα ύπαρξης αξιόπιστης υποδομής, από την οποία θα μπορεί να γίνει εύκολα η αναγωγή των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά. Η υποδομή αυτή δεν μπορεί να είναι άλλη από την πολύ καλή μελέτη και γνώση της επιφάνειας του γεωειδούς και την ύπαρξη μοντέλων που την περιγράφουν μαθηματικά, με μικρή αβεβαιότητα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως βασικό αντικείμενο της τον προσδιορισμό της αποχής του γεωειδούς N σε 20 σημεία του υψομετρικού δικτύου των Αθηνών του 1920, αλλά και την δημιουργία ενός τοπικού μοντέλου γεωειδούς για αυτήν την περιοχή, ελπίζοντας να εμπλουτισθεί η υπάρχουσα γεωδαιτική υποδομή, ώστε οι μετρήσεις με την τεχνολογία του GPS να γίνουν περισσότερο αποδοτικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΓΕΩΔΑΙΕΣ

1.1. Γενικά

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η γεωδαισία ασχολείται με τη Γη και συγκεκριμένα έχει ως στόχο τον προσδιορισμό του σχήματος και του μεγέθους της. Ακόμη, ο προσδιορισμός συντεταγμένων σημείων επάνω στην Γη είναι ένα πρόβλημα που καλείται να επιλύσει η γεωδαισία.

Για να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί, θα πρέπει πρώτα να δημιουργηθούν οι κατάλληλες προϋποθέσεις, στις οποίες θα στηριχθούν οι ενέργειες που θα επιφέρουν τις λύσεις σε αυτά τα βασικά προβλήματα της γεωδαισίας. Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα πρέπει :

- να οριστεί μία επιφάνεια αναφοράς κατάλληλη και προσαρμόσιμη όσο το δυνατόν καλύτερα στην επιφάνεια της Γης,
- να οριστεί ένα σύστημα συντεταγμένων,
- να εγκατασταθούν μόνιμα σημεία πάνω στην επιφάνεια της Γης, των οποίων θα υπολογιστούν οι συντεταγμένες και θα λειτουργούν ως σταθερά και μόνιμα σημεία αναφοράς με γνωστή θέση.

Οι παραπάνω ενέργειες, βέβαια, δεν είναι τόσο εύκολο να γίνουν, διότι είναι γνωστό το γεγονός ότι η πραγματική Γη είναι αρκετά πολύπλοκη και έχει πολύ ανώμαλη επιφάνεια. Επομένως, είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί μία επιφάνεια που θα μπορεί να εκφράσει όλες τις γεωμετρικές και μηχανικές ιδιότητες της Γης με απλές μαθηματικές σχέσεις. Για να γίνει αυτό, χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν σχέσεις που θα περιλαμβάνουν πολύπλοκες συναρτήσεις με πάρα πολλούς όρους και σταθερούς συντελεστές.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα δόθηκε από τους γεωδαίτες με την παρακάτω παραδοχή. Σε αρκετές εφαρμογές, όπως είναι η αστρονομία, η

ουράνιος μηχανική, η χαρτογραφία κλπ., δεν είναι αναγκαία η ύπαρξη πολύ μεγάλης ακρίβειας. Επομένως, σε κάθε περίπτωση μπορεί να επιλεγεί ένα κατάλληλο μοντέλο, το οποίο θα προσεγγίζει την επιφάνεια και τις ιδιότητες της Γης και θα την αντικαταστήσει στους υπολογισμούς που πρέπει να γίνουν.

Μια πρώτη προσέγγιση που έγινε, ήταν ότι η Γη μπορεί να θεωρηθεί ως μία **σφαίρα**, η οποία θα έχει ομοιογενές υλικό, μάζα ίση με την μάζα της Γης και ακτίνα ίση με 6371 km περίπου.



*Εικόνα 1.1: Το σφαιρικό σχήμα της Γης.
[Πηγή: www.google.gr]*

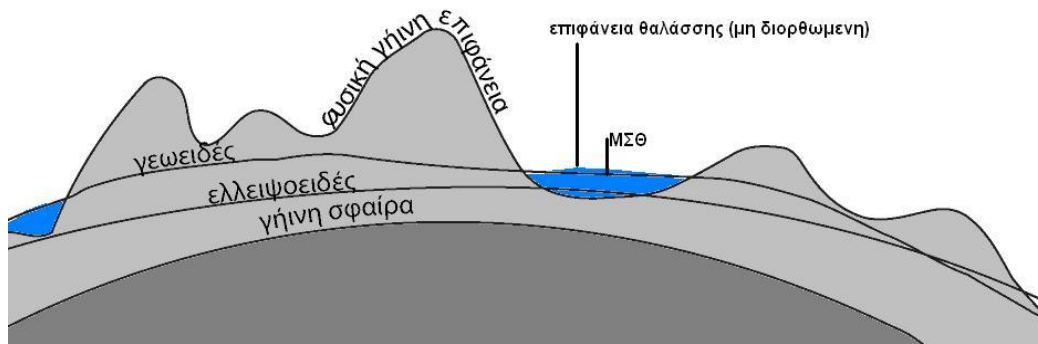
Η προσέγγιση όμως αυτή, δεν συμβαδίζει πλήρως με την περιστροφική κίνηση της Γης γύρω από τον άξονα της, η οποία την έχει αναγκάσει να πάρει το σχήμα ενός **ελλειψοειδούς εκ περιστροφής**. Πρέπει, ωστόσο να αναφερθεί ότι η Γη δεν αποτελείται από ομοιογενές υλικό και λόγω της περιστροφικής της κίνησης, το σχήμα που την προσεγγίζει καλύτερα είναι ένα σφαιροειδές με πεπλατυσμένους πόλους. Επειδή η απόκλιση των δύο αυτών σχημάτων δεν είναι μεγάλη, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί τελικά το ελλειψοειδές εκ περιστροφής.

Το επόμενο βήμα, που έλειπε από τις προηγούμενες επιφάνειες, είναι να έχει το μοντέλο τις αντίστοιχες μηχανικές ιδιότητες της Γης, συνδυαζόμενες όμως με λιγότερες επιφανειακές ανωμαλίες. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, η

εν λόγω επιφάνεια να είναι μία ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της Γης και επιλέγοντας να πλησιάζει περισσότερο από κάθε άλλη την μέση στάθμη της θάλασσας, προκύπτει το **γεωειδές**.

Σύμφωνα λοιπόν, με όλα τα παραπάνω, οι βασικές επιφάνειες αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην γεωδαισία είναι :

- η σφαίρα,
- το ελλειψοειδές εκ περιστροφής,
- το γεωειδές.



Σχήμα 1.1: Οι βασικές επιφάνειες αναφοράς σε σχηματική αναπαράσταση.
[Πηγή: www.google.gr]

Εκτός από τις 3 βασικές επιφάνειες αναφοράς που αναφέρθηκαν προηγουμένως, υπάρχουν και κάποιες άλλες, οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά, αξίζει όμως να γίνει μία σύντομη αναφορά σε αυτές.

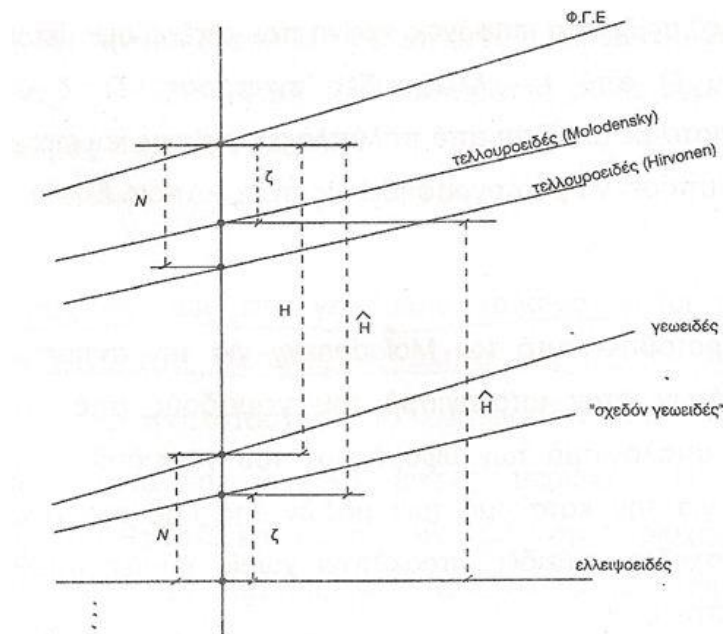
Δύο επιφάνειες, που πλησιάζουν πολύ το γεωειδές, είναι το "σχεδόν-γεωειδές" και το "παρα-γεωειδές".

Το "σχεδόν-γεωειδές" είναι η επιφάνεια που απέχει υψόμετρο ζ από το ελλειψοειδές αναφοράς, επομένως ορίζεται ως προς αυτό. Έχει το πλεονέκτημα ότι γνωρίζοντας το υψόμετρο ζ , δεν χρειάζεται να γίνει καμία υπόθεση για την κατανομή των μαζών της Γης, όπως συμβαίνει στο γεωειδές. Ένα αρνητικό, βέβαια, είναι το γεγονός ότι το "σχεδόν-γεωειδές"

δεν έχει κάποια φυσική έννοια ως επιφάνεια, διότι δεν είναι ισοδυναμική, αλλά μία μαθηματική επιφάνεια από την οποία ορίζονται τα κανονικά υψόμετρα. Διαφέρει από το γεωειδές μόνο στην στεριά, όπου η διαφορά $N-\zeta$ είναι της τάξης μερικών δεκατόμετρων (dm), ενώ στη θάλασσα συμπίπτουν.

Το "παρα-γεωειδές" αποτελεί μία ισοδυναμική επιφάνεια και προκύπτει με τον υπολογισμό των αναγωγών των μετρήσεων της τιμής της βαρύτητας. Βρίσκεται κάτω από το γεωειδές και ανάλογα με τις παραδοχές που θα γίνουν για την κατανομή των μαζών της Γης, αλλάζει και προκύπτει ένα νέο "παρα-γεωειδές".

Μια άλλη επιφάνεια είναι το "τελλουροειδές", το οποίο ο Hirvonen (σχήμα 1.2), ορίζει ως την επιφάνεια, της οποίας τα σημεία απέχουν από ένα γεωκεντρικό ελλειψοειδές αναφοράς όσο η $\Phi.G.E.$ από το γεωειδές. Αντίθετα, ο Molodensky υποστήριξε ότι το "τελλουροειδές" (σχήμα 1.2) είναι μία επιφάνεια που τα σημεία της απέχουν από ένα ελλειψοειδές αναφοράς όσο απέχει η $\Phi.G.E.$ από το "σχεδόν-γεωειδές". Τα δύο αυτά "τελλουροειδή", είναι φανερό πως συμπίπτουν στις θαλάσσιες περιοχές.[Βέης Γ., κ.α., 2008]



Σχήμα 1.2: Σχηματική παρουσίαση των διάφορων επιφανειών αναφοράς.
[Πηγή: Βέης Γ.,κ.α.,2008]

Τέλος, υπάρχει το "ελλειψοειδές υδροστατικής ισορροπίας", το οποίο χρησιμοποιείται σε γεωφυσικές μελέτες και προσεγγίζει την Γη ως μία ρευστή και ομοιογενή μάζα, η οποία βρίσκεται σε υδροστατική ισορροπία και η επιφάνεια της είναι ένα ισοδυναμικό ελλειψοειδές.

1.1.1. Η φυσική γήινη επιφάνεια

Φυσική γήινη επιφάνεια (ΦΓΕ) ονομάζεται η πραγματική επιφάνεια της Γης, η οποία περιλαμβάνει την τοπογραφική επιφάνεια αλλά και την επιφάνεια ή τον πυθμένα των ωκεανών. Η φυσική αυτή επιφάνεια της Γης αποτελείται κατά 72% από νερό και κατά 28% από στεριά. Με την επιφάνεια των ωκεανών ασχολούνται κυρίως η θαλάσσια γεωδαισία και η ωκεανογραφία, ενώ η κλασσική γεωδαισία εστιάζει το ενδιαφέρον της στην ηπειρωτική επιφάνεια.

Είναι γνωστό ότι η επιφάνεια της Γης, αποτελείται από ανομοιογενές υλικό με αποτέλεσμα αυτό να επηρεάζει την συμπεριφορά της. Έτσι, στην προσπάθεια προσδιορισμού του σχήματος και του μεγέθους της Γης, η ΦΓΕ θεωρείται συμπαγής, δημιουργώντας έτσι μία φανταστική επιφάνεια που πλησιάζει τη μέση στάθμη της θάλασσας.

Ο όροι σχήμα και μέγεθος της Γης αναφέρονται στην φυσική και μαθηματική επιφάνειά της και στις διαστάσεις της. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ΦΓΕ είναι πολύ ανώμαλη και για αυτό το λόγο είναι αδύνατο να περιγραφεί από απλές μαθηματικές σχέσεις. Επομένως, όταν απαιτείται μία συνολική παρουσίαση της γήινης επιφάνειας, επιτυγχάνεται με αριθμητικές ή γραφικές μεθόδους (κυρίως υψομετρικές καμπύλες) είτε αναλύοντας την σε σφαιρικές αρμονικές.

1.1.2. Το ελλειψοειδές εκ περιστροφής

Ως ελλειψοειδές εκ περιστροφής ορίζεται η μαθηματική επιφάνεια, η οποία προκύπτει όταν μία έλλειψη περιστραφεί γύρω από τον μικρό της άξονα. Το ελλειψοειδές αυτό μπορεί να οριστεί όταν είναι γνωστά ο

μεγάλος του ημιάξονας a και η επιπλάτυνσή του f ή ο μικρός του ημιάξονας b και η εκκεντρότητα του e .

Το ελλειψοειδές που έχει επικρατήσει στην γεωδαισία και χρησιμοποιείται κυρίως είναι το διαξονικό, διότι γίνονται απλούστεροι οι υπολογισμοί σε σχέση με ένα τριαξονικό ελλειψοειδές, που απαιτεί πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις και κατ' επέκταση πολύπλοκους υπολογισμούς.

Επομένως, οι συντεταγμένες ενός σημείου στο διαξονικό ελλειψοειδές ορίζονται αμφιμονοσήμαντα, με το **γεωδαιτικό πλάτος φ** και το **γεωδαιτικό μήκος λ** του ίχνους της καθέτου από το σημείο ενδιαφέροντος στο ελλειψοειδές, όπως επίσης από το μήκος της καθέτου αυτής, το οποίο ονομάζεται **γεωμετρικό υψόμετρο h** .

Ένα πρόβλημα που προέκυψε και απασχόλησε την γεωδαισία, είναι η εύρεση του ελλειψοειδούς που θα προσαρμόζεται καλύτερα στην πραγματική Γη. Αυτό, όμως, είναι ανέφικτο, διότι σε κάθε περιοχή της Γης το ελλειψοειδές δεν μπορεί να προσαρμοστεί με τον ίδιο τρόπο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, σε άλλες περιοχές το ελλειψοειδές να προσεγγίζει καλύτερα το γεωειδές και σε άλλες όχι.

Το παραπάνω πρόβλημα οδήγησε στην δημιουργία δύο ειδών ελλειψοειδών εκ περιστροφής:

- το γήινο ή γεωκεντρικό ελλειψοειδές
- και το γεωδαιτικό ελλειψοειδές.

Το γήινο ελλειψοειδές είναι εκείνο που έχει ως κέντρο του το κέντρο μάζας της Γης, ο άξονας συμμετρίας του ταυτίζεται με τον άξονα περιστροφής της Γης και προσεγγίζει όσο καλύτερα γίνεται σε διαστάσεις το γεωειδές.

Στο γεωδαιτικό ελλειψοειδές οι διαστάσεις επιλέγονται εκ των προτέρων και το κέντρο του δεν συμπίπτει με το κέντρο μάζας της Γης. Ο μικρός άξονας ορίζεται παράλληλα με τον άξονα περιστροφής της Γης, ενώ

επιδιώκεται η ταύτιση του όσο το δυνατόν καλύτερα με το γεωειδές για την περιοχή που ενδιαφέρει.

Πρέπει, σε αυτό το σημείο, να αναφερθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις, αντί για ένα γεωδαιτικό ελλειψοειδές χρησιμοποιείται γεωκεντρικό ελλειψοειδές, μετατοπισμένο έτσι ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα στο τοπικό γεωειδές της εκάστοτε περιοχής. Αυτό έχει γίνει, για παράδειγμα, κατά τον ορισμό του ελλειψοειδούς αναφοράς του ΕΓΣΑ '87, το οποίο χρησιμοποιεί το γεωκεντρικό ελλειψοειδές GRS 80 μετατοπισμένο, ούτως ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωειδές του ελλαδικού χώρου.

1.1.3. Η σφαίρα

Η σφαίρα είναι σαφώς μία απλούστερη μαθηματική επιφάνεια σε σχέση με το ελλειψοειδές εκ περιστροφής και επομένως περιγράφεται από απλούστερες μαθηματικές σχέσεις και πλησιάζει λιγότερο το γεωειδές σε σύγκριση με το ελλειψοειδές.

Ο ορισμός της γίνεται με κέντρο το κέντρο μάζας της Γης και ακτίνα ίση με τη μέση ακτίνα καμπυλότητας του ελλειψοειδούς. Οι υπολογισμοί πάνω στην επιφάνεια της σφαίρας γίνονται σύμφωνα με τη γνωστή σχέση :

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2 \quad (1.1)$$

Χρησιμοποιείται ως επιφάνεια αναφοράς, κυρίως στην ναυσιπλοΐα και στην χαρτογραφία, όπου και έχει επιφάνεια ίση με αυτήν του ελλειψοειδούς. Για τον λόγο αυτόν καλείται ισοδύναμη σφαίρα του ελλειψοειδούς GRS 80 και έχει ακτίνα ίση με 6371 km.

1.2. Το γεωειδές

1.2.1. Γενικά

Ως γεωειδές ορίζεται η ισοδυναμική επιφάνεια έλξης και περιστροφής της Γης που πλησιάζει την μέση στάθμη της θάλασσας (με ακρίβεια $\pm 1\text{m}$), διορθωμένη από τις επιδράσεις των μεταβολών της πυκνότητας του νερού, των κυμάτων, των παλιρροιών, των ρευμάτων και των ατμοσφαιρικών συνθηκών [Βέης Γ.,κ.α.,2008]. Είναι η επιφάνεια αναφοράς που πλησιάζει περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη την φυσική επιφάνεια της Γης και τις ιδιότητες της.

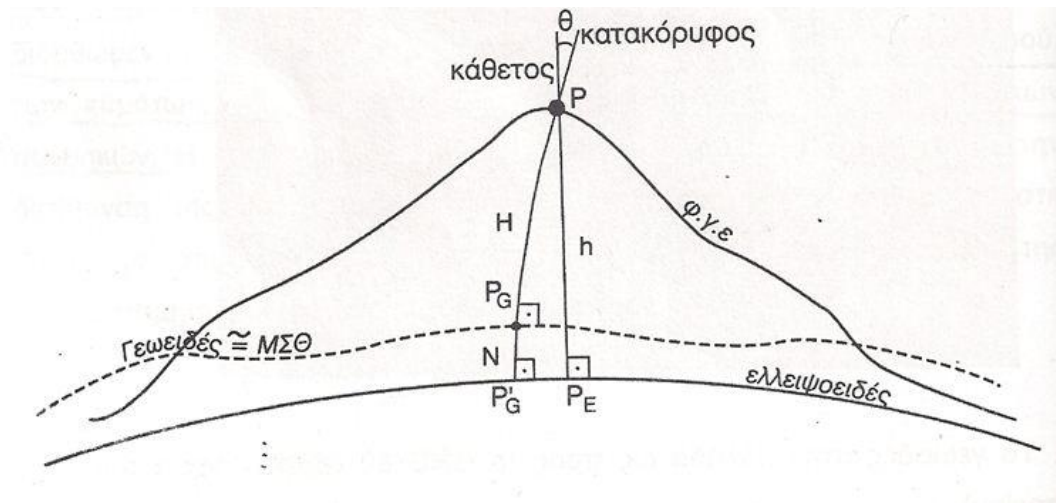
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το γεωειδές είναι η ισοδυναμική επιφάνεια του γήινου πεδίου βαρύτητας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η επιφάνεια του να είναι κάθετη προς την διεύθυνση της βαρύτητας και τα υψόμετρα που αναφέρονται στο γεωειδές να μετρούνται ως προς αυτήν.

Στην πραγματικότητα, όλες οι γεωδαιτικές μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα πάνω στην επιφάνεια της Γης αναφέρονται στο γεωειδές, αλλά έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται μόνο ως επιφάνεια υψομέτρων, λόγω του ότι ο προσδιορισμός απόλυτων και σχετικών θέσεων οριζοντιογραφικά στην επιφάνεια του γεωειδούς απαιτεί πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις.

Το γεωειδές με το ελλειψοειδές και αντίστοιχα το ορθομετρικό υψόμετρο H με το γεωμετρικό h συνδέονται με την σχέση:

$$h = H + N \quad (1.2)$$

Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι το γεωειδές συνδέεται με τη διεύθυνση της κατακορύφου (διεύθυνση βαρύτητας), ενώ το ελλειψοειδές αναφέρεται στην διεύθυνση της καθέτου από το σημείο ενδιαφέροντος σε αυτό. Επομένως, είναι λογικό οι δύο αυτές διευθύνσεις να μην ταυτίζονται και να παρουσιάζουν μία μικρή απόκλιση, δηλαδή μία γωνία θ μεταξύ τους (σχήμα 1.3). Η γωνία αυτή ονομάζεται απόκλιση της κατακορύφου και είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος στην γεωδαισία.



Σχήμα 1.3: Η σχέση του γεωειδούς και του ελλειψοειδούς και η απόκλιση της κατακόρυφου.

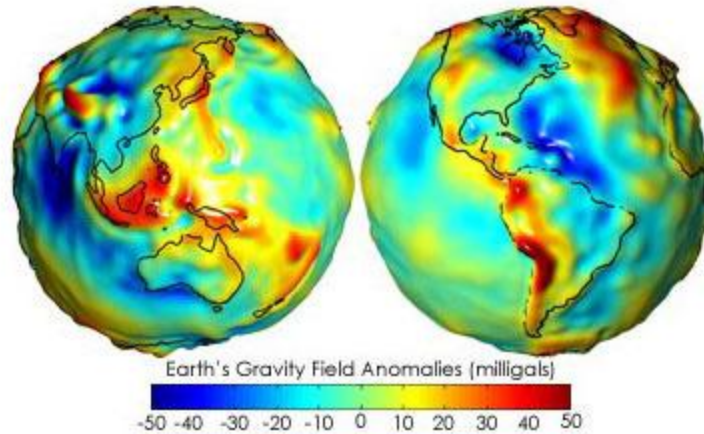
[Πηγή: Βέης Γ., κ.α., 2008]

Η επιφάνεια του γεωειδούς είναι προσαρμοσμένη στη μέση στάθμη της θάλασσας. Αυτό σημαίνει ότι το γεωειδές χαρτογραφεί το 72% της επιφάνειας της Γης, που αποτελείται από νερό, ενώ για την ηπειρωτική επιφάνεια θεωρείται ότι προεκτείνεται κάτω από τις ηπείρους.

Προκύπτει όμως ένα πρόβλημα, σχετικά με την στάθμη της θάλασσας, διότι αυτή μεταβάλλεται συνεχώς, της τάξεως των 10 μέτρων ημερησίως. Μετά από παρατηρήσεις που έγιναν, διαπιστώθηκε ότι η μεταβολή αυτή μειώνεται κατά πολύ σε μηνιαία κλίμακα και ακόμα περισσότερο σε ετήσια. Αυτό οδήγησε στον ορισμό της μέσης στάθμης της θάλασσας ως εξής: "Μ.Σ.Θ. ορίζεται ο μέσος όρος των ωριαίων τιμών της στάθμης της θάλασσας για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, συνήθως ενός έτους". [Βέης Γ., κ.α., 2008]

1.2.2. Μέθοδοι προσδιορισμού του γεωειδούς

Οι μέθοδοι για τον προσδιορισμό του γεωειδούς δεν είναι εύκολοι καθώς απαιτούν μεγάλη προσοχή και συστηματική εργασία λόγω του ότι το γεωειδές είναι μία πολύ ανώμαλη επιφάνεια.



*Εικόνα 1.2: Η ανώμαλη επιφάνεια του γεωειδούς.
[Πηγή: www.google.gr]*

Γενικά, η επιφάνεια του γεωειδούς προσδιορίζεται με μετρήσεις βαρύτητας ή αστρογεωδαιτικές παρατηρήσεις είτε με την βοήθεια των τεχνητών δορυφόρων. Οι παρατηρήσεις-μετρήσεις αυτές αποτελούν τα πρωτογενή δεδομένα, τα οποία μετά από κατάλληλη επεξεργασία θα οδηγήσουν στην δημιουργία ενός μοντέλου γεωειδούς. Τα δεδομένα αυτά, σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται άμεσα, ενώ σε άλλες χρησιμοποιούνται μετά από κατάλληλη συνόρθωση και φιλτράρισμα.

Οι βασικότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό μοντέλων γεωειδούς είναι:

- πολυωνυμικές μέθοδοι,
- μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα,
- μέθοδος των συναρτήσεων της αντίστροφης απόστασης.

Η πιο κοινή μέθοδος είναι η πολυωνυμική, η οποία εκφράζει αναλυτικά την επιφάνεια του γεωειδούς. Είναι πολύ χρήσιμη για να ανιχνεύονται οι χαρακτηριστικές τάσεις στα διαθέσιμα δεδομένα του γεωειδούς, ανάλογα με την τάξη q και τον βαθμό p του πολυωνυμικού μοντέλου που επιλέγεται. Το πολυωνυμικό αυτό μοντέλο μπορεί να είναι μία απλή επίπεδη επιφάνεια, μία

διγραμμική επιφάνεια, μία επιφάνεια δευτέρου βαθμού κ.α.[Δεληκαράογλου Δ.,2007]

Η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα θεωρεί την επιφάνεια του γεωειδούς διαιρεμένη σε μικρά τμήματα, τα οποία περιγράφονται από διαφορετικές συναρτήσεις. Σε κάθε σημείο, το υψόμετρο του γεωειδούς προσδιορίζεται από τα κοντινότερα διαθέσιμα σημεία αναφοράς του γεωειδούς που περιλαμβάνονται. Συνήθως χρησιμοποιείται η συνάρτηση της απλής επίπεδης επιφάνειας ή άλλου χαμηλού βαθμού επιφάνεια. [Δεληκαράογλου Δ.,2007]

Τέλος, στη μέθοδο των συναρτήσεων της αντίστροφης απόστασης, το υψόμετρο του γεωειδούς υπολογίζεται από τα πλησιέστερα διαθέσιμα σημεία αναφοράς του, τα οποία περιλαμβάνονται σε ένα κύκλο ή μία έλλειψη προκαθορισμένης απόστασης από το σημείο ενδιαφέροντος. Οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται είναι επιλεγμένου βαθμού συναρτήσεις του αντίστροφου της απόστασης του σημείου ενδιαφέροντος από τα γύρω διαθέσιμα σημεία αναφοράς. [Δεληκαράογλου Δ.,2007]

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι οποιαδήποτε μέθοδος κι αν χρησιμοποιείται, θα πρέπει τα μοντέλα του γεωειδούς να είναι ρεαλιστικά, καλά ρυθμισμένα στις παραλλαγές της επιφάνειας του γεωειδούς στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος και να δίνουν την δυνατότητα για εύκολη παρεμβολή.

1.2.3. Παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς

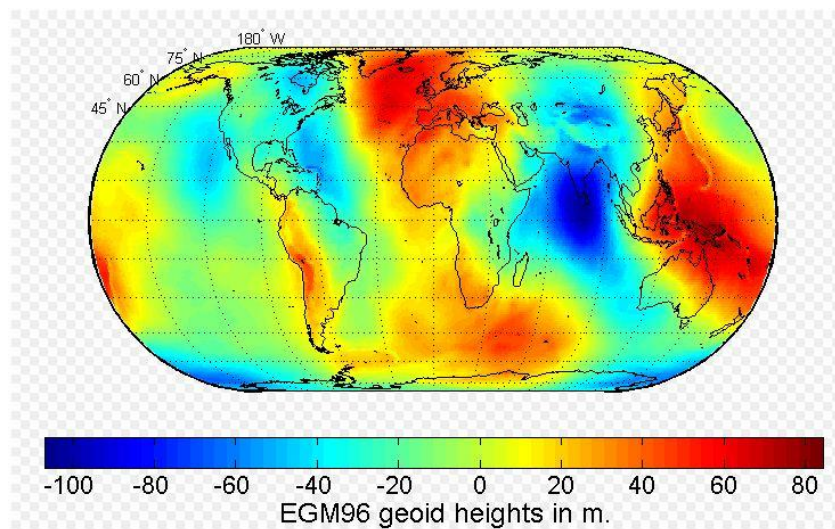
Όταν γίνεται λόγος για μοντέλα παγκοσμίου κλίμακας, ουσιαστικά τα μοντέλα αυτά είναι σφαιρικών αρμονικών, που περιγράφουν με ικανοποιητική ακρίβεια το πεδίο βαρύτητας της Γης. Διάφορα τέτοια μοντέλα έχουν δημιουργηθεί κατά καιρούς, άλλα με επίγειες μεθόδους σε συνδυασμό με δορυφορικά δεδομένα και άλλα από δεδομένα που προέκυψαν από ειδικές δορυφορικές αποστολές.

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται περισσότερο και είναι πιο γνωστά, είναι αυτά που έχουν δημιουργηθεί από μοντέλα του γήινου δυναμικού με σφαιρικούς αρμονικούς συντελεστές. Η ακρίβεια με την οποία τέτοια μοντέλα περιγράφουν το βαρυτικό πεδίο της Γης, εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό και την τάξη των αναπτυγμάτων τους.

Τα δύο σημαντικότερα και γνωστότερα μοντέλα σφαιρικών αρμονικών που έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια είναι το **EGM96** και το **EGM2008**.

Το EGM96 (Earth Geopotential Model 1996), (εικόνα 1.3) είναι ένα γεωδυναμικό μοντέλο της Γης. Δημιουργήθηκε από την συνεργασία τριών φορέων, της Εθνικής Χαρτογραφικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α. (National Imagery and Mapping Agency-NIMA), της NASA και του πανεπιστημίου του Οχάιο (Ohio State University-OSU).

Χρησιμοποιεί σφαιρικούς αρμονικούς συντελεστές, βαθμού και τάξης 360, όπως επίσης δεδομένα δορυφορικής αλτιμετρίας από τον δορυφόρο ERS-1 και την δορυφορική αποστολή Geosat. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει τη δυνατότητα να αποδώσει χαρακτηριστικά μήκη κύματος του γεωειδούς περίπου μέχρι 55km. Η απόλυτη ακρίβεια που μπορεί να δώσει είναι της τάξης του ± 1 m. [<http://cddis.nasa.gov/926/egm96/nasatm.html>]

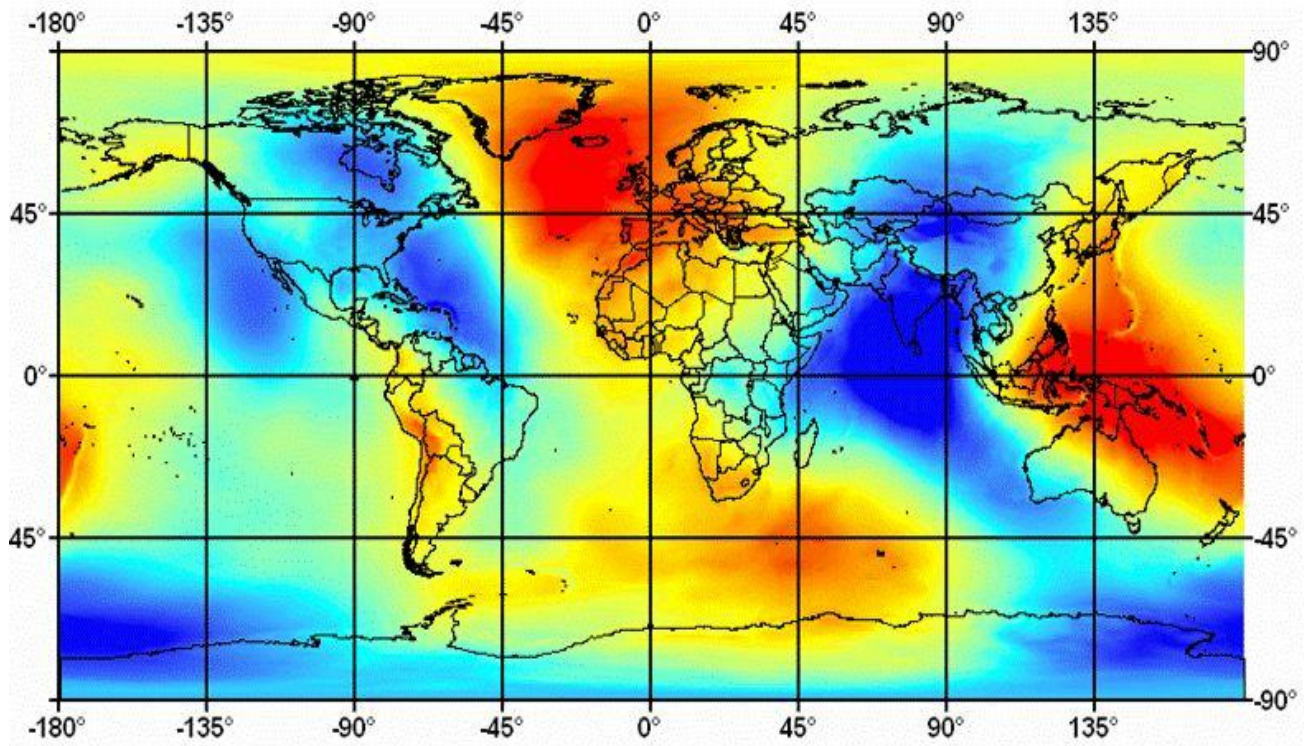


*Εικόνα 1.3: Το μοντέλο γεωειδούς EGM96.
[Πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/EGM96>]*

Το EGM08 (Earth Geopotential Model 2008), (εικόνα 1.4) είναι το πιο πρόσφατο μοντέλο γεωειδούς που δημιουργήθηκε. Υπεύθυνοι για την δημιουργία αυτού του μοντέλου είναι η Εθνική Υπηρεσία Γεωστατικών Πληροφοριών των Η.Π.Α. (National Geospatial-Intelligence Agency/NGA).

Χρησιμοποιεί επίσης αρμονικούς σφαιρικούς συντελεστές, πολύ μεγαλύτερου βαθμού και τάξης από το EGM96, αφού είναι πλήρες με 2159 βαθμό και τάξη. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αποδώσει πολύ καλύτερη ακρίβεια σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο.

Είναι ένα μοντέλο που καλύπτει όλη την επιφάνεια της Γης και με την δημιουργία του προστίθεται ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στην παγκόσμια υποδομή της γεωδαισίας και στην προσπάθεια που γίνεται για την κατανόηση και καταγραφή της συμπεριφοράς της επιφάνειας της Γης, σε παγκόσμια κλίμακα.



Εικόνα 1.4: Το μοντέλο γεωειδούς EGM08.

[Πηγή: <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008.html>]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ

2.1. Ιστορικά στοιχεία

Δορυφορικός εντοπισμός ονομάζεται ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου, με την μέτρηση προς δορυφόρους. Το είδος αυτό, των μετρήσεων, αποτελεί αντικείμενο της λεγόμενης δορυφορικής γεωδαισίας.

Η αρχή για την ανάπτυξη του δορυφορικού εντοπισμού και γενικότερα της δορυφορικής γεωδαισίας έγινε τον Οκτώβριο του 1957, με την εκτόξευση του πρώτου τεχνητού δορυφόρου με το όνομα Sputnik I (εικόνα 2.1), από την τότε Σοβιετική Ένωση.



*Εικόνα 2.1: Ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος, Sputnik 1.
[Πηγή: www.google.gr]*

Στην συνέχεια, η εξέλιξη ήταν ραγδαία, με την δημιουργία του πρώτου συστήματος δορυφόρων πλοήγησης από τις Η.Π.Α., με το όνομα TRANSIT. Το σύστημα αυτό εγκαινιάστηκε στις 13 Απριλίου 1960, με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου και ολοκληρώθηκε το 1964. Η δημιουργία του οφείλεται σε στρατιωτικούς λόγους αλλά από το 1967 και μετά, απέκτησε επιπλέον και πολιτική χρήση.

Το μεγάλο βήμα έγινε από τις Η.Π.Α. στα μέσα της δεκαετίας του 1980, όταν και πάλι για στρατιωτικούς σκοπούς, αναπτύχθηκε το γνωστό σε όλους δορυφορικό σύστημα εντοπισμού NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging, Global Positioning System). Εκτός από την στρατιωτική χρήση, το σύστημα αυτό απέκτησε αργότερα και έχει πλέον πολύ διαδεδομένη χρήση για γεωδαιτικούς σκοπούς.

Το σύστημα NAVSTAR GPS συνεχώς αναβαθμίζεται και στο άμεσο μέλλον αναμένεται μία σημαντική αναβάθμιση σε περισσότερες διαθέσιμες συχνότητες εκπομπής σήματος και κωδικούς, για πολιτική χρήση.

Όμως, το παραπάνω σύστημα που ανέπτυξαν οι Η.Π.Α. δεν είναι το μοναδικό σύστημα δορυφορικού εντοπισμού. Υπάρχουν αρκετά άλλα τέτοια συστήματα, τα οποία βρίσκονται υπό ανάπτυξη και αναμένεται να τεθούν σε πλήρη λειτουργία στο άμεσο μέλλον.

Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι το ρωσικό δορυφορικό σύστημα με την ονομασία GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) και το ευρωπαϊκό σύστημα που ονομάζεται GALILEO, το οποίο μάλιστα έχει καθαρά πολιτικό χαρακτήρα. Τα δύο αυτά συστήματα είναι ακόμη υπό βελτίωση και ανάπτυξη και η έναρξη της πλήρους λειτουργίας τους αναμένεται με μεγάλη αγωνία στον τομέα της δορυφορικής γεωδαισίας.

Άλλα, επίσης σημαντικά, συστήματα δορυφορικού εντοπισμού είναι τα ακόλουθα:

- το COMPASS από την Κίνα, το οποίο είναι γνωστό ως Beidou-1 και θα αποτελείται από 35 συνολικά δορυφόρους, από τους οποίους οι 5 βρίσκονται ήδη σε τροχιά,
- το ιαπωνικό QZSS που στοχεύει σε ένα σύστημα 30 δορυφόρων από τους οποίους λειτουργούν ήδη οι 3 και
- τέλος, το δορυφορικό σύστημα από την Ινδία με όνομα IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System), από το οποίο έχουν εκτοξευθεί οι 7 από τους συνολικά 20 δορυφόρους που το αποτελούν. [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

2.2. Βασικές αρχές λειτουργίας

Ο δορυφορικός προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου είναι όμοιος με μία πλευρική οπισθοτομία στο χώρο. Τα γνωστά σημεία είναι οι δορυφόροι, οι οποίοι λειτουργούν ως τριγωνομετρικά σημεία τα οποία κινούνται, ενώ τα άγνωστα σημεία είναι οι δέκτες GPS. Οι παρατηρήσεις είναι οι αποστάσεις μεταξύ των δορυφόρων και των κεραιών των δεκτών.

Για να προσδιοριστούν οι αποστάσεις αυτές θα πρέπει να μετρηθεί ο χρόνος που χρειάζεται το σήμα για να ταξιδέψει από τον δορυφόρο και να φτάσει στον δέκτη. Για αυτήν την μέτρηση, οι δορυφόροι και ο δέκτης είναι εξοπλισμένοι με χρονόμετρα. Επίσης, θα πρέπει να είναι γνωστές οι ακριβείς θέσεις των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά, κάθε χρονική στιγμή, άρα θα πρέπει να είναι γνωστές οι συντεταγμένες τους, κάθε χρονική στιγμή, στο παγκόσμιο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (WGS '84).

Εκτός από τα παραπάνω, θα πρέπει να γίνουν κάποιες διορθώσεις για καθυστερήσεις στο σήμα, λόγω του ότι αυτό διέρχεται μέσα από διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας (ιονόσφαιρα, τροπόσφαιρα κλπ.) όπως επίσης μπορεί να ακολουθήσει τυχαίες πολλαπλές διαδρομές και να υποστεί ανακλάσεις. Ακόμα, είναι σίγουρο ότι τα χρονόμετρα των δορυφόρων και του δέκτη δεν μπορεί να είναι τέλεια συγχρονισμένα, οπότε θα πρέπει γίνει άλλη μία διόρθωση για τέτοιου είδους σφάλματα.

Αφού γίνουν όλα τα προηγούμενα, η θέση του αγνώστου σημείου ορίζεται γεωμετρικά ως η τομή σφαιρών που έχουν κέντρα τους αντίστοιχους δορυφόρους και ακτίνα ίση με την απόσταση που μετράται. Η κάθε σφαίρα αντιστοιχεί σε έναν δορυφόρο, επομένως από όσους δορυφόρους μετράται η απόσταση, τόσες θα είναι και οι σφαίρες. Από την τομή δύο σφαιρών προκύπτει μία καμπύλη, η οποία αν τμηθεί με μία ακόμη σφαίρα, θα δώσει ως αποτέλεσμα 2 σημεία. Από τα 2 αυτά σημεία, εκείνο που βρίσκεται κοντά στη Γη είναι και το ζητούμενο.

Εφόσον το ζητούμενο σημείο έχει συντεταγμένες X, Y και Z , είναι επόμενο να απαιτούνται τουλάχιστον 3 δορυφόροι (δηλαδή μέτρηση 3

αποστάσεων) για τον προσδιορισμό του. Προηγουμένως, αναφέρθηκε η μέτρηση του χρόνου που απαιτείται να γίνει, για τον υπολογισμό της απόστασης, επομένως προστίθεται άλλος ένας άγνωστος που πρέπει να προσδιοριστεί για να συγχρονιστεί το ρολόι του δορυφόρου με αυτό του δέκτη. Έτσι, για να δημιουργηθεί ένα σύστημα 4 εξισώσεων που θα μπορούν να υπολογίσουν 4 αγνώστους, απαιτείται η μέτρηση από έναν ακόμα δορυφόρο. Οπότε για τον προσδιορισμό της θέσης ενός άγνωστου σημείου με δορυφορικό εντοπισμό απαιτούνται τουλάχιστον 4 δορυφόροι.

Βέβαια, όσο περισσότεροι δορυφόροι περιλαμβάνονται στην διαδικασία μέτρησης, τόσο το καλύτερο. Αυτό, όπως είναι φυσικό, συμβαίνει διότι με την χρησιμοποίηση περισσότερων δορυφόρων, δημιουργούνται ακόμη περισσότερες εξισώσεις, με αποτέλεσμα να προκύπτουν ακριβέστερα αποτελέσματα.

Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται το μήκος δέκτη-δορυφόρου είναι η ακόλουθη:

$$(X-X_{\delta op})^2 + (Y-Y_{\delta op})^2 + (Z-Z_{\delta op})^2 = (c \cdot \Delta t - c \cdot \Delta T)^2 \quad (2.1)$$

X, Y, Z : οι συντεταγμένες του ζητούμενου σημείου στο γεωκεντρικό καρτεσιανό σύστημα αναφοράς

$X_{\delta op}, Y_{\delta op}, Z_{\delta op}$: οι συντεταγμένες του δορυφόρου στο γεωκεντρικό καρτεσιανό σύστημα αναφοράς

c : η ταχύτητα του φωτός (= 299.792.458 m/s)

Δt : η χρονική διαφορά μεταξύ εκπομπής και λήψης του σήματος

ΔT : το σφάλμα συγχρονισμού του χρονομέτρου του δέκτη και του δορυφόρου.

Το μέγεθος που περιλαμβάνεται στην εξίσωση και αποτελεί τον τέταρτο άγνωστο είναι το σφάλμα συγχρονισμού ΔT . Ο όρος $c \cdot \Delta t$ καλείται ψευδοαπόσταση R και το μέγεθος $c \cdot \Delta t - c \cdot \Delta T$, όπως είναι φανερό από την εξίσωση, είναι το ζητούμενο μήκος μεταξύ δέκτη και δορυφόρου.

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z ή οι γεωδαιτικές συντεταγμένες φ, λ, h των ζητούμενων σημείων, αρχικά υπολογίζονται στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS '84, επειδή σε αυτό το σύστημα είναι

γνωστές οι συντεταγμένες των δορυφόρων. Φυσικά, αν τα σημεία ζητούνται σε κάποιο άλλο σύστημα αναφοράς, πρέπει να εφαρμοστούν οι απαραίτητοι μετασχηματισμοί και να προκύψει το αποτέλεσμα που ζητείται.

2.3. Μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού

Ο δορυφορικός προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου γίνεται με διάφορους τρόπους, οι οποίοι εξαρτώνται κυρίως από την επιδιωκόμενη ακρίβεια, την διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων και την χρονική διάρκεια των εργασιών υπαίθρου.

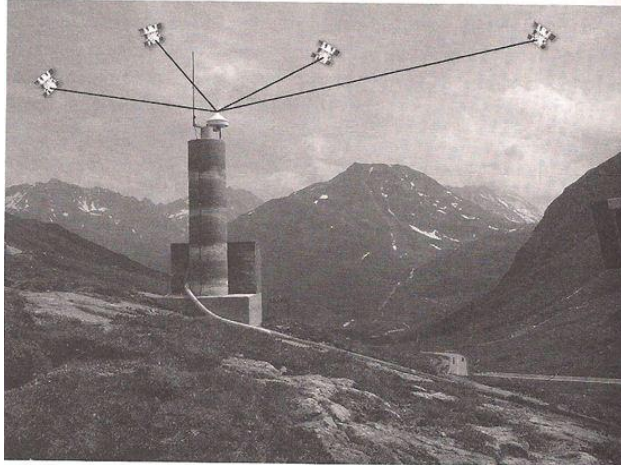
Όσον αφορά την ακρίβεια του προσδιορισμού των συντεταγμένων που απαιτείται, υπάρχουν δύο κατηγορίες δορυφορικού εντοπισμού, οι οποίες είναι οι παρακάτω:

- *ο απόλυτος εντοπισμός θέσης,*
- *ο σχετικός εντοπισμός θέσης.*

2.3.1. Απόλυτος εντοπισμός θέσης

Στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης, οι παρατηρήσεις γίνονται ακριβώς όπως αυτές αναφέρονται στις βασικές αρχές λειτουργίας (σχήμα 2.1). Η μέθοδος αυτή του δορυφορικού εντοπισμού, μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές ναυσιπλοΐας, είτε εκ των υστέρων, βελτιώνοντας λίγο την ακρίβεια του προσδιορισμού.

Σε αυτήν την μέθοδο, η αβεβαιότητα είναι αρκετά μεγάλη, της τάξης των μερικών μέτρων. Κυμαίνεται από $\pm 20-30\text{m}$, όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία του τυπικού απόλυτου προσδιορισμού, ενώ είναι περίπου $2-15\text{ m}$, όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία του ακριβή απόλυτου προσδιορισμού. Προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μόνο δέκτη και από τις παρατηρήσεις του δέκτη αυτού προκύπτουν οι συντεταγμένες του ζητούμενου σημείου. Λόγω της περιορισμένης ακρίβειας της μεθόδου, η χρήση της είναι περιορισμένη και ακατάλληλη για γεωδαιτικές εφαρμογές.

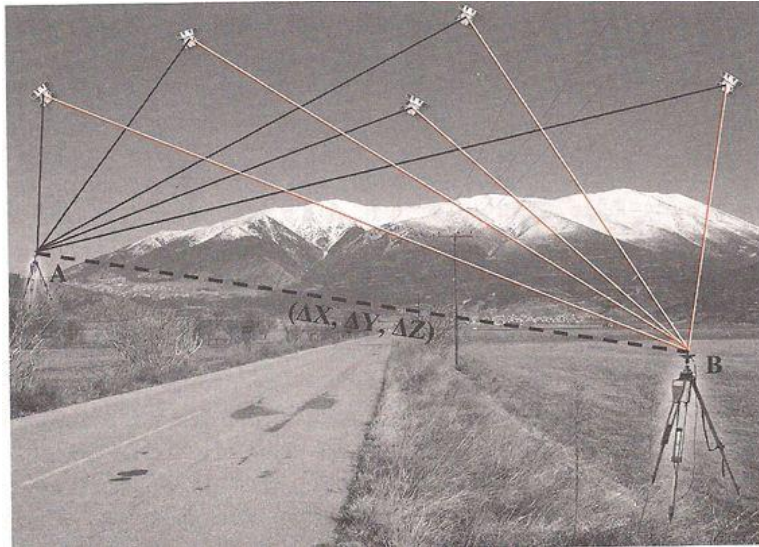


*Σχήμα 2.1: Ο απόλυτος εντοπισμός θέσης.
[Πηγή: Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., 2006]*

2.3.2. Σχετικός εντοπισμός θέσης

Ο σχετικός προσδιορισμός θέσης σημείου απαιτεί την ύπαρξη δύο δεκτών τουλάχιστον, όπου ο ένας είναι τοποθετημένος στο άγνωστο σημείο και ο άλλος σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων. Μπορεί να παρομοιαστεί με ένα τριπλευρικό δίκτυο στο χώρο, με γνωστά σημεία τους δορυφόρους και άγνωστα τα σημεία όπου έχουν τοποθετηθεί οι δέκτες (σχήμα 2.2). Στον εντοπισμό αυτό δεν προσδιορίζονται οι συντεταγμένες του σημείου ενδιαφέροντος, αλλά η βάση (baseline) μεταξύ του αγνώστου σημείου και του σημείου γνωστών συντεταγμένων. Αφού επιλύεται η βάση αυτή, δηλαδή υπολογίζονται οι διαφορές συντεταγμένων ΔX , ΔY , ΔZ μεταξύ των δύο αυτών σημείων, τότε μπορούν να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες του ζητούμενου σημείου. Ο δέκτης που τοποθετείται στο γνωστό σημείο ονομάζεται δέκτης αναφοράς (base receiver) και μένει σταθερός στο σημείο αυτό για όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων. Ο άλλος δέκτης ονομάζεται κινούμενος (rover receiver) και παραμένει στο σημείο ενδιαφέροντος για όσο χρόνο απαιτείται για την σωστό προσδιορισμό των συντεταγμένων του σημείου. Στην συνέχεια, μπορεί να μετακινηθεί και να τοποθετηθεί σε ένα άλλο σημείο και ούτω καθεξής. Η

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



Σχήμα 2.2: Ο σχετικός προσδιορισμός θέσης σημείου.
[Πηγή: Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., 2006]

2.3.3. Άλλες μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού

Μία άλλη διάκριση των μεθόδων του δορυφορικού εντοπισμού, η οποία συνδέεται με την διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων, διαμορφώνει τις ακόλουθες κατηγορίες:

- δορυφορικός εντοπισμός με προσδιορισμό των συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο (*real time positioning*), δηλαδή οι συντεταγμένες του σημείου ενδιαφέροντος υπολογίζονται στο πεδίο, κατά την εκτέλεση των μετρήσεων.
- δορυφορικός εντοπισμός με εκ των υστέρων προσδιορισμό των συντεταγμένων, κατά την επεξεργασία των μετρήσεων στο γραφείο. Η μέθοδος αυτή οδηγεί σε ακριβέστερα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο.

Σχετικά με την κίνηση ή μη των δεκτών κατά την διάρκεια των μετρήσεων, προκύπτουν οι κατηγορίες:

- *στατικός εντοπισμός*, στον οποίο ο δέκτης παραμένει σταθερός στο σημείο, για όσο χρόνο απαιτείται,
- *κινηματικός εντοπισμός*, όπου ο δέκτης κινείται από σημείο σε σημείο καταγράφοντας μετρήσεις. Η κατηγορία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό συντεταγμένων ταχυμετρικών σημείων, για την αποτύπωση μίας περιοχής.

2.3.4. Μέθοδοι σχετικού δορυφορικού εντοπισμού

Αναφέρθηκε προηγουμένως, ότι για γεωδαιτικές εφαρμογές χρησιμοποιείται η μέθοδος του σχετικού εντοπισμού, λόγω της μικρότερης αβεβαιότητας που επιτυγχάνεται. Για το λόγο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις, σε κάθε περίπτωση, των διαφόρων γεωδαιτικών εργασιών, αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι σχετικού εντοπισμού. Οι κυριότερες από αυτές τις μεθόδους είναι οι ακόλουθες.

- Η μέθοδος του *σχετικού στατικού εντοπισμού (Static)*. Ο δεύτερος δέκτης (rover), στην μέθοδο αυτή, παραμένει ακίνητος στο άγνωστο σημείο, κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων προς τους δορυφόρους, για κάποιο χρονικό διάστημα. Το διάστημα αυτό ορίζεται, συνήθως, κατά τον προγραμματισμό των μετρήσεων και κυμαίνεται από 20 λεπτά έως αρκετές ώρες ή ακόμη και μέρες, ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια των μετρήσεων, το μέγεθος της βάσης, τον αριθμό των δορυφόρων κλπ. Η μέθοδος αυτή μπορεί να επιτύχει ακρίβειες της τάξης των μερικών χιλιοστών (mm).
- Η μέθοδος του *σχετικού γρήγορου στατικού εντοπισμού (fast static)*. Σε αυτή τη μέθοδο, ο κινούμενος δέκτης μένει στο άγνωστο σημείο για περιορισμένο χρονικό διάστημα, από 5 έως 20 λεπτά συνήθως, ανάλογα με το μέγεθος της βάσης. Η ακρίβεια που

μπορεί να επιτευχθεί είναι της τάξης των μερικών εκατοστών (cm).

- Η μέθοδος του *σχετικού ημικινηματικού εντοπισμού (stop and go kinematic)*. Στην μέθοδο αυτή, ο δεύτερος δέκτης πηγαίνει από σημείο σε σημείο, μένοντας σε κάθε ένα από αυτά για μερικά δευτερόλεπτα, συνήθως 10 έως 30. Για να επιτευχθεί καλύτερη ακρίβεια, ο δέκτης επιστρέφει στα άγνωστα σημεία συλλέγοντας παρατηρήσεις με άλλη γεωμετρία δορυφόρων. Η τελική ακρίβεια που μπορεί να επιτύχει η συγκεκριμένη μέθοδος είναι της τάξης των μερικών εκατοστών (cm).
- Η μέθοδος του *σχετικού κινηματικού εντοπισμού (kinematic)*. Ο δεύτερος δέκτης, στη μέθοδο του κινηματικού εντοπισμού, αλλάζει γρήγορα θέση και συνήθως είναι εγκατεστημένος σε κάποιο όχημα, σε πλοίο, σε αεροπλάνο κλπ. Καταγράφει μετρήσεις ανά 1 ή 2 δευτερόλεπτα ή κάποιες φορές και με ταχύτερο ρυθμό. Η αβεβαιότητα της μεθόδου αυτής είναι της τάξης των μερικών εκατοστών (cm).

Βέβαια, οι μέθοδοι που περιγράφονται παραπάνω, είναι μόνο μερικές από αυτές που μπορούν να προκύψουν. Το σύστημα GPS δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να επιλέξουν διάφορους συνδυασμούς μεθόδων, ούτως ώστε να επιτύχουν τις ακρίβειες που απαιτούν οι εφαρμογές που καλούνται να φέρουν εις πέρας.

2.4. Είδη μετρήσεων

Η λήψη και η επεξεργασία του σήματος που στέλνει ένας δορυφόρος είναι διαδικασίες αρκετά πολύπλοκες και απαιτούν πολύ καλές και εξειδικευμένες γνώσεις.

Η δομή του δορυφορικού σήματος αποτελείται από δύο φορείς, τις συχνότητες L1 και L2, που διαμορφώνονται από δύο κώδικες PRN και ένα

μήνυμα ναυσιπλοΐας. Οι δύο κώδικες PRN είναι ο κώδικας C/A και ο κώδικας P, αντίστοιχα.

Οι παρατηρήσεις με το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με το που αυτές λαμβάνουν χώρα. Όταν οι μετρήσεις γίνονται στους κώδικες δίνουν *παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης*, ενώ όταν γίνονται στους φορείς δίνουν *παρατηρήσεις φάσης*. Αυτές είναι οι δύο μεγάλες κατηγορίες παρατηρήσεων με το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού.

2.4.1. Μέτρηση ψευδοαπόστασης

Στις αρχές λειτουργίας του δορυφορικού εντοπισμού, αναφέρθηκε ότι ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου με την μέθοδο αυτή βασίζεται στον υπολογισμό της απόστασης του δέκτη και του δορυφόρου. Η απόσταση αυτή μπορεί να υπολογιστεί με την μέτρηση του χρόνου που κάνει το σήμα από τον πομπό του δορυφόρου να φτάσει στον δέκτη.

Το μήκος δίνεται από την γνωστή σχέση της φυσικής:

$$\text{μήκος} = \text{ταχύτητα} * \text{χρόνος} \quad (2.2)$$

Η ταχύτητα είναι γνωστή και ίση με την ταχύτητα του φωτός στο κενό, δηλαδή ισούται με $c = 299.792.458$ m/s. Αφού είναι γνωστή η τιμή της ταχύτητας, αυτό που μένει για να προσδιοριστεί το ζητούμενο μήκος, είναι η μέτρηση του χρόνου. Ο χρόνος αυτός αναφέρεται στην χρονική διάρκεια από την στιγμή της εκπομπής του σήματος από τον δορυφόρο (t_E) μέχρι την στιγμή που θα γίνει η λήψη του σήματος από τον επίγειο δέκτη (t_A). Τελικά, η εξίσωση που οδηγεί στον προσδιορισμό του μήκους αυτού είναι:

$$R = c \cdot (t_A - t_E) \quad (2.3)$$

Το μήκος αυτό R , καλείται ψευδοαπόσταση, διότι δεν ταυτίζεται με το πραγματικό μήκος μεταξύ του δέκτη που βρίσκεται στην ΦΓΕ και του δορυφόρου. Αυτό συμβαίνει για τους εξής 3 σημαντικούς λόγους:

- 1) το χρονόμετρο του δέκτη δεν είναι τέλεια συγχρονισμένο με τα ατομικά χρονόμετρα που διαθέτουν οι δορυφόροι,

- 2) το σήμα, για να φτάσει από τον δορυφόρο στον δέκτη, διέρχεται μέσα από διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας (ιονόσφαιρα, τροπόσφαιρα), με αποτέλεσμα να έχει υποστεί διάφορες καθυστερήσεις,
- 3) μέχρι να γίνει η λήψη του σήματος από τον δέκτη, αυτό παθαίνει διάφορες τυχαίες ανακλάσεις σε άλλες επιφάνειες (multipath).

Οι παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης γίνονται στους κώδικες C/A (Coarse Acquisition code ή Clear Access) και P (Precise ή Protected) του δορυφορικού σήματος.

Ο κώδικας C/A βρίσκεται σε ελεύθερη χρήση και μεταφέρεται στην συχνότητα L1, ενώ ο κώδικας P διατίθεται μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες και μεταφέρεται και στις δύο συχνότητες L1 και L2 του δορυφορικού σήματος.

Ο προσδιορισμός θέσης σημείου με παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής. Όταν η μέτρηση γίνεται στον κώδικα C/A, η αβεβαιότητα δεν μπορεί να είναι καλύτερη από $\pm 3\text{m}$, ενώ όταν αυτή γίνεται στον κώδικα P, τότε η ακρίβεια της μπορεί να φτάσει τα $\pm 30\text{cm}$.

Τα τελευταία χρόνια, έχει ξεκινήσει μία προσπάθεια, ούτως ώστε να προστεθεί ένας νέος και αναβαθμισμένος κώδικας με όνομα L2C. Ο κώδικας αυτός θα μεταφέρεται στην συχνότητα L2 και θα δίνει την δυνατότητα διόρθωσης της επίδρασης της ιονόσφαιρας, σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που οδηγεί σε βελτίωση της ακρίβειας του προσδιορισμού της θέσης ενός αγνώστου σημείου.

2.4.2. Μέτρηση φάσης του φέροντος κύματος

Όταν οι παρατηρήσεις γίνονται στους δύο φορείς, L1 και L2, του δορυφορικού σήματος, τότε προκύπτουν μετρήσεις φάσεις του φέροντος κύματος.

Οι φορείς του δορυφορικού σήματος αναφέρονται σε δύο συχνότητες της ζώνης L του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με τις παρακάτω τιμές:

- η L1 έχει συχνότητα στα 1575.42 MHz,
- η L2 έχει συχνότητα στα 1227.60 MHz

Με την μέτρηση της φάσης του φέροντος κύματος, ο προσδιορισμός του μήκους μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη γίνεται συναρτήσεως των μετρούμενων κύκλων φάσης του μήκους κύματος λ του δορυφορικού σήματος. Το μήκος κύματος λ για την συχνότητα L1 ισούται με $\lambda_1=19.029$ cm, ενώ για την συχνότητα L2 είναι ίσο με $\lambda_2=24.421$ cm.

Οι δέκτες του συστήματος GPS έχουν την δυνατότητα να μετρούν με ακρίβεια τη στιγμιαία κλασματική φάση του φέροντος κύματος τη στιγμή της λήψης του σήματος, όμως δεν μπορούν να μετρήσουν τον ακέραιο αριθμό κύκλων που μεσολαβούν από τον δορυφόρο στον δέκτη. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να προστεθεί ο ακέραιος αριθμός n των μηκών κύματος, στο μέγεθος που έχει μετρηθεί. Ο ακέραιος αυτός αριθμός n ονομάζεται *ασάφεια φάσης* και είναι από τα σημαντικότερα μεγέθη στις παρατηρήσεις με μέτρηση συνεχούς φάσης του κύματος.

Η ασάφεια φάσης προσδιορίζεται μέσα από την επίλυση συστημάτων εξισώσεων που προκύπτουν από τις παρατηρήσεις και περιλαμβάνουν αρκετές ακόμα παραμέτρους, όπως είναι τα σφάλματα και οι διαφορές χρονομέτρων δορυφόρων και δεκτών, καθυστερήσεις σήματος λόγω ιονόσφαιρας και τροπόσφαιρας κλπ.

Ο προσδιορισμός συντεταγμένων ενός αγνώστου σημείου, με μέτρηση της συνεχούς φάσης του φέροντος κύματος είναι ακριβέστερος από αυτόν με μέτρηση της ψευδοαπόστασης. Η ακρίβεια της μεθόδου αυτής μπορεί να φτάσει από λίγα εκατοστά (cm) έως λίγα χιλιοστά (mm).

Πρόσφατα, προστέθηκε μία νέα συχνότητα στις ήδη υπάρχουσες δύο, η συχνότητα L5, η οποία έχει ως στόχο την βελτίωση της ακρίβειας του απόλυτου προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο σε τιμές της τάξης του $\pm 1-3$ m.

Τέλος, ο εντοπισμός με μέτρηση της φέρουσας φάσης, χρησιμοποιείται αποκλειστικά στον σχετικό προσδιορισμό θέσης στις εφαρμογές της γεωδαισίας.

2.5. Δορυφορικά συστήματα εντοπισμού

Υπάρχουν διάφορα συστήματα δορυφορικού εντοπισμού, τα οποία έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς από διαφορετικές χώρες. Τα σημαντικότερα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί είναι το σύστημα GPS, το σύστημα Glonass και το σύστημα Galileo.

2.5.1. Το σύστημα GPS

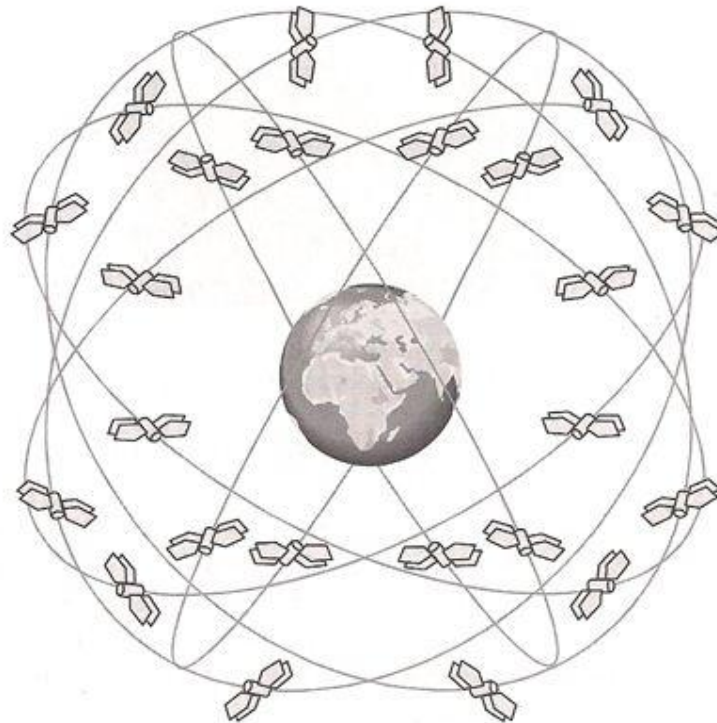
Το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε με ευθύνη του υπουργείου άμυνας των ΗΠΑ στη δεκαετία του 1970, έχοντας ως σκοπό να καλύψει στρατιωτικές ανάγκες ναυσιπλοΐας. Αποτελεί ένα σύστημα που μπορεί να καλύψει τις ανάγκες εντοπισμού σε οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες, οποιαδήποτε ώρα της ημέρας σε απεριόριστο αριθμό χρηστών.

Πρόγονος του συστήματος αυτού ήταν το σύστημα TRANSIT, του οποίου η αδυναμία να καλύψει όλες τις ανάγκες, λόγω του μικρού αριθμού δορυφόρων που διέθετε, οδήγησε στην ανάγκη δημιουργίας του. Η εκτόξευση των δορυφόρων του συστήματος GPS ξεκίνησε το 1978 και αυτό οδήγησε στην κατασκευή των πρώτων δεκτών GPS, οι οποίοι βέβαια με τον καιρό βελτιώθηκαν κατά πολύ και συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Ολόκληρο το σύστημα αποτελείται από 3 βασικά τμήματα τα οποία είναι:

- *το δορυφορικό τμήμα,*
- *το τμήμα ελέγχου,*
- *το τμήμα χρηστών.*

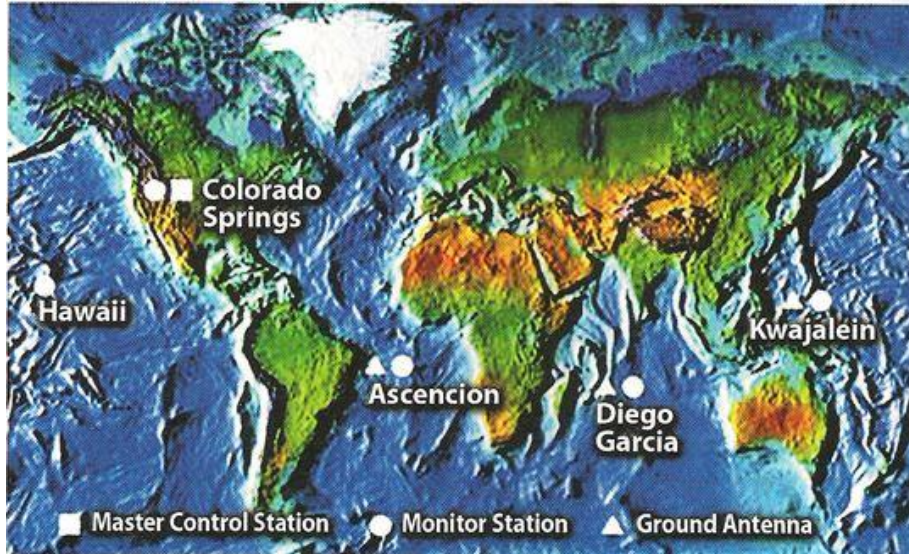
Σε αυτή τη φάση είναι αναγκαίο, να γίνει μία μικρή αναφορά σε κάθε ένα από αυτά τα τμήματα, ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητό το πώς λειτουργεί ένα τέτοιο παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού.

- Το **δορυφορικό τμήμα** (ή **τμήμα διαστήματος**) αποτελείται από 34 δορυφόρους NAVSTAR. Οι δορυφόροι αυτοί έχουν τοποθετηθεί ομοιόμορφα σε 6 τροχιακά επίπεδα, ανά 60° στο ισημερινό επίπεδο, τα οποία έχουν γωνία κλίσης 55° ως προς αυτό (εικόνα 2.2). Η διάταξη του δορυφορικού σχηματισμού είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε να προσφέρει, ανά πάσα στιγμή, κάλυψη από τουλάχιστον 4 δορυφόρους σε οποιοδήποτε σημείο της ΦΓΕ με καλό ορίζοντα. Το μέσο ύψος των δορυφόρων από την επιφάνεια της Γης αγγίζει τα 20189 km. Ο αρχικός σχεδιασμός του δορυφορικού τμήματος προέβλεπε 21 δορυφόρους, ενώ από το 1993 λειτουργούν σταθερά πάνω από 24, που είναι και ο απαραίτητος αριθμός δορυφόρων για την πλήρη λειτουργία του συστήματος.



*Εικόνα 2.2: Ο σχηματισμός των δορυφόρων του συστήματος GPS.
[Πηγή: Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., 2006]*

- Το **τμήμα ελέγχου** περιλαμβάνει κάποιους σταθμούς, για την παρακολούθηση και την σωστή λειτουργία των δορυφόρων. Πιο συγκεκριμένα το τμήμα αυτό αποτελείται από τους εξής σταθμούς (εικόνα 2.3):
- 5 επίγειους μόνιμους σταθμούς παρακολούθησης (*monitor stations*), συμπεριλαμβανομένου και του κεντρικού σταθμού. Οι συντεταγμένες τους έχουν προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια, ως προς το σύστημα WGS '84. Είναι κατανεμημένοι σε όλη τη Γη και βρίσκονται στα ακόλουθα μέρη: Hawaii, Colorado Springs, Ascencion Is., Diego Garcia και Kwajalein.
 - 3 σταθμούς τηλεπικοινωνιών (*upload stations, Ground Antennas*), οι οποίοι βρίσκονται στις θέσεις των μόνιμων σταθμών, εκτός από τις θέσεις Hawaii και Colorado Springs. Επίσης, μία κεραία βρίσκεται στο Cape Canaveral της Florida που ελέγχει τους δορυφόρους πριν την εκτόξευση τους και λειτουργεί και ως εφεδρική. Κάθε ένας από τους 3 αυτούς σταθμούς βλέπει όλους τους δορυφόρους κατά την διάρκεια μίας ημέρας, έτσι ο κάθε δορυφόρος μπορεί να επικοινωνήσει 3 φορές την ημέρα με τους σταθμούς και να λάβει δεδομένα πλοήγησης.
 - 1 κεντρικό σταθμό ελέγχου (*MCS-Master Control Station*), ο οποίος βρίσκεται στην αεροπορική βάση Falcon στο Colorado Springs και είναι υπεύθυνος για την ολική κατάσταση και την λειτουργία του δορυφορικού σχηματισμού. Ο σταθμός αυτός έχει την δυνατότητα να επέμβει στον σχηματισμό και να τροποποιήσει την τροχιά των δορυφόρων και τον τρόπο που λειτουργούν. Υπάρχει ακόμα ένας εφεδρικός σταθμός ελέγχου στο Gaithersburg του Maryland.
- Το **τμήμα χρηστών** αποτελείται από όλους αυτούς που χρησιμοποιούν το δορυφορικό σύστημα GPS, είτε στην επιφάνεια της Γης, είτε σε θαλάσσιες περιοχές είτε ακόμη σε εναέριες περιοχές. Οι χρήστες έχουν την δυνατότητα, εφόσον διαθέτουν τον κατάλληλο εξοπλισμό, να χρησιμοποιούν το δορυφορικό σύστημα και να προσδιορίζουν την θέση τους, την ταχύτητα τους κλπ.



Εικόνα 2.3: Οι σταθμοί του τμήματος ελέγχου του συστήματος GPS.
[Πηγή: Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Κατά την περίοδο 1991-2000, στο δορυφορικό σύστημα GPS εφαρμοζόταν μία τακτική σκόπιμης υποβάθμισης της ακρίβειας του, η οποία έχει γίνει γνωστή σαν *επιλεκτική διαθεσιμότητα* (*selective availability*).

Η υποβάθμιση αυτή γινόταν είτε με την εισαγωγή θορύβου στο σήμα που έστελναν οι δορυφόροι, είτε με την μείωση της ακρίβειας των στοιχείων που περιλαμβάνονται στο μήνυμα (π.χ. εφημερίδες δορυφόρων, διορθώσεις χρονομέτρων κ.α.) ή ακόμα με τον μη ακριβή συγχρονισμό στην εκπομπή του μηνύματος ναυσιπλοΐας.

Το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιεί το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS, είναι το καρτεσιανό γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς WGS'84 (World Geodetic System 1984). Το σύστημα αυτό ορίζεται με κέντρο το κέντρο μάζας της Γης, ο άξονας Z ταυτίζεται με τον άξονα περιστροφής της Γης, ο άξονας X περνάει από τον μεσημβρινό του Greenwich και ο άξονας Y συμπληρώνει το δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς.

Οι τροχιές των δορυφόρων και οι συντεταγμένες τους, όπως επίσης και οι συντεταγμένες των σταθμών του τμήματος ελέγχου, είναι γνωστές σε

αυτό το σύστημα αναφοράς, επομένως οι συντεταγμένες των άγνωστων σημείων υπολογίζονται και αυτές στο ίδιο σύστημα αναφοράς.

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z του WGS'84, μπορούν να μετατραπούν σε γεωγραφικό πλάτος φ , γεωγραφικό μήκος λ και υψόμετρο h (φ, λ, h) στο ελλειψοειδές αναφοράς που χρησιμοποιεί το WGS'84. Το ελλειψοειδές αυτό είναι το GRS'80, το οποίο ορίζεται με κέντρο το κέντρο μάζας της Γης, ο άξονας X περνάει από το μεσημβρινό του Greenwich, ο άξονας Z ενώνει το κέντρο της Γης με το μέσο πόλο και ο άξονας Y συμπληρώνει το δεξιόστροφο σύστημα. Τα βασικά στοιχεία του ελλειψοειδούς GRS'80 είναι:

$$a = 6378137.0 \text{ m}$$

$$1/f = 298.257222101$$

Όταν εμφανίζεται η ανάγκη του προσδιορισμού των συντεταγμένων των ζητούμενων σημείων σε κάποιο άλλο σύστημα αναφοράς, αυτό που γίνεται είναι ο προσδιορισμός των συντεταγμένων στο σύστημα WGS'84 και στην συνέχεια εφαρμόζοντας τις κατάλληλες μεταθέσεις και στροφές, υπολογίζονται οι νέες συντεταγμένες στο σύστημα αναφοράς που αυτές ζητούνται.

2.5.2. Το σύστημα GLONASS

Το σύστημα Glonass είναι ένα σύστημα δορυφορικού εντοπισμού που αναπτύχθηκε από την πρώην Σοβιετική Ένωση, την ίδια εποχή περίπου με το σύστημα GPS. Είχε, επίσης, στρατιωτικό χαρακτήρα κατά την δημιουργία του, αλλά η διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης και οι αλλαγές που ήρθαν στο πολιτικό επίπεδο οδήγησαν στην πολιτική χρήση του συστήματος.

Οι διάταξη των δορυφόρων του συστήματος αυτού, αποτελείται από 3 τροχιακά επίπεδα και σε πλήρη επιχειρησιακή δραστηριότητα έχουν τεθεί 6 δορυφόροι. Το 2006 έγινε η εκτόξευση 3 νέων δορυφόρων της νέας σειράς

Μ, για να αρχίσει η επέκταση του συστήματος και να καταλήξει στον σχηματισμό των 24 δορυφόρων, που έχει σχεδιαστεί.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μία συστηματική προσπάθεια, για να καταφέρουν τα συστήματα Gps και Glonass να συνεργάζονται και να υπάρχει έτσι καλύτερη κάλυψη σε όλη την επιφάνεια της Γης, για τους χρήστες των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού. [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

2.5.3. Το σύστημα GALILEO

Το σύστημα Galileo βρίσκεται στην διαδικασία δημιουργίας και ανάπτυξης ακόμη, η οποία γίνεται από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (European Space Agency-ESA), υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στοχεύει αποκλειστικά στην πολιτική χρήση, αφήνοντας πίσω τις όποιες στρατιωτικές δεσμεύσεις των άλλων συστημάτων. Έχει σχεδιαστεί με στόχο να καλύπτει με μικρή αβεβαιότητα το 99% της γήινης επιφάνειας και εγγυάται την διαθεσιμότητα κάτω από πολύ ακραίες συνθήκες, στέλνοντας σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (μερικά δευτερόλεπτα) τις απαραίτητες πληροφορίες στους χρήστες του συστήματος. Υπολογίζεται ότι θα είναι ορατοί, ανά πάσα στιγμή, τουλάχιστον 6 με 8 δορυφόροι στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη.

Θα αποτελείται από συνολικά 30 δορυφόρους, οι οποίοι θα είναι κατανομημένοι σε 3 τροχιακά επίπεδα με γωνία κλίσης 56° ως προς το ισημερινό επίπεδο και θα έχουν περίοδο περιστροφής γύρω στις 14 ώρες. Το ύψος της τροχιάς των δορυφόρων υπολογίζεται να είναι περίπου ίσο με 23600 km. Το επίγειο τμήμα του συστήματος θα αποτελείται από 2 κέντρα ελέγχου και 20 σταθμούς παρακολούθησης.

Οι 2 πρώτοι δορυφόροι του συστήματος, με κωδικό όνομα GIOVE-A και GIOVE-B αντίστοιχα, εκτοξεύτηκαν στις 28 Δεκεμβρίου 2005 ο πρώτος και στις 27 Απριλίου 2008 ο δεύτερος, ενώ αναμένεται να είναι έτοιμο προς χρήση ολόκληρο το σύστημα, το έτος 2013.[Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

2.6. Προσδιορισμός βάσης

Ως βάση ορίζεται ένα προσανατολισμένο διάνυσμα στον χώρο, που σημαίνει ότι για το διάνυσμα αυτό είναι γνωστά τόσο ο προσανατολισμός όσο και το μέτρο του. Το διάνυσμα αυτό ορίζεται από δύο σημεία της ΦΓΕ, στα οποία είναι τοποθετημένες οι κεραίες του συστήματος δορυφορικού εντοπισμού.

Το διάνυσμα της βάσης προσδιορίζεται έτσι ώστε να οδηγήσει στον υπολογισμό των συντεταγμένων του άγνωστου σημείου από το ήδη γνωστό. Για να γίνει αυτό θα πρέπει οι δέκτες που βρίσκονται στα δύο σημεία να λαμβάνουν σήμα από τους ίδιους δορυφόρους, για την ίδια χρονική στιγμή. Το χρονικό αυτό διάστημα ονομάζεται περίοδος παρακολούθησης.

Οι συνιστώσες της βάσης ΔX , ΔY , ΔZ προσδιορίζονται στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς. Στην συνέχεια, το διάνυσμα αυτό προστίθεται στο διάνυσμα θέσης X , Y , Z του γνωστού σημείου και προκύπτουν οι συντεταγμένες του αγνώστου σημείου, στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς.

Οι συντεταγμένες της βάσης δίνονται επίσης σε ένα προσανατολισμένο καρτεσιανό τρισσορθογώνιο τοπικό σύστημα N , E , U_p , με αρχή το ένα σημείο, όπου υπολογίζονται οι συνιστώσες dN , dE , dU_p του διανύσματος της βάσης. Ως επιφάνεια προβολής χρησιμοποιείται ένα οριζόντιο επίπεδο, το οποίο εφάπτεται στο ένα σημείο όπου βρίσκεται η αρχή των αξόνων.

Η διαδικασία με την οποία γίνεται η μέτρηση μίας βάσης, με την μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού είναι η ακόλουθη:

- κέντρωση των κεραιών του δορυφορικού συστήματος, στα δύο σημεία,
- κατακόρυφωση των κεραιών στα δύο σημεία,
- μέτρηση του ύψους της κεραίας και στα δύο σημεία,
- έναρξη της λειτουργίας των δεκτών σε αυτά τα δύο σημεία και λήψη ταυτόχρονων παρατηρήσεων για τον απαιτούμενο χρόνο και

- λήξη της λειτουργίας των δύο δεκτών. [Λάμπρου Ε, Πανταζής Γ., 2010]

2.7. Πηγές σφαλμάτων

Το σφάλμα προσδιορισμού της θέσης σημείου με το σύστημα του δορυφορικού εντοπισμού εξαρτάται κυρίως από τους εξής παράγοντες:

- το σφάλμα προσδιορισμού της θέσης των δορυφόρων που παρατηρούνται, δηλαδή της τροχιάς τους,
- τα σφάλματα των παρατηρήσεων, που διακρίνονται σε τυχαία, συστηματικά και χονδροειδή.
 - Ως τυχαία σφάλματα ορίζονται εκείνα που οφείλονται κυρίως σε τυχαίες εσωτερικές επιδράσεις των δεκτών ή σε κάποιες εξωτερικές, πολύ τοπικές επιδράσεις. Αυτές είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες, οι τοπικές παρεμβολές σημάτων, οι πολλαπλές διαδρομές σημάτων κλπ.
 - Τα συστηματικά σφάλματα αναφέρονται στην επίδραση της ατμόσφαιρας, στην λανθασμένη χρήση παραμέτρων (ταχύτητα φωτός, τροχιά και χρονόμετρα δορυφόρων κλπ.).
 - Ως χονδροειδή σφάλματα αναφέρονται εκείνα που εξαρτώνται από τον χρήστη και οφείλονται κυρίως σε ελλιπή προσοχή από την μεριά του κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Τέτοια μπορεί να είναι η λανθασμένη τοποθέτηση της κεραίας του δέκτη στο άγνωστο σημείο, η λάθος μέτρηση του ύψους της κεραίας κλπ.
- τα χαρακτηριστικά ή οι δυνατότητες του δέκτη που χρησιμοποιείται (αν είναι δέκτης κώδικα ή μονής ή διπλής συχνότητας κλπ.),
- τον αριθμό των δορυφόρων που παρακολούθησε ο δέκτης,

- την γεωμετρία των δορυφόρων αυτών. Η γεωμετρία των δορυφόρων σε σχέση με το άγνωστο σημείο της ΦΓΕ που είναι τοποθετημένος ο δέκτης, επηρεάζει άμεσα την αβεβαιότητα του προσδιορισμού. Καλή γεωμετρία σημαίνει η παρακολούθηση δορυφόρων που βρίσκονται και στις 4 διευθύνσεις του ορίζοντα και που έχουν γωνία ύψους μεγαλύτερη των 20 μοιρών συνήθως, ως προς τον δέκτη.
- τη μέθοδο μέτρησης που εφαρμόζεται και
- τον τρόπο επεξεργασίας των μετρήσεων (αν γίνεται σε πραγματικό χρόνο ή με μετεπεξεργασία).[Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Η αβεβαιότητα του δορυφορικού εντοπισμού μπορεί να κυμανθεί από μερικά χιλιοστά (mm) έως αρκετά μέτρα (m), ανάλογα με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται αλλά και τις συνθήκες που επικρατούν την συγκεκριμένη χρονική στιγμή της κάθε μέτρησης, διότι επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, οι περισσότεροι από τους οποίους μεταβάλλονται συνεχώς.

2.8. Κυριότερες εφαρμογές του δορυφορικού εντοπισμού θέσης

Οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται περισσότερο ο δορυφορικός εντοπισμός θέσης και είναι πολύ αποτελεσματικός είναι οι παρακάτω:

- Προσδιορισμός συντεταγμένων αστικών και άλλων γεωδαιτικών δικτύων.
- Προσδιορισμός συντεταγμένων φωτοσταθερών σε εφαρμογές φωτογραμμετρίας.
- Αποτύπωση περιοχών.
- Συλλογή δεδομένων για γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS).
- Χαράξεις τεχνικών έργων σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο αναφοράς, έως και 3 χιλιόμετρα, με μικρή αβεβαιότητα.

- Εντοπισμός και καθοδήγηση οχημάτων (π.χ. αστυνομικά οχήματα, μέσα μαζικής μεταφοράς κλπ.), όπως επίσης και παρακολούθηση.
- Πλοήγηση αεροπλάνων και πλοίων.
- Μελέτη παραμορφώσεων μεγάλων τεχνικών έργων.
- Ίδρυση δικτύων για παρακολούθηση γεωδυναμικών φαινομένων της Γης (π.χ. κίνηση τεκτονικών πλακών).
- Εντοπισμό και προσανατολισμό σε τουριστικές και άλλες παρεμφερείς δραστηριότητες.

Αυτές ήταν κάποιες από τις εφαρμογές που χρησιμοποιείται ο δορυφορικός εντοπισμός με πολύ μεγάλη επιτυχία και υπερτερεί σε σχέση με άλλες μεθόδους προσδιορισμού θέσης.

2.9. Δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS

Η εγκατάσταση και η λειτουργία μόνιμων σταθμών καταγραφής δεδομένων GPS είναι μία ερευνητική δραστηριότητα που τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς στις τεχνολογικά προηγμένες χώρες.[Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., 2006]

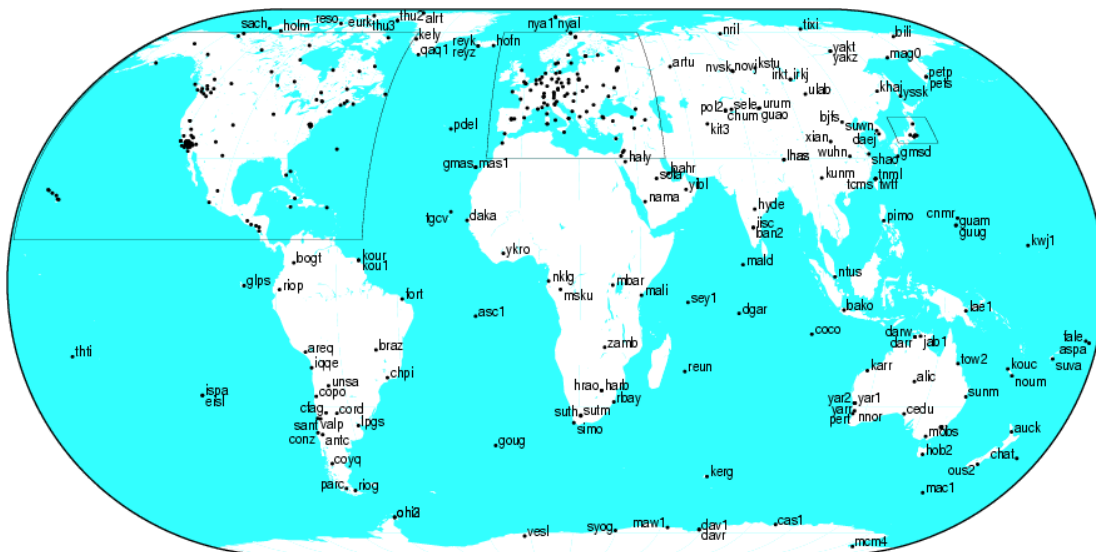
Τέτοιοι σταθμοί έχουν ιδρυθεί κατά καιρούς και λειτουργούν σε παγκόσμιο, ηπειρωτικό ή εθνικό επίπεδο. Ο αριθμός τους είναι πολύ μεγάλος, της τάξης των μερικών χιλιάδων και έχουν οδηγήσει στην δημιουργία πάνω από 50 δικτύων, τα οποία λειτουργούν για την εξυπηρέτηση εφαρμογών προσδιορισμού θέσης αλλά και πλοήγησης.

Εκτός από αυτούς τους μόνιμους σταθμούς, υπάρχουν κάποιοι ακόμα, που σε αριθμό ανέρχονται περίπου σε 2500 και οι οποίοι καλούνται σταθμοί VRS-RTK. Οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούνται για μία πολύ πρωτοποριακή μέθοδο, που προσδιορίζει την θέση σημείων με την βοήθεια εικονικών σταθμών αναφοράς. Μία πιο εκτενής αναφορά για την μέθοδο αυτή θα γίνει σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου.

2.9.1. Σημαντικότερα δίκτυα μόνιμων σταθμών στον κόσμο

Ένα από τα σημαντικότερα δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS είναι το *IGS (International GNSS Service)* [<http://igs.cb.jpl.nasa.gov/>]. Το δίκτυο αυτό, έχει αναλάβει από το 1994 την διαχείριση αλλά και την διάθεση δεδομένων και προϊόντων GPS μεγάλης ακρίβειας, που έχουν καταγραφεί από τους διάφορους μόνιμους σταθμούς συνεχούς παρακολούθησης δορυφόρων του συστήματος.

Αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό σταθμών GPS, περίπου 350, οι οποίοι διαθέτουν δέκτες διπλής συχνότητας συνεχούς λειτουργίας. Επίσης, το δίκτυο διαθέτει 12 περιφερειακά και λειτουργικά κέντρα δεδομένων, 3 ακόμα κέντρα δεδομένων παγκοσμίου κλίμακας, 7 κέντρα ανάλυσης και ένα αριθμό τοπικών κέντρων ανάλυσης (εικόνα 2.4).



GMT Sep 30 17:22:03 2004

Εικόνα 2.4: Οι σταθμοί του δικτύου IGS.

[Πηγή: http://www.cmmacs.ernet.in/~gps/C-MMACS_IGS_Station.html]

Ο στόχος του δικτύου IGS, όπως διατυπώθηκε στο ίδιο το στρατηγικό του πλάνο, είναι ο εξής: "Η Διεθνής Υπηρεσία GPS (IGS) είναι αποφασισμένη να προσφέρει την υψηλότερη ποιότητα των δεδομένων και προϊόντων, όπως το πρότυπο για παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS) για τη στήριξη της έρευνας της επιστήμης της Γης, για

διεπιστημονικές εφαρμογές και για την εκπαίδευση. Οι δραστηριότητες αυτές αποσκοπούν στην εκ των προτέρων επιστημονική κατανόηση των στοιχείων του συστήματος Γης και τις αλληλεπιδράσεις τους, καθώς και για τη διευκόλυνση άλλων εφαρμογών, από τις οποίες επωφελείται η κοινωνία."

Τα προϊόντα που παράγονται και διανέμονται από την υπηρεσία IGS είναι τα ακόλουθα:

- εφημερίδες δορυφόρων GPS,
- εφημερίδες δορυφόρων GLONASS,
- παράμετροι περιστροφής της Γης,
- συντεταγμένες και ταχύτητες των σταθμών IGS,
- πληροφορίες για τα χρονόμετρα των δορυφόρων GPS και των σταθμών IGS,
- εκτιμήσεις των διορθώσεων λόγω τροπόσφαιρας και
- παγκόσμιους χάρτες ιονόσφαιρας.

Το αντίστοιχο ευρωπαϊκό δίκτυο μόνιμων σταθμών φέρει την ονομασία **EPN (Euref Permanent Network)**. Αποτελείται από περισσότερους από 200 μόνιμους σταθμούς GPS και ο αριθμός αυτός συνεχώς αυξάνεται. Οι σταθμοί αυτοί πληρούν κάποιες συγκεκριμένες γεωδαιτικές προδιαγραφές, όπως η χρήση δεκτών δύο συχνοτήτων, συνήθως με δώδεκα κανάλια ταυτόχρονης παρακολούθησης δορυφόρων σε κάθε συχνότητα.

Τα δεδομένα των σταθμών διατίθενται ελεύθερα μέσω του διαδικτύου, από τα διάφορα κέντρα συλλογής. Τα προϊόντα που παράγονται από την επεξεργασία των παρατηρήσεων είναι υψηλής ποιότητας και χρησιμοποιούνται σε αρκετές ερευνητικές εφαρμογές και δραστηριότητες.

Οι σημαντικότερες από αυτές τις εφαρμογές είναι οι εξής:

- η εκπομπή δεδομένων για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (RTK, DGPS) αλλά και για οποιαδήποτε άλλη μέθοδο προσδιορισμού με τη χρήση δεκτών GPS,
- η υλοποίηση και συντήρηση των πλαισίων αναφοράς ITRF,
- ο υπολογισμός τροχιάς χαμηλού ύψους δορυφόρων που χρησιμεύει σε διάφορες διαστημικές αποστολές,
- η παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων του γήινου φλοιού και των μεταβολών στο εσωτερικό του,
- η μελέτη των διαφόρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.[Φωτίου Α., Πικριδής Χ., 2006]

Στο ευρωπαϊκό δίκτυο EPN συμμετέχουν και 3 σταθμοί του ελλαδικού χώρου. Ο πρώτος είναι ο σταθμός **AUTI** του Τομέα Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, ο δεύτερος είναι ο σταθμός **NOAI** του Αστεροσκοπείου των Αθηνών και ο τρίτος είναι ο **TUC2** του Εργαστηρίου Γεωδαισίας και Πληροφορικής των Γεωεπιστημών του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης στην πόλη των Χανίων.

Εκτός από τα 2 αυτά γνωστότερα δίκτυα μονίμων σταθμών GPS, λειτουργούν και αρκετά άλλα ανά τον κόσμο, τα οποία αξίζει να αναφερθούν. Τα σημαντικότερα είναι[Αλεβιζάκου Ε.-Γ., 2010]:

- το δίκτυο *CACS (Canadian Active Control System)* του Καναδά,
- το ιαπωνικό δίκτυο *GEONET (GPS Earth Observation NETWORK of Japan)*,
- το δίκτυο *ARGN (Australian Regional GPS Network)* της Αυστραλίας και της Ανταρκτικής,
- το ελβετικό δίκτυο *AGNES (Automated GPS NETWORK Switzerland)*,

- το σουηδικό δίκτυο *SWEPOS (SWedish POsitioning System)*,
- το δίκτυο *HEPOS (HElIenic POsitioning System)* της Ελλάδας.

Για το ελληνικό δίκτυο HEPOS, θα γίνει αναλυτικότερη αναφορά σε επόμενη ενότητα, δίνοντας μία συνοπτική εικόνα για τον τρόπο με το οποίο λειτουργεί αλλά και για τις εφαρμογές που μπορεί να προσφέρει, ενισχύοντας τις δυνατότητες του δορυφορικού εντοπισμού στην Ελλάδα.

2.9.2. Εικονικοί σταθμοί αναφοράς-VRS

Οι εικονικοί σταθμοί αναφοράς εξυπηρετούν μία πρωτοποριακή μέθοδο, που στηρίζεται στη δημιουργία ενός πλασματικού σταθμού GPS, ο οποίος λειτουργεί ως ένας πραγματικός δέκτης του συστήματος. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου (RTK-DGPS). Η όλη μέθοδος στηρίζεται στην ύπαρξη δικτύου μόνιμων σταθμών GPS, των οποίων οι αποστάσεις δεν υπερβαίνουν τα 50 με 70 km.

Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι η επίτευξη της ακρίβειας προσδιορισμού σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου και σε μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ σταθερού και κινητού δέκτη και η λειτουργία ενός μόνο δέκτη από τον χρήστη, ούτως ώστε να μειώνεται το κόστος εργασιών και να αυξάνεται η παραγωγικότητα.

Η διαδικασία για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής ξεκινά όταν πρόκειται να εφαρμοστεί RTK ή DGPS εντός ενός δικτύου μόνιμων σταθμών οι οποίοι παρακολουθούνται συνεχώς από κάποιο υπολογιστικό κέντρο στο οποίο στέλνουν τα δεδομένα τους. Ο χρήστης, που μπορεί να βρίσκεται από λίγα έως και μερικές δεκάδες χιλιόμετρα μακριά από τον κοντινότερο μόνιμο σταθμό και διαθέτει οπωσδήποτε ένα μέσο αμφίδρομης επικοινωνίας με το υπολογιστικό κέντρο (π.χ. κινητό τηλέφωνο κλπ.), μπορεί να αποκτήσει στην προσεγγιστική του θέση έναν εικονικό σταθμό αναφοράς, ο οποίος θα βρίσκεται λίγα μέτρα από το κέντρο λήψης σήματος της κεραίας GPS και που στην πραγματικότητα δεν θα υπάρχει. Δηλαδή, ο

χρήστης μπορεί να εφαρμόσει τη μέθοδο RTK όπου ο σταθερός δέκτης θα υλοποιείται από τον εικονικό σταθμό.[Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., 2006]

2.9.3. HEPOS-Το ελληνικό σύστημα δορυφορικού εντοπισμού

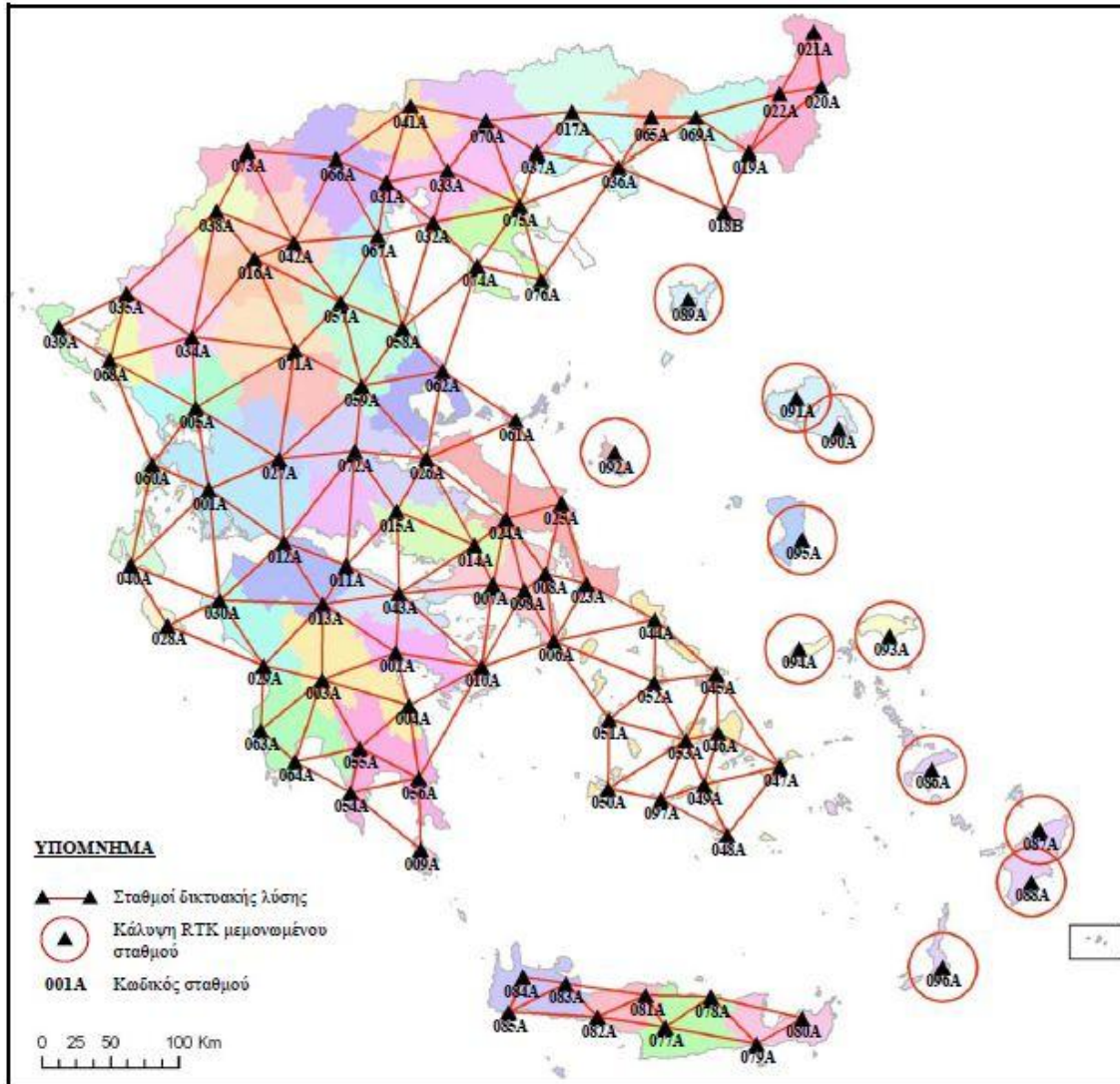
Το ελληνικό σύστημα δορυφορικού εντοπισμού HEPOS είναι ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών-δεκτών του συστήματος GPS, το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με μικρή αβεβαιότητα. Είναι ένα σύστημα αντίστοιχο με αυτά που λειτουργούν σε άλλες χώρες του πλανήτη και περιγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Αναπτύχθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε. αρχικά για να καλύψει τις ανάγκες του Εθνικού Κτηματολογίου, όμως η χρήση του είναι ευρεία και σε πολλές άλλες εφαρμογές.

Βασικός στόχος του συστήματος HEPOS είναι να μπορεί να γίνει ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου με τη μέθοδο του σχετικού δορυφορικού εντοπισμού, χωρίς ταυτόχρονα να χρειάζεται η χρήση 2 δεκτών του συστήματος GPS. Αυτό οδηγεί στην μείωση του κόστους του εξοπλισμού, εφόσον χρειάζεται ένας μόνο δέκτης και περιορίζεται η διάρκεια των εργασιών πεδίου, λόγω του ότι δεν απαιτείται η εύρεση σημείου γνωστών συντεταγμένων για να τοποθετηθεί κάποιος δέκτης.

Επομένως, το μόνο που καλείται να κάνει ο χρήστης του συστήματος GPS είναι να προβεί στην τοποθέτηση του δέκτη στο σημείο που ενδιαφέρει να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες του και να ολοκληρώσει τις παρατηρήσεις εκεί. Στην συνέχεια, μπορεί να αγοράσει τις αντίστοιχες απαιτούμενες παρατηρήσεις, για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, από έναν ή και περισσότερους κοντινούς σταθμούς του συστήματος HEPOS, οι οποίοι βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία καταγράφοντας παρατηρήσεις.

Το σύστημα HEPOS κατάφερε να φέρει σε πέρας την αποστολή του με την εγκατάσταση και ίδρυση ενός δικτύου 98 μόνιμων σταθμών, ομοιόμορφα κατανεμημένων σε όλη την Ελλάδα (εικόνα 2.5). Οι 87 από τους σταθμούς αυτούς είναι δικτυακής λύσης και οι υπόλοιποι 11 είναι μεμονωμένοι. Επίσης, έχει ιδρυθεί ένα Κέντρο Ελέγχου που στεγάζεται στις εγκαταστάσεις της Κτηματολόγιο Α.Ε., στην πόλη των Αθηνών.

Οι δέκτες του συστήματος HEPOS είναι τοποθετημένοι σε κτήρια του ΟΤΕ, για να είναι δυνατή η παροχή συνεχούς ενσύρματης επικοινωνίας με το κέντρο ελέγχου ώστε να αποστέλλονται επιτυχώς νέα δεδομένα. Το βήμα λήψης μετρήσεων των δεκτών σε όλους τους σταθμούς έχει οριστεί στο 1 sec.



Εικόνα 2.5: Οι μόνιμοι σταθμοί του συστήματος HEPOS.
[Πηγή: <http://www.hepos.gr/>]

Το κέντρο ελέγχου αφού παραλάβει τα στοιχεία των σταθμών αναφοράς, τα επεξεργάζεται και στην συνέχεια αποστέλλει τα απαραίτητα δεδομένα στο χρήστη, ώστε να γίνει ο προσδιορισμός της θέσης του. Κάθε χρήστης

μπορεί να λαμβάνει δεδομένα από το σύστημα, μέσω του διαδικτύου, αφού προηγουμένως υποβάλει αίτηση και υπογράψει σχετική σύμβαση με την Κτηματολόγιο Α.Ε. Αναγνωρίζεται από το σύστημα μέσω κωδικού πρόσβασης και καταβάλλει αρχικά ένα εφάπαξ τέλος εγγραφής και τέλος χρήσης κάθε φορά που θα προμηθεύεται νέα δεδομένα.

Πρέπει σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι ο χρήστης δεν λαμβάνει από το σύστημα συντεταγμένες, αλλά η επίλυση των στοιχείων των μετρήσεων γίνεται από αυτόν, μαζί με τις παρατηρήσεις που έχει κάνει ο ίδιος με τον δικό του δέκτη. Το σύστημα έχει την δυνατότητα να εξυπηρετεί παράλληλα περίπου 150 χρήστες. Επίσης, τα στοιχεία των μετρήσεων από τους μόνιμους σταθμούς του HEPOS είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο μέχρι και 30 ημέρες από την λήψη τους.[Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Το σύστημα δορυφορικού εντοπισμού HEPOS, έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει και άλλες εφαρμογές, σε τομείς όπου οι ανάγκες ακριβούς εντοπισμού είναι αυξημένες. Οι φορείς στους οποίους απευθύνεται το σύστημα είναι οι εξής:

- δημόσιες υπηρεσίες και οργανισμοί,
- ανάδοχοι έργων της Κτηματολόγιο Α.Ε.,
- τοπογράφοι μηχανικοί και γενικότερα επαγγελματίες του χώρου των γεωεπιστημών,
- ιδιώτες μελετητές και κατασκευαστές έργων,
- πανεπιστημιακοί και ερευνητικοί φορείς.[Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Οι υπηρεσίες που παρέχονται από το σύστημα HEPOS διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- υπηρεσίες **“πραγματικού χρόνου (real time)”**,
- υπηρεσίες **“μετεπεξεργασίας (post processing)”**.

2.9.3.1. Υπηρεσίες “πραγματικού χρόνου”

Με τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, ο χρήστης μπορεί να μετρά με ένα γεωδαιτικό δέκτη GPS στο σημείο που θέλει να προσδιορίσει και να υπολογίσει τις συντεταγμένες του σημείου, κατά την στιγμή της μέτρησης. Δεν απαιτείται, δηλαδή, επεξεργασία δεδομένων στο γραφείο.

Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση με τις ακόλουθες τεχνικές:

- Single-Base RTK
- Network RTK (τεχνικές VRS, FKP, MAC)
- Single-Base DGPS
- Network DGPS

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την χρησιμοποίηση των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου είναι ένας δέκτης GPS (με δυνατότητα RTK ή DGPS) και ένα GPRS ή GSM modem για να συνδεθεί με το κέντρο ελέγχου του HEPOS.

Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου επιτρέπουν στο χρήστη να προσδιορίζει από μετρήσεις διάρκειας λίγων δευτερολέπτων τη θέση ενός σημείου με υψηλή ακρίβεια της τάξης των λίγων cm.

2.9.3.2. Υπηρεσίες “μετεπεξεργασίας”

Οι υπηρεσίες μετεπεξεργασίας του HEPOS επιτρέπουν τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια. Για τη χρήση των υπηρεσιών αυτών ο χρήστης μετρά με ένα γεωδαιτικό δέκτη GPS στα σημεία που θέλει να προσδιορίσει και στη συνέχεια επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτών των μετρήσεων σε συνδυασμό με δεδομένα σταθμού αναφοράς από το HEPOS για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων. Η επεξεργασία αυτή γίνεται στο γραφείο μετά τη μέτρηση.

Οι υπηρεσίες μετεπεξεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση με τις ακόλουθες τεχνικές GPS:

- Στατικό εντοπισμό (static)
- Σύντομο στατικό εντοπισμό (rapid-static)
- Κινηματικό εντοπισμό (post-processed kinematic)

Κατά τη χρήση των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας χορηγούνται στο χρήστη δεδομένα σταθμού αναφοράς από το HEPOS. Τα δεδομένα αυτά παρέχονται σε format Rinex ή Compact Rinex. Ιδιαίτερης πρακτικής σημασίας για το χρήστη είναι η δυνατότητα του HEPOS να παρέχει δεδομένα όχι μόνο πραγματικών αλλά και εικονικών σταθμών αναφοράς (Virtual Reference Station).

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για τη χρησιμοποίηση των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας είναι ένας γεωδαιτικός δέκτης GPS μίας ή δύο συχνοτήτων και ένα εξειδικευμένο λογισμικό επεξεργασίας παρατηρήσεων στο γραφείο.

Με την χρήση των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας, ο προσδιορισμός της θέσης μπορεί να γίνει με την μέγιστη ακρίβεια που μπορεί να προσφέρει το HEPOS και η οποία με πολύωρες παρατηρήσεις μπορεί να φτάσει μέχρι το επίπεδο των λίγων mm.[<http://www.hepos.gr/>]

2.9.3.3. Το σύστημα αναφοράς του HEPOS

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς στο οποίο επιλύθηκε το δίκτυο των μονίμων σταθμών του HEPOS ονομάζεται HTRS '07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007). Το συγκεκριμένο σύστημα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Ορίζεται:

- σύμφωνα με το ETRS '89, στο πλαίσιο ETRF '05 epoch 2007.5 με σταθερό σταθμό τον AUT1, ο οποίος ανήκει στο ευρωπαϊκό δίκτυο μονίμων σταθμών EPN και είναι εγκατεστημένος στο

κτίριο του τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης,

- ως ελλειψοειδές αναφοράς ορίστηκε το παγκόσμιο ελλειψοειδές GRS '80, χωρίς καμία μετατόπιση.

Υλοποιείται:

- με τη μέτρηση του γεωδαιτικού δικτύου των 98 μόνιμων σταθμών,
- με τον υπολογισμό των συντεταγμένων X, Y, Z και φ, λ των κορυφών του δικτύου στο νέο Datum και του γεωμετρικού υψομέτρου h , ως προς το ελλειψοειδές αναφοράς,
- με τον υπολογισμό ενός χάρτη του υψομέτρου N του γεωειδούς για την Ελλάδα, ώστε να είναι άμεση η μετατροπή των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά.

Εφαρμόζεται:

- με την απεικόνιση (προβολή) του ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο. Ως προβολή επελέγη η εγκάρσια μερκατορική με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda=24^\circ$, $x_0=500000\text{m}$, $y_0=-2000000\text{m}$ στην τομή του κεντρικού μεσημβρινού με τον ισημερινό και συντελεστή κλίμακας στον κ.μ. $K_0=0.9996$. Για το Καστελόριζο χρησιμοποιείται ως κεντρικός μεσημβρινός αυτός των $\lambda=30^\circ$ και συντελεστής κλίμακας στον κ.μ. $K_0=1$,
- με τον υπολογισμό των προβολικών επίπεδων συντεταγμένων x, y των κορυφών του δικτύου.

Όπως, όμως είναι γνωστό, το ΕΓΣΑ '87 είναι το κρατικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της Ελλάδας και αυτό οδήγησε στον υπολογισμό των παραμέτρων μετασχηματισμού των συντεταγμένων του συστήματος HTRS '07 στο ΕΓΣΑ '87 και το αντίστροφο.

Ο μετασχηματισμός είναι 7-παραμετρικός περιλαμβάνοντας 3 μεταθέσεις, 3 στροφές και 1 κλίμακα. Αυτός ο μετασχηματισμός όμως, δεν ανταποκρίνεται ικανοποιητικά σε όλα τα σημεία της χώρας και έτσι υπολογίστηκαν επιπλέον δύο κανάβοι διορθώσεων, για τις συντεταγμένες x και y της προβολής. Το βήμα των κανάβων αυτών ανέρχεται σε 2 km και παρέχουν τις διορθώσεις δx και δy που πρέπει να γίνουν στις επίπεδες συντεταγμένες που προκύπτουν από τον 7-παραμετρικό μετασχηματισμό. Η μέση αβεβαιότητα του πλήρη αυτού μετασχηματισμού είναι της τάξης των $\pm 8\text{cm}$ ενώ σε μερικά σημεία φτάνει και τα $\pm 2.5\text{cm}$. [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ Ο ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ

3.1. Υψομετρικό δίκτυο Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται το υψομετρικό δίκτυο που μελετάται κατά την διάρκεια της διπλωματικής αυτής εργασίας. Αναφέρονται στοιχεία που αφορούν στον τρόπο ίδρυσης του συγκεκριμένου δικτύου, στις θέσεις των υψομετρικών αφετηριών, στον τρόπο μέτρησης του δικτύου, στην ακρίβεια με την οποία προσδιορίστηκαν τα υψόμετρα των αφετηριών και διάφορα άλλα στοιχεία που πρέπει να είναι γνωστά, ώστε να γίνει μία σωστή και ακριβής μελέτη του υψομετρικού αυτού δικτύου.

3.1.1. Γενικά

Το δίκτυο που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί ένα τμήμα του χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών, προαστίων και περιχώρων του 1920. Πρώτα απ' όλα, είναι απαραίτητο να αναφερθούν κάποια σημαντικά στοιχεία, όπως το πώς, το πότε, το γιατί και από ποιον ιδρύθηκε, εγκαταστάθηκε και μετρήθηκε το χωροσταθμικό αυτό δίκτυο, όπως περιγράφονται αναλυτικά από τον καθηγητή της Γεωδαισίας Δ.Ν. Λαμπαδάριο στο τεύχος *“Το χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων”*, που συνέγραψε τον Ιούλιο του 1921.

Κατά την χρονική περίοδο 1917-1920, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά η επιτακτική ανάγκη της ύπαρξης δικτύων στις πόλεις. Αυτή η ανάγκη εμφανίστηκε πρώτα στην πόλη της Θεσσαλονίκης, όπου η σύνταξη μελετών και εκτελέσεων ρυμοτομικών και τεχνικών έργων καθιστούσε αναγκαία την δημιουργία δικτύων. Τα δίκτυα αυτά, διευκόλυναν την εκτέλεση αυτών των εργασιών όπως και εργασιών κτηματογράφησης των περιοχών. Έτσι, η ανάγκη αυτή οδήγησε αρχικά στην ίδρυση της υπηρεσίας του Συνεργείου

Σχεδίου Πόλεως της Θεσσαλονίκης, η οποία με την σειρά της έφερε την ίδρυση της Τοπογραφικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Συγκοινωνίας, τον Μάιο του 1918. Οι υπηρεσίες αυτές σήμαναν και την έναρξη της δημιουργίας σημαντικών υποδομών στις πόλεις, όπως είναι τα τριγωνομετρικά και χωροσταθμικά δίκτυα.

Τον Μάρτιο του 1920, με διαταγή του αρμόδιου Υπουργείου, ξεκίνησε η ίδρυση και εγκατάσταση τριγωνομετρικού, πολυγωνομετρικού και χωροσταθμικού δικτύου στην πόλη της Αθήνας, από το Γεωδαιτικό και Κτηματογραφικό τμήμα της τοπογραφικής υπηρεσίας. Επικεφαλής των εργασιών αυτών τέθηκε ο διπλωματούχος τοπογράφος μηχανικός κ. Ι. Φαβρ, με την βοήθεια του κ. Κ. Δενδρινού και του κ. Α. Σταύρου, δοκίμων τοπογράφων, διπλωματούχων της Ανώτατης Σχολής Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, της Αθήνας.

Ο στόχος της δημιουργίας αυτών των δικτύων ήταν η διευκόλυνση και η βελτίωση των τοπογραφικών εργασιών. Οι τεχνικές ανάγκες που σκόπευαν, κυρίως, να εξυπηρετήσουν τα δίκτυα ήταν οι εξής:

- η μελέτη και κατασκευή υπονόμων,
- η κατασκευή και η μεταβολή της στάθμης των οδοστρωμάτων,
- η τροποποίηση και εγκατάσταση υπογείων ή επιφανειακών, νέων σιδηροδρομικών ή τροχιοδρομικών γραμμών,
- η μελέτη και εκτέλεση ρυμοτομικών και εξυγιαντικών έργων.[Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921]

3.1.2. Εγκατάσταση του δικτύου

Προτού γίνει η εγκατάσταση του δικτύου, όφειλε να γίνει αναγνώριση, ούτως ώστε να αποφασισθούν με σιγουριά οι θέσεις των υψομετρικών αφετηριών του δικτύου. Τελικά, η αναγνώριση και η εγκατάσταση του δικτύου διήρκεσαν συνολικά δύο εβδομάδες και εκτελέσθηκαν από ένα συνεργείο του οποίου επικεφαλής ήταν ο κ. Ι. Φαβρ. Εγκαταστάθηκαν

συνολικά **320 υψομετρικές αφετηρίες**, από τις οποίες αποτελούνταν το χωροσταθμικό δίκτυο συνολικού μήκους 165 περίπου χιλιομέτρων. Αυτό σημαίνει ότι υπήρχε μία υψομετρική αφετηρία ανά 500 περίπου μέτρα.

Για την εγκατάσταση των υψομετρικών αφετηριών επιλέχθηκαν δημόσια κτίρια, τα οποία προορίζονταν για μεγάλη διάρκεια “ζωής”, όπως είναι δημόσια καταστήματα, σχολεία, εκκλησίες και τεχνικά έργα, όπως γέφυρες κλπ. Η σήμανση των αφετηριών έγινε με ορειχάλκινα μπουλόνια, τα οποία τοποθετούνταν σε τοίχους και διέθεταν σφαιρική κεφαλή, έτσι ώστε το μπουλόνι να μπορεί να τοποθετηθεί είτε κατακόρυφα είτε οριζόντια. Εξαιρέση αποτελούν αφετηρίες που τοποθετήθηκαν σε πολύ σημαντικά κτίρια, όπως το κτίριο του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, το Ζάππειο κ.α., όπου η σήμανση έγινε με ορειχάλκινα μπουλόνια, μεγαλύτερων όμως διαστάσεων (εικόνα 3.2) από τα υπόλοιπα. Στα μικρά μπουλόνια αναγραφόταν επάνω ο αύξον αριθμός της υψομετρικής αφετηρίας, ενώ στα μεγάλα αναγραφόταν επίσης το υψόμετρο της αφετηρίας (εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Μικρή ορειχάλκινη υψομετρική αφετηρία.

Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης των υψομετρικών αφετηριών εμφανίστηκαν κάποια προβλήματα που έπρεπε να αντιμετωπισθούν. Ένα σημαντικό πρόβλημα ήταν η δυσκολία που παρουσιάστηκε στον καθορισμό

των θέσεων των σημείων, διότι οι οδοί δεν διέθεταν επίσημες ονομασίες και δεν υπήρχαν χιλιομετρικοί δείκτες. Αυτό αντιμετωπίστηκε με την εγκατάσταση των σημείων σε δημόσια, σημαντικά κτίρια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.



Εικόνα 3.2: Μεγάλη ορειχάλκινη υψομετρική αφετηρία.

Ένα δεύτερο πρόβλημα που εμφανίστηκε ήταν η αναφορά των υψομέτρων στη μέση στάθμη της θάλασσας. Το πρόβλημα αυτό προέκυψε, διότι ο παλιρροιογράφος της υπηρεσίας στο λιμάνι του Πειραιά βρισκόταν εκτός λειτουργίας για επισκευή ή αντικατάσταση και δεν υπήρχε κάποιο σημείο ως σταθερή ένδειξη που να αναφέρεται σε αυτόν. Το συγκεκριμένο πρόβλημα ξεπεράσθηκε με τον ορισμό της αφετηρίας μηδέν στον παλιό παλιρροιογράφο του Τελωνείου Πειραιώς, με τιμή υψομέτρου 2.00 m, στον οποίο είχαν πραγματοποιηθεί μετρήσεις διάρκειας 3 χρόνων (1897-1898-1899).

Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του δικτύου, ξεκίνησε η μέτρησή του, αφού αποφασίστηκε η μεθοδολογία και τα όργανα που θα χρησιμοποιούνταν.

3.1.3. Μέθοδος μέτρησης και όργανα

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών της αναγνώρισης και της εγκατάστασης των αφετηριών, ακολούθησε η διαδικασία της μέτρησης του υψομετρικού δικτύου. Για να γίνει η μέτρηση, έπρεπε να επιλεγεί ο εξοπλισμός και η μέθοδος με την οποία θα εκτελεστούν οι μετρήσεις.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των μετρήσεων ήταν η γεωμετρική χωροστάθμηση. Κάθε χωροστάθμηση εκτελέστηκε 2 φορές, ώστε να γίνεται έλεγχος. Η δεύτερη χωροστάθμηση γινόταν με αντίθετη φορά προς την πρώτη, ώστε να εκμηδενίζονται ορισμένα συστηματικά σφάλματα που εξαρτώνται από την φορά της όδευσης. Επίσης, οι δύο αυτές χωροσταθμίσεις γινόταν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές με σκοπό να αποφεύγονται σφάλματα που οφείλονται σε μεταβολές της ατμοσφαιρικής διάθλασης. Χρησιμοποιήθηκαν 2 σταδίες για να εκτελούνται γρηγορότερα οι εργασίες πεδίου και η χωροστάθμηση γινόταν σε ίσες αποστάσεις μεταξύ των σημείων.

Για την ολοκλήρωση των μετρήσεων σε όλο το δίκτυο των Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων πραγματοποιήθηκαν 4600 στάσεις σε 245 εργάσιμες ώρες. Το συνολικό μήκος χωροσταθμίσεων ανέρχεται στα 350 χιλιόμετρα. Κάποια σημαντικά στοιχεία για τις εργασίες αυτές είναι τα παρακάτω:

- 1) Μέσο μήκος σκόπευσης: 34 m
- 2) Μέσο μήκος στάσης: 68 m
- 3) Κατά μέσο όρο διάρκεια μέτρησης της κάθε στάσης: 3.2 λεπτά
- 4) Μέση ωριαία ταχύτητα: 1.3 km
- 5) Μέση διάρκεια χωροστάθμησης μήκους 1 χλμ.: 46 λεπτά

Όσον αφορά τα όργανα, αρχικά είχε επιλεγεί να χρησιμοποιηθεί χωροβάτης Wild-Zeiss τύπου III και χωροσταθμηκός πήγης από Invar. Τελικά, αυτό δεν κατέστη δυνατό, λόγω του ότι η άφιξη του οργάνου αυτού και του πήγης είχε καθυστερήσει. Έτσι, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί

χωροβάτης Wild-Zeiss τύπου I και δύο χωροσταθμηκοί πήχεις αγγλικής κατασκευής Cook.[Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921]

3.1.4. Υπολογισμός ορθομετρικών υψομέτρων των αφετηριών

Μετά την εκτέλεση των μετρήσεων στο ιδρυθέν δίκτυο, ακολούθησε η διαδικασία του υπολογισμού των υψομέτρων των αφετηριών που εγκαταστάθηκαν.

Αρχικά, έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις σε ορισμένες μετρήσεις, που οφείλονταν στις σταδίες που χρησιμοποιήθηκαν και στην συνέχεια υπολογίστηκαν τα υψόμετρα των αφετηριών με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Οι μετρήσεις της χωροσταθμικής όδευσης γινόταν δεκτές όταν το σφάλμα κλεισίματος ήταν μικρότερο από 5 mm, αλλιώς η μέτρηση επαναλαμβανόταν.

Το δίκτυο χωρίστηκε σε 28 πολύγωνα, για καθένα από τα οποία υπολογίστηκε το σφάλμα κλεισίματος. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή των ελαχίστων τετραγώνων, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως και συγκεκριμένα εφαρμόστηκαν «εξισώσεις συνθήκης» και όχι «έμμεσες παρατηρήσεις».

Τελικά, για να εφαρμοσθεί η διαδικασία της συνόρθωσης στο δίκτυο, χωρίστηκε σε 4 τμήματα, όπου στο κάθε ένα εφαρμόστηκε ξεχωριστή συνόρθωση. Τα τμήματα αυτά ήταν τα ακόλουθα:

- 1) το δίκτυο της Αθήνας,
- 2) το δίκτυο του Πειραιά,
- 3) το δίκτυο του Π. Φαλήρου,
- 4) το ενδιάμεσο δίκτυο μεταξύ των προηγούμενων.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας του υπολογισμού των ορθομετρικών υψομέτρων των σημείων, ακολούθησε ο προσδιορισμός της ακρίβειάς τους. Η ακρίβεια αυτή εκφράζεται από τα μέσα σφάλματα ανά χιλιόμετρο διπλής

χωροσταθμίσεως και υπολογίστηκαν με 3 διαφορετικούς τρόπους. Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφονται τα σφάλματα αυτά και με τους 3 αυτούς τρόπους.

ΜΕΣΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ			
Υποδίκτυα	Σφάλμα από διάφορες παρατηρήσεις τμημάτων (mm)	Σφάλμα από κλείσιμο πολυγώνων (mm)	Σφάλμα από τις διορθώσεις των δικτύων με Μ.Ε.Τ. (mm)
	$\mu = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[P\Delta\Delta]}{n}}$	$\mu = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \frac{\omega^2}{L}}$	$\mu = \pm \sqrt{\frac{[PUU]}{N}}$
Αθηνών	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3528.4}{127}} = \pm 2.63$	$\sqrt{\frac{1}{14}} 55.1 = \pm 1.98$	$\sqrt{\frac{54.8}{14}} = \pm 1.98$
Πειραιώς	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{730.4}{66}} = \pm 1.66$	$\sqrt{\frac{1}{5}} 13.0 = \pm 1.61$	$\sqrt{\frac{11.8}{5}} = \pm 1.53$
Π. Φαλήρου	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{162.1}{9}} = \pm 2.12$	$\sqrt{\frac{1}{3}} 3.4 = \pm 1.07$	$\sqrt{\frac{5.9}{3}} = \pm 1.40$
Ενδιάμεσο	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1312.9}{103}} = \pm 1.78$	$\sqrt{\frac{1}{6}} 59.6 = \pm 3.15$	$\sqrt{\frac{100.7}{6}} = \pm 4.10$

Πίνακας 3.1: Τα μέσα σφάλματα όπως υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις (1920).

[Πηγή: Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921]

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα, θα μπορούσε να αναφερθεί ότι τα σφάλματα αυτά, αφού υπολογίστηκαν με 3 διαφορετικούς τρόπους, βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια που είχαν τεθεί από τον υπεύθυνο. Σε

γενικές γραμμές, οι διαφορές μεταξύ των σφαλμάτων αυτών δεν είναι σημαντικές, όπως προκύπτουν από τις διαφορετικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν. Μόνο στο τελευταίο υποδίκτυο εμφανίζονται κάποιες σημαντικές διαφορές.

Εκτός από τα παραπάνω, υπολογίστηκε και το μέσο σφάλμα ανά χιλιόμετρο διπλής χωροσταθμίσσεως, για ολόκληρο το δίκτυο με τα παρακάτω αποτελέσματα:[Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921]

$$\mu = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[P\Delta\Delta]}{n}} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{5733.8}{305}} = \pm 2.17 \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \frac{\omega^2}{L}} = \pm \sqrt{\frac{1}{28} 131.1} = \pm 2.17 \text{ mm} \quad (3.2)$$

όπου:

N= το πλήθος των εξισώσεων συνθήκης

ω = το σφάλμα κλεισίματος του πολυγώνου

L= το μήκος της περιμέτρου του πολυγώνου

n= ο αριθμός των χωροσταθμικών οδεύσεων

3.1.5. Υψομετρικές αφετηρίες που παρέμειναν μέχρι σήμερα

Το δίκτυο που περιγράφηκε στις παραπάνω ενότητες, ιδρύθηκε, εγκαταστάθηκε και μετρήθηκε στο χρονικό διάστημα 1920-1921. Εύκολα μπορεί να γίνει αντιληπτό, ότι με το πέρασ 90 χρόνων από την ίδρυση του, θα έχουν υπάρξει αρκετές αλλαγές στην μορφή του δικτύου και στο πλήθος των υψομετρικών αφετηριών που υπάρχουν μέχρι σήμερα (2011).

Με την ίδρυση του δικτύου των Αθηνών, προαστίων και περιχώρων, εγκαταστάθηκαν 320 υψομετρικές αφετηρίες σε όλη την Αθήνα. Επομένως, έπρεπε να ερευνηθεί πόσες από αυτές τις υψομετρικές αφετηρίες σώζονται μέχρι σήμερα και ποιες.

Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια εκπόνησης διπλωματικής εργασίας [Γκόβα Ε., 2007] που έλαβε χώρα το έτος 2007. Στην εργασία αυτή διαπιστώθηκε ότι από τις 320 υψομετρικές αφετηρίες, έχουν απομείνει οι 65.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, ένα πολύ μεγάλο μέρος του δικτύου αυτού δεν υπάρχει πλέον και αυτό είναι φυσιολογικό να συμβαίνει, αν αναλογιστεί κανείς τις μεγάλες αλλαγές που έχουν συμβεί στην πόλη της Αθήνας, τα 90 αυτά χρόνια που πέρασαν από τότε. Έχουν καταδαφιστεί κτίρια, έχουν ανεγερθεί νέα και γενικότερα έχουν γίνει πάρα πολλά έργα κατά την διάρκεια της χρονικής αυτής περιόδου, οδηγώντας στην εξαφάνιση ενός μεγάλου αριθμού των υψομετρικών αφετηριών του παλαιού αυτού δικτύου.

Από τις 65 υψομετρικές αφετηρίες που εντοπίστηκαν το 2007, οι 46 βρίσκονται στην πόλη των Αθηνών και οι υπόλοιπες 19 βρίσκονται στον Πειραιά. Κατά τη διαδικασία εύρεσης των σημείων, στην διπλωματική εργασία που έγινε, δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με τα σημεία αυτά, στον οποίο περιλαμβάνονται τα εξής στοιχεία [Γκόβα Ε., 2007]:

- ✓ Φωτογραφία της υψομετρικής αφετηρίας.
- ✓ Απόσπασμα χάρτη με προσημασμένη την θέση της υψομετρικής αφετηρίας.
- ✓ Ο αύξοντας αριθμός της υψομετρικής αφετηρίας.
- ✓ Το ορθομετρικό υψόμετρο της υψομετρικής αφετηρίας.
- ✓ Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της υψομετρικής αφετηρίας στο WGS '84.
- ✓ Η ακριβής διεύθυνση της υψομετρικής αφετηρίας (οδός και αριθμός).
- ✓ Περιγραφή της τοποθεσίας της υψομετρικής αφετηρίας για ευκολότερη εύρεση και σχόλια.



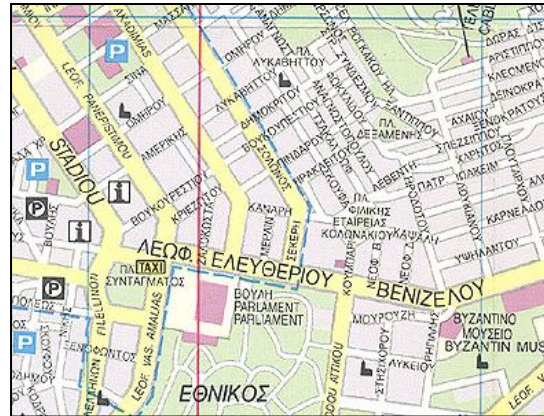
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΣΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΦΕΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΘΗΝΩΝ, ΠΡΟΑΣΤΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΧΩΡΩΝ (1920) – ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ.



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ



ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΧΑΡΤΗ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ	
ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΦΕΤΗΡΙΑ : No 92	H = 100.698 m
ΤΥΠΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΦΕΤΗΡΙΑΣ : Μικρό μπουλόνι	
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (WGS 84) :	
$\varphi = 37^{\circ} 58' 31.5''$	$\lambda = 23^{\circ} 44' 15.7''$
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	
ΟΔΟΣ : Λεωφ. Βασ. Σοφίας και Λεωφ. Βασ. Αμαλίας	ΑΡΙΘΜΟΣ :
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ : Βουλή των Ελλήνων. Στην βόρεια πρόσοψη του κτιρίου, στην βορειοανατολική γωνία.	
ΣΧΟΛΙΟ :	

*Εικόνα 3.3: Πληροφορίες για τις υψομετρικές αφετηρίες που εντοπίστηκαν.
[Πηγή: Γκόβα Ε., 2007]*

3.2. Το δίκτυο που μελετήθηκε

Στην προηγούμενη ενότητα, αναφέρθηκε ότι οι υψομετρικές αφετηρίες που έχουν σωθεί ανέρχονται σε 65. Οι 46 βρίσκονται στην περιοχή της Αθήνας, ενώ οι υπόλοιπες 19 βρίσκονται στον Πειραιά. Σύμφωνα με αυτά, αποφασίστηκε το δίκτυο που έχει απομείνει να χωριστεί σε 3 μικρότερα υποδίκτυα, ούτως ώστε να είναι πιο εύκολη η μελέτη και η παρακολούθηση του.

Τα 3 υποδίκτυα που δημιουργήθηκαν είναι τα παρακάτω:

- **Δίκτυο Αθηνών I**: αποτελείται από 20 σημεία με κωδικούς 4,5,6,8,56,57,61,68,71,86,87,133,141,143,144,150,159,160,180, 184.
- **Δίκτυο Αθηνών II**: αποτελείται από 26 σημεία με κωδικούς 1,11,16,17,20,26,31,37,40,46,77,89,92,93,96,101,104,105,107,108, 109,110,113,120,122,174.
- **Δίκτυο Πειραιά**: περιλαμβάνει 19 σημεία με αρίθμηση 271,281,282,287,290,292,295,296,298,299,303,307,309,311,312, 313,314,317,319.[Γκόβα Ε, 2007]

Από τα 3 υποδίκτυα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, θα μελετηθούν τα 2, το δίκτυο Αθηνών I και το δίκτυο Αθηνών II.

Το δίκτυο Αθηνών I, έχει μελετηθεί ήδη σε παλαιότερη διπλωματική εργασία[Αλεβιζάκου Ε.-Γ., 2010] και επομένως τα απαραίτητα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν από την συγκεκριμένη εργασία. Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται μία διαφορετική προσέγγιση των υψομέτρων του γεωειδούς για το συγκεκριμένο δίκτυο, σε σχέση με αυτό που έγινε στην παλαιότερη. Αναλυτικότερη παρουσίαση για το δίκτυο αυτό θα γίνει στην συνέχεια.

Το δίκτυο Αθηνών II είναι εκείνο που θα απασχολήσει περισσότερο, διότι σε αυτό δεν έχει γίνει κάποια προηγούμενη μελέτη, επομένως απαιτούνται εργασίες υπαίθρου. Στην συνέχεια, ακολουθεί η περιγραφή των

εργασιών αυτών και όλων των απαραίτητων ενεργειών, ούτως ώστε να μελετηθεί σε βάθος το χωροσταθμικό αυτό δίκτυο.

3.2.1. Δίκτυο Αθηνών I

Το υψομετρικό δίκτυο Αθηνών I αποτελείται από 20 σημεία, τα οποία βρίσκονται κατανεμημένα σε μία κεντρική περιοχή της Αθήνας. Πιο συγκεκριμένα, τα σημεία του δικτύου αυτού ξεκινούν από την οδό Πανεπιστημίου και καταλήγουν μέχρι και το πεδίο του Άρεως.

Κατά την διαδικασία αναγνώρισης της περιοχής, εντοπίστηκαν 2 ακόμα σημεία του δικτύου αυτού, με κωδικό 58 και 58^A. Τα σημεία αυτά δεν είχαν εντοπιστεί στην διάρκεια της έρευνας του 2007, διότι βρίσκονται στο κτίριο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην οδό Πατησίων και την περίοδο εκείνη εκτελούνταν έργα, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η πρόσβαση.

Επιπρόσθετα, κατά την διάρκεια της διαδικασία αναγνώρισης του δικτύου που έγινε το 2010, αφαιρέθηκαν από την μελέτη του δικτύου τα σημεία 71,159,180 και 184, λόγω διαφόρων προβλημάτων που προέκυψαν, όπως της μεγάλης απόστασης με αποτέλεσμα το σημείο να είναι πολύ απομακρυσμένο από τα υπόλοιπα ή της μη ύπαρξης της υψομετρικής αφετηρίας λόγω ανακαίνισης του κτιρίου.

Τελικά, αποφασίστηκε το δίκτυο που θα μελετηθεί να περιλαμβάνει **18** υψομετρικές αφετηρίες, οι οποίες είναι: **4,5,6,8,56,57,58,58^A,61,68,86,87,133,141,143,144,150,160**. [Αλεβιζάκου Ε.-Γ., Φαρμακάκη Α., 2010]

Οι 18 αυτές υψομετρικές αφετηρίες είναι κατανεμημένες στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών με τέτοιο τρόπο, ώστε το δίκτυο Αθηνών I να καλύπτει μία περιοχή της τάξης των 5 km².

Στον χάρτη 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι θέσεις των σημείων του δικτύου που αποφασίστηκε να μελετηθεί.



Χάρτης 3.1: Οι θέσεις των υψομετρικών αφετηριών του δικτύου Αθηνών Ι.
 [Πηγή: Αλεβιζάκου Ε.-Γ., Φαρμακάκη Α., 2010]

3.2.1.1. Ορθομετρικά υψόμετρα δικτύου Αθηνών Ι

Τα ορθομετρικά υψόμετρα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι εκείνα που προσδιορίστηκαν κατά την ίδρυση και την μέτρηση του δικτύου Αθηνών, προαστίων και περιχώρων, το έτος 1920. Αυτά τα υψόμετρα χρησιμοποιούνται και στα επόμενα κεφάλαια, όπου θα γίνει και η επεξεργασία των δεδομένων.

Πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι ως αβεβαιότητα των ορθομετρικών αυτών υψομέτρων έχει ληφθεί η μέση ακρίβεια όλου του δικτύου που είναι ίση με $\mu = \pm 1.98$ mm, όπως αναφέρεται στην ενότητα 3.1.4., λόγω της έλλειψης περαιτέρω στοιχείων για τις αβεβαιότητες των σημείων.

Τα ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων και η αβεβαιότητα τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κωδικός Σημείου	Ορθομετρικό υψόμετρο H ₁₉₂₀ (m)	Τυπική απόκλιση σΗ (mm)
4	74.684	± 1.98
5	85.760	
6	88.256	
8	91.351	
56	75.934	
57	75.780	
58	70.747	
58A	70.746	
61	83.163	
68	104.513	
86	123.488	
87	113.189	
133	78.694	
141	89.498	
143	96.829	
144	96.825	
150	105.176	
160	99.882	

Πίνακας 3.2: Τα ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων από το 1920.
[Πηγή: Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921]

Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί το γεγονός ότι τα ορθομετρικά υψόμετρα του δικτύου αυτού προσδιορίστηκαν ξανά το έτος 2010, κατά την διάρκεια διπλωματικής εργασίας [Φαρμακάκη Α., 2010]. Οι διαφορές που προέκυψαν από τις νέες τιμές των υψομέτρων και τις παλιές τους, ήταν της τάξης του χιλιοστού. Οι διαφορές αυτές θεωρούνται αμελητέες και επομένως κρίθηκε σκόπιμο να μην γίνει νέα μέτρηση και προσδιορισμός των ορθομετρικών υψομέτρων των κορυφών του υπόλοιπου δικτύου.

3.2.2. Δίκτυο Αθηνών II

Το δίκτυο αυτό αποτελεί το δεύτερο τμήμα του δικτύου που βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας. Περιλαμβάνει 26 υψομετρικές αφετηρίες, οι οποίες είναι κατανεμημένες σε διάφορες περιοχές του κέντρου των Αθηνών. Πιο συγκεκριμένα, οι υψομετρικές αφετηρίες ξεκινούν από την οδό Βασιλίσσης Σοφίας και το Αιγινήτειο νοσοκομείο, συνεχίζουν στο Παναθηναϊκό στάδιο, στην συνέχεια υπάρχουν κάποιες στην Ομόνοια και στο Μεταξουργείο και η περιοχή τερματίζει στην αρχή της λεωφόρου Αθηνών.

Αρχικά, στο δίκτυο αυτό περιλαμβάνονταν 26 σημεία. Όμως, κατά την διαδικασία αναγνώρισης της περιοχής μελέτης διαπιστώθηκε ότι κάποια από αυτά έπρεπε να αφαιρεθούν. Τελικά, αποφασίστηκε να αφαιρεθούν από το δίκτυο 5 υψομετρικές αφετηρίες, με αποτέλεσμα το δίκτυο να αποτελείται από 21 σημεία.

Τα σημεία που αφαιρέθηκαν από το δίκτυο είναι:

- Τα 46 και 174, λόγω της μεγάλης τους απόστασης από τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου, με αποτέλεσμα να μην καλύπτεται επαρκώς η συγκεκριμένη περιοχή.
- Τα 96,104 και 113, διότι κατά την διάρκεια της αναγνώρισης του δικτύου, διαπιστώθηκε ότι αυτές οι υψομετρικές αφετηρίες δεν αποτελούν σημεία του παλαιού δικτύου των Αθηνών, προαστίων και περιχώρων, έχοντας πιθανόν αντικατασταθεί από άλλες υπηρεσίες.

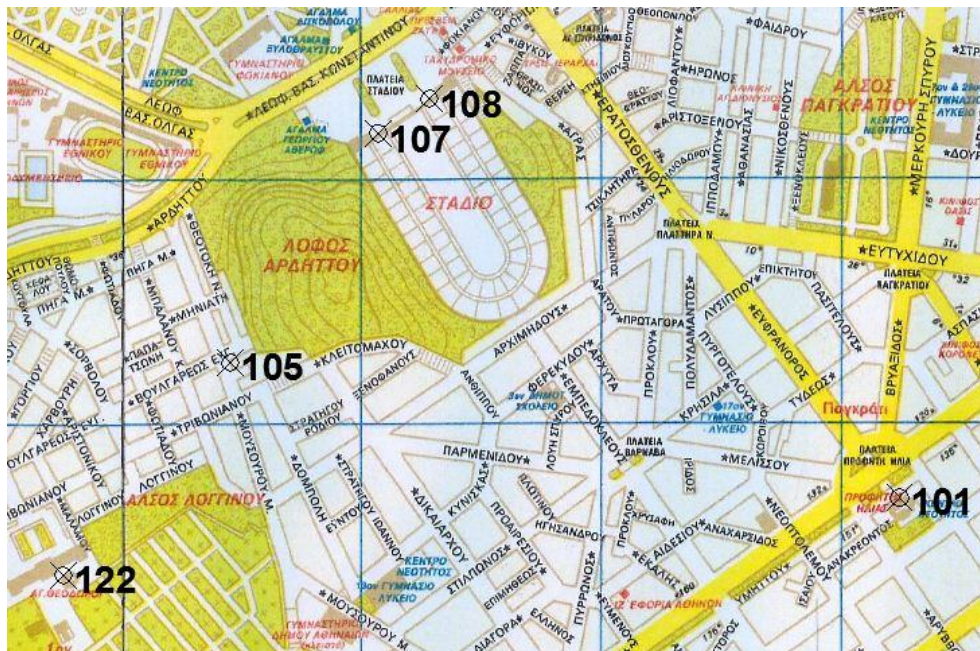
Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, το δίκτυο Αθηνών ΙΙ που μελετήθηκε περιλαμβάνει τις εξής 21 υψομετρικές αφετηρίες: **1,11,16,17,20,26,31,37,40,77,89,92,93,101,105,107,108,109,110,120 και 122.**

Οι υψομετρικές αφετηρίες που αναφέρονται ακριβώς παραπάνω, ορίζουν μία περιοχή μελέτης που έχει έκταση περίπου ίση με 7 km².

Η κατανομή των σημείων του δικτύου φαίνεται στους χάρτες 3.2-3.6 που ακολουθούν.



*Χάρτης 3.2: Οι θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 77,89,110.
[Πηγή: Καπρανίδης Σ., 2005]*



Χάρτης 3.3: Οι θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 101,105,107,108,122.
[Πηγή: Καπρανίδης Σ., 2005]



Χάρτης 3.4: Οι θέσεις των σημείων 11,20,92,93,107,109,110,120.
[Πηγή: Καπρανίδης Σ., 2005]



Χάρτης 3.5: Οι θέσεις των σημείων 1,16,17.
 [Πηγή: Καπρανίδης Σ., 2005]



Χάρτης 3.6: Τα σημεία 26,31,37,40.
 [Πηγή: Καπρανίδης Σ., 2005]

3.2.2.1. Ορθομετρικά υψόμετρα δικτύου Αθηνών ΙΙ

Τα ορθομετρικά υψόμετρα των αφετηριών του δικτύου Αθηνών ΙΙ, όταν έλαβε χώρα η εγκατάσταση και η μέτρηση του δικτύου, το έτος 1920, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Όσον αφορά την αβεβαιότητα των υψομέτρων αυτών, θα εφαρμοσθεί ότι έγινε και με τα ορθομετρικά υψόμετρα του δικτύου Ι, δηλαδή θα θεωρηθεί η αβεβαιότητα τους ίση με την μέση αβεβαιότητα του δικτύου, όπως προσδιορίστηκε την εποχή εκείνη και είναι $\mu=\pm 1.98$ mm.

Κωδικός Σημείου	Ορθομετρικό υψόμετρο H ₁₉₂₀ (m)	Τυπική απόκλιση σ _H (mm)
1	70.396	± 1.98
11	71.056	
16	74.492	
17	70.656	
20	79.955	
26	106.351	
31	46.904	
37	37.461	
40	44.527	
77	114.315	
89	105.024	
92	100.698	
93	102.348	
101	115.948	
105	95.815	
107	83.742	
108	83.627	
109	87.340	
110	99.641	
120	68.755	
122	85.753	

*Πίνακας 3.3: Τα ορθομετρικά υψόμετρα από το 1920 του δικτύου Αθηνών ΙΙ.
[Πηγή: Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921]*

3.3. Προσδιορισμός γεωμετρικών υψόμετρων δικτύου Αθηνών II

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο προσδιορίστηκαν τα γεωμετρικά υψόμετρα των σημείων του δικτύου. Γίνεται αναφορά στις εργασίες πεδίου, στην μέθοδο μέτρησης και στην επεξεργασία των μετρήσεων αυτών, ώστε να προκύψουν τα γεωμετρικά υψόμετρα.

Ακόμα, γίνεται παρουσίαση των οργάνων που χρησιμοποιηθήκαν για να εκτελεστούν οι εργασίες υπαίθρου, εστιάζοντας στην αβεβαιότητα που μπορεί να επιτευχθεί.

3.3.1. Εγκατάσταση νέων σημείων

Είναι γνωστό ότι ο προσδιορισμός του γεωμετρικού υψόμετρου ενός σημείου μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την χρήση του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού GPS, εφόσον δεν είναι γνωστή η αποχή του γεωειδούς. Έτσι, για να προσδιοριστούν τα γεωμετρικά υψόμετρα των αφετηριών του δικτύου, θα έπρεπε να γίνουν μετρήσεις GPS σε αυτές.

Σε αυτό το σημείο προέκυψε ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα στην πραγματοποίηση των μετρήσεων αυτών. Αυτό οφειλόταν στον τρόπο με τον οποίο έχουν εγκατασταθεί οι υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου και αυτό διότι τα σημεία αυτά έχουν υλοποιηθεί με μπουλόνια, τα οποία είναι τοποθετημένα σε τοίχους. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα της τοποθέτησης δέκτη GPS επάνω στις κορυφές αυτές.

Αυτό που αποφασίστηκε να γίνει για να αρθεί η δυσκολία αυτή, ήταν η ίδρυση νέων σημείων, στα οποία θα είναι δυνατό να τοποθετηθεί δέκτης του συστήματος GPS. Έτσι, ιδρύθηκαν **20** νέα σημεία, στα οποία προσδιορίστηκε το γεωμετρικό υψόμετρο.

Η ίδρυση ενός νέου σημείου γίνεται έτσι ώστε:

- ✓ Να μην είναι απομακρυσμένο το νέο σημείο από το παλιό, ούτως ώστε να μπορεί εύκολα να γίνει η σύνδεση μεταξύ τους (λιγότερο από 100 m).

- ✓ Να βρίσκεται σε ανοιχτό χώρο για να υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης με καλό και ελεύθερο ορίζοντα και έτσι να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια μέτρησης.
- ✓ Να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη η διέλευση ανθρώπων από εκείνο το σημείο, για την ασφάλεια των οργάνων και την καλύτερη και ευκολότερη εκτέλεση των μετρήσεων.

Για να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη επιλογή της θέσης του νέου σημείου και κυρίως για να τηρηθεί η προϋπόθεση του ανοιχτού ορίζοντα στο σημείο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένας δέκτης GPS χειρός, ο οποίος έδειχνε τον αριθμό των δορυφόρων και την γεωμετρία τους, στη συγκεκριμένη θέση. Ο δέκτης αυτός ήταν της εταιρείας Garmin, το μοντέλο eTrex Legend CX και φαίνεται στην εικόνα 3.4 που ακολουθεί.



*Εικόνα 3.4: Ο δέκτης GPS χειρός που χρησιμοποιήθηκε.
[Πηγή: www.geoshop.gr]*

Η υλοποίηση των νέων σημείων που ιδρύθηκαν έγινε με καρφί στο έδαφος και με μία προσήμανση γύρω από αυτό που έγινε με μαρκαδόρο (εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5: Υλοποιημένη νέα κορυφή του δικτύου.

Προηγουμένως αναφέρθηκε ότι ιδρύθηκαν και υλοποιήθηκαν 20 νέα σημεία, ενώ οι κορυφές του υπό μελέτη δικτύου είναι 21. Αυτό συνέβη διότι οι υψομετρικές αφετηρίες 92 και 93 (κτήριο Ελληνικού Κοινοβουλίου) βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους και δεν θα είχε νόημα να ιδρυθούν 2 νέα σημεία, διότι θα γίνονταν 2 μετρήσεις GPS μέσα σε λίγα μέτρα.

Πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι για τα νέα σημεία που ιδρύθηκαν δεν είναι γνωστό το ορθομετρικό υψόμετρο. Για το λόγο αυτό, τα σημεία αυτά συνδέθηκαν με τα παλιά με μία γεωμετρική χωροστάθμιση σε μετάβαση και επιστροφή (aller-retour), ώστε να προσδιοριστεί και το ορθομετρικό τους υψόμετρο.

3.3.2. Μετρήσεις GPS

Την διαδικασία της εγκατάστασης των νέων σημείων ακολουθεί αυτή των μετρήσεων. Βέβαια, σε κάθε νέο σημείο, με την εγκατάστασή του γινόταν αμέσως και η μέτρηση, ώστε να μην χρειαστεί επιπλέον μετάβαση στο σημείο.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις GPS είναι αυτή του *σχετικού στατικού εντοπισμού* με την χρήση *ενός δέκτη* διπλής συχνότητας

(L1 και L2). Είναι γνωστό ότι για να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτούνται 2 δέκτες, στην συγκεκριμένη όμως περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε ένας δέκτης και τα υπόλοιπα δεδομένα που χρειάζονται αγοράστηκαν από το δίκτυο μονίμων σταθμών HEPOS. Επίσης, οι επιλύσεις των δεδομένων δεν έγιναν σε πραγματικό χρόνο αλλά με *μετεπεξεργασία*.

Στις μετρήσεις εφαρμόστηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού, διότι είναι η ακριβέστερη, με αβεβαιότητα που μπορεί να φτάσει τα λίγα mm, σε αντίθεση με τον απόλυτο εντοπισμό θέσης του οποίου η αβεβαιότητα είναι της τάξης των μερικών m.

Από το δίκτυο μονίμων σταθμών Heros χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 2 σταθμούς αναφοράς. Αυτό συνέβη για να υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ο σταθμός που δίνει καλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα ή να χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων αυτών για τον ίδιο λόγο (έλεγχος).

Οι δύο μόνιμοι σταθμοί του συστήματος Heros που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο *σταθμός 098A* που βρίσκεται στα κτίρια της Κτηματολόγιο Α.Ε. στην Αττική και ο *σταθμός 007A* που βρίσκεται στην Ελευσίνα. Αναλυτικότερη παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο αποκτήθηκαν τα δεδομένα από τους μόνιμους σταθμούς αναφοράς θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 3.6: Ο δέκτης GPS κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Ακόμα, οι παρατηρήσεις που έγιναν ήταν *παρατηρήσεις φάσης του φέροντος κύματος* και όχι μετρήσεις ψευδοαπόστασης, εξαιτίας της μειωμένης ακρίβειας των αποτελεσμάτων που μπορούν να αποδώσουν οι τελευταίες.

Κατά την διαδικασία μέτρησης, ο δέκτης τοποθετήθηκε στο σημείο μέτρησης (εικόνα 3.6) και παρέμεινε σταθερός σε αυτό για 20 λεπτά. Το χρονικό αυτό διάστημα ήταν αρκετό, ούτως ώστε να είναι δυνατή η επίλυση των βάσεων με ακριβή αποτελέσματα.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS				
ΠΡΩΤΗ ΗΜΕΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ: 26/02/2011				
ΣΗΜΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ	ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ (m)
107	11:53	12:17	0:24	1.46
108	12:27	12:48	0:21	1.46
105	14:22	14:43	0:21	1.46
122	15:46	16:06	0:20	1.46
ΔΕΥΤΕΡΗ ΗΜΕΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ: 27/02/2011				
1	9:48	10:22	0:34	1.46
17	10:51	11:12	0:21	1.86
16	12:00	12:21	0:21	1.61
31	13:19	13:40	0:21	1.66
120	15:10	15:31	0:21	1.66
20	15:58	16:19	0:21	1.76
ΤΡΙΤΗ ΗΜΕΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ: 28/02/2011				
77	10:02	10:22	0:20	1.76
110	12:11	12:31	0:20	1.86
109	13:06	13:26	0:20	1.76
101	14:15	14:35	0:20	1.76
ΤΕΤΑΡΤΗ ΗΜΕΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ: 01/03/2011				
92	10:17	10:37	0:20	1.66
26	12:32	12:53	0:21	1.66
ΠΕΜΠΤΗ ΗΜΕΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ: 19/03/2011				
89	10:18	10:38	0:20	1.76
11	12:39	13:09	0:30	1.76
40	14:08	14:28	0:20	1.76
37	15:09	15:30	0:21	1.76

Πίνακας 3.4: Στοιχεία μετρήσεων με το δορυφορικό σύστημα GPS.

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα, φαίνεται ότι σε κάποιες από τις μετρήσεις που έγιναν η διάρκεια είναι μεγαλύτερη. Αυτό συνέβη διότι ο ορίζοντας δεν ήταν ανοιχτός προς όλες τις κατευθύνσεις και αυτό ίσως είχε επίπτωση στην επιτευχθείσα ακρίβεια. Έτσι, αποφασίστηκε να αυξηθεί λίγο η διάρκεια της μέτρησης, με αποτέλεσμα να αυξηθεί και το πλήθος των παρατηρήσεων, ώστε να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα στην επίλυση των βάσεων, κατά την επεξεργασία των μετρήσεων.

Κάποια προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν τα ακόλουθα:

- Η συχνή διέλευση ανθρώπων από τον χώρο που πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις, με αποτέλεσμα την συνεχή επίβλεψη του οργάνου από πολύ κοντινή απόσταση.
- Σε ορισμένα σημεία της περιοχής μελέτης, ο αστικός ιστός ήταν πολύ έντονος, με συνέπεια την μεγάλη δυσκολία εύρεσης καλής θέσης για να τοποθετηθεί ο δέκτης.
- Στην υψομετρική αφετηρία 11 που βρίσκεται στην Μητρόπολη Αθηνών, αρχικά ήταν αδύνατη η πρόσβαση και κατ' επέκταση η μέτρηση, λόγω των εργασιών επισκευής και συντήρησης. Το πρόβλημα αυτό ξεπεράστηκε μετά από συνεννόηση με τους υπεύθυνους μηχανικούς και τους νεωκόρους της εκκλησίας.

3.3.3. Εξοπλισμός των μετρήσεων GPS

Για την πραγματοποίηση αξιόπιστων μετρήσεων, δηλαδή μετρήσεων με υψηλή ακρίβεια, είναι απαραίτητη και η χρησιμοποίηση εξελιγμένου και αξιόπιστου εξοπλισμού.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων GPS είναι ο παρακάτω (εικόνα 3.7):

- Δέκτης GPS της εταιρείας Trimble, το μοντέλο 5800.
- Φορτιστής για τις μπαταρίες του δέκτη GPS.

- Στυλαιός, στον οποίο επάνω βίδωνε ο δέκτης.
- Τρίποδο μικρού μεγέθους, για την σταθεροποίηση του στυλαιού με τον δέκτη, ακριβώς επάνω στο καρφί του σημείου.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να γίνει μία σύντομη παρουσίαση του δέκτη GPS και των δυνατοτήτων του, που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις.



Εικόνα 3.7: Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, "εν δράσει".

3.3.3.1. Δέκτης GPS Trimble 5800

Ο δέκτης 5800 της εταιρείας Trimble (εικόνα 3.8) είναι ένα εξελιγμένο μοντέλο, τελευταίας τεχνολογίας. Έχει τη δυνατότητα να μετρά και στις 2 συχνότητες, L1 και L2 του συστήματος GPS. Η καινοτομία του έγκειται στο γεγονός ότι ενσωματώνει σε μία συμπαγή και ελαφριά συσκευή τον δέκτη του συστήματος, το σύστημα για ασύρματη επικοινωνία αλλά και τις κεραίες. Το βάρος του ανέρχεται στα 1.21 kg.

Κάποια από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δέκτη, είναι τα εξής:

- Λειτουργεί με τα χειριστήρια ACU, TCU και TSC2 της Trimble και υποστηρίζει επικοινωνία Bluetooth με αυτά. Η δυνατότητα αυτή κάνει δυνατή τη λειτουργία του συστήματος χωρίς κανένα καλώδιο.
- Το συνολικό βάρος του κινητού δέκτη μαζί με τον στυλαιό, το χειριστήριο και την μπαταρία είναι μόλις 3.67 Kgr .
- Υποστηρίζει δυνατότητα επικοινωνίας μέσω UHF, GSM και GPRS για την λήψη διορθώσεων RTK.
- Είναι πλήρως συμβατό με το σύστημα Hepos.
- Παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα των παρακάτω μεθόδων εντοπισμού με τις αντίστοιχες ακρίβειες:
 - Γρήγορου στατικού (Fast Static)
 - Οριζοντιογραφική ακρίβεια: $\pm 5\text{mm} + 0.5\text{ppm RMS}$
 - Υψομετρική ακρίβεια: $\pm 5\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$
 - Κινηματικού (PPK)
 - Οριζοντιογραφική ακρίβεια: $\pm 10\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$
 - Υψομετρική ακρίβεια: $\pm 20\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$
 - Κινηματικού σε πραγματικό χρόνο (RTK)
 - Οριζοντιογραφική ακρίβεια: $\pm 10\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$
 - Υψομετρική ακρίβεια: $\pm 20\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$

[www.geotech.gr]



Εικόνα 3.8: Ο δέκτης GPS Trimble 5800.

3.3.4. Επεξεργασία των μετρήσεων GPS

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών υπαίθρου, ακολουθεί πάντα το στάδιο της επεξεργασίας των μετρήσεων, για να προκύψουν τα αποτελέσματα. Η διαδικασία που θα οδηγήσει στα τελικά αποτελέσματα είναι αυτή της «μετεπεξεργασίας».

Επομένως, αφού συγκεντρωθούν όλα τα απαραίτητα δεδομένα, τότε ακολουθεί η επίλυση των βάσεων, με την χρήση του απαραίτητου λογισμικού επεξεργασίας.

3.3.4.1. Δεδομένα από μόνιμους σταθμούς αναφοράς του Hepos

Όπως αναφέρθηκε, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων εφαρμόστηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού αλλά με την χρήση ενός δέκτη. Αυτό συνέβη διότι αποφασίστηκε ως σταθμός αναφοράς να χρησιμοποιηθεί κάποιος μόνιμος σταθμός αναφοράς του συστήματος Hepos.

Για ακόμα καλύτερα αποτελέσματα, χρησιμοποιήθηκαν 2 μόνιμοι σταθμοί του Hepos, οι οποίοι είναι ο 098A που βρίσκεται στο κτίριο της Κτηματολόγιο Α.Ε. στη Μεσογείων και ο 007A που βρίσκεται στην Ελευσίνα.

Τα δεδομένα από τους δύο αυτούς σταθμούς, αποκτήθηκαν μέσω της ιστοσελίδας του Hepos στο διαδίκτυο. Η διαδικασία για την απόκτηση των απαραίτητων δεδομένων ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

- Πρώτα, θα πρέπει να γίνει επίσκεψη στην ιστοσελίδα του συστήματος, με διεύθυνση www.hepos.gr.
- Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει σύνδεση του χρήστη, πληκτρολογώντας στην ιστοσελίδα το **όνομα χρήστη** και τον αντίστοιχο **κωδικό πρόσβασης**.
- Το επόμενο βήμα είναι η επίσκεψη του χρήστη στο «**Rinex Shop**» της ιστοσελίδας, μέσω του οποίου θα αποκτηθούν τα δεδομένα.

- Αυτό που απαιτείται για να συνεχιστεί η διαδικασία, είναι να επιλέξει ο χρήστης τον **τύπο του σταθμού** που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει. Ο χρήστης εδώ επιλέγει αν θέλει να χρησιμοποιήσει μόνιμο σταθμό του συστήματος ή εικονικό σταθμό. Ακόμα θα πρέπει να επιλεγεί ο σταθμός που θα χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση του μόνιμου σταθμού.
- Στη συνέχεια θα πρέπει να επιλεγεί το χρονικό διάστημα των παρατηρήσεων που επιθυμεί ο χρήστης να αποκτήσει. Απαιτείται να συμπληρωθούν τα εξής στοιχεία: **ημερομηνία μέτρησης, ώρα έναρξης και διάρκεια της μέτρησης.**
- Τέλος, ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον **τρόπο παράδοσης** των δεδομένων (αρχείο .zip κ.α.).

Εικόνα 3.9: Η ιστοσελίδα του συστήματος HEPOS.
[Πηγή: www.hepos.gr]

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι τα δεδομένα που μπορεί να αποκτήσει κανείς από το δίκτυο μονίμων σταθμών του Heros δεν είναι δωρεάν, όπως είναι φυσικό. Η χρέωση των αρχείων αυτών υπολογίζεται περίπου ίση με 6€ ανά ώρα παρατηρήσεων.

3.3.4.2. Λογισμικό επεξεργασίας

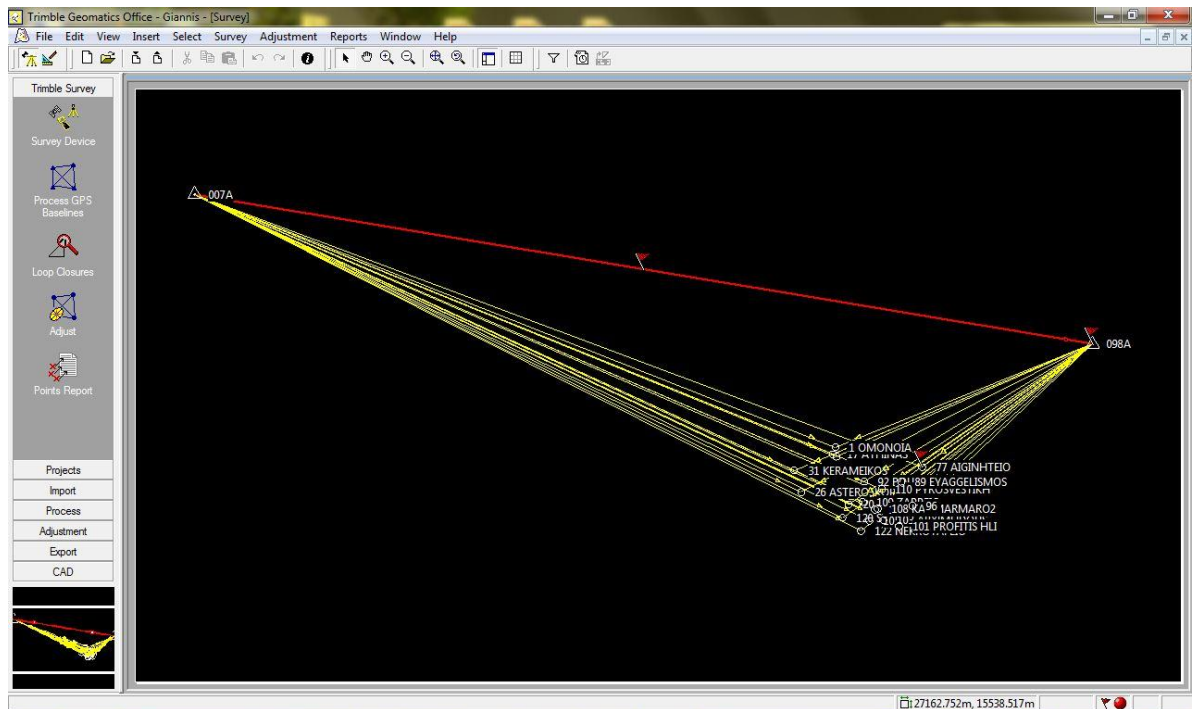
Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων από τις μετρήσεις GPS που έγιναν, είναι το αντίστοιχο της εταιρείας Trimble με ονομασία «*Trimble Geomatics Office-TGO*».

Τα σημεία στα οποία τοποθετήθηκε δέκτης GPS, πραγματοποιώντας παρατηρήσεις ανέρχονται σε 20, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 2 μόνιμους σταθμούς του Heros, οπότε οι βάσεις που θα πρέπει να επιλυθούν είναι 40. Για κάθε σημείο θα πρέπει αρχικά να επιλυθεί η βάση που σχηματίζεται από αυτό και κάθε μόνιμο σταθμό ξεχωριστά.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων περιγράφεται στα επόμενα βήματα:

- 1) Δημιουργία ενός νέου project εργασίας στο λογισμικό, στο οποίο θα εισαχθούν όλα τα δεδομένα και θα γίνει η επεξεργασία.
- 2) Εισαγωγή των δεδομένων από τον δέκτη GPS που χρησιμοποιήθηκε στο λογισμικό και επομένως στο project. Κατά την εισαγωγή των δεδομένων αυτών χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη συμπλήρωση του ύψους του οργάνου και στον τρόπο με τον οποίο μετρήθηκε. Τα αρχεία αυτά έχουν την μορφή .dat file.
- 3) Εισαγωγή στο project των δεδομένων που αποκτήθηκαν από το Heros. Τα αρχεία αυτά είναι της μορφής rinex file.
- 4) Επίλυση των βάσεων που έχουν δημιουργηθεί από την εισαγωγή των δεδομένων.

- 5) Έλεγχος των αποτελεσμάτων της επίλυσης των βάσεων. Ορισμένες βάσεις δεν επιλύθηκαν με την πρώτη προσπάθεια και άλλες δεν έδιναν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυτό οδήγησε σε νέες επιλύσεις με αφαίρεση κάποιων δορυφόρων από αυτές, λόγω μειωμένης διάρκειας παρατηρήσεων προς αυτούς. Τα στοιχεία που βοηθούν στον έλεγχο της επίλυσης των βάσεων είναι οι δείκτες: ratio, reference variance και rms όπως και ο τύπος της επίλυσης (αν είναι fixed ή float).
- 6) Μία άλλη μέθοδος ελέγχου για την καλή επίλυση των βάσεων που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του κλεισίματος των τριγώνων. Επειδή χρησιμοποιήθηκαν 2 μόνιμοι σταθμοί, δημιουργήθηκαν τρίγωνα που ορίζονταν από το σημείο που τοποθετήθηκε ο δέκτης και από τους μόνιμους σταθμούς. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχθηκε το πώς “κλείνουν” τα τρίγωνα αυτά στο κατακόρυφο επίπεδο, δηλαδή υψομετρικά.(Παράρτημα 2)
- 7) Ορισμός των μόνιμων σταθμών ως σημεία αναφοράς (σταθερά σημεία) μέσα στο λογισμικό και νέα επίλυση των βάσεων. Αυτή η τελευταία επίλυση με σταθερά τα σημεία των μόνιμων σταθμών είναι αυτή που θα δώσει τα τελικά αποτελέσματα των μετρήσεων.
- 8) Τέλος, το μόνο που έμεινε είναι η εξαγωγή των αποτελεσμάτων, δηλαδή των γεωμετρικών υψομέτρων h. Το λογισμικό δίνει επίσης ως αποτελέσματα τις γεωκεντρικές καρτεσιανές συντεταγμένες X,Y,Z των σημείων στο WGS '84 ή τις γεωγραφικές συντεταγμένες φ,λ.



Εικόνα 3.10: Το περιβάλλον εργασίας του λογισμικού "Trimble Geomatics Office".

Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 3.10), με ευκολία μπορεί να γίνει αντιληπτό το γεγονός ότι ενώ οι περισσότερες βάσεις έχουν κίτρινο χρώμα υπάρχουν και βάσεις κόκκινου χρώματος. Αυτή είναι μία γραφική παρουσίαση του λογισμικού, για το αν έχει λυθεί η βάση ή όχι. Το κόκκινο χρώμα σημαίνει ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα στη βάση και δεν μπορεί να επιτευχθεί η λύση της, ενώ το κίτρινο σημαίνει ότι η βάση λύθηκε χωρίς κανένα πρόβλημα.

Μετά από αρκετές δοκιμές, επιτεύχθηκε τελικά η επίλυση όλων των βάσεων που έχουν δημιουργηθεί μεταξύ των μετρημένων σημείων. Στον πίνακα 3.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν από την επίλυση κάθε βάσης. Τα στοιχεία αυτά είναι πολύ χρήσιμα και ήταν απαραίτητη η προσεκτική μελέτη τους, ώστε να διαπιστωθεί ότι όντως η επίλυση της βάσης που πραγματοποιήθηκε είναι η καλύτερη δυνατή.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS								
	ΜΟΝΙΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ 007Α				ΜΟΝΙΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ 098Α			
Σημεία που μετρήθηκαν	Μήκος Βάσης (m)	Ratio	Reference Variance	RMS (m)	Μήκος Βάσης(m)	Ratio	Reference Variance	RMS (m)
1'	17647.24	18.6	0.928	0.010	7101.495	15.7	0.872	0.009
11'	18114.75	8.2	1.87	0.016	7406.382	6.9	2.259	0.019
16'	17762.14	9.8	0.94	0.014	7173.294	13.4	1.025	0.014
17'	17659.44	9	3.275	0.017	7226.788	50.5	2.778	0.015
20'	18546.35	6.4	2.629	0.019	7476.462	10.9	2.833	0.019
26'	17314.66	6.6	2.515	0.015	8374.644	8.7	2.574	0.014
31'	16908.95	7.7	2.378	0.018	8302.809	15.3	2.316	0.018
37'	16349.12	7.3	4.785	0.021	8367.131	12.6	3.869	0.019
40'	16608.41	5.6	2.121	0.014	7983.829	29.1	2.122	0.014
77'	19909.93	8.7	3.321	0.016	5381.705	14.3	3.054	0.016
89'	19493.77	5.8	1.393	0.014	6072.267	14	1.469	0.015
92'	18664.29	31.8	0.962	0.011	6831.651	17.7	1.147	0.011
101'	19952.96	13.2	1.65	0.016	6806.77	7.9	1.174	0.013
105'	19206.54	5.8	4.14	0.019	7297.38	14.8	4.534	0.020
107'	19208.8	12.3	1.459	0.015	7006.755	8.2	1.588	0.017
108'	19268.66	9.6	1.294	0.013	6931.258	42.1	1.278	0.013
109'	18847.72	19.9	1.309	0.011	7144.113	12.8	1.243	0.011
110'	19153.06	6.1	2.191	0.019	6556.993	3.6	2.835	0.019
120'	18551.36	10.8	3.194	0.016	7797.57	12.6	3.132	0.017
122'	19126.55	12.5	1.493	0.014	7624.918	10.7	1.655	0.014

Πίνακας 3.5: Στοιχεία από την επίλυση των βάσεων.

Αυτά είναι:

- Η παράμετρος **Ratio** πρέπει να είναι **μεγαλύτερη από 3**. Όσο αυξάνεται το ratio, τόσο το καλύτερο για την επίλυση. Είναι αδιάστατο μέγεθος.
- Η παράμετρος **Reference Variance** πρέπει να είναι **μικρότερη από 4** και όσο το δυνατόν πιο κοντά στην μονάδα. Είναι επίσης αδιάστατο μέγεθος.
- Το στατιστικό στοιχείο **RMS** είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και όσο **μικρότερη τιμή** έχει, τόσο το καλύτερο. Οι μονάδες του είναι σε μέτρα.

- Τέλος, πρέπει να τονισθεί ότι όλες οι επιλύσεις ήταν *Iono free fixed* και καμία δεν ήταν float.

Υπενθύμιση: Για τα σημεία 92 και 93 έχει ιδρυθεί ένα μόνο σημείο, το 92', λόγω της πολύ κοντινής τους απόστασης.

3.3.4.3. Αποτελέσματα επιλύσεων-Γεωμετρικά υψόμετρα h

Σκοπός της επεξεργασίας των δεδομένων και των μετρήσεων είναι ο προσδιορισμός των ζητούμενων στοιχείων. Επομένως, ο στόχος των μετρήσεων GPS ήταν ο προσδιορισμός των γεωμετρικών υψομέτρων h των σημείων του δικτύου.

Τα γεωμετρικά υψόμετρα που προέκυψαν από το λογισμικό TGOoffice αναφέρονται στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς WGS '84 και συγκεκριμένα στο ελλειψοειδές που χρησιμοποιεί, το GRS '80.

Έχει αναφερθεί αρκετές φορές στις προηγούμενες ενότητες, η χρήση 2 μονίμων σταθμών του Heros, που σημαίνει ότι θα προκύψουν 2 γεωμετρικά υψόμετρα για κάθε υψομετρική αφετηρία. Έτσι, αποφασίστηκε η τελική τιμή του γεωμετρικού υψομέτρου h για κάθε σημείο να προκύψει από τον μέσο όρο των υψομέτρων από τους 2 αυτούς σταθμούς.

Επομένως, τα γεωμετρικά υψόμετρα για κάθε ένα από τα σημεία του δικτύου, θα προκύψει εφαρμόζοντας την σχέση που εκφράζει το μέσο όρο δύο τιμών, δηλαδή την ακόλουθη:

$$h = \frac{h_1+h_2}{2} \quad (3.3)$$

Τα γεωμετρικά υψόμετρα που προέκυψαν από τους 2 σταθμούς καθώς και ο μέσος όρος τους φαίνονται στον πίνακα 3.6.

Κωδικός Σημείου	Σταθμός 007A		Σταθμός 098A		Μέσος Όρος h (m)	σ _h (mm)
	h ₁ (m)	σ _{h1} (mm)	h ₂ (m)	σ _{h2} (mm)		
1'	109.367	± 4	109.386	± 5	109.377	± 3
11'	108.521	± 6	108.533	± 5	108.527	± 3
16'	112.11	± 3	112.115	± 3	112.113	± 2
17'	109.405	± 13	109.419	± 14	109.412	± 9
20'	117.862	± 8	117.88	± 8	117.871	± 5
26'	143.161	± 7	143.188	± 7	143.175	± 4
31'	85.061	± 6	85.077	± 6	85.069	± 4
37'	76.377	± 9	76.376	± 10	76.377	± 6
40'	82.626	± 11	82.628	± 11	82.627	± 7
77'	152.287	± 24	152.356	± 26	152.322	± 17
89'	142.497	± 4	142.519	± 4	142.508	± 2
92'	137.535	± 5	137.549	± 4	137.542	± 3
101'	153.766	± 5	153.775	± 6	153.771	± 3
105'	133.408	± 55	133.41	± 54	133.409	± 38
107'	119.779	± 5	119.787	± 4	119.783	± 3
108'	120.953	± 4	120.964	± 4	120.959	± 2
109'	124.301	± 5	124.325	± 5	124.313	± 3
110'	138.051	± 23	138.069	± 20	138.060	± 15
120'	106.64	± 14	106.647	± 15	106.644	± 10
122'	123.133	± 6	123.15	± 6	123.142	± 4

Πίνακας 3.6: Τα γεωμετρικά υψόμετρα των σημείων του δικτύου Αθηνών II και οι αβεβαιότητες τους.

Εφόσον, η τελική τιμή του γεωμετρικού υψομέτρου του κάθε σημείου προέκυψε ως ο μέσος όρος από τις 2 τιμές που έδιναν οι 2 μόνιμοι σταθμοί, κάτι ανάλογο συνέβη και με την τυπική απόκλιση των υψομέτρων αυτών. Η τυπική απόκλιση αυτή, δεν θα προκύψει από τον μέσο όρο των δύο αποκλίσεων, αλλά θα εφαρμοστεί ο νόμος μετάδοσης σφαλμάτων στην σχέση από την οποία προσδιορίστηκε η τελική τιμή του γεωμετρικού υψομέτρου.

Άρα θα είναι:

$$\sigma_h = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2} \quad (3.4)$$

Παρατηρώντας τον πίνακα 3.6, γίνεται φανερό ότι οι τιμές των περισσότερων τυπικών αποκλίσεων είναι μικρότερες από ±10 mm και

κυμαίνονται από $\pm 3\text{mm}$ έως $\pm 8\text{mm}$. Σε 4 σημεία μόνο εμφανίζεται μεγαλύτερη τιμή στο σφάλμα. Στο σημείο 110' παρατηρείται αβεβαιότητα ίση με 15 mm και στο 77' είναι 18 mm, ενώ την μεγαλύτερη αβεβαιότητα παρουσιάζει το σημείο 105' η οποία έχει τιμή 40 mm.

Επίσης, είναι φανερό ότι με τον υπολογισμό του γεωμετρικού υψομέτρου από τον μέσο όρο των τιμών από τους 2 σταθμούς και με την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων, προέκυψε μία μικρή μείωση της αβεβαιότητας των υψομέτρων.

3.3.4.4. Προβλήματα κατά την επεξεργασία

Κατά την επίλυση των βάσεων δεν αντιμετωπίστηκαν ιδιαίτερα προβλήματα. Όλες οι επιλύσεις των βάσεων ήταν Ionο free fixed και επομένως τα αποτελέσματα από τις πρώτες επιλύσεις ήταν ικανοποιητικά.

Προηγουμένως αναφέρθηκαν κάποια σημαντικά στοιχεία που δείχνουν σε κάποιο βαθμό την ποιότητα της λύσης, χωρίς βέβαια τα στοιχεία αυτά να αποτελούν μονόδρομο για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων (Ratio, Reference Variance, RMS).

Το μοναδικά μικροπροβλήματα που προέκυψαν κατά την επίλυση των βάσεων, ήταν ότι σε μερικές βάσεις τα στοιχεία αυτά δεν είχαν πολύ ικανοποιητικές τιμές, με αποτέλεσμα να γίνει μία προσπάθεια βελτίωσής τους.

Ο τρόπος με τον οποίο έγινε η βελτίωση των τιμών αυτών των στοιχείων, ήταν η μελέτη το διαγραμμάτων των δορυφόρων για κάθε λυμένη βάση (Satellite Phase Tracking). Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται η συμμετοχή του κάθε δορυφόρου στις παρατηρήσεις καθώς και η χρονική διάρκεια της συμμετοχής αυτής. Αυτό είχε ως συνέπεια, να αφαιρεθεί κάποιος δορυφόρος ή ένα χρονικό τμήμα αυτού από την επίλυση της βάσης, πράγμα που οδήγησε σε βελτίωση της λύσης.

3.3.5. Γεωμετρική χωροστάθμιση στο δίκτυο Αθηνών II

Για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις GPS, ιδρύθηκαν και υλοποιήθηκαν νέα σημεία. Τα νέα, όμως, αυτά σημεία πρέπει να συνδεθούν με τα παλαιά σημεία του δικτύου, ώστε να προσδιοριστεί το ορθομετρικό τους υψόμετρο. Αυτό συνέβη διότι για να προσδιοριστεί το υψόμετρο του γεωειδούς σε ένα σημείο, θα πρέπει να είναι γνωστά και το γεωμετρικό και το ορθομετρικό του υψόμετρο.

Με τις μετρήσεις GPS προσδιορίστηκαν τα γεωμετρικά υψόμετρα των νέων σημείων που ιδρύθηκαν. Για να προσδιοριστούν και τα ορθομετρικά τους υψόμετρα, πραγματοποιήθηκε γεωμετρική χωροστάθμιση μεταξύ του παλιού σημείου και του νέου.

Οι χωροσταθμίσεις που πραγματοποιήθηκαν απαιτούσαν κυρίως μία στάση και μόνο σε 3 περιπτώσεις υπήρξαν περισσότερες στάσεις (2 ή 3). Επίσης, έγιναν σε μετάβαση και επιστροφή (aller-retour). Επιπρόσθετα, οι μετρήσεις καταγράφηκαν σε ένα ειδικά διαμορφωμένο έντυπο, το οποίο περιέχει πληροφορίες τόσο για τις μετρήσεις GPS, όσο και για τις μετρήσεις της γεωμετρικής χωροστάθμισης. Το έντυπο αυτό παρουσιάζεται στο παράρτημα του τεύχους.

Οι μετρήσεις που έγιναν με την μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμισης, φαίνονται στον πίνακα 3.7.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ			
Σημεία	Ημερομηνία Μέτρησης	ΔΗ (m)	Κλείσιμο (mm)
107'-107	26-02-11	2.3894	0.5
108'-108	26-02-11	1.1125	0.2
105'-105	26-02-11	0.8469	0.6
122'-122	26-02-11	1.0282	0.03
1'-1	27-02-11	-0.5405	0
17'-17	27-02-11	-0.3119	0.5
16'-16	27-02-11	0.8137	0.1
31'-31	27-02-11	0.2129	1.2
120'-120	27-02-11	0.4081	0.3
20'-20	27-02-11	0.5018	0.2
110'-110	28-02-11	0.0334	0.03
109'-109	28-02-11	1.4724	0.2
101'-101	28-02-11	0.6058	0.4
26'-26	01-03-11	1.5372	0.9
92'-92	01-03-11	1.5969	0.9
92'-93	01-03-11	3.2488	0.1
77'-77	19-03-11	0.5143	0.5
89'-89	19-03-11	1.0084	0.04
11'-11	19-03-11	0.9266	0.06
40'-40	19-03-11	0.2703	0.1
37'-37	19-03-11	-0.3303	0.04

Πίνακας 3.7: Οι μετρήσεις γεωμετρικής χωροστάθμησης.

Σημείωση: Για τα σημεία 92 και 93 έχει ιδρυθεί ένα μόνο νέο σημείο και έγινε χωροστάθμηση και από τα δύο παλιά σημεία προς το νέο.

Παρατηρείται ότι, το κλείσιμο των μετρήσεων σε μετάβαση και επιστροφή είναι αρκετά μικρό, της τάξης του εκατοστού του χιλιοστού σε μερικές περιπτώσεις. Αυτό οφείλεται στην ακρίβεια μέτρησης του χωροβάτη που χρησιμοποιήθηκε αλλά και στον μικρό αριθμό των στάσεων μεταξύ των σημείων μέτρησης.



Εικόνα 3.11: Μετρήσεις γεωμετρικής χωροστάθμησης στον προαύλιο χώρο της Βουλής των Ελλήνων.

3.3.5.1. Εξοπλισμός γεωμετρικής χωροστάθμησης

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων γεωμετρικής χωροστάθμησης είναι ο εξής:

- Ψηφιακός χωροβάτης της εταιρείας Topcon, ο τύπος DL-102C.
- Τρίποδας για την τοποθέτηση του χωροβάτη.
- Χωροσταθμικός πήχεις, κωδικοποιημένος (με barcode).
- Χωροσταθμική βάση (χελώνα).

Η χρήση του συγκεκριμένου εξοπλισμού, ο οποίος είναι τεχνολογικά εξελιγμένος, οδήγησε στην μεγάλη ακρίβεια που επιτεύχθηκε για τις συγκεκριμένες μετρήσεις.

Ο χωροβάτης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ψηφιακός, της εταιρείας Topcon, το μοντέλο DL-102C (εικόνα 3.12). Ο ψηφιακός αυτός χωροβάτης έχει μεγάλες δυνατότητες για επίτευξη πολύ καλής ακρίβειας. Τα χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Ηλεκτρονική ανάγνωση: 0.1 mm
- Οπτική ανάγνωση: $\pm 0.3\text{mm}$
- Ακρίβεια ηλεκτρονικής μέτρησης: $\pm 1.0\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$
- Min/max απόστασης μέτρησης: 2.0 m/100.0m
- Χρόνος μέτρησης: 3 sec
- Μεγέθυνση τηλεσκοπίου: 30x
- Βάρος: 2.3 kgr



Εικόνα 3.12: Ο ψηφιακός χωροβάτης Topcon DL-102C.

3.3.5.2. Αποτελέσματα-Ορθομετρικά υψόμετρα νέων σημείων

Ο σκοπός που οδήγησε στην εκτέλεση των μετρήσεων με γεωμετρική χωροστάθμιση είναι ο προσδιορισμός των ορθομετρικών υψομέτρων, μέσω των μετρημένων ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών.

Η σχέση με την οποία υπολογίστηκαν τα ορθομετρικά υψόμετρα των νέων σημείων είναι η εξής γνωστή:

$$H' = H + \Delta H \quad (3.5)$$

Τα ορθομετρικά υψόμετρα των νέων σημείων που ιδρύθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 3.8 που ακολουθεί:

Κωδικός Σημείου	Ορθομετρικό Υψόμετρο H (m)	Αβεβαιότητα υψομέτρου σH (mm)
1'	70.936	± 2.00
11'	70.129	± 2.02
16'	73.678	± 2.00
17'	70.968	± 2.02
20'	79.453	± 2.00
26'	104.814	± 2.00
31'	46.691	± 2.00
37'	37.791	± 2.02
40'	44.257	± 2.00
77'	113.801	± 2.00
89'	104.016	± 2.02
92'	99.099	± 2.00
101'	115.342	± 2.00
105'	94.968	± 2.00
107'	81.353	± 2.00
108'	82.515	± 2.00
109'	85.868	± 2.00
110'	99.608	± 2.00
120'	68.347	± 2.00
122'	84.725	± 2.00

Πίνακας 3.8: Τα ορθομετρικά υψόμετρα των νέων κορυφών του δικτύου Αθηνών II με τις αβεβαιότητες τους.

Η αβεβαιότητα για τα ορθομετρικά υψόμετρα αυτών των σημείων εξαρτάται τόσο από την αβεβαιότητα του ορθομετρικού υψομέτρου της παλιάς υψομετρικής αφετηρίας, όσο και από την αβεβαιότητα προσδιορισμού της ορθομετρικής υψομετρικής διαφοράς, από την γεωμετρική χωροστάθμηση, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.9.

Η αβεβαιότητα που οφείλεται στην μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμησης υπολογίζεται από την σχέση:

$$\sigma_{\Delta H} = \sigma_e * \sqrt{n} \quad (3.6)$$

όπου $\sigma_e = 0.3$ mm και $n =$ αριθμός στάσεων Γ.Χ.

Η τελική αβεβαιότητα του ορθομετρικού υψομέτρου ισούται με:

$$\sigma_{H'} = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_{\Delta H}^2} \quad (3.7)$$

Επομένως θα είναι:

Κωδικός Σημείου	Στάσεις Γ.Χ.	Αβεβαιότητα διαφοράς $\sigma_{\Delta H}$ (mm)	Αβεβαιότητα πρώτου σημείου σ_H (mm)	Αβεβαιότητα νέου σημείου $\sigma_{H'}$ (mm)
1'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
11'	2	± 0.42	± 1.98	± 2.02
16'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
17'	2	± 0.42	± 1.98	± 2.02
20'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
26'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
31'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
37'	2	± 0.42	± 1.98	± 2.02
40'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
77'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
89'	2	± 0.42	± 1.98	± 2.02
92'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
101'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
105'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
107'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
108'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
109'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
110'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
120'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00
122'	1	± 0.30	± 1.98	± 2.00

Πίνακας 3.9: Οι αβεβαιότητες των ορθομετρικών υψομέτρων νέων κορυφών.

3.3.6. Υψόμετρα δικτύου Αθηνών I

Το δίκτυο Αθηνών I, όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, μελετήθηκε το 2010 στο πλαίσιο προηγούμενης διπλωματικής εργασίας [Αλεβιζάκου Ε.-Γ., 2010]. Επομένως, τα υψόμετρα που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία, θα αντληθούν από εκεί.

Η μεθοδολογία με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις GPS και τελικά προέκυψαν τα γεωμετρικά υψόμετρα των σημείων του δικτύου αυτού είναι παρόμοια με εκείνη που περιγράφεται σε προηγούμενη ενότητα (3.3.2. *Μετρήσεις GPS*). Η μόνη διαφορά εμφανίζεται στο ότι για το συγκεκριμένο δίκτυο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από ένα μόνιμο σταθμό του Heros, τον 098A που βρίσκεται στο κτίριο της Κτηματολόγιο Α.Ε. στην Αττική, και όχι από 2.

Τα γεωμετρικά και ορθομετρικά υψόμετρα και οι αβεβαιότητες τους παρουσιάζονται στον πίνακα 3.10:

Κωδικός Σημείου	Γεωμετρικό Υψόμετρο h (m)	Αβεβαιότητα νέου σημείου σ _h (mm)	Ορθομετρικό Υψόμετρο H (m)	Αβεβαιότητα νέου σημείου σ _H (mm)
4'	112.305	± 38	73.932	± 2
5'	123.746	± 7	85.308	± 2
6'	125.735	± 9	87.260	± 2
8'	129.394	± 19	90.960	± 2
56'	113.826	± 23	75.300	± 2
57'	113.135	± 10	74.632	± 2
58'	108.361	± 11	69.863	± 2
61'	121.247	± 22	82.721	± 2
68'	146.063	± 25	107.555	± 2
86'	164.067	± 6	125.584	± 2
87'	149.917	±25	111.410	± 2
133'	115.596	± 10	77.085	± 2
141'	128.292	± 23	89.669	± 2
143'	134.666	± 13	96.138	± 2
144'	134.974	± 23	96.350	± 2
150'	142.885	± 23	104.258	± 2
160'	138.225	± 11	99.722	± 2

Πίνακας 3.10: Τα γεωμετρικά και ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων του δικτύου Αθηνών I.

[Πηγή: Αλεβιζάκου Ε.-Γ., 2010]

Τα ορθομετρικά υψόμετρα των νέων σημείων που ιδρύθηκαν για τη μελέτη του δικτύου Αθηνών Ι, προσδιορίστηκαν μετά από μετρήσεις γεωμετρικής χωροστάθμησης, που έγιναν στο πλαίσιο της προηγούμενης διπλωματικής εργασίας, το έτος 2010.

3.4. Σύνδεση με σημείο ΕΣΥ-Προσδιορισμός διαφοράς υψομετρικών επιφανειών

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετάται το δίκτυο Αθηνών που ιδρύθηκε και εγκαταστάθηκε το 1920. Είναι λογικό και αναμενόμενο το δίκτυο αυτό να έχει μία διαφορετική επιφάνεια αναφοράς από το ΕΣΥ (Εθνικό Σύστημα Υψομέτρων).

Η διαφορά αυτή των επιφανειών αναφοράς από την οποία μετρούνται τα ορθομετρικά υψόμετρα, οφείλεται στο διαφορετικό αρχικό σημείο αναφοράς, από το οποίο ξεκίνησαν οι μετρήσεις του δικτύου και σύμφωνα με το οποίο προσδιορίστηκαν τα υψόμετρα στις ιδρυθείσες υψομετρικές αφετηρίες.

Ο προσδιορισμός και η μελέτη της διαφοράς αυτής, των δύο υψομετρικών επιφανειών αναφοράς, παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον. Για να γίνει ο προσδιορισμός αυτός, απαιτείται η υψομετρική σύνδεση ενός σημείου του δικτύου Αθηνών ΙΙ με ένα σημείο του συστήματος ΕΣΥ.

Η σύνδεση αυτή αποφασίστηκε να γίνει μεταξύ του σημείου με κωδικό 26 του δικτύου Αθηνών ΙΙ (εικόνα 3.13), το οποίο βρίσκεται στο Αστεροσκοπείο, με το βάθρο της ΓΥΣ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) που βρίσκεται στον ίδιο χώρο (εικόνα 3.14).

Για να προσδιοριστεί η διαφορά μεταξύ των 2 αυτών επιφανειών αναφοράς, πρέπει να προσδιοριστεί το ορθομετρικό υψόμετρο στο βάθρο της ΓΥΣ από το σημείο 26 του δικτύου Αθηνών ΙΙ. Έτσι, προσδιορίζοντας το ορθομετρικό υψόμετρο του βάθρου ως προς το σύστημα του δικτύου Αθηνών ΙΙ και γνωρίζοντας το ορθομετρικό υψόμετρο του ίδιου σημείου στο ΕΣΥ, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η ζητούμενη διαφορά.



Εικόνα 3.13: Η υψομετρική αφετηρία 26 που βρίσκεται στο Αστεροσκοπείο.



Εικόνα 3.14: Το βάθρο της ΓΥΣ στο Αστεροσκοπείο.

Η μέθοδος με την οποία προσδιορίστηκε το ορθομετρικό υψόμετρο του βάθρου ήταν αυτή της γεωμετρικής χωροστάθμησης, η οποία πραγματοποιήθηκε με μία ενδιάμεση στάση.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέτρηση αυτή, φαίνονται στον πίνακα 3.11.

H26 (m) (1)	ΔH26-βάθρο (m) (2)	Ηβάθρο(1920) (m) (3)=(1)+(2)	Ηβάθρο(ΓΥΣ) (m) (4)	ΔH ΕΣΥ-Δ.Αθηνών (m) (5)=(4)-(3)
106.351	0.89163	107.243	107.419	0.176

Πίνακας 3.11: Η υψομετρική διαφορά των επιφανειών αναφοράς του ΕΣΥ και του δικτύου Αθηνών.

Από τον πίνακα 3.11 παρατηρείται ότι η διαφορά των υψομετρικών επιφανειών αναφοράς των δύο αυτών δικτύων ανέρχεται σε 0.176 m=**17.6 cm**.

Ακόμα, φαίνεται ότι η επιφάνεια αναφοράς (δηλαδή το μηδέν των ορθομετρικών υψομέτρων) του δικτύου Αθηνών του 1920 βρίσκεται ψηλότερα από αυτήν του ΕΣΥ, κατά 17.6 cm.

Η διαφορά αυτή των συγκεκριμένων υψομετρικών επιφανειών αναφοράς επιβεβαιώνεται από άλλη μία παρόμοια σύνδεση που έγινε στο πλαίσιο παλαιότερης διπλωματικής εργασίας [Αλεβιζάκου Ε.-Γ., 2010]. Η συγκεκριμένη σύνδεση πραγματοποιήθηκε μεταξύ του βάθρου της ΓΥΣ που βρίσκεται στον λόφο του Λυκαβηττού και της υψομετρικής αφετηρίας 5 του δικτύου Αθηνών Ι, που βρίσκεται στην οδό Ακαδημίας. Έγινε με την μέθοδο της ΤΡ.Υ.Α. και η διαφορά που προσδιορίστηκε προέκυψε ίση με **18 cm**. [Αλεβιζάκου Ε.-Γ., 2010]

3.5. Προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Heros

Στην προηγούμενη ενότητα αναφέρθηκε ότι η επιφάνεια αναφοράς στην οποία αναφέρονται τα ορθομετρικά υψόμετρα του δικτύου Αθηνών, προαστίων και περιχώρων δεν είναι η ίδια με αυτήν του Εθνικού Συστήματος Υψομέτρων. Έτσι, ερευνήθηκε η διαφορά αυτή μεταξύ των 2 επιφανειών αναφοράς, παρουσιάζοντας αρκετό ενδιαφέρον.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η διαφορά των ορθομετρικών υψομέτρων που προσδιορίστηκαν το 1920, με αυτά που προκύπτουν για τα ίδια σημεία χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό του Heros.

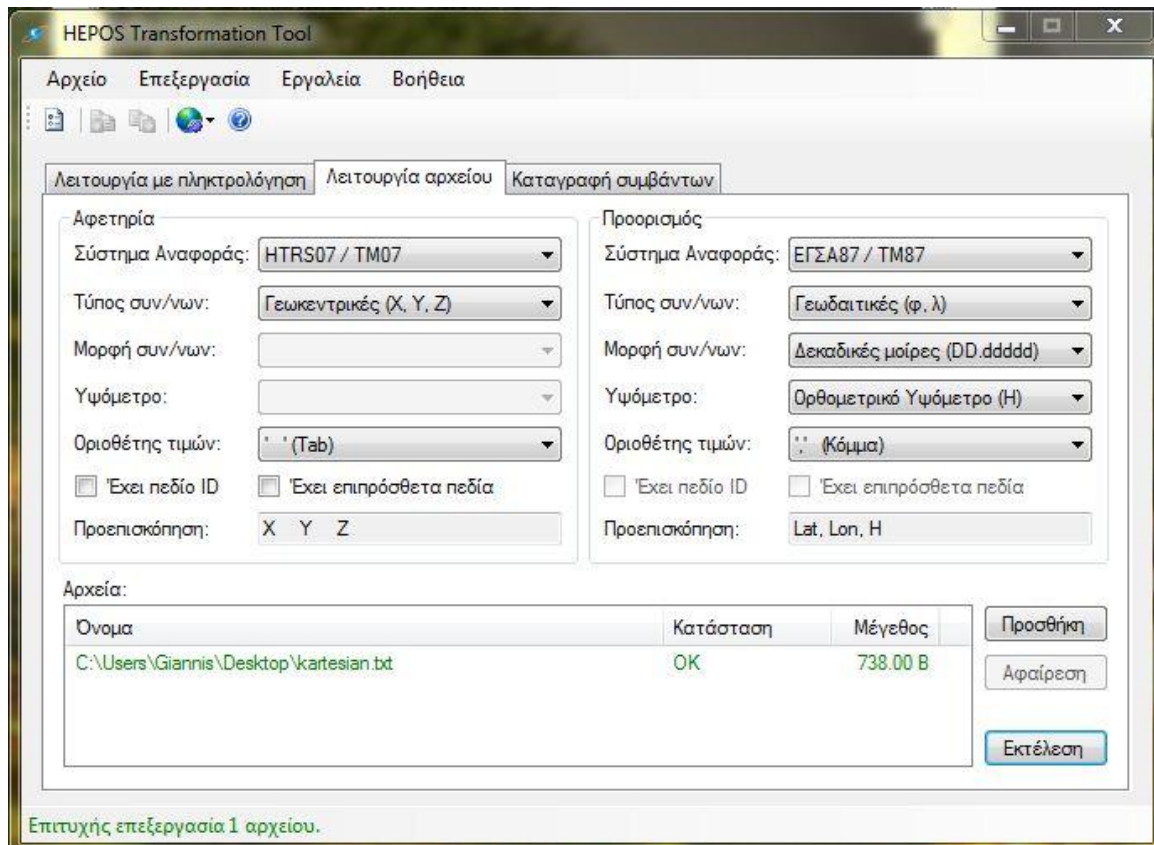
Το Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΑΠΘ ανέπτυξε για λογαριασμό της Κτηματολόγιο Α.Ε., το λογισμικό HEPOS Transformation Tool, το οποίο υλοποιεί τον αμφίδρομο μετασχηματισμό μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87. Σε αυτό το λογισμικό έχει προστεθεί μία ακόμη λειτουργία, με την οποία προσδιορίζεται το ορθομετρικό υψόμετρο του σημείου.

Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται μέσω ενός μοντέλου γεωειδούς, που αναπτύχθηκε από τη Κτηματολόγιο Α.Ε. Το μοντέλο αυτό είναι ένα γεωμετρικό μοντέλο για τον υπολογισμό του οποίου χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά γεωμετρική πληροφορία. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν γεωμετρικά υψόμετρα από δορυφορικές παρατηρήσεις που επιλύθηκαν στο HTRS07 και ορθομετρικά υψόμετρα του Κρατικού Τριγωνομετρικού και Χωροσταθμικού δικτύου.[Κτηματολόγιο Α.Ε., 2011]

Επομένως, είναι ενδιαφέρον και χρήσιμο να προσδιοριστεί η διαφορά που μπορεί να προκύψει στο ορθομετρικό υψόμετρο ενός σημείου με αυτό που προκύπτει ως αποτέλεσμα, εφαρμόζοντας το λογισμικό του μετασχηματισμού.

Μελετώντας τα αποτελέσματα των διαφορών αυτών στα σημεία του δικτύου, μπορούν να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα για τέτοιου είδους μοντέλα. Είναι ενδιαφέρον να μελετηθεί το πόσο καλά μπορούν τα υψόμετρα που προκύπτουν από το μοντέλο αυτό, να προσεγγίσουν τις τιμές των υψομέτρων που έχουν προσδιοριστεί με επίγειες και πιο ακριβείς μεθόδους.

Για να γίνει ο υπολογισμός των ορθομετρικών υψομέτρων από το λογισμικό, αρχικά πρέπει να εισαχθούν κάποια δεδομένα. Αυτά μπορεί να είναι είτε οι γεωκεντρικές συντεταγμένες (X,Y,Z) του σημείου, είτε οι προβολικές (E,N) ή και οι γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ,λ). Αυτές μπορεί να αναφέρονται είτε στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς του Herpos HTRS07 είτε στο γεωδαιτικό σύστημα ΕΓΣΑ87.



Εικόνα 3.15: Το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Herpos TT.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα δεδομένα εισόδου ήταν οι γεωκεντρικές συντεταγμένες (X,Y,Z) των κορυφών του δικτύου στο HTRS07. Σύμφωνα με αυτά, το λογισμικό έδωσε ως αποτέλεσμα τις γεωδαιτικές συντεταγμένες (φ,λ) των σημείων στο ΕΓΣΑ87 καθώς και το ορθομετρικό τους υψόμετρο H.

Στον πίνακα 3.12 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές των ορθομετρικών υψόμετρων των κορυφών του δικτύου των Αθηνών, όπως προσδιορίστηκαν το 1920 και οι αντίστοιχες τιμές που προέκυψαν από τον μοντέλο του μετασχηματισμού. Ακόμα, φαίνονται και οι διαφορές που προκύπτουν από τη σύγκριση τους.

Κωδικός Σημείου	H (1920) (m) (1)	H (Heros TT) (m) (2)	ΔH (m) (3)=(2)-(1)	
1'	70.936	71.158	0.222	
11'	70.129	70.331	0.202	
16'	73.678	73.900	0.222	
17'	70.968	71.201	0.233	
20'	79.453	79.680	0.227	
26'	104.814	105.022	0.208	
31'	46.691	46.905	0.214	
37'	37.791	38.201	0.410	
40'	44.257	44.436	0.179	
77'	113.801	114.022	0.221	
89'	104.016	104.246	0.230	
92'	99.099	99.318	0.219	
101'	115.342	115.539	0.197	
105'	94.968	95.208	0.240	
107'	81.353	81.568	0.215	
108'	82.515	82.740	0.225	
109'	85.868	86.106	0.238	
110'	99.608	99.823	0.215	
120'	68.347	68.470	0.123	
122'	84.725	84.957	0.232	
4'	73.932	74.079	0.147	
5'	85.308	85.519	0.211	
6'	87.260	87.509	0.249	
8'	90.960	91.169	0.209	
56'	75.300	75.571	0.271	
57'	74.632	74.885	0.253	
58'	69.863	70.118	0.255	
61'	82.721	82.981	0.260	
68'	107.555	107.808	0.253	
86'	125.584	125.813	0.229	
87'	111.410	111.661	0.251	
133'	77.085	77.338	0.253	
141'	89.669	89.963	0.294	
143'	96.138	96.327	0.189	ΔH μέσο (m)
144'	96.350	96.634	0.284	0.233
150'	104.258	104.568	0.310	σΔH μέσο (m)
160'	99.722	99.934	0.212	± 0.046

Πίνακας 3.12: Οι διαφορές των ορθομετρικών υψομέτρων του 1920 με αυτά από το μοντέλο του Heros.

Σημείωση: Τα προσημασμένα σημεία της πρώτης στήλης του πίνακα είναι αυτά του δικτύου Αθηνών I.

Μελετώντας προσεκτικά τον πίνακα 3.12, παρατηρείται ότι οι διαφορές που προέκυψαν είναι της τάξης των μερικών cm. Πιο συγκεκριμένα, στις περισσότερες κορυφές η διαφορά αυτή είναι της τάξης των 20-25 cm. Η μέγιστη διαφορά εμφανίζεται στην κορυφή 37' και ισούται με 41 cm ενώ η μικρότερη εμφανίζεται στην κορυφή 120' και είναι ίση με 12cm.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι η διαφορά αυτή έχει συστηματικό χαρακτήρα, διότι είναι περίπου η ίδια για όλες τις κορυφές του δικτύου και δεν εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις από κορυφή σε κορυφή. Για τον λόγο προσδιορίστηκε η μέση τιμή των διαφορών αυτών και ισούται με 23.3 cm και η τυπική απόκλιση της προσδιορίστηκε ίση με ± 4.6 cm.

Μία παρατήρηση που μπορεί να γίνει σε αυτό το σημείο είναι το γεγονός ότι στο προηγούμενο κεφάλαιο, προσδιορίστηκε η διαφορά μεταξύ της επιφάνειας αναφοράς του ΕΣΥ με αυτήν του δικτύου Αθηνών και προέκυψε ίση με 17.6 cm, με την επιφάνεια του ΕΣΥ να είναι χαμηλότερα. Επίσης, παρατηρείται ότι τα υψόμετρα από τον μετασχηματισμό του Heros είναι και αυτά χαμηλότερα από αυτά του δικτύου, οπότε υπάρχει περίπτωση οι διαφορές αυτές να είναι κατά πολύ μικρότερες αν τα ορθομετρικά υψόμετρα είχαν υπολογιστεί με επιφάνεια αναφοράς αυτή του ΕΣΥ. Αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο να συμβαίνει, διότι το μοντέλο μετασχηματισμού του Heros έχει δημιουργηθεί με την χρήση ορθομετρικών υψομέτρων από βάθρα της ΓΥΣ, δηλαδή έχουν ως επιφάνεια αναφοράς αυτήν του ΕΣΥ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ N ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΠΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.1. Γενικά

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός του υψομέτρου του γεωειδούς, στην περιοχή των Αθηνών, στο ιδρυθέν από το 1920 δίκτυο Αθηνών, προαστίων και περιχώρων.

Εξίσου σημαντική είναι η δημιουργία ενός τοπικού μοντέλου γεωειδούς, το οποίο θα προκύψει από τα αποτελέσματα του υψομέτρου του γεωειδούς.

Οι δύο παραπάνω ενέργειες είναι σημαντικές, διότι η δημιουργία και η υπαρξη τέτοιων μοντέλων αποτελεί μία εναλλακτική μέθοδο στον προσδιορισμό υψομέτρων και μπορεί να αποτελέσει μέρος μίας ευρύτερης βάσης δεδομένων, η οποία θα λειτουργήσει ως υποδομή για τοπογραφικές εργασίες με την μέθοδο του δορυφορικού εντοπισμού.

4.2. Προσδιορισμός υψομέτρων γεωειδούς N

Στο κεφάλαιο 1 έχουν ήδη αναφερθεί κάποιες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των υψομέτρων του γεωειδούς. Η χρήση της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται κυρίως από τα δεδομένα που διατίθενται και από την ακρίβεια που απαιτείται στον προσδιορισμό.

Στην παρούσα εργασία, έχουν ήδη προσδιοριστεί τα γεωμετρικά υψόμετρα h των σημείων του δικτύου στο GRS80 και επίσης είναι γνωστά τα ορθομετρικά τους υψόμετρα H , από την ίδρυση του δικτύου. Επομένως, τα υψόμετρα του γεωειδούς θα προσδιοριστούν από τη βασική σχέση:

$$h - H = N \quad (4.1)$$

Εκτός από τα υψόμετρα των σημείων που αναφέρονται παραπάνω, προσδιορίστηκαν και οι αβεβαιότητες τους. Έτσι, εφαρμόζοντας τον νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στην σχέση (4.1), προκύπτει και η αβεβαιότητα προσδιορισμού του υψομέτρου του γεωειδούς για κάθε σημείο.

Η σχέση με την οποία θα προσδιοριστεί η αβεβαιότητα προσδιορισμού του υψομέτρου του γεωειδούς είναι:

$$\sigma_N = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_h^2} \quad (4.2)$$

Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα γεωμετρικά υψόμετρα, τα ορθομετρικά και τα υψόμετρα του γεωειδούς για τα σημεία του δικτύου, καθώς επίσης και οι αβεβαιότητες τους.

Όταν τα υψόμετρα του γεωειδούς υπολογίζονται με αυτήν την μέθοδο, δηλαδή με την σχέση (4.1), η αβεβαιότητα του γεωμετρικού υψομέτρου είναι εκείνη που επηρεάζει περισσότερο την αβεβαιότητα και του υψομέτρου του γεωειδούς. Αυτό είναι λογικό να συμβαίνει, διότι το γεωμετρικό υψόμετρο υπολογίζεται με δορυφορικές μεθόδους και επομένως δε είναι δυνατόν να επιτευχθεί τόσο καλή ακρίβεια σε σχέση με τις επίγειες μεθόδους, από τις οποίες υπολογίζεται το ορθομετρικό υψόμετρο.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ h (m)	σ_h (mm)	ΟΡΘΟΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ H (m)	σ_H (mm)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ N(m)	σ_N (mm)
1'	109.377	± 3	70.936	± 2	38.440	± 4
11'	108.527	± 4	70.129	± 2	38.398	± 4
16'	112.113	± 2	73.678	± 2	38.434	± 3
17'	109.412	± 10	70.968	± 2	38.444	± 10
20'	117.871	± 6	79.453	± 2	38.418	± 6
26'	143.175	± 5	104.814	± 2	38.361	± 5
31'	85.069	± 4	46.691	± 2	38.378	± 5
37'	76.377	± 7	37.791	± 2	38.585	± 7
40'	82.627	± 8	44.257	± 2	38.370	± 8
77'	152.322	± 18	113.801	± 2	38.521	± 18
89'	142.508	± 3	104.016	± 2	38.492	± 3
92'	137.542	± 3	99.099	± 2	38.443	± 4
101'	153.771	± 4	115.342	± 2	38.428	± 4
105'	133.409	± 39	94.968	± 2	38.441	± 39
107'	119.783	± 3	81.353	± 2	38.430	± 4
108'	120.959	± 3	82.515	± 2	38.444	± 3
109'	124.313	± 4	85.868	± 2	38.445	± 4
110'	138.060	± 15	99.608	± 2	38.452	± 15
120'	106.644	± 10	68.347	± 2	38.297	± 10
122'	123.142	± 4	84.725	± 2	38.417	± 5
4'	112.305	± 38	73.932	± 2	38.373	± 38
5'	123.746	± 7	85.308	± 2	38.438	± 7
6'	125.735	± 9	87.260	± 2	38.475	± 9
8'	129.394	± 19	90.960	± 2	38.434	± 19
56'	113.826	± 23	75.300	± 2	38.526	± 23
57'	113.135	± 10	74.632	± 2	38.503	± 10
58'	108.361	± 11	69.863	± 2	38.498	± 11
61'	121.247	± 22	82.721	± 2	38.526	± 22
68'	146.063	± 25	107.555	± 2	38.508	± 25
86'	164.067	± 6	125.584	± 2	38.483	± 6
87'	149.917	± 25	111.410	± 2	38.507	± 25
133'	115.596	± 10	77.085	± 2	38.511	± 10
141'	128.292	± 23	89.669	± 2	38.623	± 23
143'	134.666	± 13	96.138	± 2	38.528	± 13
144'	134.974	± 23	96.350	± 2	38.624	± 23
150'	142.885	± 23	104.258	± 2	38.627	± 23
160'	138.225	± 11	99.722	± 2	38.503	± 11

Πίνακας 4.1: Ο προσδιορισμός της αποχής του γεωειδούς N, στα σημεία του δικτύου.

Όσον αφορά τις αβεβαιότητες των αποχών του γεωειδούς, που υπολογίστηκαν από τον νόμο μετάδοσης σφαλμάτων, οι περισσότερες έχουν τιμή μικρότερη των 10 mm. Υπάρχουν, βέβαια, και ορισμένα σημεία στα οποία η αβεβαιότητα παρουσιάζεται αυξημένη και φτάνει ακόμα και τα 40mm.

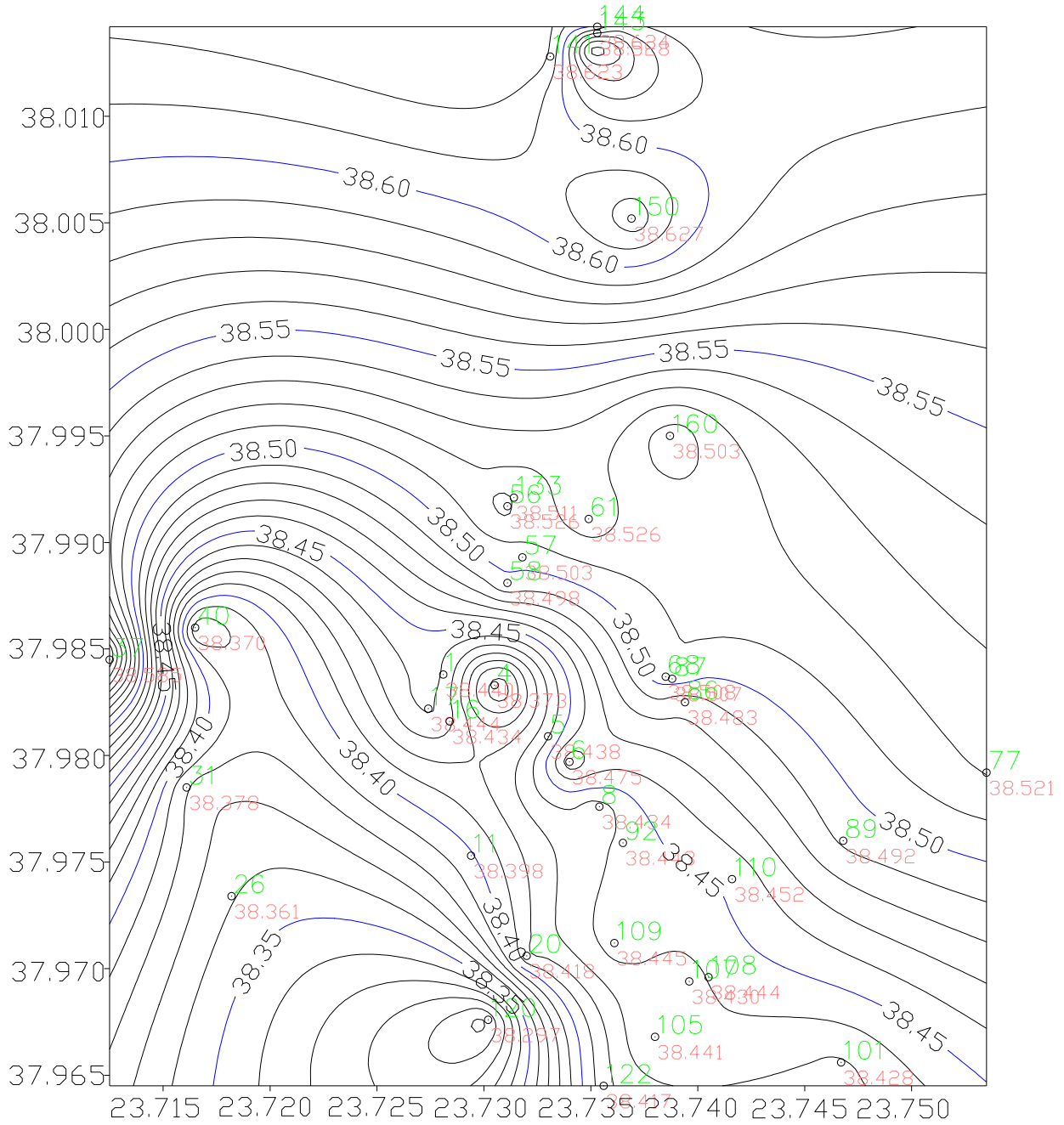
4.2.1. Δημιουργία χάρτη υψομέτρων γεωειδούς

Αφού προσδιορίστηκαν τα υψόμετρα του γεωειδούς, σύμφωνα με την σχέση (4.1), στην συνέχεια δημιουργήθηκαν 2 χάρτες με ισοϋψείς, στους οποίους φαίνεται η κατανομή των τιμών του υψομέτρου του γεωειδούς, σε όλο το εύρος της περιοχής μελέτης.

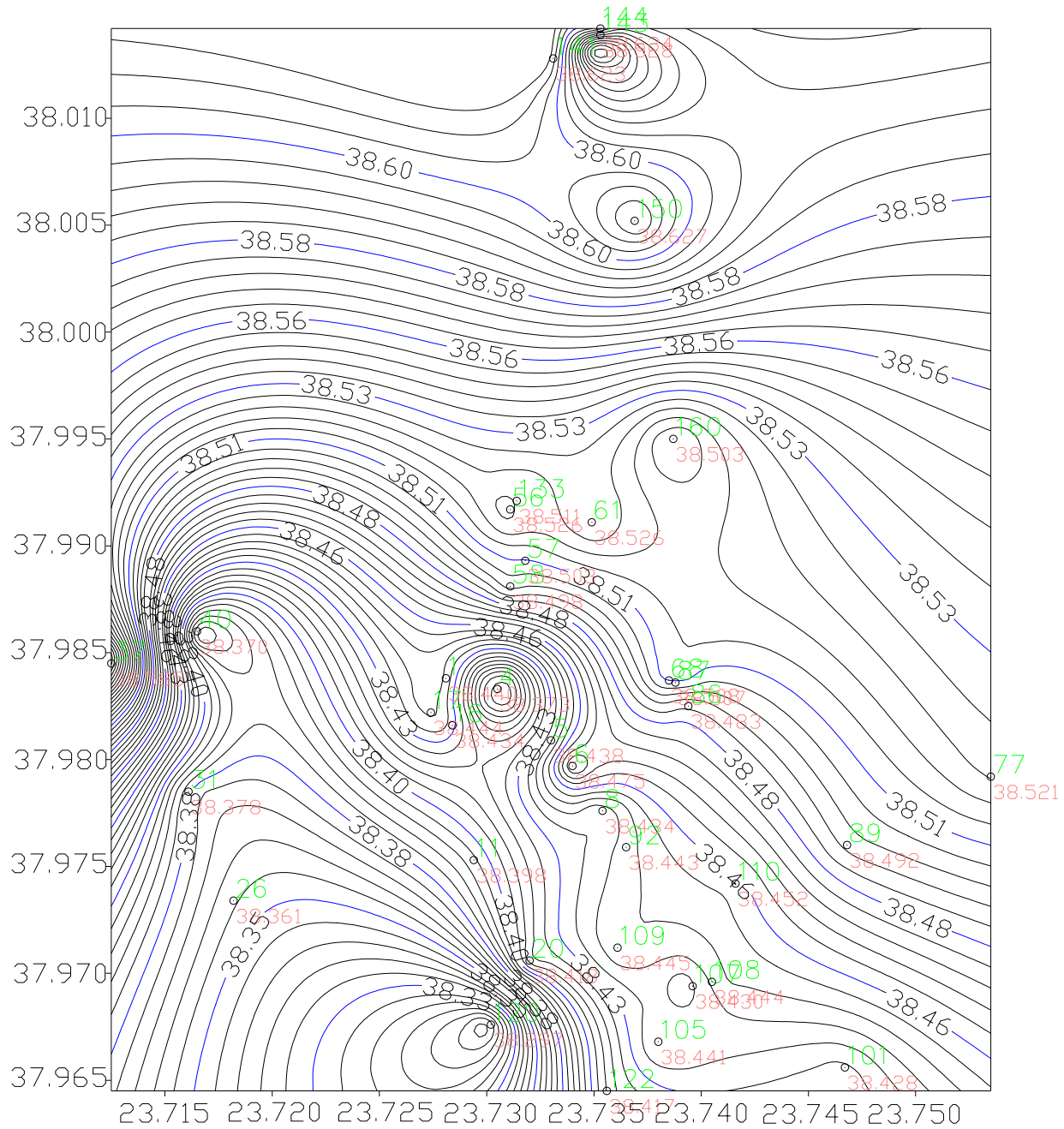
Η δημιουργία των χαρτών αυτών έγινε με την βοήθεια του λογισμικού Surfer. Αρχικά, εισήχθησαν στο λογισμικό ως δεδομένα, οι γεωγραφικές συντεταγμένες φ,λ της κάθε υψομετρικής αφετηρίας και το υψόμετρο του γεωειδούς που αντιστοιχεί σε κάθε μία. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά, και με την χρήση της μεθόδου παρεμβολής kriging, δημιουργήθηκαν οι ισοϋψείς καμπύλες του υψομέτρου του γεωειδούς, για το δίκτυο Αθηνών, προαστίων και περιχώρων.

Επειδή οι διαφορές που παρουσιάζονται στην τιμή του υψομέτρου του γεωειδούς από κορυφή σε κορυφή είναι μικρές, αποφασίστηκε ο χάρτης 4.1 να έχει ισοδιάσταση 1cm και ο χάρτης 4.2 να έχει αντίστοιχα 0.5 cm.

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο λογισμικό Surfer. Βέβαια, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι γεωγραφικές συντεταγμένες που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των χαρτών ήταν σε μοίρες δεκαδικής μορφής και στο σύστημα αναφοράς WGS '84 (2^η και 3^η στήλη του πίνακα 4.2).



Χάρτης 4.1: Χάρτης τοπικού γεωειδούς με ισοδιάσταση ισοϋψών ανά 1cm.



Χάρτης 4.2: Χάρτης τοπικού γεωειδούς με ισοδιάσταση ισοϋψών ανά 0.5 cm.

4.3. Δημιουργία τοπικού μοντέλου γεωειδούς

Σκοπός της δημιουργίας ενός τοπικού μοντέλου γεωειδούς είναι ο άμεσος προσδιορισμός του υψομέτρου του γεωειδούς, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει επίσης στον υπολογισμό του ορθομετρικού υψομέτρου, χωρίς την εκτέλεση μετρήσεων.

Η περιοχή στην οποία αναφέρονται τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν είναι αστική και η έκταση της είναι συνολικά, περίπου ίση με 11-12 km².

Προσδιορίστηκαν 4 διαφορετικά μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες αναφέρονται σε 4 διαφορετικές επιφάνειες. Η πρώτη επιφάνεια είναι μία απλή επίπεδη επιφάνεια, η δεύτερη αποτελεί μία διγραμμική επιφάνεια, η τρίτη είναι καμπύλη επιφάνεια 2^{ου} βαθμού και τέλος η τέταρτη επιφάνεια είναι καμπύλη 3^{ου} βαθμού. [Δεληκαράογλου Δ., 2007]

Για την δημιουργία των μοντέλων αυτών, χρησιμοποιούνται τα 32 σημεία του δικτύου και τα υπόλοιπα 5 λειτουργούν ως σημεία για έλεγχο. Ο έλεγχος αυτός θα γίνει υπολογίζοντας για τα 5 αυτά σημεία το υψόμετρο του γεωειδούς από την εξίσωση της αντίστοιχης επιφάνειας και συγκρίνοντας το με τις ήδη υπολογισμένες τιμές του υψομέτρου αυτού, που προέκυψαν από την σχέση (4.1).

Οι 5 υψομετρικές αφετηρίες που χρησιμοποιούνται για έλεγχο είναι οι : *17',87',105',110'* και *141'*.

Η επιλογή των σημείων αυτών έγινε με βάση την κατανομή τους στο δίκτυο, δηλαδή επιλέχθηκε τα 5 αυτά σημεία να μην βρίσκονται όλα στην ίδια περιοχή αλλά να είναι κατανεμημένα σε όλη την έκταση του δικτύου. Επίσης, σημαντικό ρόλο έπαιξε και η αβεβαιότητα των σημείων αυτών, η οποία παρουσιάζεται λίγο αυξημένη σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου.

Ο προσδιορισμός των εξισώσεων των επιφανειών που χρησιμοποιήθηκαν, έγινε με την Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων και πιο συγκεκριμένα με έμμεσες παρατηρήσεις. Ως συντελεστές των αγνώστων χρησιμοποιήθηκαν οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ,λ) των σημείων στο

GRS80, όπως υπολογίστηκαν από την επεξεργασία των μετρήσεων GPS (κεφάλαιο 3.3.4.) και ως στοιχεία μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν τα υψόμετρα N του γεωειδούς, όπως υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 4.2. και φαίνονται στον πίνακα 4.1.

Οι παρατηρήσεις θεωρούνται ισοβαρείς και επομένως δεν χρησιμοποιήθηκαν βάρη στους υπολογισμούς εξαιτίας των παρακάτω 2 λόγων:

1. Όλες οι μετρήσεις έχουν γίνει με την ίδια μέθοδο, οπότε οι όποιες διαφορές στις αβεβαιότητες δεν εξαρτώνται από αυτό.
2. Οι αβεβαιότητες των μετρήσεων παρουσιάζουν μεν διαφορές, οι οποίες δεν είναι μεγάλες, επομένως η χρήση βαρών δεν καθίσταται αναγκαία.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των εξισώσεων των μοντέλων του γεωειδούς θα είναι σε rad. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ, λ) των σημείων σε μοίρες δεκαδικής μορφής και σε rad, όπως επίσης και οι τιμές της αποχής του γεωειδούς N.

Ακόμα, για την προσαρμογή των επιφανειών στα δεδομένα, για την δημιουργία των μοντέλων γεωειδούς θα χρησιμοποιηθούν μέσες γεωγραφικές συντεταγμένες φ_0, λ_0 για την περιοχή μελέτης.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες φ_0, λ_0 υπολογίστηκαν από τον μέσο όρο της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής και οι τιμές τους είναι:

$$\varphi_0 = 37^{\circ}.98935233 \text{ και } \lambda_0 = 23^{\circ}.73298209$$

Κωδικός Σημείου	φ σε μοίρες (WGS 84)	λ σε μοίρες (WGS 84)	φ σε rad (WGS 84)	λ σε rad (WGS 84)	N(m)
1'	37.98382537	23.72810957	0.662942815209053	0.414133637270476	38.440
11'	37.97533174	23.72936201	0.662794573400107	0.414155496472160	38.398
16'	37.98161144	23.72839589	0.662904174841145	0.414138634497190	38.434
17'	37.98217690	23.72742496	0.662914043979933	0.414121688571884	38.444
20'	37.97061576	23.73202303	0.662712264021649	0.414201940032621	38.418
26'	37.97341750	23.71816569	0.662761163609434	0.413960083824053	38.361
31'	37.97848863	23.71610131	0.662849671524731	0.413924053596040	38.378
37'	37.98450890	23.71249863	0.662954745058090	0.413861174968145	38.585
40'	37.98600226	23.71647624	0.662980809107007	0.413930597359005	38.370
77'	37.97922838	23.75346554	0.662862582597872	0.414576182432013	38.521
89'	37.97595263	23.74676362	0.662805409974900	0.414459211861808	38.492
92'	37.97588946	23.73649904	0.662804307450411	0.414280061144473	38.443
101'	37.96557046	23.74671359	0.662624206924898	0.414458338673583	38.428
105'	37.96677847	23.73803095	0.662645290676795	0.414306798017817	38.441
107'	37.96941484	23.73963744	0.662691304013596	0.414334836557718	38.430
108'	37.96962824	23.74051219	0.662695028546220	0.414350103825350	38.444
109'	37.97115132	23.73612379	0.662721611306991	0.414273511796455	38.445
110'	37.97416175	23.74161598	0.662774153222392	0.414369368595100	38.452
120'	37.96756743	23.73021522	0.662659060626462	0.414170387795871	38.297
122'	37.96448033	23.73558096	0.662605180567123	0.414264037625676	38.417
4'	37.98328528	23.73053320	0.662933388860296	0.414175937593826	38.373
5'	37.98092398	23.73300664	0.662892176400669	0.414219107265677	38.438
6'	37.97971521	23.73395368	0.662871079384270	0.414235636231825	38.475
8'	37.97761336	23.73541164	0.662834395181387	0.414261082434187	38.434
56'	37.99166753	23.73109336	0.663079686721522	0.414185714230164	38.526
57'	37.98931391	23.73175961	0.663038608303181	0.414197342486305	38.503
58'	37.98805584	23.73105468	0.663016650839460	0.414185039136809	38.498
61'	37.99106571	23.73487991	0.663069182981017	0.414251801994955	38.526
68'	37.98372216	23.73849368	0.662941013854732	0.414314874179865	38.508
86'	37.98249989	23.73938048	0.662919681218884	0.414330351759672	38.483
87'	37.98360396	23.73883013	0.662938950875557	0.414320746340134	38.507
133'	37.99213564	23.73142869	0.663087856782283	0.414191566842745	38.511
141'	38.01277576	23.73305319	0.663448094834290	0.414219919716443	38.623
143'	38.01394383	23.73525217	0.663468481501684	0.414258299157629	38.528
144'	38.01422433	23.73526243	0.663473377150235	0.414258478228410	38.624
150'	38.00522507	23.73693469	0.663316310432992	0.414287664671360	38.627
160'	37.99504350	23.73874760	0.663138608513470	0.414319305919902	38.503

Πίνακας 4.2: Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των κορυφών στο WGS84(GRS80) και το υψόμετρο του γεωειδούς.

4.3.1. Προσαρμογή σε απλή επίπεδη επιφάνεια

Για τον προσδιορισμό της εξίσωσης του επιπέδου χρησιμοποιήθηκαν 32 από τα σημεία του δικτύου, ενώ τα υπόλοιπα 5 παρέμειναν εκτός, ώστε να χρησιμοποιηθούν για έλεγχο των αποτελεσμάτων.

Η εξίσωση που περιγράφει την απλή επίπεδη επιφάνεια είναι της μορφής:

$$N = \alpha_0 + \alpha_1(\varphi_i - \varphi_0) + \alpha_2(\lambda_i - \lambda_0) \quad (4.3)$$

όπου

N : το υψόμετρο του γεωειδούς

φ_i, λ_i : οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου

φ_0, λ_0 : μέσες γεωγραφικές συντεταγμένες για την περιοχή μελέτης

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$: οι άγνωστες παράμετροι του επιπέδου

Τα άγνωστα στοιχεία που υπολογίστηκαν είναι οι παράμετροι $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$, οι συντελεστές των αγνώστων είναι οι τιμές $1, (\varphi_i - \varphi_0), (\lambda_i - \lambda_0)$ και ως μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές N .

Οι τιμές των αγνώστων συντελεστών που προέκυψαν μετά από την εφαρμογή της Μ.Ε.Τ., καθώς και το a posteriori τυπικό σφάλμα του μοντέλου, φαίνονται στον πίνακα 4.3 που ακολουθεί.

σ_0 (m)		± 0.048		$\sigma_{ai} * Z_{95}$	Αποτέλεσμα
α_0 (m)	38.4937	σ_{α_0} (m)	± 0.0097		
α_1	252.7577	σ_{α_1}	± 39.9816	78.36397189	Ισχύει
α_2	152.5094	σ_{α_2}	± 56.8192	111.3657177	Ισχύει

Πίνακας 4.3: Οι άγνωστες παράμετροι για την απλή επίπεδη επιφάνεια, οι αβεβαιότητες τους και ο στατιστικός έλεγχος αυτών.

Επομένως, η εξίσωση του μοντέλου είναι:

$$N = 38.4937 + 252.7577(\varphi_i - \varphi_0) + 152.5094(\lambda_i - \lambda_0) \quad (4.4)$$

Ένας πρώτος έλεγχος που μπορεί να γίνει, ώστε να διαπιστωθεί πόσο αξιόπιστες είναι οι τιμές που προέκυψαν για τις άγνωστες παραμέτρους είναι ο μονοδιάστατος στατιστικός έλεγχος. Ο έλεγχος αυτός εφαρμόστηκε για κάθε ένα συντελεστή της εξίσωσης, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Έτσι θα πρέπει να ισχύει:

$$\sigma_{a0} * z_{95} < \alpha_0$$

$$\sigma_{a1} * z_{95} < \alpha_1$$

$$\sigma_{a2} * z_{95} < \alpha_2$$

$$\text{όπου } z_{95} = 1,96.$$

Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου αυτού με αριθμητικές τιμές και φαίνεται για ποιες παραμέτρους ισχύει και για ποιες όχι.

Ο σημαντικότερος έλεγχος, όμως, που έγινε είναι η εφαρμογή της εξίσωσης που προέκυψε, στα 5 σημεία του δικτύου που έχουν επιλεγεί. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 4.5.

Κωδικός Σημείου	N (m) από μετρήσεις (1)	N (m) από εξίσωση (4.4) (2)	ΔN (cm) (3)=(1)-(2)
105'	38.441	38.408	3.3
110'	38.452	38.450	0.2
17'	38.444	38.447	-0.3
87'	38.507	38.484	2.3
141'	38.623	38.597	2.6

Πίνακας 4.4: Τα υψόμετρα του γεωειδούς από την εξίσωση (4.4) και οι διαφορές τους με τα υπολογισθέντα από τις μετρήσεις.

Από τον πίνακα 4.4 παρατηρείται ότι οι διαφορές των αποχών του γεωειδούς που προέκυψαν από τους δύο αυτούς διαφορετικούς τρόπους προσδιορισμού είναι μικρές. Η μεγαλύτερη εμφανίζεται στην κορυφή 105' και ισούται με 3.3 cm, ενώ η μικρότερη είναι 0.2 cm και αφορά το σημείο 110'.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω στοιχεία, η προσαρμογή της απλής επίπεδης επιφάνειας μπορεί να χαρακτηριστεί ικανοποιητική. Ένας σημαντικός παράγοντας στον οποίο οφείλεται η καλή προσαρμογή του επιπέδου είναι η μικρή έκταση της περιοχής (11-12km²).

4.3.2. Προσαρμογή σε διγραμμική επιφάνεια

Η εξίσωση που περιγράφει την διγραμμική επιφάνεια είναι η εξής:

$$N = \alpha_0 + \alpha_1(\varphi_i - \varphi_0) + \alpha_2(\lambda_i - \lambda_0) + \alpha_3(\varphi_i - \varphi_0)(\lambda_i - \lambda_0) \quad (4.5)$$

όπου

N: το υψόμετρο του γεωειδούς

φ_i, λ_i : οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου

φ_0, λ_0 : μέσες γεωγραφικές συντεταγμένες για την περιοχή μελέτης

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: οι άγνωστες παράμετροι της επιφάνειας

Τα άγνωστα στοιχεία που υπολογίστηκαν είναι οι παράμετροι $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, οι συντελεστές των αγνώστων είναι οι τιμές $1, (\varphi_i - \varphi_0), (\lambda_i - \lambda_0), (\varphi_i - \varphi_0)(\lambda_i - \lambda_0)$ και σαν μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές N.

Οι τιμές των αγνώστων συντελεστών που προέκυψαν μετά από την εφαρμογή της Μ.Ε.Τ., καθώς και το a posteriori τυπικό σφάλμα του μοντέλου, φαίνονται στον πίνακα 4.6. που ακολουθεί.

σ_0 (m)		± 0.047		$\sigma_{\alpha_i} * Z_{95}$ (κατά απόλυτη τιμή)	Αποτέλεσμα
α_0 (m)	38.4967	σ_{α_0} (m)	± 0.0096		
α_1	292.6728	σ_{α_1}	± 45.6815	89.5357	Ισχύει
α_2	1.7080	σ_{α_2}	± 106.362	208.4695	Δεν ισχύει
α_3	-876045.8543	σ_{α_3}	± 528234.9836	1035340.5679	Δεν ισχύει

Πίνακας 4.5: Οι άγνωστοι συντελεστές για την διγραμμική επιφάνεια, οι αβεβαιότητες τους και ο στατιστικός έλεγχος.

Έτσι, η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο της διγραμμικής επιφάνειας είναι:

$$N=38.4967+292.6728(\varphi_i-\varphi_0)+1.7080(\lambda_i-\lambda_0)-876045.8543(\varphi_i-\varphi_0)(\lambda_i-\lambda_0) \quad (4.6)$$

Ο μονοδιάστατος στατιστικός έλεγχος των συντελεστών της εξίσωσης της διγραμμικής επιφάνειας παρουσιάζεται στον πίνακα 4.5, στον οποίο φαίνεται και ποιοι από τους συντελεστές ανταποκρίνονται θετικά στον έλεγχο αυτό.

Οι τιμές του γεωειδούς που προέκυψαν από την εφαρμογή της εξίσωσης (4.6) και οι διαφορές με τα υψόμετρα του γεωειδούς που είχαν αρχικά προσδιοριστεί είναι:

Κωδικός Σημείου	N (m) από μετρήσεις (1)	N (m) από εξίσωση (4.6) (2)	ΔN (cm) (3)=(1)-(2)
105'	38.441	38.412	2.9
110'	38.452	38.454	-0.2
17'	38.444	38.449	-0.5
87'	38.507	38.476	3.1
141'	38.623	38.616	0.7

Πίνακας 4.6: Τα υψόμετρα του γεωειδούς από την εξίσωση (4.6) και οι διαφορές τους από αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις.

Οι διαφορές στις τιμές του γεωειδούς που παρουσιάζονται εφαρμόζοντας την εξίσωση της διγραμμικής επιφάνειας, εμφανίζονται στα ίδια επίπεδα με αυτές της απλής επίπεδης επιφάνειας. Η μέγιστη τιμή της διαφοράς είναι 3.1cm, ενώ η ελάχιστη 0.2 cm.

Το συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι, παρόλο που οι δύο συντελεστές α_2 και α_3 δεν ανταποκρίνονται στον μονοδιάστατο στατιστικό έλεγχο, εν τέλει η προσαρμογή της διγραμμικής επιφάνειας στα υπάρχοντα δεδομένα είναι ικανοποιητική. Αυτό μπορεί να φανεί και από την τιμή του συντελεστή α_0 , η οποία πλησιάζει κατά πολύ τις τιμές του υψόμετρου του γεωειδούς.

4.3.3. Προσαρμογή σε καμπύλη επιφάνεια 2^{ου} βαθμού

Η καμπύλη επιφάνεια 2^{ου} βαθμού είναι μία πολύπλοκη επιφάνεια, με αρκετούς συντελεστές. Η εξίσωση που την περιγράφει είναι η ακόλουθη:

$$N = \alpha_0 + \alpha_1(\varphi_i - \varphi_0) + \alpha_2(\lambda_i - \lambda_0) + \alpha_3(\varphi_i - \varphi_0)^2 + \alpha_4(\lambda_i - \lambda_0)^2 + \alpha_5(\varphi_i - \varphi_0)(\lambda_i - \lambda_0) \quad (4.7)$$

όπου

N: το υψόμετρο του γεωειδούς

φ_i, λ_i : οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου

φ_0, λ_0 : μέσες γεωγραφικές συντεταγμένες για την περιοχή μελέτης

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$: οι άγνωστες παράμετροι της καμπύλης

Τα άγνωστα στοιχεία που υπολογίστηκαν είναι οι παράμετροι $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$, οι συντελεστές των αγνώστων είναι οι τιμές $1, (\varphi_i - \varphi_0), (\lambda_i - \lambda_0), (\varphi_i - \varphi_0)^2, (\lambda_i - \lambda_0)^2, (\varphi_i - \varphi_0)(\lambda_i - \lambda_0)$ και σαν μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές N.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση της Μ.Ε.Τ. παρουσιάζονται στον πίνακα 4.7 που ακολουθεί.

σ_0 (m)		± 0.047		$\sigma_{ai} * Z_{95}$ (κατά απόλυτη τιμή)	Αποτέλεσμα
α_0 (m)	38.4951	σ_{α_0} (m)	± 0.014	0.0266	Ισχύει
α_1	288.6374	σ_{α_1}	± 46.061	90.2792	Ισχύει
α_2	68.7222	σ_{α_2}	± 116.652	228.6372	Δεν ισχύει
α_3	-87705.5767	σ_{α_3}	± 140486.550	275353.6387	Δεν ισχύει
α_4	297630.3076	σ_{α_4}	± 246421.553	482986.2437	Δεν ισχύει
α_5	-634852.3826	σ_{α_5}	± 558441.922	1094546.1662	Δεν ισχύει

Πίνακας 4.7: Οι άγνωστοι συντελεστές για την καμπύλη επιφάνεια 2ου βαθμού, οι αβεβαιότητες τους και ο στατιστικός έλεγχος.

Η τελική εξίσωση που περιγράφει την καμπύλη επιφάνεια 2^{ου} βαθμού είναι η παρακάτω:

$$N = 38.4951 + 288.6374(\varphi_i - \varphi_0) + 68.7222(\lambda_i - \lambda_0) - 87705.5767(\varphi_i - \varphi_0)^2 + 297630.3076(\lambda_i - \lambda_0)^2 - 634852.3826(\varphi_i - \varphi_0)(\lambda_i - \lambda_0) \quad (4.8)$$

Ο μονοδιάστατος στατιστικός έλεγχος για όλες τις άγνωστες παραμέτρους της εξίσωσης που προσδιορίστηκαν, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.7.

Παρατηρώντας τον πίνακα 4.7 γίνεται εύκολα φανερό το γεγονός ότι μόνον οι παράμετροι α_0 και α_1 ανταποκρίνονται με επιτυχία στον στατιστικό αυτό έλεγχο. Οι υπόλοιποι 4 παράμετροι ($\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$) παρουσιάζουν πολύ μεγάλα σφάλματα, τα οποία έχουν τιμή πολύ μεγαλύτερη από την τιμή της ίδιας της παραμέτρου.

Αυτό είναι κάτι που δημιουργεί προβλήματα και αμφιβολίες, για το κατά πόσο η συγκεκριμένη επιφάνεια ανταποκρίνεται σωστά στην περιοχή μελέτης. Περισσότερα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν με την εφαρμογή της εξίσωσης (4.8) στα δεδομένα των 5 σημείων του δικτύου που έχουν παραμείνει, ώστε να γίνει ο έλεγχος των τιμών του γεωειδούς.

Στον πίνακα 4.8 φαίνονται οι τιμές αυτές και οι διαφορές τους με τις ήδη γνωστές τιμές του υψόμετρου του γεωειδούς στα 5 σημεία του δικτύου.

Κωδικός Σημείου	N (m) από μετρήσεις (1)	N (m) από εξίσωση (4.8) (2)	ΔN (cm) (3)=(1)-(2)
105'	38.441	38.398	4.3
110'	38.452	38.455	-0.2
17'	38.444	38.446	-0.2
87'	38.507	38.482	2.5
141'	38.623	38.598	2.5

Πίνακας 4.8: Τα υψόμετρα του γεωειδούς από την εξίσωση (4.8) και οι διαφορές τους από αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις.

Παρά τα προβλήματα που εκφράστηκαν παραπάνω για τις τιμές των αγνώστων παραμέτρων και κυρίως για τις αβεβαιότητες τους, οι τιμές των υψόμετρων του γεωειδούς που προκύπτουν, πλησιάζουν κατά πολύ τις τιμές που προέκυψαν εφαρμόζοντας την σχέση (4.1), χρησιμοποιώντας τα γεωμετρικά και τα ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών.

Συνεπώς, παρά την ύπαρξη μίας μικρής ένστασης, λόγω της αβεβαιότητας των περισσότερων συντελεστών της εξίσωσης, μπορεί να ειπωθεί ότι η προσέγγιση που έγινε στα δεδομένα από την καμπύλη

επιφάνεια 2^{ου} βαθμού, έδωσε, ίσως και ανέλπιστα, πολύ κοντινές τιμές στο υψόμετρο του γεωειδούς, στις κορυφές που εφαρμόστηκε.

Αριθμητικά οι διαφορές που προέκυψαν είναι περίπου ίσες με αυτές των προηγούμενων 2 επιφανειών. Η μέγιστη διαφορά εμφανίζεται στην κορυφή 105' και είναι ίση με 4.3 cm και η μικρότερη στις κορυφές 17' και 110' και ισούται με -0.2 cm.

Μία τελευταία προσαρμογή θα γίνει σε καμπύλη επιφάνεια 3^{ου} βαθμού, τα αποτελέσματα της οποίας ενδιαφέρουν πολύ, μετά από την προσαρμογή που έλαβε χώρα στην καμπύλη επιφάνεια 2^{ου} βαθμού και μετά από τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

4.3.4. Προσαρμογή σε καμπύλη επιφάνεια 3^{ου} βαθμού

Η καμπύλη επιφάνεια 3^{ου} βαθμού αποτελεί μία ακόμα πιο πολύπλοκη επιφάνεια σε σχέση με την προηγούμενη, αυτή του 2^{ου} βαθμού. Η εξίσωση της περιλαμβάνει πολλές άγνωστες παραμέτρους και η μορφή της είναι η ακόλουθη:

$$N = \alpha_0 + \alpha_1(\varphi_i - \varphi_0) + \alpha_2(\lambda_i - \lambda_0) + \alpha_3(\varphi_i - \varphi_0)^2 + \alpha_4(\lambda_i - \lambda_0)^2 + \alpha_5(\varphi_i - \varphi_0)(\lambda_i - \lambda_0) + \alpha_6(\varphi_i - \varphi_0)^3 + \alpha_7(\lambda_i - \lambda_0)^3 + \alpha_8(\varphi_i - \varphi_0)^2(\lambda_i - \lambda_0) + \alpha_9(\varphi_i - \varphi_0)(\lambda_i - \lambda_0)^2 \quad (4.9)$$

όπου

N: το υψόμετρο του γεωειδούς

φ_i, λ_i : οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου

φ_0, λ_0 : μέσες γεωγραφικές συντεταγμένες για την περιοχή μελέτης

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8, \alpha_9$: οι άγνωστες παράμετροι της καμπύλης

Τα άγνωστα στοιχεία που υπολογίστηκαν είναι οι παράμετροι $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8, \alpha_9$, οι συντελεστές των αγνώστων είναι οι τιμές $1, (\varphi_i - \varphi_0), (\lambda_i - \lambda_0), (\varphi_i - \varphi_0)^2, (\lambda_i - \lambda_0)^2, (\varphi_i - \varphi_0)(\lambda_i - \lambda_0), (\varphi_i - \varphi_0)^3, (\lambda_i - \lambda_0)^3, (\varphi_i - \varphi_0)^2(\lambda_i - \lambda_0), (\varphi_i - \varphi_0)(\lambda_i - \lambda_0)^2$ και ως μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές N.

Οι τιμές των αγνώστων παραμέτρων της εξίσωσης της καμπύλης είναι:

σ_0 (m)		± 0.043		$\sigma_{ai} * Z_{95}$ (κατά απόλυτη τιμή)	Αποτέλεσμα
α_0 (m)	38.4982	$\sigma_{\alpha 0}$ (m)	± 0.014		
α_1	405.6561	$\sigma_{\alpha 1}$	± 134.759	264.1276	Ισχύει
α_2	413.7572	$\sigma_{\alpha 2}$	± 210.519	412.6165	Ισχύει
α_3	-27933.1225	$\sigma_{\alpha 3}$	± 221986.713	435093.9584	Δεν ισχύει
α_4	430323.9804	$\sigma_{\alpha 4}$	± 284304.026	557235.8908	Δεν ισχύει
α_5	-1352237.5117	$\sigma_{\alpha 5}$	± 1640490.526	3215361.4301	Δεν ισχύει
α_6	-681092899.2718	$\sigma_{\alpha 6}$	± 699900584.469	1371805145.5587	Δεν ισχύει
α_7	-3643930921.6118	$\sigma_{\alpha 7}$	± 2913168027.433	5709809333.7680	Δεν ισχύει
α_8	-3104002364.4827	$\sigma_{\alpha 8}$	± 3754557004.946	7358931729.6933	Δεν ισχύει
α_9	2325599595700.0000	$\sigma_{\alpha 9}$	± 18315411889214	35898207302859.4000	Δεν ισχύει

Πίνακας 4.9: Οι τιμές των άγνωστων συντελεστών για την καμπύλη επιφάνεια 3ου βαθμού, οι αβεβαιότητες τους και ο στατιστικός έλεγχος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τον πίνακα 4.9, η εξίσωση της καμπύλης επιφάνειας 3^{ου} βαθμού θα είναι:

$$N=38.4982+405.6561 (\varphi_i-\varphi_0)+ 413.7572 (\lambda_i-\lambda_0) -27933.1225 (\varphi_i -\varphi_0)^2+430323.9804 (\lambda_i-\lambda_0)^2-1352237.5117 (\varphi_i-\varphi_0)(\lambda_i -\lambda_0) -681092899.2718 (\varphi_i -\varphi_0)^3-3643930921.6118 (\lambda_i -\lambda_0)^3-3104002364.4827 (\varphi_i -\varphi_0)^2(\lambda_i-\lambda_0)+ 2325599595700.0000 (\varphi_i-\varphi_0)(\lambda_i -\lambda_0)^3 \quad (4.10)$$

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μονοδιάστατου στατιστικού ελέγχου σε όλους τους συντελεστές της εξίσωσης 4.10, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.9.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον στατιστικό έλεγχο δείχνουν ότι οι τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης, δεν μπορούν να χαρακτηριστούν αξιόπιστες, λόγω των μεγάλων αβεβαιοτήτων τους. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού και στην καμπύλη επιφάνεια 2^{ου} βαθμού συνέβη κάτι ανάλογο με τους συγκεκριμένους συντελεστές.

Οι επιφάνειες αυτές ανταποκρίνονται καλύτερα σε περιοχές μεγάλης έκτασης, όπου η καμπυλότητα της Γης δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα υψόμετρα που προέκυψαν από την εξίσωση (4.10) και τα οποία παρουσιάζουν το περισσότερο ενδιαφέρον, ώστε να εξαχθεί ένα πιο σίγουρο συμπέρασμα για την προσαρμογή της καμπύλης επιφάνειας 3^{ου} βαθμού, στο δίκτυο των Αθηνών.

Κωδικός Σημείου	N (m) από μετρήσεις (1)	N (m) από εξίσωση (4.10) (2)	ΔN (cm) (3)=(1)-(2)
105'	38.441	38.417	2.4
110'	38.452	38.480	-2.8
17'	38.444	38.404	4.0
87'	38.507	38.511	-0.4
141'	38.623	38.612	1.1

Πίνακας 4.10: Τα υψόμετρα του γεωειδούς από την εξίσωση (4.10) και οι διαφορές τους από αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις.

Κάτι παρόμοιο με την προηγούμενη επιφάνεια που εφαρμόστηκε συμβαίνει και στην συγκεκριμένη περίπτωση. Παρά το ότι οι συντελεστές παρουσιάζουν πολύ μεγάλες αβεβαιότητες, τα υψόμετρα του γεωειδούς εμφανίζονται πολύ κοντά στις πραγματικές τιμές τους.

Η μέγιστη διαφορά σε αυτήν την επιφάνεια εμφανίζεται αντίστοιχη με όλες τις προηγούμενες και ισούται με 4 cm, όπως και η ελάχιστη βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με τιμή ίση με -0.4cm.

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι παρά τις αβεβαιότητες των συντελεστών της εξίσωσης και το ότι η επιφάνεια αυτή είναι αρκετά πολύπλοκη για να εφαρμοστεί σε μία περιοχή με την συγκεκριμένη έκταση, τα αποτελέσματα των υψομέτρων του γεωειδούς δείχνουν το αντίθετο.

Ακόμα, το a posteriori τυπικό σφάλμα για την συγκεκριμένη επιφάνεια εμφανίζεται λίγο μικρότερο από αυτά των υπολοίπων επιφανειών, αλλά με μία διαφορά που μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα και επομένως βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με όλα τα υπόλοιπα a posteriori τυπικά σφάλματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟ EGM08

5.1. Προσδιορισμός υψομέτρου γεωειδούς από EGM08

Το EGM08, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 1 του τεύχους, είναι ένα παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς. Αναπτύχθηκε από την Χαρτογραφική Υπηρεσία των Η.Π.Α. σε συνεργασία με την Nasa και το πανεπιστήμιο του Ohio και είναι πλήρως αναπτυγμένο σε βαθμό και τάξη 2159.

1. Το EGM08 είναι ένα μοντέλο, το οποίο υπολογίζει την αποχή N του γεωειδούς σε περιοχές σε ολόκληρο τον πλανήτη. Η αβεβαιότητα προσδιορισμού του υψομέτρου του γεωειδούς χρησιμοποιώντας το EGM08 ανέρχεται στα ± 22 cm. [Αλεβιζάκου Ε.-Γ., 2010]

Τα στοιχεία που χρειάζεται να εισαχθούν στο μοντέλο αυτό ως δεδομένα, είναι οι γεωγραφικές συντεταγμένες (φ, λ) του σημείου στο WGS84, το γεωμετρικό του υψόμετρο h και το ορθομετρικό υψόμετρο H . Με αυτά τα δεδομένα εισόδου το μοντέλο δίνει ως αποτέλεσμα το υψόμετρο του γεωειδούς και μερικά άλλα στοιχεία, όπως ο ισοδυναμικός αριθμός C , κλπ.

Αφού προσδιοριστούν οι τιμές του γεωειδούς από το EGM08, για τα 37 σημεία του δικτύου, στην συνέχεια θα υπολογιστούν οι διαφορές των τιμών που προέκυψαν με αυτές που έχουν προσδιοριστεί από την βασική σχέση της γεωδαισίας (4.1).

Επομένως, εισάγοντας τα στοιχεία που αναφέρονται παραπάνω και "τρέχοντας" το λογισμικό του μοντέλου, προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 5.1.

Κωδικός Σημείου	Γεωγραφικό Πλάτος φ	Γεωγραφικό Μήκος λ	N Επίγειο (m)	N EGM08 (m)	δN _{επιγ-EGM08} (cm)	
1'	37.98382537	23.72810957	38.440	39.068	-62.8	
11'	37.97533174	23.72936201	38.398	39.059	-66.1	
16'	37.98161144	23.72839589	38.434	39.065	-63.1	
17'	37.98217690	23.72742496	38.444	39.062	-61.8	
20'	37.97061576	23.73202303	38.418	39.061	-64.3	
26'	37.97341750	23.71816569	38.361	39.006	-64.5	
31'	37.97848863	23.71610131	38.378	39.008	-63.0	
37'	37.98450890	23.71249863	38.585	39.005	-42.0	
40'	37.98600226	23.71647624	38.370	39.024	-65.4	
77'	37.97922838	23.75346554	38.521	39.167	-64.6	
89'	37.97595263	23.74676362	38.492	39.134	-64.2	
92'	37.97588946	23.73649904	38.443	39.090	-64.7	
101'	37.96557046	23.74671359	38.428	39.115	-68.7	
105'	37.96677847	23.73803095	38.441	39.080	-63.9	
107'	37.96941484	23.73963744	38.430	39.092	-66.2	
108'	37.96962824	23.74051219	38.444	39.097	-65.3	
109'	37.97115132	23.73612379	38.445	39.080	-63.5	
110'	37.97416175	23.74161598	38.452	39.109	-65.7	
120'	37.96756743	23.73021522	38.297	39.048	-75.1	
122'	37.96448033	23.73558096	38.417	39.065	-64.8	
4'	37.98328528	23.73053320	38.373	39.077	-70.4	
5'	37.98092398	23.73300664	38.438	39.084	-64.6	
6'	37.97971521	23.73395368	38.475	39.086	-61.1	
8'	37.97761336	23.73541164	38.434	39.088	-65.4	
56'	37.99166753	23.73109336	38.526	39.094	-56.8	
57'	37.98931391	23.73175961	38.503	39.093	-59.0	
58'	37.98805584	23.73105468	38.498	39.088	-59.0	
61'	37.99106571	23.73487991	38.526	39.108	-58.2	
68'	37.98372216	23.73849368	38.508	39.111	-60.3	
86'	37.98249989	23.73938048	38.483	39.113	-63.0	
87'	37.98360396	23.73883013	38.507	39.112	-60.5	
133'	37.99213564	23.73142869	38.511	39.096	-58.5	
141'	38.01277576	23.73305319	38.623	39.140	-51.7	
143'	38.01394383	23.73525217	38.528	39.150	-62.2	δN _{μέσο} (cm)
144'	38.01422433	23.73526243	38.624	39.151	-52.7	-62.1
150'	38.00522507	23.73693469	38.627	39.140	-51.3	σδN _{μέσο} (cm)
160'	37.99504350	23.73874760	38.503	39.130	-62.7	± 5.8

Πίνακας 5.1: Το υψόμετρο του γεωειδούς από το EGM08 και η διαφορά του με αυτό από τις επίγειες μετρήσεις.

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα, γίνεται αντιληπτό ότι οι διαφορές μεταξύ των τιμών του υψομέτρου του γεωειδούς από τις δύο αυτές μεθόδους προσδιορισμού, είναι αρκετά μεγάλες, της τάξης των -60 cm. Επίσης, οι διαφορές που προέκυψαν παρουσιάζουν έναν συστηματικό χαρακτήρα, διότι κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα για όλες (πλην μίας) τις κορυφές του δικτύου. Επομένως, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των διαφορών αυτών και η αβεβαιότητα του, για να γίνει μία τυποποίηση της διαφοράς αυτής. Ο μέσος όρος, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.1 είναι ίσος με -62.1 cm και η αβεβαιότητά του υπολογίστηκε ίση με ± 5.8 cm.

Ένα σημαντικό λόγο για την ύπαρξη των μεγάλων αυτών διαφορών αποτελεί το γεγονός ότι το EGM08 είναι ένα παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς, που καλύπτει όλη την έκταση της Γης και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην προσαρμόζεται καλά σε περιοχές με πολύ έντονο ανάγλυφο, όπως είναι αυτό της Ελλάδας.

5.2. Εμπλουτισμός του παγκόσμιου μοντέλου γεωειδούς EGM08

Στην προηγούμενη ενότητα προσδιορίστηκαν οι διαφορές της αποχής του γεωειδούς που προέκυψαν από το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς και από την αφαίρεση του ορθομετρικού από το γεωμετρικό υψόμετρο των κορυφών.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μοντελοποίηση των διαφορών αυτών, με σκοπό να γίνει ένας εμπλουτισμός του παγκόσμιου μοντέλου γεωειδούς. Με τον όρο εμπλουτισμός ορίζεται η διαδικασία προσδιορισμού της διόρθωσης δN που πρέπει να γίνει στην τιμή της αποχής του γεωειδούς, για κάθε σημείο όπως προέρχεται από το EGM08.

Ο εμπλουτισμός αυτός θα οδηγήσει στην βελτίωση του μοντέλου, στην περιοχή της Αθήνας, με αποτέλεσμα η προσέγγιση του υψομέτρου του γεωειδούς να γίνεται καλύτερα και ακριβέστερα.

Για την δημιουργία του μοντέλου που θα λειτουργήσει για εμπλουτισμό του EGM08, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του 3-παραμετρικού μοντέλου που είναι η εξής:

$$\delta N = N^{GPS} - N^{EGM08} = (h-H) - N^{EGM08} = \alpha_0 + \alpha_1(\varphi_i - \varphi_0) + \alpha_2(\lambda_i - \lambda_0) \quad (5.1)$$

όπου

N : το υψόμετρο του γεωειδούς

φ_i, λ_i : οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου

φ_0, λ_0 : μέσες γεωγραφικές συντεταγμένες για την περιοχή μελέτης

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$: οι άγνωστες παράμετροι του μοντέλου

Και σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόστηκε η Μέθοδος των Ελαχίστων Τετραγώνων, με έμμεσες παρατηρήσεις. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν 32 κορυφές του δικτύου και οι υπόλοιπες 5 έμειναν εκτός, ώστε να πραγματοποιηθεί έλεγχος. Οι κορυφές αυτές είναι οι ίδιες με εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν για έλεγχο στη δημιουργία των τοπικών μοντέλων του γεωειδούς.

Τα άγνωστα στοιχεία που υπολογίστηκαν είναι οι παράμετροι $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$, οι συντελεστές των αγνώστων είναι οι τιμές $1, (\varphi_i - \varphi_0), (\lambda_i - \lambda_0)$ και ως μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές δN .

Οι τιμές των αγνώστων συντελεστών που προέκυψαν μετά από την εφαρμογή της Μ.Ε.Τ., καθώς και το a posteriori τυπικό σφάλμα της εξίσωσης, φαίνονται στον πίνακα 5.2 που ακολουθεί.

σ_0 (m)		± 0.048		$\sigma_{ai} * Z_{95}$ (κατά απόλυτη τιμή)	Αποτέλεσμα		
α_0 (m)	-0.6042	σ_{α_0} (m)	± 0.0091			0.018952807	Ισχύει
α_1	154.4318	σ_{α_1}	± 37.3761			78.04205783	Ισχύει
α_2	-88.5433	σ_{α_2}	± 52.8197			110.9082346	Δεν ισχύει

Πίνακας 5.2: Οι τιμές των αγνώστων παραμέτρων για το 3-παραμετρικό μοντέλο, για τον εμπλουτισμό του EGM08.

Έτσι, η εξίσωση που προκύπτει για τον εμπλουτισμό του EGM08 είναι η ακόλουθη:

$$\delta N = -0.6042 + 154.4318 (\varphi_i - \varphi_0) - 88.5433 (\lambda_i - \lambda_0) \quad (5.2)$$

Ακόμη, εφαρμόσθηκε ο μονοδιάστατος στατιστικός έλεγχος για τις τιμές των άγνωστων παραμέτρων που προέκυψαν και τα αποτελέσματα του παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα 5.2.

Ο στατιστικός αυτός έλεγχος δείχνει ότι η παράμετρος a_2 έχει προσδιοριστεί με πολύ μεγάλη αβεβαιότητα. Μία καλύτερη εικόνα, όμως, θα δώσουν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την εφαρμογή της εξίσωσης (5.2) στα 5 σημεία του δικτύου, που αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων.

Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της εξίσωσης (5.2).

Κωδικός Σημείου	δN (cm) από μετρήσεις (1)	δN (cm) από εξίσωση (5.2) (2)	$\Delta \delta N$ (cm) (3)=(1)-(2)
105'	-63.9	-67.3	3.4
110'	-65.7	-65.8	0.1
17'	-61.8	-61.5	-0.3
87'	-60.5	-62.9	2.4
141'	-51.7	-54.1	2.4

Πίνακας 5.3: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της εξίσωσης 5.2, για τον εμπλουτισμό του EGM08.

Παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα, ότι το μοντέλο που δημιουργήθηκε, δίνει τις πιθανές διαφορές στην τιμή του υψομέτρου του γεωειδούς από το EGM08 και από την διαφορά γεωμετρικού και ορθομετρικού υψομέτρου, με πολύ καλή προσέγγιση. Η προσέγγιση αυτή είναι της τάξης των λίγων εκατοστών, όπου στην χειρότερη περίπτωση ανέρχεται σε 3.4 cm για την κορυφή 105', ενώ στην καλύτερη σε 0.1 cm για την κορυφή 110'.

Επομένως, το 3-παραμετρικό αυτό μοντέλο που δημιουργήθηκε, προσεγγίζει αρκετά καλά τις διαφαινόμενες διαφορές των υψομέτρων του γεωειδούς, με τους 2 διαφορετικούς τρόπους προσδιορισμού του, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ώστε να υπολογιστούν υψόμετρα από το EGM08 σε επίγεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1. Συμπεράσματα

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός του υψομέτρου του γεωειδούς, σε μία αστική και πυκνοκατοικημένη περιοχή, όπως είναι η πόλη των Αθηνών.

Επίσης, η δημιουργία ενός τοπικού χάρτη γεωειδούς, για τη συγκεκριμένη περιοχή, αποτελεί ένα εξίσου ενδιαφέρον αντικείμενο της εργασίας, το οποίο αποσκοπεί στον εμπλουτισμό της γνώσης του γεωειδούς σε περιοχές του ελλαδικού χώρου.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου και οδήγησε στον υπολογισμό των υψομέτρων του γεωειδούς, είναι αυτή του δορυφορικού εντοπισμού (σχετικός στατικός) χρησιμοποιώντας δέκτες διπλής συχνότητας του συστήματος GPS.

Το υψομετρικό δίκτυο των Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων του 1920 είναι ένα δίκτυο, το οποίο θέτει εξ' αρχής σημαντικά προβλήματα στην εκτέλεση μετρήσεων με τη μέθοδο του δορυφορικού εντοπισμού. Τα σημεία του συγκεκριμένου δικτύου δεν προσφέρονται για μετρήσεις με τη συγκεκριμένη μέθοδο, επειδή είναι τοποθετημένα σε περιοχές πυκνοδομημένες με ψηλά κτήρια.

Προκειμένου το παγκόσμιο σύστημα δορυφορικού εντοπισμού να ανταποκριθεί σε τέτοιου είδους εργασίες με αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία, είναι καθοριστική η ίδρυση των νέων κορυφών, σε ευνοϊκότερες θέσεις κοντά στις αρχικές. Στις νέες θέσεις υπάρχει ανοιχτός ορίζοντας και άρα αυξημένος αριθμός ορατών δορυφόρων (τουλάχιστον 6 ή 7). Οι επιλεγείσες θέσεις των νέων κορυφών, επηρέασαν καθοριστικά τόσο την ακρίβεια όσο και την αξιοπιστία των μετρήσεων. Αυτό είναι ένα πολύ

σημαντικό στοιχείο των εργασιών πεδίου, το οποίο απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να πραγματοποιηθούν καλές παρατηρήσεις.

Τα συμπεράσματα από την χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου, για τέτοιου είδους μετρήσεις, είναι τα εξής:

- ✓ Η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού, η οποία και χρησιμοποιήθηκε, μπορεί να οδηγήσει στον προσδιορισμό του γεωμετρικού υψομέτρου ή με ικανοποιητική ακρίβεια που κυμαίνεται από $\pm 3\text{mm}$ (ελάχιστη) έως $\pm 4\text{cm}$ (μέγιστη).
- ✓ Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού HEPOS μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην εκτέλεση μετρήσεων με δορυφορικό εντοπισμό καθώς μειώνεται το κόστος και ο χρόνος εκτέλεσης των μετρήσεων, εφόσον απαιτείται ένας μόνο δέκτης για την πραγματοποίηση των απαιτούμενων παρατηρήσεων.
- ✓ Απαιτείται πολύ μεγάλη προσοχή στην τοποθέτηση (κέντρωση – κατακορύφωση) του στυλεού στο σημείο μέτρησης, έτσι ώστε αυτός να βρίσκεται στη σωστή θέση. Εάν δεν γίνει η τοποθέτηση με προσοχή μπορεί να οδηγήσει σε αποτελέσματα μειωμένης ακρίβειας.
- ✓ Κατά την εκτέλεση των μετρήσεων επιλέχθηκε η διάρκεια παραμονής του δέκτη σε κάθε σημείο να ανέρχεται σε **20 λεπτά**, γεγονός που οδήγησε σε μέσες αβεβαιότητες προσδιορισμού του γεωμετρικού υψομέτρου της τάξης των **$\pm 5\text{-}10\text{mm}$** . Σε προηγούμενη διπλωματική εργασία [Αλεβιζάκου Ε-Γ.,2010] αντίστοιχες παρατηρήσεις διήρκεσαν **10 λεπτά** και η μέση αβεβαιότητά τους ήταν της τάξης των **$\pm 5\text{-}14\text{mm}$** . Επομένως, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αύξηση της χρονικής διάρκειας των μετρήσεων δεν επιφέρει κάποια ουσιαστική βελτίωση στην αβεβαιότητα προσδιορισμού των γεωμετρικών υψομέτρων.

Από την επεξεργασία των μετρήσεων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων (εργασίες γραφείου) προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ✓ Η επίλυση των βάσεων (baselines) και ο προσδιορισμός των γεωμετρικών υψομέτρων των κορυφών του δικτύου έγινε από 2 μόνιμους σταθμούς του Herpos, τον 007A και τον 098A. Έτσι οι τελικές τιμές των γεωμετρικών υψομέτρων προσδιορίστηκαν ως ο μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών από τις επιλύσεις από τους 2 αυτούς σταθμούς. Οι **διαφορές** στις τιμές των γεωμετρικών υψομέτρων από κάθε σταθμό κυμαίνονταν από **5 έως 20 mm**, ενώ η μικρότερη διαφορά ήταν ίση με 1mm για την κορυφή 37' και η μεγαλύτερη 69mm για την κορυφή 77'.
- ✓ Από τον προσδιορισμό του υψομέτρου **N** του γεωειδούς για όλες τις κορυφές της περιοχής μελέτης (11Km²), διαπιστώνεται ότι αυτό παρουσιάζει διαφορές της τάξης των **35cm**.
- ✓ Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι η αβεβαιότητα προσδιορισμού των αποχών του γεωειδούς **N** (μερικά **cm**) επηρεάζεται κυρίως από την αβεβαιότητα προσδιορισμού των γεωμετρικών υψομέτρων. Η αβεβαιότητα, προσδιορισμού των ορθομετρικών υψομέτρων, με τη χρήση επίγειων μεθόδων μέτρησης, είναι της τάξης των **±2 mm**.
- ✓ Η δημιουργία του τοπικού μοντέλου γεωειδούς έγινε με την χρήση 4 διαφορετικών μαθηματικών επιφανειών, οι οποίες προσέγγισαν αρκετά ικανοποιητικά τα δεδομένα για την περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα που δίνουν οι εξισώσεις των επιφανειών διαφέρουν από αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις μερικά μόνο εκατοστά (μέχρι 9cm). Το a posteriori τυπικό σφάλμα σ_0 της προσαρμογής παρουσίασε μικρές διαφορές μεταξύ όλων των επιφανειών όπως και ο συντελεστής a_0 , ο οποίος συνδέεται άμεσα με την μέση τιμή του υψομέτρου του γεωειδούς στην περιοχή.
Τελικά έγινε αποδεκτή η **επίπεδη επιφάνεια**, επειδή ήταν η μοναδική επιφάνεια της οποίας όλοι οι συντελεστές ανταποκρίθηκαν με επιτυχία στον μονοδιάστατο στατιστικό έλεγχο που υποβλήθηκαν.
Η εξίσωση της επίπεδης επιφάνειας και το a posteriori τυπικό σφάλμα, όπως προσδιορίστηκαν είναι τα εξής:

$$N \text{ (m)} = 38.4937 + 252.7577 \cdot (\varphi_i - \varphi_0) + 152.5094 \cdot (\lambda_i - \lambda_0)$$

$$\sigma_0 = \pm 0.048 \text{ m}$$

$$\text{όπου } \varphi_0 = 0.66303928 \text{ rad, } \lambda_0 = 0.41421868 \text{ rad}$$

Με την εξίσωση αυτή, προσδιορίζεται το υψόμετρο του γεωειδούς N για οποιοδήποτε σημείο, του οποίου είναι γνωστές οι γεωδαιτικές συντεταγμένες φ, λ (σε rad) στο WGS '84.

Ο σημαντικότερος συντελεστής της εξίσωσης αυτής είναι ο $a_0 = 38.49 \text{ m}$, ο οποίος ουσιαστικά εκφράζει τη μέση τιμή της αποχής για την περιοχή.

Το a posteriori τυπικό σφάλμα ανέρχεται στα $\pm 4.8 \text{ cm}$, που είναι μία πολύ ικανοποιητική τιμή, επειδή είναι κοντά στην τάξη μεγέθους του σφάλματος προσδιορισμού των γεωμετρικών υψομέτρων. Επομένως, δηλώνει την πολύ καλή προσέγγιση της επίπεδης επιφάνειας, στην περιοχή μελέτης και στα δεδομένα αυτής.

- ✓ Το μοντέλο του γεωειδούς που δημιουργήθηκε έχει ως στόχο την διευκόλυνση του προσδιορισμού του ορθομετρικού υψομέτρου, σημείων που βρίσκονται εντός της περιοχής μελέτης. Δηλαδή ο υπολογισμός του ορθομετρικού υψομέτρου ενός σημείου γίνεται, αφού προσδιοριστεί το γεωμετρικό υψόμετρο του σημείου με μετρήσεις GPS και το υψόμετρο του γεωειδούς από το μοντέλο που δημιουργήθηκε, με την εκτέλεση μόνον μίας απλής αφαίρεσης, σύμφωνα με την σχέση $H = h - N$.
Είναι δυνατή λοιπόν η εκτέλεση μετρήσεων στη συγκεκριμένη περιοχή χρησιμοποιώντας δέκτες του δορυφορικού συστήματος και ανάγοντας τα γεωμετρικά υψόμετρα σε ορθομετρικά χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο τοπικό μοντέλο γεωειδούς.
- ✓ Η σύγκριση του μοντέλου του γεωειδούς που δημιουργήθηκε με το παγκόσμιο μοντέλο EGM08, οδήγησε σε διαφορές δN της τάξης

των **60 cm**. Είναι προφανές το γεγονός ότι αυτή η διαφορά έχει συστηματικό χαρακτήρα, διότι είναι περίπου ίση για όλες τις κορυφές του δικτύου.

- ✓ Προσδιορίστηκε η διαφορά μεταξύ των επιφανειών αναφοράς (δηλαδή το μηδέν των ορθομετρικών υψομέτρων) του **ΕΣΥ** και αυτής του **δικτύου Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων**, όπως είχε οριστεί από τον Λαμπαδάριο το 1920. Ο προσδιορισμός αυτός προέκυψε από δύο ανεξάρτητες ενέργειες, σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές με διαφορετικές μεθόδους προσδιορισμού ως εξής:

- Ο πρώτος προσδιορισμός έγινε το έτος 2010, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ΤΡΥΑ και συνδέοντας υψομετρικά την κορυφή 5 με βάθρο της ΓΥΣ (στο Λυκαβηττό). Το αποτέλεσμα της διαφοράς προέκυψε ίσο με **+18cm**. [Αλεβιζάκου Ε.-Γ., 2010]
- Ο δεύτερος προσδιορισμός έγινε το έτος 2011, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμησης και συνδέοντας υψομετρικά την κορυφή 26 με άλλο βάθρο της ΓΥΣ (στο Αστεροσκοπείο). Το αποτέλεσμα του προέκυψε ίσο με **+17.6cm**.

Η διαφορά αυτή ουσιαστικά δηλώνει ότι η επιφάνεια αναφοράς του ΕΣΥ βρίσκεται **χαμηλότερα** από αυτή του δικτύου Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων του 1920. Έτσι αν διορθωθούν οι τιμές των ορθομετρικών υψομέτρων του 1920 κατά 17.8cm (μέση διαφορά) ώστε να αναχθούν στην επιφάνεια του ΕΣΥ, τότε η τιμή τους θα αυξηθεί. Αυτό θα οδηγήσει σε μείωση της τιμής N του υψομέτρου του γεωειδούς με αποτέλεσμα οι τιμές αυτές του N να έχουν μεγαλύτερη διαφορά από αυτές που παρέχει το EGM08.

Επομένως, το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η **επιφάνεια αναφοράς** που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των ορθομετρικών υψομέτρων του δικτύου Αθηνών, προαστίων και περιχώρων του 1920 **προσεγγίζει καλύτερα** την επιφάνεια αναφοράς των

ορθομετρικών υψομέτρων του **EGM08**, σε σχέση με την επιφάνεια των ορθομετρικών υψομέτρων του **ΕΣΥ**.

- ✓ Η διαφορά μεταξύ του επίγεια υπολογισμένου μοντέλου και του EGM08 είναι σημαντική. Προφανώς αυτό οφείλεται στο έντονο ανάγλυφο του ελλαδικού χώρου και κατ' επέκταση της περιοχής μελέτης και στην ανωμαλία κατανομής των μαζών στο εσωτερικό της Γης.
- ✓ Ακόμη, προσδιορίστηκαν τα ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου, χρησιμοποιώντας το **λογισμικό Hepos TT**, το οποίο δημιουργήθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε και λαμβάνει υπόψη του ένα ανεξάρτητο μοντέλο γεωειδούς που δημιουργήθηκε πρόσφατα για τον ελλαδικό χώρο.
Διαπιστώνεται ότι οι τιμές των ορθομετρικών υψομέτρων είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του 1920 και παρουσιάζουν μία μέση διαφορά κατά περίπου **23.3cm±4.6cm**. Η μέγιστη διαφορά που παρουσιάστηκε ήταν της τάξης των +40 cm για την κορυφή 37' και η ελάχιστη ήταν +12.3cm για την κορυφή 120'. Οι διαφορές που προέκυψαν είναι αναμενόμενες, αφού το μοντέλο γεωειδούς του Hepos είναι ένα γεωμετρικό μοντέλο που χρησιμοποιεί ως δεδομένα τα ορθομετρικά υψόμετρα τριγωνομετρικών σημείων του Κρατικού δικτύου (επιφάνειας αναφοράς του ΕΣΥ).
- ✓ Η εξίσωση εμπλουτισμού του παγκόσμιου μοντέλου γεωειδούς EGM08, που προσδιορίστηκε, προσεγγίζει τις τιμές των υψομέτρων ικανοποιητικά.

$$\delta N \text{ (m)} = -0.6042 + 154.4318 \cdot (\varphi_i - \varphi_0) - 88.5433 \cdot (\lambda_i - \lambda_0)$$

όπου $\varphi_0 = 0.66303928 \text{rad}$, $\lambda_0 = 0.41421868 \text{rad}$

Με την εξίσωση αυτή, διορθώνονται απευθείας οι τιμές του υψομέτρου του γεωειδούς N για οποιοδήποτε σημείο της περιοχής,

που παρέχονται από το παγκόσμιο μοντέλο EGM08, αν είναι γνωστές οι γεωδαιτικές συντεταγμένες φ,λ (σε rad) στο WGS '84.

Όπως προέκυψε από την εφαρμογή της εξίσωσης που προσδιορίστηκε, στα 5 σημεία ελέγχου, οι διαφορές κυμαίνονται από **0.1cm** έως **3.4cm**.

6.2. Προτάσεις

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και συνοψίζοντας όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν με την μελέτη αυτή, κρίνεται απαραίτητη η διατύπωση μερικών προτάσεων, για ενέργειες που θα μπορούσαν να γίνουν στο μέλλον. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Προσδιορισμός των υψομέτρων του γεωειδούς για τις κορυφές του δικτύου του Πειραιά. Με την ενέργεια αυτή θα δημιουργηθεί μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα της μορφής του γεωειδούς στην περιοχή της Αττικής.
- ✓ Με τον εκσυγχρονισμό στις τιμές των ορθομετρικών υψομέτρων, που έγινε με τον προσδιορισμό της διαφοράς των επιφανειών των δύο δικτύων (ΕΣΥ – 1920), θα μπορούσαν οι υψομετρικές αφετηρίες του 1920 να χρησιμοποιηθούν σαν γνωστά και σταθερά σημεία σε διάφορες εργασίες που γίνονται στην περιοχή της Αττικής και απαιτούν τέτοιου είδους συνδέσεις, προσθέτοντας νέα σημεία στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα.
- ✓ Ακόμα, ενδιαφέρον παρουσιάζει ο προσδιορισμός εκ νέου των ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών μεταξύ των κορυφών του δικτύου (σε όσες δεν έχει γίνει αυτός), ούτως ώστε να ελεγχθεί και διαπιστωθεί αν έχουν υπάρξει τυχόν μετακινήσεις στις υψομετρικές αφετηρίες, μετά το πέρασμα 90 χρόνων. Αυτό δεν φάνηκε στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης στην οποία έγινε ο προσδιορισμός [Φαρμακάκη Α., 2010], όπου οι διαφορές ήταν της τάξης του 1mm.

- ✓ Κρίνεται απαραίτητος ο σαφής προσδιορισμός της **επιφάνειας αναφοράς** των ορθομετρικών υψομέτρων για την περιοχή της Αθήνας και κατ' επέκταση όλης της Ελλάδος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2007
2. Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.Μ., *Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις ΙΙ*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2009
3. Αλεβιζάκου Ε.-Γ., *Προσδιορισμός της Αποχής του Γεωειδούς Ν σε Αστική Περιοχή*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2010
4. Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ., Παπαζήση Κ., *Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2008
5. Γκόβα Ε., *Τεκμηρίωση των Υψομετρικών Αφετηριών του Χωροσταθμικού Δικτύου Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων(1920)-Βελτιστοποίηση Δικτύου*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2007
6. Δεληκαράογλου Δ., *Εισαγωγή στο Γήινο Πεδίο Βαρύτητας*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2007
7. Λαμπαδάριος Δ.Ν., *Το Χωροσταθμικόν Δίκτυον Αθηνών, Προαστίων & Περιχώρων*, Τοπογραφική Υπηρεσία Υπουργείου Συγκοινωνίας, 1921
8. Λάμπρου Ε., *Εφαρμοσμένα Θέματα Γεωδαισίας*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2008
9. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα 2010, ISBN 978-960-456-205-3
10. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Αραμπατζή Ο., *Υψομετρία*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2004
11. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Γεωργόπουλος Γ.Δ., Δογγούρης Σ., *Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2005

- 12.Μπιλλήρης Χ., Μητσακάκη Χ., Αγατζά-Μπαλοδήμου Μ.Α., Τσακίρη Μ., Σταθάς Δ., *Εισαγωγή στη Γεωδαισία*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2006
- 13.Παραδείσης Δ., *Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς στην Ελλάδα-Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον*, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006
- 14.Παραδείσης Δ., Ζησόπουλος Α., *Διαφορικός Εντοπισμός (DGPS)*, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2006
- 15.Παραδείσης Δ., *Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας*, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2000
- 16.Φαρμακάκη Α., *Προσδιορισμός της Κατακόρυφης Μεταβολής της Θέσης Υψομετρικών Αφετηριών Τμήματος του Χωροσταθμικού Δικτύου Αθηνών που ιδρύθηκε το 1920*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2010
- 17.Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., *GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2006, ISBN 960-456-004-2

Διαδικτυακοί Τόποι

1. <http://www.google.gr>
2. <http://www.geoshop.gr/>
3. <http://www.hepos.gr/>
4. <http://www.geotech.gr/>
5. <http://www.topcon.com.sg/survey/dl.html>
6. <http://www.trimble.com>
7. <http://igsceb.jpl.nasa.gov>
8. <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>
9. <http://global.topcon.com/>
10. <http://www.epncb.oma.be/>

DETERMINATION OF THE GEOID UNDULATION N AT A VERTICAL NETWORK IN ATHENS, WHICH WAS ESTABLISHED IN 1920

ABSTRACT

The current diploma thesis aims to determine the geoid height N at the Points of a vertical network in Athens, which was established in 1920. For this reason, measurements were carried out using Global Positioning System (GPS). More details about the facts that have been studied are presented in six chapters:

- The first chapter refers to the most important reference surfaces, such as earth's surface, focusing on the geoid. This chapter also includes information about the methods developed for determining the geoid surface and the models used worldwide (EGM08, EGM96).
- The second chapter presents the GPS system, some historical facts and the necessary measurements. In addition to these, the main reasons for its errors, the methods of satellite tracking, the global networks and its use in altimetry are presented.
- The third chapter describes the network of Athens, which was established in 1920. The process of installation, the methods used and the calculation of heights are presented too.

This chapter includes also the GPS measurements that were carried out, the equipment that was used and the calculation of geometric heights.

- The fourth chapter describes the calculation of geoid heights and the method that was followed. The creation of a local geoid model, which refers to the urban area as Athens, is presented too.
- The fifth chapter includes the calculation of geoid heights, via the global model EGM08. In addition to this, a comparison between

the geoid heights that were defined by the GPS measurements and the respective that were defined by the model EGM08, is also presented.

- The sixth chapter presents the conclusions obtained after the completion of the current diploma thesis.

The basic result was the possibility of calculating the orthometric height in an urban area of Athens, carrying out measurements using the GPS system by an accuracy of few cm (4-5). This calculation is possible due to the creation of the geoid model namely the equation which fits better to the examined area.

The HEPOS (Hellenic Positioning System) was very helpful carrying out measurements using GPS, as only one receiver of the GPS system is needed.

Moreover, the difference between the reference surface of the Hellenic national heights system and the respective of the 1920 Athens network was defined. This difference of + 17.8cm leads to a very important result. According to that, the reference surface of the 1920 Athens network is closer to the reference surface of EGM08, than the reference surface of the national Hellenic heights system.

In addition, the geoid differences of the order of 60cm were defined between the global geoid model EGM08 and the created local model. These differences seemed to be systematic.

Finally the enrichment of the EGM08 for this area is carried out using the terrestrial collected data. This leads to an equation which provides the difference δN of each point from the N value calculated by the EGM08.

The results of this diploma thesis may be used in the future, helping on the direct determination of orthometric heights at points

inside the examined area, carrying out measurements using the GPS system.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗΣ ΚΑΙ GPS

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	107'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	26-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	11:53				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	12:17				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.46 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
107'	2.5165		107	0.04467	
107		0.1269	107'		2.43377
ΔHaller (m)	2.3896		ΔHretour (m)	-2.3891	
ΔΗτελικό (m)			2.38935		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	108'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	26-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	12:27				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	12:48				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.46 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
108'	1.8136		108	0.62423	
108		0.701	108'		1.73663
ΔHaller (m)	1.1126		ΔHretour (m)	-1.1124	
ΔΗτελικό (m)			1.1125		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	105'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	26-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	14:22				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	14:43				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.46 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
105'	1.214		105	0.3737	
105		0.3674	105'		1.22093
ΔHaller (m)	0.8466		ΔHretour (m)	-0.84723	
ΔΗτελικό (m)			0.84692		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	122'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	26-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	15:46				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	16:06				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.46 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
122'	1.55047		122	0.51403	
122		0.5223	122'		1.54223
ΔHaller (m)	1.02817		ΔHretour (m)	-1.0282	
ΔΗτελικό (m)			1.02819		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	1'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	27-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	9:48				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	10:22				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.46 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
1'	1.0105		1	1.5863	
1		1.55097	1'		1.04583
ΔHaller (m)	-0.54047		ΔHretour (m)	0.54047	
ΔΗτελικό (m)			-0.54047		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	17'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	27-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	10:51				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	11:12				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.86 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
17'	0.81127		17	0.92	
A1	1.15013	1.3959	A2	1.46693	1.1914
17		0.8771	17'		0.8834
	ΣΟ: 1.9614	ΣΕ: 2.273		ΣΟ: 2.38693	ΣΕ: 2.0748
ΔHaller (m)	-0.3116		ΔHretour (m)	0.31213	
ΔΗτελικό (m)			-0.31187		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	16'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	27-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	12:00				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	12:21				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.61 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
16'	1.6503		16	0.86567	
16		0.83657	16'		1.6793
ΔHaller (m)	0.81373		ΔHretour (m)	-0.81363	
ΔΗτελικό (m)			0.81368		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	31'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	27-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	13:19				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	13:40				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.66 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
31'	1.51527		31	1.2493	
31		1.30177	31'		1.46157
ΔHaller (m)	0.2135		ΔHretour (m)	-0.21227	
ΔΗτελικό (m)			0.21289		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	120'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	27-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	15:10				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	15:31				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.66 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
120'	1.3363		120	0.9038	
120		0.9283	120'		1.31207
ΔHaller (m)	0.408		ΔHretour (m)	-0.40827	
ΔΗτελικό (m)			0.40814		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	20'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	27-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	15:58				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	16:19				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.76 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
20'	1.52193		20	0.8973	
20		1.02	20'		1.399
ΔHaller (m)	0.50193		ΔHretour (m)	-0.5017	
ΔΗτελικό (m)			0.50182		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	77'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	28-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	10:02				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	10:22				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.76 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
77'	1.2218		77	0.7087	
77		0.70723	77'		1.2228
ΔHaller (m)	0.51457		ΔHretour (m)	-0.5141	
ΔΗτελικό (m)			0.51434		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	110'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	28-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	12:11				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	12:31				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.86 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
110'	1.27433		110	1.2509	
110		1.2409	110'		1.2843
ΔHaller (m)	0.03343		ΔHretour (m)	-0.0334	
ΔΗτελικό (m)			0.03342		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	109'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	28-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	13:06				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	13:26				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.76 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
109'	1.87543		109	0.4242	
109		0.4029	109'		1.8965
ΔHaller (m)	1.47253		ΔHretour (m)	-1.4723	
ΔΗτελικό (m)			1.47242		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	101'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	28-02-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	14:15				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	14:35				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.76 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
101'	1.5235		101	0.919	
101		0.9175	101'		1.5246
ΔHaller (m)	0.606		ΔHretour (m)	-0.6056	
ΔΗτελικό (m)			0.6058		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	92'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	01-03-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	10:17				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	10:37				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.66 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
92'	1.64597		93	0.1285	
A1	1.99087	0.2373	A2	0.2238	1.99227
93		0.1503	92'		1.6084
	ΣΟ: 3.63684	ΣΕ: 0.3876		ΣΟ: 0.3523	ΣΕ: 3.60067
ΔHaller (m)	3.24924		ΔHretour (m)	-3.24837	
ΔΗτελικό (m)			3.24881		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	Στη βουλή ιδρύθηκε ένα νέο σημείο για GPS για τα δύο ήδη υπάρχοντα				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ					
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ					
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ					
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ					
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ					
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
92'	1.8515		92	0.2838	
92		0.25413	92'		1.88027
ΔHaller (m)	1.59737		ΔHretour (m)	-1.59647	
ΔΗτελικό (m)			1.59692		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	26'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	01-03-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	12:32				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	12:53				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.66 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
26'	1.75377		26	0.2201	
26		0.2166	26'		1.7574
ΔHaller (m)	1.53717		ΔHretour (m)	-1.5373	
ΔΗΤΕΛΙΚΟ (m)			1.53724		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	89'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	19-03-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	10:18				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	10:38				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.76 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
89'	1.35923		89	0.9722	
A1	1.7594	1.1757	A2	1.202	1.77337
89		0.9346	89'		1.4092
	ΣΟ: 3.11863	ΣΕ: 2.1103		ΣΟ: 2.1742	ΣΕ: 3.18257
ΔHaller (m)	1.00833		ΔHretour (m)	-1.00837	
ΔΗΤΕΛΙΚΟ (m)			1.00835		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	11'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	19-03-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	12:39				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	13:09				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.76 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
11'	1.32797		11	0.5431	
A1	1.35847	1.2291	A2	1.35417	1.427
11		0.5308	11'		1.39687
	ΣΟ: 2.68644	ΣΕ: 1.7599		ΣΟ: 1.89727	ΣΕ: 2.82387
ΔHaller (m)	0.92654		ΔHretour (m)	-0.9266	
ΔΗτελικό (m)			0.92657		
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	40'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	19-03-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	14:08				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	14:28				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.76 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
40'	1.42247		40	1.0643	
40		1.1521	40'		1.33457
ΔHaller (m)	0.27037		ΔHretour (m)	-0.27027	
ΔΗτελικό (m)			0.27032		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS					
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	37'				
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗ	TRIMBLE 5800				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	19-03-11				
ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	15:09				
ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ	15:30				
ΥΨΟΣ ΟΡΓΑΝΟΥ	1.76 m				
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ					
ALLER			RETOUR		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)
37'	1.63737		37	1.7791	
A1	1.3851	1.5088	A2	1.64467	1.36643
37		1.8439	37'		1.72707
	ΣΟ: 3.02247	ΣΕ: 3.3527		ΣΟ: 3.42377	ΣΕ: 3.0935
ΔHaller (m)	-0.33023		ΔHretour (m)	0.33027	
ΔΗτελικό (m)			-0.33025		

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GPS-TGOffice

Baseline Summary B49 (098A to 107 KALIMARMARO1)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7006.755m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 8.3
Reference variance: 1.588
RMS: 0.017m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.004m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.006m
Start time (GPS Time): 11/02/26, 09:53:00.000 1624, 553980.000
Stop time (GPS Time): 11/02/26, 10:12:45.000 1624, 555165.000
Occupation time: 00:19:45.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	107 KALIMARMARO1				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	-446.411m	Latitude	37°58'09.89344"N	Latitude	37°58'09.89344"N
Easting	1886.420m	Longitude	23°44'22.69477"E	Longitude	23°44'22.69477"E
Elevation	119.787m	Height	119.787m	Height	119.787m

Baseline:					
Δ Northing	-4237.343m	NS Fwd Azimuth	232°49'59"	Δ X	4544.240m
Δ Easting	-5578.619m	Ell. Distance	7005.429m	Δ Y	-4097.058m
Δ Elevation	-125.579m	Δ Height	-125.579m	Δ Z	-3414.470m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.003m	σ NS Fwd Azimuth	0.086 seconds	σ Δ X	0.004m
σ Δ Easting	0.003m	σ Ell.Distance	0.002m	σ Δ Y	0.003m
σ Δ Elevation	0.005m	σ Δ Height	0.005m	σ Δ Z	0.003m

SV	Satellite Phase Tracking Summary - Combined	
3	L1 L2	
11	L1 L2	[Phase Tracking Data]
14	L1 L2	[Phase Tracking Data]
17	L1 L2	
19	L1 L2	[Phase Tracking Data]
20	L1 L2	[Phase Tracking Data]
23	L1 L2	[Phase Tracking Data]
24	L1 L2	[Phase Tracking Data]
31	L1 L2	[Phase Tracking Data]
32	L1 L2	

Baseline Summary B52 (098A to 108 KALIMARMARO2)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6931.258m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 43.8
Reference variance: 1.272
RMS: 0.013m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.003m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.004m
Start time (GPS Time): 11/02/26, 10:28:15.000 1624, 556095.000
Stop time (GPS Time): 11/02/26, 10:47:45.000 1624, 557265.000
Occupation time: 00:19:30.000

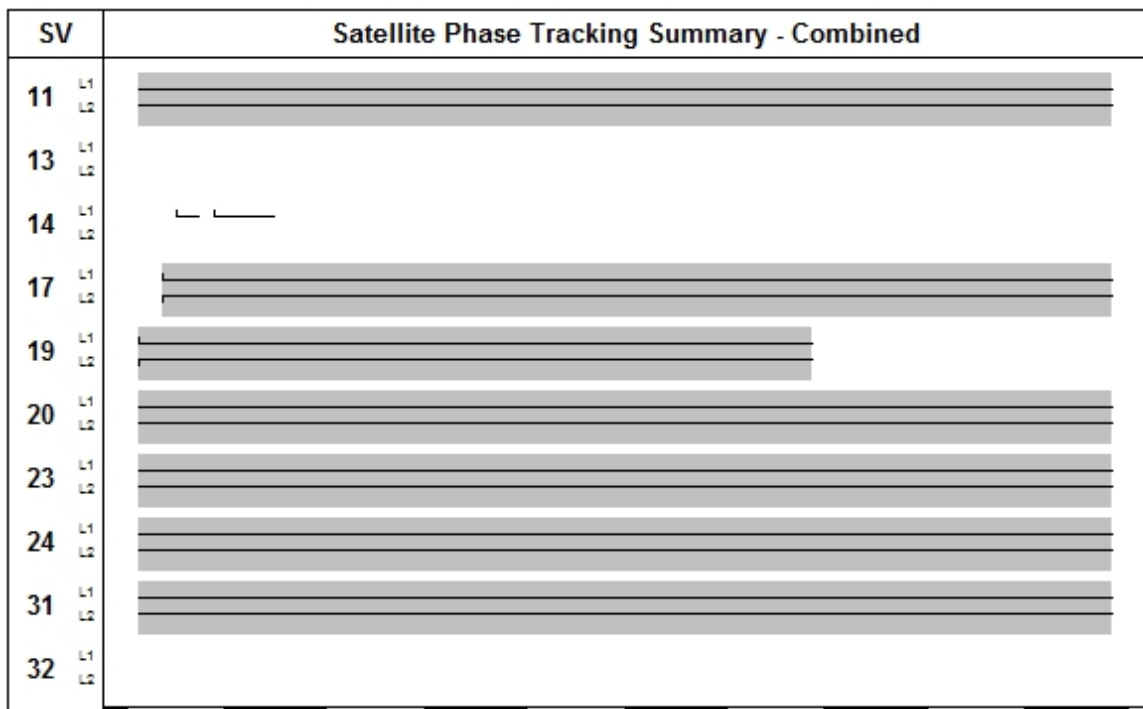
Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	108 KALIMARMARO2				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	-422.707m	Latitude	37°58'10.66165"N	Latitude	37°58'10.66165"N
Easting	1963.278m	Longitude	23°44'25.84388"E	Longitude	23°44'25.84388"E
Elevation	120.964m	Height	120.964m	Height	120.964m

Baseline:					
Δ Northing	-4213.639m	NS Fwd Azimuth	232°36'18"	Δ X	4500.805m
Δ Easting	-5501.761m	Ell. Distance	6929.943m	Δ Y	-4032.191m
Δ Elevation	-124.402m	Δ Height	-124.402m	Δ Z	-3395.073m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.002m	σ NS Fwd Azimuth	0.061 seconds	σ Δ X	0.003m
σ Δ Easting	0.002m	σ Ell.Distance	0.002m	σ Δ Y	0.002m
σ Δ Elevation	0.004m	σ Δ Height	0.004m	σ Δ Z	0.003m



Baseline Summary B58 (098A to 105)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7297.378m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 14.8
Reference variance: 4.534
RMS: 0.020m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.053m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.118m
Start time (GPS Time): 11/02/26, 12:22:15.000 1624, 562935.000
Stop time (GPS Time): 11/02/26, 12:42:45.000 1624, 564165.000
Occupation time: 00:20:30.000

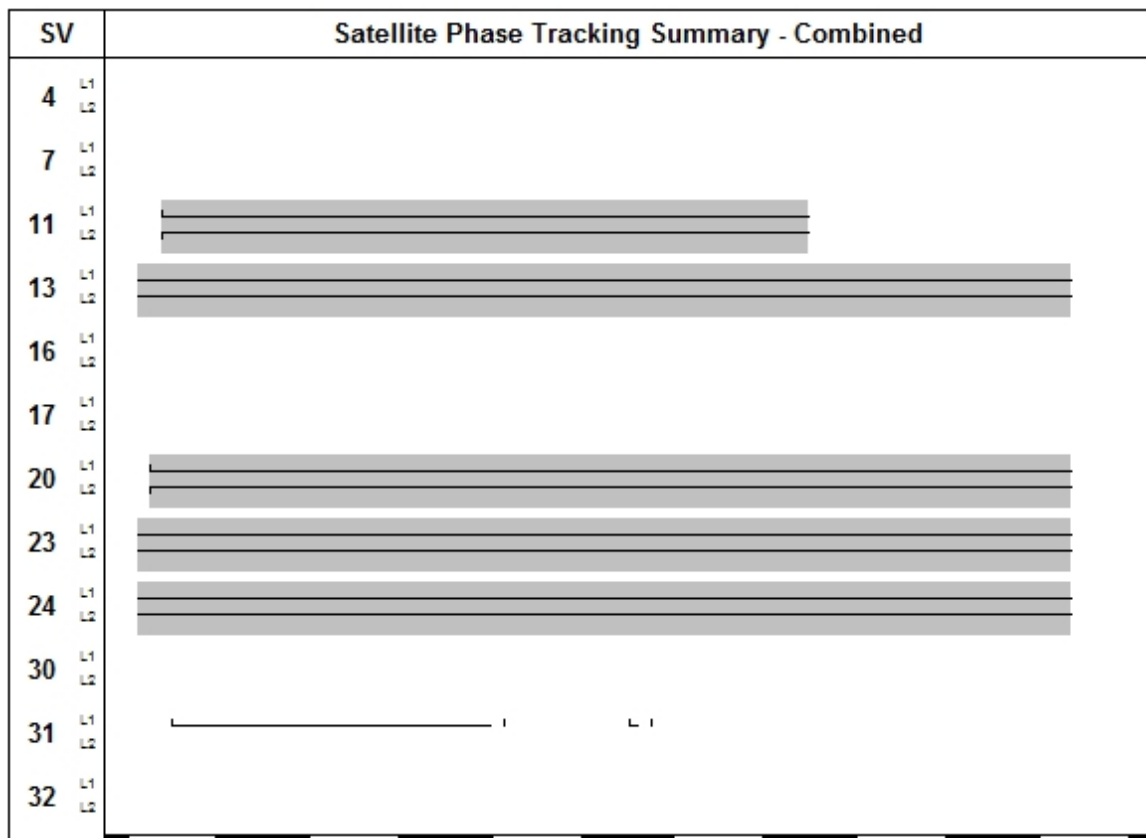
Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	105				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	-739.068m	Latitude	37°58'00.40251"N	Latitude	37°58'00.40251"N
Easting	1745.323m	Longitude	23°44'16.91143"E	Longitude	23°44'16.91143"E
Elevation	133.410m	Height	133.410m	Height	133.410m

Baseline:					
Δ Northing	-4530.000m	NS Fwd Azimuth	231°40'23"	Δ X	4775.701m
Δ Easting	-5719.716m	Ell. Distance	7296.302m	Δ Y	-4149.480m
Δ Elevation	-111.957m	Δ Height	-111.957m	Δ Z	-3636.787m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.025m	σ NS Fwd Azimuth	0.528 seconds	σ Δ X	0.054m
σ Δ Easting	0.004m	σ Ell.Distance	0.017m	σ Δ Y	0.023m
σ Δ Elevation	0.055m	σ Δ Height	0.055m	σ Δ Z	0.015m



Baseline Summary B61 (098A to 122 NEKROTAFEIO)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7624.920m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 10.6
Reference variance: 1.658
RMS: 0.014m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.002m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.008m
Start time (GPS Time): 11/02/26, 13:46:15.000 1624, 567975.000
Stop time (GPS Time): 11/02/26, 14:05:45.000 1624, 569145.000
Occupation time: 00:19:30.000

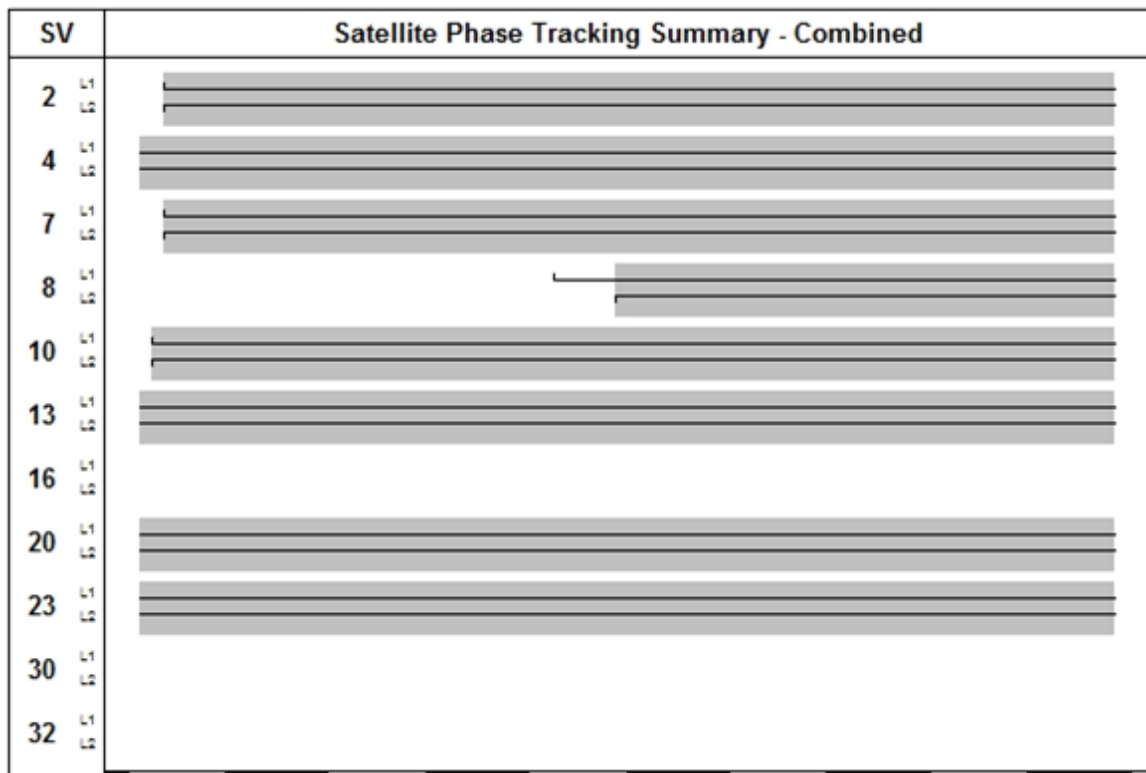
Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	122 NEKROTAFEIO				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	-994.196m	Latitude	37°57'52.12918"N	Latitude	37°57'52.12918"N
Easting	1530.084m	Longitude	23°44'08.09145"E	Longitude	23°44'08.09145"E
Elevation	123.150m	Height	123.150m	Height	123.150m

Baseline:					
Δ Northing	-4785.128m	NS Fwd Azimuth	231°10'28"	Δ X	4998.613m
Δ Easting	-5934.955m	Ell. Distance	7623.720m	Δ Y	-4286.648m
Δ Elevation	-122.217m	Δ Height	-122.217m	Δ Z	-3844.206m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.002m	σ NS Fwd Azimuth	0.046 seconds	σ Δ X	0.005m
σ Δ Easting	0.002m	σ Ell.Distance	0.002m	σ Δ Y	0.002m
σ Δ Elevation	0.006m	σ Δ Height	0.006m	σ Δ Z	0.004m



Baseline Summary B31 (098A to 1 OMONOIA)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7101.495m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 15.8
Reference variance: 0.871
RMS: 0.009m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.001m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.004m
Start time (GPS Time): 11/02/27, 07:49:30.000 1625, 28170.000
Stop time (GPS Time): 11/02/27, 08:07:45.000 1625, 29265.000
Occupation time: 00:18:15.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	1 OMONOIA				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	1152.930m	Latitude	37°59'01.77135"N	Latitude	37°59'01.77135"N
Easting	873.308m	Longitude	23°43'41.19446"E	Longitude	23°43'41.19446"E
Elevation	109.386m	Height	109.386m	Height	109.386m

Baseline:					
Δ Northing	-2638.002m	NS Fwd Azimuth	248°14'28"	Δ X	4043.383m
Δ Easting	-6591.731m	Ell. Distance	7099.996m	Δ Y	-5423.710m
Δ Elevation	-135.981m	Δ Height	-135.981m	Δ Z	-2160.014m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.040 seconds	σ Δ X	0.003m
σ Δ Easting	0.001m	σ Ell.Distance	0.001m	σ Δ Y	0.002m
σ Δ Elevation	0.004m	σ Δ Height	0.004m	σ Δ Z	0.003m

SV	Satellite Phase Tracking Summary - Combined	
3	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
6	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
11	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
14	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
18	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
19	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
22	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
24	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
32	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]

Baseline Summary B34 (098A to 17 ATHINAS)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7226.790m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 50.7
Reference variance: 2.774
RMS: 0.015m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.005m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.022m
Start time (GPS Time): 11/02/27, 08:52:15.000 1625, 31935.000
Stop time (GPS Time): 11/02/27, 09:10:45.000 1625, 33045.000
Occupation time: 00:18:30.000

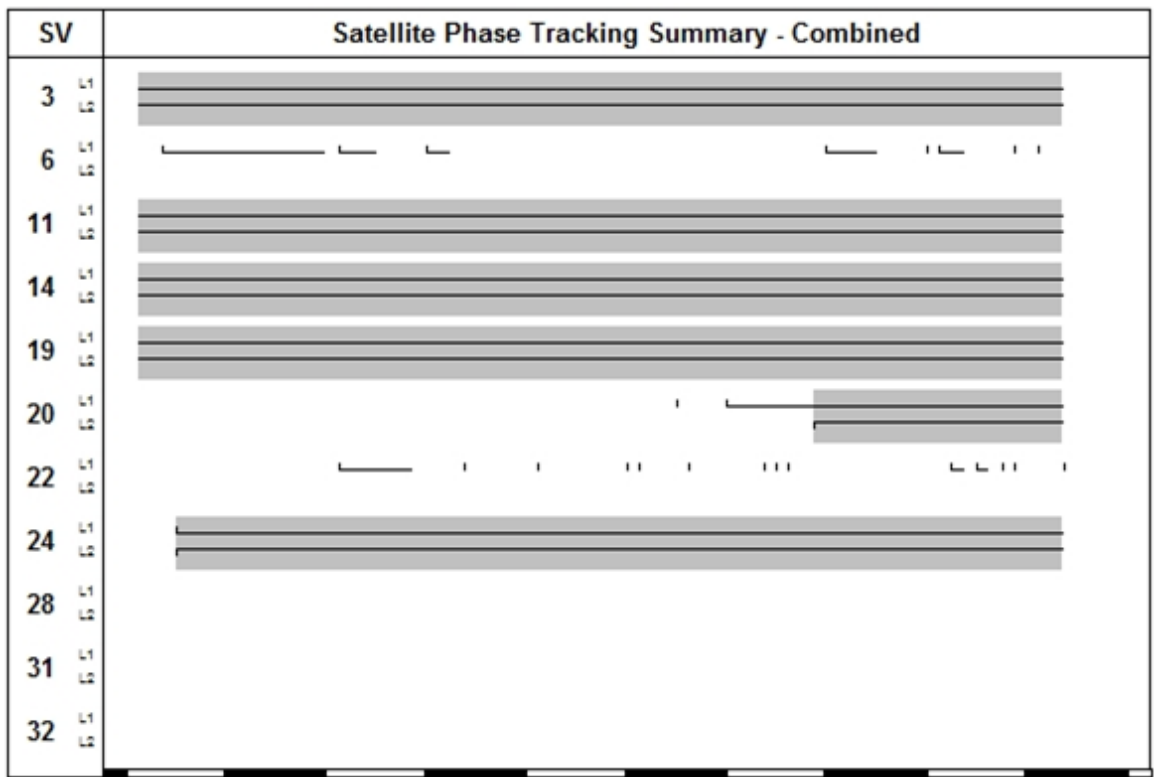
Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	17 ATHINAS				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	969.949m	Latitude	37°58'55.83684"N	Latitude	37°58'55.83684"N
Easting	813.182m	Longitude	23°43'38.72987"E	Longitude	23°43'38.72987"E
Elevation	109.419m	Height	109.419m	Height	109.419m

Baseline:					
Δ Northing	-2820.983m	NS Fwd Azimuth	247°04'16"	Δ X	4170.699m
Δ Easting	-6651.857m	Ell. Distance	7225.311m	Δ Y	-5433.448m
Δ Elevation	-135.948m	Δ Height	-135.948m	Δ Z	-2304.215m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.003m	σ NS Fwd Azimuth	0.076 seconds	σ Δ X	0.009m
σ Δ Easting	0.003m	σ Ell.Distance	0.003m	σ Δ Y	0.006m
σ Δ Elevation	0.013m	σ Δ Height	0.013m	σ Δ Z	0.008m



Baseline Summary B37 (098A to 16 KOTZIA)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7173.293m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 13.5
Reference variance: 1.019
RMS: 0.014m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.003m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.004m
Start time (GPS Time): 11/02/27, 10:01:15.000 1625, 36075.000
Stop time (GPS Time): 11/02/27, 10:19:45.000 1625, 37185.000
Occupation time: 00:18:30.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	16 KOTZIA				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	907.195m	Latitude	37°58'53.80120"N	Latitude	37°58'53.80120"N
Easting	898.489m	Longitude	23°43'42.22520"E	Longitude	23°43'42.22520"E
Elevation	112.115m	Height	112.115m	Height	112.115m

Baseline:					
Δ Northing	-2883.737m	NS Fwd Azimuth	246°20'36"	Δ X	4173.681m
Δ Easting	-6566.551m	Ell. Distance	7171.855m	Δ Y	-5338.959m
Δ Elevation	-133.252m	Δ Height	-133.252m	Δ Z	-2352.027m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.003m	σ NS Fwd Azimuth	0.078 seconds	σ Δ X	0.003m
σ Δ Easting	0.002m	σ Ell.Distance	0.002m	σ Δ Y	0.002m
σ Δ Elevation	0.003m	σ Δ Height	0.003m	σ Δ Z	0.003m

SV	Satellite Phase Tracking Summary - Combined	
11	L1 L2	[Phase Tracking Summary for SV 11]
14	L1 L2	[Phase Tracking Summary for SV 14]
17	L1 L2	[Phase Tracking Summary for SV 17]
19	L1 L2	[Phase Tracking Summary for SV 19]
20	L1 L2	[Phase Tracking Summary for SV 20]
23	L1 L2	[Phase Tracking Summary for SV 23]
24	L1 L2	[Phase Tracking Summary for SV 24]
31	L1 L2	[Phase Tracking Summary for SV 31]
32	L1 L2	[Phase Tracking Summary for SV 32]

Baseline Summary B40 (098A to 31 KERAMEIKOS)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 8302.808m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 15.3
Reference variance: 2.323
RMS: 0.018m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.004m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.010m
Start time (GPS Time): 11/02/27, 11:19:45.000 1625, 40785.000
Stop time (GPS Time): 11/02/27, 11:38:45.000 1625, 41925.000
Occupation time: 00:19:00.000

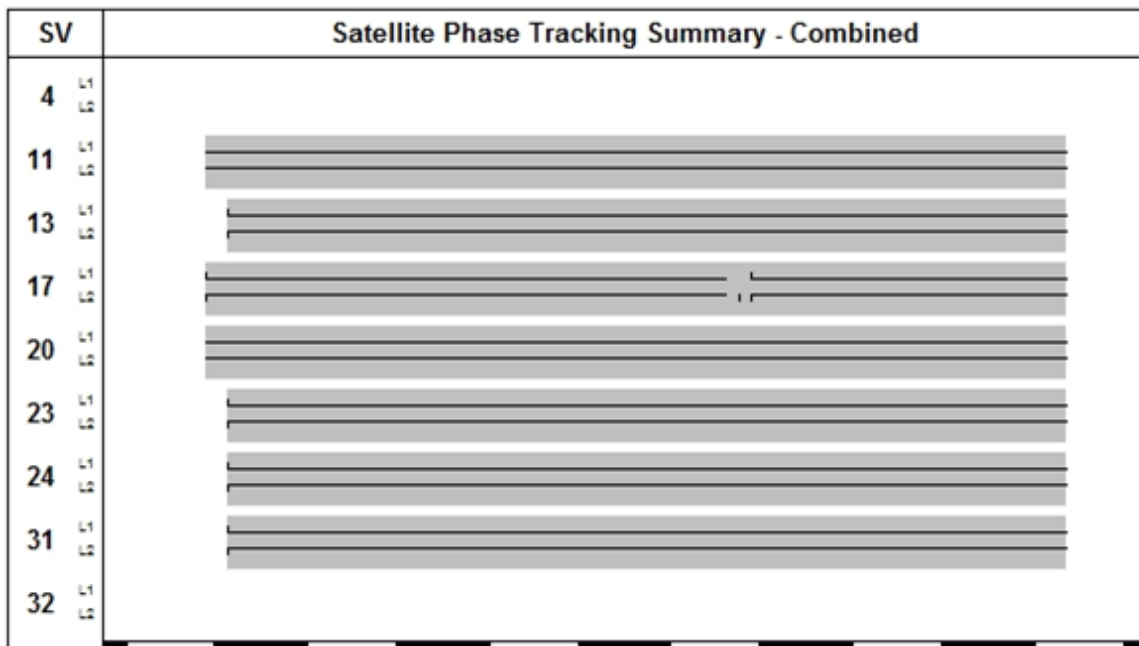
Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	31 KERAMEIKOS				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	560.528m	Latitude	37°58'42.55907"N	Latitude	37°58'42.55907"N
Easting	-181.652m	Longitude	23°42'57.96472"E	Longitude	23°42'57.96472"E
Elevation	85.077m	Height	85.077m	Height	85.077m

Baseline:					
Δ Northing	-3230.405m	NS Fwd Azimuth	247°09'01"	Δ X	4784.012m
Δ Easting	-7646.691m	Ell. Distance	8301.046m	Δ Y	-6250.623m
Δ Elevation	-160.289m	Δ Height	-160.289m	Δ Z	-2641.885m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.002m	σ NS Fwd Azimuth	0.059 seconds	σ Δ X	0.005m
σ Δ Easting	0.003m	σ Ell.Distance	0.003m	σ Δ Y	0.003m
σ Δ Elevation	0.006m	σ Δ Height	0.006m	σ Δ Z	0.004m



Baseline Summary B43 (098A to 120 SYGGROU)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7797.575m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 12.6
Reference variance: 3.097
RMS: 0.017m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.009m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.025m
Start time (GPS Time): 11/02/27, 13:11:00.000 1625, 47460.000
Stop time (GPS Time): 11/02/27, 13:29:45.000 1625, 48585.000
Occupation time: 00:18:45.000

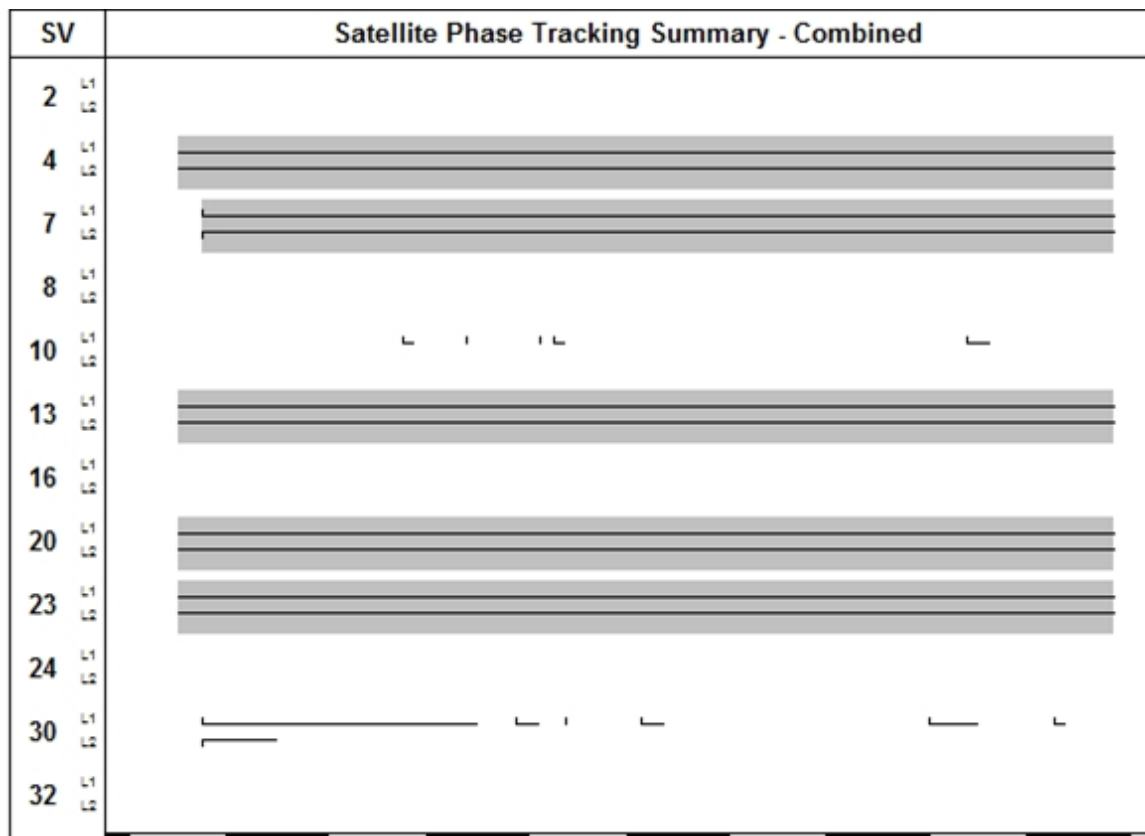
Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	120 SYGGROU				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	-651.615m	Latitude	37°58'03.24277"N	Latitude	37°58'03.24276"N
Easting	1058.527m	Longitude	23°43'48.77481"E	Longitude	23°43'48.77481"E
Elevation	106.647m	Height	106.647m	Height	106.647m

Baseline:					
Δ Northing	-4442.547m	NS Fwd Azimuth	235°18'48"	Δ X	4983.497m
Δ Easting	-6406.512m	Ell. Distance	7796.126m	Δ Y	-4808.363m
Δ Elevation	-138.720m	Δ Height	-138.720m	Δ Z	-3584.212m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.005m	σ NS Fwd Azimuth	0.094 seconds	σ Δ X	0.013m
σ Δ Easting	0.003m	σ Ell.Distance	0.004m	σ Δ Y	0.005m
σ Δ Elevation	0.014m	σ Δ Height	0.014m	σ Δ Z	0.007m



Baseline Summary B46 (098A to 20 GKOYRA)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7476.463m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 10.8
Reference variance: 2.845
RMS: 0.019m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.006m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.013m
Start time (GPS Time): 11/02/27, 13:58:45.000 1625, 50325.000
Stop time (GPS Time): 11/02/27, 14:17:45.000 1625, 51465.000
Occupation time: 00:19:00.000

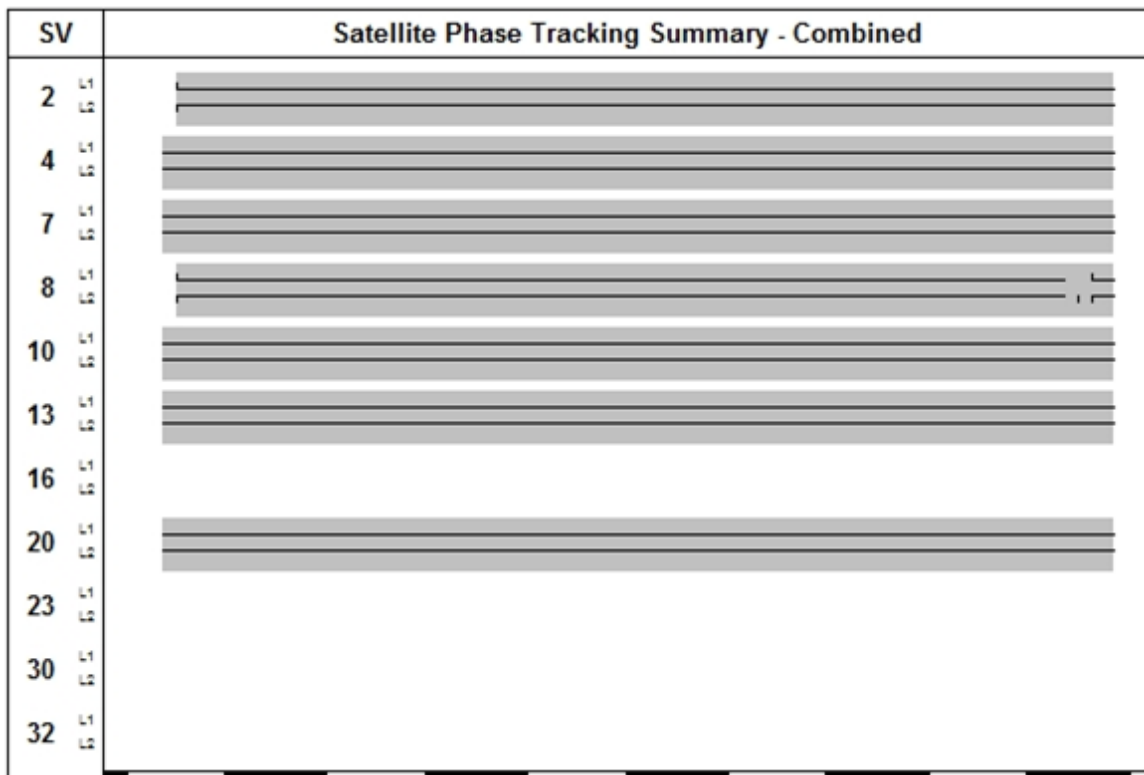
Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	20 GKOYRA				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	-313.240m	Latitude	37°58'14.21675"N	Latitude	37°58'14.21675"N
Easting	1217.330m	Longitude	23°43'55.28290"E	Longitude	23°43'55.28290"E
Elevation	117.880m	Height	117.880m	Height	117.880m

Baseline:					
Δ Northing	-4104.173m	NS Fwd Azimuth	236°45'04"	Δ X	4737.106m
Δ Easting	-6247.709m	Ell. Distance	7475.163m	Δ Y	-4743.155m
Δ Elevation	-127.487m	Δ Height	-127.487m	Δ Z	-3310.559m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.003m	σ NS Fwd Azimuth	0.066 seconds	σ Δ X	0.007m
σ Δ Easting	0.003m	σ Ell.Distance	0.003m	σ Δ Y	0.003m
σ Δ Elevation	0.008m	σ Δ Height	0.008m	σ Δ Z	0.005m



Baseline Summary B19 (098A to 110 PYROSVESTIKH)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6556.994m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 3.6
Reference variance: 2.831
RMS: 0.019m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.030m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.038m
Start time (GPS Time): 11/02/28, 10:11:45.000 1625, 123105.000
Stop time (GPS Time): 11/02/28, 10:30:45.000 1625, 124245.000
Occupation time: 00:19:00.000

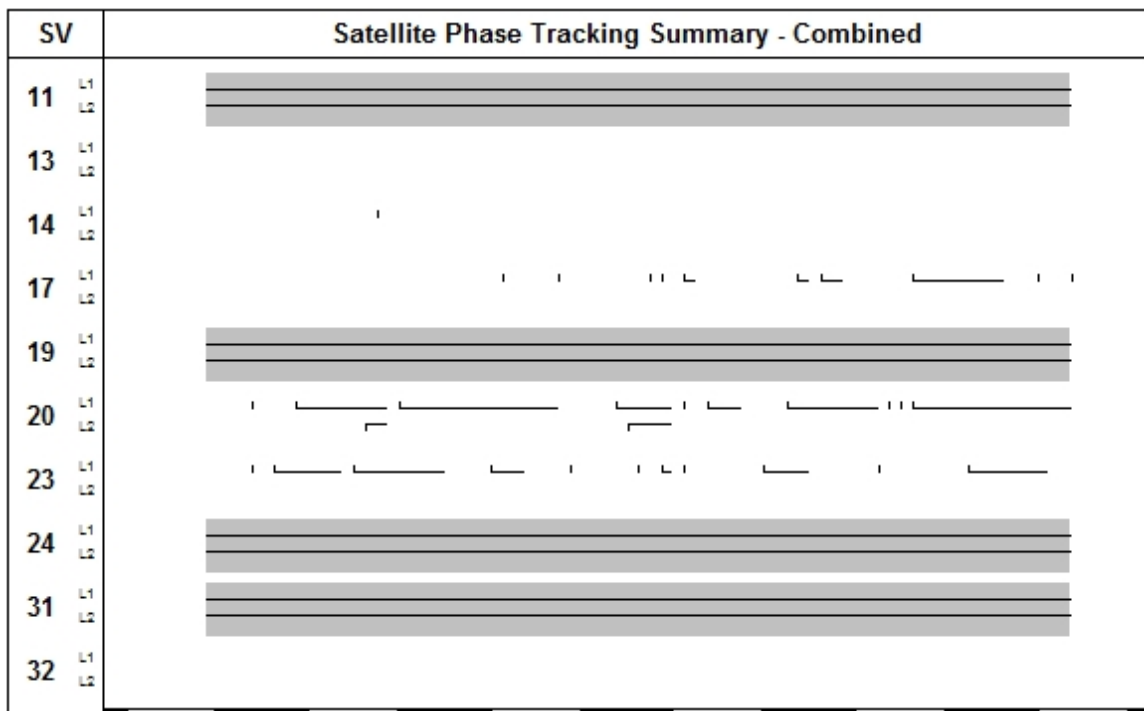
Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	110 PYROSVESTIKH				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	80.518m	Latitude	37°58'26.98230"N	Latitude	37°58'26.98230"N
Easting	2060.140m	Longitude	23°44'29.81753"E	Longitude	23°44'29.81753"E
Elevation	138.069m	Height	138.069m	Height	138.069m

Baseline:					
Δ Northing	-3710.414m	NS Fwd Azimuth	235°34'59"	Δ X	4190.688m
Δ Easting	-5404.899m	Ell. Distance	6555.919m	Δ Y	-4062.634m
Δ Elevation	-107.298m	Δ Height	-107.298m	Δ Z	-2987.861m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.013m	σ NS Fwd Azimuth	0.548 seconds	σ Δ X	0.018m
σ Δ Easting	0.013m	σ Ell.Distance	0.006m	σ Δ Y	0.022m
σ Δ Elevation	0.023m	σ Δ Height	0.023m	σ Δ Z	0.007m



Baseline Summary B22 (098A to 109 ZAPPEIO)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7144.113m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 12.5
Reference variance: 1.266
RMS: 0.011m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.003m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.006m
Start time (GPS Time): 11/02/28, 11:11:00.000 1625, 126660.000
Stop time (GPS Time): 11/02/28, 11:27:30.000 1625, 127650.000
Occupation time: 00:16:30.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	109 ZAPPEIO				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	-253.735m	Latitude	37°58'16.14474"N	Latitude	37°58'16.14474"N
Easting	1577.642m	Longitude	23°44'10.04564"E	Longitude	23°44'10.04564"E
Elevation	124.325m	Height	124.325m	Height	124.325m

Baseline:					
Δ Northing	-4044.667m	NS Fwd Azimuth	235°33'47"	Δ X	4563.246m
Δ Easting	-5887.397m	Ell. Distance	7142.880m	Δ Y	-4425.978m
Δ Elevation	-121.041m	Δ Height	-121.041m	Δ Z	-3259.732m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.002m	σ NS Fwd Azimuth	0.054 seconds	σ Δ X	0.004m
σ Δ Easting	0.002m	σ Ell.Distance	0.002m	σ Δ Y	0.002m
σ Δ Elevation	0.005m	σ Δ Height	0.005m	σ Δ Z	0.003m

SV	Satellite Phase Tracking Summary - Combined	
11	L1	
	L2	
13	L1	
	L2	
17	L1	
	L2	
20	L1	
	L2	
23	L1	
	L2	
24	L1	
	L2	
31	L1	
	L2	
32	L1	
	L2	

Baseline Summary B25 (098A to 101 PROFITIS HLI)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6806.769m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 8.3
Reference variance: 1.179
RMS: 0.013m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.003m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.005m
Start time (GPS Time): 11/02/28, 12:16:00.000 1625, 130560.000
Stop time (GPS Time): 11/02/28, 12:33:45.000 1625, 131625.000
Occupation time: 00:17:45.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	101 PROFITIS HLI				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	-872.954m	Latitude	37°57'56.05367"N	Latitude	37°57'56.05367"N
Easting	2508.325m	Longitude	23°44'48.16891"E	Longitude	23°44'48.16891"E

Elevation	153.775m	Height	153.775m	Height	153.775m
Baseline:					
Δ Northing	-4663.886m	NS Fwd Azimuth	226°47'45"	Δ X	4558.709m
Δ Easting	-4956.715m	Ell. Distance	6805.940m	Δ Y	-3411.394m
Δ Elevation	-91.592m	Δ Height	-91.592m	Δ Z	-3729.969m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.002m	σ NS Fwd Azimuth	0.069 seconds	σ Δ X	0.004m
σ Δ Easting	0.002m	σ Ell.Distance	0.002m	σ Δ Y	0.002m
σ Δ Elevation	0.005m	σ Δ Height	0.005m	σ Δ Z	0.003m

SV	Satellite Phase Tracking Summary - Combined	
4	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
7	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
11	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
13	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
16	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
17	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
20	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
23	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
24	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
30	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
31	L1	[Bar]
	L2	[Bar]
32	L1	[Bar]
	L2	[Bar]

Baseline Summary B9 (098A to 26 ASTEROSKOPEIO)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 8374.642m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 8.7
Reference variance: 2.580
RMS: 0.014m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.005m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.011m
Start time (GPS Time): 11/03/01, 10:32:00.000 1625, 210720.000
Stop time (GPS Time): 11/03/01, 10:52:45.000 1625, 211965.000
Occupation time: 00:20:45.000




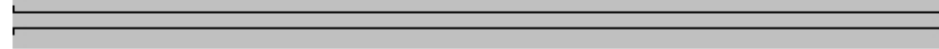

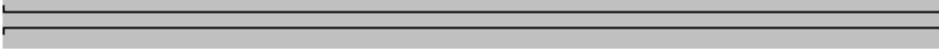
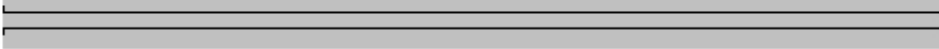
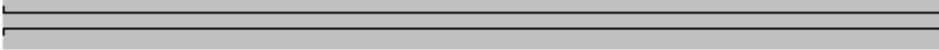
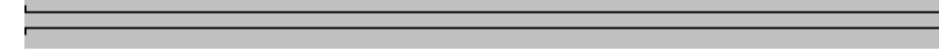

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	26 ASTEROSKOPEIO				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	-2.350m	Latitude	37°58'24.30300"N	Latitude	37°58'24.30300"N
Easting	-0.279m	Longitude	23°43'05.39648"E	Longitude	23°43'05.39648"E
Elevation	143.188m	Height	143.188m	Height	143.188m

Baseline:					
Δ Northing	-3793.282m	NS Fwd Azimuth	243°06'59"	Δ X	5070.102m
Δ Easting	-7465.318m	Ell. Distance	8373.765m	Δ Y	-5926.822m
Δ Elevation	-102.179m	Δ Height	-102.179m	Δ Z	-3049.833m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.003m	σ NS Fwd Azimuth	0.066 seconds	σ Δ X	0.005m
σ Δ Easting	0.003m	σ Ell.Distance	0.003m	σ Δ Y	0.003m
σ Δ Elevation	0.007m	σ Δ Height	0.007m	σ Δ Z	0.005m

SV	Satellite Phase Tracking Summary - Combined	
11	L1 L2	
13	L1 L2	
14	L1 L2	
17	L1 L2	
19	L1 L2	
20	L1 L2	
23	L1 L2	
24	L1 L2	
31	L1 L2	
32	L1 L2	

Baseline Summary B1 (098A to 92 BOULH)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6831.652m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 17.7
Reference variance: 1.146
RMS: 0.011m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.002m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.005m
Start time (GPS Time): 11/03/01, 08:17:00.000 1625, 202620.000
Stop time (GPS Time): 11/03/01, 08:37:45.000 1625, 203865.000
Occupation time: 00:20:45.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	92 BOULH				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	272.187m	Latitude	37°58'33.20207"N	Latitude	37°58'33.20206"N
Easting	1610.511m	Longitude	23°44'11.39653"E	Longitude	23°44'11.39653"E
Elevation	137.549m	Height	137.549m	Height	137.549m

Baseline:					
Δ Northing	-3518.746m	NS Fwd Azimuth	239°02'43"	Δ X	4263.290m
Δ Easting	-5854.528m	Ell. Distance	6830.596m	Δ Y	-4521.858m
Δ Elevation	-107.818m	Δ Height	-107.818m	Δ Z	-2837.010m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	0.041 seconds	σ Δ X	0.003m
σ Δ Easting	0.001m	σ Ell.Distance	0.001m	σ Δ Y	0.002m
σ Δ Elevation	0.005m	σ Δ Height	0.005m	σ Δ Z	0.003m

SV	Satellite Phase Tracking Summary - Combined	
3	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
6	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
11	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
14	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
19	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
20	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
22	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
24	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
28	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]
32	L1	[Redacted]
	L2	[Redacted]

Baseline Summary B13 (098A to 77 AIGINHTEIO)

Processed: Wednesday, Mar 09, 2011 10:55:42PM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 5381.705m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 14.3
Reference variance: 3.055
RMS: 0.016m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.025m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.043m
Start time (GPS Time): 11/02/28, 08:03:00.000 1625, 115380.000
Stop time (GPS Time): 11/02/28, 08:21:45.000 1625, 116505.000
Occupation time: 00:18:45.000

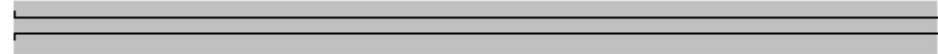

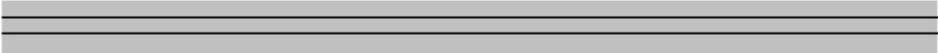


Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	3790.932m	Latitude	38°00'27.22188"N	Latitude	38°00'27.22188"N
Easting	7465.039m	Longitude	23°48'11.40980"E	Longitude	23°48'11.40980"E
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Height	245.367m
To:	77 AIGINHTEIO				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	643.223m	Latitude	37°58'45.22218"N	Latitude	37°58'45.22218"N
Easting	3101.068m	Longitude	23°45'12.47596"E	Longitude	23°45'12.47596"E
Elevation	152.356m	Height	152.356m	Height	152.356m

Baseline:					
Δ Northing	-3147.709m	NS Fwd Azimuth	234°14'59"	Δ X	3464.966m
Δ Easting	-4363.971m	Ell. Distance	5380.734m	Δ Y	-3244.484m
Δ Elevation	-93.011m	Δ Height	-93.011m	Δ Z	-2535.760m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.015m	σ NS Fwd Azimuth	0.446 seconds	σ Δ X	0.010m
σ Δ Easting	0.002m	σ Ell.Distance	0.009m	σ Δ Y	0.005m
σ Δ Elevation	0.024m	σ Δ Height	0.024m	σ Δ Z	0.026m

SV	Satellite Phase Tracking Summary - Combined	
3	L1 L2	
6	L1 L2	
11	L1 L2	
14	L1 L2	
18	L1 L2	
19	L1 L2	
20	L1 L2	
22	L1 L2	
24	L1 L2	
28	L1 L2	
32	L1 L2	

Baseline Summary B2 (098A to 89EUAGGELISMOS)

Processed: Friday, Mar 25, 2011 11:09:06AM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6072.267m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 14.0
Reference variance: 1.471
RMS: 0.016m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.003m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.005m
Start time (GPS Time): 11/03/19, 08:18:30.000 1627, 548310.000
Stop time (GPS Time): 11/03/19, 08:38:45.000 1627, 549525.000
Occupation time: 00:20:15.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		XYZ	
Northing	3578.878m	Latitude	38°00'27.22188"N	X	4604061.584m
Easting	6482.217m	Longitude	23°48'11.40980"E	Y	2030937.340m
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Z	3906256.412m
To:	89EUAGGELISMOS				
Grid		Local		XYZ	
Northing	67.967m	Latitude	37°58'33.42948"N	X	4607961.403m
Easting	1529.123m	Longitude	23°44'48.34903"E	Y	2027240.875m
Elevation	142.519m	Height	142.519m	Z	3903427.987m

Baseline:					
Δ Northing	-3510.911m	NS Fwd Azimuth	234°42'55"	Δ X	3899.819m
Δ Easting	-4953.093m	Ell. Distance	6071.212m	Δ Y	-3696.465m
Δ Elevation	-102.848m	Δ Height	-102.848m	Δ Z	-2828.425m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.002m	σ NS Fwd Azimuth	0.095 seconds	σ Δ X	0.004m
σ Δ Easting	0.003m	σ Ell.Distance	0.002m	σ Δ Y	0.003m
σ Δ Elevation	0.004m	σ Δ Height	0.004m	σ Δ Z	0.003m

SV	Satellite Phase Tracking Summary - Combined	
3	L1 L2	
11	L1 L2	[Shaded tracking area]
14	L1 L2	[Shaded tracking area]
17	L1 L2	
19	L1 L2	[Shaded tracking area]
20	L1 L2	[Shaded tracking area]
22	L1 L2	
23	L1 L2	[Shaded tracking area]
24	L1 L2	[Shaded tracking area]
31	L1 L2	[Shaded tracking area]
32	L1 L2	

Baseline Summary B5 (098A to 11MITROPOLI)

Processed: Friday, Mar 25, 2011 11:09:06AM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7406.382m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 6.9
Reference variance: 2.263
RMS: 0.019m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.004m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.008m
Start time (GPS Time): 11/03/19, 10:39:45.000 1627, 556785.000
Stop time (GPS Time): 11/03/19, 11:08:45.000 1627, 558525.000
Occupation time: 00:29:00.000

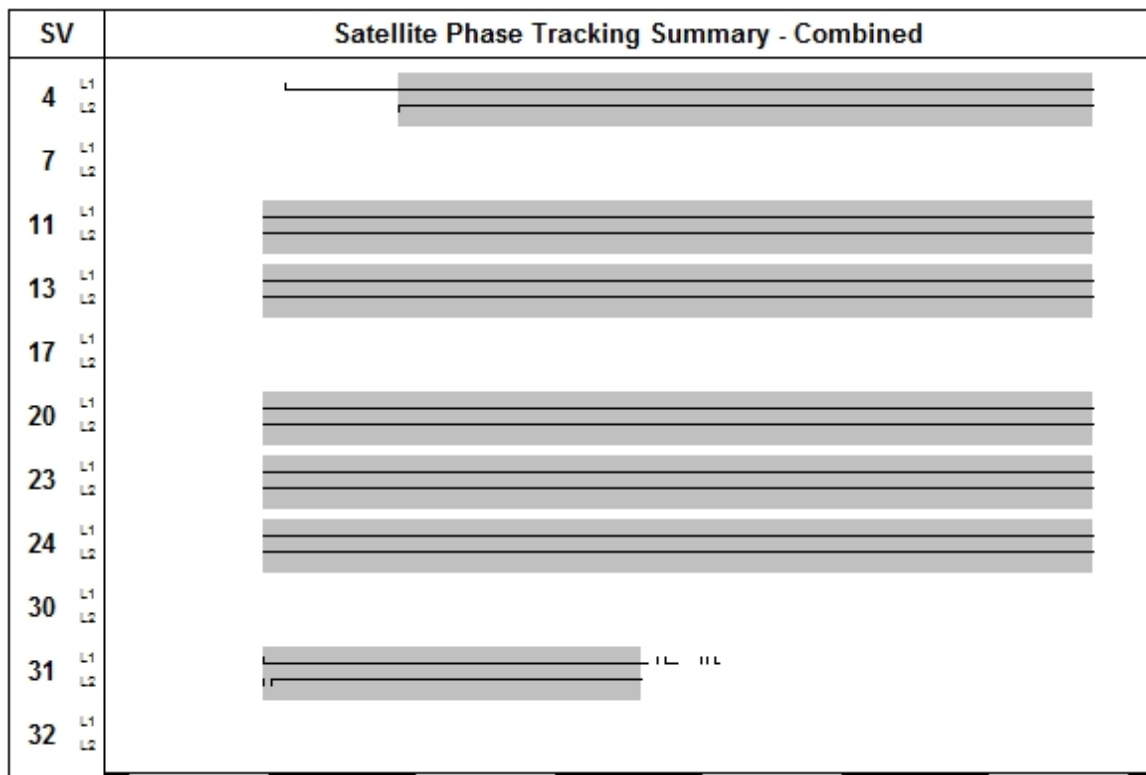
Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		XYZ	
Northing	3578.878m	Latitude	38°00'27.22188"N	X	4604061.584m
Easting	6482.217m	Longitude	23°48'11.40980"E	Y	2030937.340m
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Z	3906256.412m
To:	11MITROPOLI				
Grid		Local		XYZ	
Northing	-1.092m	Latitude	37°58'31.19427"N	X	4608591.191m
Easting	0.198m	Longitude	23°43'45.70323"E	Y	2025847.557m
Elevation	108.533m	Height	108.533m	Z	3903352.749m

Baseline:					
Δ Northing	-3579.970m	NS Fwd Azimuth	241°08'02"	Δ X	4529.608m
Δ Easting	-6482.019m	Ell. Distance	7404.913m	Δ Y	-5089.783m
Δ Elevation	-136.833m	Δ Height	-136.833m	Δ Z	-2903.663m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.003m	σ NS Fwd Azimuth	0.069 seconds	σ Δ X	0.005m
σ Δ Easting	0.002m	σ Ell.Distance	0.002m	σ Δ Y	0.003m
σ Δ Elevation	0.006m	σ Δ Height	0.006m	σ Δ Z	0.003m



Baseline Summary B8 (098A to 40METAKSOURGEIO)

Processed: Friday, Mar 25, 2011 11:09:06AM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 7983.829m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 29.2
Reference variance: 2.114
RMS: 0.014m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.004m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.016m
Start time (GPS Time): 11/03/19, 12:08:30.000 1627, 562110.000
Stop time (GPS Time): 11/03/19, 12:27:45.000 1627, 563265.000
Occupation time: 00:19:15.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		XYZ	
Northing	3578.878m	Latitude	38°00'27.22188"N	X	4604061.584m
Easting	6482.217m	Longitude	23°48'11.40980"E	Y	2030937.340m
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Z	3906256.412m
To:	40METAKSOURGEIO				
Grid		Local		XYZ	
Northing	1183.372m	Latitude	37°59'09.60813"N	X	4608360.670m
Easting	-1131.806m	Longitude	23°42'59.31445"E	Y	2024509.662m
Elevation	82.628m	Height	82.628m	Z	3904270.375m

Baseline Summary B11 (098A to 37PROFITIS DANIH)

Processed: Friday, Mar 25, 2011 11:09:06AM
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 8367.132m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 12.6
Reference variance: 3.874
RMS: 0.019m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.008m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.017m
Start time (GPS Time): 11/03/19, 13:10:15.000 1627, 565815.000
Stop time (GPS Time): 11/03/19, 13:29:45.000 1627, 566985.000
Occupation time: 00:19:30.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		XYZ	
Northing	3578.878m	Latitude	38°00'27.22188"N	X	4604061.584m
Easting	6482.217m	Longitude	23°48'11.40980"E	Y	2030937.340m
Elevation	245.367m	Height	245.367m	Z	3906256.412m
To:	37PROFITIS DANIH				
Grid		Local		XYZ	
Northing	1017.670m	Latitude	37°59'04.23203"N	X	4608590.099m
Easting	-1481.266m	Longitude	23°42'44.99506"E	Y	2024228.779m
Elevation	76.376m	Height	76.376m	Z	3904135.881m

Baseline:					
Δ Northing	-2561.208m	NS Fwd Azimuth	252°13'00"	Δ X	4528.515m
Δ Easting	-7963.482m	Ell. Distance	8365.215m	Δ Y	-6708.561m
Δ Elevation	-168.991m	Δ Height	-168.991m	Δ Z	-2120.531m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.003m	σ NS Fwd Azimuth	0.091 seconds	σ Δ X	0.007m
σ Δ Easting	0.003m	σ Ell.Distance	0.003m	σ Δ Y	0.004m
σ Δ Elevation	0.009m	σ Δ Height	0.009m	σ Δ Z	0.006m

